

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Tóth Tibor

Budapest

2002

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS.....	3
1.1. BEVEZETÉS	3
1.2. CÉLKITŰZÉS.....	4
2. A KUTATÁS KÖZVETLEN IRODALMI ELŐZMÉNYEINEK ÁTTEKINTÉSE	4
2.1. ELMÉLETI ÉS TALAJKÉPZŐDÉSI KUTATÁSOK.....	5
2.2. ÖNTÖZÉSSSEL ÉS VÍZRENDEZÉSSSEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK	7
2.3. SZIKESEDÉSI MODELLEK ALKALMAZÁSA	7
2.4. A SZIKES TALAJOK ÉS A NÖVÉNYZET KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK VIZSGÁLATA.....	7
2.5. A SZIKESEK ELTERJEDÉSÉNEK REGIONÁLIS VIZSGÁLATA.....	8
2.6. A SZIKESEDÉSI ÁLLAPOT IDŐBELI VIZSGÁLATA	8
2.7. KÜLFÖLDI SZIKESEKRŐL MEGJELENT BESZÁMOLÓK	9
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	9
4. EREDMÉNYEK	10
4.1. A SZIKES TALAJOK TÉRBELI VÁLTOZATOSSÁGA MINT A TALAJKÉPZŐDÉSI FOLYAMATOK IRÁNYÁNAK ÉS ERŐSSÉGÉNEK INDIKÁTORA	10
4.1.1. A talaj kémiai tulajdonságainak horizontális és vertikális változása hortobágyi szolonyec talaj szelvényében	11
4.1.2. A sófelhalmozódás földtani tényezőinek statisztikai vizsgálata a hortobágyi Nyírölapos mintaterületen.....	19
4.1.3. Karcagi művelt mintaterület talajának variabilitása a sófelhalmozódás tényezői szerint.....	21
4.1.4. Összefüggés karcagi réti szolonyec talajok egyes kémiai, fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai között.....	23
4.1.5. Az alföldi szikes talajok elterjedését meghatározó agrogeológiai tényezők térinformatikai elemzése 1:500 000 méretarányban	26
4.1.6. Hazai sókivirágzások kialakulásának feltételei, összetétele és jelentősége a szikes talajok kialakulásában	37
4.2. A SZIKES TALAJOK TULAJDONSÁGAI ÉS A NÖVÉNYZET KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK ÉS AZOK ALKALMAZÁSA	39
4.2.1. Hortobágyi padkásszik komplexum növényzetének osztályozhatósága.....	40
4.2.2. Változatos hortobágyi szikes puszta növényzeti kategóriáinak szétválasztása	47
4.2.3. Tiszántúli szolonyec talajok tulajdonságainak becslése többváltozós regressziós egyenletekkel	51
4.2.4. Különböző eljárások összehasonlítása hortobágyi padkásszik komplexum talajtulajdonságainak becslésére	61
4.3. SZIKES TERÜLETEK TÁVÉRZÉKELÉSES VIZSGÁLATA	70
4.3.1. A szikes puszta komplexum növényzetének kategorizálása terepi reflektancia mérés segítségével ..	71
4.3.2. Légifénykép alapján végzett térképezés hortobágyi szikes pusztán	76
4.3.3. Karcagi szikes talaj javítására szolgáló gipsz adagjának és kiadási helyének légifényképen alapuló meghatározása térinformatikai eszközök segítségével	79
4.3.4. A szolonyeces szikesedés távérzékelése ürfelvételekkel a Nagykunságban	90
4.4. A TALAJ SÓFELHALMOZÓDÁS TÉNYEZŐINEK IDŐBELI VÁLTOZÁSA	96
4.4.1. A talaj sótartalom változásának tényezői a kiskunsági Apajon.....	96
4.4.2. A talaj sótartalom változásának tényezői a kiskunsági Zabszék mellett	104
4.4.3. A sófelhalmozódás tényezőinek változása a hortobágyi Nyírölapos mintaterület talajainál	113
4.5. A HAZAI ALAPOZÓ VIZSGÁLATOK ELVEIT ALKALMAZÓ KÜLFÖLDI TANULMÁNYOK	120
4.5.1. Különböző blokkméretek alkalmazása kínai sós talajon a növényi borítás figyelembevételével végzett térbeli becslés során	121
4.5.2. A talaj sótartalmának becslése a másodlagos növényzet alapján felhagyott kínai szikes szántón ..	127
4.5.3. A talaj sótartalmának becslése a növényi fajösszetétel alapján egy kubai legelőn	140
4.5.4. Indiai öntözött talajok szikesedési állapotának vizsgálata terepi reflektancia méréssel	145
4.5.5. Elvadult radzsasztháni (India) <i>Prosopis juliflora</i> bozót eltérő szikesedési állapotú foltjainak elhatárolása nyomtatott hamis színes műholdfelvétellel	157
5. A DISSZERTÁCIÓBAN ISMERTETETT KUTATÁSI EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA	162
6. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK FELSOROLÁSA	173
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	175
8. FELHASZNÁLT IRODALOM	177

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

1.1. BEVEZETÉS

Aki valaha is tüzetesen megszemlélte egy szikes területet, legyen az szántó, legelő, vagy rét, szembesült azzal, hogy a kialakult közhellyel ellentétben az alföldi szikes puszta nem unalmas, egyforma, hanem éppen ellenkezőleg, minden térléptékben foltokra, övezetekre bontható a felszínen és a felszín alatt is. A szikes talajok ökológiai szerepét, illetve termékenységét alapvetően az oldható nátrium sók jelenléte határozza meg, emiatt egyszerűen áttekinthető rendszerek, ugyanakkor egyedülálló a rajtuk megfigyelhető mozaikosság. E jellegzetesség sokoldalú vizsgálata már több mint egy évszázada folyik.

A szikes talajok kutatása világszerte a talajtani kutatások első vonalába tartozik, mivel a szikesedés, elsősorban az öntözés következtében bekövetkező másodlagos szikesedés által befolyásolt területek nagysága egyre nő, emiatt a folyamat gazdasági jelentősége nagy. A szikes talajok kutatása szempontjából kedvező feltétel az, hogy a szikesedés jól vizsgálható terepi mérőeszközökkel is, így a folyamat térképi ábrázolása könnyen megvalósítható. Az elmúlt évtizedek jelentős összefoglaló munkái mellett (Kovda 1946; Kelley, 1951; Richards, 1954; Kovda et al., 1973; FAO, 1976; Bresler et al. 1982; Shainberg és Shalhevet, 1984; Ayers és Westcot, 1985) a legutóbbi években is láttak napvilágot kizárólag ezzel a tárgykörrel foglalkozó könyvek (Szabolcs, 1989; Tanji, 1990; Ghassemi et al., 1995; Chhabra, 1996; Sumner és Naidu, 1998; Rhoades et al., 1999), amely jelzi a téma iránt megmutatkozó folyamatos érdeklődést.

A hazai szikes kutatások során ugyanezen idő alatt szintén több száz közlemény és több könyv jelent meg. Kétségtől minden hazai talajtípus közül a szikes talajok kapták a legtöbb tudományos figyelmet annak ellenére, hogy a szikesek kiterjedése és gazdasági jelentősége meg sem közelíti a mezőszégi talajokét vagy barna erdőtalajokét. A szikesekre irányuló különleges figyelmet a huszadik századi sajátságos társadalmi változások és a talajtani tudomány fejlődésének időbeli egybeesése magyarázza meg.

Nincs rá hely, hogy a szikes talajokon végzett kiterjedt földrajzi, geológiai, talajtani, botanikai vizsgálatokat felsoroljam, vagy akár csak a lényegesebbekről beszámoljak. A korábbi munkákat áttekinti Szabolcs (1961 és 1979), Bodrogközy (1977) és Várallyay (1999). Ehelyett az általunk végzett munka közvetlen vizsgálati előzményeit ismertetem, mert ezekre alapozva határoztuk meg a vizsgálati célkitűzéseinket, vizsgálati területeinket és módszereinket is.

Vizsgálataink szorosan épültek a hazai kutatásokra, amelyek között meg kell említeni a következő kutatóközpontokat: az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetét, az Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézetet (megalapításától az 1980-as évekig), a szegedi József Attila Tudományegyetemet (földtani, földrajzi, botanikai és ökológiai vizsgálatok), a Magyar Állami Földtani Intézetet, a Debreceni Agrártudományi Egyetemet, illetve annak karcagi Kutató Intézetét, a szegedi Gabonakutató Intézetet, a sarvasi Öntözési Kutató Intézetet.

A dolgozatban ismertetett munka a szikes talajok tér- és időbeli változatosságával összefüggő olyan alap(kutatási) kérdéseket vizsgál, amelyek a kérdéskörrel találkozó kutatók számára rögtön felvetődnek. A kérdések nem újak, de az általunk adott válaszok annyiban azok, hogy túllépnek a kvalitatív értékelésen, minden esetben statisztikai számításokon alapulva kvantifikálják az összefüggéseket, és lehetőséget nyújtanak kiszámítható megbízhatóságú becslésre (predikcióra).

1.2. CÉLKITŰZÉS

A hazai szikesek kialakulásáról több, sokszor, egymással ellentmondásban álló elmélet létezik. Ezek érvényességét két térléptékben is tanulmányoztuk. Megvizsgáltuk, hogy mi a szikes talajok képződését befolyásoló tényezők szerepe és jelentősége egy néhány hektáros változatos megjelenésű szikes mintaterületen belül.

1.2.1. Az Alföld térléptékében azt kutattuk, hogy milyen tényezők határozzák meg a szikes talajtípusok elhelyezkedését. A következő kérdés az volt, hogy a talajképző tényezők ismeretében adott pontban milyen pontossággal tudjuk megbecsülni hogy ott a talaj szikes-e vagy nem.

1.2.2. Megvizsgáltuk, hogy milyen összefüggések vannak a szikes talajok egyes tulajdonságai között, mely fizikai tulajdonságok értékei mutatnak összefüggést a szikesek legfontosabb kémiai tulajdonságaival (sótartalom [salinity], nátriumosság [sodicity], alkalinitás).

1.2.3. A szikes talajok térképezése továbbfejlesztésének egyik lehetősége a növényzetnek mint kiegészítő adatforrásnak a felhasználása. Ezért vizsgáltuk, hogy miként lehet a szikes talajok tulajdonságait a növényzet alapján megbecsülni.

1.2.4. A szikes talajok térképezésének másik jelentős kiegészítő adatforrása a távérzékelte felvételek nagy bősége. Szükséges ismerni, hogy mennyiben járul hozzá a távérzékelés a szikes talajok tulajdonságainak becsléséhez azért, hogy felvételek alapján térben és attribútum értékben pontosabb térképeket készíthessünk.

1.2.5. A szikesedés folyamata időben változó. Az okszerű földhasználat és természetvédelem is igényli a talaj szikesedési állapota előrejelzésének lehetőségét. Ezért vizsgáltuk, hogy milyen tényezők befolyásolják a talajok sótartalmának időbeli változását.

1.2.6. Napjainkban a talajhasználati, a természetvédelmi, a környezetvédelmi problémák megoldásához digitális térinformatikai adatbázisokat használnak. Vizsgálatainkban arra a kérdésre kerestünk választ, hogy az alapvető, talajokra vonatkozó digitális térképi információk segítenek-e a társadalom által aktuálisan felvetett problémák hatékony megoldásában.

Az általunk követett megközelítés oknyomozó jellegű, és eljut a mechanisztikus becslésig, illetve előrejelzésig, amikor számszerűsíteni kívánja a talaj sótartalmát befolyásoló tényezők hatását.

Miután vizsgálataink eredményeképpen a hazai viszonyok között alapvető megállapításokat tettünk, vállalkoztunk arra, hogy a már kipróbált módszereket konkrét feladatok megoldására szubtrópusi-trópusi viszonyok között is alkalmazzuk.

2. A KUTATÁS KÖZVETLEN IRODALMI ELŐZMÉNYEINEK ÁTTEKINTÉSE

A szikes talajokról az utolsó önálló könyv, melyet magyarországi szerző publikált, az USA-ban jelent meg Szabolcs István tollából (Szabolcs, 1989). Ez a sokat idézett könyv

áttekintette a hazai szikesek problematikáját is, részben ismertetve a hazai kutatási előzményeket. A könyv megjelenése óta eltelt időszakban tovább folytatódott a szikesek kutatása és csupán – a hazai talajtani kutatások legfontosabb folyóiratában - az "Agrokémia és Talajtan"-ban több mint öt tucat szikes kutatással kapcsolatos közlemény jelent meg. Ez, az elmúlt 12 évet tekintve, öt cikket jelent évente, ami a folyóiratban évente megjelenő 20-30 cikket alapul véve jóval nagyobb arány, mint a szikesek 10 %-s elterjedési aránya az ország területéhez képest. Annak ellenére tehát, hogy időközben az MTA TAKI "Szikes talajok" osztálya megszűnt, és hogy a kiterjedt talajmeliorációs és talajjavítási tevékenységek megszűntek, a hazai szikes talajok kutatása továbbra is rendkívül termékeny és intenzív. Más országokban is kiugró tudományos figyelmet kap a szikesedés, az Egyesült Államokban ezt a jelenséget Letey (1984) is értelmezte.

Mivel a korábbi művek részletesen áttekintették a szikes talajok kutatásának történetét, a következőkben csupán a hazai kutatásoknak eddig összefoglalóan át nem tekintett, közelmúltban megjelent publikációit ismertetem (elsősorban az Agrokémia és Talajtan folyóiratra alapozva), mellőzve a saját kutatásainkat, és az egyes, a dolgozatban ismertetett kutatásokhoz közvetlenül kapcsolódó publikációkat, mert azokról a dolgozat későbbi fejezeteiben részletesen beszámolok.

Az elmúlt 12 évben többször emlékeztünk meg jeles hazai szikes-talajkutatóinkról. Arany Sándor emlékét két tanácskozás is felelevenítette, születésének 90. évfordulója alkalmából 1989-ben és születése 100 éves évfordulója alkalmából 1999-ben (Loch, 1990; Stefanovits, 1990; Szabolcs, 1990). A rendezvényen hangsúlyt kapott Arany Sándor máig ható eredeti megközelítése a szikes talajok kémiai vizsgálata (Darab, 1990), vízrendezése (Várallyay, 1990) és javítása (Filep, 1990; Nyíri, 1990) terén.

Nagy veszteség volt Szabolcs István és Darab Katalin 1997-ben bekövetkezett hirtelen halála, mivel ők meghatározó személyiségek voltak a hazai szikes talajok kutatásának.

2.1. ELMÉLETI ÉS TALAJKÉPZŐDÉSI KUTATÁSOK

Szabolcs (1994) áttekintette a szikesedés várható alakulását különböző időjárási scenáriókat feltételezve.

A szikesedés elméleti kérdéseit vizsgálta áttekintő cikkében Darab (1992). Munkája az 1970-as évekig követi a szikesedés kémiai és fizikokémiai elméleteinek történetét.

Filep és Rédlyné (1992) vizsgálta a pH és elektrolit-koncentráció hatását a talaj alumínium- és szilíciumvegyületeinek oldódására. Bócsai szoloncsák talaj mintákban a többi talajhoz hasonlóan a semleges pH tartománytól távolodva növekvő alumínium és szilícium koncentrációt mértek a vizes kivonatokban. Az oldat sókoncentrációjának szélsőségesen nagy értéke esetén az alumínium- és szilíciumkoncentráció igen kicsi volt.

Darab (1994) áttekintette a magnézium szerepét a szikes talajokban.

Blaskó és Karuczka (2001) szintén a magnézium hatását vizsgálta és megállapították, hogy a kicserélhető magnéziumtartalom növekedése jelentős csökkenést idézett elő a humusz stabilitási szám értékében. Igazolták, hogy a magnéziumtartalom növekedése kedvezőtlenül befolyásolja a kétórás kapilláris vízemelési magasság értékét. A kedvezőtlen fizikai hatások azonban a nátriumion jelenlétében erősebben nyilvánulnak meg, ha nincs elegendő mennyiségű kicserélhető kalcium a talajban.

Szendrei (1996 és 1999) áttekinti a szikes talajok mikromorfológiai jellegzetességeit 12 szelvény alapján, amelyek 5 talajtípust képviselnek. Az agyagmobilizálódást, agyagmozgást, humuszmozgást, alapanyag-kimosódást, beiszapolódást, vas-mangán mobilizálódást, karbonát kiválást, gipszkiválást és közet rétegzettséget tekinti a szikes talajok jellemző jelenségeinek.

A szikesedés egyik központi problémája a talajok kémiai és fizikai tulajdonságai közötti összefüggések megléte. Blaskó et al. (1995) ezt a kérdéskört érintette, amikor a szikes talaj széleróziós érzékenységét vizsgálta. Megállapították, hogy a többi vizsgált talajhoz képest kis humuszminőségi értékszámmal és kis kicserélhető Ca%-al jellemzett karcagi réti szolonyec deflációs érzékenysége a kötött talajok között a legnagyobb volt, és ez összefüggést mutatott a laboratóriumban meghatározott porosodási hajlammal.

Bakacsi és Kuti (1998) a MÁFI Apaji Mintaterületén elemezte a talaj sótartalmát meghatározó agrogeológiai tényezők jelentőségét.

A Richards (1954) által közölt ESP-SAR összefüggéshez hasonlóan számítottak tiszántúli talajokra Filep és Wafi (1993). Megállapították, hogy a becslő egyenletben a konstansok értékének eltérése az USA-ban és Magyarországon alkalmazott kicserélhető kation-meghatározási módszerek különbözőségére vezethető vissza. A telítési kivonat sókoncentrációja és a kivonat elektromos vezetőképessége közötti origóból kiinduló regressziós egyenletük meredeksége (797) igen közeli a Navarro és Valdes, 1991 által számított értékhez (786). A talaj nátriumkoncentrációja és elektromos vezetőképessége ismeretében a közölt egyenletek alapján egyszerűen becsülhető a talajok ESP értéke.

Filep (1999a) statisztikai számításokkal vizsgálta a szikes talajok egyes tulajdonságai közötti összefüggéseket. Igazolta, hogy a Rhoades (1989) által javasolt összefüggések hazai talajokon is megfelelő pontossággal teszik lehetővé a telítési kivonat elektromos vezetőképességének a paszta vezetőképessége alapján történő becslését. Értelmezi a pH értéknek a hígulással történő változását és ismerteti a pH és ESP közötti összefüggést. Javasolja a nemzetközileg elfogadott vizsgálati és értékelési módszerek bevezetését.

Fejes et al. (1995) bemutatja a geofizikai fajlagos ellenállás-szelvényezésnek a szikesedés felderítésére való alkalmazhatóságát. Számszerűleg az 50 ohmméter fajlagos ellenállás értéket tekintik a szikesedés határértékének, ennél kisebb érték esetükben a felszínközeli szikesedést jelezte.

Latkovicsné (2001) a szoloncsák-szolonyec és szolonyec talajok nitrogén-gazdálkodását tekintette át. Kimutatta, hogy a nagy sótartalom és a magas pH hatására a szoloncsák talajokban a nitrifikáció gátolt. A szerző javasolja a szikes rétek és legelők javítása érdekében azok öntözését és trágyázását, nitrogén és foszfor műtrágyákkal.

Bánszki (1992) ezzel szemben nem tapasztalt szignifikáns hatást szolonyeces réti talajon a foszfor műtrágya kiadásakor, a nitrogén-trágya viszont 99,7%-ban határozta meg a termést.

Várallyay (2001) ismerteti a hazai szikjavítás vázlatos történetét. Először leírja az 1928-as szikjavítási akciót, majd a Talajjavítási Nemzeti Vállalat háború utáni (1947-1952) tevékenységét. Részletesen foglalkozik az 1964-ben alapított Országos Talajjavító és Talajvédelmi Vállalat szerepével és a térségi melioráció keretében végzett talajjavítással. Javasolja országos Talajvédelmi Stratégia létrehozását amely az EU-konform agrár-stratégia alapvető komponense kell, hogy legyen.

Filep (2001) a szikes talajok javítóanyag-dózisának számítására használatos módszereket hasonlította össze. Az elméleti alapok áttekintése után a kicserélhető nátrium-mennyiség csökkentésére alkalmas gipsz adagjának meghatározására szolgáló laboratóriumi módszerek eredményeit az elméleti számítás eredményével hasonlította össze. A laboratóriumi módszerek közül a Schoonover módszer bizonyult a legmegfelelőbbnek.

Molnár (1999) a Duna-Tisza köze szikes tavainak képződési viszonyait tekinti át. Ismerteti a tavak feltételezett képződési korát és felhívja a figyelmet a tóvíz és talajvíz paramétereinek közötti összefüggésre.

2.2. ÖNTÖZÉssel ÉS VÍZRENDEZÉssel KAPCSOLATOS KUTATÁSOK

Az öntözővizek minősítési rendszerét Filep (1999b) tekintette át. Ismertette az öntözővizek minősítésének szempontjait, elsősorban a sótartalom és nátriumtartalom szempontjából, és bemutatta az általa javasolt minősítési rendszert, amely a víz sótartalma és nátriumossága (Na% és SAR) alapján sorolja be az öntözővizeket. Megmutatta, hogy a nátriumosság-mutatók a sókoncentráció ismeretében egymásból számíthatók.

A fenntartható öntözés megvalósíthatóságának vizsgálatára Darab, Rédlyné és Csillag (1994) sómérleg számítási módszert javasolt.

Duna-völgyi szikes területeken vizsgálta az öntözés hatását Harmati (1996). Megállapította, hogy a vizsgált négy év folyamán sem a talajvízzel, sem a belvízcsatornákkal elvezetett vízzel történő öntözés nem okozott jelentős sótartalom változást az eredetileg is szikes talajban. Az előforduló sziki mézpzásit nem károsodott az öntözés miatt, a kiadott 160 kg/ha hatóanyag-tartalmú N műtrágya a termést 0,5-ről mintegy 2-3 t/ha-ra növelte, és ehhez 70 kg/ha hatóanyag-tartalmú P műtrágyát adva a termés mintegy 5 t/ha lett. Megállapította, hogy „a talajvíz sótartalma az adott helyeken a talajra nem gyakorolt befolyást”.

A karcagi 13 éves liziméteres kísérlet sómérlegét Karuczka (1999) számította. Eredményei rámutattak a talajvízforgalomból származó sómérleg-változás jelentőségére. Számszerűen bizonyította, hogy „száraz években a ...sófelhalmozódás a magasabb talajvízszintnél jelentősebb, nedves években a... kilúgozódás a vízszint süllyedésével fokozódik”. Megmutatta, hogy a növényi sófelvétel nagyobb mint amennyit a műtrágyák és az öntözés alkalmazása eredményezett.

A kettős hasznosítású drénhálózat hatását vizsgálta Filep és Wafi (1992) szikes altalajú területen.

A Duna-völgyi szikes talajok és a talajvíz közötti összefüggéseket vizsgálta Harmati (2000b). Felhívja a figyelmet arra, hogy a kilúgzási folyamatok miatt a talajvíztömeg felső részén a sókoncentráció nagyobb. Vizsgálatai alapján nem csupán a talajok, de a talajvizek sótartalma is csökkent a vízrendezések következtében, mivel a mélybevágású csatornák jelentős mennyiségű sót szállítottak el.

Cserni (1998) jemeni sivatagi talajok kilúgzása során szerzett tapasztalatait közli.

2.3. SZIKESEDÉSI MODELLEK ALKALMAZÁSA

Kremper és Filep (1999) a sómozgást leíró numerikus modell laboratóriumi modellkísérletekkel történt verifikálásának eredményeit mutatja be.

A Közép-Tisza vidéki sófelhalmozódás előrejelzése céljából készült a SALINEXP Szakértői Rendszer (Fehér et al., 1999). Az eltérő időjárási eseménysorozatok (szcenáriók) feltételezett hatását öt talajtípus esetén vizsgálta a szakértő csoport tevékenysége alapján megalkotott rendszer. A talajvízszint-csökkenés hatásaként a talajok lassú elsziktelenedését jósolták, mivel a száraz időszak nem kedvez a gyors kilúgzásnak.

2.4. A SZIKES TALAJOK ÉS A NÖVÉNYZET KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK VIZSGÁLATA

Murakeözy et al. (2001) a sóvirág (*Limonium gmelini*) prolin felhalmozásának élettani szerepét vizsgálta és nem talált egyértelmű összefüggést a prolintartalom és az ozmotikus potenciál között

A szikes talajok típusai és a növényzet összefüggését vázlatosan ismertette Szodfridt (1991).

A szikes területek kémiai tulajdonságait számos szerző igyekezett növényzetük alapján megbecsülni. Az utolsó ilyen rendszer 1994-ben jelent meg (Imre, 1994) a karbonátos szódás sziki legelőkre. A kategóriák jellegében valamint a növényzeti és a kémiai tulajdonságok értékei alapján is ez a rendszer nem különbözik lényegesen az először 'Sigmund, majd Magyar, később Tury által javasolt osztályozási rendszerektől.

A szikesek növényzete szempontjából is figyelemre méltó felvetést tett Tölgyesi (1995). A szerző két élőhelyen is a talaj mozaikosságát az előforduló fajok különbözőségére vezette vissza.

A szikeseken a talaj-növényzet vizsgálata igen hosszú hagyományra tekinthet vissza világszerte és Magyarországon is. Ebben a témában Mile et al. (2001) publikált legutoljára. Megmutatták a domborzati helyzetnek a növényzet zonációjában betöltött szerepét, és bebizonyították, hogy a növényfajok borításértékei* és a talajtulajdonságok alapján végzett klaszterelemzésben az elkülönülő négy-négy csoport egyértelműen azonosítható a vizsgált Péteri-tó mellett megfigyelhető négy magassági-növényzeti-talajtani zónával.

2.5. A SZIKESEK ELTERJEDÉSÉNEK REGIONÁLIS VIZSGÁLATA

A talajok sófelhalmozódását regionális léptékben mutatja be Várallyay (1999). Sorban tárgyalja a sófelhalmozódás legfontosabb tényezőit és törvényszerűségeit, különleges hangsúlyt fektet a szikes talajok fizikai sajátosságaira.

2.6. A SZIKESEDÉSI ÁLLAPOT IDŐBELI VIZSGÁLATA

Tóth (2001) a szikpadkák alakjának változását vizsgálta két év folyamán. 0-5 cm/év padkaperem hátrálást tapasztalt a négy Hortobágy melletti mintaterületen. Megállapította, hogy a nyári záporok nagyságrendekkel nagyobb eróziót okoznak a kis intenzitású esőkhöz viszonyítva. Jelentős eróziós tényező az intenzív legeltetés és az egyéb felszínmélyítő tevékenység.

A karcagpusztai „komplex meliorációs modelltelep” vizsgálata alapján Blaskó (1999) számszerűsítette a talajjavítás hosszú távú hatását. Felhívta a figyelmet a meszes altalajterítés kedvező hatására, és javasolja a mélyebben kilúgzott, meszes anyagokkal javítható szikes talajok meliorációját.

A talajok sófelhalmozódását illetően Kalmárné (2000) csekély csökkenésről számolt be az 1938-as évet követő 50 év folyamán a Körös mentén. Ismerteti a talajok magassági zonalitását. Ezen a területen a „tipikus” csernozjom-szikes-réti talajláncolat „lefejezett”, 84 m felett a szolonyeces réti talajok, 83,5 m alatt korábban láp, most réti talajok váltják egymást.

Harmati (2000a) megállapította, hogy a Duna-Tisza közén elvégzett vízrendezéseket követő 70 év folyamán a talajok sótartalma, pH-értéke, nátriumossága, fenolftalein lúgossága jelentősen csökkent. Az első 20 év folyamán nem volt nagy változás, de később a belvízlevezető csatornarendszer kiépítésével, különösen az 1970-es évektől gyorsult fel a kilúgozás. A korábbi szoloncsák talajok szoloncsák-szolonyec talajokká alakultak. A *Puccinellia limosa* helyett a *Festuca pseudovina* lett az uralkodó növényfaj.

Harmati (2000c) értékeli az ország utolsó nagy, 422 000 ha-nyi mocsaras területének, a Duna-völgynek a lecsapolása, majd vízrendezése következtében lejátszódó talajvízszint-változást. Megállapítja, hogy a talajvíz főként télen van nyomás alatt. A

* Olyan változó amelyik megadja, hogy egy növényfaj a mintavételi kvadrát hányad részét tölti ki

csapadéknak a talajvíz szintjét emelő hatása főként télen jelentkezik. A mély bevágású lecsapoló csatornák a talajszelvény alatti vastag kavicsréteg következtében gyorsan kiegyenlítik a talajvízszint és a csatorna vízszintje közötti különbséget. Szerző az okszerű talajhasználat szempontjából megfelelőnek tartja a jelenlegi talajvízszint-szabályozást.

Bakacsi (2001) 22 évet átfogó vizsgálatában jellemzi és értelmezi a talajvízszint-változást apaji mintaterületén. Szerző véleménye szerint a területen három vizsgált magassági övezetben ($< 95,5$ m, $95,5-96$ m, és >96 m) is megfigyelt talajvízszint-csökkenés a sztyeppesedési folyamatoknak kedvez.

A szikes talajok regionális távérzékelésének tematikájában publikált Szabó J. et al. (1999).

2.7. KÜLFÖLDI SZIKESEKRŐL MEGJELENT BESZÁMOLÓK

A hazai munkákon kívül számos külföldi szerző publikált szikes tematikájú cikkeket Indiából (Lal és Lal, 1990, Yadav, 1994), thaiföldi tapasztalatokról számolt be nemzetközi szerzőgárda (Takai et al., 1990), egyiptomi (Younes et al., 1993), szíriai (Al Saleh et al., 1990), albán (Garo, 1991), kubai szikesekről (Navarro és Valdes, 1991), horvát szolonyecokról (Adam, 1991), spanyol tengerparti mocsarokról (Abad-Franch és Battle-Sales, 1993), dél-ukrajnai sófelhalmozódási folyamatokról (Hohlenko, 1992), mongóliai szikesekről (Pankova, 1994), oroszországi szikesekről (Pankova et al., 1995) írt közleményt.

Összefoglalóan elmondható, hogy a hazai szikesek kutatása széles spektrumú, az elért eredmények az agrártermelés, az ökológia, a természetvédelem, de az elméleti talajtan és a földrajztudomány szempontjából is figyelemre méltóak és jól illeszkednek a társadalmi kihívásokhoz és a korszerű szakmai irányvonalakhoz.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A talajmintavételi tervek a kitűzött célokkal összefüggésben készültek. A térbeli variabilitás-vizsgálatok során legtöbbször véletlenszerű beágyazott (nested random) mintavételi tervet használtunk, amely megengedte, hogy a mintavétel térbelileg reprezentatív legyen, ugyanakkor a véletlen változatosság leírását is lehetővé tette. A térinformatikai vizsgálatok során a mintavételi terveket összetett számítások, numerikus szimulációk alapján hoztuk létre. A növényzettel és távérzékeléssel kapcsolatos vizsgálatok során az adott vizsgálati objektum jellemzésének megfelelő reprezentativitású mintavételt végeztünk. A négyelektródos sómérő (terepi talaj-elektromos-vezetőképességmérő) kalibrálását a műszer hossz tengelye mellett elhelyezett két furatban vett minták adott mélységenkénti egyesítésével kapott mintákban végeztük.

A mintavételi pontok koordinátáját térképi tájolással, illetve terepi műholdas lokalizációs műszerrel, nagyobb pontosság igény esetén pedig mérőállomással határoztuk meg.

A mintavétel mélységét a talajképződési vizsgálatok során a feltárt szelvények genetikai szintjei határozták meg. A művelt területeken és a természetes növényzettel való összefüggést vizsgáló tanulmányok, valamint az időbeli változással kapcsolatos vizsgálatok során meghatározott mélységenként vettük a talajmintákat kézi fúróval. A távérzékelési vizsgálatok során a felszíni rétegre korlátoztuk a mintavételt.

A talaj és növényminták vizsgálatra történő előkészítése a szabvány szerint történt.

A vizsgálatok során a hazai és nemzetközi szikes kutatási gyakorlatban elterjedt vizsgálati módszereket használtuk, mind a terepen, mind a laboratóriumban.

A terepi vizsgálatok folyamán a talajszuszpenziók elektromos vezetőképességét és pH-ját helyszíni műszerekkel határoztuk meg. A talaj színét Munsell-féle színtáblával határoztuk meg, a talaj penetrométeres ellenállását kézi rugós penetrométerrel mértük. A talaj helyszíni elektromos vezetőképességét a 0-40 cm-es mélységre vonatkozóan négyelektrodos sómérővel határoztuk meg.

A laboratóriumi vizsgálatok folyamán a talaj szikesedési állapotának jellemzésére a talajváltoztatosság és időbeli vizsgálatok során 1:2,5-es talajszuszpenziót használtunk, és abból határoztuk meg az elektromos vezetőképességet, pH-t és pNa értéket is. Egyéb talajparamétereket a szabványok szerint vizsgáltunk.

A távérzékeléses vizsgálatok során fekete-fehér és színes légifényképeket, műhold digitális állományokat, illetve papírképeket használtunk. A terepi reflektometriai vizsgálatokat hordozható reflektométerrel végeztük.

A növényzet jellemzését a Braun-Blanquet iskola által bevezetett társulástabella alapján végeztük.

A mérési adatok gyűjtését, rendezését, feldolgozását táblázat- és adatbáziskezelő programok segítségével végeztük.

A statisztikai vizsgálatok során minden esetben legelőször előzetes adatelemzést végeztünk az adatok eloszlásának, szórásának, összefüggéseinek feltárására. A hipotézisek vizsgálatára variancia analízist, korreláció elemzést, regresszióelemzést, diszkriminancia-analízist használtunk. A kategória-változók összefüggésének szorosságát a keresztábrázlatban számolt bizonytalansági tényező értéke alapján határoztuk meg. A nemparaméteres próbák közül a Kendall-féle tau-b korrelációs vizsgálatot és a Mann-Whitney próbát használtuk. A nominális változók numerikussá alakítására a HOMALS algoritmust használtuk. A változók közötti összefüggést nominális és numerikus változók együttes vizsgálata esetén regressziósfa technikával vizsgáltuk.

A változók térbeli függésének vizsgálatára a geostatistika módszertanát, a szemivariogram-analízist, krigelést használtuk.

A munkák során az ArcView térinformatikai rendszert használtuk az összetett térbeli elemzések és statisztikai értékelések végrehajtásakor.

Az egyes konkrét vizsgálatok módszertanát az adott fejezetben ismertetjük.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A SZIKES TALAJOK TÉRBELI VÁLTOZATOSSÁGA MINT A TALAJKÉPZŐDÉSI FOLYAMATOK IRÁNYÁNAK ÉS ERŐSSÉGÉNEK INDIKÁTORA

A szikes talajok képződésének nincs általánosan elfogadott, mindenütt érvényes elmélete, koncepcionális vázlata. Ennek oka az, hogy a szikes talajok igen eltérő módokon képződhetnek.

A nyugati áttekintő talajtani szakirodalomban főleg a sóforrást és a kémiai változásokat tárgyalják (Richards, 1954, Bresler et al., 1982, Tanji, 1990, Sumner és Naidu, 1998). Kovda et al. (1973) ezzel szemben a talajképződési tényezők szerint tekinti át a szikes talajok kialakulásának feltételeit, de külön felhívja a figyelmet a talajvízből történő sófelhalmozódásra, ezzel kapcsolatban ismerteti a kritikus talajvíz sótartalom és kritikus talajvízszint fogalmát. Előbbi az a sótartalom, amelyik felett a talaj elszikesedik és a növényi növekedés csökken. A második, a hazai szakirodalomban is ismeretes fogalom, az a talajvízmélység, amely felett – a kapillárisan a felszín közelébe jutott sók következtében – a talaj sótartalma megnő és a növényi növekedés csökken. A kritikus talajvízszint esetén például mutatja meg, hogy a talajvíz 10-15 g/l sótartalma esetén az mintegy 2-2,5 m, de 1-

2 g/l sótartalom esetén 1-1,5 m is lehet. A Kovda et al., 1973 által javasolt becslő képlet (kritikus talajvízszint_{cm} = 170 + 8x ÉVI ÁTLAG HŐMÉRSÉKLET ±15) alapján mintegy 250 cm az alföldi kritikus talajvízszint.

A hazai szikes talajok sófelhalmozódási folyamatait számos közlemény tárgyalja, többnyire a Kárpát-medence, földrajzi körzetek és vízgyűjtők térléptékében taglalva a folyamatokat, de nem a mezőgazdasági táblák térléptékében. A toposzekvencia jelentőségét hangsúlyozta Kreybig és Endrédy (1935), a felszínalatti rétegek szerepéről értekezett 'Sigmond (1927) és Scherf (1935). A sófelhalmozódás többoldalú, általános tárgyalását Endrédy (1941), Darab (1967), és Várallyay (1967) végezte el.

Vizsgálataink során a mintaterületek méretétől, illetve az ezzel összefüggő térképi méretaránytól függően választottuk meg a vizsgált változók típusát. A vizsgálati terület kiterjedésének csökkenésével - és ezzel együtt természetesen egyre növekvő méretarányával - párhuzamosan egyre inkább számszerű tulajdonságokat vizsgáltunk. Különösen szembetűnő ez az alföldi méretarányal összevetésben, amikor nominális volt a függő és számos független változó is.

4.1.1. A talaj kémiai tulajdonságainak horizontális és vertikális változása hortobágyi szolonyec talaj szelvényében[#]

Szabolcs (1966), szerint a réti szolonyecek típusa az A szint vastagsága, illetve mélysége szerint altípusokra bontható. Az osztályozás nem tér ki arra, hogy az A szint alatt húzódó B szint tulajdonságai az egyes altípusok között mutatnak-e különbséget vagy sem. Ezért kívántuk a közepes és kérges réti szolonyecek B szintjeinek egyes kémiai tulajdonságait megvizsgálni.

Gyakran kritika illeti azokat, akik a szolonyec talajokból a mintákat nem genetikai szintenként, hanem előre meghatározott mélységekenként (0-10, 10-20 cm stb.) veszik, mivel rendszerint így a genetikai szintek tulajdonságai nem tanulmányozhatók, hiszen azok a mintavétel közben összekeverednek. Ez a megközelítés feltételezi, hogy a genetikai szintekben a fizikai és kémiai tulajdonságok horizontálisan és vertikálisan is homogének. Ezért fontos a kérdés, hogy nagy térbeli felbontást (azaz kis mintavételi távolságot) használva, milyen a talajtulajdonságok vízszintes és függőleges változatossága.

Amellett, hogy a talajtulajdonságok befolyásolják a növényzet összetételét, az egyes növények is hatnak a talajtulajdonságokra, (Tölgyesi, 1995). Szikes talajon Roberts (1950) vizsgálata szerint a sós félsivatagon élő félcserjék a levelükben felhalmozott sótartalommal a levelek elhullatása után a növények közelében a talaj sótartalmát növelték. Ha van a növényeknek ilyen hatása, akkor a növényi indikáció elméleti sémája módosul, ezért tartottuk lényegesnek e problémakör vizsgálatát.

A fenti három kérdésnek a megválaszolásához szükséges a növény - talaj korreláció nagy térbeli felbontású vizsgálata, és ez segít a kisebb felbontású vizsgálatok eredményeinek értelmezésében. A vizsgálatra a növényzet és a felszíni formációk alapján egy reprezentatívnek tekintett szikpadka-szikfok átmenetet választottunk. Itt a várakozásnak megfelelően az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** növénytársulás alatt közepes réti szolonyecet, és a vakszik* illetve szikfok** alatt kérges réti szolonyec talajt találtunk.

[#] A fejezetet a Tóth, Langohr és Labrada (2002) publikáció alapján írtam.

* Növényi társulásnév, hivatalos megnevezése „bárányparéjos vakszik növényzet” (**Camphorosmetum annuae**). A szikes mikrodomborzatnak az a része ahol a talaj kopár. Padkásszik esetén közvetlenül a padkalejtő melletti övezet, legtipikusabb növénye a bárányparjé (*Camphorosma annua*), talaja kérges réti szolonyec.

Mindhárom kérdés megválaszolásához cm-es felbontású mintavételi technikára és cseppelemzőre volt szükség.^{##}

A mintavételt és a terepi munkákat a Hortobágyi Nemzeti Park területén, Nyírólaposon végeztük 1992. augusztus 28-án a 33-as műút 84-es km-kövének körzetében. A terület a tiszántúli szolonyec talajok „klasszikus” mintaterülete, a réti szolonyec talaj tipikus bemutató szelvénygödre itt található. Itt hosszú idő óta folynak különböző célú talajtani vizsgálatok (Excursions, 1965; Szendrei, 1983; Oertli és Müller, 1985; Rajkai et al., 1986; Oertli és Molnár, 1986; Marchand, 1987; Rajkai et al. 1988; Oertli és Rajkai, 1988; Rajkai 1988; Kertész et al., 1990; Tóth és Kuti 1999a és b).

Padkásszikes területen egy 2,3 m hosszú kereszt-szelvényt jelöltünk ki (4.1.1.1. ábra), és a szelvényfal mellett közvetlenül előforduló növényeket térképre rajzoltuk. A szelvényben a lehetséges talajrétegeket elhatároltuk és morfológiailag jellemeztük. A talajrétegek színét Munsell színtáblázattal határoztuk meg. A feltüntetett helyeken részletesebb vizsgálatokhoz mintákat (EC_{2,5} és pH mérés 1:2,5-es szuszpenzióban) és két kismonolitot vettünk. Kismonolitnak neveztük a talajfelszíntől mintegy 10 cm mélységig lenyúló, hozzávetőlegesen 10 * 10 cm felületű talajhasábokat.

Mintegy 8 hónapos száradás után vettük a mintákat a kismonolitok falán. Részletes szerkezetleírás után (Tóth et al., 2000) 1,5 cm-es távközü rácshálóban 49 illetve 44 mintát vettünk a két kismonolit függőleges faláról. A mintákból 1:2,5-es szuszpenziót készítettünk és 16 órai állás után mértük a felulúszóban a pH-t illetve az elektromos vezetőképességet (EC_{2,5}). Mivel a kismonolitból csak kis mennyiségű mintát tudtunk venni (0,5-1,4 g), ezért ezek pH-ját és EC_{2,5}-jét ugyanolyan előkészítés után mikrotérfogató mintákban történő mérésre alkalmas pH és EC mérővel határoztuk meg (Horiba, év nélkül).

Kismonolitonként 3-3 elkülönített rétegben összevont mintát vettünk. Ezekből 1:5 vizes kivonatot készítettünk, és az ionösszetételt elemeztük. A kalcium- és magnéziumtartalmat komplexometriás titrálással, a nátrium- és káliumtartalmat lángfotometriás méréssel, a kloridtartalmat argentometriás, a karbonát- és hidrogén-karbonáttartalmat alkalimetriás titrálással határoztuk meg. A szulfáttartalmat a kationösszeg és a három mért anion összege alapján kivonással határoztuk meg.

A talajszelvény helyszíni morfológiai és laboratóriumi kémiai vizsgálata kérges- és közepes réti szolonyec talajokat mutatott ki.

A szelvény közelében a talajvízszint a szelvénytől keletre az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** növénytársulás alatt 162 cm, a szelvénytől nyugatra pedig a **Puccinellietum limosae** társulás alatt 147 cm-re volt. A két felszín különbsége ugyanakkor 15 cm. Leszták és Szabolcs (1959) szintén egy hortobágyi padkásszik komplexum (a különböző tereplépcsők egymásmelletti övezeteinek együttese) vizsgálata során ezzel szemben a szikfok alatt felfelé domborodó talajvízszintet talált.

^{**} Növényi társulásnév, hivatalos megnevezése „mézpázsitos szikfok növényzet” (**Puccinellietum limosae**). A jórészt kopár felszínben mélyedések alakultak ki, ahol a víz összegyűlik, részben elfolyik, más része elpárolog, legtipikusabb növénye a sziki mézpázsit (*Puccinellia limosa*), talaja kérges réti szolonyec.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-a vizsgálat koncepciójának kidolgozása

-Elemzés

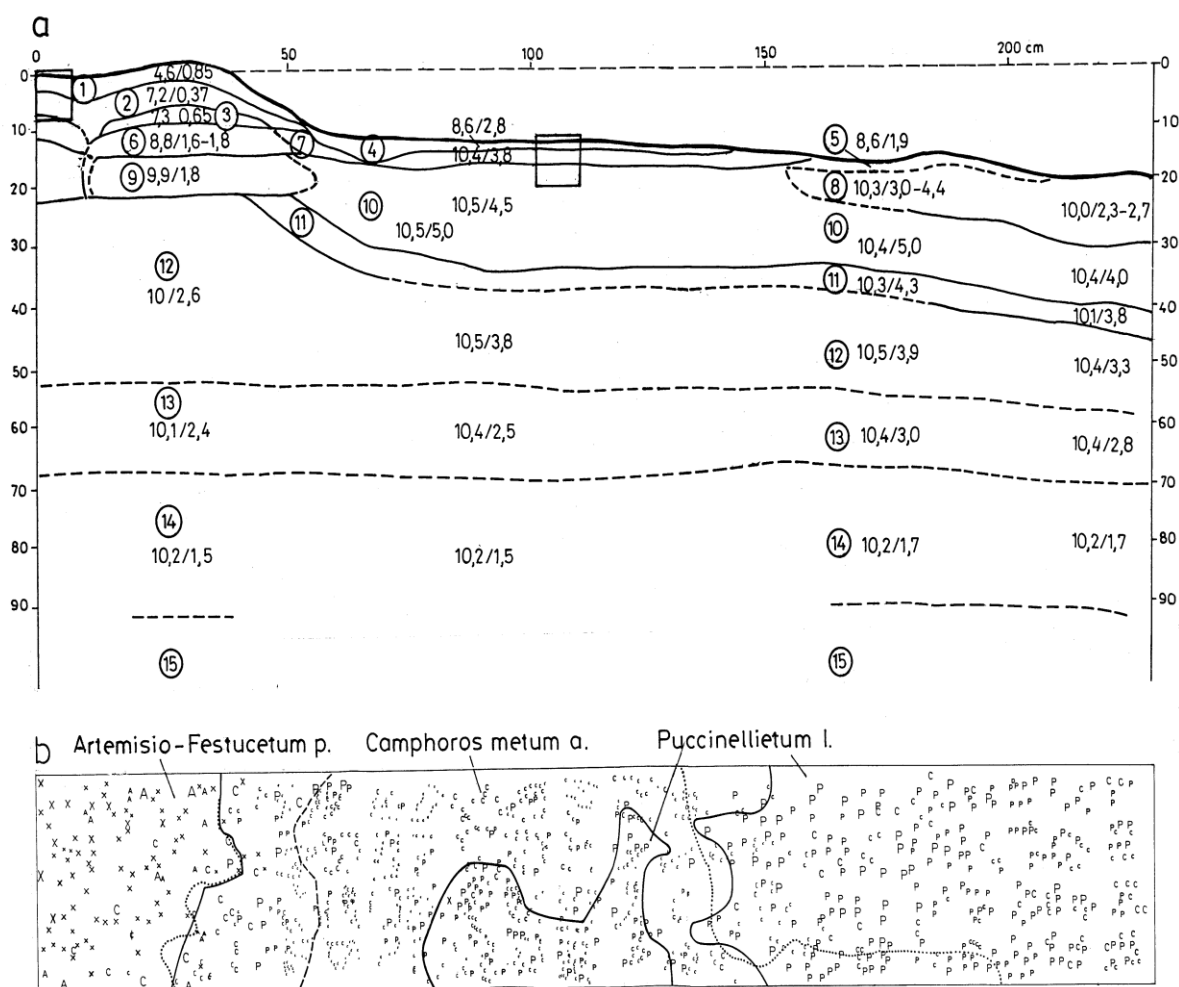
-helyszíni réteg-leírás

-terepi mintavétel

-laboratóriumi kémiai elemzések

-összefüggésvizsgálat

A felsorolás alapján ítélhető meg, hogy a többnyire együttműködőkkel végzett kutatásokban mennyi volt a szerepem, mivel a félkövéren szedett lépések szakmai kivitelezése az én feladatomból volt.



4.1.1.1. ábra. A szelvénygödörben elkülönített rétegek (a) és a szelvény mentén előforduló növényegyedek (b)

Jelek

(x) a réteg sorszáma, (x/y) az első szám a pH és a második szám az 1: 2,5 (talaj:víz) pH szuszpenzióban mért $EC_{2,5}$ értéke, □ a kismonolitok helye

A - *Artemisia maritima*

X - *Festuca pseudovina*

C - *Camphorosma annua*

P - *Puccinellia limosa*

ç - *Carex stenophylla*

--- a növényi asszociációk határvonala

-- a sziklanka határa

... a mohaborítás keleti határa az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-ben és a *Nostoc commune* borítás nyugati határvonala a **Puccinellietum limosae**-ban

A növényi egyedek jelének nagysága arányos a növények nagyságával.

A szelvény a vegetációs téglalap északi szélén helyezkedik el.

A talajvízminták vizsgálata szerint a pH 8,7, az EC 4,0 mS/cm volt az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**, illetve a pH 8,4, és az EC 1,5 mS/cm volt a **Puccinellietum limosae** alatt. A különbség oka a nátrium koncentrációja. Az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** alatt 42,2 meq/l volt a nátrium ionkoncentráció, míg a **Puccinellietum limosae** alatt 15,2 meq/l. Leszták és Szabolcs (1959) ezzel ellentétes eredményt kapott. Az ő esetükben a szikfok alatt a sótartalom 1,5-szer magasabb volt, mint a szikpadka alatt.

Leszták és Szabolcs (1959) (október végén meghatározott) eredménye összhangban áll a vakszik alatt feltételezett nagyobb párolgással, és a szikpadkán pedig a nagyobb beszivárgással, melynek eredményeként a padka alatt a talajvíz felhígulhat. Az általunk megfigyelt különbségek abból eredhettek, hogy nyáron a talajrepedések miatt a csapadék a szikfokon nyelődik el és ott ennek következtében időről-időre lecsökken a sótartalom. Bár a megfigyelések ellentmondóak, abban megegyeznek, hogy kis távolságon belül jelentős különbségek mutatkoznak a talajvíz-összetételben.

A szelvényben a legnagyobb sótartalmat és pH értéket a **Camphorosmetum annuae** alatti B talajszintben találtuk (4.1.1.1.a ábrán 10-el jelölve). A felszín alatt 70 cm-nél mélyebben a pH és EC_{2,5} az elkülönített növényzeti típusok, illetve felszíni formációk alatt lényegében egyöntetű volt. Anderson (1987) megfigyelése szerint a kanadai szolonyec talajok felszíni rétegei alatt is homogén altalaj húzódik.

A felszínhez közelebb, mindenekelőtt közvetlenül a felszín alatt a pH és EC_{2,5} jelentősen eltért az egyes társulások alatt, amely megítélésünk szerint a talajnak az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** alatt bekövetkező kilúgzódásával magyarázható.

Bár a hagyományos talajtani megnevezés (kérges és közepes réti szolonyec) arra utal, hogy a kétféle réti szolonyec között csupán az A szint vastagságában van különbség, a talaj szerkezete jelentősen eltért a két kisonolitban. A szolonyec talajok humuszos szintje vastagságának közismerten nagy a jelentősége a növények fejlődése és a talaj kémiai tulajdonságai szempontjából is. Vizsgálatunkat így a két altípus között a B szint szerkezetében és kémiai tulajdonságaiban meglévő különbségekre összpontosítottuk.

Glazovskaya (1983) elkülöníti a szolonyecok több fejlődési fokozatát. A korai fejlődési szakaszban a kilúgzási szint vastagsága 3-5 cm. A további kilúgzás hatására 10-15 cm vastagságú a kilúgzott szint. A szolonyecok fokozódó kilúgzása során a szolonyeces B szint felső részében az oszlopos szerkezet felbomlik és ilyenkor a B szint 20-25 cm mélységben jelenik meg.

Esetünkben a kérges és közepes réti szolonyec esetén eltérő volt a B szint szerkezete, mert a kérges réti szolonyecben a hagyományosan B-nek nevezett réteg további rétegzettségét mutatott. Szabolcs (1954) írja, hogy a mély és közepes szolonyecok B szintjében szépen fejlett oszlopok találhatók, a kérges réti szolonyecok B szintjében azonban a talajszerkezet "göröngyös". Favrot et al. (1992) és Tessier et al. (1992) a reliefen szomszédos helyzetet elfoglaló, a nyírlaposinál sokkal kisebb pH-jú szelvényekben vizsgálta az eltérő szerkezetesség okát. Elméletük szerint a magasabb helyzetben azért alakul ki prizmás szerkezet, mert itt a kationok kimosódása után a szmektit típusú anyagásványok elmállottak. Az alacsonyabb térszínen a hidromorfizmus miatt további szmektitke keletkeztek, és ennek következtében vertisolra jellemző szerkezet alakult ki. A talajnedvesség és a szmektitke megmaradásának összefüggéséről Kapoor et al. (1986) is hasonlóan vélekedik.

A kisonolitokban mért pH és EC_{2,5} (mS/cm) értékeket a 4.1.1.1.táblázatban mutatjuk be.

A talajok függőlegesen igen nagy változatosságot mutattak, a legnagyobb különbség a szolonyeces B szint felső határánál 1,5 cm mélység különbség esetén 2,2 pH egység, 9 cm mélység különbség esetén 3,8 pH egység volt (4.1.1.1.b táblázat). Ehhez képest a legnagyobb vízszintes különbség a szomszédos pontok esetén 0,9 pH egység, 9 cm távolságon 1,3 pH egység volt a homogénnek feltételezett A szintben (4.1.1.1.a táblázat). A szolonyeces B szinten belül a függőleges és vízszintes pH-különbségek (4.1.1.1.b táblázat)

4.1.1.1.táblázat. A két kismonolit 1:2,5 szuszpenziókban mért pH és EC_{2,5} értékei a szintek feltüntetésével

a. Közepes réti szolonyec

Mélység (cm)	Vízszintes távolság (cm)											
	0		1,5		3		4,5		6		7,5	
	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}
0	7,4	0,3	7,0	0,2	6,1	0,2	6,8	0,2	6,5	0,2	6,5	0,2
1,5	6,9	0,3	7,1	0,2	7,1	0,1	6,9	0,1	7,0	0,1	6,9	0,3
3	6,3	0,2	7,1	0,2	7,2	0,2	7,0	0,1	7,2	0,2	7,2	0,2
4,5	7,2	0,3	7,3	0,2	7,2	0,2	7,4	0,3	7,3	0,3	7,3	0,3
6	7,5	0,9	7,3	0,9	7,1	0,7	7,3	0,6	7,1	0,9	7,2	0,7
7,5	9,2	0,8	9,0	0,7	8,9	0,7	8,5	0,9	8,2	0,9	8,6	0,9
9	10,1	0,7	9,7	0,5	9,9	0,8	9,5	0,8	9,7	0,8	9,9	1,1

b. Kérges réti szolonyec

Mélység (cm)	Vízszintes távolság (cm)											
	0		1,5		3		4,5		6		7,5	
	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}	pH	EC _{2,5}
0	8,2	2,6	8,7	2,0	8,0	2,5	7,7	1,9	8,2	1,3	8,5	1,2
1,5	9,9	3,4	10,4	1,8	9,9	2,2	9,9	3,9	10,0	3,1	10,3	2,6
3	10,3	2,6	10,4	2,0	10,2	1,6	10,4	3,4	10,4	3,5	10,4	3,0
4,5	10,3	2,6	10,4	3,0	10,5	3,1	10,3	2,4	10,3	2,6	10,7	2,5
6	10,3	2,6	10,4	2,6	10,5	2,4	10,4	1,9	10,6	1,9	10,6	2,4
7,5	10,5	3,1	10,6	4,4	10,5	3,9	10,5	4,0	10,8	4,2	10,8	5,4
9			10,5	3,8	10,5	3,7	10,5	3,6	10,5	3,7	10,7	3,9
10,5							10,6	4,7	10,7	3,8	10,7	4,2

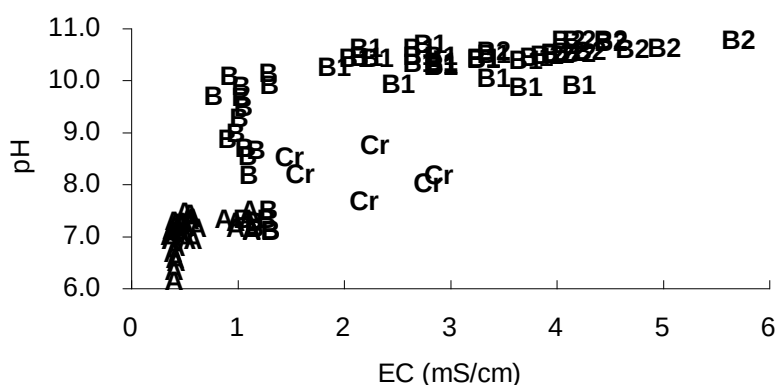
kisebbségek voltak mint az A szinten belül (4.1.1.1.a táblázat). A felszínen már 1,5 cm-es mélységbeli különbségek is elegendőek ahhoz, hogy a kémhatás pH 6,7-ről pH 7,3-ra (4.1.1.1.a táblázat) és pH 7,7-ről pH 9,9-re (4.1.1.1.b táblázat) változzon. Az eredmények alátámasztják, hogy a szolonyec talajok rögzített mélységenkénti mintavétele igen különböző szinteket keverhet össze, ugyanakkor azt is megmutatják, hogy az így összekevert rétegek az EC és pH értékek szempontjából nem homogének. Példaképpen a szolonyec A szintjének sótartalma és pH-ja a mélységgel fokozatosan növekszik (4.1.1.1.a táblázat) és a talaj EC-je a szolonyeces B szinten (4.1.1.1.b táblázat) belül akár 3-szorosára is megnőhet. A szolonyeces B szinten belül a sótartalom változatossága nagyobb mint a pH-é (4.1.1.1.b táblázat). Vízszintesen a legkisebb mintavételi távolságon (1,5 cm) az 1:2,5 arányú talajszuszpenzió elektromos vezetőképességének legnagyobb eltérése 1,8 mS/cm volt, 9 cm-en belül a legnagyobb 2,3 mS/cm volt. Függőlegesen a legkisebb mintavételi távolságon a legnagyobb eltérés 3 mS/cm volt, 9 cm-en belül szintén. A kérges réti szolonyec "szolonyeces B" szintjében az elektromos vezetőképességnek mind a vízszintes, mind a függőleges irányokban meghatározott terjedelme (azaz "az adatrendszer legnagyobb és legkisebb elemének eltérése", [Vetier (1991)] hasonló volt a legkisebb vizsgált léptékben (1,5 cm) és a kismonolit maximális szélességében (9 cm). Ezen a területen a mintavételi pontnak 1,5-9 cm-es oldalirányú eltolódása esetenként (egyes mintavételi pontokban) ugyanakkora látszólagos hibát okoz a talaj sótartalmának meghatározásában.

A szolonyeces B szinten belül végzett szemcseméret eloszlás vizsgálat (4.1.1.2.táblázat) azt mutatta, hogy attól függően, hogy a szikpadka vagy a vakszik, illetve szikfok alól vettük-e a mintát, az agyagtartalomban különbség van. A szikpadka alatt a B szintben az agyagtartalom 30-40%-al alacsonyabb mint a vakszik illetve a szikfok alatti B szintben. A különbség valószínűleg a szikpadkán létrejött fokozott kilúgzással van kapcsolatban. Szerepet játszhat benne a szikpadka és vakszik közötti sótartalombeli különbség is. A nagyobb sótartalmú szoloncsákokhoz képest mikromorfológiai vizsgálatokkal Szendrei (1999) fokozottabb agyagmozgást figyelt meg szolonyec

talajokban.

4.1.1.2.táblázat. A szolonyeces B szint részecskeméret-eloszlásának változása a szelvényfal különböző pontjain (súly%)

Talajréteg Szám	S z e m c s e m é r e t t a r t o m á n y (mm)			
	>0,25	0,05-0,02	0,01-0,005	<0,002
6.	0,28	8,01	31,93	17,79
8. 175 cm-nél	0,41	3,44	27,35	14,43
8. 220 cm-nél	0,37	4,99	28,88	13,60
10.	0,41	5,79	26,69	15,07



4.1.1.2.ábra. Két szolonyecen vett kismonolitnak 1:2,5 talaj-szuszpenzióban mért pH-ja és $EC_{2,5}$ -e. A rövidítések a 4.1.1.1. táblázatban jellemzett talajrétegeket jelzik.

A pH és az $EC_{2,5}$ értékek

A pH és az $EC_{2,5}$ hisztogramjai és az $EC_{2,5}$ -pH grafikon azt mutatták, hogy a két kismonolit elválk egymástól. A kismonolitok morfológiai leírása és a talaj pH és $EC_{2,5}$ értékei alapján a két kismonolitban vizsgált pontokat 3-3 csoportba soroltuk be, ezek a csoportok a 4.1.1.2.ábrán és 4.1.1.3.táblázatban kerülnek bemutatásra. A közepes réti szolonyec esetén (4.1.1.2.ábra, amelynek rövidítéseit a szöveg ismerteti) az ábra bal alsó részében található pontok az A szintben gyűjtött mintáknak felelnek meg (A 0-4,5 cm-es mélységből), az A és B szint között a pH értékek igen kicsi átfedést mutatnak, és az $EC_{2,5}$ értéktartományok nem fedik át egymást, csupán érintik. Az A és B közötti átmenet vonalában gyűjtött minták (AB a 6 cm-es mélységből) pH-ja az A szintéhez hasonló (pH 7,1-7,5), míg $EC_{2,5}$ értékük a B szintéhez (B a 7,5-9 cm-es mélységből) hasonlít (0,63-0,89 mS/cm).

A kerges réti szolonyec esetén a legfelső szint értékeit (Cr-kéreg a 0-0,5 cm-es mélységből) a grafikon középső részében találjuk (4.1.1.2.ábra). A B (B1 az 1,5-6 cm-es mélységből és B2 a 7,5-10,5 cm-es mélységből) szint összes mintája jelentősen nagyobb pH-t mutat, elérte a monoliton belül a pH maximumát, de az $EC_{2,5}$ értéke a mélységgel keveset nőtt.

Annak érdekében, hogy a kapott különbségeket értelmezni tudjuk a monolitonként elkülönített 3-3 rétegből összevont mintát vettünk, megvizsgáltuk az 1:5 vizes kivonatok sóösszetételét, és azt a 4.1.1.3.táblázatban mutatjuk be.

4.1.1.3.táblázat. A kismonolitok rétegeinek sóösszetétele

a. anion összetétel, a páros sorokban a kationösszeg százalékában kifejezve

Talaj	Mélység cm	Jel	EC ₅ mS/cm	pH ₅	CO ₃ ²⁻ mgeé/100g	HCO ₃ ⁻ 1:5 vizes	Cl ⁻ kivonatban	SO ₄ ²⁻
Közep. r. sz.	0-6	A	0,1	7,4	0 0%	0,25 25%	0,4 40%	0,35 35%
Közep. r. sz.	6-8	AB	0,5	7,5	0 0%	1 27%	0,8 21%	1,9 51%
Közep. r. sz.	8-10	B	1	9,6	0,72 7%	3,28 33%	0,6 6%	5,4 54%
Kérges r. sz.	0-0,5	Cr	0,7	8,4	0,62 7%	1,38 15%	1,5 17%	5,5 61%
Kérges r. sz.	0,5-6	B1	1	9,7	0,74 6%	2,26 17%	1,5 12%	8,5 65%
Kérges r. sz.	6-10	B2	1,9	10	4,8 32%	2 13%	1 6%	7,2 49%

b. kation összetétel

Talaj	Mélység cm	Jel	EC ₅ mS/cm	pH ₅	Ca ²⁺ mgeé/100g	Mg ²⁺ 1:5 vizes	Na ⁺ kivonatban	K ⁺	Kationösszeg
Közep. r. sz.	0-6	A	0,1	7,4	0,14	0,1	0,9	0,02	1
Közep. r. sz.	6-8	AB	0,5	7,5	0,3	0,2	2,7	0,5	3,7
Közep. r. sz.	8-10	B	1	9,6	0,4	0,7	6,6	2,3	10
Kérges r. sz.	0	Cr	0,7	8,4	1	0	7,3	0,3	9
Kérges r. sz.	0-6	B1	1	9,7	0,4	0,1	12	0,4	13
Kérges r. sz.	6-10	B2	1,9	10	0,3	0,2	11	3,6	15

Az elvégzett analízisek talajszintenként eltérő anion összetételt mutattak. A közepes réti szolonyecben a 0-6 cm-es felszíni (A) rétegben nincs karbonát, és a klorid, szulfát viszonylagosan nagy mennyisége miatt a pH értéke semlegeshez közeli. A 6-8 cm-es átmeneti rétegben (AB) a hidrogén-karbonát ionok relatív aránya és a pH az A szinthez képest nem változik. A 8-10 cm-es (B) szintben a karbonát + hidrogén-karbonátionok viszonylagos mennyisége és a sótartalom az AB szinthez képest mintegy kétszeres, így nagyobb a pH értéke is.

A kérges réti szolonyecben a kéreg (Cr) összetétele a kismonolit többi részéhez hasonló a karbonát és hidrogén-karbonát ionok kivételével. Az elektromos vezetőképesség a közepes réti szolonyec kismonolitjának 8-10 cm-es (B) rétegéhez hasonlít, de a karbonát plusz hidrogén-karbonát ionok viszonylagos aránya az ottaninak mintegy a fele, ezért a pH alacsonyabb. A 0-0,5 (Cr) és 0-6 cm-es (B1) rétegben azért van eltérő pH, mert a mélyebb rétegben a sók koncentrációja nagyobb. A 6-10 cm-es rétegben (B2) a közepes réti szolonyec kismonolitjának 8-10 cm-es rétegéhez hasonló a lúgosan hidrolizáló sók aránya, de a sótartalom nagyobb és a pH megközelíti a szelvényben elért maximumot. A pH értékét a lúgosan hidrolizáló sók (karbonát és hidrogén-karbonát) aránya és a sótartalom együttesen határozza meg.

Mivel a padkákon nagyobb a beszivárgás (Leszták és Szabolcs, 1959), a semleges sók (kloridok és szulfátok) által dominált sáv mélyebb a szikpadka alatt mint a vakszik vagy szikfok alatt. A szikpadkák alatt a közel semleges közegben a könnyen oldódó semleges sók mennyisége alacsony, és a kilúgzás során a felszín közeléből legmélyebbre a legnagyobb oldékonyságú anionok (a semleges sókat képező klorid és szulfát) jutnak. A kilúgzási rétegben lejátszódó agyagbemosódás illetve szologyosodás, következésképpen a kilúgzott réteg kisebb agyagtartalma, valamint, semlegeshez közeli kémhatása, a növényi gyökerek nagy mennyisége (a vakszikhez és szikfokhoz képest) tovább kedvez a beszivárgásnak.

Emellett a növényzetnek is fontos szerepe van. Darab (1955) idézi Kovdát, miszerint "mindig a növényzettel nem vagy gyéren borított foltokon legerősebb a szikesedés". A füves növényzet az árnyékolás miatt megakadályozza a talajnedvesség intenzív párolgását, és így az oldható sók nem halmozódnak fel. Másrészt a pillangósok mélyre lenyúló gyökerei mentén a talajnedvesség és velük együtt az oldható sók lefelé mozdulnak el.

A növényborítás és a talajkémiai tulajdonságok

A 4.1.1.1.b ábra mutatja, hogy a szelvényfalban a növényzetváltás a pH és az $EC_{2,5}$ értékek jelentős változásával jár együtt. Az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** és **Camphorosmetum annuae** növénytársulás határán az erózió következtében kelet felé lejtő szakasz, "sziklanka" van, és ezen a szakaszon a növényi gyökerek egyre közelebb kerülnek a lúgos és jelentős sótartalmú talajrétegekhez. A sziklanka alsó határvonalánál jelenik meg a felszíni kéreg. A **Camphorosmetum annuae** és **Puccinellietum limosae** közötti határvonal is két, a 4.1.1.1.a ábrán elkülönített réteg határvonalával esik egybe.

A növényzeti típusok határvonala jól kijelölhető a növényfajok előfordulása, a növényzeti típus szerkezete és a talajfelszín megjelenése alapján. A növényi fajok előfordulása átfedő, a *Camphorosma annua* mind a három növényzeti típusban megfigyelhető változó borítással.

A felszínen a jelenlevő növényzeti típusok legjellemzőbb növényfajai körül 1,5 cm-es sugarú körben 1 cm-es mélységig mintát vettünk, mivel ez volt a legkisebb elemezhető talajtérfogat. A kis mintamennyiség miatt az 1:2,5 arányú szuszpenziókban mikromérőkkel mértük a pH-t és $EC_{2,5}$ -t (4.1.1.4.táblázat).

A 3 ismételéből kapott átlagértékek egyik növény esetében sem mutattak szignifikáns különbséget, de a tendenciák alapján a pH és az $EC_{2,5}$ a virágos növényektől távolabb nagyobb volt. Ennek oka az lehet, hogy a növények a talajt árnyékolják, emiatt a felszín közelében csökken a párolgás és a párolgás következményeként fellépő felszín közeli sófelhalmozódás; valamint a növények a csapadék levezetési útjaként szerepelnek, azaz közvetlen közelükben elősegítik a fokozott kimosódást és így csökkentik a talaj felszín közeli sótartalmát. A pH értékét a gyökérsavak termelése is csökkenti.

4.1.1.4.táblázat. Különböző növényfajok környékén vett talajminták 1:2,5-es szuszpenzióban meghatározott pH és $EC_{2,5}$ (mS/cm) értékei

Talaj és növény	Átlag pH	Szórás	Átlag $EC_{2,5}$	Szórás
Közepes réti szolonyec				
mohák	6,83	0,73	0,29	0,09
Festuca pseudovina	6,35	0,22	0,19	0,04
Kérges réti szolonyec				
Fedetlen talaj	8,75	0,34	1,49	0,22
Camphorosma annua	8,08	0,22	1,23	0,40
Puccinellia limosa	8,22	0,17	1,16	0,28

Roberts (1950) ezzel ellentétesen a fedetlen talaj és a félcserjék alatt szignifikánsan eltérő talaj pH-t és EC-t talált. Roberts szerint ennek oka a gyökerek sófelhalmozó hatása volt, mivel a lehullatott levelekkel a növény körül növelték a talaj sótartalmát. Az általunk vizsgált növények eltérnek a Roberts által vizsgáltaktól, úgyszintén az általa vizsgált terület természeti viszonyai erősen különböznek a tiszántúli viszonyoktól. Legfontosabb különbség a növények föld feletti és föld alatti részeinek mérete volt, emellett a Hortobágyon a csapadék mennyisége jelentősen magasabb, és a vizsgált növények táplálkozási

mechanizmusa is eltérő lehet. Fireman és Hayward (1952) Robertshez hasonlóan sós sivatagi talajokon a pH és sótartalom nagyobb értékeit tapasztalták *Sarcobatus vermiculatus* és *Artemisia tridentata* növényfajok alatt és hasonló különbség mutatkozott a talaj kicserélhető nátrium százalékában is. Ugyanakkor a feltett kérdések jelentőségét alátámasztja, hogy Tóth et al. (1972) megmutatta, hogy a *Tamariscus* cserjék tevékenysége – tulajdonképpen a só felhalmozó leveleknek a felszínre hullása - következtében a talaj felszín közeli rétegeiben a szikesedés erőteljesebb.

4.1.2. A sófelhalmozódás földtani tényezőinek statisztikai vizsgálata a hortobágyi Nyírólapos mintaterületen[#]

A szikes talajok gyakran változatosak, és ez a változatosság közel természetes viszonyok között eltérő növényzetű foltok jelenlétét, a mezőgazdasági táblákon belül pedig egyenetlen növényfejlődést eredményez. A változatosság természetes körülmények között kedvezhet számos állat - és növényfaj előfordulásának, de a mezőgazdasági területek használatát megnehezíti, mivel nem engedi meg egyöntetű agrotechnika alkalmazását. Ilyen területen a talajok változatosságának vizsgálata ugyanakkor felvilágosítást nyújthat a talajképző tényezők viszonylagos fontosságáról.

A sófelhalmozódás tényezőinek vizsgálata hagyományos kutatási téma Magyarországon. Specifikusan a földtani tényezőknek a sófelhalmozódási folyamatok szempontjából vett jelentőségét azonban mintegy 50 éve nem vizsgálták talajkutatók, bár az utóbbi évtizedekben világszerte nagyszámú dolgozat jelent meg a sófelhalmozódás több szempontú értelmezéséről. Itt csak az észak dakotai szikkutatók néhány munkájára hívjuk fel a figyelmet (Arndt és Richardson, 1988; Seelig et al., 1990; Rosek és Richardson, 1989; Seelig és Richardson, 1994). Ezért tartjuk hézagpótlónak munkánkat, mert kis terület részletes vizsgálata alapján jellemezzük a talajok sótartalma és az egyes földtani tényezők közötti összefüggést. A levont következtetések várakozásunk szerint részben átvihetők hasonló kiterjedésű egyéb tiszántúli szolonyeces területekre.

A sófelhalmozódás földtani tényezői között az első helyen kell említeni a sóforrással kapcsolatos tényezőket, úgymint a talajvíz sótartalmát (Henry et al., 1985) és összetételét (Timpson és Richardson, 1986, Eugster és Jones, 1979). A sónak a talajvízből a feltalajba való jutásának a sebessége a talaj és az altalaj szemcseösszetételétől (Gardner, 1960) függ döntő mértékben. A sóforrásnak a feltalajtól vett távolságát, a térszínen elfoglalt helyzet (McClelland et al., 1959) illetve a vele összefüggő talajvízmélység mutatja meg (Fullerton és Pawluk, 1987).

Célunk a mintaterületen a talajok sótartalombeli változatosságát előidéző és fenntartó fenti földtani tényezők és a feltalaj sótartalma közötti összefüggések feltárása volt.^{##}

[#] A fejezetet a Tóth és Kuti (1998) (1999 a és b) publikációk alapján írtam.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- 420 mintavételi pont kijelölése EC_a mérésekhez
- 4 talajvízkút telepítése
- 3 szelvény kijelölése, leírása és észlelése
- 29 földtani szelvény kijelölése és vizsgálata

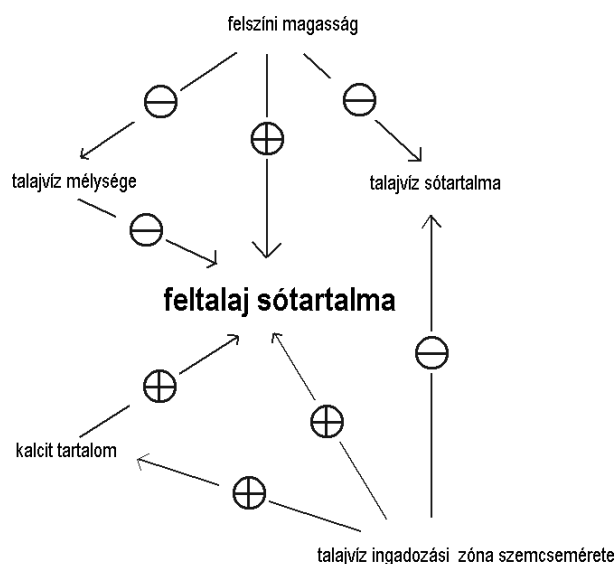
-Elemzés

- földtani tényezők és talajtulajdonságok között összefüggések elemzése
- a talajvízmélység, sóösszetétel és a talajrétegek kémiai tulajdonságai összefüggésének elemzése
- a térszíni fekvés hatásának vizsgálata
- a sófelhalmozódás komplex vizsgálata

A kitűzött cél érdekében 29 fúrás mélyítettünk 10 méterig, majd nemparaméteres statisztikai próbával vizsgáltuk a földtani tényezők és a talaj sótartalma közötti összefüggéseket.

A vizsgálati terület az alföldi változatos szolonyeces pusztá jellemző képviselője (Excursions, 1965). Egy kis területen belül a legalacsonyabb és legmagasabb pont közötti különbség 1,76 m volt, amelyet hasonló nagyságú talajvízszint különbség kísér. A talajvíz elektromos vezetőképessége 0,8-20,0 mS/cm értéktartományban változott az egyes fúrási pontok között. Nyolc növényzeti típust különítettünk el a területen belül, és ezek elhelyezkedése tükrözi a magasság és a sótartalom, valamint az ezekkel szorosan összefüggő vízellátottság övezetességét. A megfigyelések és a vizsgálati eredmények arra utalnak, hogy a területen található talajok a változékony talajvízszint hatása alatt fejlődtek ki, és a területen belül a térszíni fekvés a talajok sófelhalmozódásában meglévő térbeli változatosság döntő tényezője.

A talajvízszint mélysége és a talajvíz összetétele összefüggést mutat a térszíni fekvéssel, ezek hatását pedig a földtani rétegzettség módosítja, amely a feltalaj sótartalma és a növényzet változatos megjelenését eredményezi.



4.1.2.1. ábra. A feltalaj sótartalmát meghatározó földtani tényezők. Az ábrán „+” jelöli a pozitív, „-” a negatív összefüggéseket

A 4.1.2.1. ábra tanúsága szerint a feltalaj sótartalmát meghatározó fő tényező esetünkben a térszíni fekvés volt. Mivel csupán a szikes toposzekvencia alsó felét vizsgáltuk földtani fúrásokkal, nagyobb térszíni fekvéshez nagyobb feltalaj sótartalom tartozott. Fontos szerepe volt a talajvízszint felszín alatti mélységének: sekélyebb talajvízszinthez nagyobb feltalaj sótartalom tartozott. A vizsgált esetben a talajvízszint ingadozási mélységében a nagyobb átlagos szemcseméret - feltehetően az erősebb kapilláris vízemelés miatt - egyre nagyobb feltalaj sótartalommal járt együtt, ezt a kalcium-karbonát tartalom növekedése is kísérte.

A vizsgált tényezőknek a szikesedés szempontjából vett, jelen térleptékbeli fontossági sorrendje nem különbözik lényegesen az egész Alföld térleptékében meghatározott sorrendtől Kuti et al., (1998), (1999).

Amikor regressziós fa technikával, földtani tényezőkből kiindulva a fúrási helyek felszíni sótartalmát becsültük, a legjobb becselő változók a térszíni fekvés és a felszín alatti rétegek szemcsemérete voltak, az összefüggés szorosságát jellemző korrelációs koefficiens értéke 0,80 volt.

4.1.3. Karcagi művelt mintaterület talajának variabilitása a sófelhalmozódás tényezői szerint[#]

Ismeretes a szikes talajok, illetve szikes talajú területek különösen nagy tér- és időbeni variabilitása, heterogenitása, viszonylag gyorsan változó mozaikos tarkasága. Ezért a talajok szikesedési állapotának egzakt és kvantitatív jellemzésére, a sófelhalmozódási és szikesedési folyamatok – időben történő megelőzését lehetővé tevő – előrejelzésére egyre kiterjedtebben használnak numerikus szimulációt (Wagenet és Hutson, 1987; Abdel-Dayem és Skaggs, 1990; Oosterbaan és Abu Senna, 1990; Simunek és Suarez, 1994; Vanderborght et al., 1997).

Célunk a későbbi numerikus szimulációt lehetővé tevő, a szikesedés szempontjából eltérő, lehetőség szerint egybefüggő, viszonylag homogén talajfoltok elhatárolása volt. Munkánk során egy nagykunsági 2,5x2,5 km-es terület 67 pontján helyszíni vizsgálatok alapján jellemeztük és elemeztük a talajok sófelhalmozódásának tényezőit.^{##}

Eredményeinkkel igazoltuk, hogy minél magasabb volt a talajfelszín térszíni fekvése, annál nagyobb volt a talajvízszint terep alatti mélysége.

A talajvíz elektromos vezetőképessége (EC) szoros kapcsolatot mutatott a felette elhelyezkedő talajrétegek EC értékével (4.1.3.1.ábra). Bacsó és Fekete (1969) a szomszédos Hajdúságban hasonló megfigyeléseket tettek. A 4.1.3.1.ábra csak azokat az eseteket mutatja, amelyekben a talajszelvényt 0–250 cm-ig folyamatosan megmintáztuk. Mivel ilyen mélységig csak hét esetben jutottunk, az ábrán csak ezt a 7 esetet tüntettük fel. Kovda et al. (1973) igen hasonló ábrát mutatott be.

A 4.1.3.1. ábrán feltüntetett korrelációs koefficiensek a feltalaj esetén 59, míg a legnagyobb mélység esetén 6 megfigyelés-párhoz tartoznak. Megállapítható, hogy a talajvízszinthez közeli rétegek sótartalmát a talajvíz statisztikailag szignifikáns mértékben befolyásolja. Növekvő sótartalom a talajvízben növekvő altalaj-sótartalommal jár együtt. A hatás a talajvízszinttől felfelé csökkenő mértékű, a talajvízszint felett 2 m-rel elhelyezkedő réteg EC értéke esetén összefüggés már nem mutatható ki. Ebben az esetben 2 m a „kritikus talajvízszint”.

[#] A fejezetet a Tóth és Várallyay (2001) publikáció alapján írtam.

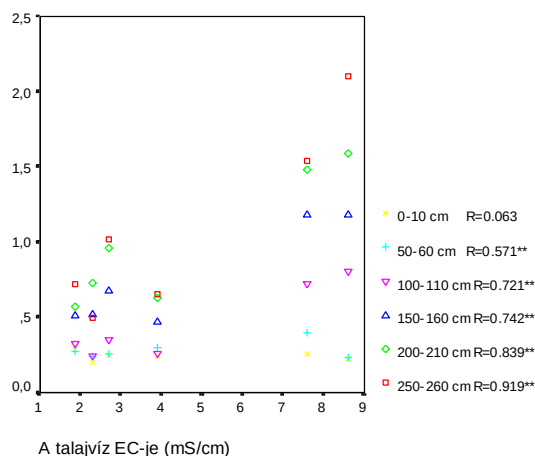
^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- mintaterület kijelölés
- mintavételi terv elkészítése
- mintavétel és helyszíni elemzések

-Elemzések

- korrelációs és regressziós vizsgálatok és értelmezésük
- klaszteranalízis és értelmezése



4.1.3.1. ábra. Összefüggés a talajvíz és a felette különböző mélységben elhelyezkedő talajrétegek elektromos vezetőképessége (EC) között.

Kétváltozós lineáris lépcsőzetes regressziós egyenlettel vizsgáltuk, hogy melyek a talaj gyökérszónájának elektromos vezetőképességét befolyásoló tényezők. Egyenletünkben a befolyásoló tényezők a talajvíz felszín alatti mélysége (T) és a talajvíz elektromos vezetőképessége ($EC_{\text{tvíz}}$) volt:

$$EC_{50-60 \text{ cm}} = 0,418 + 0,07514 \cdot EC_{\text{tvíz}} - 0,00184 \cdot T_{\text{vízszint 15' után}} \quad R^2 = 0,467$$

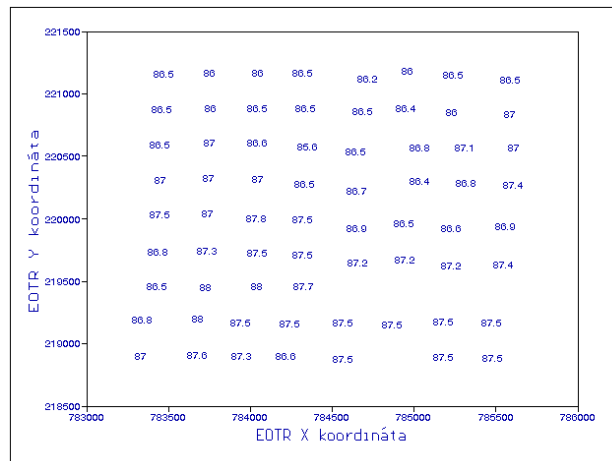
Minél kisebb tehát a talajvízszint terep alatti mélysége és minél nagyobb a talajvíz elektromos vezetőképessége, annál nagyobb a gyökérszóna elektromos vezetőképessége is. Ez irányú adatainkat mutatjuk be a 4.1.3.1. ábrán. Ez az eredmény teljes összhangban van 'Sigmond (1923), Arany (1956), Kovda és Szabolcs (1979), Szabolcs (1979), Szabolcs és munkatársai (1969) és Várallyay (1974) korábbi megállapításaival, valamint Tóth és Kuti (1999a,b) egy hortobágyi mintaterületre vonatkozóan levont következtetéseivel.

A „Quick Cluster” algoritmus alkalmazásával a változók többdimenziós terében négy csoportot különítettünk el (4.1.3.1.táblázat).

4.1.3.1. táblázat. A klaszteranalízissel szétválasztott csoportok átlagai a csoportosító változók szerint

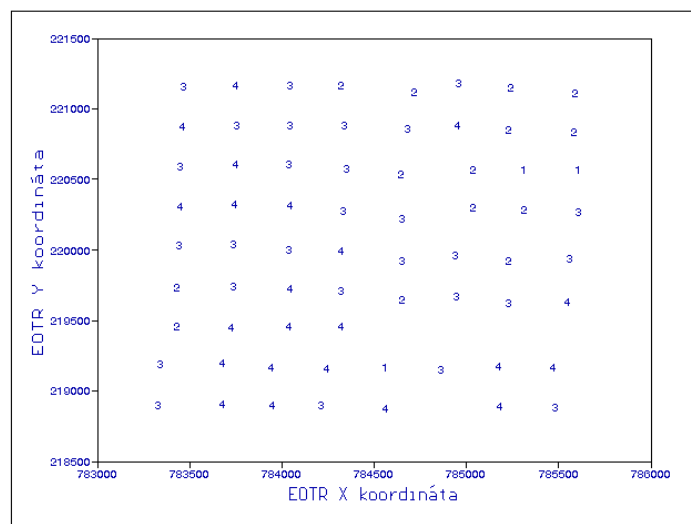
Változók	Csoportok			
	1	2	3	4
ECa_0-40 cm	0,53	0,46	0,45	0,49
Megütött talajvíz (cm)	97,33	155,00	202,00	264,36
Talajvízszint 15 perc után	38,00	131,82	171,59	224,65
EC_tvíz (mS/cm)	2,90	4,68	3,57	4,08
EC_0-10 cm	0,37	0,26	0,34	0,32
EC_50-60 cm	0,53	0,47	0,37	0,30
EC_100-110 cm	0,82	0,75	0,55	0,53
Magasság (m)	87,20	86,59	86,80	87,31

A csoportok elválásában a legfontosabb változók, a sófelhalmozódás szempontjából fontos talajvízmélység, térszíni magasság (4.1.3.2.ábra) és az 50–60 cm-es réteg sótartalma voltak.



4.1.3.2.ábra. A mintavételi pontok felszíni magassága (m)

A csoportok (4.1.3.3.ábra) a terület térképén jól elváltak, és ezekben végeztük a sófelhalmozódás numerikus szimulációval történő előrejelzését.



4.1.3.3.ábra. Az elkülönített csoportok térbeli megoszlása

4.1.4. Összefüggés karcagi réti szolonyec talajok egyes kémiai, fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai között[#]

A szolonyectalajok “fizikai” szikesek (Bresler et al., 1982), amint ezt a korábbi talajtani szakirodalom igen részletesen tárgyalta. A szikes talajok kémiai és fizikai tulajdonságai között összefüggés mutatkozik. Az összefüggés szorossága alapján lehetőségünk nyílt azon talajtulajdonságok/vizsgálati módszerek kiválasztására, amelyeket a szikesedés, illetve a szikesedés hatásának nyomon követése során alkalmazni célszerű. Célkitűzésünk a fizikai és kémiai tulajdonságok közötti összefüggés vizsgálata volt, annak érdekében, hogy a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak a kémiai tulajdonságokkal szembeni “érzékenységet” jellemezzük.

[#] A fejezetet a Tóth (1989) publikáció alapján írtam.



