

**DEBRECENI EGYETEM**  
**AGRÁR- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYOK CENTRUMA**  
**MEZŐGAZDASÁG-, ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR**  
**AGROKÉMIAI ÉS TALAJTANI INTÉZET**

**KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS REGIONÁLIS**  
**TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

*Doktori iskola vezető:*

**Dr. Nagy János**

MTA doktora

*Témavezetők:*

**Dr. habil. Vágó Imre**

mezőgazdasági tudományok kandidátusa

és

**Dr. habil. Kátai János**

mezőgazdasági tudományok kandidátusa

**A TÁPANYAGELLÁTÁS, A HIBRID ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A KUKORICA (*ZEAMAYS L.*)**  
**TERMÉSÉRE ÉS TÁPELEM-FELVÉTELI DINAMIKÁJÁRA MEZŐSÉGI TALAJON**

*Készítette:*

**Sipos Marianna**

**Debrecen**

**2013**

**A TÁPANYAGELLÁTÁS, A HIBRID ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A  
KUKORICA (*ZEA MAYS L.*) TERMÉSÉRE ÉS TÁPELEM-FELVÉTELI  
DINAMIKÁJÁRA MEZŐSÉGI TALAJON**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében  
a növénytermesztési és kertészeti tudományágban

Írta: Sipos Marianna okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája  
(Növénytermesztési és kertészeti tudományok programja) keretében

Témavezetők: Dr. habil. Vágó Imre mezőgazdasági tudományok kandidátusa és  
Dr. habil. Kátai János mezőgazdasági tudományok kandidátusa

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Loch Jakab	DSc
tagok:	Zsuposné Dr. Oláh Ágnes	CSc
	Dr. Füleky György	CSc

A doktori szigorlat időpontja: 2011.08.25.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

A bírálóbizottság:

elnök:	.....	.....
tagok:	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....

Az értekezés védésének időpontja:.....

# **Tartalomjegyzék**

1. Bevezetés .....	1
2. Témafelvetés, célkitűzések .....	2
3. Irodalmi áttekintés .....	5
3.1. A termesztett kukorica talaj- és vízigénye .....	5
3.2. A kukorica tenyészideje .....	5
3.3. A kukorica termését meghatározó tényezők .....	7
3.4. A kukorica makroelem-ellátása és felvétele a tenyészidőszak során .....	8
3.4.1. Nitrogénellátás .....	11
3.4.2. Foszforellátás .....	16
3.4.3. Káliumellátás .....	20
3.5. A vízellátás hatása .....	22
4. Anyag és módszer .....	25
4.1. A vizsgált évek időjárásának jellemzése .....	25
4.1.1. A 2008. év időjárásának jellemzése .....	25
4.1.2. A 2009. év időjárásának jellemzése .....	26
4.2. A szántóföldi kisparcellás kísérlet paramétereinek bemutatása .....	27
4.3. Növényminta vételek és a minták vizsgálata .....	31
4.4. Talajmintavételek és a minták vizsgálata .....	32
5. Eredmények és értékelésük .....	34
5.1. A 2008-as év eredményeinek értékelése .....	34
5.1.1. Terméseredmények .....	34
5.1.2. A kukorica zöldtömegének és szárazanyag-mennyiségének alakulása a 2008- as tenyészidőszak során .....	36
5.1.3. A talaj kémhatásának alakulása a 2008-as tenyészidőszak során .....	41
5.1.4. A kukorica nitrogénfelvétele a 2008-as tenyészidőszakban .....	42
5.1.5. A kukorica foszforfelvétele a 2008-as tenyészidőszakban .....	48
5.1.6. A kukorica káliumfelvétele a 2008-as tenyészidőszakban .....	58
5.2. A 2009-es év eredményeinek értékelése .....	65
5.2.1. Terméseredmények .....	65
5.2.2. A kukorica zöldtömegének és szárazanyag-mennyiségének alakulása a 2009- es tenyészidőszak során .....	67
5.2.3. A talaj kémhatásának alakulása a 2009-es tenyészidőszak során .....	72
5.2.4. A kukorica nitrogénfelvétele a 2009-es tenyészidőszakban .....	72
5.2.5. A kukorica foszforfelvétele a 2009-es tenyészidőszakban .....	79

5.2.6. A kukorica káliumfelvétele a 2009-es tenyészidőszakban .....	85
5.3. A műtrágyázás hatékonyságának és a talaj tápelem-készlete feltáródásának vizsgálata .....	92
6. Következtetések, javaslatok.....	96
7. Új és újszerű tudományos eredmények .....	102
8. A gyakorlatban hasznosítható eredmények .....	103
9. Összefoglalás .....	104
10. Summary .....	109
11. Irodalomjegyzék .....	114
12. Publikációk az értekezés témakörében .....	131
13. Táblázatok jegyzéke: .....	137
14. Ábrák jegyzéke .....	138

## 1. Bevezetés

A kukoricát – az Antarktisz kivételével – minden földrészen, nagy területen termesztik. Az agrártermelés meghatározó növénye, a mezőgazdasági termeléssel foglalkozó lakosság megélhetésének forrása – független attól, hogy közvetlen élelmiszerként fogyasztják, takarmányként vagy ipari nyersanyagként hasznosítják. A termesztés területét tekintve, csakúgy, mint a termésmennyiségeket illetően a kukorica világviszonylatban is meghatározó növényünk (FAO Production Yearbooks), a harmadik legfontosabb gabonanövény. Több országban termesztik, mint bármely másik gabonanövényt, ezen kívül termése is jóval meghaladja a többi gabonaféle termésmennyiségét (Fageria et al., 1991).

Magyarország természeti adottságai lehetővé teszik számos olyan növény termesztését, amelyek a tőlünk délebbre elhelyezkedő országokban rentábilisak, viszont tőlünk északabbra már nem termesztethők gazdaságosan (Füleky, 1999). E növények közé tartozik a kukorica is, amely esetében a termesztő országok élvonalához tartunk (Fageria et al., 1991).

A kukoricatermesztésben fontos, hogy a korábbi ajánlásokat időszakosan értékeljük, mert így biztosíthatjuk, hogy a termesztési gyakorlat lépést tart a genetikai változásokkal.

A mindenkori természeti és termelési adottságokhoz leginkább akkor tudunk alkalmazkodni, ha a már meglévő eredmények figyelembe vétele mellett folyamatosan újabb és újabb ismereteket gyűjtünk az új hibridek terméséről, adaptációs képességéről és nem utolsósorban tápanyag felvételéről, fejlődéséről. Ennek tükrében pedig a termelést, a tápanyag gazdálkodást, öntözést és egyéb agrotechnikai paramétereket is mindinkább az adott genotípus igényeihez tudjuk igazítani.

A kukorica fejlődésének tanulmányozása szempontjából döntő jelentőségű a tápanyag-felvétel, ezen belül is főként a makroelemek felvételének vizsgálata a különböző évjáratok során, amely alapján növelhetjük a termelésben az adott esetben meglehetősen szélsőséges körülményekre adott agrotechnikai műveletek hatékonyságát. A növény – a vegetáció során folyamatosan változó – igényének folyamatos ellátásával, illetve az egyes termesztési tényezők optimális, kiegyensúlyozott szinten tartásával biztosíthatjuk minden körülmények között a növényi produkciót.

E vizsgálatokhoz a tartamkísérletek nélkülözhetetlen eszközök a mezőgazdasági rendszerek fenntarthatóságával kapcsolatos információk gyűjtésében.

## **2. Témafelvetés, célkitűzések**

A kukoricával kapcsolatos újabb és újabb kutatások alapja egyrészt, hogy a növény ilyen széles körben elterjedt, számos országban termesztik, illetve hogy magas terméspotenciállal rendelkezik. Másrészt felhasználása is rendkívül sokrétű lehet – élelmiszerként, takarmányozási célra, ipari nyersanyagként, energetikai hasznosításra (Mengel, 1993).

Meg kell jegyezni azt is, hogy a globális éghajlatváltozás hatására megváltoznak a termesztési körülmények, amely szintén a növény további termesztéstechnológiai kutatását teszi szükségessé. Ezt igazolja például, hogy Jeney et al. (1985) szerint adott terület klimatikus jellemzőinek alakulását 65 %-ban az évjárat és 35 %-ban a termesztési terület országon belüli elhelyezkedése határozza meg. Carter et al. (1991) globális léptékű előrejelzése szerint az évi átlagos középhőmérséklet +1°C-os változása a kukorica termesztésére alkalmas zóna határát mintegy 300-330 km-rel tolja észak felé. Azonban fontosnak tartjuk annak vizsgálatát is, hogy – a nemesítés mellett – megfelelő agrotechnika alkalmazásával adott területen milyen mértékben vagyunk képesek ellensúlyozni a szélsőséges hőmérsékleti és csapadékviszonyok hatását (Csomor és Lambert, 1987). Varga-Haszonits (1987) szerint az időjárás ingadozása akár 20%-os termésingadozást is eredményezhet. Ez irányban a Kaiser et al. (1993), valamint Menyhért (1995) által végzett kísérletekben megállapították, hogy a megfelelő időpontban elvégzett agrotechnikai beavatkozások és a fajtaválasztás segíthet az alkalmazkodásban. Zhang et al. (2007) hasonlóképpen agrotechnikai (vetésidő megválasztása) eszközök és hőség által okozott stresszre kevésbé érzékeny fajták alkalmazását javasolják annak elkerülése érdekében, hogy a növény fiziológiai folyamataiban visszafordíthatatlan károsodást okozzanak az időjárási anomáliák. Mindemellett Antal és Szesztay (1996) nem csupán a fenntarthatóság, hanem az energiaárak és ezáltal a gazdasági érdekek figyelembevételét tartja szükségesnek, csakúgy, mint korábban Ruzsányi (1992b). Ehhez pedig elengedhetetlen a növény-környezet rendszer minél alaposabb ismerete.

A kukoricatermesztés eredményességét és hatékonyságát – önmagában is összetett – ökológiai, biológiai és az agrotechnikai tényezők együttesen határozzák meg. Ezek a tényezők külön-külön is markáns hatást gyakorolnak, azonban komplex szemléletük elengedhetetlen (Mengel és Kirkby, 1982; Csathó et al., 1991; Debreczeni és Berecz, 2000; Huzsvai és Nagy, 2005; Nagy et al., 2007).

Adott termőhelyen az ökológiai adottságokat a jól megválasztott és kellő időben alkalmazott eljárásokkal bizonyos mértékig képesek lehetünk módosítani, illetve azok esetleges negatív hatását mérsékelni (mint pl. aszály, vegetációban hullott csapadékmennyiség stb.). A termőhely adottságainak ismeretében nagy figyelmet kell fordítani a megfelelő fajta, illetve hibrid kiválasztására, hiszen a jó genetikai alapok jelenthetik a sikeres termesztés egyik kulcsát. A folyamatosan változó termőhelyi viszonyok azonban újra és újra megkövetelik az esetleges évtizedes tapasztalatok felülvizsgálatát, ellenőrzését. A piacon évről évre újabb kukorica hibridek jelennek meg, amelyek az egyre változó, olykor szélsőséges és szeszélyes időjárási anomáliák hatását egyre inkább tolerálják, valamint adott termőhelyi viszonyokhoz egyre jobban alkalmazkodnak és nagyobb, biztonságosabb termést ígérnek. Fontos hangsúlyozni mennyire fontos ezek termésének, tápanyag-ellátásának tanulmányozása, hiszen egymástól alig elválasztható növénytermesztési tényezők a tápanyag- és vízellátás. Az előbbi szempontjából döntő jelentőséggel bír maga a talaj, illetve a benne lejátszódó talajképző és különböző átalakulási folyamatok. Azonban mivel a talaj is számos élőlényt magában foglal, sőt egyes definíciók szerint maga is élőnek tekintendő, a folyamatos változás és átalakulás jellemzi. Tápanyagkészlete, tápanyag-szolgáltató képessége és átalakulási – humifikációs és mineralizációs – folyamatai sem konstansak, hanem rövid- és hosszútávon változnak. Tulajdonságainak ismeretében azonban kellő időben, kellő módon és dózisban megválasztott tápanyag-formával befolyásolhatjuk az épp uralkodó folyamatokat. Az egyik ilyen meghatározó és jelen dolgozatban is vizsgált tényező a vízellátás, amely nagymértékben befolyásolja a tápanyagok átalakulási, transzport-, felvételi és hasznosulási folyamatait. Mivel az utóbbi évtizedekben egyre inkább növekszik a szélsőséges időjárással jellemezhető évek száma, indokolt a korábban megállapított kölcsönhatások újbóli és további vizsgálata annak érdekében, hogy a lehető legpontosabban tudjunk alkalmazkodni a megváltozó körülményekhez.

A jelen dolgozat alapját képező tartamkísérlet szintén több növénytermesztési tényező hatásait és kölcsönhatásait vizsgálja. Az alkalmazott, különböző tenyészidő-hosszúságú kukorica genotípusokat adott évjáratnak megfelelő mértékben öntözött, illetve csupán a természetes úton a talajba kerülő vízmennyiséggel rendelkező kezelésekben vizsgálják. Minden hibridet és vízellátási formát a kontrollon kívül 5 növekvő tápanyag-lépcső kijuttatásának függvényében is tesztelnek. Így nyílik lehetőség számos, a vizsgált tényezők közötti kölcsönhatás, valamint az egyes tényezők egyedi hatásának vizsgálatára a különböző évjáratokban.

Vizsgálataink során a következő célokat tűztük ki:

- Az adott évjárat hatásának, valamint az egyes kukorica genotípusok **tenyészideje**, az **öntözés** és a **tápanyagellátás** hatásának, ill. a közöttük fellépő kölcsönhatások vizsgálata a kukorica **biomassza- és szemtermésére**, a **talaj tápanyag-készletére** és a **növényi** biomassza **tápelem- koncentrációjára**
- A talaj és a növény tápelem-készlete, valamint a növény által kivont tápelem-mennyiség alapján **a tápelem-felvétel dinamikájának** vizsgálata a tenézszezidőszak folyamán
- Az egyes vizsgált makroelemek tekintetében a gyakorlat számára átadható, kiegyensúlyozott és a növény aktuális igényének megfelelő, **fenntartható tápanyag-ellátást célzó következtetések** levonása.



### **3. Irodalmi áttekintés**

#### **3.1. A termesztett kukorica talaj- és vízigénye**

**Talajigény** szempontjából elmondható, hogy a termesztett kukorica a gabonafélék közül a talajra, illetve annak kultúrállapotára a legigényesebb (Nagy, 2005). Nagy termést viszonylag mély termőréteggel rendelkező, humuszban és tápanyagokban gazdag, jó tápanyag-szolgáltató képességű, közép kötött vályogtalajon ad. Azonban az 5,6 alatti pH-jú talajon már visszaesés mutatkozik a termésmennyiségben. Igen fontos tényező a talaj hőmérséklete is: az optimálistól – főként negatív irányban – eltérő talajhőmérséklet nagymértékben befolyásolja a gyökerek fejlődését (Ching és Barber, 1979) és ezen keresztül a tápanyagok felvételét is (Mackay és Barber, 1984).

A kukorica a kifejezetten vízigényes növényeink közé tartozik. A **vízigény** szempontjából Magyarországon és világszerte egyaránt a kritikus vízellátással jellemezhető időszakokat kell megemlíteni, főként, ha az utóbbi éveket vizsgáljuk. A produkciót a megfelelő tápanyag-ellátottság mellett nemcsak a csapadék mennyisége, hanem a talajban rendelkezésre álló – bármilyen eredetű – vízmennyiség is meghatározza (Dóka és Pepó, 2007; Pepó et al. 2006). A megfelelő vízellátás mindenekelőtt a kevésbé kötött, nagy pórustérfogattal jellemezhető talajokon kritikusabb, hiszen e talajok víztartó képessége csekély, ezzel szemben pedig a nagy tömegű növényi produktum képzéséhez elengedhetetlen a kellő mennyiségű víz. Kritikus időszaknak főként a július-augusztus hónapok számítanak (Geisler, 1988), vagyis a virágzás és a szemképzés időszaka. Ekkor a növény vízigénye 460 és 600 mm között változik (Fageria et al., 1991). A vízhiány akár drasztikus terméseszkökenéshez vezethet, attól függően, hogy a növény milyen fejlettségi fázisban van, milyen genetikai stressztűrő képességgel rendelkezik, valamint, hogy a stressz hatás milyen mértékben és mennyi ideig sújtja a növényállományt (Lorens et al., 1987).

#### **3.2. A kukorica tenyésztése**

A termesztett kukorica hibridek tenyésztésének hosszát mindenekelőtt a genetikai tulajdonságok, illetve a termőhely klimatikus adottságai és az évjárat határozzák meg (Jugenheimer, 1958; Váczi, 1973).

A napjainkban használatos és általánosan elterjedt FAO számos tenéztidő-hossz meghatározást több, más módszerrel történő jelölés előzte meg. A termőhely és az

évjárat jelentősen befolyásolja a kukorica éréséig eltelt napok számát. Idővel a tenyészidő végének jellemzésére egyre inkább elterjedt a szemnedvesség meghatározása. A termőhelyenkénti napi hőmérsékleti adatok gyűjtése és feldolgozása helyett sokkal egyszerűbbnek látszott a szemnedvesség mérése. Az utóbbi évtizedekben egyre csökkenő nedvességtartalom jelentette a tenyészidő végét. A nemesítési munka előrehaladásával olyan új hibridek jelentek meg, amelyek más, a korábbi sztenderd hibridekhez viszonyítva később virágoztak, de a gyors vízleadás révén valójában korábbi érési idejük van. A globális világban kialakuló versenyhelyzet, az objektív, mindenki által egyformán értelmezett fajtakísérletezés a tenyészidő pontos definiálását és mérését követelte meg. Annak érdekében, hogy világszerte azonos módon lehessen a kukorica tenyészidejét értelmezni, 1954-ben, Rómában a FAO VII. – kukorica és cirok témájú – kongresszusán a világ különböző tenyészidejű fajtáit és hibridjeit 9 éréscsoportra osztották fel (Jugenheimer, 1958). A legkorábbi a 100-as, legkésőbbi pedig a 900-as csoport lett. A FAO szám megjelöléssel azonosítható az éréscsoport (első számjegy), a hibrid éréscsoporton belüli helye (második számjegy), valamint a szem típusa (harmadik számjegy). Meg kell azonban jegyezni, hogy mivel ma már zömében sárga és lófogú kukoricát termesztnek, e harmadik számjegy jelentősége elenyészővé vált (Szieberth, 2001).

Figyelembe véve a korábbi vizsgálatok eredményeit, megállapítható, hogy a különböző évjáratok eltérő időjárási viszonyai differenciált hatással bírnak a különböző tenyészidejű hibridek fejlődésére. A hibridek termését befolyásolja a tenyészidőszakuk hossza, a későbbi hibridek alkalmazkodóképessége gyengébb (Pintér, 1979). Azonban azt is meg kell jegyezni, hogy az utóbbi időben termesztett hibridek terméshozamuk sok esetben nem a növényenkénti termés megnövekedésének köszönhető, hanem inkább az alkalmazható nagyobb töszámnak, nagyobb stressz tűrő képességnek (főként a növények közötti versengés esetén), valamint a nagyobb levélfelületének és a hatékonyabb gyökérrendszerének. Ezek révén hatékonyabbá válik a napfény, a víz és a tápanyagok hasznosítása (Tollenaar és Wu, 1999; Tokatlidis és Koutroubas, 2004; Raymond et al., 2009).

A termés mennyiségét és minőségét alapvetően meghatározzák az adott kultúrnövény biológiai adottságai, valamint a termesztés körülményei, úgymint a termőhely ökológiai viszonyai és a tápanyag- és vízellátás. Az eltérő genotípusú hibridek tápelem-felvételében és növekedési dinamikájában eltérés mutatkozik (Lásztity et al., 1985a és b; Elek et al., 1980). Misra és Mukund (2001) 20 különböző

kukoricafajta vizsgálata során azt tapasztalták, hogy az egyes fajták között jelentős, akár közel 100%-os eltérés mutatkozik mind a szemtermés, mind a beltartalmi mutatók (fehérje-, olaj-, keményítő- és hamutartalom) tekintetében. Fabijanac et al. (2006) ennél kisebb, mégis szignifikáns eltérést tapasztaltak az általuk vizsgált öt hibrid esetén. Neilsen (1988) ezzel ellentétben korábban nem tapasztalt szignifikáns mértékű eltérést az eltérő relatív érésidejű hibridek termésében. Eltérő genotípusú kukorica hibridek trágyaigényét és trágyahasznosítását vizsgálva Pepó (2001) megállapította, hogy e két mutató jelentősen eltérhet egymástól; javaslata szerint azon hibridek kedvezőek, amelyek  $N_{opt} + PK$  trágyaszinten hoznak nagy termést. Azonos eredményre jutottak az USA-ban Miao et al. 2006-ban, hangsúlyozva a hibrid-specifikus N-managementben rejlő potenciált.

Összegezve megállapítható, hogy az utóbbi évtizedek során jelentős változást tapasztalhattunk mind a tenyészidőszak megállapítását célzó módszerek alakulásában, mind az alkalmazott fajták és hibridek körében, illetve azok termésmutatóiban. Ez a gyors és intenzív ütemű fejlődés indokolja az újabb és újabb hibridek bevonását a már folyó vizsgálatokba, valamint támogatja azt a törekvést, hogy a hibridek tulajdonságainak minél teljesebb megismerésével meg tudjuk találni az adott termőhelyi adottságoknak leginkább megfelelőket.

### **3.3. A kukorica termését meghatározó tényezők**

Kreuz (1977), Pakurár et al., (2004) Huzsvai és Nagy (2005), Megyes et al. (2005), Kátai et al. (2006) szerint a kukorica termését mindenekelőtt a napsütés, a hőmérséklet, a növény számára felvehető tápanyagok mennyisége, valamint a vízellátás befolyásolja. Szász (1988), ill. Novák és Vidovic (2003) megállapítása alapján a talaj hőmérséklete és vízellátása is befolyásolja mind a növényi tápanyagok rendelkezésre állását, mind azok felvételét.

Azonban a felvett tápanyag mennyisége, ezen keresztül a kijuttatott tápanyagok hatása és hasznosulása, így a növény növekedése nagymértékben függ az évjáratától (Csathó et al., 1991; Kádár, 1992; Nagy és Huzsvai, 1995; Nagy, 2007a), a termőhelytől, valamint a genetikai tulajdonságoktól (Bruetsch és Estes, 1976; Pintér, 1979; Debreczeni és Berecz, 2000) és az alkalmazott agrotechnikától. Az évjárat hatása sok esetben meghaladja bármely más befolyásoló tényezőét és nem módosítható teljes mértékben a többi növénytermesztési tényező optimális megválasztásával (Liang et al., 1991; Sárvári és Szabó, 1998; Nagy, 2000). Korábban Pintér és Szirbik (1977) az

évjárat hatását rangsorolták a befolyásoló tényezők közül az első helyre, míg a tápanyagellátás hatását a második legnagyobb hatású természeti tényezőnek minősítették.

### **3.4. A kukorica makroelem-ellátása és felvétele a tenyészidőszak során**

A növények gyökereken keresztül történő tápanyagfelvételét, illetve a kijuttatott műtrágyák hasznosulását közvetetten a talaj tulajdonságai, a rendelkezésre álló vízmennyiség és a növény alapvető tulajdonságai befolyásolják leginkább. Azonban műtrágyázás hatására a talaj különböző tulajdonságai megváltoznak. Ezek közül kiemelendő a talajoldat tápelem-koncentrációja, amelyet alapvetően az oldható vegyületek mennyisége és a vízellátottság határoz meg (Loch, 2004; Lente és Pepó, 2009). Nagy (1995b, 1996a, 1996b, 1996c) hangsúlyozza, hogy a tervezett termésszinttől függetlenül törekednünk kell a növény tápanyag- és vízigényének, illetve a növény-sűrűség harmonikus megválasztására, a növény igényeinek szimultán kielégítésére. A növény teljes és az egyes fenofázisok időszakos tápelem-igényét a felvétel mennyiségi változása mutatja (Debreczeniné, 1965; Debreczeni és Debreczeniné, 1983).

Figyelembe véve a kukorica fejlődését, a következő, tápanyag-gazdálkodási szempontból is meghatározó fázisokat kell kiemelni (Jolánkai, 2005; Nagy, 2007b)):

A 4-6 leveles kukorica növényen már kialakulnak a gyökerek, illetve azok elágazásai, valamint a hajszálgökök, vagyis a gyökéren keresztüli tápanyag-felvétel egyre fokozódik. A szár alsó részén kezdetét veszi a főbb szervek differenciálódása, vagyis a címer, a levelek és a csuhélevelek kialakulása. Ebben az időszakban látványos a növény növekedése és nagy a kukorica tápanyag-igénye. Általános tapasztalat, hogy ebben a fejlődési fázisban csak ritkán éri stressz a növényt, így viszonylag zavartalan a fejlődése. Esetlegesen előfordulhat a hideg okozta stressz, amely a P-ellátásban okoz átmeneti zavarokat.

A gyökérzet intenzíven fejlődik tovább és a szár is megnyúlik a 6-7, majd 8-11 leveles növényen. A szár megnyúlásával párhuzamosan megnő a növény tápelem-, valamint vízfelvétele is. A címer erőteljesen fejlődik. A tápanyaghiány ebben a fejlődési szakaszban gátolhatja a levélnövekedést és terméseszköcsökkenéshez vezethet, de ez a jelenség ekkor még jobbra nem mutatkozik. Gyengébb tápanyag-szolgáltató képességgel rendelkező talajokon adott esetben javasolható a fejtrágyázás.

A címer megjelenése után néhány nappal a kukorica virágni kezd, 2-3 nappal később pedig a bibeszálak is megjelennek. A kukorica víz- és tápanyagigénye a *címerhányás* idején éri el a maximális értéket. A tápanyagfelvétel szempontjából ez a szakasz a legkritikusabb: a káliumfelvétel a teljes felvételi időszak végéhez közeledik, a foszfor- és nitrogénfelvétel is számottevő és egyre fokozódik a tápelemek átrendeződése a levelekből és a szárból a szemtermésbe. Mind a növény növekedését, hozamát, mind a termés minőségét nagymértékben befolyásolja, hogy a növény a szemtelítődés időszakában milyen mértékben jut a fejlődéséhez szükséges vízhez, illetve tápanyagokhoz, amelyekben belül kiemelkedő fontossággal bír a korlátlan mennyiségben rendelkezésre álló szén, valamint a nitrogén; illetve mennyire képes hasznosítani az asszimilátákat (Cazetta et al., 1999).

A *szemtelítődési szakaszban* gyorsan nő a keményítő és a szárazanyag mennyisége. Intenzív a foszfor- és a nitrogénfelvétel, valamint a tápelemek a szemtermésbe történő transzportja. Ebben a szakaszban a fellépő tápanyag- és vízhiány növeli a telítetlen szemek arányát.

A *fiziológiai érés*kor befejeződik a szárazanyag-felhalmozás és elkezdődik a vízvesztési folyamat, valamint elsárgulnak a vegetatív növényi részek (Menyhért, 1985; Nagy, 2007b).

A szárazanyag-képződés és a tápanyag-felhasználás közötti összefüggéseket vizsgálva Kolpakov (1966) megállapította, hogy a kukorica esetében a tenyészidőszak folyamán a felhasznált víz és tápanyag-mennyiség aránya hasonlóképpen alakult és ezt a dinamikát követi a szárazanyag-felhalmozódás is. A kelés idején a szervesanyag-felhalmozódás aránya 20, a vízfelhasználásé 26, míg a tápanyag-felhasználás aránya 22% volt. A termés kialakulásakor az összes felhalmozott szerves anyag 45, a felhasznált víz és tápanyagok 50-50%-a épült be a növényi szervezetbe. Az érés időszakában a szerves anyagoknak már csak 35%-a épült be, míg az összes felvett víz 27, a tápanyagoknak pedig 31%-át használta fel a növény.

Adott állományon belül az egyes növények versengenek a tápanyagért, illetve az energiamennyiségért. Ez a versengés legelőször a fényért folyik, és 11 leveles állapotban indul meg, amikor mintegy 400-415 nap°C eltelt a vetést követően. A vegetatív fázis során az egy növényre jutó energiamennyiséggel leginkább a levelek mérete áll szoros összefüggésben, míg a generatív fázis során a szemek száma egy kalászsoron belül, valamint a magok tömege jellemzi leginkább az energiaviszonyokat (Pommel és Bonhomme, 1998).

A tenyészedőszak során számos tényező befolyásolja a növények növekedését, fejlődését, mint például a tápelemek felvehetőségi viszonyai, a különböző transzportfolyamatok, az tápelemek egymáshoz viszonyított aránya, a vízellátás, a növény biológiai adottságai, stb. 'Sigmond (1934) a termést a talaj könnyen oldható tápelem-készletével hozza összefüggésbe, megállapítva azonban, hogy ezt a kapcsolatot számos tényező befolyásolja. *A növények által felvett tápionok mennyisége függ az adott ion talajoldatbeli koncentrációjától, a talajoldatban uralkodó aktív és passzív (diffúziós, diszperziós és konvekciós) transzportfolyamatoktól, a transzspiráció mértékétől (Novák és Vidovic, 2003), valamint attól a gyökérfelülettől, amelyen a növényi szervezetbe jutnak a tápanyagok (Sattelmacher et al., 1993; Gisi et al., 1997).*

Alessi és Power (1974) megállapítása szerint a közepes érésű hibridek esetén a szár, míg a korábbi hibridek esetében a szemtermés részaránya volt nagyobb. Az intenzív tápanyagfelvétel időszakában különös jelentőséggel bír a rendelkezésre álló tápanyag (Cazetta et al., 1999) és víz mennyisége, hiszen ezek alkotják a növekedés-fejlődés szűk keresztmetszetét. Kiemelkedő fontosságú a növény igényeinek megfelelő, harmonikus tápelem-arány, amely mind a termés mennyiségét, mind pedig beltartalmi értékeit jelentős mértékben befolyásolja (Nel et al., 1996; Ashok et al., 2007). Ellenkező esetben az egyes tápanyagok között fellépő antagonizmus miatt kiegyenlítetlenné válik a növény tápanyagfelvétele és a képzett asszimiláták egymáshoz viszonyított aránya, amely a fiziológiai folyamatokat negatívan befolyásolja, végső soron pedig akár hiánytünetek megjelenéséhez és a termés csökkenéséhez is vezethet.

Magyarországon az általánosan bevált gyakorlat szerint a kukorica tápanyag-visszapótlását többnyire műtrágyázással végzik. Tartamkísérleti eredmények bizonyítják, hogy az egyes, a növényi produkciót meghatározó faktorok közül leginkább a trágyázás eredményez terméstöbbletet. A trágyázás akár 30,7 %-ban is hozzájárulhat a terméstöbblet eléréséhez (Berzsenyi és Gyórfy, 1995). Az 50-es években végzett kísérletekben a műtrágyázás hatását vizsgálva Gyórfy (1959) megállapította, hogy akár 17%-os termésnövekedés is elérhető megfelelő műtrágya-alkalmazással.

A tenyészedő előre haladtával mind a makro-, mind a mikroelem-koncentrációk sajátos dinamikát követnek: a növény fejlődésének kezdetén igen erőteljes növekedést mutatnak, majd később, a növény intenzív növekedésével jelentkezik a hígulási effektus és a koncentrációk csökkennek (Kincsesné et al., 2002). A tenyészedőszak végén látens koncentrációnövekedés figyelhető meg, ez azonban csupán annak tudható be, hogy a növény leadja víztartalmának jelentős részét. A növény tápelem-koncentrációinak

összefüggéseit számos kutató vizsgálta. Mind a szemtermés, mind a szár esetében a mért tápelem-koncentrációk függetlennek bizonyultak a növénytől (Hoff és Medeski, 1960; Ottman és Welch, 1989; Overman et al., 2006). Ez ellentmond Menyhért et al. (1980) állításának, akik szoros korrelációt találtak a tápanyag-ellátottság és a növény szám között. Optimális növénytől esetén nagyobb tápelem-mennyiséget jobban hasznosít a növény, míg kisebb tőszám esetén a növény nem képes a rendelkezésére álló összes tápanyagmennyiséget felvenni és hajlamos a luxusfelhalmozásra (Jordan et al., 1950; Stevens et al., 2005). A tőszámon kívül a növény tápelem-koncentrációját nagymértékben befolyásolja a hibrid és a különböző környezeti tényezők (Schenk és Barber, 1980; Ferguson et al., 1991; Heckman et al., 2003; Raymond et al., 2009).

### **3.4.1. Nitrogénellátás**

A nitrogén a természet egyik legelterjedtebb eleme. A litoszféra nitrogéntartalma ( $18 \times 10^{15}$  t) közel ötszöröse az atmoszféráénak ( $3,8 \times 10^{15}$  t), azonban e mennyiség töredéke található a talajban és annak is csekély része van jelen a növények számára közvetlenül felvehető formában (Mengel és Kirkby, 1982). A kukoricatermesztésben a nitrogént tartják a termést leginkább meghatározó tápelemnek és ezt juttatják ki a legnagyobb mennyiségben (Freeman et al., 2007). A mezőgazdasági termelésben betöltött kiemelkedő szerepe miatt a nitrogénre, mint tápelemre sokkal több kutatási és vizsgálati anyag vonatkozik, mint bármely más tápelemre.

Ma már tényként tartjuk számon, hogy a termés mennyiségét a legnagyobb mértékben a nitrogénellátás határozza meg; a növekvő N-dózisok hatására nő a termés mennyisége. Az összes tápelem közül a nitrogénműtrágyák hatása mondható a leginkább termésnövelőnek (Győrffy és I'só, 1966; Balláné, 1968; Latkovicsné és Krámer, 1968; Bocz, 1974; Bocz, 1976, Anda, 1987; Nagy, 1986; Ahmad, 2000; Reid et al., 2002; Berzsényi, 2009). Ezenkívül a termés minőségére és más elemek felvételére is hatással van (Bruns és Ebelhar, 2006); hiánya világszerte a gabonafélék termésének egyik legfőbb limitáló faktora (Shah et al., 2003; Alvarez és Grigera, 2005).

A nitrogén **hiánya** számos módon csökkenti a termést: egyrészt csökkenti a levélfelületet és a fotoszintetikus aktivitást, így csökken a szárazanyag felhalmozódása (Novoa és Loomis, 1981; Muchow, 1989; Berzsényi, 1993), másrészt romlik a megtermékenyülési arány, fiziológiai és biokémiai változások lépnek fel (Uhart és

Andrade, 1995), ami kisebb számszámot és -tömeget eredményez (Mengel, 1968; Mengel és Kirkby, 1982; Bergmann, 1993; Scheffer és Schachtschabel, 2002).

A tápanyag-utánpótlás és a termés mennyisége között szoros összefüggés mutatható ki (Anda, 1987), főként az egyoldalú talajhasználat – monokultúra – esetében (Dóka és Pepó, 2007). A nitrogénműtrágyázás egyrészt jelentős hatást gyakorol a szárazanyag-felhalmozódás dinamikájára és sebességére, másrészt növeli a szárazanyag-produkciót és a kijuttatott dózis meghatározza mind a vegetatív szervek, mind pedig a termés mennyiségét. A felvétel a kezdeti lassúbb szakaszt követően exponenciális, majd ezt követi egy hosszabb lineáris felvételi szakasz (Lásztity et al., 1985b; Berzsenyi, 2009). Pakisztánban végzett kísérleteikben Shafi et al. (2007) a kontrollkezeléshez képest akár 110%-os termésnövekedést is megállapítottak a nitrogén-műtrágyázás hatására. Ezzel ellentétes számszerűsítési módszerrel Csathó (2003), illetve Izsáki (2008) azt vizsgálta, hogy a N-trágyázással elért terméshez képest mekkora lehet a kukorica termése nitrogén kijuttatása nélkül 40, illetve 10 éves átlagokat tekintve. Ez a relatív termésként meghatározott érték 79 és 94 % között változott. Subedi és Ma (2005) a kukorica különböző fenológiai fázisaiban fellépő nitrogénhiány által okozott terméskiesést külön-külön számszerűsítették: a fiatal növényeknél 30%, a szárba szökkenést követően fellépő hiány mintegy 22% terméskiesést okoz, azonban nem tapasztaltak a címerhányáskor, illetve az ezt követő fázisokban fellépő nitrogénhiány esetében termésdepressziót. Mindemellett a kijuttatott N mennyisége és a tenyészidőszak fiziológiai fázisai hossza (szárba indulás, címerhányás, érés) között is lineáris összefüggés figyelhető meg (Gungula et al., 2003). Bennett et al. (1989) megállapították, hogy noha a nitrogén stressz a levelek kései megjelenését eredményezi, a levelek száma végső soron mind alacsonyabb, mind magasabb nitrogén dózisok esetében közel azonos, vagyis a levelek száma nem megfelelő mutató a nitrogénhiány kifejezésére.

A kijuttatott műtrágyamennyiség érvényesülését az ökológiai tényezők (főként évjárat), a talajtulajdonságok és a növény fajtulajdonságai határozzák meg (Bocz, 1974), amelyek hatását bizonyos mértékig megfelelő agrotechnikai beavatkozásokkal tudunk módosítani. Az egyéb agrotechnikai tényezők (állománysűrűség) megválasztása mellett a kijuttatott nitrogén mennyisége, aránya és főként megosztása határozza meg leginkább a termés mennyiségét (Scharf et al., 2002; Amanullah et al., 2009). Az öntözés kulcsfontosságú a termésmennyiség szempontjából: öntözött körülmények



között a kijuttatott műtrágyák hasznosulása jobb, azokból nagyobb mennyiség realizálódik a termésben (Huzsvai és Nagy, 2003; Márton, 2005).

A műtrágyázás hatása a fajlagos tápelem-tartalomra elsősorban a nitrogénben, illetve annak minden növényi szervben mért koncentrációjában mutatkozik meg (Szalókiné és Szalóki, 2002). A növények általában 2-4 % N-t tartalmaznak, ám ez az érték függ a növény fejlődési fázisától, valamint az adott növényi szervtől, illetve a tápelem-ellátottság mértékétől. A N-műtrágyázás a kukorica által a talajból kivont nitrogén mennyiségére jóval nagyobb mértékben hat, mint a termés növekedésére (Debreczeni és Debreczeniné, 1983). Azt is megállapították, hogy száraz években kisebb a kukorica nitrogéntartalma, mint nedves évjáratokban, vagy öntözött körülmények között (Prokszáné et al., 1995).

Meglehetősen nehéz dolog megállapítani a kijuttatandó tápanyag optimális mennyiségét. A N-műtrágyák kijuttatása akkor vezet eredményre, ha a talaj szerves N-készlete nem kellő mértékben hasznosul, vagy ha a termés túlságosan nagy az adott növény talaj-, illetve környezeti feltételeihez képest (Viswakumar et al., 2008). A növény igényeit meg nem haladó mértékű, a termés növelésére irányuló nitrogéntrágyázás mennyisége kritikus lehet a növényt érő környezeti hatások minimalizálásában (Gehl et al., 2005). Debreczeni és Berecz (2000) megállapítása szerint azonban a növény igényét meghaladó mértékű tápanyag-ellátási szint nem eredményez szignifikáns termésnövekedést. Azt is meg kell említeni, hogy a nitrogén-műtrágyák egy bizonyos (optimális) dóziséig növelik a szemtermés mennyiségét, azonban ezen túl már termésdepresszió figyelhető meg (Lásztity, 1974).

A hazai adatok szerint a kijuttatott átlag 50-70 kg ha<sup>-1</sup> N-műtrágyával nem biztosítjuk a N-igényes növények optimális nitrogénigényét (Csathó, 2003 és 2004). Az elmúlt évtizedek során azonban nagymértékben változott a nézet a kijuttatandó trágyamennyiségeket illetően. Győrffy (1979) az általa vezetett tartamkísérletek eredményei között a 60-as években termesztett hibridek esetében még 80-120 kg nitrogént tekintett optimálisnak, míg a 70-es években ez az optimum elérte a 100-160 kg ha<sup>-1</sup> értéket is. Sárvári (1993) az elővetemény függvényében tágabb optimum-intervallumot adott meg réti talajon: 60-120 kg ha<sup>-1</sup>. Nagy (2007b) 1 tonna szemterméshez, illetve e termésre jutó vegetatív növényi rész képzéséhez 25 kg N, 13 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, valamint 22 kg K<sub>2</sub>O hatóanyagot tart szükségesnek. Dóka és Pepó (2007) a 180 kg ha<sup>-1</sup> N-hatóanyag, illetve a megfelelő P és K-ellátás termésnövelő hatását tartja a legnagyobbknak. Ezzel szemben Sárvári (2005) és Jakab et al. (2005), El Hallof és

Sárvári (2007) a 120 kg ha<sup>-1</sup> N-dózis, és PK-trágyázás esetén kapta a legnagyobb terméseredményeket. Nagy (1995a) nem öntözött termesztésben alacsonyabb, 90-120 kg ha<sup>-1</sup>, míg öntözött körülmények között nagyobb, 150-170 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén kijuttatását javasolja. Ettől valamelyest eltér, ám tendenciaszerűen érvényes Nagy (2007a) későbbi véleménye, amelyben száraz évjáratokban alacsonyabb, azaz maximum 60 kg ha<sup>-1</sup>, míg csapadékkal jól ellátott évjáratokban maximum 120 kg ha<sup>-1</sup> N-műtrágya kijuttatását tartja indokoltnak, hiszen ennél nagyobb dózison már megnő a termelési kockázat. Ez alátámasztja Berzsényi (1993) megállapítását, miszerint a nitrogéntrágyázás hatékonysága csapadékos években jobb, mint száraz évjáratokban. Sairam et al. (1991) is vizsgálták az eltérő N-dózisok hatását és megállapították, hogy a növekvő N-adagokkal nőtt a szemtermés mennyisége is. Izsáki (2008) mélyben karbonátos csernozjom réti talajon 10 évből 6-ban nem tapasztalt jelentős termésnövekedést.

Mindemellett a termőhelyi adottságok is meghatározóak: Miao et al. (2006) hat különböző termőhelyen végzett vizsgálataiban a gazdaságilag optimális nitrogénmennyiség – termőhelytől függően – 93 és 195 kg ha<sup>-1</sup> között változott. Kádár és Márton (2007a) mészlepedékes csernozjom talajon beállított tartamkísérlet eredményei alapján a termések maximális értékét 100-150 kg ha<sup>-1</sup> nitrogénadaghoz kötik. Több szerző is hangsúlyozza a műtrágyákkal együtt kijuttatott szerves trágya fontosságát, a talajéletre és a talaj tápanyag-szolgáltató képességére, illetve a termés mennyiségére és minőségére gyakorolt hatását (Nel et al., 1996; Jamwal, 2005; Sara és Mondal, 2006). Ezzel ellentétben Debreczeni és Berecz (2000) a minimumtrágyázással összehasonlítva nem tapasztalták a termés, illetve a kivont NPK mennyiségének szignifikáns növekedését szerves trágya kijuttatása esetén. Kádár és Márton (2007a) az egyoldalú nitrogéntrágyázás esetén megállapították, hogy 50-100 kg ha<sup>-1</sup> kijuttatott nitrogénadag növeli a szemtermés mennyiségét, az ennél nagyobb dózis azonban termésdepressziót vált ki. Az indokolatlan mennyiségben kiadott, fölösleges nitrogénmennyiség a környezetet is károsan érintheti (Németh és Buzás, 1991; Ruzsányi, 1992a; Sárvári, 1995). A túltrágyázás veszélye a kukorica esetében még inkább fennáll. A kevésbé kötött talajokon nagyobb a kimosódási veszteség (Geisler, 1988). A többi kultúrához képest meglehetősen nagy sortáv miatt jelentős a fedetlen talajfelszín nagysága. Ez elsősorban a tenyészidőszak első 4-6 hetében jelent veszélyt, amikor a növények N-felvétele még meglehetősen kismértékű (Mengel, 1995).

Azonban meg kell említeni azt is, hogy a tápanyag-ellátás hatását az adott évjárat hőmérsékleti és csapadékviszonyai nagymértékben módosíthatják és egyes esetekben az átlagos évjáráthoz képest más dózis eredményez terméstöbbletet, például aszályos évjáratokban a kisebb dózisban kijuttatott műtrágyák hatása sokkal kedvezőbb lehet, mint a nagyobb adagoké (Csathó et al., 1991; El Hallof és Sárvári, 2007; Dobos és Nagy, 1998; Lente és Pepó, 2009). A N-műtrágyázás hatékonysága csapadékos években nagyobb, mint a száraz években (Berzsenyi, 1993). Kedvező és kiegyenlített vízellátás mellett a nitrogén jobban hasznosul, a műtrágyázás képes kompenzálni más, kedvezőtlen hatású agrotechnikai elemeket (Nagy, 2000; Huzsvai és Nagy, 2003).

Egy adott növény növekedéséhez és fejlődéséhez rendelkezésre álló nitrogén mennyisége nem konstans, többek között a rendelkezésre álló vízmennyiségtől is függ. Optimális vízmennyiség esetén a növény a számára optimális mennyiségben vesz fel nitrogént (Traynor, 1980). Amennyiben csupán a víz a limitáló tényező, a nitrogén felvétele nem függ a műtrágyaként kijuttatott N-mennyiségtől, míg ha sem a nitrogén, sem a víz nem limitálja a termést, a növény N-felvétele párhuzamosan nő a növekvő N-dózisokkal (Eck, 1984; Al-Kaisi és Yin, 2003; Pakurár et al., 2004; Rimski-Korsakov et al., 2009). A felvett mennyiségen kívül a rendelkezésre álló vízmennyiség hatással van a növénybeli N-koncentrációra, valamint az eloszlásra (Clarke et al., 1990). Ha a növény igényeitől kevesebb víz áll rendelkezésre, a növény nitrogénigénye is csökken. Ha a növény igényeit kielégíti a rendelkezésre álló vízmennyiség, a növény nitrogénigénye megnő, olyannyira, hogy kompenzálni képes a kimosódási veszteséget, és az esetleges nemkívánatos növekedést fedező tápanyag mennyiségét (Traynor, 1980). Ha az öntözések közötti időintervallum rövid, a növény túlnyomó részben a talaj felső rétegéből veszi fel a nitrogént, illetve a vizet. Ezzel szemben, ha a csapadékhoz nagyobb időintervallumok elteltével jut a növény, a nitrogént a mélyebb rétegekből is képes felvenni (Traynor, 1980). Nótás et al. (2007) tenyészedény-kísérleteinek eredményei ennek ellentmondanak, mivel szerintük a talaj nedvességtartalma nem befolyásolta szignifikánsan a felvett N mennyiségét, ellenben az alkalmazott műtrágyaféleséggel szignifikáns összefüggést mutattak ki.

