

SZAKMAI BESZÁMOLÓ

Fenntartható és precíziós mezőgazdasági rendszerek módszertani
támogatása

2008

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| Klímváltozási scenáriók Magyarországon..... | 4 |
| Bevezetés..... | 4 |
| Anyag és módszer..... | 6 |
| A klímára vonatkozó adatok..... | 6 |
| Földrajzi analógia meghatározása a Rang módszerrel..... | 7 |
| Földrajzi analógia meghatározása a CLIMEX módszerrel..... | 8 |
| Földrajzi analógia módszerének érzékenység-vizsgálata..... | 9 |
| Eredmények..... | 10 |
| Analóg területek..... | 10 |
| Földhasználat változása..... | 14 |
| Termesztett növények területének változása..... | 18 |
| Összefoglalás..... | 22 |
| Tarlómaradványok hatása a talaj aggregátum-stabilitására..... | 24 |
| Bevezetés..... | 24 |
| A talajszerkezet és az aggregátumok..... | 24 |
| Az aggregátumok csoportosítása..... | 25 |
| A talaj szerkezeti elemeinek stabilitása..... | 25 |
| A szervesanyag-utánpótlás hatása a talaj szerkezetére..... | 25 |
| A szervesanyag-utánpótlás hatása a különböző aggregátum-frakciókra..... | 27 |
| Anyag és módszer..... | 28 |
| A mintavételi hely leírása és a talaj jellemzése..... | 28 |
| A talajszerkezet minősítése az egységes aggregátum-stabilitási mutató segítségével..... | 29 |
| A talajminta vétel módja és az aggregátum-stabilitás meghatározása..... | 30 |
| Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) számítása..... | 31 |
| Eredmények..... | 33 |
| Következtetések..... | 37 |
| Az agrotechnika káros hatásainak mérése..... | 39 |
| Bevezetés..... | 39 |
| A mintaterület..... | 39 |
| Talajeróziós vizsgálatok eredménye..... | 41 |
| Hidrológiai vizsgálatok eredménye..... | 42 |
| A terület talajvízkészletének általános jellemzése..... | 42 |
| Anyag és módszer..... | 43 |

| | |
|--|----|
| A talajvíz fizikai állapota..... | 46 |
| A talajvíz kémiai állapota..... | 46 |
| A hagyományos és talajkímélő termesztéstechnológiák elemzése..... | 50 |
| Anyag és módszer | 50 |
| Talajnedvesség eloszlása, dinamikája | 51 |
| Ásványi N eloszlása és dinamikája | 55 |
| A talaj kémhatásának értékelése..... | 60 |
| A 4M növénytermesztési szimulációs rendszermodellel folytatott szimulációs vizsgálatok értékelése..... | 63 |
| A becsült és mért talajnedvesség-tartalom szezonális dinamikájának összehasonlítása..... | 63 |
| A becsült és mért nitrát-N-tartalom szezonális dinamikájának összehasonlítása | 64 |
| A modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények | 66 |

Klímváltozási scénáriók Magyarországon

Bevezetés

A klímaváltozás korunk egyik legfontosabb és legnagyobb hatású ökológiai problémája. Fontosságát és hatását az adja, hogy a globális társadalom egészének létfeltételeit érinti. A klímaváltozással kapcsolatos kihívások és az ehhez kapcsolódó feladataink a társadalom és a gazdaság szinte minden szegmensét alapvetően meghatározzák. A klímapolitika magában foglalja többek között a mezőgazdaság és élelmiszertermelés, a tájhasználat, az energetika, az ipar és közlekedés, a környezet- és természetvédelem, a közegészségügy számos kérdését, de szociológiai, oktatási, kommunikációs, sőt biztonságpolitikai és külpolitikai vonatkozásai is vannak.

Az időjárás egy meghatározott helyen és időszakban értelmezett „szokásos alakulását”, melyet az egyes meteorológiai paraméterek várható értékeivel jellemezhetünk, az adott terület és időszak klímájának nevezzük. A klíma alapvetően meghatározza a kérdéses földrajzi terület ökológiai létviszonyait, jellemző potenciális vegetációtípusát, flóráját és faunáját, az ott hosszabb távon kialakuló talajtípusokat és azok aktuális állapotát, valamint (részben az előbbieken keresztül is) az adott területen lehetséges emberi tevékenységek kereteit is. A kérdéses területen történetileg kialakult emberi tevékenységek, a társadalomnak a klímához való alkalmazkodását fejezik ki.

Ezek a különösen klímaérzékeny tevékenységek ugyanakkor döntő mértékben meghatározzák egy terület földhasználati (land use) típusainak gyakorisági eloszlását és térbeli mintázatát is, amely tényezők számtalan más természeti és társadalmi folyamatot jelentős mértékben befolyásolnak. Fentiek alapján világosan érthető, hogy egy terület klímájának megváltozása és annak ökológiai, környezeti hatásai alapvetően érintik a természeti, valamint társadalmi és gazdasági folyamatokat, így azok megismerésének tudományos és társadalmi jelentősége is mindenki számára nyilvánvalóvá válik.

A klíma változékonysága, tehát a hosszabb időintervallumokban megnyilvánuló klímastabilitás hiánya (és annak mértéke) meghatározó jelentőségű valamennyi földi ökoszisztéma állapota és állapotváltozásai szempontjából. A klíma változékonyságának mértéke (klímaparaméterek alakulásának együttes variabilitása) önmagában is jelentős heterogenitást mutat úgy térben (regionálisan), mint időben (vizsgálati időablakok szerint).

A klímaváltozás kérdéskörének a háttérében, úgy az okok, mint az okozatok tekintetében döntően ökológiai folyamatok húzódnak meg. Meglepőnek látszhat, de tény, hogy a klímaváltozással összefüggő számos hazai és nemzetközi projekt, valamint az összegyűlt sok könyvtárnyi szakirodalom ellenére ezekről az ökológiai folyamatokról még nagyon keveset tudunk.

A klíma megváltozásának nagyobb régiókra és komplex folyamatokra való reális következményeit jelenleg leginkább a földrajzi analógiák keresése által próbálhatjuk meg körvonalazni. A földrajzi analógiák módszere lehetőséget ad arra, hogy az általunk vizsgált régió jövőbeli lehetséges viszonyainak értékelésében, a leginkább valószínűnek tűnő klímaszcenáriók alapján, más régiók jelenlegi viszonyait és az ott összegyűlt adaptációs tapasztalatokat hasznosítsuk.

A földrajzi analógiák hasznosításának alapvetően három fő iránya lehetséges:

1. Az analóg területek térképi ábrázolásával a különböző scenáriók és modellfuttatások outputjai vizualizálhatók, megnyitva a lehetőséget a lényegkiemelésre, csoportosításra és a scenáriók által jellemzett változások nagyságának érzékeltetésére.
2. A kérdéses terület adott scenárió szerinti analógja lehetőséget ad arra, hogy az ottani viszonyokról adatokat gyűjtve a célterület jövőjéről véleményt alkothassunk. Ennek segítségével hipotéziseket generálhatunk az adaptációs stratégia kialakításához.
3. Az előző megközelítés fordítottja éppen ilyen fontos, hiszen ha megkeressük, hogy mely jelenlegi területek jövőbeli analógja a mi célterületünk, akkor pedig arról kapunk információt, hogy a jelenlegi természeti és társadalmi körülményeinkről való információinkat, termelési tapasztalatainkat, a hazai meglévő tudásbázisunkat mely területen tudjuk a későbbiekben hasznosítani. (Pl. hol nyílhatnak meg új piacok, a hazánkban nemesített növény és állatfajták számára, hova exportálhatunk hazai technológiákat, eljárásokat, módszereket, hol lehet szükség tanácsadói, szakértői tevékenységünkre.)

A földrajzi analógiák módszere számos fontos kérdés megválaszolásának egyetlen jelenleg elérhető útja. Ennek ellenére a módszer számos veszélyt is rejt magában, aminek következtében egy felületes interpretációt számos jogos kritika érhet. Közismert hasonlattal élve, a hasonlat olyan mint egy íj, ha nem feszítik meg eléggé akkor nem hatásos, ha viszont túlfeszítik akkor elszakad.

Fontos szempont ugyanakkor a földrajzi analógiák értékelésében, hogy a kérdéses terület jövőbeli analógja csupán azon változók szerint analóg, amelyet a vizsgálatba bevontunk. Az időjárásrendszer átalakulásával például a napi hőmérsékleti és csapadékviszonyok nyilvánvalóan átalakulnak, de például a nappalhosszúság éves dinamikája és ezzel összefüggésben a sugárzási viszonyok jelentős része továbbra is a földrajzi szélességtől függ, ami nem fog megváltozni. Ehhez hasonlóan a domborzati és geológiai viszonyok megváltozása sem várható, az általunk vizsgált időbeli skálán. Problémát jelenthetnek a társadalmi folyamatok tehetetlenségével

összefüggő kérdések is, hiszen a hagyományok, termelési tapasztalatok, bevezetett fajok és fajták hatása nem hagyható figyelmen kívül, bár ezek nyilvánvalóan kisebb jelentőségűek.

A lehetséges módszertani problémák és bizonytalanságok ellenére számos fontos kérdés egyetlen lehetséges megközelítési módja a földrajzi analógia lehet, így ezen információ hasznosításától még akkor sem tekinthetünk el, ha azok első látásra inadekvátnak tűnnek. Nyilvánvaló, hogy még egy bizonytalan becslés vagy gyengén tesztelt és esetleg vitatható vagy ellentmondásos hipotézis is jobb, mint az információ teljes hiánya.

Anyag és módszer

A klímára vonatkozó adatok

A World Meteorological Organization (WMO) ajánlása alapján a földrajzi analógia módszeréhez, összehasonlításra az 1961-1990 bázis időszakot választottuk. A vizsgált régióra (Debrecen) vonatkozó havi hőmérséklet átlagok és átlagos csapadékösszegek az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatbázisából származnak. Az Európára jellemző sokéves adatokat az International Panel on Climate Change Data Distribution Center (IPCC DCC) Climatic Research Unit (CRU) CRU CL 2.0 adatbázisából vettük. Innen szintén az 1961-1990 időszak havi hőmérsékleti átlagait és átlagos csapadékösszegeit dolgoztuk fel. Ezen adatbázis 10'X10' térbeli felosztása megfelelő a földrajzi analógia módszerének. Az adatbázist az Európában található közel 20000 meteorológiai mérőállomás adatait felhasználva a földrajzi szélesség, hosszúság és magassági adatok függvényeként interpolálással állították elő.

Az elemzéshez a Tyndall Centre által készített TYN SC 1.0 scenárió adatbázist használtuk, mely HadCM3 modell 10'X10' térbeli felbontású, 100 éves adatsor havi hőmérséklet és csapadékösszeg átlagadatait tartalmazza a 2001-2100 időszakra. Az analóg régiók elemzéséhez az EUROSTAT NUTS2 felosztásának statisztikai adatait használtunk. Adatbázisba szerveztük a régiók földhasználati adatait illetve a termesztett növényekre jellemző termesztési adatokat.

A földrajzi analógia módszerének a célja, hogy egy adott scenárióhoz megtaláljuk az analóg régiókat, egy-egy terület földrajzi analógjának nevezzük azt a régiót, melynek mostani klímája (1961-1990) leginkább hasonlít a vizsgált terület scenárió által mutatott jövőbeli klímájával. Kétféle módszerrel határoztuk meg az analóg területeket, mindkét esetben százalékos hasonlóság jellemzi az analógiát.

Földrajzi analógia meghatározása a Rang módszerrel

Ezzel a módszerrel a TYN CL 2.0 adatbázis 31143 rácspontját állítottuk sorrendbe aszerint, hogy mely ponthoz tartozó klíma hasonlít legjobban a scenárió adataihoz. Ez egy ordinális skálán való elhelyezkedést mutat, így arról nem tudunk mondani semmit, hogy a hasonlóság pontosan milyen mértékű, de két terület hasonlósága összehasonlítható. Európában sokféle klímájú terület van, így nagy valószínűséggel a leginkább hasonló pont adatai nagyban megegyeznek a scenárió adataival.

$$T_{rj} = \sum_{i=1}^{12} (Temp_{ji} - T_i)^2$$

$$P_{rj} = \sum_{i=1}^{12} (Prec_{ji} - P_i)^2$$

$$T_{sj} = 100 * [1 + \frac{1 - rankT_{rj}}{N - 1}]$$

$$P_{sj} = 100 * [1 + \frac{1 - rankP_{rj}}{N - 1}]$$

$$S_j = \sqrt{\frac{T_{sj}^2 + P_{sj}^2}{2}}$$

1. táblázat: Hasonlóság meghatározása a Rang módszer segítségével

Ahol

- j: a rácspont sorszáma (j=1-31143)
- i: hónapok száma (i=1-12)
- Temp_{ji}: a j-ik rácspont i havi átlaghőmérséklete
- T_i: a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi átlaghőmérséklete
- Prec_{ji}: a j-ik rácspont i havi csapadékösszege
- P_i: a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi csapadékösszege
- Tr_j: a j-ik rácspont hőmérsékleti távolsága a scenáriótól
- Pr_j: a j-ik rácspont csapadékösszeg szerinti távolsága a scenáriótól
- Ts_j: a j-ik rácspont rangja a hőmérsékleti távolságot tekintve
- Ps_j: a j-ik rácspont rangja a csapadékösszeg szerinti távolságot tekintve
- S_j: j-ik rácspont hasonlósága a scenárióhoz (0-100)

Földrajzi analógia meghatározása a CLIMEX módszerrel

A rang módszerhez képest a CLIMEX módszerrel a klímák közötti eltérést már két adatsor esetén is kifejezhetjük. A hasonlóság mértéke a Rang módszerrel ellentétben, nem függ a pontok számától, így a módszerek közül ezt használtam.

$$T_{dj} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} |Temp_{ji} - T_i|$$
$$P_{dj} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} \frac{|Prec_{ji} - P_i|}{1 + a \cdot (Prec_{ji} + P_i)}$$
$$I_{Tj} = e^{-k_T \cdot T_{dj}}$$
$$I_{Pj} = e^{-k_P \cdot P_{dj}}$$
$$CMI_j = \sqrt{I_{Tj} \cdot I_{Pj}}$$

2. táblázat: Hasonlóság meghatározása a CLIMEX módszer segítségével

Ahol

- j: a rácspont sorszáma (j=1-31143)
- i: hónapok száma (i=1-12)
- Temp_{ji}: a j-ik rácspont i havi átlaghőmérséklete
- T_i: a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi átlaghőmérséklete
- Prec_{ji}: a j-ik rácspont i havi csapadékösszege
- P_i: a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi csapadékösszege
- T_{dj}: hőmérsékletek abszolút eltéréseinek átlaga
- P_{dj}: csapadékösszeg eltérések átlaga
- IT_j: j-ik rácspont hőmérséklet szerinti egyezése a scenárióval (értéke: 0-1, teljes egyezés esetén IT_j=1)
- IP_j: j-ik rácspont csapadékösszeg szerinti egyezése a scenárióval (értéke: 0-1 teljes egyezés esetén IP_j=1)
- k_T: felhasználó által tetszőlegesen megválasztható érték, ha k_T=0,1 1oC fokos eltérésre az egyezés IT_j=90%, az analógia számolásánál k_T=0,1 használtam
- k_P: felhasználó által tetszőlegesen megválasztható érték, k_P=0,1 használtam
- a: a csapadék szempontjából nem szabad csak az abszolút eltéréseket vizsgálni, hiszen azonos csapadékelterések jelentősebbek alacsony csapadék összegeknél, mint magasaknál,

$a=0,05$ értéket használtam. Néhány példával bemutatom a hasonlósági indexeket, ha a csapadékok közötti különbség havi 10 mm.

| P1 (mm) | P2 (mm) | Hasonlóság (%) |
|---------|---------|----------------|
| 0 | 10 | 1,15 |
| 10 | 20 | 20,19 |
| 100 | 110 | 92,72 |
| 200 | 210 | 97,86 |

- CMIj: „Composite Match Index”, a vizsgált rácspont és a scenárió egyezésének mértéke (0-1) teljes egyezés esetén CMI=1

Földrajzi analógia módszerének érzékenység-vizsgálata

A CLIMEX módszerrel, a hőmérsékletet és a csapadékot azonos súllyal lehet figyelembe venni. Ahhoz, hogy meghatározhatjuk csak a hőmérsékleti és csak a csapadék általi hasonlóságot, vagy adott súlyokkal vegyük figyelembe őket, módosítottuk a CMI kiszámítását. Egy λ változó bevezetésével meghatározhatjuk a megfelelő súlyozást.

$$I_{Tj} = e^{-\lambda \cdot k_T \cdot T_{dj}}$$

$$I_{Pj} = e^{-(1-\lambda) \cdot k_P \cdot P_{dj}}$$

$$CMI_j = I_{Tj} \cdot I_{Pj}$$

3. táblázat: Módosított hasonlósági index meghatározása

Ha λ értékét 0,5-re állítjuk, visszakapjuk az eredeti CMI-t, ha $\lambda=1$ akkor a hőmérséklet szerinti, ha $\lambda=0$ akkor a csapadék szerinti hasonlóságot kapjuk. Ezzel tetszőleges súlyozásokat is kaphatunk, többféle súlyozást is figyelembe vettünk, $\lambda= 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$ értékekkel. Az eredményeket térképi formában jelenítettük meg. Földrajzi analógnak neveztehtjük a 90%-nál nagyobb egyezésű régiókat. A földhasználat és a termesztett növények területének diverzitásának kiszámításához a Shannon és a Berger-Parker indexet használtuk.

Shannon index: $H = \sum_i p_i \cdot \ln p_i$

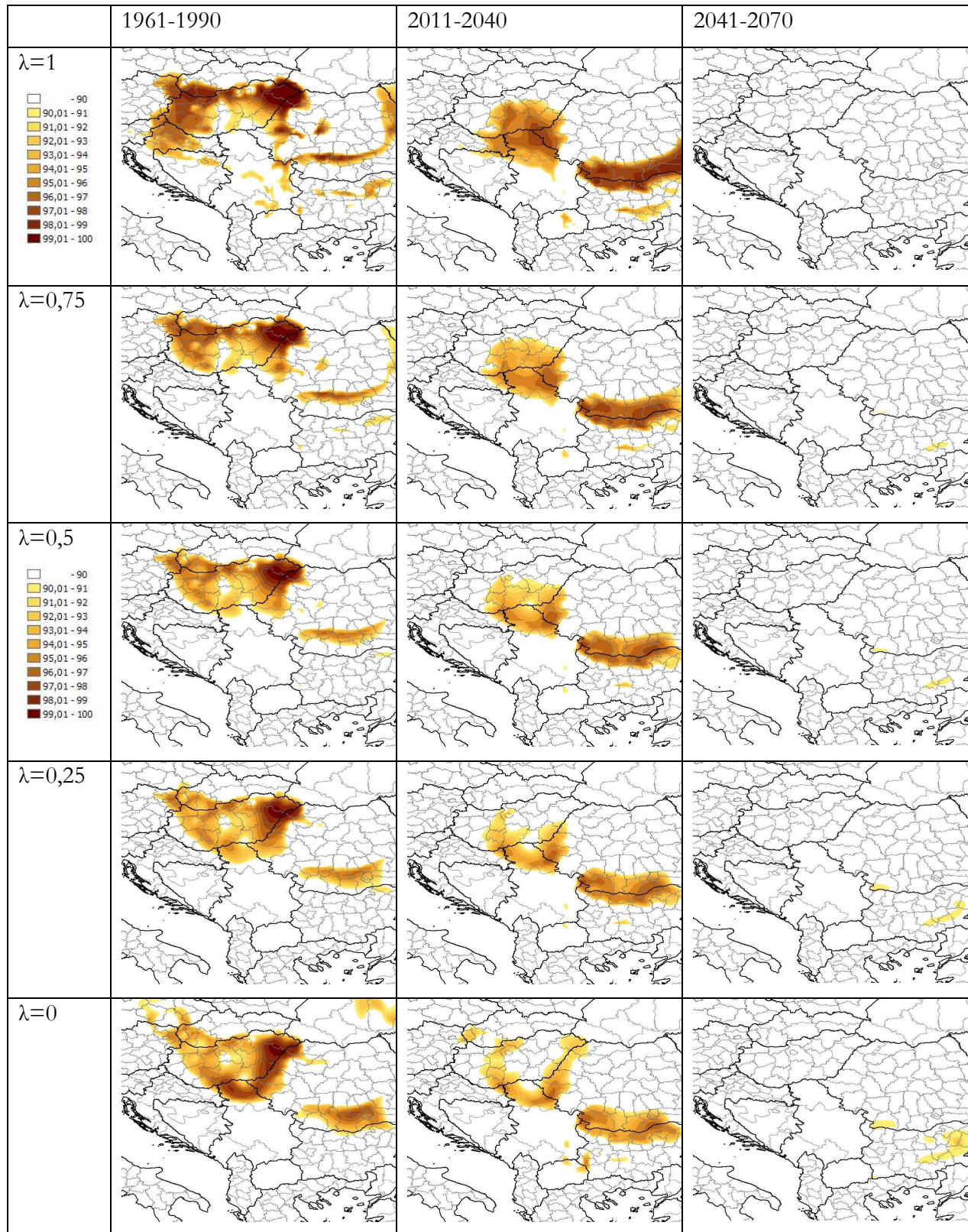
Ahol p_i az adott elem aránya az egészhez képest.

A Berger-Parker index: $\max_{1 \leq i \leq s} p_i$

A Berger-Parker indexet a dominancia kifejezésére használjuk, minél nagyobb annál inkább bizonyosabb, hogy van domináns elem.

Eredmények

Analóg területek



1. ábra: Analóg területek elhelyezkedése és érzékenysége a vizsgát időtáblákra

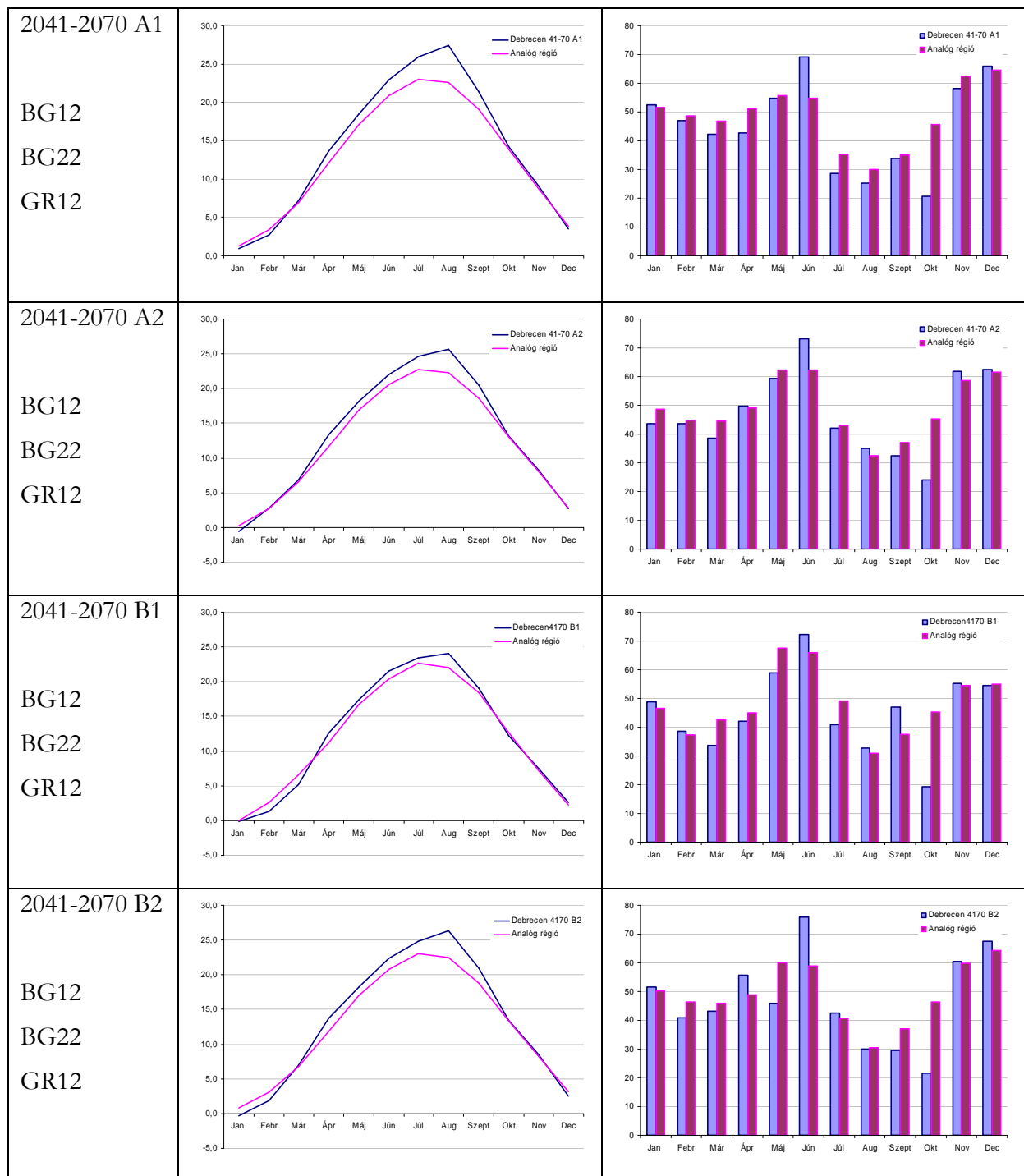
Az évezred végére Európában nem található elfogadható hasonlóságú analóg régió, hasonló klímájú területek Észak-Afrikában vannak, A továbbiakban csak a 2070-ig tartó időszakot vizsgáltuk, hiszen ott vannak olyan területek, melyek megbízhatóan (90%<) mutatnak analógiát. Az alábbi táblázatban láthatjuk a különböző scenáriókhoz és időszakokhoz tartozó analóg régiók NUTS3 kódjait. Láthatjuk, hogy a következő évtizedekben az analógia közel ugyanazon régiókra mutat, ez abból következik, hogy a scenáriók még nem különülnek el ebben az időszakban. Az analóg területek a Vajdaságban, Dél-Romániában és Észak-Bulgáriában találhatóak.

| Szenárió | Analóg NUTS3 régiók |
|--------------|---|
| 2011-2040 A1 | YU003, RO037, RO041, RO043, BG121, BG123 |
| 2011-2040 A2 | YU003, RO032, RO037, RO041, RO043, RO054, BG121, BG123, BG221 |
| 2011-2040 B1 | RO037, RO041, BG123, BG125, BG136 |
| 2011-2040 B2 | YU003, RO037, RO043, BG112, BG123 |
| 2041-2070 A1 | BG222, BG223, GR123 |
| 2041-2070 A2 | YU003, RO041, BG121, BG222, BG223 |
| 2041-2070 B1 | YU003, RO041, BG123, BG221 |
| 2041-2070 B2 | RO041, BG222, BG233, GR123 |

4. táblázat: Analóg területek NUTS3 kódjai

Ahhoz, hogy lássuk, hogy a földrajzilag analóg régiók tényleg hasonló klímájúak, bemutatjuk a Debrecenre vonatkozó scenáriók és a hozzá leginkább hasonló analóg területek klímáját is. Itt is láthatjuk, hogy nagy hasonlósági indexű régiók klímája meggyőzően hasonlít a scenárió által mutatott klímára. Az évszázad közepén (2041-2070) pedig a kisebb hasonlósági indexű területeknél már nagyobb különbség látható a scenárió és a megfigyelt klíma között. Az időben távolabb haladva csak kisebb egyezésű területeket találunk, ez abból fakad, hogy olyan mértékű változást várhatunk, melyhez nem találunk hasonlót Európában.