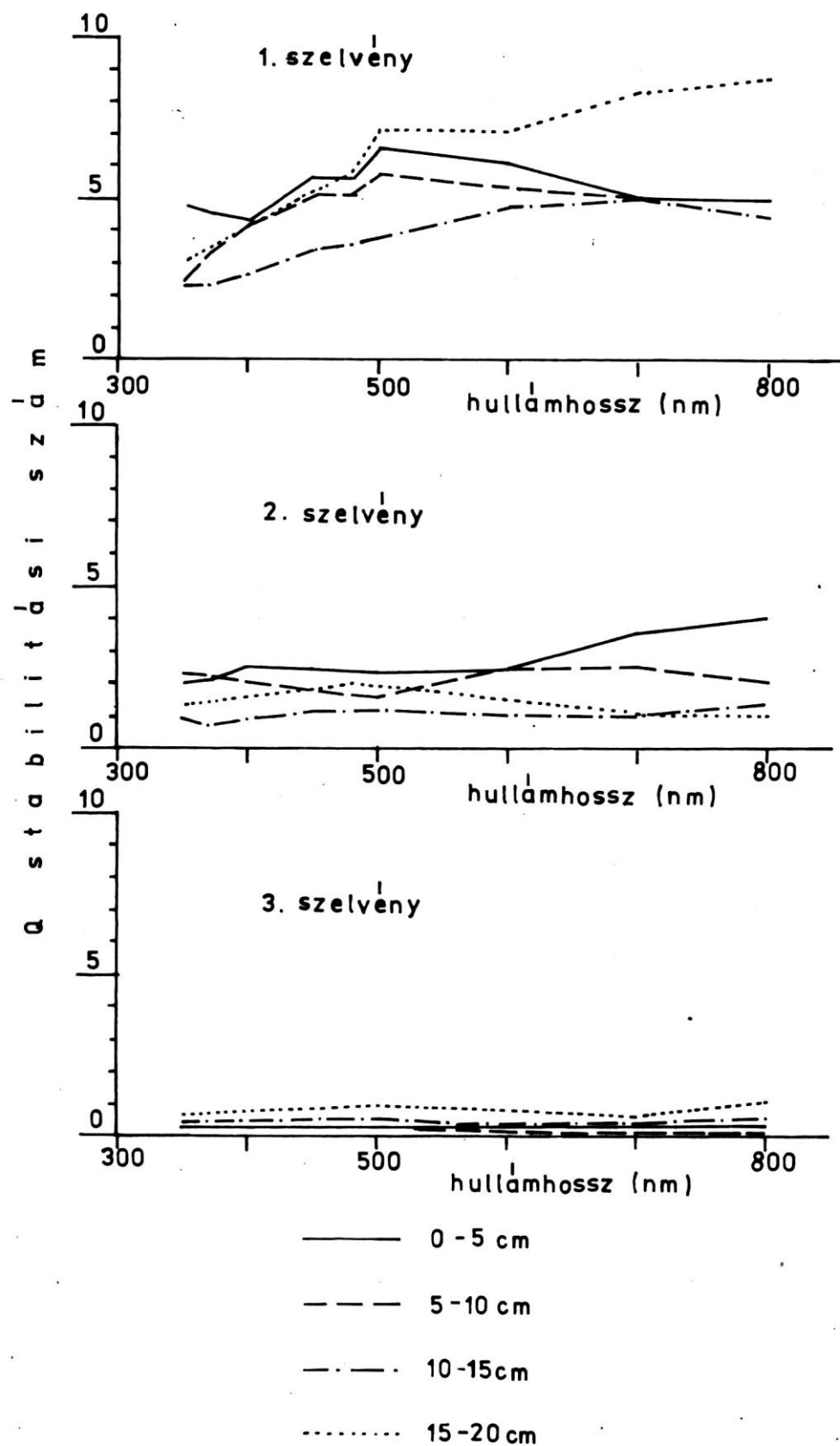
4.1.4.1. ábra. A vizsgált pontok elhelyezkedése a talajfoltokban

A vizsgálat céljára csak geológiailag egyöntetű terület felelt meg, ezért kis távolságokon belül végeztük a talajmintavételt. Amint a 4.1.4.1. ábra mutatja az egyes minták különböző talajtípusokra estek. A 0-20 cm között 5 cm-es mélységi felbontással gyűjtött talajmintákat a karcagpusztai Meliorációs Modelltelepen (Nyíri és Fehér, 1981) vettük a következő három kezelésben: drénezett/felszín közelben javított/mélylazított parcellán, felszíni vízrendezésben részesített/felszín közelben javított/ mélylazított parcellán, gyepes kontroll parcellán.##

A talaj nátriumosságának mutatói, mégpedig a vízdoldható Na koncentráció, az SAR érték, a kicserélhető Na mennyisége, az ESP érték kielégítően megmagyarázták a kapilláris vízemelés, humusz stabilitás, Vageler-féle struktúra faktor értékének alakulását (4.1.4.1. táblázat). A lineáris duzzadás igen szoros korrelációt adott a kapilláris vízemeléssel. A lineáris zsugorodás a többi vizsgált jellemző közül csupán a vizes kivonat Na és sótartalmával mutatott szoros összefüggést. A hagyományos, nem vízpotenciál alapú vízkapacitás értékek nem jellemezték kellőképpen a talajminták vízgazdálkodását, ezen módszer helyett a pF kádas meghatározás javasolható. Igen nagy különbséget mutatott az egyes vizsgált mélységek humuszminősége (4.1.4.2. ábra). Blaskó és Karuczka (2001) hasonló változást mutatott a humuszminőség értékében a kicserélhető magnéziumtartalom növekedésével.

A munka fázisai

- Előkészítés
 - mintavételi terv elkészítése
 - mintavétel
- Elemzés
 - laboratóriumi vizsgálat
 - értékelés



4.1.4.2. ábra. A humusz stabilitás értékek a hullámhossz függvényében

4.1.4.1.táblázat. A vizsgált talajminták egyes tulajdonságai

Minta	Mélység (cm)	pH	Összes só %	ESP %	SAR (1:5 kivonat)	Vageler faktor
1. szelvény. Drénezett	0-5	7,1	0,09	0,6	0,5	80
1. szelvény. Drénezett	5-10	7,1	0,07	1,4	1,3	75,2
1. szelvény. Drénezett	10-15	6,7	0,08	3,8	3	67,7
1. szelvény. Drénezett	15-20	7,3	0,08	2,8	2,3	66,2
2. szelvény. Felszíni vízelvezetés	0-5	5,1	0,06	1,8	2,0	70,2
2. szelvény. Felszíni vízelvezetés	5-10	5,6	0,06	5	2,8	54,3
2. szelvény. Felszíni vízelvezetés	10-15	6,5	0,11	7,1	3,1	56
2. szelvény. Felszíni vízelvezetés	15-20	7,3	0,31	17,4	7,8	49,8
3. szelvény. Gyepes kontroll	0-5	6,0	0,09	20,6	3,9	51,8
3. szelvény. Gyepes kontroll	5-10	6,3	0,2	31,1	4,7	7,6
3. szelvény. Gyepes kontroll	10-15	6,6	0,27	40,2	7,1	0,4
3. szelvény. Gyepes kontroll	15-20	7,1	0,37	43,5	6,3	0,9

4.1.5. Az alföldi szikes talajok elterjedését meghatározó agrogeológiai tényezők térinformatikai elemzése 1:500 000 méretarányban[#]

A szikes talajok elterjedését meghatározó tényezőket hosszú idő óta vizsgálják, mind hazai, mind külföldi munkacsoportok. Mivel a szikes talajok néhány tényező jelenlétéhez kötődnek, koncepcionálisan vonzónak tűnhet azok elterjedésének és a talajképző tényezők összefüggésének vizsgálata erre a talajcsoportra.

Célunk a szikes talajok publikált térképe (Szabolcs, 1974) és az azok elterjedését befolyásoló öt agrogeológiai tényező térképe közötti összefüggések vizsgálata volt annak érdekében, hogy a szikes talajok elterjedését meghatározó tényezők fontosságát megállapítsuk. Munkánk kiindulási szempontjait és megközelítését tekintve is kapcsolódik a közelmúltban ismét megélénkülő szikes kutatásokhoz (többek között Kovács és Tóth, 1988, Szabó et al. 1998, Várallyay 1989, Szendrei 1999, Blaskó 1999, Karuczka 1999, Molnár és Borhidi 2001). A munka során 1:500 000 méretarányú agrogeológiai térképek (Rónai, 1975 munkája folytatásaként Kuti et al., 1998 leírásában) alapján származtattuk a független változókat és a szikes talajok térképe (Szabolcs, 1974) alapján a függő változót. A változókat az eredeti térképek digitalizálása és egyes nominális változók transzformálása (kvantifikálása) után vontuk be az elemzésbe.^{##}

A szikes talajok alkalmazott kategóriái egy az egyben nem felelnek meg a szikes talajok genetikai típusainak (Szabolcs, 1961), de könnyen beoszthatók azok közé (4.1.5.1.táblázat). Mivel a táblázatban szereplő osztályozás nem terjedt el a hazai

[#] A fejezetet a Kuti és Tóth (1998), (1999), Tóth et al. (2001 a, b), (2002), Kabos (1999) publikációk alapján készítettem

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-a vizsgálat koncepciójának kidolgozása

- szikes talajok térképe és agrogeológiai térképek digitalizálása
- térképek összemetszése, ellenőrzése
- maradvány foltok kizárása
- a digitális térképek alapján adatbázis készítése

-Elemzés

-a térképek keresztáblázatainak statisztikai elemzése és értelmezése

- a szikes talajok becslési lehetőségének regressziós vizsgálata
- nominális változók kvantifikálása
- a szikes talajok előfordulásának előrejelzése regressziós fa technikával
- a kvantifikált változók és a regressziós fa értelmezése és magyarázata

talajbesorolásban a neveket nem fordítottuk le, hanem az eredeti publikációban szereplő alakban hagytuk, mert jól érthetők.

4.1.5.1.táblázat. Magyarország szikes talajainak kategóriái a Nagyalföld területén Szabolcs (1974) szerint

Talajtípus neve a térképen (A típus száma)	Terület		A foltok száma		Átlagos foltméret Szórás	
	km ²	%		%	km ²	km ²
Sodic solonchak(No 2)	200,9	0,4	17	4,0	11,8	8,7
Sodic solonchak-solonetz(No 3)	1135,5	2,5	51	11,9	22,3	56,0
Calcareous meadow solonetz(No 4)	61,7	0,1	7	1,6	8,8	3,7
Calcareous solonetzic meadow soil (No 6)	462,4	1,0	19	4,4	24,3	26,2
Meadow solonetz(No 7)	3451,7	7,5	71	16,6	48,6	27,4
Meadow solonetz turning into steppe formation(No 8)	2503,5	5,4	67	15,6	37,4	63,2
Solonetzic meadow soil(No 9)	1585,5	3,4	57	13,3	27,8	86,0
Chernozem and meadow chernozem salty in deeper layers(No 10)	3552,4	7,7	45	10,5	78,9	36,1
Potential salt- affected soils(No 11)	16827,6	36,6	83	19,3	202,7	63,2
Non salt-affected soils(No 12)	16185,9	35,2	12	2,8	1348,8	2744,7
Összesen	45967,1	100,0	429	100,0		

A táblázatban kitűnik a szikes talajtípusok egyenetlen előfordulása, mivel az Alföld egyharmadát lefedő szikes területeken csupán a réti szolonyecek, sztyeppesedő réti szolonyecek és mélyben sós csernozjomok és réticsernozjomok fordulnak elő 5%-nál nagyobb arányban. Igen eltérő a foltok átlagos mérete, a szódás szoloncsák és karbonátos réti szolonyec esetén 10 km² körüli, míg a legelterjedtebb réti szolonyecek és mélyben sós csernozjomok és réticsernozjomok átlagos mérete ennek ötszöröse. A szikes talajok és az egyes agrogeológiai térképek összemetszése alapján készített kereszt táblázatok az egyes térképi típusok alföldi elterjedésének részletes elemzésére alkalmasak (4.1.5.2.táblázat). A táblázatokban feltüntettük, hogy az egyes kategóriák átlagos elterjedéséhez képest egyes kategória-kombinációknak mekkora az elterjedtsége.

A "Talajvíz mélysége" (**TVM**) térképen feltűnő, hogy számos talaj előfordulása kötődik sekély talajvízhez. A nem szikes talajok előfordulása azonban mélyebb talajvízhez kötődik.

A "Felszínalatti képződmények" (**FAK**) térképen a szoloncsákok és szoloncsák-szolonyecek előfordulása a homokos, míg a szolonyec talajoké az agyagos 10 m mély agrogeológiai szelvényekhez kötődik.

A "Talajvíz tengerszint feletti magassága" (**TFM**) térkép vizsgálatakor kitűnt, hogy a szoloncsákok nagy része 90-100, kisebb része 120-140 m talajvíz tengerszintfeletti magasságnál fordul elő. A két csoport a Duna-menti és nyírségi-hajdúsági szikes területeknek felel meg. A kereszt táblázatban megmutatkozó eltérések a Tisza és Duna alföldjeinek szintkülönbségét tükrözik.

Az "Oldottanyag tartalom" (**OAT**) térkép vizsgálata megmutatta, hogy a nem szikes talajok 1 g/l-nél kisebb a talajvíz-sótartalomhoz kötődnek, míg a szolonyecek és mélybensós talajok az 5 g/l-nél nagyobb só tartalmakhoz.

A "Talajvíz kémiai típusa" (**TKT**) térkép azt mutatja, hogy a szikes talajok előfordulása a nátriumhoz és a hidrogén-karbonáthoz kötődik, ezzel szemben a nem szikes talajokra a kalcium, magnézium és hidrogén-karbonát dominanciája jellemző.

4.1.5.2.a Táblázat. Kereszt táblázat a szikes talajok térképe és a következő agrologiai térképek között:
TVM, FAK, TFM

	TVM m					FAK										TFM tszf m																						
	<1	1-2	2-4	4-8	>8	SSSSS(21)	SSCCC(22)	SCCCC(23)	SISSI(24)	SSGGG(25)	SCSCC(26)	SCGGG(27)	IIIII(31)	IISSS(32)	ISSSS(33)	ISIIS(34)	ICCCI(36)	CCCCC(41)	CCSSS(42)	CSSSS(43)	CICII(44)	CCGGG(45)	CSCSS(46)	<80	80-85	85-90	90-95	95-100	100-105	105-110	110-115	115-120	120-130	130-140	140-150	150-160	>160	
A Szikes talajok térkép kategóriái																																						
No 2 Sodic solonchak	X	x	x	.		X	X		X				X	.				.			X	X			.	x	X	X	x	x	x	.	X	X				
No 3 Sodic solonchak-solonetz	X	X	x	.	.	x	x	x	.	x		x	.	.	X	x		.	x	.	X	X	x	x	x	x	X	.	.	.	.	x	.	.	.	x		
No 4 Calcareous meadow solonetz	X		x			X		X	X						X			.		.				X	.	.	.	.	X	X	x							
No 6 Calcareous solonetzic m. soil	X	X	x	.		X	X	.	X					x				.	.	x					X	.	.	X	X	X	X	X	x					
No 7 Meadow solonetz		x	x	x	.	.		.		.	.		.	x	.			x	x	x	.		X	x	x	X	x	.	.	.	.	.	.					
No 8 Meadow sol. turning into steppe f.		x	x	x	x	.	.	X			x		.	x	.		X	x	x	X	.		X	X	X	X	.	.	.	.	.	.	.					
No 9 Solonetzic meadow soil		X	x	x	.	.	.	X			.			x	.	.		X	.	X	.		X	x	X	X	x	x	.	.	.							
No 10 Chernozem and m. c. salty	.	x	x	x	.	.	x	.	.	.	X	x	X	X	x	x	X	x	X	x	X	.	x	.	X	X	x	x	.	.	.	X	.	.	.			
No 11 Potential salt-affected soil	x	x	x	x	.	x	x	x	x	x	X	.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	.	x			
No 12 Non salt-affected soil	x	x	x	x	X	x	X	x	X	x	x	x	x	.	x	x	x	x	x	x	x	x	.	x	.	.	x	x	x	X	X	X	X	X	X	X	X	
Oszlop összes %	1.2	16	61	18	4.2	12	5.8	0.8	5.3	1.2	0.3	0.3	1.7	3.7	2.1	2.4	0.2	45	4.9	6.4	2.8	2.2	2.6	3.7	19	19	15	8.6	5.9	5.8	5.2	4.6	6.3	4.6	0.5	0.02		

Megjegyzés: A cellákon belül X, x vagy azt jelzi, hogy a megfelelő felt. százalékos területe lényegesen nagyobb, közelálló vagy kisebb mint a megfelelő térképi kategória átlag oszlop összes százaléka (±50%)
G, S, I és C egyenként 2-2 m vastag kavicsos, homokos, iszapos, agyagos réteget jelöl.
Az 5 betűből álló sorozat a felszíntől kezdődik és 8-10 m-el végződik.

4.1.5.2.bTáblázat. Keresztáblázat a szikes talajok térképe és a következő agrológiai térképek között:
OAT, TKT

	OAT g/l					TKT																												
	<0.5	0.5-1	1-5	5-10	>10	Na biCl su(10)	Na Cl(11)	Na su(14)	Na sub i(16)	Na bi(17)	Na bisu(19)	NaMg su(24)	NaMg bi(27)	NaMg bisu(29)	NaCa bi(37)	NaCa biCl(38)	Mg su(44)	Mg sub i(46)	Mg bi(47)	MgNa su(54)	MgCa sub i(66)	MgCa bi(67)	Ca Cl(71)	Ca Cl su(72)	Ca su(74)	Ca sub i(76)	Ca bi(77)	Ca bisu(79)	CaNa biCl su(80)	CaNa bi(87)	CaMg bi(97)	CaMgNa su(104)	CaMgNa bi(107)	CaMgNa biCl(108)
A Szikes talajok térkép kategóriái																																		
No 2 Sodic solonchak	x	x	x							x									X								x							
No 3 Sodic solonchak-solonetz	.	x	x	.						X									x		X	x			.		x			.	.		.	
No 4 Calcareous meadow solonetz		x	x	X				X		x																	x				X			
No 6 Calcareous solonetzic m. soil	x	x	x							.									X								x			x			x	
No 7 Meadow solonetz	.	x	x	X	X	X	.	X		X		X	X			X		.	X						.		.			X	.	X	X	x
No 8 Meadow sol. turning into steppe f.	.	.	x	X	X	.	x	X		X		X						.	.						.		x		.	.	X	x		
No 9 Solonetzic meadow soil		.	x	x	x	x	.			X		X						.	.					x		x		.		X	X		X	
No 10 Chernozem and m. c. salty	.	x	x	X	x	X		X	X	X		X	.					x	X			.				.	.			x	x		x	
No 11 Potential salt-affected soil	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	X	X	x			x	x		x	X		x		x		X	.	x	x	x	X
No 12 Non salt-affected soil	X	X	x	.									x	x			X	X	x	x		X		X	X	X	X	X	X	X	x	.	x	x
Oszlop összes %	8.1	4.0	5.5	8.3	0.1	0.4	0.1	6.2	0.1	3.3	0.1	0.4	3.0	1.0	0.0	0.1	0.1	0.0	5.3	0.1	0.1	2	20	20	1.1	0.03	49	20	0.03	5.0	3.1	2.0	3.1	0.2

Megjegyzés:A cellákon belül X, x vagy azt jelzi, hogy a megfelelő felt. százalékos területe lényegesen nagyobb, közelálló vagy kisebb mint a megfelelő térképi kategória átlag oszlop összes százaléka (±50%)

A TKT kategóriái között az uralkodó kationt és a kloridot a vegyjele jelzi, a hidrogénkarbonát és szulfát iont bi és su jelöli.

Ha az egyes (4.1.5.1.táblázat) talajtípusok esetén kiválasztjuk, hogy sorban az öt térképen melyek voltak az adott talajtípushoz kötődő leggyakoribb térképi kategóriák akkor látható, hogy ezek alapján nem különíthetők el a talajtípusok egymástól (4.1.5.3.táblázat).

4.1.5.3.táblázat. Az agrogeológiai változók leggyakoribb kategóriái és az azok által képviselt százalékos terület a típus összes területéhez képest

Talaj\Agrogeológia	FAK	TKT g/l	OAT m	TVM m	TFM
No 2 Sodic solonchak	SSSSS	Ca bi	1-5	2-4	90-95
	43%	58%	60%	62%	26%
No 3 Sodic solonchak-solonetz	CCGGG	Na bi	1-5	2-4	90-95
	25%	60%	65%	55%	53%
No 4 Calcareous meadow solonetz	SISSI	Ca bi	1-5	2-4	<80
	36%	45%	66%	83%	26%
No 6 Calcareous solonetzic meadow soil	SSSSS	Ca bi	0,5-1	2-4	100-105
	52%	70%	57%	57%	31%
No 7 Meadow solonetz	CCCCC	Na bi	1-5	2-4	85-90
	66%	65%	70%	71%	52%
No 8 Meadow sol.turning into steppe f.	CCCCC	Na bi	1-5	2-4	80-85
	67%	61%	75%	63%	48%
No 9 Solonetzic meadow soil	CCCCC	Na bi	1-5	2-4	85-90
	69%	52%	76%	61%	40%
No 10 Chernozem with saline subsoil	CCCCC	Na bi	1-5	2-4	80-85
	43%	62%	65%	74%	32%
No 11 Potentially salt-aff. soil	CCCCC	Ca bi	1-5	2-4	80-85
	40%	41%	61%	66%	23%
No 12 Non salt-affected soil	CCCCC	Ca bi	0,5-1	2-4	120-130
	45%	78%	61%	50%	12%

Megjegyzés: FAK=felszínalatti képződmények, TKT=talajvíz kémiai típusa, OAT=oldottanyag tartalom (a talajvízben), TVM=talajvíz mélység, TFM=talajvíz tengerszint feletti magassága. A FAK képződmények között a G, S, I és C egyenként 2-2 m vastag kavicsos, homokos, iszapos, agyagos réteget jelöl. Az 5 betűből álló sorozat a felszíntől kezdődik és 8-10 m-el végződik. A TKT kategóriái között az uralkodó kationt és a kloridot a vegyjele jelzi, a hidrogén-karbonát és szulfát iont bi és su jelöli.

Például az 4.1.5.3.táblázatban megfigyelhető, hogy a rétiszolonyec és a szolonyeces réttalaj, valamint a sztyeppesedő rétiszolonyec és mélyben sós csernozjom és réticsernozjom előfordulásához is páronként ugyanazok az agrogeológiai térképi kategóriák voltak köthetők leggyakrabban.

A szikes talajok előfordulása a talajvíztükör tengerszint feletti magasságával, a talajvíz kémiai típusával és a felszín alatti képződményekkel mutatta a statisztikailag legszorosabb összefüggést (4.1.5.4.táblázat).

Ezekkel a tényezőkkel ugyanakkor a többi hidrogeológiai térkép is szoros összefüggést mutatott, azaz a szikes talajtípusok előfordulását nem egyetlen tényező, hanem a tényezők együttese határozza meg. Két fő csoport különül el. A nem karbonátos szolonyec és a kapcsolódó talajok a Nagyalföld 26,7%-át fedik, főleg agyagos felszín alatti képződményekhez köthetők, a talajvízben dominálnak a Na^+ és HCO_3^- ionok, 80-90 m közötti tengerszintfeletti magasságon fordulnak elő. A szódás szoloncsák és a karbonátos réti szolonyec csupán a Nagyalföld 1,5%-át borítják, és leggyakrabban homokos képződményhez köthetők, ahol a talajvízben Ca^{2+} és HCO_3^- ionok dominálnak. Ez a csoport nem köthető egy adott magassági zónához, és területileg is szétválk.

A többváltozós lineáris és logisztikus regressziós technikák alkalmazásával a szikes talajok becslésére kapott eredményeket az 4.1.5.5.táblázat mutatja meg. Ordinális változók

4.1.5.4.táblázat. A vizsgált térképek közötti statisztikai asszociáció mátrixa (n=16,601)

Bizonytalansági tényezők (a hozzájuk tartozó T érték és annak szignifikanciája)	FAK	TKT	OAT	TVM	TFM
Változó(térkép)					
Szikes talaj típusa	0,08 (61, 0,00)	0,13 (80, 0,00)	0,05 (44, 0,00)	0,03 (32, 0,00)	0,16 (93, 0,00)
Felszín alatti képződmények		0,07 (60, 0,00)	0,02 (34, 0,00)	0,02 (33, 0,00)	0,10 (77, 0,00)
Talajvíz kémiai típusa			0,10 (61, 0,00)	0,02 (27, 0,00)	0,16 (84, 0,00)
Oldott anyag tartalom				0,01 (16, 0,00)	0,11 (49, 0,00)
Talajvíz mélysége					0,084 (49, 0,00)

4.1.5.5.táblázat. A regressziós modell statisztikái és a becsült paraméterek
A. Többváltozós lineáris regresszióanalízis

	Nominális változók nélkül	Kvantifikált nominális változókkal
R ²	0,149	0,296
Maradék MS	0,183	0,151
F próba értéke	253	363
Az F próba szignifikancia szintje	0,0000	0,0000
	Becsült paraméterek	
Tengelymetszet	-0,399 (0,042)	0,550 (0,040)
b1:TFM	-0,049 (0,002)	0,044 (0,004)
b2:TVM	-0,019 (0,008)	-0,078 (0,007)
b3:OAT	0,083 (0,112)	-0,119 (0,012)
b4:TTKT1	nem szerepelt	-0,317 (0,015)
b5:TFAK1	nem szerepelt	-0,187 (0,020)

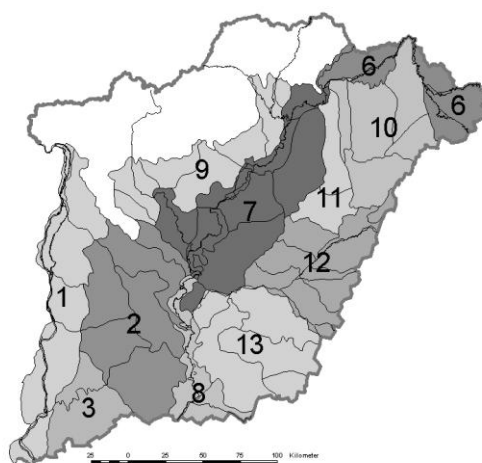
B, Logisztikus regresszióanalízis

	Nominális változók nélkül	Kvantifikált nominális változókkal
Összes pontosság %	69	79
Szikes talajok becslésének pontossága %	31	63
A modell χ^2 értéke	791	1548
A próba szignifikancia szintje	0,0000	0,0000
	Becsült paraméterek	
Tengelymetszet	0,334 (0,256)	1,830 (0,339)
b1:TFM	-0,347 (0,018)	0,333 (0,036)
b2:TVM	-0,239 (0,050)	-0,964 (0,071)
b3:OAT	0,409 (0,063)	-1,007 (0,097)
b4:TTKT1	nem szerepel	-2,022 (0,127)
b5:TFAK1	nem szerepel	-1,682 (0,167)

Megjegyzés MS=közepes négyzetes eltérés

alkalmazása esetén (TFM, TVM, OAT) a korrelációs koefficiens négyzete (determinációs koefficiens) csupán 0,15 volt. A logisztikus regresszió javította a korrelációt, és az összes pontosság 69% lett, a szikes talajok becslésének pontossága azonban csupán 31% volt.

Két, agrogeológiai térképekből származtatott változót nem tudunk az elemzésbe bevonni, mivel nominálisak voltak („Talajvíz kémiai típusa” és „Felszínalatti képződmények”), és ezért a HOMALS algoritmust használtuk a kvantifikálásukra. A magyarországi szikes területeket már többen tájegységekbe sorolták: Treitz (1924 és 1934), 'Sigmond (1927), Arany (1956), Herke et al. (1959). A Nagyalföld Somogyi (1991) által javasolt felosztása igen hasonló a korábbi felosztásokhoz. Ezek a térbeli egységek a sófelhalmozódásban meglévő különbségeket jól kifejezik, ezért a további elemzésbe bevontuk őket. A természetföldrajzi régiók térképe (4.1.5.1.ábra) azt mutatja, hogy a szikes kistájak szinte összefüggő területet alkotnak (1.7.13, 1.7.21, 1.12.11, 1.12.12, 1.12.21 számúak), de olyan kistájak veszik körbe őket amelyek egyre csökkenő arányban tartalmaznak szikes talajokat. A Nagyalföld nyugati szélén egy északi-déli irányú folt (1.1.21., 1.1.22, 1.1.23 kistájak) helyezkedik el, amelyik a szoloncsák-szolonyec talajok legfőbb előfordulási területe.



4.1.5.1.ábra. A Nagyalföld kistájai a számkódok és a szikesek területi részarányának feltüntetésével. A sötétebb tónusok a szikes talajok nagyobb részarányát jelölik.

4.1.5.6.táblázat. A “Magyarország kistájai” és a “Felszínalatti képződmények” térképek kontingencia táblázata az egyes foltok területével kifejezve

KÖZÉPTÁJAK														
FAK	Kód	1.1	1.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Összes	
SSSSS	21	435	2400	414	264	334	66	946	3766	30	87	168	8911	
SSCCC	22	75	1528	288	32	87	141	99	292	15	10		2568	
SCCCC	23	13	117	83	11	105	21		12			8	370	
SISSI	24	153	1610	317			124		140	14			2358	
SSGGG	25	342	15					235					592	
SCSCC	26				12	62		8	2		47		131	
SCGGG	27	154											154	
IIIII	31	2	150	222		84	24		0	176			658	
IISSS	32	4	128	77		564	150		1	134	80	493	1631	
ISSSS	33	123	17	104	42	146	323		42	42	46	5	890	
ISIIS	34	16	417	479	1	4	45		79	53			1095	
ICCCI	36						2			8	25	44	79	
CCCCC	41	60	207		1005	4552	515	1759	74	831	2379	3184	14565	
CCSSS	42	398	40	4	910	426	99	194	84	251	536	319	3261	
CSSSS	43	1073	122	7	227	533	57	176	25		656	672	3549	
CICII	44	73	141			88	29			56	11	37	434	
CCGGG	45	870	24					79					972	
CSCSS	46		40		107	128	12	294	33		358	208	1180	
Összes	km ²	3789	6958	1994	2610	7114	1608	3790	4551	1611	4235	5138	43398	

Megjegyzés: A FAK képződmények között a G, S, I és C egyenként 2-2 m vastag kavicsos, homokos, iszapos, agyagos réteget jelöl. Az 5 betűből álló sorozat a felszíntől kezdődik és 8-10 m-rel végződik.

4.1.5.7.táblázat. A “Magyarország kistájai” és a “Talajvíz kémiai típusa” térképek kontingencia táblázata az egyes foltok területével kifejezve

TKT			KÖZÉPTÁJAK												
Kation	Anion	Kód	1.1	1.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Összes	
Na	biCl _{su}	10					76	7			2		89	173	
Na	Cl	11					18	28					12	58	
Na	su	14		98			600	69	98		41	52	355	1314	
Na	subi	16											38	38	
Na	bi	17	934	1177	221	21	3842	677	560	142	1290	1662	4092	14617	
Na	bisu	19											26	26	
NaMg	su	24		2			118		48					168	
NaMg	bi	27					38		36	22	19	16		131	
NaMg	bisu	29						23						23	
NaCa	bi	37					13							13	
NaCa	biCl	38										23		23	
Mg	su	44	57											57	
Mg	subi	46	19											19	
Mg	bi	47	246	968	551		28	1	333	52		6		2185	
MgNa	su	54					3		46					49	
MgCa	subi	66	27											27	
MgCa	bi	67	598	95	171									864	
Ca	Cl	71					11							11	
Ca	Cl _{su}	72				9								9	
Ca	su	74		5		234	60	92	36	10		30		467	
Ca	subi	76				13								13	
Ca	bi	77	1533	4272	944	2216	1917	626	2310	4313	260	2248	433	21071	
Ca	bisu	79		13										13	
CaNa	biCl _{su}	80					13	1						14	
CaNa	bi	87	27	19	18	80	52							196	
CaMg	bi	97	142	240	55		17	1	87			25		568	
CaMgNasu		104				13				12		57	21	104	
CaMgNabi		107	208	69	35	23	308	52	235		1	115	73	1117	
CaMgNabiCl		108						31						31	
Összes km ²			3789	6958	1994	2610	7114	1608	3790	4551	1611	4235	5138	43398	

Megjegyzés: A TKT kategóriái között az uralkodó kationt és a kloridot a vegyjele jelzi, a hidrogén-karbonát és szulfát iont bi és su jelöli

A középtájak kontingencia táblázata (4.1.5.6 és 4.1.5.7.táblázat) alapján a fenti két kategória változót a HOMALS algoritmussal transzformáltuk. A 4.1.5.6.táblázatban az első sorban (a térképen az eredeti kód 21) és első oszlopban a “435” azt mutatja, hogy az 1.1 középtájban a 21 kódszámú képződmények 435 km² borítanak. Ezen területen a felszín alatti képződmények 10 m-es mélységig végig homokos rétegződést mutatnak (ennek számkódja 5x2 m-es rétegben homok (S), azaz SSSSS. A 4.1.5.7.táblázat utolsó sorában a “31” azt mutatja, hogy az eredetileg 108-as számú térképi kód esetén az 1.8. középtájban 31 km² kiterjedésűek azok a területek, amelyekben a Ca²⁺/Mg²⁺/Na⁺ és HCO₃⁻/Cl⁻ az uralkodó ionok.

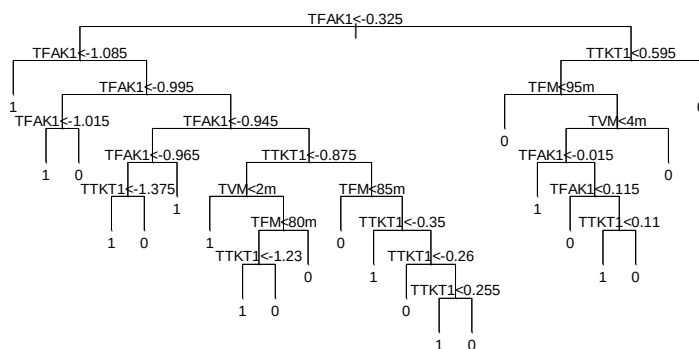
A HOMALS algoritmussal két kvantifikált változót nyertünk, a “Felszínalatti képződmények” térképből. A TFAK1 („1. számú Transzformált FelszínAlatti Képződmény” változó) az agyag – iszap – kevert kavics – homok változó, amit úgy lehet interpretálni, mint a lassú folyami, gyors folyami, illetve szél általi szállítás változóját. A TFAK2 („2. számú Transzformált FelszínAlatti Képződmény” változó) a kevert kavicsos rétegzettség és az egyöntetűbb rétegzettségek különbözőségét fejezi ki.

Hasonlóképpen két talajvízkémiai változót nyertünk a “Talajvíz kémiai típusa” térképből. A TTKT1 („1. számú Transzformált Talajvíz Kémiai Típusa” változó) az oldható sókban meglévő oldékonysági különbséget fejezi ki a nátrium – magnézium – kalcium sók sorozatával. A TTKT2 („2. számú Transzformált Talajvíz Kémiai Típusa” változó) a szulfát – hidrogén-karbonát változó.

A regresszióelemzésben ezek közül az első (TTKT1 és TFAK1) változókat (4.1.5.5.táblázat) vontuk be, ami a többváltozós regresszióelemzés esetén a determinációs koefficiens (R²) értékét 15%-ról 30%-ra növelte. A képződmény- és a talajvíz-kémiai változók bevonása a logisztikus regresszióban azt eredményezte, hogy az összes becslési

pontosság 80% lett. Ezáltal a szikes talajok előfordulását 63% pontossággal tudtuk megbecsülni. A TTKT2 és TFAK2 bevonása nem javította a regresszióelemzés pontosságát.

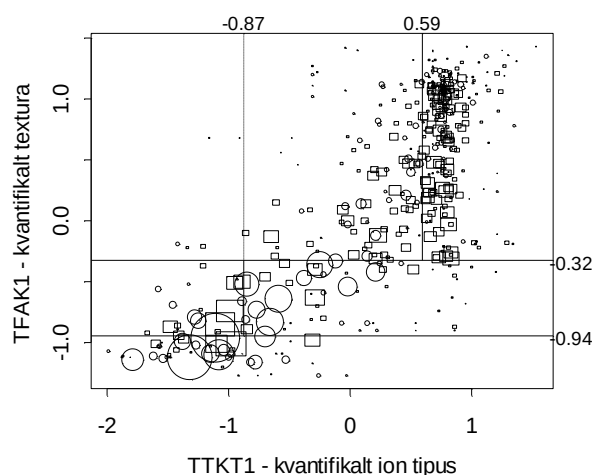
Az ok, amiért ezek a becselő technikák nem nyújtottak jó korrelációt az lehet, hogy a magyarázó változók és a sófelhalmozódási folyamatok között az összefüggés sem nem lineáris sem nem additív. Emiatt alkalmaztuk a klasszifikációs fa technikát (CART).



4.1.5.2. ábra. Klasszifikációs fa a szikes talajoknak (1) a nem szikes talajoktól (0) történő szétválasztására. A hibás besorolások aránya 0,036.

A 4.1.5.2. ábrán mutatjuk be a CART módszerrel kapott legfontosabb eredményeinket. Az esetek egymás utáni szétválasztása/vágása („splitting”) során a klasszifikációs fa egyre homogénabb „levelei”-t kapjuk. A vágásokhoz minden egyes tárgyalt változót (TTKT1, TFAK1, TFM, OAT és TVM) bevontuk az elemzésbe. A legfontosabb vágásokat a TTKT1 (kvantifikált iontípus) és a TFAK1 (kvantifikált képződmény típus) változók síkjában az 4.1.5.3. ábra alapján tárgyaljuk. Ebben a síkban a talajok sófelhalmozódásának valószínűsége fordított arányban áll a TFAK1 és TTKT1 értékével. A talajban és a felszín alatti rétegekben a kisebb szemcsék (agyag és iszap) túlsúlya kizárja az oldatok gyors mozgását, de a kapilláris vízemelés által érintett sós rétegek vastagsága jelentős. Ennek oka, hogy a kapilláris vízemelés végső (hosszú idő után elért) magassága a részecskék átmérőjével fordítottan arányos. Következésképpen a sók a talajvízből a talajszelvénybe mozoghatnak, és onnan a kilúgzásuk nehéz. A homoknak és kavicsnak nagy a hidraulikus vízvezetőképessége, és ez lehetővé teszi a sóknak a felszíni rétegekből történő gyors kilúgzását. Amikor a talajvízben a Na kationok vannak túlsúlyban, különösen amikor a talaj agyagos, akkor a Na^+ ionoknak a kationcserélő helyekre történő adszorpciója miatt a talaj tulajdonságai megváltoznak. A Mg^{2+} viselkedése hasonlít a Na^+ -ére, de a Ca^{2+} többnyire nem okoz sófelhalmozódást a Nagyalföldön. A kation összetételben meglévő különbségek hatását az anion összetétel módosítja. A talajvízben a SO_4^{2-} dominanciája rendszerint a szikes talajok jelenlétéhez szorosabban kötődik, mint a HCO_3^- dominanciája. Az oldott sók oldékonysága befolyásolja a talajvíz összetételét és a nagyobb sótartalom esetén a SO_4^{2-} -ion kerül túlsúlyba.

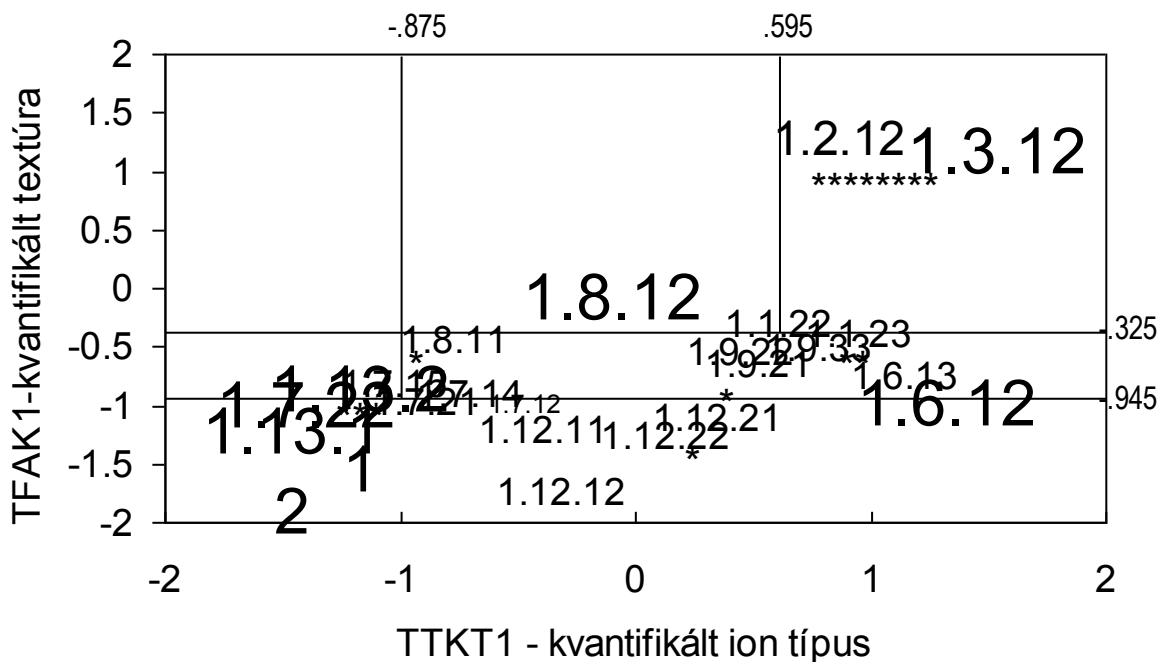
A „vágásokat” (splitting) az 4.1.5.3. ábra alapján tárgyaljuk, ezen az elvágott levelek (az ágak végén a végső esetek) méretét is mutatjuk, ami a szikes területek méretét jelzi. Az első vágás a TFAK1 0,325-es értékénél volt, amely elválasztotta a szikes talajokhoz kötődő agyagos és iszapos földtani rétegzettségű eseteket a többitől. A fa baloldali ágán a vágás



4.1.5.3. ábra. A klasszifikációs fa legfontosabb vágásai a TTKT1 és TFAK1 változók síkjában a szikes (○) és nem szikes (□) talajok elválasztásában. A jelek mérete arányos a vonatkozó foltok térbeli kiterjedésével.

TFAK1 $-1,085$ és főleg TFAK1 $-0,945$ értékeknél a legagyagosabb szikes talajokat választotta le. Ezen talajok alatt a talajvízben a Na van túlsúlyban, emiatt ezt a sávot a „Na-agyag” néven neveztük. Kisebb területi kiterjedésű vágások után az iszap szemcseméret tartományban jelentősebb vágás van TTKT1 $-0,875$ értéknél, amely azokat a talajvizeket választja el amelyekben egyrészt Na^+ és HCO_3^- , másrészt $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ és SO_4^{2-} van túlsúlyban. A szulfátion túlsúlya a szikesedés nagyobb valószínűségét jelöli, és el tudunk különböztetni egy „ $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ - SO_4^{2-} —iszap”-sávot. A „ $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$ —iszap”-sáv a löszös üledékeknek felel meg, amelyek 20-25% CaCO_3 -ot tartalmaznak, mállás révén könnyen szolgáltatnak Na^+ -iont. A baloldali következő vágás azt mutatja, hogy a nem szikes területekhez képest a szikes területeken a talajvízszint sekélyebb ($\text{TVM} < 2 \text{ m}$) és rendszerint alacsonyabban fekszik ($\text{TFM} < 80 \text{ m}$) amint azt az 4.1.5.3. táblázat mutatja. A fa jobboldalán TTKT1 $0,5895$ értéknél a vágás két sávot választott el amelyek kevés szikes talajú területet tartalmaznak. Elkülöníthető egy „ $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ - SO_4^{2-} -homok” sáv, amelyben a SO_4^{2-} túlsúlya a sófelhalmozódás nagyobb valószínűségét jelzi, ezzel szemben a másik, a „ $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ - HCO_3^- -homok”-sáv nem szikes. A klasszifikációs fa összes pontossága elfogadható: 96%, szikes talajokra 91% és nem szikesekre 99%. A vágásokat a kistájuk alapján is értékeltük, és az itt be nem mutatott képen a TTKT1 és TFAK1 síkjában a szomszédos szikes területek egymás melletti helyzetet foglaltak el.

A 4.1.5.4. ábra már három szikesedési kategóriára bontja a talajfoltokat, úgy mint szikes, potenciálisan szikes és nem szikes talajok. A vágásokat az 4.1.5.2. ábrán szerepelt változók alapján végeztük ebben az esetben is. Az osztályozása összes pontossága 91 % volt, a szikes talajoké 87%, a potenciálisan szikes talajoké 92% és 94% a nem szikes talajoké. A legfontosabb vágások a TTKT1 és TFAK1 síkban történtek az 4.1.5.2. ábrához hasonlóan. Egy kivétel volt, a TTKAT1 $0,265$ értékénél végzett vágás. Ettől balra vannak azok a homokos rétegzettségű területek amelyekben a talajvízben a Na^+ ion van túlsúlyban, ettől jobbra pedig azok amelyek esetén $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ van túlsúlyban. A fa baloldalán a „Na-agyag” sávot választottuk le, és a következő vágás a TTKT1 – TFAK1 sík bal felső sarkát választja el amit a potenciálisan szikes talajok sávjaként különíthetünk el. A fa baloldalán ugyanazok a vágások vannak, mint amelyeket a két szikesedési kategóriára elválasztó, 4.1.5.3. ábrán bemutatott klasszifikációs fa esetén már láttunk. A fa jobboldalán először a TTKT1 – TFAK1 sík alsó bal sarkát választjuk le TFAK1 0 értéknél, ezután a TTKT1 $0,685$ értéknél a talajvízben a Ca^{2+} és Mg^{2+} túlsúlyának megfelelő nem szikes talajokat. A



4.1.5.5. ábra. A középtájak a “kvantifikált képződmény” és “kvantifikált talajvíz-összetétel” változók síkjában. A kistájak kódjának mérete arányos a kiterjedésükkel. Azokat az eseteket, amikor számos kistáj kódja egymás közelébe esett, “*” jelöli.

1935, Endrédi, 1941). A felszínalatti képződmények szemcseméretét korábban ‘Sigmond (1927), mostanában Eilers et al. (1997) és Bradd et al. (1997) hangsúlyozta. Várallyay (1968) a talajvíz kémiai típusait különböző talajtípusoknak feleltette meg a Duna-völgyben; míg öntéstalajok alatt a Ca, szoloncsákok alatt véleménye szerint a Na a túlsúlyban lévő kation. Benz et al. (1961), Bazilevich (1970), Arndt és Richardson (1989) a talajvíz kémiai összetétele és a talaj sófelhalmozódása közötti térbeli összefüggést ismertette.

Számos elmélet ad magyarázatot arra vonatkozóan, hogy milyen a talajvíz mélysége, oldottanyag-tartalma és kémiai összetétele, ilyen Kovács (1960) teóriája, Várallyay (1968) és Kuti (1989) Duna-völgyre kidolgozott elmélete és Tóth (1984) általános talajvíz áramlási elmélete.

A nagyobb tájak kisebb tájakra osztása a földrajztudomány gyakori módszere, adott kérdés megoldásakor gyakran ez az első teendő. A Nagyalföldön a tájfelosztás jól reprezentálja a szikes talajok részarányában meglévő különbségeket. A FAK (Felszínalatti képződmények) és TKT (Talajvíz kémiai típusa) változóknak nominálisból numerikussá történő transzformálása során a HOMALS algoritmus a földrajzilag egymás mellett elhelyezkedő tájegységeknek hasonló skálapontokat adott.

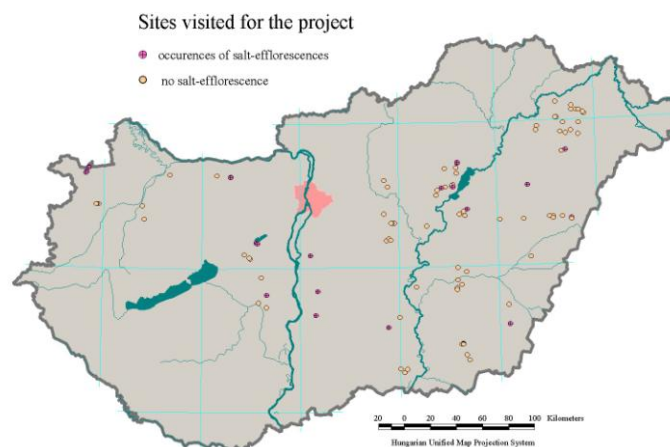
4.1.6. Hazai sókivirágzások kialakulásának feltételei, összetétele és jelentősége a szikes talajok kialakulásában[#]

A hazai sókivirágzások a szikes talajok kutatásának kezdete óta vizsgált képződmények (Zipser 1817, Thirring 1886, Treitz 1924, Arany és Babarczy 1937, Szabolcs és Jassó 1961, Szabolcs 1961, 1964, 1967, Várallyay és Szabolcs 1966, Herke

[#] A fejezetet a Szendrei et al. (2001) publikáció alapján írtam.

1983). Mégis az elmúlt 50 év folyamán ilyen jellegű vizsgálatok nem folytak annak ellenére, hogy a szikesedés feltételei számos hazai tájegységben jelentősen változtak.##

Vizsgálataink során 1998 és 2001 között 164 helyszínen kerestünk sókivirágzásokat. Ezek között volt az összes, az általunk ismert szakirodalom által jelzett, sókivirágzás-előfordulás. Ebből 32 helyszínen találtunk sókivirágzást, sokkal kevesebb helyen, mint vártuk (4.1.6.1.ábra).



4.1.6.1.ábra. A sókivirágzás gyűjtése során felkeresett helyek (○). Azokat a helyeket ahol sókivirágzást találtunk „⊕” jelöli.

A sókivirágzások helyén csupán néhány növénytársulásban fordult elő: **Bolboschoenetum maritimi** (1 eset), **Puccinellietum limosae** (ez esetek harmada), **Camphorosmetum annuae** (az esetek fele), **Lepidio-Puccinellietum limosae** és tőfenék növényzet.

Kémiai összetételüket tekintve a sókivirágzásokban szinte kizárólag nátrium volt az uralkodó kation. Az anionok szempontjából a változatosság jelentős volt:

Szulfát ásványok

- A Dunántúlon thenardit (Alap, Dinnyés), thenardit-gipsz (Alap, Fertőújlak), thenardit-blödit-gipsz (Sarród), epszomit-hexahidrit-gipsz (Tata),
- A Tiszától északra thenardit (Egerlövő, Tarnaszentmiklós, Tiszanána),
- Békésben thenardit (Szabadkigyós).

Karbonát ásványok

- A Nyírségben nátron-termonátrit-trona (Újfehértó),

Szulfát-karbonát vagy szulfát és karbonát ásványasszociációk

- A Hajduságban karbonát-szulfát thenardit-trona (Balmazújváros, Biharugra, Földes, Konyár), és szulfát, thenardit (Földes, Polgár, Tépe) és karbonát, termonátrit-trona (Konyár),

A munka fázisai

-Előkészítés

- a vizsgálat koncepciójának kidolgozása

-Elemzés

- terepi mintavétel
- laboratóriumi kémiai elemzések
- kristálytani elemzések
- összefüggésvizsgálat

-A Duna-Tisza közén szulfát-karbonát, thenardit-termonatrit-gipsz (Apaj), burkeit (Apaj), és karbonát: trona (Kiskunmajsa, Miklapuszta és Petőfiszállás).

Szulfát-karbonát vagy szulfát és karbonát, valamint klorid ásványasszociációk

-A Hortobágyon karbonát-szulfát asszociáció, thenardit-trona (Hortobágy), thenardit-trona-gipsz (Hortobágy), thenardit-termonatrit-trona (Hortobágy),

Klorid ásványt (halit) találtunk a Hortobágyon (Zám) Szendrei et al., 2001.

A sókivirágzások előfordulásának körülményeire a feltárt szelvények alapján következtettünk. A szelvények legfontosabb tulajdonságait a 4.1.6.1.táblázat mutatja meg.

A sókivirágzások előfordulása a következő feltételek mellett várható:

A táblázatból kitűnik, hogy a talaj felső szintjének az EC_e értéke legalább 20 mS/cm. A talajvíz 7-10 mS/cm körüli EC értéke kedvezett a sókivirágzás megjelenésének. 1.5 mS/cm elektromos vezetőképességű talajvíz EC esetén 50% agyagtartalmú talajon találtunk sókivirágzást.

4.1.6.1.táblázat. A sókivirágzások alatt feltárt szelvények néhány jellemző tulajdonsága

Helyszín	Dátum- ÉÉÉÉ.HH.N N.	Talajtípus	A humuszos réteg vastagsága (H%>0.5%)-cm	A talajvíz- szint mélysége -cm	A talajvíz EC-je- mS/cm	A felső szint EC _e -je- mS/cm	A szelvény átlagos SP-je - ml/100 g talaj
Szabadkígyós	1999.09.08.	szolonyec	36	204	4,9	21	70
Egerlővő	2000.08.09.	szolonyec	78	180	1,5	25	111
Alap	2000.08.24	szoloncsák	28	200	10,8	25	50
Péteri tó	2000.07.28.	szoloncsák	13	80	11,2	80	39
Sarród	2000.08.28.	szoloncsák	18	190	6	27	48
Újfehértó	1999.08.16.	szoloncsák	14	150	4,72	20	47
Akasztó	1998.07.30.	szoloncsák- szolonyec	38	95	7,5	70	37

Megjegyzés SP telítési százalék, EC_e a telítési kivonat elektromos vezetőképessége.

A talajvíz szintjétől a felszínig a talajvíz, illetve a talajoldat összetétele változik. A felszín felé közeledve a talajoldatok összetétele egyre homogénebb.

4.2. A SZIKES TALAJOK TULAJDONSÁGAI ÉS A NÖVÉNYZET KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK ÉS AZOK ALKALMAZÁSA

Az általános indikációs elv kimondja, hogy az élővilág előfordulásának tér-idő mintázata minden ökológiai feltételt indikál (Juhász-Nagy, 1984).

Egy éghajlati körzeten belül kis magasságkülönbség esetén, a növényzetet differenciáló legjelentősebb természetes abiotikus tényező a talaj. Az egyes talajtulajdonságoknak a növényzetet meghatározó szerepe eltérő, de kijelölhetők azok a legfontosabb talajtulajdonságok, amelyek a növények előfordulását döntően meghatározzák.

A talajtulajdonságok ismeretében elméleti alapon nem határozható meg a növényzet összetétele. Ugyanakkor adott termőhelyen, különösen pedig az abiotikus stressz által befolyásolt szolonyeces pusztán, ahol a talajtulajdonságok változása jelentős hatása a kis fajszerű vegetáció számára, és a szikesek növényzetét befolyásoló egyéb abiotikus tényezők is összefüggenek a talajjal - mint az erózió, a mikroklima, a vízborítás stb. -, nagyszámú terepi növénytársulástani felvétel (Hortobágyi és Simon, 1981) és talajmintavétel alapján statisztikus módszerekkel kvantitatív összefüggés állítható fel a talajtulajdonságok (pH, sótartalom stb.) értéke és a növényzet összetétele (azaz az egyes növényfajok viszonylagos borítása) között.

Ugyanilyen módszerekkel, ha az empirikus-statisztikus összefüggéseket megfordítva állítjuk fel, akkor számszerűsíthető, hogy az egyes növények egyedüli vagy együttes előfordulása az egyes talajtulajdonságok milyen értékét indikálja lokálisan. Az ilyen empirikus-statisztikus összefüggések felállítására használható adott esetekben, például a regresszióanalízis (Webster, 1985).

A növényzet és egyes talajtulajdonságok közötti térbeli függőség pedig figyelembe vehető többváltozós geostatisztikai módszerekkel (Webster, 1985), továbbá az előzőhöz hasonlóan felhasználható a talajtulajdonságok számszerű becslésében.

A termőhelyi viszonyok felmérését célzó távérzékelési technikák is empirikus összefüggést keresnek a felszíni jelenségek és a mért paraméter (reflektancia) között. Ha ismerjük a növényzet és a talajtulajdonságok összefüggését, valamint a növényzet-távérzékelte paraméter összefüggését, akkor távérzékeléssel támogatható a talajtulajdonságok térképezése. A növényzet - távérzékelte paraméter összefüggést numerikus osztályozással állapítják meg, és a változók között statisztikai eszközökkel keresnek megfeleltetést (Pando et al., 1992). Ugyanilyen módszerek, például a diszkriminancia-analízis, alkalmazhatók annak vizsgálatára, hogy egyes növénytársulások a talajtulajdonságok alapján mennyire fednek át, illetve különülnek el (Tóth és Kertész, 1993b).

A növények előfordulása és a talajtulajdonságok közötti összefüggést szikes talajokon könyvtárnyi munka tárgyalja a talajtani tudomány kialakulása óta. Az erre szakosodott tudományág a geobotanika. A szikeseken megfigyelhető növényzeti indikációval különösképpen orosz geobotanikusok foglalkoztak, a megjelent művek közül említhető Viktorova (1962), Larin (1953), Bahiev (1979) könyve.

4.2.1. Hortobágyi padkásszik komplexum növényzetének osztályozhatósága[#]

A szolonyec talajokon előforduló növényzeti típusok közül a padkásszik komplexum kiemelkedő figyelmet kapott. Ez a formáció együtt tartalmaz több talaj(al)típust és növénytársulást. A növénytársulások diverzitása, összborítása, a növények magassága azt mutatja, hogy a talajtulajdonságok is nagymértékben különböznek. A tapasztalat ezzel egyező, mert a szikpadka és a vakszik illetve a szikfok talaja erősen különbözik. Kézenfekvő a kérdés, hogy a szikpadka növényzeti típusait milyen pontossággal lehet talajtulajdonságokon alapuló, egymástól elváló kategóriákba sorolni, és hogy melyek azok a talajtulajdonságok, amelyek a kategóriák szempontjából a legfontosabbak. Másképpen kifejezve, ha a növényzet alapján készítünk térképet a padkásszikkal, akkor milyen pontosság várható a térképtől, mely növényzeti kategóriák választják el a talajtulajdonságokon alapuló kategóriákat kisebb pontossággal, és mely talajtulajdonságok különbözőségét mutatja meg jobban a kategorizálás, mivel a talajtulajdonságok alapján szét nem választható növényzeti kategóriák nem alkalmasak a növényzet alapján végzett talajfolt elhatárolásra.

A kérdések megválaszolására a diszkriminancia-analízist használtuk. Azt vizsgáltuk, hogy a talajtulajdonságok értékeinek ismeretében milyen százalékos pontossággal lehet a megfigyeléseket, azaz a mintavételi helyeket a növényzeti típusukba besorolni. Az eredetileg feltett kérdés (a növényi kategóriák használata milyen pontosságú talajtulajdonság előrejelzést tesz lehetővé) fordítottja (a talajtulajdonságok ismeretében milyen pontosan jelezhető előre a növényi kategória) a diszkriminancia-analízissel vizsgált kérdésnek. Azért használok mégis a diszkriminancia-analízist, mert tájékoztat a változók fontosságáról az osztályozásban. Ezt a próbát többváltozós normál eloszlású változókkal

[#] A fejezetet a Tóth, Rajkai és Kertész (1996) publikáció alapján írtam.

lehet elvégezni, és mivel a vizsgált változók többnyire nem normális eloszlásúak voltak, ezért azokat transzformáltam.^{##}

A Hortobágyi Nemzeti Park területén, a szigorúan védett Nyírólapon a Rajkai et al. (1988) által vizsgált területen belül két darab 50 m hosszú transzektet, a transzekteken belül véletlenszerű beágyazott (nested random) mintavétellel mintavételi helyeket jelöltünk ki.

1989. július 10-én és 11-én végeztük a talajmintavételt, amikor két mélységből (0-5 cm és 10-15 cm) bolygatott és bolygatatlan mintát vettünk. A növényzet társulás szintű jellemzését 20 * 20 cm-es kvadrátokban végeztük a talajmintavétel helyén. A terepi növénytársulástani jellemzés és a talajmintavétel során is célunk a minimális mintavételi távolság elérése volt. A talajminták esetén ez azt jelentette, hogy a laboratóriumi vizsgálati módszerek mintaigényéhez igazodtunk. Ezáltal a minimális mintavételi távolság 10 cm lett. Mivel egy pontban az alkalmazott "gyűrűs" módszerrel nem volt lehetséges folyamatosan bolygatatlan mintát venni (0-5, 5-10 cm stb.), 0-5 és 10-15 cm-ről vettük azokat.

A bolygatott mintákból elvégzett talajkémiai vizsgálatok pH, összes só és Herke-féle mozgékony Na voltak. A bolygatatlan mintákból a térfogattömeg, pF 0, pF 2,3, pF 4,2 és aktuális talajnedvesség (mind térfogatszázalékban) értékét határoztuk meg. 1990. május 24-én végeztük el a növényborítás fajonkénti értékelését.

Mintavétel

A Kertész M. által tervezett véletlenszerű beágyazott mintavételi terv rugalmas, a kívánt mintavételi pontok számának megfelelően alakítható.

A mintavételi pontok kijelölésének sémája a következő volt:

Adott egy 50 m hosszú transzekt, ebből 60 mintavételi helyet akarunk kijelölni. Az 50 m hosszú transzektet 5 egyenlő alrészre osztjuk (10-10 m), alrészenként véletlenszerűen kiválasztunk 4 db 1 méteres kis részt, majd a méteres szakaszokban véletlenszerűen kiválasztunk 3-3 db 1 deciméteres apró részt. A kapott pont a mintavételi pont, összesen egy transzekten $3 * 4 * 5 = 60$ pont, amint azt a 4.2.2.1. ábra bemutatja. Az ábrán a tájékoztatás érdekében minden fél méternél feltüntettük a növényzeti kategóriákat. Ar-F **Artemisio-Festucetum pseudovinae**, Cm **Camphorosmetum annuae**, Pm **Puccinellietum limosae**, Ach-Fm **Achilleo-Festucetum pseudovinae**, Meadow réti foltot jelöl. A nested random mintavétel a pontpárok távolság szerinti egyenletesebb eloszlását eredményezi, lehetővé teszi hosszabb transzekt vizsgálatát kevesebb mintával, mint ami a szabályos mintavétel esetén szükséges. Ugyanakkor az ezen mintavétel által nyújtott elrendezés a térbeli interpolációs vizsgálatokhoz nem optimális, mivel az egyes pontok közvetlen szomszédságában levő pontok száma, illetve azoknak egymástól vett távolsága rendkívül változó, ezáltal az interpolálás során a szomszéd pontokra eső súlyok értéke igen változó.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-**mintaterület kijelölés**

-mintavételi terv elkészítése

-**mintavétel és helyszíni elemzések**

-Elemzések

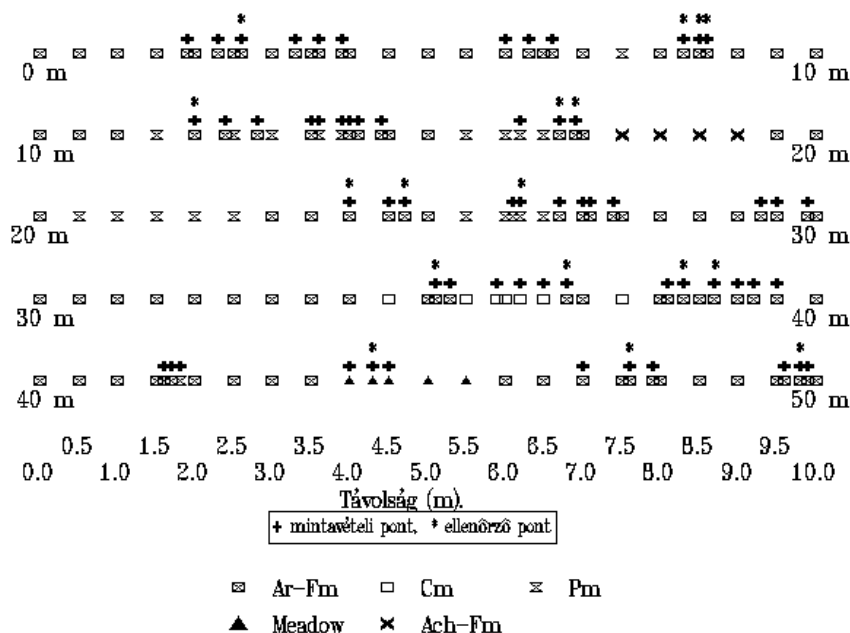
-**korrelációs és regressziós vizsgálatok és értelmezésük**

A megfigyelések társulások szerinti megoszlása

Artemisio-Festucetum pseudovinae és átmenetei	83
Camphorosmetum annuae és változatai	4
Puccinellietum limosae és változatai	30
réti jellegű folt	3

A megfigyelt és képzett növényzeti kategóriák

A két transzekt döntően réti szolonyeceteket szelt át. A kémiai adatok és a növényzet tanúsága szerint kérges és közepes réti szolonyec talajok fordultak elő a területen; ezenkívül a "réti folt" talaját kell még elkülöníteni, az adatok (0-5 cm-ben 0,08%, 10-15 cm-ben 0,14% sótartalom, viszonylag alacsony pH és mozgékony Na értékek) szerint mélyben sós réti talaj.



4.2.1.1. ábra. A padkásszék komplexum X transzektjének mintavételi terve 10 m-es szakaszokként bemutatva

A helyszíni kategóriákat két lépésben összevontam (Tóth, 1994), így a kategorizálás részletességének hatásáról is felvilágosítást kaptunk.

Az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** - **Camphorosmetum annuae** - **Puccinellietum limosae** - réti folt szekvenciát követve az összes kémiai tulajdonság átlaga a **Camphorosmetum annuae**-ban mutat (a **Puccinellietum limosae**-hez képest kicsi) maximumot (4.2.1.2. ábra, amelyen Ar az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**, C a **Camphorosmetum annuae**, P a **Puccinellietum limosae** és R a réti folt jele, lásd még az 4.2.1.1. táblázatot). A talajfizikai változók közül a talajnedvesség és mindkét mélység pF 4,2 értékének átlaga kategóriánként különböző, de a konfidencia intervallumok részben átfednek. A kis esetszámú kategóriák közül a "réti" sok változó esetében viszonylag homogénnek bizonyult, és emiatt a konfidencia intervallumok jól elváltak. A **Camphorosmetum annuae** szintén kis esetszámú, de heterogén kategória, ezért ennek konfidencia intervallumai a többi kategóriáéval gyakran átfedtek. Ezt jól mutatja a 4.2.1.2. ábra, amelyen a 0-5 cm-es réteg tulajdonságai szerepelnek.

A változók nevei
 PH pH érték
 REL relatív magasság (cm)
 SA összesség %
 SNO a vizsgált kvadrátban előforduló növényfajok száma
 T a kvadrát súlyozott T értéke
 TOCO a növényzet összes borítása (akárcsak a többi faj borítása=%)
 AR az *Artemisia santonicum* borítása
 CAM a *Camphorosma annua* borítása
 F a kvadrát súlyozott F értéke
 MOS a mohák borítása
 N a kvadrát súlyozott N értéke
 NA a Herke módszerrel meghatározott mozgékony nátrium (mgeé/100g)
 NOS a *Nostoc commune* borítása
 PUC a *Puccinellia limosa* borítása
 R a kvadrát súlyozott R értéke
 SAL a kvadrát súlyozott sótűrés értéke
 RAU a kvadrát súlyozott Raunkiaer életforma értéke
 FE a *Festuca pseudovina* borítása
 MOS a mohák borítása
 KA Arany-féle kötöttségi szám (ml/100 g)
 BD térfogattömeg (g/cm³)
 MC aktuális talajnedvesség (tf%)
 SC pF 0 érték (tf%), FC pF 2,3 érték (tf%)
 WP pF 4,2 érték (tf%)

Az egyes élőhelyek ökológiai viszonyai jól egyeznek a számított ökológiai értékekkel. A T érték (hőigény) a fenti toposzekvenciában (**Artemisio-Festucetum pseudovinae - Camphorosmetum annuae - Puccinellietum limosae** - réti folt) követi a kémiai tulajdonságok tendenciáját, azaz a maximumot a **Camphorosmetum annuae** -ban adja, és a toposzekvencia két szélső kategóriájában (**Artemisio-Festucetum pseudovinae** és réti folt) alacsonyabb az értéke (Kovács és Tóth, 1988 ugyanezt igazolta terepi hőmérsékletméréssel); az F érték (talajnedvesség-igény) nem a **Puccinellietum limosae**-nél ad nagy értéket, hanem a toposzekvencia két szélső kategóriájában, mivel a *Puccinellia limosa* F értékét Soó (1964-1973) közömbösnek veszi. Ez leginkább a padkásszik komplexumon kifogásolható, mivel itt a **Puccinellietum limosae** a legnedvesebb élőhely. A réti jellegű állomány lényegesen nagyobb N igényű; az R érték (kémhatás iránti igény) követi a pH értéknek a növényi kategóriák toposzekvenciájában mutatott mintáját, de a réti társulás növényeit sokkal inkább alkalinitást kedvelőnek tünteti fel, mint amilyenek. A **Camphorosmetum annuae** R értéke egészen kiugró volt, és ez megfelel az irodalmi adatoknak. A SAL érték (sótűrés) eloszlása az R érték mintájával egyező. A Raunkiaer-féle életforma kiugróan alacsony értéket nyújtott a **Camphorosmetum annuae**-ben (mivel a domináns *Camphorosma annua* egyéves növény), ebből a szempontból a réti jellegű társulás mind a **Puccinellietum limosae**-nél, mind az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-nél alacsonyabb értéket mutatott. A térszíni fekvést tekintve az összes növényborítás és a növényfajszám az irodalmi adatokkal egyező mintázatú volt, és a legkisebb értéket a **Camphorosmetum annuae**-ben adta, legnagyobbat pedig a réti foltban. A térszíni fekvés a várttól teljesen eltérő, mivel a **Puccinellietum limosae** magasabban fekszik az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-nél. Ennek egyik oka az, hogy a két transzekt térszíni fekvésében és a transzekteken a társulások megoszlásában különbség volt. Az X transzekt átlagos (relatív) magassága 10,5 cm volt és itt 6 db **Puccinellietum limosae** és 46 db **Artemisio-Festucetum pseudovinae** kategóriába eső kvadrát volt, az Y transzekten, amelynek átlagos magassága 19,5 cm 24 db **Puccinellietum limosae** kategóriába eső kvadrát volt. A kategóriák egyenetlen eloszlása miatt a **Puccinellietum limosae** kategória átlagos magassága nagyobb.

Az egyes változó csoportok befolyása az osztályozás hatékonyságára

A változókat különböző módon csoportosítottuk, a klasszifikációs mátrixot használtuk a változó csoport értékelésére. Az eredményeket a 4.2.1.2. táblázat tartalmazza. A táblázatban a változó csoportok mint független változók (ezek számát az "Értékelt változó" oszlop mutatja meg) segítségével osztályozó (diszkriminancia) egyenleteket számítottunk, és az egyenletek által becsült kategóriatagságot (azt, hogy az adott mintavételi hely melyik növényi kategóriába tartozik) a ténylegesen megfigyelt kategóriákkal hasonlítottuk össze, és így kaptuk a helyes besorolás oszlopokat.

A 4.2.1.2. táblázatban foglaltak alapján megállapítható, hogy a növényi változók az osztályozásban fontosabbak a talajváltozóknál. A terepi szakértői besorolás is a növényi előfordulást, az egyes növényfajok borítását tekinti legfontosabbnak, ezek mellett a növénytársulástani jellemzést végző személy még az élőhely degradációs állapotát, a talajfelszínt stb. is figyelembe veszi. Esetünkben a növényborítás alapján mintegy 80%-os pontossággal tudnánk a megfigyeléseket a négy kategóriába besorolni a növényi fajborításokon alapuló lineáris egyenlettel. Mivel ez nem nagyon pontos, arra kell gondolni, hogy a szakértői besorolás nem lineáris kombinációkat használ, hanem növényfajcsoportok jelenlétét vagy egyéb, nem lineáris összefüggéseket, mert a kvadrátoknak egyik vagy másik kategóriába sorolása nem attól függ, hogy a növényfajok borításának lineáris kombinációja

4.2.1.2. táblázat. A diszkriminancia-analízisben kapott osztálybesorolás megfelelése a terepi besorolásnak az osztályozó változók csoportjai szerint

Változó csoport	Helyes besorolás (%)				Értékelt változók száma	
A kategória jele	5	6	7	8	Összes	
Kategória	Artem-F.	Camphor.	Pucci.	réti	folt	
Esetszám	83	4	30	3		
Talajváltozók						
0-5 cm kémiai	47	75	63	100	53	4
10-15 cm kémiai	72	100	53	100	69	4
összes kémiai	79	100	60	100	76	9
összes kémiai és fizikai	81	100	77	100	81	9
Növényi változók						
növényökológiai	81	75	70	100	78	6
növény borítás	77	100	83	100	80	8
összes növényi	85	100	73	100	83	14
Talaj és növényi változók						
talajkémiai	88	100	77	100	86	23
talajfizikai és kémiai	93	100	90	100	92	31

valamely küszöbértéket átlépett-e vagy sem. A két kis esetszámú csoport nem kedvez a hatékony osztályozásnak, mivel a különböző csoportok esetszáma rendkívül változó. A két kis csoport mégis jól csoportosíthatónak tűnik, az ide tartozó megfigyelések az esetek többségében 100%-os pontossággal lettek besorolva. Ez minden bizonnyal összefüggésben van a réti folt említett viszonylagos homogenitásával. Ha a növényi- és talajváltozók befolyását összehasonlítjuk, megállapítható, hogy a két változó csoportnak megegyező befolyása van az osztályozásban. Ez a megfigyelés megerősíti azt a megállapítást, hogy a padkássziken megfigyelhető növénytársulások edafikusan erősen meghatározottak. A két változó csoport (növényi és talaj) egyesítése tovább növelte a osztályozás pontosságát.

Szembeötlő, hogy a mélyebb talajréteg alapján jobb besorolás állítható elő, mint a felszíni alapján, mivel a növényi életfeltételek sokban függenek a vízellátást szabályozó mélyebb rétegtől. A két transzекten együtt a talajkémiai tulajdonságok átlagértéke (zárójelben variációs koefficiense) a következő volt: PH5 8,4 (10%) és PH15 9,9 (5%); SA5 0,16 (73%) és SA15 0,45 (53%), valamint NA5 8,7 (47%) és NA15 18 (31%). A mélyebb (10-15 cm-es) réteg, amely a szolonyeces B szintet is érintette, kisebb szóródást mutatott mint a felső (0-5 cm-es) réteg, de kellő változatosságot ahhoz, hogy a felső rétegnél pontosabban osztályozza a kvadrátok növényzetét. Ha azokat az eseteket vizsgáljuk, amikor a növényzetet a talajtulajdonság alapján soroltuk be, megállapítható, hogy ezek a változók a **Puccinellietum limosae**hez képest az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** kategóriát pontosabban sorolták be. Ez az eredmény arra utalhat, hogy a **Puccinellietum limosae** toleranciája szélesebb, vagy arra, hogy a **Puccinellietum limosae** talaja éppen átalakulóban van. Az adott esetben ez azzal a következménnyel jár, hogy a **Puccinellietum limosae** az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-hoz képest kisebb pontossággal jelöli ki a talajtulajdonságok növényi kategóriáinként elváló osztályát.

A 4.2.1.3.a táblázatban és a többi klasszifikációs mátrixban azt ismertetem, hogy az eredeti terepi besorolás hogyan egyezik a diszkriminancia egyenletek által nyújtott besorolással. Minden egyes kategóriára (soronként) azt tüntettem fel, hogy a terepen abba a kategóriába tartozó megfigyelésekből hányat soroltak a diszkriminancia egyenletek az egyes kategóriákba. A diszkriminancia egyenletekkel kapott osztályozást tehát vízszintesen,

4.2.1.3.táblázat. A 4.2.1.2.táblázat negyedik sorában szereplő diszkriminancia-analízis (összes talajkémiai és talajfizikai változó) eredményei

a. Klasszifikációs mátrix

Kategória eredeti besorolás	Esetszám		DA osztályozás A kategória kódja			
	Kód		5	6	7	8
Artemisio-F.	5 83	67	4	12	0	
Camphorosm.	6 4	0	4	0	0	
Puccinellie.	7 30	3	4	23	0	
réti folt	8 3	0	0	0	3	

A besorolás pontossága: 81%

b. A Rao-féle V érték növekedése a legfontosabb osztályozó változók esetén

		A V növekedése	
Lépés	Változó		Szignifikancia
1	SA15	68,6	0,0000
2	MC5	56,9	0,0000
3	FC15	52,8	0,0000
4	NA5	15,7	0,0013
5	MC15	16,2	0,0011
6	BD5	14,4	0,0024
7	FC5	12,2	0,0066

Megjegyzés: a változók neveit lásd a 4.2.1.1.táblázatban

az eredeti osztályozást pedig függőlegesen helyeztem el. A táblázat alatt feltüntetett besorolási pontosságot a táblázat bal felső-jobb alsó átlójának, azaz a helyes (az eredeti besorolás = DA egyenlettel kapott besorolás) besorolásoknak az összes megfigyelésekkel

(az eredeti besorolás esetszámai) való összevetése alapján kaptam. A 4.2.1.3.a táblázat első sora például arról tájékoztat, hogy a terepen elkülönített 83 **Artemisio-Festucetum pseudovinae** kategóriába tartozó kvadrátból a DA csupán 67-et sorolt ugyanabba a kategóriába, 4-et a **Camphorosmetum annuae** kategóriába és 12-t a **Puccinellietum limosae** kategóriába. A besorolás pontosságát a $\{(67+4+23+3)/120\} \cdot 100$ kifejezéssel kapjuk, ebben 67, 4, 23 és 3 kategóriánként sorban a helyes besorolások számát adja, és 120 az összes vizsgált eset száma.

A táblázat adatai megerősítik azt, amit a **Camphorosmetum annuae** viszonylagos heterogenitásáról mondtunk, mert bár a megfigyelt **Camphorosmetum annuae** kvadrátok osztályozása pontos volt, több más kategóriába tartozó megfigyelés (4 db **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-ként és 4 db **Puccinellietum limosae**-ként leírt) is ide lett beosztva. Az első diszkriminancia egyenlet csak az összes variancia 51%-át tudja megmagyarázni, ezért a második diszkriminancia egyenletet is figyelembe kell venni.

A 4.2.1.3.b táblázat és a többi hasonló táblázat azt kívánja bemutatni, hogy a diszkriminancia elemzésben milyen szerepe volt az egyes osztályozó változóknak. Erre a célra a Rao-féle V érték megnövekedését választottam, mivel ehhez szignifikancia-szint számolható.

A 4.2.1.3.b táblázat adatai szerint az osztályozásban 7 változó is erősen szignifikáns volt. A vízgazdálkodási és kémiai tulajdonságok egyaránt fontosak, előbbiek közül a talajnedvesség-tartalom és a talaj szántóföldi vízkapacitás értéke, az utóbbiak közül a felszíni réteg mozgékony nátriumtartalma és a 10-15 cm-es réteg sótartalma. A talajnedvesség-tartalom kialakulásában a domborzati viszonyoknak, a talaj vízbefogadó képességének, a növényi borításnak és a gyökerek vízfelvételének is szerepe lehet. A vizsgált esetben amikor (csak a két leggyakoribb növényi kategóriát tekintve) az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** összes borítása (átlagosan 59 %) mintegy kétszerese a **Puccinellietum limosae** kategóriában talátnak, és mint ismertettük az utóbbi átlagosan magasabban fekszik, nem zárható ki, hogy a növényzet hatása tükröződik abban, hogy a **Puccinellietum limosae** kategóriában a 0-5 cm-es réteg talajnedvesség tartalma (9 tf %) mintegy másfélszerese az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** kategóriában mértnek. Mindazonáltal a talajnedvesség tartalomban a kategóriák között megmutatkozó különbség alkalmas arra, hogy az adott pillanatban végzett felvételezés és mintavétel körülményei között lokális érvénnyel hozzájáruljon a növényi kategóriák szétválasztásához.

4.2.2. Változatos hortobágyi szikes puszta növényzeti kategóriáinak szétválasztása[#]

Amint az előző rész a szolonyec talajok egy szélsőségesen változatos formációjában vizsgálta a talajtulajdonságoknak a növényzet alapján történő kategória szintű becslésének lehetőségét, felvethető, hogy a szolonyec talajok Hortobágyra jellemző teljes növényzeti skálájában megvizsgáljuk a növényzet alapján történő talajtulajdonság-becslés pontosságát. Közvetetten tehát arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a változatos szikes puszta (Nagy és Korpás, 1956 ismerteti a "puszta" szó alföldi értelmezését, miszerint az olyan szikes terület amelyen település vagy fatenyészet nincs) növényi kategóriái közül melyek a legalkalmasabbak a talajtulajdonságok előre jelzésére és melyek azok a talajtulajdonságok, amelyek előre jelzésére a növényi kategóriák különösen alkalmasak.

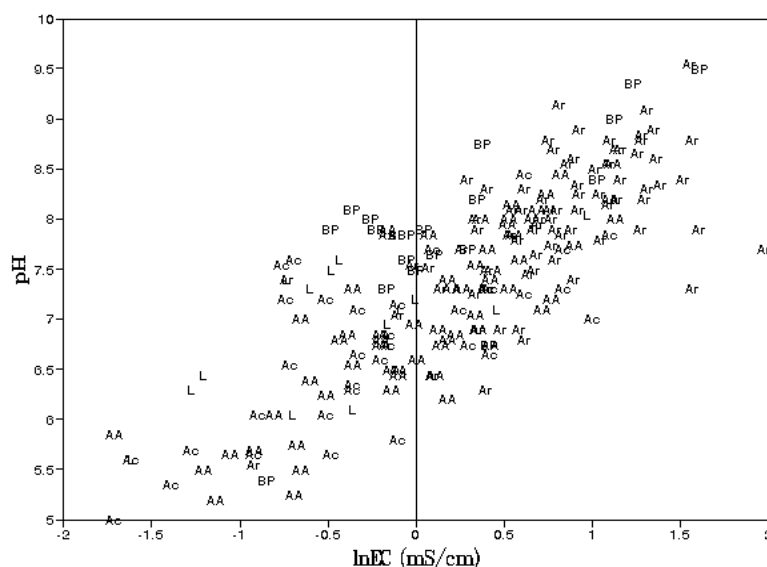
A használt algoritmus, a diszkriminancia-analízis által megválaszolt kérdés éppen a fordítottja annak, amit a rutinszerű térképezés során oldanak meg. Ez a feladat kiválóan alkalmas a talaj- és a növényzet összefüggésének és erősségének leírására és annak

[#] A fejezetet a Tóth és Kertész (1996) és Kertész és Tóth (1994) publikációk alapján írtam.

eldöntésére, hogy melyek a stabil illetve könnyen szétváló kategóriák illetve, hogy miként kellene egy olyan hierarchikus társulás-rendszert összeállítani, amelyik a talajtulajdonságok hasonlóságán alapszik. ^{##}

Hortobágyon, a Szálkahalomtól közvetlenül nyugatra, Nyárijárás és Szettyénes körzetében, egy 5x5 km-es négyzetben a löszlegelőtől a szikes tóig a Hortobágyra jellemző összes kiterjedt növényzeti kategóriát magába foglaló vizsgálati területen 339 helyen felszíni talajmintát, 184 helyen mélységi mintát is vettünk. A terepi munka során mintegy 20 cm átmérőjű körben feljegyeztük a növényzet típusát. A használt típusok a növényi társulások illetve a jellemző növényi fajok kombinációjaként álltak elő. A jellemzett kör pontosan megfelelt a talajmintavétel helyének, erre azért volt szükség, mert a változatos területen a talajmintavételi pont 15 m sugarú, növénytársulás szinten jellemzett környezetében gyakran több társulás is előfordult. A zavart, művelt, erdős foltokat ebben az értékelésben figyelmen kívül hagytuk.

A talajmintákat egyrészt a gyökérszónából vettük, és 1:5 talajszuszpenziókból várakozás nélkül mértük a pH₅-t és EC₅-t. Fúrásos mintavételt is végeztünk 10 cm-enként 0 és 30 cm mélység között, mivel Rajkai et al. (1988) eddig a mélységig talált a növényzet és a talajtulajdonságok között szoros korrelációt. A mélységi mintákból telítési pasztát készítettünk, amelyből pH-t, nátrium aktivitást (pNa, a mol/literben kifejezett nátrium ionaktivitás negatív logaritmus) és elektromos vezetőképességet határoztunk meg. Párhuzamosan a pH-t a hagyományos 1:2,5-es szuszpenzióban is meghatároztuk.



4.2.2.1. ábra. Összefüggés a 0-10 cm-es réteg pH-ja és a telített pasztában mért EC-je között

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- mintaterület kijelölés
- mintavételi terv elkészítése
- mintavétel és helyszíni elemzések

-Elemzések

- korrelációs és regressziós vizsgálatok és értelmezésük

A terület talajtani jellemzését Szabó József végezte el, aki a térszín magasabb, művelt foltján alföldi mészlepedékes csernozjomot, egy hasonlóan magas, **Achilleo-Festucetum pseudovinae**-vel borított területen mélyben sós mészlepedékes csernozjomot, **Artemisio-Festucetum pseudovinae** alatt kérges réti szolonyecet, **Agrosti-Alopecuretum pratensis** alatt közepes réti szolonyecet, valamint másik esetben szolonyeces réti talajt és **Bolboschoenetum maritimi** alatt típusos réti talajt írt le.

Ebben az elemzésben 5 kategóriát különítettünk el a mintavételi helyeken végzett növénytársulástani jellemzés alapján. A száraz szikesek közül a löszlegelő a 'Sigmond-Magyar-féle besorolás szerint I. osztályú, az **Achilleo-Festucetum pseudovinae** II. osztályú és az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** III. osztályú szikes. A nedves szikesek között az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** I. osztályú szikes, ide osztottuk a **Glycerietum maximae**-t is. Külön kategóriát nyitottunk a IV. osztályú nedves szikesnek, ide a **Bolboschoenetum maritimus** ass. és **Puccinellietum limosae** kategóriákat osztottam be. A **Bolboschoenetum maritimi** talajára nézve nem találtunk adatot, kivéve Magyar (1928) legelső besorolását, amelyben a nedves IV. osztályú szikeseknél szerepelt. Később ezt a kategóriát a **Puccinellietum limosae**-nek tartották fenn. A **Bolboschoenetum maritimi** felszíni mintáiban a pH 7,3 és az EC₅ 0,3 mS/cm (12 eset) volt, míg a **Puccinellietum limosae** hasonló mintáiban a pH 7,7 és az EC₅ 0,4 mS/cm (15 esetből) volt. Ez a megfigyelés igazolni látszott az összevonást.

A kategóriák átlagai a 4.2.2.1.táblázatban bemutatott értékeket vették fel. Az **Achilleo-Festucetum pseudovinae** sótartalma a 10-20 cm-es rétegben valamelyest, a 20-30 cm-es rétegben jelentősen nagyobb mint a löszlegelő sótartalma ezekben a mélységekben, és ez lehet a két kategória egymástól történő elkülönítésének alapja. Az **Achilleo-Festucetum pseudovinae** és az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** talajának kémiai tulajdonságai 10 cm-nél mélyebben hasonlóak, a két kategória elkülönítése a felszín közeli réteg sótartalma (EC_P) és pH-ja alapján végezhető el. A löszlegelő és az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** felszínalatti sótartalom eloszlása hasonló, kivéve a 20-30 cm-es rétegét. A 4.2.2.1.ábrán L a löszlegelő, Ac az **Achilleo-Festucetum pseudovinae**, Ar az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**, AA az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** és BP a IV. osztályú szikes kategória jele. A 0-10 cm-es réteg pH-ja és EC-je alapján a löszlegelő és **Achilleo-Festucetum pseudovinae** egyáltalán nem válik el, az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** átfed több növényzeti kategóriával és megfigyelhető, hogy a IV. osztályú szikes kategória értékei erősen szórnak.