A kukorica esetében a nitrogén hatékonysága leginkább a genotípus függvénye, következésképpen a nemesítéssel javítható (Moll et al., 1982). A különböző tenyészidejű hibridek esetében a nitrogénműtrágyák szárazanyag- és termésnövelő hatása a vegetációs periódus hosszának függvényében eltérő (Varga et al., 2008; Berzsenyi, 2009). Debreczeni és Debreczeniné (1983) szabadföldi kísérletekben

megállapították, hogy az öntözés sokkal inkább terméstöbbletet eredményezett, mint az intenzív nitrogén-trágyázás.

Trágyázási kísérletekben – pl.  $^{15}\text{N}$ -izotóppal megjelölt kezelésekben (Kuzyakov, 2000) – gyakran azt tapasztalják, hogy a trágyázott kezelések a talajból jóval több N-t vesznek fel, mint a nem trágyázott kombinációk. Ezt Nótás et al. (2007) tenyészedény-kísérlete is alátámasztja. Sőt megállapították, hogy a kijuttatott N-trágya csupán 48-57%-a került be a növényi szervezetbe, illetve a nem trágyázott kezelésekhez képest a trágyázott kezelések a talajból 34-64%-kal több nitrogént vettek fel. Rimski-Korsakov et al. (2009) szintén a kijuttatott N-műtrágyának átlagosan csupán 45%-át mutatták ki a kukorica növényekben. Vízhány okozta stressz és nagyobb kijuttatott N-műtrágya mennyiség esetén ez az érték mindössze 20%. Utóbbi alacsony hasznosulási arány alátámasztja Ma et al. (1995); Macdonald et al. (1997); Pandey et al. (2000) és Moser et al. (2006) korábbi vizsgálatait. Számos más publikációban adtak meg hasznosulási arányt, amely fogalmat kétféleképpen értelmezik a szerzők. Egyrészt jelenti a föld feletti biomassza által fölvetett nitrogénmennyiségre vetített szemtermés tömegét (így pl. Reid et al. (2002) 55%-os hasznosulási szintet), másrészt a kijuttatott mennyiségre vetített növény által felvett tápelem-mennyiséget (Varga et al., 2008).

Összefoglalásként megállapítható, hogy a növényi tápelemek közül általában a nitrogént tekintik a kukorica termésére leginkább hatást gyakorló elemnek. Mind a termés mennyiségére, mind beltartalmi mutatóira kifejti hatását, amelyet számos más tényező – mint például a talajtulajdonságok, egyéb tápelemek, a növény genetikai tulajdonságai és a rendelkezésre álló vízmennyiség – befolyásol. Az évtizedek során változott és a termőhelyi tulajdonságok függvényében ma is változik az optimálisnak ítélt kijuttatandó tápanyag mennyisége. Mind a nitrogén felvételét, mind a növénybeli hasznosulását több termelési faktor határozza meg, illetve az adott évjárat körülményei és a veszteséget eredményező folyamatok is számottevő hatással bírnak a kukorica tápanyag-ellátottságára.

### **3.4.2. Foszforellátás**

A foszfor szintén nélkülözhetetlen tápelem a növényi fejlődés szempontjából. Szerves, illetve szervetlen formában található meg a növényekben. Győri (1984), valamint Loch (2004) szerint a talaj foszfortartalma 0,02-0,10% között mozog, s e két frakció aránya közel 50-50%, míg Dalal (1977) szerint a szerves frakció aránya elérheti az 50-80 %-ot is. Azonban e mennyiségnek csupán csak kis hányada, hektáronként

mintegy 1-2 kg van jelen a talajoldatban, vehető fel közvetlenül a növények számára (Loch, 1992). Egyes szerzők szerint azonban a növények képesek a talaj stabil foszfor-készleteiből is felvenni a foszfort (Gahoonia és Nielsen, 1992; Chen et al., 2002). A növényi növekedés szempontjából optimális talajbeli foszforkoncentráció értéke 0,02 és 1,0 mg dm<sup>-3</sup> P között változik (Rajan, 1973; Loch és Jászberényi, 1995). A növény szárazanyagának 0,1-0,4 %-át alkotja foszfor. Számos anyagcsere-folyamatban részt vesz a foszfor alkotóelemként vagy az energetikai folyamatokon keresztül, mint pl. fehérjeszintézis, növekedés, osztódás, öröklődés.

A növények a foszforból is tartalékokat képeznek, amelyet aztán később, a fejlődés későbbi szakaszában újra képesek hasznosítani és más növényi szervbe (a magvakba) beépíteni. Egyik legfontosabb szerepe a lebontási folyamatokban nyert energia kémiai kötésekben történő elraktározásában és szállításában van, mivel az adenozintrifoszfátban (ATP) lévő foszforsav-anhidrid kötések nagy csoportátviteli potenciálú (nagy energiát tartalmazó) kötések (Boross és Sajgó, 1993). Az energiaháztartásban betöltött funkciója mellett számos növényi életfolyamatban van szerepe, mint pl. a gyökérnövekedés, sejtdifferenciálódás, termékenyülés, magtermés, érés. Alkotóeleme a nukleinsavaknak, foszfoproteineknek, cukorfoszfát-észtereknek, foszfolipideknek, enzimeknek, továbbá a kloroplasztisznak. A tápanyagfelvétel során két szakaszban vesznek föl a növények nagyobb foszformennyiséget, mégpedig a vegetatív fázis kezdetén a megfelelő gyökérképződéshez, valamint a generatív fázisban a virág-, illetve a magképzéshez (Marschner, 1997). A felvétel dinamikája hasonlít a nitrogénfelvételhez, azaz főként a 10-12 leveles fejlettségi állapot és a teljes érés fenofázisa között intenzív a felvétel (Lásztity et al., 1985b). A magasabb rendű növények gyökérszónájában megváltozott kémiai viszonyok uralkodnak, amelyek jelentősen befolyásolják a foszfor oldhatósági és felvehetőségi viszonyait (Darrah, 1993). A gyökérszóna gyökérsavak képzése, vagyis lényegében protonkiválasztása révén a rizoszférában megváltoznak a kémhatás-viszonyok (Bekele et al., 1983; Hinsinger és Gilkes, 1995).

Nem csupán az eltérő agrotechnikai és ökológiai elemek befolyásolják a termést, de az egyes genotípusok között is jelentős eltérések mutatkoznak. A különböző genotípusok eltérően reagálnak és növekednek tápanyag-, ezen belül is foszforhiány, illetve túlsúly esetén, valamint eltérő a foszfor (ezzel párhuzamosan pedig adott esetben a cink, a magnézium és a kalcium) hasznosulása is (Lásztity et al., 1985b; Fageria és Baligar, 1997; Rastija et al., 2008; Ciarelli et al., 1998).

A foszfor felvételének hatékonysága számos talajtulajdonságtól függ, amelyek befolyásolják a növény számára felvehető mennyiséget. Ezenkívül a növény tulajdonságai is meghatározók a P növényen belüli eloszlása szempontjából. A foszfor felvételét befolyásoló talajtulajdonságok közül a kationok mennyisége, az agyagtartalom, a pH és az oldható toxikus Al mennyisége bír döntő befolyással (Jungk és Claasen, 1989; Schenk és Barber, 1979; The et al., 2006; Tchienkoua et al., 2008).

A kukorica közepes *foszforigényű* növény, azonban a megfelelő foszforellátás is pozitív hatást fejt ki a kukorica termésére (Härdter és Horst, 1991). A jó foszforellátottságú növények esetében intenzív gyökérnövekedést figyeltek meg (Anghinoni és Barber, 1980; Sattelmacher et al., 1993). A vegetatív fázisban a levélméret szempontjából a foszforellátás sokkal inkább a levelek hosszára hat, mint a szélességére (Pommel és Bonhomme 1998). Egyes vélemények szerint a megfelelő ellátottságú talajokon a foszfortrágyázás – főként költségtakarékossági okok miatt – a kukorica esetében elmaradhat, sőt ezt sok esetben a gazdák el is hagyják, vagy minimálisra csökkentik a kijuttatott foszformennyiséget. Meg kell azonban jegyezni, hogy a vetésforgó egészét tekintve a foszfortrágyázás nem hagyható el, csak inkább azon növények alá célszerű kijuttatni, amelyek jobban meghálálják (Krisztián és Holló, 1992). A kukorica foszfortrágyázása igen fontos, főként jó termés esetén, amikor is jelentős lehet a negatív tápanyagmérleg a területen. Kádár (1987) véleménye ezt alátámasztva hangsúlyozza, hogy elegendő csupán a terméssel kivont P-mennyiség visszapótlása. Gyenge foszfor-ellátottságú területeken semmiképpen nem hagyható és hanyagolható el a kijuttatás.

A műtrágyákkal, mint például szuperfoszfáttal *kijuttatott foszformennyiség* egy része fontos P-tartalékot képez a talajban, amelyet a későbbiekben a növények képesek hasznosítani. A foszfor lekötődését az adott termőhelyi viszonyok határozzák meg elsősorban. Ezen tulajdonságok termőhely-specifikus trágyázás során történő feltétlen figyelembe vételére hívják fel a figyelmet Loch és Jászberényi (1995). A fölösleges foszformennyiség azonban olyan oldható formák forrásául is szolgál, amelyek a talajvízbe jutva a vízminőség degradációjához vezetnek (Haygarth és Jarvis, 1999; Motavalli és Miles, 2002; Goh, 2008).

A műtrágyákkal kijuttatott, ám a növények által ki nem vont foszformennyiség a talajban akkumulálódik, ezáltal növekszik mind a talaj összes, mind a könnyen oldható foszforfrakciója. Csathó és Radimsky (2005) számításai szerint a 60-as évektől kezdődő túlzott (olykor két-háromszoros dózisu) műtrágyamennyiségek kijuttatásának

köszönhetően talajaink a 90-es évekre átlagosan 800 kg ha<sup>-1</sup> foszforral gazdagodtak. Ezáltal talajaink zöme jól, illetve igen jól ellátottá vált (Buzás et al., 1988; Baranyai et al., 1987). A 90-es évektől kezdve azonban a mezőgazdaság szerkezeti viszonyainak, valamint pénzügyi helyzetének átalakulása miatt az általános gyakorlatban nem, vagy csak igen csekély mennyiségű foszforműtrágyát juttattak ki, ezáltal a tápanyagmérleg negatívvá vált és a növények a korábban feltöltött talajok foszforkészletét élték föl.

Az adott pillanatban a növények számára felvehető foszformennyiséget többek között meghatározza az alapkőzet, a talajtípus, a talajsavanyúság, a talaj (mikro)biológiai aktivitása, a szervesanyag-tartalom, az agyagtartalom, a szerves C-tartalom, a talaj Al-, Fe- és Ca-tartalma, valamint a tápanyag-visszapótlás intenzitása, stb.. A talajtípus függvényében eltérő műtrágyaadagok tekinthetők optimálisnak: barna erdőtalajon 50, csernozjom talajon 60, míg réti talajokon 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Kadlicskó et al., 1988; Csathó, 1992; Harmati, 1995). Kádár és Márton (2007a) az OMTK eredményeit összegezve a kukorica termésmaximumait 150-200 mg kg<sup>-1</sup> ammónium-laktát oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartomány esetén figyelték meg. Izsáki (2008) mélyben karbonátos csernozjom réti talajon 10 év terméseit vizsgálva az esetek valamivel több, mint 50 %-ában tapasztalta a foszfortrágyázás termésmenvelő hatását, amely a nem trágyázott kezelésekhez képest mintegy 11 %-kal nagyobb termést eredményezett. Azonban megállapította azt is, hogy nem esik egybe a maximális és a gazdaságosan elérhető termés. Az optimálistól eltérő (túl kevés, vagy túl sok) kijutatott P mennyiség csökkenti a termésmennyiséget (Csathó et al., 1989, 1991).

*Foszforhiányos* tápanyagellátás esetén lassabban képződnek az első levelek, gyenge a vegetatív fejlődés, anyagcsere-zavarok lépnek fel, lassul a fehérjék és a cukrok szintézise, csökken a képzett keményítő mennyisége, romlik a vízháztartás, késik a virágzás és az érés, nő az aszályérzékenység, csökken a termésbiztonság, illetve romlik más tápelemek (pl. K) hasznosulása (Mengel, 1968; Amberger, 1984; Csathó, 1992; Bergmann, 1993; Debreczeniné, 1999; Mengel et al., 2001; Scheffer és Schachtschabel, 2002; Pokovai et al., 2003; Nagy, 2007a).

A *foszfortúlsúly* is káros lehet, hatására felborul a tápelemek (pl. K, N) aránya. Mivel a foszfor és a cink antagonisták tápelemek, a túlzott mennyiségben jelenlévő P esetén cinkhiány léphet fel, ami a termés mennyiségi és minőségi paramétereire is kedvezőtlenül hat és az eltolódás mértékének függvényében akár 3-4 t ha<sup>-1</sup> terméskiesést is eredményezhet (Shalaby és Kádár, 1984; Kádár és Shalaby, 1986;

Kádár, 1987; Csathó et al., 1989; Kádár et al., 2000; Kalocsai et al., 2004, Kádár és Márton, 2007a).

A foszfor felvételét a többi tápelem közül leginkább a nitrogén befolyásolja. A vegetációs időszak kezdetén a nagyadagú P-kezelés kisebb nitrogénkoncentrációt eredményez, ezzel szemben a tenyészidő további szakaszaiban a nagyobb foszforadagok nagyobb nitrogéntartalmat biztosítanak (Kincsesné et al, 2002).

### **3.4.3. Káliumellátás**

A kálium a globális körforgási rendszerben számos átalakulási folyamatban vesz részt. A kőzetek káliumtartalma mintegy 1,9%. Az illitben és szmektitokban gazdag talajok káliumtartalma 0,2 és 3,3% között változik, a káliumban szegény talajok esetében ez az érték csupán 0,1 és 0,8% között változik az alapkőzet függvényében. A talajok K-tartalma az agyagfrakció mértékével párhuzamosan növekszik. A mikrobiális biomassa K-tartalma szintén jelentős, mintegy 25 és 50 kg K ha<sup>-1</sup> közötti értékre tehető. A talaj káliumtartalmának túlnyomó része szerves formában van tehát jelen, a humuszanyagok gyakorlatilag nem tartalmazzak K-t. A talajban több K-formát különböztetünk meg annak függvényében, hogy milyen mértékű a növények általi felvehetősége: talajoldatban lévő K, kicserélhető, fixált és az ásványok kristályrácsainak alkotóelemeként lévő K (Mengel, 1968; Scheffer és Schachtschabel, 2002; Loch, 2004).

A növények egyértékű kationként, főként aktív úton veszik fel a káliumot. A fő K-felvételi időszak a növény vegetatív fejlődési szakasza, a generatív fázisban a szemtelítődés és érés során a káliumfelvétel nem számottevő (Bergmann és Neubert, 1976). Ezt kiegészíti Lásztity et al. (1985b) megfigyelése is, miszerint a fő felvételi időszak a virágzáskor tapasztalható, majd a betakarítás időpontjáig a növényi koncentráció mintegy 20%-os csökkenést mutatott. A jó K-ellátottság javítja a növény vízháztartását, elősegíti a sejtek turgorállapotának megtartását, szerepet játszik a sztómák szabályozásában, növeli a vízfelhasználás hatékonyságát, és ezáltal a növény hidegtűrésében is szerepet játszik. Részt vesz számos enzimikus folyamatban, a fehérje- és szénhidrátszintézisben, a fotoszintézisben; növeli a betegségekkel szembeni ellenálló képességet, valamint a szárszilárdságot (Mengel, 1968; Debreczeni, 1990; Kádár, 1992; Csathó, 1997; Sárdi, 1999; Mengel et al., 2001; Loch, 2004). A kálium a növényi szervezetben stabilizálja az enzimek szerkezetét, enzimaktiváló szerepet tölt be, valamint a fotoszintézis, a légzés, a fehérjeszintézis, a szénhidrátok és a lipidek képződése során is fontos tápelem (Loch, 2004).



A kukorica kimondottan káliumigényes növény, ezért még jó kálium-ellátottsággal rendelkező talajnál – főként két egymást követő évben is nagy káliumigényű növény termesztése esetében – sem hanyagolható el a K-trágyázás (Buzás, 1983). Ezt alátámasztja Kadlicskó et al. (1988) kísérlete is, amely négy kísérleti évben is szignifikáns terméstöbbletet igazol növekvő K-trágyázás hatására. Sárvári (1986) réti talajon vizsgálta a kukorica termését és tapasztalatai szerint a nitrogén mellett a termést leginkább befolyásoló tápelem kálium, amely megfelelő N és P dózisos mellett akár  $3\text{-}4\text{ t ha}^{-1}$  termésnövekményt is eredményezhet. Szintén a K termésnövelő hatását bizonyította Krisztián et al. (1989), Ruzsányi et al. (1994), valamint Lásztity és Csathó (1994 és 1995). Ezzel szemben áll Bruns és Ebelhar (2006) véleménye, miszerint jó K-ellátottságú területeken a K-trágyázás nem befolyásolja szignifikáns mértékben a termést, sem pedig más elemek felvételét. A K-többlet azonban termésdepresszióhoz is vezethet közvetetten, hiszen a növény számára optimális tápelem-arány eltolódásával csökken más tápelemek felvétele – főként a kalciumé (Kadlicskó et al., 1988).

A kálium igen kevésbé mosódik ki a talajból, amennyiben a kijuttatott és a növények által a talajból kivont K mennyisége megegyezik (Amberger, 1996; Hansen és Petersen, 1975). Csathó (2004) a talaj javuló K-ellátottságának függvényében egyre csökkenő dózisban, jó ellátottság ( $> 200\text{ mg kg}^{-1}\text{ AL-K}_2\text{O}$ ) esetén pedig egyáltalán nem javasol műtrágya kijuttatást az optimális termésszint eléréséhez. Kádár (1992) megítélése szerint hazánk talajainak jó része a jó K-ellátottsági kategóriába tartozik.

Kádár és Márton (2007a)  $150\text{-}200\text{ mg kg}^{-1}\text{ AL-oldható K}_2\text{O}$  esetén tapasztalták a termés maximális értékeit. A kukorica ásványi összetételét vizsgálták Kádár et al. (2000) és azt tapasztalták, hogy eltérő NPK ellátottság mellett a hatleves állapotban lévő kukorica hajtásának ásványi összetétele jól tükrözi a talaj tápelem-kínálatát. Azonban ha több káliumot juttatunk ki, mint a kivont mennyiség, a K felhalmozódik a talajban, ami a kalcium és a magnézium felvételében okozhat zavarokat (Jakobsen, 1993). Ezenkívül a túlzott mennyiségű K-műtrágya nem realizálódik a termésben, hanem a fent említett immobilizációs folyamatok révén átalakul a növény számára kevésbé felvehető K-formák valamelyikévé.

Összefoglalásként megállapítható, hogy a megfelelő káliumellátás javítja a kukorica vízháztartását, szárszilárdságát, ellenálló képességét, szélsőséges időjárással szembeni toleranciáját. Termésnövelő hatása jó kálium-ellátottsággal rendelkező talajokon nem jelentős (Kádár és Márton, 2007a, 2007b; Csathó, 2005; Izsáki, 2008),

azonban gyenge, illetve közepes K-ellátottság esetén szinte talajtípustól függetlenül jelentkezik pozitív hatása (Kádár és Radics, 2008).

### **3.5. A vízellátás hatása**

A növényi produkció alapvető feltétele a megfelelő víz- és tápanyagellátás. Az anyagcsere folyamatok többnyire vizes közegben lejátszódó kémiai reakciók. Ebből következően a növényi élet során a víz mint oldószer, mint szállító és mint tároló közeg fontos szerepet tölt be (Loch, 2004). A növények produkcióját – a genetikai adottságok mellett – a megfelelő tápanyagellátás határozza meg. Erre pedig a kellő időben a talajba kerülő vízmennyiség gyakorol jelentős hatást (Nagy et al., 2007). A két tényező hatása nem külön, hanem kölcsönhatásként jelentkezik (Nagy, 1995b; Nagy, 1996b; Megyes et al., 2000; Szalókiné és Szalóki, 2002). A növényi biomassa-produkcióra az átlagosnál nagyobb nedvességmennyiség hat a legkedvezőbben (Hunkár, 1987). A növény számára felvehető formájú, a talajoldatban oldott tápanyag mennyisége azonban függ e rendelkezésre álló vízmennyiségtől. Ez főként azért bír nagy jelentőséggel, mert a kukorica tenyészidőszaka az évnek a kevesebb lehulló csapadékkal jellemezhető szakaszát teszi ki (Varga-Haszonits, 2005). Birkás et al. (2006) szerint a megfelelő vízellátás és a minél jobb vízháztartás lehet a termésátlagok és a termésbiztonság növelésének kulcsa. Meg kell említeni azt is, hogy nagyobb mennyiségű műtrágya hozzáadásával nagyobb termésmennyiség képződik és javul a növény tápanyag- és vízellátottsága, azonban a tenyészidőszak végén nagyobb vízhiány tapasztalható a nem öntözött kultúrában, mint az öntözöttben (Dóka és Pepó, 2007).

Nagy hangsúlyt kell fektetni a kukorica megfelelő vízellátására annak ellenére, hogy a vegetációs periódus különböző szakaszai során a növény eltérő vízigénnyel rendelkezik (Pletser et al., 1980a, 1980b). Szász (1998), valamint Kismányoki (2005) következtetése szerint a csapadékos (mind meleg, mind hűvösebb) évjáratok eredményeznek nagy termésmennyiségeket, míg a száraz évjáratok ellenkező hatásúak. A vízhiány a tápanyagellátástól függetlenül csökkenti a növényi biomassa mennyiségét (Rimski-Korsakov et al., 2009). Ezzel hasonló következtetésre jutott Bohnert és Bressan (2001) is, akik szerint a vízhiány az egyetlen, leginkább termés-csökkentő hatással bíró tényező a kultúrnövények esetében. A *vízhiány* a kukorica idő előtti öregedéséhez vezethet: negatívan befolyásolja a növény növekedését azáltal, hogy csökkenti a napsugárzás átalakítási arányát, így kisebb mennyiségű biomassa képződik (Ottar et al., 1987; Otegui et al., 1995). A kukorica vízhiányra leginkább érzékeny periódusa a

címerhányás előtti mintegy két héttől az azt követő 2-3 hétig terjedő időszak (Debreczeni és Debreczeniné, 1983; Berzsényi, 1992; Hall et al., 1992; Otegui et al., 1995). A legkritikusabb, egyúttal a maximális vízfelvételi időszak július eleje és augusztus közepe-vége között tart, amikor a növény vízigénye mintegy 200-250 mm. A tenyészidőszak során fellépő vízhiányra mind az elővetemény, mind pedig a vetésváltás hatást gyakorol: monokultúrában a rövidebb tenyészidőszakkal rendelkező elővetemények csökkentik a következő évben fellépő vízhiányt. Ezen kívül vízhiányos, aszályos években az állománysűrűség is fontos tényező: monokultúrában a kisebb tőszám eredményez magasabb termést, míg vetésváltás esetén nincs különbség az alkalmazott tőszámok között (Ruzsányi et al., 2000; Dóka, 2008). Ruzsányi (1987) a középérésű kukorica hibridek tenyészidőszak során felmerülő vízigényét 430-545 mm vízmennyiségben állapította meg. Márton (2005) tartamkísérleti eredmények alapján az optimális csapadékmennyiséget 328-349 mm között számszerűsítette. Eredményei szerint a kiegyensúlyozott tápanyagellátás csökkenti az egységnyi szárazanyag képzéséhez szükséges relatív vízmennyiséget.

A *vízhiány* a növények termését leginkább limitáló tényezők közé tartozik, ezáltal az egyik legfontosabb ökológiai tényező, amely meghatározza a növény növekedését, fejlődését. A virágzás korai szakaszában kijuttatott pótlólagos vízmennyiség akár 89,2%-os termésnövekményt és az öntözés hatékonyságának 41,6%-os emelkedését eredményezheti (Zhang et al., 1998). Ezzel szemben a *túl sok víz* hatására hosszabb lesz a tenyészidőszak (Debreczeni és Debreczeniné, 1983; Hunkár, 1990), később virágzik a növény, romlik a magkötődés és a termés minősége is (Ritter és Beer, 1969). Kezdetben a növény lassabban fejlődik, így kevés vizet vesz fel. A legtöbb vizet a virágzáskor, illetve az ezt követő időszakban – egészen a szemtelítődésig – igényli, hiszen ebben a periódusban épül be a legtöbb szárazanyag a növényi szervezetbe (Pletser et al., 1980b; Begg és Turner, 1976; Otegui et al., 1995). Varga-Haszonits (1997) szerint a kukorica 70-80% közötti relatív talajnedvesség esetén növekszik maximálisan.

A gyökerek által felvett víz mennyisége arányos a növény transzspirációjával, azonban az arányossági tényezőt minden esetben a helyi viszonyok – körülmények határozzák meg (Novák és Vidovic, 2003). A kijuttatott vízmennyiség eltérően hasznosul a populáció, a növény genetikai típusa (Zaidi et al., 2003), valamint az időjárás (Ritchie és Basso, 2007) és talajtényezők függvényében (Geisler, 1988). A hagyományos mezőgazdasági öntözési technológiával a növények biológiai

vízigényének kielégítésére irányuló, minél nagyobb kijuttatott vízmennyiséggel értek el terméshozamot (Ehdaie, 1995). Az utóbbi időben ezzel szemben egységnyi vízmennyiség kijuttatásának ökonómiai hatékonysága került a kutatások középpontjába (Kang et al., 2002). A limitált mennyiségű víz kijuttatása egy adott szintre szorítja vissza a talaj vízhiányát. Ezt a módszert főként ott alkalmazzák, ahol az öntözéshez rendelkezésre álló víz mennyisége korlátozott (Asseng et al., 1998; Stone et al., 2001).

Számos tanulmány foglalkozott az *évjárat* hatásaival; ezek többnyire megegyeznek abban, hogy a kijuttatott tápanyagok hatása és hasznosulása nagymértékben függ az évjáratától (Csathó et al., 1991; Kádár, 1992; Nagy és Huzsvai, 1995; Rastija et al., 2008; Viswakumar et al., 2008). Ez az évjárat hatás azonban valamelyest kiküszöbölhető, illetve enyhíthető ésszerű tápanyag- és vízgazdálkodással. Ezek hatására csökken a terméshozam, vagyis sokkal inkább tervezhető a termés mennyisége és a visszapótolt tápanyagmennyiség is (Nagy, 1996a; 1997). Száraz években a – termőhelyi adottságoknak megfelelő – közepes vagy jó foszfor- és káliumellátás különösen fontos, hiszen ezáltal csökkenhet a vízhiány okozta stressz. Nagyobb műtrágyadózisok kijuttatása azonban sokkal kedvezőbb és eredményesebb lehet száraz évjáratokban, mint átlagos és sokévi átlag feletti csapadékkal jellemezhető években (Nagy, 2007a). Ezzel szemben mind a túl száraz, mind pedig az átlagosnál nedvesebb évjáratokban számolnunk kell a termés csökkenésével; mindazonáltal a száraz évjáratokban ez jóval kifejezettebb (Viswakumar et al., 2008). Szélsőséges évjáratokban eltérően hasznosulnak a tápanyagok is: adott esetben, pl. aszálynál, a kijuttatott tápanyagok termésnövelő hatása figyelhető meg, amely párosul azzal a megfigyeléssel, hogy az évjárat hatása felülmúlja bármely más termesztési faktor hatását (Csathó et al., 1991; Berzsényi, 1993; Nagy és Huzsvai, 1995; Dobos és Nagy, 1998; Megyes et al., 2000; Nagy, 2000; Pakurár et al., 2004). Öntözéssel azonban az aszálykárok mérsékelhetők és megállapítható, hogy megfelelő tápanyag- és vízellátás esetén az évjárat hatásaitól kevésbé függ a terméshozam (Megyes et al., 2000; Huzsvai és Nagy, 2003). Főként szélsőséges évjáratokban Megyes et al. (2000) a trágyázás és a vízellátás kölcsönhatását vizsgálva megállapították, hogy az öntözés hatására elérhető terméshozam meghaladja a trágyázással elérhető többlet mértékét. Ez ellentmond Nagy (1995b és 1996b) véleményének, miszerint külön-külön vizsgálva az egyes termelési faktorokat, a termést 48%-ban a tápanyagellátás, míg 28%-ban az öntözés határozza meg, azonban felhívja a figyelmet arra, hogy ezen tényezők egymással szoros kölcsönhatásban állnak (Nagy, 1995b, 1996b, 1996c).

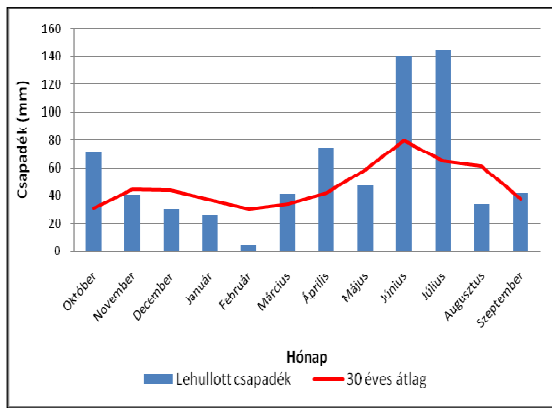
## **4. Anyag és módszer**

### **4.1. A vizsgált évek időjárásának jellemzése**

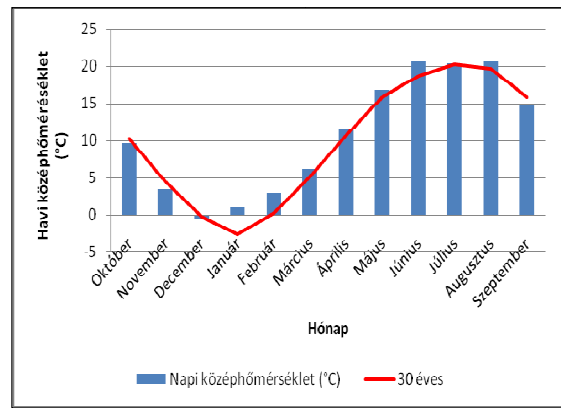
#### **4.1.1. A 2008. év időjárásának jellemzése**

A 2007 őszen, illetve a 2008-as tenyészidőszakban a látóképi kísérleti telepen mért havi csapadékmennyiségeket a 30 éves átlagértékek függvényében az *1. ábrán*, míg az ugyanebben az időszakban mért hőmérsékleti értékeket a *2. ábrán* tüntettük fel.

2007 őszen – az év korábbi szakaszaihoz hasonlóan – szélsőséges csapadékviszonyokat tapasztaltunk. Az október folyamán lehullott csapadékmennyiség (71,4 mm) több mint kétszerese volt a 30 éves átlagmennyiségnek (31 mm). Ez a csapadékmennyiség megfelelő alapnak ígérkezett a téli hónapok talajt telítő csapadékviszonyaihoz. A későbbi hónapokban, novembertől egészen február végéig a lehullott csapadék mennyisége alulmaradt a 30 éves átlagnak. Ezzel szemben a napi, illetve az azok összegéből adódó havi átlaghőmérsékletek november-december hónapban (3,5°C, illetve -0,6°C) alulmaradtak, majd januártól a tenyészidőszak nagy részében, egészen augusztusig, meghaladták a 30 éves átlag értékét. A vetést (2008.04.22.) követő napokban számottevő csapadék nem hullott, azonban május elején néhány napos esős időszak következett be, amely nagymértékben elősegítette a kelést. Május hónap közepétől szintén kiegyenlítettnek tekinthető a csapadékeloszlás, amely kedvező volt a kukorica kezdeti fejlődési szakaszában. Ezzel párhuzamosan a napi átlaghőmérsékletek is az évszaknak megfelelően alakultak, valamelyest meghaladva az átlagértékeket. Június és július folyamán a lehullott csapadékmennyiség az átlagérték közel kétszerese volt (140,1 mm, illetve 144,9 mm, a sokévi átlag 80 mm, illetve 65 mm). A vízellátás szempontjából legkritikusabbnak tekintett címerhányás és szentelítődés időszakában a víz nem számított terméslimitáló tényezőnek. A hőmérsékleti értékek (20,6°C, illetve 20,4°C) a sokévi átlagnak (18,7°C, illetve 20,3°C) megfelelően alakultak, a kukorica fejlődése szempontjából ez a szakasz ideálisnak tekinthető. Augusztusban a lehullott csapadék (34,2 mm) átlagon (61 mm) aluli mennyiségű volt, ám a hőmérsékleti értékek a sokévi tendenciát követték (20,6°C, sokévi átlag 19,6°C). A szeptember közepén lehullott csapadék (33,1 mm) és a hűvösebb időjárás miatt a vízleadás mértéke valamelyest csökkent, ám ezt követően az időjárási feltételek a betakarításig kielégítőek voltak. Összességében a vegetáció során a vetéstől a betakarításig 420,3 mm csapadék hullott.



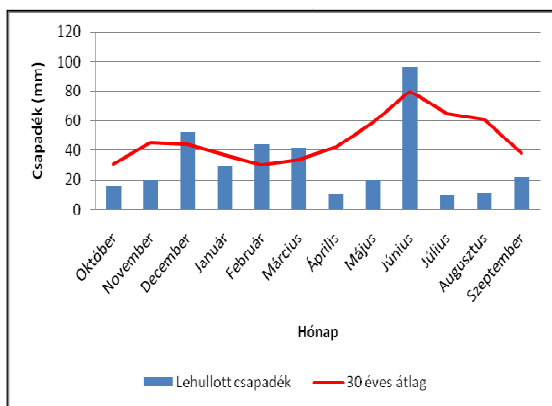
1. ábra: A csapadék mennyiségének alakulása 2007 októbere és 2008 szeptembere között (Debrecen-Látókép)



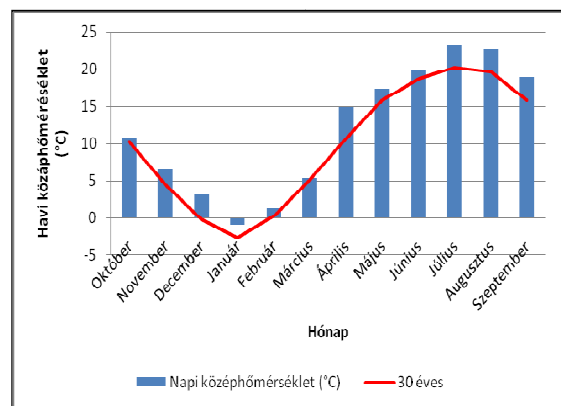
2. ábra: A hőmérsékleti viszonyok alakulása 2007 októbere és 2008 szeptembere között (Debrecen-Látókép)

#### 4.1.2. A 2009. év időjárásának jellemzése

A 2008 őszén, illetve a 2009-es tenyészidőszakban mért havi átlagos csapadékmennyiségeket a 30 éves átlagértékek függvényében a 3. ábrán, míg az ugyanebben az időszakban mért átlaghőmérsékleti értékeket a 4. ábrán tüntettük fel.



3. ábra: A csapadékviszonyok alakulása 2008 októbere és 2009 szeptembere között (Debrecen-Látókép)



4. ábra: A hőmérsékleti viszonyok alakulása 2008 októbere és 2009 szeptembere között (Debrecen-Látókép)

A 2008 októberében és novemberében hullott csapadékmennyiség (16,1 illetve 19,8 mm) a 30 éves átlagérték fele (31 mm, illetve 45 mm) körül volt. A hőmérsékleti viszonyok tekintetében megállapítható, hogy a havi átlaghőmérsékletek a vizsgált időszakban minden hónapban meghaladták a sokévi átlagértékeket. A decemberi csapadékmennyiség (52,2 mm) hozzájárult a talaj vízkészletének növekedéséhez. A januári csapadékmennyiség (29,5 mm) valamelyest elmaradt a sokévi átlagtól (37 mm), ám a február-márciusi (44 mm, illetve 41,6 mm) meghaladta azt (sokévi átlag: 30 mm,

illetve 34 mm). Ezzel párhuzamosan a hőmérsékleti adatok a sokévi átlagot meghaladó, kiegyenlített értékeket mutatnak. A lehullott csapadék mennyisége április (9,9 mm), illetve május (20,1 mm) hónapokban messze nem érte el az átlagértékeket (42 mm, illetve 59 mm). A hőmérséklet azonban továbbra is kiegyenlítettnek mondható (14,9°C, illetve 17,4°C), valamelyest meghaladva a 30 éves átlagok értékét (10,7°C, illetve 15,8°C). Ez is indokolta az április végén, illetve május közepén végrehajtott öntözést. A júniusi csapadékmennyiség (96,6 mm) átlagon (80 mm) felüli volt, a hónap végén hullott csapadék növelte a talaj vízkészletét a következő – a vízellátás szempontjából kritikusnak tekintett – címerhányási időszakra. Ezt követően azonban súlyos csapadékhiány mutatkozott egészen a betakarításig, amely negatívan hatott mind a termésképzésre, mind a szemtelítődésre. A júliusi (9,2 mm, sokévi átlag 65 mm), augusztusi (11,3 mm, sokévi átlag 61 mm) és szeptemberi (21,7 mm, 30 éves átlag 38 mm) csapadékmennyiség kritikusan alacsonynak mondható. A hőmérsékleti értékek változatlanul átlagot meghaladóak voltak. Összességében a vetés és a betakarítás időpontja között 345 mm csapadék hullott a kísérleti területen.

#### **4.2. A szántóföldi kisparcellás kísérlet paramétereinek bemutatása**

A szabadföldi kísérletet a Prof. Dr. Nagy János által 1984-ben, a Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Látóképi Kísérleti Telepén beállított öntözési és műtrágyázási monokultúras tartamkísérlet keretében végeztem a 2008-2009-es tenyészidőszakokban. A több mint két évtizedes monokultúras tartamkísérletben különböző hibridek termését és minőségi paramétereinek változását vizsgálják eltérő műtrágyamennyiségek és az optimális vízellátást biztosító öntözés, illetve a természetes vízellátás hatására.

A kísérleti beállításokban a főparcellákat az öntözött, illetve a csupán a természetes csapadékból származó vízmennyiségre alapozott kezelések, az alparcellákat a különböző kukorica-hibridek, míg az al-alparcellákat a trágyázási változatok jelentik. Két öntözési és hat tápanyag variáció négy-négy ismétlésben került beállításra, így a parcellák száma minden hibrid esetében 48. A kísérlet elrendezési sémáját az *1. sz. Mellékletben* tüntettük fel. 76 cm-es sortáv és 18 cm-es tőtáv alkalmazásával a hektáronkénti tőszámot 70 000-re állították be, amely az intenzív termesztési körülményeknek felel meg. A kisparcellák mérete 7,6 m<sup>2</sup>, vagyis a kukorica-

termesztésben általánosan használt 0,76 m-es sortávolságot alkalmazták és parcellánként két sort vetnek, a sorok hossza pedig 5 m. A bruttó és nettó parcellák mérete megegyezik.

A kísérlet talaja löszön képződött, közepesen kötött, vályog textúrájú, termőrétegében elsavanyodott mészlepedékes csernozjom, amelynek fontosabb paramétereit az 1. és a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

A látóképi kísérleti terület talajának főbb paramétereit (saját mérés)

<i>Termőhely</i>	Debrecen-Látókép
<i>Talajtípus</i>	Mészlepedékes csernozjom
<i>Talaj textúra</i>	Vályog
<i>Arany-féle kötöttségi szám (<math>K_A</math>)</i>	39
<i>pH-H<sub>2</sub>O</i>	6,05
<i>pH-KCl</i>	5,41
<i>pH-CaCl<sub>2</sub></i>	5,73
<i>Hidrolitos aciditás (<math>y_1</math>)</i>	9,07
<i>Összes C-tartalom (%)</i>	1,89
<i>Humusztartalom (%)</i>	2,4
<i>Térfogattömeg (<math>\text{kg dm}^{-3}</math>)</i>	1,19
<i>Összes sótartalom (<math>\text{m m}^{-1}\%</math>)</i>	0,05
<i>CaCO<sub>3</sub>-tartalom (<math>\text{m m}^{-1}\%</math>)</i>	0
<i>AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalom (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</i>	101,3
<i>AL-oldható K<sub>2</sub>O-tartalom (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</i>	232,4
<i>0,01 M CaCl<sub>2</sub>-oldható N-tartalom (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</i>	14,31

Az 1. és 2. táblázatban felsorolt jellemzők többségét a MÉM NAK (1979) (Antal et al., 1979) leírása szerint állapítottuk meg, míg a talajok összes széntartalmát a Nagy P. T. (2000) által közölt módszerrel mértük meg. Az Arany-féle kötöttség meghatározása Buzás (1988) leírása szerint történt. A nitrogéntartalom meghatározására az AL-nél jóval enyhébb 0,01 M CaCl<sub>2</sub> kivonószert használtuk, amely sokkal inkább jellemzi az adott pillanatban a növény rendelkezésére álló tápanyagmennyiséget (Houba et al., 1990 és 1991), mint az erélyesebb talaj-kivonószerek. A két vizsgált tenyészidőszak előtt 2007 őszén relatív kontrollként minden kezeléssel vettünk talajmintát, amelyből megállapítottuk az 1. és 2. táblázat adatait, és amelyek viszonyítási alappontként szolgálnak a további következtetésekhez. A MÉM-NAK (1979) szerinti szaktanácsadási módszer ellátottsági kategóriáiban a kezelések átlagát tekintve eszerint a nitrogén-



ellátottság megfelelő, a foszfor gyenge és a kálium-ellátottság közepesnek mondható. Látható mikroelem-hiánytünetek nem jellemzőek.

2. táblázat

A kísérlet talajának ammónium-laktát- (AL-) oldható foszfor- és kálium-, valamint 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-oldható összes nitrogéntartalma (mg kg<sup>-1</sup>) az öntözés és a tápanyagszintek függvényében (2007 ősz)

	Tápanyag-szint	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	AL-K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	CaCl <sub>2</sub> -össz. N (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Öntözött</b>	<i>Kontroll</i>	78	212	13,1
	<b>1</b>	78	212	13,0
	<b>2</b>	87	217	14,8
	<b>3</b>	101	233	16,8
	<b>4</b>	102	248	17,3
	<b>5</b>	97	229	13,6
<b>Nem öntözött</b>	<i>Kontroll</i>	58	199	11,5
	<b>1</b>	107	239	13,5
	<b>2</b>	141	258	16,6
	<b>3</b>	115	253	14,2
	<b>4</b>	117	245	14,1
	<b>5</b>	135	244	13,2

A talaj kémhatása enyhén savanyú, amely a tápelem-felvétel szempontjából többnyire előnyösnek ítélni lehet. A humuszos talajréteg vastagsága 70-90 cm. Jellemző rá továbbá, hogy a több évtizedes művelés miatt a felső művelt 30 cm-es rétegében kilúgzott, vagyis nem tartalmaz meszet. Emiatt stresszhelyzetekben (aszályos időszak, talajsavanyodás) valamelyest kevésbé képes kompenzálni azok hatását. A talajvízszint a felszín alatt mintegy 6-8-re található. A minimális vízkapacitás értéke 27-29 V V<sup>-1</sup>%. E terület jól reprezentálja a hajdúsági, kiváló termőképességű löszhát csernozjom talajain jellemző termelési viszonyokat.

A terület két részből áll: az egyik felét – szükség esetén – Wobbler típusú, alacsony nyomású (0,2 MPa) szórófejekkel felszerelt Valmont típusú, lineár öntözőberendezéssel öntözik, míg a másik felén a növény csupán a természetes csapadékból származó nedvességre támaszkodhat. Ez lehetőséget ad arra, hogy nyomon kövessük a különböző évjáratok, illetve az időjárási anomáliák hatását, valamint választ kaphatunk arra is, hogy mekkora terméstöbbletet érhetünk el a növény vízigényeinek kielégítésével a kritikus időszakokban. Lehetőség nyílna arra is, – főképp a vizsgált

évjáratok ismeretében – hogy vizsgáljuk, hogy adott esetben növelhető-e a következő tenyészidőszak termésbiztonsága az előző évi kiegyenlített vízellátással.

A kísérleten belül három hibrid vizsgálatát tűztük ki célul. E három hibrid kiválasztásakor figyelembe vettük azok tenyészidejét (FAO-szám). Törekedtünk eltérő tenyészidejű hibrideket választani, hiszen eredeti feltételezésünk és eddigi ismereteink szerint ezek tápanyagfelvételében – mind mennyiségileg, mind dinamikáját tekintve – különbségek mutatkoznak. Így vizsgáltuk a korai éréscsoportba tartozó Mv 251-et (FAO 280), a középérésű Mv Koppányt (FAO 420), valamint a középkései érésű Mv 500 (FAO 510) hibridet.

3. táblázat

A szabadföldi kísérletben alkalmazott kezeléskombinációk, műtrágya-hatóanyagban kifejezve

Kezeléskód	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Összesen (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Kontroll (0)</i>	-	-	-	-
<i>1</i>	30	23	27	80
<i>2</i>	60	46	54	160
<i>3</i>	90	69	81	240
<i>4</i>	120	92	108	320
<i>5</i>	150	115	135	400

A kisparcellás kísérletben a kijuttatott tápelemek egymáshoz viszonyított aránya fix. A kísérletben a makroelem-trágyázás hatását öt tápanyaglécsoportban, rögzített 1,0:0,75:0,88 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O arányban vizsgálják. A fenti műtrágyamennyiségeket egységesen – a tartamkísérlet alapfeltételei szerint – ősszel juttatják ki 16-12-14% hatóanyag-tartalmú, kevert műtrágya formájában, amely a nitrogént NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-ként tartalmazza. Az egyes kezelésekben kijuttatott műtrágya-hatóanyag mennyiségét a 3. táblázat tartalmazza.