| Időszakok | Hőmérséklet | Csapadék |
|---|-------------|----------|
| 2011-2040 A1 YU003 RO03 RO04 BG11 | | |
| 2011-2040 A2 YU003 RO03 RO04 BG11 | | |
| 2011-2040 B1 YU003 RO03 RO04 BG11 | | |
| 2011-2040 B2 YU003 RO03 RO04 BG11 | | |



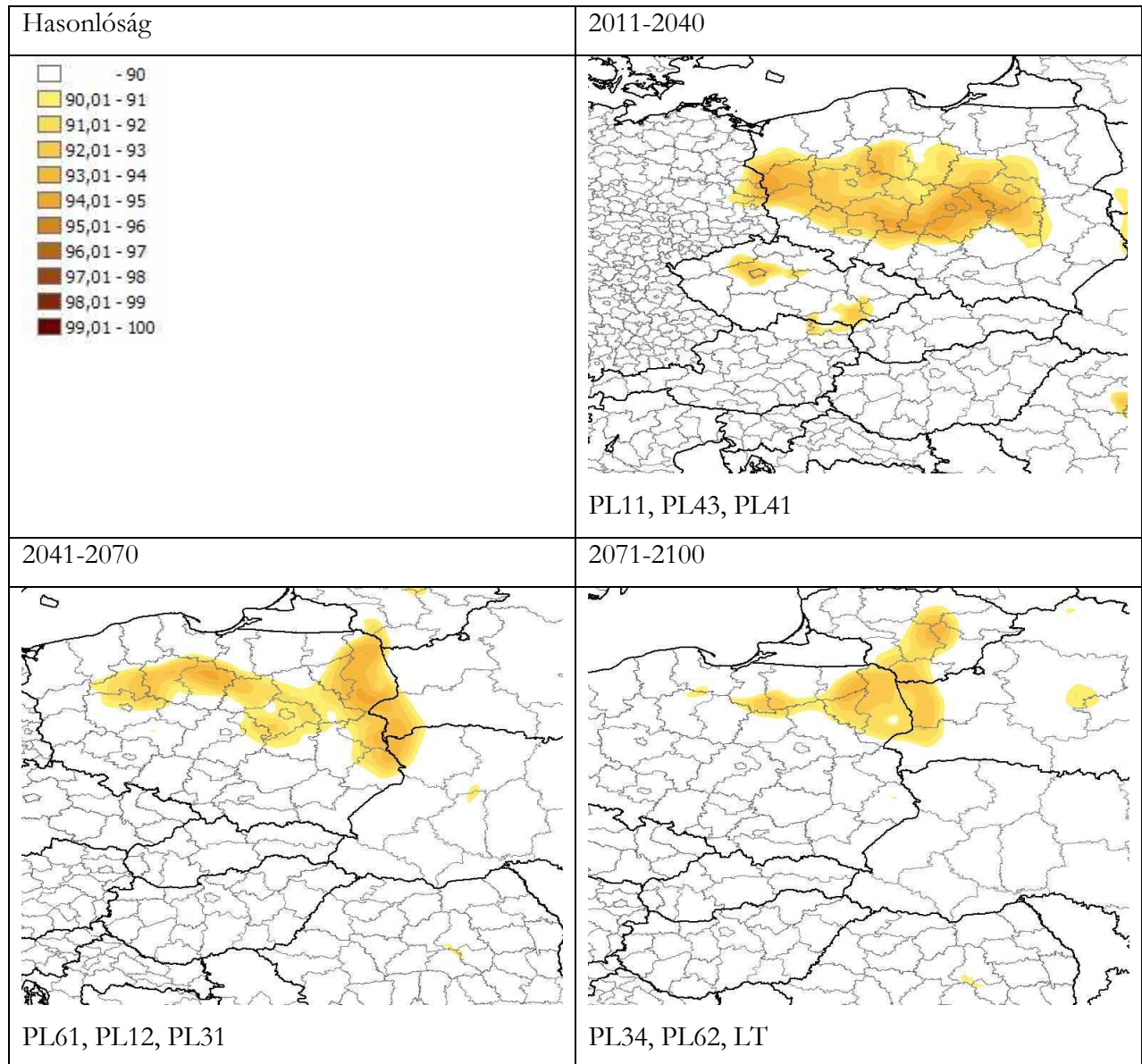
2. ábra: Analóg területek és a scenáriók által mutatott klíma összehasonlítása

Mivel adatok csak korlátozottan állnak rendelkezésre a NUTS3 régiókra, így azok nagyobb felbontását, a NUTS2 régiófelosztást használtuk.

Érdeemes megvizsgálni, hogy Európában hol vannak azok a régiók, melyek analógja Debrecen régiója lesz. Ezt szintén ugyanazokra az időszakra vizsgáltuk, főleg Lengyelországban található olyan régiók, melyek jövőbeni klímája olyan lesz mint Debrecenben most. Ez egybecseng azzal a

megfigyeléssel, hogy a globális felmelegedés a klíma több száz kilométeres eltolódásával járhat együtt.

Az alábbi táblázatban látszanak azok a régiók, melyek analógja Debrecen, azaz ott várható a jövőben olyan klíma, mint ami most van Debrecenben.



3. ábra: Régiók, melyek analóg területe Debrecen

Földhasználat változása

Az EUROSTAT adatbázisát felhasználva, gyűjtöttük az analóg régiókra jellemző földhasználati adatokat. Az alábbi táblázatban a földhasználati típusok és a nagyságuk található, minden adat

1000 hektárban van megadva. Az táblázat az adatbázisból elérhető utolsó 10 év átlagadatait tartalmazza (1995-2004).

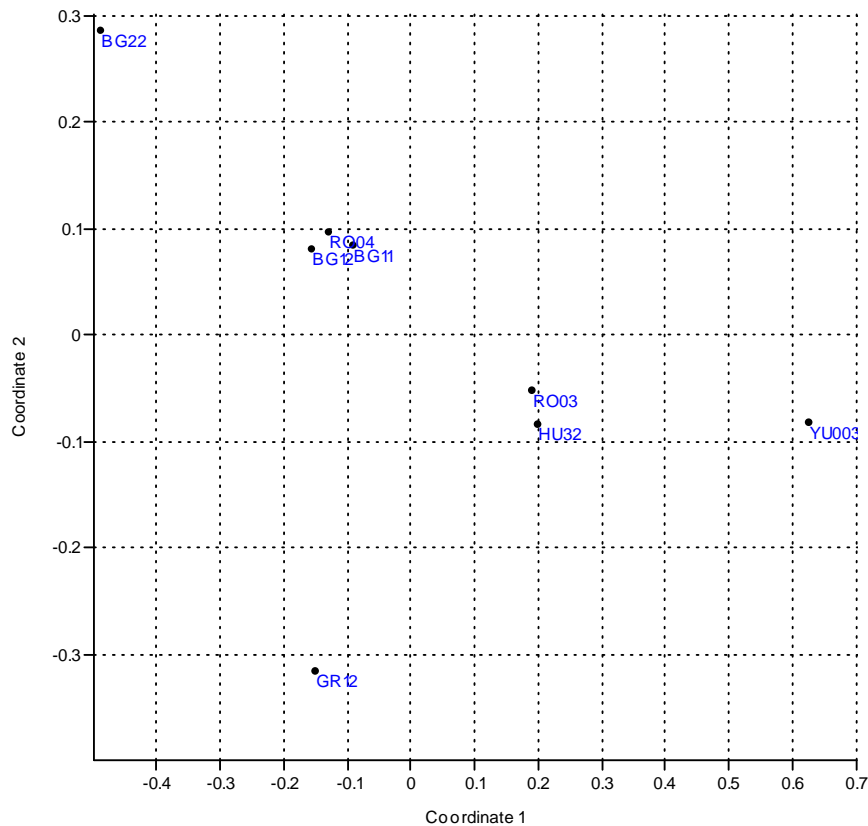
| | HU32 | YU003 | RO03 | RO04 | BG11 | BG12 | BG22 | GR12 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mezőgazdasági terület | 1308,8 | 1783 | 2448,3 | 1819,2 | 695,1 | 1023,7 | 1240,6 | 754,3 |
| Szántóföld | 1006,7 | 1645 | 1965,7 | 1248,4 | 473,7 | 677 | 705,9 | 599,6 |
| Ugar | 67,8 | 45,8 | 58,7 | 58,1 | 142,5 | 71,9 | 172 | 27,4 |
| Erdő | 200,2 | 102 | 675,8 | 852,4 | 229,7 | 484,3 | 1127,3 | 183,8 |
| Magán kertek | 11,2 | 0 | 0 | 0 | 7,6 | 13,8 | 28,9 | 25,7 |
| Rét, legelő | 251,7 | 450,2 | 381,6 | 464,6 | 184,7 | 306,6 | 454,2 | 165,1 |
| Zöldtakarmány | 24,7 | 113,3 | 179,2 | 95,4 | 32,0 | 64,1 | 38,1 | 3,0 |
| Olíva-termő területek | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30,4 |
| Ültetvény | 39,3 | 36,7 | 105,4 | 111,6 | 22,3 | 33,0 | 65,6 | 108,1 |
| Szőlő | 5,8 | 16,8 | 44,5 | 42,7 | 14,5 | 16,8 | 35,6 | 5,9 |
| Régió területe | 1816,4 | 2150,0 | 3445,3 | 2921,0 | 1068,0 | 1775,0 | 2749,0 | 1914,0 |

5. táblázat: Analóg régiók földhasználati típusai és nagysága

Mivel a területek nem ugyanakkorák, az összehasonlításához meghatároztuk az arányukat a régió területéhez képest.

| | HU32 | YU003 | RO03 | RO04 | BG11 | BG12 | BG22 | GR12 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mezőgazdasági terület | 72,1% | 82,9% | 71,1% | 62,3% | 65,1% | 57,7% | 45,1% | 39,4% |
| Szántóföld | 55,4% | 76,5% | 57,1% | 42,7% | 44,4% | 38,1% | 25,7% | 31,3% |
| Ugar | 3,7% | 2,1% | 1,7% | 2,0% | 13,3% | 4,1% | 6,3% | 1,4% |
| Erdő | 11,0% | 4,7% | 19,6% | 29,2% | 21,5% | 27,3% | 41,0% | 9,6% |
| Magán kertek | 0,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,7% | 0,8% | 1,1% | 1,3% |
| Rét, legelő | 13,9% | 20,9% | 11,1% | 15,9% | 17,3% | 17,3% | 16,5% | 8,6% |
| Zöldtakarmány | 1,4% | 5,3% | 5,2% | 3,3% | 3,0% | 3,6% | 1,4% | 0,2% |
| Olíva-termő területek | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,3% |
| Ültetvény | 2,2% | 1,7% | 2,9% | 3,6% | 1,6% | 1,5% | 2,4% | 5,3% |
| Szőlő | 0,3% | 0,8% | 1,4% | 1,7% | 1,3% | 0,7% | 1,3% | 0,3% |

6. táblázat: Analóg régiók földhasználati típusainak aránya a régió területéhez képest



4. ábra: Analóg régiók földhasználati hasonlósági mintázatai

Az egyes területek abszolút (1000 ha) és relatív (%) adatainak hasonlósági mintázatait euklideszi távolságon alapuló NMDS segítségével elemeztük. Megállapítható, hogy a Magyarországi adatsor köztes helyet foglal el az analóg területek hasonlósági mintázatában, vagyis a bekövetkező változások a hasonlósági mintázat szempontjából nem egy irányba mutatnak. Az látható, hogy hazánk a délebbi területek (GR és BG) csoportja és a kevésbé délebbi területek csoportja (YU, RO) között látható. Megfigyelhetjük, hogy hazánkhoz az egyik RO terület és YU áll legközelebb, még legtávolabb a GR és az egyik BG terület. A megfigyelt mintázat hátterét legfőképp a szántóföldi hasznosítás arányai alapján érthetjük meg, hiszen ez az érték egyes YU és RO területeken jóval magasabb mint hazánkban, a BG és GR területeken viszont jóval alacsonyabb. A szántóföldi hasznosítás mintázatának okaira a természetett növények elemzésekor kaphatunk világosabb képet. Ugyanakkor a földhasznosítás vonatkozásában fontos kiemelni, hogy az analóg területek többségében (a nagyon extrém klímaváltozás esetére utaló Gr-t kivéve) a hazainál sokkal jelentősebb a rét- legelő és az erdő-gazdálkodás. Ezen extenzívebb művelési ágak arányának

növelése hazánkban is előnyös lenne úgy a környezet- és természetvédelem, mint a tájgazdálkodás és a természeti erőforrások megőrzése szempontjából. Nagyon látványos bár az előzőekhez képest kisebb jelentőségű a szőlővel hasznosított területek arányának alakulása, amin megfigyelhető, hogy a klímaváltozás hatására „belecsúszunk” a szőlőnek kedvezőbb sávba és még a legradikálisabb klímaváltozás (GR analóg) esetén is legfeljebb a mai arányokra való visszaesés („túlcsúszás”) várható.

Az adatok további elemzéséhez ezen régiók földhasználati típusainak diverzitási indexeit is megvizsgáltuk.

| | HU32 | YU003 | RO03 | RO04 | BG11 | BG12 | BG22 | GR12 |
|------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Taxa S | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| Individuals | 1608 | 2163 | 3411 | 2874 | 1102 | 1786 | 2628 | 1130 |
| Dominance D | 0,43 | 0,29 | 0,39 | 0,31 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,32 |
| Shannon H | 1,19 | 1,40 | 1,27 | 1,40 | 1,51 | 1,50 | 1,46 | 1,47 |
| Simpson 1-D | 0,57 | 0,71 | 0,61 | 0,69 | 0,73 | 0,72 | 0,71 | 0,68 |
| Evenness e^H/S | 0,41 | 0,58 | 0,51 | 0,58 | 0,57 | 0,56 | 0,54 | 0,48 |
| Menhinick | 0,20 | 0,15 | 0,12 | 0,13 | 0,24 | 0,19 | 0,16 | 0,27 |
| Margalef | 0,95 | 0,78 | 0,74 | 0,75 | 1,00 | 0,93 | 0,89 | 1,14 |
| Equitability J | 0,57 | 0,72 | 0,65 | 0,72 | 0,73 | 0,72 | 0,70 | 0,67 |
| Fisher alpha | 1,10 | 0,90 | 0,84 | 0,86 | 1,17 | 1,08 | 1,02 | 1,34 |
| Berger-Parker | 0,63 | 0,38 | 0,58 | 0,43 | 0,43 | 0,42 | 0,43 | 0,51 |

7. táblázat: Analóg régiók földhasználati típusainak diverzitási indexei

A természet közeli vagy ember által nagyobb mértékben befolyásolt, de mindenképpen vegetációval fedett területek földhasználati típusainak diverzitása fontos alkalmazkodási stratégia lehet változékony időjárási feltételek mellett, különösen pedig egy jelentős klímaváltozás folyamatában. A „több lábbon állás” gazdasági kockázatcsökkentő hatásán kívül, a magasabb földhasználati típus diverzitás egyúttal magasabb tájszintű élőhely diverzitással is jár, amelynek biodiverzitás megőrzési és általános természetvédelmi szerepe is kiemelkedő. A klímaváltozékonyasághoz való alkalmazkodás egy olyan különleges szituáció, ahol a gazdasági érdekek és a környezetvédelem stratégiai érdekei egy irányba mutatnak.

Ezen megfontolások alapján rendkívül jelentőségteljes és sokatmondó az a tény, hogy valamennyi analóg terület földhasználati diverzitása magasabb hazánk jelenlegi mutatóinál. A Shannon-diverzitás és a Berger-Parker index együttes viselkedése alapján jól látható, hogy a magasabb

diverzitás mögött nem a földhasználati-típus féleségek növekvő száma, hanem ugyanazon féleségek gyakorisági eloszlásának nagyobb egyenletessége áll. Ennek elérése tehát a domináns földhasználati típusok arányának csökkentésével érhető el.

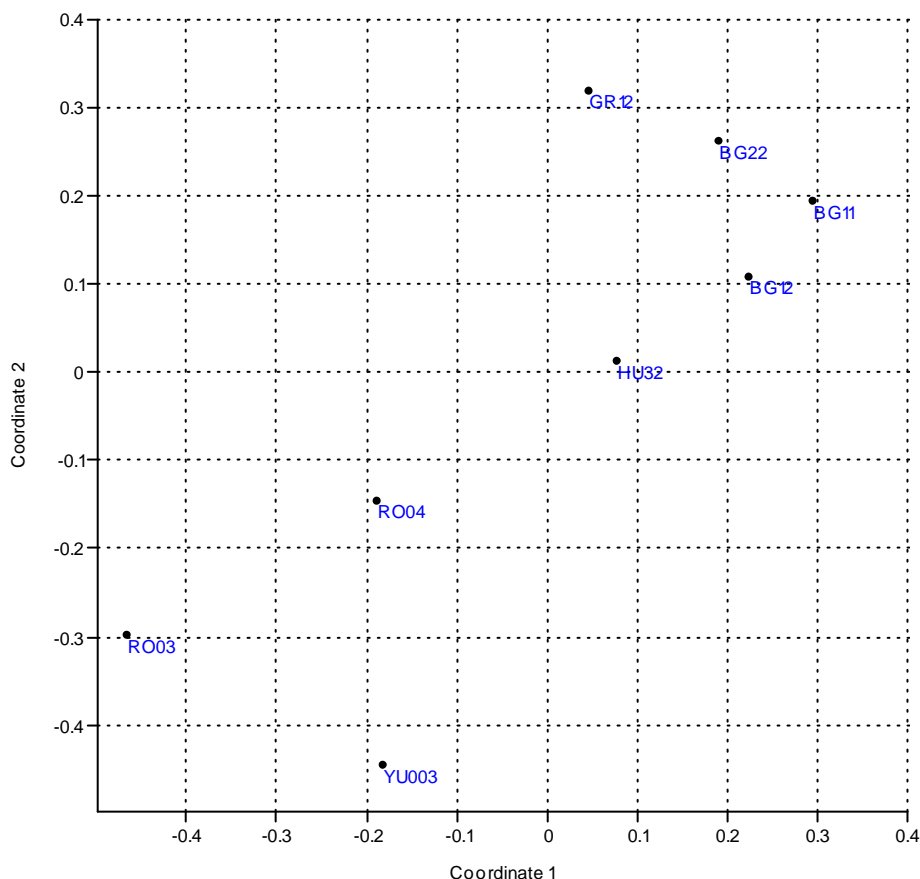
A Shannon-diverzitás eltéréseinek páronkénti tesztelésére a permutációs Shannon t-tesztet alkalmaztuk. Ezek alapján megállapítható, hogy valamennyi diverzitás-pár eltérése szignifikáns minden ésszerű valószínűségi szinten.

Termesztett növények területének változása

A földhasználat változás esetén meg kell vizsgálnunk a szántóföldi termelés lehetséges változásait is az analóg régiók adatai alapján. Elemzésünket azonos módon végeztük el, mint a földhasználat-változási vizsgálatok alapján.

| | HU32 | YU003 | RO03 | RO04 | BG11 | BG12 | BG22 | GR12 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Búza | 226,32 | 352,99 | 527,59 | 371,87 | 121,05 | 210,28 | 208,73 | 308,96 |
| Rozs | 17,90 | 0,85 | 0,16 | 3,12 | 0,50 | 0,27 | 8,57 | 2,86 |
| Árpa | 44,27 | 53,65 | 75,98 | 32,28 | 23,13 | 57,61 | 68,52 | 34,91 |
| Szemes kukorica | 239,52 | 659,87 | 625,92 | 464,88 | 62,09 | 111,87 | 26,66 | 49,54 |
| Rizs | 1,41 | 0,00 | 0,94 | 0,10 | 3,93 | 14,96 | 3,31 | 18,34 |
| Takarmánykukorica | 29,17 | 5,2 | 10,34 | 9,56 | 1,41 | 4,11 | 10,36 | 2,42 |
| Burgonya | 12,50 | 23,84 | 22,80 | 16,40 | 1,93 | 3,63 | 18,20 | 2,63 |
| Száraz hüvelyesek | 9,71 | 0,00 | 12,03 | 4,00 | 0,08 | 2,39 | 3,66 | 0,60 |
| Cukorrépa | 26,67 | 70,9 | 6,87 | 2,38 | 69,28 | 124,52 | 0,41 | 15,08 |
| Olajos magvak | 129,77 | 5,2 | 343,27 | 115,62 | 0,90 | 1,60 | 81,84 | 9,03 |
| Repce | 9,53 | 0,00 | 16,56 | 3,50 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 0,00 |
| Napraforgó | 113,36 | 140,47 | 287,56 | 106,98 | 68,48 | 123,38 | 76,06 | 6,83 |
| Szójabab | 0,43 | 67,22 | 32,29 | 3,37 | 1,05 | 3,63 | 0,05 | 0,00 |
| Len | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 |
| Gyapot | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 8,63 | 100,36 |
| Dohány | 4,92 | 3,53 | 1,52 | 5,31 | 0,62 | 1,48 | 21,13 | 29,48 |
| Ültetvény | 39,29 | 36,7 | 105,36 | 111,16 | 22,28 | 32,94 | 65,56 | 108,09 |
| Gyümölcsös | 33,47 | 11,5 | 48,24 | 43,52 | 1,84 | 16,47 | 21,61 | 67,45 |
| Szőlő | 5,82 | 16,8 | 44,52 | 42,72 | 14,50 | 16,79 | 35,63 | 5,86 |
| Oliva | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 30,40 |

8. táblázat: Termesztett növények területe az analóg régiókon



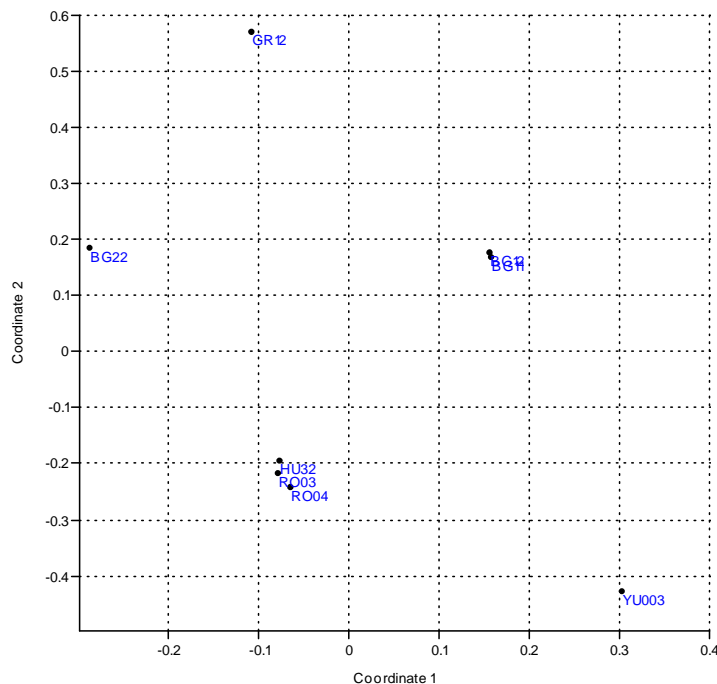
5. ábra: Termesztett növények területének hasonlósági mintázatai

A termesztett növények területének abszolút (ha) és a szántóföldhöz viszonyított relatív (%) adatainak hasonlósági mintázatait szintén a földhasználati viszonyok elemzésekor már használt euklideszi távolságon alapuló NMDS segítségével elemeztük. Ez az elemzés a földhasználati típusok között dominánsnak mutató szántóföldi növénytermesztés mélyrehatóbb elemzésére és a földhasználatban megfigyelt mintázatok mögött megbúvó okok pontosabb feltárására ad lehetőséget. Az NMDS eredményeként kapott hasonlósági mintázatok sokkal szebbek és jobban értelmezhetők ezen részletes adatok alapján, mint a földhasználati típusok esetén. Az abszolút területek eloszlása alapján az egyes országok világosan elkülönülnek és sorba rendeződnek. Magyarország itt is átmeneti helyet foglal el a kifejezetten déli (BG és GR) valamint a kevésbé déli (RO és YU) területek között. A déli csoportból a valós topográfiai helyzetnek megfelelően a BG területek közelebb még a GR terület távolabb helyezkedik el hazánkhoz. A kevésbé déli területek csoportja bár irányultságában ellentétes tendenciát mutat a hasonlósági mintázat állapotterében,

de a RO és YU területek elhelyezkedése a topográfiai viszonyoknak megfelelő (a három ország területei háromszögszerűen helyezkednek el). A kapott hasonlósági mintázat okait jól illusztrálja a kukorica vetésterület arányának alakulása. Egy kisebb mértékű klímaváltozás, amely YU és RO területi analógiákkal jellemezhető a kukoricaöbve való mélyebb „becsúszást” eredményezné, ami a vetésterület nagyságának (és arányának) növekedésével járna. Ha azonban a klímaváltozás folyamata továbbhalad, akkor a maihoz képest extrémebb BG és GR analógok válnak aktuálissá, ami már a kukoricaövből való déli irányú „kicsúszást” eredményezné. Az összefüggések világosabban értelmezhetők, ha abszolút mennyiségek helyett a százalékos adatokat tekintjük.

| | HU32 | YU003 | RO03 | RO04 | BG11 | BG12 | BG22 | GR12 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Búza | 24,0% | 24,4% | 24,4% | 27,8% | 30,8% | 29,0% | 31,6% | 39,0% |
| Rozs | 1,9% | 0,1% | 0,0% | 0,2% | 0,1% | 0,0% | 1,3% | 0,4% |
| Árpa | 4,7% | 3,7% | 3,5% | 2,4% | 5,9% | 7,9% | 10,4% | 4,4% |
| Szemes kukorica | 25,4% | 45,5% | 29,0% | 34,8% | 15,8% | 15,4% | 4,0% | 6,2% |
| Rizs | 0,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,0% | 2,1% | 0,5% | 2,3% |
| Takarmánykukorica | 3,1% | 0,4% | 0,5% | 0,7% | 0,4% | 0,6% | 1,6% | 0,3% |
| Burgonya | 1,3% | 1,6% | 1,1% | 1,2% | 0,5% | 0,5% | 2,8% | 0,3% |
| Száraz hüvelyesek | 1,0% | 0,0% | 0,6% | 0,3% | 0,0% | 0,3% | 0,6% | 0,1% |
| Cukorrépa | 2,8% | 4,9% | 0,3% | 0,2% | 17,6% | 17,2% | 0,1% | 1,9% |
| Olajos magvak | 13,7% | 0,4% | 15,9% | 8,6% | 0,2% | 0,2% | 12,4% | 1,1% |
| Repce | 1,0% | 0,0% | 0,8% | 0,3% | 0,0% | 0,0% | 0,1% | 0,0% |
| Napraforgó | 12,0% | 9,7% | 13,3% | 8,0% | 17,4% | 17,0% | 11,5% | 0,9% |
| Szójabab | 0,0% | 4,6% | 1,5% | 0,3% | 0,3% | 0,5% | 0,0% | 0,0% |
| Len | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Gyapot | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,3% | 12,7% |
| Dohány | 0,5% | 0,2% | 0,1% | 0,4% | 0,2% | 0,2% | 3,2% | 3,7% |
| Ültetvény | 4,2% | 2,5% | 4,9% | 8,3% | 5,7% | 4,5% | 9,9% | 13,6% |
| Gyümölcsös | 3,5% | 0,8% | 2,2% | 3,3% | 0,5% | 2,3% | 3,3% | 8,5% |
| Szőlő | 0,6% | 1,2% | 2,1% | 3,2% | 3,7% | 2,3% | 5,4% | 0,7% |
| Oliva | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 3,8% |

9. táblázat: Termesztett növények területének aránya a szántóföldhöz képest



6. ábra: Termesztett növények területarányainak hasonlósági mintázatai

A relatív adatok alapján ugyanaz az alapvető hasonlósági mintázat figyelhető meg, de az egyes országok elhatárolódása világosabb. Az adatok áttekintése nyomán az alábbi részletesebb megállapítások tehetők:

- A kukorica aránya a kukoricaövbe való északi belépésnek köszönhetően növekszik, majd a déli kilépésnek megfelelően csökken.
- A búza aránya egyértelmű tendenciaként növekszik, úgy hogy az arány a folyamat végére 24%-ról 39%-ig emelkedik.
- Az árpa a kukoricával ellentétesen viselkedik, azaz a kukoricaövbe érve aránya csökken majd azt elhagyva újra növekszik és csupán a GR területen esik vissza ismét.
- A rizs termesztése egyértelműen csak a jóval délibb területeken jellemző, hazánkban tehát csak a klímaváltozási folyamat második szakaszában merülhet fel komoly formában.
- A burgonya a klímaváltozás analógokkal jelzett irányában többé-kevésbé csökkenő tendenciát mutat, ami megfelel a várakozásoknak.
- A napraforgó termesztési feltételei csak a GR analógon „romlanak” jelentősen, ugyanakkor a dohány, olíva és a gyapot csak ott „javul” érdemben.