4.2.2.1.táblázat. Az elkülönített növényzeti kategóriák telített talajpasztában meghatározott kémiai paramétereinek átlagértékei három mintavételi mélységben

Kategória	Esetszám	pH _P			EC _P			pNa _P		
		0-10	-20	-30	0-10	-20	-30	0-10	-20	-30
lőszlegelő	13	6,14	6,89	7,23	0,52	0,80	1,10	2,6	2,3	2,2
Achilleo-F.	33	5,93	6,71	7,24	0,49	1,04	1,85	2,3	1,9	1,7
Artemisio-F.	75	7,09	7,98	8,61	1,53	2,48	3,34	1,6	1,4	1,3
Agrosti-Alop.	60	6,33	7,00	7,54	0,89	1,22	1,54	1,9	1,8	1,7
IV. osztályú	16	7,35	7,94	8,31	1,19	1,56	1,97	1,7	1,6	1,6
Összesen	197	6,63	7,40	7,94	1,07	1,67	2,28	1,9	1,7	1,6

Megjegyzés: PH_P a telített pasztában mért pH-t, EC_P az ugyanott mért elektromos vezetőképességet, pNa_P a telített paszta mól/l-ben kifejezett nátriumion aktivitásának a negatív logaritmusát jelöli. 0-10, 10-20 és 20-30 cm a mintavételi mélységek.

A diszkriminancia-analízissel a következő megfelelést kaptuk.

4.2.2.2.táblázat. Változatos szikes pusztai növényzeti kategóriáinak szétválasztása diszkriminancia-analízissel

a. Klasszifikációs mátrix

Kategória eredeti besorolás	Kód	Eset szám	DA osztályozás				
			A kategória kódja				
			4	11	5	6	3
lőszlegelő	4	13	6	3	1	3	0
Achilleo-F.	11	33	5	21	2	4	1
Artemisio-F.	5	75	0	4	48	13	10
Agrosti-Alop.	6	60	5	5	8	36	6
IV. osztályú	3	16	0	1	3	0	12

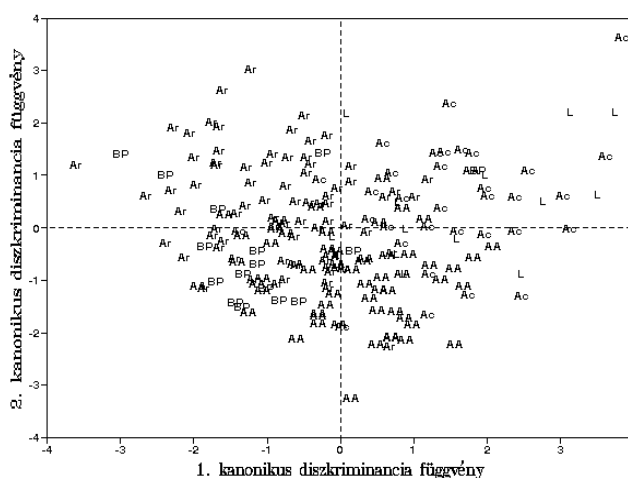
A besorolás pontossága: 62%

b. A Rao-féle V érték növekedése a legfontosabb osztályozó változók esetén

A V növekedése			
Lépés	Változó	Szignifikancia	
1	NA_P10	145,9	0,0000
2	PH_10	70,9	0,0000
3	EC_P30	48,7	0,0000
4	NA_P30	20,7	0,0004

Megjegyzés: A változók neveit lásd a 4.2.2.1.táblázatban, PH_F és EC_F a felszíni réteg 1:5-ös szuszpenzióban gyors módszerrel meghatározott pH-ja és elektromos vezetőképessége, SP a telítési százalék (Richards, 1954).

Az első három diszkriminancia-egyenlet (4.2.2.2.táblázat) az összes variancia 91 %-át magyarázta meg. A Rao-féle V értékének növekedése alapján az osztályozásra a legnagyobb befolyást a felszín közeli (0-10 cm) talajréteg nátriumtartalma, pH-ja, a legmélyebb (20-30 cm) réteg nátrium és sótartalma gyakorolta. Ebben az esetben a vizsgált kategóriák elválasztásában a nátriumtartalom játszott a legfontosabb szerepet, következésképpen a vizsgált növényi kategóriák az eltérő nátriumtartalmú talajfoltok elhatárolásában lennének leghasznosabbak.



4.2.2.2.ábra. Változatos szikes pusztai növényzeti kategóriáinak szétválasztása A-val

Amikor a vizsgált eseteket az első két diszkriminancia egyenlet síkjában szemléljük (4.2.2.2. ábra) feltűnik, hogy azoknak a síkban való elhelyezkedése a térszíni elhelyezkedésüket tükrözte vissza. Az ábra tanúsága szerint ugyanis a löszlegelő szomszédos az **Achilleo-Festucetum pseudovinae**-vel, az **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-vel, ez a IV. osztályú szikes osztállyal (**Puccinellietum limosae** és **Bolboschoenetum maritimi**), amely az **Agrosti-Alopecuretum pratensis**-szel érintkezik. Ez a sorrend megfelel a tipikus löszlegelő - szikes rét toposzekvenciának.

A diszkriminancia egyenletek a növényzeti foltok mintegy 2/3-át a talajtulajdonságok alapján helyesen besorolták. Az elválaszthatóság pontossága egyforma volt a szikes növényi kategóriák esetén. Ez az eredmény a padkásszik társulásaival végzett elemzések közül a 4.2.1.2. táblázat 3. sorában feltüntetett analóg. Ez az eset azt mutatta meg, hogy a vizsgált két mélység esetén (0-5 és 10-15 cm) a padkásszik komplexum társulásait, a talaj kémiai tulajdonságai alapján a képzett diszkriminancia egyenletek 76%-os pontossággal becsülik. A padkásszik komplexum esetén a növénytársulások a szikesrét térszínétől felfelé haladva először növekvő, majd csökkenő talaj sótartalmú, nátriumosságú és pH-jú övezetekben, voltaképpen a 'Sigmond-féle száraz és nedves szikes kategóriák határán helyezkednek el. Az említett toposzekvencia (**Artemisio-Festucetum pseudovinae** és réti folt) megfelel a III. o. száraz, IV. o. száraz, IV. o. nedves, I. o. nedves szekvenciának. A változatos szikes puszták a növénytársulások szélesebb körét tartalmazza (a 'Sigmond-Magyar-féle száraz és nedves szikes kategóriák mindegyikét). A kémiai talajtulajdonságok mellett a szolonyec talajok növénytársulásait elrendező másik ökológiai faktor, a vízellátás (száraz és nedves szik) számszerűsítő változó nem szerepelt a változók között. Emiatt a talajtulajdonságok a növényi kategóriákat kevésbé pontosan választják szét mint a padkásszik esetén. A változatos szolonyeces puszták esetén a növényzet alapján végzett kategória szintű talajtulajdonság becslés pontossága kisebb mint a padkásszik társulásaival végzetté.

4.2.3. Tiszántúli szolonyec talajok tulajdonságainak becslése többváltozós regressziós egyenletekkel[#]

A szolonyec talajok természetes növényzete összefüggést mutat a talajtulajdonságokkal. Kézenfekvő, hogy ezt az összefüggést ne csupán kategória szinten hasznosítsuk a talajtulajdonságok becslésében, hanem törekedjünk a talajtulajdonságok adott helyen vett értékének számszerű becslésére, mert a számszerű értékek alapján szerkesztett, izovonalas térképek többnyire informatívabbak, mint a foltterképek (Burrough, 1993). Különösen azoknál a talajoknál, amelyek termékenységét rendszeresen néhány ismert tényező korlátozza, az izovonalas térkép alkalmasabb lehet a foltterképnél, amennyiben a gátló tényezőt mutatja be és ha a tényező kvantitatíve összefüggésbe hozható a termékenységgel (pl. a növényi növekedés és a talajsótartalom). Kiválasztott növényfajok (a borítás mint függő változók) esetén többváltozós regresszióval számszerűsíthető az egyes (numerikusan értékelhető) talajtulajdonságok (mint független változók) hatása a növényfaj előfordulására adott területen. Ennek a logikának fordítottjaként egy területen a talajtulajdonságok értéke (függő változó) és több növényfaj borítása (független változók) közötti empirikus-sztokasztikus összefüggést többváltozós regressziós egyenlettel rögzíteni lehet, és az adott területen a talajtulajdonság számszerű becslésére is fel lehet használni.

[#] A fejezetet a Tóth és Rajkai (1994) publikáció alapján írtam.

Először irodalmi adatokat értékeltem, majd két általam gyűjtött adathalmazzal is kiszámoltam a regressziós egyenleteket. A regressziós egyenletek számításánál azoknak a növényfajoknak a borítását választottam független változónak, amelyek az esetek jelentős részében előfordultak a terepi növénytársulástani felvételekben. Független változóként ökológiaiailag fontosnak tartott, a szikesedéssel összefüggő talajtulajdonságokat választottam. A regressziós egyenletek illeszkedésének jósága, amit a korrelációs koefficiens (R) jelöl, megmutatja, hogy milyen pontossággal képesek az egyes egyenletek a talajtulajdonságokat becsülni a mintahalmazra.^{##}

Regressziós egyenletek Bodrogekőy adataival

Bodrogekőy (1965) a Hortobágy északi részén végzett botanikai megfigyeléseket. Egyes cönokvadrátokban talajmintákat is vett talajszelvény-feltárából vagy fűrással 10 cm-enként. A vizsgált talajkémiai adatok közül a CaCO₃ tartalmat, a szóda tartalmat és az összes sótartalmat közölte ábrák formájában. Botanikai megfigyeléseit 10 - 30 m² kiterjedésű kvadrátokban végezte. A növényfajok borítását +, 1-5 fokozatú Braun-Blanquet-féle skálával jelezte és megadta az összes borítást is százalékosan.

A felhasznált adatok (cönológiai táblázatok és hozzájuk tartozó talajadatok) növénytársulásonkénti megoszlása a következő volt: Agrosti-Beckmannietum 4, Agrosti-Alopecuretum 2, Pholiuro-Plantaginetum 2, Puccinellietum 5, Camphorosmetum 3, Artemisio-Festucetum 8, Achilleo-Festucetum 5.

Az idézett közlemény növénytársulástani adatai szubasszociációkra vonatkoznak, amelyeket a fenti táblázat készítése során összevontam társulásonként.

Bodrogekőy (1965) az általa készített asszociáció- és talajtípus rendszer tipikus eseteit mutatta be. A 4.2.3.1. táblázatban feltüntetett talajtípusokat különítette el és rendelte az egyes növénytársulásokhoz:

4.2.3.1. táblázat. A talajtípusok és növénytársulások megfeleltetése Bodrogekőy (1965) alapján

Talajtípus	Növénytársulás
szolonyeces réti talaj	- Agrosti-Beckmannietum eruciformis
	- Agrosti-Alopecuretum pratensis
réti szolonyec	- Puccinellietum limosae
	- Camphorosmetum annuae
	- Pholiuro-Plantaginetum tenuiflorae
sztyeppesedő réti szolonyec	- Artemisio-Festucetum pseudovinae
	- Achilleo-Festucetum pseudovinae

Bodrogekőy (1965) adatai alapján számolva a következő regressziós egyenleteket kaptam.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-irodalmi feldolgozás, elemzés

-mintavétel és helyszíni elemzések

-Elemzések

-korrelációs és regressziós vizsgálatok és értelmezésük

Sótartalom

SA_0= CAM*0,102+AGR*0,076+0,092	R=0,633
SA_10= CAM*0,218+0,220	R=0,703
SA_20= CAM*0,220+0,256	R=0,690
SA_30= CAM*0,076+POA*0,2-ACH*0,184+0,234	R=0,657

Szódatartalom

SODA_0= CAM*0,018+PUC*7,296-2,058	R=0,763
SODA_10= CAM*0,025-TOCO*8,99+0,097	R=0,797
SODA_20= -TOCO*1,629+CAM*0,033+0,168	R=0,834
SODA_30= -TOCO*1,49+CAM*0,038+INU*0,075-ACH*0,049+0,184	R=0,789

A regressziós egyenletek alkalmazása során vizsgált adathalmazok közül ez az adathalmaz tartalmazta a legtöbb növényzeti kategóriát. A regressziós egyenletekben a *Camphorosma annua* mindegyik réteg só- és szódatartalmának jó becselő változója volt. A szódatartalom becslése során, a felszíni réteget leszámítva, a regressziós egyenletbe a változók közé az összes növényi borítás is be lett lépítve szignifikanciája miatt. Ha az *Achillea collina* borítása helyről helyre nő akkor a 30-40 cm-es réteg só-, illetve szódatartalma csökken.

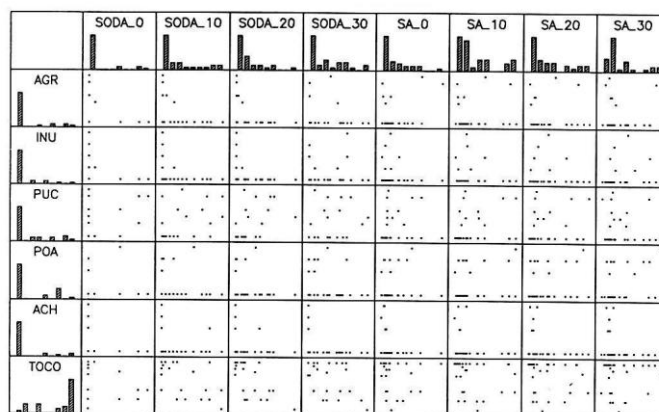
Bodrogközy adataival a megfigyelések kis száma ellenére is nagy korrelációs koefficienseket kaptam. Ez annak tulajdonítható, hogy szerző törekedett a hortobágyi szolonyec talajok összes lehetséges típusát jellemezni, gondot fordítva a társulások egymás közötti átmeneteinek, a szubasszociációknak leírására, kellő reprezentációjára, a tipikus esetek (növényzet és talajszelvény) kiválasztására.

4.2.3.2. táblázat. A fontosabb változók statisztikája Bodrogközy (1965) munkája alapján (n=29)

Változó	átlag	szórás	minimum	maximum
SA_0	0,18	0,18	0,02	0,75
SA_10	0,33	0,31	0,02	1,00
SA_20	0,37	0,31	0,05	1,10
SA_30	0,32	0,28	0,0	1,00
SODA_0	0,01	0,03	0,0	0,10
SODA_10	0,04	0,05	0,0	0,15
SODA_20	0,06	0,08	0,0	0,30
SODA_30	0,09	0,09	0,0	0,31
CAM	0,52	0,99	0,0	3,00
PUC	0,74	1,16	0,0	3,50
TOCO	80,17	25,34	25,00	100,00
INU	0,22	0,51	0,0	2,00
ACH	0,26	0,61	0,0	2,00
AGR	0,52	1,08	0,0	3,50
POA	0,45	0,70	0,0	2,00

A táblázatban szereplő rövidítések magyarázata:

A mélységek 0-10 (jele 0), 10-20 (jele 10), 20-30 (jele 20) és 30-40 (jele 30) cm voltak. SA vízzoldható só%, SODA szóda %, AGR *Agrostis alba* borítása, INU *Inula britannica* borítása, PUC *Puccinellia limosa* borítása, CAM *Camphorosma annua* borítása, POA *Poa bulbosa* v. *vivipara* borítása, ACH *Achillea collina* borítása, TOCO összborítás százalék.



4.2.3.1. ábra. Összefüggések a talajtulajdonságok és egyes növényfajok borítása között Bodrogyó adatai alapján

Néhány talajtulajdonság illetve növényi borítás közötti összefüggést a 4.2.3.1. ábra mutat be. Ezen az ábrán, úgymint a következő ábrákon a talajtulajdonságok a kis grafikonokon az abszcisszákon, a növényborítások az ordinátákon helyezkednek el. A kis grafikonok páronként mutatják meg, hogy a talajtulajdonságok értékei milyen összefüggésben állnak a százalékos növényi borítás értékekkel. A hellyel való takarékoskodás miatt, a kis grafikonok tengelyein nem tüntettem fel a változók számszerű értékeit. A változók minimum- és maximum-értékei a kapcsolódó statisztikai táblázatokban (pl. 4.2.3.2. táblázat) azonban megtalálhatók. Az ábra bal oldalsó és felső sávjában az egyes változók hisztogramja szerepel. A többváltozós statisztikai vizsgálatok többváltozós normális eloszlást feltételeznek, és ennek a feltételnek a sérülését, valamint a változók transzformációjának szükségességét is le lehet olvasni az ábráról.

Regressziós egyenletek Magyar adataival

Magyar (1928) a szikes társulások hazai vizsgálatát megalapozó munkájában, a botanikai megfigyelésekkel párhuzamosan, Arany adatait felrajzolva közli a talajszelvények, illetve fúrások mintáiban meghatározott szóda- és összes sótartalmakat. A talajmintákat a fúrásokkal lefelé haladva 20 cm-enként gyűjtötték. Ezek alapján végezték a szelvények részletes jellemzését. Az ábrákról olvastam le a számszerű értékeket 20 cm-enként (4.2.3.3. táblázat).

4.2.3.3. táblázat. A fontosabb változók statisztikája Magyar (1928) dolgozata alapján (n=34)

Változó	átlag	szórás	minimum	maximum
SA0	0,12	0,23	0,0	1,10
SA20	0,39	0,36	0,04	1,70
SASUM	2,96	2,23	0,78	9,40
SAMAX	44,12	23,67	20,00	140,00
SOD20	0,04	0,07	0,0	0,23
SODSUM	0,55	0,40	0,0	1,56
SODMAX	78,47	42,86	20,00	200,00
INU	2,56	4,88	0,0	19,50
CAM	5,72	15,74	0,0	66,50
ACH	2,80	7,47	0,0	30,00
ART	4,13	7,78	0,0	30,00
POA	1,56	3,16	0,0	11,00
POL	1,35	3,18	0,0	12,00
PUC	3,31	12,76	0,0	71,00

A táblázatban szereplő rövidítések magyarázata:

A mélységek 0-20 cm (a jele 0) és 20-40 cm (a jele 20) voltak, SA vízzoldható só%, SOD szóda %, -SUM a szelvényben összegzett sótartalom vagy szóda tartalom 140 cm-ig, -MAX a maximális só vagy szódatartalom előfordulási mélysége (cm), INU *Inula britannica*, CAM *Camphorosma annua*, ACH *Achillea collina*, ART *Artemisia monogyna*, POA *Poa crista*, POL *Polygonum aviculare*, PUC *Puccinellia limosa* százalékos borítása.

Magyar nem sorolta be a vizsgálati helyeket a növénytársulások szerint és nem közölte a kvadrátok méretét, ami valószínűleg 20-25 m² lehetett azért, hogy homogén foltokhoz kapcsolhassa a talajtulajdonságok értékeit. A növényfajok borítását százalékosan adta meg.

Magyar a számításokba bevont vizsgálati helyeket nem sorolta be sem talajtanilag, sem növénytársulástanilag. Az általa készített szikes társulás-kategorizálás szerint azok II., III., IV. osztályú szikesek voltak, amelyek között mind száraz mind nedves társulások előfordultak.

Magyar (1928) adatai alapján számolva a következő regressziós egyenleteket kaptam.

Sótartalom

$$SA0 = 0,070 \cdot PUC + 0,549$$

$$R = 0,625$$

$$SA20 = 0,069 \cdot CAM + 0,803$$

$$R = 0,457$$

$$SAMAX = 26,325 - 2,978 \cdot CAM$$

$$R = 0,417$$

Szódatartalom

$$SOD20 = 0,019 \cdot CAM + 0,143$$

$$R = 0,650$$

$$SODMAX = 9,753 \cdot INU - 6,694 \cdot ART + 96,512$$

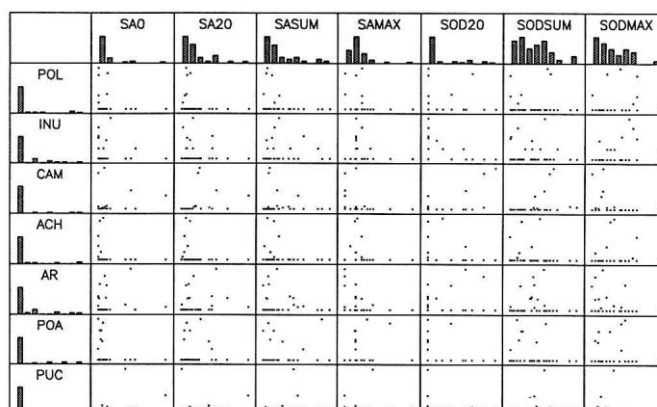
$$R = 0,578$$

$$SODSUM = -0,100 \cdot ACH - 0,096 \cdot ART - 0,124 \cdot POA - 0,079 \cdot POL - 0,051 \cdot INU - 2$$

$$R = 0,847$$

Ezen adathalmaz esetén a növényborításokat (x) logit, azaz $[\ln x/(100-x)]$ összefüggéssel transzformáltam.

A sótartalom és szódatartalom esetén is a *Camphorosma annua* borítása szerepelt leggyakrabban a regressziós egyenletekben.



4.2.3.2. ábra. Összefüggések a talajtulajdonságok és egyes növényfajok borítása között Magyar adatai alapján

Néhány talajtulajdonság illetve növényi borítás közötti összefüggést a 4.2.3.2.ábra mutatja.

Regressziós egyenletek nagykunsági adatokkal

A szikesedés műholdfelvételekkel történő nyomon követési lehetőségének vizsgálata során 1988. nyarán és kora ősszel felszíni talajmintavételt végeztünk Karcag és Püspökladány határában szikes legelőkön, szikes réteken. A mintákat közvetlenül a felszín közeléből, a felszíntől mintegy 3 cm-es mélységig vettük.

A mintavételnek az volt a célja, hogy a talaj és növényzet jellemzését az űrfelvételek (Landsat) képelem méretének (30 * 30m) megfelelő térbeli részletességgel, ismétlések alkalmazásával hajtsuk végre.

A botanikai megfigyeléseket, talajtanilag és növényzet alapján is tipikusnak tekinthető mintavételi helyek környékén véletlenszerűen elhelyezett 3-3 darab 40 * 40 cm-es kvadrátban végeztem, majd később a növényi fajborítások átlagával számoltam. A növényi fajborításokat százalékosan adtam meg.

A megfigyelések (cönológiai felvételek) számának növénytársulások szerinti megoszlása a következő volt: Achilleo-Festucetum 7, Artemisio-Festucetum 6, Camphorosmetum 2, Puccinellietum 2, Agrosti-Alopecuretum 3.

A 20 mintavételi hely közül 5 esetben szelvényfeltárás is volt. 4 esetben kérges réti szolonyecet, 1 esetben szolonyeces réti talajt találtunk.

4.2.3.4.táblázat. A fontosabb változók statisztikája a nagykunsági vizsgálatok esetén (n=20)

Változó	átlag	szórás	minimum	maximum
PH	6,43	0,99	5,22	8,50
SA	0,10	0,15	0,01	0,70
T_ERTEK	25,61	6,08	16,85	41,30
TOCO	70,00	24,67	9,50	99,00
POD	0,58	1,03	0,0	3,50
ART	2,23	4,00	0,0	13,00
AGR	1,88	5,39	0,0	23,50
POL	1,93	4,31	0,0	16,50
ACH	1,31	4,28	0,0	19,00
PLA	0,78	2,45	0,0	9,50

A táblázatban szereplő rövidítések magyarázata:

PH a talaj felszíni (0-3 cm) pH értéke, SA a talaj felszíni sótartalma (%), T_ERTEK a talaj felszíni T értéke, TOCO az összes növényborítás (%), POD *Podospermum canum*, ART *Artemisia santonicum* subsp. *monogyna*, AGR *Agrostis alba*, POL *Polygonum aviculare*, ACH *Achillea collina*, PLA *Plantago lanceolata* százalékos borítása.

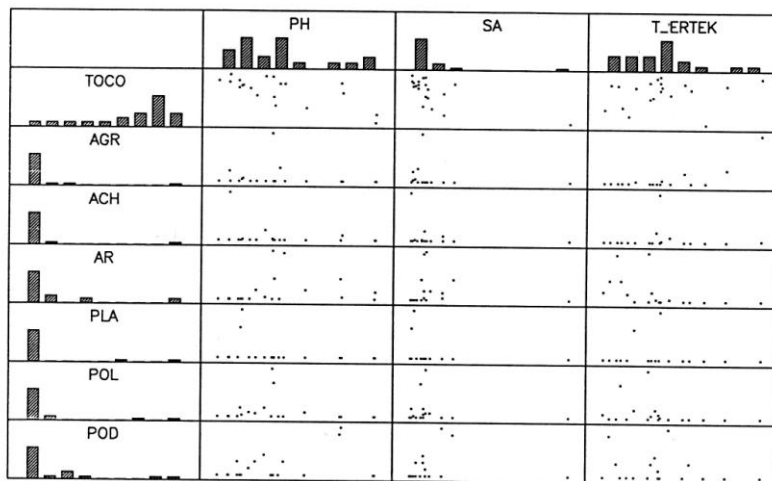
A talajtulajdonságok becslésében a logit transzformációval átalakított növényi változók nyújtottak szorosabb korrelációjú regressziós egyenletet.

$$SA = -TOCO * 0,061 + 0,170 \quad R = 0,621$$

$$PH_H2O = -TOCO * 0,571 + ACH * 0,180 - POL * 0,165 + ART * 0,130 + 8,204 \quad R = 0,891$$

$$T_ERTEK = -ART * 1,006 + AGR * 1,246 - PLA * 1,401 + 16,558 \quad R = 0,851$$

Az összes növényi borítás és az *Artemisia santonicum* borítása voltak a kémiai talajtulajdonságok legjobb becsülő változói. A szoros korrelációt elősegítette a növényi borításértékek előzetes átlagolása.



4.2.3.3.ábra. Összefüggések a talajtulajdonságok és egyes növényfajok borítása között nagykunsági adatokkal

Néhány talajtulajdonság illetve növényi borítás közötti összefüggést a 4.2.3.3.ábra mutatja.

Regressziós egyenletek padkásszik komplexumban

A korábban ismertetett két, hortobágyi padkássziken kijelölt 50 m-es transzektben az előzőekhez hasonló vizsgálatot végeztünk.

4.2.3.5.táblázat. A fontosabb változók statisztikája a padkásszik komplexumban (n=120)

Változó	átlag	szórás	minimum	maximum
PH5	8,42	0,87	6,30	9,98
SA5	0,16	0,11	0,01	0,65
NA5	8,71	4,11	2,09	23,50
PH15	9,87	0,49	8,46	10,63
SA15	0,45	0,24	0,09	1,30
NA15	17,68	5,50	4,96	33,42
SNO	6,13	0,89	4,00	9,00
TOCO	50,79	23,54	9,00	105,00
PUC	6,37	9,94	0,0	40,00
CAM	2,67	3,90	0,0	20,00
AR	4,28	4,17	0,0	20,00
NOS	4,55	5,20	0,0	25,00
MOS	2,39	6,23	0,0	40,00
REL	15,03	6,80	0,0	27,50
T	3,34	0,36	2,33	4,00
F	1,53	0,62	0,0	2,33
N	1,22	0,20	0,67	2,02

A táblázatban szereplő rövidítések magyarázata:

PH pH érték, SA összes só %, NA a Herke módszerrel meghatározott mozgékony nátrium (mgeé/100g), -5 a 0-5 cm-es rétegben mért tulajdonságot jelzi és -15 a 10-15 cm-es rétegben mértet, SNO a vizsgált kvadrátban előforduló növényfajok száma, TOCO a növényzet összes borítása (a többi borítással

együtt %), PUC a *Puccinellia limosa* borítása, CAM a *Camphorosma annua* borítása, AR az *Artemisia santonicum* borítása, NOS a *Nostoc commune* borítása, MOS a mohák borítása, REL relatív magasság (cm), T a kvadrát súlyozott T értéke, F a kvadrát súlyozott F értéke, N a kvadrát súlyozott N értéke.

A növényi változók logit (transzformált) értékeivel a következő regressziós egyenleteket kaptam.

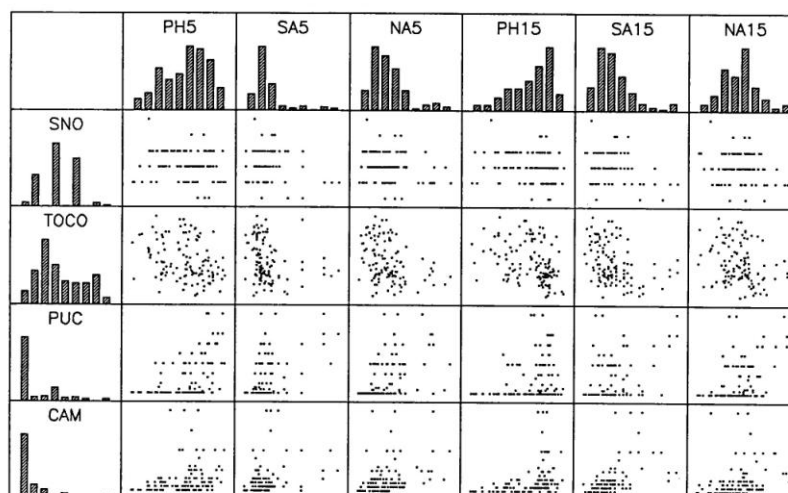
0-5 cm-es réteg

$$\begin{aligned} \text{SA5} &= \text{CAM} * 0,025 - \text{SNO} * 0,040 + \text{PUC} * 0,022 - \text{REL} * 0,0048 + 0,692 & R &= 0,692 \\ \text{NA5} &= \text{T} * 2,509 - \text{AR} * 0,696 + \text{CAM} * 0,891 - \text{MOS} * 0,639 + \text{RAU} * 1,246 - 6,726 & R &= 0,704 \\ \text{MC5} &= -\text{MOS} * 0,553 + \text{N} * 5,967 - \text{AR} * 0,476 - \text{TOCO} * 0,665 - 5,008 & R &= 0,689 \end{aligned}$$

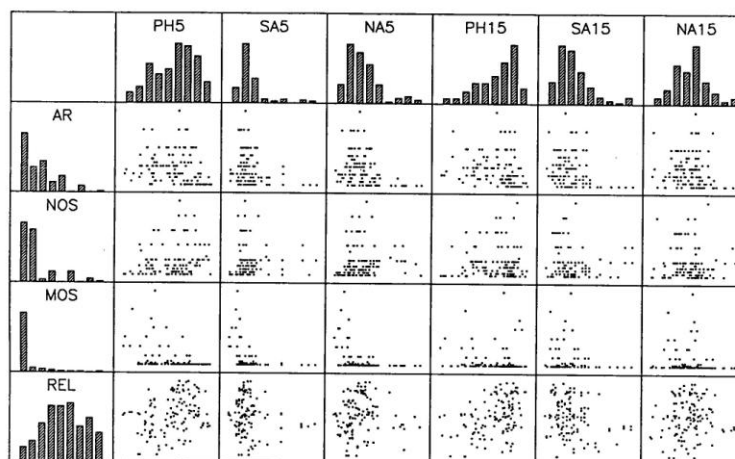
10-15 cm-es réteg

$$\begin{aligned} \text{SA15} &= \text{CAM} * 0,08 - \text{SNO} * 0,099 - \text{REL} * 0,010 + \text{PUC} * 0,036 + 1,750 & R &= 0,768 \\ \text{NA15} &= \text{CAM} * 1,898 + \text{RAU} * 2,539 - \text{SNO} * 2,402 + \text{PUC} * 0,833 + 35,557 & R &= 0,689 \\ \text{PH15} &= \text{CAM} * 0,18509 + \text{REL} * 0,02913 - & & \\ & \text{SNO} * 0,14048 + \text{PUC} * 0,09315 + \text{F} * 0,27592 + 11,14663 & R &= 0,750 \\ \text{MC15} &= -\text{F} * 3,157 - \text{NOS} * 0,437 + 18,779 & R &= 0,486 \end{aligned}$$

A *Camphorosma annua*, a *Puccinellia limosa*, a növényfajok száma, az összes növényi borítás és a *Nostoc commune* borítása a talaj kémiai tulajdonságainak jó becslő változói voltak.



4.2.3.4. ábra. Összefüggések a talajtulajdonságok és egyes növényfajok borítása között hortobágyi padkásszik komplexumon gyűjtött adatok alapján



4.2.3.5. ábra. Összefüggések a talajtulajdonságok és terepi megfigyelések között hortobágyi padkásszik komplexumon gyűjtött adatok alapján

Néhány talajtulajdonság és növényborítás közötti összefüggést a 4.2.3.4. és 4.2.3.5. ábra mutatja.

A 4.2.3.6. táblázat alapján a nágy esettanulmányból származó esetek 4-7 szikes társulástípust érintettek. A megfigyelések száma 20 és 120 között volt. A kvadrátméret 0,16 és 20 m² között változott. A borítás 1-től 5-ig növekvő számokkal (Bodrogközy, 1965) és a többi esetben százalékosan szerepel a regressziós egyenletekben. Bodrogközy növényi borításadatai transzformálás nélkül, a többi esetben logit transzformációval átalakítva szerepeltek a regressziós-egyenletekben. A többváltozós regressziós egyenletek korrelációs koefficiense jelzi a független változókkal a függő változó értékére végzett becslés pontosságát. A becslés szempontjából mindegy, hogy a független változó transzformálva volt-e vagy nem, ezért a regressziós egyenletek összehasonlíthatók. Mind a négy vizsgált eset tartalmazta a szikfok - vakszik - ürmös szikes puszta átmenetet (**Puccinellietum limosae - Camphorosmetum annuae - Artemisio-Festucetum pseudovinae**), és így a leggyakoribb hatékony becslő növényfajok mind a négy esetben ugyanazok voltak. Nevezetesen a száraz - nedves szikes átmenet középső, legszikesebb részén található, a szolonyec talajokon előforduló legnagyobb felszíni sótartalmat és pH-t elviselő *Camphorosma annua* és *Puccinellia limosa*. A növényfajoknak a kvadrátban feljegyzett száma és az összes borítás is gyakran szerepelt a regressziós egyenletekben mint becslő változó. A korrelációs koefficiens értéke többnyire 0.65-0.75 között volt, és azt jelezte, hogy az egyenletek a talajtulajdonságok becslésében felhasználhatóak annak ellenére, hogy a változók eredeti eloszlása az esetek nagy részében nem normális (Tóth és Rajkai, 1994).

A fenti eredmények alapján szolonyec talajokon javasolható a terepi növénytársulástani felvétel alapján végzett lokális talajtulajdonság előrejelzés. Ha a talajtulajdonságokról izovonalas térképet készítenek a fenti módszer alkalmazásával, ugyanazon pontosság elérése mellett a talajmintavételi pontok számát csökkenteni lehet. A terület kívánt térbeli felbontású jellemzéséhez szükséges pontok egy részében a botanikai felvételezést talajmintavétellel kell összekötni. Ha a mintavételi pontokban meghatározott talajtulajdonságok és a terepi növénytársulástani felvételben rögzített fajborítások erősen szignifikáns többváltozós regressziós egyenletet adnak, akkor a maradék pontokon a talajtulajdonságok értékeit a többváltozós regressziós egyenlettel becsülni lehet.

4.2.3.6.táblázat. Összefoglaló táblázat a talajtulajdonságokat becslő regressziós egyenletekről

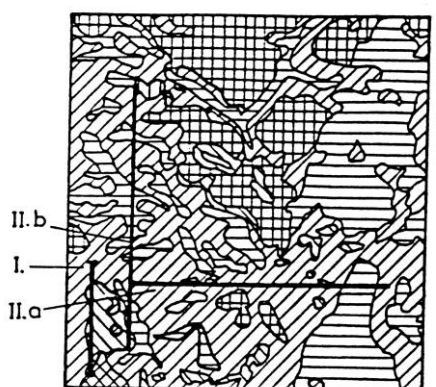
Forrás	Bodrogköz	Magyar	Nagykunság	Padkásszik
Maximális távolság (km)	10	30	30	0,06
Kvadrát terület	20m ²	20m ²	0,16m ²	0,25m ²
A vizsgált terület összetétele társulások szerint				
Agrosti-Beckmannietum	+			
Agrosti-Alopecuretum	+		+	+
Pholiuro-Plantaginetum	+			
Puccinellietum	+	+	+	+
Camphorosmetum	+	+	+	+
Artemisio-Festucetum	+	+	+	+
Achilleo-Festucetum	+	+	+	
Agrosti-Eleochari-Alopecuretum	+			
Megfigyelések száma	29	34	20	120
Vizsgált mélység (cm)	A becslésben szereplő növényi változók			
só a felszínen R	CAM,AGR 0,63	PUC 0,62	TOCO 0,62	CAM, SNO,PUC,REL 0,69
só 20 R	CAM 0,69	CAM 0,46		CAM,SNO, REL,PUC 0,77
szóda a felszínen R	CAM,PUC 0,76			
szóda 20 R	TOCO,CAM 0,83	CAM 0,65		
NA5 R				T,AR,CAM MOS,RAU 0,70
NA15 R				CAM,RAU SNO,PUC 0,69
pH a felszínen R			TOCO,AR POL,ACH 0,89	PUC,CAM,NOS SNO,TOCO,REL 0,73
pH 15 R				CAM,REL SNO,PUC,F 0,75

A növényi fajborítások (vagy azok transzformált értéke) mint független változók és a talajtulajdonságok közötti többváltozós regressziós egyenletek a növényzet és talajtulajdonságok közötti összefüggést formalizálják, az egyenletek a talajtulajdonságok becslését algoritmizálják. A többváltozós regresszió ilyen alkalmazása amellett, hogy lehetővé teszi a talajtulajdonságok számszerű előre jelzését a korrelációs koefficiens értékével jelzi a becslés megbízhatóságát, és tájékoztat az egyes növényfajoknak a becslésben betöltött fontosságáról (a lépcsőzetes regresszióban a beléptetés sorrendje, a béta koefficiens értéke, a változók beléptetése során a módosított R érték változása stb. alapján).

4.2.4. Különböző eljárások összehasonlítása hortobágyi padkásszik komplexum talajtulajdonságainak becslésére[#]

A talajtulajdonságok térképezése során törekedni kell az izovonalas térképek készítésére (Burrough, 1993). Ezen térképek készítése során a szokásos eljárás az, hogy a térbeli felbontásra vonatkozó követelményeknek vagy a kivitelezés pénzügyi korlátainak megfelelő számú mintát vesznek, és a mintavételi pontok közé a talajtulajdonság értékét beinterpolálják. Az izovonalakat rendszerint simítással rajzolják a mért és interpolált pontokra. Az interpolált pontoknak tehát csak a helyét ismerjük a változók értékét becsülni kell. Az interpolálásra számos technika alkalmazható. Az esetek többségében térbeli interpolációt alkalmaznak. Ezek a technikák az interpolált pontok értékét úgy számítják, hogy az interpolált pont közelében elhelyezkedő ismert pontokban meghatározott értékeket (pH, talajnedvesség, stb.) valamilyen, az interpolált ponthoz képest vett távolságtól függő súllyal átlagolják.

A szolonyec talajok (termőhelyek) térképezése esetén kézenfekvő a növényzetnek a talajtulajdonságok értékének becslésében való felhasználása. Szándékunk az volt, hogy két különböző technikát illetve ezek kombinációját próbáljuk meg a mozaikos padkásszik komplexum térképezésére alkalmazni és a két technika előnyei és hátrányai alapján tegyünk javaslatot azok alkalmazhatóságáról.



- I. 21 m long cross-section
 II.a West-East 50 m long transect
 II.b South-North 50 m long transect

-  Agrosti-Alopecuretum p.
 Camphorosmetum a.
 Puccinellietum l.
 Achilleo-Festucetum p.
 Artemisio-Festucetum p.

4.2.4.1. ábra. A vizsgálati területen kijelölt transzektek helyzete a növényzeti foltokhoz képest. A tárgyalásra kerülő IIa és IIb transzektek az Oertli és Rajkai (1988) által vizsgált I transzekt közvetlen közelében helyezkednek el.

Az egyik technikát, a többváltozós regresszióanalízist az előző részben mutattuk be. A most ismertetésre kerülő vizsgálatban háromféleképpen csoportosítottuk a becsülő (független) változókat: növényi változók, talajváltozók és a kettő együtt. A térképezési

[#] A fejezetet a Tóth és Rajkai (1994) publikáció alapján írtam.

gyakorlatban elképzelhető például, hogy egy vagy több, könnyen vagy olcsón és a helyszínen meghatározható tulajdonság segítségével készítik egy nehezebben meghatározható tulajdonság térképét. Ha az eltérő nehézséggel meghatározható tulajdonságok között a korreláció szoros akkor a térképen ábrázolandó pontok egy részében mindegyik tulajdonságot meghatározzák, a többi pontban pedig csak a könnyebben meghatározhatókat. Regressziós egyenletet állítanak fel könnyebben meghatározható tulajdonságok, mint független és a nehezebben meghatározható tulajdonság, mint függő változó között. A nehezebben meghatározható tulajdonság értéke regressziós egyenlettel becsülhető azokban a pontokban is, amelyekben csupán a könnyebben meghatározható tulajdonságok értékét határozták meg. A fenti gondolatmenet ugyanúgy alkalmazható a következő esetekre: növényborításból talajtulajdonságot becsülni, talajtulajdonságból és növényborításból talajtulajdonságot becsülni és talajtulajdonságból talajtulajdonságot becsülni. Ezt a három változatot vizsgáljuk az alábbiakban. A fentiekből kitűnik, hogy a többváltozós regresszióanalízis alapvetően a változók közötti korreláción alapszik, és nincs tekintettel a vizsgálati pontok térbeli helyzetére.

A másik alkalmazott technika, a krigelés tipikusan térbeli interpolációs eljárás. Az ismeretlen pontban végzett becslés során a szomszédos pontok súlyát a ponttól való távolság, illetve az ahhoz a távolsághoz és irányhoz tartozó, szemivariogrammal kifejezett térbeli függése határozza meg. A krigelés két változatát vizsgáltam: az egyváltozós (autokrigelés) és a többváltozós krigelést (kokrigelést). A krigelés alkalmazását nem javasolják olyan területen ahol éles határok vannak. A szolonyec talajokon a felszín nagyfokú heterogenitása ellenére a felszín alatt homogénnek tekintett szolonyeces B szint húzódik, amely elég sekélyen fekszik ahhoz, hogy befolyásolja a növényi életet. Azt vártuk, hogy a felszín közeli és mélyebb rétegekben végzett becslések pontossága eltérő lesz. Az autokrigelést kétféleképpen végeztük el: a térbeli izotrópia figyelembevételével és nem figyelembevételével.

Míg az autokrigelés csupán egyetlen változót értékel és csak annak értékét jelzi előre, a kokrigelés két változó együttes térbeli függését alkalmazza a rendszerint nehezebben vagy költségesebben meghatározható tulajdonság előrejelzésére. A kokrigelés során mindkét tulajdonságot meghatározzák a mintavételi pontok egy részében; a segédváltozó (könnyebben meghatározható, de erősen korreláló tulajdonság) értékét pedig még további pontokban is. A kokrigelés tehát a korreláción alapuló regresszióanalízis és az autokrigelés kombinációjának tekinthető, mivel a változók közötti korreláción és a változók külön-külön vett és együttes térbeli függésén alapszik. A kokrigelés mintavételi elrendezése hasonló a regressziós becslés mintavételi elrendezéséhez, így a kettő összehasonlítása emiatt könnyebb.

Ebben a vizsgálatban a talajtulajdonságok értékének térbeli becslésében segédváltozóként egyes növényfajok borítását használtam, azaz így a terepi növénytársulástani felvételeket két különböző technika segítségével is (MRA és kokrigelés) bevonom a talajtulajdonságok kvantitatív becslésébe.

A vizsgálatnak a következő kérdésekre kellett választ adnia:

1. A padkásszik komplexumban a krigelés pontossága megfelelő-e; a növényi fajborítások segédváltozóként kokrigelésben javítják-e a talajtulajdonságok becslésének pontosságát.

2. A talajtulajdonságok térbeli becslésében melyik technika alkalmasabb, és melyek az eredményes használatukra utaló paraméterek.^{##}

^{##} A munka fázisai

A becslés pontosságának a vizsgálata

A becslő módszerek kipróbálása során a becslt értékeket véletlenszerűen kiválasztott ellenőrző pontokon vagy blokkokban mért értékekkel hasonlítottuk össze. A becslés szórása (SEE, standard error of the estimate, Davis, 1986) azt mutatja meg, hogy a becslt értékeknek a mért értékekhez képest mekkora az átlagos négyzetes eltérése:

$$SEE = \sqrt{\sum (z_m - z_e)^2 / n}$$

ahol z_m a mért érték, z_e a becslt érték és n az összehasonlítások száma.

A különböző változók becslési pontosságának összehasonlítására a becslési hatékonyságot (E%) vezettem be Yates és Warrick (1986) után akik a becslés szórásának kokrigelés során kapott értékeit normalizálták hasonló módon az autokrigeléssel végzett becslés szórásával, és a javulást szintén százalékosan fejezték ki.

$$E\% = (1 - SEE/sd) * 100$$

ahol sd a hasonlításban szereplő minta szórása.

Az E% a becslés szórását az adott minta szórásával normalizálja, és így a becslés pontosságának összehasonlítását különböző változók esetében is közvetlenül megengedi. Az E% szemléletesen azt mutatja meg, hogy a becslt értékeknek a mért értékek körüli szóródása a minta eredeti szórásához képest mekkora. 100 azt jelzi, hogy a becslés szórása a minta eredeti szórásához képest elhanyagolhatóan kicsi, és 0 körüli érték azt mutatja, hogy a becslés nem pontosabb, mint a minta eredeti szórása.

Az E% értelmezésének segítéséhez a becslési pontosság egyik mutatóját (Warrick et al., 1986) a mért és becslt értékek közötti lineáris regressziós egyenletet is számoltam.

A talajtulajdonságok becslésére egy és többváltozós geostatistikai módszereket alkalmaztam. Az összes mintázott 120 pontból 40, véletlenszerűen kiválasztott pontban a mért értékeket összehasonlítottam a becslt értékekkel (4.2.4.1.táblázat).

A szemivariogram-modelleket a legkisebb négyzetek módszerével illesztettem, és a legjobban illeszkedő modellt validálás után választottam ki. Az így kapott szemivariogram modellek paramétereit a 4.2.4.2.táblázat mutatja be.

4.2.4.1.táblázat. A rendelkezésre álló 120 pont megosztása a becslő függvény számítására és a becslés ellenőrzésére

Becslő módszer	A becslő függvény számításához használt pontok száma és a becslő függvény típusa	Ellenőrző pontok száma
MRA	80 (regr. egyenlet)	40
Krigelés	80 (szemivariogram)	40
Kokrigelés	80 (szemivariogram) [fő változók] 120 (szemivariogram) [segédváltozók] 80 (kereszt-szemivariogram)	40

-Elemzések

-geostatistikai és regressziós vizsgálatok és értelmezésük

4.2.4.2.táblázat. A krigeléshez használt szemivariogramok paraméterei

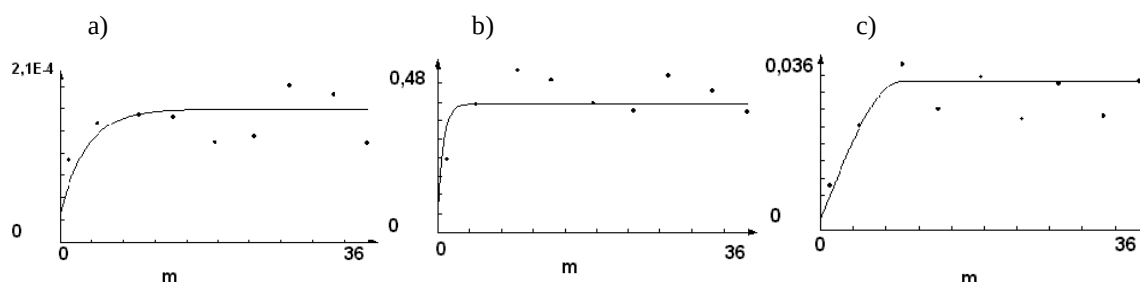
Változó	Modell	Nugget	Sill-Nugget	Range (m)	Anizo ^a	Szög ^b
PH5_REC ^c	exponenciális	3,90E-5	3,13E-4	9,7	2	90
NA5_SQRT	exponenciális	6,90E-2	0,345	2,0	1,0	90
PH15_REC	szférikus	0	7,66E-5	8,5	2,5	90
SA15_SQRT	szférikus	2,90E-3	1,94E-2	9,7	3,1	90
NA15	Gauss-i	11,31	10,48	2,5	3,2	0
MC5_SQRT	exponenciális	0	0,24	7	2,3	0
MC15_SQRT	exponenciális	0	0,19	6,5	1,4	0

^a Anizo a nagyobb és kisebb range hányadosa

^b Szög az anizotróp szemivariogram szerkezet orientációját mutatja meg. 0 azt jelzi, hogy a nyugat-kelet transzekt irányában talált range nagyobb mint a dél-észak irányban elhelyezkedő transzekt range-e és fordítva.

^c REC reciprok és SQRT négyzetgyök transzformáció.

A pontkrigelést 12,5 m sugárral és 8 szomszédos ponttal végeztem el. Az anizotrópia figyelembevétele az E% tanúsága szerint csekély mértékben befolyásolta a krigelés eredményét (de mindig az anizotróp szemivariogram struktúra nyújtott pontosabb becslést), kivéve a 10-15 cm-es talajréteg pH-ját, amelyik erős anizotrópiát mutatott. Ez a változó mutatta összességében a legkisebb variációs koefficiens, és ennek a becslése volt a legpontosabb. A becslés során elért pontosság (azaz a becslés szórása) kétharmaddal (pontosan 64%-al) jobb (kisebb) volt mint az eredeti értékek szóródása (a szórás) (4.2.4.3.táblázat).



4.2.4.2.ábra. Jellegzetes szemivariogramok a) A 0-5 cm-es talajréteg pH értékének szemivariogramja. b) A 0-5 cm-es talajréteg mozgékony-nátriumértékének szemivariogramja. c) A 10-15 cm-es talajréteg pH értékének szemivariogramja.

A kokrigeléshez a segédváltozókat a becsült és lehetséges becsülő változók korrelációs mátrixából kerestem meg. Becsült változónként három-három növényfaj borítását próbáltam ki mint segédváltozót, és azzal a növényfajjal számoltam tovább, amelyik a legnagyobb mértékben javította a becslés pontosságát. A kokrigelés pontosabb becslést nyújtott, mint az egyváltozós krigelés (2-3 E%-kal) A 0-5 cm-es réteg mozgékony Na és talajnedvesség tartalmának becslésekor a kokrigelés pontossága 5 E%-al volt nagyobb mint az autokrigelésé. Mivel az előforduló növényfajok mintavételi négyzetben észlelt borításbecslésének elvégzése kevéssel növeli meg a mintavételi költségeket az így elérhető pontosságnövekedés is hatékony lehet alkalmanként (nagy mintaszám, költséges elemzés esetén) a talajtulajdonságok térképezése során.

Az ellenőrző pontokban becsült értékek (n=40) alapstatisztikai mutatóit (átlag, szórás, ferdeség és csúcsosság), az adott pontokban mért értékek statisztikai mutatóihoz hasonlítottam és azt állapítottam meg, hogy a becsült adatok eloszlását illetően a becsülő technikák (regresszióanalízis és krigelés) között nem volt lényegi különbség.

Amikor a regresszióanalízisben (MRA) 3-féle változó csoport alapján, úgymint talajvizsgálati adat (_Soil), növényborítás (_Pla) és a kettő együtt (_Comb), és 3

geostatistikai változattal, úgymint anizotróp (**Krig_Ani**), izotróp (**Krig_Iso**), és izotróp kokrigelés (**Cokr**), jeleztem előre a talajtulajdonságok értékeit, a 4.2.4.3.táblázatban szereplő, E%-al kifejezett pontosságokat kaptam.

4.2.4.3.táblázat. A becslő módszerek összehasonlítása a becslési hatékonyság csökkenő sorrendjében az elsőől a hatodikig (n=40)

Be- csült első		B E C S L Ő második		M Ó D S Z E R harmadik		A S O R R E N D negyedik		ötödik		S Z E R I N T hatodik		
változó ^a		E%		E%		E%		E%		E%	E%	
PH5	MRA_Soil	53	MRA_Comb	44	Cokr	39	Krig_Ani	36	Krig_Iso	34	MRA_Pla	22
NA5	MRA_Soil	45	MRA_Comb	44	Cokr	36	Krig_Ani	30	Krig_Iso	29	MRA_Pla	21
PH15	Krig_Ani	64	Cokr	64	Krig_Iso	55	MRA_Comb	48	MRA_Soil	48	MRA_Pla	36
SA15	Cokr	58	MRA_Soil	57	MRA_Comb	57	Krig_Ani	56	Krig_Iso	55	MRA_Pla	26
NA15	MRA_Soil	53	Cokr	51	MRA_Comb	51	Krig_Ani	49	Krig_Iso	49	MRA_Pla	25
MC5	Cokr	36	Krig_Ani	31	Krig_Iso	31	MRA_Comb	27	MRA_Soil	17	MRA_Pla	12
MC15	MRA_Comb	43	Cokr	42	Krig_Ani	40	Krig_Iso	40	MRA_Soil	39	MRA_Pla	-1

^a a becslő és becslő változók egy része transzformálva volt

A többváltozós regresszióanalízis elsősorban a felszíni talajrétegben (0-5 cm) nyújtott pontosabb becslést. Ehhez azonban sokkal több megfigyelésre (ugyanannyi helyen több változó, növényi fajborítás, illetve talajtulajdonság értéke) volt szükség. A krigelés a mélyebb talajrétegben (10-15 cm), az egész terület alatt, illetve esetenként a felszínen is jelenlevő ("lefejezett szolonyec", Varga et al., 1982) szolonyeces B szintben adott pontosabb becslést.

Összehasonlítottam a növényi változókat, a talajváltozókat és a kettő kombinációját, mint a többváltozós regresszió lehetséges becslő (független) változóit. A növényi változók önmagukban a legkisebb pontossággal becsülték a talajváltozókat (függő változók), de a terepi meghatározásuk ráfordításainak csekély volta miatt ez a becslés mégis hatékonynak értékelhető.

Annak érdekében, hogy a talajtulajdonságok becslésére alkalmazható módszerek közül választani tudjunk, fontos, hogy prognosztizáljuk a becslési módszerek sikerességét, és ezért a 4.2.4.4.táblázat a becslő módszerek végső összehasonlítását mutatja meg, a becslés során alkalmazott becslő függvények néhány statisztikai mutatójával együtt.

4.2.4.4.táblázat. A becslési módszerek végső összehasonlítása

Becsült változó ^c	Pontosabb becslő módszer	Átlag E% a 6 becslésből (11. tábl.)	Variációs koefficiens (%) ^a	Erősen szignifikáns korrelációk száma ^b	Nugget : sill arány
PH5	MRA	38	10	13	0,11
NA5	MRA	34	23	12	0,16
PH15	krigelés	52	5	11	0
SA15	MRA~krigelés	51	25	10	0,13
NA15	MRA~krigelés	46	31	9	0,51
MC5	krigelés	26	18	6	0
MC15	MRA~krigelés	34	12	8	0

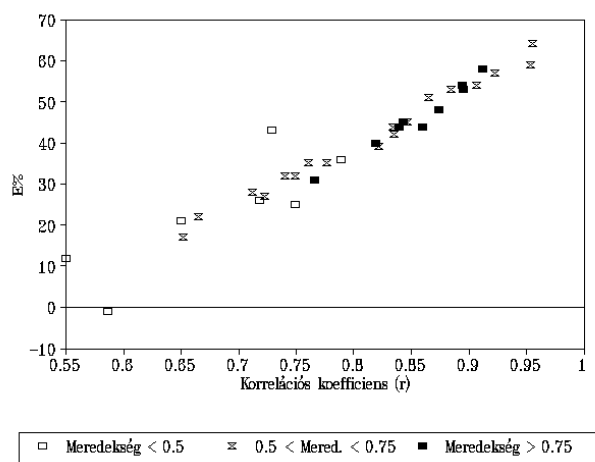
^a a becslő változó CV%-a transzformáció után

^b a becslő és becslő (növényi és talaj) változók (maximum 15, az esetszám 120 volt) közötti korrelációs koefficiens akkor vettük figyelembe amikor szignifikanciája < 0,001

^c a változók egy része transzformálva volt (lásd 4.2.4.2.táblázat)

Tapasztalatunk szerint, ha a becslt változó szóródása kicsi és a szemivariogramja megfelelő szerkezetű, azaz a mintavétellel fel nem oldott, maradék variancia aránya kicsi (ezt fejezi ki a kicsi nugget : sill arány), akkor a krigelés a pontosabb módszer, másrészt ha nagyszámú statisztikailag szoros korreláció van a becslt és a becslő változók között, akkor a többváltozós regresszióanalízis a pontosabb.

A különböző változók becslési pontosságának összehasonlítására javasolt E% paramétert egy erre a célra mások által is alkalmazott másik mutatóval hasonlítottam össze azért, hogy meggyőződjek az általa nyújtott viszonylagos előnyökről vagy hátrányokról. Ehhez kiszámítottam a mért és becslt értékek közötti lineáris regressziós egyenletet. Az egy független változós lineáris regresszió korrelációs koefficiense volt a becslés pontosságának a másik mutatója. Amikor a két mutatóval a becsléseket rangsoroltam, ugyanazt a sorrendet kaptam. A kettő közötti összefüggést a 4.2.4.3. ábra mutatja be.



4.2.4.3. ábra. Összefüggés a mért és becslt értékkel számolt r és E% között

Ahol hasonló korrelációs koefficiensek esetén az E% értékek eltérőek voltak, ott a becslt és mért értékek közötti regressziós egyenes meredekségében volt különbség, mivel az 1-et jobban megközelítő meredekségű egyenletek esetén gyakran nagyobb volt az E%. A becslés pontosságának kifejezésére az E%-ot azért javaslom, mivel a korrelációs koefficiensstől eltérően megmutatja a becslés számszerű eltéréseit, hiszen két adathalmaz közötti korrelációs koefficiens értéke nem függ attól, hogy az adatokat tetszés szerinti számmal szorozzuk, vagy tetszés szerinti számot adunk hozzájuk, azaz ha a mért értékhez képest a becslt értékek pl. egy adott értékkel eltolódnak, akkor azt a korrelációs koefficiens nem szükségszerűen jelzi. Fentieken kívül az E% megmutatja, hogy a becslési módszer az adatrendszer szóródásához képest milyen pontosságot ért el. Fenti okok miatt a korrelációs koefficiensnél alkalmasabb arra, hogy különböző változókkal végzett becslések pontosságát összehasonlítsa. Az E% számításához elkerülhetetlenül szükség van a becslt értékek mellett a becslési pontban mért értékekre is, amely feltétel azonban a gyakorlati térképezési esetek nagy részében nem teljesül.

Az ismertetett változók térbeli interpolációját elvégezve felvetődik a kérdés, hogy a becslés során elért pontosság mennyiben elégíti ki a térképezés követelményeit. A padkássziken számolt E% értékeket összehasonlítottam két sokat idézett dolgozatban leírt becslési pontossággal. Vauclin et al. (1983) adatait feldolgozva 64 megfigyelés esetén pH_{H_2O} és pH_{CaCl_2} változók térbeli interpolációja során 30 és 45 közötti E%-ot számoltam. Laslett et al. (1987) 26 megfigyelés esetén a becslt és mért diszponibilis vízmennyiség és $pF_{2,5}$ között 0,76 és 0,92 közé eső korrelációs koefficiensst találtak. Ezek alapján a padkásszik komplexumon a talajtulajdonságok térbeli becslésének pontossága nem

bizonyult kevésbé pontosnak mint egyéb talajokon végzett becsléseké, azaz a térbeli becslésnek az általam vizsgált módja alkalmas az izovonalas térképkészítés során a mért pontok közötti pontok értékeinek becslésére a padkásszik komplexumot alkotó növényzeti típusokban.

Felvetődik a kérdés, hogy az ismertetett módszer alkalmazásának milyen térbeli és időbeli korlátjai vannak, azaz egy adott területen meghatározott becselő függvényeket mennyiben lehet más területeken becslésre használni és az egy adott időben meghatározott becselő függvény meddig alkalmas a talajtulajdonságok becslésére ugyanazon a helyen. Az első kérdésre a talajtulajdonságok becslésére szolgáló regressziós egyenletek összehasonlítása alapján válaszolhatunk. Amikor a "tanuló terület", azaz az a terület, ahol a becselő függvények számításához a mintákat vették, a társulások összetétele szempontjából

4.2.4.5.táblázat. Egyes vizsgált növénytársulások talajának pH értéke különböző szerzők szerint a magassági övezetesség szerint a legmagasabbtól a legalacsonyabb felé haladó sorrendben

Cynodonti-Poëtum angustifoliae

Mélység	Rapaics	Rapaics	Rapaics	Rapaics	Magyar
0-10cm	5,89	5,90	7,85	7,50	(0-5cm) <u>6,17</u>
10-20cm	5,85	6,25	8,08	7,80	(5-10cm) <u>6,38</u>
20-30cm	6,50	6,16	8,25	7,80	<u>6,85</u>

Achilleo-Festucetum pseudovinae

Mélység	Rapaics	Rapaics	Bodrogközy
0-10cm	6,30	6,20	<u>7,48</u>
10-20cm	-	-	<u>7,69</u>
20-30cm	8,22	7,1	<u>7,69</u>

Artemisio-Festucetum pseudovinae

Mélység	Rapaics	saját	Magyar	Bodrogközy
0-10cm	8,15 (0-5)	<u>7,90</u>	(0-5cm) <u>7,18</u>	<u>7,53</u>
10-20cm	8,98 (10-15)	<u>9,62</u>	(5-10cm) <u>8,67</u>	<u>7,67</u>
20-30cm	9,15	-	<u>9,35</u>	<u>7,74</u>

Camphorosmetum annuae

Mélység	Rapaics	Rapaics	Rapaics	saját	Magyar	Bodrogközy
0-10cm	8,6	9,85	9,8	(0-5cm) <u>9,18</u>	(0-5cm) <u>9,24</u>	<u>8,01</u>
10-20cm	9,02	9,85	-	(10-15cm) <u>10,23</u>	(5-10cm) <u>9,23</u>	<u>8,75</u>
20-30cm	9,27	9,85	9,75	-	<u>9,35</u>	<u>9,30</u>

Puccinellietum limosae

Mélység	saját	Bodrogközy
0-10cm (0-5cm)	<u>9,09</u>	<u>7,71</u>
10-20cm (10-15cm)	<u>10,16</u>	<u>8,02</u>
20-30cm	-	<u>8,46</u>

Agrosti-Alopecuretum pratensis

Mélység	Rapaics	Rapaics	saját	Bodrogközy
0-10cm	8,68	8,7	(0-5cm) <u>7,17</u>	<u>7,50</u>
10-20cm	8,7*	8,7*	(10-15cm) <u>8,73</u>	<u>7,54</u>
20-30cm	8,7*	8,8*	-	<u>7,54</u>

Agrosti-Beckmannietum eruciformis

Mélység	Rapaics	Rapaics	Bodrogközy
0-10cm	6,87	5,59	<u>7,48*</u>
10-20cm	7,35	-	<u>7,52</u>
20-30cm	7,55	6,60	<u>7,52</u>

Megjegyzések:

Az adatok forrása a következő volt: Rapaics (1927), Magyar (1928), Bodrogekő (1965), a padkásszik komplexum részben ismertett adathalmaz. A csillag (*) azokat az értékeket jelöli amelyeket más mélységek alapján interpoláltam, vagy amelyek kiugrónak tűnnek. Az aláhúzott értékek átlagok. Bodrogekő pH adatait a szóda - pH összefüggése alapján interpoláltam.

különbözik a "teszt területtől", azaz attól a területtől amelyen a becslést végre kívánják hajtani, a becslések pontossága kicsi lesz. Ezért nem javasolható a becslő függvényeknek egyik helyről a másira való átvitele, azok lokálisan érvényesek. Ezt mutatja a 4.2.4.5.táblázat.

Ezek az adatok megmutatják, hogy a különböző szerzők által ugyanazon növényársulásra közölt pH adatok erősen eltérőek. Ugyanakkor jól elötnik a lúgosság zonalitása: a kopár **Camphorosmetum annuae** mutatja a maximumot mind a négy szerző vizsgálataiban. Rapaics (1927) több szikes alföldi területet áttekintett, de Magyar (1928), Bodrogekő (1965) és a saját adataim mind a Hortobágyra vonatkoznak, mégis igen nagy eltérések találhatók a pH értékek között. A becslő függvények paramétereit ezek szerint minden egyes térképezendő területen külön kell meghatározni.

Ahhoz, hogy a becslő függvények hosszabb idő folyamán érvényesek legyenek, az lenne szükséges, hogy a talajtulajdonságok és a növényi borítás is viszonylag állandó maradjon. Közel természetes vegetációval borított területen ez lehetséges, és igazolható, feltéve ha a megismételt mintavételt és növényársulástani felvételezést ugyanabban a növényi fenofázisban végzik. Ennek alátámasztására bemutatom néhány talajtulajdonságnak három, nem egymást követő évben az ebben a fejezetben és korábban már ismertett padkásszik komplexumon mért átlagértékét és szóródását két vizsgálati mélységben (4.2.4.6.táblázat).

4.2.4.6.táblázat. Ugyanazon a mintegy 60 x 60 m-es területen belül 6 éves intervallumon belül meghatározott pH és sótartalom értékek változékonysága

Mintavétel	n	0-10 cm						10-20 cm					
		pH	C.V.	só	C.V.	Nedv	C.V.	pH	C.V.	só	C.V.	Nedv	C.V.
1983. július	70-100	9,0 ^a	9	0,34 ^a	125	12	30	9,9 ^a	3	0,63 ^a	65	16	22
1988. május-július	40	9,0 ^a	8	0,19 ^{ab}	95	-	-	10 ^a	4	0,51 ^{ab}	60	-	-
1989. július	120	8,4	10	0,16 ^b	73	7	35	9,9 ^a	5	0,45 ^b	53	16	24

Megjegyzések

n a minták száma, C.V. variációs koefficiens (%), Nedv talajnedvesség-tartalom (tf%), só oldható sótartalom (%), az 1983-as adatokat Marchand (1987) után közlöm, az 1988-as adatok saját, nem publikált adatok, az 1989-es adatokat ebben a dolgozatban ismertetem, ebben az esetben a mintákat 0-5 és 10-15 cm mélységekből gyűjtöttük. Ha az átlagokat nem ugyanaz a betű követi az 1 % tévedési valószínűséggel meglévő különbséget jelez.

A 4.2.4.6.táblázat adatai alapján az ugyanazon a területen végzett mintavételek a talajtulajdonságok hasonló átlagértékét és szóródását mutatták. A két mélység a várt különbséget mutatta, mivel a mélyebb rétegben az értékek szóródása a szolonyeces B szint homogenizáló hatása miatt kisebb volt. Ebben a rétegben a pH és talajnedvesség gyakorlatilag ugyanolyan értéket és szóródást mutatott. A felszínhez közeli rétegben a pH értéke állandónak tekinthető, mivel az első két megfigyeléshez képest az 1989. év nyilvánvalóan ez utóbbi minta mélysége miatt tér el, hiszen a felszín közeli talajrétegekben a pH csökken. A talaj sótartalom variációs koefficiensei is hasonló nagyságúak voltak a vizsgált időszakban. A mintavétel mélységének az eltérése az 1989. évi mintavétel esetén azért nem okozott eltérést a pH átlagértékében, mert 15 cm alatt a pH érték már nem változik hirtelen. Ennek alapján elfogadható, hogy némely talajtulajdonság a padkásszik

komplexumban viszonylag állandó értéket mutat, ha az évnek ugyanabban az időszakában végzik a mintavételt. Nincsenek vizsgálati eredmények arra nézve, hogy egy adott időszakban meghatározott becslő függvény meddig érvényes. Meg kell jegyeznünk, hogy az ebben a részben ismertetett számítások során használt becslő függvények két év megfigyeléséből származtak. A talajmintákat 1989-ben gyűjtöttük, a növénytársulástani felvételezést 1990-ben végeztük el.

A végzett becslések időbeli kiterjesztheségéhez a talajtulajdonságok értékének állandósága mellett szükséges feltétel, hogy a növényi fajborítások ugyanazon fenofázisban állandók legyenek. Ennek vizsgálatát nem végeztük el, de Précsényi (1975) adatai alapján lehetőségünk volt arra, hogy az ürmös szikespuszta, az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** két jellemző fajának, az *Artemisia santonicum*-nak és a *Festuca pseudovina*-nak a tömegarány változását nyomon követhessük öt év vizsgálatai alapján. Az évenkénti 3 mintavétel azt mutatta, hogy a különböző fenofázisok között a két faj tömegaránya eltér. Az egymás után következő évek között a két faj tömegaránya (feltételezhetően a borítások aránya sem) nem mutatott szignifikáns különbséget.

A szolonyeces szikes pusztán azonos fenofázisban végzett növénytársulástani felvételek eredménye és az ugyanakkor vett talajminták kémiai vizsgálati eredményei közötti összefüggés a fentiek szerint több éven át is érvényes, így a talajtulajdonságok becslésére alkalmas lehet. Erről azonban nincsenek részletes adataink.

További kérdés, hogy a szolonyeces szikes pusztán a talajtulajdonságok becslésének melyek a célszerű léptékei. Ez függ attól, hogy mekkora a vizsgált talajtulajdonságoknak a szóródása az adott léptékben. Ha a becsült talajtulajdonság értékének szórása eredetileg nagy, akkor a becslés hibája is várhatóan nagyobb lesz. Ezért mutatjuk be (4.2.4.7. táblázat) a dolgozatban ismertetett három vizsgálati léptékre 3 növényzeti kategóriára az átlag pH és sótartalom értékét és azok variációs koefficiensét.

4.2.4.7. táblázat. Nagyjából ürmös szikespusztából álló gyepterületek átlagos pH-ja, sótartalma és variációs koefficiense (CV%) nagyságrendekkel eltérő térléptékekben

Növényzeti kategória	0-10 cm-es réteg				10-20 cm-es réteg				
	esetszám	pH	C.V. %	só	C.V. %	pH	C.V. %	só	C.V. %

10 ⁻⁴ km-es maximális távolság (szolonyec szelvény), 3 cm ³ minta									
		pH		EC _{2,5}	mS/cm				
Artemisio-Festucetum p.	49	7,7	14	0,47	66	-	-	-	-
Camphorosmetum a.	44	10	8	2,98	32	-	-	-	-

10 ⁻¹ km-es maximális távolság (padkásszik komplexum), 200 cm ³ minta									
		(0-5 cm-es réteg)				(10-15 cm-es réteg)			
Artemisio-Festucetum p.	83	8,2	9	0,13	52	9,9	5	0,38	38
Puccinellietum l.	30	9,1	7	0,22	71	10,2	3	0,63	47
réti folt	3	7,2	4	0,08	14	8,7	2	0,14	21

10 km-es maximális távolság (változatos szikes pusztá), 1500 cm ³ minta									
				EC _p				EC _p	
Artemisio-Festucetum p.	75	7,4	11	1,53	53	8,6	11	2,48	48
Puccinellietum-Bolboschoenetum	16	8,0	11	1,19	76	8,6	9	1,56	79
Agrosti-Alopecuretum p.	60	6,5	11	0,89	52	7,5	13	1,23	56

A 0-10 és 10-20 cm-es mélységekben különböző léptékekben meghatározott pH és sótartalom értékek variációs koefficiense hasonló nagyságú. Ugyanakkora szóródást mutat a 10 cm távolságon belül a legkisebb méretű minták pH értéke és sótartalma, mint a legnagyobb méretű, legnagyobb távolságon (10 km) belül vett mintáké. A vizsgálati távolság növekedésével együtt a kategóriák tisztasága csökken, mivel egyre több növényzeti (és feltehetően talaj) kategória lett egybevonva. A vizsgált léptékekben a pH és sótartalom szóródása között nincs olyan különbség ami arra utalna, hogy a talajtulajdonságok becslése

eltérő pontosságú lenne. A növényzetnek mint becslő változónak az ismertetett léptékekben való alkalmazhatósága külön vizsgálatot igényel.

4.3. SZIKES TERÜLETEK TÁVÉRZÉKELÉSES VIZSGÁLATA

A távérzékelés során az érzékelő nem kerül közvetlen fizikai kapcsolatba a vizsgált tárggyal. A távérzékelést elsősorban meteorológiai előrejelzés, óceánkutató, erőforráskutatás és térképezés érdekében végzik. A jelenségek észlelését a felszín egyenletesen lefedő képelemekre (pixel) vonatkozó több elváló hullámsávban mért reflektancia alapján hajtják végre (Wessman, 1991).

A növényzet egyrészt elnyeli a fotoszintézishez a fotoszintetikusan aktív sugárzást (FAR), másrészt a közeli infravörös tartományban erősen fényvisszaverő. A levélzet által abszorbeált FAR szoros kapcsolatot mutat a klorofill sűrűséggel, és az abszorbeált FAR-ral kapcsolatos élettani mutatók – úgymint a levélzet ellenállás és fotoszintetikus kapacitás – közel lineáris összefüggést mutatnak a normalizált különbségi vegetációs indexszel (NDVI, normalized difference vegetation index) (Colwell, 1983).

Szilágyi és Baumgardner (1991) és Csillag et al. (1993) laboratóriumi multispektrális mérésekkel próbálta meg feltalajminták sótartalmát osztályozni. Eredményeik azt mutatták, hogy kisszámú sávot használva a szikesedés egyes paraméterei nem jól érzékelhetők, az ezek segítségével definiált szikesedési osztályok viszont igen. Megmutatják, hogy a műholdak nagy spektrális felbontású érzékelőinek mely sávjai alkalmasak a szikesedés nyomon követésére.

A növényzettel fedett talajok távérzékelése szétválk a természetes növényzettel borított területek, illetve a mezőgazdasági táblák távérzékelése szerint.

A természetes növényzettel borított területeken a növényzet - talajtípus megfeleltetés a talajtulajdonságok távérzékelésének alapja lehet. A mezőgazdasági táblákon a termesztett növények biomasszája vagy a fedetlen talaj reflektanciája alapján szereznek információt a talajtulajdonságokról.

Robbins és Wiegand (1990), Ghassemi et al. (1995) szerint az alábbi technikák alkalmasak a szikesedés fokozatainak elkülönítésére: légifényképezés, videokamerázás, infravörös hőmérsékletmérés, multispektrális szkennerek alkalmazása és mikrohullámú érzékelők használata.

Richardson et al. (1976) erősen sós (a telítési kivonat elektromos vezetőképessége egyes talajokban elérte a 40 mS/cm értéket) talajok sótartalom szerinti szétválasztását végezték a visszavert infravörös sugárzás alapján. A fedetlen és növényzettel takart talajok visszavert sugárzása közötti különbség fordított arányban állt a talaj sótartalmával.

Battle et al. (1988) Landsat TM2-TM5 sávokat használtak sós talajok felszíne változásának a jellemzésére. Három felvétel alapján a talajfelszíni sókivirágzásokat követték nyomon.

Pando et al. (1992) Landsat MSS sávokkal diszkriminancia egyenletek használata révén 95% pontossággal választottak szét növényzeti típusokat olyan félsivatagban (chenopod rangeland), ahol libatopfélék (*Atriplex* sp., *Maireana* spp.) az uralkodó növényfajok. Amikor a tanulótranszekten nyert osztályozó algoritmust, a diszkriminancia-egyenleteket egy másik transzekt azonosítására kívánták használni, a reflektancia alapján jóslott növényzeti kategóriák mindössze 2%-os pontossággal egyeztek a terepen meghatározott kategóriákkal. A szerzők gyanítják, hogy az eltérést a termőhely változatossága okozza. Egy termőhelyen meghatározott diszkriminancia egyenletnek egy másik területre való átvitele körültekintést igényel.

Yuanchun és Jingrong (1988) SPOT felvételeket használt 1:25.000 és 1:50.000 léptékű szikes talajtérképek elkészítésére.

Solovyov (1991) indirekt indikációt használt a légifelvétellel történő szikesedés-vizsgálat során. A mezőgazdasági táblákról készült képeken a kép denzitása, a növekedésben elmaradt haszonnövényfolt mérete és a foltok előfordulásának aránya egyenes arányban álltak a sótartalommal.

Whiting és Ustin (1999) a légi látható és infravörös képalkotó spektrométer (Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer, AVIRIS) alkalmazhatóságát vizsgálta laboratóriumi és terepi mérések alapján.

Hasonlóan Khan és Sato (2000) az NDVI alapján különített el különböző másodlagos szikes foltokat Pakisztán Punjab tartományában.

Hazai szikeseken többidőpontú (multitemporális) LANDSAT TM űrfelvételek alapján különítette el a szikes/nem szikes területeket, illetve a szikesedés fokozatait Szabó et al. (1998) (1999).

Hazai megalapozó kutatásainkat követően a gyűjtött tapasztalatokat indiai területeken alkalmaztuk, hogy a másodlagos szikesedés távérzékeléssel történő nyomon követésének módszerét kidolgozzuk. A radzsasztháni klíma jelentősen melegebb és szárazabb a hazainál. Az öntözés nélkülözhetetlen eleme a biztonságos termelésnek, és a kedvezőtlen kémiai összetételű rétegvízzel folytatott öntözés gyakorlata évről évre jelentős területeken idézi elő a talaj csökkent termékenységet.

4.3.1. A szikes puszta komplexum növényzetének kategorizálása terepi reflektancia mérés segítségével[#]

A szikesedés űrfelvételek segítségével történő távérzékeléses vizsgálata során vetődött fel, hogy közel természetes és mesterséges (szántó) ökoszisztémákon a szikesedés fokozatait, illetve típusait lehet-e terepi reflektometriával vizsgálni. A terepi mérésekkel felderített összefüggések az űrfelvételek megértését elősegíthetnék, mindenekelőtt pedig az eltérő lépték miatt információt nyújthatnak arról, hogy a növényzet (és talaj) összetettsége, vagy mozaikossága (amit ugyanazon a területen terepi reflektometriával mérnek) hogyan mutatkozik meg az (ugyanazon területről készített) űrfelvételen. Elsőként egy más oldalról is vizsgált padkásszik komplexumon végeztünk terepi vizsgálatot. A konkrét kérdés az volt, hogy a helyszíni reflektanciamérés milyen pontossággal alkalmas az elkülönített növényzeti kategóriák azonosítására.

A kérdés megválaszolására a diszkriminancia analízis alkalmas. Ebben az elemzésben a különböző sávokban mért reflektancia értékek (független változók) lineáris kombinációjával az egyes megfigyelések növényzeti kategóriákba sorolhatók (Pando et al., 1992). Az osztályozás pontossága jellemzi a mért változók alkalmasságát a kategóriák elkülönítésére. Az analízisben az eltérő sávokban mért reflektancia mellett azok hányadosát is alkalmaztuk, mert a tapasztalat szerint (Colwell, 1983) a mért reflektanciák egyes hányadosai gyakran összefüggést mutatnak a biomassza mennyiségével. A most ismertett esetben a normalizált különbségi vegetációs index (NDVI) és albedó használata nem vezetett nagyobb pontosságra az osztályozás során mint az egyszerű arányok használata.^{##}

[#] A fejezetet a Tóth, Csillag, Biehl és Michéli (1991), Tóth és Pásztor (1996) publikációk alapján írtam.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-Mintavételi terv elkészítés

-Talajmintavétel, cönológiai felvétel, reflektancia mérés

-Értékelés

-Műholdfelvétel elemzés

-Statisztikai értékelés

50 m-es transzektek

Nyírólaposon a padkásszik komplexumban kijelölt transzektekben 1989. július 11-én az összes mintavételi pontban és a fennmaradó összes kerek méternél (120 + 86 pont) Exotech-100 négy-sávos radiométerrel, TM (Landsat Thematic Mapper) szűrők használatával reflektanciamérést végeztünk. Ennek során a következő TM szűrőket alkalmaztuk: TM1 (450-520 nm), TM2 (520-600 nm), TM3 (630-690 nm) és TM4 (760-900 nm). Kalibráláshoz festett bárium-szulfát táblát használtunk (Robinson és Biehl, 1979). A sugázmérőt 1,2 m magasságban 15 fokos látószöggel alkalmaztuk (Tóth et al., 1991a és Tóth et al., 1991b).

A terepi reflektancia mérések helyén a növényzet kategorizálását 50 * 50 cm-es kvadrátokban végeztük el, mivel ez a méret felelt meg a reflektancia mérés léptékének.

A megfigyeléseket két részre osztottuk, azokat a kvadrátokat, ahol talajmintavétel is volt (4.2.1.1. ábra) "tanulókvdarátok"-nak tekintettük és a köztük elhelyezkedő 86 pontot pedig "ellenőrző" kvadrátoknak, amelyek segítségével a diszkriminancia egyenletek által nyújtott pontosságot vizsgálhatjuk.

80x80 m-es rácsháló

A Hortobágyi Nemzeti Park Nyírólapos területén 10 m-enként egy-egy pontot vizsgáltunk egy 8 x 8-es rácshálóban úgy, hogy a területről készült műholdfelvételt a terepi vizsgálatokkal összevethessük.

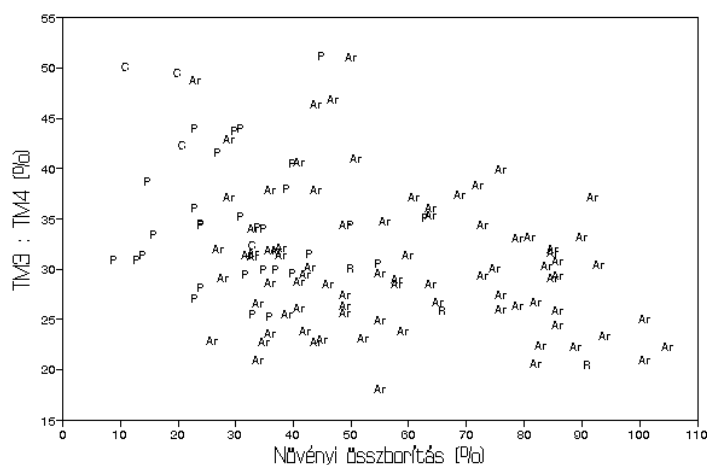
1993. július 7-én a 64 db 0,5x0,5 m-es kvadrátban elkészítettük a cönológiai borítástáblázatot, a helyszínen megmértük a talaj összes elektromos vezetőképességét és talajnedvesség-tartalmát egy TDR szondával. Ugyanakkor a kvadrátokban az 50 m-es transzekteken alkalmazott eszközzel és módon meghatároztuk a terepi reflektanciát.

A területről 1990. júniusában készült SPOT pánkromatikus képet szereztünk be, aminek névleges felbontása 10 m.

A növényzeti típusok osztályozására a Pando et al. (1992) által ismertett módon a diszkriminancia analízist használtuk.

Az 50 m-es transzektek terepi reflektanciamérése

A tanulókvdarátok diszkriminancia analízise során összefüggés mutatkozott a vörös (TM3) : infravörös (TM4) reflektancia arány és a növényi borítás között (ld. 4.3.1.1. ábrát). Ezen az ábrán az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** és **Puccinellietum limosae** kategóriák erősen átfednek, mindazonáltal a két ábrázolt változó átlagértéke szisztematikus különbségeket mutat.



4.3.1.1. ábra. Összefüggés a TM3:TM4 arány (vörös:infravörös reflektancia aránya) és a növényi összborítás között

Amikor a tanulótranszektek diszkrimináló változói között a TM1-TM4 sávok, illetve azok hányadosai szerepeltek, diszkriminancia-analízissel a 4.3.1.1.táblázatban bemutatott klasszifikációs mátrixot kaptuk.

Az első két diszkriminancia egyenlet az összes variancia 92%-át magyarázta meg. A diszkriminancia egyenletbe léptetésekor számított Rao-féle V érték alapján két változó mutatott erős szignifikancia-szintet, és ezáltal jelentős befolyást az osztályozásra: a TM1, valamint a TM3 és TM4 hányadosa (4.3.1.1.b táblázat).

4.3.1.1.táblázat. Padkásszik komplexum növényzeti kategóriáinak szétválasztása terepi reflektancia alapján diszkriminancia analízissel a tanuló kvadrátokban

a. Klasszifikációs mátrix

Kategória eredeti besorolás	Eset szám Kód	DA osztályozás A kategória kódja			
		5	6	7	8
Artemisio-F.	5 83	51	4	26	2
Camphorosmetum	6 4	0	4	0	0
Puccinellietum	7 30	11	5	13	1
réti folt	8 3	0	0	0	3

A besorolás pontossága: 59%

b. A Rao-féle V érték növekedése a legfontosabb osztályozó változók esetén

Lépés	Változó	A V növekedése	Szignif.
1	TM3PER4	24,1	0,0000
4	TM1	23,0	0,0000

Amikor a diszkriminancia egyenletek függvényértékeit a 86 "ellenőrző" kvadrát osztályozó változói (reflektancia) értékével számítottuk ki a következő besorolást (4.3.1.2.táblázat) kaptuk.

4.3.1.2.táblázat. A "tanulókvadrátok"-on meghatározott diszkriminancia egyenletek által, az "ellenőrző" kvadrátok besorolásában nyújtott pontosság

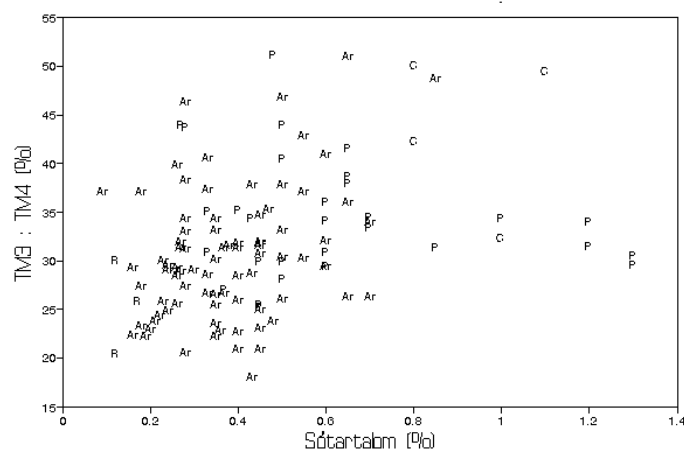
Kategória eredeti besorolás	Eset szám Kód	DA osztályozás A kategória kódja			
		5	6	7	8
Artemisio-F.	5 69	40	6	12	11
Camphorosmetum	6 2	0	2	0	0
Puccinellietum	7 15	6	3	6	0
réti folt	8 0	0	0	0	0

A besorolás pontossága: 56%

Mivel az ellenőrző és tanulókvadrátok a vizsgált transzekteken egymáshoz képest felváltva helyezkedtek el, ezért hasonló arányban tartalmazták a terepen elkülönített kategóriákat. A kapott pontosság gyakorlatilag a tanulókvadrátokban kapott pontossággal egyezett.

A reflektancia értékek összefüggést mutatnak nem csupán a növényzeti kategóriákkal, illetve a növényborítással, hanem egyes talajtulajdonságokkal, amelyek a növényzeti kategóriák diszkriminancia analízissel történő elválasztásában nagyobb jelentőségűek voltak. A 4.3.1.2.ábrán a padkásszik növényzetének szétválasztásában az egyik legbefolyásosabb talajtulajdonság a 10-15 cm-es réteg sótartalma (a 4.2.1.3.b táblázatban ennek a kémiai változónak volt a Rao-féle V érték növelésében a legerősebb a

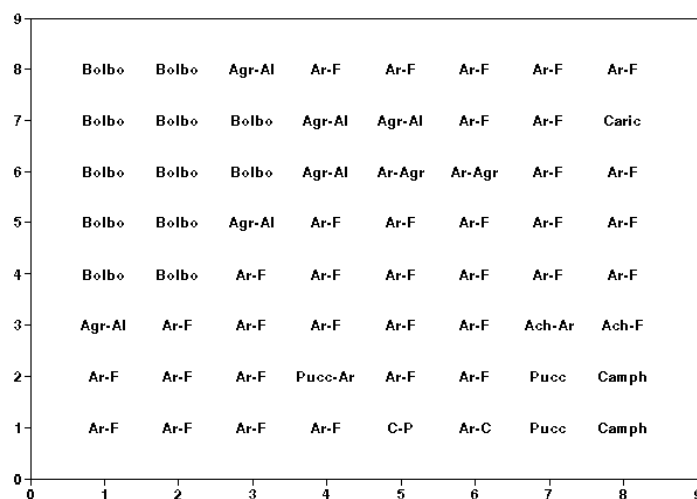
szignifikancia-szintje) és a TM3 : TM4 összefüggését mutatjuk be. Az ábrán a két tulajdonság összefüggését erős statisztikai ingadozás takarja, de a növényzeti kategóriák elválnak. A távérzékeléstől rendszerint nem várják el a talajtulajdonságok és a reflektancia összefüggésén alapuló számszerű talajtulajdonság-bebecslést. Erre a célra a kategória szintű talaj - növényzet - reflektancia láncolaton alapuló becslést használják.