A műtrágyamennyiség kijuttatását megelőzően került sor minden évben az elővetemény – kukorica – szárának lezúzására, illetve talajba tárcsázására. Majd a műtrágya kijuttatását követően azt is bedolgozták és ezt követte az őszi szántás. Tavasszal került sor a szántáselmunkálásra, a magágy-előkészítéssel egy menetben pedig elvégezték a talajfertőtlenítést is. Erre a monokultúrás termesztésben potenciálisan problémát okozó amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárvájának kártétele megelőzése végett volt szükség. Az alkalmazott szer a Force 1,5 G mikrogranulátum talajfertőtlenítő szer volt, 14 kg ha<sup>-1</sup> dózisban. A tenyészidőszak során post-emergens, valamint mechanikai gyomirtást végeztek szántóföldi kultivátorral. Az

alkalmazott herbicid 2008-ban a Cambio ( $3 \text{ dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), míg a 2009-es évben a Laudis ( $2,2 \text{ dm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Az állományt jelentős mértékben veszélyeztető kórokozó, illetve kártevő egyik évben sem mutatkozott. A vetés 2008-ban április 22-én, míg a 2009-es évben április 15-én történt. A növények kelése 2008-ban valamivel lassabb volt, május 5-ére tehető; 2009-ben pedig 10 napot vett igénybe, azaz április 25-re tehető.

A 2008-as évben hullott csapadékmennyiség eloszlása rendkívül kedvezőnek ítéltető meg, így nem volt szükség pótlólagos vízmennyiség kijuttatására. Ez lehetővé teszi, hogy az előző évek vízellátásának, illetve a növények termésképzéshez szükséges vízmennyiségének figyelembe vételével – racionális mértékben – következtetéseket vonjunk le az előző év és az öntözés tartamhatásáról. 2009-ben már kevésbé volt kiegyenlített a csapadékeloszlás, így kétszeri alkalommal, közvetlenül a kelés után (április 29-én), valamint a fiatal állományban (május 14-én) 25-25 mm öntözővizet juttattunk ki az érintett kezelésekre.

Az egyes hibridek – éréscsoporttól független – betakarítása technikai okokból egy időpontban történt: 2008-ban október 8-án, míg 2009-ben szeptember 29-én. A betakarított szemtermés nedvességtartalmának mérését követően minden kísérleti parcella termését 15%-os nedvességtartalomra számítottuk át és hektárra vonatkoztatva adtuk meg.

#### **4.3. Növényminta vételek és a minták vizsgálata**

Az egyes **növényminta vételek** időpontjai a következők voltak: 2008. május 23., június 11., június 23., július 9., július 22., augusztus 13. és október 6. A 2009-es év folyamán pedig: június 5., június 26., július 14., július 28., augusztus 11. és szeptember 23. Az első növényminta-vételkor – a későbbi analízishez elegendő mintamennyiség biztosítására – még nyolc növény föld feletti részét vágtuk ki, míg a többi mintavétel során már csak két-két növényt vágunk ki parcellánként.

A növénymintákat képező teljes föld feletti biomasszát a zöldtömeg lemerését követően először szecska méretűre aprítottuk és szabad levegőn szárítottuk. A légszáraz mintákat ezt követően szárítószekrénybe tettük, ahol  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottuk. A szárazanyag mennyiségét szintén mértük, majd finom porrá őröltük és az így kapott kevert mintát vetettük alá további vizsgálatoknak.

A növényminták foszfor- és káliumtartalmát cc. kénsavas roncsolással történő minta-előkészítést követően mértük (Walinga et al., 1995). Az előkészítés során a száraz és finom porrá őrölt növénymintákból  $0,5 \text{ g}$ -ot roncsoló csövekbe mértünk, majd  $5 \text{ cm}^3$

cc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -t adtunk hozzá és a szerves anyagok lebomlása érdekében egy éjszakán át állni hagytuk. Másnap 30%-os  $\text{H}_2\text{O}_2$  hozzáadásával elszívófülke alatt roncsoló blokkban hevítettük az így előkészített mintákat, míg az oldatok ki nem tisztultak. Az így kapott, lehűtött oldatot  $50\text{ cm}^3$ -re hígítottuk és MN 640 W szűrőpapíron leszűrtük. A törzsoldatból a káliumtartalmat megfelelő hígítási arányban lángemissziós fotométerrel (Unicam SP90B), a foszfortartalmat pedig a Buzás (1988) által leírt molibdénkéék fotometriás módszerrel  $880\text{ nm}$  hullámhosszon mértük.

A növényminták N-tartalmát a Nagy (2000) által leírt módszerrel, égetéssel elven működő elemvizsgálóval mértük.

#### **4.4. Talajmintavételek és a minták vizsgálata**

**Talajmintavételre** évente három alkalommal került sor: egy a tenyészidőszak elején, már a vetést követően, egyre a tenyészidőszak intenzív tápanyag-felvételi időszakában és egyre a betakarításkor. Időpont szerint a mintavételeket 2008. május 30-án, július 22-én és október 10-én, 2009-ben pedig június 5-én, július 14-én és szeptember 23-án végeztük. A talajmintákat a MÉM-NAK által is javasolt standard kézi fúróval vettük, az egyes mintákat parcellánként hat leszúrás átlagából képeztük. Így egyrészt a további analízishez elegendő mintamennyiséget gyűjtöttünk, másrészt a parcella több pontjáról is vettünk mintát, növelve ezáltal a mintavétel reprezentativitását.

A talajmintákat először levegőn szárítottuk, majd finom porrá őröltük, a méréseket előtt szárítószekrényben tároltuk. A minták elemzésére kétféle kivonószert használtunk. Az egyik, a hazai szaktanácsadási gyakorlatban is alkalmazott ammónium-laktát-ecetsavas (AL) talajextraháló szer, amellyel a minták foszfor-, kálium-, kalcium- és magnéziumtartalmát határoztuk meg (Egner et al., 1960). Ez a kivonószert viszonylag erélyes, jól jellemzi a talaj könnyen mobilizálható elemtartalmát (Loch, 2006). Az oldható és könnyen kicserélhető elemtartalom (N és K) meghatározására az AL-nél sokkal kevésbé erélyes  $0,01\text{ M}$  kalcium-kloridot használtuk (Houba et al., 1990 és 1991). Az AL-lel történő extrakció során  $5\text{ g}$  száraz talajt mértünk zárható műanyag rázóedénybe, majd hozzáadtunk  $100\text{ cm}^3$  kivonószert, amellyel két órán át ráztuk. Ezt követően szűrőpapíron (MN 640 W) szűrtük. A törzsoldatból a P-tartalmat az említett molibdénkéék-módszerrel, fotometriásan mértük. A K-tartalom meghatározása a zavaró ionok eliminálására szolgáló oxálsav hozzáadásával,  $24\text{ óra}$  elteltével, lángemissziós fotométerrel (Unicam SP90B) történt. A kevésbé erélyes  $0,01\text{ M}$   $\text{CaCl}_2$  kivonószert  $50\text{ cm}^3$ -ével  $5\text{ g}$  talajt ráztunk szobahőmérsékleten, két órán át. A kapott

talajszuszpenziót MN 640 W szűrőpapíron szűrtük. Közvetlenül a törzsoldatból mértük a különböző N- és P-formákat, valamint 24 óra elteltével a kémhatást is.

Az adatok statisztikai értékeléséhez a Sváb (1981) által leírt módon három-tényezős varianciaanalízist és lineáris regresszió-analízist alkalmaztunk. Az értékelés során a Tolner et al. (2008) által Microsoft® Excelben megírt makrót használtuk. A programmal vizsgáltuk az egyes termelési tényezők hatását, illetve kölcsönhatásait. A regresszióanalízissel pedig a talaj különböző tápanyagtartalma, illetve a növények tápelemtartalma közötti összefüggéseket elemeztük. Az növényi produkció, valamint az egyes tápelemek beépülési dinamikáját pedig az Origin program 6.0 verziója segítségével szerkesztettük meg.

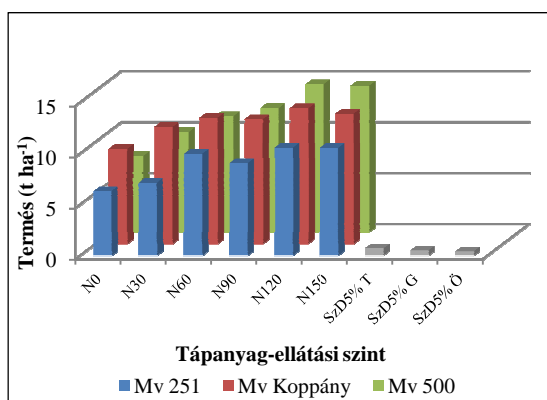
## 5. Eredmények és értékelésük

### 5.1. A 2008-as év eredményeinek értékelése

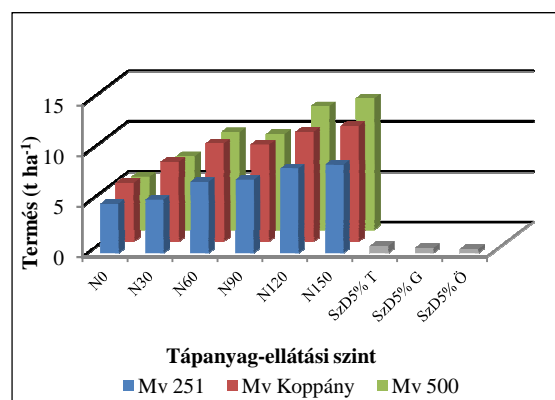
#### 5.1.1. Terméseredmények

A 2008 évi terméseredményeket a 2. sz. *Melléklet* tartalmazza. Az eredményeket vizsgálva megállapíthatjuk, hogy 2008-ban mindhárom vizsgált termesztési tényező, vagyis a tápanyag-ellátási szintek, a különböző tenyészidejű hibridek és az előző években különböző mértékben öntözött kezelések is statisztikailag igazolható hatást gyakoroltak a kukorica hektáronkénti termésére. Ezen kívül a tápanyagellátás és a hibridek közötti kölcsönhatás is szignifikánsnak bizonyult.

A többi tényező átlagában a tápanyag-ellátási lépcsők hatása  $P = 0,1\%$ -os szinten bizonyult szignifikánsnak. Tendenciaszerűen megállapítható, hogy a kijuttatott tápanyag-mennyiség növekedésével párhuzamosan a termés mennyisége is emelkedett. A – 24 éve – kontrollkezeléshez ( $6,51 \text{ t ha}^{-1}$ ) képest már a legalacsonyabb dózis is szignifikáns terméseredményt eredményezett ( $8,14 \text{ t ha}^{-1}$ ). Nem volt viszont statisztikailag is igazolható mértékű különbség az  $N_{60}P_{46}K_{54}$  és  $N_{90}P_{69}K_{81}$  (2. és 3. kezelés:  $10,02$  és  $9,97 \text{ t ha}^{-1}$ ), valamint az  $N_{120}P_{92}K_{108}$  és  $N_{150}P_{115}K_{135}$  (4. és 5. kezelés:  $11,64$ , illetve  $11,82 \text{ t ha}^{-1}$ ) kezelések terméseredményei között. E megfigyelésünk erősíti Sairam et al. (1991) eredményét, aki vizsgálták az eltérő N-dózisok hatását és megállapították, hogy a növekvő N-adagokkal nőtt a szemtermés mennyisége is. Továbbá Kádár és Márton (2007a) is azonos tápanyag-ellátási szinten, azaz  $150\text{-}200 \text{ mg kg}^{-1}$  AL-oldható  $K_2O$  esetén tapasztalták a termés maximális értékeit (ez a jelen kísérletben a jobb tápanyag-ellátottsági szintek kálium-ellátottságának megfelelő érték).



5. ábra: A tápanyag-ellátási szintek hatása az egyes hibridek termésére ( $\text{t ha}^{-1}$ ) nem öntözött kezelésekben (Debrecen-Látókép, 2008)



6 ábra: A tápanyag-ellátási szintek hatása az egyes hibridek termésére ( $\text{t ha}^{-1}$ ) öntözött kezelésekben (Debrecen-Látókép, 2008)

A különböző tápanyag-ellátási szintek és genotípusok termésre gyakorolt hatását a nem öntözött kezelésekben az 5., míg az öntözött kezelésekben a 6. *ábra* szemlélteti. (A tápanyag-kezelések kódolását a 3. *táblázat* tartalmazza.)

Az egyes hibridek közötti hatást vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a két hosszabb tenyészidejű hibrid, azaz az Mv Koppány ( $10,56 \text{ t ha}^{-1}$ ) és az Mv 500 ( $10,55 \text{ t ha}^{-1}$ ) termése között 2008-ban nem mutatkozott szignifikáns eltérés. E két hibrid termése azonban konzekvensen és jelentős mértékben meghaladta a rövidebb tenyészidejű Mv 251 termését ( $7,94 \text{ t ha}^{-1}$ ). Ez annak tudható be, hogy a hosszabb tenyészidőszak egyben hosszabb tápanyag-felvételi időszakot is jelent, amely során a termésképzéshez nagyobb mennyiségben von ki a növény a talajból és épít be a saját szervezetébe tápanyagokat. Azonban meg kell jegyezni, hogy ez egyben a termesztés kockázatát is növelheti, főként azokon a termőhelyeken, ahol a hosszú tenyészidőszak miatt a betakarítást akadályozhatják különböző – főként időjárási – körülmények.

A 2008-as év vízellátás szempontjából meglehetősen kiegyenlített volt. A kísérletben nem került sor pótlólagos vízmennyiség kijuttatására, így mind az öntözött, mind a nem öntözött parcellák területén azonos mennyiségű természetes forrású vízmennyiség állt a növények rendelkezésére. Ennek ellenére külön vizsgáltuk az öntözött és nem öntözött parcellák termését, mivel előzetes hipotézisünkben abból indultunk ki, hogy különbség mutatkozik az évjáratok többségében az öntözött és a nem öntözött parcellák termése között. Ennek oka, hogy az öntözött parcellákon a megfelelő vízellátottsági körülmények eltérő tápanyag-felvételi viszonyokat, így bizonyos mértékig eltérő talajtulajdonságokat is eredményeztek, mint pl. a talaj tápanyag-készletének és a tápelemek felvehetővé válásának, vagy a pórusszerkezet megváltozása. Ennek kapcsán a 2008-as év terméseredményeinek az öntözés függvényében történő vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a korábbi években elvégzett öntözés  $P = 0,1\%$ -os szinten gyakorolt utólagos hatást a termésmennyiség alakulására. A nem öntözött kezelésvariánsok termése ( $10,80 \text{ t ha}^{-1}$ ) következetesen meghaladta az öntözött kezelések termését ( $8,56 \text{ t ha}^{-1}$ ). A jelenség oka, hogy a korábban öntözött kezelésekben az öntözés eredményeként produkált nagyobb termésmennyiséghez a kukorica jelentősen több tápanyagot vont ki a talajból. Így az azonos, közel optimális vízellátottsággal jellemezhető tenyészidőszakban a nem öntözött kezelésekben az optimális vízellátás mellett nagyobb mennyiségű tápanyag volt jelen a talajban és vált felvehetővé a növény számára, illetve épült be a növényi biomaszába, ami jelentős termésnövekményt eredményezett.

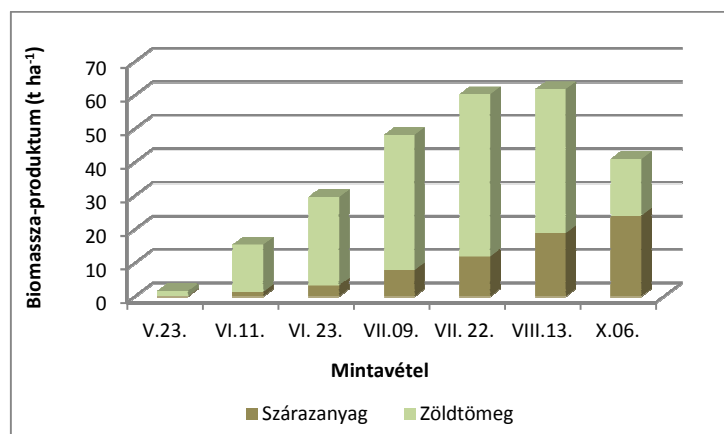
Az egyes termesztési tényezők direkt hatásán kívül a statisztikai elemzés a tápanyagellátás és a hibridek közötti kölcsönhatás mértékét jelentősnek ( $P = 1\%$ ) igazolta. Eszerint a tápanyagellátás az egyes hibridek esetében eltérő hatást váltott ki. A legrövidebb tenyészidejű Mv 251 hibrid esetében a kontrollkezeléshez ( $5,59 \text{ t ha}^{-1}$ ) képest a legkisebb tápanyag-ellátási szint még nem eredményezett szignifikáns terméshozadékot ( $6,20 \text{ t ha}^{-1}$ ). A 2. ( $8,52 \text{ t ha}^{-1}$ ) és 3. tápanyaglétcső ( $8,18 \text{ t ha}^{-1}$ ) hatása ellenben növelte a termés mennyiségét, bár a két lépcső hatása között nem volt különbség. Ehhez hasonlóan újabb szignifikáns terméshozadékban realizálódott a két legmagasabb tápanyagszint ( $9,48$ , illetve  $9,66 \text{ t ha}^{-1}$ ), ám ezek hatása között sem volt jelentős különbség. A tápanyag-kijuttatás hatása közel azonosan alakult a két hosszabb tenyészidejű hibrid, az Mv Koppány és az Mv 500 esetében azzal a különbséggel, hogy a kontrollkezeléshez képest ( $7,58$ , illetve  $6,36 \text{ t ha}^{-1}$ ) mindkettő esetében már a legalacsonyabb tápanyagszint is megnövelte a termést ( $9,67$ , illetve  $8,54 \text{ t ha}^{-1}$ ) és ehhez képest a 2. ( $11,03$ , illetve  $10,52 \text{ t ha}^{-1}$ ) és 3. ( $10,91$ , illetve  $10,82 \text{ t ha}^{-1}$ ) tápanyaglétcső szintén jelentős terméshozadékot eredményezett. A két legmagasabb kijuttatott műtrágyadózis hatása szintén jelentős mértékű volt, ám ezek között sem igazoltunk szignifikáns különbséget. Eredményeink alátámasztják Kreuz (1977), valamint Huzsvai és Nagy (2005) megállapítását, hogy egyéb (elsősorban termőhelyi) adottságok mellett a megfelelő tápanyagellátás és a felvehető tápanyagok mennyisége határozza meg a termés mennyiségét.

#### ***5.1.2. A kukorica zöldtömegének és szárazanyag-mennyiségének alakulása a 2008-as tenyészidőszak során***

A kukorica 2008. évi zöldtömegének és szárazanyag gyarapodásának mérési eredményeit az egyes kezelések függvényében a 3. Mellékletben tüntettük fel. A kezelések átlagában a 7. ábra mutatja a tenyészidőszakbeli felhalmozódást.

A tenyészidőszak elején az 1. és 4. mintavételi időpont közé tehető az intenzív vegetatív fejlődési időszak, amely nagy zöldtömeg-gyarapodást eredményez. Ezt követően a zöld biomassza gyarapodása kevésbé intenzív, míg az érési fázisban július második felétől már számottevő gyarapodás nem figyelhető meg. Az érés során pedig a vízvesztési folyamatok következtében mind a szemtermés, mind a vegetatív részek veszítenek víztartalmukból és a növény zöldtömege intenzíven csökken. A szárazanyag gyarapodás mind a vegetatív, mind a generatív fázisban folyamatosan csökkenő intenzitást mutatott.

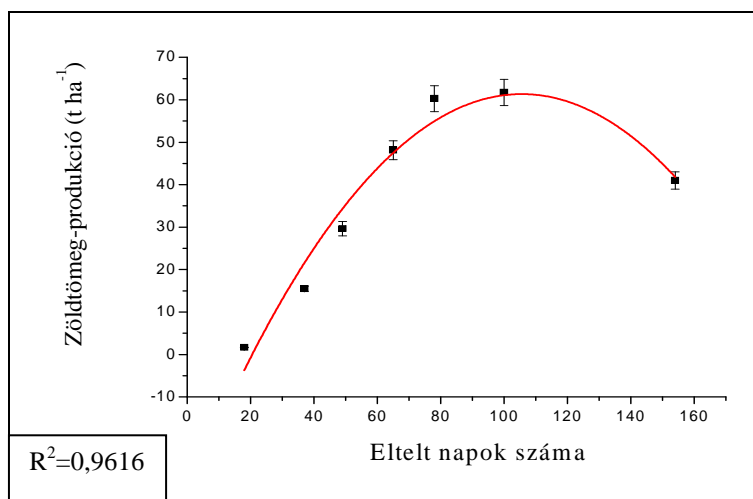




7. ábra: A kukorica zöldtömeg- és szárazanyag-termelése (t ha<sup>-1</sup>) a tenészedőszak különböző időpontjaiban (a kezelések átlagában, Debrecen-Látókép, 2008)

A zöldtömeg-termelést az intenzív vegetatív fejlődés fázisában konzekvensen befolyásolta a korábbi években rendszeresen alkalmazott öntözés: e kiegyenlített vízellátású évben a nem öntözött kezelésekben mértünk nagyobb értékeket. A későbbi mintavételek során tendenciaszerűen továbbra is megfigyelhető volt e tendencia. Ez feltehetően arra vezethető vissza, hogy a korábbi – öntözéses – években az öntözött kezelésekben nagyobb zöldtömeg és termés realizálódott, amely felépítéséhez több tápanyagot vontak ki a növények. Így abban az évben, amelyben azonos vízmennyiség állt mind az öntözött, mind a nem öntözött kezelésekben a növények rendelkezésére, a nem öntözött kezelésekben a növények relatíve több tápanyagot vehettek fel. A növekvő kijuttatott műtrágya-mennyiséggel párhuzamosan nőtt a növények tápanyag-ellátottsága. A vegetáció elején az egyes tápanyag-lépcsők hatása között még nem figyeltünk meg jelentős különbséget, a későbbi mintavételek során a növekvő ellátottsággal párhuzamosan nagyobb zöldtömeg-mennyiségeket mértünk. Azonban az egymás mellett kijuttatott lépcsők hatása között alkalmanként nem mértünk szignifikáns mértékű eltérést. A vegetáció elején a korai éréscsoportba tartozó Mv 251 zöldtömeg-gyarapodása volt a legnagyobb mértékű (18,37 t ha<sup>-1</sup>), míg az Mv Koppányé ennél kisebb (15,37 t ha<sup>-1</sup>). A legkisebb zöldtömeg-gyarapodást a leghosszabb tenészedősidejű Mv 500-nál (12,71 t ha<sup>-1</sup>) mértük ekkor. A generatív fázisban már az egyes genotípusok között nem volt számottevő különbség, míg a későbbi mintavételek során a kezdeti tendenciával ellentétben hosszabb tenészedősidek jelentősen nagyobb zöldtömeg-termeléssel párosult. A zöldtömeg-gyarapodás dinamikája a kezelések átlagában az alábbi függvénnyel írható le (8. ábra)

$$y = 95722 \times (1 - \exp(-0,00043 x)) - 39,15 x - 33,43$$

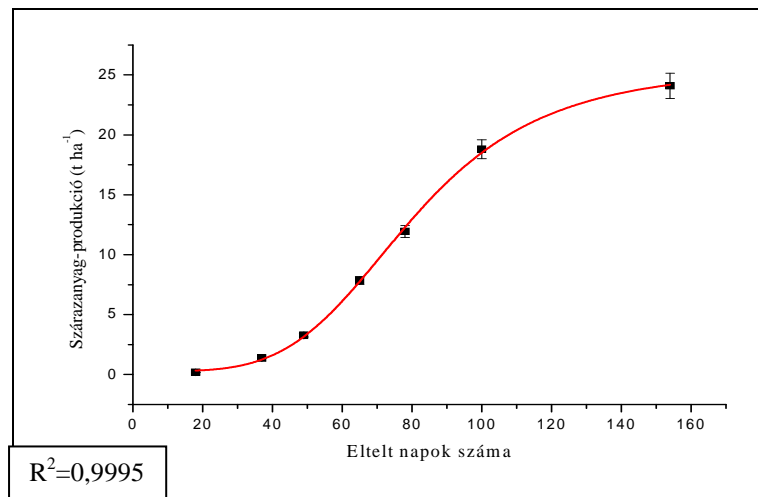


8. ábra: A kukorica zöldtömeg-gyarapodásának alakulása a 2008-as tenyészidőszakban (a kezelések átlagában, Debrecen-Látókép)

A szárazanyag-gyarapodást (4. táblázat) vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a zöldtömeghez hasonlóan a szárazanyag-gyarapodás tendenciaszerűen a nem öntözött kezelésekben volt nagyobb mértékű. Ez a tenyészidőszak vége felé következetesen megfigyelhető. A tápanyag-ellátási lépcsők az egész tenyészidőszak során szignifikáns szárazanyag-terméshozaddal járultak hozzá. Noha e hatás az egyes mintavételi időpontokban nem egyformán mutatkozott a tápanyag-ellátási szintek között, vagyis nem minden mintavételi időpontban mutatkozott különbség az egymás melletti tápanyag-ellátási szinteken, tendenciaszerűen a következőkben foglalható össze: a tenyészidőszak elején csupán a kontroll és a pótlólagos tápanyagokkal kezelt kezelések között mértünk igazolt különbséget, vagyis a vegetatív fázis kezdetén már viszonylag csekély mértékű tápanyag kijuttatásával is szárazanyag-növelő hatást érhetünk el. E korai időszakban még nincs különbség a növekvő tápanyag-ellátási szintek hatása között. A tenyészidőszak későbbi szakaszaiban a kontrollkezeléshez képest az alacsonyabb dózisu pótlólagos tápanyagmennyiség kijuttatása megnöveli a termelt szárazanyag mennyiségét, a nagyobb adagok pedig még ehhez képest is jelentős terméshozaddal bírnak. Az egyes genotípusok szárazanyag-felhalmozása a zöldtömeg-gyarapodáshoz hasonló tendenciát mutatott: a vegetáció elején a hosszabb vegetációs periódussal párhuzamosan csökkent a szárazanyag-beépülés mértéke. Ez alapján arra következtethetünk, hogy a hosszabb tenyészidőszak egyben elnyújtottabb és kevésbé intenzív kezdeti tömeggyarapodással párosul. A vegetáció közepén az egyes genotípusok között jelentős különbséget nem mértünk, míg a vegetáció végén a hibridek tenyészidő-hosszána növekedésével

arányosan nagyobb szárazanyag-beépülést mértünk. A szárazanyag-beépülés dinamikáját a 9. ábra mutatja, s a következő egyenlettel írható le:

$$y = \frac{(0,292 - 25,74)}{1 + \left(\frac{x}{80,186}\right)^{4,183}} + 25,74$$



9. ábra: A kukorica szárazanyag-gyarapodásának alakulása a 2008-as tenyésztésidőszakban (a kezelések átlagában, Debrecen-Látókép)

4. táblázat

A kukorica szárazanyag-produkciója a 2008-as tenyészdíszaka során (Debrecen-Látókép)

Öntözés	Hibrid	Tápanyag-szint	Szárazanyag-produktum (t ha <sup>-1</sup> )						
			1. mintavétel	2. mintavétel	3. mintavétel	4. mintavétel	5. mintavétel	6. mintavétel	7. mintavétel
Öntözött	Mv 251	kontroll	0,18	1,62	2,12	4,55	7	9,8	10,15
		N <sub>30</sub> P <sub>23</sub> K <sub>27</sub>	0,15	1,29	2,74	5,9	8,05	16,8	17,5
		N <sub>60</sub> P <sub>46</sub> K <sub>54</sub>	0,14	1,54	3,74	6,05	12,6	16,1	18,2
		N <sub>90</sub> P <sub>69</sub> K <sub>81</sub>	0,14	1,34	3,56	6,65	11,2	22,4	23,1
		N <sub>120</sub> P <sub>92</sub> K <sub>108</sub>	0,23	1,43	3,1	9,1	15,75	22,4	24,15
		N <sub>150</sub> P <sub>115</sub> K <sub>135</sub>	0,23	1,73	3,75	9,45	12,25	22,05	22,75
	Mv Koppány	kontroll	0,13	1,21	2,05	4,9	7,35	9,45	13,3
		N <sub>30</sub> P <sub>23</sub> K <sub>27</sub>	0,16	1,17	2,33	6,65	9,8	16,1	17,5
		N <sub>60</sub> P <sub>46</sub> K <sub>54</sub>	0,21	1,39	3,28	9,45	10,85	19,25	25,2
		N <sub>90</sub> P <sub>69</sub> K <sub>81</sub>	0,21	1,18	3,83	9,37	14,35	22,05	22,4
		N <sub>120</sub> P <sub>92</sub> K <sub>108</sub>	0,19	1,32	4	8,22	15,05	22,05	22,75
		N <sub>150</sub> P <sub>115</sub> K <sub>135</sub>	0,21	1,88	4,29	9,1	15,4	23,1	30,45
	Mv 500	kontroll	0,12	1,44	2,38	4,55	6,3	8,05	17,85
		N <sub>30</sub> P <sub>23</sub> K <sub>27</sub>	0,13	0,85	2,78	5,6	12,6	9,1	21
		N <sub>60</sub> P <sub>46</sub> K <sub>54</sub>	0,15	0,99	2,7	6,73	10,5	18,2	27,65
		N <sub>90</sub> P <sub>69</sub> K <sub>81</sub>	0,16	1,11	3,38	7,7	15,75	21,7	35,35
		N <sub>120</sub> P <sub>92</sub> K <sub>108</sub>	0,16	1,29	2,66	9,8	14,7	24,15	28
		N <sub>150</sub> P <sub>115</sub> K <sub>135</sub>	0,2	1,29	4,48	10,5	13,3	24,5	25,55
Nem öntözött	Mv 251	kontroll	0,16	1,27	2,38	5,25	6,3	12,6	14,7
		N <sub>30</sub> P <sub>23</sub> K <sub>27</sub>	0,03	1,49	2,89	6,3	8,75	17,5	23,8
		N <sub>60</sub> P <sub>46</sub> K <sub>54</sub>	0,21	1,47	2,68	8,4	13,3	19,95	23,8
		N <sub>90</sub> P <sub>69</sub> K <sub>81</sub>	0,27	1,58	3,8	10,15	11,9	21	21,7
		N <sub>120</sub> P <sub>92</sub> K <sub>108</sub>	0,25	1,6	4,28	9,8	12,95	22,05	33,95
		N <sub>150</sub> P <sub>115</sub> K <sub>135</sub>	0,19	1,75	4,81	12,25	17,85	21	25,9
	Mv Koppány	kontroll	0,17	1,45	1,75	4,55	8,75	11,55	20,3
		N <sub>30</sub> P <sub>23</sub> K <sub>27</sub>	0,21	1,51	3,19	7,7	11,55	16,45	23,45
		N <sub>60</sub> P <sub>46</sub> K <sub>54</sub>	0,25	1,41	3,43	8,05	11,55	17,85	21
		N <sub>90</sub> P <sub>69</sub> K <sub>81</sub>	0,23	1,46	4,04	9,1	13,65	22,05	28,7
		N <sub>120</sub> P <sub>92</sub> K <sub>108</sub>	0,2	1,48	3,97	8,75	12,95	21,7	30,8
		N <sub>150</sub> P <sub>115</sub> K <sub>135</sub>	0,2	1,8	4,8	8,75	14,7	23,45	31,5
	Mv 500	kontroll	0,1	1,54	1,94	7	8,4	15,05	15,75
		N <sub>30</sub> P <sub>23</sub> K <sub>27</sub>	0,14	0,97	3,16	7,7	10,15	19,95	31,85
		N <sub>60</sub> P <sub>46</sub> K <sub>54</sub>	0,17	0,99	2,8	7	12,25	19,25	22,4
		N <sub>90</sub> P <sub>69</sub> K <sub>81</sub>	0,16	1,39	2,51	7,24	12,6	18,55	32,9
		N <sub>120</sub> P <sub>92</sub> K <sub>108</sub>	0,17	0,97	4,3	9,8	16,1	25,2	25,55
		N <sub>150</sub> P <sub>115</sub> K <sub>135</sub>	0,16	1,35	3,92	10,5	13,3	24,15	36,4

### **5.1.3. A talaj kémhatásának alakulása a 2008-as tenyészidőszak során**

A 2008-as év tenyészidőszakában három alkalommal, 4-6 leveles fejlettségű állományban, a generatív fázisban és a betakarításkor került sor talajmintavételre.

A vett talajmintákból 0,01 M CaCl<sub>2</sub> kivonószerezrel határoztuk meg a kémhatást. Ez a kivonószerez valamelyest erőteljesebb a víznél, ám gyengébb a másik gyakran alkalmazott vegyületnél, a KCl-nál. A mérési eredményeket a 4. számú *Melléklet* tartalmazza. Minden mintavételi időpont esetében háromtényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk, hogy a korábbi években alkalmazott öntözés, a növekvő tápanyaglépcsők és a különböző tenyészidejű hibridek milyen hatást gyakoroltak a tartamkísérletben a talaj kémhatására. Mivel az egyes mintavételi időpontokban a talaj kémhatását számos tényező befolyásolja és közel azonos tendenciák figyelhetők meg minden mintavételi időpontban, a 2008-as év tenyészidőszakában vett minták eredményeit együttesen mutatjuk be.

A korábbi években alkalmazott öntözés utóhatásaként értelmezhető, hogy a nem öntözött kezelésekben a kémhatás következetesen alacsonyabb értékeket mutatott, mint az öntözött parcellákban. A tápanyagszintek hatását vizsgálva megállapítható az a tendencia, hogy a nagyobb tápanyagdózisok kijuttatása hosszabb távon a talaj kémhatásának csökkenését eredményezi. Ez főként a nagyobb nitrogén-dózisok hatása lehet. Annak ellenére ugyanis, hogy a nitrogén hatóanyagokat az NH<sub>4</sub><sup>+</sup> és NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionokat egyformán tartalmazó NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> formájában juttatjuk ki, az ammóniumionok fiziológiás hatása is savanyú, illetve nitrifikációjuk során is H<sup>+</sup> ionok szabadulnak fel, amelyek hozzájárulnak a talaj savanyúságának növekedéséhez. Az egyes hibridek közötti különbség a tenyészidőszak elején szintén következetesen megfigyelhető, miszerint az egyre hosszabb tenyészidő egyre nagyobb talajsavanyúságot idéz elő. A hatás magyarázata, hogy a hosszabb tenyészidejű hibridek tápanyagfelvétele már a tenyészidőszak elején intenzívebb volt, amely a talaj vizsgált felső 30 cm-es rétegében intenzívebb gyökérsav-kiválasztást, valamint az ioncsere-folyamatoknak köszönhetően ideiglenesen emelkedett H<sup>+</sup>-ion koncentrációt eredményezett. Ez a hatás a tenyészidőszak további szakaszaiban azonban már nem ennyire egyértelműen jelentkezett: a tenyészidőszak közepén tendenciaszerűen a hosszabb tenyészidejű hibridek esetén mért talaj pH alacsonyabb volt, míg a betakarításkor az öntözött kezelések között nem volt különbség az egyes hibridek tekintetében. Ezzel szemben a nem öntözött kezelésekben a növekvő tenyészidőszakkal csekély mértékű, nem konzekvens növekvő talaj pH-t figyeltünk meg. A hibridek és az öntözés közötti

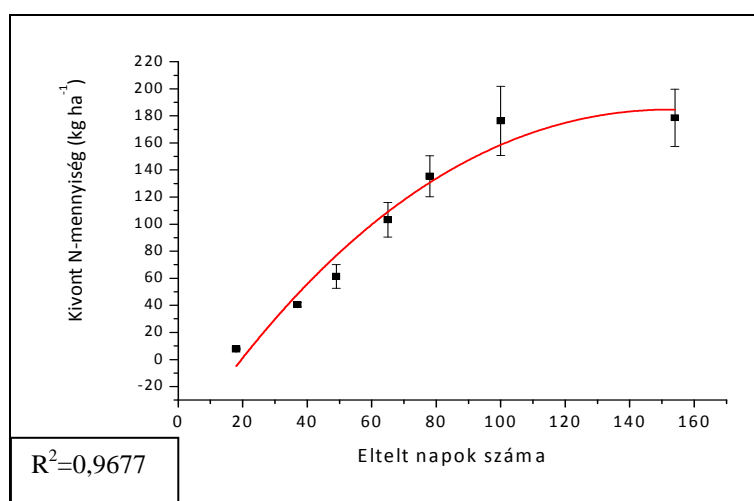
kölcsönhatás abban nyilvánult meg, hogy míg az öntözött kezelésekben az egyes hibridek között a tenyészidőszak folyamán nem tapasztaltunk különbséget, a nem öntözött kezelésekben a növekvő tenyészidejű hibridek talajának pH-ja a fejlődés korai szakaszaiban egyre csökkent. A betakarításkor a tendencia megfordult, ám szignifikáns különbséget nem mértünk a két hosszabb tenyészidejű hibrid talajának pH-értéke között.

A tenyészidőszak egészét tekintve tendenciaszerűen megállapítható, hogy a kukorica tenyészideje során tavasztól a talaj kémhatása valamelyest a savanyúbb irányba tolódik el. Ez magyarázható azzal, hogy a tápanyagok felvétele során az ioncsere-folyamatokban a növények az egyszerűen pozitív ionok (pl.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ) helyébe  $\text{H}^+$  iont adnak le, ami hozzájárul a gyökérszóna némileg savanyúbb kémhatásához. A tápanyagok könnyebb feltáródását segítik elő a növények által kiválasztott gyökérsavak is, amelyek szintén hasonló hatásban nyilvánulnak meg.

#### 5.1.4. A kukorica nitrogénfelvétele a 2008-as tenyészidőszakban

A talaj nitrogéntartalmát, illetve a különböző, a növények számára felvehető és könnyen a talajoldatba vihető nitrogénformák mennyiségét 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  kivonószert alkalmazásával vizsgáltuk (5. sz. Melléklet). A növényi nitrogén-felvételt a talaj nitrogéntartalma mellett a növényi N-koncentráció változásának, valamint a tenyészidőszak egyes mintavételeiben a növény föld feletti biomasszájával kivont N-mennyiség alapján vizsgáltuk az egyes kísérleti tényezők függvényében. Az egyes kezelési tényezők függvényében a 13. ábrán láthatók a kivont N-mennyiség értékei, a felvétel dinamikája a következő egyenlettel írható le:

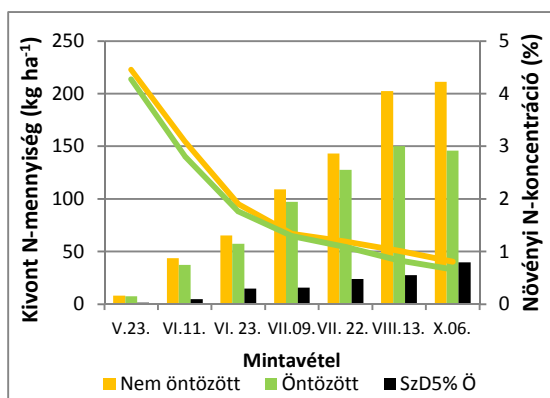
$$y = 2319,74 \times (1 - \exp(-0,0036 x)) - 4,84 x - 64,863$$



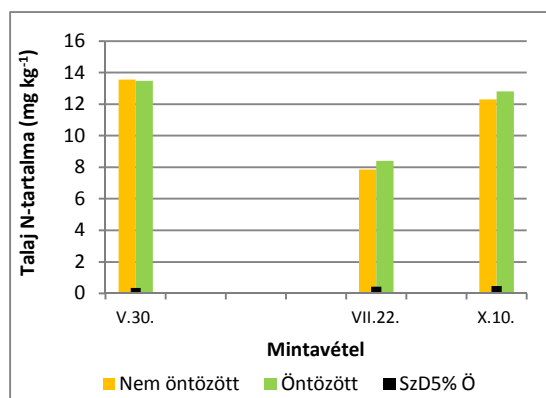
10. ábra: A kukorica N-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során (Debrecen-Látókép, 2008)

A kivont N-mennyiség (7. sz. Melléklet) a tenyészidőszak során a kísérleti tényezők átlagában növekvő tendenciát mutatott: intenzív N-felvételt figyeltünk meg az intenzív vegetatív fejlődési szakaszban, valamint egy másik nagyobb mértékű felvételt a címerhányás és szemképzés idején. Az érési fázisban a kivont N-mennyiség már nem változott, a növényi N-mennyiség a vegetáció végén gyakorlatilag leállt (10. ábra). Ez valamelyest ellentmond Lásztity et al. (1985b) megállapításának, miszerint a N-felvétel kezdetben exponenciális, majd ezt egy lineáris szakasz követi. A vizsgált évben a N-felvétel a jó vízellátottság következtében sokkal kiegyenlítettebb volt.

A növényi N-koncentráció (6. sz. Melléklet) a vegetáció elején volt a legmagasabb értékű, míg ezt követően először intenzíven csökkent, majd a szemtelítődés fázisától kezdve e tendencia kevésbé intenzíven folytatódott a későbbi mintavételekben.

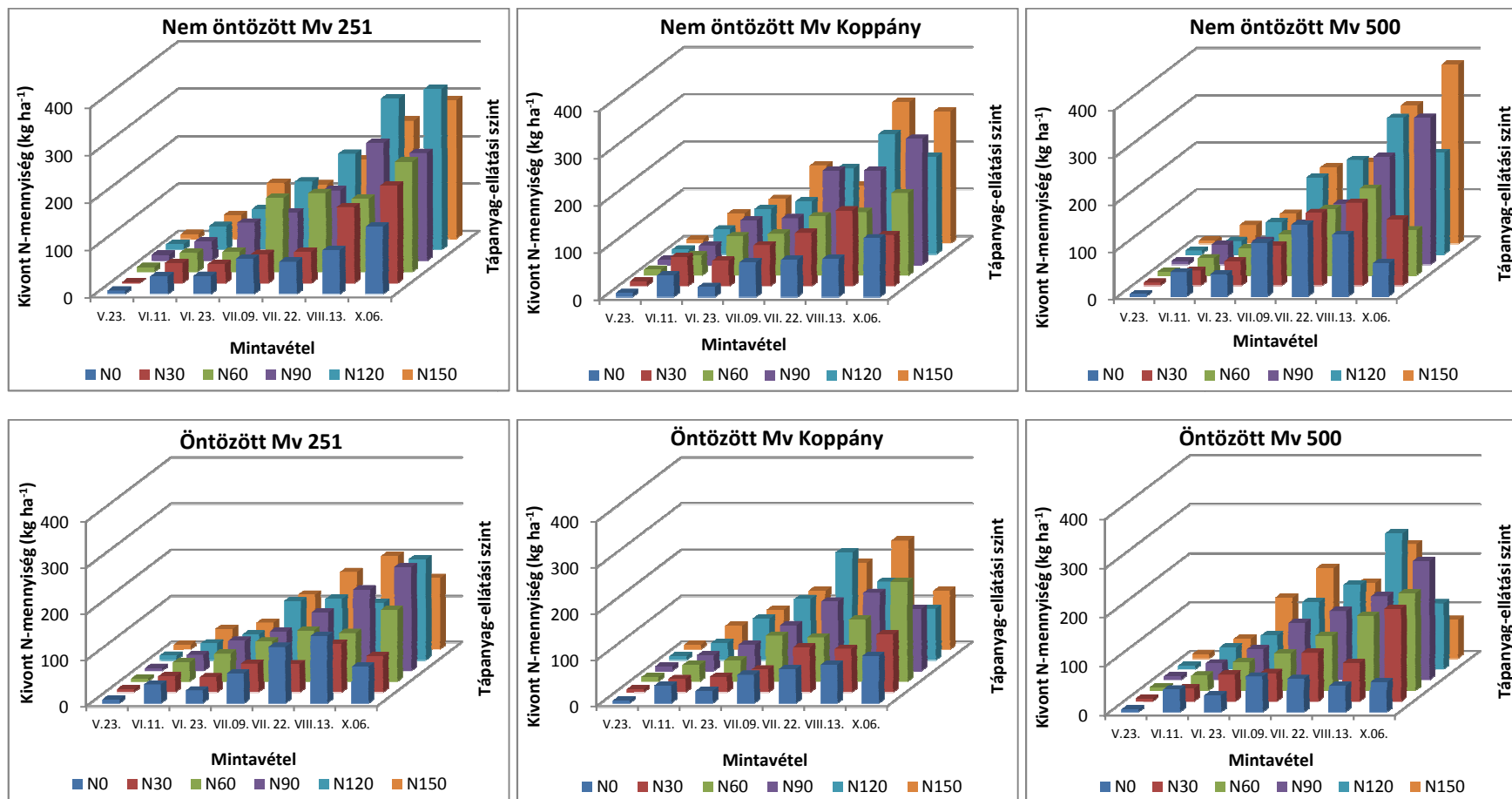


11. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



12. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

A talaj növény számára felvehető és könnyen kicserélhető N-koncentrációja a legmagasabb értéket a vegetáció elején mutatta. A vegetatív-generatív fenofázisok határán az ezt megelőző intenzív felvételnek köszönhetően a talaj N-koncentrációja lecsökkent. Ezt követően a megfelelő vízellátás következtében zavartalanul továbbra is végbemenő mobilizációnak, valamint a csökkenő növényi felvételnek köszönhetően a vegetáció végéig újra emelkedő tendenciát figyeltünk meg.