A termesztett növények területének diverzitása

| | HU32 | YU003 | RO03 | RO04 | BG11 | BG12 | BG22 | GR12 |
|------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Taxa S | 17 | 14 | 18 | 17 | 16 | 17 | 19 | 17 |
| Individuals | 943 | 1449 | 2163 | 1337 | 392 | 726 | 662 | 792 |
| Dominance D | 0,16 | 0,28 | 0,19 | 0,22 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | 0,20 |
| Shannon H | 2,12 | 1,65 | 1,92 | 1,84 | 1,89 | 1,98 | 2,19 | 2,02 |
| Simpson 1-D | 0,84 | 0,72 | 0,81 | 0,78 | 0,81 | 0,82 | 0,84 | 0,80 |
| Evenness e^H/S | 0,49 | 0,37 | 0,38 | 0,37 | 0,41 | 0,42 | 0,47 | 0,44 |
| Menhinick | 0,55 | 0,37 | 0,39 | 0,46 | 0,81 | 0,63 | 0,74 | 0,60 |
| Margalef | 2,34 | 1,79 | 2,21 | 2,22 | 2,51 | 2,43 | 2,77 | 2,40 |
| Equitability J | 0,75 | 0,63 | 0,67 | 0,65 | 0,68 | 0,70 | 0,74 | 0,71 |
| Fisher alpha | 2,95 | 2,15 | 2,69 | 2,75 | 3,36 | 3,12 | 3,65 | 3,06 |
| Berger-Parker | 0,25 | 0,46 | 0,29 | 0,35 | 0,31 | 0,29 | 0,32 | 0,39 |

10. táblázat: A termesztett növények területének diverzitása

A termesztett növények területarányainak diverzitását tekintve a Berger-Parker index vonatkozásában ugyanazt mondhatjuk el, illetve erősíthetjük meg, mint a földhasználati típusok esetében, azaz a Magyarországon alkalmazott diverzitásnál minden analóg terület diverzitása magasabb, ami jobb kockázatkerülési stratégiára utal. Ez azonban elsősorban a domináns növényfaj alacsonyabb (így kedvezőbb) diverzitása szempontjából igaz. A Shannon index a klímaváltozással először csökkenést mutat, majd csak a legdélebbi területeken emelkedik újra. Ez a jelenség jelentős részben a kukoricaövbbe való be- és kilépéssel magyarázható.

A Shannon-diverzitás eltéréseinek páronkénti tesztelésére ez esetben is a permutációs Shannon t-tesztet alkalmaztuk. Ezek alapján itt is megállapítható, hogy valamennyi diverzitás-pár eltérése szignifikáns minden ésszerű valószínűségi szinten.

Összefoglalás

Megállapíthatjuk, hogy a CLIMEX módszerrel alkalmazásával találhatunk Európában földrajzilag analóg területeket. Az analóg területek a 2011-2040-es időszakban Észak-Szerbiában, Dél-Romániában és Észak-Bulgáriában találhatók, ez 100-300 km-es eltolódást jelent, ami összhangban van a nemzetközi irodalmi adatokkal. Az évszázad közepén már erőteljesebben

megjelennek a bulgár és görög területek. Az évszázad végére már nem található klimatikusan hasonló terület Európában

Megállapíthatjuk, hogy az analóg területeken a földhasználati diverzitása magasabb hazánk jelenlegi mutatóinál. A Shannon-diverzitás és a Berger-Parker index együttes viselkedése alapján jól látható, hogy a magasabb diverzitás mögött nem a földhasználati-típus féleségek növekvő száma, hanem ugyanazon féleségek gyakorisági eloszlásának nagyobb egyenletessége áll. Ennek elérése tehát a domináns földhasználati típusok arányának csökkentésével érhető el. A természetű növények területének vizsgálatakor megállapíthatjuk, hogy az idő előrehaladtával a kukorica aránya növekszik, a kukoricaövbe való belépéskor, az évszázad második felében pedig csökken, az övből való kilépésnél köszönhetően. A búza aránya egyértelmű tendenciaként növekszik. Az árpa termesztési területének aránya a kukoricáéval ellentétes. A napraforgó termesztési feltételei növekednek, csak görög területeken csökken, ez nem csak a klimatikus tényezőknek köszönhető, hanem a társadalmi szokásoknak, hisz délebbre előnyben részesítik az olívát, ami a termesztési területeken is létezik.

A kapott analóg területek fontos segítséget nyújthatnak a klímaváltozás lehetséges hatásainak komplex elemzésében, valamint abban, hogy a más országokban már meglévő stratégiákat és alkalmazkodási módszereket segítségül hívjuk a várható problémáink megoldásában és a felkészülési folyamat során. A rendelkezésre álló analóg területekről összegyűjthető ökológiai, természet-földrajzi, mezőgazdasági, közegészségügyi, vagy éppen szociális és gazdasági adatok alapján szilárd összehasonlítási alapot nyerhetünk további kutatómunkák egész sorához, valamint fontos információforrásokat nyithatunk meg a döntéshozók számára.

Tarlómaradványok hatása a talaj aggregátum-stabilitására

Bevezetés

Természeti erőforrásaink közül a talaj alapvető fontosságú, mivel biztosítja a növénytermesztés közegét, és így lehetővé teszi az élelmiszertermelést a mezőgazdaság számára (Várallyay, 2002). Napjainkban az egyre intenzívebb talajhasználat és az alkalmazott növénytermesztési technológiák a talaj szerkezetének fokozatos leromlását, stabilitásának és tápanyag-szolgáltató képességének csökkenését okozhatják (Chan és Heenan, 1999), így veszélyeztetik a talaj termőképességét.

A talaj szerkezete és annak stabilitása nagymértékben függ a talaj szervesanyag-tartalmától. A talajszerkezet stabilizálása és javítása szervesanyagok (mint például szervesztrágya, zöldtrágya vagy tarlómaradványok) kijuttatásával általánosan elterjedt gyakorlat, de tényleges hatásukat befolyásolja az alkalmazott mennyiség, minőség (lebonthatóság).

A talajba juttatott szervesanyag abban az esetben képes javítani a talaj szerkezetét, ha lebomlása végig a talajban történik. Ennek következtében a friss növényi részek, tarlómaradványok vagy zöldtrágyák - a szervesztrágya hatásával ellentétben - javíthatják a talaj szerkezetét, mivel a szervesztrágya érése során nagymértékű lebomláson megy keresztül, így nem képes javítani a talaj szerkezetét. Az előbbi ok, illetve a szervesztrágyát adó haszonállatok számának folyamatos csökkenése, a növekvő szervesztrágya árak, és a tarlómaradványoknak a talajba forgatás helyett a szántóföldekről való eltávolítása miatt a talaj szerkezetének javítása szervesanyagok kijuttatásával egyre kevésbé gyakori. Ezek a kedvezőtlen talajművelési technológiák általánosan elterjedtek, és a talaj szervesanyag-készletének csökkenését, végső soron pedig a talaj szerkezeti leromlását okozhatják.

Emiatt vizsgálataink célja különböző szervesanyagok talajszerkezet javító hatásának számszerűsítése és összehasonlítása volt, hogy javaslatot tehesünk a leginkább talajszerkezet-javító növényi anyagok használatára.

A talajszerkezet és az aggregátumok

A talaj szerkezetét olyan talajrészecskék csoportjai hozzák létre, melyek egymáshoz nagyobb erővel kötődnek, mint a többi környező talajszemcsékhez: ezeket a talajrészecskescsoportosulásokat aggregátumoknak nevezzük (Nikiforoff, 1941 cited in Kemper és Rosneau, 1986). A növénytermelés számára a talajszerkezet akkor optimális, ha a talaj egész tömege 1-10 mm-es különálló aggregátumokból áll, amelyek stabilitásukat nedvesen is megtartják. Ezt a

talajállapotot morzsás állapotnak nevezzük. A földművelési szempontból a legkedvezőbb a nagyrészt 2-3 mm-es (2000-3000 μm) morzsákból álló talaj.

Az aggregátumok csoportosítása

Az aggregátumok általánosan náluk kisebb, különböző méretű szerkezeti egységekből épülnek fel változatos kötőelemek és mechanizmusok hatására (Tisdall és Oades, 1982). A 2000-7000 μm talajszerkezeti elemeket nagy makro-, a 250-2000 μm nagyságúakat kis makro-, 53-250 μm nagyságúakat mikroaggregátumoknak, az 53 μm -nél kisebb részecskéket iszap és agyag frakciónak nevezzük (Six et al., 1999, 2000). Az azonos mérettartományba tartozó elemi ásványi és szerves részecskéket és aggregátumokat együtt vizsgáljuk, és mindezeket összefoglalóan (a mérettartomány megjelölésével) frakcióknak nevezünk.

A talaj szerkezeti elemeinek stabilitása

A talaj szerkezeti elemei akkor tudják fontos feladataikat betölteni, ha megfelelő stabilitásúak: vagyis ha az aggregátumra ható romboló erőt az aggregátum szétesése nélkül képesek elviselni (Kemper és Rosneau, 1986). Ezt a tulajdonságukat aggregátum-stabilitásnak nevezzük. Ha az aggregátumok kisebb egyedekre, esetleg elsődleges talajrészecskékre esnek szét, a talajszerkezet minősége leromlik. Ez a romboló hatás lehet külső, például talajművelés, vagy belső, mint például a víz hatása. Mindkét hatás, amennyiben az meghaladja a talaj ellenálló képességét, az aggregátumok szétesését okozza.

Humid területeken az aggregátumok túlságosan gyors vagy túlzott mértékű nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban a talajmorzsák vízállóságának mértékétől függ. Amikor a légszáraz aggregátum túlságosan gyorsan nedvesedik, kisebb aggregátumokra vagy azok törmelékeire, esetleg elsődleges szemcsékre bomlik szét (Emerson, 1977).

A szervesanyag-utánpótlás hatása a talaj szerkezetére

A talaj szerkezetének stabilitását, az aggregátumok vízállóságát nagymértékben befolyásolja a talaj szervesanyag-tartalma. A talajművelés és növénytermelés szervesanyag-csökkenést okoz, ez azonban szervesanyag-pótlással ellensúlyozható. A különböző szerves anyagok (szervestrágya, zöld növényi, ill. tarlómaradványok) használatával végzett szervesanyag-utánpótlás évezredes múltira tekint vissza. A tarlómaradványok talajba forgatása növeli a talaj szervesanyag-tartalmát, és ez által növeli a talaj aggregátum-stabilitását, javítja a talajszerkezetet (Lynch és Elliott, 1983).

A talajszerkezet szervesanyagok kijuttatásával való javítása általánosan használt gyakorlat, ám a talaj szerkezetének tényleges javulása számos tényezőtől függ: a talajba juttatott szervesanyagok mennyiségétől, minőségétől (lebomlásra való hajlamuk mértékétől) és a talaj típusától. A különböző típusú szervesanyagok a talajszerkezetre annak eltérő strukturális szintjén hatnak: ezt befolyásolja a szervesanyag mennyisége, a szervesanyag-részecskék mérete, biokémiai viselkedése (Martens, 2000), és a talaj típusa is (Paul, 1984).

A szervesanyag-részecskék méretének csökkenésével azok mikroorganizmusok által támadható felülete nő, így egyre nagyobb mértékben válnak lebonthatóvá. A tarlómaradványoknak a talajba forgatás előtti zúzása, darabolása megnöveli hozzáférhetőségüket a mikroorganizmusok számára, így javul a lebonthatóságuk, amely végül az aggregátum-stabilitás növekedéséhez vezet.

A növényi maradványoknak az aggregátumok vízállóságára való hatását befolyásolja azok lebonthatósága, amelyet a kémiai összetétel befolyásol (Martens és Frankenberger, 1992; Martens, 2000). A különböző tarlómaradványok a szerves vegyületek azonos csoportjait tartalmazzák: szacharidokat, fehérjéket, humin- és fenolsavakat illetve lignint, de e kémia összetevők aránya függ a növény fajától, fejlettségi állapotától. Mindezek a tényezők befolyásolhatják a szervesanyagok lebomlásának mértékét és ütemét, és ennek következtében az aggregátum-stabilitást. A könnyen lebomló szerves vegyületeknek (például a glükóznak) gyors, de csak átmeneti, néhány hétig tartó aggregátum-stabilizáló hatása van. Ezzel szemben a lassabban bomló szerves vegyületek (például a cellulóz) aggregátum-stabilizáló hatása kisebb mértékű, de több hónapig is kimutatható (Tisdall és Oades, 1982). Piccolo et al. (1997) a szerves vegyületek lebonthatóságát és aggregátum-stabilizáló hatásának tartamát vizsgálva eredményeik alapján azokat a humuszanyagok > fenolos vegyületek > lignin > cellulóz és fehérjék sorrendbe sorolták. A növényi eredetű szénhidrátok szemcséi nagyobbak, így a homok frakcióban (>53 μm) jelennek meg, és könnyen lebomlanak (Schulten és Leinweber, 2000). A mikroorganizmusok által lebontva gyorsan, de csak rövid ideig stabilizálják az aggregátumokat. A könnyen bomló poliszacharidok rövid ideig tartó, átmeneti kötéseket képeznek, és így beindítják az aggregátum-képződést (Kay, 1998; Tisdall és Oades, 1982). Ezek a vegyületek erősen kötődhetnek az ásványi részecskék felületére (Kay, 1998; Martens, 2000), így gél-szerű vegyületeket hozhatnak létre, amelyek egymáshoz ragasztják a talaj szerkezeti elemeit (Haynes és Beare, 1997). A fenolok és polifenolok kation hidakat képezhetnek, és ezáltal serkenthetik az aggregátum-képződést (Martens, 2000). Minél magasabb a növényi maradványok lignin-tartalma, annál nehezebb a lebomlásuk (Palm és Rowland, 1997). A lipidek, feltételezhetően hidrofób tulajdonságuk miatt növelik az aggregátumok stabilitását, vízállóságát (Dinel et al., 1997; Pare et al., 1999). A humuszvegyületek

nagyfokú kémiai ellenállóságuk és a többi talajrészecskével való kötődésük miatt növelhetik az aggregátumok stabilitását (Piccolo et al., 1997).

A talaj szervesanyag-utánpótlásakor a fent említett vegyületek mindegyike együttesen járul hozzá az aggregátumok vízállóságának növeléséhez (Tisdall és Oades, 1982).

A különböző minőségű és kémiai összetételű növényi maradványok aggregátum-stabilizáló hatását számos kísérlettel vizsgálták. Rimbault és Vyn (1991) szerint kukorica növényi részek talajba keverése azok nagy fenolos vegyület-tartalma miatt növelték az aggregátum-képződést. Martens (2000) gyors, de csak rövid ideig tartó aggregátum-vízállóság javulásról számolt be alacsony fenolsav tartalmú lucerna, repce és fehér here növényi részek talajba keverése után; és nagyobb mértékű aggregátum-vízállóság javulásról nagyobb fenolsav-tartalmú kukorica, zab és szója növényi részek talajba keverése után. John et al. (2005) búza és kukorica tarlómaradványok talajba forgatásának hatását vizsgálta az aggregátumok vízállóságára. Vizsgálataikban az aggregátumok vízállósága a növényi részek hozzáadásának hatására a felső talajrétegben a kukorica > búza sorrendben változott, de ezek a változások statisztikailag nem voltak számottevőek, illetve az aggregátumok vízállósága az alsó talajrétegben még kisebb mértékben változott.

A talajműveléssel kijuttatott szervesanyagok abban az esetben serkentik az aggregátumok kialakulását és növelik azok vízállóságát, ha lebomlásuk már a kezdetektől a talajban, még hozzá megfelelő körülmények között történik. Így képesek ragasztó hatású anyagokat felszabadítani. Abban az esetben, ha a szervesanyagok lebomlásuk után kerülnek a talajba, például a szervestrágya annak érlelése után, kötéseik széttöredeznek, így ásványi részecskéket összeragasztó funkciójukat már nem képesek ellátni. Emiatt a szervestrágyázás közvetlenül csak kismértékben serkenti az aggregátumok képződését. A talajba juttatott szervesanyag közvetve azonban élénkíti a talaj mikroorganizmusainak élettevékenységét, melyek ragasztóanyagokat képeznek. Mindezek hatására az ásványi részek aggregátumokká kapcsolódnak össze, illetve az aggregátumok stabilitása, vízállósága is növekszik.

A talaj típusa az agyagásványok jelenlétén és azok arányán keresztül befolyásolja az aggregátumok képződését és stabilitását: az agyagásványok védik a növényi részek mikrobiális lebontásakor felszabaduló szerves ragasztóanyagokat és így növelik az aggregátum-stabilitást (Paul, 1984).

A szervesanyag-utánpótlás hatása a különböző aggregátum-frakciókra

A makroaggregátumok stabilitása nagymértékben függ az élő növényi gyökerek jelenlététől és azok elhalásával, lebomlásával csökken (Oades és Waters, 1991). Könnyen lebomló szervesanyagok talajba juttatása növelheti a makroaggregátumok stabilitását.

Ezzel szemben a mikroaggregátumok stabilitása a könnyen bomló szervesanyagok jelenlététől szinte független (Tisdall és Oades, 1982), mivel a mikroaggregátumok stabilitását nagyrészt szervesetlen vegyületek és nem szervesek befolyásolják (Monreal et al., 1995).

A szervesanyag-utánpótlással talajba juttatott szerves vegyületekre azért van szükség, hogy közvetlenül a makroaggregátumok stabilitását növeljük, amely alapvetően meghatározza a talaj művelhetőségét. Mivel ezek a makroaggregátumokon belüli kötések csak rövid ideig és kis erővel hatnak, a talaj gyakori szervesanyag-utánpótlása javasolt lehetőség szerint friss növényi részekkel.

Anyag és módszer

A mintavételi hely leírása és a talaj jellemzése

A talajmintákat a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék „Szerves- és műtrágyák hatásának összehasonlító kísérlete – „B” vetésciklus” elnevezésű területéről vettük. Itt a kísérlet célja a szerves- és műtrágyázás, és növényi melléktermék talajtermékenységre gyakorolt hatásának összehasonlító vizsgálata volt. A kísérletet 1960-ban állították be. Talaja Ramann-féle barna erdőtalaj, fizikai félesége homokos vályog. Az Arany-féle kötöttségi szám értéke: 36-37. A talaj felvehető foszforral gyengén, káliummal közepesen ellátott, szervesanyagban pedig szegény, CaCO₃ tartalma 0,5-0,6%. A területen a csapadék sokévi átlaga 700 mm, az évi középhőmérséklet 10,8 °C. A területen a következő növényi sorrendben termesztették a növényeket: kukorica-kukorica-burgonya-őszi búza-őszi búza. A mintavétel évében a területen burgonyát termesztettek. Vizsgálatunk célja a különböző szervesanyagok talajszerkezetre és annak minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Az alkalmazott műtrágyák éves mennyiségét a **11. táblázat** mutatja be. Kísérletünkben különböző növényi eredetű szervesanyagok hatását vizsgáltuk: kukoricaszár, búzaszalma, kukoricaszár és búzaszalma együttes hatását szárnélküli kontrollkezeléshez hasonlítottuk. Mind a négy kezelésben azonos talajművelési módot, őszi szántást alkalmaztak, 25 cm mélységig. A kezelések véletlen blokk elrendezésben, négyszeres ismétlésben szerepeltek. A parcellák alapterülete: 7 x 14 m, vagyis 98 m². A talajmintákat 2006. június 16–17-én, a kukorica 6–8 leveles állapotában vettük. A művelt rétegből a talajművelés mélységével megegyező mélységig (a 0–20 cm-es mélységből), az alatta levő rétegből pedig egy 10 cm mély mintát vettünk (a 20–30 cm-es mélységből). Abból a célból, hogy a szervesanyagok hatását vizsgálhassuk a burgonya bakhátas művelésekor fellépő talajszerkezet romlás kizárásával, a burgonya parcellával

megegyező kezelésű ugarból vettük a talajmintákat. Minden kísérleti parcellán 4 pontból vettünk bolygatott talajmintát, melyeket parcellán belül, mélységi kategóriánként homogenizáltunk.

| Kezelés (1) | N | P | K |
|---------------------------------|----|----|-----|
| Kontroll (2) | 0 | 80 | 100 |
| Kukorica szár (3) | 26 | 80 | 100 |
| Búza szalma (4) | 0 | 80 | 100 |
| Kukorica szár & búza szalma (5) | 26 | 80 | 100 |

11. táblázat: Az alkalmazott műtrágya-hatóanyag mennyiségek (kg/ha)

A talajszerkezet minősítése az egységes aggregátum-stabilitási mutató segítségével

Az aggregátumok hirtelen nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban a talajmorzsák vízállóságának mértékétől függ. Ezt leggyakrabban nedves szitálással vizsgáljuk. Jelen tanulmányban a Six et al. (2000) által javasolt módszert kisebb módosítással alkalmaztuk. A módszer az aggregátum-szétiszapolódás mértékét hasonlítja össze két különböző intenzitású és így aggregátum-romboló talaj-nedvesítési mód hatására.

A módszer a talaj szerkezeti stabilitását az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) értékével jellemzi. Az ennek számításához kifejlesztett vizsgálati módszer az aggregátumok stabilitását úgy számszerűsíti, hogy összehasonlítja azok mennyiségi megoszlását két különböző nagyságú rombolóerő alkalmazásának hatására. Az aggregátumokra ható nagyobb mértékű rombolóerőt (1) gyors nedvesítéssel (GyN) vizsgáljuk: a légszáraz mintát vízbe öntjük és ezután 5 percig vízben áztatjuk. A gyors nedvesítéssel előkészítési módszer rombolja az aggregátumokat, mert az aggregátumból túl gyorsan távozó levegő az aggregátumot szétrobbantja, még a nedves szitálás előtt.

Az aggregátumokra ható kisebb mértékű rombolóerőt (2) azok szabadföldi vízkapacitás értékéig történő lassú nedvesítésével vizsgáljuk (LN): a légszáraz mintát szűrőpapíron és nylon filteren keresztül kapillárisan annak szabadföldi vízkapacitás értékéig telítjük. A talaj nedves szitálást megelőző lassú nedvesítése során az aggregátum belsejében levő levegő lassan, az aggregátumot nem rombolva távozik, így az aggregátum ép marad. Továbbá a víz felületi feszültsége növeli a talajrészecskéket összetartó erőt, így a lassan előnedvesített minta előkészítési módszer a GyN

módszerhez képes nagyobb arányban eredményez vízálló aggregátum-mennyiségeket (Kemper és Rosneau, 1986).

Ezután a kétféle módon előkészített részmintákat laboratóriumi szitarázó géppel folyamatos vízáram alatt leszítáljuk, így vízálló aggregátum frakciókat kapunk.

A lassú nedvesítéssel (LN) előkészített minták aggregátum-megoszlását tekintjük a kezdeti értéknek, mert a legnagyobb aggregátum mennyiséget a talaj szabadföldi vízkapacitás értékéig való kapilláris nedvesítések kapták (Hofman és de Leenheer, 1975). A gyors nedvesítéses (GyN) minta előkészítési módszert tekintjük a szétrombolódás utáni aggregátum stabilitási szintnek.

Az EASM a vizsgált talaj aggregátum stabilitását nem abszolút mérőszámmal jellemzi, hanem a különböző talajtípusok, talajművelési vagy növénytermelési módok okozta talajszerkezeti különbségek, változások mértékét számszerűsíti és teszi egymással összehasonlíthatóvá (mértékegység nélküli viszonzszám). Értéke 0 és 1 között változhat.

A talajminta vétel módja és az aggregátum-stabilitás meghatározása

A mintavétel után az eredeti nedvességi állapotú talajmintát kézzel óvatosan diónyinál kisebb részekre bontottuk, majd szobahőmérsékleten hagytuk megszáradni. A talajt száraz állapotban 7 mm-es szitán átszitáltuk, az ennél nagyobb darabokat mozsárban annyira törtük meg, hogy átférjenek a szita lyukain.

Kétféle minta előkészítési módszert alkalmaztunk: a gyors nedvesítéses módszerben (GyN) a legnagyobb pórusméretű szitát (2 mm) egy tálba helyeztük, és azt a szita felszíne felett 1 cm-rel feltöltöttük csapvízzel, erre helyeztük az előre kimért 300 g-os légszáraz részmintát, majd 5 percig áztattunk. A másik minta előkészítési módszer szerint az előre kimért 300 g-os részmintát Petri csészébe helyezett filter papíron és 20 μm lyukméretű nylon filteren keresztül óvatosan szabadföldi vízkapacitás értékéig lassan nedvesítettük (LN). A Petri csészét lezártuk, majd a mintákat egy éjszakán át hűtőszekrényben állni hagytuk, hogy nedvességtartalmuk állandósuljon. A kétféle minta előkészítési mód után a részmintákat Retsch AS 200 BASIC típusú laboratóriumi szitarázó géppel folyamatos vízáram alatt leszítáltuk. A rázógépet 70-es frekvenciára állítva minden részmintát 2 percig szitáltunk. Ehhez egy 2 mm-es, egy 250 μm -es és egy 53 μm -es analitikai szitát használtunk. Így 4 frakciót kaptunk: 2000 μm -nél nagyobb nagy makro-, 250–2000 μm kis makro-, 53–250 μm mikroaggregátum-, és az 53 μm -nél kisebb iszap-agyag frakciót. A sziták felszínén levő vízálló aggregátum frakciókat (1–3. frakciót) előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd ülepedni hagytuk. Egy napos ülepedés után a letisztult felülúszó folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a frakciókat 60 °C-on megszáritottuk és lemértük. A 4., agyag frakciót részmintánként egy-egy vödörbe gyűjtöttük, majd több napos ülepedés után,

amikor a felülúszó folyadék már teljesen kitisztult, azt szivattyúval leszívtuk, egy előre lemért alumínium tálkába mostuk, egy napot újra üleptítettük, a letisztult felülúszó folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a kapott ásványi frakciót 60 °C-on megszáritottuk és lemértük. Ezután mindkét minta előkészítési módszerrel kapott 1. és 2. frakcióból 5 g-ot kimértünk, 15 ml 5 gl-1 koncentrációjú nátrium-hexameta-foszfát oldattal egy 50 ml-es centrifugacsőben 18 órán keresztül rázattuk, majd a folyadékot a frakciók elkülönítésére használt szitákkal újra leszűrtük, így 3 illetve 2 homokfrakciót kaptunk. A sziták felületén levő homokfrakciókat és a diszpergáló folyadékot külön-külön előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd 105 °C -on megszáritottuk és lemértük (7. ábra).

Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) számítása

1. Az egyes frakciók szétiszapolódásának mértéke

$$DLS_i = \frac{\left\{ \left[(P_{i0} - S_{i0}) - (P_i - S_i) \right] + \left| (P_{i0} - S_{i0}) - (P_i - S_i) \right| \right\}}{2(P_{i0} - S_{i0})} \quad (1)$$

Ahol

- DLS_i = az egyes frakciók szétiszapolódásának mértéke I (I= {i1, i2, i3, i4})
- P_{i0} = teljes mintatömeg az I frakcióban a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (6b, 7b, 8b, 9b / 7. ábra)
- P_i = teljes mintatömeg az I frakcióban a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (6a, 7a, 8a, 9a / 7. ábra)
- S_{i0} = az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (11b, 14b, 17b / 1. ábra) Minden frakciótömeg g/g talaj egységben.
- S_i = az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (11a, 14a, 17a / 7. ábra) Minden frakciótömeg g/g talaj egységben.

Ahol a frakciók index-számai (7. ábra): A frakciók ebben a sorrendben keletkeznek a nedves szitálás során (7. ábra).

- $i = 1 = 1.$ frakció = >2000 μm nagy makroaggregátum frakció (6a, b / 7. ábra)
- $i = 2 = 2.$ frakció = 250–2000 μm kis makroaggregátum frakció (7a, b / 7. ábra)
- $i = 3 = 3.$ frakció = 53–250 μm mikroaggregátum frakció (8a, b / 7. ábra)

- $i = 4 = 4.$ frakció = $<53 \mu\text{m}$ iszap- és agyag frakció (9a, b / **7. ábra**)

2. A teljes talaj szétiszapolódásának mértéke

$$DL = 1/n \sum_i^n [(n+1) - i] \times DLS_i \quad (2)$$

Ahol

- DL = a teljes talaj szétiszapolódásának mértéke
- N = aggregátum frakciók száma
- DLS_i = az I aggregátum frakció szétiszapolódásának mértéke ($I = \{i_1, i_2, i_3, i_4\}$)

3. A legnagyobb mértékű szétiszapolódás

$$DLS_i(\text{max}) = \frac{[(P_{i_0} - P_p) + |(P_{i_0} - P_p)|]}{2} \times \frac{[1]}{[P_{i_0} - S_{i_0}]} \quad (3)$$

Ahol

- $DLS_i(\text{max})$ = a legnagyobb mértékű szétiszapolódás
- P_{i_0} = az I aggregátum frakció teljes mintatömege a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (6b, 7b, 8b / **7. ábra**)
- P_p = az I aggregátum frakció teljes homok frakció-tömege a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után
- (homok = a diszpergálás és szitálás után kapott $53 \mu\text{m}$ -nél nagyobb ásványi frakció) (11a+12a, 14a+15a, 17a / **7. ábra**)

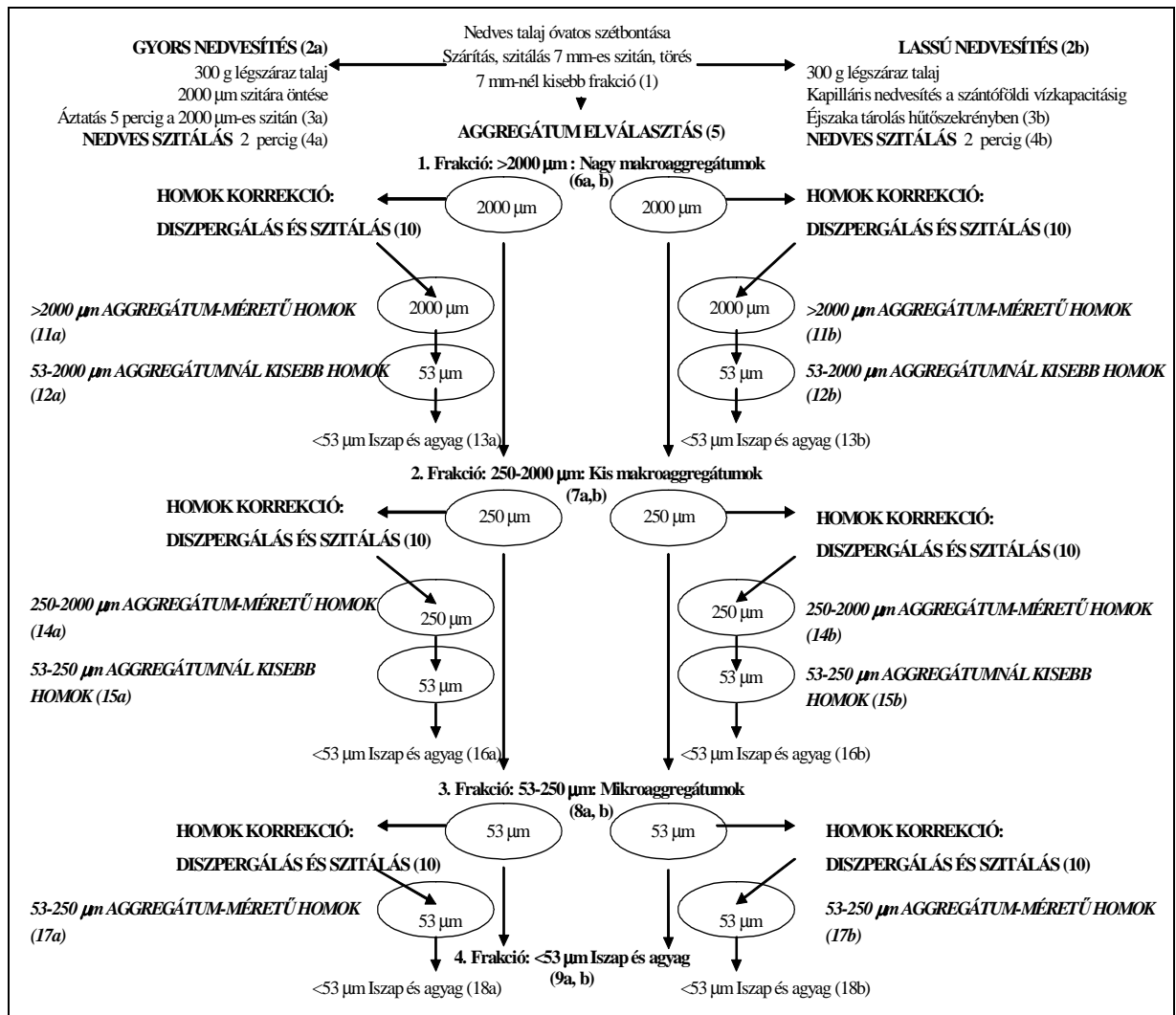
4. Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM)

$$EASM = 1 - [DL / DL(\text{max})] \quad (4)$$

Ahol

$$DL(\text{max}) = \frac{1}{N} \sum_i^n [(n+1) - i] DLS_i(\text{max}) \quad (5)$$

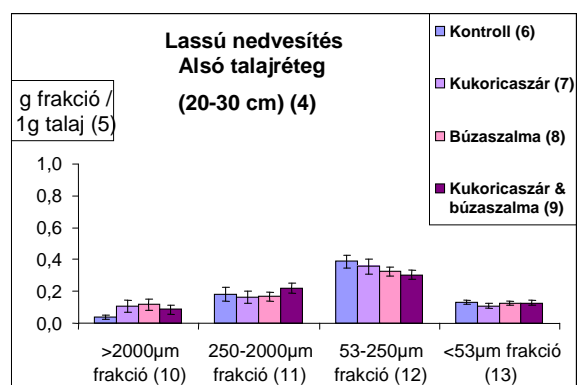
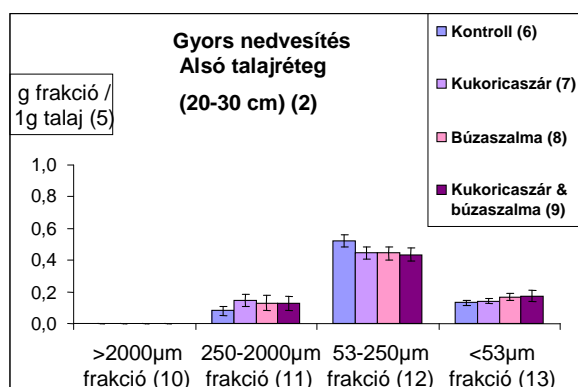
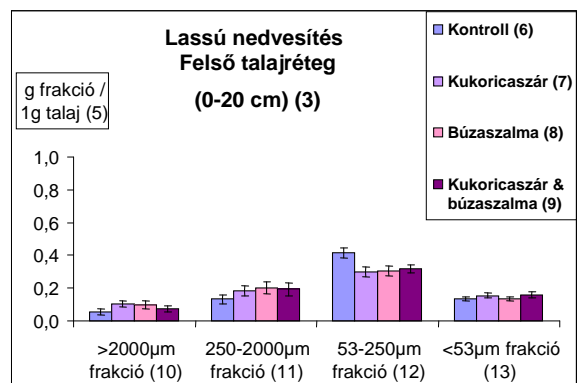
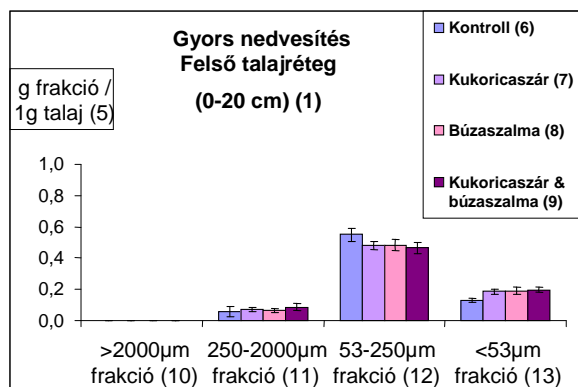
$$N = 1, 2, 3$$



7. ábra: A nedves szitálás és a homok-korrekciónak a lépései

Eredmények

Mind a négy vizsgált kezeléssel négy-négy parcellából vettünk mintát, ezekből pedig három-három párhuzamos mérést végeztünk. Ezek eredményét akkor fogadtuk el, amennyiben a másik két mérés átlagához képest 5%-nál kisebb eltérést mutatnak, és ha a vizsgálat okozta tömegvesztés 5%-nál kisebb. Jelen tanulmányban a nedves szitálással kapott eredményeket ismertetjük, a homok-korrekciónak előtt (8. ábra). A vizsgált szervesanyagok hatására történt aggregátum-vízállóság változások mértékét a 12. táblázat mutatja (a kontroll minta %-ban). Eredményeinket az SPSS programmal, F- majd két mintás t-próbával értékeltük ki. A statisztikai vizsgálat alapján 95%-os megbízhatósági szinten eltérő értékeket (*) indexszel jelöltük.



8. ábra: A különböző nedvesítési módszerekkel kapott frakciók mennyisége a vizsgált kezelésekben és mintavételi mélységekben (1 g talajmintára vonatkoztatva 95%-os megbízhatósági szinten)

A különböző szervesanyagok okozta, a kontrollhoz képest 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változásokat a frakciók mennyiségében csillag (*) jelzi. A vizsgált két különböző minta előkészítési (nedvesítési) módszerrel kapott aggregátum-frakciók mennyisége eltérő volt. Az első, nagyobb mértékben aggregátum-romboló minta előkészítési módszer, a Gyors nedvesítés (GyN) a kevésbé vízálló 2000–7000 µm nagy makroaggregátum frakció teljes szétesését okozta mind a négy kezelésben és mindkét vizsgált mintavételi mélységben. Ez a frakció a kisebb mértékben aggregátum-romboló minta előkészítési módszer, a Lassú nedvesítés (LN) esetében volt csak mérhető mennyiségű. Fokozatos szétesésekor (Oades és Waters, 1991) ez a frakció főleg 53–250 µm mikroaggregátum frakcióra és <53 µm iszap és agyag frakcióra esett szét Gyors nedvesítéskor (GyN), mindkét vizsgált mintavételi mélységben. Emiatt ebben az esetben ennek az említett két frakciónak a mennyisége a Lassú nedvesítés (LN) esetén mért mennyiséget jóval meghaladta. Ezek az eredmények hasonlóak a John et al. (2005) által tapasztaltakhoz, akik kukorica és búza tarlómaradványok hatását vizsgálták az aggregátumok

vízállóságára nézve azonos Gyors nedvesítéses (GyN) módszerrel. A kukorica tarlómaradványos kezelés vizsgálata során azt tapasztalták, hogy a legnagyobb mennyiségű az 53–250 µm mikroaggregátum frakció volt, a búza tarlómaradványos kezelés esetén pedig a 250–1000 µm kis makroaggregátum frakció, de a két kezelés között nem volt statisztikai különbség. Saját kísérletünkben a 250–2000 µm kis makroaggregátum frakció a Lassú nedvesítés (LN) esetében mértéknél kevesebb volt.

| Kezelés (1) | Előkészítési módszer (5) | Réteg (8) | 2000–7000 µm frakció (11) | 250–2000 µm frakció (12) | 53–250 µm frakció (13) | <53 µm frakció (14) |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Kukorica szár (2) | Gyors nedvesítés (6) | Felső (0–20 cm) (9) | Nincs frakció | 24.92 | –12.37* | 43.93* |
| | | Alsó (20–30 cm) (10) | Nincs frakció | 83.11* | –15.06* | 8.92 |
| | Lassú nedvesítés (7) | Felső (0–20 cm) (9) | 85.13 | 38.12* | –28.13* | 15.34* |
| | | Alsó (20–30 cm) (10) | 188.20* | –11.12 | –7.70 | –15.90 |
| Búzaszalma (3) | Gyors nedvesítés (6) | Felső (0–20 cm) (9) | Nincs frakció | 10.92 | –12.13* | 46.31* |
| | | Alsó (20–30 cm) (10) | Nincs frakció | 59.99 | –15.40* | 27.81* |
| | Lassú nedvesítés (7) | Felső (0–20 cm) (9) | 71.72* | 53.81* | –25.91* | –0.71 |
| | | Alsó (20–30 cm) (10) | 215.14* | –7.86 | –15.86* | –3.90 |
| Kukoricaszár & búzaszalma (4) | Gyors nedvesítés (6) | Felső (0–20 cm) (9) | Nincs frakció | 47.81 | –15.32* | 51.96* |
| | | Alsó (20–30 cm) (10) | Nincs frakció | 60.04 | –16.98* | 33.07* |
| | Lassú nedvesítés (7) | Felső (0–20 cm) (9) | 28.87 | 47.05* | –23.67* | 18.13* |
| | | Alsó (20–30 cm) (10) | 130.51* | 22.22 | –21.39* | –1.17 |

12. táblázat: A frakciók mennyiségi változásai a vizsgált szervesanyagok hatására (a kontrollminta tömegének %-ában)

A kisebb mértékben aggregátum-romboló minta előkészítési módszer, a Lassú nedvesítés (LN) mind a négy kezelésben és mindkét mintavételi mélységben nagyobb mennyiségű 2000–7000 µm nagy makroaggregátumot eredményezett, mint a Gyors nedvesítés (GyN). Ezek az eredményeink hasonlóak Christensen (1986) által tapasztaltakhoz, aki árpaszalma talajba való keverésének hatását vizsgálta az aggregátumok mennyiségére száraz szitálással: vályogos homoktalajon az 1–20 mm makroaggregátum frakciók mennyiségének növekedését tapasztalta. Yadvinder et al. (2000) hasonló változásokról számoltak be: búzaszalma talajba keverésének és kiegészítő nitrogén műtrágya adagolásának hatását vizsgálták nedves szitálással és a >2 mm nagy makroaggregátum

frakciók mennyiségének növekedését tapasztalták. Saját kísérletünkben az 53–250 μm mikroaggregátum frakció túlsúlya a többi frakcióhoz viszonyítva nem változott, de a kisebb mértékű rombolóerő alkalmazása a 250–2000 μm kis makroaggregátum frakció nagyobb mennyiségét eredményezte. Emiatt a $<53 \mu\text{m}$ iszap és agyag frakció mennyisége csökkent. Ezek az eredményeink hasonlóak a Christensen (1986) által leírtakhoz, aki árpaszalma talajba való keverésének hatását vizsgálta az aggregátumok mennyiségére száraz szitálással vályogos homoktalajon: szintén az iszap és agyag ásványi frakció mennyiségének csökkenését tapasztalta a kis makroaggregátum frakcióban.

A különböző szervesanyagokat az aggregátum-stabilitást befolyásoló hatásuk szempontjából összehasonlítva a makroaggregátumok vízállóságának egyértelmű növekedését tapasztaltuk mindkét eltérő méretű makroaggregátum frakcióban. Ez a jelenség főleg a Gyors nedvesítéses (GyN) vizsgálatokban, a felső talajrétegben szembeűnő, az alsó talajrétegben kisebb mértékben figyelhető meg. A 2000–7000 μm nagy makroaggregátum frakció mennyisége a kukoricaszár & búzaszalma (K&B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B)” sorrendben csökkent. Ezek a változások a Gyors nedvesítéses (GyN) vizsgálatokban a nagyobb mértékű rombolóerő fellépése miatt nem voltak kimutathatóak. Továbbá a különböző szervesanyagok talajba keverése az 53–250 μm mikroaggregátum frakció mennyiségét a vizsgált mintavételi mélységekben, és minta előkészítési módszerek esetében különböző mértékben csökkentette.

Az azonos mérettartományú frakciók összehasonlítása egymással a két vizsgált mintavételi mélységben csak a Gyors nedvesítéses (GyN) vizsgálatokban mutatott hasonlóságokat, a Lassú nedvesítéses (LN) módszer esetében nem. A Gyors nedvesítéses vizsgálatok (GyN) esetében mind a háromféle szervesanyag-kezelés hatására a 250–2000 μm nagy makroaggregátum frakció mennyisége nőtt (a felső és az alsó talajrétegben eltérő mértékben), az 53–250 μm mikroaggregátum frakció mennyisége a kukoricaszár (K) \approx búzaszalma (B) > kukoricaszár & búzaszalma (K&B) sorrendben csökkent, és a $<53 \mu\text{m}$ iszap és agyag frakció mennyisége a kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) > kukoricaszár & búzaszalma (K&B)” sorrendben csökkent (a felső és alsó talajrétegben hasonló mértékben). Ezek az eredményeink a Bordovsky et al. (1999) által bemutatottakkal ellentétesek: ők nagyobb mikroaggregátum mennyiségről számoltak be búzaszalma talajba keverésekor szemben annak szántóföldről való elhordásával.

A felső talajréteg vizsgálatokkor a különböző minta előkészítési módszerekkel kapott frakciók mennyiségének változásai hasonlóak, de ez statisztikailag nem igazolható. John et al. (2005) az altalajban szintén kisebb mértékű aggregátum-stabilitást tapasztalt.

Következtetések

Három különböző szervesanyag hatását vizsgáltuk a talaj szerkezeti elemeinek vízállóságára a Six et al. (2000) által javasolt és általunk módosított módszerrel (Huisz (2007): (1) kukoricaszár, (2) búzaszalma, (3) kukoricaszár & búzaszalma. Vizsgálatunkban két különböző minta előkészítési módszert használtunk: (1) Gyors nedvesítést (GyN), amely az aggregátumokat nagymértékben rombolja és így kis mennyiségű makroaggregátum-frakciókat eredményez, és (2) Lassú nedvesítést (LN), amely az aggregátumokat kismértékben rombolja és így nagy mennyiségű makroaggregátum-frakciókat eredményez.

Vizsgálatunkban a növénymaradványok talajba keverésének hatásaként mindkét makroaggregátum frakció vízállóságában növekedést tapasztaltunk. Ez a változás statisztikailag a felső talajrétegben a Lassú nedvesítéses (LN) előkezelés esetén volt szignifikáns.

A különböző minőségű szervesanyagok a nem kezelt kontrollhoz képest növelték a makroaggregátumok vízállóságát, de ezek az újonnan képződött kötések a Gyors nedvesítéses (GyN) módszer nagyfokú romboló hatására könnyen szétbomlottak. Így könnyen érthető az az eredményünk, hogy a 2000–7000 μm nagy makroaggregátum frakció a nagyobb mértékben aggregátum-romboló Gyors nedvesítéses (GyN) módszer hatására teljesen szétiszapolódott kisebb méretű részecskékké, így nem volt mérhető mennyiségű; de a kevésbé aggregátum-romboló Lassú nedvesítéses (LN) módszer hatására mérhető mennyiségű volt.

A Gyors nedvesítéses (GyN) módszerrel a Lassú nedvesítéses (LN) módszerhez képest fele mennyiségű 250–2000 μm kis makroaggregátum frakciót kaptunk, de nagyobb mennyiségű 53–250 μm mikroaggregátum és $<53 \mu\text{m}$ iszap és agyag frakciót. Ezek az eredmények igazolják a „Mérettartomány szerinti aggregátum elméletet” (Oades és Waters, 1991), amely szerint a nagyobb méretű de kevésbé vízálló makroaggregátum-frakciók kisebb méretű, de vízállóbb 53–250 μm mikroaggregátumokká és $<53 \mu\text{m}$ iszap és agyag frakcióra iszapolódnak szét.

A kisebb mértékben aggregátum-romboló hatású Lassú nedvesítéses (LN) módszer a Gyors nedvesítéseshez (GyN) képest már mérhető mennyiségű 2000–7000 μm nagy makroaggregátum frakciót, illetve sokkal nagyobb mennyiségű 250–2000 μm kis makroaggregátum frakciót eredményezett. Ennek következtében az 53–250 μm mikroaggregátum és a $<53 \mu\text{m}$ iszap és agyag frakció mennyisége csökkent.

A különböző méretű frakciók vízállóságát egymáshoz viszonyítva az 53–250 μm mikroaggregátum frakció bizonyult a legnagyobb mértékben vízállónak, ami igazolta a korábbi megfigyeléseket (Oades és Waters, 1991).

Kísérletünkben három különböző szervesanyagnak az aggregátumok vízállóságára gyakorolt hatását vizsgáltuk: (1) kukoricaszár (K), (2) búzaszalma (B), (3) kukoricaszár & búzaszalma (K & B). Az aggregátum stabilizáló hatás szempontjából a kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) sorrendre számítottunk, és a makroaggregátum frakciók vízállóságának növekedését tapasztaltunk. Ez a jelenség a felső talajrétegben nagyobb mértékű a Lassú nedvesítéses (LN) módszer esetében. Ezeket az eredményeket az okozza, hogy a tarlómaradványokat a felső talajrétegbe forgatták be, emiatt az alsó talajrétegre nem voltak hatással.

Vizsgálatainkban a különböző szervesanyagok hatására a 2000–7000 μm nagy makroaggregátum frakció mennyisége a kukoricaszár & búzaszalma (K & B) kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) sorrendben csökkent. Továbbá az összes alkalmazott szervesanyag talajba forgatása az 53–250 μm mikroaggregátum frakció mennyiségét mindkét vizsgált mintavételi mélységben, mindkét vizsgálati módszer szerint csökkentette. Ez az 53–250 μm mikroaggregátum frakció a Gyors nedvesítéses (GyN) módszer során <53 μm iszap és agyag frakcióra iszapolódnak szét, a Lassú nedvesítéses (LN) módszer során viszont a nagyobb méretű makroaggregátum frakciókban maradt. Ez az eredmény bizonyítja, hogy a szervesanyag talajba juttatása serkenti a mikroaggregátumok közötti ideiglenes, átmeneti kötések keletkezését, azok makroaggregátumokká való összekapcsolódását.

Eredményeinek összegezve elmondhatjuk, hogy a különböző minőségű szervesanyagokat egymáshoz viszonyítva azt tapasztaltuk, hogy az aggregátumok vízállóságát a következő sorrendben növelték: kukoricaszár & búzaszalma (K & B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B).

Az agrotechnika káros hatásainak mérése

Bevezetés

Az időjárási szélsőségek, valamint a gyakran mozaikos tarka talajtakaró kombinációi változatos aszálykövetkezményeket, aszálykárokat eredményez(het)nek Magyarországon, elsősorban a Magyar Alföld változatos mikrodomborzatú, talajtakarójú és talajvízű területein, mint ezt az elmúlt évek tudományos igényű aszályelemzései meggyőzően igazolták (Alföldi et al., 1994; Baráth et al., 1993; Cselótei és Harnos, 1994; Várallyay, 1988). Márpedig a korszerű - fenntartható - biomassza-termelésben megkülönböztetett jelentősége van a termésbiztonságnak, a termesztési kockázatok csökkentésének, a szélsőséges vízháztartási és ökológiai stresszhelyzetek megelőzésének, kiküszöbölésének, mérséklésének.

Míndez csak a vízfelhasználás határfokának növelésével képzelhető el és valósítható meg, amelynek egyik alapvető eleme a talaj vízháztartásának, nedvességforgalmának hatékony szabályozása.

A talajvíz mélysége hatással van a növénytermesztésre, vízáteresztő üledékek esetén (mint amivel a vizsgálati területen is találkozhatunk), a késő őszi és kora tavaszi csapadék erősebben érezteti hatását. A hatékony és gazdaságos öntözés megvalósításához fontos, hogy ismerjük az öntözendő terület talajvízviszonyait is, mint fontos vízkivételi lehetőséget. A talajvíz egyik legfontosabb előnye, hogy a többi víztípussal szemben a talajvíz termelhető ki a legkisebb ráfordítással, így a talajvízkészletek egyre inkább felértékelődnek öntözés szempontjából.

A mintaterület

A kistáj (Hajdúhát) 93 és 162 méter közötti tszf-i magsságú, lösszel, löszös iszappal fedett hordalékkúp-síkság. A felszín vertikálisan gyengén szabdalt, a relatív relief mindenütt 10 m/km^2 alatt marad (átlagos értéke $2,5 \text{ m/km}^2$), de a felszínt pleisztocén-holocén eróziós-deráziós völgyek tagolják.

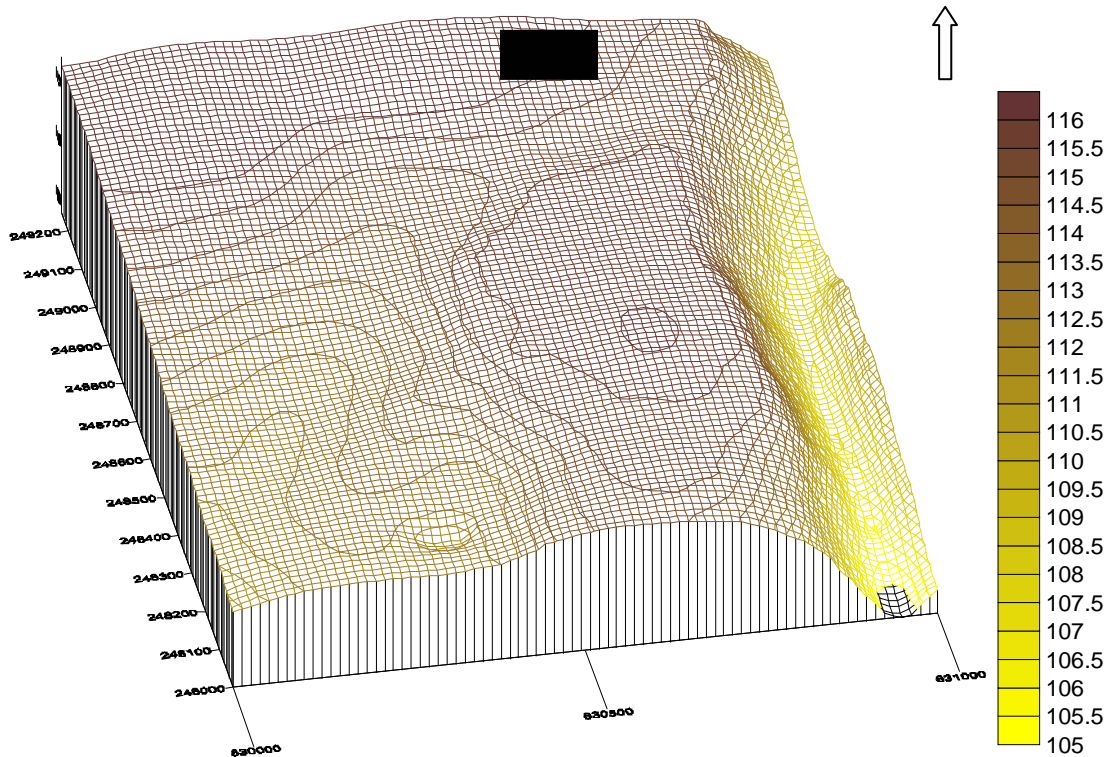
A kistájon belül a mintaterület a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának Látóképi kísérleti telepén ($47^\circ 30' \text{ N}$, $21^\circ 33' \text{ E}$) található.