4.3.1.2. ábra. Összefüggés a 10-15 cm-es réteg sótartalma és a TM3:TM4 arány (vörös:infravörös reflektancia aránya) között

Az elválasztandó kategóriák számának statisztikai optimalizálásával és összetettebb osztályozási eljárással Csillag Ferenc az ismertetettől pontosabb elválasztást kapott (Tóth et al., 1991a), de a fenti példa is mutatja az osztályozás technikai megvalósítását.

A 80x80 m-es rácsháló terepi reflektancia mérése



4.3.1.3. ábra. A 80x80-es rácshálóban elkülönített növénytársulások. A rácspontok távolsága 10 m.

A rácshálón belül éles határvonalakat lehetett megfigyelni, a növénytársulások között a szikes rétekre és mocsarakra jellemző típusok is előfordultak (4.3.1.3. ábra). A növénytársulásokat háromdimenziós ábrán is (4.3.1.4.A ábra) bemutatjuk, mivel ez segít a komplex értelmezésben. Két növénytársulást csupán 1-1 kvadrátban találtunk meg, a

Caricetum sp. (8,7 koordináták) és **Achilleo-Festucetum pseudovinae**-t (7,3), ezek a 4.3.1.4.A ábrán mint gödör és csúcs jelentek meg, ezért az elemzésből ezeket kihagytuk.

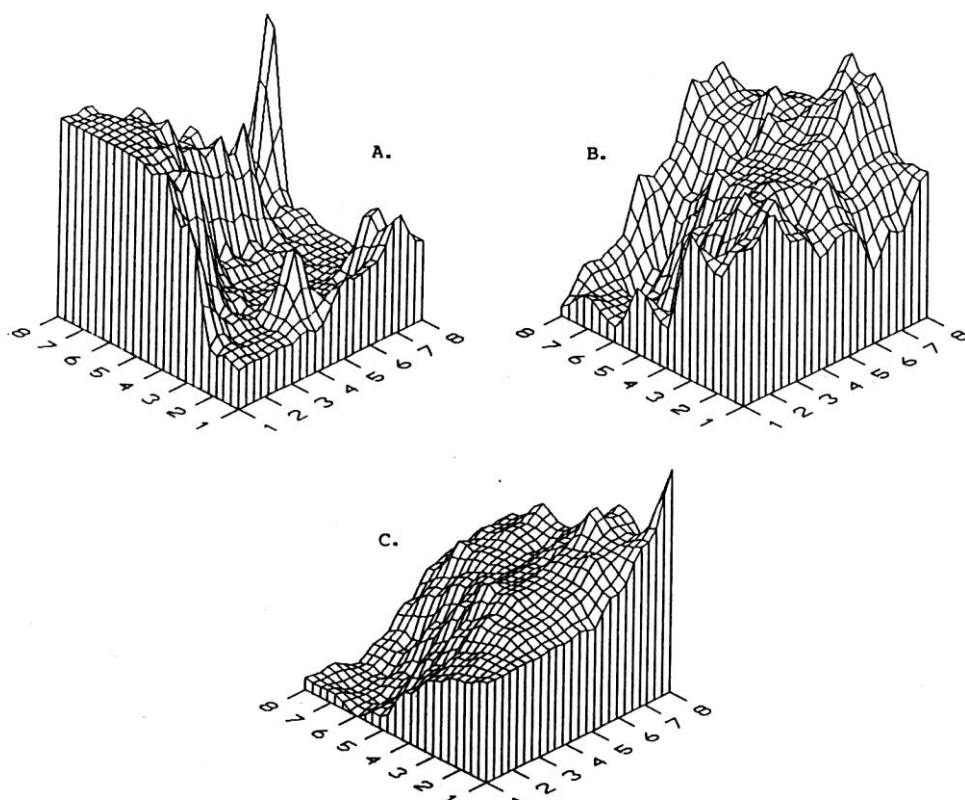
Az értékelés során megpróbáltuk a kvadrátok növényzetét a TM sávok lineáris kombinációjaként osztályozni, az eredményt a 4.3.1.3.táblázat mutatja be.

Az osztályozás az elért pontosság miatt alkalmas a növényzeti típusok azonosítására. A 4.3.1.4.A és B ábrák hasonló térbeli mintázatot mutatnak. Ahol az első diszkriminancia függvény (B) nagy értéket mutat, ott a növényzet kategóriájának a kódja (A) kicsi. Az ábra (C) része a rácshálón készített SPOT pánkromatikus felvétel reflektancia értékeit mutatja. Ezen rácshálópontok értéke hasonló lefutású a (B) részhez, és azt jelzi, hogy vegetáció foltjai a terepi és a műholdfelvételen is jól elhatárolhatók.

4.3.1.3.táblázat. A 80x80 m-es rácsháló növénytársulásainak szétválasztása terepi reflektancia alapján diszkriminancia analízissel

Kategória eredeti besorolás	Kód	Eset szám	DA osztályozás				
			A kategória	kódja			
			5	6	7	8	9
Artemisio-F.	5	35	32	1	0	2	0
Camphorosmetum	6	4	1	3	0	0	0
Puccinellietum	7	3	0	0	2	1	0
Agrosti-Alopecuretum	8	8	1	0	0	5	2
Bolboschoenetum	9	12	0	0	0	1	11

A besorolás pontossága: 85%



4.3.1.4.ábra. Háromdimenziós ábrázolás a növényzeti típusokról. (A), diszkriminancia egyenlet értékeiről (B) és a pánkromatikus reflektancia értékeiről (C) a 80x80 m-es rácshálóban. Az (A)-ábrán a "z" tengelyen az értékek 4-től 10-ig terjednek. Ach-Fest=4, Art-Fest=5, Camph=6, Pucc=7, Agr-Alop=8, Bolbo=9, Caricetum=10. A (B) ábrán a "z" tengelyen feltüntetett diszkriminancia függvény értékeit a TM reflektancia értékek alapján számítottuk. Az „x” és „y” tengelyek a vizsgált kvadrátok térbeli helyzetét (m) mutatják.

4.3.2. Légifénykép alapján végzett térképezés hortobágyi szikes pusztán[#]

A légifényképeket eredményesen használják a térképezés számos területén, többek között a vegetációtérképezésben is. A szikes területek növényzetének térképezése a talajtani állapot felmérése szempontjából különös jelentőségű. A szikesedéssel kapcsolatos folyamatok, úgy mint a sófelhalmozódás, a kicserélhető nátrium tartalom növekedése, pH változás, szerkezetváltozások, sókiválások távérzékeléses (pl. légifényképes) felmérése rendkívül kézenfekvő eljárás, mivel a szikesedéssel kapcsolatos folyamatok szoros összefüggésben állnak a talajok fizikai tulajdonságaival és növényzetével (4.3.2.1. ábra), ami lehetővé teszi a folyamatoknak a nyomon követését mind növényzettel fedett, mind szántott állapotú talajok esetén is (Tóth et al. 1998).

Természetes körülmények között a szikesedési folyamatok szorosan követik a hidrológiai viszonyok váltakozását, vagyis időben jelentős változást mutatnak, a csapadék- és hőmérsékleti viszonyoknak és a részben ezek által meghatározott talajvízszint változásoknak megfelelően.

A térszíni hidrológiai folyamatokat a szikes területeken a sótartalom eloszlása hangsúlyosan jelzi, ennek következtében a szikes talajok térben rendszerint nagy heterogenitást mutatnak. A szikesedési állapotot tehát nem lehet egy pont alapján jellemezni, ehhez ismételt, térben kiterjedt területek vizsgálata szükséges.

Okozó tényező	Fő változók	Okozati változók
<u>Domborzat</u>	Só koncentráció ↔ Kicserélhető Na ↔ Lúgosság (pH)	<u>Felszíni színváltozás</u>
Hidrológia	↓	<i>Mechanikai tulajdonságok</i>
Más talajképző tényező	<u>Elektromos vezetőképesség</u>	<i>Hidrofizikai tulajdonságok</i>
		<i>Növényi borítás/biomassza</i>
		<i>Faj összetétel/gyakoriság</i>

4.3.2.1. ábra. A talajok szikesedési állapotának térképezését elősegítő tényezők. **Félkövér betűvel a fő térképezendő változók.** Aláhúzva a távérzékeléssel észlelhető változók. *Dőlt betűvel a segédváltozók.*

Célunk a légifénykép alkalmazásával történő állapotfelvétel módszerének kidolgozása volt. Ehhez mintaterületül a nyírólaposi szolonyeces szikes pusztát választottuk, amelyen elkészítettük a vegetáció térképét. A munka közvetlen előzményének tekinthetők Magyar (1928), Rapaics (1927), Arany (1934), Ballenegger (1929), Imre (1952), Bodrogyó (1965) és Prettenhoffer (1969) vizsgálatai a szikes talaj és növényzet közötti összefüggésekről. Korábban Bagi (1987, 1989, 1990) alkalmazott kiterjedten légifényképeket szikes területek növényzetének térképezésére.^{##}

[#] A fejezetet a Tóth és Kertész (1993) és Tóth és Kertész (2002) publikáció alapján írtam.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

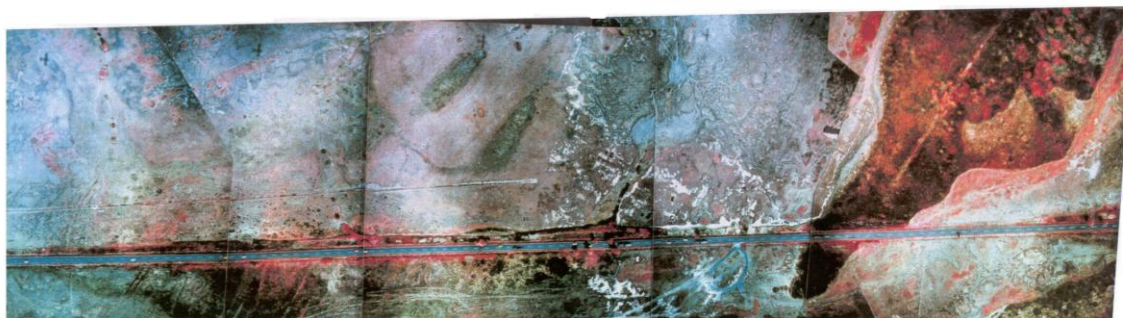
- mintaterület kijelölése
- légifénykép elkészítése
- légifényképen a foltok elhatárolása

-Elemzés

- a légifényképen elhatárolt foltok terepi azonosítása
- az elhatárolt foltok degradációs állapotának értékelése és értelmezése

Légifényképezés

A szolonyeces szikes puszta változatos növényzetének légifényképek segítségével végezhető térképezése Nyírólaposon folyt a Rajkai et al. (1988) által végzett és a későbbi (Tóth et al. 1991; Tóth és Rajkai 1994) vizsgálatok színhelyén. A légifénykép 1988. augusztus 9-én 400 m repülési magasságban 80 mm fókusz távolságú objektívvel Agfacolor Aero infracolor IC anyagra készült. A felvétel eredeti léptéke 1:5.000 volt. Az értékeléshez 1:1 000 léptékű színes papír montázst használtunk, ezt az 4.3.2.2. ábrán mutatjuk be.



4.3.3.2. ábra. A nyírólaposi terület légifényképe

A növényzeti foltok elhatárolása

Első lépésben a montázon az eltérő színű és mintázatú foltokat határoltuk el, amelyeket a színük alapján neveztünk el. Második lépésben terepbejárás során az elkülönített foltok növényzetét azonosítottuk. Ekkor nem csupán a növénytársulások feltérképezését, hanem a növényzet degradációs fázisának az értékelését is feladatul tűztük ki. A légifelvétel jó felbontása következtében nagyszámú kategóriát különítettünk el.

Mivel a területen előforduló növényzeti térkép elkészítésével párhuzamosan a talajviszonyokat nem térképeztük, a talajtípusokra csupán az itt feltárt öt szelvény vizsgálati eredményei, illetve előzetes tapasztalataink alapján következtethettünk. A területen a növényzet alapján a padkásszik komplexumra jellemző réti szolonyec és réti talajok, valamint réti csernozjom talajok fordulnak elő.

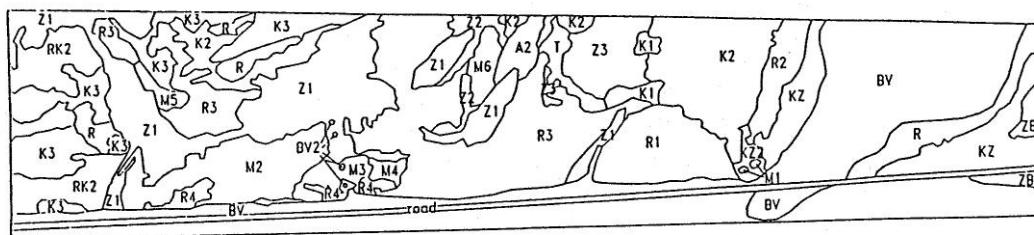
A szikes legelő változatos formakincse és a felszíni alakzatok különböző skálában megmutatkozó változékonysága miatt a jelenlegi távérzékelési technikák közül az alacsony repülési magasságból végzett légifényképezés nyújthat csak elegendő információt az 1 méter körüli felbontású részletes állapotfelvételhez.

Az alkalmas fényképezési időpontot, magasságot, alapanyagot (hamis infravörös), a nagyítási léptéket a korábbi nagyobb felbontású terepi vizsgálatokat kiegészítve, az előzetes légifényképezési tapasztalatok alapján (Kertész et al. 1990) határoztuk meg.

Az interpretáció eredményeképpen a Nyírólapos 200 x 800 m-es részéről 1:1000 méretarányú foltterkép készült.

Az interpretált mintaterületet döntő részben ürmös szikespuszta borítja, ezen kívül előfordulnak egyéb száraz és nedves szolonyeces növénytársulások (lőszlegelő, füves szikes puszta, vakszik, szikfok, szikes rét és szikes mocsár). E növénytársulások eloszlása nem egyenletes. A terület nyugati és keleti része között jelentős különbségek vannak. A nyugati részek felszíne sokkal enyhébb, fokozatosabb átmenetekkel jellemezhető, ezzel szemben a keleti félben a jelenleg is mocsaras mélyedés szomszédságában kiterjedt, jól tagolt felszíni levezető rendszer nyomai láthatók. A két félre különböző eróziós formák dominanciája

jellemző. A nyugati részeken tapasztalható lepelerozió nagyobb területrészeket érint. A felszíni vízfolyás és ennek következtében a lehordás az itt érintett talajfelületen többé-kevésbé egyenletes. A növénytakaró fokozatosan vált át egyik típusból a másikba, itt is vannak azonban hálózatosan kialakult kisebb eróziós árkok, erecskék, melyek mentén a növényzet zonációja kifejezettebb. A keleti részre jellemző padkásodás során viszont a különböző térszínek közötti átmenetek „meredek” 5-10-30 cm-es partok formájában jelennek meg. Ezen a területen a növénytakaró típusátmenetei élesek (ld. 4.3.2.3. ábra).



4.3.2.3. ábra. A légifényképen és a terepi bejárás során elkülönített foltok

Az elkülönített növényzeti foltokat részletesen Tóth és Kertész (2002) ismerteti.

A légifényképen elkülönített kategóriákat a növénytársulások alapján neveztük el. A növénytársulásokon belül a légifényképen elkülönített kategóriák a következő különbségeket mutatták meg: átmenet növénytársulások között (R2, M2, M5), növénytársulások komplex előfordulása (Z2, M4, R1, T, RK2, mindegyik a területen legkiterjedtebb **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-ben), gyomosodás (R4), térszíni különbségek és a felszíni vízelvezető rendszerben elfoglalt helyzetben lévő különbségek (M6, Z3, K2, K1), talajeróziós formák (KZ, K3), taposás (R3, M4). A légifényképen három növénytársulás csupán egy-egy kategóriával lett lehatárolva, ezek a **Pholiuro-Plantaginetum tenuiflorae**, a **Bolboschoenetum maritimae** és a **Scirpo-Phragmitetum communis** voltak, vagyis ezek a társulások bizonyultak a legeggyöntetűbb megjelenésűnek.

A légifényképen a sziki gyepeknek nem mindegyik társulása különült el. A szolonyec talajok egyik legjellemzőbb társulása, a **Puccinellietum limosae** nem különült el önálló kategóriaként. Ennek oka nyilván a szikes puszták mikroszerkezetességében rejlik. A padkásszik formáció esetében ugyanis, ami a területen a **Puccinellietum limosae** legfontosabb előfordulása, a légifelvételen a méretarány miatt nem lehetséges a padkatetőt, sziklankát (Varga 1984) és szikfokot pontosan lehatárolni. Emiatt a **Puccinellietum limosae** jobbra a vizsgált terület keleti felében a szikpadkákkal komplex elrendeződésben figyelhető meg. Az Észak Hortobágyon megfigyelt szikes társulások közül ezen a területen önállóan nem volt jelen az **Agrosti-Beckmannietum eruciformis**, az **Eleochari-Alopecuretum geniculatae** és az **Agrosti-Glycerietum fluitantis**, valamint a sások (*Carex* sp.) által dominált társulások, bár a részletes bejárás során ezek elemeit, illetve karakterfajaikat megfigyelhettük.

Az *Agropyron repens* gyakrabban és több társulásban is jelen volt, a löszlegelő jellegű foltoktól az ecsetpázsitos sziki rétekig sok helyütt előfordult. Mivel ez a növényfaj közepes szárazságtűrűsű, a vízállást tolerálja, de "az alulról jövő vizet nem bírja" (Varga et al., 1982, p. 49.), a térképezést megelőző évek aszályos időjárása következtében a csökkenő talajvízszintek a terjedésének kedveztek.

A területen a talajvíz összetételének hirtelen (néhány cm-en belüli) megváltozása azonos térszínen eltérő növényzeti foltokat okozhat, amit eddig a réti jellegű foltok esetén írtak le (Rajkai et al. 1988, Tóth és Rajkai 1994). Ez arra utal, hogy az idealizált szikes pusztai toposzekvencia (szikes mocsár - löszlegelő) érvényességét néhány dm-es magassági

szinteken belül egyéb tényezők módosíthatják. Ezen hirtelen talajvíz-összetétel változások összefüggést mutatnak a korábbi folyóvízi lerakódások mintázatával. Az azonos magassági szinten belül megfigyelhető növényzetváltásoknak a növényzet alapján végzett talajtérképezésben van jelentőségük. A növényzettel nem fedett területek talaj-folt-térképének elkészítése során a megfigyelt pontok (szelvények vagy fúrások) között a foltok határát rendszerint a domborzati térkép segítségével rajzolják be a talajtérképezők. A szolonyeces pusztán a növényzeti váltás azonos magassági szinten belül jelzi a talajtulajdonságok értékének hirtelen megváltozását, ezért a növényzeti váltás (légifénykép alapján, stb.) segíti a talajtérképezést.

A légifényképen szín és mintázat alapján elkülönített foltok a terepi azonosítás tanúsága szerint a következő tényezők kombinációjaként jöttek létre: a növénytársulások komplex előfordulása, átmenete egymásba, a térszíni különbségek és a felszíni vízelvezető rendszerben elfoglalt helyzet, talajeróziós formák, taposás és gyomosodás.

Döntően **Artemisio-Festucetum pseudovinae**-vel borított területen azt várhatjuk, hogy az infravörös légifényképeken elkülönített foltok alkalmasak arra, hogy jelezzék egyes társulások homogén előfordulását, valamint a társulások komplex előfordulásában, a felszíni eróziós formákban, a taposásban és egyes (főként gyom) fajok elterjedésében meglévő eltéréseket.

Fentiek szerint az infravörös légifényképek ismételt alkalmazása a döntően ürmös szikespusztával fedett területeken információt nyújt a növényi társulások határvonalának megváltozásáról, a társulások komplex elhelyezkedésében, egyes degradációs jelenségek (erózió, gyomosodás, taposás) térnyerésében bekövetkezett változásokról és így a védett területek állapotfelmérésében fontos eszköz lehet.

4.3.3. Karcagi szikes talaj javítására szolgáló gipsz adagjának és kiadási helyének légifényképen alapuló meghatározása térinformatikai eszközök segítségével[#]

Mivel a szántóföldi növénytermesztés jövedelmezősége az elmúlt években jelentősen változott, a nagymértékű szikjavítás az Alföldön gyakorlatilag megszűnt. Ugyanakkor a táblán belüli szikes foltok javítása továbbra is indokolt (Blaskó, 1999). A táblán belüli szikjavítás jelenlegi hazai gyakorlata nem tart lépést a technikai fejlődés által kínált lehetőségekkel. A javítóanyag féleség és adag meghatározását a tábla szikesedési térképe alapján megfelelően el lehet végezni, ahol azonban ilyen térkép nincs, ott - a vonatkozó szabvány (MSZ 08 0202-77) szerint - a javításhoz 5 hektáronként legalább egy ázott szelvényt kell feltárni és elemezni. Ez a minimális szelvényszám a szikes talajok jellemző mozaikosságát tekintve nagymértékű alul-, illetve túlادagoláshoz vezethet. A szikes talajok mozaikossága a talaj számos tulajdonságában megnyilvánul, így a színében, reflektanciájában is (Kertész et al., 1990, Csillag et al., 1993, Szabó et al., 1999, Tóth et al., 1991a, b, Tóth és Kertész, 1993, 1996, Tóth et al. 1998). A különböző mértékben szikes foltok a távérzékelte képeken (légifénykép, műholdfelvétel, stb.) - elsősorban növénymentes felszín esetén - főként szárazabb időben többnyire könnyen elkülöníthetők (Hegedűs, 1958, Horváth, 1987, Mike, 1976).

A szikes és nem szikes talajok közötti reflektanciabeli különbségek fő oka a nagyobb adszorbeált nátrium tartalom következtében fellépő talajaggregátum-peptizáció (Sumner és Naidu, 1998). Ehhez járul a pórusok eltömődése, felszíni kéreg képződése, illetve felszíni vízállások kialakulása. Ismeretes, hogy csökkenő aggregátum mérettel egyre simább a talaj felszíne és a beérkező energia egyre nagyobb része verődik vissza (Swain és

[#] A fejezetet Tóth, Kertész, Pásztor, (1998) és Tóth et al. (1998b) publikációk alapján írtam.

Davis, 1978, Wessman, 1991). Ugyanakkor a reflektanciát számos egyéb tényező is befolyásolja, melyek között a talaj szemcseösszetétele, humusztartalma és nedvességállapota kiemelkedő jelentőségű (Horváth, 1987), de ezeket a vizsgált táblán belül egyenletesnek feltételeztük.

A távérzékelte képek alapján a gipszezés ésszerűsíthető, ha a hasonló színárnyalatú foltokat elkülönítve, belőlük mintavételi reflektancia-osztályokat jelölünk ki. A javítóanyag kiadását is a foltok tekintetbe vételével végezhetjük.

Fentieknek megfelelően célunk a kisebb, táblán belüli szikes foltok kémiai javítása módszertanának továbbfejlesztése volt olyan módon, hogy a gipszezést megelőző talajmintavételt és a javítóanyag kiadást légifénykép alkalmazásával végezzük.^{##}

A felhasznált légifénykép

A munka alapanyaga egy 1991. április 10-én 2300 m magasságban készült vetületileg hű, fekete-fehér fénykép-negatív volt, amit szkenneléssel digitális adatállománnyá konvertáltattunk. A mintaterületül választott Karcag melletti tábla kiterjedése mintegy 50 ha, a terület jellemző talajai a szolonyeces réti talajok.

Az előzetes mintavétel és értékelése

Annak érdekében, hogy tisztázzuk a légifénykép egyes foltjainak reflektanciája és a talaj gipsz-szükséglete közötti összefüggés jellegét, a jó minőségű, növénymentes felszint mutató légifényképen annak a reflektancia-eloszlását jól jellemző bejárási útvonalat jelöltünk ki (l. 4.3.3.1. ábra). Ezen az útvonalon a terepen 13 helyen talajmintát vettünk, és további 50 mintavételi pontban helyszíni elektromos vezetőképesség mérést végeztünk. A mintavételi pontok helyét és magasságát a terepen geodéziailag (egy távmérőállomás segítségével) meghatároztuk, majd megfelelő terepi referencia pontok azonosítása révén, a terepi mérések koordinátáit a légifénykép rendszerébe transzformáltuk. Ily módon rendelkezésünkre álltak a légifénykép reflektancia értékei a terepi mintavételi pontokban.

Az előzetes mintavétel megmutatta, hogy a laboratóriumban meghatározott gipsz-szükséglet és a légifénykép pixeleinek reflektanciája között az összefüggés lineáris, ennek megfelelően közvetlenül a légifényképet használtuk a mintavételi tervek tesztelésére és a végleges mintavételi terv elkészítésére. A linearitás jelentőségét az adja, hogy ezáltal a gipsz-szükséglet számszerű értékelését elvégezhetjük a reflektancia értékek alapján és a gipsz-szükséglet hibája arányos a reflektancia hibájával.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

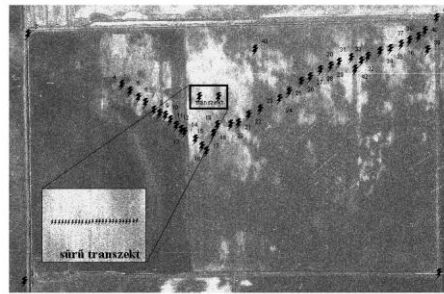
- előzetes mintavételi terv elkészítése
- mintavétel, elemzés
- mintavételi tervek koncepciójának kialakítása
- a légifénykép digitális előkészítése

-Térinformatikai elemzés

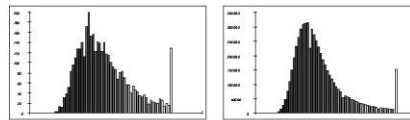
- digitális automatikus mintavevő algoritmus (program) készítése
- a mintavételi tervek szimulálása
- a szimulált mintavételi tervek statisztikai és térinformatikai tesztelése
- a terepen vizsgált mintavételi terv kiválasztása és értékelése
- terepi mintavétel

-Elemzés

- terepi mintavételi tervek tesztelése a talajminták alapján
- a mintavételi tervek statisztikai elemzése
- az optimális mintavételi stratégia kialakítása



a bejárási útvonal reprezentálja a táblán belüli fényesség eloszlást



4.3.3.1. ábra. Az előzetes mintavételi transekt pixeleinek reflektancia-eloszlása és a tábla egészének reflektancia eloszlása

A mintavételi reflektancia-osztályok lehatárolása

A mintavételi reflektancia-osztályokat a kiválasztott légifénykép negatívjának szkennelésével előállított reflektancia értékek alapján határoztuk el. Ezek kijelölése a légifénykép reflektancia-eloszlásának vizsgálatával kezdődött (4.3.3.1. ábra). A pixel (a légifénykép rácspontja) reflektancia hisztogramon azonosítottuk az eloszlás 2, illetve 4 osztályos modulusait. Az adott modulusokat elválasztó reflektancia értékekhez tartozó izovonalak mentén (azok simításával és térképi általánosítással) megrajzoltuk a mintavételi reflektancia-osztály határokat.

A mintavételi tervek

Meghatároztuk az egyes pixel-reflektancia osztályokba (ezek lettek a mintavételi reflektancia-osztályok) eső pixelek összes területét, illetve az osztályokon belüli pixelek átlagos reflektanciáját, amire a súlyozott mintavételnél volt szükség. Mivel a szabvány (MSZ 08 0202) 5 hektáronként legalább egy talajszelvény feltárását írja elő szikjavításhoz, a mintaterületen a minimális mintaszám 10 volt. Ezt a mintaszámot növeltük meg 2-, 4- illetve 8-szorosára, azért, hogy a térbeli reprezentativitást növeljük.

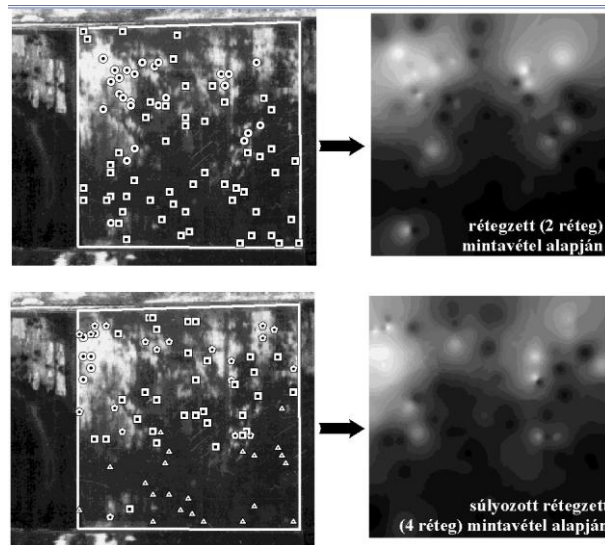
Annak érdekében, hogy kifejezzük a gipszezés, mint beavatkozás munka/befektetés igényét, az ún. „súlyozott” mintavétel során, a reflektancia-osztályok átlagos reflektancia értékét figyelembe véve osztottuk el a mintavételi pontokat az egyes osztályok között. Így - ellentétben a „nem súlyozott” mintavétellel - a nagyobb reflektancia osztályokban (amelyekben nagyobb gipszadag várható) kiterjedésükhöz képest több mintavételi pontot helyeztünk el azért, hogy ezekben a mintavételi reflektancia-osztályokban növeljük a gipsz-szükséglet becslésének pontosságát. A kapott mintavételi pont megosztást a 4.3.3.1. táblázat mutatja be.

Feltételeztük, hogy a gipszezés során a talajminta-vevő legfontosabb szempontja a különböző mértékben szikes foltok (esetünkben az eltérő mennyiségű adszorbeált nátriumot tartalmazó foltok) jellemző mintákkal való megfelelő reprezentálása. Ha a terület szikesedésének foka ismert, akkor bármelyik mintavételi reflektancia-osztályban az adott osztály kiterjedésével arányos számú mintavételi pont helyezhető el tetszőlegesen.

A mintavételi tervek térinformatikai szimulálása és tesztelése

A mintavételi tervek teszteléséhez Monte Carlo szimulációkat alkalmaztunk. 10, 20, 40, illetve 80 pontból álló teljesen véletlenszerű pontmintázatot generáltunk, amelyek egy homogén, térbeli Poisson-pontfolyamat realizációjaiként képzelhetők el.

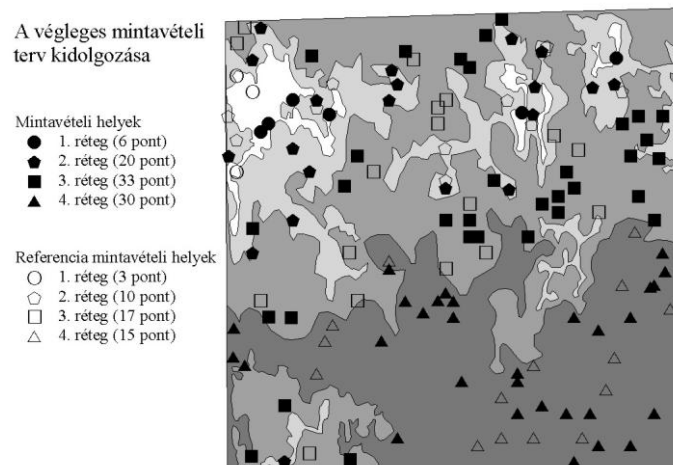
Az egyes mintavételi tervek jóságának tesztelését a következőképpen végeztük. A szimulált mintavételi pontokban előzetesen meghatároztuk a kép reflektanciáját, kifejezve azok fél méter sugarú környezetében az ott található pixelek reflektanciájának átlagát. Majd ezt az értéket rendeltük az adott geometriai pontokhoz, melyek alapján a mezőgazdasági tábla teljes területére, pixelenként interpoláltuk a reflektanciát. Az interpolációt a távolság-négyzet reciprokával súlyozott lineáris módszerrel (az eredeti légifénykép pixel felbontásában) végeztük. Ennek eredményeképpen egy-egy pixelre rendelkezünk egy valós, a negatívról szkennelt és szimulációként egy-egy interpolált reflektancia értékkel. Két mintavételi terv egy-egy reprezentációján elvégzett interpoláció eredményét mutatja be a 4.3.3.2. ábra.



4.3.3.2.ábra. 80 véletlenszerűen kiválasztott mintavételi pont alapján interpolált képek és az eredeti légifénykép összehasonlítása

A szkennelt és a szimulált interpolált képet pixelenként összehasonlítottuk. Hasonlóságukat, illetve eltérésüket a pixelenkénti reflektancia eltérés-négyzetösszegével mértük. Minél kisebb ennek értéke, annál pontosabban adja vissza az interpolációval generált kép a szkennelt eredetit. Annak érdekében, hogy a statisztikai ingadozást figyelembe vehessük, minden egyes mintavételi tervet (4.3.3.1. táblázat és 4.3.3.5. ábra) 20-20 ismétlésben szimuláltuk.

A végleges mintavételt a tesztelés eredménye alapján végeztük úgy, hogy a légifényképen legalább 3 méter átmérőjű, többé-kevésbé homogén foltokban helyeztük el a mintavételi pontokat (4.3.3.3. ábra).



4.3.3.3.ábra. A végleges mintavételi terv

Terepi mintavételi tervek tesztelése a talajminták alapján

A terepi mintavételi tervek tesztelését a terepen vett talajminták tulajdonságait figyelembe véve, a következő kérdések vizsgálatával végeztük: I. milyen a mintavételi reflektancia-osztályok elkülönülése a tengerszintfeletti magasság, a gipsz-szükséglet, a reflektancia szempontjából variancia analízissel, II. milyen a gipszezés megbízhatósága, ha a mintavételi reflektancia-osztályok átlaga alapján végzik a gipszezést, III. milyenek a statisztikai hibavariációk és a becslési hibák.

A tesztelés legfontosabb szempontja az volt, hogy olyan mintavételi terveket hasonlítsunk össze, amelyek rutinvizsgálatok során könnyen és egyszerűen alkalmazhatók a javítóanyag adag meghatározásra. Éppen ezért a mintát csak egyetlen változó, a légifénykép reflektanciája alapján osztályoztuk, és csak egyetlen mért paraméter, a gipsz-szükséglet becslési pontosságát vizsgáltuk, valamint a legegyszerűbb becslési eljárást, a mintavételi reflektancia-osztályonkénti átlagolást alkalmaztuk. Így a gipsz-szükséglet becslés egyszerűen átvihető a tanácsadási gyakorlatba. A kidolgozott alternatív talajmintavételi tervek összes változata

ellenőrizhető volt a 134 mintával. A légifénykép reflektanciája alapján a 134 mintát négy, illetve két mintavételi reflektancia-osztályba soroltuk a 4.3.3.1.táblázatban közöltek szerint.

I. A mintavételi reflektancia-osztályok elválása a tengerszintfeletti magasság, gipsz-szükséglet, reflektancia szempontjából variancia analízissel

Egyváltozós variancia analízisekkel megvizsgáltuk, hogy a mintavételi reflektancia-osztályok mennyire különböznek egymástól a gipsz-szükséglet tekintetében (4.3.3.2.táblázat).

II. A gipszezés megbízhatósága ha a mintavételi reflektancia-osztályok átlaga alapján végzik a gipszezést

A 134 mintavételi pontú mintát tekintettük a teljes kollekciónak, és ebből vettünk 7 ismétlésben szűkített mintákat az egyes tesztelendő mintavételi tervek szerint (4.3.3.1.táblázat). Összesen 16 mintavételi terv alapján végeztünk becsléseket. Például a táblázat 8. sora megmutatja, hogy a nem súlyozott négy mintavételi reflektancia-osztályú, 40-es mintaszámú terv azt jelenti, hogy a gipsz-szükséglet becslése során mintavételi reflektancia-osztályonként a következő számú random mintát vettük figyelembe: az 1. osztályban 2, a 2. osztályban 7, a 3. osztályban 16 és a 4. osztályban 15.

Kétféle levonható következtetést vizsgáltunk. Az egyik az volt, hogy az 1. és 2. mintavételi reflektancia-osztályban nagyobb a gipsz-szükséglet, mint 4 t/ha, míg a 3. és 4. osztályban kisebb (l. a 4.3.3.2.táblázatban a 2. és 3. mintavételi reflektancia-osztály közötti különbség), a másik pedig az, hogy az 1-től a 4. osztályig csökken a gipsz-szükséglet (l. 4.3.3.2.táblázat és 4.3.3.1.ábra). Ha ezzel ellenkező volt az eredmény, azt helytelen következtetésnek tekintettük.

4.3.3.1.táblázat. A tesztelt terepi mintavételi tervek

A mintavételi pontok száma a reflektancia-osztályokban								
Mintavételi terv		4-osztályú				2-osztályú		
	Mintasám	1.o.	2.o.	3.o.	4.o.	1-2.o.	3-4.o.	
Teljes minta	134	9	30	50	45	39	95	
Mintavételi tervek:								
Reflektanciával súlyozott								
	80	6	20	32	22	26	54	
	40	3	10	16	11	13	27	
	20	2	5	8	5	7	13	
	10	1	2	4	3	3	7	
Nem súlyozott								
	80	3	14	33	30	17	63	
	40	2	7	16	15	9	31	
	20	1	3	8	8	4	16	
	10	0	2	4	4	2	8	

III. A statisztikai hibavarianciák és becslési hibák

A vizsgálat során az egyes mintavételi reflektancia-osztályokra kapott átlagot egyenként összehasonlítottuk az adott osztályhoz tartozó összes minta gipsz-szükségletével. Mivel nem mindegy, hogy az adott osztályból mely mintavételi pontokat választjuk ki egy-egy mintavételi terv esetében, ezért mindegyik terv vizsgálatánál randomizálva választottuk ki a vizsgálandó mintát, 7 ismétlésben. Az egyes tervek hatékonyságának elemzésénél a hét ismétlés egyenkénti és átlagos eredményeit is figyelembe vettük.

A becslés jóságát a becslési hibával (BH) illetve a relatív becslési varianciával (RBV) jellemeztük:

$$BH = \sqrt{(1/n) * \sum (x_{i,j} - x_{i,becsült})^2}$$

$$RBV = (1/n) * \sum (x_{i,j} - x_{i,becsült})^2 / \text{var}(x)$$

ahol

$x_{i,j}$ az i-edik mintavételi reflektancia-osztály j-edik mintavételi pontja

$x_{i, \text{becsült}}$ az i -edik mintavételi reflektancia-osztályra vonatkozó becslés, azaz a mintavételi osztályból random választott szűkített minta átlaga
 n a mintavételi pontok száma
 $\text{var}(x)$ a mintapontok laboratóriumban meghatározott gipsz-szükségletének varianciája.

Kiszámítottuk a mintavételi reflektancia-osztályonkénti becslési hibát is:

$$BH_i = \sqrt{(1/n_i) * \sum (x_{i,j} - x_{i, \text{becsült}})^2}$$

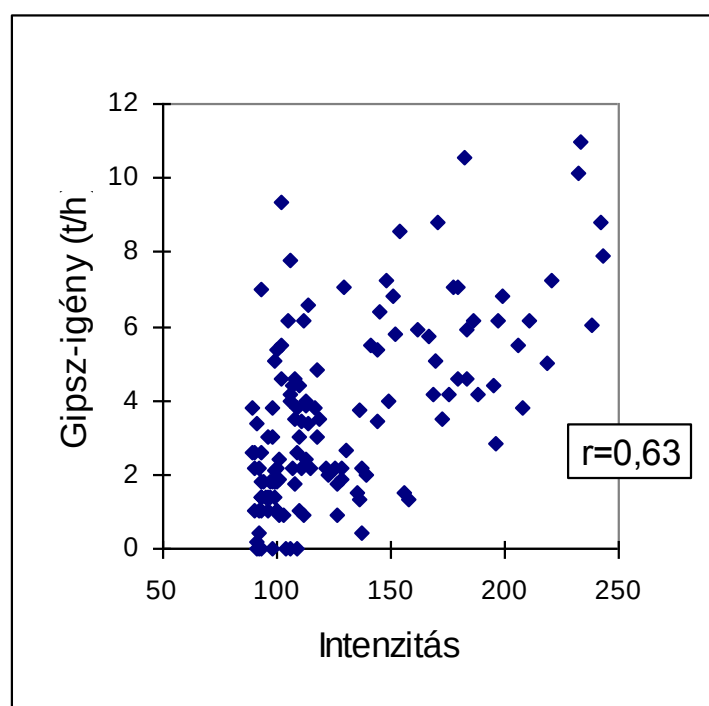
ahol

n_i az n -edik osztály mintavételi pontszáma.

A minták laboratóriumi vizsgálata

Mivel a szikes talajok javítása során a maximális mélység a jelenlegi gyakorlatban 40 cm (Blaskó, 1999), a szántott réteget és az alatta fekvő réteget szétválasztottuk, és így 0-20 cm és 20-40 cm mélységből vettünk talajmintát. A 134 db 0-20 cm-es mintából a talajjavításhoz szükséges gipszmenyiséget Schoonover módszerével (Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. 1988) határoztuk meg. Ez a módszer egyszerűsége miatt széles körben elfogadott a gipsz szükséglet becslésére (Filep, 2001).

A légifénykép egyes pixeleinek reflektanciája és a gipsz-szükséglet közötti összefüggés



4.3.3.4.ábra. Összefüggés a légifénykép egyes pixeleinek reflektanciája és a teljes mintaanyagon Schoonover módszerével meghatározott gipsz-szükséglet között (n=134)

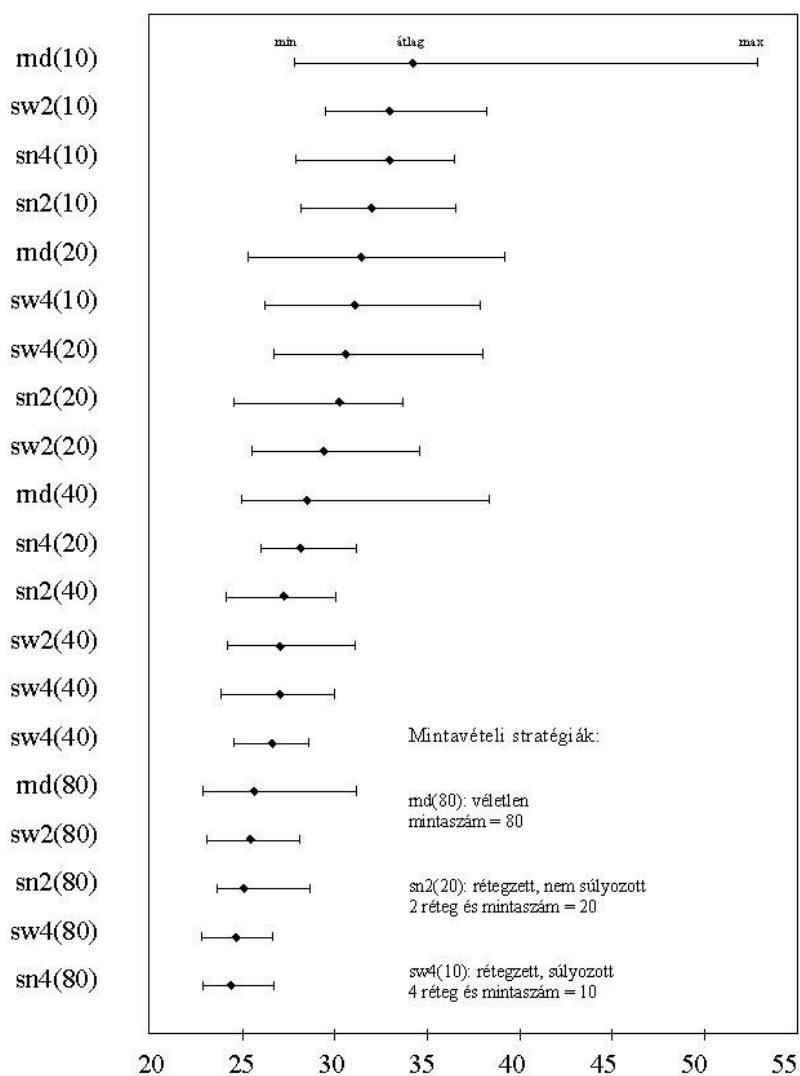
A 4.3.3.4.ábrán bemutatott lineáris összefüggés alapján a mintavételi tervet közvetlenül a légifénykép alapján készítettük, mivel a reflektanciabeli különbségek így közvetlenül arányosak a gipsz-szükséglet különbségeivel, és ugyanez vonatkozik a gipsz-szükséglet becslési hibájára is. Bár a 4.3.3.4. ábrán bemutatott korreláció erősen szignifikáns ($<0,1\%$), a mintavételi tervek olyan tesztelését is elvégeztük, amely nem veszi figyelembe a statisztikai szignifikancia szinteket, ezáltal a gyakorlati alkalmazás számára kézenfekvő döntések hozatalát támogatja.

A mintavételi tervek térinformatikai tesztelése

A gipsz-szükséglet és a légifénykép reflektanciája között meglévő lineáris összefüggés alapján az egyes szimulált mintavételek statisztikáit közvetlenül használhatjuk a gipszezés pontosságának megítélésére.

A 4.3.3.5.ábrán a szimulált mintavételi tervek átlagos ($n=20$) eltérés-négyzet összegének a négyzetgyökét, valamint ennek a 20 realizáció alapján számított minimum és maximum értékét tüntettük fel. Minél jobban megközelíti az interpolált kép a légifényképet annál kisebb az eltérés-négyzet összeg.

A táblán belül a mintaszám növelésének volt a legerősebb hatása a pontosság növelésében, a mintavételi reflektancia-osztályok számának 2-ről 4-re növelése további pontosság növekedést okozott. Amennyiben nem voltak mintavételi reflektancia-osztályok elkülönítve {a 4.3.3.5.ábrán $R_{nd}(10 \dots 80)$ } a pontosság az adott mintaszámhoz tartozó sorozatokon belül mindig a legkisebb volt, ezért ezt a mintavételi típust kizártuk a terepi tesztelésből. A mintavételi pontoknak a reflektancia értékek alapján történő súlyozott számú kihelyezése nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, és kisebb pontosságot eredményezett mint a nem-súlyozott pontszám-megállapítás. Figyelemre méltó az is, hogy a súlyozott kihelyezés esetén a 20 szimulációból álló sorozat minimum és maximum értéke



4.3.3.5.ábra. Különböző szimulált mintavételi tervek összehasonlítása

közötti eltérés (azaz a terjedelem, amit a 4.3.3.5.ábra szintén megmutat) mindig nagyobb volt, mint a nem súlyozott szimuláció esetén, azaz az ilyen módszerrel végzett javítóanyag-adag meghatározás bizonytalansága nagyobbnak bizonyult, mint a nem súlyozott esetben.

A mintavételi pontok számát a gazdaságossági számítások alapján kell meghatározni, azaz a hosszú távú termelés biztonsága függvényében. Ha nagy biztonsággal kell a talaj szikesedési állapotán változtatni, akkor a mintaszámot növelni lehet. Egyértelmű az ennek következtében beálló pontosság növekedés, ami számszerűleg lineáris összefüggést mutat a gipszadag meghatározás térbeli hibájával, azaz a 4.3.3.5. ábrán mutatott mértékben csökken a feleslegesen kiadott, avagy az igény ellenére ki nem adott gipsz mennyisége, vagyis egyre inkább a talaj tulajdonságoknak megfelelő lesz a gipszadag. A 4.3.3.5.ábra elemzése alapján a 40 pontos mintavételi terveknél határozottan nő a pontosság.

Mivel a 4 mintavételi reflektancia-osztályú tervek alkalmazása jelentős pontosság növekedést nem eredményezett, ugyanakkor technikailag tovább nehezíti a talajjavítást, ezt nem javasolhatjuk. Ennek megfelelően a légifénykép reflektanciája alapján elkülönített 2 kategórián belül a kategóriák területével arányosan meghatározott számú, és azokon belül kijelölt mintavételi pontok alkalmazásával kapható optimális gipszjavító térkép.

A terepi mintavételi tervek tesztelésének eredménye

I. A mintavételi reflektancia-osztályok elválása a tengerszintfeletti magasság, gipsz-szükséglet, reflektancia szempontjából variancia analízissel

A mintavételi terveket a végleges mintavétel és a minták laboratóriumi elemzése után főleg a gipsz-szükséglet szempontjából értékeltük. A mintavételi reflektancia-osztályok szerinti variancia analízis (4.3.3.2.táblázat) a laboratóriumban meghatározott gipsz-szükséglet, tengerszint feletti magasság, a lokális és átlagolt reflektancia szerint is erősen szignifikáns elválást mutatott.

4.3.3.2.táblázat. A gipsz-szükséglet mintavételi reflektancia-osztályok szerinti variancia analízisének eredménye

Osztály	Átlag	Szórás	Mintaszám	A csoportosítás szignifikanciája
Gipsz-szükséglet (t/ha)				
4 mintavételi reflektancia-osztályba sorolás esetén				<0,001
1	7,26	2,42	9	
2	5,33	2,14	30	
3	3,16	1,89	50	
4	2,08	1,78	45	
2 mintavételi reflektancia-osztályba sorolás esetén				
1-2	5,78	2,33	39	<0,001
3-4	2,65	1,90	95	

A 4.3.3.2.táblázat alapján a 4.3.3.4.ábrával egyezően, növekvő pixel-reflektanciához növekvő átlagos gipsz-szükséglet tartozik. A csoportosítás mind 2 mind 4 mintavételi reflektancia-osztály esetén szignifikáns volt.

II. A gipszezés megbízhatósága, ha a mintavételi reflektancia-osztályok átlaga alapján végzik a gipszezést

A mintavételi tervekben levonható helytelen következtetések számát a 4.3.3.3.táblázatban közöljük. A számok a táblázatban azt jelentik, hogy a 7-7 random mintavételezésből hány alkalommal vonhatunk le helytelen következtetést. Két kritériumot vizsgáltunk, az első: az 1-2. mintavételi reflektancia-osztályban 4 t/ha fölötti a gipsz-szükséglet, a 3-4. mintavételi reflektancia-osztályban ez alatti, a második kritérium: a gipsz-szükséglet az 1-től a 4. mintavételi reflektancia-osztályig csökken.

4.3.3.3.táblázat. A mintavételi tervekben levonható helytelen következtetések száma

Mintasza	1. kritérium		1. és 2. kritérium	
	4-osztályú	2-osztályú	4-osztályú	2-osztályú
Reflektanciával súlyozott				
80	-	-	-	-
40	-	-	2	-
20	1	-	3	-
10	4	1	5	1
Nem súlyozott				
80	-	-	-	-
40	-	-	1	-
20	2	1	4	1
10	1	1	4	1

A táblázat alapján ahhoz, hogy mindkét kritériumnak maradéktalanul megfeleljünk legalább 40 mintát kell vennünk. Ebben az esetben a 2 osztályos mintavételi terv alkalmazása egyetlen egy esetben sem eredményez helytelen következtetést.

III. A statisztikai hibavarianciák és becslési hibák

A relatív becslési varianciákat és a becslési hibákat a 4.3.3.6.ábrán mutatjuk be. Az egyes mintavételi pontokban a becslési hiba a légifényképen elkülönített 2 vagy 4 mintavételi reflektancia-osztályra meghatározott átlagos gipsz-szükséglet és a pontra a laboratóriumban meghatározott gipsz-szükséglet közötti különbség. A kapott eredményekből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A becslés jósága a mintaszámnak 80-ról 20-ra való csökkenésével általában csökken, azaz a relatív becslési variancia és a becslési hiba növekszik. Ez a növekedés nem egyenletes, hanem a mintaszám szűkülésével egyre nagyobb. Nem tapasztalható kimutatható különbség a 40-es és 80-as mintavételi pont-számú minták hibái között.
- Az adott mintavételi tervhez tartozó egyes becslések relatív varianciái közötti különbségek szintén nőnek a minta pont-számának csökkenésével, de ennek részben az az oka, hogy az egyes mintavételi tervek hibájának vizsgálatára alkalmazott összes minta tartalmazza a mintavételi tervek vizsgálatára kiválasztott adatokat is, és a nagy mintaszámok esetén a kiválasztott és maradék minták halmaza közötti átfedés, valamint az egyes minták közötti átfedés is nagyobb.
- Nem tapasztalható lényeges különbség a reflektanciával súlyozott és nem súlyozott mintavételi tervek között.

(d) A mintavételi reflektancia-osztályonkénti becslési hibák csökkennek az 1. osztálytól a 4.-ig, de a 3. és 4. osztály hibája gyakorlatilag azonos. A hiba csökkenésének fő oka az, hogy a gipsz-szükségletek csökkennek.

A mintavételi tervek fentebb ismertetett térinformatikai és terepi tesztelése hasonló eredményre vezetett. A terepi mintavételi tervre tett javaslat akkor optimális, ha:

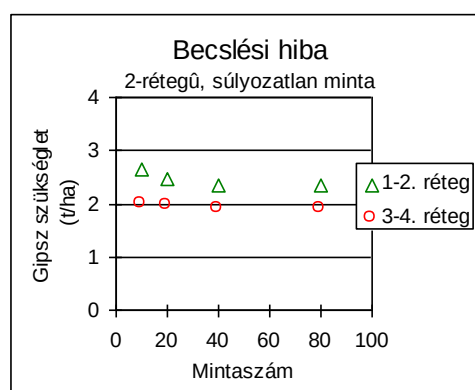
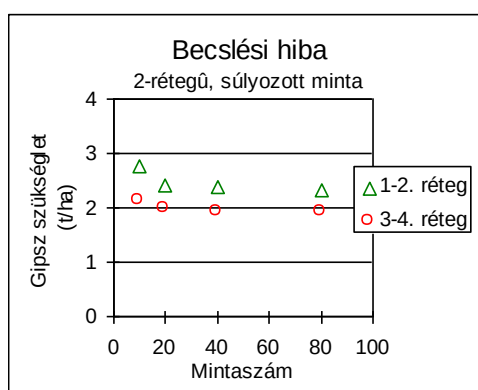
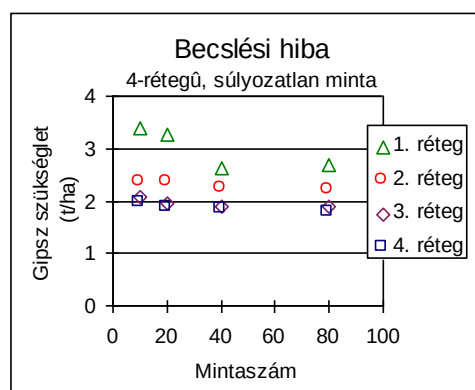
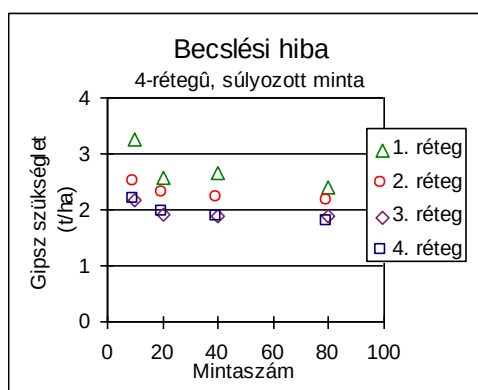
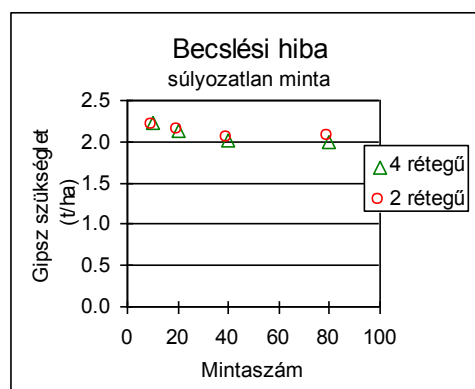
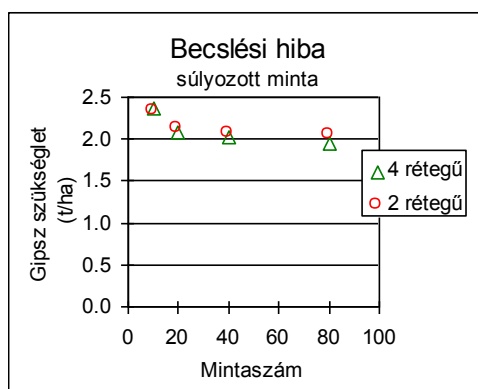
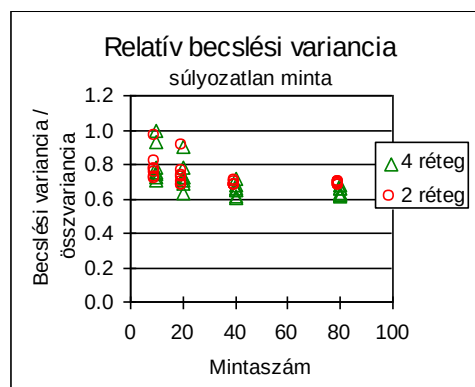
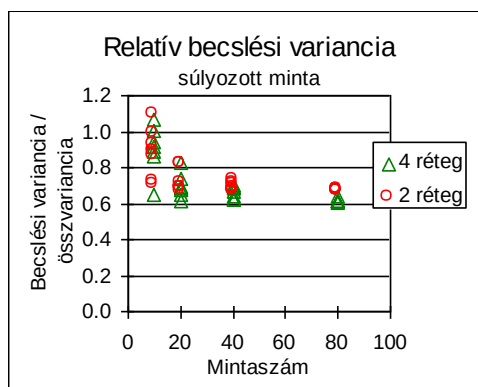
- (a) a mintavételi terv alkalmazásával levonható következtetések helytállóak
- (b) a mintaszám a lehető legkisebb
- (c) a mintavételi terv a lehető legegyszerűbb

Az (a) kritérium kizárja az összes olyan tervet, ami a 4.3.3.3.táblázat szerint hibás következtetésre vezethet, míg a (b) kritérium kizárja a 80-as mintanagyságot. A (c) kritérium a leggyengébb, mivel a mintavételi reflektancia-osztályba soroláshoz és a reflektanciával való súlyozáshoz szükséges számítások nehézsége eltörpül a légifénykép beszerzéséhez és előzetes földolgozásához képest. Mindezek alapján az adott területre a kétosztályú, 40 mintavételi pontos terepi mintavételi terveket javasolhatjuk. A reflektanciával súlyozott és nem súlyozott mintavételi tervek között nem tapasztaltunk lényeges különbséget. Abban az esetben, amikor a nagy reflektancia osztályú foltokba kevés minta esne, térbeli statisztikai megfontolások alapján inkább a reflektanciával súlyozott változat javasolható.

A mintavételi és javítóanyag kihelyezési terv elkészítésének javasolt technikája nem csupán gipszre, hanem más anyagokra is alkalmazható, ha a javítóanyag vagy egyéb adalék (műtrágya, stb.) szükséglet lineáris összefüggést mutat a légifénykép reflektanciájával.

A mintavételi reflektancia-osztályonként meghatározott átlagos gipszszükséglet alkalmazása esetén a talajjavítás jobban megfelel a talaj szikesedési fokának, mintha azt a táblán belül szabvány szerint ástott szelvények mintái alapján végzik.

A vizsgált táblán az előírásoknak megfelelő minimális mintaszám (10) javasolt 4-szeresére növelése nem feltétlenül okoz nagyobb mintavételi költséget, mivel a légifénykép alapján végzett gipszezés tervezéséhez nem szükséges talajszelvényt feltárni (megfelelő a feltalajt érintő fúrásos mintavétel) és a gipszadag meghatározása is elvégezhető a szabványban előírtaknál egyszerűbb, becselő módszerekkel.



4.3.3.6.ábra. A terepi mintavételi tervek alkalmazásával kapott relatív hibavarianciák és becslési hibák

4.3.4. A szolonyeces szikesedés távérzékelése űrfelvételekkel a Nagykunságban[#]

Problémafelvetés

Az erőforráskutató műholdak felvételei időbeli felbontásuk és a nagy földrajzi kiterjedés miatt a földfelszín állapotának leggazdagabb adatforrását alkotják. A rendelkezésre álló felvételeknek nem több mint 2%-át dolgozzák fel. Ennek oka, hogy a felvételek kiértékeléséhez nincsenek meg a szükséges ismeretek. Számos földtudomány, a meteorológia stb. rendszeresen alkalmaz űrfelvételeket, és törekvések vannak az űrfelvételek minél szélesebb körű alkalmazására. Gyakran nem ismertek kellően a reflektancia és a földfelszíni jelenség közötti fizikai összefüggések. Ilyenkor az űrfelvételek értékelését mintaterületek segítségével, statisztikai osztályozási technikákkal végzik és a mintaterületeken megfigyelt reflektancia értékeket "terítik ki" az egész vizsgált területre. A szikesedés előfordulása világszerte megfigyelhető, a mezőgazdasági termelést súlyosan gátló folyamat. Mivel a hazai szikes talajokat a megelőző évszázad során széleskörűen vizsgálták, a szikesedés fokozatainak elkülönítésére a Tiszántúlon jelöltünk ki mintaterületet.

A vizsgálat konkrét célkitűzése annak megállapítása volt, hogy a szikesedési állapotban meglévő ismert, feltérképezett különbségeket mezőgazdasági és féltermészetes vegetációval borított területeken ki lehet-e mutatni űrfelvétel elemzésével. A vizsgálati terület részben egybeesik azzal a Karcag melletti nagykunsági területtel ahol Máté (1955) vizsgálta a szolonyec talajok elhelyezkedésének törvényszerűségeit.^{##}

Referencia térképek

A szolonyeces területek (szántók és legelők) szikesedési fokának űrfelvételes távérzékelési lehetőségét Karcagtól nyugatra a Nagykunságban vizsgáltuk, 10 * 10 km-es területen.

Az űrfelvételek interpretációjához használt térképek 3 léptékben készültek. A Kreybig-féle "Átnézetes talajismereti térképek" (1:25.000), melyek az egész vizsgált területet lefedik, kevés kiterjedt foltot nyújtottak. Az 1:10.000-es léptékű üzemi genetikai térkép egyes lapjai és a táblatorzskönyvek adatai hiányosan és csak a növénytermesztésbe bevont táblák egy részére álltak rendelkezésre.

1:25.000 szikesedési térkép

Az alkalmazott referencia térképek közül az 1:25.000 méretarányú szikesedési alaptérképeket a Kreybig-féle térképsorozat megfelelő lapjai alapján állítottuk össze

[#] A fejezetet a Tóth, Csillag, Büttner (1991c) publikáció alapján írtam.

^{##} A munka fázisai

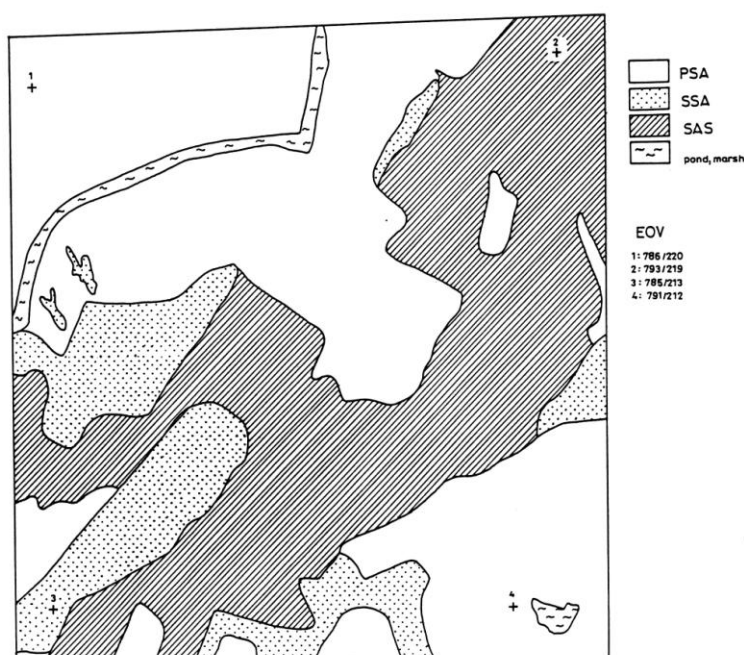
-Előkészítés

- Mintaterület kiválasztás
- Műholdfelvétel kiválasztása
- Talajtérképi fedvények elkészítése

-Értékelés

- A műholdfelvétel kategóriáinak elhatárolása
- Statisztikai elhatárolás

(Kreybig, 1937) (4.3.4.1.ábra). Három kategóriát különítettünk el, úgy mint potenciálisan szikes talajok (**PSA**, azok a talajok amelyek a felszín közelében nem szikesek), enyhén szikes talajok (**SSA**, feltételesen hasznosítható szikes talajok) és erősen szikes talajok (**SAS**, mezőgazdasági termelésre nem alkalmas szikes talajok). Ezek a kategóriák a Kreybig lapok kémhatás-kategóriái alapján keletkeztek. **PSA**= túlnyomóan semleges vagy gyengén lúgos, mésszel telített talajok (az eredeti térképlapokon kék színnel jelölve), túlnyomóan savanyú, mésszel telítetlen feltalajú, az altalajban már a felszínhez közel szénsavas meszet tartalmazó talajok (sárga), túlnyomóan savanyúbb, telítetlen talajok, melyek altalaja a felszín közelében nem tartalmaz szénsavas meszet (vörös). **SSA**= szántóföldi művelésre alkalmas szikes talajok. Feltalajuk általában savanyú, mésszel többnyire javíthatók. A termőréteg vastagsága 50 cm vagy több (vörösibolya), szántóföldi művelésre kevésbé vagy feltételesen alkalmas szikes talajok. Mésszel feltételesen javíthatók. Termőréteg 30-50 cm (világosibolya). **SAS**=szántóföldi művelésre alkalmatlan szikes talajok, mésszel nem javíthatók (sötétibolya).



4.3.4.1.ábra. A Karcagtól nyugatra kijelölt terület szikesedési kategóriái a Kreybig-féle térképek szerint. A kategóriákat a szövegben magyarázzuk meg. „Pond, marshes” rendszerint vízzel borított területet jelöl.

1:10.000 üzemi genetikai térkép

A területen elhelyezkedő Magyar-Bolgár Barátság termelőszövetkezet üzemi talajtérképének a meglévő lapjait használtuk.

1:1.000 üzemi térképek

A táblatorzskönyvek alapján egyes táblákon az űrfelvétel készítésének idején meglévő mezőgazdasági növénykultúrákat is figyelembe vettük.

Úrfelvételek és képfeldolgozás

A karcagi Landsat TM felvétel 1987. július 1-én, a SPOT XS 1986 május 2-án készült. (Tóth et al., 1991a). Ezen felvételek segítségével vizsgáltuk a szikesedés fokozatainak térbeli elkülöníthetőségét.

A Landsat felvételtől a TM3 (630-690 nm), TM4 (760-900 nm) és TM5 (1550-1750 nm), a SPOT felvételtől az XS2 (610-680 nm) és XS3 (790-890 nm) sávokat használtuk. A szikesedés értelmezéséhez kétféle mutatót használtunk: a normalizált különbségi vegetációs indexet (NDVI, azaz normalized difference vegetation index) amit a $(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$; illetve az $(XS3 - XS2)/(XS3 + XS2)$ összefüggéssel számítottuk; és az albedót, amit a TM3-5 sávok átlagaként számítottunk.

Távérzékelte adatok összevetése az 1:25.000 léptékű talajtérkép foltjaival

A területen a Kreybig-térképek a 'Sigmond-féle talajrendszer következő altípusait (zárójelben az altípus jele) jelölték: gyengén degradált kalciumtalajok (X-V-I), gesztenyeszínű mezőségi talajok (XI-V-I), világosbarna mezőségi talajok (XI-V-II), szolonyectalajok (XII-III-I) és szolonyecszerű talajok (XII-III-II).

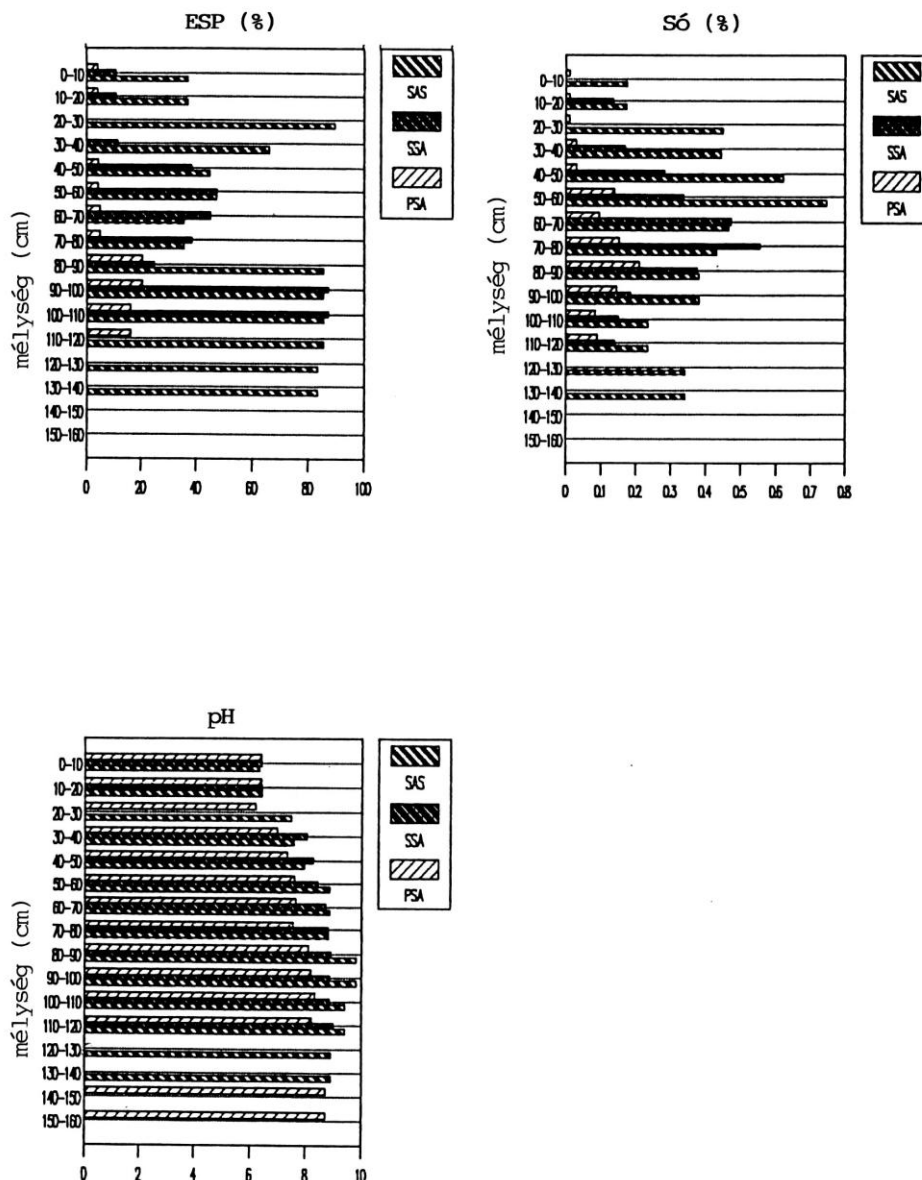
Mivel a Kreybig-térképek több évtizeddel korábban készültek felvetődhet a kérdés, hogy mennyiben alkalmasak arra, hogy a talajok jelenlegi kémhatásviszonyait, illetve szikesedési állapotát ezek alapján ítéljük meg. Ezen kérdés eldöntéséhez a Hortobágy Nyírólapos-Nyárijárás területén vizsgált 203 pontban mért pH értéket hasonlítottuk a Kreybig-térkép megfelelő lapján megjelölt fűrészek magyarázófüzetben szereplő értékeihez két mélységben. Az összehasonlítás során a következő táblázatot kaptuk:

4.3.4.1. táblázat. Három mélységben meghatározott, és ugyanerre a területre a Kreybig-féle térképek alapján becsült pH értékek összehasonlítása

Mélység	Átlag pH (szórás)	
	Kreybig (n=23)	Saját adatok (n=203)
pH_0-10 cm	7,11 (0,87)	6,83 (0,97)
pH_10-20 cm	7,43 (1,00)	7,59 (1,13)
pH_20-30 cm	7,73 (0,99)	8,02 (1,15)

A 4.3.4.1. táblázat alapján a kiválasztott terület egészére nézve a 3 mélységben meghatározott pH értékek a sorokon belül nem különböztek szignifikánsan (1% tévedési valószínűséggel), ezért nincs okunk kételkedni abban, hogy a Kreybig-térképek nem a jelenlegi helyzetnek megfelelően tüntetik fel a kémhatás viszonyokat.

A 4.3.4.2. ábra a szikesedés három elkülönített kategóriájában a Kreybig magyarázóik alapján a vizsgálati területen számított mélységi átlag ESP, só% és pH értékeket mutatja be. Mivel a Kreybig-térképek színekódját a feltalaj hidrolitos aciditása és a szikes réteg vastagsága alapján alkották meg (Kreybig, 1937) azt várnánk, hogy a pH a három kategóriában (potenciálisan szikes talajok, **PSA**; enyhén szikes talajok, **SSA** és erősen szikes talajok, **SAS**) eltérő. Ezzel szemben a pH nem, hanem a szikesedés másik két tényezője, a kicserélhető nátrium-tartalom és a só-tartalom mutatta jól a különbségeket, és így a három kategóriában fel lehet ismerni a szikesedés különböző fokozatait.



4.3.4.2. ábra. A Kreybig-térképek segítségével a Nagykunságban elkülönített szikesedési kategóriák talajtulajdonságainak mélységi eloszlása a magyarázó füzetek adatai alapján

Amikor a Kreybig-térképek alapján összeállított szikesedési térképet fedésbe hoztuk a Landsat űrfelvétellel, a szikesebb kategóriákban kisebb volt a növényi borítás. A szikesedés növekedésével együtt csökkent a TM4, azaz az infravörös tartomány reflektanciája és a TM3, azaz a vörös tartomány reflektanciája növekedett, ami az 4.3.4.2. táblázatban szereplő vegetációs index (NDVI) értékekhez vezetett. A különbségek statisztikailag (az oszlopokban függőlegesen) minden esetben szignifikánsak voltak (1% tévedési valószínűséggel).

A táblázat NDVI értékei a szikesedésnek a biomassza mennyiségre kifejtett hatását jól mutatják, mivel erősödő szikesedés csökkenő vegetációs indexszel, csökkenő biomasszával jár együtt. Az albedó által mutatott különbség nem konzisztens, valószínűleg azért, mert a vizsgált időben a területen kevés növényzettel nem fedett felület volt, és a növényzettel fedett területeken a növényzet a talajfelszín reflektáló hatását elfedte.

4.3.4.2.táblázat. A felszíni talajkémhatás kategóriák vegetációs index (NDVI) és albedó értékei a Landsat TM alapján

Kategória	Terület (ha)	NDVI		Albedó	
		m	sd	m	sd
PSA	3174,00	102,90	35,0	67,80	10,3
SSA	969,60	92,22	36,4	69,49	11,9
SAS	2541,24	77,94	32,5	68,46	12,5
Összesen	10000,00	91,13	37,5	67,05	12,5

Megjegyzés: PSA=potenciálisan szikes talajok, SSA=enyhén szikes talajok, SAS=erősen szikes talajok, m=átlag, sd=szórás, NDVI=normalizált különbségi vegetációs index.

1:10.000 léptékű térképek alkalmazása

Az egyes táblák vetett növényzetét ábrázoló térképet az 1:25.000-es léptékű szikesedési térképpel fedésbe hoztuk, és az így kapott kategóriákban az NDVI és albedó értékét számítottuk ki. A szikesedés erősségét a szántóföldi kultúrákkal hasznosított táblák átlagos NDVI és albedó értéke jelezte, mert erősödő szikesedési fokozattal csökkenő NDVI-t kaptunk.

4.3.4.3.táblázat. A kombinált kémhatás-termesztett növény alkategóriák NDVI és albedó értékei a Landsat TM sávok alapján

Alkategória	Terület (ha)	NDVI		Albedó	
		m	sd	m	sd
PSA_búza	293,8	117,98	12,5	59,58	3,6
PSA_lucerna	87,04	152,28	17,3	79,75	5,9
PSA_napraforgó	103,80	133,43	24,7	84,96	5,0
PSA_gyep	31,84	93,10	16,3	67,60	8,6
SSA_lucerna	41,40	154,98	13,5	77,85	4,0
SSA_napraforgó	138,16	92,03	24,6	76,76	6,5
SAS_búza	287,56	104,68	18,0	64,58	5,5
SAS_napraforgó	65,48	75,04	4,5	98,63	20,3
SAS_gyep	243,20	96,57	20,6	71,15	6,7

Megjegyzés: PSA=potenciálisan szikes talajok, SSA=enyhén szikes talajok, SAS=erősen szikes talajok, m=átlag, sd=szórás, NDVI=normalizált különbségi vegetációs index.

A táblázatban az oszlopokban függőlegesen mind az NDVI mind az albedó esetén a gyep és lucerna NDVI értékeinek kivételével az összes különbség szignifikáns (1% tévedési valószínűséggel). Mint az 4.3.4.3.táblázatban látható, a napraforgótáblák kiterjedése az erősen szikes területen mintegy kétharmada volt a potenciális szikes területen lévőnek. Emellett az NDVI értéke jelentősen kisebb volt, mintegy felére csökkent az erősebb szikesedés következtében. A búza hasonlóan mutatta a szikesedés hatását, tehát a termesztési feljegyzések felhasználása fontos a szikesedés ezen fokozatainak elkülönítésében.

A különböző szikesedési fokozatokba tartozó gyepek és a lucerna vegetációs indexe nem mutatja, hogy a növekvő szikesedés csökkenő biomassza mennyiséggel jár. A kapott

eredmények egyik lehetséges magyarázata, hogy a szikes növénytársulások szárazanyag termelése, a szikesedés foka, a sótartalom, illetve kicserélhető nátrium mennyisége avagy a pH értéke, nem áll egyenes arányban a biomassza mennyiséggel. Erre vonatkozólag adatokat közölt Vargáné et al. (1982). Eszerint a sziki rét fűtermése nagyobb, mint a szikespusztai gyepe. Az eltérő szárazanyag termelés oka az, hogy a szikes társulásokon a kémiai tulajdonságok mellett van egy másik döntő ökológiai tényező, amelyik meghatározza a növényi biomassza mennyiségét, a talaj vízgazdálkodása. A nedves társulások a legproduktívabbak, és a legszikesebb társulások a nedves és száraz társulás csoport átmenetének közelében találhatók. Másik lehetséges ok, hogy a legeltetés és kaszálás eltüntethette a meglévő különbségeket, és ezáltal a szikesedésnek a biomasszárt csökkentő hatása műholdas távérzékeléssel nem mutatható meg. Hasonló okok játszhattak szerepet a lucerna esetében is a szikesedés hatásának meg nem nyilvánulásában. Dyer et al. (1991) ismerteti, hogy a vegetációs index használata során legeltetett területeken könnyen arra a következtetésre lehet jutni, hogy a nem legeltetett terület termékenyebb, mint a legeltetett. Harmadik ok lehet, hogy a meglévő összes féltermészetes növénytársulás az erősen szikes talajok foltjába esik. Fentiek alapján az alkalmazott lépték (25.000) és a talajtérkép (Kreybig-féle átnézetes talajismereti térkép) a féltermészetes növényzettel fedett területek (és a lucernatáblák) szikesedési fokozatainak ürfelvételen történő elhatárolására nem bizonyult alkalmasnak.

Ezekkel az eredményekkel összevágunk Pásztor (szóbeli közlés) megfigyelései, aki a hortobágyi Nyírólapos-Nyárijárás 1:5.000 léptékű növényzeti térképének (Varga et al., 1982) alapján a szolonyeces pusztai növényzeti kategóriáinak távérzékeléssel történő elkülöníthetőségét vizsgálta. A Landsat TM 2, 3, 4 és 5 sávok alapján a nedves társulások a szárazoktól jól elváltak, de az **Achilleo-Festucetum pseudovinae** és az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** nehezen voltak elválaszthatók. A nedves társulások talajkémiaiailag heterogének, a két szikes pusztai társulás pedig talajkémiaiailag jól elválik, tehát ebben az esetben a talajkémiai különbségek a távérzékelés felvételén nem manifesztálódtak jól. A féltermészetes növényzettel fedett terület növényzet típusainak elkülönítésére a légifényképek bizonyultak alkalmasnak.

Az eddigi tapasztalatok szerint a talajok szikesedésének nyomon követésére a fedetlen talajok vizsgálata az optimális (Colwell, 1983). Prettenhoffer, 1951 megjegyzi, hogy a szikes talajok feltalajának kivilágosodása arányos a szikesség fokozódásával. "A szikes feltalajának erősen kifakult színe már rendszerint nagyobb sótartalmat, vagy esetleg már nagyobb lúgosságot is jelent". Mivel az eddig ismertetett Landsat képen kevés fedetlen terület volt, egy SPOT műhold által készített felvételen másik időpontban vizsgáltuk a szikesedést. A SPOT felvétel elkészítésének időpontjában (május 4.) jelentősen nagyobb volt a fedetlen területek borítása, mint a Landsat felvétel készítésének időpontjában. A SPOT képen az NDVI alapján a képelemeket osztályoztuk, és így különböző világosságú osztályokat kaptunk. A feltételezeten növényekkel kevésbé borított világossági osztályok területi ("fedetlen talaj") arányát szikesedési kategóriánként összehasonlítottuk (4.3.4.4. táblázat).

A két világos kategóriába eső talaj alkategória előfordulása mintegy kétszeres volt az erősen szikes talaj esetén (Tóth et al., 1991b), azaz az erősen szikes talajokon belül mintegy kétszer annyi az erősen reflektáló képelemek aránya mint a potenciálisan és enyhén szikes talajok esetén, és ez jelzi hogy az erősen szikes, fedetlen talajok műholdfelvételekkel elkülöníthetők.

4.3.4.4. táblázat. A fedetlen talajok kémhatás kategóriák szerinti százalékos területi megoszlása a SPOT XS alapján

NDVI borítás alkategória	Össz	PSA	SSA	SAS
	(% a területen belül)			
Fedetlen/sötét	4,14	4,05	5,97	3,59
Fedetlen/közepesen sötét	12,25	16,27	7,20	8,85
Fedetlen/közepesen világos	7,95	6,84	5,06	10,34
Fedetlen/világos	3,41	2,00	2,63	5,59
Összes fedetlen talaj	27,75	29,16	20,86	28,37

Megjegyzés: PSA=potenciálisan szikes talajok, SSA=enyhén szikes talajok, SAS=erősen szikes talajok, NDVI=normalizált különbségi vegetációs index.

4.4. A TALAJ SÓFELHALMOZÓDÁS TÉNYEZŐINEK IDŐBELI VÁLTOZÁSA

A talajok szikesedési állapota idővel változik, mert a talajok sótartalma nem állandó érték, hanem rövid-hosszabb távú dinamizmussal jellemezhető (Arany (1956), Szabolcs (1971), Várallyay (1989)).

A hazai szikes területek kialakulását, térbeli elhelyezkedését, javításával kapcsolatos kérdéseket és a sómérlegüket kötetnyi közlemény tárgyalja (pl. az utóbbi évekből Blaskó (1999), Szendrei (1999), Szabó et al. (1998), és ezek a kérdések továbbra is az érdeklődés középpontjában vannak. Művelt, javított tiszántúli talajok sómérlegét vizsgálta Fekete, 1968, 1969, 2002.

Külföldön is folynak hasonló vizsgálatok, mindenekelőtt az öntözés hatása miatt figyelik a szikesek kiterjedésének változását. Brook Harker et al. (1995) a kanadai Alberta állam déli részén egy 5x30 km-es terület 1938-tól kezdődő 6 időpontban készített légifénykép sorozata alapján vizsgálta a szikesedés kiterjedését. Megállapították, hogy rövidebb vizsgálati időtartamok alapján eltérő következtetésekre juthattak volna. A szikes és vízállásos (sekély talajvízű) foltok összes területe időben nem változott. A csapadék mennyisége és a szikes foltok kiterjedése egymással fordított arányban állt.

A talaj sótartalom változásának leírására fejlett statisztikai eszköztár áll rendelkezésre (idősorok, ARIMA modellezés, tér-időbeli krigelés stb., ld. Tanji, 1990).

4.4.1. A talaj sótartalom változásának tényezői a kiskunsági Apajon[#]

A kiskunsági szikes puszták több védett élőlénycsoportnak is a legjelentősebb hazai élőhelyei, és több tudományág klasszikus vizsgálati területei. A körzet földtani, hidrológiai és földhasználati jellemzőinek megfelelően a szikes puszták kialakulása, illetve fennmaradása egy sor tényezővel áll kölcsönhatásban. A folyamatok eredőjét a szikes puszták talajtulajdonságai érzékenyen mutatják. A közelmúltban és jelenleg is a körzetben hidrológiai, talajtani, földhasználati változások figyelhetők meg. A hosszú távú ökológiai folyamatok legjobb körzetszintű indikátora szintén a szikes puszták élővilága. Természetes viszonyok között ennek változását alapvetően kevés ökológiai tényező, főként a vízellátás és az ezzel összefüggésben álló sótartalom határozza meg.

[#] A fejezetet a Tóth és Kuti (2002) publikáció alapján írtam

Az említett hosszú távú tendenciák hatásaként a talajtulajdonságokban bekövetkezett változások ismerete, nyomon követése, értelmezése és előrejelzése mind az ökológiai folyamatok értelmezéséhez, mind a talajhasznosítás tervezhetőségéhez szükséges.

Talajvízszint változások a Kiskunságban

A Kiskunságban egyes területeken, elsősorban a Duna-Tisza közí hátságán jelentős (1-6m) talajvízszint-süllyedést állapítottak meg. Ennek az okait vitatják, bizonyosnak tűnik azonban, hogy az okok között szerepel a rétegvizek kitermelése (Rotárné, 1994 és Major és Neppel, 1988, Szalai, 1994), az évi csapadék mennyiségének az elmúlt évtizedekben tapasztalt csökkenése (Liebe, 1993), az erdősítés kiterjedése (Major et al., 1991), a talajvíz kivétel és a belvízrendezés. A belvízlevezető csatornák hatását többen vitatják. Harmati (2000a,c) szerint a csatornák építése következtében kialakult talajvízszint kedvez az okszerű földhasználatnak. Major et al. (1991) szerint "a Duna-völgyi-főcsatorna leszívó hatása a hátsági talajvízszint-süllyedés területeit nem érinti." "A levezető csatornák éppen azokat a területeket érintik, befolyásolják, amelyeken számottevő talajvízszint-süllyedést ez ideig nem mutathattunk ki." Rotárné (1994) valamint Major és Neppel (1988) a rétegvizek kitermelésének tulajdonítja a legnagyobb hatást a megfigyelt talajvízszint csökkenésben.

Mivel a Kiskunság talajainak kialakulását döntő mértékben befolyásolták a hidrológiai viszonyok, illetve az általuk meghatározott sófelhalmozódási folyamatok, a hidrológiai viszonyok megváltozása a talajképződési folyamatok módosulásával jár együtt. Ezt jól dokumentálják Harmati (2000b) adatai.