13. ábra: A kukorica által kivont N-mennyiség (kg ha<sup>-1</sup>) a tenésztidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

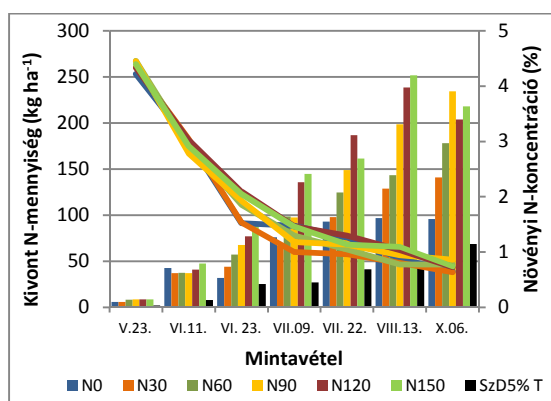


A kivont N-mennyiségeket az öntözési variánsok függvényében (11. ábra) vizsgálva megállapítható, hogy az intenzív vegetatív fejlődésben, valamint az utolsó két mintavételnél a nem öntözött kezelésekben magasabb kivont értékeket mértünk, mint a korábban rendszeresen öntözöttekben. Tekintettel arra, hogy 2008-ban az öntözött kezelésekben sem került sor vízpótlásra, megállapítható, hogy a korábbi években öntözött kezelésekben ( $145,78 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a kukorica kisebb N-mennyiséget vont ki a talajból, mint a nem öntözöttekben ( $211,28 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ebből arra következtettünk, hogy a korábbi években valószínűsíthetően az öntözött kezelésekben a növény nagyobb N-mennyiséget vont ki, így 2008-ban a nem öntözött kezelésekben állt rendelkezésre nagyobb mennyiségű nitrogén.

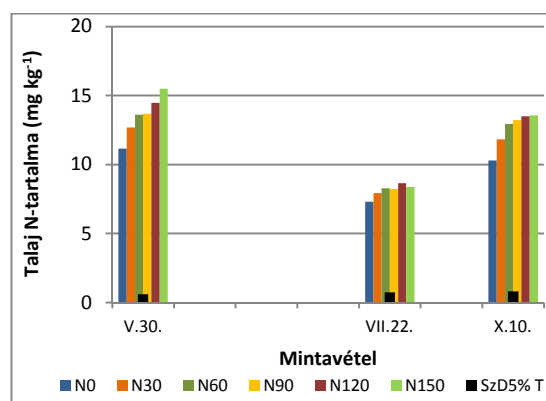
A növényi N-koncentrációt (11. ábra) a korábbi években alkalmazott öntözés főként a vegetáció elején és az érés során befolyásolta. A 4-6 leveles állapotban vett minták esetében azt tapasztaltuk, hogy – a többi kezelés átlagában – a korábbi évek során öntözött kezelésekben a növények N-koncentrációja alacsonyabb volt (4,27%), mint a nem öntözöttekben (4,46%). E mintavétel során a növények N-koncentrációja 3,90 és 4,85% között változott. A következő mintavétel során a korábbi években alkalmazott öntözés utóhatása szintén azonos tendenciát mutatott. A vegetáció középső szakaszában nem volt eltérés a nem öntözött és az öntözött kezelésekben a növények N-koncentrációjában. Az érési fázisban, azaz a hatodik mintavétel során a 0,55 és 1,48% között változott a N-tartalom. Ekkor szintén csak a korábbi években alkalmazott öntözés hatása bizonyult szignifikánsnak, az öntözött kezeléseknél itt is alacsonyabb koncentrációértékeket mértünk. A betakarításkor a növény N-koncentrációja 0,31 és 1,13% között változott. Az öntözés szignifikáns hatása ez esetben is a korábbi tendenciát mutatta: az öntözött kezelésekben 0,66%, míg a nem öntözöttekben 0,80% átlagértéket mértünk. Az öntözés hatását a korábbi évek utóhatásának és a korábbi években az öntözés tápanyagfelvételre gyakorolt kedvező hatásának tulajdonítjuk. A vegetáció egészét tekintve mind az öntözött, mind a nem öntözött kezelésekben azonos csökkenő tendenciát követett a növényi N-koncentráció változása, a vegetáció elején és az érés során a nem öntözött kezelésekben mértünk magasabb koncentrációt.

A talaj elemtartalmát az öntözés függvényében vizsgálva megállapítható (12. ábra), hogy a vegetáció elején nem volt igazolható különbség az öntözési variánsok között. Azonban az öntözés és a genotípus közötti kölcsönhatás szignifikánsnak bizonyult: a korai éréscsoportba tartozó Mv 251-nél a nem öntözött kezelésben mértünk jelentősen magasabb talaj-elemkoncentrációt, míg a másik két hosszabb vegetációval

rendelkező hibridnél nem volt igazolható különbség a korábban öntözött és nem öntözött kezelések között. Mind a tenyészidőszak közepén, mind a betakarításkor jelentősen alacsonyabb N-tartalmat mértünk a nem öntözött kezelések talajmintáiban. A folyamatos mobilizáció mellett is a növények által felvett mennyiség is a nem öntözött kezelésekben volt nagyobb, ami jól alátámasztja a nem öntözött kezelésekben mérhető alacsonyabb talaj-koncentrációt. Megvizsgálva a talaj és a növény koncentrációja közötti összefüggést megállapítottuk, hogy nincs szignifikáns összefüggés a vegetáció adott időpontjában a talaj és a növény N-koncentrációja között.



14. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



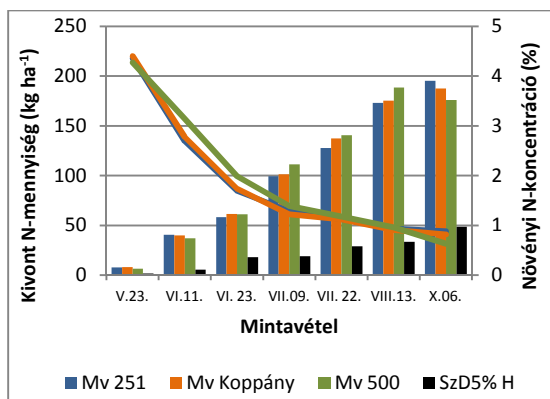
15. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

A három vizsgált termesztési tényező közül minden mintavétel során a tápanyag-ellátás mutatott konzekvens hatást a növények által kivont N-mennyiségére (14. ábra). A tenyészidőszak első két mintavétele során a nem volt konzekvens összefüggés a növekvő tápanyag-ellátottság és a kivont tápelem-mennyiség között. Minden további mintavétel során tapasztalható volt az a tendencia, hogy a műtrágyák növekvő dóziséval párhuzamosan nőtt a növényi biomassza által kivont N-mennyiség. Ez alátámasztja Berzsenyi (1993) megállapítását, miszerint a nitrogéntrágyázás hatékonysága csapadékos években jobb, mint száraz évjáratokban. A kontrollkezelésben mért értékektől az alacsony tápanyag-ellátottságú kezelésekben kivont N-mennyiség nem különbözött, míg a magasabb dózissal kezelt parcellákon tendenciaszerű emelkedés figyelhető meg a kivont N-értékekben. Az egyes, egymás melletti dózissal műtrágyázott kezelések között nem minden esetben igazoltunk következetes különbséget.

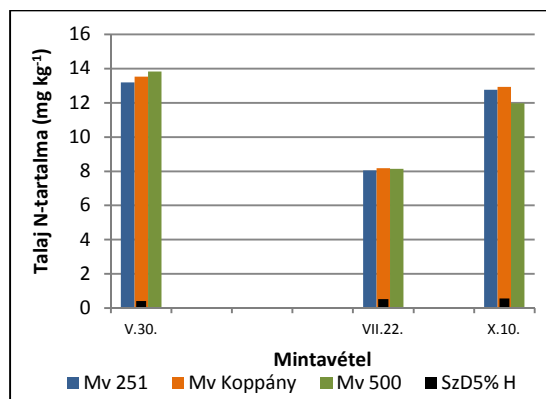
A növényi N-koncentráció (14. ábra) nem függött számottevően a tápanyag-ellátottsági szinttől. Csupán a címerhányáskor figyeltük meg, hogy a kontrollkezelésben

viszonylag magas N-koncentráció mérhető. Ezzel szemben az alacsonyabb műtrágya-dózisokkal kezelt parcellákon a növényi N-koncentráció lecsökkent, míg a jobb ellátottságú parcellákon növekvő tendenciát mutatott és nem különbözött a kontroll parcellában mért értéktől.

A tenyésztidőszak elején talaj felvehető és könnyen mobilizálható elemtartalmát a tápanyag-ellátás jelentősen befolyásolta (15. ábra): a növekvő kijuttatott műtrágya-mennyiséggel párhuzamosan nagyobb elemtartalmat mértünk a talajmintákból. Az egymás melletti dózissal kezelt parcellák talajainak koncentrációja között nem minden esetben mértünk szignifikáns különbséget. A tenyésztidőszak közepén a jobb tápanyag-ellátottság talaj elemtartalmát növelő hatása a folyamatos növényi felvétel következtében már nem volt ilyen kifejezett, azonban megfigyelhető, hogy a nem, vagy csak alacsony dózissal műtrágyázott parcellákból mért értékekhez képest a nagyobb mennyiséggel kezelt parcellák N-tartalma magasabb volt. Azonban a nagyobb mértékű felvétel miatt az egyes műtrágya-szintek N-tartalma között jelentős különbség nem minden esetben igazolható. A vegetáció végén a gyakorlatilag megszűnt növényi felvétel és a továbbra is végbemenő mobilizációs folyamatok következtében ismét kifejezettebben mutatkozott a jobbtápanyag-ellátottság növelő hatása a talaj növény számára felvehető és könnyen mobilizálható elemtartalmára.



16. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



17. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

Az egyes genotípusok közötti különbség a többi tényező átlagában a tenyésztidőszak elején volt megfigyelhető (16. ábra). Ekkor a kései éréscsoportba tartozó Mv 500 által kivont N-mennyiség ( $6,53 \text{ kg ha}^{-1}$ ) jóval alacsonyabb volt, mint a másik két, rövidebb tenyésztidőszakkal rendelkező hibridnél (Mv 251:  $7,95$ , ill. Mv Koppány:

8,80 kg ha<sup>-1</sup>). Az intenzív vegetatív fejlődési fázisban e tendencia még szintén megfigyelhető volt. Ez a megfigyelés azzal magyarázható, hogy a hosszabb tenyészidőszak egyben elnyújtottabb és – főként a kezdeti fenofázisokban – kevésbé intenzív tápanyag-felvétellel jár. A későbbi mintavételek során azonban az egyes genotípusok által kivont N-mennyiség nem különbözött számottevően. A tenyészidőszak elején továbbá az is megfigyelhető volt, hogy a másik két genotípussal szemben a középkései érésű Mv 500 által kivont N-mennyiség – a másik két hibriddel ellentétben – nem különbözött a korábbi öntözés függvényében, míg a rövidebb tenyészidejűeknél a nem öntözött kezelésekben kivont N-mennyiség jóval nagyobb volt. Eredményeink a vegetáció egészét tekintve nem igazolták Moll et al. (1982) megállapítását, miszerint a kukorica esetében a nitrogén hatékonysága leginkább a genotípus függvénye.

Az intenzív vegetatív fejlődési fázisban az Mv 251 N-koncentrációja magasabb volt, vagyis a korai éréscsoportba tartozó genotípus tápanyag-felvétele intenzívebb, mint a hosszabb vegetációs periódussal rendelkezőké (16. ábra). Az intenzív vegetatív fejlődési fázisban vett mintákban még ez a tendencia esetenként megfigyelhető, a későbbi fázisokban azonban számottevő különbség nem volt igazolható az egyes genotípusok koncentrációját tekintve.

A talaj elemtartalma (17. ábra) a vegetáció elején – párhuzamosan a nagyobb kivont mennyiséggel – az Mv 251 hibridnél volt alacsonyabb, míg a hosszabb tenyészidejűeknél magasabb. Ez szintén igazolja, hogy a N-felvétel a hosszabb vegetációs periódusú genotípusoknál kevésbé intenzív és elnyújtottabb. A vegetáció későbbi mintavételei során az egyes genotípusok talaj felvehető elemkoncentrációra gyakorolt hatásában nem volt különbség.

#### **5.1.5. A kukorica foszforfelvétele a 2008-as tenyészidőszakban**

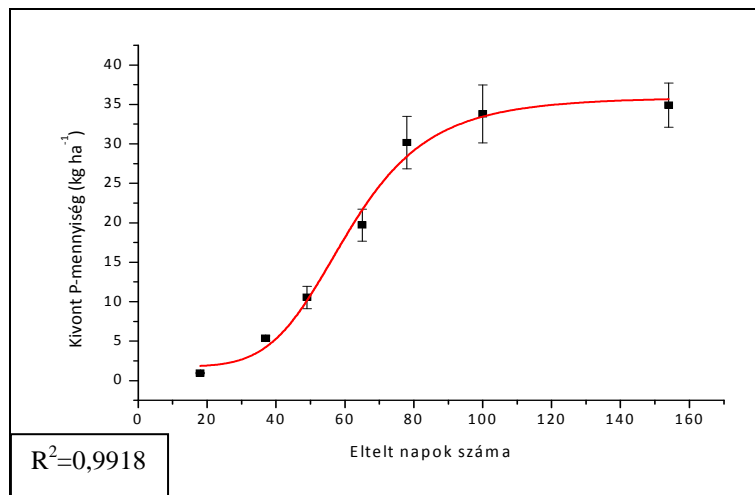
A növények foszforfelvétele (10. sz. Melléklet) a kezelések átlagában a vegetáció elején kiegyenlítetten növekvő tendenciát mutatott, majd elsősorban a generatív fenofázisban volt jelentős mértékű. Az érés során már számottevő foszforfelvétel nem volt megfigyelhető; csupán az alacsony tápanyag-ellátottságú kezelésekben tapasztaltunk ekkor felvételt, amely az alacsony ellátottsággal párhuzamosan ugyan folyamatos, ám sokkal kisebb mértékű mobilizáció és felvétel miatt az adott kezelésekben a felvételi időszak elhúzódó dinamikáját magyarázza (18. ábra). Megfigyelésünk, illetve megállapításunk összecseng a Lásztity et al. (1985b) által fő felvételi időszakként meghatározott periódussal. A felvétel dinamikája az alábbi egyenlettel jellemezhető:

$$y = \frac{(1,8089 - 35,9580)}{1 + \left(\frac{x}{61,0456}\right)^{4,140}} + 35,9580$$

A növényi foszforkoncentráció (9. sz. *Melléklet*) a tenyészidőszak elején volt a legnagyobb (átlagosan 0,528%). Ezt követően a vegetatív fejlődési fázisban folyamatos hígulást figyeltünk meg, míg a címerhányás-szemtelítődés idején, azaz az intenzív foszfor-felvételi szakaszban a mért értékek stagnáló tendenciát mutattak. Az érés során a növényben további hígulás volt megfigyelhető.

A tenyészidőszak három időpontjában vett talajminták foszfortartalmát a felvehető és a tartaléktápanyagokat is kivonó, erélyesebb ammónium-laktát-ecetsavval (AL) vizsgáltuk (8. sz. *Melléklet*). A tenyészidőszak egészét tekintve a MÉM-NAK szerinti termőhely-kategóriák és a talaj paramétereinek alapján a talaj foszfor-ellátottsága a kontrollkezelésekben, amelyek immár több, mint két évtizede nem részesültek tápanyag-utánpótlásban, a gyenge ellátottsági kategóriába sorolható, míg a rendszeresen magasabb dózissal kezelt parcellák a közepes, majd a jó ellátottsági kategóriába tartoznak. A vegetáció egészét tekintve folyamatos foszforfeltáródás volt megfigyelhető a talajban: a növény számára felvehető és tartalék tápanyag-készlet a vegetáció folyamán közel azonos mérési tartományban maradt.

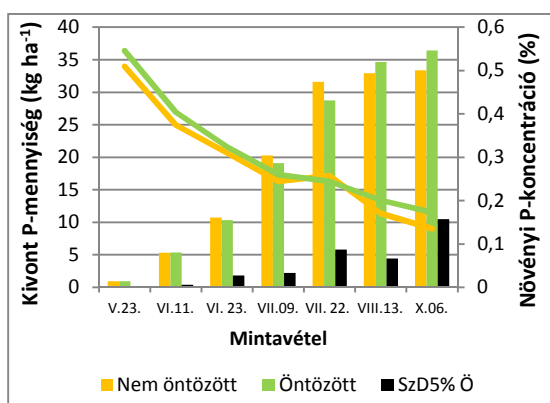
A talaj és a növény elemtartalma közötti összefüggést vizsgálva megállapítottuk, hogy a 2008-as tenyészidőszakban nem találtunk számottevő összefüggést a talaj AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalma és a növényi P-koncentráció között.



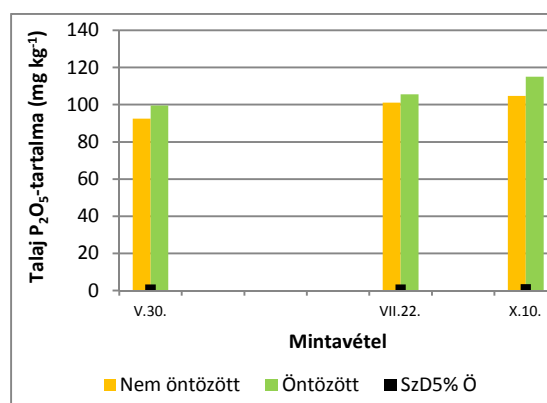
18. ábra: A kukorica P-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során (Debrecen-Látókép, 2008)

A növények föld feletti szárazanyag-termése által a tenyészidőszak során kivont P-mennyiséget az egyes tényezők függvényében a 25. ábrán tüntettük fel, ahol

megfigyelhető az egyes kezelésekben a felvétel hasonló tendenciája, továbbá az egyes kezeléskombinációk hatása között eltérés is. A korábbi években alkalmazott rendszeres öntözés feltételezett utóhatása nem volt kimutatható a kukorica foszfor-felvételében. A tenyészidőszak során egyik mintavételnél sem mértünk igazolható különbséget az egyes öntözési variánsok között. A szárazanyag-képzés során már jelentős különbséget állapítottunk meg a nem öntözött és a korábban öntözött variánsok produkciója során. A növényi foszforkoncentráció a tenyészidőszak egésze során – de főként a vegetáció elején és az érés során – a nem öntözött kezelésekben volt alacsonyabb, amely bizonyítja a nagyobb biomassza-produkcióval párhuzamosan végbemenő intenzívebb hígulási folyamatokat is.



19. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



20. ábra: A talaj P-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

A vegetáció elején a korábbi években öntözött parcellákon (0,546%) szintén szignifikánsan magasabb értékeket mértünk, mint a nem öntözötteken (0,509%). Vagyis a korábbi években alkalmazott öntözés utóhatásaként e parcellákban a tápanyag-feltáródás és a növényi felvétel intenzívebb lehetett a kezdeti szakaszban. Az intenzív foszfor-felvételnél a növényi koncentráció stagnáló tendenciát mutatott. A korábbi években alkalmazott öntözés növényi P-koncentrációra gyakorolt hatása a későbbi mintavételek során is megfigyelhető volt, de csak esetenként és főként a hosszabb tenyészidejű hibrideknél. A növények által kivont P-mennyiséget, valamint a növényi foszfor-koncentrációt az öntözés függvényében a tenyészidőszak folyamán a 19. ábrán, míg a talaj AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalmának változását a 20. ábrán tüntettük fel.

A talaj foszfortartalmát tekintve a vegetáció elején a korábbi években alkalmazott öntözés hatást gyakorolt a talaj foszfortartalmára. A korábban öntözött kezelésekben – a

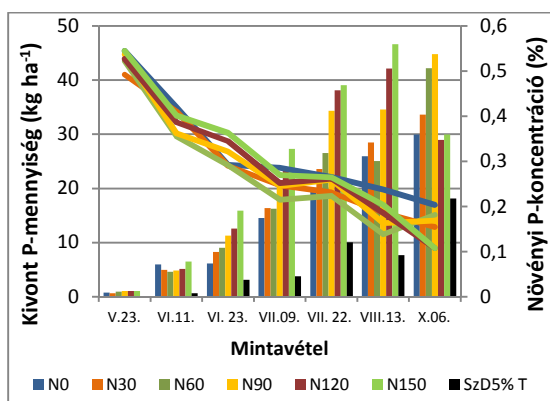
többi kezelés átlagában – szignifikánsan magasabb értékeket mértünk ( $99,57 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mint a nem öntözöttekben ( $92,44 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Tekintettel arra, hogy az azonos időpontban vett minták által kivont P-mennyiség nem különbözött az öntözött és nem öntözött kezelésekben ( $0,2344$ , illetve  $0,2323 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a hatás egyértelműen a korábbi években alkalmazott öntözésnek és az ennek hatására kialakult eltérő tápanyag-felvételnek tudható be. A korábbi években alkalmazott öntözés hatására az öntözött parcellák talajélete valószínűsíthetően élénkebb volt a kiegyenlítettebb vízellátásnak és a folyamatos tápanyag-feltáródásnak köszönhetően.

A tápanyagellátás és az öntözött kezelések közötti kölcsönhatás csak kisebb megbízhatósággal volt szignifikáns, vagyis nem minden tápanyagszint esetében volt szignifikáns különbség az öntözött és nem öntözött kezelések között. Ezenkívül mind az öntözött, mind a nem öntözött kezeléseket külön-külön szemlélve látható a tápanyag-ellátás tendenciaszerű, talaj P-készletét növelő hatása, azonban míg az alacsonyabb tápanyagszinteken a hatás kifejezettebb, a nagyobb dózisok esetében már csak tendenciaszerű volt.

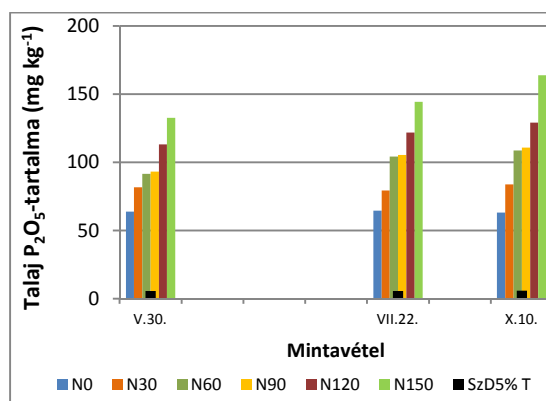
A hibridek és az öntözés közötti kölcsönhatást vizsgálva megállapítható, hogy az Mv 251 esetében a nem öntözött kezelésben szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk, míg a másik két hibrid esetében nem tapasztaltunk különbséget az öntözött és nem öntözött kezelések között. Másrészt, míg az öntözött kezelésekben nem igazoltunk különbséget a három hibrid között, a nem öntözöttekben az Mv 251 parcelláiban jóval alacsonyabb értékeket mértünk. Ez is azt a fentebbi megállapítást igazolja, hogy lévén nem mértünk különbséget a kivont mennyiségek között, a korábbi években alkalmazott öntözés hatására élénkebb az öntözött parcellák tápanyag-feltáródása.

A vegetáció közepén a vegetatív-generatív fenofázisok határán a korábbi években alkalmazott öntözés hatására az öntözött parcellákon ( $105,56 \text{ mg kg}^{-1}$ ) szignifikánsan nagyobb P-tartalmat mértünk, mint a nem öntözöttekben ( $101,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A hatás azonban nem egyértelmű és az egyes hibridek, valamint tápanyag-ellátási variánsok függvényében eltérő volt, amely miatt minkét tényezővel szignifikáns kölcsönhatást igazolt az elemzés. Az alacsonyabb tápanyagszinteken még a nem öntözött kezelésekben mértünk magasabb P-tartalmat, ezzel szemben a magasabb tápanyagdózissal kezelt parcellákon az öntözöttekben volt szignifikánsan magasabb a talaj P-tartalma. A hibridek vonatkozásában míg az Mv 251 esetében a nem öntözött kezelés parcelláinak  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalma volt magasabb, addig a másik két hibrid esetében nem volt igazolható számottevő különbség.

A másik két vizsgált tényező átlagában a betakarításkor, a korábbi évjáratokban rendszeresen öntözött kezelésekben magasabb  $P_2O_5$ -tartalmat ( $115,08 \text{ mg kg}^{-1}$ ) mértünk, mint a nem öntözött parcellákon ( $104,69 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A korábban alkalmazott öntözés hatása azonban az egyes hibridek esetében eltérően mutatkozott. Míg az Mv 251 esetében a nem öntözött kezelésekben volt magasabb a  $P_2O_5$ -tartalom (nem öntözött:  $119,43 \text{ mg kg}^{-1}$ , öntözött:  $113,52 \text{ mg kg}^{-1}$ ), az Mv Koppány hibrid (nem öntözött:  $99,66 \text{ mg kg}^{-1}$ , ill. öntözött:  $108,88 \text{ mg kg}^{-1}$ ), és az Mv 500 (nem öntözött:  $94,96 \text{ mg kg}^{-1}$ , öntözött:  $122,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ) esetében éppen fordítva. Szintén szignifikáns kölcsönhatást igazolt az analízis a tápanyag-ellátási lépcsők és az öntözés között. Megállapítható, hogy a kontrollkezelésben és a legalacsonyabb tápanyagdózissal kezelt parcellák talajaiban az öntözött és nem öntözött kezelések  $P_2O_5$ -tartalma nem különbözött. Ezzel szemben a nagyobb dózisoknál az öntözött kezelésekben szignifikánsan nagyobb értékeket mértünk. Ez igazolja, hogy a tápanyagellátás és az optimális vízellátás között igen szoros összefüggés van.



21. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



22. ábra: A talaj P-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

A tápanyag-ellátás függvényében – a másik két tényező átlagában – megállapítható, hogy a tápanyag-ellátottság szinte minden időpontban meghatározta a növények által kivont P-mennyiséget (21. ábra). A tenyészidőszak elején a kontrollkezelésben számított értékhez képest ( $0,19$ , ill.  $5,96 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a legalacsonyabb tápanyag-ellátási szinten, ill. szinteken nem tapasztaltunk változást, vagy enyhén csökkenő tendenciát figyelhettünk meg ( $0,17$ , illetve  $4,94 \text{ kg ha}^{-1}$ ), az ennél magasabb dózisokkal kezelt parcellákon azonban növekvő tendencia mutatkozott. Az egymás melletti dózisok között nem minden esetben mértünk szignifikáns különbséget. A

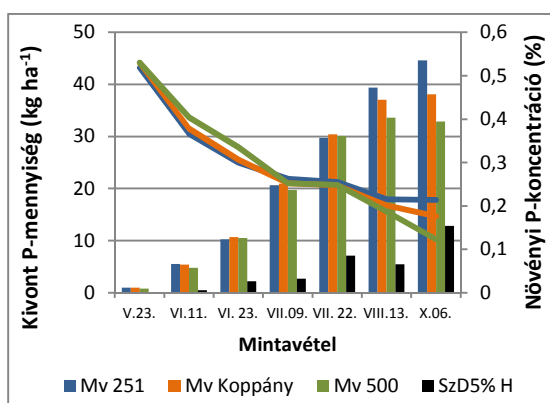


tápanyagellátás hatására az intenzív vegetatív fejlődési fázisában mértük a legnagyobb növekményt a kivont P-tartalomban, azaz 227%-ot (kontroll:  $4,71 \text{ kg ha}^{-1}$ ; 5. tápanyagszint:  $15,87 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A későbbi mintavételek során a növekvő tápanyag-ellátottsággal párhuzamosan tendenciaszerű növekedést figyeltünk meg a kivont P-mennyiségben. Összességében megállapítható, hogy az alacsonyabb tápanyag-ellátási lépcsők kijuttatásával a nem trágyázott variánshoz képest jelentős mértékben emelkedett a kivont P-mennyiség, s ehhez képest a jobb tápanyag-ellátottságú kezelésekben további növekedést tapasztaltunk.

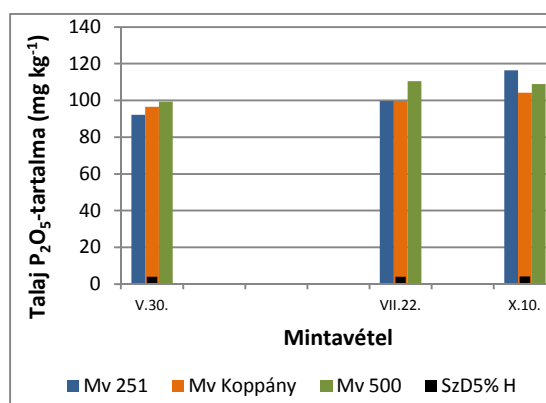
A növényi foszfor-koncentrációt a 2008-as tenyészidőszak egészében a tápanyag-ellátottság jelentős mértékben meghatározta (21. ábra). A kontroll-kezelésben viszonylag a mintavételek többsége során viszonylag magas értékeket mértünk, míg ennél alacsonyabbat, vagy ettől nem különbözött a kisebb tápanyagdózissal kezelt parcellákon. A növekvő kijuttatott műtrágya-dózissal párhuzamosan pedig a növényi koncentráció is növekvő tendenciát mutatott. A nagyobb dózissal kezelt parcellákban a mintavételek többségében nem tapasztaltunk különbséget a kontroll-kezeléshez képest, viszont magasabb növényi P-koncentrációt mértünk, mint az alacsony tápanyag-ellátottságú variánsokban. Tekintettel arra, hogy a talaj oldható és kicserélhető  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalma a növekvő tápanyag-visszapótlással párhuzamosan nőtt, a jelenség oka valószínűsíthetően az, hogy a talaj felvehető tápanyagkészlete nem újult meg kellő ütemben, illetve, hogy a tartaléktápanyagok voltak túlsúlyban a foszfor lekötődése miatt. Mivel a nagyobb műtrágyadózissal kezelt kombinációkban a kivont mennyiség is nagyobb volt, arra következtethetünk, hogy e kezelésekben a felvehető készlet nőtt, de ez a mennyiség megoszlott és a nagyobb zöldtömeg-produkcióval felhígult. A tenyészidőszak során a nagyobb tápanyag-ellátottságú variánsok foszfor-koncentrációja hosszabb és intenzívebb csökkenést mutatott, mint a nem trágyázott vagy alacsony műtrágya-dózissal kezelt parcellákon.

A talaj  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalma a növekvő dózisú tápanyagellátás hatására – a többi vizsgált tényező átlagában – a mind a kontrollkezeléshez, mind pedig a kisebb dózisú kezeléshez képest szignifikáns mértékben növelte a talaj elemtartalmát a tenyészidőszak elején (22. ábra). Tehát a pótlólagos tápanyag-kijuttatással a tenyészidőszak elején minden vizsgált esetben növelhető a talaj felvehető és kicserélhető P-készlete. A 2008-as tenyészidőszak közepén a kontroll-kezeléshez képest ( $64,66 \text{ mg kg}^{-1}$ ) már a legalacsonyabb tápanyagdózis is szignifikáns mértékben emelte a talaj AL-oldható  $\text{P}_2\text{O}_5$ -készletét ( $79,45 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A további kijuttatott dózisok is tendenciaszerűen növelték a talaj oldható

és kicserélhető P-készletét. A legnagyobb dózis hatására ( $162,13 \text{ mg kg}^{-1}$ ) az Mv 500 esetében a kontrollkezelésben mért legalacsonyabb átlagértékhez ( $61,19 \text{ mg kg}^{-1}$ ) képest közel 165%-os növekedést realizáltunk az adott mintavételben. A betakarításkor vett talajminták esetében szintén megállapítottuk, hogy a növekvő kijuttatott műtrágyadózissal párhuzamosan szignifikáns mértékben növekedett a növény számára felvehető és tartalék foszfor mennyisége a talajban. A legnagyobb műtrágyadózisnál a kontrollkezelésben mért értékhez képest mintegy  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ -mal mértünk magasabb értéket ( $163,80 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Eszerint a számos tenyészedőszak alatt kijuttatott pótlólagos tápanyagok egyrészt mennyiségileg fedezték a növényállomány P-igényét, másrészt részben hozzájárultak a talaj tápelem-készletének gyarapodásához.



23. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészedőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



24. ábra: A talaj P-koncentrációjának változása a tenyészedőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

Az eltérő tenyészedőszak genotípusok hatása a kivont mennyiségre (23. ábra) a tenyészedőszak elején, illetve az érés során bizonyult szignifikánsnak. A tenyészedőszak elején a rövidebb tenyészedőszak Mv 251 és Mv Koppány által kivont P-mennyiség ( $0,24$  és  $0,26$ , illetve  $5,50$  és  $5,72 \text{ kg ha}^{-1}$ ) volt nagyobb (Mv 500:  $0,20$ , ill.  $4,80 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ez szintén arra enged következtetni, hogy a növényi növekedés kezdetén a rövidebb tenyészedőszak hibridek tápanyagfelvétele intenzívebb és a növények által kivont mennyiség nagyobb, mint a hosszabb tenyészedőszak hibridek esetében. A tenyészedőszak utolsó két mintavétele során szintén a rövidebb tenyészedőszak Mv 251 által kivont P-mennyiség bizonyult nagyobbak ( $39,37$ , ill.  $41,75 \text{ kg ha}^{-1}$ ), mint a hosszabb tenyészedőszak hibridek által kivont mennyiség (Mv Koppány:  $28,42$  és  $26,83 \text{ kg ha}^{-1}$ ; Mv 500:  $33,59$  és  $32,90 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ennek magyarázata valószínűleg abban rejlik, hogy a hosszabb tenyészedőszak hibridek intenzív felvétele idején a talajban az összes

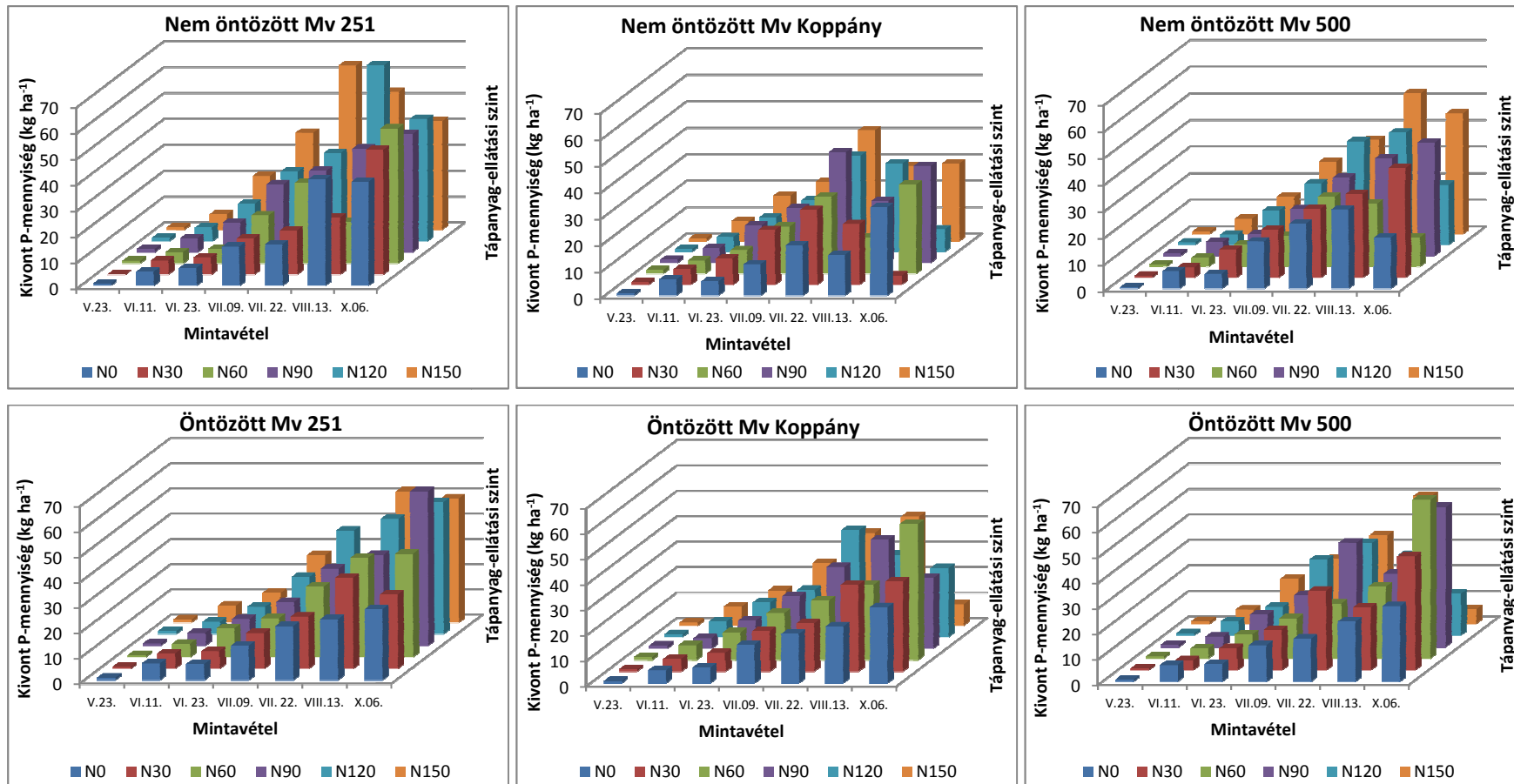
foszforkészlet igen kis részarányát jelentő felvehető készlet nem volt képes a felvétel ütemében megújulni. Eredményeink összecsengenek Fageria és Baligar, (1997), valamint Rastija et al. (2008) megállapításával, miszerint a különböző genotípusok eltérően reagálnak és növekednek tápanyag-, ezen belül is foszforhiány, illetve túlsúly esetén.

A hibridek közötti különbség a növényi P-koncentráció tekintetében (23. ábra) az intenzív vegetatív fejlődés, illetve az érés-betakarítás során is mérhető volt. Míg a tenyészidőszak elején a hosszabb tenyészidejű hibridek P-koncentrációja volt magasabb (2. mintavétel: Mv 251: 0,366%; Mv Koppány: 0,397%; Mv 500: 0,404%), addig a vegetáció végén a tendencia megfordult és a korai éréscsoportba tartozó Mv 251 koncentrációja (0,214%) bizonyult a legnagyobbknak (Mv Koppány: 0,125%; Mv 500: 0,123%).

A talaj foszforkészletére gyakorolt hatásban a hibridek közötti különbség – a többi vizsgált tényező átlagában – a vegetáció elején abban nyilvánult meg (24. ábra), hogy a legrövidebb tenyészidejű Mv 251 hibrid parcelláiban a talaj  $P_2O_5$ -készlete szignifikáns mértékben alacsonyabb volt ( $92,25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) a másik két hibrid esetében mért értékektől ( $96,49$ , illetve  $99,27 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Ez utóbbi két érték statisztikailag nem különbözött egymástól. Tehát a talaj oldható foszforkészletéből a korai hibrid az adott mintavételi időpontig nagyobb mennyiségű foszfort vont ki, míg a hosszabb tenyészidejű hibridek tápelem-felvétele elnyújtottabb és kevésbé intenzív ebben a fenofázisban. A hibridek és a tápanyagellátás közötti kölcsönhatás abban mutatkozott, hogy míg a kontrollkezelésben és az alacsonyabb tápanyagszinteken nem tapasztaltunk különbséget a hibridek között, addig a magasabb tápanyagdózisok kijuttatása esetében szignifikáns különbséget mértünk az Mv 251 és a másik két hibrid parcelláinak AL-oldható  $P_2O_5$ -tartalmában.

A hibrideket vizsgálva megállapítható, hogy míg az Mv 251 és az Mv Koppány hatása a talaj AL-oldható  $P_2O_5$ -készletére nem különbözött egymástól ( $99,67$ , illetve  $99,69 \text{ mg kg}^{-1}$ ), addig az Mv 500-nál szignifikánsan nagyobb értéket mértünk ( $110,56 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Ez annak tulajdonítható, hogy egyrészt az Mv 500 esetében a tápanyagfelvétel elnyújtottabb lehetett, ezt támasztja alá az is, hogy az adott mintavételi időpontban a három hibrid szárazanyag-felhalmozása között nem volt igazolható különbség. Másrészt feltételezésünk szerint az Mv 500 tápanyagfeltáró képessége és gyökérsav-kiválasztása erőteljesebb lehetett. Azonban az adott mintavételi időpontban az egyes hibridek által a talajból a saját növényi produktumuk felépítéséhez kivont P-mennyiségben sem volt igazolható különbség. A tenyészidőszak végén a legrövidebb

tenyészidejű Mv 251 hibrid parcelláiból vett talajminták  $P_2O_5$ -tartalma ( $116,48 \text{ mg kg}^{-1}$ ) szignifikáns mértékben meghaladta a másik két, hosszabb tenyészidejű hibrid parcelláiban mért értékeket ( $104,27$ , illetve  $108,91 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Mivel a tenyészidőszak és a tápanyag-felvétel időtartama e genotípusnál a legrövidebb a folyamatos feltáródási folyamatok e parcellákon a talaj felvehető és könnyen kicserélhető készletét növelték. A viszonylag rövidebb tápanyag-felvételi időszakban intenzív tápanyagfelvétellel párosul, illetve valószínűsíthetően ebből kifolyólag a hibrid tápanyag-feltáró képessége is jobb.

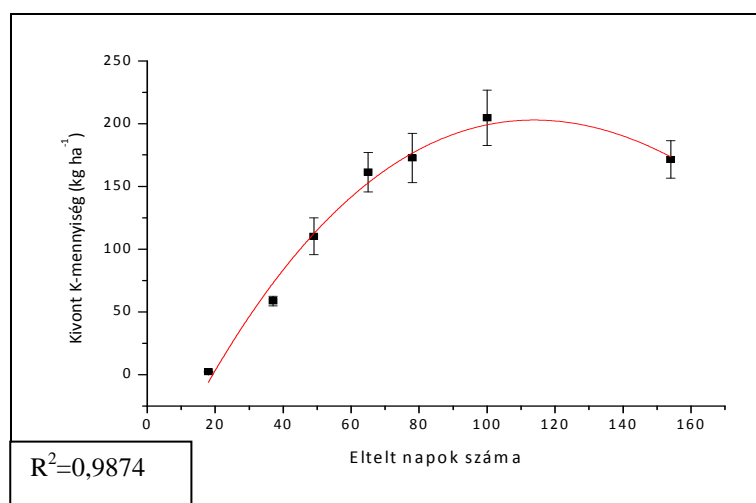


25. ábra: A kukorica által kivont P-mennyiség ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) a tenésztidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

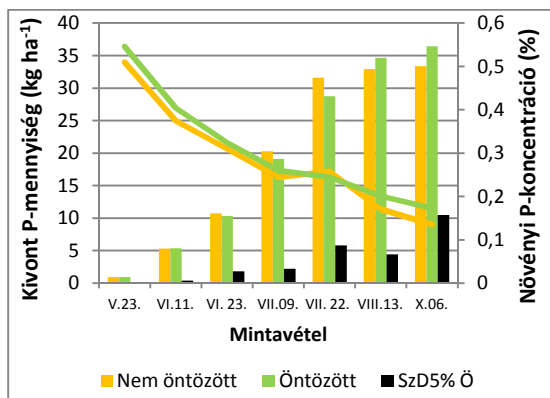
### 5.1.6. A kukorica káliumfelvétele a 2008-as tenyésztidőszakban

A növény föld feletti biomasszával a talajból a tenyésztidőszakban kivont K-mennyiséget az egyes vizsgálati tényezők függvényében a 33. ábra diagramjai, a tényleges mérési értékeket pedig a 13. sz. *Melléklet* mutatják. A növényi felvétel dinamikáját a 26. ábra mutatja, a dinamika az alábbi egyenlettel írható le. A kivont kálium-mennyiség főként a fiatal növényeknél volt meghatározó mértékű, míg a szemtelítődés és az érés során számottevő K-felvételt már a kezelések átlagában nem mértünk. Ezt kiegészíti Lásztity et al. (1985b) megfigyelése is, miszerint a fő felvételi időszak a virágzáskor tapasztalható, majd a betakarítás időpontjáig a növényi koncentráció mintegy 20%-os csökkenést mutatott. Egyes kezelésekben megfigyeltük az a jelenséget is, hogy a növény a szervezetébe felvett, de be nem épült K-mennyiséget az éréskor visszapumpálja a talajba. A növényi kálium-koncentráció (12. sz. *Melléklet*) szintén a vegetáció elején volt a legnagyobb (átlagosan 4,88%). Ezt követően a fiatal növényekben viszonylag intenzív csökkenést mértünk, míg a generatív fázistól kezdve a csökkenés sokkal kevésbé intenzív tendenciát tapasztaltunk. A talaj AL-oldható K<sub>2</sub>O-tartalma (11. sz. *Melléklet*), azaz a növény számára aktuálisan felvehető és könnyen mobilizálható K-tartalom a tenyésztidőszak során viszonylag konstans, jó ellátottságot mutatott. A vegetáció elején átlagosan jó ellátottságot mértünk, ezt követően csekély mértékű csökkenést tapasztaltunk a vegetáció első felében kivont nagyobb K-mennyiségnek köszönhetően. A vegetáció végén a lecsökkent K-felvétel, a további mobilizáció és a növényekből visszajuttatott K-mennyiség hatására ismét egy magasabb átlagértéket mértünk a talajban. A talaj és a növény elemtartalma között egyik mintavétel során sem volt igazolható összefüggés.