9. ábra: A mintaterület légi fotója (a kép felső részében a Kísérleti telep központja látható, a színessel kiemelt területek az Intézet tartamkísérleteinek helyét mutatják)

Felszíne 112-121 m tszf. magasságban helyezkedik el. Morfológiáját tekintve kissé tagolt löszhát, kisszámú morfológiai formával, amelyek döntően antropogén eredetűek. Az egyedüli markáns természetes morfológiai forma a mintaterület peremén elhelyezkedő tó, amely a terület erózióbázisa is. A terület enyhe lejtőkkel (2-5°) ereszkedik alá irányába. Az antropogén morfológiai formák elsősorban a művelés következtében kialakult sekély eróziós árkok, mélységük nem haladja meg a 40-50 cm-t, megjelenésük időszakos elsősorban az agrotechnikai műveletekhez és a terület kis relatív reliefenergiája miatt csak kisebb részben kötődnek a csapadék okozta erózióhoz.

A talaj jó víznyelésű, jó vízvezető képességű, heves záporok alkalmával barázdás erózió megfigyelhető a művelt területen. A kísérleti terület klímája szubhumid mérsékelt kontinentális, 566 mm évi átlagos csapadékmennyiséggel, amelyből az 50 éves átlagadatok szerint 60 % (345 mm) hullik a tenyészidőszakban (áprilistól szeptemberig). A terület ariditási index értéke és 1,19 és 1,24 közötti. Kifejezetten száraz, de nem túl meleg éghajlatú terület, s ez a kevésbé vízigényes növénykultúráknak kedvező, vagy öntözéssel kompenzálható. A táj felszín alatti vízkészletét kb. 20%-ban hasznosítják. A kutak kapacitásának a terhelése eléri a 60%-ot.



10. ábra: A mintaterület három dimenziós domborzatmodellje

Talajeróziós vizsgálatok eredménye

A látóképi mintaterület, mint a Hajdúság középtáj és a Hajdúhát kistáj része, morfológiai adottságait tekintve nem tartozik a nagy reliefenergiával bíró területek közé. Ebből adódóan különösen fontos volt a talajeróziós vizsgálatok beállításához a legmegfelelőbb tereprészlet kiválasztása. Ennek során először a terepi vizsgálatokra és mérésekre került sor. Majd a terület bemutató 1:10000 méretarányú térkép felhasználásával a Surfer 7 program segítségével elkészítettük a teljes terület 3 dimenziós domborzatmodelljét. A terepi mérések és a domborzatmodell eredményeit felhasználva megtörtént a talajeróziós vizsgálatokhoz legmegfelelőbb adottságokkal rendelkező lejtőrészek kijelölése.

A látóképi mintaterületen a domborzat lejtése a terület nagy részén nem haladja meg a 2°-t (3%), csupán a terület peremén elhelyezkedő Látóképi-tó felé irányuló térrészek lejtése nagyobb 2-5° (3-9%). Így a kísérlet beállítása itt történt meg.

A vizsgálati módszer megválasztását erősen befolyásolta az a tényező, hogy a vizsgálatokhoz legmegfelelőbb adottságokkal rendelkező parcella folyamatos művelés alatt áll. Ráadásul ez a tény a mérések ellenőrzését is megnehezítette. A kiválasztott parcellába 2006-ban őszi búza került, amely esetében a felszín növényborítottság indexe magas. Az eszközök telepítése a kelés után (május 21-én) történt meg. A lejtő akkumulációs szakaszán 10 darab mérőpálca került

kihelyezésre egymástól 2 méteres távolságban, lineárisan, a lejtő irányára merőlegesen. A pálcák ellenőrzése havonta történt meg a betakarításig.

A vizsgálat eredménye: a területen számottevő erózió a mérési időszakban nem volt kimutatható, az időnként hevesen és nagyobb mennyiségben érkező csapadékmennyiség ellenére sem. A vizsgált időszak csapadékmennyisége átlagos volt, a legnagyobb mennyiségű csapadék 2006. júniusában hullott (77,1 mm). A június 2-5 közötti időszakban, a három nap alatt hullott 34,9 mm csapadék ellenére sem történt mérhető erózió. Az eredmény részben az alacsony lejtőszögnek, részben pedig a magas növényborítottságnak volt köszönhető.

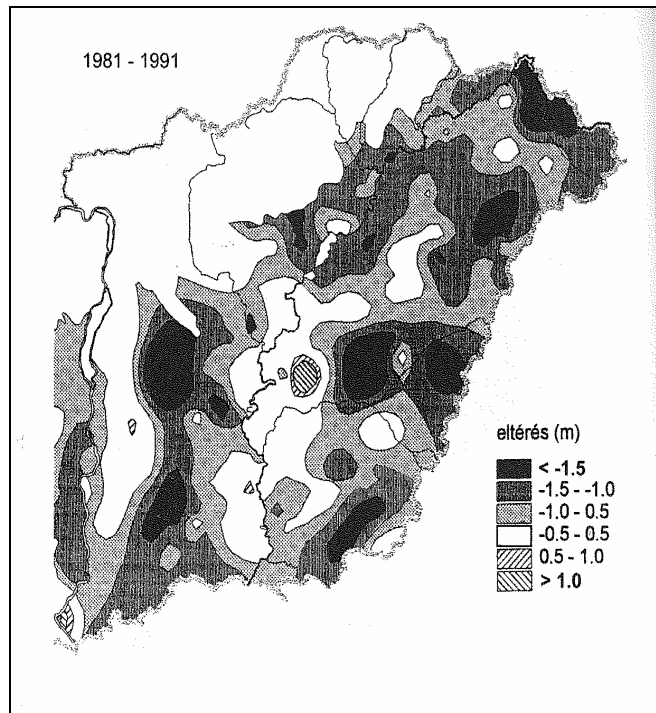
Hidrológiai vizsgálatok eredménye

A kutatás során megtörtént a terület tágabb és szűkebb környezete hidrológiai rendszerének, adottságainak és állapotának felmérése, valamint a vizsgálattal kapcsolatos mintavételezés és mérések.

A terület talajvízkészletének általános jellemzése

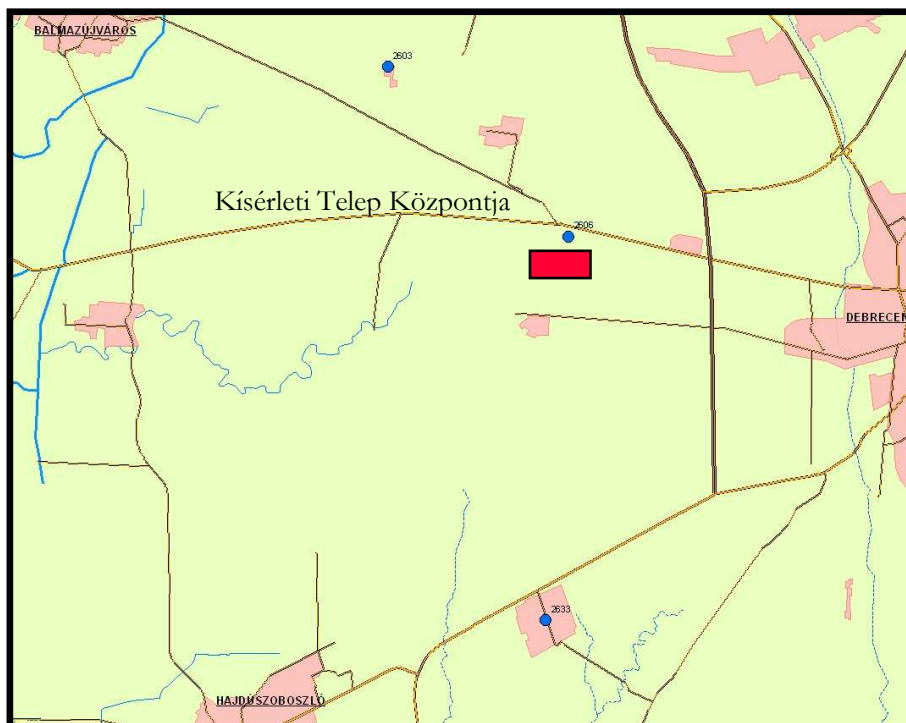
Jóllehet a Hajdú-Bihar megye felszíni vízfolyásokban szegény, felszín alatti vizekben viszont bővelkedik. A felszín alatti talajvíztükör helyzete nagyon különböző. A magasan fekvő pannon rög fölött a talajvíz mélyebben helyezkedik el. Így például a Hajdúság kiemelt pannon rög fölött 6-20 m mélyen fekszik, a Dél-Nyírségben 3 m-re, a Hortobágyon viszont csak 1-2 m-re van a felszín alatt. A talajvíz sótartalma tág határok közt változik. Területünkre nem jellemző a magas sótartalom.

A talajvíz szintjében azonban az elmúlt évtizedekben történtek változások. Az Alföld egészéhez hasonlóan a Hajdúság területén is csökkent a talajvíz szintje kb. 1,5-1 métert. Ennek ellenére szűkebb mintaterületünkön a közeli tó visszaduzzasztó hatása érvényesül, amely egyrészt a Hajdúság átlagos mélységénél (6-20 m) magasabban elhelyezkedő, másrészt kiegyenlített vízszintet eredményez. Ezzel kedvező feltételeket teremthetnek meg a talajvízből történő öntözéshez.



11. ábra: A talajvízszint változása az Alföldön 1981-91. között (Forrás: Liebe P. 2000)

Anyag és módszer

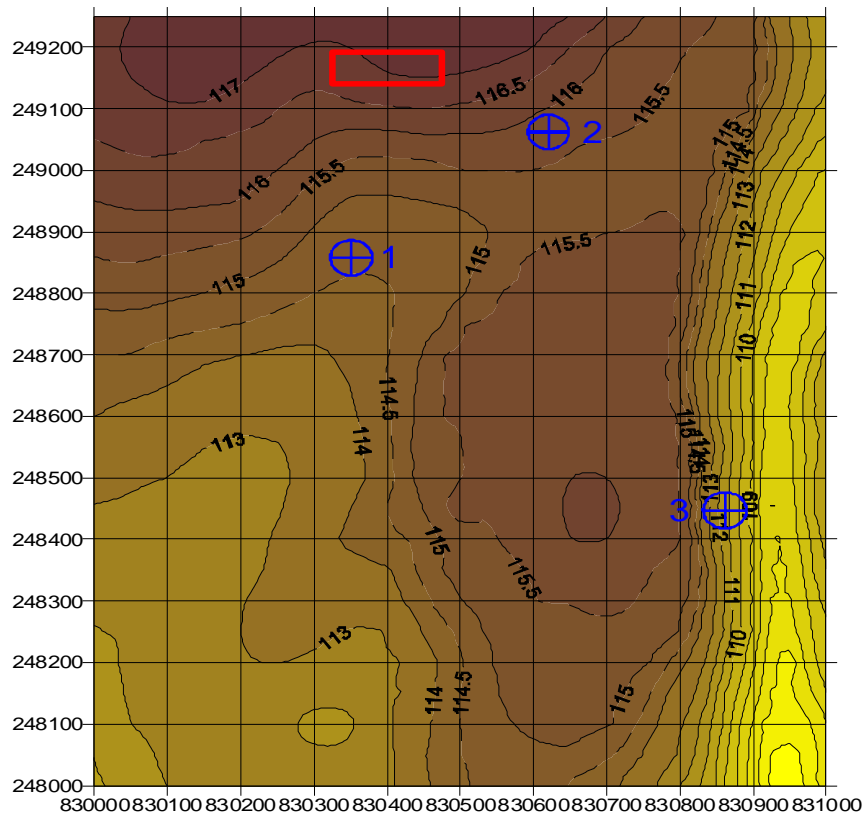


12. ábra: A TIKÖVÖZIG kezelésében lévő talajvíz kutak (kék színnel) elhelyezkedése (Forrás: TIKÖVIZIG)

A mintavételezés részben a területen megtalálható talajvízkutakból, részben pedig a mintaterület elhelyezkedő állóvízből történt. A minták adatainak kontrolálásához a vizsgált térség 5 kilométeres körzetében található kutak adatait használtuk fel, amelyek a TIKÖVIZIG referenciakútjai közé tartoznak (12. ábra). Ezekben a kutakban havonta történt vízszint mérés, azonban vízminőség vizsgálatokat nem végeztek.

Vízmintavételi helyek (13. ábra):

- 1-2. sz. kút vízkivételi helyek
- 3. sz. mintavétel- tó
- A lineár öntözéshez használt kutak nem álltak rendelkezésre.

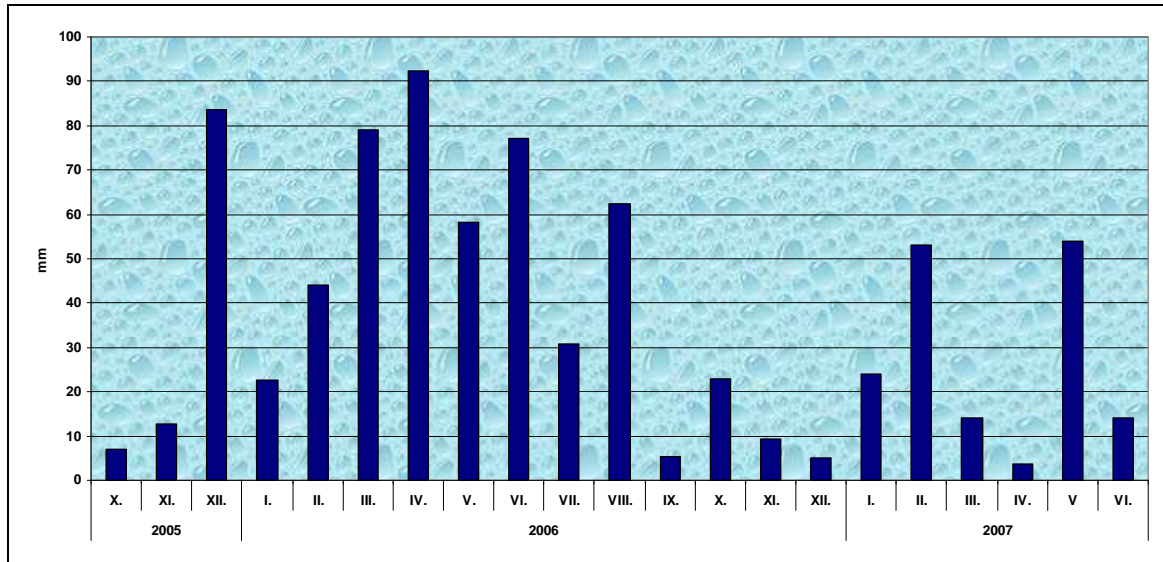


13. ábra: A mintaterület domborzata

A vízmintákkal kapcsolatos mérések és vizsgálatok részben a terepen, részben pedig laboratóriumban kerültek kivitelezésre. Fontos megjegyezni, hogy a műtrágya kijuttatása: betakarítás után- október végén történt. A pontos időpontok:

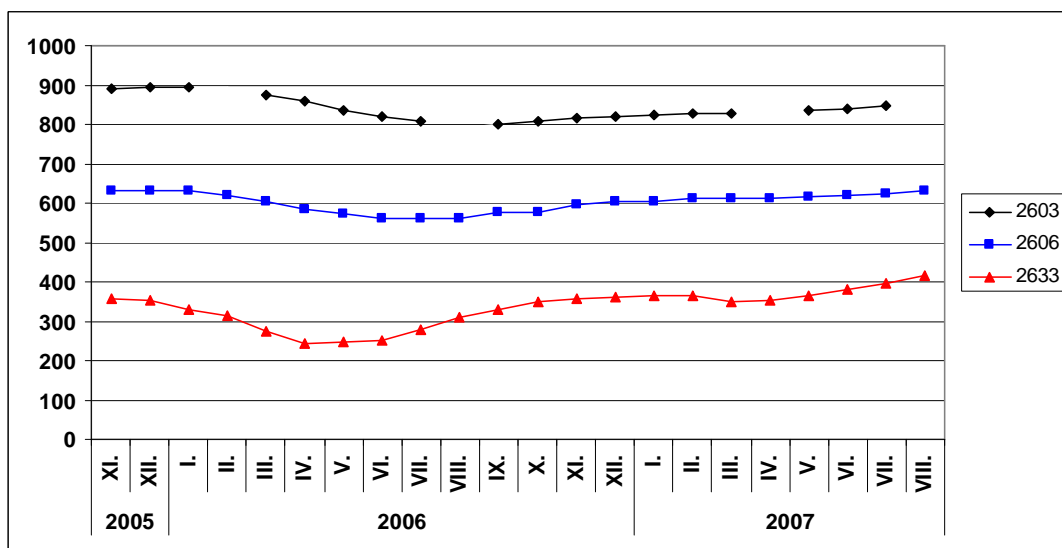
- 2005. október 25.
- 2006. október 17.

A talajművelési tartamkísérletből gyűjtött talajminták ásványi N-készlete mellett a tartamkísérlet közelében található talajvíz kutak NO₃-N-tartalmának változását is vizsgáltuk 2005. novemberétől 2006. júliusáig. A vízminták esetében ezen kívül meghatározásra került még: pH, ásványi N, NO₃ ion, kálium és az összes foszfor.



14. ábra: A Látóképen hullott csapadék mennyisége 2005.10-2007. 06. között

A Látóképi mintaterület saját meteorológiai állomással rendelkezik. A mérések alapján készült ábrán (14. ábra) jól látható, hogy a 2007. év I-VI. terjedő időszakában a csapadék mennyisége csupán 162 mm volt, amely az előző év hasonló időszakához hasonlítva (373,4 mm) annak a felét sem érte el.



15. ábra: A TIKÖVÖZIG kezelésében lévő talajvíz kutak vízállásának változása

A talajvíz fizikai állapota

Az átlagos talajvízszint a Hajdúság területén 2-10 m. A TIKÖVIZIG által mért kutak vízszintjei is ezt az intervallumot mutatják. Bár a talajvíz mozgására elsődleges hatással a csapadék van, a kutak vízszintje a nagyobb mélység miatt a csapadék hatását csak eltolódással követi. A kutak vízjárása kiegyenlített volt. A mintaterülethez legközelebb elhelyezkedő 2606. sz. kút mutatta a legkisebb éves ingadozást, amit valószínűleg szintén a közelben elhelyezkedő állóvíz (tó) okozott.

Ott, ahol vízáteresztő üledékek borítják a felszínt, a késő őszi és kora tavaszi csapadék erősebben érezteti hatását. De ez a hatás mintaterületünkön, bár szintén vízáteresztő üledékkel fedett csak a késő őszi csapadék esetében mutatkozott meg.

A mintaterület 2 talajvízkútjának vízszint ingadozása a vizsgálati időszak alatt alig haladta meg a 1,5 métert, a vízszint 2,9 és 4,5 méter között volt. Az utóbbi évek csapadékos időjárása a telep átlagos talajvízszintjét kb. 0,5-1 m-rel emelte meg: 2006. áprilisában 290, illetve 330 cm-es talajvízszintet mértünk.

Mind a TIKÖVIZIG 2606 sz. kútjának, mind a mintaterület kútjainak stabil vízszintjéért a közelben elhelyezkedő tó tehető felelőssé, amely visszaduzzasztó hatásával stabilizálta azt. Kedvezővé téve így az öntözés feltételeit.

A talajvíz kémiai állapota

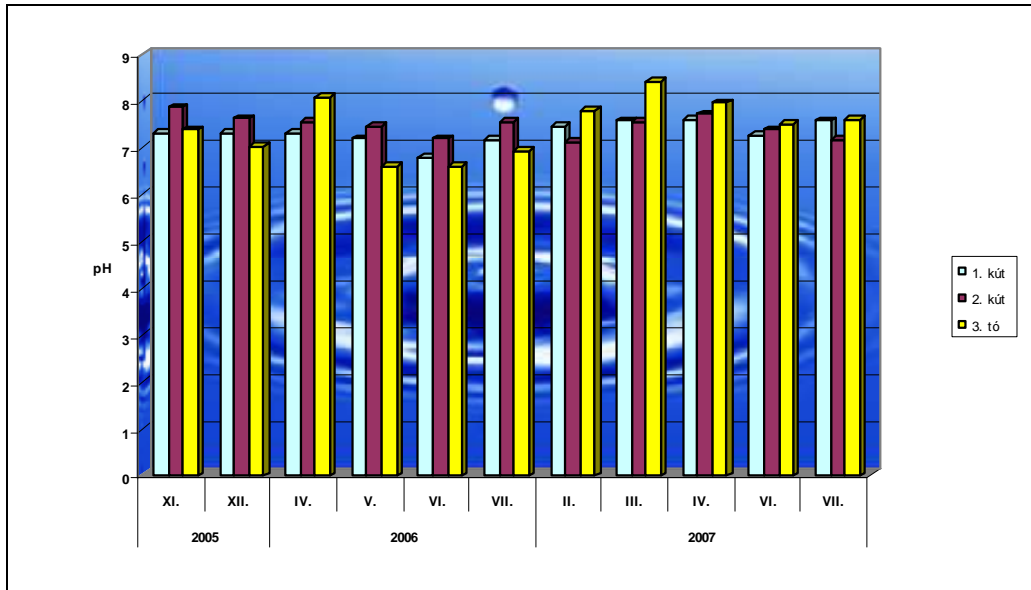
A talajvíz minősége kisebb részben regionális, nagyobb részben helyi adottságok függvénye. De külön ki kell emelni a mezőgazdaság szerepét a vizek nitrát szennyezettsége kapcsán, különösen a nitrogénalapú műtrágyák kijuttatása miatt.

A talajművelés nagymértékben módosíthatja a talaj víz- és tápanyag-gazdálkodását, így a növények számára közvetlenül felvehető vízkészlet és ásványi N-tartalom tenyésztésidőszakbeli dinamikáját, s ezáltal befolyással van a talaj víz- és nitrogénmérlegének alakulására.

Mivel területünkön a talajvíz kb. 3-4,5 m mélyen helyezkedik el, így a szennyeződésének esélye felszíni kimosódással minimális, tehát a művelés során a talajba kijuttatott műtrágyák és növényvédőszer csak kismértékben kerülhetnek bele közvetlenül a talajvízbe.

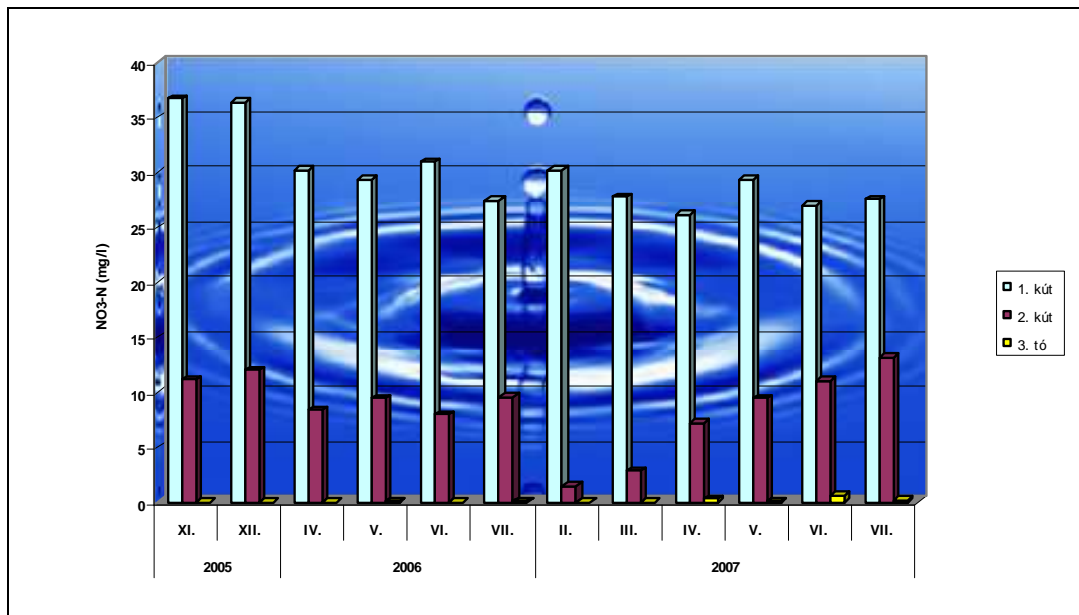
Mintaterületünk esetében intenzív mezőgazdasági művelés alatt álló területről van szó. Ennek ellenére a vizsgált paraméterek az egyik kútban mért $\text{NO}_3\text{-N}$ értéket leszámítva nem mutattak a határértékektől jelentősen eltérő értékeket.

A 2006-os év átlagon felüli mértékben csapadékos volt. Mind a téli félévben, mind a vegetációs periódusban elegendő csapadék hullott, ennek ellenére a mért értékekben a csapadék hígító hatása nem mutatható ki.



16. ábra: A vízkivételi helyek pH értékei (Látókép 2005-2007)

A mintaterület pH értékei éves átlagban a semleges érték körül mozognak, csupán a tóban mért értékek mutattak több esetben enyhén lúgos kémhatást a mérési időszakban.