Sófelhalmozódási és kimosódási folyamatok

A Kiskunságban a sófelhalmozódási folyamatok alapvetően jól ismertek (Scherf, 1935, Herke, 1983, Smaroglay, 1939, Endrédi, 1941, Kovács, 1960, Várallyay, 1966, 1967, 1993, Kuti, 1977, Erdélyi 1979, Molnár 1985, 1994, 1999). A szikes területek (puszták és szikes tavak) esetén a talajvíz a sók közvetlen forrása. A területen a közelmúltban is megfigyelhetők voltak sófelhalmozódási folyamatok. Szabolcs (1979) arról számolt be, hogy a talajok sótartalma 4-14%-al növekedett az általa vizsgált időszak alatt.

A hosszú távú folyamatok mellett jelentős évszakos ingadozások figyelhetők meg a talajvízszintben és a talajtulajdonságokban is. Körmöczi (1983) **Achilleo-Festucetum pseudovinae** növénytársulásban egy év folyamán 0 és 0,4 % közötti ingadozást figyelt meg a sótartalomban, a pH érték 1,5 egységnyit változott a 0-20 cm-es rétegben. Ez azt jelenti, hogy ha a talaj jellemzését a sótartalom évi minimumának vagy maximumának ideje alatt mintázzák, akkor szögesen eltérő javaslatot tehetnek a talaj hasznosítására. Szükséges tehát a talajtulajdonságok szezonális dinamikájának vizsgálata annak érdekében, hogy az évi szezon dinamika elválasztható legyen a hosszú távú hatásoktól.

A megfigyelt hidrológiai változások ökológiai következményeit számos dolgozat ismertette (Bagi, 1988, 1989, 1989b, 1990, 1991, Harmati, 1996, Iványosi-Szabó, 1993). A legfontosabb folyamatok a száradás, kilúgzódás, ennek következtében a szikes gyepeken a nem sótűrő növények terjedése, a védett növény- és állatvilág elszegényedése.

Az itt ismertetett apaji vizsgálataink célja a rövid és hosszú távú sófelhalmozódási folyamatok nyomon követése volt. ^{##}

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-mintaterület kijelölés

-havi talajmintavétel

Rendszeres, havonkénti mintavételek és észlelések

1997. júniusától 2000. decemberéig minden hónapban a Kiskunsági Nemzeti Park ürmös-szikes gyeppel (*Artemisio-Festucetum pseudovinae*) borított apaji legelő területén egy kijelölt négyzetben (N 47° 05' 14,0'', E 019° 05' 54,7'') véletlenszerűen kiválasztott alkadrátban a talajvízszint megütésének a mélységéig 10 cm-enként vettünk talajmintát nedvességdobozba és mintazacskóba. A frissen megütött talajvízből mintát vettünk, és mintegy 15-30 perc múlva feljegyeztük a (rendszerint) megemelkedett talajvízszintet. Két állandó talajvízészlelő kutat alakítottunk ki, az egyik 2,5 és 3,5 méter, a másik 5-6 méter között volt szűrőzve. Ezekben havonta történt vízszint észlelés, talajvíz-mintavétel, amit helyszíni talajvíz hőmérséklet, EC és pH mérés kísért.

Laboratóriumi meghatározások

A 10 cm-enként vett talajmintákból minden időben meghatároztuk a gravimetriás talajnedvesség tartalmat 105 °C-on történő hevítéssel. Légszáraz darált talajmintákkal 1:2,5 talaj:víz arányú szuszpenziót készítettünk és ebben meghatároztuk szabvány szerint a pH-t, az elektromos vezetőképességet (EC_{2,5}), a nátriumion aktivitását (mol/l), amit annak a negatív logaritmusával fejezünk ki (pNa).

A gyűjtött vízmintákból meghatároztuk az EC (elektromos vezetőképesség) és pH értékét, időről-időre a fő kationok és anionok koncentrációját is.

A sókivirágzások összetételét 1:10 só:víz arányú kivonatból vizsgáltuk, a sókivirágzások ásványtani összetételét röntgendiffrakcióval vizsgáltuk.

Meteorológiai adatgyűjtés

A vizsgálati időszakra az Országos Meteorológiai Szolgálat által rendelkezésre bocsátott adatokat szereztük be 10 napos időbontásban: középhőmérséklet, összes csapadék, összes párologtatóképesség és az értékelés során havi átlagokkal dolgoztunk.

Értékelések és statisztikai számítások

Az adatokat előzetes feltáró adatértékelés után összefüggés-vizsgálatokkal elemeztük. Ezek közül a közismert korrelációs számításokat, a lineáris regressziót, a regressziós fa technikákat emelnénk ki. Tárgyalásunkban a korreláció akkor szignifikáns ha a koefficiens nagyobb mint a 99% valószínűség értékhez tartozó érték.

A vizsgált időszak általános jellemzői

Meteorológia

A vizsgált időszak néhány évi meteorológiai elemét a következő táblázat mutatja be a megelőző időszakhoz hasonlítva.

Az időszak utólag alkalmasnak tűnt a kiindulási hipotézis vizsgálatára: a változó időjárási elemek, mindenekelőtt a csapadékviszonyok a talajszint ingadozását befolyásolják és ez hatással van a talaj sótartalmára.

Az általunk vizsgált 3 és fél évben a csapadék összege 2104 mm, a potenciális párolgás 3890 mm volt. Apajon a talajvizet a felszín alatt 2,1 és 0,6 méter között, Zabszéken 1,2 és 0,8 méter között ütöttük meg.

-
- havi talajvízminta-vétel
 - Elemzés
 - területi talajvízszint változások értékelése
 - a havi változások értékelése

Év	Középhőmérséklet [°C]	Csapadékösszeg [mm]	Párolgatókéesség [mm] (pot. evapotranspiráció)
1989	11,29	450	1101
1990	11,35	436	1210
1991	10,05	585	1033
1992	11,55	378	1291
1993	10,56	440	1216
1994	12,03	376	1251
1995	10,81	662	1097
1996	9,91	525	1056
1997	10,45	481	1092 kezdés: június
1998	10,98	596	1088
1999	11,21	830	1061
2000	11,71	332	989 a vizsgálat vége

Talajvízminták stabilizotópos vizsgálata Apajon és Zabszéken

A vizsgált két területen az országos viszonyokhoz képest nagy a talajvízből történő párolgás (Major, 1993), ezért megvizsgáltuk, hogy a párolgás milyen mértékben befolyásolta a talajvíz összetételét. A 4.4.1.1.táblázatban a $\delta^{13}\text{C}$ értékek jól egyeznek a Deák, (1975) által közöltekkel, és arra utalnak, hogy Zabszéken a karbonát forgalom jelentősebb, mint Apajon. Ezzel összefüggést mutat a szelvények CaCO_3 tartalma. A 0-100 cm-es rétegben az átlagos érték Apajon 32%, Zabszéken pedig 41% volt. A $\delta^{13}\text{C}$ értékét befolyásoló másik tényező a szervesanyag-tartalom. Ennek is nagyobb volt az értéke Apajon (1,94 % humusz a 0-40 cm-es rétegében) mint Zabszéken (0,77 %). További adalékot szolgáltatott ezzel kapcsolatban a CO_2 mérés. A $\delta^{18}\text{O}$ értékek mindkét helyszínen a talajvizeknek a csapadékvízhez ($\delta^{18}\text{O}$ kb. -9) képest csekély besűrűsödését mutatták.

4.4.1.1.táblázat. A talajvízminták stabilizotópos összetétele

Helyszín	kicsapott karbonát $\delta^{13}\text{C}$	vízből $\delta^{18}\text{O}$ víz	EC mS/cm
Zabszék szikes gye	-10,1	-8,4	3,1
Zabszék szántó	-9,1	-8,41	3,1
Apaj szikes gye	-14,1	-8,58	3,9
Apaj szántó	-11,4	-8,27	2,8

CO_2 mérések Apajon és Zabszéken

Apajon 3-14, míg Zabszéken 0,4 $\text{mól/m}^2/\text{nap}$ CO_2 fluxust mértünk, ami mutatta, hogy a kopár tópart CO_2 termelése csekély volt. A talajszelvényben meghatározott CO_2 tartalom Apajon 3570-3600 ppm volt, míg Zabszéken 3367 ppm. Az eredmények arra utalnak, hogy Zabszéken a kisebb biológiai aktivitás határozza meg az Apajhoz képest kisebb CO_2 tartalmat és felszíni fluxust.

A növényzet változása

Mivel a kiskunsági szikes gyepek fajösszetételében változásokat jeleztek (Bagi 1988, 1989) az állandó botanikai kvadrátokban vizsgáltuk a fajösszetételt. Apajon a növényzet összetétele nem mutatott gyökeres változást. Zabszéken a tó kiterjedése következtében a sziki mézpázsit eltűnt és csupán a vízborítás megszűnése után fél évvel jelent meg újra a kvadrátokban.

Térbeli változékonyság 7,5x7,5 km-es négyzetben

A korábbi felmérések mindenekelőtt a térség hátságaira összpontosítottak, mert ott volt a legnagyobb a talajvízszint süllyedés mértéke. Ezért volt fontos a szikes területek térszínében is megvizsgálni a talajvízszint süllyedését és annak lehetséges talajtani következményeit. A 4.4.1.2.táblázat Bakacsi Zsófia adatai (Bakacsi és Kuti, 1998, Bakacsi, 2001) alapján a tengerszint feletti magassági övezetesség függvényében több tucat észlelés átlagaként mutatja meg a talajvízszintet.

4.4.1.2.táblázat. A talajvíztükör felszín alatti mélysége (cm) Bakacsi Zsófia adatai alapján

Magassági övezet	É v e k		
	1975	1987	1997
> 96 m	143	170	198
95,5-96 m	133	138	157
<95,5 m	112	121	142

Amint a térszínen lefelé haladunk az évek alatt bekövetkezett talajvízszint-csökkenés egyre kisebb. Mindazonáltal a további csökkenések átrendezhetik a talajok térbeli elterjedését és az úgynevezett sztyeppesedési folyamatnak kedvezhetnek.

A két különböző mélységben szűrőzött talajvíz észlelő kutak összehasonlítása a talajvíz hőmérséklete, elektromos vezetőképessége és pH-ja alapján

Két év megfigyelés sorozata alatt Apajon a talajvíz hőmérséklete a 2,5 és 3,5 méter között szűrőzött A1 megfigyelő kútban 6 és 20 °C fok között, az 5 és 6 méter között szűrőzöttben 2 °C-al szűkebb értéktartományban váltakozott, tehát a mélyebb talajvíz hőmérséklete kevésbé követte léghőmérséklet ingadozását.

A hőmérséklet-ingadozás jelentős szerepet játszhat a talajvíz összetételének alakulásában, mert pl. mind a 10 kristályvizes Na_2SO_4 mind a Na_2CO_3 esetén a 10 °C körüli kb 10 g só/100 g oldódó mennyiség a kétszeresére nő 20 °C-on.

A két különböző mélységben szűrőzött kút esetén a talajvíz EC-je különbséget mutatott: a felszínhez közelebbi valamivel kisebb volt, ami az időjárás, mindenekelőtt a csapadék hígító hatását tükrözte, ami ellentétes Harmati (2000) eredményével. Hasonló különbségek vannak a pH értékében is. Vagyis a mélyebben vett talajvíz pH értéke a semlegeshez közelebbi, kisebb tartományban ingadozik. A felszínhez közelebbi azonban valószínűleg a talajt is érő hatások miatt szélsőségesebb, főleg nagyobb értékeket vehet fel.

A talajvízszint alakulása

A vizsgált három és fél éves időszakban a talajvízszint nagy vonalakban tükrözte a csapadék éves váltakozását. Pregnánsan mutatkozott ez az 1999. és 2000. évek

összehasonlításakor: a legnedvesebb évben a felszínhez jelentősen közelebb volt a talajvízszint, mint a legszárazabb évben. A talajvízszintet számos tényező befolyásolhatja. Erre nézve Dunay és Kalmár (1993) megközelítéséhez hasonlóan regressziós összefüggést számítottunk, amelyben a megelőző hónap középhőmérséklete és az aktuális hónap csapadékösszege alapján tudtuk a talajvíz szintjét legpontosabban előre jelezni. A talajvízszintnek a fúrólukban történt megütése utáni emelkedése abban az esetben volt a legnagyobb (kb. 1 m) amikor a megütött talajvízszint a felső iszaposabb fedőréteg és az alatta lévő homokos réteg határvonala közelében volt.

A talajvízszint és az EC, pH közötti összefüggés

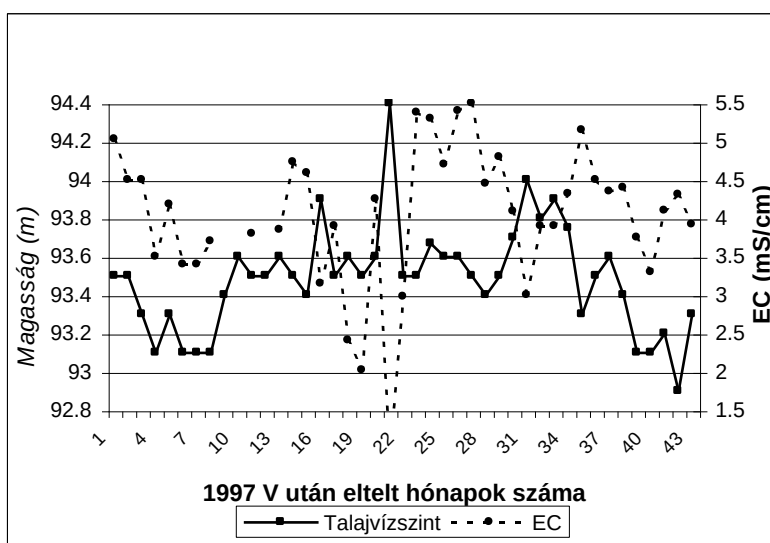
A talajvíz EC-jével az aktuális és megelőző hónap középhőmérséklete és párologtatóképessége is szignifikáns pozitív korrelációt mutatott.

Apajon a fúrólukban 93,6 m tengerszintfeletti megütési magassághoz tartozott a legnagyobb talajvíz EC érték, mintegy 5,5 mS/cm. Amikor a megütött talajvíz szintje ez alatt vagy felett volt az EC értéke rendszerint 3 és 5,5 mS/cm között váltakozott. Ez a jelenség hasonló ahhoz amit Karcagon Dr. Karuczka Antal megfigyelt. A 21. hónap után az 4.4.1.1.ábrán megfigyelhető talajvízszint és a talajvíz elektromos vezetőképessége közötti negatív korreláció.

A jelenség valószínű magyarázata az lehet, hogy a megadott maximális talajvíz-sótartalmú mélység alatt a mélyebb talajvíz, felette pedig a beszivárgó csapadék gyakorol hígító hatást a talajvízre. A talajvíz pH értéke azonban a felszínhez közelebb kerülve egyre csökkenő értéket mutat, aminek oka a talaj szerves anyagának, illetve a csapadéknak a savanyító hatása lehet.

A talajvíz kémiai összetételének változása

Annak ellenére, hogy a talajvíz összes oldottanyagtartalma jelentősen ingadozott, az ionok közötti arányok lényeges nem változtak. Amikor a talajvíz tengerszint feletti magassága nagyobb volt akkor a magasabban szűrőzött kút vizében statisztikailag nagyobb volt a nitrát tartalom, a feltalajt érintő biotikus hatások miatt.



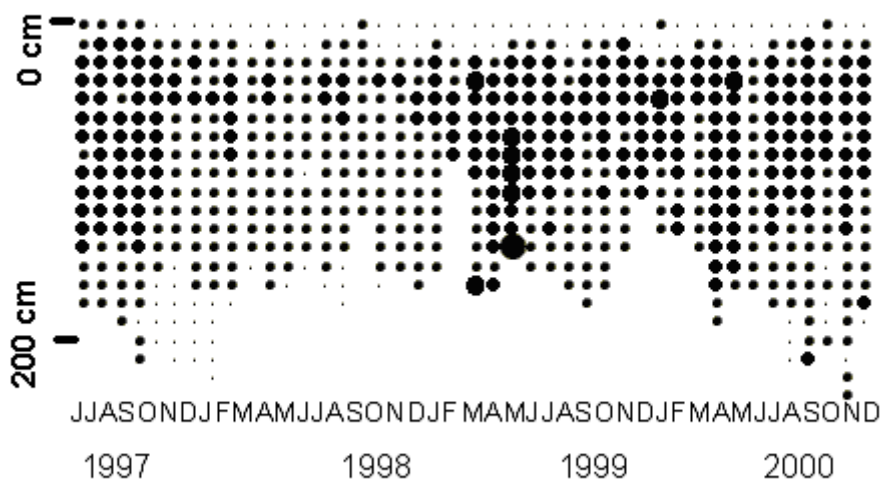
4.4.1.1.ábra: A talajvíz megütött szintjének és elektromos vezetőképességének változása.

A mélyebben szűrőzött kút vize esetén a pH negatív korrelációt mutatott az adott és megelőző hónap potenciális párolgásával és az adott hónap talajvízszintjével, ennek okára fentiekben kitértünk.

A mélységi elektromos vezetőképesség ($EC_{2,5}$) értékek váltakozása

Az $EC_{2,5}$ értékek mélységi lefutása rendszerint sima volt, de egyes minták kiugró értéket mutattak, ennek oka a terület felszínalatti rétegeinek heterogén eloszlása lehet (4.4.1.2. ábra).

Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve az 1:2,5 talaj: víz arányú pH szuszpenzióban mért elektromos vezetőképesség ($EC_{2,5}$, mS/cm-ben megadva) 0,38 (0-10 cm) és 1,25 mS/cm (30-40 cm) között változott, a maximum értékkel jellemzett réteg alatt az $EC_{2,5}$ folyamatosan csökkent és 150-160 cm-nél 0,64 mS/cm-t ért el. A 0-10 és 150-160 cm-es rétegben az $EC_{2,5}$ értékek statisztikai értelemben vett terjedelme 0,78, a 30-40 cm-es rétegben 1,64 mS/cm volt, a mélységgel az $EC_{2,5}$ értékekhez hasonlóan csökkent. A legfelső rétegben az $EC_{2,5}$ értéke 0,14 és 0,92 mS/cm között váltakozott, míg a maximális sótartalmú 30-40 cm-es rétegben 0,76 és 2,4 mS/cm között. A talajszelvény egyértelműen a szolonyec talajokra jellemző mélységi sóeloszlást mutatta. A szolonyec talajokra jellemző, a B szintben megmutatkozó sófelhalmozódás-maximum nem mutatott állandó mélységet, hanem a szelvényben fluktuált, időnként eltűnt és ilyenkor a felszíntől a talajvízszintig az $EC_{2,5}$ folyamatosan nőtt (4.4.1.3. ábra).



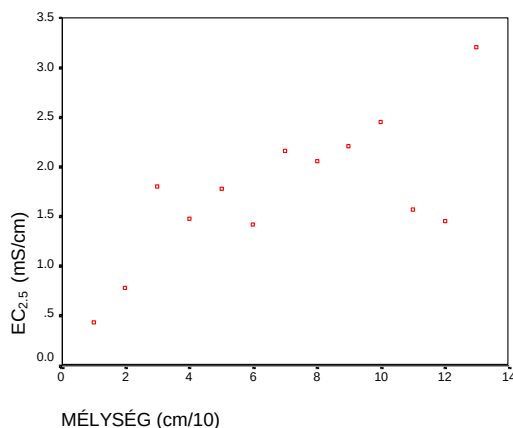
4.4.1.2. ábra: A talajrétegek $EC_{2,5}$ értékének havi változása a megütött talajvízszint mélységéig. A körök nagysága az $EC_{2,5}$ értékével arányos.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt $EC_{2,5}$ a legkisebb értéket a 1998.V. hónapban, 0,51 mS/cm értékkel érte el, míg a legsósabb állapotot 1999.V. hónapban érte el, több mint háromszoros, 1,75 mS/cm-el.

Amikor a talajrétegek átlagos EC-je a legkisebb volt, 1998. májusában igen fejlett sófelhalmozódási szintet észleltünk. A talajvíz szintje nem volt magas és a fűrőlyükben a vízszint megütése után nem emelkedett.

Amikor a szelvény átlagos sótartalma a 1999. májusában a legnagyobb volt akkor ehhez az időponthoz a minimális sótartalmú egy évvel korábbi esethez képest csak 20 cm-el magasabb, de fűrés után mintegy 60 cm-el megemelkedő talajvízszint tartozott. A talajvíz

sótartalma is mintegy 50%-al nagyobb volt a minimális sótartalmú 1998. V. havi esethez képest. Amint a 4.4.1.3.ábra mutatja, a szelvényben nem tapasztaltunk kifejezett sófelhalmozódási szintet, vagyis nem játszódtott még le kilúgzás a B szint alatti rétegekben. A két időpont összehasonlítása szemléletesen mutatja a vizsgált időszak alatt lezajló kilúgzás és sófelhalmozódás egymásutániságát.



4.4.1.3.ábra: Az időben legnagyobb átlagos $EC_{2.5}$ értékű 1999 májusi mintavétel mélységi eloszlása

A mélységi pH értékek váltakozása

A pH értékek mélységi lefutása kiegyenlített volt. Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve a pH 8,5 (0-10 cm) és 10,45 (50-60 cm) között váltakozott. A 0-10 cm-es rétegben a pH értékek terjedelme 2,1 az 50-60 cm-es rétegben 0,36 volt. A legfelső rétegben a pH minimális értéke 7,6, maximális értéke 9,8 volt.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt pH a legkisebb értéket a 2000.III. hónapban, 9,9-el érte el, míg a leglúgosabb állapotot 1997.XII. hónapban érte el, 10,4-el.

A mélységi pNa értékek váltakozása

A pNa mélységi lefutása hirtelen ugrásoktól mentes volt. Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve az 1:2,5 talaj: víz arányú pH szuszpenzióban mért Na ionaktivitás negatív logaritmus (pNa) 2,75 (0-10 cm) és 2,00 (30-40 cm) között változott, a maximum értékkel jellemzett réteg alatt a pNa folyamatosan nőtt és 150-160 cm-nél 2,51-t ért el. A 0-10 cm-es rétegben a pNa értékek terjedelme 1,36, a 30-40 cm-es rétegben 0,85 volt, növekvő mélységgel a pNa értékek terjedelme az utóbbihoz hasonló értéken maradt. A legfelső rétegben a pNa 2,19 és 3,55 között váltakozott, míg a maximális sótartalmú 30-40 cm-es rétegben 1,59 és 2,44 között.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt pNa a legnagyobb értéket (legkisebb Na ionaktivitás) a 2000.X. hónapban, 2,81-al érte el, míg a legsósabb állapotot (legkisebb pNa) 1999.V. hónapban érte el 1,84-es értékkel.

A mélységi talajnedvesség értékek váltakozása

A talajnedvesség mélységi lefutása sima volt. Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve a talajnedvesség 15,5 és 23 % között váltakozott. A 0-10 cm-es rétegben a nedvesség értékek terjedelme 77, a 160-170 cm-es rétegben csupán 8 % volt. A legfelső rétegben a talajnedvesség minimális értéke 2% volt.

A talaj 120 cm-ig hasonló szemcseösszetételt mutatott, ettől a mélységtől a homok és kavics frakció dominált. Emiatt a szelvényben lefelé haladva a talajvíz közelsége nem mutatott jelentős növekedést a talajnedvesség tartalmában, mert a telítettségi állapothoz a felszín közeli rétegekhez képest ebben a mélységben a durvább szemcseösszetétel miatt kisebb nedvességtartalom tartozott.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt szelvény nedvességtartalom a legkisebb értéket a 1999.VIII. hónapban, 15 %-al érte el, míg a legnedvesebb állapotot 2001.I. hónapban érte el, 27 %-al. Ha azonban a 0-10 cm-es rétegek szélsőséges értékeit (5 % 1999.VIII.-ben és 80 % 2001.I.-ben) figyelmen kívül hagyjuk az átlag 18 és 22 % között váltakozott, vagyis nem túl széles tartományban.

Összefüggés az egyes változók között

A talajvízszint pozitív korrelációt mutatott a talaj nedvességtartalmával. Ez a talaj $EC_{2.5}$ -vel, ami mutatja a talajvíz meghatározó szerepét a talaj nedvességtartalma és a talaj sótartalma szempontjából. Ez egyezett Filep és Wafi (1992) eredményeivel. Ezzel ellentétes Adam (1991) megfigyelése: tapasztalata szerint a magas talajvízállás csökkentette a talaj sótartalmát. Ennek oka az, hogy a vizsgált Dráva-menti területen a talajvíz összes oldott sótartalma csekély, az apajhoz viszonyítva annak csupán harmada-negyede.

A 0-120 cm-es talajréteg $EC_{2.5}$ értéke statisztikailag szignifikáns pozitív korrelációt mutatott mind a megemelkedett talajvíz szintjével, mind a talajvíz EC-jével.

Az EC és pH értékek a 0-10 cm-es rétegben nagy ingadozást mutattak, ami a kilúgzás –felhalmozódás váltakozását jelezte.

Az időszak alatt a talaj sófelhalmozódási szintje 40 és 80 cm mélységek között változott, illetve egyes esetekben a talajvízszintig növekedett az $EC_{2.5}$ értéke a szelvényben.

A sókivirágzások összetétele

Az egymás utáni időpontokban gyűjtött sókivirágzások jelentős változékonyságot mutattak. Összességében a nátrium és a karbonát dominanciája (mindkettő 50-100 egyenérték %) volt a jellemző. Ugyanakkor egyes minták kivonataiban előfordult kalcium, szulfát és klorid ion is. A röntgendiffrakciós vizsgálatok thenardit, thermonátrit, burkeit, gipsz, Hy-jarosit és melanterit ásványokat mutattak ki.

A mélységi talajtulajdonságok értékeinek változékonysága

Az $EC_{2.5}$, pH, pNa és talajnedvesség értékek változékonyságát megmutató szemivariogramok sima mélységbeli átmenetet jeleztek. A 0 körüli „nugget” érték folyamatos átmenetet jelez az egyes mintavételi mélységek és időpontok között. Az időbeli változékonyság esetén a szemivariogramok erős periodicitást jeleztek, a következő sorrendben: talajnedvesség > $EC_{2.5}$ > pNa > pH.

4.4.2. A talaj sótartalom változásának tényezői a kiskunsági Zabszék mellett[#]

A szikes tavak jelentős része a szemünk előtt tűnik el (Boros és Bíró, 1999). Annak ellenére, hogy a védett madárfauna megmaradása szempontjából kulcsfontosságúak (Boros, 1999) nem ismerjük kellően kialakulásuk és fennmaradásuk törvényszerűségeit. A szikes

[#] A fejezetet a Tóth, Kuti és Fügedi (2002) publikáció alapján írtam.

tavak kiterjedése és vizének összetétele évszakos dinamikát mutat, ezért a természetvédelmi kezelésükhöz szükséges az évszakos változások ismerete.

Munkánk célja a Zabszék mellett a talajvízszint süllyedéssel összefüggő talajtani változások nyomon követése volt.^{##}

Rendszeres, havonkénti mintavételek és észlelések

1997. júniusától a kiskunsági Szabadszállás határában elterülő védett Zabszék tó partján (N 46 ° 50'34,8'', E 019° 10' 37,1'') egy kijelölt mézspázsitos négyzetben véletlenszerűen kiválasztott alkvadrátokban a talajvízszint megütésének a mélységéig 10 cm-enként vettünk talajmintát nedvességdobozba és mintazacskóba. A frissen megütött talajvízből mintát vettünk, és mintegy 15-30 perc múlva feljegyeztük a megemelkedett talajvízszintet. Fentieken kívül a tó vízszintjét és egy tóparti ásott kút vízszintjét is feljegyeztük és a tóvízből és az ásott kútból is vettünk mintát. A talaj és talajvíz mintavételt 1,5 évig szüneteltettük, addig amíg a mintavételi helyet a megemelkedett vízszintű tó beborította.

A növényzet felméréséhez négy 1x1 m-es botanikai kvadrátot tartottunk fenn, ezekben az edényes növények borítását feljegyeztük.

A laboratóriumi mérések és meghatározások ugyanúgy folytak mint a párhuzamosan vizsgált apaji mintavételi terület esetén.

A talajvízszint alakulása

A talajvíz, a tóvíz és az ásott kút vízszintje is nagy vonalakban tükrözte a csapadék éves váltakozását (4.4.2.1. ábra). A tó vízszintjének emelkedése a csapadék mennyiséggel, csökkenése a hőmérséklettel, illetve párolgással mutatott szoros korrelációt. Pregnánsan mutatkozott ez az 1999. és 2000. évek összehasonlításakor: a legnedvesebb évben a vízszintek lényegesen magasabbak voltak, mint a legszárazabb évben.

A talajvízszintet előrejelző regressziós egyenletben az előző hónap csapadékösszege szerepelt. A tó, az ásott kút és a fűrt lyukakban észlelt és megemelkedő talajvíz szintje egymás között (erre utal Molnár és Kuti, 1978) szoros korrelációt mutatott.

Miután a fúrásokkal elértük a 80 cm-es mélységet a talajvíz a viszonylag vízáteresztő rétegen át fel tudott emelkedni. Ezt támasztja alá, hogy a megütött talajvízszint és a tó vízszintje közötti korreláció nem volt statisztikailag szignifikáns, de a fűrőlyukban megemelkedett vízszint 99%-os valószínűséggel szignifikáns korrelációt adott a tó vízszintjével.

Ugyanakkor a tó vízszintje és a fűrőlyukakban a talajvíz fúrás utáni szintemelkedésének nagysága szintén szignifikáns korrelációt adott 95%-on, azaz feltételezhető, hogy a tó hidraulikus kölcsönhatásban van a talajvízzel.

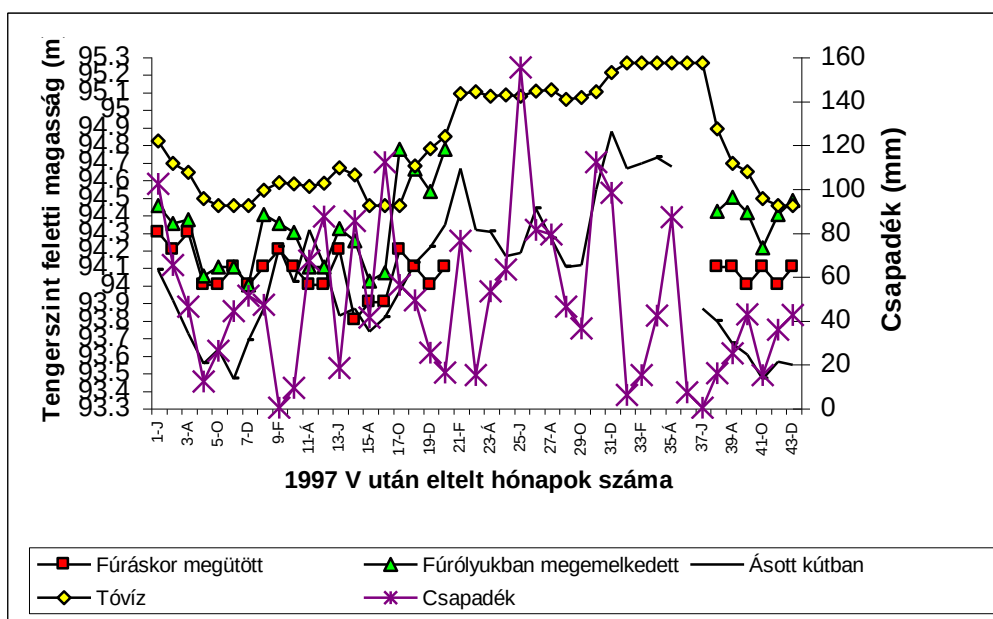
^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- mintaterület kijelölés
- havi talajmintavétel
- havi talajvízminta-vétel
- talajvízelemzés

-Elemzés

- a havi változások értékelése



4.4.2.1. ábra. A vízszintek értékei a vizsgált időszakban

A tó vízszintje és a tó melletti ásott kútban a vízszint szorosan összefüggött, az időjárás elemei hasonlóan hatottak a két vízszintre.

A talaj, tó és ásott kút vízszintjét becslő lineáris regressziós fákban eltérő változók, és azok eltérő jelentőséggel szerepeltek. A változók fontossága a következő volt a talajvízszint esetén: megelőző havi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg valamint az aktuális havi csapadékösszeg. A tó vízszintje esetén a változók fontossága a következő volt: az aktuális havi átlaghőmérséklet és csapadékösszeg. Az ásott kút vízszintje esetén a változók fontossága a következő volt: megelőző havi átlaghőmérséklet és aktuális havi csapadékösszeg és potenciális párolgás. A talajvízszint kialakulásában a megelőző havi adatoknak nagyobb jelentősége van, a talajrétegek az időjárás közvetlen hatását tompítják.

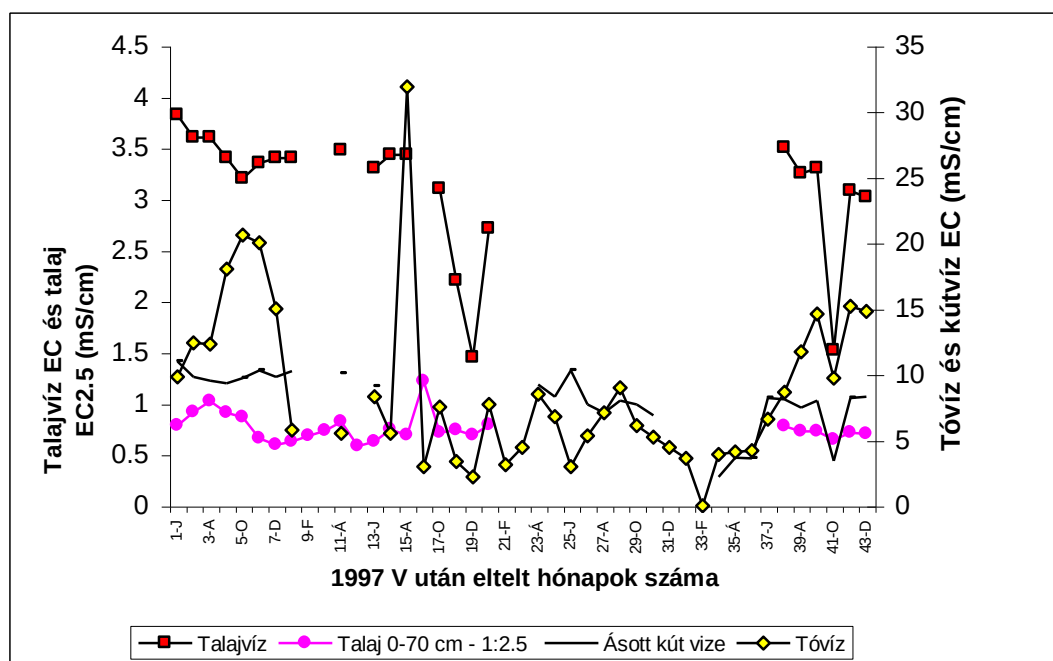
A havi csapadék mennyisége az ásott kút és a tó vízszint változásával mutatott szorosabb korrelációt, mivel ezek esetén nincs a talajhoz hasonló tompító hatású közeg.

A talajvíz EC-jét befolyásoló meteorológiai tényezők

A 4.4.2.2. ábrán a vizsgált vizek EC-je mutatja az évszakos hatásokat, legkisebb értékeit ősszel-télen, legnagyobb értékeit nyáron határoztuk meg.

A talajvíz EC-jével az aktuális hónap középhőmérséklete, összes csapadéka és párologtatóképesége, valamint a megelőző hónap párologtatóképesége is szignifikáns pozitív korrelációt mutatott. A talaj EC_{2.5} értéke azonban a megelőző hónap párologtatóképeségével, illetve hőmérsékletével mutatott szignifikáns korrelációt, ebben az esetben is a talajközegnek az időjárási elemek befolyását késleltető hatása érvényesül.

A talajvíz EC-jét becslő egyenletben az aktuális hónap hőmérséklete szerepel, a tóvíz EC-jét becslő egyenletben az ásott kút vízszintje, mert minél alacsonyabb a kútban a vízszint, annál nagyobb a tóvíz EC értéke.



4.4.2.2. ábra. A vizsgált vizek és a talaj elektromos vezetőképessége (EC)

A talajvíz mélysége és az EC valamint pH közötti összefüggés

A fűrt lyukak esetén növekvő, vagyis egyre magasabb talajvízszinthez csökkenő talajvíz pH értékek tartoztak, ami a talajfelszín közelében megfigyelhető nagyobb szervesanyag tartalommal van összefüggésben. Az ásott kút esetén nem figyeltünk meg ilyen összefüggést, mivel annak vízszintje a felszínhez képest lényegesen mélyebb.

A tó vízszintje mind a sótartalommal, mind a pH értékével szoros negatív korrelációt mutatott: a tó vizének hígulása a lúgosság csökkenésével járt együtt, mivel visszaszorult a karbonátok dominanciája. Dvihalý (1960) ugyanerről számolt be a kisteleki Nagyszéktó vizsgálatá során.

A talajvíz kémiai jellege a tóvízhez viszonyítva

2001 márciusában a felszíni és felszínalatti vizek összetételének részletes összehasonlító értékeléséhez a következő mintákat vettük. Ásott kút vize, tóvíz, talajvíz az aktuális víztükörről 50 m-re, 150 m-re, 200 m-re.

A vizek kémiájában – annak ellenére, hogy az mindenütt szikes jellegű volt, jelentős különbségek mutatkoznak.

Az összes oldott anyag mennyisége az ásott kútban volt a legnagyobb, 5038 mg/l. Ezt követte a tó vizének összes oldott anyag tartalma 3605 mg/l-rel. A fűrásból vett mintákban ez az érték 2100-2300 mg/l közötti. Itt feltételezzük, hogy a szabad tükrű víz könnyebben párolog, s ennek a hatására nagyobb mértékben töményedik. A tó és a kút vize közötti különbséget az adhatja, hogy a kút vizében a lehulló csapadék hígító hatása kevésbé érvényesül, mint a tóban. Ennek valószínű oka az 1 m magas beton és kútkáva amely megakadályozza az oldalirányú befolyást és a nem függőlegesen eső csapadék teljes bejutását.

A tó és a kút vize nátrium–hidrogén-karbonátos-kloridos jellegű. A klorid jelenléte a kútvízben a nagyobb. A nátrium aránya mindkét mintában meghaladja a 97 %-ot. A három mintavételi ponton vett talajvíz nátrium–hidrogén-karbonátos, de a nátrium aránya itt csak 87-88 %.

Nyomelem-összetétel alapján a minták 3 csoportba oszthatók: a tóvíz és a kút vize egymástól és a talajvizektől is jelentősen különbözik. A vizsgált alkotók közül ez a Ba, a Sr és a B mennyiségének alakulásában érhető tetten: a többi alkotó koncentráció-ingadozása a természetes változékonyság keretein belül marad (lehetséges, hogy az Al megjelenése a tó vízfelületétől legtávolabb gyűjtött talajvíz mintában, ahol a Mo mennyisége a kimutatási határ alá esik, szintén tényleges különbségre utal, ez azonban a kimutatási határhoz ennyire közeli mennyiségek esetén nem ítéltető meg egyértelműen).

A tóvíz Ba-tartalma a többi mintáénál 1–1,5 nagyságrenddel kevesebb: ez a relatíve magas szulfát-tartalomnak köszönhető: a vízből a bárium-szulfát kicsapódik. A Sr koncentrációja a kútban és kiváltképp a tóban lényegesen alacsonyabb, a B-koncentráció viszont jóval magasabb, mint a felszín alatti vizekben. A Sr felszíni körülmények között egyértelműen a Ca-mal mozog együtt — következőképpen vele együtt válik ki. A B mennyiségének drasztikus növekedése a bepárlódásnak köszönhető: amíg a legkülönbözőbb, oldott komponensek nagy többsége kiválik, a B oldatban marad.

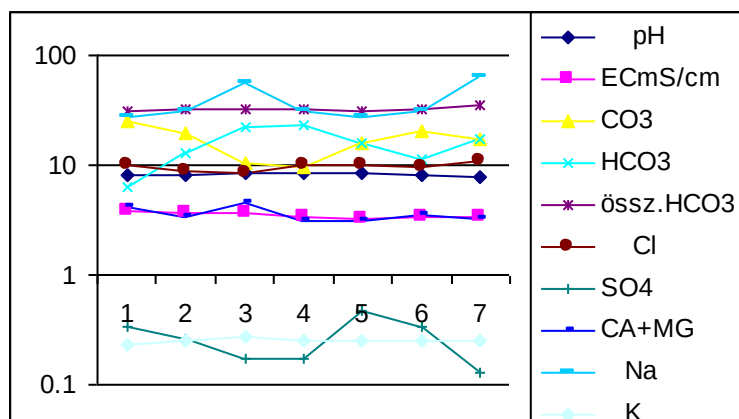
A vizek kémiai összetételének időbeli változása

Annak ellenére, hogy a talajvíz összes oldottanyag tartalma jelentősen ingadozott, az ionok közötti arányok lényegesen nem változtak, Zabszék kémiai összetétele nem változott a vizsgált időszak alatt, ellentétben számos szikes tóval (Dvihally, 1999), ez arra utalhat, hogy a tóvízben – a nagy sókoncentráció és erős ingadozások miatt - a biotikus hatások, végeredményben a mikroszervezetek aktivitása a vizsgált időszakban csekély volt. Ide tartozik, hogy az általunk mért EC értékek arra utalnak, hogy a Zabszéken eddig megfigyelt legnagyobb sókoncentrációnál nagyobb alakult ki a megfigyelési időszak alatt, 31,9 mS/cm értékkel ami megközelíti a tengervíz sókoncentrációját.

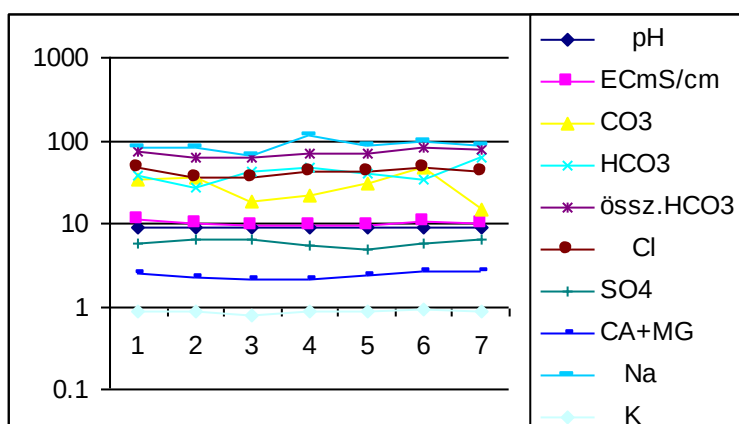
Az ásott kútvíz pH-ja a potenciális párolgással és az előző hónap csapadékösszegével is pozitív korrelációt mutatott. Az aktuális hónap középhőmérsékletével, potenciális párolgásával és az előző hónap csapadékával is szoros negatív korrelációt mutatott az összes karbonát, a kalcium és kálium ionok mennyisége.

A tóvíz esetén a szulfát, karbonát ionok koncentrációja, az EC és pH érték negatív korrelációt mutatott az előző hónap középhőmérsékletével. Az EC az adott hónap csapadékösszegével is negatív korrelációt mutatott, a nyilvánvaló hígítás miatt. A nátrium, kálium és szulfát ionok koncentrációja, valamint az EC a tó vízszintjével szoros negatív korrelációt mutatott, a hígító hatás miatt.

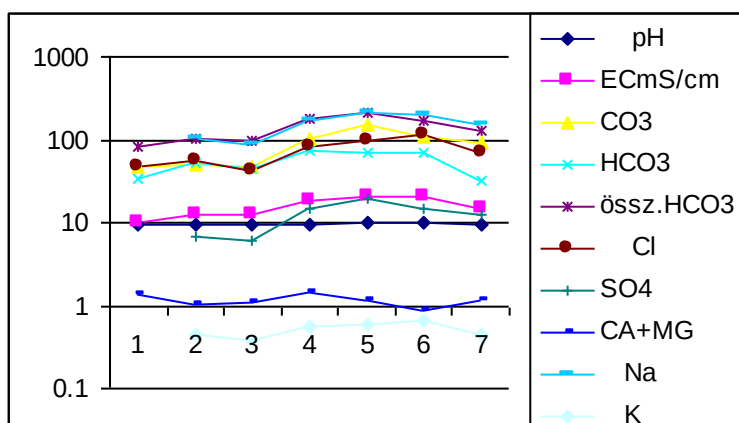
A 4.4.2.3-5.ábrán a vizsgálat kezdeti szakaszán gyűjtött minták alapján mutatjuk be a vizek kémiai összetételének változását. Ez az időszak 1997 júniusától decemberig tartott, miközben a tó vízszintje mintegy 40 cm-el csökkent. A 4.4.2.3-5.ábra alapján megállapítottuk, hogy mindhárom víz kémiai összetételében a nátrium és a karbonát-hidrokarbonát ionok dominálnak. A talajvízben igen kevés szulfát van, de valamennyi kalcium és magnézium mérhető. Ezzel szemben a kútvízben és tóvízben nagyobb a klorid tartalom, valamennyi szulfát mérhető és igen kevés kalcium és magnézium ion van. Annak ellenére, hogy – főként a tóvíz esetén – jelentősen ingadozik a koncentráció, a részletesen vizsgált időszakban a vizek kémiai összetételében változást nem észleltünk.



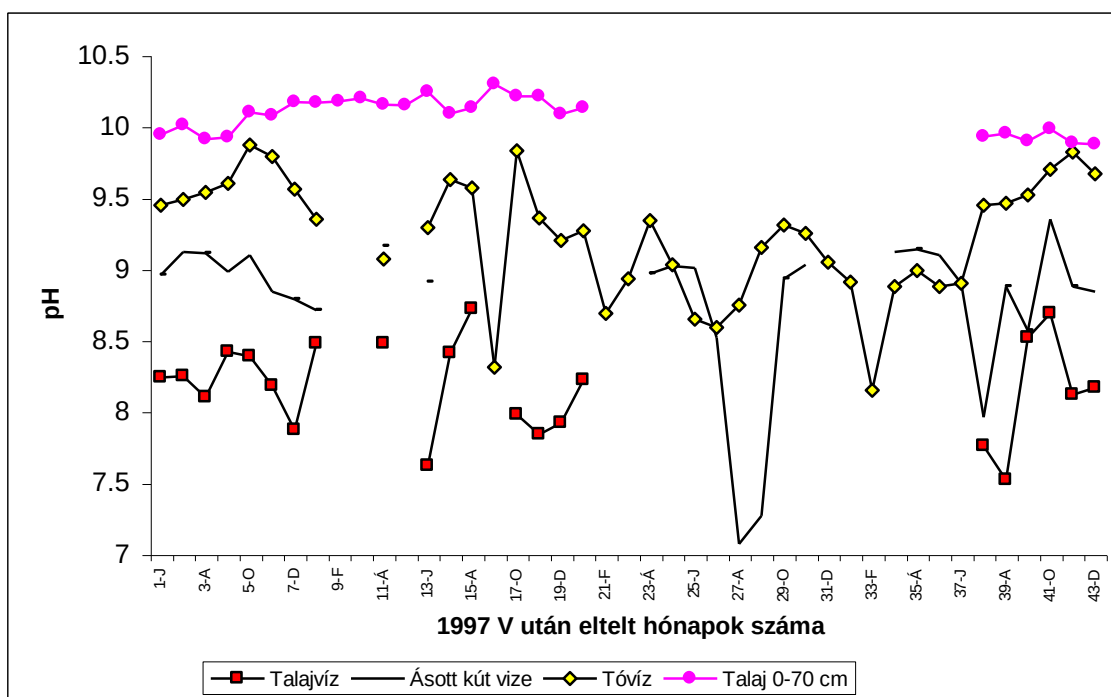
4.4.2.3.ábra. A talajvíz összetételének változása az 1997 májust követő hónapokban. Az ionkoncentrációkat mgé/l-ben adtuk meg.



4.4.2.4.ábra. Az ásott kút víz összetételének változása az 1997 májust követő hónapokban. Az ionkoncentrációkat mgé/l-ben adtuk meg.



4.4.2.5.ábra. A tóvíz összetételének változása az 1997 májust követő hónapokban. Az ionkoncentrációkat mgé/l-ben adtuk meg.



4.4.2.6.ábra. A vizsgált vizek és a talaj pH változása

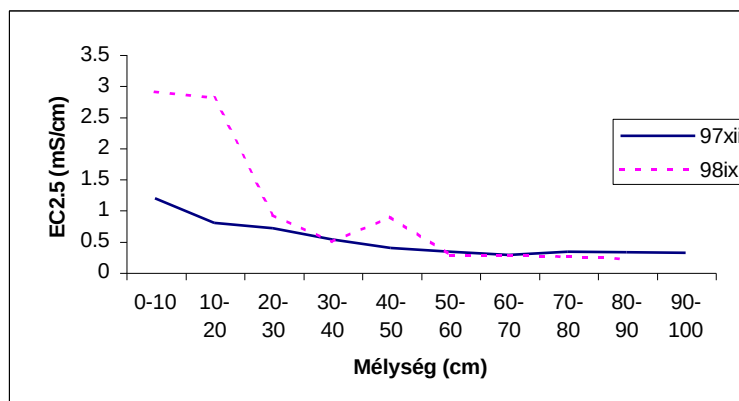
A 4.4.2.6.ábra mutatja, hogy a talaj pH értéke jelentősen felülmúlta a vizek pH értékét. Meg kell azonban jegyezni, hogy egyrészt az ábrán feltüntetett érték itt is átlagérték (0-70 cm-es réteg), másrészt pedig a talajok pH értékét 1:2.5 talaj: víz arányú szuszpenzióban 16 órás állás után mértük.

A talaj pH értéke kiegyenlített értéket mutatott a vizsgált időszakban, de a vízminták pH értéke erősen ingadozott, legjobban a tóvízé, ami összhangban áll az irodalmi megfigyelésekkel (Dvihally, 1960).

A mélységi elektromos vezetőképesség ($EC_{2.5}$) értékek váltakozása a talajban

Az $EC_{2.5}$ értékek mélységi lefutása sima volt, a talajszelvényben nincs kiugróan nagy sótartalmú réteg. Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve az 1:2,5 talaj: víz arányú pH szuszpenzióban mért elektromos vezetőképesség ($EC_{2.5}$, mS/cm-ben megadva) 1,5 (0-10 cm) és 0,34 mS/cm (80-90 cm) között változott (4.4.2.8.ábra). A 0-10 cm-es rétegben a mért legnagyobb és legkisebb $EC_{2.5}$ értékek különbsége 1,9, a 90-100 cm-es rétegben 0,25 mS/cm volt, és a mélységgel az $EC_{2.5}$ értékekhez hasonlóan csökkent. A legfelső rétegben az $EC_{2.5}$ 0,9 és 2,9 mS/cm között váltakozott, ami mutatta, hogy a talajszelvény egyértelműen szoloncsák. 1998 IX és XI között jelentős felszínközeli sótartalom átrendeződés játszódott le a szelvényben. Ennek folyamán a sótartalom maximuma a 0-10 cm-es réteg alá került.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt $EC_{2.5}$ a legkisebb értéket a 1997.XII. hónapban, 0,51 mS/cm-el érte el (4.4.2.7.ábra), míg a legsósabb állapotot 1998.IX. hónapban érte el, kétszer akkora, 1 mS/cm értékkel. Ebben a hónapban kiugróan nagy csapadékmennyiséget mértek.

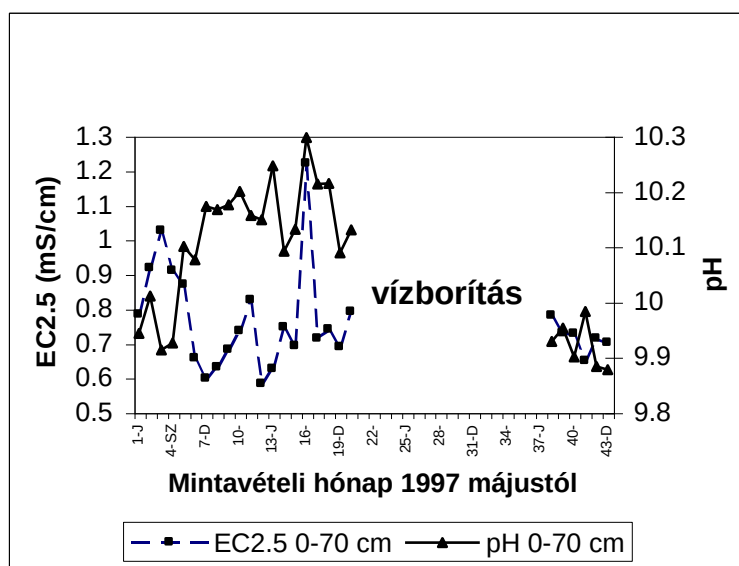


4.4.2.7.ábra. 1997. decemberében (a vizsgált időszak alatt a legkisebb) és 1998. szeptemberében (az időszak alatt a legnagyobb), 1:2,5 talaj:víz arányú szuszpenzióban mért mélységi elektromos vezetőképesség értékek.

A mélységi pH értékek váltakozása

Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve a pH 9,98 (0-10 cm) és 10,15 (20-30 cm) között váltakozott. A 0-10 cm-es rétegben a legkisebb és legnagyobb pH értékek különbsége 0,81, a 20-30 cm-es rétegben 0,66 volt. A legfelső rétegben a pH minimális értéke 9,54, maximális értéke 10,35 volt.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt pH a legkisebb értéket a 1997.VIII. hónapban, 9,85-el érte el, míg a leglúgosabb állapotot 1998.IX. hónapban érte el, 10,3-al (8.ábra).



4.4.2.8.ábra. A vizsgált időszak alatt a talaj felső 70 cm mély rétegében meghatározott átlagos elektromos vezetőképesség és pH értékek

A mélységi pNa értékek váltakozása

A nátrium ionaktivitás negatív logaritmus, a pNa mélységi lefutása a szelvényben sima volt. Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve a pNa értéke 1,89 (0-10 cm) és 2,71 (80-90 cm) között változott, a két réteg között a pNa folyamatosan nőtt. A 0-10 cm-es rétegben a legkisebb és legnagyobb pNa értékek különbsége 1,35, a 80-90 cm-es rétegben 1,16 volt, a mélységgel a pNa értékek közötti

különbség csökkent. A legfelső, maximális sótartalmú rétegben a pNa 1,45 és 2,80 között váltakozott, míg a 80-90 cm-es rétegben 2,37 és 3,53 között.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt pNa a legnagyobb értéket (legkisebb Na ionaktivitás) a 2000.X. hónapban, 3,14-al érte el, míg a nátriumosság maximumát (legkisebb pNa) 1997.VIII. hónapban érte el 2,03 értékkel.

A mélységi talajnedvesség értékek váltakozása Zabszéken

A talajnedvesség mélységi lefutása a szelvényben sima volt. Az egyes mintavételi mélységek között a vizsgált időszak átlagában véve a talajnedvesség 19 és 25 % között váltakozott. A 0-10 cm-es rétegben a nedvesség értékek terjedelme 40%, a 60-70 cm-es rétegben 5 %, de a 90-100 cm-es rétegben 12 % volt. A legfelső rétegben a talajnedvesség minimális értéke 6 % volt.

A talaj 80 cm-ig hasonló szemcseösszetételt mutatott, ettől a mélységtől a homok frakció 40 %-ra nőtt. Molnár és Kuti, 1978 Zabszék körzetében erősen változó „vízzáró réteg” vastagságot talált. A talajvízszint közelében meghatározott nagyobb talajnedvesség értékek tükrözték a talajvízszint hatását.

Az egyes időpontokhoz tartozó, mindegyik rétegre átlagolt talajnedvesség a legkisebb értéket a 1998.VIII. hónapban, 19 %-al érte el, míg a legnedvesebb állapotot 1999.I. hónapban érte el, 26 %-al. Ha azonban a 0-10 cm-es rétegek szélsőséges értékeit (11 % 1998.VIII.-ben és 43 % 1999.I.-ben) figyelmen kívül hagyjuk az átlag 20 és 24 % között váltakozik, vagyis nem túl széles tartományban a sekély talajvíz és a tó közelsége miatt.

A 0-70 cm-es réteg talajnedvesség tartalma szoros összefüggést mutatott a talajvíz szintjével és a megelőző és aktuális hónap hőmérsékletével és potenciális párolgásával.

Összefüggés az egyes változók között

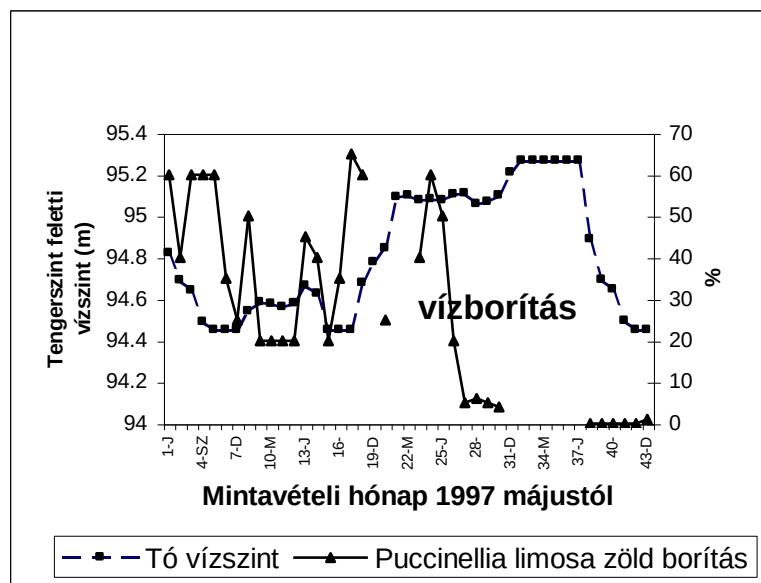
A tóvíz borítás után statisztikailag szignifikáns változásokat tapasztaltunk a talaj tulajdonságokban. A vízborítás után a talaj pNa értéke megnövekedett, pH értéke csökkent. A talajban a nátrium ionok mennyisége az állandó vízborítás következtében visszaszorult és ennek következtében a pH értéke is csökkent. A vízborítás megszűnése után a szelvény mélységi sóeloszlása beállt az elborítás előttire.

A sókivirágzások összetétele

Zabszéken a sókivirágzások változékonyságot mutattak. Összességében a nátrium (az összes kationhoz képest szinte 100 egyenérték %) és a karbonát ionok dominanciája (az összes anionhoz képest 50-100 egyenérték %) volt a jellemző. Ugyanakkor egyes mintákban szulfát és klorid is megfigyelhető volt. Kristálytanilag halitot, tronát, thenarditot, thermonátritot és gipszet mutattak kis a szaklaboratóriumok.

A növényzet változása

Mivel a kiskunsági szikes gyepek fajösszetételében változásokat jeleztek (Bagi 1988, 1989) állandó botanikai kvadrátokban vizsgáltuk a fajösszetételt. Kvadrátainkban egy fajt figyeltünk csupán meg, a sziki mézpázsitot (*Puccinellia limosa*). A tó felületének kiterjedése következtében 1999. februártól 2000. júniusig a megfigyelőpontot elborította a víz (4.4.2.9.ábra). A mézpázsit csupán a vízborítás megszűnése után félévvel jelent meg újra a kvadrátokban, megfigyeltük, hogy a csapadékos 1999. év folyamán a vízborítás megjelenésével a növény zöld borítása csökkent.



4.4.2.9. ábra. A vizsgált időszak alatt az 1. számú 1x1 m-es botanikai kvadrátban megfigyelt *Puccinellia limosa* borítás és Zabszék tó vízszintje

4.4.3. A sófelhalmozódás tényezőinek változása a hortobágyi Nyírólapos mintaterület talajainál[#]

A szikes talajok sóforgalmát ‘Sigmond békéscsabai vizsgálatai’ (‘Sigmond, 1902) óta már elmondhatjuk, hogy egy évszázadon keresztül vizsgálták a hazai kutatók. Az elmúlt évtizedekben azonban kevés munka értékelte komplexen a talajok sótartalom változását befolyásoló tényezők időbeli és térbeli dinamikáját (korábbi példa Várallyay, 1966, a közelmúltból Karuczka, 1999), dacára az elmúlt évtizedekben elért módszertani fejlesztéseknek.

Munkánk során először megvizsgáltuk a talajvíz szintjének és sótartalmának időbeli változékonyságát, majd a talaj sótartalmának szelvénybeli és területi változékonyságát. Az eredmények alapján felvázoltuk a terület sófelhalmozódásának koncepcionális modelljét.^{##}

Egy 800x300 m-es hortobágyi mintaterületen vizsgáltuk a sófelhalmozódás tényezőinek és a talaj sótartalmának időbeli változását 420 felszíni elektromos vezetőképesség-mérő pont, hét talajvízkút és három talajszelvényben végzett ismételt vizsgálatok alapján (4.4.3.1. ábra).

[#] A fejezetet Tóth és Kuti (2001) alapján írtam

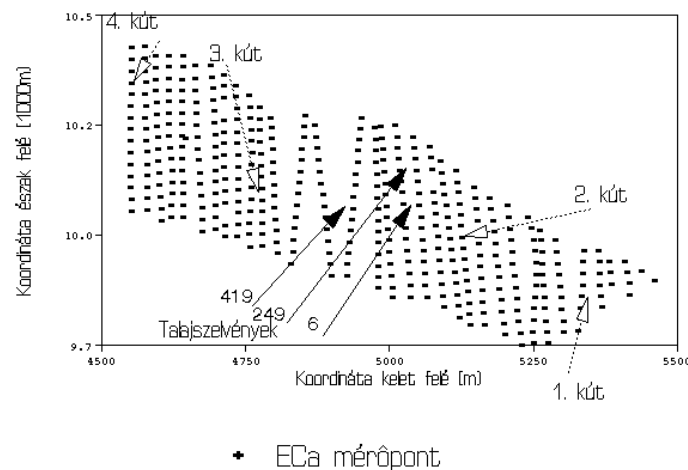
^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- havi talajmintavétel
- havi talajvízminta-vétel
- talajvízelemzés

-Elemzés

- a havi változások értékelése
- statisztikai előrejelzés
- koncepcionális modell megalkotása

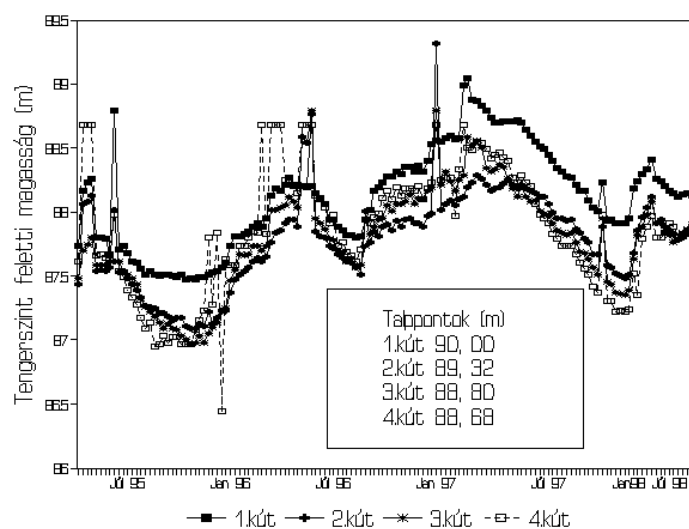


4.4.3.1. ábra. A talajszelvények, talajvízszint észlelő kutak és elektromos vezetőképesség mérőhelyek (+) sematikus vázlata

Megmutattuk, hogy a talajvízszintet a csapadékösszeg ismeretében elfogadható pontossággal előre lehet jelezni.

A talajvíz felszínalatti mélysége követi a térszíni fekvésben meglévő különbségeket.

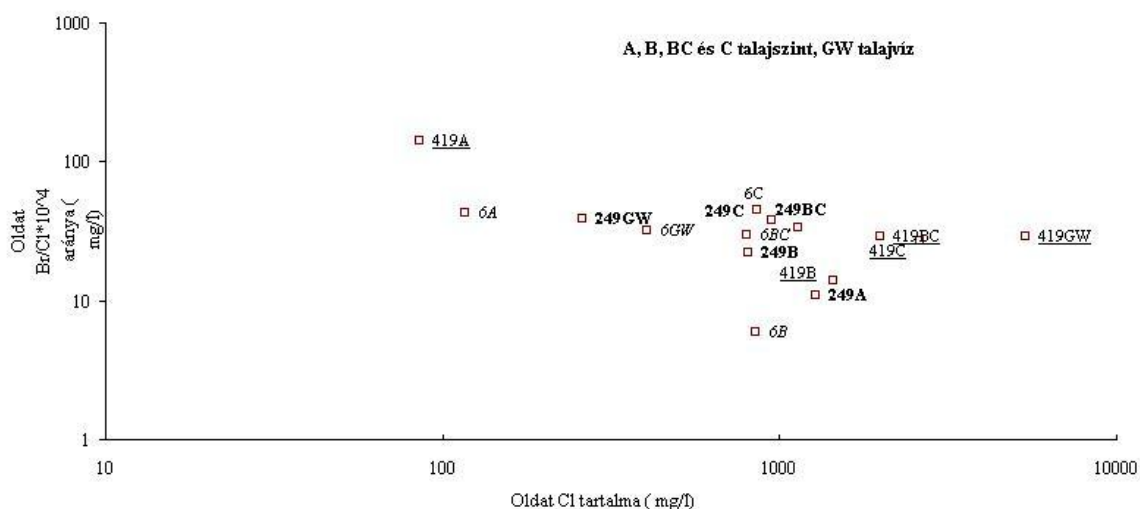
Csapadékos időszakban a legmélyebben lévő kútban a vízszint magasabb mint a közbülső magasságúakban. A 4.4.3.2. ábrán látható, hogy a legalacsonyabb talppontú #4 kútban a legalacsonyabb rendszerint a talajvízszint, de nedves időszakokban rendszeresen a #2 és #3 kút vízszintje fölé emelkedik. Ez arra utal, hogy a talajvíz áramlás a területen belül az év folyamán nem egyirányú, vagyis nem mindig a magasabb térszín felől az alacsonyabb térszín felé áramlik. Az áramlás iránya a csapadékvizszoynoktól függően megfordulhat és az időszakosan kialakuló vízállás következtében a mélyebb területek felől a magasabb területek felé irányulhat. Észak-Dakota állam (USA) szolonyeces területein a talajvíz áramlási irányának hasonló változásáról számolt be Seelig és Richardson, 1994.



4.4.3.2. ábra. A talajvízszint tengerszint feletti magasságának változása

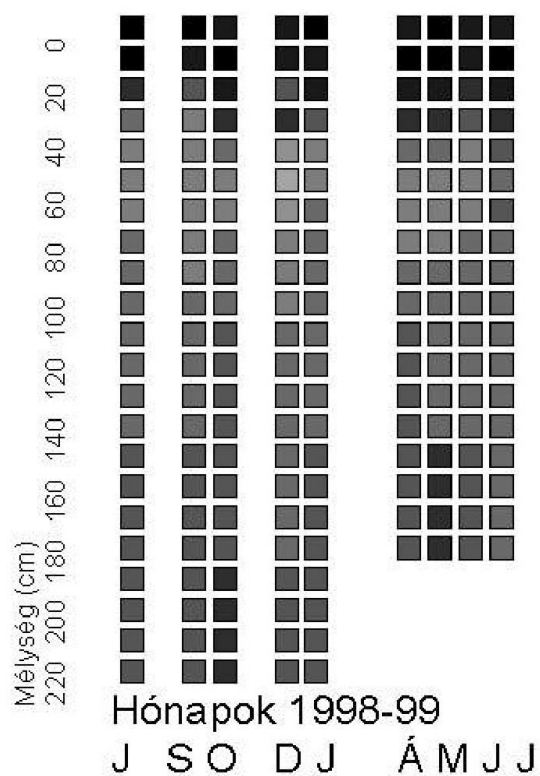
Az egyes talajvíz kutakban a víz EC-je az aktuális hónap csapadékösszege és a talajvíz megelőző hónapban mért EC értéke alapján jól becsülhető volt.

A területen belül, a kis távolságok ellenére különbség volt a vizek oxigén és hidrogén stabilizotóp összetételében, illetve annak időbeli változékonyságában. A legmélyebb, „szikes réti” növényzettel borított részen a mélyebb, pleisztocén eredetű víz feláramlása, a talajvízből történő párolgás és a csapadék utánpótlódása egyensúlyban lévő folyamatok. A mélyebben lévő vizek legnagyobb mértékű feláramlását a legszikesebb övezetben észleltük.

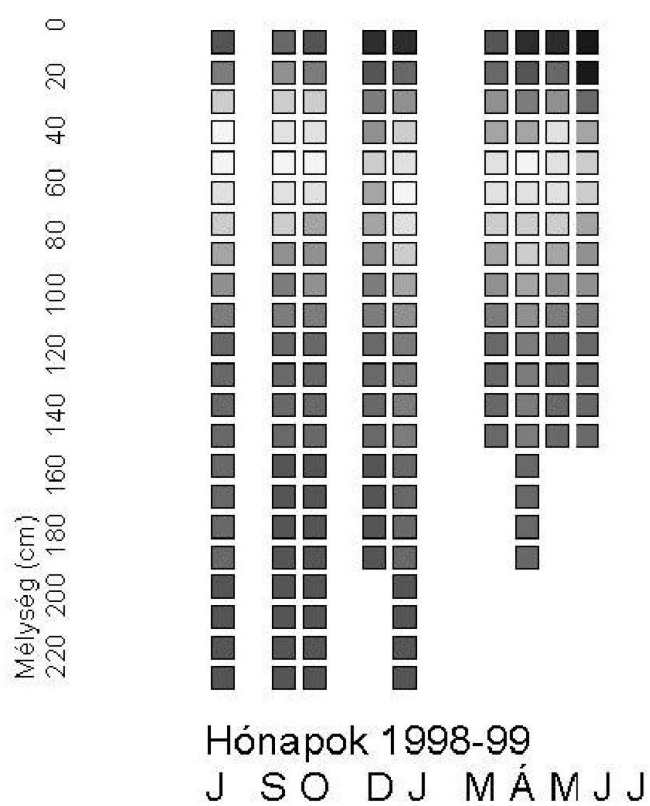


4.4.3.4. ábra. A bromid- és kloridionok aránya a három szelvény (6., 249. és 419) genetikai szintjeinek telítési kivonatában és a szelvények alatti talajvízben

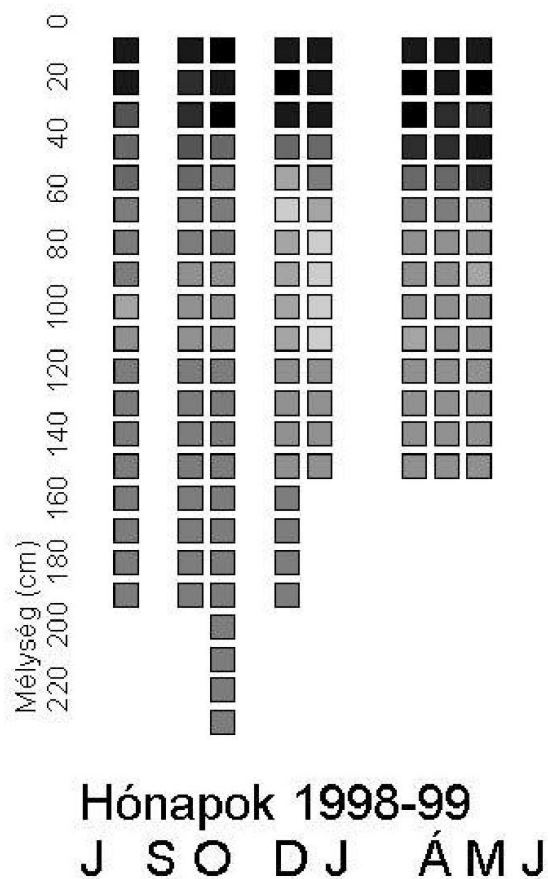
A csapadékvíz, a talajoldat és a talajvíz keveredésének vizsgálata érdekében a három talajszelvényben, a talajvíz és a telítési kivonat mintákban meghatároztuk a Cl^- és Br^- koncentrációt. Ezek arányát az 4.4.3.4. ábrán mutatjuk be. Flury és Papritz (1993), Vinogradov (1959) és Whittemore (1988) szerint a két anion koncentrációja alkalmas arra, hogy a talajvíz egyes változásait nyomon kövessük, mivel mind a kettő „konzervatív” alkotóként viselkedik, vagyis jól oldódik és kevésbé vesz részt kémiai átalakulásokban, megkötődésben. A Br^- koncentráció a talaj szervesanyag koncentrációjával pozitív korrelációt mutat (Flury és Papritz, 1993). Emiatt a #6 és #419 szelvény humuszos szintjeiben kiugróan magas Br^- koncentrációt találtunk. Amennyiben a talajvíz, és az egyes szintek között az oldatok keverednek, akkor az adott szelvényhez tartozó értékek egy egyenesen helyezkednek el, ezt tapasztaltuk a #419 „réti” talajszelvény esetében. Ez alapján is nyilvánvaló, hogy a csapadék közvetlen hatással van a szelvény sótartalmának alakulására, vagyis a párolgás és kimosódás hatása együttesen érvényesül. A #249 „ürmöspusztai” talajszelvény esetén azonban a talajvíz Cl^- koncentrációja kisebb mint a talajszintek telítési kivonatáé, vagyis a talajban a talajvízhez képest a sótartalom megnő. A #6 „füvespusztai” talajszelvény esetén az A szint telítési kivonatában a Cl^- koncentráció kicsi, hasonló a #419 réti szelvény A szintjéhez, a mélyebb szintek Cl^- koncentrációja azonban nagyobb, mint a talajvízé, tehát az A szinttől eltekintve a #249 szelvénynél megfigyelték érvényesülnek.



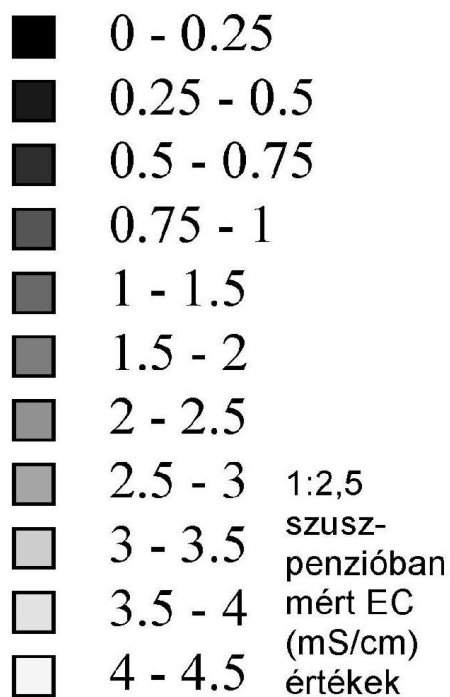
4.4.3.4. ábra. A talajrétegek sótartalmának változása a füvespusztai gyep (6. szelvény) esetében



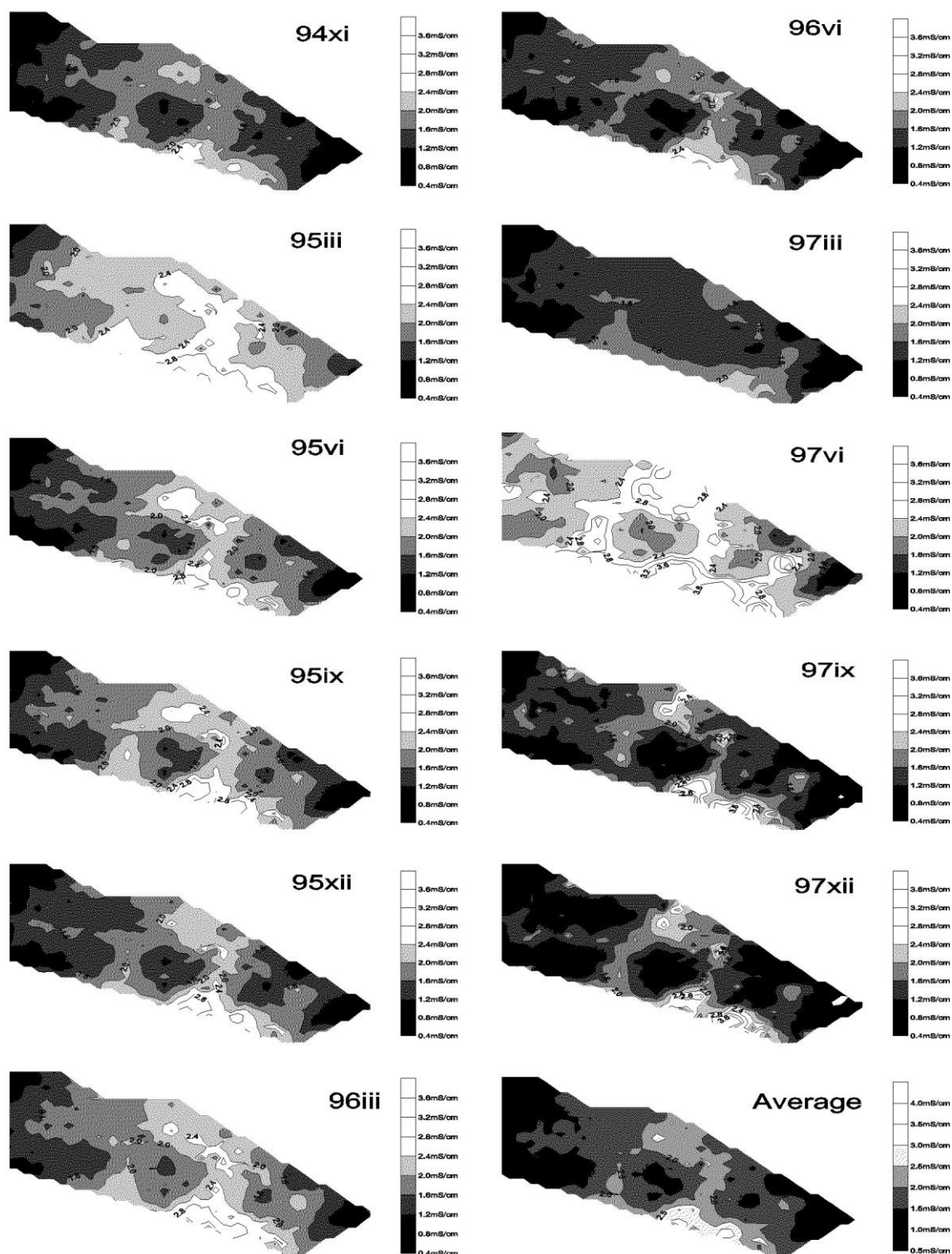
4.4.3.5. ábra. A talajrétegek sótartalmának változása az ürmöspusztai gyep (249. szelvény) esetében



4.4.3.6.ábra. A talajrétegek sótartalmának változása a szikes rét (419.szelvény) esetében



4.4.3.7.ábra. A 4.4.3. 4-6. ábrák jelkulcsa (EC2.5, mS/cm)



4.4.3.8. ábra. A talaj helyszíni elektromos vezetőképessége alapján készített $EC_{2.5}$ (mS/cm) térképek. A térképek azonos jelkulccsal készültek. A sötétarom növekedését egyre világosodó árnyalatok jelzik. Average=a bemutatott tizenegy időpontban végzett felmérés átlagos $EC_{2.5}$ értéke alapján készült térkép.

Összehasonlítottuk az egyes talajszelvények $EC_{2.5}$ dinamikáját (4.4.3.4-7. ábra) és megállapítottuk, hogy a “füvespusztai” és “szikes réti” szelvény $EC_{2.5}$ dinamikája eltér az “ürmöspusztai” szelvényétől.

A havonkénti mintavételek során 1:2,5 arányú vizes szuszpenzióban mért EC-eket ($EC_{2.5}$) az 4.4.3.5. ábrán mutatjuk be. Minden egyes alkalommal a talajvízszint megütéséig

végeztük a mintavételt. A mélyen fekvő „szikes rét”, #419 szelvényében nagy (1999. januárjában 1%-ot is meghaladó) sótartalom csak az erősen sós talajvíz áramlási zónájában tapasztalható. A havi sótartalom ingadozás itt nem nagy, a talaj felhalmozódási szintjében azonban intenzív. Az erősen szikes, „ürmöspusztai gyepekben” vizsgált #249 szelvényben a B szint eredetileg is nagy (0,7-1,5%) sótartalmában csak kis változás volt észlelhető a havi mérések során. A térszínen magasabban található „füvespusztai gyepekben” vizsgált #6 szelvényben jelentős sófelhalmozódás ($>0,5\%$) az évnek csupán 1 hónapjában volt kimutatható, a B szint alján. A feltalaj (0-30 cm) kis sótartalmú (0,01-0,17%) volt és a sótartalom az év folyamán ingadozott.

Az $EC_{2,5}$ változása alapján, a térszínen különböző magassági övezetben található három talajszelvényben felülről lefelé haladva a talajvíznek a talaj sótartalmát befolyásoló hatása egyre növekszik. A kilúgzás hatása a legmagasabban és legmélyebben található szelvényekben tekinthető jelentősnek. A középső magassági övezetben található (#249) szelvényben a talaj sótartalma jellemzően az év folyamán végig nagy.

A talaj sótartalmának területi változása

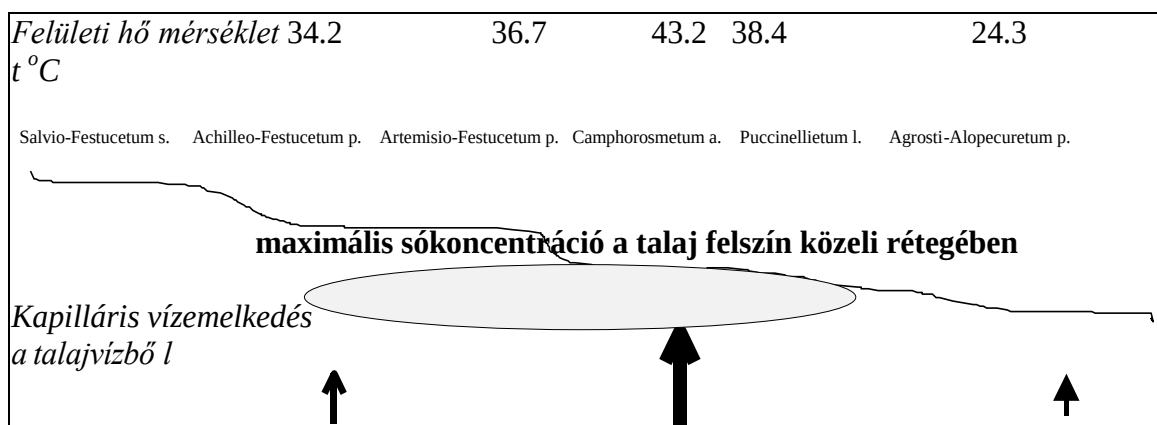
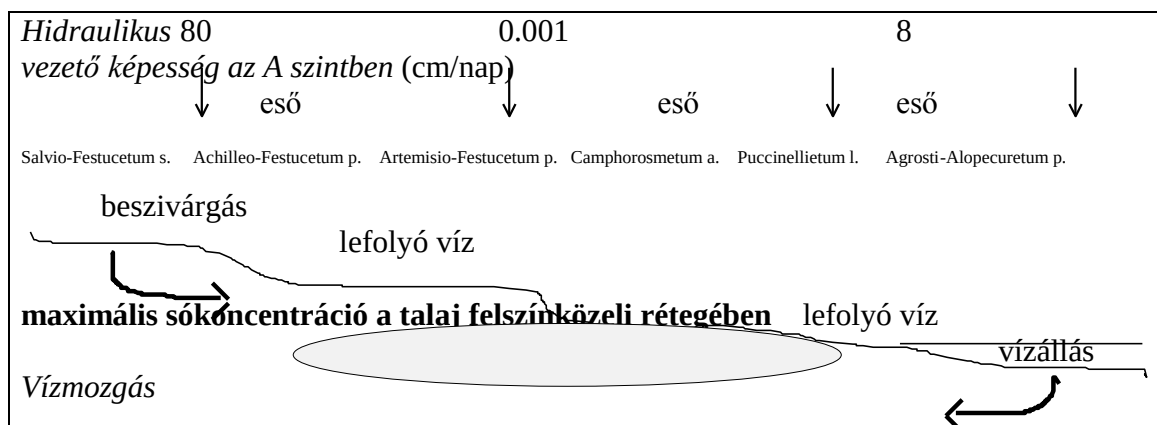
A felszíni talajréteg sótartalmának változását három év folyamán az 4.4.3.8. ábrán összefoglalóan mutatjuk meg. Az ábrán feltüntetett időszak alatt; 1997. márciusában volt a feltalaj átlagos $EC_{2,5}$ értéke a legkisebb (1,34 mS/cm), a legnagyobb átlagos értéket pedig 1995. márciusában érte el (2,12 mS/cm-el). A sótartalom területi eloszlása mind a három évben hasonló volt.

A talajbéli sófelhalmozódás koncepcionális modellje

A külföldi szakirodalomban rendszerint a térszín legmélyebb pontjain helyezik el a legnagyobb sófelhalmozódású szelvényeket. Ez nem egyezik a hortobágyi talajzonációval. A jelenség értelmezésére a megfigyelések alapján megalkottuk a területen a sófelhalmozódás koncepcionális modelljét, ami száraz és nedves időszakokra a 4.4.3.9. ábrán látható.

A 4.4.3.9.a ábra mutatja, hogy a növényzet magasságával és a talaj növényborítottságával összefüggésben, száraz meleg időben a talajfelszín hőmérséklete szélsőségesen eltérő értékeket érhet el (Kovács és Tóth, 1988). A „kopár szik” mintegy 20 °C-al, a füvespusztai talajfelszín pedig 10 °C-al melegebb lehet mint a „szikes réti” talajfelszín. Ez kedvez a párolgás által előidézett, a felszín felé irányuló oldatáramlásnak és a felszín közeli sófelhalmozódásnak, a kopár foltokon pedig a felszíni sókivirágzások megjelenésének.

A 4.4.3.9.b ábrán bemutatott nedves időszak folyamán a talajfelszínről jelentős mennyiségű beszivárgás csupán a „szikes réti” és „füvespusztai” talajszelvény esetén várható, mivel az „ürmöspusztai” szelvény hidraulikus vezetőképessége igen kicsi, itt a felszínről a csapadékvíz lefolyik (szikpadka), vagy elpárolog. Ugyanakkor a „szikes réti” szelvény felett a csapadékvíz időről-időre összegyülekezik, jó része beszivárog, ennek az „ürmöspusztai” szelvény sótartalmára visszaduzzasztó hatása van, majd a kialakuló vízállás miatt a talajvíz áramlásának iránya megfordul (4.4.3.2. ábra) és a magasabban fekvő szelvények felé irányul.



4.4.3.9.ábra. A sófelhalmozódás sematikus modellje a növényzet magasságeloszlása alapján. Felső ábra: meleg száraz időszakban. Alsó ábra: csapadékos időszakban.

4.5. A HAZAI ALAPOZÓ VIZSGÁLATOK ELVEIT ALKALMAZÓ KÜLFÖLDI TANULMÁNYOK

Kutatómunkánk során a talajtani, botanikai és geobotanikai, távérzékelési módszereket hazai helyszíneken fejlesztettük ki. A bevált módszereket ezután különböző távolabbi szikes területeken alkalmaztuk. A magyarországi helyszíneken részletes vizsgálatokkal és elméleti háttérrel bevezetett technikák alkalmazhatóságát olyan területeken teszteltük, ahol a szikesek hasznosítása, illetve megjavítása a gazdasági fejlődés kulcskérdése. Ennek megfelelően a vizsgálatok célkitűzése egy-egy mezőgazdasági műveletsorozathoz kötődött. A vizsgált féltermészetes helyszíneink jelentősen bolygatva voltak.

Kínában a hazai viszonyoktól melegebb és jelentősen szárazabb körülmények között vizsgáltuk a növényi indikáció alkalmazhatóságát.

Kubában egy legelő másodlagosan kialakult növényzetét térképeztünk, ahol az éghajlat a hazaihoz képes jelentősen melegebb, de nem nagyon csapadékos.