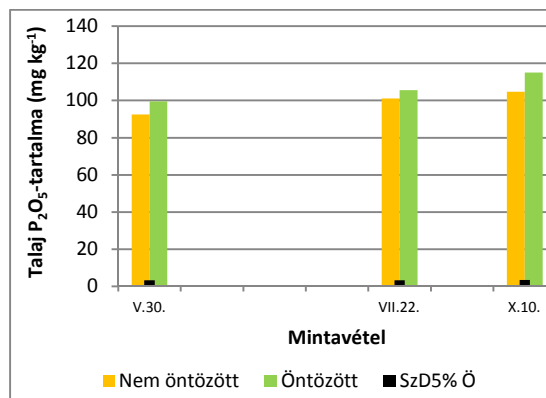
$$y = 2861,95 \times (1 - \exp(-0,0049 x)) - 7,99 x - 101,419$$



26. ábra: A kukorica K-felvételi dinamikája a tenyésztidőszak során (Debrecen-Látókép, 2008)



27. ábra: A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

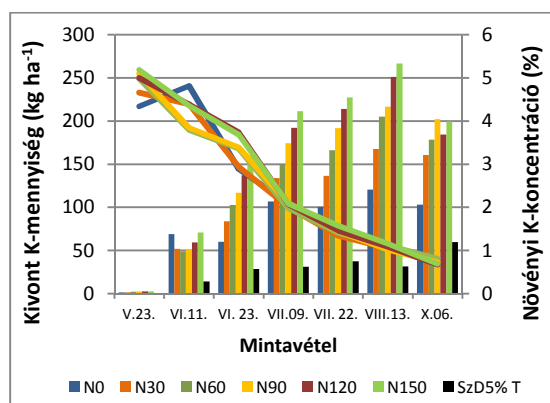


28. ábra: A talaj K<sub>2</sub>O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

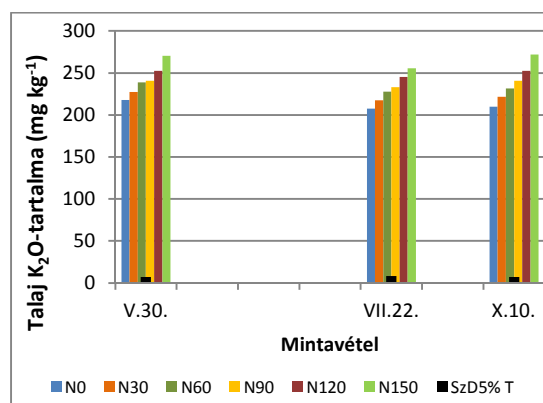
A korábbi évek során alkalmazott rendszeres öntözés hatása a kivont K-mennyiségre eltérően jelentkezett az évjárat folyamán, egyértelmű hatást és tendenciát nem figyeltünk meg (27. ábra). A tenyészidőszak elején (2. mintavétel,  $P = 0,1\%$ ) az öntözött kezelésekből kivont K-mennyiség szignifikánsan nagyobb volt ( $67,06 \text{ kg ha}^{-1}$ ), mint a nem öntözöttekből ( $50,05 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ezzel szemben a tenyészidőszak végéhez közeledve (6. mintavétel;  $P = 1\%$ ) a korábban öntözött kezelésekből mértünk kisebb értékeket (öntözött:  $190,04 \text{ kg ha}^{-1}$ ; nem öntözött:  $219,23 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Tekintettel arra, hogy a két öntözési variánsban az adott tenyészidőszakban a növények rendelkezésére azonos vízmennyiség állt, valamint, hogy az AL- és a  $\text{CaCl}_2$ -oldható K-mennyiség az öntözött kezelésekből volt magasabb; ez arra enged következtetni, hogy a kivont K-mennyiséget elsősorban a szárazanyag-termelés határozza meg, mintsem annak K-koncentrációja. A szárazanyag mennyisége pedig a nem öntözött kezelésekből meghaladta az öntözött kezelésekből mért értékeket.

A növényi K-tartalom változása (27. ábra) az öntözés függvényében szintén nem mutatott a vegetáció során egyértelmű tendenciát. A vegetáció elején a korábbi években öntözött kezelésekből mértünk magasabb K-tartalmat, míg az intenzív vegetatív fejlődéstől az érésig nem figyeltünk meg hatást az öntözés függvényében. Az első és második mintavétel során a korábbi években öntözött kezelésekből mértünk magasabb K-tartalmat ( $4,98\%$ ) szignifikánsan nagyobb volt, mint a nem öntözötteké ( $4,77\%$ ) ( $P = 5\%$ ). A vegetáció végén szintén nem volt egyértelmű hatás. Összességében a vegetáció során a vegetáció első szakaszát kivéve mindkét öntözési variánsban azonos, csökkenő tendenciát tapasztaltunk.

A talajból a tartalék és a növény számára felvehető K-mennyiség (28. ábra) a vegetáció elején a korábbi években rendszeresen alkalmazott öntözés hatására az öntözött kezelésekből vett talajmintákban volt magasabb volt ( $245,04 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mint a nem öntözött kezelésekből vett talajmintákban ( $237,59 \text{ mg kg}^{-1}$ ) mért érték. Ennek potenciális oka részben az öntözővízzel kijuttatott K-mennyiség lehet, illetve a rendszeres öntözés hatására megváltozott, jobb K-mobilizáció. A vegetáció közepén nem mértünk igazolható különbséget a korábban öntözött és nem öntözött kezelések AL-oldható  $\text{K}_2\text{O}$ -tartalma között. A vegetáció végén szintén az öntözött kezelésekből mértünk magasabb  $\text{K}_2\text{O}$ -tartalmat.



29. ábra: A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)



30. ábra: A talaj  $\text{K}_2\text{O}$ -koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

A növények által kivont K-mennyiséget az egész tenyészidőszak során következetesen meghatározta a növekvő dózisokban kijuttatott műtrágyázás (29. ábra). Általánosan elmondható, hogy a kontrollkezeléshez képest a legalacsonyabb kijuttatott műtrágya-dózis még nem eredményezett szignifikáns emelkedést a kivont K-mennyiségben. A nagyobb adagok esetében azonban tendenciaszerű emelkedést figyeltünk meg. Az egymás melletti tápanyagdózisok hatása nem minden esetben különbözött szignifikáns mértékben. A kontrollkezeléshez képest az első mintavétel során  $65,5$ , az intenzív vegetatív fejlődéskor  $166,2$ , a vegetatív-generatív fenológiai fázisok határán  $126,5$ , míg a betakarításkor  $93,3\%$ -os növekedést mértünk a legnagyobb műtrágyadózissal kezelt parcellákban kivont K-mennyiségek esetében. Összességében a javuló tápanyag-ellátottsággal párhuzamosan nagyobb kivont mennyiséget mértünk a tenyészidőszak egészében.

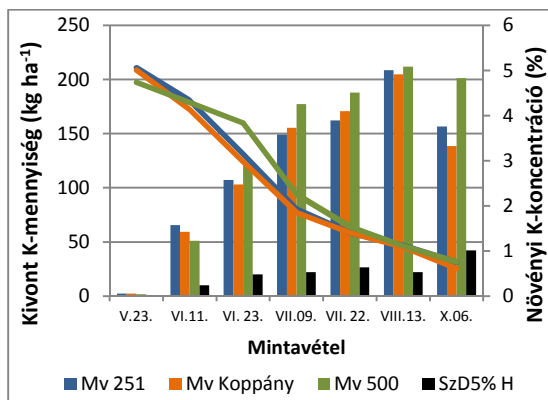


A növényi kálium-koncentrációban (29. ábra) a vegetáció elején a tápanyagellátás hatására a kontrollkezeléshez képest (4,34%) a legkisebb tápanyagdózis még nem eredményezett szignifikáns növekedést (4,66%), a kijuttatott nagyobb dózisok azonban tendenciaszerűen növelték a növény K-tartalmát. A legmagasabb tápanyagszinten 5,18% K-tartalmat mértünk, amely a kontrollhoz képest 19,4%-os növekményt jelent. Az egymás melletti dózisok hatása között ez esetben sem mindig tapasztaltunk különbséget. A későbbi mintavételekben egyértelmű tendenciát nem tudtunk megállapítani a tápanyag-ellátás függvényében. Azonban minden tápanyag-ellátottsági szinten azonos, a vegetáció első szakaszában intenzív hígulást, majd kevésbé intenzív csökkenő tendenciát tapasztaltunk: első mintavétel során az összes kezelés átlagában 4,88%-ot mértünk, az intenzív vegetatív fejlődés időszakában 3,33%-ot, a vegetatív-generatív fázisok határán 1,43%-ot és a betakarításkor 0,72%-ot.

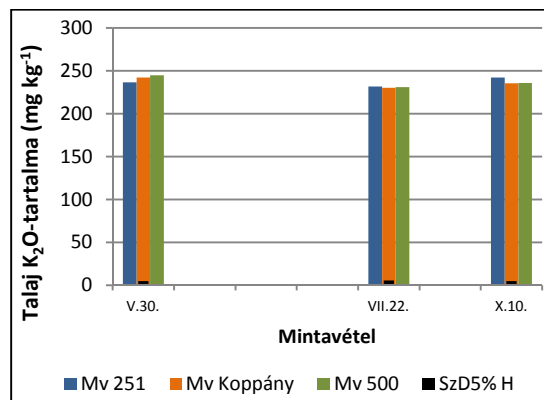
A talaj AL-oldható  $K_2O$ -tartalma a növekvő tápanyaglépcsők hatására (30. ábra) a másik két vizsgált tényező átlagában a vegetáció egészében azonos tendenciát követett: párhuzamosan a jobb tápanyag-ellátottsággal növekedett a talaj AL-oldható  $K_2O$ -tartalma is. Azonban meg kell állapítani, hogy az egymás melletti dózisú tápanyagszintek között nem mindig tapasztaltunk szignifikáns különbséget. A vegetáció elején a tápanyag-ellátás és az öntözés kölcsönhatása abban nyilvánult meg, hogy míg az öntözött kezelésekben a növekvő tápanyagellátással párhuzamosan nőtt a talaj AL-oldható  $K_2O$ -tartalma, a nem öntözött kezelésekben ez a hatás csak tendenciaszerűen jelentkezett és az egymás melletti dózisok között nem mértünk minden esetben szignifikáns különbséget. A tápanyagok pótlólagos kijuttatásával a talaj K-ellátottsága folyamatosan növekedett.

A genotípusok közötti különbség függvényében a tenyészidőszak kezdetén megállapítottuk, hogy a rövidebb tenyészidejű hibridek K-felvétele intenzívebb, mint a hosszabbaké (31. ábra). A vegetáció elején a korábbi éréscsoportba tartozó genotípusok nagyobb mennyiségű K-ot vontak ki a talajból. Az első mintavétel során nem volt különbség a két rövidebb tenyészidejű hibrid által kivont mennyiség között (Mv 251: 2,33 kg ha<sup>-1</sup>; Mv Koppány: 2,38 kg ha<sup>-1</sup>), az Mv 500 azonban szignifikánsan kisebb mennyiséget vont ki (1,82 kg ha<sup>-1</sup>). A csökkenő tendencia a második mintavétel során is szignifikáns volt. Az intenzív vegetatív fejlődés során az egyes hibridek között nem tapasztaltunk különbséget, ekkorra a hosszabb tenyészidejűek tápanyagfelvétele is fokozottabb lett. A generatív fázistól a korábbi tendenciával ellentétben a növekvő tenyészidőhosszal párhuzamosan növekedést figyeltünk meg a kivont mennyiségben. A betakarításkor az Mv 500 28,5%-kal több K-ot vont ki a talajból (201,24 kg ha<sup>-1</sup>), mint az

Mv 251 (156,57 kg ha<sup>-1</sup>). Vagyis a kezdeti elhúzódó és kevésbé intenzív tápanyagfelvételt a hosszabb tenyészidejű hibrid a hosszabb és tovább intenzívnek tekinthető tápanyagfelvétele során kompenzálta és összességében több tápelemet vont ki a talajból.



31. ábra: A növények által kivont K-mennyiség és a növényi K-koncentráció a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

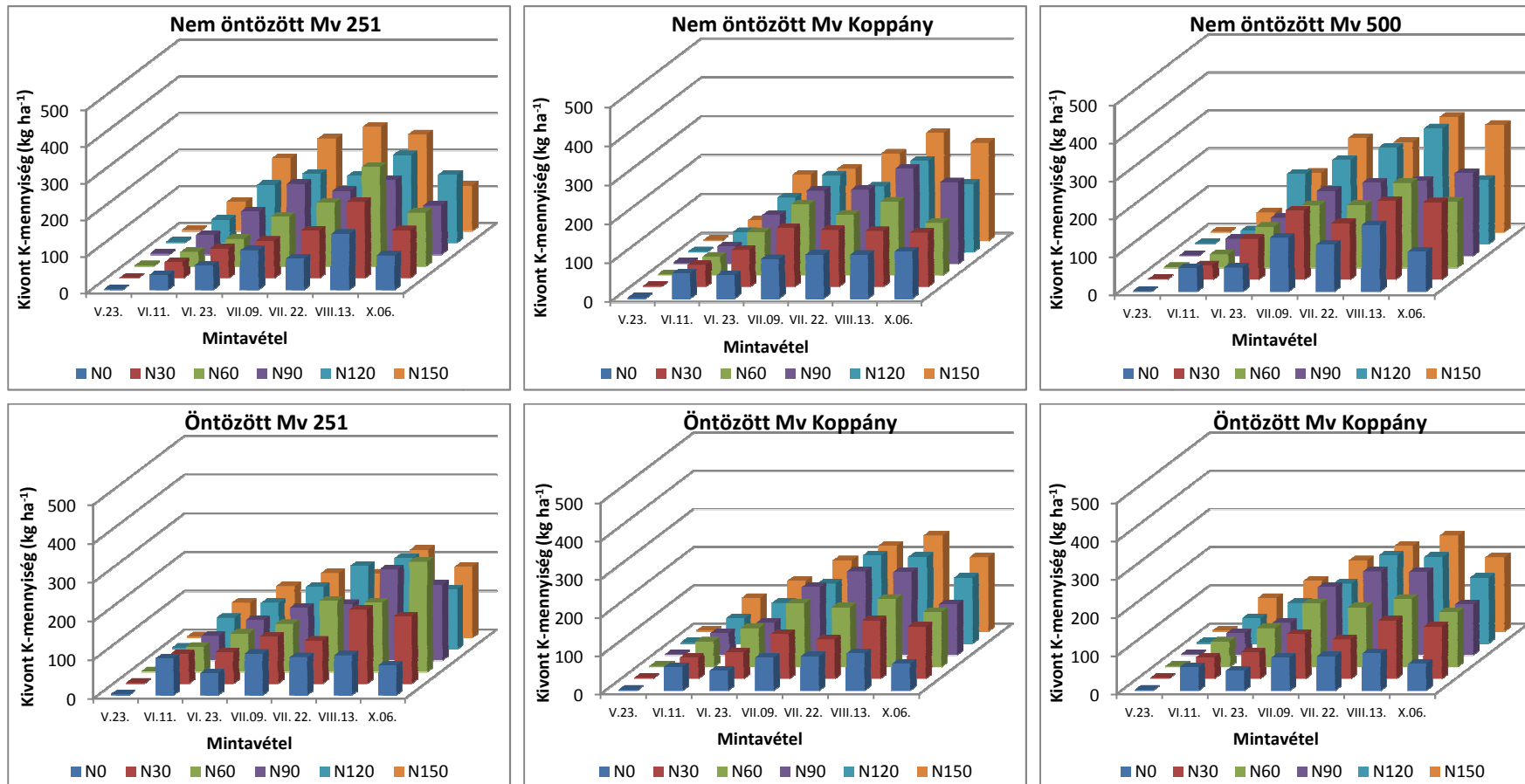


32. ábra: A talaj K<sub>2</sub>O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2008)

A hibridek tenyészidőszakának hosszabbodásával párhuzamosan csökkenő tendenciát tapasztaltunk a K-tartalom alakulásában (P = 10%), a legmagasabb értéket az Mv 251 esetében (5,06%), míg a legalacsonyabbat az Mv 500 esetében (4,74%) mértük (31. ábra). A már tárgyalt elemekhez hasonlóan ez is arra enged következtetni, hogy a rövidebb tenyészidejű hibrideknél a vegetáció első szakaszában intenzívebb a tápanyagfelvétel. A tenyészidőszak későbbi fázisaiban, az intenzív vegetatív fejlődési szakasztól kezdve ezzel szemben azt tapasztaltuk, hogy a rövidebb tenyészidejű hibridek K-tartalma alacsonyabb (4. Mintavétel, Mv 251: 1,93%; Mv Koppány: 2,00%; Mv 500: 2,25%). Valószínűen a hosszabb tenyészidejű hibrid ekkor érte el az intenzív tápanyagfelvételi időszakát. A tenyészidőszak végén már nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a hibridek K-tartalma között.

A különböző hibridek hatását vizsgálva a talaj K<sub>2</sub>O-tartalmára a vegetáció elején megállapítható (32. ábra), hogy a hosszabb tenyészidőszakkal rendelkező két hibrid talajából vett mintákban az AL-oldható K<sub>2</sub>O-tartalom nagyobb (242,41, illetve 244,83 mg kg<sup>-1</sup>), mint a korai érésű Mv 251 esetében (236,69 mg kg<sup>-1</sup>). Ennek magyarázata az lehet, hogy a hosszabb tenyészidejű hibridek hosszabb tápanyagfelvételi időszakkal is rendelkeznek, ami a tenyészidőszak elején, az intenzív vegetatív fejlődés és biomassza-képzés idején a korai hibridhez képest elnyújtottabb kezdeti fejlődést jelent.

Ezt igazolja az is, hogy az első növényminta-vétel idején e két hibrid zöld- és száraztömeg produkciója is alacsonyabb volt, mint az Mv 251 esetében. Emiatt a talajban adott időpontban több oldható és könnyen kicserélhető K volt jelen, amely a későbbi felvétel alapját képezte. A vegetáció közepén az egyes genotípusok között nem mértünk igazolható különbséget. A vegetáció végén azonban a rövidebb tenyészidőszakkal rendelkező Mv 251 hibridnél ( $242,35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) a betakarításkor magasabb  $\text{K}_2\text{O}$ -tartalmat mértünk, mint a másik két későbbi éréscsoportba tartozónál. Az Mv Koppány ( $235,66 \text{ mg kg}^{-1}$ ) és az Mv 500 ( $235,97 \text{ mg kg}^{-1}$ ) között nem tapasztaltunk jelentős különbséget. A hosszabb tenyészidőszakú genotípusoknál a tápanyag-felvétel tovább tartott, mint az Mv 251-nél, s így a vegetáció végén a nagyobb kivont K-mennyiség a lecsökkent felvétel ellenére sem újult meg oly mértékben, mint a korai Mv 251-nél.



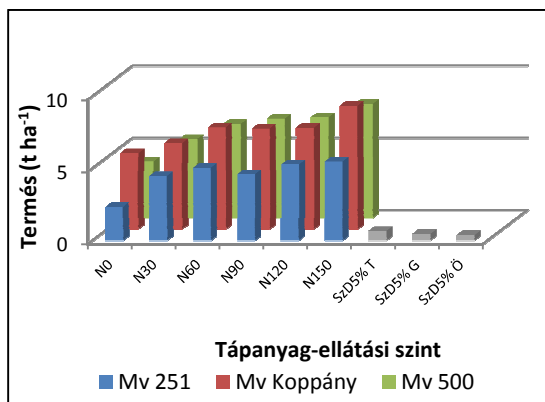
33. ábra: A kukorica által kivont K-mennyiség (kg ha<sup>-1</sup>) a tenyészidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében

(Debrecen-Látókép, 2008)

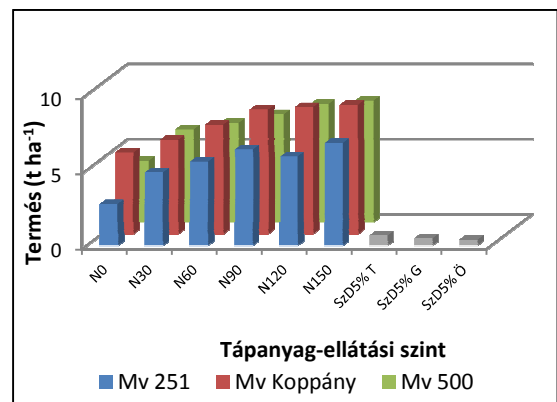
## 5.2. A 2009-es év eredményeinek értékelése

### 5.2.1. Terméseredmények

A 2009 évi terméseredményeket a 14. sz. *Melléklet* tartalmazza. Az eredmények 3 tényezős variancia-analízissel történő vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a termésre 2009-ben mindhárom vizsgált termesztési tényező szignifikáns hatást gyakorolt. A tényezők között kölcsönhatást csak a tápanyagellátás és a hibridek között észleltünk. A korábbi, kiegyenlített vízellátású évjáratban mért terméseredményekhez képest, a 2009-es – száraz évjáratbeli – terméseredmények (34. és 35. ábra) jelentősen alacsonyabbak voltak.



34. ábra: A tápanyag-ellátási szintek hatása az egyes hibridek termésére (t ha<sup>-1</sup>) a nem öntözött kezelésekben (Debrecen-Látókép, 2009)



35. ábra: A tápanyag-ellátási szintek hatására az egyes hibridek termésére (t ha<sup>-1</sup>) az öntözött kezelésekben (Debrecen-Látókép, 2009)

A 2009-ben, a tenyészidőszak elején kétszeri alkalommal (a keléskor és a vegetatív fejlődés kezdetén) kijuttatott 25-25 mm öntözővíz hatására az öntözött parcellák termése (6,47 t ha<sup>-1</sup>) a másik két kezelési tényező átlagában szignifikánsan meghaladta a nem öntözött parcellákon mért terméseredményeket (5,87 t ha<sup>-1</sup>). Az öntözött parcellákon a pótlólagos vízkijuttatás hatására az átlagostól jóval szárazabb áprilisi és májusi időszakban a növények kelése és kezdeti fejlődése szempontjából kritikus vízellátás nem számított limitáló tényezőnek. Az öntözés kulcsfontosságú a termésmennyiség szempontjából: öntözött körülmények között a kijuttatott műtrágyák hasznosulása jobb, azokból nagyobb mennyiség realizálódik a termésben (Huzsvai és Nagy, 2003; Márton, 2005). A növények kezdeti fejlődése e parcellákon kedvezőbb volt, ami a tenyészidőszak további szakaszaiban jobb állományfejlettséghez és végeredményben nagyobb terméshez vezetett. A júniusi, átlagértéket jóval meghaladó csapadékot követően a generatív fázisban már egyik öntözési variánsban sem került sor

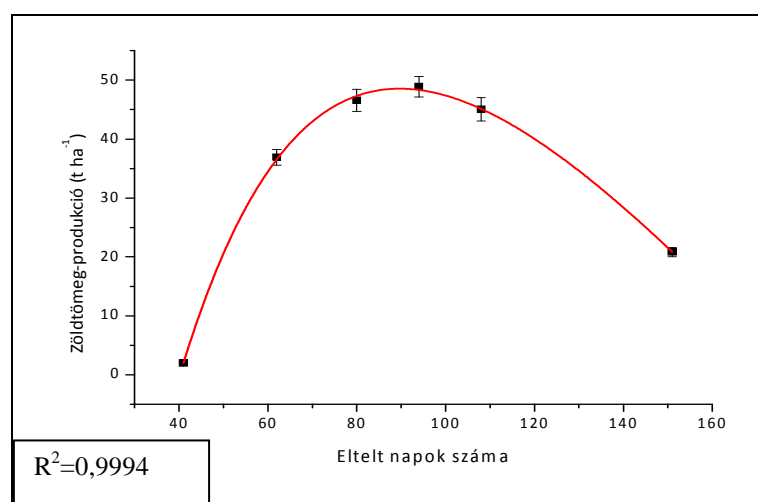
pótlólagos vízkijuttatásra. A megfelelő vízellátás fontosságát és hatását a termés mennyiségére hangsúlyozza Pakurár et al., (2004), Megyes et al. (2005), valamint Kátai et al. (2006) is.

A tápanyag-ellátási szintek elemzése szignifikáns hatást igazolt a termés mennyiségére. A hatás azonban mind a hibridek, mind az öntözési variánsok átlagában csak az alacsonyabb tápanyagszinteken mutatkozott meg. A kontrollkezeléshez a legkisebb és az ennél egy lépcsővel nagyobb műtrágya-dózis kijuttatása további szignifikáns termésmenökeményt eredményezett. Az ezen felül kijuttatott tápanyagmennyiség azonban már nem növelte tovább a kukorica szemtermését. Tendenciaszerűen az egyes hibridek függvényében megfigyelhető a növekvő tápanyag-ellátottság hatására emelkedő termésmennyiség. Ez részben összecseng Izsáki (2008) megállapításával, aki mélyben karbonátos csernozjom réti talajon 10 évből 6-ban nem tapasztalt jelentős termésmenökedést. Azonban ellentmond Nagy (2007a) megállapításának, aki szerint nagyobb műtrágyadózisok kijuttatása sokkal kedvezőbb és eredményesebb lehet száraz évjáratokban, mint átlagos és sokévi átlag feletti csapadékkal jellemezhető években.

A különböző tenyészidőszakú hibridek hatását vizsgálva megállapítható, hogy a másik két vizsgált tényező átlagában a legalacsonyabb termést ( $4,95 \text{ t ha}^{-1}$ ) – a szakirodalomnak és várakozásunknak megfelelően – a legrövidebb tenyészidejű hibrid produkálta. Ehhez képest az Mv 500 szignifikánsan nagyobb termést hozott ( $6,46 \text{ t ha}^{-1}$ ). A legnagyobb termést a középérésű Mv Koppány esetében mértük ( $7,08 \text{ t ha}^{-1}$ ). Ez mind az öntözött, mind a nem öntözött kezelésekben megállapítható és azzal magyarázható, hogy az öntözött és nem öntözött kezelések esetében nem volt különbség a kritikus címerhányási és az azt követő szemtelítődési időszak vízellátása között. Az öntözött kezelésekben a kiegészítő vízmennyiségeket április végén, majd május közepén, vagyis a tenyészidőszak elején juttattuk ki. A 2009-es évben a június hónap igen csapadékos volt, majd ezt egy hosszabb, számottevő csapadékos nélküli periódus követte. A címerhányáskor és a szemtelítődés kezdetén kulcsfontosságú a növények megfelelő vízellátása. A közepes tenyészidejű hibrid esetében korábbra tehető ez az időszak, amikor is a talajban még megfelelő mennyiségű víz állt rendelkezésre a júniusi csapadékból. Ezzel szemben a hosszabb tenyészidejű Mv 500 esetében a címerhányás több nappal későbbre tehető, amikor már kevesebb víz állt a növények rendelkezésére és ez zavart okozott a termésképzésben, majd a későbbi szemtelítődésben.

### 5.2.2. A kukorica zöldtömegének és szárazanyag-mennyiségének alakulása a 2009-es tenyészidőszak során

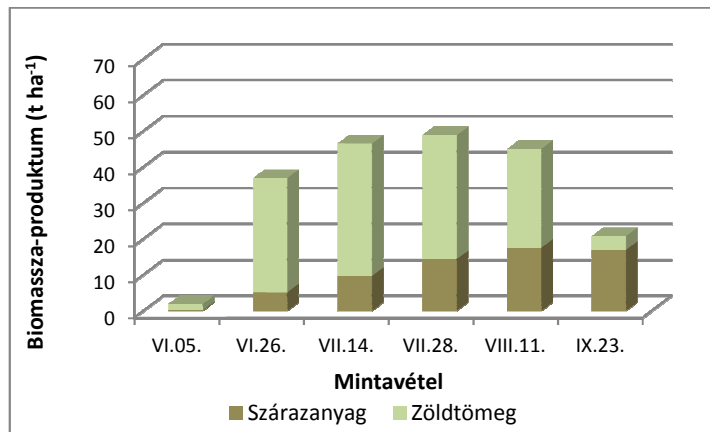
A 2009-es tenyészidőszak hat mintavételi időpontjában a kukorica zöldtömeg- és szárazanyag produktuma a 37. ábrán látható. Az átlagos zöldtömeg-produktum mennyisége alulmaradt az előző évben mért zöldtömeg-mennyiségtől és az intenzív vegetatív fejlődési fázisban – a viszonylag kiegyenlített vízellátás mellett – a növények átlagosan sokkal intenzívebben fejlődtek, míg a későbbi fázisok során a zöldtömeg csupán mintegy 30%-kal növekedett. Viswakumar et al. (2008) megállapításával, miszerint mind a túl száraz, mind pedig az átlagosnál nedvesebb évjáratokban számolnunk kell a termés csökkenésével, s a száraz évjáratokban ez jóval kifejezettebb az általunk tapasztalt csökkenés egyezik. A tenyészidőszak vége felé pedig csökkenő tendenciát mutatott, ami az érési folyamattal együtt járó vízvesztés eredménye.



36. ábra: A kukorica zöldtömeg-gyarapodásának alakulása a 2009-es tenyészidőszakban (a kezelések átlagában, Debrecen-Látókép)

A különböző kezelésekben és mintavételi időpontokban mért zöldtömeg mennyiségeket a 15. sz. Melléklet, míg a szárazanyag-mennyiség adatait az 5. táblázat tartalmazza. A szárazanyag-produkció viszonylag intenzíven gyarapodott a vegetáció első felében, míg a szemtelítődést követően már nem figyeltünk meg számottevő gyarapodást. A zöldtömeg-gyarapodást a 36. ábrán szemléltetjük, a görbe a következő egyenlettel írható le:

$$y = 371,966 \times (1 - \exp(-0,0273 x)) - 0,8781 x - 212,51$$



37. ábra: A kukorica zöldtömeg produkciója (t ha<sup>-1</sup>) a tenyészidőszak különböző időpontjaiban  
(a kezelések átlagában, Debrecen-Látókép, 2009)

A 2009-es tenyészidőszak során a kukorica zöldtömeg-produkcióját a kijuttatott pótlólagos vízmennyiség csak a szemtelítődés idején befolyásolta, a többi mintavételnél azonban nem tapasztaltunk eltérést a két variáns között. A zöldtömeget elsősorban a tápanyag-ellátási lépcsők határozták meg. Általánosan megállapítható, hogy a növekvő tápanyag-dózisok hatására párhuzamosan nőtt a zöldtömeg-produktum mennyisége is. A kontrollkezeléshez képest minden esetben jelentős zöldtömeg gyarapodást értünk el már a legalacsonyabb tápanyagszint kijuttatásával is. Az egymás melletti tápanyaglécscsök hatásában nem minden esetben volt igazolható különbség, a növekvő tendencia azonban egyértelműen igazolható minden mintavétel során. A tenyészidőszak egészében jellemző volt, hogy a kontrollkezeléshez képest az alacsonyabb tápanyagszinteken megnövekedett a biomassza-produkció. A magasabb dózisok kijuttatásával ez a növekmény szignifikáns mértékben tovább fokozódott. A legmagasabb tápanyagszinten egyik mintavételi időpontban sem értünk el további növekvést, vagyis a zöldtömeg-produkció szempontjából e dózis kijuttatása már nem hatékony. Az első mintavételnél e tápanyagmennyiség kijuttatása még szignifikáns csökkenést is eredményezett, amely a szakirodalmi adatok alapján több okra vezethető vissza. Egyrészt lehetséges, hogy a felvehető tápelemek nem az optimális arányban voltak jelen és antagonizmus lépett fel a tápelemek között a kijuttatott makroelemek hatására. Az is magyarázatként szolgálhat, hogy a tenyészidőszak elején még nagy mennyiségben rendelkezésre álló felvehető nitrogénformák túlsúlya okozott visszaesést, noha nitrát- vagy ammónium-toxicitásra utaló tünet nem volt megfigyelhető. Legvalószínűbb, hogy e száraz időszakban nem állt a növények rendelkezésére elegendő vízmennyiség, amellyel ezt a viszonylag nagy mennyiségű tápanyagot hatékonyan fel tudták volna venni.



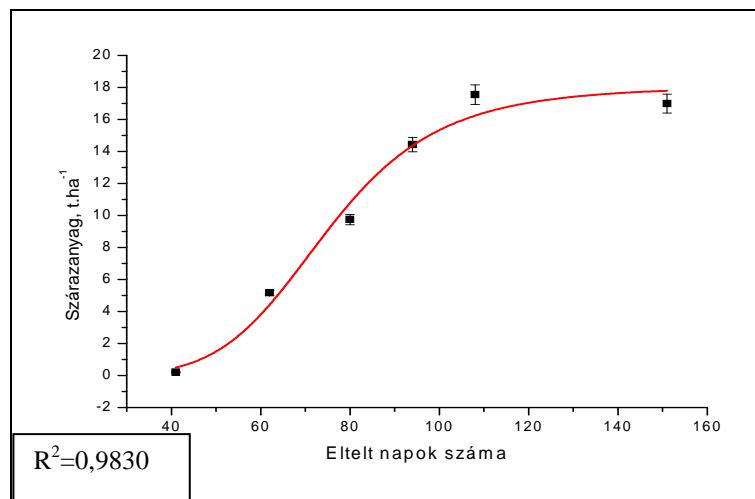
A tápanyag-ellátáson kívül a mintavételek zömében a genotípus is hatást gyakorolt a növények zöldtömeg-produkciójára. A vegetáció elején a korai éréscsoportba tartozó genotípus zöldtömeg-produkciója nagyobb volt, mivel e genotípus kezdeti fejlődése sokkal intenzívebb. A harmadik – a legintenzívebb tápanyagfelvétel, a címerhányáskori – és az utolsó (hatodik) mintavételi időpontban a legrövidebb (Mv 251) és a leghosszabb (Mv 500) tenyészidejű hibrid zöldtömeg-produkciója között nem igazoltunk különbséget. Ennek oka leginkább a tenyészidőszak során rendelkezésre álló vízmennyiségben keresendő. Valószínű, hogy az Mv 500 igen nagy terméspotenciáljának kiaknázásához a rendelkezésre álló vízmennyiségnél jóval többre lett volna szükség. Továbbá tekintettel arra, hogy az Mv 500 tápanyag-felvétele elnyújtottabb, s hogy júniustól azonos vízmennyiség állt minden öntözési variánsban a növények rendelkezésére, e hibridnél a kritikus fenofázisok melegebb és szárazabb időpontra estek, mint a rövidebb tenyészidejű társainál. Az Mv 251-nél a kisebb terméspotenciálhoz kevesebb vízmennyiség is elégségesnek bizonyult. Az érés-betakarítás időszakában a legalacsonyabb zöldtömeget az Mv 251 és az Mv 500 zöldtömege alacsonyabb volt, míg a legnagyobb produkciót az Mv Koppánynál mértük.

A növényi szárazanyag-produkciót elsősorban a tápanyag-ellátottság határozta meg a tenyészidőszakban. A kontrollkezeléshez képest a kisebb dózisú pótlólagos tápanyag-kijuttatás hatására nem minden esetben volt igazolható szárazanyag-növekmény. Az egymás melletti dózisok több esetben nem különböztek egymástól. Tendenciaszerűen azonban jól látható, hogy a növekvő dózisokkal párhuzamosan a szárazanyag-beépülés mértéke is fokozódott minden mintavételi időpontban. A szárazanyag-beépülés az alábbi egyenlettel írható le (38. ábra).

$$y = \frac{(0,0285 - 18,0649)}{1 + \left(\frac{x}{74,9288}\right)^{5,9719}} + 18,0649$$

A vegetatív-generatív fázisok váltásától kezdve a genotípus is meghatározta a növényi szárazanyag-beépülést. A mintavételek során azt tapasztaltuk, hogy a legrövidebb tenyészidejű Mv 251 és a leghosszabb Mv 500 szárazanyag-produktuma között nincs számottevő különbség. Ezzel szemben a közepes tenyészidejű Mv Koppány szignifikánsan nagyobb szárazanyag-tömeget produkált. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a tenyészidőszak előrehaladtával már nem került sor pótlólagos vízkijuttatásra. Előzetes feltételezésünk az volt, hogy mivel az Mv 251 hibrid tenyészidőszaka rövidebb, kevesebb idő áll a növény rendelkezésére a tápanyagok és a víz felvételére, így kevesebb lesz a növényi szárazanyag-produktum mennyisége is. A leghosszabb tenyészidejű

Mv 500 esetében azonban elnyújtottabb volt tenyész- és tápanyag-felvételi időszak és annak második felében a csapadék mennyisége elmaradt az átlagostól. Feltételezésünk szerint így nem volt biztosítva a növény vízigénye, amely végül kisebb szárazanyag-termékben realizálódott.



38. ábra: A kukorica szárazanyag-gyarapodásának alakulása a 2009-es tenyészidőszakban (a kezelések átlagában, Debrecen-Látókép)

5. táblázat

A kukorica szárazanyag-produkciója a 2009-es tenyésztőszaka során (Debrecen-Látókép)

Öntözés	Hibrid	Tápanyag-szint	Szárazanyag-produktum (t ha <sup>-1</sup> )					
			1. mintavétel	2. mintavétel	3. mintavétel	4. mintavétel	5. mintavétel	6. mintavétel
Öntözött	Mv 251	0	0,23	4,2	9,28	10,5	12,08	11,03
		1	0,21	5,25	7,88	12,6	13,13	12,95
		2	0,25	5,25	9,1	15,58	16,45	16,28
		3	0,23	5,78	10,85	16,1	17,85	18,2
		4	0,26	5,78	10,68	18,2	19,6	19,43
		5	0,38	5,95	11,55	15,75	21,18	21,35
	Mv Koppány	0	0,18	3,85	7	10,85	13,65	13,48
		1	0,17	3,85	8,93	14,53	13,3	13,3
		2	0,12	5,08	11,73	16,28	19,25	19,43
		3	0,31	6,13	10,5	16,63	20,13	20,48
		4	0,22	6,48	13,3	16,8	22,4	23,1
		5	0,19	6,13	14	16,1	22,05	22,58
	Mv 500	0	0,15	4,2	7,53	10,85	12,6	12,08
		1	0,17	3,5	7,7	10,85	14,53	14,18
		2	0,21	4,9	9,28	14	18,73	14,35
		3	0,19	3,85	9,8	16,45	18,55	17,85
		4	0,25	5,95	10,33	17,68	21,53	20,83
		5	0,25	6,13	9,63	17,5	19,43	18,73
Nem öntözött	Mv 251	0	0,13	4,38	5,6	11,9	11,03	11,55
		1	0,2	5,43	7,7	10,5	15,75	13,65
		2	0,13	4,55	8,05	13,13	15,93	15,58
		3	0,28	5,78	10,5	12,6	19,95	19,95
		4	0,26	6,48	11,2	15,58	18,03	21,18
		5	0,32	5,78	10,5	14,53	17,15	21,18
	Mv Koppány	0	0,16	4,2	9,45	12,95	15,05	15,4
		1	0,18	3,85	7,7	11,73	18,38	17,15
		2	0,27	5,6	9,28	14,7	19,95	16,8
		3	0,27	5,6	10,68	15,75	21	19,95
		4	0,21	5,95	11,9	20,3	19,25	19,25
		5	0,33	6,65	12,6	20,3	25,9	18,9
	Mv 500	0	0,15	3,85	7,7	9,45	11,38	10,85
		1	0,18	4,9	9,45	15,4	12,6	11,2
		2	0,18	3,68	7	12,6	12,95	13,3
		3	0,2	5,6	9,1	12,43	19,43	19,43
		4	0,17	5,95	12,25	12,43	19,25	19,6
		5	0,22	5,95	11,38	16,1	22,58	17,15

### **5.2.3. A talaj kémhatásának alakulása a 2009-es tenyészidőszak során**

Hasonlóképpen a 2008-as tenyészidőszakhoz, 2009-ben is három alkalommal vettünk talajmintát az egyes parcellákból: a növények 4-6 leveles fejlődési fázisában (2009.06.05.), a vegetatív-generatív szakasz határán (2009.07.14.) és a betakarításkor (2009.09.23.). A 2009-es évjáratban vett talajminták 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-os pH-értékeit, valamint a statisztikai elemzés eredményét a *16. számú Melléklet* tartalmazza.

A 2009-es évjárat során a talaj kémhatására szintén mindhárom vizsgált termesztési tényező szignifikáns hatást gyakorolt. Ezenkívül az egyes hibridek és az öntözési variánsok közötti kölcsönhatás vizsgálata is statisztikailag igazolódott.

A tápanyaglepcsők hatása a tenyészidőszak folyamán mindhárom mintavételi időpontban igen szoros ( $P = 0,1\%$ ) összefüggést mutatott a talaj pH-val. A növekvő kijuttatott tápanyagmennyiség a tartamkísérletben a talaj pH csökkenését eredményezte. A tendencia egyértelmű, de nem minden esetben tapasztaltunk szignifikáns különbséget az egymás melletti dózisok hatása között. A kontrollkezeléshez képest minden esetben csökkent pH-t mértünk a műtrágyázott kezelésekben, amely igazolja a műtrágyázás talajsavanyúságot növelő hatását. Ez főként az NH<sub>4</sub>-tartalmú műtrágyák hidrolitikus és a nitrifikációjuk során tapasztalható fiziológiás savanyító hatásának eredménye.

Az egyes hibridek közötti különbségekre a többi vizsgált tényező átlagában megállapítható, hogy a korai és a középérésű hibridek között nincs különbség a talaj pH-jára gyakorolt hatásban. Azonban alacsonyabbnak bizonyult a leghosszabb tenyészidejű Mv 500 hibrid parcelláiból vett talajminták pH-értéke. Ez szintén a nagyobb termés produkciójához szükséges hosszabb és intenzívebb tápanyagfelvétel eredménye.

Az öntözés tartamhatását, illetve hatását vizsgálva a 2009-es évben is megállapítható, hogy a nem öntözött parcellákon a talaj kémhatása savanyúbb, mint az öntözött variánsokban.

A hibridek és az öntözés kölcsönhatása szintén szoros (a tenyészidőszak elején és közepén  $P = 1\%$ , míg a végén  $P = 5\%$ ), szignifikáns volt. Eszerint míg az öntözött kezelésekben a hibridek között nem mértünk jelentős különbséget a talaj pH-ra gyakorolt hatásban, addig a nem öntözött kezelésekben főként az Mv 500 parcelláiban csökkent jelentős mértékben a talaj pH.

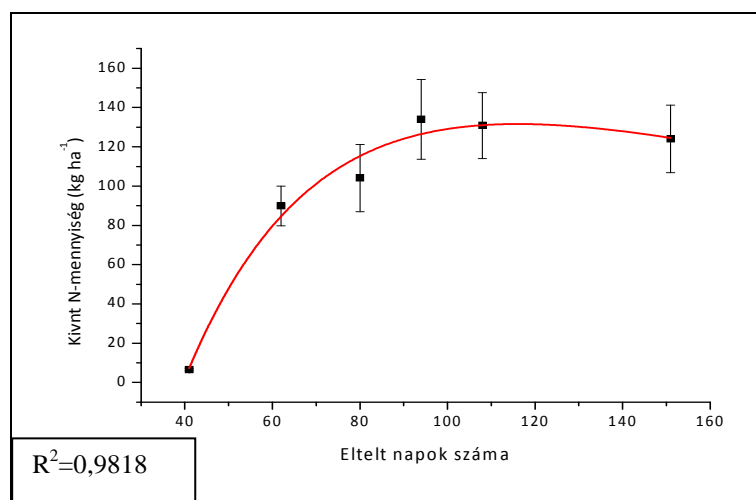
### **5.2.4. A kukorica nitrogénfelvétele a 2009-es tenyészidőszakban**

A 2009-es száraz tenyészidőszak során a növényi nitrogén-felvétel dinamikája (*39. ábra*) eltért az előző évben tapasztalttól. Meglehetősen intenzív és nagymennyiségű

felvételt figyeltünk meg a vegetáció elején az intenzív vegetatív fejlődéskor, majd a szemtelítődéskor egy újabb, kisebb mennyiségű felvételt tapasztaltunk. Ez összecseng Berzsényi (2009) véleményével, aki szerint a N felvétel a kezdeti lassúbb szakaszt követően exponenciális, majd ezt követi egy hosszabb lineáris felvételi szakasz. A vegetáció végén már számottevő nitrogén már nem épült be a növényi szervezetbe (19. sz. Melléklet). Az egyes vizsgált tényezők hatását a kivont N-mennyiségre a 46. ábrán tüntettük fel.

A legmagasabb növényi koncentrációt (18. sz. Melléklet) a vegetáció elején mértük, majd ezt követően az intenzív vegetatív fejlődéskor intenzív csökkenést figyeltünk meg. A tenyészidőszak második felében már a csökkenés minimális volt.

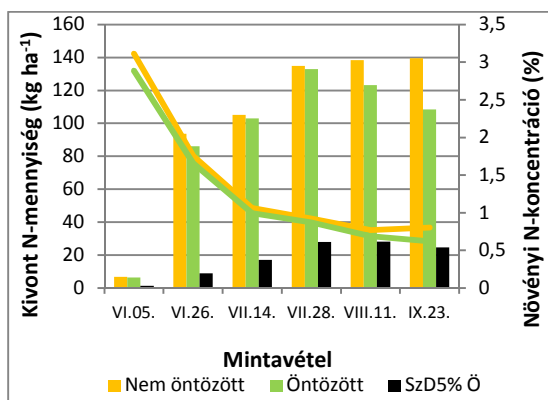
A talaj 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-oldható, azaz a növény számára felvehető és könnyen kicserélhető nitrogéntartalma (17. sz. Melléklet) a kezelések átlagában a vegetáció elején, illetve a júniusi nagymennyiségű csapadékot követő időszakban viszonylag magas volt. Júliustól szeptemberig azonban a hullott csapadék-mennyiség jelentősen elmaradt az ebben az időszakban szokásostól, a vízhiány negatív hatással volt a tápanyagok talajbeli mobilizációs folyamataira, s így a betakarításkor vett talajmintákban jóval alacsonyabb N-tartalmat mértünk.



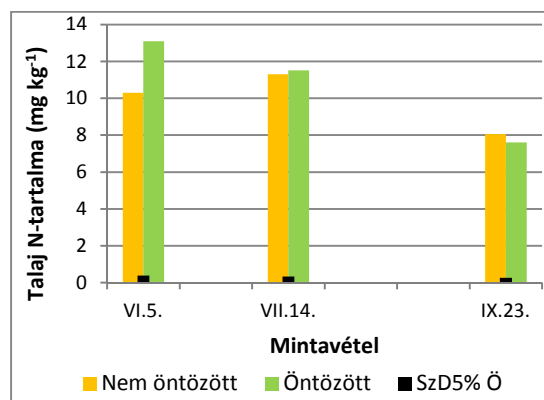
39. ábra: A kukorica N-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során (Debrecen-Látókép, 2009)

A felvétel dinamikája az alábbi egyenlettel írható le:

$$y = 673,9980 \times (1 - \exp(-0,0326 x)) - 0,5012 x - 468,8826$$



40. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészedőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



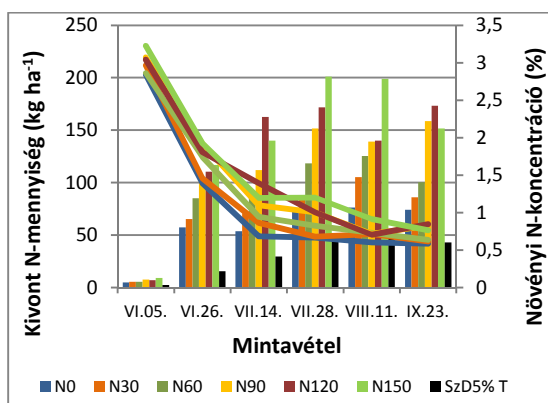
41. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészedőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

Az öntözés függvényében (40. ábra) a növények által kivont N-mennyiség az intenzív vegetatív fejlődési fázisban a nem öntözött kezelésekben volt nagyobb (párhuzamosan a magasabb növényi koncentrációval). A vegetáció végén az öntözött kezelésekben alacsonyabb mennyiséget vont ki a növény (108,5 kg ha<sup>-1</sup>), mint a nem öntözöttekben (139,6 kg ha<sup>-1</sup>). Ennek oka a növény számára felvehető tápanyagok nem feltétlenül optimális egymáshoz viszonyított arányában, valamint abban keresendő, hogy júliustól a növények mindkét öntözési variánsban azonos vízmennyiséggel gazdálkodhattak, s a vízhiányos körülmények között a korábban rendszeresen nem öntözött kezelésekben nagyobb mennyiségű N volt felvehető formában.