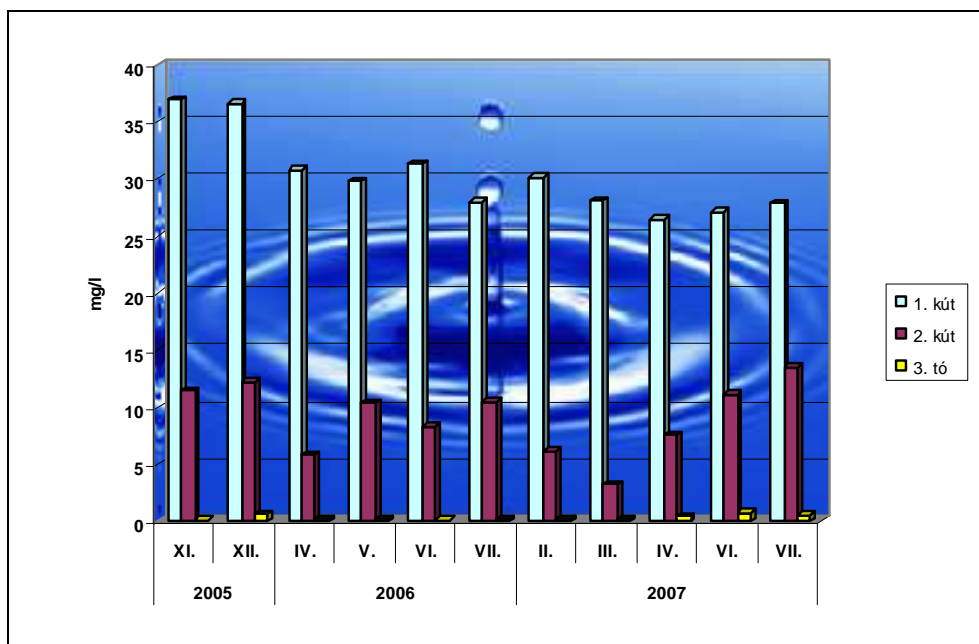


17. ábra: A talajvíz NO₃-N dinamikája (Látókép 2005-2007)

A kísérlet közelében található talajvíz kutak NO₃-N tartalmának elemzése során megállapítható volt, hogy a tartamkísérletben kijuttatott 120, illetve 240 kg-os hektáronkénti N-adagok, valamint a szomszédos kísérletek trágyázásának a hatása nem különböztethető meg a kutakban mért NO₃-N értékekben. A két kútban talált NO₃-N mennyiségének változása jól tükrözi a kísérleti telep

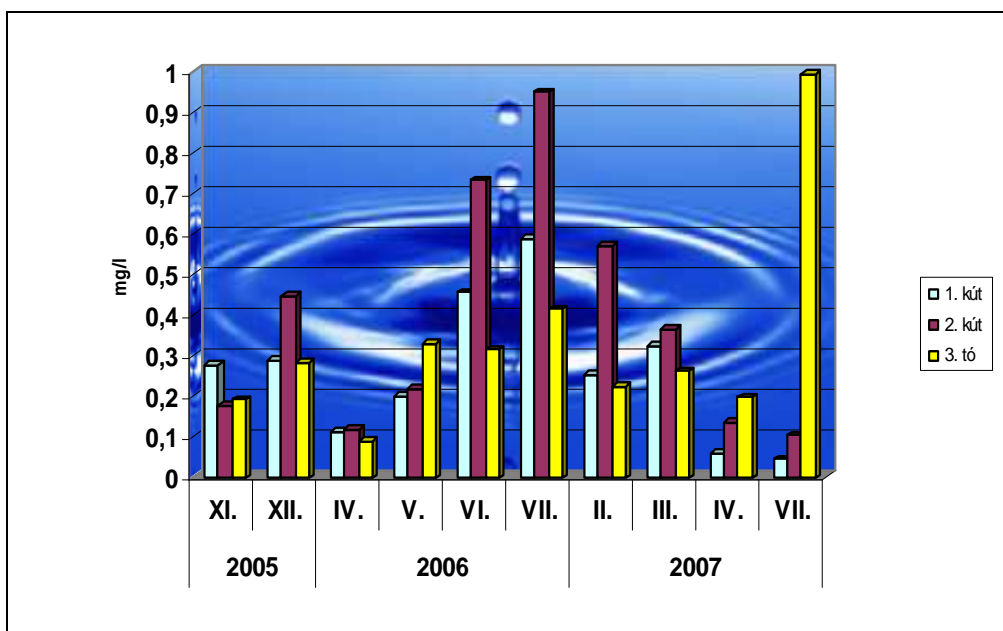
műtrágyázási gyakorlatát. A növények számára szükséges tápanyagok, így a N-műtrágya kijuttatása is megosztás nélkül, teljes egészében ősszel történik, ami környezetvédelmi szempontból nem túlzottan szerencsés.

A vizsgálatok szerint az ősszel kijuttatott N-műtrágya egy része az átlagosan 4-4,5 m mélyen található talajvízbe mosódva a kutak vizében is megjelenik. A lemosódást a sok csapadék és a talajvíz-szint emelkedése is fokozhatja. Az utóbbi évek rendkívül csapadékos időjárása a telep átlagos talajvíz-szintjét kb. 0,5-1 m-rel emelte meg: 2006. áprilisában 290, illetve 330 cm-es talajvíz-szintet mértek. Mindezzel szoros összefüggést mutat a kutak nitrát-tartalma. A november, december hónapokban mért értékek nitrát-ionra átszámítva 45, illetve 160 mg/l mennyiséget jelentenek, tehát az egyik kút vizében talált nitrát mennyisége messze meghaladja az EU által előírt egészségügyi határértéket (50 mg/l), míg a másikon éppen e küszöbérték alatt van. A tavaszi, nyári hónapok adatai szerint a kutak nitrát-tartalma fokozatosan csökkent, további vizsgálatokra van azonban szükség a műtrágyázás környezetre gyakorolt tartamhatásának tisztázására.



18. ábra: A talajvíz ásványi N dinamikája (Látókép 2005-2007)

A nitrát értékekhez képest a vízkivételi helyek összes foszfor értékei nagyon alacsony - 1 mg/l alatti - értékeket mutatnak. Méréseink során a tó foszforterhelését vártuk a legjelentősebbnek. A legmagasabb mért értékeket a 2.sz. kút mutatta. Egzakt magyarázatot nem tudunk adni a 2 sz. kút következetesen magasabb oldott foszfortartalmára, de feltételezhetően a talajvíz mozgása és esetlegesen a Kísérleti telep közelsége állhat a háttérben.



19. ábra: A talajvíz összes foszfor tartalma (Látókép 2005-2007)

A 2 sz. kút esetében a talajvíz mozgásának eredője Ny-ÉNy irányú, tehát egyrészt a „szántóföld alól”, másrészt a telep irányából folyik, ezzel magyarázható magasabb oldott foszfor tartalma.

A vizsgálati területen a Hajdúhát egyéb területeihez hasonlítva a talajvíz szintje magasabban helyezkedik el. A talajvíz viszonylag stabilnak mondható, nagy vízszintingadozások nincsenek, amit a közelében lévő tó visszaduzzasztó hatása generál. Az intenzív mezőgazdasági művelés ellenére a talajvíz minősége kedvező, minden paraméter esetében a határértékek alatt maradt.

Össességében véve elmondható, hogy a vizsgálati területen az öntözés lehetősége a talajvíz mind fizikai, mind kémiai tulajdonsága alapján kedvező.

A hagyományos és talajkímélő termesztéstechnológiák elemzése

Anyag és módszer

A hagyományos és talajkímélő termesztéstechnológiai rendszereket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának Látóképi kísérleti telepén (47° 30' N, 21° 33' E, 121 m) alföldi mészlepedékes csernozjom talajon (Mollisol-Calciustoll vagy Vermustoll, agyagos vályog; USDA) beállított talajművelési tartamkísérletben öntözetlen és öntözött körülmények között vizsgáltuk a 2005-2007 évek tenyészidőszakában. A tartamkísérletben beállított talajművelési változatok a következők voltak: őszi szántás (27 cm), tavaszi szántás (22 cm) és tavaszi sekély művelés (tárcsázás, 12 cm).

A talaj nedvességforgalmában bekövetkezett változásokat kapacitív elven működő nedvességmérő talajszondákkal (BR-150, RAJKAI, 2004) követtük nyomon. A szondák béléscsőveinek lehelyezését követően június végétől a betakarításig két-három heti rendszerességgel mértük a nedvességtartalom változását a 0-200 cm-es talajszelvényben. A vizsgálatokhoz a természetes tápanyagellátottságú és a trágyázott területeken mért nedvességadatokat átlagát használtuk fel.

A talajszelvény ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkező változások megítéléséhez a tenyészidőszak folyamán a tartamkísérlet öntözetlen blokkjának trágyázatlan és közepes műtrágyaadaggal ellátott (N=120 kg ha⁻¹) parcelláiról 3-4 alkalommal gyűjtöttünk bolygatott talajmintákat a kukorica jelzőnövény gyökerezése és a talajművelés hatása szempontjából mérvadó 0-100 cm-es rétegből, 20 cm-es rétegeket elkülönítve. A begyűjtött talajminták NO₃-N-tartalmának vizsgálatát a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának Mikrobiológiai Tanszékén végezték el SPECTROQUANT NOVA 60 A típusú fotométerrel, nitrát teszt segítségével.

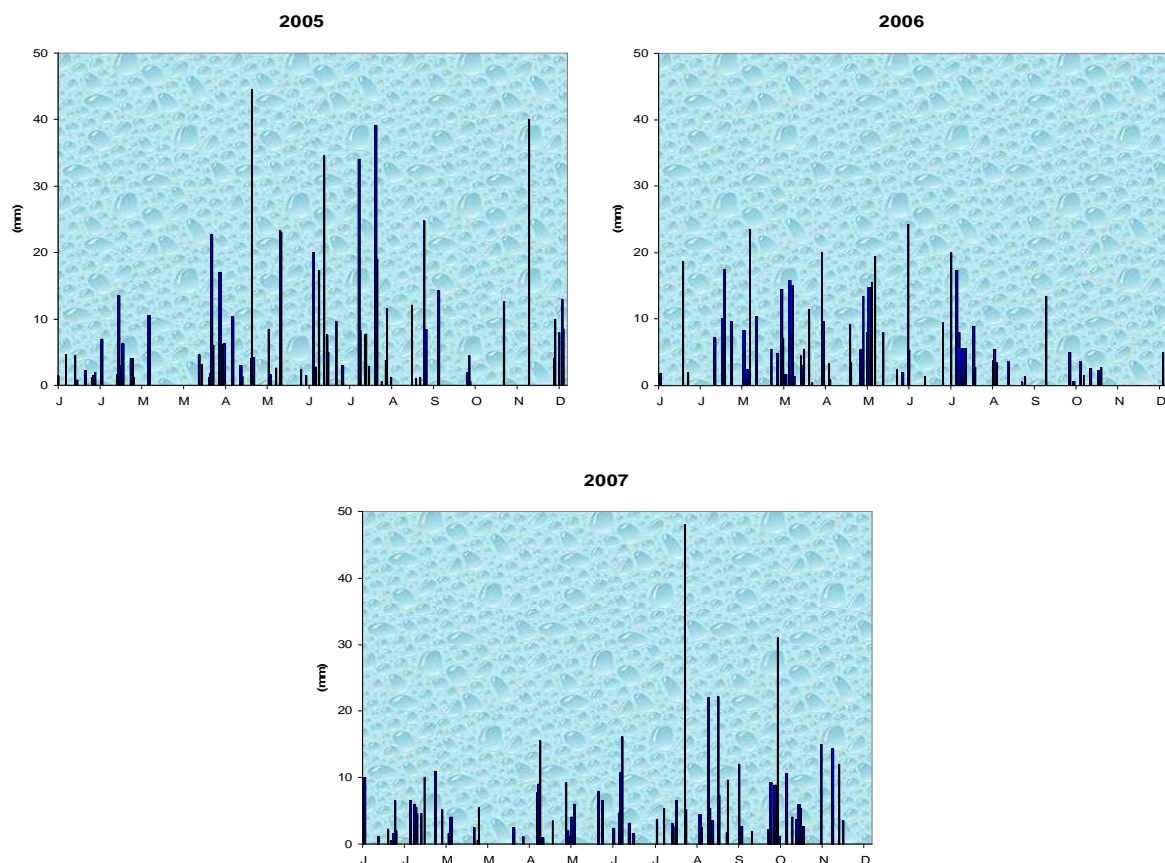
A talaj pH_{KCl}-jét az egyes talajművelési kezelések öntözetlen, öntözött, valamint trágyázás nélküli, 120, illetve 240 kg ha⁻¹ N-el ellátott parcelláin értékeltük a 2007-es év tenyészidőszakában. A pH_{KCl} vizsgálatát szántóföldi körülmények között a talaj 0-5 cm-es rétegében végeztük el Sentron Hot-line ConeFet elektróddal felszerelt hordozható Sentron Argus pH-mérő segítségével.

A kutatási programban a talajszelvény víz- és ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkező változásokat, valamint a kukorica fenológiai jellemzőit és szemtermését a 2005. és 2006. év adatai alapján szimulációs rendszermodellek segítségével is megbecsültük. Az alkalmazott növény-talaj-atmoszféra növénytermesztési szimulációs rendszermodell (4M v. 4.5)

megbízhatóságával kapcsolatos vizsgálatok (kalibrálás, validálás) megtörténtek, a modell térségi adaptációjához szükséges időjárási, talaj és növényi alapadatok összegyűjtése folyamatosan történt. A napi léptékű időjárási adatokat a Látóképi Kísérleti Telepen üzembe helyezett automata mérő és adatgyűjtő állomáson keresztül, illetve a DE ATC MTK Agrometeorológiai Obszervatórium Adatfeldolgozó Központja segítségével szereztük be.

Talajnedvesség eloszlása, dinamikája

A 2005-es év átlagon felüli mértékben csapadékos volt. Mind a téli félévben, mind a vegetációs periódusban elegendő csapadék hullott. A csapadék mennyisége mellett eloszlása is kedvező volt, különösen a kukorica fejlődése szempontjából kritikusnak számító júliusi, augusztusi időszakban volt folyamatos a csapadék utánpótlása. E két hónapban azonban már a sokéves átlagot esetenként jóval meghaladó, özönvízszerűen érkező esők is problémát okoztak. A tenyészidőszakban 502,1 mm csapadékot mértek, ami 46%-kal haladta meg az 50 éves átlagot (340 mm). A nyári hónapok csapadéka a talajban tárolt vízmennyiséggel együtt optimális vízellátottságot eredményezett.



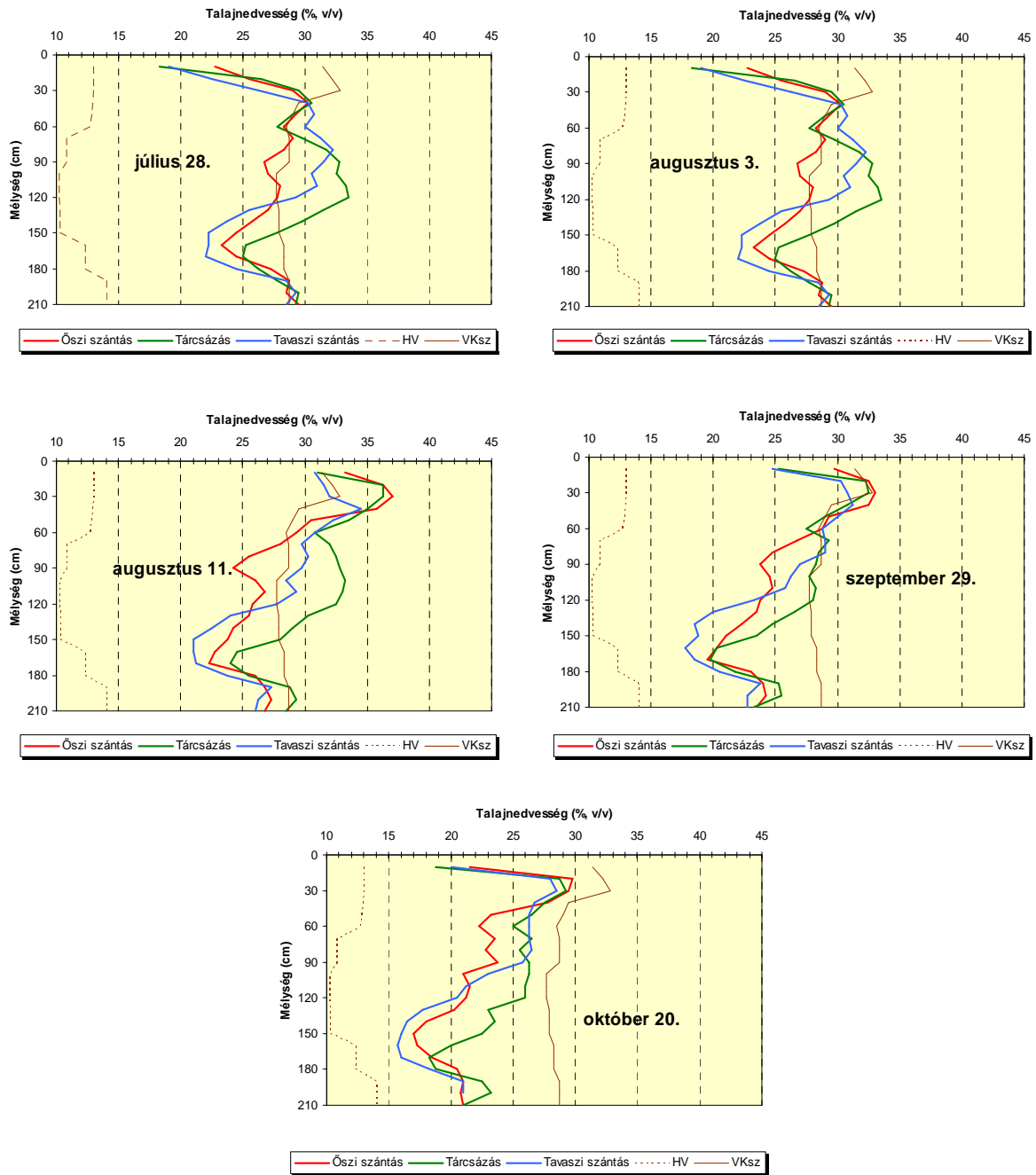
20. ábra: A napi csapadék (mm/nap) eloszlása (Látókép, 2005-2007)

A hazánkban sokszor csapadékhiányos júliusban 99,7, augusztusban 135,7 mm eső esett. A két hónap csapadékösszege az 50 éves átlagok alapján számolt értéket (121 mm) jócskán meghaladta. 2006 éves csapadékmennyisége ugyan mintegy 57 mm-rel alatta maradt a sokéves átlagnak, azonban – az előző évhez hasonlóan – mind a téli mind a nyári félévben kedvezően alakult a csapadék mennyisége és eloszlása is. Ezzel szemben 2007-ben a rendkívül száraz téli félévet (128 mm) a kora nyári időszakban is szokatlan aszály követte, aminek július második felétől kezdve egy csapadékosabb periódus vetett véget. Az augusztustól októberig lehullott csapadék mennyisége mindhárom hónapban 30-50 mm-rel meghaladta a sokévi átlagot. (**20. ábra**).

A talajszelvény nedvességtartalmának tenyészidőszakbeli dinamikáját a **21. ábra-23. ábra** szemlélteti. Az ábrákon a talaj térfogat %-ban kifejezett, adott időpontban mért nedvességtartalma mellett ábrázoltuk a talaj vízformáit, így a növények számára nem felvehető holtvíz (HV), illetve a szabadföldi vízkapacitás (VK_{sz}) értékét is.

2005-ben az eltérő talajművelési módok jelentős mértékben befolyásolták a talajszelvény nedvességkészségét, ezen belül a növények által felvehető nedvességtartalom tenyészidőszak alatti dinamikáját (**21. ábra**). A talajkímélő, szántást mellőző tavaszi sekélyművelés előnye az őszi szántáshoz viszonyítva 100-120 mm volt, de a két szántott változat között is mintegy 40-50 mm eltérést találtunk.

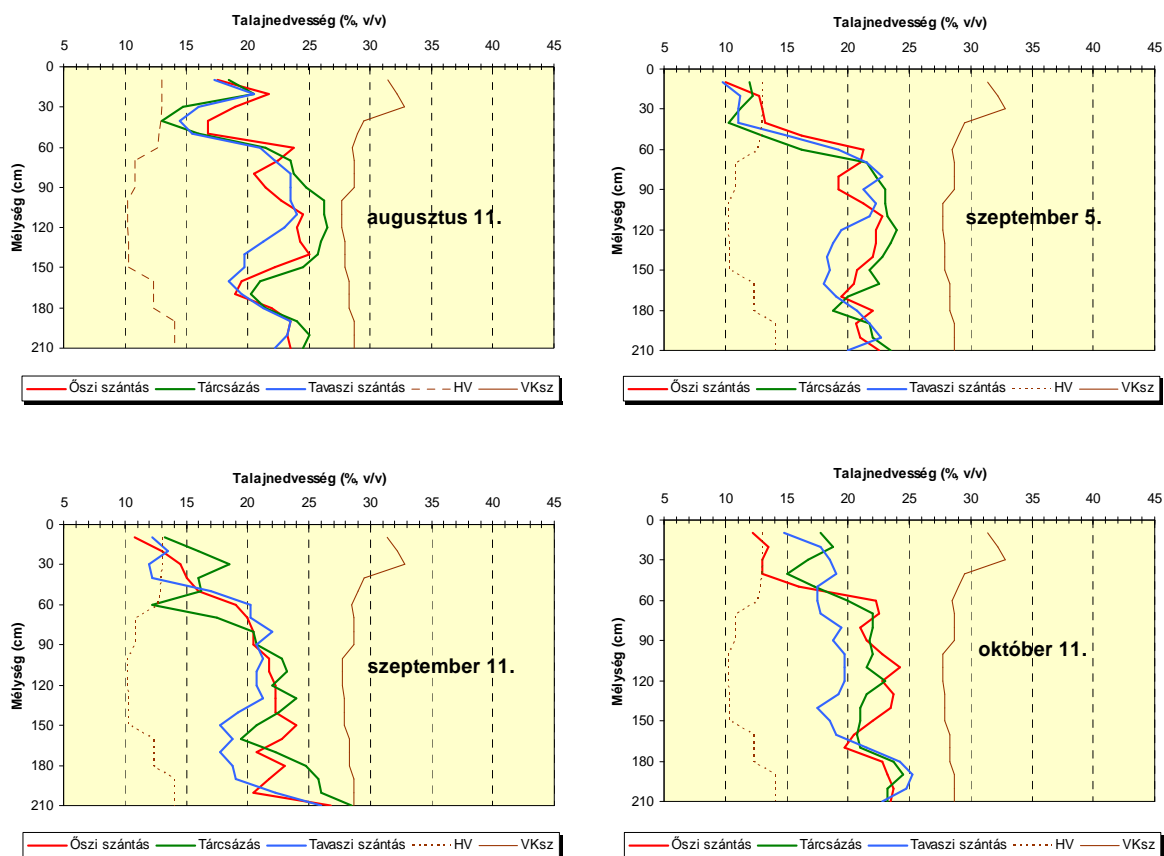
A tárcsázott kezelésben mért szignifikánsan nagyobb talajnedvesség értékek csaknem az egész vizsgált talajszelvényben illetve valamennyi mérési időpontban meghaladták a szabadföldi vízkapacitás értékét. Ez a mélyebben elhelyezkedő talajrétegek nagyobb mértékű feltöltődésének következménye. A mérések alapján úgy tűnik, hogy a talajszelvény feltöltődése az őszi időszakban, illetve a tél folyamán sokkal hatékonyabb volt a talajkímélő, tavaszi sekélyművelésű kezelésben, mint a szántott parcellákon. A mérések eredményei szerint a talaj felső 120-140 cm-es rétege a tavasszal szántott, valamint a forgatás nélküli művelés esetén egyaránt a szabadföldi vízkapacitás mértékéig telítődött nedvességgel. Őszi szántás esetén ez csak a talaj felső 60 cm-es szelvényére volt jellemző. A mélyebb, 160-180 cm-es szelvényben mindhárom talajművelési kezelés esetén kimutatható volt egy közbülső, a felette és az alatta elhelyezkedő szelvénynél szárazabb réteg, amely a növényállomány gyökérzetének aktív vízfelvételét bizonyítja. E réteg nedvességtartalma azonban – a talajművelési kezelésektől függően – csak 15-20 térfogat %-ig csökkent (a VK_{sz} 54-70 %-a) a betakarítás idejére, tehát nem érte el a holtvíztartalom értékét.



21. ábra: Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2005)

A 2006-os tenyészidőszakban végrehajtott nedvességtartalom mérések alapján felrajzolt nedvességprofilokat értékelve megállapítottuk, hogy a 0-180 cm-es talajszelvényben a vizsgált talajművelési kezelések között matematikai-statisztikai módszerrel igazolható talajnedvesség-tartalom különbség nem alakult ki. A vizsgált talajszelvény 0-60 cm-es rétegének nedvességtartalma az augusztus második felétől beköszöntő csapadékszegény időszak és az intenzív evapotranszpiráció hatására közel holtvíztartalomig csökkent. A mélyebb rétegek

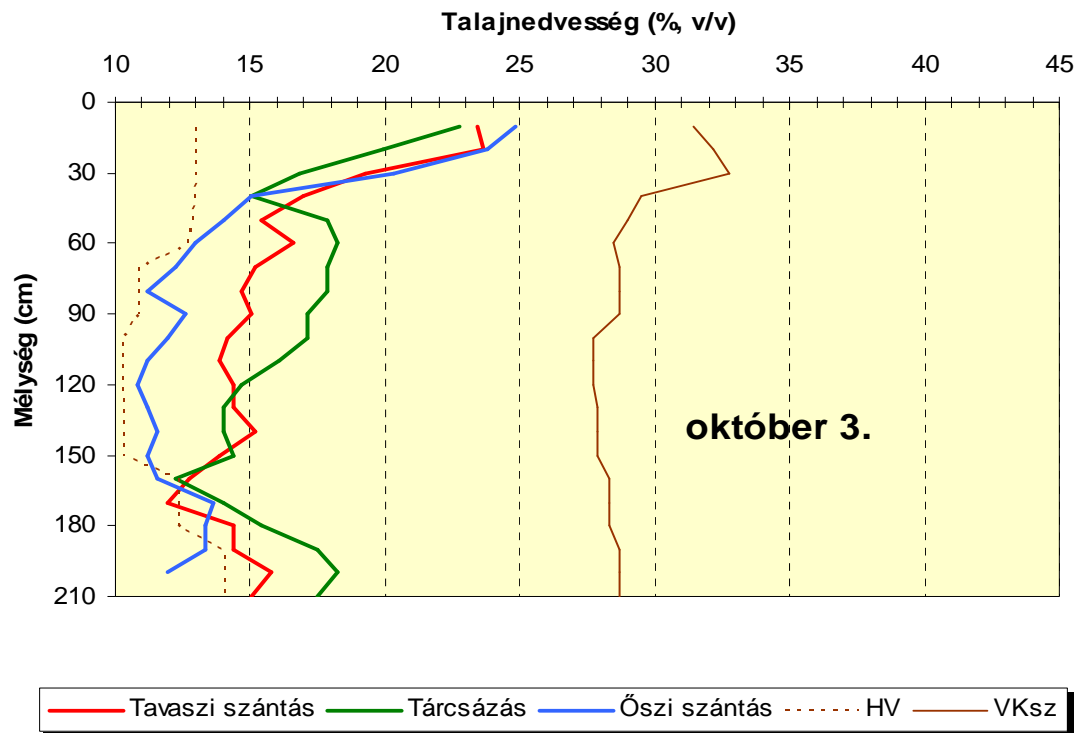
nedvességtartalma ezzel szemben a szántott, valamint a forgatás nélküli művelések esetén egyaránt kismértékben a szabadföldi vízkapacitás alatt maradt, annak 70-85 %-át érve el. A mérések eredményei szerint a vegetációs időszak csapadékos időjárása jótékonyan hozzájárult a talajszelvény feltöltődéséhez, a talaj kedvező nedvességállapota a tenyészidőszak végéig fennmaradt. A talaj nedvességekészlete – az előző évhez hasonlóan –mindhárom művelési mód esetén optimális feltételeket biztosított a kukoricaállomány növekedéséhez, fejlődéséhez (22. ábra).



22. ábra: Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2006)

2007-ben a kapacitív mérőszonda folyamatos meghibásodása miatt csak a tenyészidőszak végén sikerült a talajnedvesség értékeket rögzítenünk. A mérések tükrözték a rendkívüli mértékben aszályos tavasz-nyári időszak időjárásának következményeit. A talajszelvény 40-50 cm-nél mélyebb rétegeinek nedvességtartalma holtvíztartalom közelébe süllyedt. A mérés időpontjában az időközben csapadékosabbra fordult időjárás hatását jelzi a talaj felső 30 cm-es rétegében tapasztalt kismértékű nedvesedés. A vizsgálat szerint különösen a tavasszal szántott kísérleti

területen volt erőteljes a profil nedvességvesztesége a tenyészidőszak végére. Mindez ismételtén rávilágít arra, hogy száraz, aszályos kora tavaszi időszakban agronómiai szempontból kifejezetten kockázatos és kerülendő a tavaszi vetésű növények számára elvégzett szántásos alapművelés (23. ábra).