Indiában a másodlagos szikesedés következményeinek felmérését támogató távérzékelési kutatásokat végeztünk félsivatagi másodlagos növényzettel borított és szántó területeken.

4.5.1. Különböző blokkméretek alkalmazása kínai sós talajon a növényi borítás figyelembevételével végzett térbeli becslés során[#]

A szikes területek térképezése során a növényzet indikáló képességét széles körben alkalmazzák (Ballenegger, 1929). Féltermészetes növényzettel fedett területen ez szabványos eljárásnak tekinthető.

A kínai Huang-Huai-Hai síkságon a demográfiai (növekvő népesség) és ökonómiai környezet (az ipari fejlődés alacsony szintje) arra ösztönzi a gazdálkodókat, hogy nagy figyelmet fordítsanak a marginális talajoknak a termesztésre való alkalmasságára. A vizsgált felhagyott szántó stabilizálódott növényzete ígéretes segédváltozónak tűnt a talajtulajdonságok becsléséhez.

Célunk a korábbi szikes talaj-növény összefüggés vizsgálatok alapján (Shantz, 1911, Kearney et al., 1914, Shantz és Piemeisel, 1924, 'Sigmond, 1927, Magyar, 1928, Chapman, 1960, Bodrogek, 1965) valamint saját tapasztalataink szerint (Tóth és Rajkai, 1994, Tóth et al., 1994) a talajtulajdonságok számszerű becslése volt a növényzet alapján. "Könnyen beszerezhető", terepen meghatározható változókat (pl. botanikai társulástabella) kívántunk használni a talajtulajdonságok becslésében térbeli interpoláció vagy regresszió elemzés során úgy, hogy két becslő blokkméretet használunk.^{##}

Vizsgálati terület

A vizsgálatok helye a kínai Hebei tartomány Wangsu városának határában elterülő Luosibowadi tábla (E 117°16" és N 38°25") volt. Ez a terület és a környékén fekvő 5000 ha az úgynevezett Qi Man Mu az esős évszakban felgyülemlett csapadékvíz szűkségtározására szolgál.

A terület mintegy 60 km-re nyugatra fekszik a Sárga-tengertől, a tengerszint feletti magasság 7 m, a talajvízszint novemberben 1 m mélységen belül van, áprilisban mintegy 3 m mélyen van.

A talajképző kőzet erősen rétegzett áthordott lösz. A jellemző talajtípus "fakó réti talaj" a kínai genetikai talajosztályozásban, a Soil Taxonomy besorolása szerint Haplaquoll. A terület Huang-Huai-Hai Alföld többi részéhez hasonlóan geológiailag fiatal feltöltődés, amelyet eredetileg valószínűleg gyepevegetáció borított, de korán a világ egyik legősibb növénytermesztő régiója lett, ahol az eredeti növényzetet már nem lehet megtalálni.

Növénytakaró

A termesztésből kihagyott szikes táblákat féltermészetes gyepevegetáció borítja amelynek a növényzete megegyezik a tengerparti gyepek növényzetével. A leggyakoribb növény, amely a szárazföld belső részein legtöbbször nem éri el a 15 cm-es magasságot, a *Phragmites australis*, ez a tengerparton a legmagasabb dagály zónájában él, *Spartina anglica*-val elegyedve, némi *Suaeda salsa* szegélyezi a part felé. A tengerparti dűnén, amelyet kizárólag kagyló, illetve csigahéj borít, *Messerschmidia sibirica* él, mögötte a legmagasabb száraz helyeken *Aeluropus litoralis*, lentebb *Puccinellia chinampoensis*, még mélyebben a *Phragmites australis* illetve *Bolboschoenus maritimus* és közvetlenül a víz mentén *Suaeda salsa* található.

A tengerparti terepbejárás során a *Spartina anglica* és a *Bolboschoenus maritimus* voltak az egyedüli tengerparti növények, amelyeket a vizsgálati területen nem találtunk. A két említett növény a tengerparti mocsarak, illetve a vízpart növénye, ezért a belső vizsgálati területen - amely az év nagy részében vízhiánytól szenved - előfordulása nem várható. *Bolboschoenus maritimus* azonban a nagyobb csatornák mentén a

[#] A fejezetet a Tóth et al. (1994) publikáció alapján írtam.

^{##} A munka fázisai

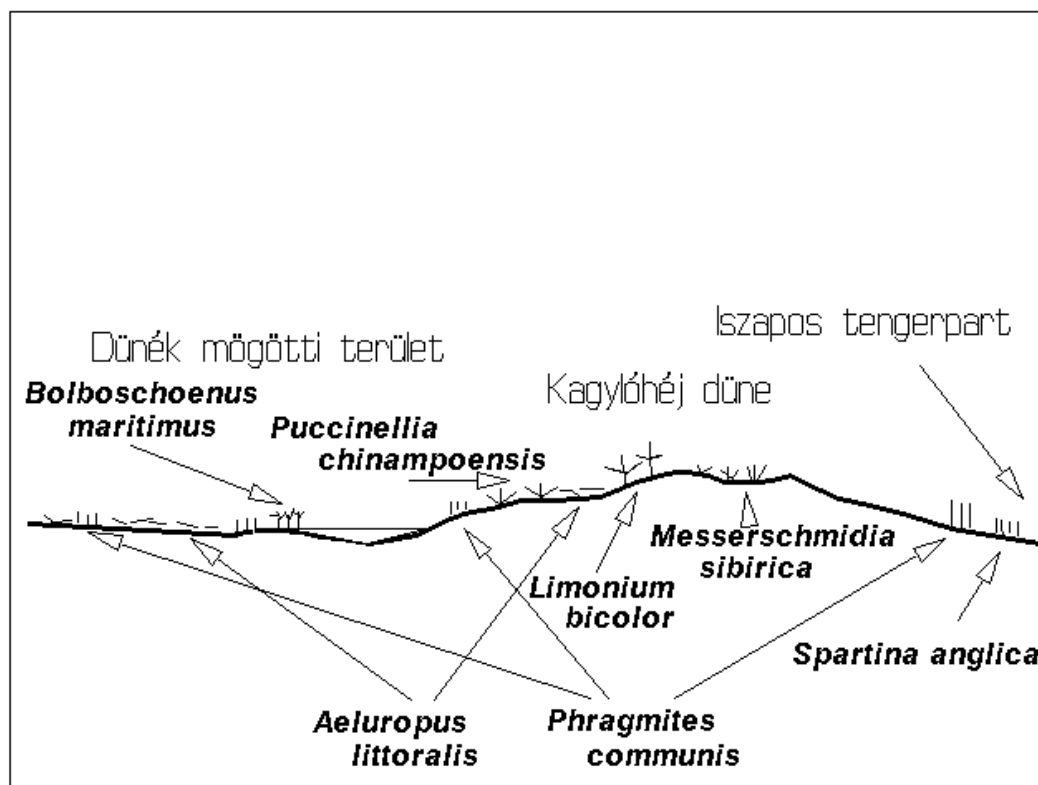
-Előkészítés

- mintaterület kijelölés
- mintavételi terv elkészítése
- mintavétel és helyszíni elemzések
- botanikai jellemzés

-Elemzések

- laboratóriumi elemzések
- korrelációs és regressziós vizsgálatok és értelmezésük

gyakran elárasztott területeken előfordul. A tengerparton nem található *Imperata cylindrica*, a belső területek második legfontosabb növénye, de közel a tengerhez kilúgzódott helyeken fellelhető.



4.5.1.1. ábra. A sótűrő növények előfordulása a tengerparton

A nem szikes mezőgazdasági táblákon a fentiekől eltérő gyomnövényzet figyelhető meg, és csupán néhány faj fordul elő a szikes és nem szikes területen is, mint a *Lactuca tatarica*, *Tribulus terrestris* és az *Imperata cylindrica*, amelyek az alacsony sótartalmat elviselik.

A gazdálkodók ismerik a növényeknek a talaj sótartalmát indikáló tulajdonságát, legalábbis néhány faj esetében. A búzát az *Agropyron dahuricus*-os foltokra vagy az *Imperata cylindrica*-s foltokra szívesebben vetik mint az *Aeluropus littoralis*, *Scorzonera albicaulis* vagy *Suaeda salsa* által borított foltokra. A kevés vizet szállító, jórészt régi csatornák nyújtotta kimosódást kihasználják és a különben ott előforduló *Imperata cylindrica* helyén szebben nő a búza, mint a magasabban fekvő részeken a csatorna mentén.

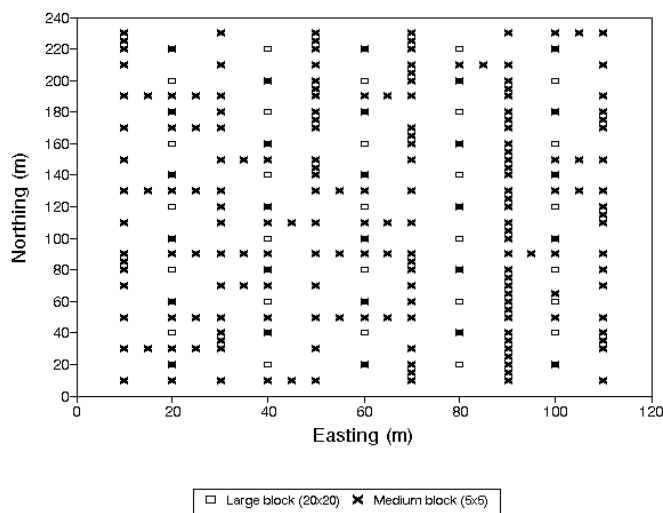
Mintavételi terv

A mintavételt egy 100 x 220 m-es téglalap alakú területen végeztük. A vizsgálatok folyamán először egy általános foltterképet készítettünk a földhasználatról, az előforduló gyep és féltermészetes vegetációról.



4.5.1.2. ábra. A vizsgálati területen elkülönített növényzeti foltok. A keresztben csíkozott terület a PHRAGMITES, a jobbra lefelé csíkozott az IMPERATA és az üres a szántó növényzeti kategóriát jelöli. A lépték teljes hossza 50 métert jelöl.

Három kvadrát- vagy blokkméretet használtunk, a nagy blokkok (55 db) 20 x 20 m-esek voltak és szabályosan lefedték az egész területet. A közepes blokkok (206 db) 5 x 5 m-esek voltak és szintén egy rácshálón helyezkedtek el, de a lehetséges 880 helynek csak mintegy a negyedét borították, véletlenszerű elrendezésben. Mindegyik közepes blokkban 4-4 db 0,25 x 0,25 m-es kis blokk volt elhelyezve szabályosan.



4.5.1.3. ábra. A nagy (□) és közepes (X) vizsgálati blokkok elhelyezkedése. A vízszintes koordináta növekvő értékei nyugatról keletre, a függőleges koordinátái pedig délről északra mutatják a távolságokat.

A terepi munka során mindegyik blokkméretben, mindegyik blokkban becsültük az előforduló növények százalékos borítását. A térszíni fekvés jellemzése érdekében a talaj relatív felszíni magasságát (térszíni fekvés) mindegyik blokk közepén teodolittal megmértük és mm-es különbségeként rögzítettük. Mindegyik közepes blokkban 16 helyen mértük a penetrométeres ellenállást úgy, hogy a kis blokkok köré 4-4 mérés jutott.

Talajmintát a kis blokkok középpontjából vettünk 0-5, 20-25 és 40-45 cm-es mélységekből, majd mélységenként a négy kis blokkból származó fúrás mintáját összetettük, és így a közepes blokkra átlagmintát kaptunk.

A talajmintákból 1:5-ös vizes kivonat készült, ebből történt az ionok meghatározása. A pH-t (csak a felszíni mintákból) üvegelektóddal mértük, a CO₃ és HCO₃ kénsavas titrálással, a Cl argentometriával, a SO₄, Ca és Mg ionok koncentrációjának mérése EDTA-val történt. A Na koncentráció az anionok és kationok egyenértéknyi mennyisége összegének különbségeként volt számolva, a sótartalom pedig az ionkoncentrációk alapján.

A penetrációs ellenállást zsebpenetrométerrel mértük, és a penetrométer kúp behatolási mélységével (mm) fejeztük ki.

A különböző blokkméretekben a 4.5.1.1.táblázatban bemutatott változók álltak rendelkezésre.

4.5.1.1.táblázat. A Luosibowadiban előállított változók eredete és átlagolása

Változó	kis blokk	közepes blokk	nagy blokk
n	824	206	55
Penetrációs			
ellenállás	4 mért pont	átlagolással	krigeléssel közepes blokkból
Felszíni			
magasság	1 mért pont	átlagolással	krigeléssel közepes blokkból
Fajborítás	becsléssel	becsléssel	becsléssel
Talaj minta 1/4 minta	átlagminta kis blokkból	krigeléssel közepes blokkból	
Factor score-k	-	közepes blokkra számolva	-

A következő változókat és változó név rövidítéseket használtuk.

tota összes növényi borítás (%), Phra a *Phragmites australis* százalékos borítása, Scor a *Scorzonera albicaulis* százalékos borítása, Aelu az *Aeluropus litoralis* százalékos borítása, Impe az *Imperata cylindrica* százalékos borítása, Clyn a *Clynelimus (Agropyron) dahuricus* százalékos borítása, Pucc a *Puccinellia chinampoensis* százalékos borítása, Suae a *Suaeda salsa* százalékos borítása, Seta a *Setaria viridis* százalékos borítása, Mess a *Messerschmidia sibirica* százalékos borítása, alfa a *Melilotus officinalis* százalékos borítása, Arte az *Artemisia annua* százalékos borítása, Lact a *Lactuca tatarica* százalékos borítása, Cirs a *Cirsium segetum* százalékos borítása, Tara a *Taraxacum mongolicum* százalékos borítása, Caly a *Calystegia japonica* százalékos borítása, Tama a *Tamarix chinensis* százalékos borítása, Limo a *Limonium bicolor* százalékos borítása, Trac a *Trachomitum venetum* százalékos borítása, Hete a *Heteropappus aetaicus* százalékos borítása, whea a *Triticum arvense* százalékos borítása, Erig az *Erigeron canadensis* százalékos borítása, Poly a *Polygonum aviculare* százalékos borítása, Plant a *Plantago asiatica* százalékos borítása, Xant a *Xanthium sibiricum* százalékos borítása, Dauc a *Daucus carota* százalékos borítás, fsc1 és fsc2 főkomponens analízissel növényi borításból, penetrométeres ellenállásból és térszíni fekvésből számított factor score-k; heig relatív felszíni magasság (mm), pene a felszín penetrométeres ellenállása (mm), C(om a kombinált (*Phragmites australis* és *Suaeda salsa* nélküli) növényi minta szárazsúlya (g), P(hr a *Phragmites australis* szárazsúlya (g), S(ua a *Suaeda salsa* szárazsúlya (g), pH_0-5 az 1:5-ös kivonat pH-ja a 0-5 cm-es mélységből, HCO₃_0-5 az 1:5-ös kivonat HCO₃ tartalma (mgeé/100 g soil), Cl_0-5 az 1:5-ös kivonat Cl tartalma (mgeé/100 g soil), SO₄_0-5 az 1:5-ös kivonat SO₄ tartalma (mgeé/100 g soil), Ca_0-5 az 1:5-ös kivonat Ca tartalma (mgeé/100 g soil), Mg_0-5 az 1:5-ös kivonat Mg tartalma (mgeé/100 g soil), Na_0-5 az 1:5-ös kivonat Na tartalma (mgeé/100 g soil), salt_0-5 az 1:5-ös kivonat sótartalma (g/100 g soil), Na%_0-5 a Na-nak a kationok összegéhez viszonyított százalékos aránya, a 20-25 cm-es mélységből HCO₃_20-25 az 1:5-ös kivonat HCO₃ tartalma (mgeé/100 g soil), Cl_20-25 az 1:5-ös kivonat Cl tartalma (mgeé/100 g soil), SO₄_20-25 az 1:5-ös kivonat SO₄ tartalma (mgeé/100 g soil), Ca_20-25 az 1:5-ös kivonat Ca tartalma (mgeé/100 g soil), Mg_20-25 az 1:5-ös kivonat Mg tartalma (mgeé/100 g soil), Na_20-25 az 1:5-ös kivonat Na tartalma (mgeé/100 g soil), salt_20-25 az 1:5-ös kivonat sótartalma (g/100 g soil), Na%_20-25 a Na-nak a kationok összegéhez viszonyított százalékos aránya, a 40-45 cm-es mélységből HCO₃_40-45 az 1:5-ös kivonat HCO₃ tartalma (mgeé/100 g soil), Cl_40-45 az 1:5-ös kivonat Cl tartalma (mgeé/100 g soil), SO₄_40-45 az 1:5-ös kivonat

SO₄ tartalma (mgeé/100 g soil), Ca_40-45 az 1:5-ös kivonat Ca tartalma (mgeé/100 g soil), Mg_40-45 az 1:5-ös kivonat Mg tartalma (mgeé/100 g soil), Na_40-45 az 1:5-ös kivonat Na tartalma (mgeé/100 g soil), salt_40-45 az 1:5-ös kivonat sótartalma (g/100 g soil), Na%_40-45 a Na-nak a kationok összegéhez viszonyított százalékos aránya, Ca a növény százalékos Ca tartalma, Mg a növény százalékos Mg tartalma, K a növény százalékos K tartalma, Na a növény százalékos Na tartalma, Fe a növény Fe tartalma (ppm), Cu a növény Cu tartalma (ppm), Mn a növény Mn tartalma (ppm), Zn a növény Zn tartalma (ppm), sum a 4 fő kation összege a növényben (%) és Na% a Na és a 4 fő kation százalékos aránya a növényben.

A factor score-ok számítása során varimax rotációt alkalmaztunk. Az eredeti változók között a következők szerepeltek: tota, Phra, Scor, Aelu, Impe, Clyn, Pucc, Suae, Seta, Mess, alfa, Arte, Lact, Cirs, Tara, Caly, Tama, Limo, Trac, Hete, whea, Erig, Poly, Plan, Xant, Dauc, heig és pene.

A növényi borítás és más könnyen meghatározható paraméter segítségével többváltozós regresszióanalízissel és krigeléssel becsültem a talaj pH-ját és sótartalmát. Az összehasonlítás eredményét a 4.5.1.2.táblázat mutatja be.

4.5.1.2.táblázat. A többváltozós regresszióanalízis és geostatistika E%-ban kifejezett pontosságának összehasonlítása.

Blokkméret	K ö z e p e s b l o k k								Nagy blokk	
Kategória	Phragmites		Imperata		szántó		globális			
Változó	kr+	reg*	kr	reg	kr	reg	kr	reg	kr	reg
pH_0-5 cm	25	-6	33	12	3	-6	26	6	29	-2
salt_0-5 cm	16	12	20	3	37	30	39	35	42	26

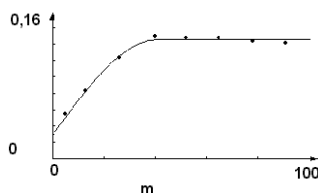
#E%=(1-SEE/szórás)×100, +kr=krigelés, *reg=többváltozós regresszióanalízis

A felszíni pH értékeinek kicsi volt a szórása (5 CV %), a PHRAGMITES és szántó kategória átlag pH értéke nem különbözött szignifikánsan és a kategóriákon belül kicsi volt a szórás. A könnyen meghatározható változókkal a pH nem mutatott szoros korrelációt, ezért a krigelés sokkal pontosabb volt mint a többváltozós regresszióanalízis.

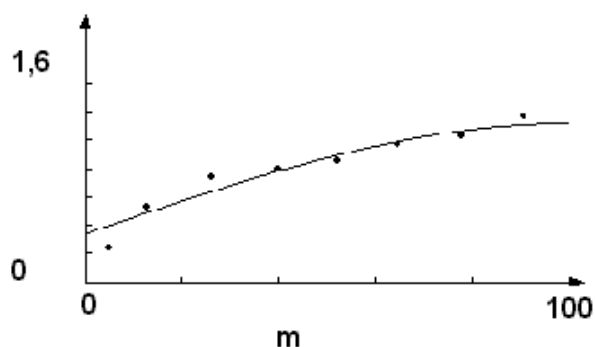
Ezzel szemben a felszíni sótartalom értékei nagy szórást mutattak (97 CV%), és a kategóriák között szignifikáns különbségek voltak az átlagot tekintve, de a szórások is különbözőek voltak. Ugyanakkor a növényzettel mutatott korrelációk erősek voltak, ennél fogva a két módszer hasonló pontosságú eredményt nyújtott.

A szántó kategóriában a többváltozós regresszióanalízis a felszíni sótartalom becslésében azért nyújtott jó eredményt mert egyes fajok borításával szoros korrelációt mutatott, például az *Imperata cylindrica*-val (negatív) és a *Phragmites australis*-szal (pozitív). A globális, tehát nem kategóriánként végzett becslés során kapott E% értéket részben a sótartalom nagy szórása eredményezte.

A talajváltozók szemivariogramjai (4.5.1.4 és 4.5.1.5.ábra) erős térbeli korrelációt mutattak. A pH térbeli hatástávolsága (range) kisebb volt, mivel az IMPERATA kategória, ahol jelentős pH változások voltak, jellemzően kis foltokban fordult elő, a sótartalom hatástávolsága ezzel szemben nagyobb volt.



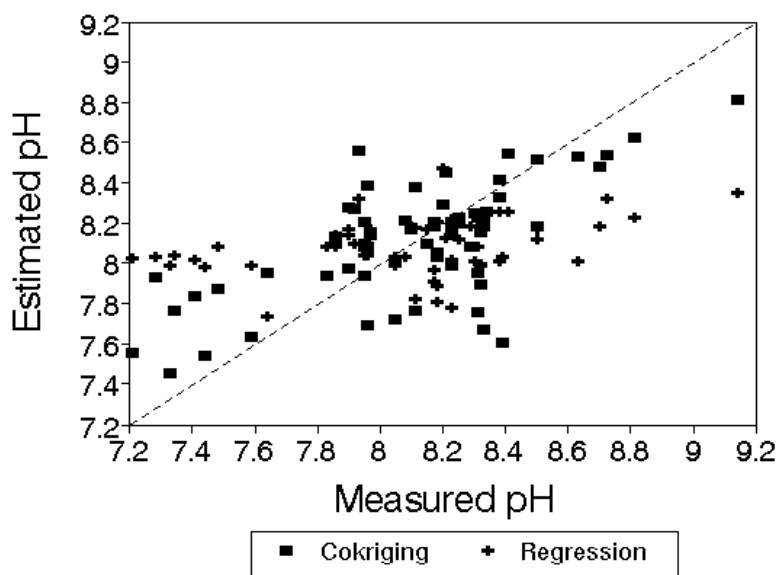
4.5.1.4.ábra. A felszíni pH szemivariogramja



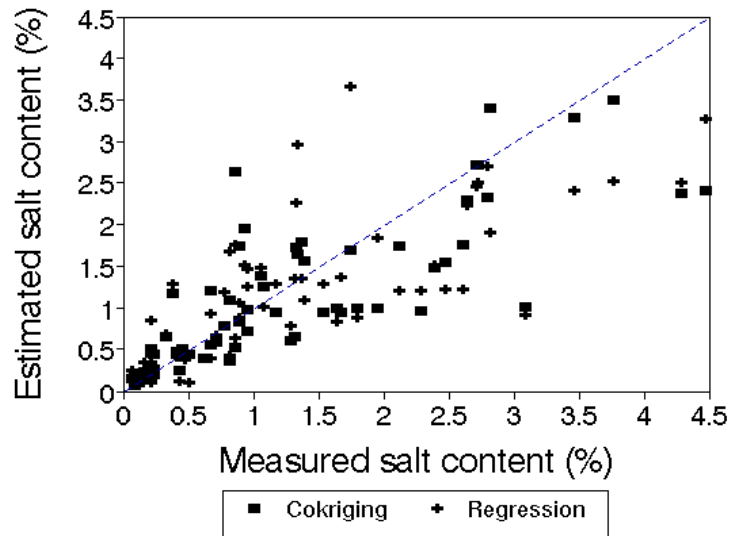
4.5.1.5.ábra. A felszíni sótartalom szemivariogramja

A talajtulajdonságok becslésében a legjobb becslő változók mesterséges változók voltak (a becsült növényi borításból kiszámított faktor score-ok), ezen kívül a két legfontosabb növény, a *Phragmites australis* és *Imperata cylindrica* borításértéke és a talaj penetrométeres ellenállása (Tóth et al., 1995) volt fontos.

A két blokkméret hasonló pontossággal becsülte a talajtulajdonságok értékeit, és a 20 m-es blokkméret megfelelő a felhagyott táblák termékenységének becslésére. A krigelés a nagyobb, átlagolt blokkokon pontosabb volt, a közepes blokkokon pedig a regresszióanalízis volt az. Amikor elég nagyok a blokkok, akkor a krigelés és a növényi factor score-okkal, növényi borítással és penetrációs ellenállással végzett kokrigelés pontosabban becsli a talaj pH-t (4.5.1.6.ábra) és sótartalmat (4.5.1.7.ábra) mint a regresszióanalízis, és ha a táblák kellően nagyok és egyöntetűek, mindig ezt a módszert ajánlatos használni. Amikor a térképezendő blokkok kicsik, egymással nem érintkeznek, a többváltozós regresszióanalízis könnyen meghatározható változókkal hasonló pontosságot nyújt.



4.5.1.6.ábra. A mért (a vízszintes tengelyen) és becsült pH értékek (a függőleges tengelyen) összehasonlítása geostatistika (■) és többváltozós regresszióanalízis (+) alkalmazása esetén a közepes (5 x 5 m) blokkokban



4.5.1.7. ábra. A mért (a vízszintes tengelyen) és becsült (a függőleges tengelyen) felszíni talajsótartalom értékek összehasonlítása geostatistika (■) és többváltozós regresszióanalízis (+) alkalmazása esetén a közepes (5 x 5 m) blokkokban

4.5.2. A talaj sótartalmának becslése a másodlagos növényzet alapján felhagyott kínai szikes szántón[#]

A szikes területek féltermészetes (a termesztés felhagyása után évekkel kialakult) növényzete közel egyensúlyi állapotban van a talajtulajdonságokkal. A növények előfordulását és borítását abiotikus (talaj, magassági övezetesség) és biotikus tényezők (növények közötti kompetíció) határozzák meg. Az állandósult növényzet a talajtulajdonságokkal statisztikailag jellemezhető összefüggésben van, és az összefüggések formalizálása alkalmas lehet arra, hogy a talajtulajdonságok értékét az egyes növényfajok szintjén, vagy a növényzeti kategóriák szintjén megbecsüljük. Mivel a talaj szélsőséges sótartalma és pH-értéke ökológiailag fontos tényezők, a szikes talajok különösen alkalmasak a talaj és növényzet közötti összefüggések vizsgálatára (Tóth és Rajkai, 1994). Ennek köszönhető, hogy a szikes területek talajainak térképezésére gyakran használják a természetes növényzetet (Shantz, 1911, Kearney et al. 1914, Shantz és Piemeisel, 1924, Ballenegger, 1929, 'Sigmond, 1927, Magyar, 1928, Bodrogek, 1965, Zonneveld, 1976). A növényzetnek a talajtulajdonságok indikátoraként való alkalmazása gyors és anyagilag igen kedvező megoldás, ugyanakkor alkalmazhatóságát javítja, ha ismeretes, hogy milyen pontossággal becsülhetők előre az egyes talajtulajdonságok értékei. Célunk ennek a pontosságnak a meghatározása volt.

A Kína északi részén elterülő Huang-Huai-Hai síkság alacsony fekvésű, évi rendszerességgel elöntött, kiterjedt szikes mezőségein számos területet nem művelnek rendszeresen. A növekvő népesség miatt egyre fontosabb újabb területeknek a művelésbe vonása. A gazdálkodók az új szántóterületeket a magassági övezetesség és az uralkodó növényfajok alapján választják ki. Célunk az volt, hogy megállapítsuk az egyes kategóriák alkalmazása során elérhető talajtulajdonság-becslés pontosságát.

[#] A fejezetet a Tóth et al. (1995) publikáció alapján írtam.

Amikor a talajtulajdonságok és a növényzet közötti összefüggés szoros, érdemes a talajtulajdonságokat a növényzet alapján becsülni. Az említett összefüggést kanonikus korreláció elemzéssel határoztuk meg, és az eltérő talajtulajdonságok becslési pontosságában meglévő különbségeket Mann-Whitney próbával és diszkriminancia-analízissel határoztuk meg kereszt táblázatok százalékos pontossága alapján. ^{##}

A növényzeti- és talajtulajdonságok közötti összefüggések

A növényzeti- és talajtulajdonságok között szoros összefüggésnek kell lennie ahhoz, hogy sikeresen becsülhessük a növényzet alapján a talajtulajdonságokat. Ezért fontos ismerni, hogy milyen szoros az említett összefüggés, és mely változók a legfontosabbak az összefüggés szempontjából. Az összefüggés szorosságát kanonikus korreláció analízissel vizsgáltuk, ennek során a növényzeti- ($x_1 - x_{13}$) és talajváltozókból ($y_1 - y_{26}$) két származtatott változót (X_i, Y_i) számoltunk. Az i -dik kanonikus változó (növényi) értékét a k -dik megfigyelésre a 13 növényi változó alapján a következő módon kapjuk:

$$X_{i,k} = a_{1,i}x_{1,k} + a_{2,i}x_{2,k} + \dots + a_{13,i}x_{13,k}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, \min\{13, 26\}$.

Hasonlóképpen az i -dik kanonikus változó (talajjal kapcsolatos) értékét a k -dik megfigyelésre a 26 talajváltozó alapján a következő módon számítjuk:

$$Y_{i,k} = b_{1,i}y_{1,k} + b_{2,i}y_{2,k} + \dots + b_{26,i}y_{26,k}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, \min\{13, 26\}$,

ahol $a_{1,i} \dots a_{13,i}$ és $b_{1,i} \dots b_{26,i}$ az eredeti változókból az i -dik kanonikus változók kiszámításához szükséges együttthatók. A számítások olyan módon optimalizáltak, hogy a kapott kanonikus változók páronként a lehetséges maximális korrelációt nyújtsák,

$$R(X_1; Y_1) \geq R(X_2; Y_2) \geq \dots \geq$$

ahol $R(X; Y)$ az X és Y közötti korreláció.

Az $a_1 \dots a_{13}$ és $b_1 \dots b_{26}$ együttthatók alkalmazásával egy-egy új kanonikus változó párt számítottunk, az egyiket a talaj-, a másikat a növényi változókból. A kanonikus változók közötti korrelációs koefficiens 0,88 volt, ez arra utal, hogy a növényzetet fel lehet használni arra, hogy a talajtulajdonságok értékét megbecsülhessük. Mivel az eredeti változóknak a kanonikus változókkal vett korrelációja jelzi az adott változónak a két változó csoport közötti összefüggésben betöltött jelentőségét, ezeket a 4.5.2.1. táblázatban megmutatjuk.

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- mintaterület kijelölés
- mintavételi terv elkészítése
- mintavétel és helyszíni elemzések
- botanikai jellemzés

-Elemzések

- laboratóriumi elemzések
- korrelációs és regressziós vizsgálatok és értelmezésük

4.5.2.1.táblázat. Az első kanonikus változóknak és az eredeti változóknak a korrelációja

a) A növényi változók (borítási % értékek) és az első kanonikus növényi változó közötti korrelációk

Változó	Korrelációs koefficiens
Összes növényi borítás	0,210
Phragmites australis	0,801
Scorzonera albicaulis	0,124
Aeluropus littoralis	0,584
Imperata cylindrica	-0,651
Agropyron dahuricus	0,031
Puccinellia chinampoensis	0,009
Suaeda salsa	-0,170
Messerschmidia sibirica	0,057
Melilotus sp,	-0,014
Artemisia annua	0,239
Lactuca tatarica	-0,335
Cirsium segetum	-0,172

b) A talajváltozók és az első kanonikus talajváltozó közötti korrelációk

Változó	Korrelációs koefficiens
Felszíni	
Magasság	0,728
Penetráció	-0,458
0-5 cm mélység	
pH	-0,371
HCO ₃	-0,615
Cl	0,761
SO ₄	0,862
Ca	0,738
Mg	0,709
Na	0,836
Sum	0,821
Na%	0,348
20-25 cm mélység	
HCO ₃	-0,199
Cl	0,678
SO ₄	0,549
Ca	0,118
Mg	0,509
Na	0,770
Sum	0,659
Na%	0,569
40-45 cm mélység	
HCO ₃	-0,457
Cl	0,821
SO ₄	0,702
Ca	0,354
Mg	0,578
Na	0,811
Sum	0,794
Na%	0,623

Megjegyzés:

pH az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban mért érték a 0-5 cm mélységben vett mintákból, HCO_3^- hidrogén-karbonát-ion koncentráció az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Cl^- a kloridion koncentráció az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), SO_4^{2-} a szulfátion koncentráció az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Ca^{2+} a kalciumion koncentráció az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Mg^{2+} a magnézium ionkoncentráció az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Na^+ a nátriumion koncentráció az 1:5 talaj:víz arányú kivonatban ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Sum a talaj sókoncentrációja (%), $\text{Na}\%$ a nátriumionnak az ionok összes tömegéhez viszonyított százaléka.

Három növényfaj borításértéke mutatott nagy korrelációs koefficiens értéket a növényi változókból számított kanonikus változóval (4.5.2.1.a táblázat): a *Phragmites australis* és *Aeluropus littoralis* pozitív korrelációt, az *Imperata cylindrica* negatív korrelációt mutatott.

A talajváltozókból számolt kanonikus változóval számos változó mutatott szoros korrelációt (4.5.2.1.b táblázat): pozitív korrelációt mutattak a kationok, a klorid-, szulfát-koncentráció, a sótartalom és magasság. Negatív korrelációt mutatott a pH, hidrogén-karbonát koncentráció és penetrációs ellenállás. A különböző mélységben meghatározott változók a korrelációs koefficiens előjelét és nagyságát tekintve hasonlóak voltak. A korrelációk kijelölték az egyes talajváltozók fontosságát a különböző féltermészetes növényzettípusok előfordulása szempontjából. A PHRAGMITES növényzeti kategória foltjaiban (leírásuk a következő bekezdésben) azok a talaj- és növényi változók mutattak nagy értékeket amelyek mindkét kanonikus változóval pozitív korrelációt mutattak, az IMPERATA kategóriában pedig a negatív korrelációt mutató változók mutattak nagy értékeket.

Az elkülönített növényzeti kategóriák

A növényzeti kategóriák alkotása során a legfontosabb elvek a domináns és kodomináns fajok jelenléte és a növényzet állapota (legeltetett, szántott stb.) voltak, talajváltozókat nem vettünk figyelembe. Egy szántott és két féltermészetes növényzeti típust különítettünk el. Az aktuális és nem régen felhagyott szántófoltok elkülönítésére a művelés jelei és olyan gyomok, mint a *Messerschmidia sibirica* és *Setaria viridis* jelenléte utaltak. A két féltermészetes növényzeti típust a domináns fajok alapján PHRAGMITES kategóriának (a *Phragmites australis* alapján), vagy az *Imperata cylindrica* dominanciája alapján IMPERATA kategóriának tekintettük. Egyes növényfajok előfordulásának jellemzésére a 4.5.2.2.táblázat bemutatja a leggyakoribb növényfajok borításértékeit a féltermészetes kategóriákban. Csupán négy faj átlagos borítása volt nagyobb mint 1%. A domináns fajokon kívül (*Phragmites australis* és *Imperata cylindrica*) a két kategória között csupán két faj mutatott szignifikánsan különböző borításértéket: az *Aeluropus littoralis* és *Lactuca tatarica*. Ezek a fajok, valamint a *Puccinellia chinampoensis*, *Suaeda salsa*, *Scorzonera albicaulis*, *Tamarix chinensis*, *Limonium bicolor* és *Heteropappus aetaicus* a talaj nagy sótartalmának helyileg ismert indikátorai. A 4.5.2.2.táblázat többi faja a Huang-Huai-Hai síkság gyakori gyomnövénye.

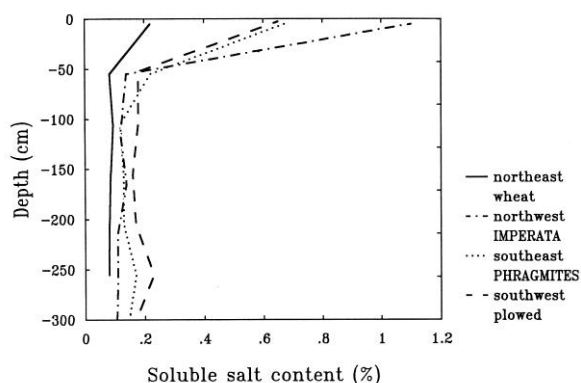
4.5.2.2.táblázat. A változók átlagértékei és átlagos rangjuk (MR) a Mann-Whitney próba szerint a két növényzeti kategóriában

Változó	PHRAGMITES kategória (n=74)		IMPERATA kategória (n=54)		
	Átlag MR		Átlag MR kétoldali szignifikancia szint		
Borítás %					
Összes	12,58	73	10,18	54	0,0041
Phragmites australis	7,30	86	2,39	35	<0,00005
Scorzonera albicaulis	0,09	65	0,04	64	0,4476
Aeluropus littoralis	1,74	77	0,08	47	<0,00005
Imperata cylindrica	1,51	42	5,80	95	<0,00005
Agropyron dahuricus	0,05	65	0,04	64	0,7543
Puccinellia chinampoensis	0,07	65	0,11	64	0,8270
Suaeda salsa	1,11	64	0,60	65	0,8923
Messerschmidia sibirica	0,01	65	0	64	0,3930
Melilotus sp,	0,19	65	0,06	64	0,8857
Artemisia annua	0,01	64	0,01	65	0,8310
Lactuca tatarica	0,28	60	0,60	70	0,0612
Cirsium segetum	0	63	0,06	67	0,0410
Felszíni magasság	335,97	82	184,76	41	<0,00005
Penetráció	19,42	53	21,02	80	<0,00005
0-5 cm mélység					
pH	8,00	44	8,20	59	0,0087
HCO ₃	0,27	37	0,38	68	<0,00005
Cl	21,02	70	2,57	29	<0,00005
SO ₄	15,44	70	4,05	29	<0,00005
Ca	5,01	69	1,75	31	<0,00005
Mg	13,01	70	2,10	29	<0,00005
Na	18,96	71	2,85	28	<0,00005
Sum	2,20	71	0,43	29	<0,00005
Na%	19,31	60	15,17	40	0,0005
20-25 cm mélység					
HCO ₃	0,33	60	0,36	71	0,1063
Cl	3,57	83	1,80	40	<0,00005
SO ₄	2,27	82	1,36	41	<0,00005
Ca	0,87	70	0,71	57	0,0412
Mg	1,89	80	1,05	43	<0,00005
Na	3,41	83	1,76	38	<0,00005
Sum	0,37	82	0,22	40	<0,00005
Na%	21,22	78	17,80	46	<0,00005
40-45 cm mélység					
HCO ₃	0,33	52	0,38	81	<0,00005
Cl	2,10	87	0,70	34	<0,00005
SO ₄	1,58	84	0,82	38	<0,00005
Ca	0,52	75	0,41	50	0,0002
Mg	1,19	84	0,63	38	<0,00005
Na	2,31	86	0,96	34	<0,00005
Sum	0,25	86	0,12	35	<0,00005
Na%	21,03	81	17,13	42	<0,00005

Megjegyzés:

Mivel a mintavétel során egy esős nap is volt, a talajkémiai változók szempontjából a 0-5 cm-es mélységben a PHRAGMITES kategóriában 54, az IMPERATA kategóriában 47 esetet értékeltünk.

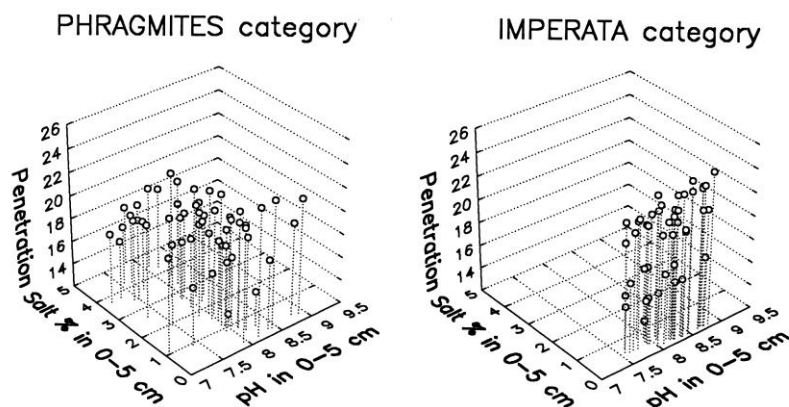
Az oldható sóknak a mélységbeli eloszlását négy egyenletesen elhelyezett pontban határoztuk meg (4.5.2.1.ábra). A pontok eltérő növényzeti foltokat képviseltek. Mivel a gazdálkodók figyelembe veszik a talajadottságokat, a szántott, alacsonyabban fekvő helyeken az alkalmankénti öntözés miatt a legfelső szintben a sótartalom kicsi. Általában azonban a sótartalom a felszíni rétegben volt a legnagyobb. 50 cm-es mélység alatt a sótartalom keveset változik, 0,1-0,2 % értéket ér el. Az év folyamán a felső rétegben a sótartalom erősen változik, Inanaga (1991) szerint akár kétszeresére is nőhet. A 0-30 cm-es rétegben az értéke 0,3- 0,9 % értéktartományban változott egy kétéves megfigyelés-sorozatban, amit a szerző az általunk vizsgált területtől 20 km-re nyugatra, nem öntözött területen végzett.



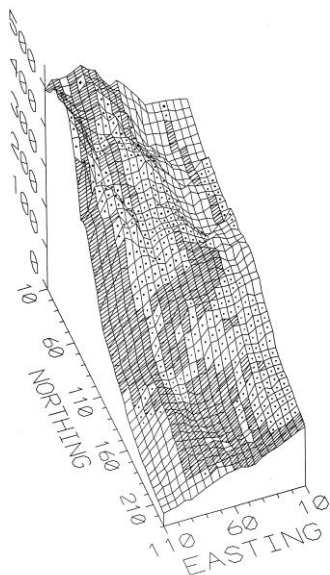
4.5.2.1. ábra. A talajsótartalom mélységi eloszlása a területen egyenletesen elhelyezett négy pontban. A függőleges koordináta a mélységet, a vízszintes a sótartalmat jelöli. A jelmagyarázat sorban a következő pontokat jelzi: északkelet-búza, északnyugat-IMPERATA, délkelet-PHRAGMITES, délnyugat-szántott.

A 0-5 cm-es mélységben meghatározott magasság, penetrációs ellenállás, valamint pH és oldható sótartalom diagramját a 4.5.2.2. ábra. mutatja be. Általánosságban a talajsótartalom és a pH negatív korrelációt mutatott. Növekvő magassággal a sótartalom növekedett. A pH és penetrációs ellenállás pozitív korrelációt, a pH, a magasság és penetrációs ellenállás negatív korrelációt mutatott, akárcsak a magasság és pH mindkét növényzeti kategóriában. A PHRAGMITES kategóriában a sótartalom nagyon változatos, a penetrációs ellenállás kicsi volt. Az IMPERATA kategóriában a sótartalom kicsi, a penetrációs ellenállás nagyobb volt. A PHRAGMITES kategória esetén a talajváltozók között a korreláció nem volt olyan szoros, mint az IMPERATA kategóriában, de a növényi változók hasonló erősségű korrelációt mutattak mindkét kategóriában. A változók közötti korrelációs koefficiensek értékét a 4.5.2.5. táblázat mutatja be.

A PHRAGMITES kategóriában gyűjtött mintákban átlagosan kisebb volt a hidrogén-karbonát-ion koncentráció, pH-érték és penetrációs ellenállás. Ezeket a mintákat nagyobb magasságú foltokból gyűjtöttük. A 4.5.2.3. ábra megmutatja, hogy a PHRAGMITES kategória a magasabb és gerinceszerű területeken helyezkedett el, az IMPERATA kategória pedig a mélyebbekben.



4.5.2.2. ábra. A talajfelszín penetrációs ellenállása (függőleges koordináta), pH (jobboldali koordináta) és sótartalma (baloldali koordináta) összefüggése a PHRAGMITES (baloldali ábra) és IMPERATA (jobboldali ábra) növényzeti kategóriákban.



4.5.2.3. ábra. A vizsgált terület relatív magassági térképe. A PHRAGMITES kategóriát egy pont (●), az IMPERATA kategóriát vonalkázás (≡) jelzi. A szántott kategória üres. A távolságok méterben, a magasság mm-ben van feltüntetve.

A vizsgált területen úgy tűnt, hogy a két növényzeti kategória előfordulását a magasság, a sótartalom és a lúgosan hidrolizáló ionok koncentrációja határozza meg, amelyek közül itt csupán hidrogén-karbonátot mutattunk ki, karbonát nem volt. Mivel a NaHCO_3 oldékonysága (8.7 g/100 g vizes oldatban 20 °C-on) a NaCl (26.4 g), Na_2SO_4 (16.1g), MgCl_2 (41g), MgSO_4 (25.2g) és CaCl_2 (42.7g)-hoz képest kicsi, a hidrogén-karbonát nehezen mosódik ki. Ennek az összes sótartalomhoz képest számított relatív koncentrációja tehát a kilúgzás folyamán növekszik. (Ehhez a jelenséghez igen hasonló másutt is megfigyelhető. Blaskó [szóbeli közlés] beszámolt arról, hogy szikes talajok javítása során mintegy 25 év múlva éppen a szódataralom az a kémiai változó amelyik a kis oldékonyság következtében legkevésbé változott, annak ellenére, hogy összességében a szikesedés mértéke a karcagpusztai meliorációs modelltelepen [Blaskó, 1999] jelentősen csökkent.) Amikor a hidrogén-karbonát-ion az összes oldott ionnak csupán 1%-át érte el, a pH 8-nál kisebb volt, de amikor elérte az 50%-os értéket a pH 9 volt. A magasabban fekvő helyekhez képest a mélyebbeket az összegyülemlő víz jobban kilúgozza, és emiatt a

hidrogén-karbonát ionnak az összes anionhoz való aránya nő. A pH növekedés hatását a kis ionkoncentráció és a nátriumion dominanciája tovább fokozza, és ennek következtében a talajrészecskék diszpergálódnak, és egy tömör réteg kialakulását idézik elő (Rengasamy és Olsson, 1991) és ezt a penetrációs ellenállás értékei jelzik. Mivel a nátriumos talajok diagnosztikai kritériumának tekintett pH 8.5-ös határértéket csupán kevés minta haladta meg (4.5.2.2.ábra) az IMPERATA kategória összességében még így is alkalmasabb a termesztésre mint a PHRAGMITES kategória.

A növényzeti kategóriák elválaszthatósága

Összehasonlítottuk a változók átlagértékeit annak érdekében, hogy kiderítsük, hogy a változók értékei mennyire különböznek a két növényzeti kategóriában. A növényi borítások és talajváltozók értékei nem normális eloszlásúak voltak (4.5.2.4.ábra), ezért egy nemparaméteres statisztikai próbát, a Mann-Whitney-féle U próbát használtuk, hogy a változók értékeinek kategóriánkénti egyenlőségét vizsgáljuk (Davis, 1986). A próba a megfigyeléseknek a legkisebbtől a legnagyobbig történő sorba rakásán alapszik, és a próbastatisztika értéke a helyezéstől függő rangtól függ. A rangot az U próbastatisztika értékével hasonlítják össze, amit a következőképpen számolnak:

$$U_{a,PHRAGMITES} = 74 \cdot 54 + 0.5 \cdot 54 \cdot 55 - R_{a,IMPERATA}$$

és

$$U_{a,IMPERATA} = 74 \cdot 54 + 0.5 \cdot 74 \cdot 75 - R_{a,PHRAGMITES},$$

ahol R az adott növényzeti kategória rangjainak összege. A két U közül a kisebb értékét az adott megfigyelésszámhoz (74 és 54) tartozó szignifikancia szinthez hasonlítjuk.

A vizsgált változók átlagértékei, rangjuk és az eltérés szignifikancia szintje a 4.5.2.2.táblázatban szerepel. Csúpn a növényzeti kategóriák névadó fajai, az *Imperata cylindrica*, *Phragmites australis*, valamint az *Aeluropus littoralis* növényfajok átlagos borítása különbözött szignifikánsan a két növényzeti kategória összehasonlításakor. A legtöbb talajváltozó átlagértéke < 0.00005 szignifikancia szinten különbözött. Annak ellenére, hogy a terepi növényzeti besorolás csúpn a növényfajokat vette figyelembe, a Mann-Whitney próba a talajtulajdonságok szerint jobb elválást mutatott, mint a növényi fajok borítása szerint. Ez a helyzet nagyon ígéretesnek tűnt ahhoz, hogy a növényzet alapján különböző talajtulajdonság értéktartományokat jelöljünk ki.

Meg akartuk határozni, hogy a növényzeti kategóriák által megengedett, az egyes talajtulajdonság értéktartományokra vonatkozó becslésnek milyen a pontossága. Azok a változók, amelyek értéktartománya pontosan becsülhető, a két növényzeti kategória elválasztásához nagyban hozzájárulnak. A diszkriminancia-analízis (DA) az a vizsgálat, amelyik kimutatja, hogy az egyes változóknak mekkora a hozzájárulása a csoportok szétválásához. A DA számszerűsíti a különböző, korábban létrehozott kategóriák elválását, ha az osztályozást számszerű változók lineáris kombinációjával végezzük. A próba analóg egy olyan regressziós elemzéssel (Davis, 1986), amelyben a függő változó kategória változó. A DA algoritmus a egy sorozat diszkrimináló függvényt számol úgy, hogy maximalizálja a diszkrimináló függvényre vonatkozólag a csoportok közötti eltérés négyzetösszeg és csoporton belüli négyzet-összeg arányát. Mivel esetünkben csúpn két kategória volt, a kettőt egy diszkrimináló függvény választotta el. Az eredeti változók és a diszkrimináló függvény közötti korreláció mutatja az elválasztás lehetőségét. Ha a korreláció nagy, akkor a kategóriáknak a különböző értéktartományok előrejelzésére való használata ígéretes, így például a 0-5 cm-es mélységben meghatározott szulfáti on koncentráció által a diszkrimináló függvénnyel mutatott nagy korreláció (0,76) jelezte, hogy ennek a változónak az értéktartománya a két növényzeti kategóriában nem fed át jelentősen. Másrészt a 20-25 cm-es mélységben meghatározott kalcium mutatta a diszkrimináló

függvénnyel a legkisebb korrelációt (0,24), és ez azt jelzi, hogy ennek a változónak az értéktartománya jobban átfedő, mint pl. a felső szint szulfátkoncentrációjáé. A korrelációk nagyságrendje és az előjele hasonló volt, mint a 4.5.2.1. b táblázatban bemutatottak.

A diszkrimináló függvény értéke („discriminant score”) határozza meg az egyes esetek valószínű tagságát a növényzeti kategóriák szempontjából. Amikor csupán két kategória van a kettő közötti határérték egyszerűen a két kategória diszkrimináló függvény értékeinek átlaga közötti középponti érték. A középponti érték fölé eső diszkrimináló függvény értékű esetek az egyik, az alá eső értékűek a másik kategóriába lesznek beosztva. A besorolás pontosságát a DA klasszifikációs mátrixa fejezi ki. A mi esetünkben ez az eredeti, terepi kategorizálásnak, a diszkrimináló függvény értékek alapján végzett besorolásával való kereszt táblázatos összehasonlítása (4.5.2.3. táblázat). A klasszifikációs mátrix mindkét növényzeti kategóriára megmutatja a helyesen és helytelenül besorolt esetek számát. Az összes 54 PHRAGMITES kategóriába tartozó esetből 47 volt helyesen besorolva, a 47 IMPERATA esetből pedig 43. A helyesen besorolt esetek az átlón helyezkednek el, tehát a klasszifikáció pontossága $(47+43)/(54+47)$, azaz 89%.

4.5.2.3. táblázat. Klasszifikációs mátrix a növényi kategóriáknak talajváltozókkal történő elválasztására diszkriminancia-analízissel

DA klasszifikáció	Terepen elkülönített kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
PHRAGMITES	47	4
IMPERATA	7	43
Esetszám	54	47

A besorolás pontossága: 89%

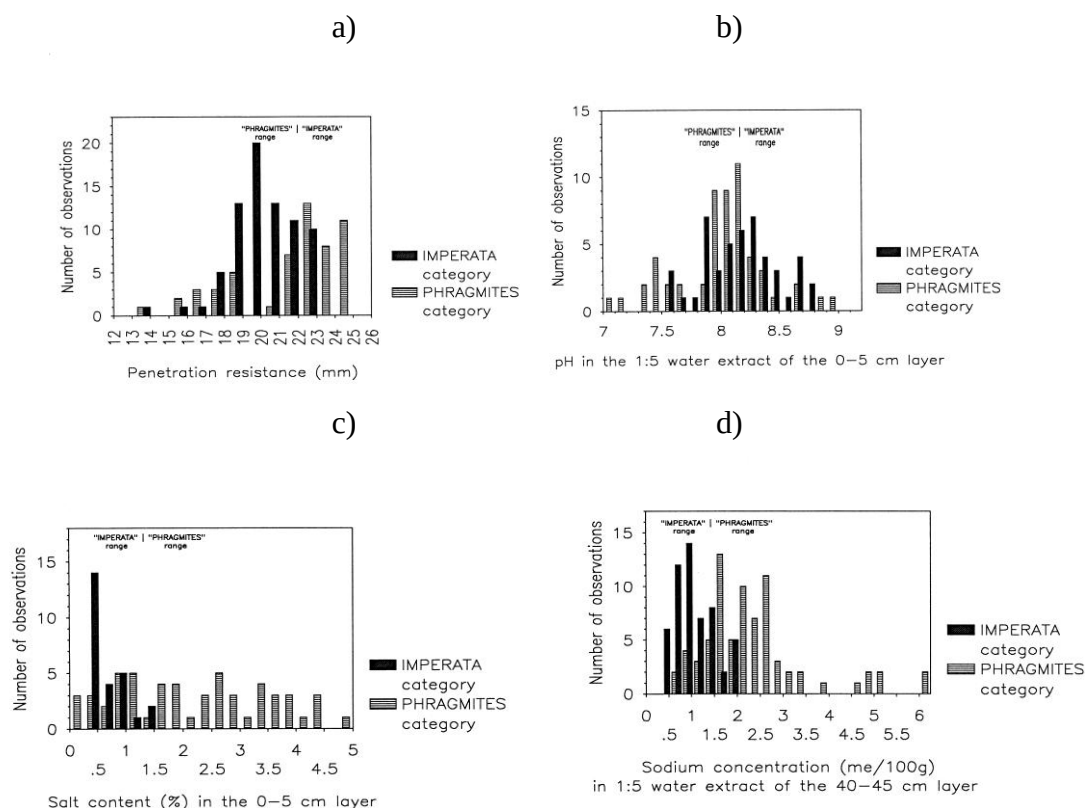
A két növényzeti kategória előre jelezhetősége hasonló volt, bár valamivel az IMPERATA kategória nagyobb pontossággal volt előre jelezhető (43/47), és ez azzal járt együtt, hogy ezen kategórián belül a talajváltozók között szorosabb volt a korreláció, (4.5.2.2. ábra) mint a PHRAGMITES kategória esetében (47/54).

Egydimenziós küszöbértékelés

A 4.5.2.2. táblázatból hat változót választottunk ki annak érdekében, hogy megvizsgáljuk az értéktartomány becslésének növényzeti kategóriákon alapuló pontosságát. A felszíni penetrációs ellenállás és magasság eltérő nagyságú korrelációt mutatott a diszkrimináló függvénnyel, a felszíni só tartalmat és pH értéket azért választottuk ki, mert ezeknek hagyományosan nagy a jelentősége a szikes talajok minőségének megítélésében. A 40-45 cm-es réteg klorid- és nátriumion-koncentrációját azért választottuk, mert a diszkrimináló függvénnyel viszonylag szoros korrelációt mutattak.

Mindegyik említett talajváltozóra az értéktartományt két félre osztottuk egy-egy vágóponttal úgy, hogy a vágópont két oldalán fekvő eseteket az egyik, a másik oldalán lévők a másik növényzeti kategóriába soroltuk. Kezdetben a vágópontot a két változó átlagainak középpontjában helyeztük el, majd addig csúsztattuk ide-oda, amíg a növényzeti kategóriák és a nekik megfelelő értéktartományok maximálisan egyeztek (átfedtek, l 4.5.2.4. ábra). Ez az egyszerű, egydimenziós küszöbértékelés („one-dimensional thresholding”) elnevezésű módszer bármilyen eloszlás esetén alkalmazható, és úgy tekinthető mint a diszkriminancia-analízis primitív egyváltozós változata. A módszer

megmutatja a maximális százalékos pontosságot, amelyet egy tulajdonság becslésével el lehet érni.



4.5.2.4.ábra. Néhány talajváltozó hisztogramja és a két növényzeti kategóriának megfelelő értéktartomány vágópontjai

- a) Felszíni penetrációs ellenállás, vágópont 22mm,
- b) A felszíni 1:5-ös vizes kivonat pH értéke, vágópont pH8,2,
- c) A felszíni réteg sótartalma, vágópont 1,3%,
- d) Nátrium ion koncentráció a 40-45 cm-es mélységben, vágópont $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

A magasság olyan változó volt, amelyik értéktartománya átfedte mindkét kategóriát, kivéve a két legmagasabb pontot. A penetrációs ellenállás (4.5.2.4.a ábra) és a felszíni sótartalom (4.5.2.4.b ábra) esetében az egyik értéktartomány a másikba volt ágyazva. A PHRAGMITES kategória penetráció értéktartománya teljesen az IMPERATA kategóriáén belül volt. Az IMPERATA kategória felszíni sótartalom értéktartománya a teljes PHRAGMITES értéktartománynak csupán szűk tartománya volt. A legmélyebb réteg klorid és nátriumkoncentrációja (4.5.2.4.d ábra) két csúcsú eloszlást mutatott, és ezek esetén tapasztaltuk a legpontosabb egyezést a növényzeti kategóriák és az azokhoz rendelt értéktartományok között.

A 4.5.2.4.táblázat a növényzeti kategóriák és a talajváltozók értéktartományai közötti megfelelést mutatja. Ha egy változó értéke a növényzeti kategóriának megfelelő értéktartományba esik, akkor ez a jó egyezés. A 4.5.2.4.a táblázat mutatja, hogy a terepen PHRAGMITES kategóriának besorolt esetek közül 55-ben a magasságértékek meghaladták a 260 mm-es vágópont értékét, vagyis az ennek a növényzeti kategóriának megfelelő ("PHRAGMITES") tartományba estek. 20 esetben a vágópontnál kisebbek voltak a magasságértékek, vagyis ezek az "IMPERATA" tartományba estek. A terepen IMPERATA kategóriába osztott esetek közül 44 esetben a magasság 260 mm-nél kisebb volt, és ez megfelelt az "IMPERATA" tartománynak, és 10 esetben haladta meg a vágópont értékét,

4.5.2.4.táblázat. Megfelelés a növényzeti kategóriák és a talajváltozók elválo értéktartományai között

a. Magasság, vágópont 260 mm

Hozzárendelt értéktartomány	Növényzeti kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
"PHRAGMITES" tartomány	55	10
"IMPERATA" tartomány	20	44

A megfelelés pontossága: 77%

b. Felszíni penetrációs ellenállás, vágópont 22mm

Hozzárendelt értéktartomány	Növényzeti kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
"PHRAGMITES" tartomány	65	22
"IMPERATA" tartomány	10	32

A megfelelés pontossága: 75%

c. A felszíni 1:5-ös vizes kivonat pH értéke, vágópont pH8,2,

Hozzárendelt értéktartomány	Növényzeti kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
"PHRAGMITES" tartomány	42	21
"IMPERATA" tartomány	12	26

A megfelelés pontossága: 67%

d. A felszíni réteg sótartalma, vágópont 1,3%

Hozzárendelt értéktartomány	Növényzeti kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
"PHRAGMITES" tartomány	36	1
"IMPERATA" tartomány	18	46

A megfelelés pontossága: 81%

e. Klorid ion koncentráció a 40-45 cm-es mélységben, vágópont 1,4 cmol_c kg⁻¹

Hozzárendelt értéktartomány	Növényzeti kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
"PHRAGMITES" tartomány	60	5
"IMPERATA" tartomány	15	49

A megfelelés pontossága: 84%

f. Nátrium ion koncentráció a 40-45 cm-es mélységben, vágópont 1,5 cmol_c kg⁻¹

Hozzárendelt értéktartomány	Növényzeti kategória	
	PHRAGMITES	IMPERATA
"PHRAGMITES" tartomány	61	7
"IMPERATA" tartomány	14	47

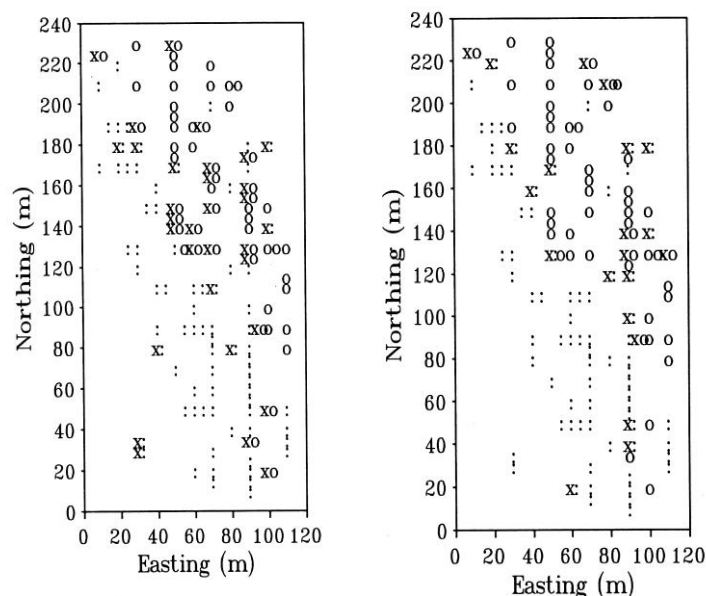
A megfelelés pontossága: 84%

Megjegyzés: mivel a mintavétel során egy esős nap is volt, a felszíni pH és sótartalom esetén az értékelést csökkentett mintakészlettel végeztük.

ezek a rosszul besorolt esetek amelyek a "PHRAGMITES" tartományba kerültek. A megfelelés pontossága ezek szerint $(55+44)/129$, azaz 77% volt.

Azok a változók amelyek erősebb szignifikanciát mutattak a két növényzeti kategória elválasztásában a Mann-Whitney próba alkalmazásakor, és amelyek a diszkrimináló függvénnyel nagyobb korrelációt mutattak (a felszíni réteg sótartalma, a 40-45 cm-es réteg klorid és nátriumion koncentrációja), 80%-nál jobb megfelelést (egybeesést) mutattak. Azok a változók azonban, amelyeknek a Mann-Whitney próbában kisebb volt a szignifikanciája és a diszkrimináló függvénnyel kisebb a korrelációja (magasság, penetrációs ellenállás és felszíni pH), 70-75%-os megfelelést mutattak. A magasságra (77%), penetrációs ellenállásra (75%) és pH-ra vonatkozó (67%) megfeleléseket a 4.5.2.1.b táblázat alapján ki lehet következtetni, mert abban ugyanezen változóknak a kanonikus változóval számított korrelációja sorban 0,73, -0,46 és -0,37 volt. Az egyes növényzeti kategóriákkal való megfelelés pontossága egyezett a talajváltozóknak a kanonikus változóval számított korrelációjával (4.5.2.1.b táblázat). Amikor a 4.5.2.1.b táblázatban a korreláció pozitív volt, a megfelelés jobb volt az IMPERATA kategóriában mint a PHRAGMITES kategóriában. A 4.5.2.4.a táblázatban a magasság esetén a megfelelés a PHRAGMITES kategóriában $55/(20+55)=73\%$ és az IMPERATA kategóriában $44/(44+10)=81\%$ volt. Ezek a pontosságok 63% és 98% voltak a felszíni sótartalomra (4.5.2.4.d táblázat), 80% és 91% a legmélyebb réteg kloridion koncentrációjára (4.5.2.4.e táblázat) és 81 valamint 87% a legmélyebb réteg nátriumion koncentrációjára (4.5.2.4.f táblázat). Ezek a változók a talajváltozók kanonikus változójával pozitív korrelációt mutattak, hasonlóan a diszkriminancia függvénnyel, és nagy átlagértékük a PHRAGMITES kategóriára jellemző. Ugyanakkor ezen változók értéktartományát pontosabban tudjuk az IMPERATA kategórián belül becsülni. Ebből arra lehet következtetni, hogy az IMPERATA kategóriára jellemző növények számára az említett talajváltozók küszöbszerű értéként hatottak, míg a PHRAGMITES kategória növényei jobban tolerálják ezen változó kisebb vagy nagyobb értékeit. A penetrációs ellenállás és a felszíni pH negatív korrelációt mutatott a kanonikus talajváltozóval (4.5.2.1.b táblázat), és az IMPERATA kategóriában ezeknek a változóknak nagyobb volt az átlagértékük, mint a PHRAGMITES kategóriában. A penetrációs ellenállás esetén a megfelelés 87% volt a PHRAGMITES és 59% az IMPERATA kategóriában (4.5.2.4.b táblázat); a felszíni pH esetén 78 % volt a megfelelés a PHRAGMITES és 55% az IMPERATA kategóriában (4.5.2.4.c táblázat). Ezek az utóbbi változók pontosabban voltak elválasztva abban a kategóriában amelyikben az értékük rendszerint kisebb volt. Ez arra utal, hogy a PHRAGMITES kategória jellemző növényeire (4.5.2.2.táblázat) a pH és penetrációs ellenállás mint korlátozó tényező hat, de az IMPERATA kategória növényei jobban tolerálják a talajváltozók értékeit.

A növényzet alapján művelésre alkalmas területeket (foltokat) lehet kijelölni, mert növénytermesztésre a kevésbé sós, IMPERATA kategóriával jellemzett területek alkalmasak. Annak a becslésnek a hibája, hogy két értéktartomány közül melyikbe esik a növényzete alapján besorolt eset (vagy kisebb, vagy nagyobb mint 1,3% sótartalom), 19%. Annak az esélye, hogy az IMPERATA kategóriába sorolt eset sótartalma nagyobb lesz mint a vágópont sótartalma, kisebb mint 1% (4.5.2.4.d táblázat), de a PHRAGMITES kategória alapján történő sótartalom alulbecslés esélye jelentős (27%). A becslés nem egyforma hibájú, hanem kedvez a kisebb sótartalmú helyek előrejelzésének. Ez kedvező lehet művelésre alkalmas területek felkutatásában, ha a vágópont egybeesik a haszonnövények által eltűrt talajsótartalom kritikus értékével. A vágópontok nem esnek egybe ezekkel a határértékekkel, mivel a talaj sótartalmát a 0-5 cm-es rétegre értékeltük, és nem a szántott rétegre (0-20 cm), amint ez a talajsótartalom térképezése esetén Kínában szokásos.



4.5.2.5.ábra. A helyesen besorolt („o” PHRAGMITES és „oo” az IMPERATA kategória) és tévesen besorolt (egy „x” előzi meg) mintavételi helyek a 4.5.2.4.ábra. és 4.5.2.4.táblázat besorolása szerint. a. (baloldalon) Talaj penetrációs ellenállás (mm), b. (jobboldalon) 1:5 talaj:víz arányú vizes kivonatban mért nátrium ion koncentráció a 40-45 cm-es rétegből

A rosszul besorolt blokkok vizsgálata alapján következtetni lehet arra nézve, hogy a rossz besorolást egyes helyekhez, a kategóriák közti határvonalakhoz lehet-e kötni, avagy azok véletlenszerű elhelyezkedésűek-e. A 4.5.2.5.ábrán az egyes blokkok elhelyezkedését és besorolását mutatjuk be. Egy nagy, rosszul besorolt PHRAGMITES folt figyelhető meg a felszíni pH és sótartalom esetén is kelet 30, észak 190 környékén. A legtöbb rosszul besorolt folt a kategóriák közötti határvonalak mellett volt (4.5.2.5.ábra), ami azt mutatja, hogy a talajtulajdonságok és növényzet térbeli változása másként nyilvánul meg..

4.5.2.5.táblázat. A rossz besorolások előfordulásának korrelációs mátrixa (n=128)

Változók	Penetráció	pH_0-5	Sum_0-5	Cl_40-45	Na_40-45
Magasság	0,24*	0,13	0,45**	0,17	0,15
	(-0,36**	-0,33**	0,78**	0,59**	0,58**)
Penetráció		0,21	0,04	0,20	0,09
		(0,34**	-0,36**	-0,42**	-0,34**)
pH_0-5			0,01	0,14	0,09
			(-0,42**	-0,46**	-0,47**)
Sum_0-5				0,51**	0,44**
				(0,85**	0,82**)
Cl_40-45					0,62**
					(0,92**)

Megjegyzések:

1. A változók értékei közötti korrelációs koeficienseket zárójelben tüntettük fel.
2. A felszíni pH és sótartalom esetén a korrelációkat csökkentett adathalmazon számítottuk.
3. * < 0,01, és ** < 0,001 szignifikancia-szintet jelöl.

Annak érdekében, hogy egy talajváltozó együttes vagy független rossz besorolását vizsgáljuk, a 4.5.2.5.táblázatban a rossz besorolások korrelációs mátrixát tüntettük fel. A számítások során egy „rossz besorolási érték”-et használtunk, amely értéke helyes besorolás esetén 0, helytelen esetén 1 volt. Ennek köszönhetően a rossz besorolás korrelációs koefficiense azt mutatja, hogy egy blokkon belül két változó rossz besorolásának milyen a viszonyított egybeesése. Ugyanebben a táblázatban láthatók a változók értékeinek korrelációs koefficiensei, mivel a két, különböző változók között számolt korrelációs koefficiens eltérése megmutatja, hogy van-e összefüggés a rossz besorolás és az adatok közötti kapcsolat között. Amikor egy változó mindkét korrelációs koefficiense (az értékek alapján és a rossz besorolási érték alapján számított is) nagy, akkor a rossz besorolást szabályosnak lehet tekinteni (mint a felszíni sótartalom, a legmélyebb réteg klorid és nátriumion koncentrációja esetén), és azt mutatja, hogy az adatpár rossz besorolásának térbeli korrelációja van. Amikor a változó értéke nagy korrelációt mutat, de a rossz besorolást nem, akkor a rossz besorolást szabálytalannak lehet tekinteni, mint ahogy azt a pH esetén tapasztaltuk. Ezt a változót kevéssé pontosan tudtuk becsülni és a többi változó rossz besorolásával nem mutatott szoros korrelációt.

4.5.2.6.táblázat. A növényzeti kategóriák használata révén rosszul besorolt és pontosan besorolt blokkok száma

Változók	Foltok közötti határvonalon				Foltokon belül			
	P*	P	I*	I	P*	P	I*	I
Penetráció	5	23	15	2	5	42	7	30
Na_40-45	6	14	4	9	8	47	3	38

Megjegyzés:

P* és P, I* és I a terepen a PHRAGMITES (P) vagy az IMPERATA (I) kategóriába sorolt blokkok, amelyek becsült értéke az adott változót tekintve az idetartozó tartományba esik (nincs csillag) vagy azon kívül esik (*-al lett megjelölve).

A rosszul besorolt blokkok térbeli elhelyezkedésének értelmezésére két, eltérő pontossággal becsült változót részletesebben megvizsgáltunk. A penetrációs ellenállás mutatta a második legkisebb becslési pontosságot, míg a 40-45 cm-es réteg a legnagyobb pontosságot. A rossz besorolás hibája a növényzeti foltok közötti határvonalon volt nagyobb, amint a 4.5.2.6.táblázat mutatja. A hibát úgy fejeztük ki, hogy a rosszul és helyesen besorolt blokkok számának arányát összehasonlítottuk a növényzeti foltok határán és a foltokon belül. A foltok határán ez az arány jóval nagyobb, mint a foltokon belül. A penetrációs ellenállás esetén az IMPERATA kategória határvonalán a rosszul besorolt blokkok száma rendkívül nagy, és azt mutatja, hogy a két növényzeti kategória között átmeneti zóna van, amelyen belül a penetrációs ellenállás értéke nincs szoros összefüggésben a növényzettel. Hasonló átmeneti zónát nem találtunk a 40-45 cm-es mélységben meghatározott nátriumion koncentráció esetén.

4.5.3. A talaj sótartalmának becslése a növényi fajösszetétel alapján egy kubai legelőn[#]

A sófelhalmozódás természetes folyamat és számos növény képes a nagy talaj-sótartalommal együtt élni. Egy adott helyen a sótartalom által okozott stresszt az élőhelyen belüli talajvízháztartás-különbségek módosítják, mivel a szikes talajokon a talaj sótartalmát

[#] A fejezetet a Tóth et al. (1997) publikáció alapján írtam.

leginkább befolyásoló tényező a vízforgalom, mert a sókat is ez szállítja a legtöbb esetben. Ennek következtében egy változatos felszínű szikes területen belül egy lejtő esetén a mélyebb szakaszon nagyobb a talajsótartalom és több talajnedvesség található mint a lejtő magasabb szakaszain. Az abiotikus tényezők efféle mintázata jelentős következményekkel jár a szikes gyepeken élő növények előfordulására, és természetes viszonyok között adott sótartalom szinteknél a növényzet fajösszetétele valószínűségi viszonyban van a talajtulajdonságokkal, főleg a sótartalommal. Következésképpen számos próbálkozás történt, hogy a növényzetet a talajtulajdonságok becslésére használják szikes területeken (Kearney et al. 1914, Shantz és Piemeisel 1924, Magyar 1928, Ballenegger 1929 és Bodrogyó 1965).

Kuba jelenlegi szikes szavannáin a fűvek előfordulását legjobban a legelhető fűvek korábbi külföldről történő bevitelére határozza meg. Kuba gyarmatosítása után a spanyolok legfontosabb gazdasági tevékenysége a szarvasmarhatartás volt (Marrero, 1951), és a korábban kiterjedtebb erdőségek jó részét kiirtották. A szavannák feltételezett eredeti kiterjedése 5-26%-ról háromszorosára nőtt (Borhidi és Herrera 1977) a századok folyamán. Mivel a spanyolok érkezése előtt nem voltak nagyméretű legelő állatok Kubában, az újonnan kialakuló legeléssel kapcsolatos stresszt az őshonos fűvek nem voltak képesek elviselni. A hústermelők új pázsitfűfajokat hoztak be annak érdekében, hogy a legelt fű mennyisége és minősége javuljon, és ennek következtében a gyepek fajösszetétele megváltozott. Jelenleg a szikes (főként sós) gyepeket sótűrő behozott és őshonos fűvek borítják, amelyek részben tengerparti eredetűek és a legelési stresszre nem érzékenyek. Mindeztől nem történt kísérlet arra, hogy a kubai legelők sótartalmát a növényzet alapján megbecsüljék. A növények indikáló képességét csupán minőségi értelemben használták, nem pedig számszerűen. A célunk az volt, hogy egy szikes legelő növényzetét leírjuk és kipróbáljunk egyszerű becslő eljárásokat a talaj sótartalmának becslésére. A növényzet alapján készített térkép pontossága ugyanis megfelelő lehet olyan egyszerű kezelési tervek készítésénél mint a legelő fokozott fásítása annak érdekében, hogy az erős nap elől az állatok a déli időszakban elrejtőzhessenek (4.5.3.1. ábra).^{##}



4.5.3.1. ábra. A déli időszakban a trópusi legelőn a szarvasmarhák az árnyékba húzódnak, emiatt szükséges delelőfák ültetése

^{##} A munka fázisai

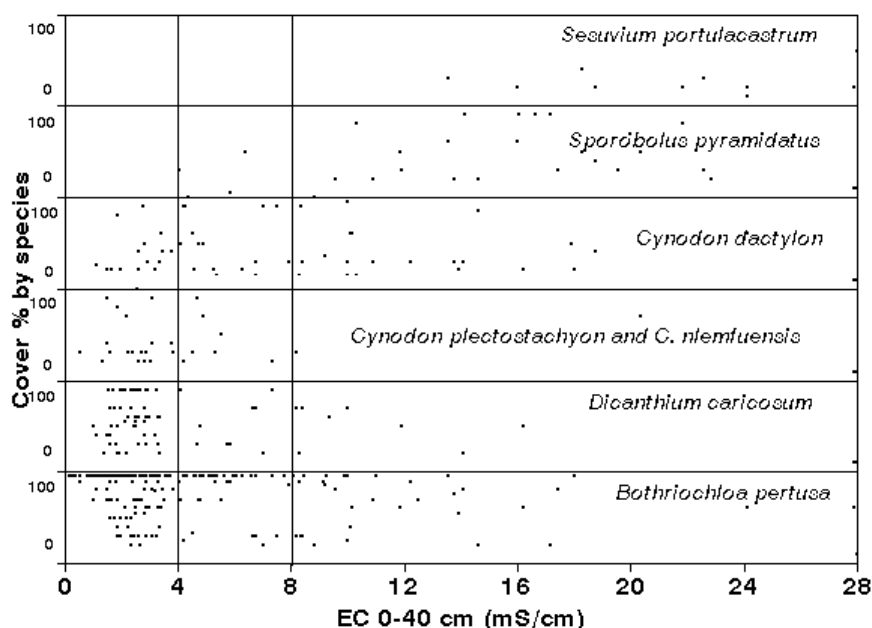
-Előkészítés

- a helyszín növényzetének értékelése
- mintavételi terület kijelölés
- mintavételi terv elkészítés
- mintavétel

-Elemzés

- laboratóriumi elemzések
- statisztikai elemzések
- a növények jelenlétének florisztikai értékelése
- a növények ökológiai helyzetének és származásának értékelése

A növényfajok alatti talajminták elektromos vezetőképesség értéktartománya



4.5.3.2. ábra. A kvadrátok talajának a 0-40 cm-es mélységéből vett mintákból készített telítési kivonatban meghatározott elektromos vezetőképesség (vízszintes tengely) és a legfontosabb növényfajok százalékos borítása (függőleges tengely) közötti összefüggés a Richards (1954) által elkülönített, különböző sótűrési (EC_e) tartományokban. A nulla borítások nem lettek feltüntetve.

Kubában a szikes talajok jelentősen korlátozzák a növénytermesztést (Fekete, 1974). A mintaterület talaja (Francisco talajsorozat (Bennett és Allison, 1962 és Klimes-Szmik és Szabényi, 1975): vörösbarna ferszallított talaj karbonátos üledéken) a szikes trópusi talajok jellegzetes képviselője (Fekete, 1988).

A 4.5.3.2. ábra mutatja a vizsgált legelőn a leggyakoribb növényfajok előfordulásához köthető talaj-elektromos vezetőképesség tartományokat (<4 mS/cm = „Csak a sóérzékeny növények károsodnak”, $4-8$ mS/cm = „Legtöbb növény károsodik”, és >8 mS/cm = „Csak a sótűrő növények nem károsodnak”). Ezek egyértelműen megfeleltethetők a talaj sótartalmának (Richards, 1954), ezért megnevezésükre a „sótartalom kategória” kifejezést használjuk.

Csupán a vetett *Cynodon plectostachyon* és *C. nlemfuensis* fajok korlátozódtak a kis sótartalmú talajokra. Ezzel szemben a *Sesuvium portulacastrum* és *Sporobolus pyramidatus* fajok nem fordultak elő kis sótartalmú kvadrátokban, ezek a fajok tipikusan a legnagyobb sótartalmú kvadrátokban kerültek elő. A Jiguaní folyó melletti rétek irányában az átmeneti lejtős terepen ezek a fajok kis növényi borítású foltokban fordultak elő, tipikusan a felszíni lehordás jeleivel együtt. Az ábrán szereplő 3 behozott, de nem vetett növényfaj (*Cynodon dactylon*, *Dicanthium caricosum* és *Bothriochloa pertusa*) a kis és közbülső sótartalmakat elviseli. Az egyes EC_e osztályhoz tartozó átlagos növényi borítások és magasságértékeket a 4.5.3.1. táblázat mutatja be.

4.5.3.1. Táblázat. A legfontosabb növényfajok átlagos borításértéke, magassága és annak szórása (StD) az egyes sótartalom kategóriákban

Sótartalom kategória (mS/cm)	<4		4-8		>8	
	Átlag	StD	Átlag	StD	Átlag	StD
Magasság (m)	81,8	2,2	80,2	2,1	77,6	2,1
Borítás %						
<i>Bothriochloa pertusa</i>	65,6	38,1	65,1	39,6	31,4	36,8
<i>Dicanthium caricosum</i>	23,2	34,9	7,8	20,4	5,9	16,1
<i>Cynodon dactylon</i>	3,8	13,9	16,6	30,0	14,5	26,0
<i>Chloris barbata</i>	0,3	3,3	0,1	0,8	1,6	3,9
<i>Sporobolus pyramidatus</i>	0,1	1,6	0,9	6,1	15,9	26,7
<i>Paspalum distachyon</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	5,6
<i>Spilanthus urens</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	7,2
<i>Desmanthus virgatus</i>	0,8	2,7	2,2	4,8	0,3	1,6
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	0,0	0,0	0,0	0,2	2,9	8,6
<i>Trianthema portulacastrum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	5,0

Csupán négy növényfaj átlagos borítása haladta meg a 10%-ot. A *Bothriochloa pertusa* és *Dicanthium caricosum* hasonlóan viselkedett, növekvő sótartalommal borításuk csökkent. A *Bothriochloa pertusa* borítása sokkal nagyobb volt mint a *Dicanthium caricosum* fajé. A jó sőtűrésű *Sesuvium portulacastrum*, *Trianthema portulacastrum*, *Sporobolus pyramidatus* és *Chloris barbata* fajok legnagyobb borításukat a legsósabb kategóriában érték el. A 4.5.3.1. táblázatban bemutatott összes többi növényfaj az átmeneti sőtartalmú kategóriában érte el legnagyobb borítását.

Diszkriminancia-analízis a talajsótartalom becslésére a növényi fajborítás alapján

A diszkriminancia-analízisben (DA) a talaj EC_e kategóriáját a magasság és a növényi faj borítások alapján becsültük. A 4.5.3.2. táblázat mutatja az egyes EC_e kategóriák klasszifikációs mátrixát. A helyes besorolásokat a bal felső-jobb alsó átlóban elhelyezkedő találatok adják. A 151 kevésbé szikes kvadrát közül 120 esetében határozták meg helyesen a diszkriminancia egyenletek a magasság és növényi fajborítás alapján a talaj sőtartalom-kategóriáját. A 4-8 mS/cm sőtartalmú 43 kvadrát közül 27-et jól sorolt be a DA, míg az 58 db >8 mS/cm sőtartalmú kvadrát közül 38-at sorolt be jól. Így 185/252, azaz 73%-os pontosság adódott. Ez a pontosság jelentősen felülmúlja a véletlenszerű 42%-os pontosságot amit várni lehetne. A becslés pontossága a legkisebb az átmeneti sőtartalmú kategóriára volt (63%) és a legnagyobb a legkevésbé szikes kategóriában (79%), vagyis a sőtartalom szempontjából a szélsőségek jobban becsülhetőnek bizonyultak.

4.5.3.2. táblázat. A diszkriminancia-analízis eredménye a magasság és növényi borítás alapján történő talaj sőtartalom becslésekor

Valós csoport	Esetszám	Becsült csoport		
		<4 mS/cm	4-8 mS/cm	>8 mS/cm
<4 mS/cm	151	120	30	1
4-8 mS/cm	43	14	27	2
>8 mS/cm	58	4	16	38

Összes pontosan becsült eset: 73%

(a homogén eloszlás esetén: 42%;

a homogenitás χ^2 próbastatisztika: 178,9)

Önkényesen elhatárolt növényzeti kategóriák használata a talajsótartalom becslésére

A DA során az egyes növényfajok borítását és a magassági adatokat használtuk a diszkriminancia függvényekben a kvadrátok sótartalom-kategóriájának becslésére. A DA által nyújtott pontosság az elméletileg legjobb, ami elérhető. Ennél a megközelítésnél sokkal egyszerűbb, ha a növényzetet a jelenlévő növényfajok alapján kategóriákba soroljuk, és ezeket használjuk a talaj sótartalom becslésére. Vagyis a munka ezen fázisában a célunk olyan kategóriák kialakítása volt, amelyek a növények sótűrése alapján rendezik el a növényfajokat.

A következő növekvő sótűrésű növényzeti kategóriákat alakítottuk elő:

Bot-Dic = 100% *Bothriochloa pertusa*, vagy 100% *Dicanthium caricosum*, vagy *B. pertusa* és *D. caricosum* > 50% vagy *Cynodon nlemfuensis* > 0 % úgy, hogy (*B. pertusa* + *D. caricosum*) < 50 %

Cynod = *Cynodon dactylon* > 50%

Spo-Ses = *Sporobolus pyramidatus* és *Sesuvium portulacastrum* > 0 %, és az összes többi eset

A talajsótartalom-kategóriák és az önkényes növényzeti kategóriák közötti megfeleltetést a 4.5.3.3.táblázat mutatja.

A táblázat összeállításakor feltételeztük, hogy a legkisebb talajsótartalmú kategória azzal a növényzeti kategóriával esik egybe, amelyik nem tartalmaz sótűrő növényeket (**Bot-Dic**), az átmeneti sótartalmú kategória a **Cynod** növényzeti kategóriával, és a legnagyobb sótartalmú kategóriával pedig a sótűrő növények kategóriája (**Spo-Ses**). Ezáltal a cönológiai kvadrátok egyszerű kategorizálásával feltevések tehetők a talaj sótartalmával kapcsolatban. A kapott becslési pontosság nagyobb, mint amit a 4.5.3.2.táblázat mutat be (76% a korábbi 73%-al szemben), de a megfelelő homogén mátrix pontossága is nagyobb (51% a korábbi 47%-al szemben) és a homogenitás χ^2 próbastatisztika értéke kisebb (148,2 a korábbi 178,9-el szemben). Annak ellenére, hogy összességében az önkényesen elhatárolt kategóriák kisebb pontossággal becsülték a talajsótartalom kategóriáját, megengedik egy gyors becslés végrehajtását. A kisebb sótartalom becslése jelentősen pontosabb volt (97%) mint a nagyobb sótartalomé (67%), és a legkevésbé pontos a közbülső sótartalom becslése volt. 17 kvadrát esetén a növényzeti kategória 2 osztállyal odébb sorolta be a talajt, vagyis a <4 mS/cm kategória helyett a >8 mS/cm kategóriába (4.5.3.2.táblázat). A DA esetén csupán 5 ennyire téves besorolás volt.

4.5.3.3.táblázat. Önkényes növényzeti kategóriák használata a kvadrátok három sótartalom kategóriába történő besorolására

Talaj sótartalom	Esetszám	Növényzeti kategória		
		Bot-Dic	Cynod	Spo-Ses
<4 mS/cm	151	146	3	2
4-8 mS/cm	43	35	6	2
>8 mS/cm	58	15	4	39

Összes pontosan becsült eset: 76%

(a homogén eloszlás esetén: 51%;

a homogenitás χ^2 próbastatisztika: 148,2)

A többváltozós statisztikai próbák, mint a diszkriminancia-analízis alkalmasak a sótartalom becslésére, ha a próba feltételei teljesülnek. A legfontosabb feltétel az, hogy a minták egy többváltozós normál eloszlású populációt reprezentáljanak. A botanikai adatok természeténél fogva ez a feltétel ritkán teljesül. Ugyanakkor ezek a próbák meglehetősen robusztusak a feltételek kisebb sérülésével szemben, és számos alternatív eljárás van a becslés pontosságának kifejezésére, azaz az illesztés folyamata elválasztható a statisztikai szignifikancia próbáktól.