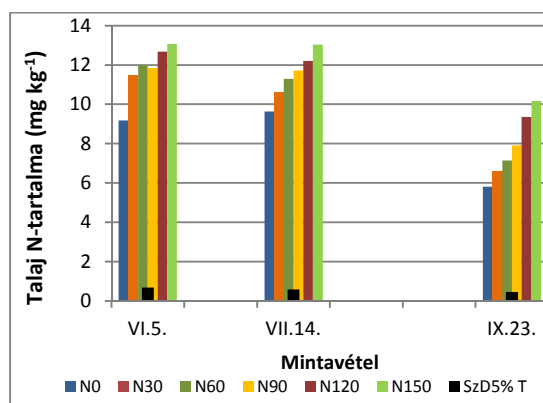
A növényi N-koncentráció (40. ábra) elsősorban a vegetáció elején és a korai éréscsoportba tartozó genotípusnál volt alacsonyabb az öntözött kezelésekben. A betakarításkor vett növényminták koncentrációját vizsgálva megállapítható, hogy a korai és középérésű hibrideknél szintén az öntözött kezelésekben mértünk alacsonyabb koncentrációt. A vegetáció elején a pótlólagos vízkijuttatás következtében a talajban átmenetileg levegőtlen körülmények miatt a kezdeti gyökérfejlődés kisebb mértékű volt, mint a nem öntözött kezelésekben, s így a tápanyag-felvétel is akadályoztatott volt. A vegetáció végén az öntözött kezelésekben mért alacsonyabb koncentráció okát a kivont mennyiség esetében már tárgyaltuk.

A talaj felvehető és könnyen mobilizálható elemtartalma (41. ábra) a vegetáció elején a megfelelő vízellátásnak köszönhetően az öntözött kezelésekben (13,09 mg kg<sup>-1</sup>) szignifikáns mértékben meghaladta a nem öntözött kezelésekét (10,31 mg kg<sup>-1</sup>). A hibridek és az öntözés kölcsönhatása abban nyilvánult meg, hogy a korai éréscsoportba

tartozó Mv 251 hibridnél a 4-6 leveles fejlettségi állapotú kukorica talajában nem volt igazolható különbség az öntözött és nem öntözött parcellák elemtartalmában. A hosszabb tenyészidejű genotípusoknál azonban az öntözött kezelésekben magasabb volt a talaj elemtartalma. A tenyészidőszak közepén az öntözés nem mutatott hatást, míg a betakarításkor a korai Mv 251-nél szintén nem volt különbség az egyes öntözési variánsok között. Ezzel szemben a későbbi éréscsoportba tartozó hibrideknél az öntözött kezelésekben a talaj elemtartalma kisebb volt. Ez magyarázható azzal, hogy a vegetáció második felében minden parcella vízellátása azonos volt. A hirtelen vízhiányos állapot az öntözött kezelésekben a későbbi tápanyag-feltáródás lehetett akadályoztatott.



42. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



43. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

A tápanyag-lépcsők függvényében (42. ábra) az eredményeket összegezve megállapítható, hogy a kivont N-mennyiséget elsősorban és minden mintavétel során konzekvensen a tápanyagellátás határozta meg. A növények minden vizsgált fenofázisában a növekvő tápanyagellátás hatására a kivont N-mennyiség is növekvő tendenciát mutatott. A tenyészidőszak egészére vonatkozóan megállapítható, hogy nem találtunk igazolható különbséget a kontrollkezelésben és az alacsony tápanyagszint(ke)n kivont N-mennyiség között. Ehhez képest több N-t vont ki a kukorica a nagyobb dózissal kezelt parcellákon, ahol szintén nem volt szignifikáns különbség az egyes tápanyagszintek között. Tendenciaszerűen a jobb tápanyag-ellátottsággal párhuzamosan nőtt a növények által kivont N-mennyiség is, noha az egyes dózisok között szintén nem volt minden esetben különbség. Tekintettel arra, hogy a nagyobb kijuttatott dózissal párhuzamosan a termés mennyisége már nem növekedett jelentős mértékben, Debreczeni és Debreczeniné (1983) megállapítása, miszerint a N-műtrágyázás a kukorica által a

talajból kivont nitrogén mennyiségére jóval nagyobb mértékben hat, mint a termés növekedésére, az adott évjárat esetében is érvényesnek bizonyult. Egyes kezeléskombinációkban esetenként megfigyeltük, hogy a nagyobb kijuttatott műtrágyadózis a kivont mennyiségben csökkenést váltott ki, ami a felvehető tápelemek egymáshoz viszonyított nem optimális arányára, vagy más felvételi (elsősorban a nem kiegyenlített vízellátásból eredő) zavaró tényezőre vezethető vissza.

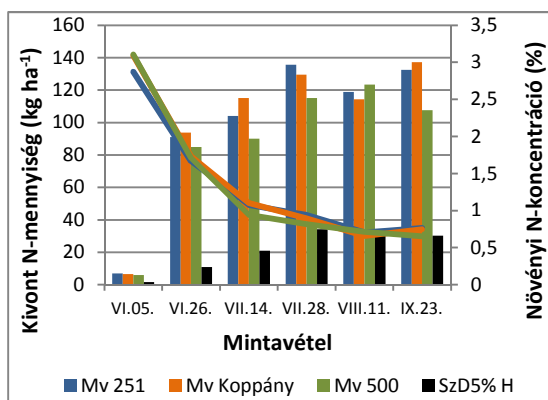
A növényi nitrogén-koncentrációra (42. ábra) vonatkozóan szintén megállapítható az a tendencia, hogy a növekvő tápanyag-ellátottság a növényi koncentráció emelkedését eredményezi. A 4-6 leveles fejlettségi állapotban még közel azonos értékeket mértünk. A későbbi mintavételek során azonban az alacsonyabb tápanyag-dózisokkal kezelt parcellákhoz képest a jó ellátottságú kezelésekben tendenciaszerűen szignifikáns koncentráció-emelkedést mértünk. Az egyes, egymás melletti dózisokkal kezelt parcellákon a növényi elemtartalomban nem mértünk igazolható különbséget. A vegetáció során a növényi koncentráció a jobb tápanyag-ellátottságú parcellákon magasabb volt, azonban a csökkenő tendencia sokkal hosszabb ideig és a kezdeti értékhez képest intenzívebb volt. Ezzel szemben a kontroll-, ill. az alacsony tápanyag-ellátottságú kezelésekben a vegetáció második felében a növényi koncentráció csökkenése gyakorlatilag elhanyagolható volt.

A talaj felvehető és könnyen kicserélhető elemtartalmát (43. ábra) a vegetáció mindhárom mintavétele során jelentősen meghatározta a tápanyag-ellátottság. A növekvő kijuttatott dózisokkal párhuzamosan nőtt a talaj elemtartalma is. A vegetáció elején, illetve közepén az egymás melletti tápanyag-dózisok hatásában nem minden esetben mértünk szignifikáns eltérést, míg a betakarításkor minden egyes kijuttatott szinten nagyobb elemtartalmat mértünk. A vegetáció elején, illetve a júniusi csapadék következtében viszonylag magasabb értékeket mértünk, míg a betakarításkor a hiányos vízellátás következtében nem megfelelő mobilizáció miatt alacsonyabb elemtartalmat tapasztaltunk.

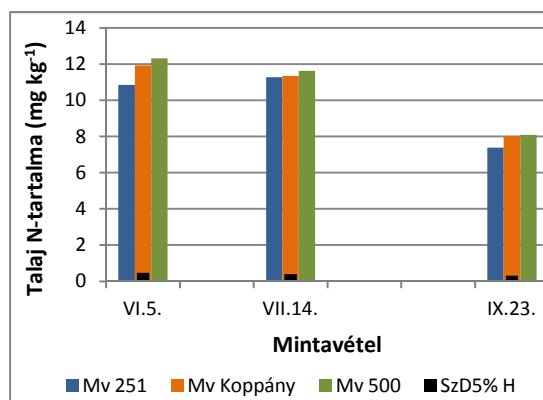
Az egyes genotípusok közötti különbség a növények által kivont N-mennyiségben (44. ábra) a vegetáció elején nem volt számottevő, azonban a címerhányástól kezdve megfigyelhető a tendencia, miszerint a korai éréscsoportba tartozó hibrid viszonylag nagy mennyiséget vont ki a talajból, ennél – főként az öntözött kezelésekben – még nagyobb kivont mennyiséget mértünk a középérésű Mv Koppánynál. A legalacsonyabb kivont mennyiséget a középkései érésű Mv 500-nál mértük. Ennek oka valószínűsíthetően az, hogy a hosszabb, elnyújtottabb és kevésbé intenzív tápanyag-



felvétellel rendelkező genotípus tápanyag-felvétele a kritikus felvételi időszakban már kevésbé optimális (vízhiányosabb és magasabb hőmérséklet) volt.



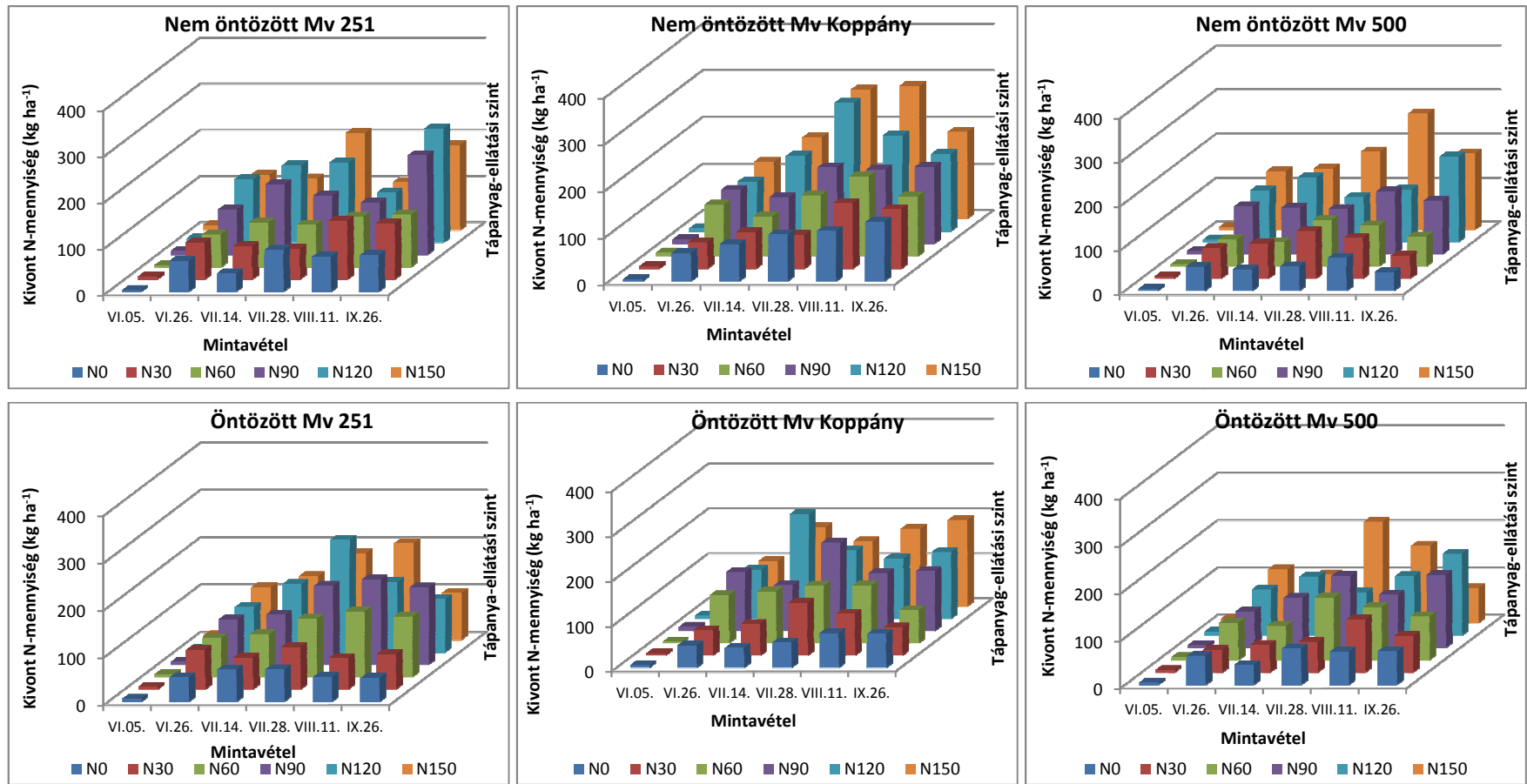
44. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészedőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



45. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészedőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

A növények N-tartalma az öntözött kezelésekben a vegetáció elején a tenyészedőszak hosszának növekedésével párhuzamosan emelkedett, míg a nem öntözöttekben nem mértük szignifikáns különbséget az egyes genotípusok között. A címerhányáskor az Mv 251-nél és az Mv Koppány-nál mértünk jelentősen magasabb koncentrációt, ami a két hibrid nagyobb mértékű tápanyag-felvételét és jobb akkumulációját igazolja. A vegetáció további szakaszaiban már nem volt igazolható különbség az egyes genotípusok N-koncentrációja között (44. ábra).

A vegetáció elején az öntözött kezelésekben az Mv 251 talajmintában a 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-oldható N-tartalom jelentősen alacsonyabb volt, mint a másik két genotípusnál, amely igazolja, hogy megfelelő tápanyag-felvételi viszonyok esetében a korai éréscsoportba tartozó hibrid tápanyag-felvétele intenzívebb. A címerhányás-szemképzés időszakában, valamint a betakarításkor a különböző tenyészidejű genotípusok nem befolyásolták a talaj felvehető elemtartalmát (45. ábra).



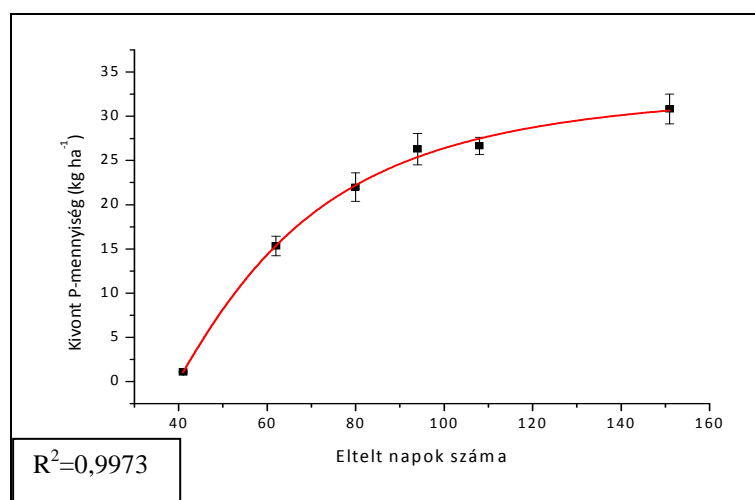
46. ábra: A kukorica által kivont N-mennyiség (kg ha<sup>-1</sup>) a tenyésztidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

### 5.2.5. A kukorica foszforfelvétele a 2009-es tenyészidőszakban

A 2009-es tenyészidőszakban a növények által kivont P-mennyiséget a 22. sz. Melléklet, a növényi P-koncentrációt a 21. sz. Melléklet, míg a talaj AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalmának változását a 20. sz. Melléklet tartalmazza.

A növényi foszforfelvétel elsősorban a vegetáció elején, az intenzív vegetatív fejlődés időszakában volt számottevő (54. ábra). A szakirodalom alapján elvártaknak megfelelően (Marschner, 1997), miszerint a növények a foszfort két nagyobb szakaszban igénylik, a vegetáció kezdetén és a generatív szakaszban, a generatív fenofázisban csak egyes kezeléskombinációkban figyeltünk meg további számottevő P-felvételt. Az érés során további P-felvételt már csak egyes, kirívó esetekben figyeltünk meg. A P-felvétel dinamikája (47. ábra) a következő egyenlettel írható le:

$$y = \frac{(-24,50329 - 33,3702)}{1 + \left(\frac{x}{45,0512}\right)^{2,4916}} + 33,3702$$



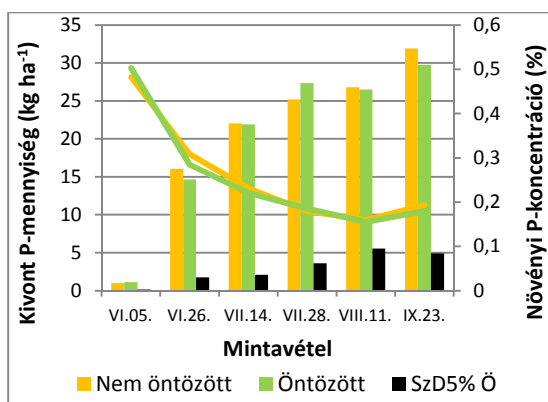
47. ábra: A kukorica P-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során (Debrecen-Látókép, 2009)

A növényi P-koncentráció szintén a vegetáció elején volt a legnagyobb (átlagosan 0,49%), majd az intenzív vegetatív fejlődés fázisában intenzív csökkenést figyeltünk meg. A szemtelítődéstől kezdve a növényi P-tartalom nem változott szignifikáns mértékben.

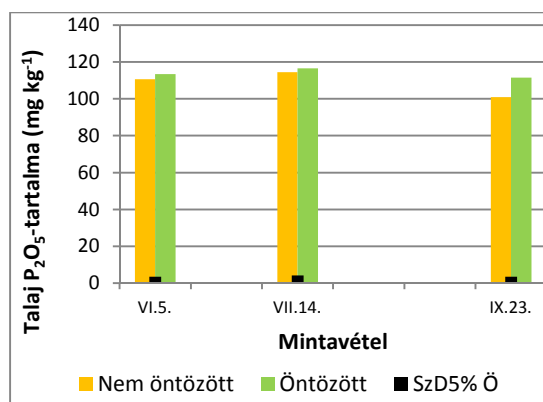
A talaj növény számára felvehető és tartalék (könnyen mobilizálható) foszforkészlete a vegetáció egésze során közel azonos szinten mozgott. Meg kell azonban jegyezni, hogy e tápanyag-készletből azonban a felvehető frakció részarányát az alkalmazott módszerekkel és kivonószerekkel nem tudtuk mérni. Másrészt tekintettel arra, hogy e kivonószerek a tartalék-tápanyagok mennyiségéről is informál, a vegetáció

második felétől, ill. a júliustól kezdődő vízhiányos időszakról feltételezhető, hogy az aktuálisan felvehető P-mennyiség nem minden esetben fedezte a növény igényét. Ezt a növények által a generatív fázisban kivont elvártnál kisebb mennyiség is alátámasztja. A talaj foszfortartalma és a növényi koncentráció között egyik mintavétel során sem mértünk szignifikáns összefüggést.

Az öntözés függvényében megállapítható, hogy a növények által kivont P-mennyiséget, valamint a növényi P-koncentrációt az öntözés nem befolyásolta a vegetáció során egyik mintavétel során sem szignifikáns mértékben (48. ábra). A kukorica vízhiányra leginkább érzékeny periódusa a címerhányás előtti mintegy két héttől az azt követő 2-3 hétig terjedő időszak (Debreczeni és Debreczeniné, 1983; Berzsenyi, 1992; Hall et al., 1992), vagyis a fő P-felvételi időszakot részben fedi. Ez magyarázza azt, hogy az adott évjáratban a címerhányást követően bekövetkező száraz periódusban a korábbi öntözés már nem fejtett ki hatást. A talaj AL-oldható  $P_2O_5$ -tartalma csak a betakarításkor mutatott eltérést (49. ábra). Valószínűsíthetően a betakarítást megelőző hosszabb száraz periódusnak köszönhetően a nem öntözött kezelésekben jelentősen alacsonyabb foszfortartalmat mértünk, míg a korábbi mintavételekkor nem volt különbség az öntözési variánsok között.



48. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



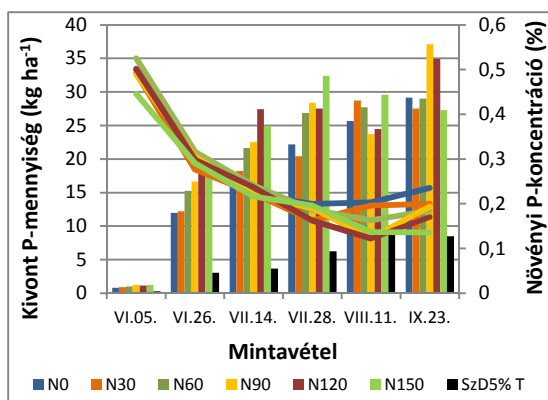
49. ábra: A talaj  $P_2O_5$ -koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

A tápanyag-ellátási lépcsők függvényében megállapítható, hogy a növekvő ellátottsággal párhuzamosan a növények által kivont P-mennyiség is tendenciaszerűen növekedett a szemtelítődésig (50. ábra). Az első mintavétel során a kontrollkezeléshez képest ( $0,82 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a legalacsonyabb műtrágyadózissal kezelt parcellában még nem tapasztaltunk szignifikáns növekményt ( $0,91 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Ez a további három mintavételnél

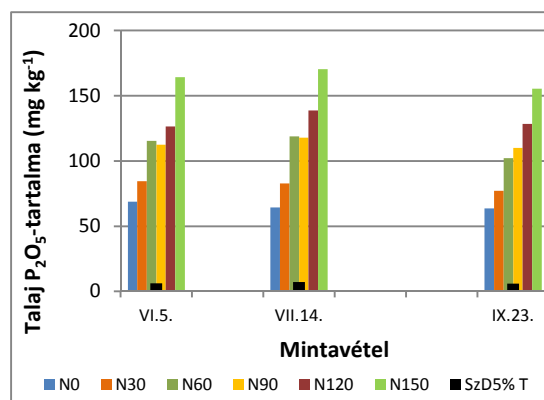
is megállapítható: míg a nem trágyázott parcellában 11,99, 17,03 és 22,19 kg ha<sup>-1</sup> kivont mennyiséget számítottunk, addig a legkisebb dózissal trágyázott kezelésben 12,21, 18,20 és 20,44 kg ha<sup>-1</sup>-t. Az egymás melletti dózisok hatása között a foszfornál sem minden esetben tapasztaltunk szignifikáns növekedést. Ezzel szemben az utolsó két mintavétel során a tápanyagellátás hatása már nem bizonyult szignifikánsnak. Több mintavételnél is azt tapasztaltuk egyes kezeléskombinációkban, hogy a legnagyobb kijuttatott műtrágya-dózis hatására a kivont mennyiség jelentős mértékben csökkent. Ez arra enged következtetni, hogy e tápanyag-szinteken a tápanyagok egymáshoz viszonyított aránya, illetve egyéb növekedési tényezők nem az optimális mértékben álltak a növény rendelkezésére.

A növényi P-koncentrációt (50. ábra) a vegetáció elején a tápanyag-ellátottság nem befolyásolta. Azonban a szemtelítődéstől kezdve a vegetáció második felében az a tendencia figyelhető meg, hogy az alacsonyabb ellátottságú variánsokban magasabb volt a P-koncentráció. A magasabb ellátottságú kezelésekben azonban e mintavételek során is tovább csökkent a koncentráció, az alacsony ellátottságú és a kontroll kezelésben azonban már nem változott számottevően.

A talaj AL-oldható P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-tartalma a vegetáció egésze során következetesen nőtt párhuzamosan a kijuttatott tápanyag-lépcsőkkel (51. ábra). Szinte kivétel nélkül szignifikáns növekedés figyelhető meg minden egyes további kijuttatott tápanyag-dózis hatására. A vegetáció egészét tekintve az egyes ellátottsági szinteken azonos elemtartalmat mértünk a talajmintákban.



50. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



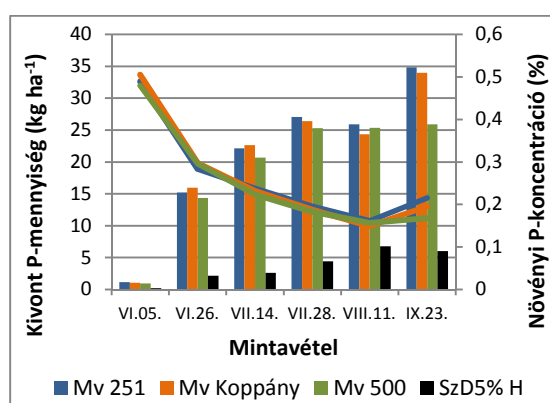
51. ábra: A talaj P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

A hibridek között csupán az első (4-6 leveles fejlettség) és az utolsó (betakarítás) mintavétel során találtunk szignifikáns különbséget (52. ábra). Mindkét mintavételnél azonos tendenciát fedeztünk fel: a növekvő tenyészidőszak-hosszal párhuzamosan a kivont P-mennyiségben tendenciaszerű csökkenés figyelhető meg. Az első mintavétel során az Mv 251-nél  $1,14 \text{ kg ha}^{-1}$ , az Mv Koppánynál  $1,10 \text{ kg ha}^{-1}$ , az Mv 500 hibridnél pedig  $0,93 \text{ kg ha}^{-1}$  kivont mennyiséget kalkuláltunk. Az utolsó mintavételnél hasonló tendencia szerint változott a kivont P-mennyiség: Mv 251:  $34,84 \text{ kg ha}^{-1}$ , Mv Koppány:  $31,76 \text{ kg ha}^{-1}$  és Mv 500:  $25,90 \text{ kg ha}^{-1}$ . A vegetáció elején ez igazolja azt a feltevésünket, hogy a rövidebb tenyészidőszakkal rendelkező genotípusok kezdeti tápelem-felvétele intenzívebb. A vegetáció végén tapasztalt különbség pedig valószínűleg arra vezethető vissza, hogy a kései éréscsoportba tartozó genotípus számára az elnyújtottabb és kevésbé intenzív tápanyag-felvétel során – főként hőmérsékleti (melegebb) és csapadékviszonyok (szárazabb) miatt – jóval kevésbé optimális feltételek voltak adottak. Ezt igazolja az is, hogy az Mv 500-nál a szemtelítődéstől kezdve a kivont mennyiség nem változott. Megfigyeléseink igazolják a korábbi szakirodalmi megfigyeléseket, miszerint a különböző genotípusok eltérően reagálnak és növekednek tápanyag-, ezen belül is foszforhiány, illetve túlsúly esetén, valamint eltérő a foszfor hasznosulása is (Lásztity et al., 1985b; Ibrikci et al., 2009; Ciarelli et al., 1998).

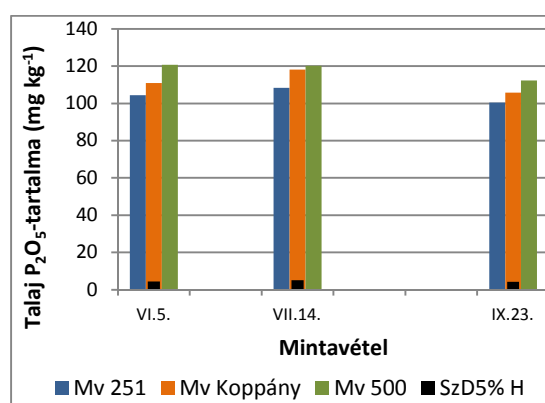
A növényi P-koncentrációban a vegetáció során egyértelmű tendenciát nem figyeltünk meg (52. ábra).

A talaj  $\text{P}_2\text{O}_5$ -koncentrációja a vegetáció egésze során párhuzamosan növekvő tendenciát mutatott a hibrid vegetációs periódusának növekedésével (53. ábra). Összevetve az adott mintavételi időpontban a növény által kivont P-mennyiséggel megállapítható, hogy a rövid tenyészidejű Mv 251 hibridnél mértük a talaj legalacsonyabb  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalmát ( $104,35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) és a növények által kivont P legnagyobb mennyiségét ( $0,237 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Vagyis e hibrid már igen korán megkezdte intenzív tápanyag-felvételi szakaszát. A középérésű Mv Koppány nem vont ki ennél szignifikánsan nagyobb P-mennyiséget ( $0,261 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a talajban mégis nagyobb  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalmat mértünk ( $110,92 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A középérésű hibrid már a tenyészidőszak elején hasonló P-mennyiséget vett fel és azonos mennyiségű szárazanyagot produkált, mint rövidebb tenyészidejű társa. A három közül a leghosszabb tenyészidejű Mv 500 parcelláinak talajmintájában még magasabb  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalmat ( $120,66 \text{ mg kg}^{-1}$ ) mértünk. A vegetatív-generatív fázisok határán a parcellák talajainak  $\text{P}_2\text{O}_5$ -tartalma az Mv 251 hibrid esetében szignifikánsan kisebb volt ( $108,35 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mint a másik két, hosszabb

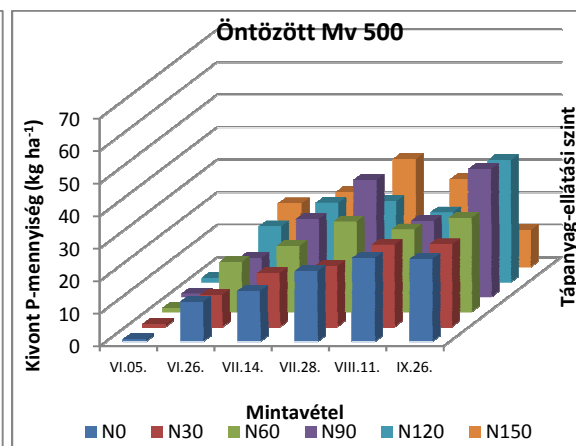
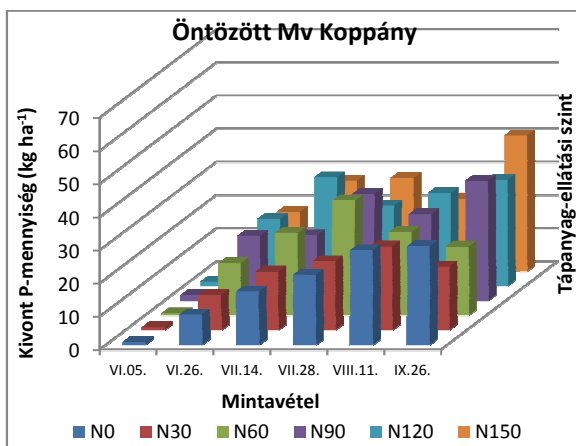
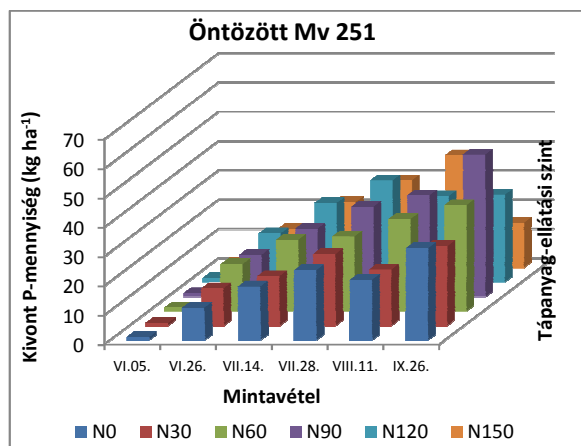
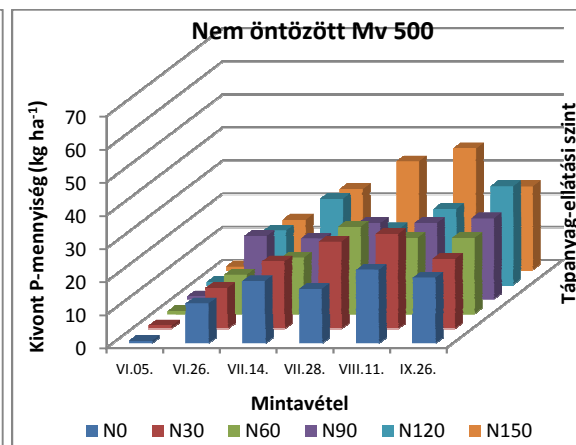
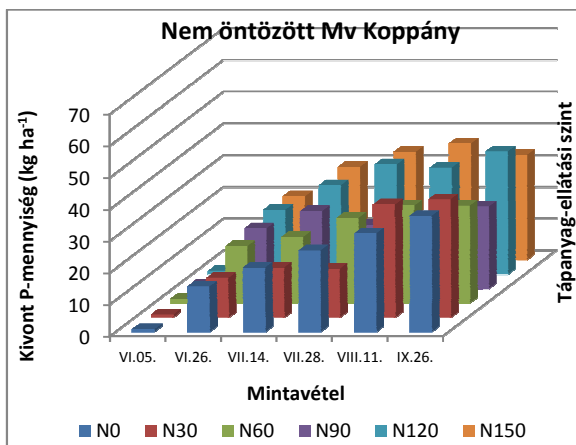
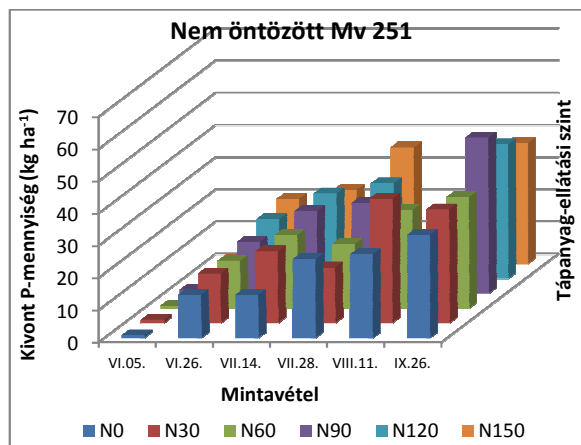
tenyészedejű társa esetében. Az eredményekből és abból a tényből, hogy a párhuzamosan vett növényminták vizsgálata során kapott hektáronként kivont P-mennyiség a három hibridnél nem különbözött, arra következtethetünk, hogy az adott tenyészidőszakban a legrövidebb tenyészidejű hibrid tápanyagfeltáró képessége elmaradt a másik két hibridétől. A hibridek eltérően reagáltak az öntözésre is: a két tényező közötti kölcsönhatás szignifikáns volt, egyértelmű öntözéshatást azonban nem mutattunk ki. Az Mv 251-nél nem volt különbség az öntözési variánsok között, az Mv Koppánynál az öntözött, míg az Mv 500-nál a nem öntözött kezelésekben mértünk valamivel magasabb  $P_2O_5$ -tartalmat. A betakarításkor vett talajminták vizsgálata során megállapítható, hogy a legrövidebb tenyészidejű Mv 251 hibrid talajmintáiban mértük a legkisebb foszfortartalmat ( $100,41 \text{ mg kg}^{-1}$ ), az Mv Koppányéban ettől nagyobbat ( $105,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), míg az Mv 500-nál a legnagyobb értéket ( $112,33 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Ez arra enged következtetni, hogy a növekvő tenyészidővel a hibridek tápanyagfeltáró képessége is javul. Ezt alátámasztja az a tény is, hogy az azonos időpontban vett mintákban a növény által kivont mennyiség az Mv 251 és az Mv Koppány esetében nem különbözött, az Mv 500-nál valamivel alacsonyabb volt. Tehát nem a kivont mennyiségek határozták meg elsősorban a talaj  $P_2O_5$ -tartalmának változását, hanem a hibridek tápanyagfeltáró képessége, illetve egyéb tényezők és azok kölcsönhatása. A tápanyagellátás és a hibridek kölcsönhatására a mintavétel során is érvényesnek találtuk a korábbi megállapítást, miszerint a növekvő tápanyagdózisok kijuttatásával egyre növekszik a hibridek közötti különbség.



52. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



53. ábra: A talaj  $P_2O_5$ -koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



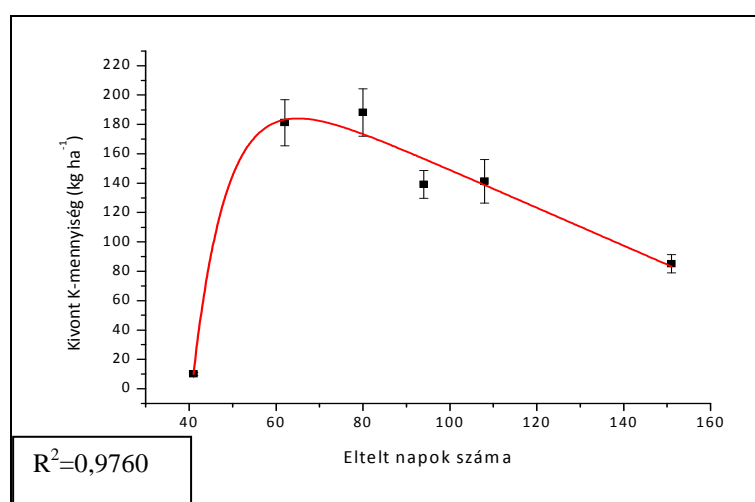
54. ábra: A kukorica által kivont P-mennyiség (kg ha<sup>-1</sup>) a tenészedőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



### 5.2.6. A kukorica káliumfelvétele a 2009-es tenyészidőszakban

A 2009-es tenyészidőszakban a legnagyobb mértékű kálium-felvételt (62. ábra) az intenzív vegetatív fejlődési fázisban mértük, amely megerősíti a korábbi szakirodalmi megfigyeléseket (Mengel, 1968; Debreczeni, 1990; Sárdi, 1999). Ezt követően a címerhányásig már csak a jobb tápanyag-ellátottságú és öntözött kezelésekben figyeltünk meg további felvételt. A szemtelítődés és érés idején a kivont mennyiség először lassú ütemben, majd a betakarításkor meglehetősen intenzíven csökkent, tehát Sárdi (2003) megállapításának ellentmondó eredményt kaptunk. Ez utóbbi megfigyelés magyarázata az, hogy a címerhányást követően a száraz, aszályos periódus már megakadályozta, hogy a növény a korábban felvett káliumot beépítse a szervezetébe. A kezelések átlagában a kukorica e száraz időszakban a korábban már felvett K-mennyiség közel felét visszajuttatta a talajba. A kivont K-mennyiségeket a 25. sz. Melléklet tartalmazza. A K-felvétel dinamikája (55. ábra) a következő telítési egyenlettel írható le:

$$y = 39534,96 \times (1 - \exp(-0,1272 x)) - 1,2911 x - 39256,7513$$



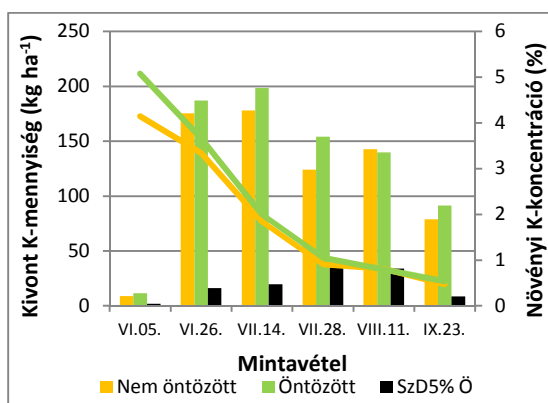
55. ábra: A kukorica K-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során (Debrecen-Látókép, 2009)

A növényi koncentráció (24. sz. Melléklet) szintén a 4-6 leveles állapotú állományban volt a legmagasabb (átlagosan 4,61%). Ezt követően meglehetősen intenzív csökkenő tendenciát tapasztaltunk egészen a szemtelítődésig, amikor már jelentős felvétel nem volt. Ennek magyarázata, hogy a korábban felvett nagyobb mennyiségű K egyrészt fokozatosan vándorol az aktív helyeken a növényben, másrészt, hogy nem épül be a sejtekbe (Kádár, 1993).

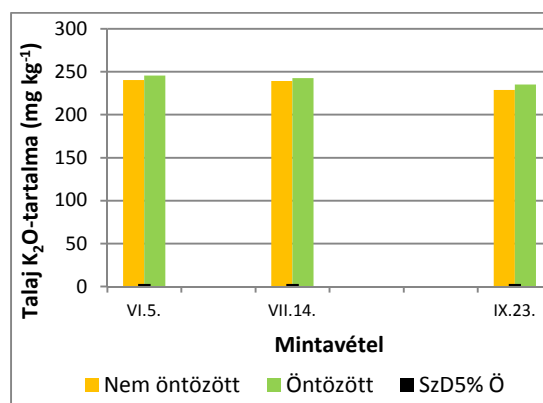
Az egyes kezelésekben a talaj AL-oldható, azaz a növény számára felvehető és mobilizálható tartalék tápanyag-mennyiség a tenyészidőszak folyamán nem változott

számottevő mennyiségben (23. sz. *Melléklet*). Meg kell azonban jegyezni, hogy vizsgáltuk a talaj 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-oldható K-tartalmát is, amely a növény számára aktuálisan felvehető és könnyen mobilizálható elemtartalomról informál. Ezen eredmények terjedelmi okokból nem képezik jelen dolgozat tárgyát. Eredményeink közül csupán annyit szeretnénk kiemelni, hogy a vegetáció közepétől jelentkező aszályos körülmények miatt a felvehető elemtartalom a tenyészidőszak végére jelentős mértékben lecsökkent. Tehát megállapítható, hogy a tartaléktápanyagok mennyisége, és nem a felvehető mennyiség maradt közel konstans a vegetáció során. Sem az AL-, sem a CaCl<sub>2</sub>-kivonószert esetében nem volt igazolható összefüggés a növényi koncentráció és a talaj elemtartalma között.

Az öntözési variánsok függvényében a növények által felvett kálium-mennyiség (56. *ábra*) a mintavételek többségében az öntözött kezelésekben volt magasabb, amely az öntözés hatására kedvezőbb tápanyag-feltáródásra és -felvételre vezethető vissza. Ezt igazolják a CaCl<sub>2</sub>-kivonószertel történt mérések is. Azonban míg a vegetáció elején inkább a rövidebb tenyészidejű genotípusok esetében mértünk nagyobb különbséget a nem öntözött és öntözött kezelések között, addig a vegetáció második felében inkább a későbbi éréscsoportba tartozóknál volt számottevőbb a különbség. A kukorica vízhiányra leginkább érzékeny periódusa a címerhányás előtti mintegy két héttől az azt követő 2-3 hétig terjedő időszak (Debreczeni és Debreczeniné, 1983; Hall et al., 1992), vagyis a fő K-felvételi időszakot részben fedi.



56. ábra: A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debreczeni és Debreczeniné, 2009)



57. ábra: A talaj K<sub>2</sub>O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében (Debreczeni és Debreczeniné, 2009)

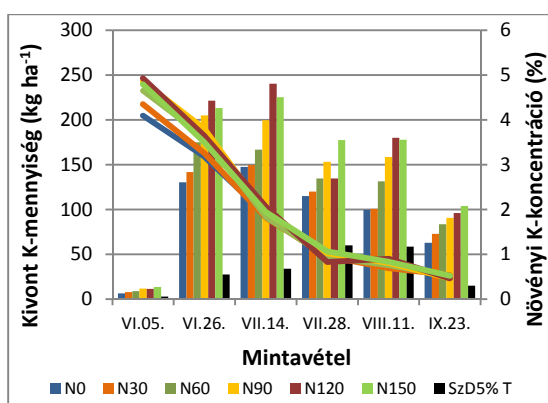
A növényi koncentráció (56. ábra) a vegetáció elején az öntözött kezelésekben volt jelentősen magasabb (22,4%-kal) volt az öntözött kezelésekben, mint a nem öntözöttekben. Ezt követően azonban mindkét öntözési variációban intenzív csökkenést figyeltünk meg, s a szemtelítődés időszakára már nem volt különbség a növényi elemtartalomban.

A talaj elemtartalma (57. ábra) a 2009-es tenyészidőszakban a kijuttatott öntözővíz-mennyiség hatására jelentős mértékben megemelkedett. Az öntözött kezelésekben a vegetáció elején rendre magasabb volt a talaj növény számára felvehető és kicserélhető elemtartalma ( $245,71 \text{ mg kg}^{-1}$ ), mint a nem öntözött kezelésekben ( $240,34 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A vegetáció későbbi időpontjaiban vett talajminták elemzése során is megfigyeltük ezt a tendenciát. Ennek oka, hogy a tenyészidőszak elején a természetes csapadékból és az öntözésből származó, a növény rendelkezésére álló vízmennyiség kedvezően hatott a talajban végbemenő tápanyag-feltáródási folyamatokra, mint pl. a mikroorganizmusok tápanyag-feltárása, red-oxi folyamatok, stb. Továbbá az is megállapítható, hogy a kontroll kezelésben, illetve az igen alacsony tápanyag-ellátottságú kezelésekben nem mértünk igazolható különbséget a nem öntözött és öntözött kezelések  $\text{K}_2\text{O}$ -tartalma között, azonban a nagyobb kijuttatott dózissal kezelt parcellákon jelentős eltérést mértünk. Mindez értelemszerűen azzal magyarázható, hogy a nagyobb rendelkezésre álló tápanyag-mennyiség csak a megfelelő vízellátás mellett mobilizálódik, és vehető fel a növény számára. A vegetáció során a talaj K-tartalma mindkét öntözési variánsban közel azonos szintet mutatott. E tápanyag-tartalomból a felvehető K-mennyiség részaránya azonban a vegetáció előre haladtával – párhuzamosan a mobilizáció számára egyre kedvezőtlenebbnek bizonyuló vízhiányos körülményekkel – fokozatosan csökkenő tendenciát mutatott.