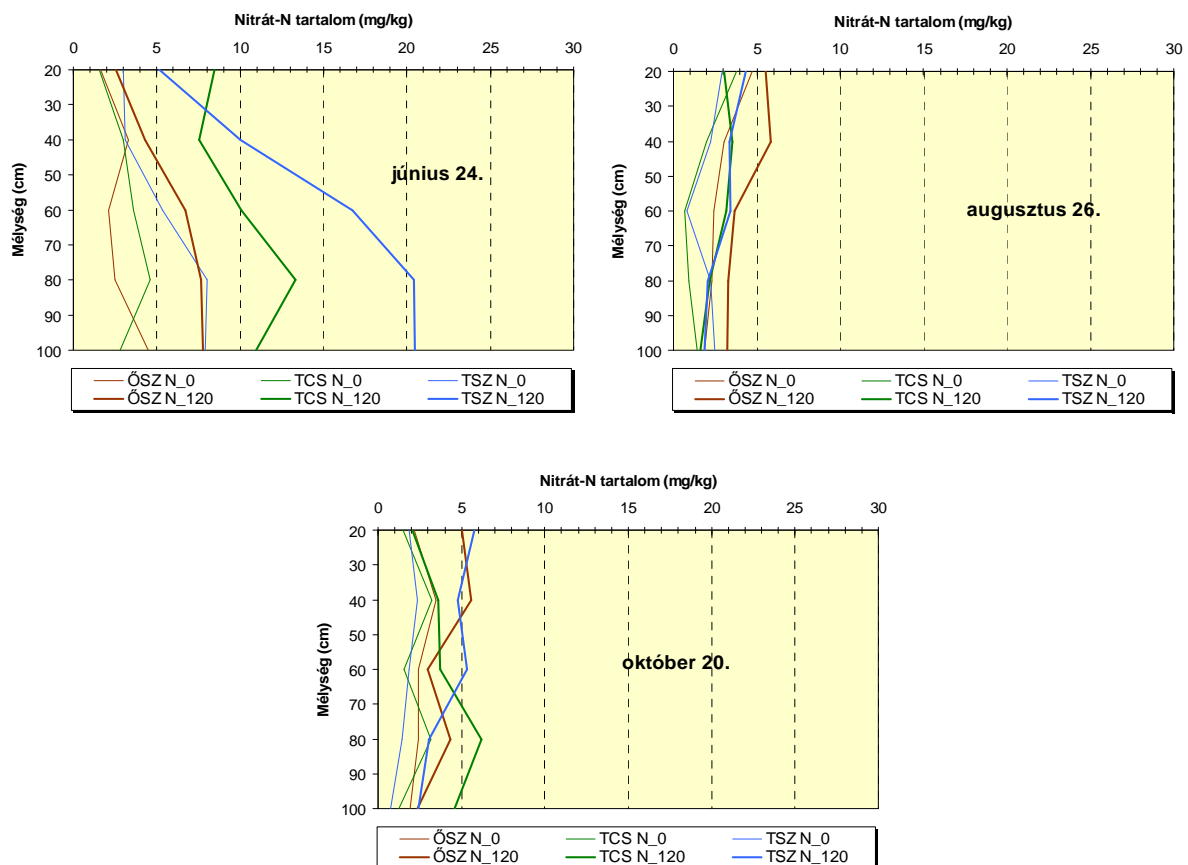
23. ábra: Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség szelvénybeli eloszlására (Látókép, 2007)

Ásványi N eloszlása és dinamikája

A talaj ásványi N-készletének szezonális dinamikájában bekövetkezett változásokat elemezve megállapítottuk, hogy 2005-ben mind trágyázás nélkül, mind műtrágyázott körülmények között a tavaszi szántásban részesített parcellákon volt megbízhatóan nagyobb a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a korai vegetatív növekedés időszakában (május-június) (24. ábra). A trágyázás nélküli, természetes tápanyag-ellátottságú parcellákon a talajszelvény vizsgált rétegei ekkor jellemzően $5\text{-}6 \text{ mg kg}^{-1}$ $\text{NO}_3\text{-N}$ -t tartalmaztak egyenletes eloszlásban, míg a trágyázott kezeléseknél ez az érték $10\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$ körül változott. A vizsgált $0\text{-}100 \text{ cm}$ -es talajszelvényre vonatkoztatva ezek az értékek a művelés módjától függően hektáronként $50\text{-}70$, illetve $70\text{-}180 \text{ kg}$ nitrát-N-t jelentettek (27. ábra). Trágyázott körülmények között mind az őszi szántású és a tavaszi sekélyművelésű területek felső 100 cm -es szelvényének ásványi-N tartalma alacsonyabb volt a tavasszal szántott kezeléshez

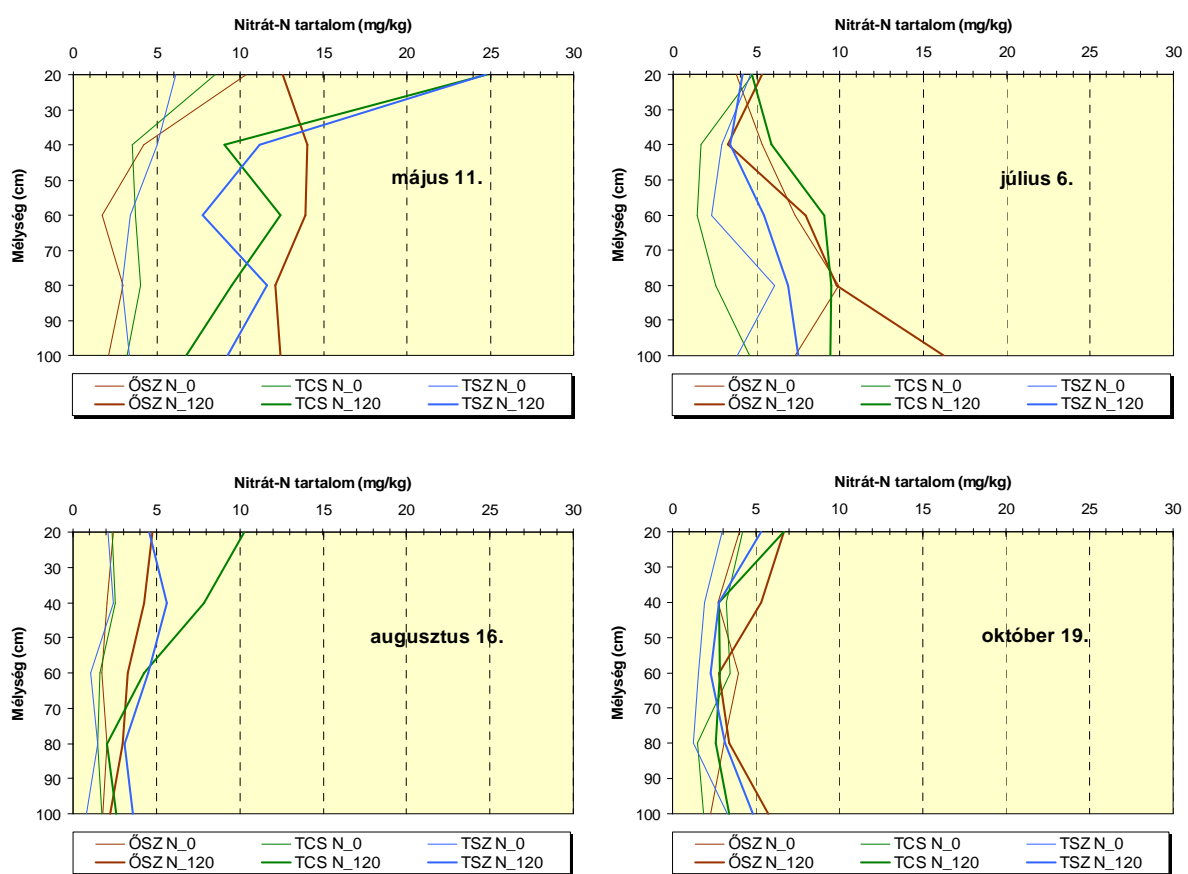
képest, annak mintegy 40-80%-át érte csak el. Trágyázás hatására a koncentráció mindhárom művelési változat esetében a felszíntől a mélyebb rétegek irányába haladva fokozatosan növekedett. A vizsgált legmélyebb 100 cm-es rétegben kismértékű felhalmozódást találtunk (főként a tavasszal szántott parcellák esetén). Az ősszel kijuttatott $\text{NO}_3\text{-N}$ tehát nem halmozódott fel a felszínhez közeli rétegekben, hanem a kijuttatott mennyiség egy része a tél folyamán, valamint kora tavasszal hullott, nagy mennyiségű csapadék hatására a 80-100 cm-es, illetve az ez alatti talajrétegekbe mosódott le.

A további, a kukorica betakarításáig végzett mérések eredményei szerint trágyázatlan körülmények között a szelvény nitrát-N-tartalma fokozatosan csökkent a tenyészidőszak végére, addig a trágyázott területeken a csökkenés mértéke jóval szembeötlőbb volt: a tenyészidőszak utolsó harmadában, illetve betakarításkor a talajszelvény ásványi N-készletében nem mutattunk ki igazolható különbséget az eltérő tápanyag-ellátottságú területek között. A mérésekből nyilvánvaló volt az is, hogy az alkalmazott talajművelési eljárásoknak a korai vegetatív növekedés időszakától eltekintve nem volt hatása a vizsgált talajszelvény $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségére.



24. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2005)

A 2006-os esztendő tenyészidőszakának kezdetén, vetéskor (május eleje) végzett mérések szerint a talaj 0-30 cm-es rétegének $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a tavaszi szántásban részesített, valamint a tárcsás alpművelés esetén volt megbízhatóan nagyobb trágyázott körülmények között (26. ábra). Mindez egyrészt a kedvező csapadékviszonyok és a tavasszal elvégzett oxidatív viszonyokat biztosító szántásos alpművelés következtében előálló intenzív nitrát-feltárással, másrészt pedig a sekély tárcsás alpművelés 15-20 cm-es szelvényben elhelyezkedő tömör művelőtalp rétegének kedvezőtlen, rossz vízáteresztő-képességével magyarázható. A mélyebb rétegek nitrát-N-tartalmára a talajművelésnek nem volt kimutatható hatása.

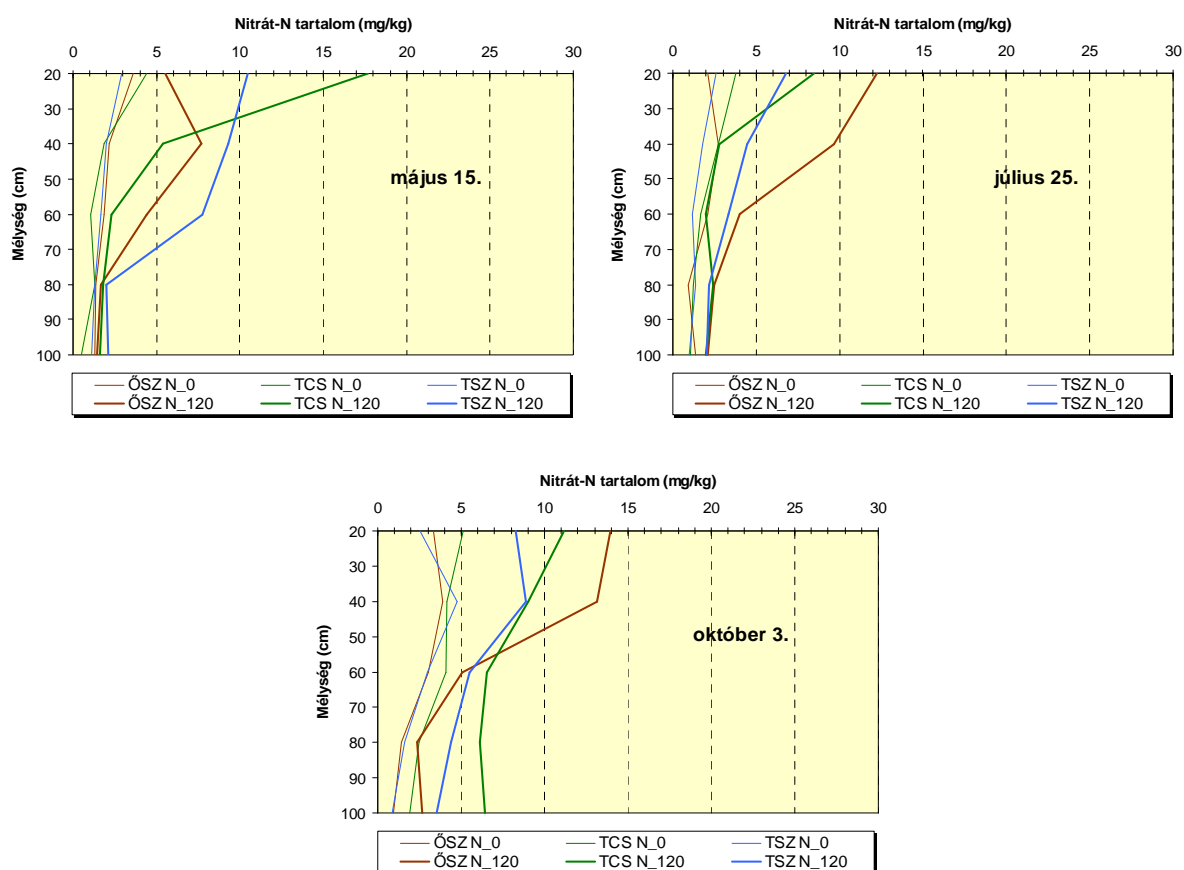


25. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2006)

A talajművelésnek nem volt szignifikáns hatása a talaj felső 100 cm-es rétegében tárolt nitrát-N mennyiségére sem a tenyészidőszak kezdetén sem a betakarítás idején (27. ábra). A tenyészidőszak intenzív csapadékviszonyaira utal, hogy a következő mérés (július eleje) alkalmával az alsó 80-100 cm-es rétegben kismértékű felhalmozódást találtunk a trágyázott kezelésekben. Az ezt követő mérések során viszont jellemzően kisebb ásványi N-tartalmak adódtak a talajszelvényben,

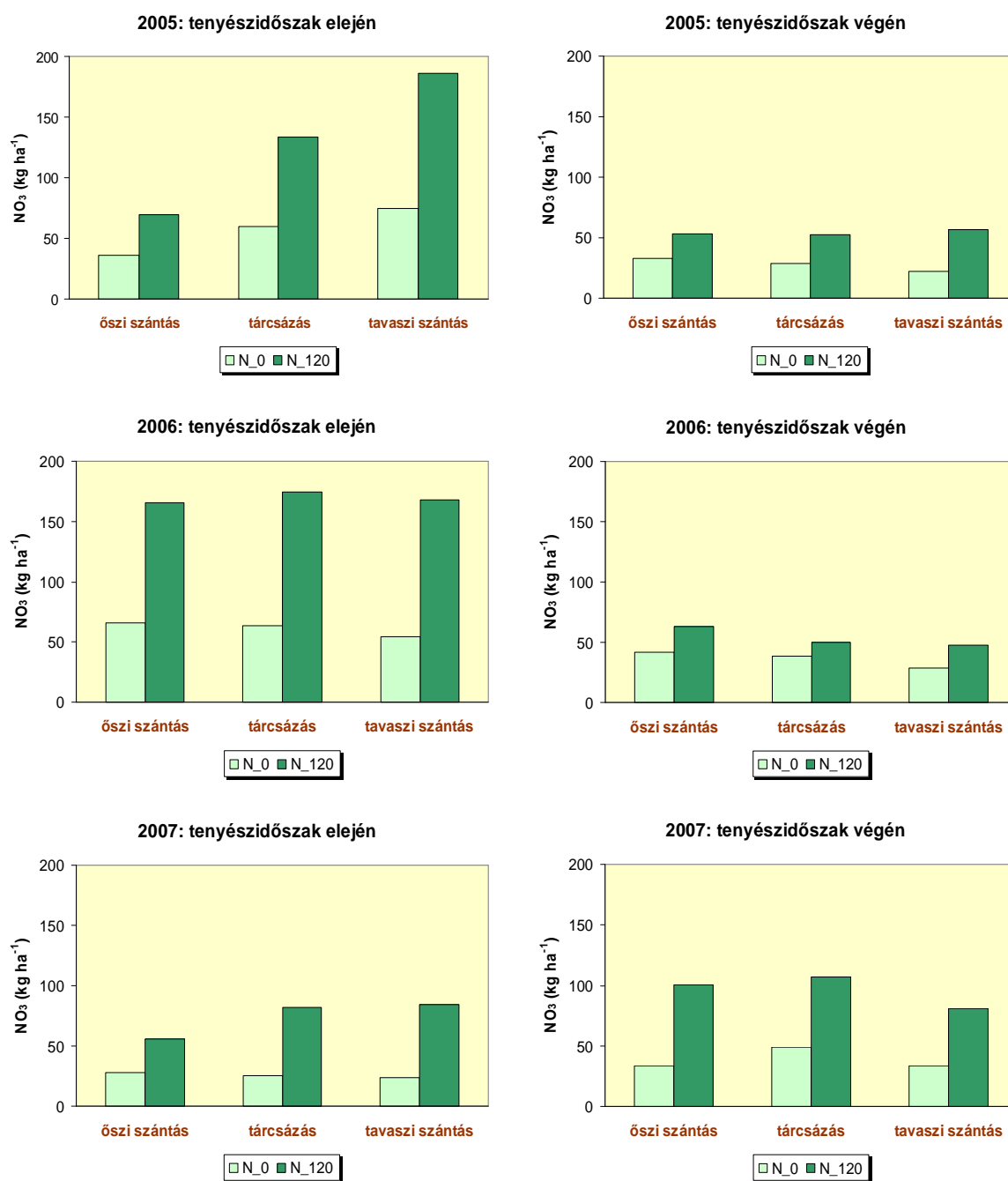
olyannyira, hogy betakarításkor nem találtunk igazolható különbséget sem a talajművelési, sem a trágyakezelések között. Mindez a jelzőnövény (kukorica) intenzív tápanyagfelvételével magyarázható.

2007-ben az aszályos téli félév és az azt követő vízhiány hatására jellegzetes nitrátprofilok alakultak ki a vizsgált talajszelvényben (26. ábra). A talaj felvehető nitrogéntartalma trágyázott körülmények között mindhárom művelési változat esetében a felszíntől a mélyebb rétegek irányába haladva fokozatosan csökkent. Ugyanezek a profilok voltak jellemzők a tenyészidőszak folyamán, illetve a kukorica betakarításakor végzett további mérések eredményei szerint is. A talaj felső 50 cm-es rétegében halmozódott fel a vizsgált szelvény nitrát-N mennyiségének közel 2/3-a, ami a teszt növény az aszályos időjárás miatti erőteljesen lecsökkent ásványi táplálkozására utal.



26. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj NO₃-N-tartalmának tenyészidőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2007)

A talaj felső 100 cm-es rétegének könnyen felvehető NO₃-N-készletét értékelve megállapítottuk, hogy az egyes talajművelési kezeléseknek – hasonlóan az előző évhez – nem volt szignifikáns hatása a talajban tárolt nitrát-N mennyiségének alakulására.



27. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a könnyen felvehető NO₃-N-készlet alakulására a talaj felső 100 cm-es rétegében a tenyészidőszak elején és végén (Látókép, 2005-2007)

A tenyészidőszak végén a talajszelvényben mért nitrát-N készlet viszont igazolhatóan nagyobb volt, mint a vegetációs időszak kezdetén. Ennek oka valószínűsíthetően az, hogy az aszály következtében visszaszorult bakteriális élettevékenység a szeptemberi csapadékosabb időjárás hatására újból élénkebbé vált.

A talaj kémhatásának értékelése

A kísérleti megfigyelések több-kevesebb technikai, mérési vagy egyéb hibával terheltek, melyek az adatokból levont következtetéseket téves irányba terelhetik. A vizsgált paraméter becsült értékének hibáját (a talaj kémhatásának valódi értéke és a becsült értéke közötti eltérést) a minta elemszámának növelésével lehet csökkenteni. A talaj kémhatásának szabadföldi, in situ vizsgálata előtt a talaj – adott esetben még azonos talajtípussal/altalajtípussal jellemezhető mintaterületek esetén is – jelentős térbeli heterogenitása miatt ezért meg kell határozni azt a minimális ismétlésszámot, amellyel a becslés hibája egy szakmailag elfogadható érték alá csökken. A Sentron Hot-line ConeFet elektróddal felszerelt hordozható Sentron Argus pH-mérővel szántóföldi körülmények között mért talaj kémhatás értékek megbízhatóságát (becsült értékét) a mérőeszköz pontossága, a mérés végrehajtása és a kísérleti parcellákon belüli inhomogenitás határozza meg.

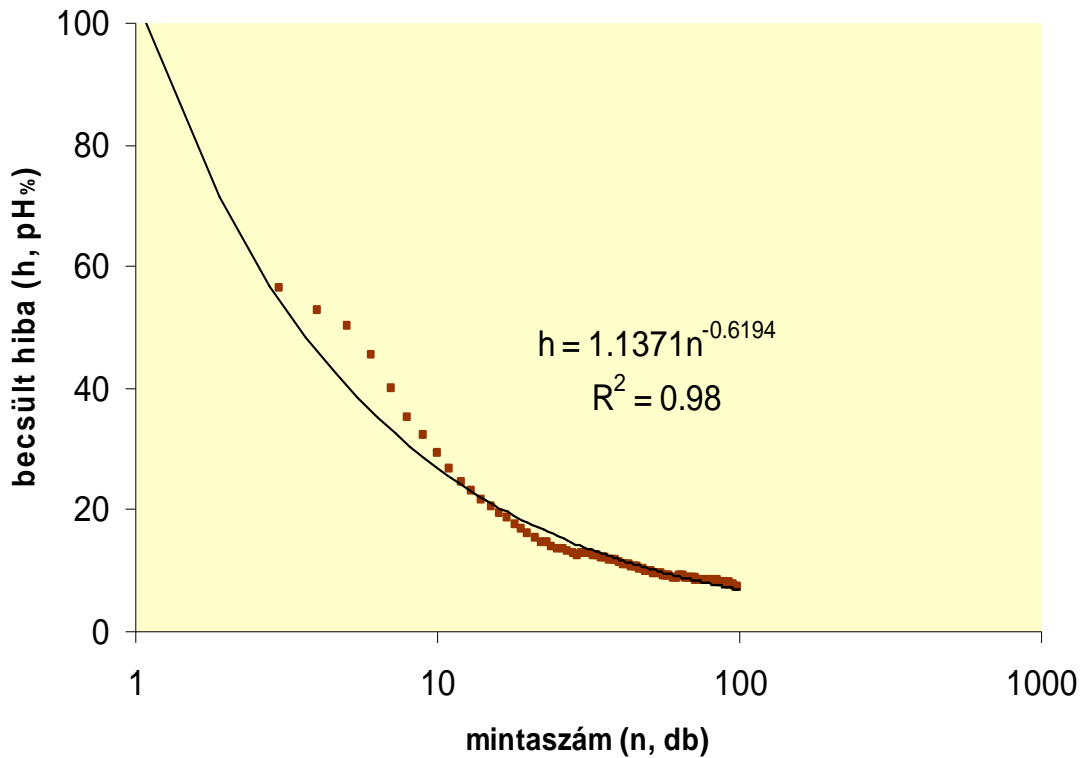
A kísérletben szükséges ismétlésszám meghatározásához az alábbi módszert követtük. A mérés becslési hibájának kiszámításához a 100 mintából álló méréssorozatból véletlenszerűen választottunk ki részmintákat. A különböző elemszámú részminták becslési hibája az alábbi képlet felhasználásával számítható:

$$n = \frac{t_{(p5\%)}^2 s^2}{pH_{hiba}^2} \Leftrightarrow pH_{hiba}^2 = \frac{t_{(p5\%)}^2 s^2}{n} \Leftrightarrow pH_{hiba} = t \frac{s}{\sqrt{n}} [\%]$$

ahol:

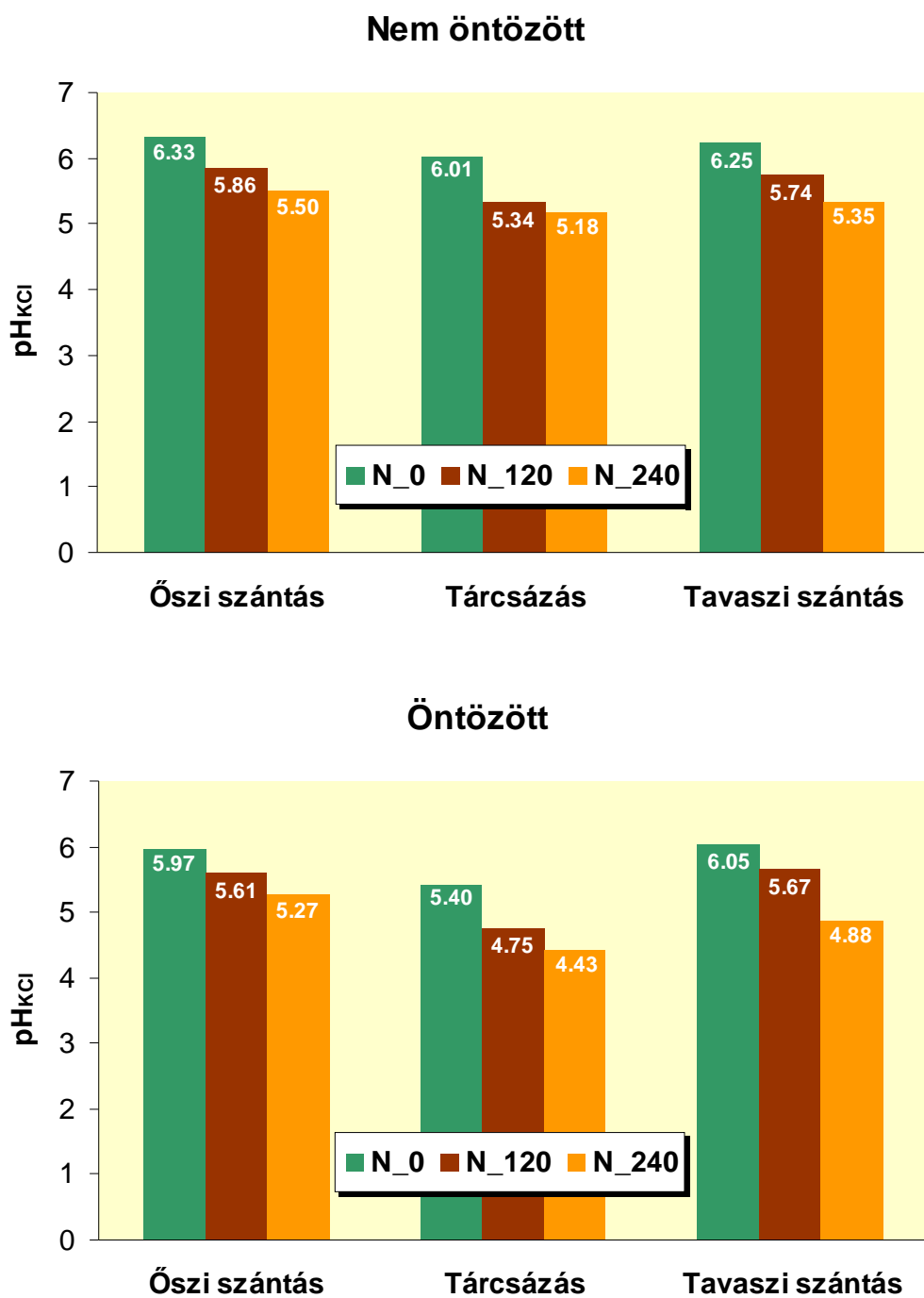
- $t_{p5\%}$ = a t-táblázatbeli t-érték 95%-os valószínűségi szinten
- pH_{hiba} = a becslés hibája %-ban kifejezve n-1 szabadságfoknál
- s = a középérték szórása
- n = mintaelemek száma

A 95%-os valószínűségi szinten számított átlagos talaj pH_{KCl} érték becslési hibájának alakulását a mintaszám függvényében a **28. ábra** mutatja. A mintaszám növekedésével a becslés hibája exponenciálisan csökkent, de 100 ismétlés esetében sem kisebb, mint 7.3% a 0-5 cm-es talajrétegben. Az ábráról leolvasható, hogy a vizsgált 30.48 m²-es parcella pH_{KCl} értéke 10 %-os hibával mintegy 40 db minta alapján adható meg. A parcellánkénti minimális ismétlésszámot ezért 40-nek vettük, tekintve, hogy az ennél nagyobb ismétlésszám már nem jár együtt a pH-mérés hibájának jelentős csökkenésével.