Mégis jobb ha olyan módszereket használnak, amelyeknek nincs feltétele a változók természetével kapcsolatban. A növényzeti típusok jelenlétén alapuló kereszttáblázat alkalmazása ilyen módszer, és amennyiben a növényzeti kategóriák pontosan lettek definiálva, annak használata egyértelmű. Munkánk során a kereszttáblázat által nyújtott pontosság gyakorlatilag megegyezett azzal, amit a DA alkalmazása során kaptunk. A DA azonban kisebb átlagos eltérést nyújtott a hibásan besorolt esetekre. A kereszttáblázat alkalmazása azért is egyszerű mert egy kategóriába tette azt a két növényfajt (*Bothriochloa pertusa* és *Dicanthium caricosum*), amelyek terepi elkülönítése virágzat nélkül igen nehézkes. A képzett három kategória igen könnyen elkülöníthető a terepen.

A növényzetnek az általunk megmutatott indikáló képessége gazdaságos gyors lehetőséget nyújt a legelők talajsótartalmának becslésére, és a kapott térképek elegendően pontosak ahhoz, hogy a legelők kezelésével kapcsolatos döntéseket azokon alapozzák. Az eljárás valós helyzetben történő alkalmazása során a becslő algoritmust úgy kell meghatározni, hogy a vizsgált kvadrátok kellően reprezentatívak legyenek a vizsgált terület térbeli kiterjedése és a növényi előfordulások szempontjából is.

4.5.4. Indiai öntözött talajok szikesedési állapotának vizsgálata terepi reflektancia méréssel[#]

Mivel a csapadék mennyisége kicsi és nincs megfelelő minőségű folyami víz, Radzsaszthán nyugati részén öntözésre felszín alatti vizeket használnak. Ezeknek a vizeknek gyakran nagy a maradék nátriumkarbonát-egyenértékük (RSC, un. számított szóda-egyenérték ld. Filep, 1999b). A nagy RSC értékű vizeknek öntözésre való alkalmazása a talajban a nátriumosság (=sodicity) kifejlődését okozza, amely következménye a talajrészecskék szélsőséges diszperziója. Többszöri öntözés után a diszpergálódott szemcsék a felszínen leülepedve kemény rögöket és felszíni kérget alkotnak. Ennek a következménye az öntözővíz csökkent beszívargása és az, hogy a termesztéshez megfelelő talajállapot elérése a rendelkezésre álló művelő eszközökkel (szarvasmarha által vontatott eke) szinte lehetetlen, mert nagy kemény rögök maradnak a felszínen. Az öntözővíz ilyen körülmények között nem jut el a haszonnövények gyökeréig, hanem elpárolog a talaj felszínéről. Ezt jelzi, hogy a felszín penetrációs ellenállása és törési modulusa is nagyobb mint a nem nátriumos talajé, vagyis a nátriumos talaj felszíne tömörödött (Tóth, 1998).

A talajok felszíni reflektancia értéke számos tényezővel, kémiai és fizikai talajtulajdonsággal mutat összefüggést, de a talajfelszín aktuális állapotával is (Baumgardner et al., 1985; Post et al., 1994). Korábbi vizsgálatok (Kalra és Joshi, 1994, 1996; Csillag et al., 1993) megmutatták, hogy a nátriumos és normális (nem nátriumos) talaj reflektanciája különbözik. A nagy hidrogén-karbonát-, vagy karbonátion-tartalmú vízzel öntözött talajokban a nagy pH érték mellett erős a tömörödöttség, és a reflektancia mintegy 60%-kal nagyobb mint a normális talajok esetén. Korábbi vizsgálataink alapján (Tóth et al.,

[#] A fejezetet Joshi et al. (2002) alapján írtam.

1998a) a reflektancia-értékek kialakulását leginkább a pH és a talaj elektromos vezetőképességének értéke befolyásolja. Az öntözés következtében másodlagosan nátriumos talajok reflektancia tulajdonságait jelentősen befolyásolja a sima felszíni réteg keletkezése, amelyet a diszpergált részecskék alkotnak. A kis beszívargási sebesség következtében ez a folyamat erősödik, és az eredmény egy fényes talajfelszín.

Az öntözött talajok nátriumosságának ismerete kiemelkedő jelentőségű a javításuk megtervezésekor (Joshi és Dhir, 1994). Ha sikerül felfedni egy összefüggést a felszíni reflektancia, a talaj nátriumossága és a felszíni kéreg erőssége között, akkor távérzékelés segítségével le lehet határolni a nagy RSC által károsan befolyásolt öntözött parcellákat, és a talajjavítást ennek megfelelően tervezhetjük (Tóth et al., 1998b, 2000).

A vizsgálatunk célja a sós vízzel öntözött talajok esetén a talajtulajdonságok, valamint a felszíni kéreg erőssége és a spektrális reflektancia közötti összefüggés leírása volt.^{##}

Vizsgálati terület

A vizsgálati terület India nyugati részében, Radzsaszthán száraz vidékén fekszik (N 24° 37' 00"-tól 30° 10' 48"-ig és E 69° 29' 00" -tól 76° 05' 33"-ig). A körzetben keletről (500 mm) nyugat felé (100 mm) haladva fokozatosan csökken az évi csapadékmennyiség. Az eső előfordulása a június és szeptember közötti monszun időszakra jellemző. Az eső nagy idő- és területi változatosságot mutat (40-60% CV). Május-júniusban az átlagos napi hőmérséklet 40 (kelet) és 42 (nyugat) °C között változik, 48-50 °C érték sem ritka. A minimális napi léghőmérséklet 6-10 °C decemberben és januárban. Az évi potenciális evapotranspiráció 1600-2000 mm.

A homokos és alluviális területen a felszín alatti víz 100-150 m mélyen van, míg a sziklás altalajú területeken a víz hasadékokban, üregekben található. A felszín alatti víz gyakran sós/nátriumos (=saline/sodic) és nem alkalmas ivásra és öntözésre. Annak ellenére, hogy a megfelelő mennyiségű víz nem elegendő, a száraz vidéken is nagy a nép- és haszonállat sűrűség. A lakosok különleges eljárásokat dolgoztak ki a csapadékvíz összegyűjtésére és tárolására. A mezőgazdasági tevékenység főként állattartás és a hozzá kapcsolódó takarmány- és önellátó élelmiszer termelés és takarmánytermesztés.

Vizsgált parcellák

A vizsgálatokat a száraz Radzsaszthán keleti részében Sathin (N 26° 27' és 73° 35') község határában végeztük négy gazdálkodó földjén.

Mangi Lal (1.helyszín), és Hari Prasad (2.helyszín) területe homokos vályog - vályog és Sita Ram (3.helyszín) valamint Pema Ram (4.helyszín) földje agyagos vályog, a talaj felszíne alatt 50-70 cm-ben puha CaCO₃-os konkréciós szint van. A talaj besorolása finomszövetű vályogos (fine loamy) Typic Haplocambids (Key to Soil Taxonomy, 1994).

Ezek a földek több mint tíz éve nagy sótartalmú, illetve RSC-ű vizet (EC 4,0 – 10,1 mS/cm, SAR 21,8 - 45 és RSC 0-19 mg/l) használnak öntözésre, és némelyik

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

-mintaterületek kiválasztása

-helyszíni vizsgálatok

-laboratóriumi elemzés

-Értékelés

-statisztikai számítások

parcellát a sótartalom és nátriumosság csökkentése érdekében már gipszezték. A gipszszét 1997-ben a monszun előtt végezték, az egyes gazdaságokban 0,5 ha méretű parcellákon a következő kezeléseket alkalmazták:

G0: kontroll, gipszszét nélkül, G1: a Schoonover módszerrel (Richards, 1954) a talajra meghatározott gipszadag (GR) fele a talaj felső 20 cm-es rétegére + az öntözővíz 5 mgé/l mennyiségén felüli RSC ($RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ mgé/l-ben)-jéhez szükséges gipszmennyiség, G2: a teljes gipszadag a talajra + az öntözővíz 5 mgé/l mennyiségén felüli RSC-jéhez szükséges gipszmennyiség.

A különböző helyszíneken eltérés van a termesztési feltételekben, a lényeges eltérések a következők voltak.

1.helyszín: Szántás után búzát vetettek és 50 mm vízzel öntöztek a terepi spektrális reflektancia mérés és talajmintavétel előtt. A talaj felszíne kopár, sima volt, helyenként puha rögökkel.

2.helyszín: Repcét vetettek és hét nappal a terepi spektrális reflektancia mérés és talajmintavétel előtt öntöztek. A felszín száraz volt, és kérges. Egyes rögök kiálltak a felszínből. A felszín alatt a talaj nedves volt. A repcenövények éppen kelésben voltak. Miután a penetrométer hengere átütötte a felszíni száraz réteget, könnyedén becsúszott az alatta lévő puha nedves talajba.

3.helyszín: 30 nappal a terepi spektrális reflektancia mérés és talajmintavétel előtt szántottak. A felszín sima volt és nagy száraz rögök álltak ki belőle. A megelőző repcenövényből helyenként száraz szármaradványok és kelésben lévő gyomokat lehetett látni. A penetrációs ellenállás és reflektancia meghatározását friss sima felszínen és a kiálló rögök felszínén végeztük.

4.helyszín: Hét nappal a terepi spektrális reflektancia mérés és talajmintavétel előtt szántottak, de a talaj nagy nátriumossága miatt nagy száraz rögök és lazán elrendezett aggregátumok keveréke alkotta a felszínt. A penetrációs ellenállás értéke nagy volt a rögök felszínén annyira, hogy a hengert nem lehetett benyomni a rögökbe. Annak érdekében, hogy ezt az értékelés során kifejezzük, a penetrométeren leolvasható maximális értéket 10-el szoroztuk.

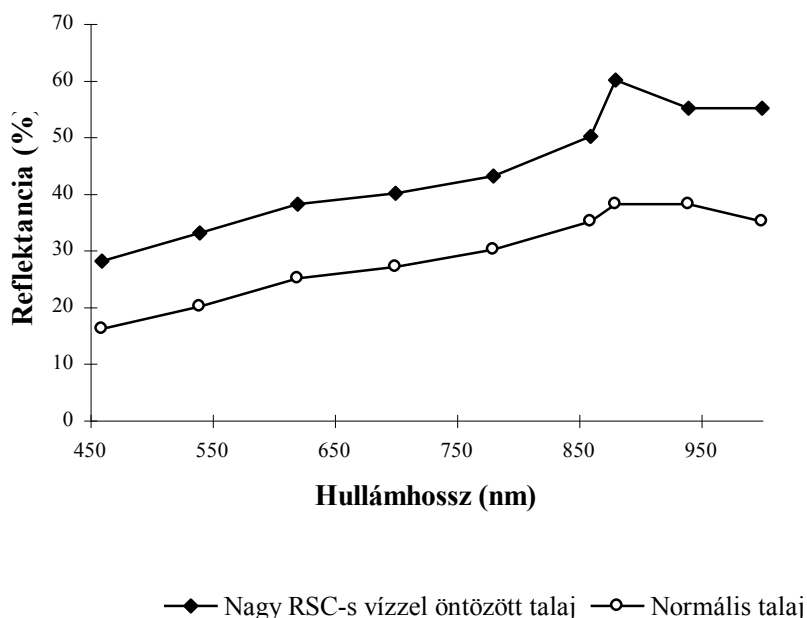
Mintavételi terv

Négy helyszínt mintáztunk meg, mindegyiken belül három-három gipszszét kezelést, két ismétléssel. Az ismétlések alacsony számát a korábban elvégzett elemzések során (Joshi és Dhir, 1991) bebizonyított kis fokú heterogenitás indokolta. Összesen 4 gazdaság x 3 kezelés x 2 ismétlés volt. A mintavételeket és terepi méréseket néhány nap alatt végeztük 1997 novemberében. A területeken a kutak az egyik sarokban helyezkednek el, emiatt a kúthoz közelebbi területek több öntözővizet kapnak mint a távolabbiak, és ennek következtében a kutak közelében a talaj tovább marad nedves, ami segít a sók kimosásának, kisebb sótartalom és nátriumosság értékek, valamint kisebb reflektancia-értékek előfordulásának.

A spektrális reflektancia mérése

A reflektanciát Hindhivac terepi Spectro-Radiometer 101 készülékkel mértük amint azt Kalra és Joshi (1994) leírta. A készülék optikája f/3 Newton teleszkóp, 10° látószög, a hullámhossz 400-tól 1000 nm-ig változtatható. A készüléket kézben tartva mértünk, mintegy 70-80°-os szögben tartva, a készülék teteje kb. 1,3 m magasságban volt. A mért reflektancia értékeket BaSO₄ összehasonlító lapon mért értékkel standardizáltuk, és a mért reflektanciát ahhoz viszonyítva százalékosan fejeztük ki. A korábbi tapasztalatoknak

megfelelően (4.5.4.1.ábra) 4 sávot jelöltünk ki, kettőt a látható tartományban 460 nm (kék), 620 nm (narancssárga) és két másikat az infravörös spektrális tartományban 800 és 1000 nm-nél. Mindegyik parcellán 2 ismételtsben mértünk, mivel az egyes ismételések közötti különbség igen csekély volt.



4.5.4.1.ábra. Egy nagy RSC értékű vízzel öntözött és nem szikesítő vízzel öntözött („normális”) talaj reflektancia görbéje

A penetrációs ellenállás mérése

CL-700 típusú zsebpenetrométert (Soil Test Inc., Chicago, USA) használtunk. A készülék talajba nyomható része egy 6 mm hosszú henger, amin a kalibrálási vonal is 6mm-es. A mért érték kg/cm^2 szabad kompressziós felszíni szilárdság egységben olvasható le, amit a következőkben penetrációs ellenállásnak nevezünk. A mérés során előfordultak szélsőséges értékek, mint amikor a „vajpuhaságú” talajfelszínbe a készülék hengere kis erő alkalmazása mellett is becsúszott. Ezzel szemben a 4.helyszínen minden mérés esetében maximális értéket ért el a penetrációs ellenállás. Itt azonban annak ellenére, hogy a maximálisan leolvasható 46 kg/cm^2 értéket mértük, a felszíni kérgen nem haladt át a készülék mérőhengere. Annak érdekében, hogy a nagyon kis értékeket elkülönítsük a többtől, azokat 10-zel osztottuk. Ily módon a frissen öntözött és nem frissen öntözött talajokra teljesen elváló értéktartományokat kaptunk. A penetrációs ellenállás mérése során minden parcellán 20 ismételést alkalmaztunk.

Talajmintavétel

0-5, 5-10 és 10-30 cm-es mélységekben vettünk két ismételtsben mintát a talaj nedvességtartalmának meghatározásához és kémiai elemzéshez. A talaj színét nedves állapotban határoztuk meg a Munsell talajszín táblázat 10YR lapján (Munsell Soil Colour Charts, 1954). A talaj fizikai féleségét morzsolgatással határoztuk meg. A statisztikai elemzéshez a fizikai féleséget a következő növekvő átlagos szemcseméretű, numerikusan

elkülönített osztályokba osztottuk: agyagos vályog - 1, homokos agyagos vályog – 2, vályog – 3, homokos vályog – 4, durva homokos vályog – 5 és vályogos homok – 6. A talaj EC és pH értékét 1:2.5 arányú talaj: víz szuszpenzióban határoztuk meg. A CaCO_3 tartalmat kalciméterrel, a talajnedvességtartalmat szárítószekrényes módszerrel határoztuk meg (Richards, 1954).

Statisztikai elemzés

A talajtulajdonságok csoportonkénti különbözőségét varianciaanalízissel elemeztük három tényező szerint: a) a négy helyszín, mivel az eltérő talajvízminőség és termelési technika miatt különböző talaj sótartalom/nátriumosság szintet képviselnek; b) a vizsgálati pontoknak az öntözőkúttól vett távolsága; és c) a három gipszezéses kezelés.

A spektrális reflektancia és a talajtulajdonságok közötti összefüggést többváltozós lineáris regresszióanalízissel elemeztük a változók lépcsőzetes beléptetése mellett. Főkomponens-elemzést használtunk annak érdekében, hogy a számos, egymással összefüggő változó közötti összefüggést kevés tényező segítségével feltárjuk. Az első komponens felelt meg a megfigyelt változók azon kombinációjának, amelyik az adatállomány varianciájának legnagyobb részét képviselte, ennél kevesebbet reprezentált a második, majd harmadik komponens.

A négy helyszín eltérő gipszadagot kapott parcelláiban gyűjtött talajminták elemzése alapján a kontrollparcellákban a pH értéke nagyobb volt mint a gipszezett parcellákban (4.5.4.1.táblázat). A CaCO_3 -tartalom az 1.helyszínen nagyobb (5,8-15,1 %) volt, mint a többi helyszínen (0,1- 3,8 %, 4.5.4.1.táblázat). Az 1.helyszínen a talajnedvesség-tartalom a kontrollparcellákban nagyobb volt (14,2-21,1 %), mint a gipszezettekben (13,3-19,6 %). A másik három helyszínen a száraz (1,4-10,7 %) felszín alatt nedvesebb (9,9-15,7 %) talaj volt.

Az öntözővizekben az EC értéke 4 és 10,1 mS/cm, a SAR értéke 22 és 48, helyesbített SAR (Adjusted SAR, I Filep, 1999b) értéke 46 és 98, RSC értéke nulla és 18,9 mgeé/l között változott (4.5.4.2.táblázat). Az Eaton (1950) által javasolt határértékek alapján 1,25 mgeé/l RSC értékű víz csupán feltételesen, 2,5 mgeé/l pedig egyáltalán nem alkalmas öntözésre, azaz a vizsgált öntözővizek igen rossz minőségűek, a legrosszabb az 1.helyszínen.

4.5.4.1.táblázat. A négy vizsgálati helyszín talajainak tulajdonságai

Gipszezés	Mélység (cm)	pH	EC (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	Talaj- nedvesség (%)	Nedvesség egyenérték (%)	Fizikai fésleség	Nedves szín
1.helyszín								
G2	0-5	8,90	2,22	5,80	19,60	18,50	sl	10YR5/3
	5-10	9,16	1,27	6,36	17,10		sl	10YR6/2
	10-30	9,30	1,35	10,23	19,40	31,80	sl	10YR6/2
G1	0-5	8,50	1,91	7,60	13,20	10,30	sl	10YR6/2
	5-10	9,05	0,83	9,20	13,30		sl	10YR6/2
	10-30	9,33	0,27	15,10	15,00	23,20	sl	10YR6/2
G0	0-5	9,80	0,99	6,40	21,10	10,80	sl	10YR6/2
	5-10	9,58	2,43	6,40	17,70		sl	10YR6/2
	10-30	9,48	0,67	5,90	14,20	23,50	sl	10YR6/2
2.helyszín								
G2	0-5	8,43	1,40	0,42	5,90	11,70	sl	10YR5/3
	5-10	8,59	0,56	0,27	9,90		sl	10YR5/3
	10-30	8,48	0,56	0,14	10,60	12,70	sl	10YR5/3
G1	0-5	8,73	0,94	1,38	7,90	12,04	sl	10YR5/3
	5-10	8,78	0,77	1,56	9,90		sl	10YR5/3
	10-30	9,12	0,53	3,68	12,11	14,65	sl	10YR5/3
G0	0-5	8,62	0,86	0,71	9,99	11,14	sl	10YR5/3
	5-10	8,77	0,71	0,46	12,24		sl	10YR5/3
	10-30	9,05	0,64	1,53	12,92	27,60	sl	10YR5/3
3.helyszín								
G2	0-5	8,70	0,37	1,75	8,50	33,40	cl	10 YR5/2
	5-10	8,80	0,43	1,64	14,50		cl	10 YR5/2
	10-30	8,60	0,76	1,69	13,70	37,00	cl	10 YR5/2
G1	0-5	8,53	0,38	1,05	10,70	19,81	cl	10 YR5/2
	5-10	8,74	0,41	1,29	12,8	21,45	cl	10 YR5/2
	10-30	8,91	0,40	0,70	13,10	23,02	cl	10 YR5/2
G0	0-5	8,85	0,32	1,47	6,70	20,92	cl	10 YR5/2
	5-10	9,05	0,38	2,76	13,40		cl	10 YR5/2
	10-30	9,03	0,47	4,22	14,20	31,10	cl	10 YR5/2
4.helyszín								
G2	0-5	8,87	0,89	1,37	9,9	24,60	cl	10YR5/3
	5-10	9,25	0,76	0,43	6,2		cl	10YR6/2
	10-30	9,16	0,86	0,47	14,9	43,20	cl	10YR6/2
G1	0-5	8,69	0,91	0,10	1,4	26,50	cl	10YR6/2
	5-10	9,07	0,72	0,75	12,3		cl	10YR6/2
	10-30	9,17	0,83	0,45	16,2	43,20	cl	10YR6/2
G0	0-5	8,85	0,50	0,50	2,1	28,50	cl	10YR6/2
	5-10	9,27	0,62	1,28	12,3		cl	10YR6/2
	10-30	9,33	0,68	1,14	16,2	34,80	cl	10YR6/2

4.5.4.2.táblázat. A négy helyszínen öntözésre használt mélységi vizek jellemzői

Tulajdonságok	Helyszín			
	I	II	III	IV
EC (mS/cm)	7,9	7,1	10,1	4,0
Kationok (mgeé/l)				
Na ⁺	79,4	76,1	86,9	43,5
K ⁺	0,1	0,2	0,1	0,1
Ca ²⁺	1,6	2,2	6,0	2,2
Mg ²⁺	4,8	9,2	17,6	5,8
Anionok (mgeé/l)				
Cl ⁻	50,0	65,3	86,5	28,6
CO ₃ ²⁻	3,2	3,3	0,8	2,2
HCO ₃ ⁻	22,1	12,5	2,4	14,2
SO ₄ ²⁻	10,5	6,6	20,9	6,6
SAR	44,6	31,8	25,4	21,8
Adj. SAR	98,1	66,8	48,3	45,8
RSC (mgeé/l)	18,9	4,4	Nulla	8,4

Reflektancia értékek

4.5.4.3.táblázat. Spektrális reflektancia értékek (%) a különböző gipszezést kapott parcellákban

Helyszín	Kezelés	Hullámhossz (nm)			
		460	620	800	1000
1.helyszín	G2	22,7	19,6	24,1	23,2
	G1	22,7	19,6	23,3	23,2
	G0	18,2	13,6	16,1	16,1
2.helyszín	G2	37,5	30,4	42,9	42,1
	G1	37,5	34,5	35,7	42,1
	G0	32,3	32,6	30,9	39,5
3.helyszín	G2	11,1	7,4	18,0	20,5
	G1	22,2	12,9	18,0	15,9
	G0	22,2	11,1	16,0	13,6
4.helyszín	G2	11,1	7,4	18,0	20,5
	G1	11,1	12,9	18,0	15,9
	G0	11,1	11,1	16,0	13,6

G0: kontroll, gipszezés nélkül, G1: a Schoonover módszerrel (Richards, 1954) meghatározott gipszadag fele a talaj felső 20 cm-es rétegére + az öntözővíz 5 mgeé/l mennyiségen felüli RSC-jéhez szükséges gipsz-mennyiség, G2: a teljes gipszadag a talajra + az öntözővíz 5 mgeé/l mennyiségen felüli RSC-jéhez szükséges gipszmennyiség.

A 4.5.4.3.táblázat mutatja be a parcellákban mért spektrális reflektancia értékeket, a statisztikai értékelést pedig az 4.5.4.4.táblázat tartalmazza. A spektrális értékek nagyobbak voltak a 2.helyszínen (32,3 – 42,1 %), kisebbek az 1.helyszínen (18,2 – 23,2%) és még kisebbek a 3. és 4.helyszínen (11,1-20,5 %). 800 nm és 1000 nm hullámhossz értékeknél a mért reflektancia nagyobb volt, mint a 460 nm és 620 nm hullámhossz értéknél mérték. A 4.5.4.4.táblázat tanúsága szerint a gazdálkodás technológiai fázisában és a gipszezésben meglévő különbségek következtében a reflektanciaértékek átlaga szignifikáns eltérést mutatott a csoportok között.

4.5.4.4.táblázat. A vizsgált parcellák átlagos reflektancia értéke és az egyes helyszíneken belül az átlagok eltéréseinek statisztikai szignifikanciája

Helyszín	Gipszezés			Az F szignifikanciája
	G0	G1	G2	
1.helyszín	14,9	19,7	21,7	0,001
2.helyszín	33,6	38,9	32,7	0,560
3.helyszín	30,2	20,5	16,3	0,058
4.helyszín	13,5	14,5	14,6	0,483

G0: kontroll, gipszezés nélkül, G1: a Schoonover módszerrel (Richards, 1954) meghatározott gipszadag fele a talaj felső 20 cm-es rétegére + az öntözővíz 5 mgeé/l mennyiségen felüli RSC-jéhez szükséges gipsz-mennyiség, G2: a teljes gipszadag a talajra + az öntözővíz 5 mgeé/l mennyiségen felüli RSC-jéhez szükséges gipszmennyiség.

Az 1.helyszínen a reflektancia értékek különbségét a talajnedvesség-tartalom okozta. A kút melletti parcellák reflektanciája volt a legkisebb (19,6%) és a kúttól mért távolsággal együtt nő (közbülső 23,9%; legtávolabbi 24,3%). A kúthoz közelebbi parcellák több vizet kapnak, és a gyakoribb és nagyobb adagú öntözés következtében tovább marad nedves a

talaj és nagyobb a kilúgzás (kisebb a sótartalom és nátriumosság), mindez hozzájárul a kisebb reflektancia értékek kialakulásához.

4.5.4.5.táblázat. Az átlagos reflektancia érték variancia analízise

A variancia forrása	SSQ	DF	MS	F	Az F szignifikanciája
Fő hatás	1900,9	7	271,6	18,5	0,000
Helyszín	1677,3	3	559,1	38,1	0,000
Gipszezés	136,9	2	68,5	4,7	0,025
Távolság a kúttól	167,9	2	83,9	5,7	0,013
Megmagyarázott	1900,0	7	271,6	18,5	0,000
Maradék	234,9	16	14,7	-	-
Összes	2135,8	23	92,9	-	-

DF (Szabadságfok)= Megfigyelt esetek száma – Mellékfeltételek száma

F= Kezelés MS / Hiba MS

A teljes varianciaanalízis eredményeként (4.5.4.5.táblázat) megmutatkozott, hogy a reflektancia értékek különbözőségét okozó tényezők fontossági sorrendje a következő volt: helyszín, a kúttól való távolság, gipszezés. Mindegyik tényező elfogadható szignifikancia szintet mutatott. A reflektancia-értékek nagy szóródását alátámasztja, hogy Joshi et al. (1999) a földhasználati technikák következményeképpen szintén nagy különbséget talált a szikes szántóföldek reflektanciájában.

Penetrációs ellenállásértékek

4.5.4.6.táblázat. A vizsgált parcellák átlagos penetrációs ellenállásértéke (kg/cm²) és az egyes helyszínek átlagainak szignifikancia szintje

Helyszín	Gipszezés			Az F szignifikanciája
	G0	G1	G2	
1.helyszín	0,08	0,13	0,05	0,000
2.helyszín	1,71	20,58	4,24	0,000
3.helyszín	29,06	30,88	33,06	0,687
4.helyszín	46,00	46,00	46,00	NEM

G0: kontroll, gipszezés nélkül, G1: a Schoonover módszerrel (Richards, 1954) meghatározott gipszadag fele a talaj felső 20 cm-es rétegére + az öntözővíz 5 mgeé/l mennyiségen felüli RSC-jéhez szükséges gipsz-mennyiség, G2: a teljes gipszadag a talajra + az öntözővíz 5 mgeé/l mennyiségen felüli RSC-jéhez szükséges gipszmennyiség.

A vizsgált parcellák átlagos penetrációs ellenállásértéke (kg/cm²) kicsi volt az 1.helyszínen (0,05 –0,13 kg/cm²) a nedves talajállapot miatt (13-21 %), és a műszert jelentős ellenállás híján könnyen a felszín alá lehetett nyomni (4.5.4.6.táblázat). A felszíni talaj csökkenő talajnedvesség-tartalmával együtt a penetrációs ellenállás értéke növekedett, ennek megfelelően a 3. és 4.helyszín szárazabb talaján (1,4-10,7 %) a penetrációs ellenállás (29,06-46 kg/cm²) nagyobb volt. Ezeken a helyszíneken azonban a gipszezés hatása nem mutatkozott meg. Az átlagos penetrációs ellenállás értéke nem mutatott különbséget attól függően, hogy milyen távolságra volt a parcella a kúttól (legközelebbi 20,2, átmeneti 24,4 és legtávolabbi 19,9 kg/cm²). Annak ellenére, hogy a szerkezetleromlás alapján (Tóth et al., 1995) az 1.helyszínen vártuk a legnagyobb penetrációs ellenállás értékeket, itt mértük a legkisebb értékeket a nedves felszín miatt. A varianciaanalízis a különböző tényezők csoportképző képességét összehasonlítva a következő sorrendet adta (a szignifikancia

szintjük alapján – l 4.5.4.7.táblázat): helyszín, gipszezés, távolság a kúttól, mind elfogadható szignifikancia szinten.

4.5.4.7.táblázat. Az átlagos penetrációs ellenállásértékek (kg/cm^2) varianciaanalízisének eredménye

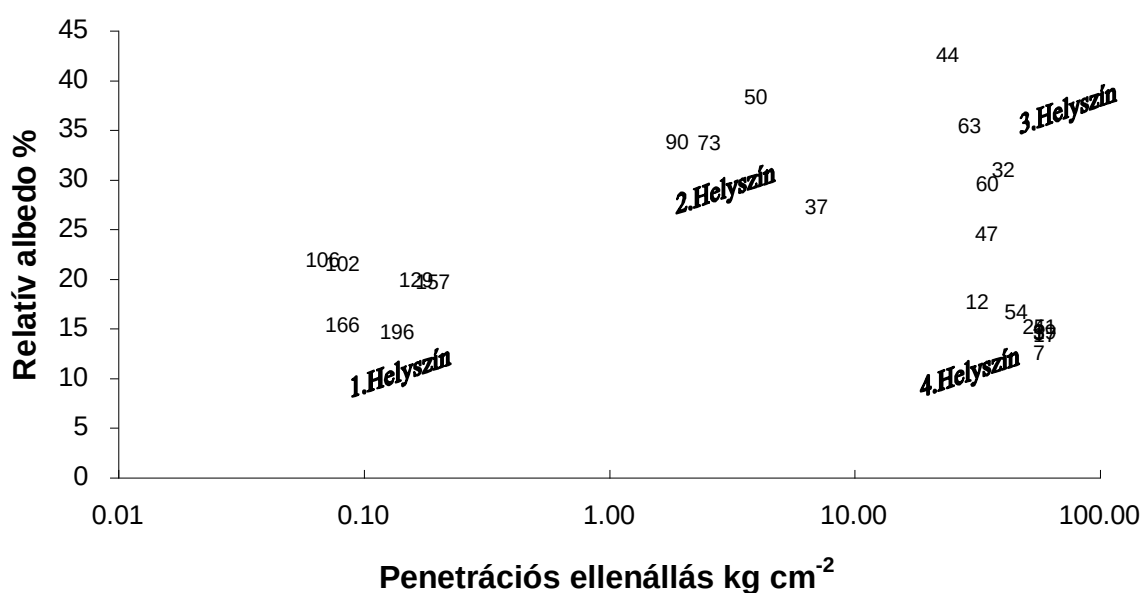
A variancia forrása	SSQ	DF	MS	F	Az F szignifikanciája
Fő hatás	159901,7	7	22843,1	144,0	0,00
Helyszín	157090,5	3	52363,5	330,2	0,00
Gipszezés	790,0	2	395,0	2,4	0,084
Távolság a kúttól	562,6	2	281,3	1,7	0,171
Megmagyarázott	159901,7	7	22843,1	144,0	0,00
Maradék	74845,3	472	158,5	-	-
Összes	234747,1	479	490,1	-	-

DF (Szabadságfok)= Megfigyelt esetek száma - Mellékfeltételek száma

F= Kezelés MS / Hiba MS

Összefüggések a spektrális reflektancia, penetrációs ellenállás és talajtulajdonságok között

A négy helyszín reflektancia és penetrációs ellenállásértékei eltérőek voltak (4.5.4.2.ábra). Ezen az ábrán a Loret és Mathieu (1991) által leírt nedvesség-egyenérték* (moisture equivalent) százalékában fejeztük ki a talajnedvességet, amit viszonyított nedvességnek nevezünk.



4.5.4.2.ábra. Összefüggés a penetrációs ellenállás és az albedo között. Az ábrán belül a számok a viszonyított talajnedvesség % értékeket mutatják.

Az 1.helyszínen a gipszezett parcellákban a vízbeszivárgás és átmosódás jobb lett, de a nem javított parcellában nem javult – azaz az öntözővíz nem szivárgott be, hanem megállt a

* „Az a nedvességtartalom, melyet a talaj a gravitációs erő 1000-szeresével folytatott 40 perces centrifugálással ellenben vissza tud tartani” (Stefanovits, 1975, p. 135)

felszínen -, és ennek következtében ebben a parcellában a talaj túl volt telítve (21,1 %). A túltelített talajban a spektrális reflektancia-érték és a penetrációs ellenállás is kicsi volt. A viszonylag száraz (05,9-9,9 %) felszín miatt a 2.helyszínen nagyobb volt a reflektancia és közbülső értékű a penetrációs ellenállás. A 3.helyszínen a kis talajnedvesség-tartalom (6,7-4,5 %) a 0-10 cm-es rétegben szintén nagyobb spektrális reflektancia értékkel és penetrációs ellenállásértékkel járt együtt, mivel a szántás után az eredeti rögöket felfordították és a megváltoztatott felszín penetrációs ellenállása nagy volt. Az egyenetlen felszíni érdesség miatt a 4.helyszínen a legkisebb talajnedvesség-érték (1,4-9,9 %) esetén a legkisebb spektrális reflektancia értékeket és egyformán nagy penetrációs ellenállásértéket határoztunk meg.

A négy helyszínre többváltozós regresszióanalízissel vizsgáltuk a reflektancia értékek és talajtulajdonságok közötti összefüggést, lépcsőzetes változó beléptetéssel (4.5.4.8.táblázat).

4.5.4.8.táblázat. Többváltozós regresszióelemzés a spektrális reflektancia (Y) és a talajtulajdonságok (X_i) között

Függő változó (Spektrális reflektancia)	Tengely-metszet (a)	Független változók (Talajtulajdonságok)								R^2	Korrig. R^2
		ME X_1	Value X_2	T. nedvesség X_3	Fizikai féleség X_4	pH X_5	Chroma X_6	EC X_7	CaCO ₃ X_8		
Regressziós együttható											
		b	c	d	e	f	g	h	i		
Y	-206,24 (17,22)	-3,55 (0,14)	-10,54 (0,41)	-1,23 (0,06)	2,81 (0,21)	48,92 (2,59)	-37,32 (1,95)	17,98 (0,97)	-3,45 (0,29)	0,999	0,997
Y	15,73 (92,64)	-0,82 (0,34)	-7,70 (3,48)	-0,38 (0,35)	-0,96 (1,34)	6,81 (12,0)	1,51 (2,96)	0,61 (2,96)	-	0,69	0,55
Y	25,03 (78,74)	-0,80 (0,31)	-7,36 (2,99)	-0,35 (0,31)	-0,88 (1,23)	5,41 (9,64)	1,94 (3,80)	-	-	0,69	0,58
Y	21,41 (76,8)	-0,90 (0,22)	-7,64 (2,88)	-0,44 (0,26)	-0,56 (1,04)	6,69 (9,11)	-	-	-	0,68	0,59
Y	77,27 (10,83)	-0,86 (0,21)	-7,66 (2,84)	-0,38 (0,24)	-0,31 (0,36)	-	-	-	-	0,67	0,61
Y	77,20 (10,59)	-0,82 (0,17)	-8,03 (2,53)	-0,38 (0,24)	-	-	-	-	-	0,67	0,62
Y	77,80 (10,96)	-0,68 (0,16)	-9,60 (2,42)	-	-	-	-	-	-	0,63	0,59
Y	36,30 (4,10)	-0,70 (0,20)	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,33

A zárójelben megadott számok a sztenderd hibát mutatják.

NB: Az egyenlet típusa a következő $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5 + gX_6 + hX_7 + iX_8$

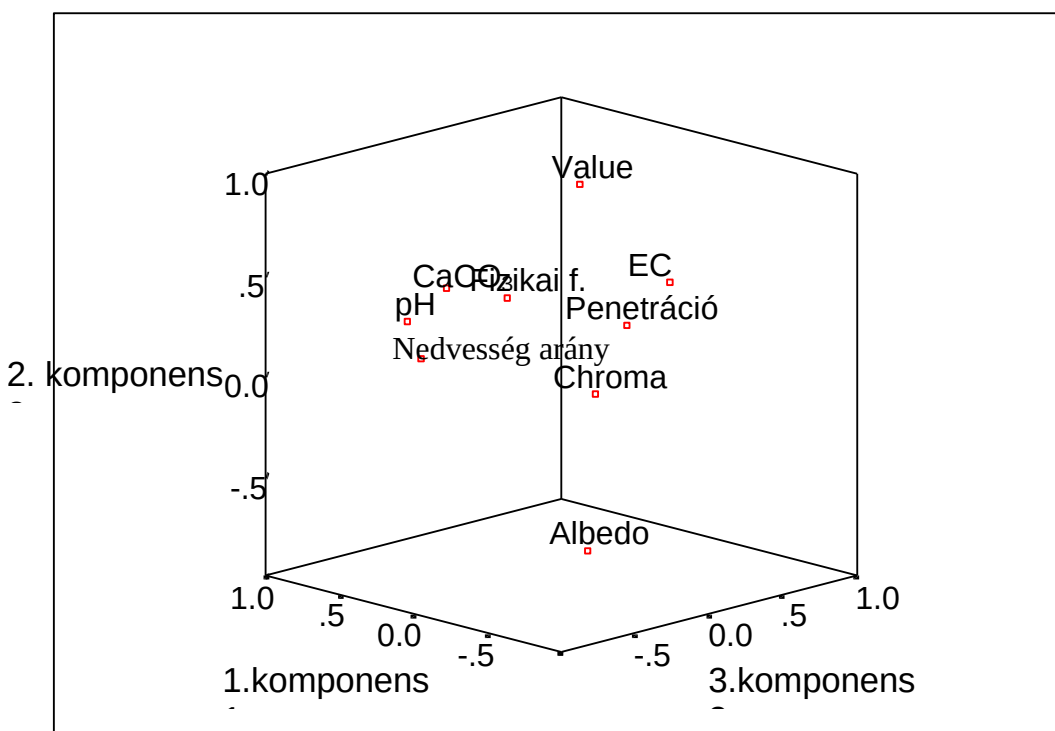
R^2 = Regresszió SQ/ Teljes SQ

R^2 (korrigált R^2) = $1 - (1 - R^2) (n-1)/(n-k)$ Ahol k a független változók száma és n a megfigyelések száma.

A többváltozós regresszióelemzés nyolc talajtulajdonság alapján a teljes variancia 99,7%-ig tudta megmagyarázni a spektrális reflektancia értékeit. A regressziós koefficiensek előjele a CaCO₃ (negatív), EC és pH (pozitív), a nedves talaj színteltsége (=chroma) (pozitív) és színmélysége (=value) (negatív) jól egyezett a Kalra és Joshi (1994) által kapott koefficiensekkel és megmutatta, hogy a normális talajokhoz képest a sótartalom és nátriumosság növekedésével a reflektancia növekszik. A spektrális reflektancia a talajnedvesség-tartalommal negatív korrelációt adott, ami jól ismert jelenség (Myers, 1983). A fizikai féleség és a nedvesség-egyenérték negatív regressziós koefficiense azt mutatta, hogy a legnagyobb reflektancia értéket a vályogtalajok mutatták, ez egybevág Johannsen és Baumgardner (1968) eredményeivel. A nátriumos talajokban a szerkezetleromlás a

szerkezeti (normális, nem nátriumos) aggregátumok felbomlásával és tömör felszíni kéreg formálódásával nyilvánul meg (Tóth et al., 1998b). Ez a jelenség megnöveli a reflektanciát, amit az 4.5.4.8.táblázatban a pH-értékkel meghatározott pozitív regressziós koefficiens mutat. Az általunk talált korrelációs koefficiens értéke nagyobb mint amit Kalra és Joshi (1994) számolt, és azt mutatja, hogy a másodlagosan szikes talajok esetén a reflektancia értékek fiziko-kémiai meghatározottsága nagyobb (Tóth et al., 1991a), főként a sótartalom és nátriumosság általi meghatározottság.

A lépcsőzetes regressziós egyenletek (4.5.4.8.táblázat) azt mutatták, hogy a CaCO_3 és talajnedvesség eltávolítása az egyenletből jelentősen csökkentette a spektrális reflektancia-értékek előrejelzi pontosságát, és ez megmutatja a talaj ásványi összetételének a spektrális reflektanciára gyakorolt hatását (Bauer et al., 1979; Mulders, 1987). Ennek ellenére a természetessel kapcsolatos tevékenységek, mint az öntözés és szántás mind a reflektanciára és a penetrációs ellenállásra is meghatározó hatásúak voltak.



4.5.4.3.ábra. A változók a három főkomponens terében. Rövidítések: EC elektromos vezetőképesség (1:2.5 talaj:víz szuszpenzióban)

A regressziós egyenlet illeszkedési szorossága nagyon nagy volt, és emiatt az adatbázis robusztusságának és stabilitásának tesztelésére, a becslésre való alkalmazhatóságának vizsgálatára az adatállomány dimenziójának csökkentésével, főkomponens elemzéssel három főkomponenst állítottunk elő (4.5.4.9.táblázat). Ezek a komponensek a terepen meghatározott változókból származtatott változók. A legfontosabb az első komponens volt, főként a fizikai féleség, nedvességarány, CaCO_3 tartalom, penetrációs ellenállás határozták meg. A második főkomponenst főként az albedó, Munsell-féle színmélység, míg a harmadik főkomponenst a pH, EC, Munsell-féle színteltség határozta meg. Ez a három komponens az összes variancia 81% -ért volt felelős. A három

kivont főkomponens terében elhelyezkedő változók ábrája (4.5.4.3.ábra) azt mutatta, hogy a fizikai féleség és nedvességarány egymáshoz hasonlóan helyezkedik el, de az albedó nem. Az albedó a második komponenssel mutatott összefüggést.

4.5.4.9.táblázat. A főkomponensek és az eredeti változók közötti korrelációs koefficiensek

Változó	Komponens		
	1	2	3
pH	0,493	0,268	-0,537
EC	0,134	0,261	0,875
Munsell színmélység	0,114	0,865	0,246
Munsell színteltség	0,437	-0,315	0,680
Fizikai féleség	0,799	0,143	0,441
CaCO ₃	0,800	0,267	2,72E-02
Penetrációs ellenállás	-0,771	0,447	-0,317
Albedó	2,30E-02	0,921	0,205
Nedvesség arány	0,93	-9,67E-02	-1,75E-02

Megjegyzés: EC szuszpenzióban mért elektromos vezetőképesség (1:2.5 talaj:víz arány), a fizikai féleség kategóriákat a következő növekvő átlagos szemcseméretű numerikusan elkülönített osztályokba osztottuk: agyagos vályog - 1, homokos agyagos vályog - 2, vályog - 3, homokos vályog - 4, durva homokos vályog - 5 és vályogos homok - 6.

A nátriumos talajok jellegzetessége, hogy a fizikai tulajdonságaik a kémiai összetételüktől függenek (Sumner és Naidu, 1998). Ezen tulajdonságok közül számos könnyen meghatározható, és ezáltal a talajok sótartalma és nátriumossága gyorsan becsülhető (Tóth et al., 1998a).

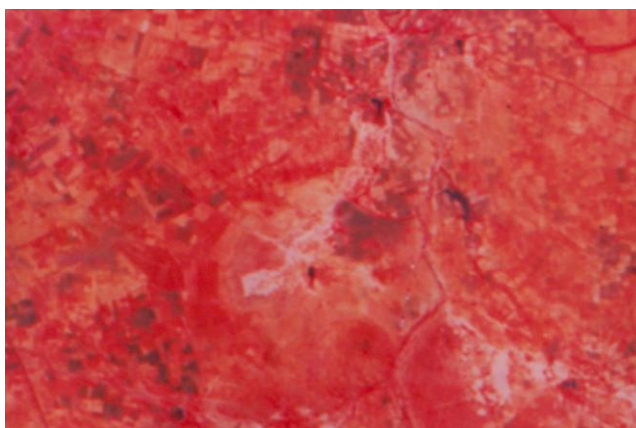
Az öntözött sós és nátriumos parcellák reflektanciáját számos körülmény befolyásolja. A mi vizsgálatunkban a sótartalomra és nátriumosságra helyeztük a hangsúlyt, de a szántás és öntözés hatását is figyelembe vettük, mégis felmerült egyéb tényezők hatása. A 4.5.4.2.ábra alapján a 4.helyszín reflektancia értékeinek nagy szóródását okozhatta a felszín egyenetlensége. A felszíni egyenetlenség a talajreflektanciát erősen befolyásoló tulajdonság (Mulders, 1987), ennek számszerűsítése azonban nem könnyű. Vizsgálatunk egyik fontos eredménye, hogy rámutattunk olyan tulajdonságoknak a kölcsönös összefüggésére, mint fizikai tulajdonságok, kémiai tulajdonságok és a felszíni reflektancia, penetrációs ellenállás, nátriumosság, fizikai féleség és talajnedvesség-tartalom. Az albedó és talajtulajdonságok közötti tapasztalati regressziós egyenlet pontos becslésre ad lehetőséget. Fontos hangsúlyozni, hogy a levont összefüggéseket nem lehet egy az egyben más területekre és időpontokra átvinni, hanem inkább példának tekinteni arra, hogy egy adott parcella reflektanciáját milyen tulajdonságok befolyásolják.

A sótartalom és nátriumosság felmérésére a száraz Radzsaszthán öntözött területein a betakarítás utáni és monszun előtti május és június hónapokat javasoljuk, mert ilyenkor a parcellákat nem művelik, a felszínek állapota hasonló és száraz. Ezenkívül ebben az időszakban éri el a sótartalom és nátriumosság évi maximumát az erős párolgás miatt.

4.5.5. Elvadult radzsasztháni (India) *Prosopis juliflora* bozót eltérő szikesedési állapotú foltjainak elhatárolása nyomtatott hamis színes műholdfelvétellel[#]

A szikes talajok döntő része a száraz és félszáraz területeken fordul elő. India északnyugati régióiban a szikes talajok igen elterjedtek, a rajtuk spontán megtelepedett növényzetet az antropogén hatások és a legelő állatok tevékenysége is befolyásolja. A talajok és növények közötti összefüggést kiterjedten használják a szikes talajok térképezésére. A talaj és növényzet állapotának, valamint a talaj és domborzat közötti összefüggések vizsgálatára korábban is használtak több időpontban készített műholdfelvételeket (Dwivedi et al. 1987; Kalubarme, 1983; Joshi et al. 1999) a régióban. Kalra és Joshi (1994, 1996) a hamisszínes (FCC) felvételeken a szikes talajokat alkalmanként vörös foltos fehér tónussal különítette el. A szikes területeket gyakran köves felszínű *Prosopis juliflora* cserjék bozótja fedi. A *Prosopis juliflora* cserjék az öntözött területeken és felhagyott szikes szántókon gyakran előfordulnak. Mivel a körzetben a szikesedés egyre inkább kiterjed és ezzel összefüggésben a *Prosopis juliflora* által borított terület is nő, szükséges a folyamat időről időre történő nyomon követése. Erre a célra a hamisszínes műholdfelvételek alkalmazása ideális eszköznek tűnt. A szikes talajok spektrális tulajdonságait számos tényező befolyásolja, ezért jelenleg nem lehetséges determinisztikus összefüggést felállítani a reflektancia és a talajtulajdonságok között. Emiatt a felszín egyes tulajdonságai és a kinyomtatott műholdfelvétel között kerestünk statisztikai összefüggést. Célunk az volt, hogy meghatározzuk, mennyiben alkalmasak a hamisszínes felvételek a *Prosopis juliflora*, köves felszínnek és szikes talajfoltok elhatárolására, mivel csak ezután vezethetők be a műfelvételek a monitorozásba. A felszíni foltok elhatárolására két térbeli felbontást és két különböző időben készült felvételsorozatot használtunk.^{##}

Vizsgálati terület



4.5.5.1. ábra. A vizsgálati területről készült, az elemzések során felhasznált októberi műholdfelvétel

[#] A fejezetet Joshi et al. (2002a) alapján írtam

^{##} A munka fázisai

-Előkészítés

- Mintaterület kiválasztás
- Műholdfelvétel kiválasztása**
- Mintavételi terv elkészítés**
- Terepi mintavétel**

-Értékelés

- A műholdfelvétel kategóriáinak elhatárolása**
- Statisztikai elhatárolás**

A vizsgálatokat Bhalelao község mellett (25°56'15" - 26°08'0" N) és (73° 14'53" - 73°40'0" E) Pali körzetben (Radzsaszthán állam, India) végeztük. A szikes területek itt a mélyebben fekvő foltokban jellemzőek, amelyeket időszakos vízfolyások szelnek át, emiatt kavicsos a felszínük és a környezet köves dombvidék. A talajok világos szürkésbarnák, homokos vályog textúrájúak, közepesen mélyek, és a felszín alatt mészkonkréciós szint húzódik. A talajt *P. juliflora* bozót borítja, több fűfajjal együtt (pl. *Aeluropus lagopoides*, *Sporobolus marginatus*). A klíma száraz, az évi átlagos csapadékösszeg 400-450 mm.

Az 1:50 000 méretarányú kinyomtatott műholdfotóból két időponthoz tartozó használtunk, 1992. október 27-ét (4.5.5.1.ábra) és 1993. február 14-ét. A bejárt transzektek (egy észak, egy másik pedig kelet felé) kiválasztásához ugyanilyen méretarányú topográfiai térképlapot is felhasználtunk. 65 méterenként feljegyeztük a *P. juliflora* és a füvek, a kopár felszín, kövek borítását a pont körzetében és 100x100 m-es szomszédságában is. A talaj elektromos vezetőképességét (EC_a) négyelektródos szondával határoztuk meg (Rhoades, 1991). A talaj felszínéről talajmintát vettünk laboratóriumi (pH, EC 1:2 szuszpenzióban) vizsgálatra.

A műhold-fényképeken a transzektek pontjait a korábban alkalmazott denzitás kategória rendszerrel (Raina et al., 1993 és Joshi et al., 1999) írtuk le. Az említett szerzők a skála két végpontján a nagyon szikes felszínt fényes fehér, míg a gyengén szikeset világosszürke színnel különítették el. Ennek megfelelően a transzektek környékét vizuálisan öt denzitás kategóriába soroltuk a legvilágosabbtól (fehér) a legsötétebbig (zöld), de ezek közül a transzekteken belül csak három denzitás kategória fordult elő. A vizsgálati pontok besorolását elvégeztük csupán a vizsgálati pont közvetlen környezetére (one- 1 pixel) és 100x100m-es körzetére (nine- 9 pixel). Ezeket a két időpontban (OCT-október, FEB-február) készített műholdfelvételekkel kombinálva kaptuk a következő besorolásokat: OCTone, OCTnine, FEBone és FEBnine.

Eredmények

A szikes terület jellemzése

A helyszíni megfigyelések átlagértékeit és jellemző statisztikáit a 33 felkeresett pontban az 4.5.5.1.táblázat mutatja meg. A *P. juliflora* és a füvek átlagos borítása 27.6%, illetve 26.9% volt, a kopár felszín 40,8%, míg a köves felszín 4% borítású volt. Az egyes pontokban vett mintákból meghatározott EC₂ értéke 1 és 29 mS/cm között váltakozott, az átlagos érték 2,5 volt. A különböző tulajdonságok változékonyságának sorrendje a legváltozatosabbtól kezdődően: köves felszín, *P. juliflora*, füvek, kopár felszín borítása, a pH volt.

4.5.5.1.táblázat. A felszíni tulajdonságok statisztikai paraméterei

	<i>Prosopis juliflora</i> borítás (%)	Fű borítás (%)	Kopár felszín (%)	Kő borítás (%)	EC ₂ mS/cm	pH 1:2
Átlag	27,6	26,9	40,8	4,0	3,5	8,9
Variációs koefficiens %	64,8	65,4	42,5	232,7	189,7	4,98
Minimum	0,0	0,0	10,0	0,0	0,08	8,31
Maximum	90,0	60,0	100,0	35,0	28,7	9,94

A 4.5.5.2.táblázatban lévő korrelációs koefficiens értékek megmutatják, hogy a *P. juliflora* borítása szoros összefüggésben ($P=0,05$) áll a fűborítással és a kopár felszínnel, mivel a két növényzettípus egy mozaikot alkot, együtt fordul elő. A fűborítás szoros negatív korrelációban áll a talaj EC_a értékével és a felszín kőborításával ($P=0,001$). *P. juliflora* bármilyen talajon nőhet, de a füvek csak a kisebb sótartalmú foltokban fordultak elő. Ahol a vízfolyás közvetlen közelében nagyobb volt a kövek borítása, ott a vízfolyás kilúgzó hatásaként a talaj sótartalma kisebb.

4.5.5.2.táblázat. Korrelációs mátrix a talajfelszín tulajdonságai között

	Fű borítás %	Kopár felszín %	Kő borítás %	pH	EC_2 mS/cm	EC_a mS/cm
<i>P. juliflora</i> borítás	0,461**	0,511**	-0,123	-0,133	-0,142	-0,214
Fű borítás	-	0,386	-0,253	-0,190	-0,163	-0,570*
Kopár felszín	-	-	-0,138	0,179	0,056	0,160
Kő borítás	-	-	-	0,381	0,856*	0,251
pH	-	-	-	-	0,351	0,250
EC_2				-	-	0,420***

Az FCC műhold-fényképek vizsgálata

A mintavételi pontok közvetlen közelében és 100x100m-es körzetében meghatározott tulajdonságok értékei (4.5.5.3.táblázat) azt mutatták, hogy a két időpontban hasonló volt a denzitás kategóriaértéke, vagyis indokolt volt mindkét időpontban ugyanazt a kategóriarendszert használni.

4.5.5.3.táblázat. A hamisszínes műholdfényképek numerikus denzitás kategóriának átlagértékei és statisztikai paraméterei. Elkülönítettük a kizárólag a mintavételi pontra vonatkozó (1 pixel) és annak 100x100 m-es körzetére vonatkozó értékeket és a két időponthoz tartozó képeket (februári –FEB és októberi - OCT)

	Denzitás kategória FEB one	Denzitás kategória FEB nine	Denzitás kategória OCT one	Denzitás kategória OCT nine
Átlag	2,97	2,92	3,17	2,75
Variációs koefficiens %	26,04	20,69	20,67	25,16
Minimum	2,0	2,0	2,0	2,0
Maximum	4,0	4,0	4,0	4,0

A februári felvételen (4.5.5.4.táblázat) meghatározott sötétedési kategóriák szignifikáns pozitív korrelációt ($P=0,005$) mutattak a *P. juliflora* borításával, és negatívát a talaj pH értékével és fűborításával ($P=0,01$), de ilyen nem volt megfigyelhető a 100x100m-es környezet esetén (FEBnine). Arra a következésre jutottunk, hogy a reflektancia kialakításában a vizsgált pixelek közvetlen közelében a felszín tulajdonságai sokkal nagyobb jelentőségűek mint a 100x100 m-es körzet átlagos tulajdonságai. A 2-3-4 denzitás kategóriák nem tiszta *P. juliflora*, fűborítást, kopár felszínt vagy kőborítást jeleztek, hanem ezek bizonyos kombinációit. A denzitás kategória növekvő értékével a *P. juliflora* borítása növekedett és a kopár felszíné csökkent.

4.5.5.4.táblázat. Korrelációs együtthatók értékei a numerikus denzitás kategória átlagértékei és a felszín tulajdonságai között

	Denzitás kategória FEB one	Denzitás kategória FEB nine	Denzitás kategória OCT one	Denzitás kategória OCT nine
<i>P.juliflora</i> %	0,469**	0,315	0,205	0,186
Fű borítás %	-0,405***	-0,374	0,078	0,111
Kopár felszín %	-0,19	-0,020	-0,403***	-0,309
Kő borítás %	0,214	0,112	0,521*	0,461**
pH	-0,478**	-0,102	-0,70*	-0,216
EC ₂ mS/cm	0,175	0,092	0,298	0,318
EC _a mS/cm	0,040	0,212	0,125	-0,032

A denzitás kategóriák különbözősége ANOVA alapján

4.5.5.5.táblázat. Az egyes numerikus denzitás kategóriák szerinti átlagértékek. A **FÉLKÖVÉR** betűvel szedett változók <0,1 szinten szignifikáns eltérést mutatnak

A. Februári felvétel, 1 pixel

Denzitás kategória februárban (1 pixel)		<i>Prosopis juliflora</i> %	Fűborítás %	Kopár felszín %	Kőborítás %	EC _a mS/cm	EC ₂ mS/cm	pH 1:2
2.0	Átlag	19,1	31,4	46,8	2,7	0,21	3,13	8,88
	Szórás	8,6	18,4	20,9	7,5	0,38	5,75	0,46
3.0	Átlag	25,0	33,3	38,1	2,3	0,13	1,96	8,86
	Szórás	12,5	16,9	14,2	7,7	0,35	3,73	0,37
4.0	Átlag	41,0	12,5	38,5	8,0	0,25	6,34	8,83
	Szórás	24,9	7,9	17,6	12,5	0,35	10,28	0,56
Totál	Átlag	27,6	26,9	40,9	4,0	0,19	3,55	8,86
	Szórás	17,9	17,6	17,4	9,3	0,35	6,72	0,44

B. Februári felvétel, 9 pixel

Denzitás kategória februárban (9 pixel)		<i>Prosopis juliflora</i> %	Fűborítás %	Kopár felszín %	Kőborítás %	EC _a mS/cm	EC ₂ mS/cm	pH 1:2
2.0	Átlag	26,2	34,4	34,4	3,7	0,02	3,55	8,88
	Szórás	7,4	14,0	8,6	10,6	0,06	5,49	0,36
3.0	Átlag	22,8	27,8	45,7	3,2	0,24	3,02	8,88
	Szórás	12,8	18,3	18,4	8,7	0,40	6,94	0,48
4.0	Átlag	52,0	11,0	29,0	8,0	0,24	6,42	8,68
	Szórás	30,5	10,2	16,0	10,9	0,39	8,48	0,41
Totál	Átlag	27,6	26,9	40,9	4,0	0,19	3,54	8,86
	Szórás	17,9	17,6	17,4	9,3	0,35	6,72	0,44

4.5.5.5.táblázat folytatása

C. Októberi felvétel, 1 pixel

Denzitás kategória októberben (1 pixel)		<i>Prosopis juliflora</i> %	Füborítás %	Kopár felszín %	Kőborítás %	EC _a mS/cm	EC ₂ mS/cm	pH 1:2
2.0	Átlag	14,0	23,0	62,6	0,40	0,35	2,73	9,07
	Szórás	11,9	19,2	23,1	0,89	0,52	4,42	0,66
3.0	Átlag	30,2	30,5	38,0	0,25	0,06	1,93	8,78
	Szórás	20,6	19,2	14,5	1,1	0,15	3,70	0,31
4.0	Átlag	29,1	22,3	36,2	12,5	0,35	8,09	8,91
	Szórás	12,2	13,5	12,8	13,7	0,46	11,26	0,57
Totál	Átlag	27,6	26,9	40,9	4,0	0,19	3,54	8,86
	Szórás	17,9	17,6	17,4	9,3	0,35	6,72	0,44

D. Októberi felvétel, 9 pixel

Denzitás kategória októberben (9 pixel)		<i>Prosopis juliflora</i> %	Füborítás %	Kopár felszín %	Kőborítás %	EC _a mS/cm	EC ₂ mS/cm	pH 1:2
2.0	Átlag	20,7	29,3	48,8	0,5	0,22	2,55	8,99
	Szórás	11,9	18,1	19,9	1,4	0,38	4,33	0,48
3.0	Átlag	34,4	25,9	35,5	3,6	0,15	2,28	8,78
	Szórás	21,7	18,0	14,9	9,1	0,34	4,58	0,40
4.0	Átlag	24,0	24,0	37,0	15,0	0,23	11,83	8,77
	Szórás	8,9	17,8	9,7	15,0	0,40	14,08	0,48
Totál	Átlag	27,6	26,9	40,9	4,0	0,19	3,55	8,86
	Szórás	17,9	17,6	17,4	9,3	0,35	6,72	0,44

A 4.5.5.5.táblázat mutatja meg, hogy a különböző numerikus denzitás kategóriákhoz tartozó egyes tulajdonságoknak melyek voltak az átlag értékei. < 0,1 szignifikancia szinten számos tulajdonság mutatott különbséget a kategóriák között. A februári műholdfénykép kevésbé volt alkalmas arra, hogy a talaj kémiai tulajdonságai szerint különbséget tegyen, amit a talaj EC₂ és pH nem szignifikáns eltérése mutat (4.5.5.5.A és B táblázat.).

Az októberi műholdfénykép ezzel szemben el tudta különíteni a talaj EC₂ értéktartományait. Az OCTone kategória szignifikáns különbséget mutatott a kopár felszín, kőborítás, EC_a és EC₂ értékek szerint is. A kopár felszín a 2-es kategóriában becsült 63%-ról a 3-ban 38%-ra, majd a 4-ben 36-ra csökkent.

A kapott eredmény hasonló a Joshi et al., 1999 által természetes szikes területek jellemzésére tett javaslattal, mivel említett szerzők a késő őszi műholdfényképek alkalmazását javasolták.

5. A DISSZERTÁCIÓBAN ISMERTETETT KUTATÁSI EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

5.1. A SZIKES TALAJOK TÉRBELI VÁLTOZATOSSÁGA MINT A TALAJKÉPZŐDÉSI FOLYAMATOK IRÁNYÁNAK ÉS ERŐSSÉGÉNEK INDIKÁTORA

5.1.1. A talaj kémiai tulajdonságainak horizontális és vertikális változása hortobágyi szolonyec talaj szelvényében

Reprezentatív helyszíni, valamint laboratóriumi vizsgálatok alapján kimutattuk, hogy a szolonyec talajokon a szikpadka növényzet talaja (közepes réti szolonyec) és a vakszik avagy a szikfok növényzet talaja (kérges réti szolonyec) eltérő talajszerkezetet mutat, ami a talajok képződésében meglévő különbségeket tükrözi. A talajok ugyancsak különböznek a pH és az 1:2,5 szuszpenzióban mért elektromos vezetőképesség (EC) szempontjából. A belőlük vett minták különböző, de érintkező értéktartományú adathalmazokat alkotnak. A szikpadka növényzet alatt 70 cm mélységig a talaj pH-ja és sótartalma kisebb, mint a vakszik és a szikfok növényzet alatt, a különbségek ezen mélység alatt eltűnnek.

Egy szelvényen belül a mélység szerint a pH érték jelentős különbségeket mutat. A kérges réti szolonyec A szintjében a kloridionok dominanciája következtében a pH semleges körüli. A pH értékét döntően a lúgosan hidrolizáló sók aránya és a sótartalom határozza meg. A közepes réti szolonyec és kérges réti szolonyec altípus között a pH és EC értékben meglévő különbséget részben az okozza, hogy a kilúgzás és felhalmozódás folyamatai eltérő intenzitásúak, ezért különbséget kell tenni a közepes réti szolonyec B szintje és a kérges réti szolonyec B szintje között. A közepes réti szolonyec mind az A szintben, mind a szolonyeces B szintben kevésbé alkális és kisebb sótartalmú mint a kérges réti szolonyec.

A szolonyeces B szinten belül a pH-különbségek függőlegesen és vízszintesen kisebbek voltak mint az A szinten belül. Megerősítést nyert, hogy a szolonyec talajok rögzített mélységenkénti mintavétele igen különböző szinteket keverhet össze, ugyanakkor maguk az egyes szintek sem homogének.

A mintegy 5-8 cm magas növények alatti talaj felszínéről vett mintákban tendenciájában alacsonyabb EC és pH értékeket találtunk mint a mohatakaró alatt illetve a növényzettel nem borított talajon.

5.1.2. A sófelhalmozódás földtani tényezőinek statisztikai vizsgálata a hortobágyi Nyírőlapos mintaterületen

Hortobágyi vizsgálataink során földtani tényezők, úgymint a talajvíz sótartalma, összetétele, az altalaj szemcsemérete, a térszíni fekvés (felszíni magasság) és a talajvízmélység, valamint a talaj sótartalma közötti összefüggéseket írtuk le egy 0,3x0,8 km-es mintaterületen. A kitűzött cél érdekében 29 fúrást mélyítettünk 10 méterig, majd nemparaméteres statisztikai próbával vizsgáltuk a földtani tényezők és a talaj sótartalma közötti összefüggéseket.

A vizsgálati terület az alföldi változatos szolonyeces puszta jellemző képviselője. A területen belül a legnagyobb szintkülönbség 1,76 m volt, a felszíni térszín változatosságát tendenciájában követte a talajvíz tengerszint feletti magassága. A talajvíz elektromos

vezetőképessége 0,8-20,0 mS/cm értéktartományban váltakozott az egyes fúrópontok között. A 0-40 cm-es réteg 3 év alatt meghatározott átlagos $EC_{2,5}$ -je 1,4 és 2,5 mS/cm között váltakozott. Nyolc növényzeti társulástípust különítettünk el a területen belül, és ezek elhelyezkedése tükrözi a magasság és sótartalom, valamint az ezekkel szorosan összefüggő vízellátottság övezetességét. A megfigyelések és a vizsgálati eredmények arra utalnak, hogy a területen található talajok az időben és térben változatos talajvízszint hatása alatt fejlődtek ki, és a területen belül a térszíni fekvés a talajok sófelhalmozódásában meglévő térbeli változatosság döntő tényezője.

A talajvízszint mélysége és a talajvíz összetétele összefüggést mutat a térszíni fekvéssel, ezek hatását pedig a földtani rétegzettség módosítja, amely a feltalaj sótartalma és a növényzet változatos megjelenését eredményezi. A kalcit ($CaCO_3$) felszín alatti eloszlása összefüggést mutatott a talaj sótartalmával.

A feltalaj sótartalmát meghatározó fő tényező esetünkben a térszíni fekvés volt. Mivel csupán a szikes talajláncolat alsó részét vizsgáltuk földtani fúrásokkal, magasabb térszíni fekvéshez nagyobb feltalaj sótartalom tartozott. Fontos szerepe volt a talajvízszint felszín alatti mélységének: sekélyebb talajvízszinthez nagyobb feltalaj sótartalom tartozott. A vizsgált esetben a talajvízszint ingadozási mélységében a nagyobb átlagos szemcseméret - feltehetően az erősebb kapilláris vízemelés miatt - egyre nagyobb feltalaj sótartalommal járt együtt, ezt a kalciumkarbonát tartalom növekedése is kísérte. Amikor „regressziós fa” technikával, földtani tényezőkből kiindulva a fúrási helyek felszíni sótartalmát becsültük, a legjobb becslő változók a térszíni fekvés és a felszín alatti rétegek szemcsemérete voltak, az összefüggés szorosságát jellemző korrelációs koefficiens értéke 0,80 volt.

A vizsgált tényezőknek a szikesedés szempontjából vett, jelen térleptékbeli fontossági sorrendje nem különbözik lényegesen az egész Alföld térleptékében (l. 5.1.5. rész) meghatározott sorrendtől.

5.1.3. Karcagi művelt mintaterület talajának variabilitása a sófelhalmozódás tényezői szerint

Egy nagykunsági 2,5x2,5 km-es terület 67 pontján helyszíni vizsgálatának alapján jellemeztük és elemeztük a talajok sófelhalmozódásának tényezőit. A vizsgálat célja egymástól különböző, de homogén foltok elkülönítése volt, amelyeken a sófelhalmozódás numerikus szimulációval vizsgálható.

Igazoltuk, hogy minél magasabb volt a talajfelszín térszíni fekvése, annál nagyobb volt a talajvízszint terepfelszín alatti mélysége. A talajvízszint felett közvetlenül elhelyezkedő talajrétegek sótartalma egyenes arányban állt a talajvíz elektromos vezetőképességével.

A „Quick Cluster” algoritmus alkalmazásával a változók többdimenziós terében négy csoportot különítettünk el. A csoportok elválásában a legfontosabb változók a sófelhalmozódás szempontjából fontos talajvíz mélység, térszíni fekvés és az 50-60 cm-es réteg sótartalma voltak. A csoportok a terület térképén jól elváltak, és a továbbiakban ezekben végeztük a sófelhalmozódás numerikus szimulációval történő előrejelzését.

5.1.4. Összefüggés karcagi réti szolonyec talajok egyes kémiai, fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai között

Réti szolonyec talajról származó mintasorozaton vizsgáltuk az egyes kémiai, fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságok értelmezhetőségét, használhatóságát, valamint a köztük lévő összefüggéseket. A talajok Na koncentráció és Na telítettség jellemzői (vízoldható Na, SAR, kicserélhető Na, ESP) kielégítően megmagyarázták a kapilláris vízemelés, humusz

stabilitás, Vageler-féle struktúra faktor alakulását. A lineáris duzzadás igen szoros korrelációt adott a kapilláris vízemeléssel. A lineáris zsugorodás a többi vizsgált jellemző közül csak a vizes kivonat Na és sótartalmával mutatott szoros összefüggést. A huszadik század elején bevezetett hagyományos, vízpotenciál értékekhez nem kötött vízkapacitás értékek nem jellemezték kellőképpen a talajminták vízgazdálkodását, ezen módszer helyett az energetikai alapú (pF) vízmegkötési meghatározások javasolhatók.

5.1.5. Az alföldi szikes talajok elterjedését meghatározó agrogeológiai tényezők térinformatikai elemzése 1:500 000 méretarányban

Munkánk során a Nagyalföldön értékeltük a só- és nátrium-felhalmozódást befolyásoló tényezők fontosságát öt agrogeológiai térkép alapján. Az 1:500 000 méretarányú térképek a talajvízszint mélységét, a talajvíz összes oldott anyagtartalmát, a talajvíztükör tengerszint feletti magasságát, a felszín alatti képződményeket és a talajvíz kémiai típusát mutatták be. Ezeket az agrogeológiai térképeket tekintettük független változónak, míg a függő változó a szikes talajtípusok térképe volt. Ezen a térképen a besorolás alapja a Nemzetközi Talajtani Társaság Szikes Albizottságának az Európa Szikes Talajai térképén alkalmazott osztályozása volt. Miután a térképeket digitalizáltuk, egy adatbázist hoztunk létre, és a változók közötti összefüggést (asszociáció) a bizonytalansági tényezővel fejeztük ki. A szikes talajok előfordulása a talajvíztükör tengerszint feletti magasságával, a talajvíz kémiai típusával és a felszín alatti képződményekkel mutatta a legszorosabb statisztikai összefüggést. Ezekkel a tényezőkkel ugyanakkor a többi agrogeológiai térkép is szoros összefüggést mutatott, azaz a szikes talajtípusok előfordulását nem egyetlen tényező, hanem a *tényezők együttese* határozza meg. Két fő csoportot különítettünk el a nem karbonátos szolonyecsek és egyéb szolonyeces talajok a Nagyalföld 26,7%-át fedik, főleg agyagos felszín alatti képződményekhez köthetők, a talajvízben dominálnak a Na^+ és a HCO_3^- ionok, 80-90 m között fordulnak elő. A szódás szolonszavak és a karbonátos réti szolonyecsek csupán a Nagyalföld 1,5%-át borítják, és leggyakrabban homokképződményhez köthetők, amelyben a talajvízben Ca^{2+} és HCO_3^- ionok dominálnak. Ez a csoport nem köthető egy adott magassági zónához, és területileg is szétválak.

A tényezők közötti összefüggések vizsgálatán túl meghatároztuk, hogy milyen pontossággal lehet az agrogeológiai térképek alapján a szikesek előfordulását megjósolni. A szikes és nem szikes talajok előfordulását összesen 96%-os pontossággal tudtuk megjósolni, ezen belül a szikes talajokét 91, a nem szikes talajokét 99%-os pontossággal. A számítás 16601 elemi folt alapján létrehozott, a változók szempontjából homogén 508 egység alapján készült. Amikor 3 kategóriát különítettünk el az összes pontosság 91% volt, 87 % a szikes, 94% a nem szikes, és 92% a potenciálisan szikes talajok esetén. Az alkalmazott rekurzív partíció technikája a hagyományos eljárásoknál alkalmasabbnak bizonyult, mivel nem támaszt előfeltételeket a térképek alapján származtatott adatok eloszlására vonatkozóan, és mert megengedte nominális változók bevonását.

A többdimenziós változótérben a térbeli kiterjedés szempontjából a szikes talajok első és legfontosabb elhatárolásait a regionális térképből származtatott „Felszín alatti képződmények” és „Talajvíz kémiai típusa” változók síkjában kaptuk. Ez a sík 5 részre oszlott, amelyben az „agyag” sávban helyezkedik el a szikes talajok 70%-a, a kőzetlisztes sáv bikarbonátos részében a szikes talajok előfordulása 12%, míg a szulfátosban 65%. A maradék két sáv homokos talajokat tartalmaz kis szikes talaj előfordulással, de ha a talajvízben a szulfát dominál az nagyobb szikes talaj előfordulást jelez. Fenti változókon kívül a talajvíz tengerszint feletti magassága és a talajvíz mélysége is szerepet játszott az elhatárolásban.

5.1.6. Hazai sókivirágzások kialakulásának feltételei, összetétele és jelentősége a szikes talajok kialakulásában

Vizsgálataink során 164 hazai helyszínen kerestünk sókivirágzásokat. Ezek között volt az összes, általunk megtalált szakirodalom jelezte sókivirágzás-előfordulás. Az országszerte több tájegységre kimutatott sziktelenedési tendenciának megfelelően a korábban leírtaknál jóval kevesebb helyen, csupán 32 helyszínen találtunk sókivirágzást.

Kémiai összetételüket tekintve a sókivirágzásokban szinte kizárólag nátrium volt az uralkodó kation. Az anionok szempontjából a változatosság jelentős volt: szulfát ásványok, karbonát ásványok, szulfát-karbonát vagy szulfát-karbonát ásványasszociációk, és klorid ásvány is előfordult.

A sókivirágzások előfordulásának körülményeire a feltárt szelvények alapján következtettünk. A sókivirágzások előfordulása a következő feltétel mellett várható:

a talaj felső szintjében a telítési kivonat EC_e értéke legalább 20 mS/cm. A talajvíz 7-10 mS/cm körüli EC értéke kedvezett a sókivirágzás megjelenésének. 1,5 mS/cm elektromos vezetőképességű talajvíz EC esetén 50% agyagtartalmú talajon találtunk sókivirágzást.

A talajvíztől a felszínig a talajvíz, illetve a talajoldat összetétele változik. A sókivirágzások a kémiai összetételt feltüntető háromszögdiagramok sarkaiban fordulnak elő, amely jelzi, hogy a felszín felé közeledve az összetétel egyre homogénebb.

5.2. A SZIKES TALAJOK TULAJDONSÁGAI ÉS A NÖVÉNYZET KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK ÉS AZOK ALKALMAZÁSA

5.2.1. Hortobágyi padkásszik komplexum növényzetének osztályozhatósága

A padkásszik komplexum (a különböző tereplépcsők egymásmelletti övezeteinek együttese) növényzete szoros összefüggést mutatott a talajtulajdonságokkal. A diszkriminancia-analízisben a mélyebb, 10-15 cm-es rétegben meghatározott változók pontosabban besorolták a növényzeti kategóriákat (**Artemisio-Festucetum pseudovinae**, **Camphorosmetum annuae**, **Puccinellietum limosae**, réti folt) mint a felszíni rétegben. A talajtulajdonságok jelentősége nagy a növényzeti kategóriák előfordulása szempontjából. Ha összehasonlítjuk, hogy milyen változócsoportok alapján milyen megbízhatósággal lehet numerikusan becsülni a növényzeti kategóriák előfordulását, akkor elmondható, hogy a talajtulajdonságok közel olyan jól sorolják be a növényzeti kategóriákat, mint a növényi borítások.

Eszerint a növényzeti kategóriák alapján történő talajtulajdonság-becslés pontossága a 10-15 cm-es rétegben nagyobb, mint a 0-5 cm-es rétegben. Az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** alapján végzett talajtulajdonság becslés pontosabb mint a **Puccinellietum limosae** alapján végzett.

5.2.2. Változatos hortobágyi szikes puszta növényzeti kategóriáinak szétválasztása

Változatos, a szikes mocsártól a löszlegelőig terjedő növényzeti elemeket tartalmazó területen a diszkriminancia egyenletek a növényzeti foltok mintegy 2/3-át a talajtulajdonságok alapján helyesen besorolták. Az elválaszthatóság pontossága hasonló volt a különböző szikes növényi kategóriák esetén is.

A padkásszik komplexum esetén a növénytársulások a szikesrét térszínétől felfelé haladva először növekvő, majd csökkenő talaj sótartalmú, nátriumosságú és pH-jú övezetekben, voltaképpen a 'Sigmond-féle száraz és nedves szikes kategóriák határán

helyezkednek el. A vizsgált növényzeti- és talajláncolat (**Artemisio-Festucetum pseudovinae**, **Camphorosmetum annuae**, **Puccinellietum limosae** és réti folt) megfelel a III. o. száraz, IV. o. száraz, IV. o. nedves, I. o. nedves társulások sorozatának. A változatos szikes puszták a növénytársulások szélesebb körét tartalmazzák (a 'Sigmond-féle száraz és nedves szikes kategóriák mindegyikét). A kémiai talajtulajdonságok mellett a szolonyec talajok növénytársulásait elrendező másik ökológiai faktort, a vízellátást (száraz és nedves szik) számszerűsítő változó nem szerepelt a változók között.

A változatos szolonyeces puszták esetében a növényzet alapján végzett kategória szintű talajtulajdonság becslés pontossága kisebb, mint a padkásszik társulásaival végzetté. Ugyanakkor az első két diszkriminancia egyenlet síkjában elrendezve a növényzeti kategóriák a térszíni helyzetüknek megfelelő sorrendben helyezkednek el.

5.2.3. Tiszántúli szolonyec talajok tulajdonságainak becslése többváltozós regressziós egyenletekkel

A szolonyeces szikes pusztán a talajtulajdonságok, mint függő változók és a növényi borítások, mint független változók között regressziós egyenleteket számítottunk. A vizsgált esetek 4-7 szikes társulástípust érintettek. A megfigyelések száma 20 és 120 között volt. A kvadrátméret 0,16 és 20 m² között változott.

Mind a négy vizsgált eset tartalmazta a szikfok - vakszik - ürmös szikes puszták átmenetet (**Puccinellietum limosae** - **Camphorosmetum annuae** - **Artemisio-Festucetum pseudovinae**), és így a talajtulajdonságokat legjobban becsülő növényfajok mind a négy esetben ugyanazok voltak. Nevezetesen a Magyar-'Sigmond-féle száraz - nedves szikes kategóriarendszer átmeneti középső, legszikesebb részén találhatóak, a szolonyec talajokon előforduló legnagyobb felszíni sótartalmat és pH-t elviselő *Camphorosma annua* és *Puccinellia limosa* fajok. A növényfajoknak a kvadrátban feljegyzett száma és az összes borítás is gyakran szerepelt a regressziós egyenletekben mint becsülő változó. A korrelációs koefficiens értéke többnyire 0,65-0,75 között volt, és azt jelezte, hogy az egyenletek a talajtulajdonságok becslésében felhasználhatók.

A fenti eredmények szerint szolonyec talajokon javasolható a terepi növénytársulástani felvétel alapján végzett lokális talajtulajdonság becslés. Ha a talajtulajdonságokról izovonalas térképet készítenek, a fenti módszer alkalmazásával ugyanazon pontosság elérése mellett, a talajmintavételi pontok számát csökkenteni lehet. A terület kívánt térbeli felbontású jellemzéséhez szükséges pontok egy részében a botanikai felvételezést talajmintavétellel kell összekötni. Ha a mintavételi pontokban meghatározott talajtulajdonság-értékek és a terepi növénytársulástani felvételen rögzített fajborítások között számított többváltozós regressziós egyenlet korrelációs koefficiense nagy, akkor a maradék pontokban a talajtulajdonságok értékeit a többváltozós regressziós egyenlettel lehet megbecsülni.

5.2.4. Különböző eljárások összehasonlítása hortobágyi padkásszik komplexum talajtulajdonságainak becslésére

A padkásszik komplexumban a többszörös regresszióanalízis és a kokrigelés mint alternatív talajtulajdonság-becslő eljárások összehasonlítása során, a várakozásnak megfelelően azt tapasztaltuk, hogy a krigelés a mozaikos padkásszik változatos felszíni (0-5 cm) rétegében pontosabban becsüli a talajkémiai tulajdonságok értékeit. A mélyebb (10-15 cm) rétegben, a szolonyeces B szintben a krigelés felülmúlta a többváltozós regresszióanalízis által nyújtott, E%-al kifejezett becslési pontosságot.

A mélyebb rétegben a változók becslésének pontossága nagyobb volt. Ennek oka az, hogy ez a réteg (10-15 cm) a szolonyeces B szintbe esett, és ezen belül a talajtulajdonságok szóródása kisebb, mint a felszínnél. A pH becslése volt a legpontosabb, mivel ez mutatta a legkisebb szóródást. A legkisebb pontosságot a talajnedvesség-tartalom becslése során kaptam, mivel ennek a változónak volt a legnagyobb az eredeti szóródása.

A terepi növénytársulástani felvételeket, azaz a vizsgálati pontokban a becsült növényborításokat, újszerűen a talajtulajdonságok számszerű becslésére használtam két módszerrel. Többváltozós regressziós egyenletekkel csupán a növényi fajborítások alapján is becsülhetők a padkásszik talajtulajdonságai. Ennek a becslésnek kicsi a pontossága. Ha azonban talajtulajdonságok alapján kívánjuk egyéb talajváltozók értékét becsülni regressziós egyenlettel, akkor a becslő változók körét kibővíthetjük növényi fajborításokkal, és a becslés pontossága nő. Ezt az előnyt akkor lehet kihasználni, ha pl. a talaj költségesen, vagy nehezen mérhető tulajdonságainak értékeit kívánjuk könnyen mérhető talajtulajdonságok és a növényi borítás segítségével megbecsülni.

Újszerű a természetes növényi borításnak a többváltozós geostatistikában való alkalmazása is. A kokrigelés, azaz a növényi borításoknak a talajtulajdonságok térbeli becslése során segédváltozóként történő használata, a krigeléshez képest szerény pontosság növekedést eredményezett.

Az ismertetett módszerek, különösen a többváltozós geostatistika által nyújtott becslési lehetőségek teljes feltárása, további vizsgálatokat igényel. Meg kell határozni az optimális kvadrátméretet, s azoknak a növénytársulásoknak a körét, amelyek erre alkalmasak, a becslő változók transzformációjának szükségességét és egyéb feltételeket.

5.3. SZIKES TERÜLETEK TÁVÉRZÉKELÉSES VIZSGÁLATA

5.3.1. A szikes puszta komplexum növényzetének kategorizálása terepi reflektancia mérés segítségével

A padkásszik komplexum terepi reflektancia méréssel történő osztályozhatósági vizsgálata során megállapítottuk, hogy az összes növényborítás szélsőséges értékei miatt, a növényzeti kategóriák terepi reflektometriával szétválaszthatók. A 120 tanuló-kvadráton meghatározott diszkriminancia egyenleteknek 86 ellenőrző ponton való alkalmazása ugyanazt a pontosságot nyújtotta, mint amit a diszkriminancia analízis során kaptunk, mintegy 60%-ot. A reflektancia értékek ezzel a pontossággal használhatók a padkásszik komplexum kategóriáinak azonosítására.

Akkor, amikor a műholdfelvétel méretarányával összevethető terepi reflektancia mérést végeztünk az ürmös szikes pusztától a zsiókás mocsárnövényzetig terjedő tartományban, a társulásokat elkülönítő folthatárok egyértelműen azonosíthatók voltak.

5.3.2. Légifénykép alapján végzett térképezés hortobágyi szikes pusztán

A döntően ürmös szikes pusztai és szikes réti növényzettel borított szikes legelő légifényképének értékelése során nyert tapasztalatok szerint a légifényképen, a szín és mintázat alapján elkülönített foltok a következő tényezők kombinációjaként jöttek létre: a növénytársulások komplex előfordulása, átmenete egymásba, a térszíni különbségek és a felszíni vízelvezető rendszerben az erózióbázishoz viszonyított helyzet, talajeróziós formák, taposás és gyomosodás.

5.3.3. Karcagi szikes talaj javítására szolgáló gipsz adagjának és kiadási helyének légifényképen alapuló meghatározása térinformatikai eszközök segítségével

Egy mozaikosan szikes nagykunsági mezőgazdasági tábla vizsgálata alapján bizonyítottuk, hogy fekete-fehér légifénykép alapján a gipsszel történő javítás jelentősen ésszerűsíthető.

Az eljárás alapja az, hogy a talaj kicserélhető nátrium százalékanak növekedése következtében a talajszemcsék egyre fokozottabb mértékben diszpergálódnak, és ez a felszín reflektanciájának a növekedését eredményezi. A tapasztalat szerint a légifényképen elkülönülő foltok reflektanciája egyenes arányban áll azok gipsz-szükségletével. A táblán belül, a foltok reflektanciáját figyelembe véve mintavételi- és kiadási reflektancia-osztályok határolhatók el, a szkennelt állomány alapján digitális eszközökkel (térinformatikai adatbázist kialakítva), és intuitíve, a fényképészeti úton előállított légifénykép alapján. A foltok reflektanciája és a gipsz-szükséglet közötti lineáris kapcsolatot felhasználhatjuk arra, hogy a térinformatikai adatbázissal előzetesen teszteljünk alternatív mintavételi és javítóanyag-kiadási terveket és ezáltal optimalizáljuk a gipszezt.

5.3.4. A szolonyeces szikesedés távérzékelése űrfelvételekkel a Nagyikunságban

Nagyikunsági és sárréti műholdfelvételeknek a kémhatás térképekkel történt összehasonlítása során az NDVI (a normalizált különbségi vegetációs index) értéke az egyes kémhatáskategóriák között szignifikáns különbséget mutatott. Egyes haszonnövények esetén az NDVI jelezte a szikesedés által a növényi biomaszára kifejtett hatást.

A közel természetes növényzettel borított területeken az űrfelvétellel végzett szikesedési állapotfelmérés elvégzése akkor javasolható, ha a területeken nincs legelési, kaszálási hatás, vagy az még nem mutatkozott meg (pl. kora tavasszal), illetve ha a növényzeti típusok és a talaj vízgazdálkodása a felvételen megnyilvánul (részleges vízállás). A művelt táblák szikesedési fokozatának űrfelvételek segítségével végzett összehasonlításához tanulóterületül az 1:10 000 méretarányú üzemi genetikai talajtérképpel és táblatorzskönyvvel rendelkező területek alkalmasak. A szikesedés térképi fokozatait a szikesedésre érzékenyebb haszonnövények, például a napraforgó állományai tükrözik jól.

5.4. A TALAJ SÓFELHALMOZÓDÁS TÉNYEZŐINEK IDŐBELI VÁLTOZÁSA

5.4.1. A talaj sótartalom változásának tényezői a kiskunsági Apajon

1997. júniusától 3,5 éven keresztül vizsgáltuk a talajsófelhalmozódás tényezőit egy apaji szikes (*Artemisio-Festucetum pseudovinae* növénytársulás) gyepen.

A csapadék nagy változatosságot mutatott, 1999-ben az évi csapadékösszeg 830, 2000-ben 332 mm volt. A fűrólyukakban megütött talajvíz legsekélyebben a felszíntől 0,6, legmélyebben 2,1 m-re volt.

A talajvízszint előrejelzését legmegbízhatóbban a megelőző hónap átlagos léghőmérséklete és az adott hónap csapadékösszege alapján lehetett megbecsülni.

A vizsgálat második felében növekvő talajvízszinttel növekvő elektromos vezetőképesség járt együtt.

A talajminták elektromos vezetőképessége a mélységgel a szolonyec talajokra jellemző eloszlást mutatta. Az 1998. májusában meghatározott átlagos elektromos vezetőképesség csupán egyharmada volt az 1999. májusában meghatározott értéknek (1,7 mS/cm).