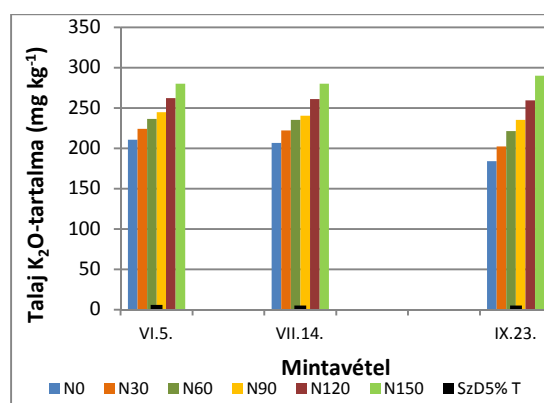
A tápanyag-ellátottság függvényében a növények által kivont kálium-mennyiség (58. ábra) a vegetáció valamennyi mintavétele során tendenciaszerű emelkedést mutatott párhuzamosan az egyre nagyobb kijuttatott műtrágya-dózisokkal. Az egymás melletti kijuttatott dózisok hatása között sokszor nem mértünk igazolható különbséget, azonban a tendencia egyértelműen megfigyelhető. A vegetáció elején még viszonylag csekély volt minden tápanyag-ellátási szinten a kivont mennyiség. A legnagyobb mennyiséget a fiatal növények, az intenzív vegetatív fejlődési fázisban vonták ki a talajból. A címerhányást követően a kivont mennyiség folyamatosan csökkent minden tápanyag-ellátási szinten. A jelenség, miszerint a már felvett K-ot a növény kedvezőtlen körülmények között, illetve a vegetáció végén visszapumpálja a talajba, szintén ismert a szakirodalomból.

A növényi K-koncentrációt a tápanyag-ellátottság csupán a vegetáció elején, illetve a címerhányáskor befolyásolta szignifikáns mértékben, a többi mintavétel során azonban nem volt különbség a növények K-tartalmában (58. ábra). A 4-6 leveles fejlettségi állapotú állományban a növekvő tápanyag-dózisok kijuttatásával párhuzamosan tendenciaszerűen emelkedett a növényi elemkoncentráció. A vegetáció során ehhez az értékhez képest a jobb ellátottság mellett hosszabb távú és intenzívebb csökkenő tendenciát figyeltünk meg. Az intenzív vegetatív fejlődési fázisban kivont nagy mennyiségű K mellett a növényi koncentráció sokkal kiegyenlítettebben csökkent a szemtelítődési-érési fázisig. Ezt követően azonban csak a magasabb ellátottsági szinteken figyeltünk meg további – csekély mértékű – csökkenést. Méréseink szerint a szemtelítődéstől kezdve a további csökkenés mértéke a kezelések átlagában a Lásztity et al. (1985b) által megállapított 20%-tól nagyobb mértékben csökkent.

A talaj AL-oldható  $K_2O$ -tartalma (59. ábra) a tenyésztidőszak mindhárom mintavétele során jelentős mértékben emelkedett a kijuttatott műtrágya-mennyiség hatására. A kontrollkezelésben mért értékek a MÉM-NAK adott talajtípusra vonatkozó ellátottsági kategóriák közül a jó ellátottság alsó határát jelentő értékeket mutattak, míg a legnagyobb dózissal kezelt parcellákon mértek a jó ellátottsági kategória felső határán, illetve az igen jó kategóriában voltak. A kontrollkezelésben mért K-tartalomhoz képest már a legalacsonyabb kijuttatott műtrágya-dózis is szignifikáns emelkedést eredményezett valamennyi mintavétel során. A további kijuttatott dózisok hatására szinte minden esetben szignifikáns növekedést figyeltünk meg. A tenyésztidőszak során a  $K_2O$ -tartalom nem változott számottevően.



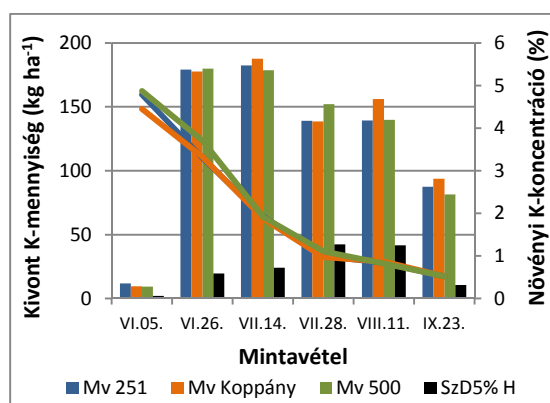
58. ábra: A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



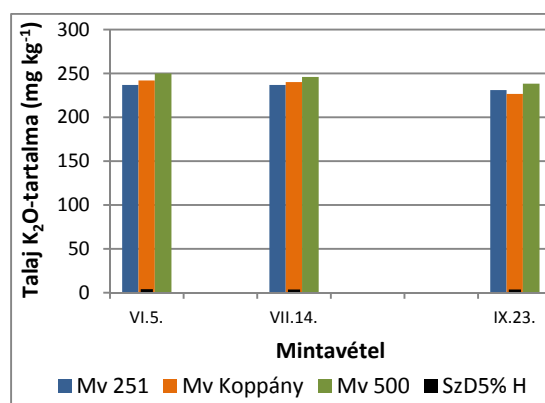
59. ábra: A talaj  $K_2O$ -koncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

Az egyes genotípusok között jelentős különbséget a vegetáció elején mértünk, amikor a rövidebb tenyészidőszakú Mv 251 által kivont K-mennyiség jelentősen meghaladta a későbbi éréscsoportba tartozó genotípusok által kivont elem-mennyiséget. A későbbi mintavételek során azonban egyértelmű tendenciát nem figyeltünk meg a különböző genotípusoknál. A legnagyobb K-mennyiséget mindhárom hibrid az intenzív vegetatív fejlődési fázisban vonta ki, míg ezt követően a címerhányásig nem változott számottevően a növények által kivont mennyiség. A vegetáció későbbi időpontjaiban mindhárom genotípus hasonló, csökkenő tendenciát mutatott (60. ábra).

A növényi K-koncentráció (60. ábra) a 4-6 leveles fejlettségi állapotú állományban a korai, valamint a középkései éréscsoportba tartozó genotípusnál volt nagyobb (4,79, illetve 4,87%), míg az Mv Koppányé ettől jóval alacsonyabb értéket mutatott (4,18%). A későbbi mintavételek során szignifikáns mértékű eltérést nem mértünk az egyes genotípusok között. Mindhárom genotípus esetében hasonló, csökkenő tendenciát figyeltünk meg, amely csökkenés intenzívebbnek bizonyult a szemtelítődésig. Ezt követően azonban a csökkenő tendencia jóval mérsékeltebb volt.



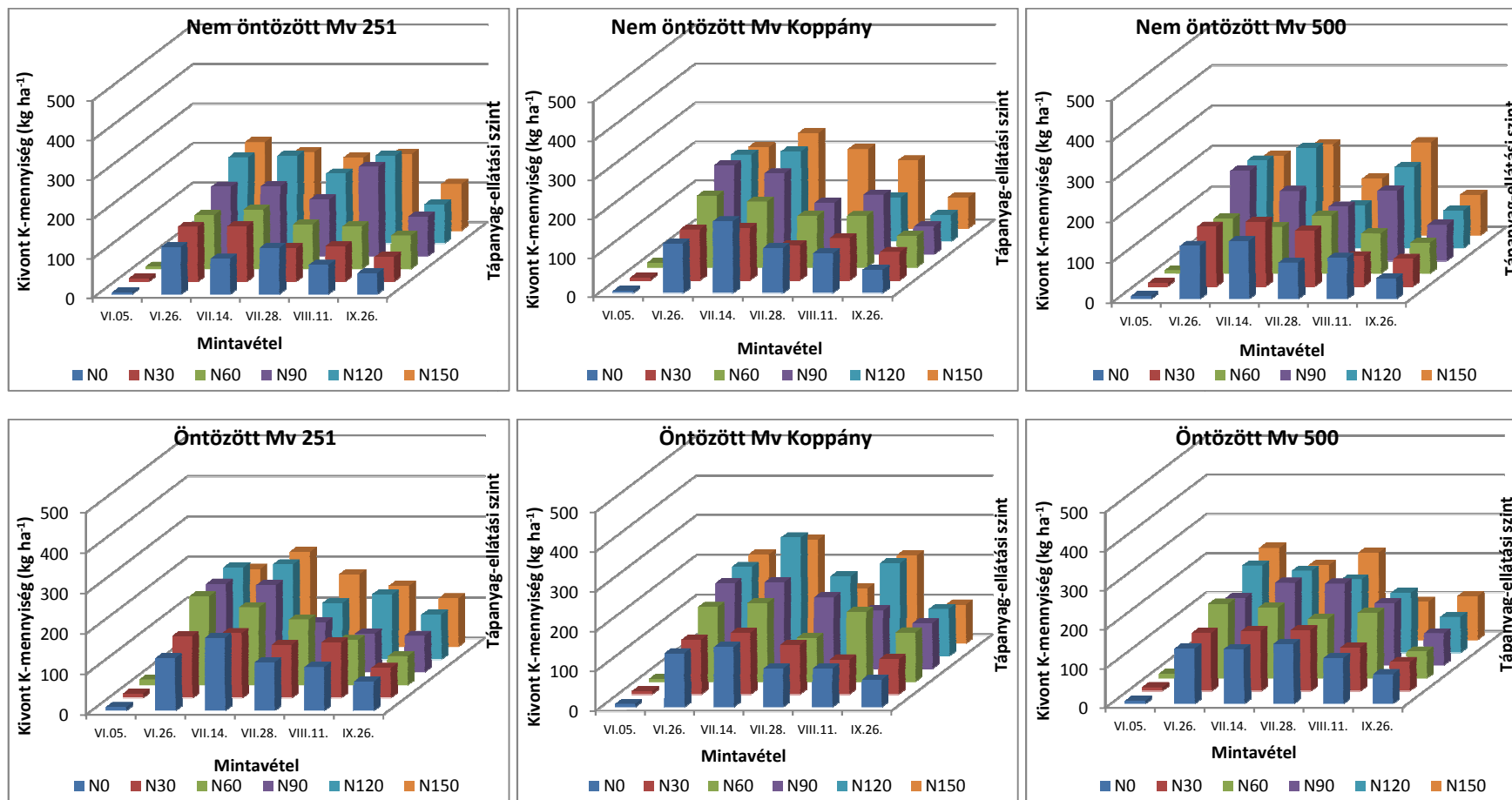
60. ábra: A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)



61. ábra: A talaj K<sub>2</sub>O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

A talaj felvehető és kicserélhető K<sub>2</sub>O-tartalma (61. ábra) mindhárom mintavétel során tendenciaszerűen párhuzamosan nőtt a hibridek tenyészidő-hosszának növekedésével. Ennek magyarázata, hogy az Mv 251 viszonylag korán megkezdte intenzív vegetatív fejlődési és tápanyag-felvételi fázisát – hiszen a másik két hibridhez képest kevesebb idő áll rendelkezésére – és a 4-6 leveles állapotban már nagyobb mennyiségű tápanyagot von ki a talajból. Az Mv Koppánynál valamivel később következik be az intenzív tápanyag-kivonási fázis, így ebben a mintavételi időpontban e

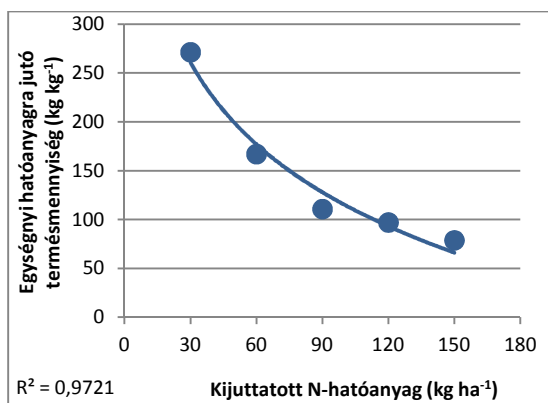
hibrid alatt még nagyobb mennyiségű  $K_2O$  található a talajban. A leghosszabb tenyészidejű Mv 500-nál még nagyobb a különbség és még több K-tartalommal bírt a talaj a mintavétel időpontjában. A későbbi mintavételek során ez a növekvő tenyészidejű genotípusok egyre jobb tápanyag-feltárási képességét igazolja.



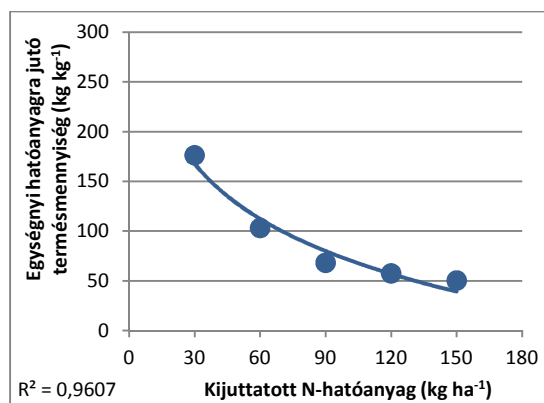
62. ábra: A kukorica által kivont K-mennyiség (kg ha<sup>-1</sup>) a tenyésztidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében (Debrecen-Látókép, 2009)

### 5.3. A műtrágyázás hatékonyságának és a talaj tápelem-készlete feltáródásának vizsgálata

Mindkét vizsgálati évben az egyes tápanyag-ellátási szinteken összehasonlítottuk a műtrágyázással kijuttatott hatóanyag-mennyiséget a növények által kivont mennyiséggel (63. és 64. ábra). A kijuttatott és kivont mennyiség különbségének vizsgálatával arra kerestük a választ, hogy a növényi biomassza a tenyészidőszak során a kijuttatott mennyiségen felül tár-e fel és von-e ki a talajból további tápelem-mennyiséget, vagy pedig a kijuttatott műtrágya-mennyiséget adott esetben a növény nem használta fel. Tehát a kijuttatott mennyiség fedezi-e a növényi produkció tápelem-igényét, illetve a nagyobb tápanyag-szinteken gyarapszik-e a talaj tápanyag-tőkéje. Megállapítottuk azt is, hogy mindkét évjáratban a kijuttatott műtrágya-dózis növekedésével párhuzamosan csökkent az egységnyi kijuttatott hatóanyagra jutó termés mennyisége.



63. ábra: Az egységnyi N-hatóanyag kijuttatásával elérhető relatív termésmennyiség (kg kg<sup>-1</sup>) 2008



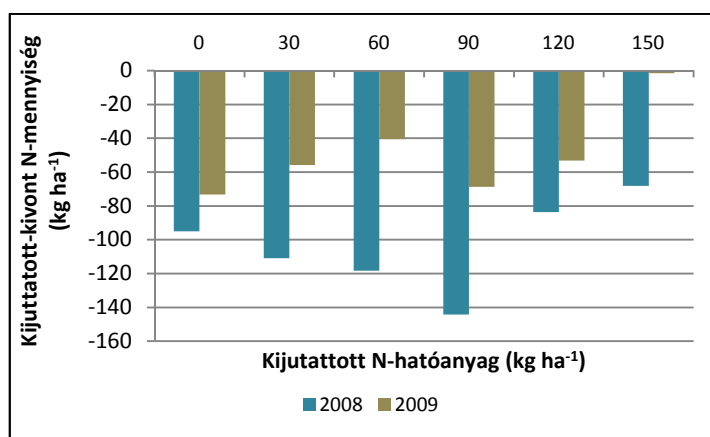
64. ábra: Az egységnyi N-hatóanyag kijuttatásával elérhető relatív termésmennyiség (kg kg<sup>-1</sup>) 2009

A nitrogénnél megfigyeltük, hogy a csapadékos évjáratban (2008) minden tápanyag-ellátási szinten a kijuttatotton felül jelentős mennyiségű tápanyag táródott fel a talaj natív készletéből és épült be a teljes föld feletti növényi biomasszába. A kontrollkezelésben mindkét évjáratban relatíve nagymértékű volt a további feltáródás mértéke, hiszen itt a növény teljes igényét a talaj natív készletéből kellett fedezze. Ez alátámasztja Csathó 2003-ban és 2004-ben tett megállapítását, miszerint a hazai adatok szerint a kijuttatott átlag 50-70 kg ha<sup>-1</sup> N-műtrágyával nem biztosítjuk a N-igényes növények optimális nitrogénigényét.

A kijuttatott mennyiségen felül a legtöbb N a 90 kg ha<sup>-1</sup> dózissal kezelt parcellákon mobilizálódott (144,2 kg ha<sup>-1</sup>), vagyis e kezelésben volt a legnagyobb a talaj tápanyag-készletének feltáródása. A száraz 2009-ben is ebben a kezelésben mértük a

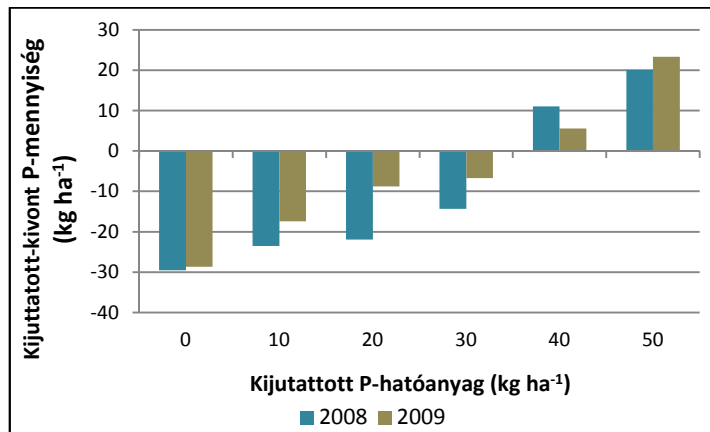


legnagyobb további feltárt mennyiséget ( $68,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ), míg az ennél nagyobb műtrágya-dózissal kezelt parcellákon kisebb mennyiség táródott fel. A  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  hatóanyaggal kezelt parcellákon a kijuttatott és kivont mennyiség közel azonos volt, vagyis valószínűsíthetően a szélsőséges vízhiány miatt a növény nem vagy éppen csak felhasználta a rendelkezésére álló tápanyagokat, míg a többi kezelésben láthatóan nagyobb tápelem-igény jelentkezett az adott növényi produkcióhoz (65. ábra). Megfigyelésünk ellentmond Nótás et al. (2007) tenyészedény-kísérletben kapott eredményeink, akik megállapították, hogy a kijuttatott N-trágya csupán 48-57%-a került be a növényi szervezetbe, illetve részben összeeseng azzal, hogy a nem trágyázottakhoz képest a trágyázott kezelések a talajból 34-64%-kal több nitrogént vettek fel.



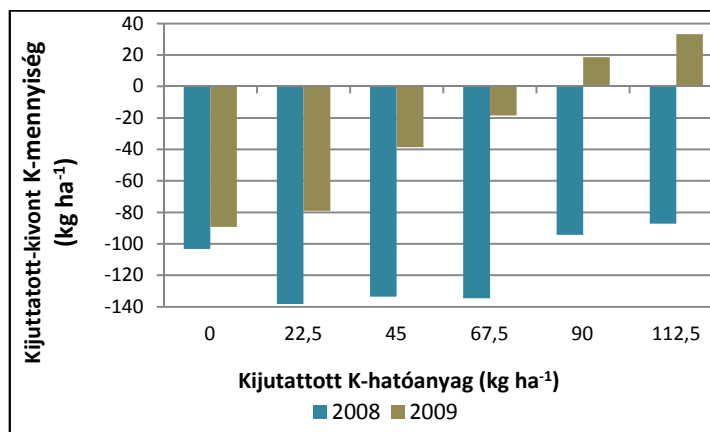
65. ábra: A kijuttatott és kivont N-mennyiség különbsége az egyes tápanyag-ellátási szinteken

A kijuttatott és kivont foszformennyiség különbségét vizsgálva (66. ábra) megállapítható, hogy mind csapadékos, mind száraz évjáratban a nem műtrágyázott, illetve alacsonyabb ellátottságú kezelésekben a talaj natív készletéből jelentős mennyiségű P mobilizálódott és épült be a növényi biomasszába. Ezzel szemben a jó ellátottságú, nagyobb műtrágya-dózissal kezeltéken a növény egyik évben sem használta föl a kijuttatott mennyiséget a növényi biomassza felépítéséhez, vagyis a nagyadagú foszfortrágyázás nem hasznosult teljes mértékben, hanem gyarapított a talaj P-készletét (66. ábra). Kádár (1987) véleménye ezt alátámasztva hangsúlyozza, hogy elegendő csupán a terméssel kivont P-mennyiség visszapótlása. A fölösleges foszformennyiség azonban olyan oldható formák forrásául is szolgál, amelyek a talajvízbe jutva a vízminőség degradációjához vezetnek (Haygarth és Jarvis, 1999; Motavalli és Miles, 2002; Goh, 2008).



66. ábra: A kijuttatott és kivont P-mennyiség különbsége az egyes tápanyag-ellátási szinteken

A kálium esetében jelentősebb eltérést tapasztaltunk a két évjáratban (67. ábra): a csapadékos évjáratban minden műtrágyázási lépcsőnél a kijuttatotton felül jelentős további mennyiség mobilizálódott és épült be a növényi szervezetbe. Ezzel szemben 2009-ben a vízhiány miatt a nagy dózissal kezelt parcellákon a növények nem hasznosították a kijuttatott mennyiséget a biomassa felépítéséhez. E szinteken a talaj K-készlete gyarapodott (67. ábra).



67. ábra: A kijuttatott és kivont K-mennyiség különbsége az egyes tápanyag-ellátási szinteken

Meg kell azonban azt is jegyezni, hogy a számítások alapján a talaj készletéből a műtrágyával kijuttatotton felül kivont kalkulált mennyiség nem, illetve csekély részben került le a területről, hiszen az a teljes föld feletti biomassa felépítéséhez szükséges mennyiség. A kísérleti területről viszont csak a szemterméssel lehordott tápelem-mennyiség távozik, a többi melléktermék bedolgozásra kerül a talajba, ahol a különböző humifikációs-mineralizációs folyamatok során visszajut a talaj tápanyag-körforgásába. Azonban mivel a biomassa meghatározza a termésmennyiséget, fontos ismernünk a

növény igényét a tenyészidőszak egésze során annak érdekében, hogy a megfelelő biomassza-mennyiség felépítéséhez az adott tápelem ne jelentsen limitáló tényezőt.

A növény makroelem-felvételét tekintve a hektáronként 90 kg N, 69 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és 81 kg K<sub>2</sub>O hatóanyag-dózis kijuttatásakor mértük a talaj legjobb tápanyag-szolgáltató képességét mind csapadékos, mind pedig száraz évben. Az általunk a tápelem-felvétel szempontjából optimálisnak tartott ellátási szint nem egyezik a maximális termést hozóval. Izsáki (2008) is megállapította, hogy nem esik egybe a maximális és a gazdaságosan elérhető termés, amely jelen esetben is megerősíthető. Dóka és Pepó (2007) a 180 kg ha<sup>-1</sup> N-hatóanyag, illetve a megfelelő P és K-ellátás termésmenővelő hatását tartja a legnagyobbknak. Ezzel szemben Sárvári (2005) és Jakab et al. (2005), El Hallof és Sárvári (2007) a 120 kg ha<sup>-1</sup> N-dózis, és PK-trágyázás esetén kapta a legnagyobb terméseredményeket. Nagy (1995a) nem öntözött termesztésben alacsonyabb, 90-120 kg ha<sup>-1</sup>, míg öntözött körülmények között nagyobb, 150-170 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén kijuttatását javasolja. Ettől valamelyest eltér, ám tendenciaszerűen érvényes Nagy (2007a) későbbi véleménye, amelyben száraz évjáratokban alacsonyabb, azaz maximum 60 kg ha<sup>-1</sup>, míg csapadékkal jól ellátott évjáratokban maximum 120 kg ha<sup>-1</sup> N-műtrágya kijuttatását tartja indokoltnak, hiszen ennél nagyobb dózissnál már megnő a termelési kockázat.

## **6. Következtetések, javaslatok**

A termés, valamint a zöldtömeg- és szárazanyag-produktum mennyiségére az öntözés, a tápanyag-ellátás és a genotípus mindkét vizsgált évjáratban szignifikánsan hatott. A kiegyenlített vízellátású 2008-as vegetációban a korábban rendszeresen alkalmazott öntözés utóhatásaként a nem öntözött kezelésvariánsok produkciója és termése volt nagyobb. Ennek oka, hogy a korábban öntözött kezelésekben az öntözés eredményeként produkált nagyobb termésmennyiséghez a kukorica jelentősen több tápanyagot vont ki a talajból. Így az azonos, közel optimális vízellátottsággal jellemezhető tenyészidőszakban a nem öntözött kezelésekben az optimális vízellátás mellett nagyobb mennyiségű tápanyag volt jelen a talajban és vált felvehetővé a növény számára, illetve épült be a növényi biomasszába, ami jelentős termésnövekményt eredményezett. Éppen ezért fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy rendszeres öntözés alkalmazásánál egy kiegyenlített vízellátású évjáratban megfelelő, nagyobb dózisú tápanyaggal kell pótolnunk a korábbi évek magasabb termésével kivont mennyiséget. A száraznak mondható 2009-ben ezzel szemben a vegetáció elején sor került pótlólagos vízkijuttatásra, amelynek hatására az öntözött kezelésekben nagyobb terméseket mértünk. A száraz évjáratban mért termés jelentősen elmaradt az előző évben mérttől, mivel a címerhányástól kezdve nem állt megfelelő vízmennyiség a növények rendelkezésére egyik kezelésben sem. A növekvő tápanyag-ellátottsággal párhuzamosan mindkét évben tendenciaszerű termésnövekedést tapasztaltunk, azonban 2009-ben a nem kiegyenlített vízellátás következtében a nagyobb kijuttatott dózisok nem érvényesültek. Az egymás melletti dózisok hatása között szintén nem mindig volt különbség, ami egyrészt az ésszerűen kijuttatandó mennyiségre, másrészt adott ellátottsági szinten esetlegesen a nem megfelelő tápelem-arányokra hívja fel a figyelmünket. Az egyes genotípusok közötti különbség, illetve a hosszabb tenyészidejű hibridek terméspotenciálja csak megfelelő, kiegyenlített tápanyag- és vízellátás mellett realizálódik.

A zöldtömeg- és szárazanyag-beépülés a kiegyenlített vízellátású évben folyamatos és kiegyenlített volt. A zöldtömeg-gyarapodás ezzel szemben sokkal intenzívebb volt 2009-ben a tenyészidőszak első hónapjaiban, ahol a vízellátottság nem volt limitáló. A gyarapodás és a zöldtömeg-mennyiségének csökkenése közötti fázisváltás ez utóbbi évben mintegy 7-10 nappal korábbra tehető, mint a kiegyenlített vízellátásnál. A szárazanyag-beépülés dinamikája mindkét évben hasonló tendenciát

követett, azonban a csapadékos évben a gyarapodás tendenciája sokkal kiegyenlítettebb volt.

A növények nitrogénfelvételében is meghatározó volt a két évjárat közötti különbség. A kiegyenlített vízellátású évben a nitrogén-felvétel dinamikája folyamatos, vagyis folyamatosan megfelelő ellátottságot igényel a növény. Ezzel szemben a száraz évben főként a megfelelő vízellátottságú periódusokban volt nagymértékű és intenzív a felvétel. A fő felvételi időszak az intenzív vegetatív fejlődés, illetve ezt követően a szentelítődéskor egy kevésbé intenzív, de jelentős felvétel volt megfigyelhető. A szentelítődést követően számottevő N-felvételt egyik évben sem mértünk.

A rendszeres öntözés hatására a kivont N-mennyiség 2008-ban az öntözött kezelésekben volt alacsonyabb, amely egyrészt a korábbi évek nagyobb mértékű felvételének, másrészt a talaj megváltozott mobilizációs képességének, valamint az esetleges lemosódásnak tudható be. Fontos tehát e tekintetben is kiemelni rendszeres öntözés alkalmazásánál a megfelelő tápanyag-ellátottságot biztosító műtrágyázás fontosságát azokban az években, amelyekben nem kerül sor pótlólagos vízkijuttatásra. Az öntözővíz kijuttatása átmenetileg telíti a talaj pórustérfogatát és ez a mobilizáció csökkenéséhez vezet (2009), tehát javasolható a többszöri, kis adagban történő, a teljes pórustérfogatot nem telítő öntözés alkalmazása. Ezen kívül szeretnénk felhívni a figyelmet a tápelemek megfelelő arányára, hiszen ennek hiányában a megfelelő vízellátottság mellett is előfordul, hogy az öntözés nem jár együtt magasabb tápelem-felvétellel.

A növekvő tápelem-ellátottsággal párhuzamosan tendenciaszerűen nőtt a növények által kivont N-mennyiség, valamint a talaj növény számára felvehető tápelem-készlete. A növényi koncentrációt a kiegyenlített vízellátású évben alig, míg a száraz évben jelentősen befolyásolta a műtrágyázás: a vegetáció során a növényi koncentráció a jobb tápanyag-ellátottságú parcellákon magasabb volt, azonban a csökkenő tendencia sokkal hosszabb ideig és a kezdeti értékhez képest intenzívebb volt. Ezzel szemben a kontroll-, ill. az alacsony tápanyag-ellátottságú kezelésekben a vegetáció második felében a növényi koncentráció csökkenése gyakorlatilag elhanyagolható volt. A növényi koncentráció mindkét évben hasonló tendenciát mutatott: kezdetben mértük a legmagasabb elemtartalmat, az intenzív felvétel jelentős hígulással párosult, majd a vegetáció végén számottevő változást nem mértünk.

Az egyes genotípusok felvétele eltérő: a korai éréscsoportba tartozó hibrid felvétele már a vegetáció elején intenzív, míg a hosszabb tenyészidejűeké csak később

növekszik. Ezt a talaj felvehető-elemtartalma is alátámasztotta. A későbbi időszakokban a kivont mennyiségben nincs jelentős mértékű eltérés. A száraz évjáratban a hosszabb és elnyújtottabb tenyész- és tápanyag-felvételi időszakokkal rendelkező genotípus intenzív tápelem-felvétele néhány nappal későbbre tehető, ami főként az intenzív vegetatív fejlődés végétől kezdve a csapadékhiány és a magas hőmérséklet miatt csökkenést eredményezett, mind a felvett mennyiség, mind a termés tekintetében. Ez alapján javasoljuk a nagyobb FAO-számú genotípusok használatakor a kiegyenlített vízellátás biztosítását.

A kukorica foszfor-felvételi dinamikája mindkét vizsgálati évben hasonló tendenciát követett: a fő felvételi időszak az intenzív vegetatív fejlődési fázistól a szemtelítődésig tartott. A vegetáció későbbi szakaszaiban jelentős P-felvétel nem volt. A növényi koncentráció is a vegetáció elején volt a legnagyobb, majd ezt követően egészen a szemtelítődési – azaz az intenzív P-felvétel során – folyamatosan csökkent, a későbbiekben pedig nem változott jelentős mértékben. Tekintettel arra, hogy a kísérleti talaj általában közepes-jó ellátottsági szintű (a tápanyag-dózisok függvényében) hangsúlyozzuk a foszfor folyamatos mobilizációjához szükséges tápelem- és vízmennyiség biztosítását a vegetáció első kétharmadában.

A korábbi években alkalmazott öntözés utóhatása a P-felvételében nem igazolható. Azon évjáratokban, amelyekben sor kerül pótlólagos vízkijuttatásra sem igazolható különbség a nem öntözött és öntözött kezelésekben kivont P-mennyiségek között, hiszen a P-felvétel szempontjából kritikus periódusban a folyamatos mobilizációhoz biztosított volt a megfelelő vízellátás. 2008-ban a korábban öntözött kezelésekben a talaj elemtartalmát tekintve szignifikánsan magasabb értékeket mértünk, mint a nem öntözöttekben. A korábbi években alkalmazott öntözés hatására az öntözött parcellák talajélete valószínűsíthetően élénkebb volt a kiegyenlítettebb vízellátásnak és a folyamatos tápanyag-feltáródásnak köszönhetően.

A tápanyag-ellátottság függvényében a kiegyenlített vízellátású évben a vegetáció egésze során tendenciaszerű növekedést figyeltünk meg a növények által kivont P-mennyiségben. A szemtelítődésig a száraz évjáratban is ez a tendencia mutatkozott, azonban a vízhiányos időszakban a tápanyagellátás hatása már nem bizonyult szignifikánsnak. Több mintavételnél is azt tapasztaltuk egyes kezeléskombinációkban, hogy a legnagyobb kijuttatott műtrágya-dózis hatására a kivont mennyiség jelentős mértékben csökkent. Ez arra enged következtetni, hogy e tápanyag-szinteken a tápanyagok egymáshoz viszonyított aránya, illetve egyéb növekedési tényezők nem az

optimális mértékben álltak a növény rendelkezésére. Mindkét évjáratban megfigyeltük, hogy a növényi P-koncentráció az intenzív felvétel során jelentősen hígul, ám az egyes tápanyag-ellátási szinteken mért koncentrációban nincs különbség. A vegetáció végén azonban a jobb ellátottságú kezelésekben hosszabb ideig mutatkozott a csökkenő tendencia, míg az alacsony műtrágya-dózissal kezeltékben a növényi koncentráció stagnált. A talaj elemtartalmát a műtrágyázás mindkét vegetáció egészében jelentős mértékben tendenciaszerűen növelte. Ezen eredmények alapján szintén kiemeljük a megfelelő tápanyag-ellátás mellett a vízellátás szerepét a folyamatos mobilizáció fenntartása érdekében a kritikus időszakokban.

Mindkét évjáratban megfigyeltük az egyes genotípusok P-felvételében, hogy a növényi növekedés kezdetén a rövidebb tenyészidejű hibridek tápanyagfelvétele intenzívebb és a növények által kivont mennyiség nagyobb, mint a hosszabb tenyészidejű hibridek esetében. A hosszabb tenyészidejű hibridek P-felvétele elnyújtottabb és kevésbé intenzív dinamikájú. Fontos azonban kiemelni a talaj megfelelő tápelem-szolgáltató képességének fenntartását, hiszen megfigyeltük, hogy a hosszabb tenyészidejű hibridek intenzív felvétele idején a talajban az összes foszforkészlet igen kis részarányát jelentő felvehető készlet nem volt képes a felvétel ütemében megújulni. A nem kiegyenlített vízellátású 2009-es évben a növekvő tenyészidőszak-hosszal párhuzamosan a kivont P-mennyiségben tendenciaszerű csökkenés volt megfigyelhető, amely arra vezethető vissza, hogy a kései éréscsoportba tartozó genotípus számára az elnyújtottabb és kevésbé intenzív tápanyag-felvétel során – főként hőmérsékleti (melegebb) és csapadékviszonyok (szárazabb) miatt – jóval kevésbé optimális feltételek voltak adottak. A növényi P-koncentrációban egyik vegetációban sem figyeltünk meg egyértelmű tendenciát.

A kálím-felvétel mindkét vizsgált évjáratban a fiatal növényeknél volt intenzív. A szentelítődés és az érés során számottevő K-felvételt már nem mértünk. A két évjárat között jelentős különbség, hogy míg a kiegyenlített vízellátású 2008-as évben egyes kezelésekben és viszonylag csekély mértékben tapasztaltuk a növény által már korábban felvett mennyiség visszajuttatását a talajba, addig a száraz 2009-ben ez a jelenség jóval korábbi fázistól kezdve és sokkal intenzívebben (akár a felvett mennyiség felét kitevő mértékben) mutatkozott. Tekintettel arra, hogy a K nem épül be a szerves molekulákba, egy megfelelő vízellátású periódust követően fennáll annak veszélye, hogy a már felvett mennyiség sem hasznosul a növényben, s így a vegetáció egészét tekintve a nagy mennyiségű visszapumpált mennyiség miatt hiányos állapot alakul ki, amely szélsőséges

esetben a nem kiegyenlített tápanyag-ellátáshoz és termésdepresszióhoz vezethet. Az egyes kezelésekben a talaj AL-oldható, azaz a növény számára felvehető és mobilizálható tartalék tápanyag-mennyiség mindkét tenyészidőszak során közel állandó értéket mutatott, azonban kiegészítő vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy az aktuálisan felvehető elemtartalmat nagymértékben befolyásolta a vízellátás, illetve annak hiánya. Tehát a talaj ellátottsági szintjének ismerete mellett fontos figyelemmel kísérenünk az aktuálisan felvehető mennyiséget és a mobilizációhoz a lehetőségekhez mérten optimális feltételeket biztosítani a kritikus felvételi időszakokban.

A korábbi években rendszeres öntözés utóhatása a K-felvételben, illetve a növényi K-koncentrációban nem egyértelműen kimutatható. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a kivont K-mennyiséget elsősorban a szárazanyag-termelés határozza meg, mintsem annak K-koncentrációja. 2009-ben mind a kivont mennyiség, mind a növényi koncentráció a mintavételek többségében az öntözött kezelésekben volt magasabb, amely az öntözés hatására kedvezőbb tápanyag-feltáródásra és -felvételre vezethető vissza. Ezt igazolják a talajminták mindkét kivonószerezellel végzett elemzése is. A szemtelítődés időszakára már nem volt különbség az öntözési variánsok között, vagyis alátámasztást nyert, hogy a kritikus időszakban a megfelelő tápanyag- és vízellátás döntő fontosságú.

A tápanyag-ellátottság függvényében mind csapadékos, mind száraz évben megfigyeltük a növekvő tápanyag-ellátottság pozitív hatását a talaj elemtartalmára és a növény által kivont K-mennyiségre. A növényi koncentráció csupán az intenzív tápelem-felvételi időszakban növekedett párhuzamosan a tápanyag-ellátottságtól. A vegetáció későbbi szakaszaiban azonban nem volt kimutatható különbség az egyes tápanyag-ellátási szintekben mért koncentrációk között.

A vegetáció elején – mindkét évben – a korábbi éréscsoportba tartozó genotípusok nagyobb mennyiségű K-ot vontak ki a talajból. Az intenzív vegetatív fejlődés során a hosszabb tenyészidejűek tápanyagfelvétele is fokozottabb lett. Vagyis a kezdeti elhúzó és kevésbé intenzív tápanyagfelvételt a hosszabb tenyészidejű hibrid a hosszabb és tovább intenzívnek tekinthető tápanyagfelvétele során kompenzálta és összességében több tápelemet vont ki a talajból. A száraz évben az érés során egyértelmű tendenciát nem figyeltünk meg a különböző genotípusoknál: mindhárom hasonló, csökkenő tendenciát mutatott.



A műtrágyázás hatékonyságát, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képességét vizsgálva megállapítottuk, hogy a kijuttatott műtrágya-dózis növekedésével párhuzamosan csökkent az egységnyi kijuttatott hatóanyagra jutó termés mennyisége. A nitrogén esetében minden tápanyag-ellátottsági szinten, mindkét évjáratban felhasználta a növény a műtrágyázással kijuttatott mennyiséget. A kiegyenlített vízellátás mellett a növények a kijuttatott mennyiségen felül jóval nagyobb tápelem-mennyiséget vettek fel a talaj natív készletéből, mint a száraz évben. A foszfornál a nagyobb műtrágyadózisok már egyik évben sem hasznosultak, ami egyrészt a nagy dózisonak, másrészt a tápelemek esetleges nem megfelelő arányának köszönhető. Az alacsonyabb ellátottság mellett a növények jelentős mennyiséget vontak ki a talaj natív készletéből. A két évben kivont mennyiség közötti különbség a nem trágyázott kezelésben szinte elhanyagolható volt. A kálium csapadékos évben minden ellátási szinten teljes mértékben hasznosult (sőt további mennyiséget vontak ki a növények a kijuttatotton felül). Ezzel szemben a száraz évben a nagyobb dózissal kezelt parcellákon a növények már nem hasznosították a műtrágyával kijuttatott mennyiség egészét. Összességében értékelve felvétel szempontjából a hektáronként 90 kg N, 69 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és 81 kg K<sub>2</sub>O hatóanyag-mennyiség kijuttatását javasoljuk, hiszen e dózisonál mértük a talaj legjobb tápanyag-szolgáltató képességét a vizsgált makroelemek tekintetében, mind csapadékos, mind pedig száraz évben.

## 7. Új és újszerű tudományos eredmények

1. A vizsgált genotípusok **zöldtömeg- és szárazanyag-gyarapodásának intenzitása, valamint tápelem-felvétele a tenyészidőszak folyamán eltérő**: a korai éréscsoportba tartozó hibridnél rövidebb, de intenzívebb tápanyag-felvételt figyeltünk meg, míg a hosszabb vegetációs periódusú hibridek tápanyag-felvételi időszaka elnyújtottabb és kevésbé intenzív dinamikájú.
2. Az évjárat döntő mértékben befolyásolja a tápanyagok feltáródását és a tápelem-felvétel dinamikáját. A foszfor esetében súlyos vízhiány esetén az intenzív felvételi időszak lerövidül.
3. **Az Mv 500 hibrid címerhányása és szemképződése később következett be**, csapadékhiányos évjáratban szárazabb és melegebb időszakra esett, mint a rövidebb tenyészidejűeknél. Ennek következtében a szemtelítődés és az érés során nem tudta kompenzálni a nem kielégítő vízellátás terméslimitáló hatását.
4. Nagyobb N- és P- és K-dózisú kezelésekben a **növényi elemtartalom** is nőtt, de a vegetáció során a magasabb dózisú kezelésekben a növényi elemkoncentráció intenzívebben csökkent, mint a kezeletlen és az alacsonyabb tápanyag-ellátottságú variánsokban.
5. **A tápelemek egymáshoz viszonyított arányát** a tervezett tápanyag-ellátási szint és a csapadék/vízellátás függvényében kell meghatározni. A vizsgált fix tápelem-arányok esetében a magasabb ellátottsági szinteken a kijuttatott és már felvett mennyiségen túl további N-feltáródást figyeltünk meg, azonban a növény egyik évben sem használta fel a kijuttatott mennyiséget, míg száraz évjáratban részben már a káliumot sem.

## **8. A gyakorlatban hasznosítható eredmények**

1. **A növekvő vízellátással fokozódó tápelem-felvétel biztosítására** gondoskodni kell a nagyobb dózisú tápanyag-kijuttatásról is. Rendszeres öntözés alkalmazásánál csapadékos évjáratban figyelembe kell vennünk, hogy a korábbi évek magasabb tápelem-felvételét szükséges magasabb tápanyag-ellátással kiegészíteni a talaj megfelelő tápanyag-szolgáltató képességének fenntartása érdekében.
2. A **fenntartható gazdálkodás** követelményeinek megfelelő kezelések nem feltétlenül esnek egybe a maximális termést produkáló kezelésekkel. A talaj legjobb tápanyag-szolgáltató képessége a közepes ( $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N} + \text{PK}$ ) műtrágya-dózis kijuttatásakor igazolt.
3. A növény számára a folyamatos tápanyag-ellátás mellett **fontos valamennyi kritikus fenofázisban biztosítani a szükséges vízmennyiséget az optimális fejlődéshez**, ennek hiányában a nem megfelelő vízellátásból eredő termésdepressziót a növény nem képes a későbbi időszakban korrigálni.
4. Kiegyenlített vízellátású évben a növényi zöldtömeg- és szárazanyag-gyarapodás kiegyenlített. Ezzel szemben száraz évjáratban a vízhiány jelentősen gátolja a beépülést, s a beépülés és a – vízvesztési folyamatoknak köszönhetően bekövetkező – zöldtömeg csökkenés közötti fázisváltás akár 7-10 nappal korábbra tehető, mint csapadékos évben.
5. Az alkalmazott hibrid megválasztásánál a termőhelyi adottságok mellett figyelembe kell venni a tenyészidőszak hosszát és **az egyes fenofázisokhoz kell igazítani a tápanyag- és vízellátás optimális dózisait és kijuttatását**. A legkritikusabb vízigényű fenofázisban a korai éréscsoportba tartozó hibrideknél június utolsó, míg a későbbi éréscsoportba tartozóknál július első dekádjában javasolt a megfelelő vízellátás biztosítása.
6. Kísérleti eredményeink alapján csernozjom talajon a középérésű **Mv Koppány** mind csapadékos, mind száraz évjáratban megbízható termést produkált. Az 500 feletti FAO-számú hibridek használata csak intenzív termesztésben, a növény tápanyag- és vízigényének folyamatos biztosításával javasolt.

## **9. Összefoglalás**

A kukoricatermesztés eredményességét és hatékonyságát az – önmagukban is összetett – ökológiai, biológiai és az agrotechnikai tényezők együttesen határozzák meg. Ezek a tényezők külön-külön is markáns hatást gyakorolnak, de komplex szemléletük elengedhetetlen. A termőhely adottságainak ismeretében nagy figyelmet kell fordítani a megfelelő genotípus (fajta, illetve hibrid) kiválasztására, hiszen a jó genetikai alapok jelenthetik a sikeres termesztés kulcsát. A folyamatosan változó termőhelyi viszonyok azonban újra és újra megkövetelik az esetleges évtizedes tapasztalatok felülvizsgálatát, ellenőrzését. Az alkalmazott agrotechnika, s elsősorban a műtrágyázás és a vízellátás hatékonyságának vizsgálatát és optimalizálását segíti elő a növények tápelem-felvételi dinamikájának vizsgálata. Ezáltal adott termőhelyen ismereteket gyűjthetünk a kritikus felvételi időszakokról, amelyek során az adott genotípus számára megfelelő tápanyag- és vízmennyiség biztosításával nagymértékben növelhetjük a termelés biztonságát és a termés mennyiségét.

A dolgozat alapját képező szabadföldi kísérlet egy mintegy 25 éves öntözési és műtrágyázási tartamkísérlet. A 2008-as és 2009-es tenyészidőszakban három tenyészidejű genotípus (Mv 251 (FAO 280), Mv Koppány (FAO 420), valamint Mv 500 (FAO 510)) termését és makrotápelem-felvételét vizsgáltuk eltérő műtrágya mennyiség és az optimális vízellátást biztosító öntözés hatására. A kísérlet talaja löszön képződött, közepesen kötött, vályog textúrájú, mészlepedékes csernozjom, amely jól reprezentálja a hajdúsági, kiváló termőképességű és vízháztartású löszhát csernozjom talajain jellemző termelési viszonyokat. A terület két részből áll: az egyik felét – a telepen folyamatosan mért hőmérséklet- és csapadék adatok alapján, szükség esetén – öntözik, míg a másik felén a növény csupán a természetes csapadékból, illetve a talaj víztartalmából származó nedvességre támaszkodhat. A kisparcellás kísérletben a kijuttatott tápelemek egymáshoz viszonyított aránya fix: öt tápanyaglécsoben, rögzített  $1,0 : 0,75 : 0,88 \text{ N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O}$ .