28. ábra: Az átlagos pH_{KCl} -mérés 95%-os valószínűségi szinten becsült hibája a mintaszám függvényében a talaj 0-5 cm-es rétegében

A mezőgazdaságilag hasznosított területek savanyodását elősegítheti, vagy gyorsíthatja az intenzív talajhasználat (műtrágyák, talajok öntözése), az ipari és közlekedési eredetű légköri savas üledékek (SO_2 , NO_x és NH_3), valamint a növények Ca kivonása a talajból. Egyes termőhelyek talajainál ezek a hatások együttesen jelennek meg, így jelentős méretű lehet a talaj elsavanyodása.



29. ábra: Talajművelés, műtrágyázás és az öntözés hatása a talaj pH_{KCl}-értékére (Látókép, 2007)

A 0-5 cm-es feltalaj kémhatását tekintve az egyes talajművelési eljárások között statisztikailag igazolható eltérést mutattunk ki. Tavaszi tárcsás sekélyművelés esetén még a trágyázás nélküli kontroll parcellákon is kimutatható a művelés talajsavanyító hatása, amit a kijuttatott műtrágya tovább súlyosbít. A tárcsás kezelésben tapasztalt jelentős talajsavanyodás az egyoldalú, több éven

át azonos mélységben történő alpművelés hatására kialakuló tömör, levegőtlen, leromlott talajszerkezet következménye.

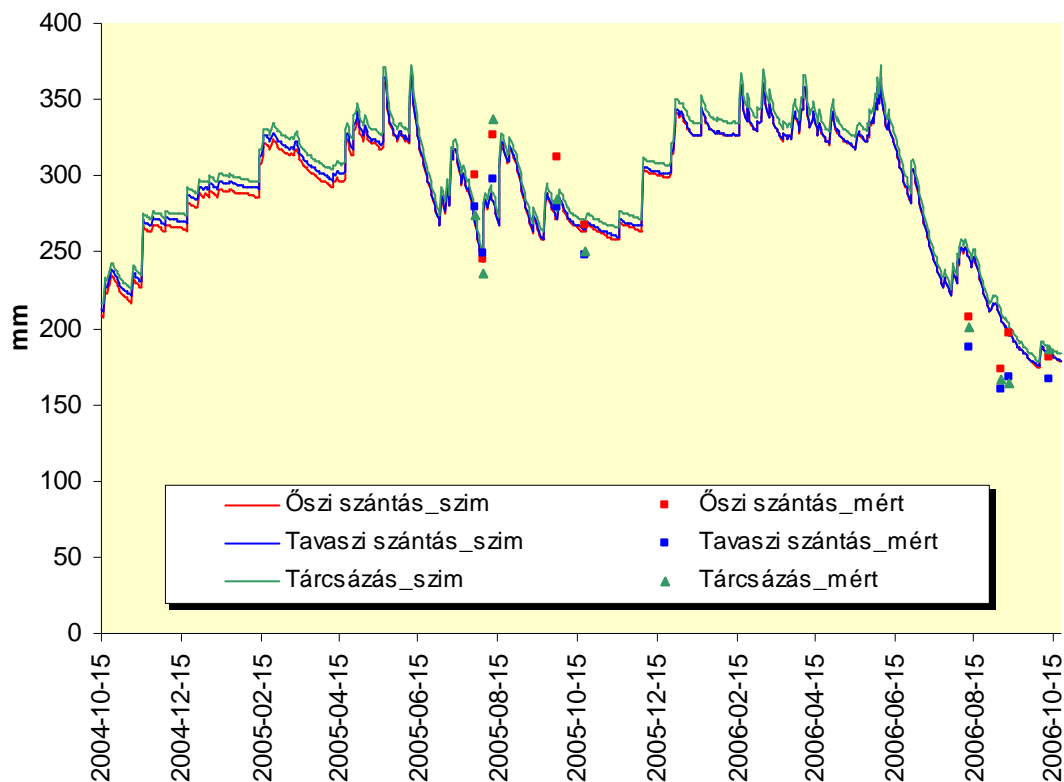
A 2007-es év tenyészidőszakában elvégzett szántóföldi mérések alapján megállapítottuk, hogy a talaj pH_{KCl} -értékét a vizsgált tényezők (talajművelés, műtrágyázás, öntözés) közül legnagyobb mértékben a kísérletben alkalmazott műtrágya adagok befolyásolták (**29. ábra**). Különösen jelentős volt a kémhatás csökkenése a N_{240} kg ha⁻¹ trágyakezelés esetén. A talaj pH_{KCl} -jának csökkenése az öntözéstől és a talajművelés módjától függően a trágyázatlan kontrollhoz viszonyítva mintegy 0,8-1,2 volt az egyes trágyakezelésekben. A tartamkísérletben 19 éve használják ugyanazokat a műtrágyadózisokat, így nem véletlen a trágyakezelések talajsavanyító hatása. A trágyázással együtt járó jelentős növényi Ca-felvételt a kísérletben alkalmazott fiziológiailag semleges hatású N-műtrágya (mész-ammon-salétrom) nem tudja kompenzálni.

Az öntözés a fokozottabb mértékű Ca kilúgzás, a nagyobb termések Ca felvétele révén növelheti a talajsavanyodás mértékét. A vizsgálat során kapott eredmények alátámasztják ezt, hiszen öntözött körülmények között valamennyi trágya- és talajművelési kezelésben igazolhatóan csökkent a talaj kémhatása. A kísérleti eredmények szerint öntözött körülmények között az alkalmazott nagyadagú műtrágya helytelen talajművelési gyakorlattal párosulva a talaj savanyodását jelentős mértékben növelő kockázati tényező. A vizsgálatok alapján feltétlenül indokolt lenne ez esetben a mésztrágyázás, illetve a közepes adagú műtrágyával ellátott területeken a fenntartó meszezés alkalmazása.

A 4M növénytermesztési szimulációs rendszermodellel folytatott szimulációs vizsgálatok értékelése

A becsült és mért talajnedvesség-tartalom szezonális dinamikájának összehasonlítása

A szimulációs görbék lefutása (**30. ábra**) jól szemlélteti a vizsgált talajszelvényben az egyes talajművelési kezelések között kialakult sorrendeket. 2005-ben a mért és modellezett talajnedvesség értékek között nem volt jelentős különbség. A 4M modell által becsült talajnedvesség adatok általában közel estek a mért adatokhoz, a becslés átlagos hibája 10%-on belül maradt. 2006-ban ezzel szemben 20-25%-kal nagyobb nedvességtartalmat becsült a modell valamennyi talajművelési kezelésben. A mért értékekhez az őszi szántás talajművelési változat becsült értékei illeszkedtek a legjobban, a becslés átlagos hibája 8% volt a két vizsgált évet tekintve



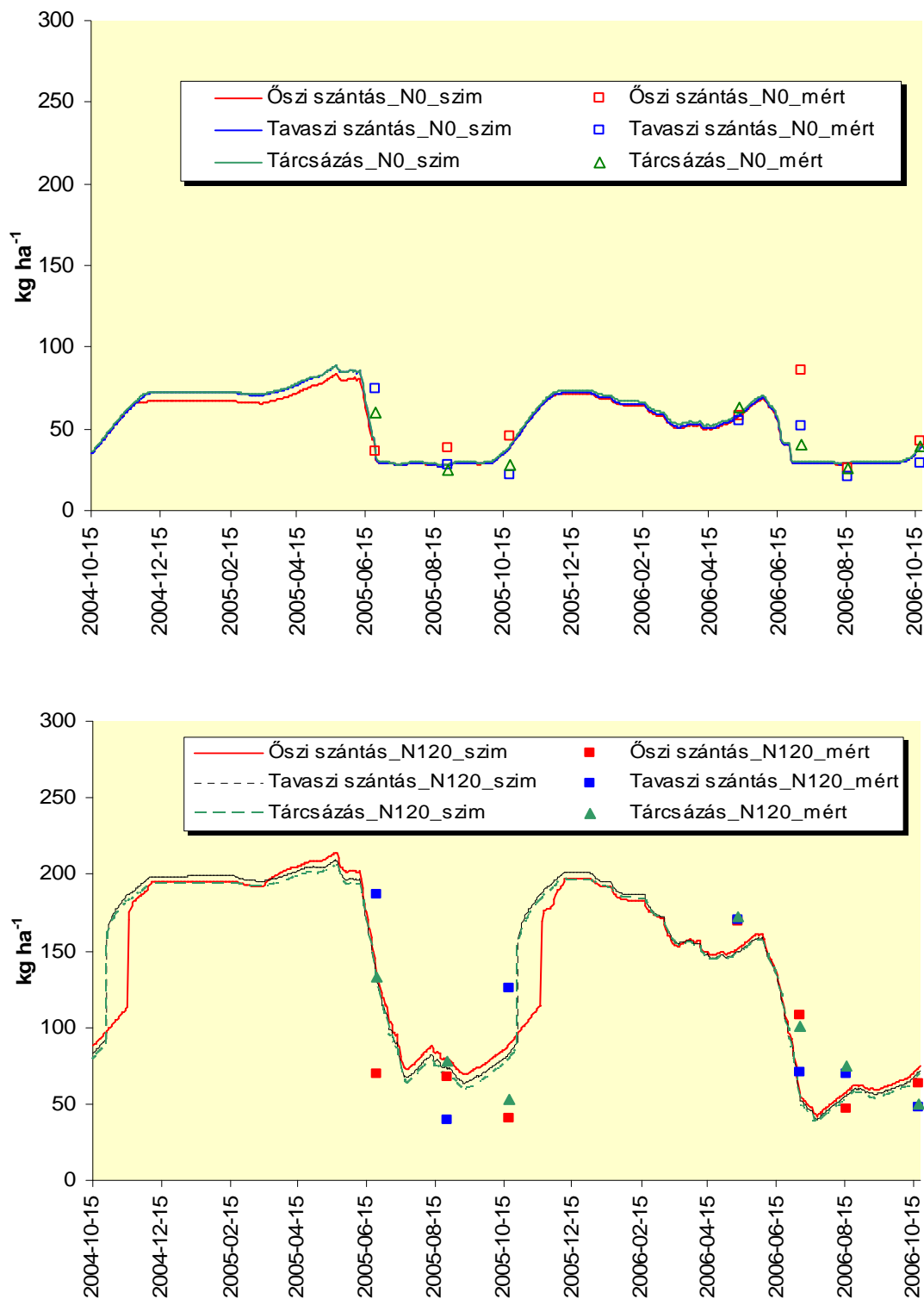
30. ábra: A talaj felső 100 cm-es rétegének becült és mért nedvességtartalma (Látókép, 2004-2006)

A becült és mért nitrát-N-tartalom szezonális dinamikájának összehasonlítása

A 31. ábra jól szemlélteti, hogy a szimulációs görbék pontosan követik az egyes vizsgált évek korai vegetációs időszakában észlelt $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalombeli eléréseket. A becült $\text{NO}_3\text{-N}$ értékek valamennyi talajművelési kezelés esetén közel estek a mért értékekhez a tenyészidőszak elején, de a tenyészidőszak végére a modell túlbecsülte ezeket az adatokat. Ennek valószínűleg a modell által becült alacsonyabb növényi N-felvétel lehet az oka. Ez a hiányosság elsősorban trágyázott körülmények között lépett fel.

Az elvégzett szimulációs vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a modell nem minden esetben volt képes pontosan becsleni az egyes talajművelési eljárások hatását a talaj felső 100 cm-ében lezajló víz- és N-dinamikát illetően. A viszonylag gyenge szimulációs eredmények egyik lehetséges oka, hogy a modell speciális bemenő talajművelési paraméterként mindössze a térfogattömeg, a holtvíz, a szabadföldi vízkapacitás és a drén koefficiens értékét használja fel az egyes talajművelési módok hatásainak modellezésére, és egyáltalán nem veszi figyelembe a talaj makropórusainak szezonális dinamikáját. A modell által adott becslések felhívják a figyelmet arra, hogy szükség van

a modell növényi növekedést, tápanyagfelvételt leíró elemeinek, illetve a talajfizikai komponensek módosítására a talajművelési változatok hatásainak pontosabb értékelése érdekében.



31. ábra: A talaj felső 100 cm-es rétegének becsült és mért nitrát-N tartalma (Látókép, 2004-2006)

A modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények

A vizsgálatokat öntözetlen körülmények és 70 000 tő ha⁻¹ növényszám mellett végeztük el a 2005-ös és a 2006-os évre vonatkozóan. Mindkét kísérleti évben a műtrágyázás nélküli és a N120 kg ha⁻¹ dózisú parcellákat választottuk ki a tervezett vizsgálatokhoz. A szimulációs vizsgálatokba bevont hibrid 2005-ben és 2006-ban is a Goldaccord (FAO 330) volt. A modell által becsült és a mért terméseredményeket az **13. táblázat** szemlélteti.

2005-ben a modell a tavaszi szántás trágyázás nélküli parcelláin közel 20%-kal alulbecsülte a kísérletben mért termésadatokat, az eltérés jóval meghaladta a hektáronkénti 1 tonnát. Trágyázott körülmények között az eltérés mindössze 1%, azaz 100 kg volt, ami a szórás terjedelmén belül maradt. Az őszi szántás és a tavaszi sekélyművelés esetén a modell ugyan kismértékben túlbecsülte a mért értékeket, de a kapott szimulációs eredmények 10%-os hibahatáron belül maradtak mindkét trágyakezelésben. A modell a talajművelés, a trágyakezelések hatásait jól követte.

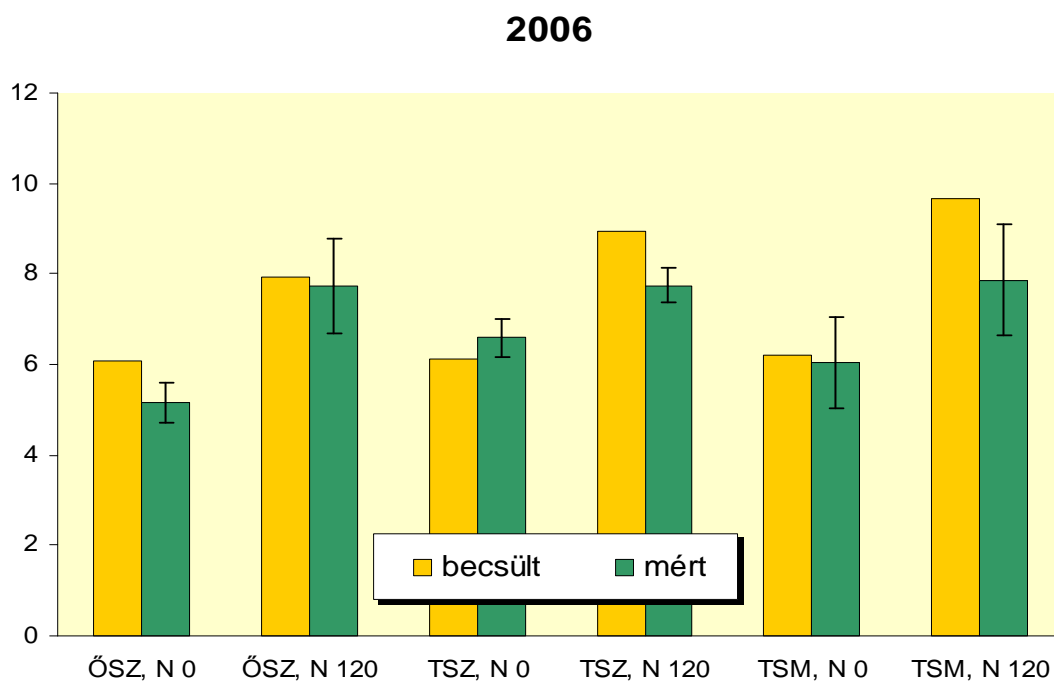
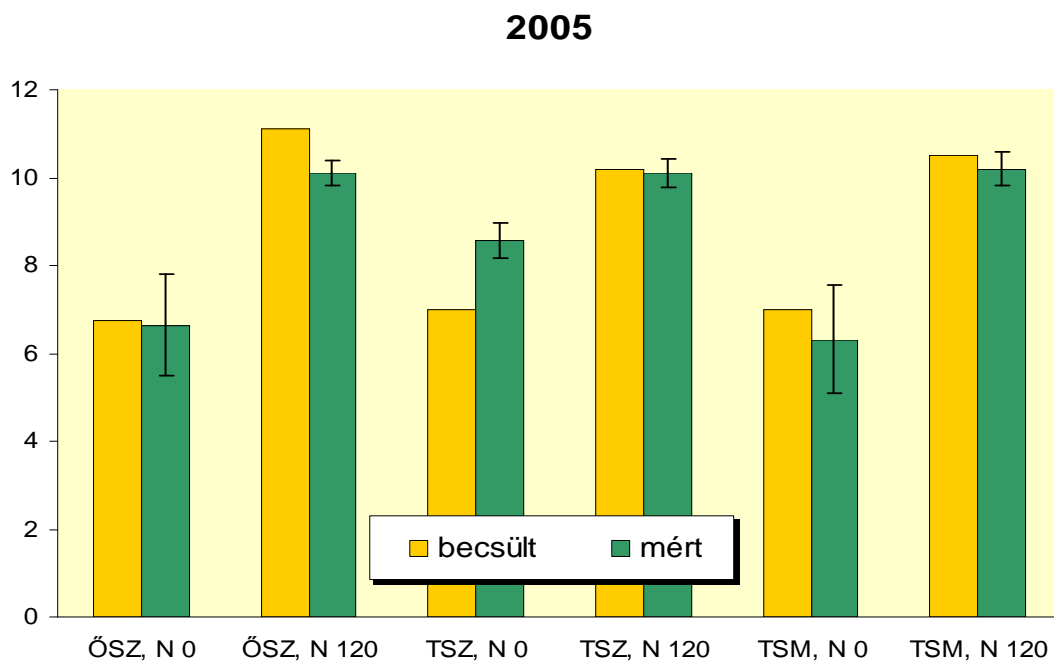
2006-ban a modell által adott becslés pontatlanabb volt az előző évinél. Három alkalommal 1 tonnát meghaladó (940-1790 kg ha⁻¹) eltérést kaptunk a mért termésekhez képest. Ezek az értékek abból adódtak, hogy a vizsgált kezelésekben a modell 15-23%-kal túlbecsülte a mért terméseredményeket.

13. táblázat: A 4M modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények (Látókép, 2005-2006)

| Év | Kezelés | becsült | mért | eltérés |
|------|--|--------------------|--------------------|---------|
| | | t ha ⁻¹ | t ha ⁻¹ | % |
| 2005 | Őszi szántás, N = 0 kg ha ⁻¹ | 6.74 | 6.64±1.15 | 1.5 |
| | Őszi szántás, N = 120 kg ha ⁻¹ | 11.10 | 10.10±0.30 | 9.9 |
| | Tavaszi szántás, N = 0 kg ha ⁻¹ | 6.98 | 8.58±0.40 | -18.6 |
| | Tavaszi szántás, N = 120 kg ha ⁻¹ | 10.20 | 10.10±0.33 | 1.0 |
| | Tárcsázás, N = 0 kg ha ⁻¹ | 6.99 | 6.32±1.23 | 10.6 |
| | Tárcsázás, N = 120 kg ha ⁻¹ | 10.50 | 10.20±0.37 | 2.9 |
| 2006 | Őszi szántás, N = 0 kg ha ⁻¹ | 6.09 | 5.15±0.43 | 18.3 |
| | Őszi szántás, N = 120 kg ha ⁻¹ | 7.94 | 7.72±1.04 | 2.8 |
| | Tavaszi szántás, N = 0 kg ha ⁻¹ | 6.12 | 6.59±0.42 | -7.1 |
| | Tavaszi szántás, N = 120 kg ha ⁻¹ | 8.94 | 7.75±0.40 | 15.4 |
| | Tárcsázás, N = 0 kg ha ⁻¹ | 6.20 | 6.05±1.00 | 2.5 |
| | Tárcsázás, N = 120 kg ha ⁻¹ | 9.66 | 7.87±1.23 | 22.7 |

A két évet együttesen értékelve megállapítható, hogy a becslés átlagos hibája ugyan 5,5%, ami kedvezőnek tűnhetne, azonban e mögött a kezelések egy részének jelentős, 20% körüli alá vagy

túlbecslése hódzik meg. Az adatokból megállapítható továbbá, hogy a két vizsgált évet tekintve nem volt egy kitüntetett kezelés sem, amelyben a becslés pontossága szisztematikusan jobb/rosszabb lett volna.



32. ábra: A 4M modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények (Látókép, 2005-2006)

ÓSZ: őszi szántás, TSZ: tavaszi szántás, TSM: tavaszi sekélyművelés, N 0: 0 kg ha⁻¹ N, N 120: 120 kg ha⁻¹ N

TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

| | |
|---|----|
| 1. táblázat: Hasonlóság meghatározása a Rang módszer segítségével | 7 |
| 2. táblázat: Hasonlóság meghatározása a CLIMEX módszer segítségével | 8 |
| 3. táblázat: Módosított hasonlósági index meghatározása | 9 |
| 4. táblázat: Analóg területek NUTS3 kódjai | 11 |
| 5. táblázat: Analóg régiók földhasználati típusai és nagysága | 15 |
| 6. táblázat: Analóg régiók földhasználati típusainak aránya a régió területéhez képest | 15 |
| 7. táblázat: Analóg régiók földhasználati típusainak diverzitási indexei | 17 |
| 8. táblázat: Termesztett növények területe az analóg régiókon | 18 |
| 9. táblázat: Termesztett növények területének aránya a szántóföldhöz képest | 20 |
| 10. táblázat: A termesztett növények területének diverzitása | 22 |
| 11. táblázat: Az alkalmazott műtrágya-hatóanyag mennyiségek (kg/ha) | 29 |
| 12. táblázat: A frakciók mennyiségi változásai a vizsgált szervesanyagok hatására (a kontrollminta tömegének %-ában) | 35 |
| 13. táblázat: A 4M modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények (Látókép, 2005-2006) | 66 |
| | |
| 1. ábra: Analóg területek elhelyezkedése és érzékenysége a vizsgát időtáblákra | 10 |
| 2. ábra: Analóg területek és a scenáriók által mutatott klíma összehasonlítása | 13 |
| 3. ábra: Régiók, melyek analóg területe Debrecen | 14 |
| 4. ábra: Analóg régiók földhasználati hasonlósági mintázatai | 16 |
| 5. ábra: Termesztett növények területének hasonlósági mintázatai | 19 |
| 6. ábra: Termesztett növények területarányainak hasonlósági mintázatai | 21 |
| 7. ábra: A nedves szitálás és a homok-korrekció lépései | 33 |
| 8. ábra: A különböző nedvesítési módszerekkel kapott frakciók mennyisége a vizsgált kezelésekben és mintavételi mélységekben (1 g talajmintára vonatkoztatva 95%-os megbízhatósági szinten) | 34 |
| 9. ábra: A mintaterület légi fotója (a kép felső részében a Kísérleti telep központja látható, a színessel kiemelt területek az Intézet tartamkísérleteinek helyét mutatják) | 40 |
| 10. ábra: A mintaterület három dimenziós domborzatmodellje | 41 |
| 11. ábra: A talajvízszint változása az Alföldön 1981-91. között (Forrás: Liebe P. 2000) | 43 |
| 12. ábra: A TIKÖVÖZIG kezelésében lévő talajvízkutak (kék színnel) elhelyezkedése (Forrás: TIKÖVIZIG) | 43 |

| | |
|---|----|
| 13. ábra: A mintaterület domborzata..... | 44 |
| 14. ábra: A Látóképen hullott csapadék mennyisége 2005.10-2007. 06. között..... | 45 |
| 15. ábra: A TIKÖVÖZIG kezelésében lévő talajvízkutak vízállásának változása..... | 45 |
| 16. ábra: A vízkivételi helyek pH értékei (Látókép 2005-2007)..... | 47 |
| 17. ábra: A talajvíz NO ₃ -N dinamikája (Látókép 2005-2007)..... | 47 |
| 18. ábra: A talajvíz ásványi N dinamikája (Látókép 2005-2007)..... | 48 |
| 19. ábra: A talajvíz összes foszfor tartalma (Látókép 2005-2007)..... | 49 |
| 20. ábra: A napi csapadék (mm/nap) eloszlása (Látókép, 2005-2007)..... | 51 |
| 21. ábra: Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészedőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2005)..... | 53 |
| 22. ábra: Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség tenyészedőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2006)..... | 54 |
| 23. ábra: Talajművelési eljárások hatása a talajnedvesség szelvénybeli eloszlására (Látókép, 2007)..... | 55 |
| 24. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj NO ₃ -N-tartalmának tenyészedőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2005)..... | 56 |
| 25. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj NO ₃ -N-tartalmának tenyészedőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2006)..... | 57 |
| 26. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a talaj NO ₃ -N-tartalmának tenyészedőszak alatti dinamikájára (Látókép, 2007)..... | 58 |
| 27. ábra: Talajművelés és műtrágyázás hatása a könnyen felvehető NO ₃ -N-készlet alakulására a talaj felső 100 cm-es rétegében a tenyészedőszak elején és végén (Látókép, 2005-2007)..... | 59 |
| 28. ábra: Az átlagos pH _{KCl} -mérés 95%-os valószínűségi szinten becsült hibája a mintaszám függvényében a talaj 0-5 cm-es rétegében..... | 61 |
| 29. ábra: Talajművelés, műtrágyázás és az öntözés hatása a talaj pH _{KCl} -értékére (Látókép, 2007)..... | 62 |
| 30. ábra: A talaj felső 100 cm-es rétegének becsült és mért nedvességtartalma (Látókép, 2004-2006)..... | 64 |
| 31. ábra: A talaj felső 100 cm-es rétegének becsült és mért nitrát-N tartalma (Látókép, 2004-2006)..... | 65 |
| 32. ábra: A 4M modell által becsült és a kísérletben mért terméseredmények (Látókép, 2005-2006) ŐSZ: őszi szántás, TSZ: tavaszi szántás, TSM: tavaszi sekélyművelés, N 0: 0 kg ha ⁻¹ N, N 120: 120 kg ha ⁻¹ N..... | 67 |