A szelvényben az átlagos pH értéke 9,9 és 10,4 között váltakozott. A legnagyobb, a 0-10 cm-es rétegben megfigyelt váltakozás 7,6 és 9,8 között volt. A mélység növekedésével a pH- változás egyre kisebb volt.

A szelvény átlagos nedvesség-tartalma - a 0-10 cm-es réteget nem számítva - 18 és 22 tömeg% között váltakozott. A legfelső rétegben 2 és 79 tömeg% közötti váltakozást figyeltünk meg.

A sós talajvíz szintjének emelkedése növelte a talaj nedvességtartalmát és a talaj elektromos vezetőképességét. A 0-120 cm-es réteg elektromos vezetőképesség értéke statisztikailag szignifikáns összefüggést mutatott a megütése után 30 perccel beállt talajvízszinttel és a talajvíz elektromos vezetőképességének értékével.

A vizsgált tulajdonságok időbeli változékonyságát szemivariogram-elemzéssel vizsgáltuk. Az évszakok váltakozása következtében várható éves periodicitás erőssége a következő volt: talajnedvesség-tartalom > talajminták elektromos vezetőképessége > pNa > pH.

5.4.2. A talaj sótartalom változásának tényezői a kiskunsági Zabszék mellett

Három és fél éven keresztül havonkénti mintavétellel vizsgáltuk egy Zabszék melletti mézpázsitos gyepfolton a talajtulajdonságok változását. Ezzel párhuzamosan a tó és egy közeli kút vízszintjét, és vizének kémiai jellemzőit is mértük. Másfél évig, a tó kiöntése miatt, a talajmintavétel szünetelt.

A 4 db 1x1 m-es kvadrátban csak *Puccinellia limosa* élt, zöld hajtások a tó visszahúzódása után fél évvel jelentek meg újra.

A tó vízszintjének növekedése a csapadékmennyiséggel, a tó vízszint csökkenése a párolgással, a talajvíz szintje ezzel szemben a megelőző hónapban hullott csapadék mennyiségével mutatott szoros összefüggést.

A három vizsgált víz a nátrium- és a hidrokarbonát ionok dominanciáját mutatta, a gyűjtött sókivirágzásokban nátrium és karbonát voltak az uralkodó ionok. A sókivirágzások röntgendiffrakciós vizsgálata során halitot, tronát, thenarditot, themonátritot és gipszet mutattak ki.

Míg a talajvíz sókoncentrációja az adott hónap, a felszínközeli 70 cm-es réteg sótartalma a megelőző hónap meteorológiai paramétereivel mutatott szoros összefüggést. A talaj nedvességtartalmát a havi hőmérséklet és a potenciális párolgás értéke, valamint a talajvízszintje határozta meg.

5.4.3. A sófelhalmozódás tényezőinek változása a hortobágyi Nyírőlapos mintaterület talajainál

Egy 800x300 m-es hortobágyi mintaterületen vizsgáltuk a sófelhalmozódás tényezőinek és a talaj sótartalmának időbeli változását 420 felszíni elektromos vezetőképesség-mérési pont, négy talajvízkút és három réti szolonyec szelvényben végzett ismételt vizsgálatok alapján.

Rámutattunk, hogy a talajvízszintet a csapadékösszeg ismeretében elfogadható pontossággal előre lehet jelezni.

A területen belül az időszakosan kialakuló vízállások hatására a talajvíz áramlási iránya megváltozhat és a mélyebben fekvő területek (4.kút) felől a magasabbak felé irányulhat.

Az egyes talajvíz kutakban a víz EC-je az aktuális hónap csapadékösszege és a talajvíz megelőző hónapban mért EC értéke alapján jól becsülhető volt.

A területen belül a kis távolságok ellenére különbség volt a vizek stabil oxigén- és hidrogénizotóp összetételében, illetve annak időbeli változékonyságában. A legmélyebb, „szikes réti” növényzettel borított részen a mélyebb, pleisztocén eredetű víz feláramlása, a talajvízből történő párolgás és a csapadék által történő pótlása egyensúlyban lévő folyamatok. A mélyebben lévő vizek legnagyobb mértékű feláramlását a legszikesebb övezetben észleltük.

A „szikes réti” jellegű szelvényben a talajvíz és a csapadékvíz szabad keveredését mutattuk ki a Br-/Cl- ionok aránya alapján. Az „ürmöspusztai gyp” és a „füvespusztai gyp” szelvényekben a telítési talajkivonatban a talajvízhez képest a Cl--koncentráció jelentősen nagyobb, ami erős párolgásra utal.

Fentiekkel összefüggésben nagyobb sótartalom-értékeket a „szikes réti” növényzetű mély réti szolonyec szelvényben csupán az erősen sós talajvíz-áramlási zónájában tapasztaltunk. Az erősen szikes „ürmöspusztai gyp” közepes réti szolonyec talajának sófelhalmozódási szintje a vizsgált időszak alatt végig nagy sótartalmat mutatott. A legmagasabban fekvő „füvespusztai gyp” növényzetű mély réti szolonyec szelvényében jelentős sófelhalmozódás csupán az év egy hónapjában volt kimutatható a B szint alján, míg az A szintben erősen ingadozó, de kis sótartalmat tapasztaltunk.

A megfigyelések alapján megfogalmazott koncepcionális modell száraz meleg és nedves periódusokra külön-külön leírja a sófelhalmozódást. A modellben a legfontosabb tényezők a térszíni fekvés, a felszín növényzettel való borítottsága és hőmérséklete, a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai és az időszakosan jelentkező vízborítás, amelynek következtében a talajvíz áramlási iránya megfordulhat.

Csapadékos időszakban az eltérő magassági övezetekben a talaj hidraulikus vezetőképességében meglévő különbségek határozzák meg a vízforgalmat. Az **Achilleo-Festucetum pseudovinae** övezetben a 80 cm/nap érték kedvez a kilúgzásnak, hasonlóképpen az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** övezetben a 8 cm/nap. Ezzel szemben az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** övezetben a szélsőségesen kis vezetőképesség miatt, az esővíz vagy lefolyik a padkán vagy elpárolog. Az esővíz a mélyebb foltokban, az **Agrosti-Alopecuretum pratensis** övezetben gyülekezik össze, ahol egy része beszivárog, és megemeli a talajvízszintet. A megemelkedett talajvízszint tengerszint feletti magassága rendszeresen meghaladja az **Artemisio-Festucetum pseudovinae** övezet talajvízszintjét. A folyamatok eredményeként a sós talajvíz az utóbbi övezetben koncentrálódik, ugyanakkor ott a legkisebb a kilúgzás.

Száraz meleg időszakban a növényi borítással összefüggésben a talajfelszín hőmérséklete nagy különbséget mutat az eltérő magassági övezetekben. A gyakran nedves talajú réti (**Agrosti-Alopecuretum pratensis**), nagy biomasszájú növényzettel fedett társulások alatt a legkisebb a felszín hőmérséklete, ezt követi az **Achilleo-Festucetum pseudovinae** övezet. Legerősebb a párolgás a legmelegebb közbülső magassági övezetekben, leginkább a **Camphorosmetum annuae**-ban és **Puccinellietum limosae** övezetben, és ez indokolja a magas talaj-sótartalmat.

5.5. A HAZAI ALAPOZÓ VIZSGÁLATOK ELVEIT ALKALMAZÓ KÜLFÖLDI TANULMÁNYOK

5.5.1. Különböző blokkméretek alkalmazása kínai sós talajon a növényi borítás figyelembevételével végzett térbeli becslés során

A növényi fajok borításértékeit is becslő változóként alkalmazva krigeléses és regressziós technikákat hasonlítottunk össze a felhagyott szántók szikesedéssel összefüggő talajtulajdonságainak becslésére. A két blokkméret (5x5 és 20x20m) hasonló pontossággal

becsülte a talajtulajdonságok értékeit, a 20 m-es blokkméret pedig megfelelő a felhagyott táblák termékenységének becslésére. A krigelés a nagyobb (20x20m), átlagolt blokkokban pontosabb volt, a közepes blokkokban (5x5m) pedig a regresszióanalízis volt az. Amikor elég nagyok a blokkok, akkor a krigelés és a növényi factor score-okkal, növényi borítással és penetrációs ellenállással végzett kokrigelés pontosabban becsli a talaj pH-t és sótartalmat mint a regresszióanalízis és ha a táblák kellően nagyok és egyöntetűek, mindig ezt a módszert ajánlatos használni. Amikor a térképezendő blokkok kicsik, egymással nem érintkeznek, a többváltozós regresszióanalízis könnyen meghatározható változókkal hasonló pontosságot nyújt.

5.5.2. A talaj sótartalmának becslése a másodlagos növényzet alapján felhagyott kínai szikes szántón

A kínai Huang-Huai-Hai síkság szikes területeit időről időre újra művelésbe vonják. A célunk az volt, hogy meghatározzuk, milyen pontossággal tudjuk a féltermészetes növényzet alapján megbecsülni azt, hogy egyes talajtulajdonságok - mint ionkoncentrációk, pH és penetrációs ellenállás - értékei egyik vagy másik értéktartományba esnek-e.

A talaj- és növénytulajdonságokra külön-külön számított kanonikus korrelációs változók közötti korrelációs koefficiens értéke 0,88 volt, ami a két változócsoporthoz szoros összefüggését mutatja.

A terület féltermészetes növényzetét vagy a *Phragmites australis* vagy az *Imperata cylindrica* növényfajok uralták és ezekről a növényekről neveztük el a két fő növényzeti kategóriát. Az ezekhez tartozó talajmintákban meghatározott tulajdonságok értéktartományai átfedtek egymást. Az átlagértékek alapján azonban elmondható, hogy általában a PHRAGMITES kategória magasabban fordul elő, nagyobb a sótartalma, kisebb a penetrációs ellenállása és pH-ja, mint az IMPERATA kategóriáé. A kilúgzás nem befolyásolja a felszíni rétegek hidrogénkarbonát koncentrációját. Mivel azonban a többi ion koncentrációja csökken, és így a bikarbonát ionoknak az egyéb ionokhoz viszonyított aránya növekszik, a pH és a penetrációs ellenállás értéke is növekszik egyes foltokban.

A növényzet alapján az egyes talajtulajdonságok értéktartományainak szétválaszthatóságát a következők alapján értelmeztük. a) A kategóriánkénti átlagértékek különbsége a Mann-Whitney próbában, és b) A talajtulajdonságok alapján a két növényzeti kategóriában számított lineáris diszkriminációs függvény és az eredeti változók közötti korreláció. Az egyes talajtulajdonságok értéktartományának becslési pontosságát egydimenziós küszöbértékeléssel végeztük, amely 67 és 84% közötti pontosságot mutatott. A téves besorolás legalább kétszer olyan gyakori volt a növényzeti kategóriák határvonalán, mint a kategóriákon belül. Megállapítottuk, hogy a növényzeti kategóriák alapján egyszerűen és gazdaságosan határozható meg a szikes területeken a termesztés lehetősége.

5.5.3. A talaj sótartalmának becslése a növényi fajösszetétel alapján egy kubai legelőn

A vizsgált 1100x2000 m-es szikes kubai legelő növényzetének összetételét döntően meghatározza az emberi tevékenység. Kevés őshonos pázsitfűféle van a területen, és ezek nagy része olyan sőtűrő növény, amely a legszikesebb foltokon marad meg, ahol a bevitt legelhető fűvek nem maradnak meg. Szoros korrelációt találtunk a talaj telítési kivatának elektromos vezetőképessége és 252 mintavételi kvadrát növényösszetétele között. A leggyakoribb fűfajok között a sőtűrési rangsor növekvő sorrendben a következő volt: *Bothriochloa pertusa*, *Dicanthium caricosum*, *C. plectostachyon* és *C. nlemfuensis*, *Cynodon dactylon* és *Sporobolus pyramidatus*.

Amiatt, hogy 1.) csupán kevés faj fordult elő; 2.) a talaj sótartalma nagyon erős stressz-tényező; és 3.) időnként vízállások alakulnak ki; a növényzet elfogadható pontossággal becsli a talaj sótartalmát. Diszkriminancia-analízissel és önkényesen elhatárolt növényzeti kategóriák alkalmazása esetén is, az egyes botanikai kvadrátokban a talaj telítési kivonatának elektromos vezetőképességi kategóriája (<4, 4-8 vagy >8 mS/cm) 75%-os pontossággal becsülhető volt. A legkisebb elektromos vezetőképességű kategória (<4 mS/cm) esetén a domináns fűvek a *Bothriochloa pertusa*, a *Dicanthium caricosum*, a *Cynodon nlemfuensis* és a *C. plectostachyon* voltak. A *Sporobolus pyramidatus*, a *Sesuvium portulacastrum* és más sótűrő növények nagy borítása a legnagyobb elektromos vezetőképességű kategóriára (>8 mS/cm) volt jellemző.

Mivel a növényzeti kategóriák elkülönítése egyszerű, a módszer egyértelmű, továbbá nem követeli meg a változók normál eloszlását, javasolható a hasonló legelők sótartalmának a növényzet alapján történő megítélése.

5.5.4. Indiai öntözött talajok szikesedési állapotának vizsgálata terepi reflektancia méréssel

India száraz radzsasztháni területein a téli haszonnövények öntözésére több tíz méteres mélységből felszivattyúzott sós felszín alatti vizek nagy mennyiségben tartalmaznak maradék nátrium-karbonátot, azaz a számított szóda-egyenérték (RSC) kedvezőtlenül nagy. Megvizsgáltuk a nagy RSC értékű vizekkel öntözött, különböző művelési fázisban lévő vályogos parcellák fizikai és kémiai tulajdonságai közötti összefüggéseket. Négy, több mint tíz éve öntözött helyszínünkön az öntözővíz összetétele változatos volt (EC 8, 7, 10, 4 mS/cm; SAR 45, 32, 25, 22; helyesbített SAR 98, 67, 48, 46 és RSC 19, 4, 0, 8 mgé/l, az 1-2-3-4 helyszínen sorban). Egyes parcellákat gipszettek a talajtulajdonságok korrekciója érdekében, és a helyszíneken eltérő művelési módokat alkalmaztak. A spektrális reflektancia a 2.helyszínen (32,3-42,1%) volt a legnagyobb, majd az 1.helyszín (18,2-23,2%), 3.helyszín és 4.helyszín (11,1-20,5%) következett. 800 és 1000 nm hullámhosszoknál nagyobb reflektancia értékeket mértünk, 460 nm-nél kisebbet és a legkisebbet 620 nm-nél. Az 1. és 2.helyszínen a nedves talajban kis penetrációs ellenállásértéket (0,05-4,24 kg/cm²) mértünk zsebpenetrométerrel. A 3. és 4.helyszínen a nagy penetrációs ellenállásértékek (29,06-46 kg/cm²) oka a száraz talaj volt. Nyolc független változóval számított többváltozós regressziós egyenletünk a spektrális reflektancia teljes varianciájának 99,7%-át magyarázta meg. A spektrális reflektancia fordított arányban állt a talaj nedvességtartalmával, egyenes arányban a talaj sótartalmával és pH-jával. A talaj sótartalmának és nátriumosságának távérzékelésére a májusi és júniusi természetesen kívüli időszakokat javasoljuk.

5.5.5. Elvadult radzsasztháni (India) *Prosopis juliflora* bozót eltérő szikesedési állapotú foltjainak elhatárolása nyomtatott hamis színes műholdfelvétellel

India Radzsaszthán államában hamisszínes nyomtatott műholdfelvételekkel vizsgáltuk a *Prosopis juliflora* bozót kiterjedését. A helyszínen két transzekt 33 pontjának vizsgálata révén megvizsgáltuk a színárnyalat kategóriák és a tulajdonságok közötti összefüggést. Átlagosan a kopár felszín 40.8%, a *P. juliflora* és pázsítfűvek 27-27% és a köves felszín 4% borítást mutatott. A felszínen vett talajminták elektromos vezetőképesség értéke <1 és 28 mS/cm értéktartományban változott, átlagosan 2,5 mS/cm volt. A lúgos pH nem mutatott nagy változatosságot. A két összehasonlított időszak közül az októberi kép alkalmasabb a köves felszín elkülönítésére. A műholdfelvétel értelmezését kétféle blokkméretre végeztük el. A felszín 1 pixel nagyságú foltjaiban a növényborításra és a

talajtulajdonságok értékeire nagyobb pontossággal tudtunk következtetni, mint 9 pixel kiterjedésű foltokban.

6. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK FELSOROLÁSA

6.1. A SZIKES TALAJOK TÉRBELI VÁLTOZATOSSÁGA MINT A TALAJKÉPZŐDÉSI FOLYAMATOK IRÁNYÁNAK ÉS ERŐSSÉGÉNEK INDIKÁTORA

6.1.1. A szolonyec talajok rögzített mélységenkénti mintavétele a talajok rétegzettségére, illetve a talajtulajdonságok mélységi változatossága miatt erősen különböző genetikai szinteket keverhet össze, ezek a szintek azonban maguk is változatosak. A szolonyeces A szinten belül a mélységgel növekszik a pH, a sótartalom azonban egyöntetű. A szolonyeces B szinten belül a mélységgel a pH gyengén változik, a sótartalom nő a maximális érték eléréséig és ezután kissé csökken. A vizsgált **Artemisio-Festucetum pseudovinae** (közepes réti szolonyec) - **Puccinellietum limosae** (kérges réti szolonyec) átmenet esetén 70 cm mélységtől lefelé a két társulás alatt a talaj pH és sótartalma egyöntetű volt, ettől kisebb mélységben azonban a közepes réti szolonyec szisztematikusan alacsonyabb értékeket mutatott.

6.1.2. Hortobágyi sekély és mély rétiszolonyec talajokkal borított mintaterületünkön a talaj sófelhalmozódással a legszorosabb összefüggést a térszíni fekvés mutatta. A többi - egy időpontban - meghatározott tulajdonság közül szoros összefüggést mutatott a talajvíz felszín alatti mélysége és a talaj szemcseösszetétele.

6.1.3. Karcagi mélyben sós csernozjom és rétitalajokkal borított mintaterületünkön helyszíni műszeres talaj- és talajvízvizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a gyökérszóna sótartalmát a talajvíz mélysége és sótartalma alapján elfogadható pontossággal meg lehet becsülni.

6.1.4. Karcagi réti szolonyec talajon, különböző kezelést kapott talajok gyökérszónájában gyűjtött minták sorozatában, a nátrium koncentráció és nátriumtelítettség jellemzők kielégítően megmagyarázták a kapilláris vízemelés, humusz stabilitás, Vageler-féle struktúra faktor értékeit.

6.1.5. A Nagyalföldre elkészített, utólag digitalizált talaj és agrogeológiai térképek közös térinformatikai bázisba építése és statisztikai értékelése alapján a szikes talajok elterjedésének tényezőit számszerűsítettük. A szikes talajok előfordulásának becslésében a legfontosabbak a "Felszín alatti képződmények" és a "Talajvíz kémiai típusa" térképekből származtatott új változók voltak, amelyek bevonásával 96%-os pontossággal becsültük meg a szikes talajok előfordulását.

6.1.6. Az egyes tájakon megfigyelhető talajsótartalom-csökkenéssel összefüggésben a talajfelszíni sókivirágzások előfordulása az elmúlt 50 év folyamán országszerte jelentősen megritkult. Ahhoz, hogy a felszínen sókivirágzás jelenjen meg a talaj felső szintjében a talaj telítési kivonat elektromos vezetőképességének a 20 mS/cm értéket el kell érnie.

6.2. A SZIKES TALAJOK TULAJDONSÁGAI ÉS A NÖVÉNYZET KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK ÉS AZOK ALKALMAZÁSA

6.2.1. Két merőleges 50 m hosszú transzekten elhelyezett 120 pont két (0-5 és 10-15 cm) mélységben vett mintái alapján a padkásszik komplexum növénytársulásait 76%-os pontossággal lehetett a talajkémiai tulajdonságok lineáris kombinációjával szétválasztani. 25 km²-es területen a hortobágyi puszta szikes mocsártól löszlegelőig terjedő növényzeti kategóriáit 184 pontos adathalmazban 62%-os pontossággal lehetett a 3 mélységben (0-10,

10-20 és 20-30 cm) meghatározott talajkémiai tulajdonságok lineáris kombinációjával szétválasztani. A két szétválás közötti különbség tükrözi, hogy a padkássziken a növényzeti foltok alapján végzett talajtulajdonság becslés pontossága felülmúlja a változatos, szikes mocsártól löszlegelőig terjedő növényzetű területen végzett talajtulajdonság érték-becslést.

6.2.2. Szolonyec talajokon szikesedéssel összefüggő talajkémiai tulajdonságok és növényfajok borítás-értékei közötti többváltozós regressziós egyenletek korrelációs koefficiense a terepi növénytársulástani felvételek során alkalmazott kvadrát mérettől, a vizsgált kvadrátok számától és egymástól vett távolságától függetlenül rendszerint 0,65 és 0,75 közé esett.

A növényi fajborítás és a talajtulajdonságok közötti korreláció alapját képezi a talajtulajdonságok számszerű becslésének mind a többváltozós regresszióanalízisben mind az egy- mind a többváltozós geostatistikában ({auto}krigelés és kokrigelés). A növényfajok borítás-értékét először használtam a talajtulajdonságok számszerű becslésére mind a többváltozós regresszióanalízisben mind a többváltozós geostatistikában. Mindkét vizsgált becslési módszer alkalmas arra, hogy a talajtulajdonságok izovonalas térképezése során a vizsgált talajtulajdonságok értékeit ismeretlen pontokban segítségükkel megbecsülhessük.

6.2.3. A padkásszik komplexum növényzeti kategóriái az összes borítás szélsőséges értékei miatt terepi reflektometriával szétválaszthatók. A reflektancia értékek összefüggést mutatnak azokkal a talajtulajdonságokkal amelyek a növényzeti kategóriák diszkriminancia analízissel történő elválasztásában a legnagyobb jelentőségűek voltak. A zsiókás mocsártól az ürmös szikes pusztáig terjedő magassági tartomány társulásainak a határvonalai terepi reflektancia méréssel elhatárolhatók.

6.3. SZIKES TERÜLETEK TÁVÉRZÉKELÉSES VIZSGÁLATA

6.3.1. Hamisszínes infravörös légifényképnek a döntően ürmös szikespusztai vegetációval borított területen való alkalmazása során a légifényképen, szín és mintázat alapján elkülönített foltok a terepi azonosítás tanúsága szerint a következő tényezők kombinációjaként jöttek létre: a növénytársulások komplex előfordulása, átmenetei egymásba, a térszíni különbségek és a felszíni vízelvezető rendszerben elfoglalt helyzet, talajeróziós formák, taposás és gyomosodás.

6.3.2. Kialakítottuk a szikes mezőgazdasági tábláknak légifénykép alapján, térinformatikai rendszer segítségével végzett kémiai javítása talajtani keretét. Az eljárás alapja az a jelenség, hogy a légifényképen elkülönülő foltok reflektanciája egyenes arányban áll azok gipsz-szükségletével. A kidolgozott eljárás lehetővé teszi a nagyobb termékenységgű táblák közé ékelődött szikes foltok pontról pontra változó nátriumosságának figyelembe vételét, és a termelés által megkívánt mértékű, ugyanakkor a gazdálkodó által megválasztott megbízhatósággal végzett talajjavítást azáltal, hogy a tényleges mintavétel és javítás előtt ezeket a műveleteket a térinformatikai rendszerrel optimalizáljuk.

6.3.3. Nagykovási területek úrfelvételes távérzékelése során megállapítottuk, hogy a közel természetes növényzettel és lucernával borított területeken a biomasszában meglévő különbséget kimutatni hivatott változó a felszíni kémhatás kategóriákban nem mutatott szignifikáns eltérést. A sótartalom, ESP, pH mellett a talaj vízgazdálkodása az a tényező, ami a növényi biomassza mennyiségét megszabja. Ugyanitt a legeltetés és kaszálás korlátozza a biomassza érzékelésén alapuló távérzékeléses technikák alkalmazását, ugyanis a reflektancia nem tükrözi a szikesedésben meglévő különbségeket. Ahol a szikesedésben kisebb különbségek várhatók, azaz a szántóterületeken, ott a búza és napraforgó biomasszája a szikesedés fokától függő, szignifikáns különbséget mutatott.

6.4. A TALAJ SÓFELHALMOZÓDÁS TÉNYEZŐINEK IDŐBELI VÁLTOZÁSA

6.4.1. A kiskunsági Apaj és Zabszék-tó mellett végzett vizsgálataink alapján meghatároztuk, hogy a megelőző száraz időszak (1975.-1997.) Apaj környékén mindegyik térszínen a talajvízszint csökkenését okozta. 3,5 év folyamán havonta ismételt mérések alapján a talajvízszintet az apaji ürmös szikesgyepen és a Zabszék melletti mézspázsitos tóparti gyepen is a csapadékmennyiség határozta meg. A talajvíz összetétele mind a csapadék, mind a talaj hatását mutatta. A talajvíz sótartalmát a léghőmérséklet, illetve a csapadékmennyiség; a feltalaj sótartalmát pedig a talajvíz szintje, annak sótartalma és a talajnedvesség tartalom határozta meg. Apajon szolonyec, Zabszék mellett szoloncsák talajra jellemző sófelhalmozódást tapasztaltunk. A talaj sófelhalmozódás tényezői szoros időbeli, mélységbeli és területi függőséget mutattak. Apajon a talaj nedvesség- és sótartalom változása szorosan követte az éven belüli hőmérséklet ingadozások periodicitását, a pNa és pH értéke azonban nem.

6.4.2. Hortobágyi mintaterületünkön a talajvíz mélységét és elektromos vezetőképességét is megbízhatóan előre lehet jelezni a dekádonkénti csapadék mennyiségi változásának ismeretében. Az időszakosan kialakuló vízállások hatására a talajvíz áramlási iránya rendszeresen megváltozik. A térszíni különbségeknek megfelelően elkülönített magassági övezetek közül a középsőben legnagyobb a talaj sótartalma és nátriumossága, mert itt a legkisebb a csapadékvíz beszivárgása. A talaj sótartalom változásának leírására koncepcionális modellt szerkesztettünk.

6.6. A HAZAI ALAPOZÓ VIZSGÁLATOK ELVEIT ALKALMAZÓ KÜLFÖLDI TANULMÁNYOK

6.5.1. Kínai felhagyott szántón több blokkméret alkalmazása esetén is kellő pontossággal lehet a talaj sótartalmát és pH-ját megbecsülni. 20x20 m-es blokkok esetén a krigelés és a növényi factor score-okkal, növényi borítással és penetrációs ellenállással végzett kokrigelés pontosabban becsli a talaj pH-t és sótartalmat mint a regresszióanalízis. 5x5 m-es blokkok esetén a többváltozós regresszióanalízis könnyen meghatározható változókkal hasonló pontosságot nyújt. A növényzeti kategóriák alapján egydimenziós küszöbértékeléssel egyszerűen és gazdaságosan becsültük meg a talaj termeszésre való alkalmasságát.

6.5.2. Kubai szikes legelőn önkényesen elhatárolt növényzeti kategóriák alkalmazásával a tervezett fásításhoz elfogadható, 75%-os pontossággal becsültük meg a talaj sótartalom-kategóriáját. A javasolt módszer pontossága nem rosszabb mint a diszkriminancia-analízisé.

6.5.3. Száraz radzsasztháni területen az öntözött talajok reflektanciáját nagy pontossággal becsültük meg a talajtulajdonságok alapján. A reflektancia értéke fordított arányban állt a talaj nedvességtartalmával, egyenes arányban állt a sótartalmával és pH értékével. Elvadult radzsasztháni *Prosopis juliflora* bozót eltérő szikesedési állapotú foltjainak elhatárolásához meghatároztuk a felvételezésre alkalmas évszakot és képpont-méretet.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illet mindenkit aki a dolgozat elkészülésében segítségemre volt.

A dolgozat alapjául szolgáló, az egyes fejezeteknél hivatkozott eredeti cikkek társszerzősége jelzi a kutatásban résztvevők körét. A társszerzők tevékenységének és a saját munkámnak az elkülöníthetősége érdekében az egyes fejezetekben a "A munka fázisai"

felsorolásban félkövéren szedett betűkkel jelöltem meg azt a munkafázist ami egyértelműen személyemhez köthető.

A dolgozatban felhasznált cikkekre elmondható, hogy azoknak megszővegezése több mint 90%-ában kizárólag hozzám köthető.

A gondolat, hogy a szikes talajok tér- és időbeli változatosságát vizsgálni kell, mintegy tizenöt éve, holland egyetemistáknak tartott tiszántúli terepgyakorlatok alatt vetődött fel. Theo Bruggenwert, Arie Kamphorst és Tjissie Hiemstra hallgatói példamutató fogékonysággal és következetességgel elmélkedtek, érveltek, vitáztak a mi szolonyeceink képződésével, javításával kapcsolatos témákban. Logikus volt, hogy előző munkahelyem az (akkori) DATE Kutató Intézetében Karcagon elkezdjem ezeket a vizsgálatokat.

Miután munkahelyet változtattam az MTA TAKI-ban a szikesekkel kapcsolatos tevékenységem nem kezdődhetett volna el, ha Rajkai Kálmán nem teszi lehetővé, hogy az ő korábbi hortobágyi vizsgálatait folytathassam. Csillag Ferenc érdeme, hogy részt vehettem a hazai terepi és műholdas távérzékelési munkákban, ez utóbbi Büttner György képelemzése nélkül lehetetlen lett volna. Rédly Lászlóné és Csillag Julianna a vizsgálati módszerek kiválasztásában, a laboratóriumi eredmények értelmezésében segített. Rajkai Kálmán, Kertész Miklós, Várallyay György és Kummert Ágnes lehetővé tették, hogy az elmúlt évtizedben olyan munkákban vegyek részt amelyekben lehetőség nyílt a szikes területek vizsgálatára. Az intézet inspiráló légköre, a szakmai kapcsolattartás Darab Katalinnal és Szabolcs Istvánnal további erősítést adott. Az MTA TAKI Térinformatikai Laboratóriuma, elsősorban Pásztor László térbelész, számos esetben mint meghatározó kutatási partner, alkalmankénti tanácsadó segítette a munkámat.

A külső intézetek közül ki kell emelni a MÁFI Agrogeológiai Osztályának, mindenekelőtt Kuti Lászlónak a segítségét. A dolgozat elkészülése szempontjából ugyancsak kiemelkedő Kertész Miklós (MTA ÖBKI, korábban kiemelkedő együttműködő TAKI-s és kubai partner) és Kabos Sándor (ELTE Szociológia Tanszék) szerepe, valamint a Debreceni Egyetem Karcagi Kutatóintézete közreműködése.

A terepi munkákban az MTA TAKI Talajtani Osztálya szinte minden tagja, különösen Szabó József, Bezzegh Mihály és Siedlerné Matus Judit vett részt.

A minták elemzését a Talajtani Osztály asszisztensei, Tamás Zsuzsanna, Fehér Mária, Mózes Zoltánné végezték.

A dolgozat alapjául szolgáló eredeti cikkek elkészülését a következő kutatási pályázatok támogatták:

OTKA T 014522, T 023271, T 30738 és T025623, T037731, T37364 kutatási pályázatok, valamint:

Az Európai Közösség Környezeti és Éghajlati Kutatási Programja (PL970598 számú pályázat, szerződésszám ENV4-CT97-0681).

A “ Számítógépes szakértői rendszer kidolgozása a szikes talajok optimális javítására” FM projekt.

A “Szikes talajok térképezése és javítása” Magyar-Indiai Kormányközi együttműködési projekt.

A “Szikes területek növényzetének és talajainak térképezése” az MTA és a Kubai Tudományos Akadémia projektje.

Külön köszönetet mondok a disszertáció szövegének javításában kifejtett segítségért Filep Györgynek, Máté Ferencnek, Németh Tamásnak, Rédly Lászlónénak és Várallyay Györgynek, valamint a nyelvi és stilisztikai kiigazításokért Selmeczi Editnek és Rékási Márknak.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Abad-Franch, A. és Batlle-Sales, J. 1993. Tengerparti sós mocsarak talajainak degradációja Castellon (Spanyolország) környékén. *Agrokémia és Talajtan*. 42: 245-256.
- Abdel-Dayem, S. és Skaggs, R. W. 1990. Extension of DRAINMOD for simulating water management in arid regions. In: Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions Cairo February 25–March 2. Vol. 2. 201–212.
- Adam, M. 1991. Javított szolonyec talajok víz- és sóforgalma a Dráva völgyében. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 345-350.
- Al Saleh, I. K., Rédly L.-né és Szabolcs I. 1990. Kilúgzási kísérletek szíriai talajokon. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 371-190.
- Anderson, D. W. 1987. Pedogenesis in the grassland and adjacent forests of the Great Plains. *Advances in Soil Science*. 7: 53-93.
- Arany S. 1934. A hortobágyi szikes talajok. in: Sajó E. és Trummer Á. (eds.) *A magyar szikesek*. Pátria. Budapest.
- Arany S. 1956. A szikes talaj és javítása. *Mezőgazd. Kiadó*. Budapest.
- Arany S., és Babarczy J., 1937. Alföldi sókivirágzások és talajvizek. *Mezőgazdasági Kutatások*. 10:89-96.
- Arndt, J. L. és Richardson, J. L. 1988. Hydrology salinity and hydric soil development in a North Dakota prairie-pothole wetland system *Wetlands*, 8:93-108.
- Arndt, J. L. és Richardson, J. L. 1989. Geochemistry of hydric soil salinity in a recharge-throughflow-discharge prairie-pothole wetland system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:848-855.
- Ayers, R. S. és Westcot, D. W. 1985. Water quality for irrigation. *FAO Irrigation and drainage Paper* 29. FAO. Róma.
- Bacsó, A. és Fekete, J. 1969. Role of groundwater in the secondary salinization of meadow-chnozem soils in the Hajdúság area. *Agrokémia és talajtan*. 18 (Suppl) 339-340.
- Bagi, I. 1987. The vegetation map of the Kisapaj UNESCO biosphere reserve core area, Kiskunság National Park, Hungary. *Acta Biol. Szeged*. 33:63-74.
- Bagi, I. 1988. The role of water management in the degradation processes of halophilic vegetation in Hungary. *Environmental Conservation*. 15:359-362.
- Bagi, I. 1989. The vegetation map of the Tripolis UNESCO biosphere reserve core area, Kiskunság National Park, Hungary. *Acta Biol. Szeged*. 35:39-51.
- Bagi I. 1989b. A *Gypsophila muralis* L. kiskunsági szikeseken való előfordulásának talajtani okai és természetvédelmi vonatkozásai. *Bot. Közlem.* 76. No. 1-2. 51-63.
- Bagi, I. 1990. The vegetation map of the Szappan-szék UNESCO biosphere reserve core area, Kiskunság National Park Hungary. *Acta Biol. Szeged*. 36:27-42.
- Bagi I. 1991. A Felső-szunyog pusztai bioszféra-rezervátum természetvédelmi értékelése. *Természetvédelmi Közlemények* 1:41-48.
- Bahiev, A. 1979 *Rasztityelnije indikatori zasolenyija pocsv i gruntovih vod*. FAN. Taskent.
- Bakacsi Zs. 2001. Kiskunsági alluviális síkság talajtani-domborzati sajátosságainak térinformatikai alapú vizsgálata, különös tekintettel a feltételezett talajvízszint-változásokra. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 371-382.
- Bakacsi, Zs. és Kuti, I. 1998. Agrogeological investigation on a salt affected land-landscape in the Danube Valley Hungary. *Agrokémia és Talajtan*. 47: 129–138.
- Baksa L. et al. 1983. A geostatistika alapfogalmai. *Geostatistikai Munkabizottság*.
- Ballenegger, R. 1929. Les méthodes de la cartographie des sols alcalins (salins). pp. 9-12. in: *Transactions of the Alkali-Subcomission of the International Society of Soil Science*. Volume A. Budapest.
- Bánszki T. 1992. Az NPK- és Ca-trágyázás hatása szolonyeces réti talajon telepített gyepen. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 283-298.
- Battle, J., Gumuzzio, J. és Moral, M. 1988. Remote sensing applied to soil salinity survey in the central region of Spain. in: *Solonetz soils. Problems properties utilization*. (Proceedings of ISSS Subcomission Symposium 1988 Osijek) pp142-149.
- Bauer, M. E., Biehl, L. L., Daughtry, C.S.J., Robinson, B. F., és Stoner, E. R. 1979. Final Report. Agricultural scene understanding and supporting field research. LARS, Purdue University, Lafayette, Indiana.
- Baumgardner, M. F., Silva L. F., Biehl, L. L., és Stoner, E. R. 1985. Reflectance properties of soils. *Advances in Agronomy* 38:1-44.
- Bazilevich, N. I. The geochemistry of soda soils. 1970. USDA NSF and Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem.
- Bennett, H. H. és R. V. Allison. 1962. Los suelos de Cuba. *Comisión Nacional Cubana de UNESCO*. Havana.

- Benz, L. C., Mickelson, R. H., Sandoval, F. M., és Carlson, C. W. 1961. Groundwater investigations in a saline area of the Red river valley North Dakota. *Journal of geophysical research*. 66: 2435-2443.
- Blaskó L. 1999. A réti szolonyec talajok javításának tartamhatása. *Agrokémia és Talajtan*. 48:517-530.
- Blaskó L. és Karuczka A. 2001. Különböző kicserélhető magnézium-tartalmú talajok néhány fizikai tulajdonsága. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 383-396.
- Blaskó L., Karuczka A., Nyíri L. és Zsembeli J. 1995. Kötött talajok széleróziós érzékenysége vizsgálat. *Agrokémia és Talajtan*. 44: 497-503
- Blume, H. P. 1992. *Handbuch des Bodenschutzes*. ECOMED.
- Bodroγκőzy, Gy. 1965. Ecology of the halophilic vegetation of the Pannonicum.. II. Correlation between alkali ("szik") plant communities and genetic soil classification in the Northern Hortobágy. *Acta Bot. Hung*. 11:1-51.
- Bodroγκőzy Gy. 1977. A Pannonicum halophyton társulásainak rendszere és synökológiája. Kandidátusi értekezés. Szeged.
- Borhidi, A. 1991. Phytogeography and vegetation ecology of Cuba. Akadémiai Kiadó. Budapest. 858 p.
- Borhidi, A. és R. A. Herrera. 1977. Génesis características y clasificación de los ecosistemas de sabana de Cuba. *Ciencias Biológicas*. No. 1. 115-130.
- Boros E. 1999. A magyarországi szikes tavak ökológiai értékelése. *Acta Bio. Debr. Oecol. Hung*. 9:13-80.
- Boros E. és Biró Cs. 1999. A Duna-Tisza közti szikes tavak ökológiai állapotváltozása a XVIII-XX. Századokban. *Acta Bio. Debr. Oecol. Hung*. 9:81-105.
- Bradd, J. M., Milne-Home, W. A., és Gates, G. 1997. Overview of factors leading to dryland salinity and its potential hazard in New South Wales Australia. *Hydrogeology Journal*. 5:51-67.
- Bresler, E., McNeal, B. L., és Carter, D. L. 1982. *Saline and sodic soils*. Springer. Berlin.
- Brook Harker, D. L., Penner, A., Harron, W.R., és Wood, R. C. 1995. „For now we see as through a glass darkly I. Historic trends in dryland salinity point to future expectations under irrigation. <http://www.agr.gc.ca/pfra/pub/ppcrs.htm>
- Burrough, A. P. 1993. The technologic paradox in soil survey: new methods and techniques of data capture and handling. *ITC Journal* 1993-1. 15-22.
- Chapman, V. J. 1960. *Salt marshes and salt deserts of the world*. Leonard Hill Ltd. London.
- Chhabra, R. 1996. *Soil salinity and water quality*. Balkema. Rotterdam.
- Colwell, R. N. (szerk.) 1983. *Manual of remote sensing*. American Society of Photogrammetry. Falls Church. Virginia
- Cserni, I. 1998. Importance of leaching in irrigated vegetable and plant production in saline soils under arid conditions. *Agrokémia és Talajtan*. 47: 235-244.
- Csillag, J., Tóth, T., és Rédly, M. 1995. Relationships between soil solution composition and soil water content of Hungarian salt-affected soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 9:245-260.
- Csillag F., Pásztor L., és Biehl, L. L. 1993. Spectral band selection for the characterisation of salinity status of soils. *Remote Sensing of Environment* 43: 231-242.
- Darab K. 1955. A vetésforgó néhány növényének hatása tiszántúli talajaink szikesedési viszonyaira. *Agrokémia és Talajtan* 4:305-310.
- Darab K. 1967. Megjegyzések Dr. H. Franz "Adatok a Hortobágy és környéke negyedkori sztratigráfiájáról és a szikes talajok képződéséről" című cikkéről. *Agrokémia és Talajtan*. 16. 459-468.
- Darab K. 1990. A szikesedés kémiájának vizsgálata Arany Sándor munkájában. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 23-27.
- Darab K. 1992. A szikesedés kémiája és fiziko-kémiája. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 103-126.
- Darab, K. 1994. Magnesium in salt-affected soils. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 133-158.
- Darab K., Rédly, L-né és Csillag, J. 1994. Salt balance in sustainable irrigated farming. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 159-174.
- Davis, J. C. 1986. *Statistics and data analysis in geology*. Wiley. New York.
- Deák, J. 1975. Study of the recharge of deep groundwaters and their connection with shallow groundwaters using environmental isotopes in the Nagykunság region, Hungary. *Hidrológiai Közöny*. 4. sz. 733-744.
- Dunay S. és Kalmár E. 1993. A talajvízszint szerepe a talajok vízháztartásában. Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok. OMSZ. Budapest. 43-84.
- Dvihally Zs. 1960. Szikes tóvizek kémiai összetételének évszakos változása. *Hidrológiai Közöny*. 1960. 316-323.
- Dvihally Zs. 1999. Hazai szikes vizeink kémiai jellege. *Acta Bio. Debr. Oecol. Hung*. 9:281-292.
- Dwiwedi, R.S., Venkatratnam, L. és Karale R.L. 1987. Monitoring salt affected soils from space borne multi spectral and multi-temporal data. *Proceeding National symposium on Remote Sensing in Land Transformation and Management*, Hyderabad, 65-70.

- Dyer, M. I., Turbner, C. L. és Seastedt, T. R. 1991. Remote sensing measurements of production processes in grazinglands: the need for new methodologies. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 34: 495-505.
- Eaton, F. M. 1950. Significance of carbonate in irrigation water. *Soil Science*. 1969. 123-133.
- Eilers, R. G., Eilers, W. D. és Fitzgerald, M. M. 1997. A salinity risk for soils of the Canadian prairies. *Hydrogeology Journal*. 5:68-79.
- Endrédy E. 1941. A szikesek keletkezésének kérdéséről. *Öntözésügyi Közlemények*. 1941. 207-217.
- Erdélyi M. 1979. A Magyar Medence hidrodinamikája. *VITUKI Közlemények*. 18.
- Eugster, H. P. és Jones, B. F. 1979. Behavior of major solutes during closed-basin brine evolution. *American Journal of Science*. 279: 609-631.
- Excursions. Hortobágy – Description of Profile 2. 1965. *Agrokémia és Talajtan*. 14. Supplementum. pp. 440-443.
- FAO. 1976. Prognosis of salinity and alkalinity. *FAO Soils Bulletin No.31*.
- Favrot, J. C., Bouzigues R., Tessier, D. és Valles, V. 1992. Contrasting structures in the subsoil of the boulbènes of the Garonne basin France. *Geoderma*. 53:125-137.
- Fehér J., Rajkai K. és Molnár E. 1999. A SALINEXP Szakértői Rendszer. *Agrokémia és Talajtan*. 48: 491-500.
- Fejes I., Kuti L. és Simon A. 1995. Geofizikai módszerek és eszközök lehetőségei a talaj-alapkőzet-talajvíz rendszer kutatásában és az agrárkörnyezetvédelemben. *Agrokémia és Talajtan*. 44: 317-325.
- Fekete J. 1968. Mélyben sós réti csernozjomok víz- és sóforgalma a Hajdúszoboszlói Állami Gazdaságban. *Agrokémia és Talajtan*. 17: 25-46.
- Fekete, J. 1969. Salt circulation in Irrigated meadow-chernozem soils of the Hajdúság Area of Hungary. 341-344. *Agrokémia és talajtan*. 18 (Suppl)
- Fekete J. 1974. Néhány kubai talaj vizsgálata, tekintettel az oldható sók felhalmozódására. *Agr. Tud. Egy. Mg tud Karának Közleményei*. Pp357-375.
- Fekete J. 2002. Szikes talajok javításának hatása a talaj tulajdonságaira. 259-267.o. (Kátai J. és Jávora A. szerk.) *Talaj és környezet*. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum.
- Fekete J. 1988. Trópusi talajok. Akadémiai Kiadó. Budapest
- Filep Gy. 1990. Arany Sándor talajtani tevékenysége a Tiszántúlon. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 15-16.
- Filep Gy. 1999a. A szikes talajok kémiai jellemzői közötti összefüggések. *Agrokémia és Talajtan*. 48: 419-430.
- Filep Gy. 1999b. Az öntözővizek minősége és minősítése. *Agrokémia és Talajtan*. 48: 49-66.
- Filep Gy. 2001. A szikes talajok javítóanyag-szükségletének becslésére alkalmas módszerek összehasonlítása. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 450-456.
- Filep Gy. és M. Wafi. 1992. Kettőshasznosítású (öntöző/lecsapoló) drénhálózat hatása a talaj só- és Na+-forgalmára, szikes altalajú területen. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 323-335.
- Filep Gy. és M. Wafi. 1993. A talajoldat sókoncentrációjának és a talaj nátriumtelítettségének (ESP) számítása a telítési kivonat jellemzőiből. *Agrokémia és Talajtan*. 42: 245-256.
- Filep Gy. és Rédly L-né. 1992. A pH és az elektrolitkoncentráció hatása a talaj alumínium- és szilíciumvegyületeinek oldódására. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 177-188.
- Fireman, M. és Hayward, H. E. 1952. Indicator significance of some shrubs in the Escalante desert UTAH. *Botanical Gazette*. 114: 143-155.
- Flury, M. és Papritz, A. 1993. Bromide in the natural environment: occurrence and toxicity. *J. Environ. Qual*. 22:747-758.
- Fullerton, S. és Pawluk, S. 1987. The role of seasonal salt and water fluxes in the genesis of solonchic B horizons. *Canadian Journal of Soil Science*. 67: 719-730.
- Gardner, W. R. 1960. Soil water relations in arid and semiarid conditions. In: *Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions*. *Arid Zone Res*. 15: 37-61.
- Garo G. 1991. Albániai szikes talajok és javításuk. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 477-483.
- Ghassemi, F., Jakeman, A. J. és Nix, H. A. 1995. Salinisation of land and water resources. Australian National University. Canberra.
- Glazovskaya, M. A. 1983. *Soils of the World*. A. A. Balkema. Rotterdam.
- Harmati I. 1996. Sós talajvízzel történő öntözés hatása a karbonátos szoloncsák talajokra a Duna-völgyben. *Agrokémia és Talajtan*. 45: 1-20.
- Harmati I. 2000a. A vízrendezések hatása a Duna-völgy szikes talajaira. *Agrokémia és Talajtan*. 49:369- 382.
- Harmati I. 2000b. A duna-völgyi szikes talajok és ezek talajvizének sótartalma. *Agrokémia és Talajtan*. 49: 383-399.
- Harmati I. 2000c. A Duna-völgy talajvíz-viszonyainak változása a vízrendezések hatására. *Agrokémia és Talajtan*. 400- 416.
- Hegedűs I. 1958. Légifényképek felhasználása talajtérképezésnél. OMMI. Budapest.

- Henry, J. L., Bullock, P. R., Hogg, T. J. és Luba, D. 1985. Groundwater discharge from glacial and bedrock aquifers as a soil salinization factor in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*. 65: 749-768.
- Herke S. 1983. Szikes talajok javítása és hasznosítása a Duna völgyében. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Herke S. I., Mihályfalvy I., Prettenhoffer E., Tury és Vezekényi E. 1959. Gazdálkodás szikeseinken. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Hohlenko, T. N. 1992. A talajrendszerek termodinamikai stabilitásának vizsgálata dél-ukrajnai öntözött csernozjom talajokban. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 337-344.
- Horiba, év nélkül. Pocket EC-meter
- Hortobágyi T. és Simon T. 1981. Növénytakaró és ökológia. Tankönyvkiadó. Budapest.
- Horváth J. (szerk.) 1987. Távérzékelési módszertani útmutató a meliorációs tanulmánytervek készítéséhez. FÖMI. Budapest.
- Imre J. 1952. Újabb eljárás a szódás-szikes gyepek növényzetének sziktűröképesség vizsgálatához és a talaj termelési értékének megállapításához. Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet 1952-3 évkönyve. Budapest. OMMI. 123-134.
- Imre J. 1994. Sós-szikes talajok hasznosítása a Duna-Tisza közén. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 367-370.
- Inanaga, S. 1991. Improvement of sloping beds of row for crop establishment in saline low land in Cangzhou Prefecture China. *Proceedings of International Symposium Impacts of Salinization and Acidification on Terrestrial Ecosystem and its Rehabilitation*. September 26-28 Fuchu Tokyo. pp.143-148.
- Iványosi-Szabó A. 1993. A Duna-Tisza Közi Hátság...Nagyalföld Alapítvány Kötetei 3. 77-85.
- Johannsen, C. J., és Baumgardner, M. F. 1968. Remote sensing for planning resource conservation, pp.149-155, in *Proceedings of 1968 Annual Meeting of Soil Conservation Society of America*.
- Joshi, D. C., és Dhir, R. P. 1991. Rehabilitation of degraded sodic soils in an arid environment by using Na-carbonate for irrigation. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 5 : 175-185.
- Joshi, D. C., és Dhir, R. P. 1994. Amelioration and management of soils irrigated with sodic water in the arid region of India. *Soil Use and management* 10: 30-34.
- Joshi, D. C., Kalra, N. K., és Pramila Raina. 1999. Remote sensing for soil resources appraisal in arid region of Rajasthan, pp. 27-34, in A.S. Faroda, N.L. Joshi, S. Kathju és Amal Kar, eds. *Management of Arid Ecosystem*. Scientific Publishers, Jodhpur,
- Joshi, D. C., Tóth, T., Sári, D. 2002. Spectral reflectance characteristics of Na-carbonate irrigated arid secondary sodic soils. *Arid Land Research and Management*. 16:161-176.
- Joshi, D. C., Tóth, T., Sári, D. 2002a. Visual discrimination of surface features of salt affected soils using satellite images in arid region of Rajasthan (India). *Indian Journal of Remote Sensing*. 30: 33-38.
- Joshi, D.C., Kalra, N.K. és Pramila, R. 1999. Remote sensing for soil resources in arid region of Rajasthan. In *Management of Arid Eco-system* (Eds. A.S. Faroda, N.L. Joshi, S. Kathju és Amal Kar) Scientific Publishers, Jodhpur, pp.27-34.
- Juhász-Nagy P. 1984. Beszélgetések az ökológiáról. Mezőgazdasági Kiadó Budapest.
- Kabos S. 1999. Környezeti információs rendszerek adatelemzése: inkonzisztens területi és időbeli referenciájú adatrendszerek vizsgálata. Doktori Értekezés SZIE. Gödöllő.
- Kalmárné Vass E. 2000. A talajállapot hosszú távú változása egy jellegzetes körösvölgyi területen. *Agrokémia és Talajtan*. 49: 20-40.
- Kalra, N. K. és Joshi, D. C. 1996. Potentiality of Landsat, SPOT and IRS satellite imagery, for recognition of salt affected soils in Indian Arid Zone. *International Journal of Remote Sensing* 17, 3001-3014.
- Kalra, N. K., és Joshi, D. C. 1994. Spectral reflectance characteristics of salt affected arid soils of Rajasthan. *Photonirvachak, Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 22 : 183-193.
- Kalubarme, M.H., Sahai, B. és Bapat, M.V. (1983) Remote sensing of Waterlogged and salt affected soils in Mahi command area. *Proceeding National symposium on Remote Sensing in Development and Management of water resources*, Ahmedabad, 182-190.
- Kapoor B. S. Rózsavölgyi J. és Rédly L. 1986. Szikes és réti talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak és ásványi összetételének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*. 35: 317-340.
- Karuczka A. 1999. Időjárási viszonyok hatása a szikes talaj sósórlására. *Agrokémia és Talajtan*. 48: 459-468.
- Kearney, T. H., Briggs, L. J., Shantz, H. L., McLane, J. W. és Piemeisel, R. L. 1914. Indicator significance of vegetation in Tooele Valley Utah. *Journ. of Agric. Res.* 1:365-417.
- Kelley, W. P. 1951. Alkali soils. Reinhold. New York.
- Kertész, M. és Tóth, T. 1994. Soil survey based on sampling scheme adjusted to local heterogeneity. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 113-132.
- Kertész M. Rajkai K. és Tóth T. 1990. Légifényképezés alkalmazása védett termőhelyek vizsgálatában. *Környezetgazdálkodási kutatások 3. A G-10 jelű OKKFT Program keretében végzett kutatások*. G10. Budapest. pp.62-100.
- Key to Soil Taxonomy. 1994. USDA Soil Conservation Service, Washington, DC

- Khan, N. M. és Sato, Y. 2000. Land degradation due to hydro-salinity in semi-arid regions using GIS and remote sensing. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts1/agri002pf.htm>
- Klimes-Szmik E. és Szébényi E. 1975. Suelos de Cuba. Tomo I. Editorial Orbe. Havanna.
- Kovács Gy. 1960. A szikesedés és a talajvízháztartás kapcsolata. Hidrológiai Közlöny. No. 2. 131-139.
- Kovács J. és Tóth A. 1988. Mikroklíma mérések a hortobágyi gyeptársulásokban. Tudományos kutatások a Hortobágyi Nemzeti Parkban. Budapest. 287-294.
- Kovda, V. A. és Szabolcs, I. (Eds.) 1979. Modelling of Soil Salinization and Alkalization. Agrokémia és Talajtan. 28. (Suppl.) 1-208.
- Kovda, V. 1946. Proizhozdeniye i rezsim zasolennih pocsv. Ak. Nauk. SzSzSzR.
- Kovda, V. A., C van den Berg, és R. M. Hagan. (eds.) 1973. Irrigation, drainage and salinity. In international source book. Hutchinson/FAO/UNESCO
- Körmöczi, L. 1983. Correlations between the zonation of sandy grasslands and the physico-chemical condition of their soil in Bugac. Acta Biol Szeged 29 (1-4): 117-127.
- Krempner R. és Filep Gy. 1999. Oldott anyagok talajbani mozgásának leírása determinisztikus transzportmodellekkel. Agrokémia és Talajtan. 48: 321-332.
- Kreybig L. 1937. A Földtani Intézet talajvizsgáló felvételei és a térképezés módszere. MÁFI. Budapest
- Kreybig, L. és Endrédy, A. 1935. Über die Abhängigkeit des Vorkommens von Alkaliböden im Oberen Tisza-Gebiete Ungarns von der absoluten Höhenlage. Transactions III. International Congress of Soil Science. Oxford. I. pp. 357-360.
- Kuti L. 1977. Az agrogeológiai problémák és a talajvíz kapcsolata az izsáki térképlap területén. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1977. évről. 121-130.
- Kuti, L. 1989. Young unconsolidated sediments and their chemical interaction with the groundwater stored in them. Annual report of the Hungarian Geological Institute of 1987. pp441-454.
- Kuti, L., Tóth, T., Pásztor, L., és Fügedi, U. 1998. Analysis of regional soil salinization by GIS. pp.106-122. In: A. Elgala (ed.) Proceedings of the International Symposium on Sustainable management of salt-affected soils in the arid ecosystem. 21-26 September 1997. Ains Shams University Cairo Egypt.
- Kuti L., Tóth T., Pásztor L. és Fügedi U. 1999. Az agrogeológiai térképek és a szikesedés. Agrokémia és Talajtan. 48:501-516.
- Lal R. és Lal P. 1990. Az öntözővíz-minőség és az NPK-műtrágyák hatása a búza tápelemfelvételére. Agrokémia és Talajtan. 39: 67-73.
- Larin, I. V. 1953. Opregyeleniye pocsv i szelskohoizajsztvennih ugodij po rasztityelnomu pokrovu. Szelhozgiz. Moszkva.
- Laslett, G. M., McBratney, A. B., Pahl, P. J. és Hutchinson, M. F. 1987. Comparison of several prediction methods for soil pH. Journal of Soil Science. 38:325-341.
- Latkovics I-né. 2001. A szikes talajok N-gazdálkodása. Agrokémia és Talajtan. 50: 524-544.
- Leszták J-né és Szabolcs I. 1959. Néhány összefüggés a hortobágyi szikes talajok padkásodása és fizikai tulajdonságai között. MTA Agrártudományi Osztály Közleményei. 209-224.
- Letey, J. 1984. Impact of salinity on the development of soil science. pp.1-14. in Shainbert, I. és J. Shalhevet. Soil salinity under irrigation. Springer Verlag. Berlin.
- Liebe P. 1993. Talajvízszint-süllyedés a Duna-Tisza-közi Hátságon. VITUKI RT. Budapest
- Loch J. 1990. Arany Sándor a kémia és talajtan professzora. Agrokémia és Talajtan. 39: 12-13.
- Loret, J., és Mathieu, C. 1991. Dictionary of Soil Science. Oxford and IBH, New Delhi.
- Mados, L. 1943. Soil salinization and water. Hidrológiai Közlöny. 23. 3-21.
- Magyar P. 1928. Adatok a Hortobágy növényzociológiai és geobotanikai viszonyaihoz. Erdészeti Kisérletek. 30. 26-63.
- Major G., Major P. és Vargay Z. 1991. A Duna-Tisza közti Hátság lefolyási viszonyainak hatása a talajvízszint változására. Vízügyi Közlemények. 73. 142-152.
- Major P. 1993. A Nagy-Alföld talajvízháztartása. 73 (1) 40-43. Hidrológiai Közlöny. 73 (1) 40-43.
- Major P. és Neppel F. 1988. A Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedések. Vízügyi Közlemények Vol. 70. No. 4. 606-623.
- Marchand, D. 1987. Etude sur un traitement informatique des données sur une parcelle de parc naturel de Hortobágy. Grenoble.
- Marrero, L. 1951. Geografia de Cuba. Havanna. 736 p.
- Máté F. 1955. Adatok tiszántúli réti talajaink genetikájához. Agrokémia és Talajtan. 4:100-110.
- McClelland, C., Mogen, A., Johnson, W. M., Schroer, F. W és Allen, J. S. 1959. Chernozems and associated soils of eastern North Dakota: some properties and topographic relationships. Soil Science Society of America Proceedings. 23: 51-56.
- Mike Zs. 1976. Légifénykép-interpretálás és a természeti erőforrások. Akadémiai Kiadó. Budapest.

- Mile O., Mészáros I., Veres Sz. és Lakatos Gy. 2001. A talajtulajdonságok térbeli változatossága és a növényzet közötti összefüggés a kiskunsági Péteri-tó melletti szikes területen. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 427-438.
- Molnár B. 1985. Földtani kutatások. in: Tudományos kutatások a Kiskunsági Nemzeti Parkban 1975-1988. Hungexpo. Budapest
- Molnár B. 1994. Vízjárások létesítésének vízföldtani adottságai a Duna-Tisza közti Hátságon. *Hidrológiai Közöny*. 74:341-351.
- Molnár B. 1999. A szikesedés és a víz kapcsolata a Duna-Tisza közén. *Agrokémia és Talajtan*. 48: 469-480.
- Molnár B. és Kuti L. 1978. A Kiskunsági Nemzeti Park III. sz. területén található Kistréti- Zabszék- és Kelemenszék-tavak keletkezése és limnogeológiai története. *Hidrológiai Közöny*. 5.sz. 216-228.
- Molnár Zs. és Borhidi A. 2001. A kontinentális szikes növényzet Magyarországon. 25 év kutatásai a Hortobágyon. Budapest (megjelenés alatt).
- MSZ 08 0202-77 Helyszíni mintavétel mezőgazdasági célú talajvizsgálatokhoz.
- Mulders, M. A. 1987. Remote sensing in soil science. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Munsell Soil Color Charts. 1954. Munsell colour Company, Maryland, Baltimore.
- Murakeözy É. P., Nagy Z. és Tuba Z. 2001. Sóvirág (*Limonium gmelini*) prolintermelésének összefüggése a sótartalommal természetes és kontrollált környezetben. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 439-449.
- Myers, V. I. 1983. Remote sensing applications in agriculture, pp.2111-2228, Colwell, R.N., ed. Manual of remote sensing. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia.
- Nagy M. és Korpás E. 1956. A hazai szikesek talajföldrajzi vázlata. *Földrajzi Értesítő*. 1956 (2) 161-184.
- Navarro M. és Valdes N. 1991. Oldatok összes sókoncentrációjának becslése elektromos vezetőképességi értékükből. *Agrokémia és Talajtan*. 41: 512-514.
- Németh T. et al. 1998. Nagyléptékű talajtani térinformatikai rendszerek alkalmazása a termesztési, tápanyagutánpótlási és környezetgazdálkodási tervek készítésében. XI. Georgikon Napok. Keszthely. 2. 227-231.
- Németh T. et al. 2000. Talajdegradációs folyamatok térinformatikai alapú, térségi szintű elemzése. *Agrokémia és Talajtan*. 49: 3-19.
- Nyíri L. 1990. Arany Sándor kutatási eredményei a talajjavítás mai gyakorlatában. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 28-32.
- Nyíri, L. és Fehér, F. 1981. Effects of chemical amelioration and soil moisture regulation on various types of salt-affected soils. *Agrokémia és Talajtan*. 30 (Suppl.) 139-147.
- Oertli, J. J. és Müller, D. 1985. Competition between two grass species under salinity and alkalinity stress. *Agrochimica*. 29: 445-457.
- Oertli, J. J. és Molnár, E. 1986. Correlation between microrelief soil characteristics and plant cover in a heterogenous salt affected area. Transactions of the XIII. Congress of the International Society of Soil Science. Extended informative summaries. Vol. 4. p.1530.
- Oertli, J. J. és Rajkai, K. 1988. Spatial variability of soil properties and the plant coverage on alkali soils of the Hungarian Puszta. pp. 156-161. Proceedings of the international symposium on solonchaks soils, problems, properties and utilization. Osijek, 1988. June 15-21.
- Oosterbaan, R. J. és Abu Senna, M. 1990. Drainage and salinity predictions in the Nile delta using SALTMOD. In: Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions Cairo February 25–March 2. Vol. 1. 274–286.
- Pando, M. R., Lange, T. és Sparrow, A. D. 1992. Relations between reflectance in Landsat MSS wavebands and floristic composition of Australian chenopod rangelands. *Int. J. Remote Sensing*. 13:1861-1867.
- Pankova, E. I. 1994. Szikes talajok és a sófelhalmozódás jelenkori folyamatai a mongol sivatagokban. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 357-366.
- Pankova, E. I., Koroluk, T. V. és Jamnova, I. A. 1995. A Kaspi-tenger szintemelkedésének hatása a parti talajok szikesedésére. *Agrokémia és Talajtan*. 44: 231-242
- Post, D.F., Horvath, E. H., Lucas, W. M., White, S. A., Ehasz, M. J., és Batchily, A.K. 1994. Relationship between soil colour and Landsat reflectance on semi arid rangelands. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1809-1826.
- Précsényi I. 1975. Szikespusztai rét növényzetének produktivitása. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Prettenhoffer I. 1951. A mésztelen szikesek részletes felvétele és vizsgálata talajjavítás céljából. *Agrártudomány*. 3:77-81.
- Prettenhoffer I. 1969. Hazai szikesek javítása és hasznosítása (tiszántúli szikesek). Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Raina P., Joshi, D. C. , és Kolarkar, A. S. 1993. Mapping of soil degradation by using remote sensing on alluvial plain, Rajasthan, India. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 7: 145-161.
- Rajkai K. 1988. Sziki legelő változatosságának értelmezése a talajtulajdonságok elemzésével. p158. I. Magyar Ökológus Kongresszus.

- Rajkai, K., Marchand, D. és Oertli, J. J. 1988. Study of the spatial variability of soil properties on alkali soils. pp 150-155. Proceedings of the international symposium on solonetz soils problems properties and utilization. Eszék 1988. június 15-20.
- Rajkai, K., Oertli, J.J. és Hartmann, J. 1986. The variability of soil properties of a cross section and its coherence with plant cover. Transactions of the XIII. Congress of the International Society of Soil Science. Extended informative summaries. Vol. 4. pp.1247-1248.
- Rapaics, R. 1927. The indicating native vegetation of the "szik"-soils in Hungary. pp.16-28. in: ed. Treitz P.. Preliminary report on the alkali-land investigations in the Hungarian Great-Plain in the year 1926. Budapest.
- Rengasamy, P. és Olsson, K. A. 1991. Sodicity and soil structure. Aust. J. Soil Res. 29: 935-952.
- Rhoades, J. D. et al. 1989. Determining soil salinity for soil and soil-paste electrical conductivities: sensitivity analysis of models. Soil Sci. Soc. Am. J. 53. 1368-1374.
- Rhoades, J. D. 1991. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. Advances in Agronomy 49,201-251.
- Rhoades, J. R., Chanduvi, F., Lesch, S. 1999. Soil salinity assessment. Methods and interpretation of electric conductivity measurements. FAO Irrigation and Drainage Paper 57.
- Richards, L. A. (ed.) 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff. Soil and Water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. Washington. 160 p.
- Richardson, A. J., Gerbermann, A. H., Gausman, H. W. és Cuella, J. A. 1976. Detection of saline soils with Skylab multispectral scanner data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 42: 679-684.
- Robbins, C.W. és Wiegand, C. L. 1990. Field and laboratory measurements. In: Tanji, K.K. ed. Agricultural salinity assessment and management. New York. American Society of Civil Engineers. 201-219.
- Roberts, R. C. 1950. Chemical effects of salt-tolerant shrubs on soils. Fourth International Congress of Soil Science. Transactions. Volume 1. 404-406.
- Robinson, B. F. és Biehl, L. L. 1979. Calibration procedures for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. SPIE 196:16-26.
- Rónai, A. 1975. The geological atlas of the Great Hungarian Plain. Volume The region of Tiszafüred. Geological Institute of Hungary. Budapest.
- Rosek, M. J. és Richardson, J. L. 1989. Soils on erosional footslopes in two basins differing in relief in North Dakota USA. Geoderma 45:289-309 1989
- Rotárné Szalkai Á. 1994. Rétegvizek piezometrikusszint-csökkenése a Duna-Tisza Közén. II. Nemzetközi Környezetvédelmi Konferencia. Kecskemét. 28-32.
- Scherf E. 1935. Alföldünk pleisztocén és holocén rétegeinek geológiai és morfológiai viszonyai és ezeknek összefüggése a talajalakulással, különösen a sziktalajképződéssel. A Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentései. 1925-28. 265-301.
- Seelig, B. D. és Richardson, J. C. 1994. Sodic soil toposequence related to focused water flow. Journal of the Soil Science Society of America. 58:156-163.
- Seelig, B. D., Richardson, J. L., és Barker, W. T. 1990. Characteristics and taxonomy of sodic soils as a function of landform position SSS Am. J. 54:1690-1697.
- Shainberg, I. 1984. The effect of electrolyte concentration on the hydraulic properties of sodic soils. 49-64. in: I. Shainberg és J. Shalhevet: Soil salinity under irrigation. Ecological Studies 51. Springer Verlag. Berlin.
- Shainberg, I. és Shalhevet, J. : Soil salinity under irrigation. Ecological Studies 51. Springer Verlag. Berlin.
- Shantz, H. L. 1911. Natural vegetation as an indicator of the capabilities of land for crop production in the Great Plains area. N. S. Dept. Agric. Bureau of Plant Industry Bull. No. 201. Washington.
- Shantz, H. L. és Piemeisel, R. L. 1924. Indicator significance of the natural vegetation of the southwestern desert region. Journ. of Agric. Res. 28.
- 'Sigmond E. 1902. A békéscsabai öntözött szikes réten végzett sómeghatározásokról. Kísér. Közlem. IV. 1. p. 1.
- 'Sigmond E. 1923. A hazai szikesek és megjavítási módjaik. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest.
- 'Sigmond, E. 1927. Hungarian alkali soils and methods of their reclamation. University of California Printing Office Berkeley
- Simunek, J. és Suarez, D. L. 1994. Two-dimensional transport model for variably saturated porous media with major ion chemistry. Water Resources Research. 30. 1115-1133.
- Smaroglay F. 1939. Bugac szikes tavai. A szerző kiadásában. Budapest.
- Solovyov, D. A. 1991. Evaluation of the long-term soil salinization dynamics for the purposes of ameliorative system reconstruction by means of remote sensing. in: Genesis and control of fertility of salt-affected soils. (Proceedings of ISSS Subcommission Symposium 1991 Volgograd) pp157-160.
- Somogyi, S. ed. 1991. Cadaster of the microregions of Hungary. Hungarian Academy of Sciences. Budapest.

- Soó R. 1964-1973. A magyar flóra és vegetáció rendszertani-növényföldrajzi kézikönyve I-VI. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Stefanovits P. 1975. Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest
- Stefanovits P. 1990. Találkozásaim Arany Sándor professzorral. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 10-11.
- Sumner, M. E. és Naidu, R. (szerk.) 1998. *Sodic soils. Distribution, properties, management and environmental consequences*. Oxford University Press. New York.
- Swain, P. H. és Davis, S. M. (szerk.) 1978. *Remote sensing: the quantitative approach*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Szabó J. et al. 2000. Kreybig Digitális Talajinformatikai Rendszer (Előzmények, térinformatikai megalapozás) *Agrokémia és Talajtan*. 49: 265-276.
- Szabó, J., Pásztor, L., Suba, Zs., és Várallyay, Gy. 1998. Integration of remote sensing and GIS techniques in land degradation mapping. *Agrokémia és Talajtan*. 47:63-75.
- Szabó J., Várallyay, Gy. és Pásztor, L. 1996. HunSOTER – a digital database for monitoring changes in soil properties in Hungary. In: *Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Monitoring in the Czech republic*. 150-156. Brno.
- Szabó J., Várallyay Gy., Pásztor L. és Suba Zs. 1999. Talajdegradációs folyamatok térképezése országos és regionális szinten térinformatikai és távérzékelési módszerek alkalmazásával. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 3-14.
- Szabolcs I. 1954. Hortobágy talajai. mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Szabolcs I. 1961. A vízrendezések és öntözések hatása a tiszántúli talajképződési folyamatokra. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Szabolcs I. 1966. A genetikai üzem talajtérképezés módszerkönyve. OMMI. Budapest.
- Szabolcs, I. 1971. Solonetz soils in Europe. In: *European solonetz soils and their reclamation*. 9-33 p (Szabolcs, I. ed) Akadémiai Kiadó Budapest.
- Szabolcs, I. 1974. Salt-affected soils in Europe. Martinus Nijhoff. The Hague.
- Szabolcs I. 1979. A nemzeti park talajviszonyai. pp. 93-107. in: Tóth K. (ed.) *Nemzeti Park a Kiskunságban*. Natura. Budapest.
- Szabolcs, I. 1979. Review of Research on Salt Affected Soils. *Natural Resources Research*. XV. UNESCO. Paris.
- Szabolcs, I. 1989. Salt-affected soils. CRC Press Boca Raton
- Szabolcs, I. 1994. Prospects of soil salinity for the 21st century. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 5-24.
- Szabolcs I., Darab K. és Várallyay Gy. 1969. A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége a Kiskörei Öntözőrendszer által érintett területen. II. A talajvíz „kritikus” mélysége a kiskörei öntözőrendszer által érintett területen. *Agrokémia és Talajtan*. 18. 211–220.
- Szabolcs I. és Jassó F. 1961. A szikes talajok típusai és elterjedésének törvényszerűségei a Duna-Tisza közén. *Agrokémia és Talajtan*, 10: 173–195.
- Szabolcs I. 1964. A konyári tó és az Alföld szikesedése. *Agrokémia és Talajtan*, 13:173–204.
- Szabolcs I. 1967. Szikes talajok a Nyírségben. I, Szikesek Újfehértó környékén. *Agrokémia és Talajtan*, 16: 295–326.
- Szabolcs S. 1990. Arany Sándor szerepe a hazai és nemzetközi talajtani kutatásokban. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 6-10.
- Szalai, J. 1994. Some trends in groundwater level change on the Danube-Tisza Interfluvial region, Hungary. VITUKI. Manuscript.
- Szendrei G. 1996. Hazai talajtípusok mikromorfológiája. *Agrokémia és Talajtan*. 45: 260-266.
- Szendrei G. 1999. Hazai szikes talajok mikromorfológiája. *Agrokémia és Talajtan*. 48:481-490.
- Szendrei G., Tóth T., Kovács Pálffy P. és Szakáll S. 2001. Sókivirágzások hazai elterjedése. A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Szeged. 2001.október 25-27. Kiadja az SZTE Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged. (CD ROM) ISBN 9634825443.
- Szendrei, G. 1983. The stability and distribution of clay minerals in Hungarian salt-affected soils. *Proceedings 5th Meeting of the European Clay Groups*. Prague. Charles University. 471-476.
- Szilágyi, A. és Baumgardner, M. F. 1991. Salinity and spectral reflectance of soils. *Proc. ASPRS Annual Convention Baltimore March 1991*, pp.430-438.
- Szodfridt I. 1991. Genetikai talajtípusok és növénytársulások kapcsolat. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 484-492.
- Takai, Y., Morishita, M., Vijarnsorn, P., Adachi, T. és Kato, S. 1990. Amelioration of tropical peat/acid sulfate soils and its effect on sulfate reduction under waterlogging. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 309-315.
- Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. 1988. (Buzás I. (szerk.). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Tanji, K.K. ed. 1990. *Agricultural salinity assessment and management*. New York. American Society of Civil Engineers.

- Tessier, D., Bouzigues, B., Favrot, J. C. és Valles, V. 1992. Influence de micro-relief sur l'évolution texturale des argiles dans les sols lessivés de la vallée de la Garonne. Différenciation des structures verticales ou prismatique. C. R. Acad. Sci. Paris. 315. 1027-1032.
- Thirring G. 1886. A fertő és vidéke. Földrajzi Közöny, 9: 469-508.
- Timpson, M. E. és Richardson, J. L.. 1986. Ionic composition and distribution in saline seeps of southwestern North Dakota USA. Geoderma 37: 295-305.
- Tóth B., Jassó F., Leszták J-né és Szabolcs I. 1972. Szikesek fásítása. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Tóth Cs. 2001. Síkvidéki mikroerózió szikes talajon Ágota-pusztán (Hortobágyi Nemzeti Park). Agrokémia és Talajtan. 50: 397-408.
- Tóth, J. 1984. The role of regional gravity flow in the chemical and thermal evolution of groundwater. Proceedings First Canadian/American Conference on Hydrogeology. Banff Canada. pp. 3-39.
- Tóth T. 1989. Néhány összefüggés a réti szolonyec talajok egyes kémiai fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai között. DATE Tudományos Közlemények. 28:561-575.
- Tóth T. 1994. Talajtulajdonságok becslése a növényzet alapján tiszántúli szolonyec talajokon. Kandidátusi értekezés. MTA TAKI. Budapest.
- Tóth, T. 1998. Penetration resistance of saline soils of Huang-Huai Plain of China, pp. 275-286, Rodriguez, Rodriguez, A., Jimenez Mendoza, C.C., és M.I. Tejedor Salguero, eds, The soil as a strategic resource : degradation process and conservation measures. Geoforma Ediciones, Logroño, Spain.
- Tóth, T. és Blaskó, L. 1998. Secondary salinization caused by irrigation. pp.229-253. in: Rodriguez R. A. C. C. Jiménez M. és M. L. Tejedor S. (eds.) The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures. Geoforma Ediciones Logroño.
- Tóth, T. és Kertész, M. 1993. Mapping the degradation of solonchic grassland. Agrokémia és Talajtan. 42:43-54.
- Tóth, T. és Kertész, M. 1993b. Utilización de la relación entre la vegetación y suelo en una pradera seminatural. El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación. Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. III. 1425-1432.
- Tóth, T. és Kertész, M. 1996. Application of soil-vegetation correlation to optimal resolution mapping of solonchic rangeland. Arid Soil Research and Rehabilitation, 10: 1-12.
- Tóth T. és Kertész M. 2002. Nyírólaposi változatos szikes puszták növényzetének térképezése légifényképpel. in Tóth A. (szerk) A hortobágyi Természetvédelmi tábor 25 éve. Budapest (nyomdában)
- Tóth, T. és Kuti, L. 1998b. Variability of geological conditions and its relations to soil salinization inside a small area. pp.123-132. In: A. Elgala (ed.) Proceedings of the International Symposium on Sustainable management of salt-affected soils in the arid ecosystem. 21-26 September 1997. Ains Shams University Cairo Egypt.
- Tóth T. és Kuti L. 1999a. Összefüggés a talaj sótartalma és egyes földtani tényezők között a hortobágyi „Nyírólapos” mintaterületen. 1. Általános földtani jellemzés a felszín alatti rétegek kalciumtartalma és pH értéke. Agrokémia és Talajtan. 48. 431-444.
- Tóth T. és Kuti L. 1999b. Összefüggés a talaj sótartalma és egyes földtani tényezők között a hortobágyi „Nyírólapos” mintaterületen. 2. Többszörös összefüggések és a felszíni sótartalom becslése. Agrokémia és Talajtan. 48. 445-457.
- Tóth T. és Kuti L. 2002. A talaj sótartalom-változás tényezői a kiskunsági Apajon. 106-116.o. in: (Káta J. És Jávora A. Szerk.) Talaj és környezet. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum.
- Tóth, T. és Kuti, L. 1998a. Dynamics of salt accumulation in a small area. In: Second Hungarian-Egyptian Conference on Environment. 31 October-6 November 1998. Budapest. Abstracts. 42-45.
- Tóth, T. és Rajka, K. 1994. Soil and plant correlations in a solonchic grassland. Soil Science 157, 253-262.
- Tóth, T. et al. 1997. Plant composition of a pasture as a predictor of soil salinity. Rev. Biol. Trop. 45. 1385-1393.
- Tóth, T., Csillag, F., Biehl L. L., és Michéli, E. 1991a. Characterisation of semi-vegetated salt affected soils by means of field remote sensing. Remote Sensing Environment 37:167-180.
- Tóth, T., Csillag, F. és Büttner, Gy.. 1991b. Satellite remote sensing of salinity-alkalinity in the Great Hungarian Plain. Proceedings of International Symposium Impacts of Salinization and Acidification on Terrestrial Ecosystem and its Rehabilitation. September 26-28 Fuchu Tokyo. 100-107.
- Tóth T., Kabos, L., Pásztor, L., Kuti, L. 2002. Statistical prediction of the presence of salt-affected soils by using digitalized hydrogeological maps. Arid Land Research and Evaluation. 16: 55-68.
- Tóth T., Kertész, M. és Pásztor, L. 1998. New approaches in salinity/sodicity mapping in Hungary. Agrokémia és Talajtan. 47. 76-86.
- Tóth T., Kertész M. és Pásztor L. 2000. A szikesek gipszezésének módszere térinformatikai eszközökkel. Agrokémia és Talajtan. 49:55-64.
- Tóth T., Kuti L. és Fügedi U. 2002. Havonkénti vizsgálatok a Zabszék mellett. A tóvíz, talajvíz, talaj, növényzet időbeli változásai. Természetvédelmi Közlemények. (nyomdában)

- Tóth, T., Kuti, L., Kabos, L., Pásztor, L. 2001. Use of digitalized hydrogeological maps for evaluation of salt-affected soils of large areas. *Arid Land Research and Management*. 15: 329-346
- Tóth, T., Pásztor, L., Kertész, M., Zágoni, B., és Bakacsi, Zs. 1998b. Allocation of soil reclaiming material based on digital processing of aerial photograph, pp. 178-181, in; International Society for Photogrammetry and Remote sensing. International Archives for Photogrammetry and remote Sensing. Volume XXXII Part 7. ISPRS Commission VII Symposium. Resource and environmental monitoring. September 1-4. 1998 Budapest, Hungary.
- Tóth, T., Matsumoto, S., Mao, R. és Yin, Y. 1995. Precision of predicting soil salinity based on vegetation categories of abandoned lands. *Soil Science*. 160:218-230.
- Tóth T., R. Langohr és J. Labrada L. 2002. A talaj kémiai tulajdonságainak mélységi és laterális változékonysága egy hortobágyi szolonyec talaj szelvényében. in Tóth A. (szerk) A hortobágyi Természetvédő tábor 25 éve. Budapest (nyomdában)
- Tóth T., Rajkai K. és Kertész M. 1996. A padkásszik növény- és talajmintázata. pp.90-98. In: Tóth A. (szerk.) Ohattól Meggyesig. Természet- és Környezetvédő Tanárok Egyesülete. Budapest.
- Tóth, T., Matsumoto, S., Mao, R. és Yin, Y. 1994. Plant cover as predictor variable of salinity and alkalinity in abandoned saline soils of the Huang-Huai-Hai Plain China. *Agrokémia és Talajtan*. 43: 175-195.
- Tóth T., Kuti L., Fórizs I. és Kabos S. 2001. A sófelhalmozódás tényezőinek változása a hortobágyi "Nyírólapos" mintaterület talajainál. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 409-426.
- Tóth, T. és Pásztor, L.. 1996. Field reflectance measurements as a means of distinguishing different grades of salinity and alkalinity. pp. 23-34. in: Soil salinization and alkalization in Europe. Thessaloniki.
- Tölgyesi Gy. 1995. Eltérő talajtulajdonságok homok- és löszpusztagyeppek növényfajának gyökérszónájában. *Agrokémia és Talajtan*. 44: 139-152.
- Treitz, P. 1927. The "szik" lands in the Great-Central-Plain of Hungary ("Alföld"). pp.5-15. in: ed. Treitz P. Preliminary report on the alkali-land investigations in the Hungarian Great-Plain in the year 1926. Budapest.
- Treitz P. 1934. Csonka-Magyarország sós és szikes talajai. in Sajó E. és Trummer Á. (szerk) A magyar szikesek. Pátria. Budapest. 177-206.
- Vanderborght, J. et al. 1997. Analysis of solute redistribution in heterogeneous soil: II. Numerical simulation of solute transport. In: geoENVI – Geostatistics for Environmental Applications. (Eds.: Soares A. Gómez-Hernández J. és Froidevaux R.) 283–295. Kluwer Academic Publ. Dordrecht.
- Várallyay, G. 1981. Extreme moisture regime as the main limiting factor of the fertility of salt-affected soils. *Agrokémia és Talajtan*. 30. (Suppl.):73-96.
- Várallyay, Gy. 1968. Salt accumulation processes in the Hungarian Danube Valley. 9th Intl. Congress of Soil Science. Transactions. pp.371-380.
- Várallyay, Gy. 1974. Hydrophysical aspects of salinization from the groundwater. *Agrokémia és Talajtan*. 23. (Suppl.) 29–44.
- Várallyay Gy. 1985. Magyarország 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképe. *Agrokémia és Talajtan*. 34: 243-248.
- Várallyay Gy. 1990. A szikesedés és víz kapcsolata. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 17-22.
- Várallyay Gy. 1993. A talajfejlődés főbb sajátosságai a magyar Alföldön. *Hidrológiai Közöny*, (Vol.73) No. 1. 24-27.
- Várallyay, Gy. 1993. Soil data-bases for sustainable land use: Hungarian case study. In: Soil Resilience and Sustainable Land Use (Eds.: Greenland, D. J. és Szabolcs I.) 469-495. CAB International Oxon.
- Várallyay Gy. 1999. Szikesedési folyamatok a Kárpát-medencében. *Agrokémia és Talajtan*. 48: 399-418.
- Várallyay Gy. 2001. Szemléletváltozások a magyarországi talajjavítás történetében. *Agrokémia és Talajtan*. 50: 119-135.
- Várallyay, Gy. et al. 1994. SOTER (Soil and Terrain Digital Database) 1:500 000 and its application in Hungary. *Agrokémia és Talajtan*. 43:87-108.
- Várallyay Gy.1966. A Duna-Tisza közti talajok sósóségei. I. Sósóségek természetes (öntözés nélküli) viszonyok között. *Agrokémia és Talajtan*. 15: 423-447.
- Várallyay Gy.1967. A dunavölgyi talajok sófelhalmozódási folyamatai. *Agrokémia és Talajtan*. 16:327-356.
- Várallyay, Gy.1989. Soil mapping in Hungary. *Agrokémia és Talajtan*. 38:696-714.
- Várallyay Gy. és Szabolcs I. 1966. A dunántúli szikesek. III. A Mezőföld talajai. *Agrokémia és Talajtan*, 15: 1□42.
- Varga Z-né. 1984. A Hortobágyi Nemzeti Park sziki gyepeinek fitocönológiai viszonyai és szukcessziós kapcsolatai. *Bot. Közl.* 71: 63-78.
- Varga Z-né., Varga Z. és Nyilas I. 1982. Nyírólapos-Nyári járás: Talaj, növényzet, állatvilág, Hortobágyi Nemzeti Park, Debrecen.
- Vauclin, M., Vieira, S.R., Vachaud, G., és Nielsen, D. R. 1983. The use of cokriging with limited field soil observations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:175-184.

- Vetier, A. 1991. Szemléletes mérték- és valószínűségelmélet. Tankönyvkiadó Budapest.
- Viktorova, S. V. 1962. Szpravocsnyik po raszteniyam-indikatoram Goszgeotekhnizdat. Moszkva.
- Vinogradov, A. P. 1959. The geochemistry of rare and dispersed elements in soils. 2nd edition. Consultants Bureau New York
- Wagenet, R. J. és Hutson, J. L. 1987. LEACHM Leaching estimation and chemistry model: A process based model of water and solute movement transformations plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Continuum Vol. 2. Water Resources Institute. Cornell University Ithaca NY.
- Warrick, A. W., Myers, D. E. és Nielsen, D. R. 1986. Geostatistical methods applied to soil science. in: Klute A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. ASA SSSA Madison.
- Webster, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In Advances in Soil Science. Volume 3. B. A. Stewart (ed.) Springer-Verlag New York pp.1-70.
- Wessman, C. A. 1991. The use of remote sensing in following soil processes. Agriculture, Ecosystems and Environments. 34. 479-493.
- Whiting, M. L. és Ustin, S. L.. 1999. Use of low altitude AVIRIS data for identifying salt affected soil surfaces in Western Fresno County, California. <http://www.cstars.ucdavis.edu/papers/html/whitingetal1999a/paperfr.html>
- Whittemore, D. O. 1988. Bromide as a tracer in ground-water studies: geochemistry and analytical determination. pp 339-360. in: Proceedings of the Ground Water Geochemistry Conference. Feb 16-18. Denver CO National Water Well Assoc.
- Yadav, J. S. P. 1994. Problems and prospects of crop production and afforestation on salt affected soils with special reference to India. Agrokémia és Talajtan. 42: 157-172.
- Yates, S. R. és Warrick, A. W. 1987. Estimating soil water content using cokriging. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:23-30.
- Younes, H., Gad, A., Abdel Rahman, S., Ghabour, Th. K. és Abdel Rahman, M. A. 1993. Soil productivity classification in the north western part of Egypt (Bahig Command Area), based on Landsat-5 TM data and Land Information System (SAADA). Agrokémia és Talajtan. 42: 64-69.
- Yuanchu, S. és Jingrong, X. 1988. Remote sensing for surveying and mapping of salt-affected soils. pp. 104-110. Proceedings of the international symposium on solonetz soils problems properties and utilization. Eszék 1988. június 15-21.
- Zipser, C., A. 1817. Versuch eines topographisch-mineralogischen Handbuches von Ungarn. Carl Friedrich Wiegand. Odenburg (Sopron).
- Zonneveld, I. S. 1976. Survey methods for performance monitoring and prognosis for natural vegetation and economic crops with special reference to salt-affected soils. in: Prognosis of salinity and alkalinity. FAO Soils Bulletin No.31. pp.195-211.