A tenyészidőszak főbb fenofázisaiban talaj és növénymintákat gyűjtöttünk, majd ezek kémiai elemzésével mértük azok elemtartalmát. Kalkuláltuk az adott időpontig a növény által kivont tápelem-mennyiséget és következtetéseket vontunk le a makrotápelemek felvételének dinamikájáról, valamint a kísérletben vizsgált tényezők hatásának mértékéről. A vizsgált 2008-as évjáratban a kiegyenlített csapadékeloszlás miatt nem került sorpótlólagos vízmennyiség kijuttatására, amely lehetőséget adott az

öntözés utóhatásának vizsgálatára. Ezzel szemben 2009 meglehetősen száraz, vízhiányos évnek bizonyult.

Vizsgálataink során a következő célokat tűztük ki:

1. Az adott évjárat hatásának, valamint az egyes kukorica genotípusok **tenyészideje**, az **öntözés** és a **tápanyagellátás** hatásának, ill. a köztük fellépő kölcsönhatások vizsgálata a kukorica **biomassza- és szemtermésére**, a **talaj tápanyag-készletére** és a **növényi** biomassza **tápelem- koncentrációjára**
2. A talaj és a növény tápelem-készlete, valamint a növény által kivont tápelem-mennyiség alapján a **tápelem-felvétel dinamikájának** vizsgálata a tenyészidőszak folyamán
3. Az egyes vizsgált makroelemek tekintetében a gyakorlat számára átadható, kiegyensúlyozott és a növény aktuális igényének megfelelő, **fenntartható tápanyag-ellátást célzó következtetések** levonása.

A kiegyenlített vízellátású 2008-as évben a korábbi években rendszeresen alkalmazott öntözés utóhatásaként a nem öntözött kezelések zöldtömeg- és szárazanyag-produkciója, valamint termése volt nagyobb. Ennek oka, hogy a korábban öntözött kezelésekben az öntözés eredményeként produkált nagyobb termésmennyiséghez a kukorica jelentősen több tápanyagot vont ki a talajból, valamint, hogy az öntözés hatására a talaj tápanyag-szolgáltatása megváltozott. A közel optimális vízellátottsággal jellemezhető tenyészidőszakban a nem öntözött kezelésekben az optimális vízellátás mellett nagyobb mennyiségű tápanyag volt jelen a talajban és vált felvehetővé a növény számára, illetve épült be a növényi biomasszába, ami jelentős termésnövekményt eredményezett. Éppen ezért fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy rendszeres öntözés alkalmazásánál egy kiegyenlített vízellátású évjáratban megfelelő, nagyobb dózissal kell pótolnunk a korábbi évek magasabb termésével kivont mennyiséget. A száraz évjáratban mért termés jelentősen elmaradt az előző évben mérttől, mivel a címerhányástól kezdve nem állt megfelelő vízmennyiség a növények rendelkezésére egyik kezelésben sem. A növekvő tápanyag-ellátottsággal párhuzamosan mindkét évben tendenciaszerű termésnövekedést tapasztaltunk, azonban 2009-ben a nem kiegyenlített vízellátás következtében a nagyobb kijuttatott dózisosok nem érvényesültek. Az egymás melletti vizsgált dózisosok hatása között szintén nem mindig volt különbség, ami egyrészt a gazdasági és ökológiai szempontok figyelembe vételével ésszerű kijuttatandó mennyiségre, másrészt adott ellátottsági szinten esetlegesen a nem megfelelő tápelem-

arányokra hívja fel a figyelmünket. Az egyes genotípusok közötti különbség, illetve a hosszabb tenyészidejű hibridek terméspotenciálja csak megfelelő, kiegyenlített tápanyag- és vízellátás mellett realizálódik.

A zöldtömeg- és szárazanyag-beépülés a kiegyenlített vízellátású évben folyamatos és kiegyenlített volt. A zöld biomassza-gyarapodás ezzel szemben sokkal intenzívebb volt 2009-ben a tenyészidőszak első hónapjaiban, amikor még a vízellátottság nem volt limitáló. A gyarapodás és a zöldtömeg-mennyiségének csökkenése közötti fázisváltás ez utóbbi évben mintegy 7-10 nappal korábbra tehető, mint a kiegyenlített vízellátásnál. A szárazanyag-beépülés dinamikája mindkét évben hasonló tendenciát követett, azonban a csapadékos évben a gyarapodás tendenciája sokkal kiegyenlítettebb volt.

A növények nitrogénfelvételében is meghatározó volt a két évjárat közötti különbség. A kiegyenlített vízellátású évben a nitrogén-felvétel dinamikája folyamatos, vagyis folyamatosan megfelelő ellátottságot igényel a növény. Ezzel szemben a száraz évben főként a megfelelő vízellátottságú periódusokban volt nagymértékű és intenzív a felvétel. A fő felvételi időszak az intenzív vegetatív fejlődés, illetve ezt követően a szemtelítődéskor egy kevésbé intenzív, de jelentős felvétel volt megfigyelhető. A szemtelítődést követően számottevő N-felvételt egyik évben sem mértünk. Fontos tehát e tekintetben is kiemelni rendszeres öntözés alkalmazásánál a megfelelő tápanyag-ellátottságot biztosító műtrágyázás fontosságát azokban az években, amelyekben nem kerül sor pótlólagos vízkijuttatásra, valamint a kritikus fenofázisokban a megfelelő vízellátást.

A korábbi években rendszeresen alkalmazott öntözés utóhatásaként a kivont N-mennyiség 2008-ban a nem öntözött parcellákon volt nagyobb. A jelenség lehetséges magyarázata, hogy a korábbi években rendszeres öntözés hatására a talajban a N-mobilizáció, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képessége megváltozott, valamint a vegetáció előtt és alatt hullott nagy mennyiségű csapadék könnyen kimoshatta a felvehető N-formákat.

A kukorica foszfor-felvételi dinamikája mindkét vizsgálati évben azonos tendenciát követett: a fő felvételi időszak az intenzív vegetatív fejlődési fázistól a szemtelítődésig tartott. A vegetáció későbbi szakaszaiban jelentős P-felvétel már nincs.

A kálím-felvétel mindkét vizsgált évjáratban a fiatal növényeknél volt intenzív. A szemtelítődés és az érés során számottevő K-felvételt már nem mértünk. A két évjárat között jelentős különbség, hogy míg a kiegyenlített vízellátású 2008-as évben egyes

kezelésekben és viszonylag csekély mértékben tapasztaltuk a növény által már korábban felvett mennyiség visszajuttatását a talajba, addig a száraz 2009-ben ez a jelenség jóval korábbi fázistól kezdve és sokkal intenzívebben (akár a felvett mennyiség felét kitevő mértékben) mutatkozott.

A N esetében a növény számára felvehető és könnyen kicserélhető mennyiséget mértük a talajban. Az egyes kezelésekben a talaj AL-oldható, azaz a növény számára felvehető és mobilizálható tartalék P- és K-mennyiség mindkét tenyészidőszak során közel állandó értéket mutatott, azonban a K esetében kiegészítő vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy az aktuálisan felvehető elemtartalmat nagymértékben befolyásolta a vízellátás, illetve annak hiánya.

A nitrogénnel szemben az öntözés utóhatása sem a foszfor, sem pedig a kálium esetében nem volt igazolható. A száraz évjáratban a megfelelő vízellátottság mindhárom makroelem feltáródását és felvételét tendenciaszerűen javította. Azonban fontos, hogy megfelelő öntözővíz-mennyiséget juttassunk ki, mert amennyiben a talaj pórustérfogata túlságosan telítődik, a felvehető N-formák további mobilizációja gátolt lehet, ez pedig a kritikus felvételi időszakban negatívan befolyásolja a termést. A P-nál azt is megfigyeltük, hogy mivel a fő felvételi időszak az intenzív vegetatív fejlődési fázistól a szemtelítődésig tart, amely mindkét öntözési variánsban jó vízellátottságú időszak volt, nem mutatkozott különbség a nem öntözött és öntözött kezelésekben kivont P-mennyiségben. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a kivont K-mennyiséget elsősorban a szárazanyag-termelés határozza meg, mintsem annak K-koncentrációja. Tehát a megfelelő vízellátás hatására képződött nagyobb biomasza-mennyiség, azonban a hígulási folyamatoknak köszönhetően a teljes kivont mennyiség nem változik számottevően. A száraz évben mind a kivont mennyiség, mind a növényi koncentráció a mintavételek többségében az öntözött kezelésekben volt magasabb, amely az öntözés hatására kedvezőbb tápanyag-feltáródásra és -felvételre vezethető vissza.

A növekvő tápelem-ellátottsággal párhuzamosan tendenciaszerűen nőtt a növények által kivont N-, P- és K-mennyiség, valamint a talaj növény számára felvehető és tartalék tápelem-készlete. A kiegyenlített vízellátású évben a vegetáció egésze során tendenciaszerű növekedést figyeltünk meg a növények által kivont P- és K-mennyiségben. A szemtelítődésig a száraz évjáratban is ez a tendencia mutatkozott, azonban a vízhiányos időszakban a tápanyagellátás hatása már nem bizonyult szignifikánsnak. A növényi koncentrációt a kiegyenlített vízellátású évben alig, míg a száraz évben jelentősen befolyásolta a műtrágyázás: a vegetáció során a növényi

koncentráció a jobb tápanyag-ellátottságú parcellákon magasabb volt, azonban a csökkenő tendencia sokkal hosszabb ideig és a kezdeti értékhez képest intenzívebb volt.

Az egyes genotípusok felvétele eltérő: a korai éréscsoportba tartozó hibrid felvétele már a vegetáció elején intenzív, míg a hosszabb tenyészidejűeké csak később növekszik. A száraz évjáratban a hosszabb és elnyújtottabb tenyész- és tápanyag-felvételi időszakokkal rendelkező genotípus intenzív tápelem-felvétele néhány nappal későbbre tehető, ami főként az intenzív vegetatív fejlődés végétől kezdve a csapadékhiány és a magas hőmérséklet miatt csökkenést eredményezett, mind a felvett mennyiség, mind a termés tekintetében. Ez alapján javasoljuk a nagyobb FAO-számú genotípusok használatakor a kiegyenlített vízellátás biztosítását.

A műtrágyázás hatékonyságát, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képességét vizsgálva megállapítottuk, hogy a nitrogén esetében a növény minden tápanyag-ellátottsági szinten, mindkét évjáratban felhasználta a műtrágyázással kijuttatott mennyiséget. A kiegyenlített vízellátás mellett a növények a kijuttatott mennyiségen felül jóval nagyobb tápelem-mennyiséget vettek fel a talaj natív készletéből, mint a száraz évben. A foszfornál a nagyobb műtrágyadózisok már egyik évben sem hasznosultak. Az alacsonyabb ellátottság mellett a növények jelentős mennyiséget vontak ki a talaj natív készletéből. A kálium csapadékos évben minden ellátási szinten teljes mértékben hasznosult, sőt további mennyiséget vontak ki a növények a kijuttatotton felül. Ezzel szemben a száraz évben a nagyobb dózissal kezelt parcellákon a növények már nem hasznosították a műtrágyával kijuttatott mennyiség egészét. Összességében értékelve felvétel szempontjából a hektáronként 90 kg N, 69 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és 81 kg K<sub>2</sub>O hatóanyag-mennyiség kijuttatását javasoljuk, hiszen e dózisonál mértük a talaj legjobb tápanyag-szolgáltató képességét a vizsgált makroelemek tekintetében, mind csapadékos, mind pedig száraz évben.



## **10. Summary**

The success and effectiveness of maize production are determined by several ecological, biological and agrotechnical factors altogether, each of them is complex in itself. Each of these factors has an individual effect, but their complex approach is inevitable. With full knowledge of the conditions of the production site the choice of the appropriate genotype is of great importance, because good genetic basis can be the key for the successful production. The continuously changing production site properties urge the reconsideration and verification of available results. The investigation of the nutrient-uptake dynamics of plants helps the examination and optimisation of the applied agrotechnical elements, mainly of mineral fertilization and water-supply. Thus new information can be gathered for the given production site. By ensuring the adequate nutrient- and water-supply of the applied genotype the safety of the production and the amount of biomass and grain yield can be highly increased.

The basis of this present dissertation is a 25-years long-term field experiment in which the effect of irrigation and nutrient-supply on the yield of different genotypes is investigated. In the crop-years of 2008 and 2009 the yield and macro-nutrient uptake of three genotypes with different vegetation period length ((Mv 251 (FAO 280), Mv Koppány (FAO 420) and Mv 500 (FAO 510)) as affected by different mineral fertilizer dosage and irrigation were studied. The experimental soil is a medium-heavy, loam texture calcareous chernozem type based on loess, which represents the production circumstances of the chernozem soils in the region of the Hajdúság with excellent productivity. The experimental site consists of two parts: the half of it can be irrigated – in case it is needed based upon the continuously measured temperature and precipitation data –, while on the other half of the experimental field plants dispose only of the water amount from the natural precipitation and the moisture-content of the soil. In this small-plot experiment the rate of the applied nutrients is fixed: beside the control treatment there are five increasing dosages with fixed 1.0 : 0.75 : 0.88 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O nutrient rate.

In the main phenological phases of each vegetation, plant and soil samples were collected and analysed for their nutrient content in the lab. The accumulated nutrient amounts were calculated in the given development phase and we tried to draw conclusions regarding the dynamics of the uptake of each macronutrient, just as the extent of the effect of the studied production factors. In the studied crop-year of 2008 there was no need to apply any additional irrigation water due to the balanced fall and

amount of precipitation that enabled us to investigate the potential after-effect of the regular irrigation. Contrarily the crop-year of 2009 was rather dry and short of water.

Following research aims were defined during our work:

1. To study the given crop-year, just as the effect and interactions between the **vegetation period** of different maize genotypes, **irrigation** and **nutrient-supply** on the **biomass- and grain-yield** of maize, the **nutrient stock of soil**, just as the **concentration of nutrients in the plant biomass**.
2. To study the **nutrient-uptake dynamics** during the vegetation on the basis of the nutrient stock of plant and soil, just as the amount of nutrients extracted from the soil by plant biomass.
3. Regarding the studied macronutrients to define and **draw conclusions for the practise** and that **aim a balanced, sustainable nutrient-supply that is adopted to the actual demand of plants**.

In the crop-year of 2008 with balanced water-supply the previously regularly applied irrigation had an after-effect on the plants and the green biomass, dry matter productions and grain yield in the not irrigated plots were significantly higher. The reason for that is that in the previously irrigated treatments plants produced higher yields in the crop-years before. For this higher production plants extracted more nutrients from the soil and as the effect of regular irrigation the nutrient-supply of the soil changed too. But in the crop-year with nearly optimal water-supply more nutrients were available and taken up by plants in the not-irrigated plots, that resulted a significant increment in the plant yield. Therefore it is important to emphasize that in case of regular irrigation the higher amount of extracted nutrients shall be refilled with appropriate higher fertilizer dosages in the crop-years with balanced water-supply. The grain yields in the dry crop-year were far lower than those in the previous year, because from the silking phase there was not enough plant-available water in any of the treatments. Parallel to the increasing nutrient-supply levels we found an increasing tendency in the plant yield in both investigated crop-years, but in 2009 the higher applied fertilizer dosages could not be effective due to the inappropriate water-supply. The effect of nutrient dosages close to each other did not always result any significant difference in the yield. This calls our attention to the reasonably applied dosage considering economical and ecological aspect, just as the possibility of not appropriate nutrient rates on the given nutrient-supply level. The difference in the yield potential of the genotypes, just as the higher yield of hybrids

with longer vegetation periods can be realized only under adequate nutrient- and water-supply levels.

The production of green biomass and dry matter was continuous and balanced in the crop-year with balanced precipitation. In contrast the production of green biomass and dry matter was much more intensive in the first months of the vegetation in 2009, because in this period the inadequate water-supply did not limit the production. The change point between the production of green biomass and the decrease of its weight due to drying happened 7-10 days earlier in the dry than in the previous, balanced vegetation. The accumulation of dry matter showed similar dynamics in both crop-years, but in the wet vegetation the dynamics of accumulation was much more balanced and continuous.

The difference in the two vegetations was significant in the nitrogen-uptake of plants. The dynamics of N-uptake was continuous in the vegetation with balanced water-supply that emphasizes that plants need continuously adequate N-supply. In contrast, the N-uptake was high and intensive mainly in the periods with adequate water-supply in the next, dry year. The main uptake period is the phase of the intensive vegetative growth. After that during the grain filling a less intensive but significant uptake was observed in the plants. After grain filling there was no significant uptake in any of the investigated crop-years. In case of regular irrigation it is important to pay attention to the importance of ensuring adequate nutrient-supply levels in years in which there is no need to apply any further water amount, just as the importance of good water-supply in the critical vegetation and uptake periods.

As the after-effect of regular irrigation in the previous crop-years the amount of N taken up by the plants was higher in case of the not irrigated treatments in 2008. A possible explanation for this is that due to the regular irrigation in the previous years the N-mobilisation and the nutrient-supply of the soil have changed. It is also possible that the relatively high amount of precipitation before and during the vegetation could easily leach the plant-available N-forms to the deeper soil layers.

The phosphorous uptake dynamics of maize showed similar tendency in both investigated crop-years: the main uptake period was observed between the phase of intensive vegetative development to the grain filling. In the later phases of the vegetation there was no significant uptake.

The potassium uptake was intensive in the young plants in both vegetations. In the phases of grain filling and ripening there was not any K-uptake measured. A difference between the two investigated vegetations is that in the crop-year with balanced

water-supply the phenomenon that plants pump the already extracted K-amount into the soil was observed only in some treatment combinations and only in a small extent. In contrast, in the dry vegetation of 2009 this was observed from a much earlier phase and much more intensive (even in the extent to the half of the amount already taken up).

In case of N the plant-available and easily exchangeable amount in the soil was measured. In all treatments the AL-extractable, that is the plant-available and mobilisable reserve P- and K-contents showed almost constant values in both vegetations. Still our additional studies regarding the plant-available K-amount revealed that the actually plant-available K-amount is highly affected by the water-supply or even its lack.

In contrast to the nitrogen, the after effect of regular irrigation could be observed in case of neither the phosphorous, nor the potassium. In the dry crop-year the adequate water-supply increased the mobilization and uptake of all three macronutrients tendentially. Still, it is very important to apply the appropriate water amount, because in case the soil pores are too saturated with water, the further mobilization of plant-available N-forms can be hindered for a while and in case of a critical uptake period it can affect the yield negatively. In case of phosphorous in the dry year it can be stated that the main uptake phase last from the phase of intensive vegetative growth until the grain filling. This period had adequate water-supply in both irrigated and not irrigated treatments, thus there was no difference in the extracted P-amounts. Based on our results it was stated that the amount of extracted K is rather mainly determined by the dry-matter production and not by its K-concentration. That means that as a result to better water-supply higher amount of biomass is produced, but due to the dilution of K in the plant the total amount of extracted nutrient does not change significantly. In the dry crop-year both extracted K-amount and plant K-concentration were higher in the irrigated treatments in most of the sampling times. It is the result of more favourable mobilization and uptake of nutrients in case of better water-supply.

Parallel to the increasing nutrient-supply the amount of N, P and K extracted by the plants, just as the plant available and reserve nutrient stock of the soil increased tendentially. In the whole vegetation with balanced water-supply an increasing tendency was observed in the extracted P- and K-amount. Until the phase of grain filling the same tendencies were observed in the dry year too, but after that, in the period with insufficient water-supply the effect of nutrient-supply was not significant any more. Plant nutrient concentration was hardly affected by mineral fertilization in the wet crop-year, while in the dry vegetation plant nutrient-concentrations were higher in the plots treated with

higher dosages. Still the decreasing tendency of plant concentration lasted longer and was more intensive in the treatments with better nutrient-supply.

The nutrient-uptake of the different genotypes was different: the uptake of the early ripening hybrid was rather intensive at the beginning of the vegetation, while the uptake of those with longer vegetation periods increases only later. In the dry crop-year the genotype with longer and extended vegetation and nutrient uptake period has its intensive uptake phase even some days later: this results a decrement in the extracted nutrient-amount and the yield due to the higher temperatures and the drier circumstances. According to this it is suggested that in case of the production of hybrids with higher FAO-numbers the adequate and balanced water-supply of plants is inevitable.

Studying the effectivity and the nutrient-supply capacity of the soil it can be stated that in case of the nitrogen plants utilized the applied active substance of the mineral fertilizers at all nutrient-supply levels in both crop-years. By the balanced water-supply plants extracted much higher N-amounts from the native stock of the soil than in the dry vegetation. In case of phosphorous higher mineral fertilizer dosages were not completely utilized in any of the studied years. By lower nutrient-supply plants mobilized and took up significant P-amount from the reserves of the soil. In the wet year the total applied potassium amount was utilized at all nutrient-supply levels, furthermore plants extracted further amounts from the nutrient stock of the soil. In contrast, in the dry year plants did not utilized the total applied amounts at the higher supply-levels. Regarding the nutrient uptake in general we recommend the application of mineral fertilizer active substance of 90 kg N, 69 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 81 kg K<sub>2</sub>O per hectare, because the highest nutrient mobilization and the highest nutrient supply of the soil were observed for the studied macro-elements in case of this level in both wet and dry vegetation.

## **11. Irodalomjegyzék**

- Ahmad N.* (2000): Fertilizer scenario in Pakistan policies and development. In: Ahmad N. (szerk.) (2000): Proceedings of the Conference Agriculture and Fertilizer Use. 15-21. Planning and Development Division. Government of Pakistan. Islamabad. Pakistan.
- Alessi J. – Power J. F.* (1974): Effects of plant population, row spacing, and relative maturity on dryland corn in the northern plains. I. Corn forage and grain yield. *Agronomy Journal*. **66**. 316-319.
- Al-Kaisi R. – Yin X.* (2003): Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agronomy Journal*. **95**. 1476-1482.
- Alvarez R. – Grigera S.* (2005): Analysis of soil fertility and management effects on yield of wheat and corn in the rolling pampa of Argentina. *Journal of Agronomy and Crop Science*. **191**. 321-329.
- Amanullah R. – Khattak A. – Shad K. K.* (2009): Plant density and nitrogen effects on maize phenology and grain yield. *Journal of Plant Nutrition*. **32**. 246-260.
- Amberger A.* (1984): Phosphatwirkung in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung. *Bodenkultur*. **35**. 295-304.
- Amberger A.* (1996): Pflanzenernährung. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart.
- Anda A.* (1987): A kukorica néhány sugárzás, hő- és vízháztartási komponensének alakulása a N-ellátottság függvényében. *Növénytermelés*. **36**. 3. 161-170.
- Anghinoni I. – Barber S. A.* (1980): Phosphorous influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorous supply. *Agronomy Journal*. **72**. 685-688.
- Antal E. – Szesztay K.* (1996): Climate and water in plant ecology. *Időjárás*. **100**. 1-3. 193-206.
- Antal J. – Buzás I. – Debreceni B. – Nagy M. – Sipos S. – Sváb J.* (1979): A műtrágyázás irányelvei és üzemi számítási módszer. I. rész. N, P, K műtrágyázási irányelvek. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest. 1-47.
- Ashok K. – Gupta B. R. – Pathak R. K.* (2007): Effect of site specific nutrient management on the yield and quality composition of maize (*Zea mays L.*). *Indian Journal of Agricultural Biochemistry* **19**. 2. 63-66.
- Asseng S. – Ritchie J. T. – Smucker A. J. M. – Robertson M. J.* (1998): Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. *Plant and Soil*. **201**. 265-273.
- Balla A.-né* (1968): A tenyésztérsület, a növényápolás és a trágyázás hatása a kukorica termésére. *Agrokémia és Talajtan*. **17**. 1-2. 101-107.

- Baranyai F. – Fekete A. – Kovács I.* (1987): A magyarországi talajtápanyag-vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Begg J. E. – Turner N. C.* (1976): Crop water deficits. *Advances in Agronomy*. **28**. 161-217.
- Bekele T. – Cino B. J. – Ehlert P. A. I. – van der Mass A. A. – van Diest A.* (1983): An evaluation of plant-borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphates. *Plant and Soil*. **75**. 361-378.
- Bennett J. M. – Mutti L. S. M. – Rao P. S. C. – Jones J. W.* (1989): Interactive effects of nitrogen and water stresses on biomass accumulation, nitrogen uptake, and seed yield of maize. *Field Crops Research*. **19**. 297-311.
- Bergmann W.* (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. G. F. Verlag. Jena-Stuttgart. 835.
- Bergmann W. – Neubert P.* (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- Berzsenyi Z.* (1992): A N-műtrágyázás és a növényszám hatása a kukorica (*Zea mays L.*) harvest-indexének, biomassza-produkciójának és szemtermésének változására az 1986-1990 években. *Növénytermelés*. **41**. 1. 43-57.
- Berzsenyi Z.* (1993): A N-műtrágyázás és az évjárat hatása a kukorica hibridek (*Zea mays L.*) szemtermésére és N-műtrágyareakciójára tartamkísérletben az 1970-1991 években. *Növénytermelés*. **42**. 1. 49-62.
- Berzsenyi Z. – Győrffy B.* (1995): Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. *Növénytermelés*. **44**. 5-6. 507-517.
- Berzsenyi Z.* (2009): A nitrogén műtrágyázás hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays L.*) hibridek növekedésére Richards-függvényvel. *Növénytermelés*. **58**. 2. 5-21.
- Birkás M. – Dexter A. R. – Kalmár T. – Bottlik L.* (2006): Soil quality – soil condition – production stability. *Cereal Research Communications*. **34**. 1. 135-138.
- Bocz E.* (1974): A szántóföldi növények hazai trágyázásának irányelvei. Debrecen. 65-77.
- Bocz E.* (1976): Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 257.
- Bohnert H. J. – Bressan R. A.* (2001): Abiotic stresses, plant reactions, and new approaches towards understanding stress tolerance. In: *Crop Science: Progress and Prospects*. (Szerk.: Noesberger J. – Geiger H. H. – Struik P. C. Wallingford, UK: CABI. 81-100.
- Boross L. – Sajgó M.* (1993): A biokémia alapjai. Mezőgazdasági Kiadó. 512.
- Bruetsch T. F. – Estes G. O.* (1976): Genotype variation in nutrient uptake efficiency in corn. *Agronomy Journal*. **68**. 521-523.

- Bruns H. A. – Ebelhar M. W.* (2006): Nutrient uptake of maize affected by nitrogen and potassium fertility in a humid subtropical environment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **37**. 1-2. 275-293.
- Buzás I.* (szerk.) (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 36-85.
- Buzás I.* (szerk.) (1988): A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Buzás I-né – Karkalik A-né – Tihanyi L.* (1988): A műtrágyázási szaktanácsadás és a műtrágyázás gyakorlatának összehasonlítása az 1987. évi kukoricatermesztési adatok alapján. *Hungagrochem '88*. 183-189.
- Carter T. R. – Porter J. H. – Parry M. L.* (1991): Climatic warming and crop potential in Europe (Prospects and uncertainties). *Global Environmental Change*. 1. 291-312.
- Cazetta J. O. – Seebauer J. R. – Beloe F. E.* (1999): Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels. *Annals of Botany*. **84**. 6. 747-754.
- Chen C. R. – Condrón L. M. – Davis M. R. – Sherlock R. R.* (2002): Phosphorous dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) and radiata pine (*Pinus radiata D. Don*). *Soil Biology and Biochemistry*. **34**. 487-499.
- Ching P. C. – Barber S. A.* (1979): Evaluation of temperature effects on K uptake by corn. *Agronomy Journal*. **71**. 1040-1044.
- Ciarelli D. M. – Furlani A. M. C. – Dechen A. R. – Lima M.* (1998): Genetic variation among maize genotypes for Phosphorous uptake and phosphorous-use efficiency in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*. **21**. 2219-2229.
- Clarke J. M. – Campbell C. A. – Cutforth H. W. – DePauw R. M. – Winkleman G. E.* (1990): Nitrogen and phosphorous uptake, translocation and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Canadian Journal of Plant Science*. **70**. 965-977.
- Csathó P.* (1992): K és P hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **41**. 3-4. 241-261.
- Csathó P.* (1997): Összefüggés a talaj K-ellátottsága és a kukorica, őszi búza és lucerna K-hatások között a hazai szabadföldi kísérletekben, 1960-1990. *Agrokémia és Talajtan*. **46**. 327-345.
- Csathó P.* (2003): Kukorica N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan*. **52**. 169-184.



- Csathó P.* (2004): A hazai agrokémiai iskolák kutatói által beállított NPK trágyázási szabadföldi kísérletek adatbázisának értékelése. CIT: Nagy J. (2007): Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest. 234.
- Csathó P.* (2005): Kukorica K hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés*. **54**. 447-465.
- Csathó P.* – *Kádár I.* (1989): P-Zn interaction studies on maize (*Zea mays L.*) monoculture. In: Proceedings of the 6th Trace Element Symposium. Leipzig-Jena. Germany. Vol. 2. 630-637.
- Csathó P.* – *Radimsky L.* (2005): A magyar mezőgazdaság környezetvédelmi és agronómiai megközelítésű NPK tápelem-mérlege 1901 és 2000 között. *Agrokémia és Talajtan*. **54**. 1-2. 217-234.
- Csathó P.* – *Kádár I.* – *Sarkadi J.* (1989): A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. **38**. 69-76.
- Csathó P.* – *Lásztity B.* – *Sarkadi J.* (1991): Az „évjárat” hatása a kukorica termésére és terméselemeire P-műtrágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés* **40**. 4. 339-353.
- Csomor M.* – *Lambert K.* (1987): Mezőgazdasági növénykultúrák csapadék-ellátottsága a nyári hónapokban. Beszámolók az 1984-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ. Budapest. 181-187.
- Dalal R. C.* (1977): Soil organic phosphorous. *Advances in Agronomy*. **29**. 83-117.
- Darrah P.* (1993): The rizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. *Plant and Soil*. **155-156**. 1-20.
- Debreczeni B-né* (1965): Víz- és tápanyag-ellátás hatása a kukorica transzspirációjára és tápanyagfelvételére. *Öntözéses Gazdálkodás*. **2**. 129-148.
- Debreczeni B.* – *Debreczeni B-né.* (1983): A tápanyagellátás és vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Debreczeni B.* (1990): Kálium a növénytermesztésben. *Magyar Mezőgazdaság*. **45**. 21. 10.
- Debreczeni B-né* (1999): A foszfor szerepe a növények életében. In: Füleky Gy. (szerk.) (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 45-51.
- Debreczeni K.* – *Berecz K.* (2000): Effect of nutrient supply and site characteristics on NPK yield of different maize hybrids. *Acta Agronomica Hungarica*. **48**. 1. 51-63.
- Dobos A.* – *Nagy J.* (1998): Az évjárat és a műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) szárazanyag-termelésére. *Növénytermelés*. **47**. 5. 513-525.
- Dóka L. F.* – *Pepó P.* (2007): Role of water supply in monoculture maize (*Zea mays L.*) production. *Cereal Research Communications*. **35**. 2. 353-356.

- Dóka L. F.* (2008): A kukorica öntözésének és állománysűrűségének hatása a vízháztartásra és a termésre. *Növénytermelés*. **57**. 3. 267-273.
- Eck H. V.* (1984): Irrigated corn yield response to nitrogen and water. *Agronomy Journal*. **76**. 421-428.
- Egner H. – Riem H. – Domingo W.* (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* **26**. 199-215.
- Ehdaie B.* (1995): Variation in water use efficiency and its components in wheat: II. Pot and field experiments. *Crop Science*. **35**. 6. 1617-1625.
- Elek É. – Kádár I. – Lásztity B.* (1980): A kukorica szárazanyag-termelése és tápanyagfelvétele. *Magyar Mezőgazdaság*. 35. 22. 8.
- El Hallof N. – Sárvári M.* (2007): Relationship between yield quality and quantity of maize hybrids and fertilizer. *Cereal Research Communications*. **35**. 2. 369-372.
- Fabijanac D. – Varga B. – Svecnjak Z. – Grbesa D.* (2006): Grain yield and quality of semiflint maize hybrids at two sowing dates. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. **71**. 2. 45-50.
- Fageria N. K. – Baligar V. C.* (1997): Phosphorous-use efficiency by corn genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. **20**. 1267-1277.
- Fageria N. K. – Baligar V. C. – Jones Ch. A.* (1991): Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker Inc. New York – Basel – Hong Kong. 205.
- Ferguson R. B. – Schepers J. S. – Hergert G. W. – Lohry R. D.* (1991): Corn uptake and soil accumulation of nitrogen: management and hybrid effects. *Soil Science Society of America Journal*. **55**. 875-880.
- Freeman K. W. – Kefyalew Girma – Teal R. K. – Arnall D. B. – Tubana B. – Holtz S. – Mosali J. – Raun W. R.* (2007): Long-term effects of nitrogen management practices on grain yield, nitrogen-uptake and efficiency in irrigated corn. *Journal of Plant Nutrition*. **30**. 2021-2036.
- Fülek Gy.* (szerk.) (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Gahoonia T. S. – Nielsen N. E.* (1992): The effects of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorous in the rhizosphere. *Plant and Soil*. **143**. 185-191.
- Gehl R. J. – Schmidt J. P. – Maddux L. D. – Gordon W. B.* (2005): Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils. *Agronomy Journal*. **97**. 1230-1238.
- Geisler G.* (1988): Pflanzenbau. Verlag Paul Parey. Berlin – Hamburg 319.

- Gisi U. – Schenker R. – Schulin R. – Stadelmann F. X. – Sticher H.* (1997): *Bodenökologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Goh K. M.* (2008): Plant availability of soil phosphorous forms accumulated from long-term superphosphate applications to irrigated pastures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **39**. 1979-1992.
- Gungula D. T. – Kling J. G. – Togun A. O.* (2003): CERES-Maize predictions of maize phenology under nitrogen-stressed conditions in Nigeria. *Agronomy Journal*. **95**. 892-899.
- Győri D.* (1984): a Talaj termékenysége. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest. 251.
- Győrffy B.* (1959): A műtrágyázás hatékonysága különböző sűrűségű kukorica-állományokban. *Magyar Mezőgazdaság*. **14**. 8. 9-10.
- Győrffy B. – I'só I.* (1966): A kukorica. In: Láng G. (szerk.): *A növénytermesztés kézikönyve* 1. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest. 190-279.
- Győrffy B.* (1979): Fajta, növényszám- és műtrágyahatás a kukoricatermesztésben. *Agrártudományi Közlemények*. **38**. 309-331.
- Hall A. J. – Rebella C. M. – Ghera C. M. – Culot J. P.* (1992): Field-crop systems of the Pampas. In: Pearson C. J. (szerk.) (1992): *Ecosystems of the world. Field Crop Ecosystems*. Elsevier Scientific. Amsterdam. 413-450.
- Hansen L. – Petersen E. F.* (1975): Losses of nutrients by leaching in agricultural production. *Tidsskr. Planteavl*. **79**. 670-688.
- Härdter R. – Horst W. J.* (1991): Nitrogen and phosphorus use in maize sole cropping and maize/cowpea mixed cropping systems on an Alfisol in the northern Guinea Savanna of Ghana. *Biology and Fertility of Soils*. **10**. 267-275.
- Harmati I.* (1995): A kukorica nitrogén és foszfor műtrágyázása meszes réti talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **44**. 31-39.
- Haygarth P. M. – Jarvis S. C.* (1999): Transfer of phosphorous from agricultural soils. *Advances in Agronomy*. **66**. 195-249.
- Heckman J. R. – Sims J. T. – Beegle D. B. – Coale F. J. – Herbert S. J. – Bruulsema T. W. – Bamka W. J.* (2003): Nutrient removal by corn grain harvest. *Agronomy Journal*. **95**. 587-591.
- Hinsinger P. – Gilkes R. J.* (1995): Root-induced dissolution of phosphate rock in the rizosphere of lupins grown in alkaline soil. *Australian Journal of Agricultural Research*. **33**. 477-489.
- Hoff D. J. – Mederski H. J.* (1960): Effect of equidistant corn plant spacing on yield. *Agronomy Journal*. **52**. 295-297.

- Houba V. J. G. – Novozamsky L. – Lexmond T. M. – Van der Lee J. J. (1990): Applicability of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **21**. 2281-2290.
- Houba V. J. G. - Jászberényi I. - Loch J. (1991): Application of 0,01 M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for evaluation of the nutritional status of Hungarian soils. *Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei*. XXX. 85-89.
- Hunkár M. (1987): A biomassza produkció dinamikája az időjárás függvényében. *Növénytermelés*. **36**. 2. 83-90.
- Hunkár M. (1990): Az időjárás hatása a kukorica szárazanyag produkciójának alakulására. *Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról*. OMSZ. Budapest. 92-97.
- Huzsvai L. – Nagy J. (2003): A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Növénytermelés*. **52**. 5. 533-541.
- Huzsvai L. – Nagy J. (2005): Effect of weather on maize yields and the efficiency of fertilization. *Acta Agronomica Hungarica*. **53**. 1. 31-39.
- Izsáki Z. (2008): Hatások és kölcsönhatások vizsgálata NPK műtrágyázási tartam-kísérletben kukorica (*Zea mays L.*) jelzőnövénnyel. *Növénytermelés*. **57**. 3. 275-289.
- Jakab P. – Futó Z. – Csajbók J. (2005): Analyze of photosynthesis and productivity of maize hybrids in different fertilizer treatments. *Cereal Research Communications*. **33**. 1. 205-207.
- Jakobsen S. T. (1993): Nutritional disorders between potassium, magnesium, calcium and phosphorous in soil. *Plant and Soil*. **154**. 21-28.
- Jamwal J. S. (2005): Productivity and economics of maize (*Zea mays*) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping system under irrigated nutrient supply system in rainfed areas of Jammu. *Indian Journal of Agronomy*. **50**. 2. 110-112.
- Jeney Cs. – Ángyán J. – Menyhért Z. – Varga A. (1985): A kukoricatermesztést befolyásoló fontosabb klímajellemzők területi eloszlása Magyarországon. *Növénytermelés*. **34**. 1. 21-32.
- Jolánkai M. (szerk.) (2005): Gabonafélék. In: Antal J. (szerk.) (2005): *Növénytermesztés* 1. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 301-316.
- Jordan H. V. – Laird K. D. – Ferguson D. D. (1950): Growth and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. *Agronomy Journal*. **42**. 231-268.
- Jugenheimer (1958): Hybrid maize breeding and seed production. FAO. Rome. 62.

- Jungk A. – Claasen N.* (1989): Availability in soil and acquisition by plants as the basis for phosphorous and potassium supply to plants. *Zeitschrift für Pflanzenbau und Bodenkunde*. **152**. 232-236.
- Kádár I. – Shalaby M. H.* (1986): A P és Zn trágyázás közötti összefüggések vizsgálata meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. **35**. 419-425.
- Kádár I.* (1987): A kukorica ásványi tápanyagellátása. *Növénytermelés*. **36**. 1. 57-66.
- Kádár I.* (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest, 398.
- Kádár I.* (1993): A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. KTM – MTA-TAKI. Budapest.
- Kádár I. – Gulyás F. – Gáspár L. – Zilahy P.* (2000): A kukorica (*Zea mays L.*) ásványi táplálása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. **49**. 4. 371-388.
- Kádár I. – Márton L.* (2007a): Búza utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1969-2005 között. *Növénytermelés*. **56**. 147-159.
- Kádár I. – Márton L.* (2007b): Kukorica utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1970-2006 között. *Növénytermelés*. **56**. 307-319.
- Kádár I. – Radics L.* (2008): Műtrágyázás hatása a kukoricára karbonátos homoktalajon. *Növénytermelés*. **57**. 3. 305-317.
- Kadlicskó B. – Krisztián J. – Holló S.* (1988): Kálium műtrágyázási kísérletek eredményei barna erdőtalajokon. *Növénytermelés*. **37**. 1. 43-52.
- Kaiser H. M. – Riha S. J. – Wilks D. S. – Rossiter D. G. – Sampath R.* (1993): A farm level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming. *American Journal of Agricultural Economics*. **75**. 387-398.
- Kalocsai R. – Schmidt R. – Szakál P.* (2004): Lehetőségek a trágyázás hatékonyságának növelésére környezetbarát módon a főbb szántóföldi kultúráknál. *Agronapló*. **8**. 6.
- Kang S. – Shi W. – Cao H. – Zhang J.* (2002): Alternate watering in soil vertical profile improved water use efficiency of maize (*Zea mays*). *Field Crops Research*. **77**. 31-41.
- Kátai J. – Vágó I. – Nagy P.T. – Lukács V.E.* (2006): Correlation between the nitrogen content of soil and element uptake of maize in a pot experiment. *Cereal Research Communications*. **34**. 1. 215-218.
- Kincses Sándorné – Filep Tibor – Loch Jakab* (2002): Az NPK-trágyázás hatása a kukorica tápelemfelvételének dinamikájára, öntözött és nem öntözött viszonyok között *Agrártudományi Közlemények*. **1**. 23-28.
- Kismányoki T.* (2005): A globális klímaváltozás hatásai és válasza Közép- és Dél-Dunántúl szántóföldi növénytermelésében. 'Agro-21' Füzetek. Klímaváltozás – hatások – válaszok. **41**. 81-94.

- Kolpakov V. V.* (1966): Effektivnoszt' orosenija i udobrenij v razlicsnüh zonah Evropejszkoj csaszti SzSzsZR. Biologicseszkiye osznovü orosaemogo zemledelija. Izd. Nauki. Moszkva. 69-77. p. CIT: Debreczeni B. – Debreczeni B.né (1983): A tápanyag- és a vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Kreuz E.* (1977): Neue Ergebnisse zur Ernährung und zum Wasserhaushalt des Maises. Übersichtsbeitrag. Archiv von Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde. **21**. 4. 327-344.
- Krisztián J. – Holló S.* (1992): Periodikus foszfor műtrágyázás. Növénytermelés. **41**. 2. 141-148.
- Krisztián J. – Kadlicskó B. – Holló S.* (1989): A káliumtrágya hasznosulása északmagyarországi csernozjom barna erdőtalajon és agyagbemosódásos barna erdőtalajon. Agrokémia és Talajtan. **38**. 2. 89-92.
- Kuzyakov Y. – Friedel J. K. – Stahr K.* (2000): Review of mechanisms and quantification of priming effects. Soil Biology and Biochemistry. **32**. 1485-1498.
- Lásztity B.* (1974): Az NK-műtrágyázás hatásának vizsgálata kukorica jelző-növénnyel, meszes homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. **23**. 3-4. 407-415.
- Lásztity B. – Biczók Gy. – Elek E. – Ruda M.* (1985a): A műtrágyázás hatása a kukorica fejlődésére és tápanyagforgalmára. I. Szárazanyag-felhalmozás, tápelem-tartalom és tápelemarányok. Agrokémia és Talajtan. **34**. 1-2. 137-154.
- Lásztity B. – Biczók Gy. – Elek E. – Ruda M.* (1985b): A műtrágyázás hatása a kukorica fejlődésére és tápanyagforgalmára. II. Tápelemfelvétel. Agrokémia és Talajtan. **34**. 3-4. 405-420.
- Lásztity B. – Csathó P.* (1994): A tartós NPK-műtrágyázás hatásának vizsgálata búza-kukorica dikultúrában. Növénytermelés. **43**. 2. 157-167.
- Lásztity B. – Csathó P.* (1995): NPK-műtrágyázás hatásának vizsgálata tartam-kísérletben mezőföldi csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **44**. 1-2. 47-60.
- Latkovics Gy.-né – Krámer M.* (1968): Az őszi búza és a kukorica műtrágyázás hatásának vizsgálata tartamkísérletben (1960-67). I. Szemterméseredmények. Agrokémia és Talajtan. **17**. 1-2. 189-200.
- Lente Á. – Pepó P.* (2009): Az évjárat és néhány agrotechnikai tényező hatása a kukorica termésére csernozjom talajon. Növénytermelés. **58**. 3. 39-51.
- Liang B. C. – Mackenzie A. F. – Kirby P. C. – Remillard M.* (1991): Corn production in relation to water inputs and heat units. Agronomy Journal. **83**. 794-799.
- Loch J.* (1992): Foszfortrágyázás. In: Loch J. – Nosticzius Á. (szerk.): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 182-184.

- Loch J.* (2004): Agrokémia. In: *Loch J. – Nosticzius Á.* (szerk.): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 15-207.
- Loch J.* (2006): Tápanyag-vizsgáló módszerek értékelése. In: *Loch J. és Lazányi J.* (szerk.) (2006): A tápanyag-gazdálkodást segítő talajvizsgáló módszerek alkalmazása a Nyírség homoktalajain. Nyíregyháza. 51-77.
- Loch J. – Jászberényi I.* (1995): Untersuchung der Phosphatadsorption und –Desorption in Dauerdüngungsversuchen. *Agribiological Research*. **48**. 1. 53-62.
- Lorens G. F. – Bennett J. M. – Loggale L. B.* (1987): Differences in drought resistance between two corn hybrids. *Agronomy Journal*. **61**. 17-20.
- Ma B. L. – Dwyer L. M. – Liang B. C. – Gregorich E.* (1995): Use of nitrogen-15 microplots for field studies of maize nitrogen-use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **26**. 1813-1822.
- Macdonald A. J. – Poulton P. R. – Powlson D. S. – Jenkinson D. S.* (1997): Effects of season, soil type and cropping on recoveries residues and losses of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to arable crops in spring. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. **129**. 125-154.
- Mackay A. D. – Barber S. A.* (1984): Soil temperature effects on root growth and phosphorous uptake by corn. *Soil Science Society of America Journal*. **48**. 818-823.
- Marschner H.* (1997): Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press. London. 889.
- Márton L.* (2005): Effect of mineral fertilization and rainfall on the yield of maize (*Zea mays L.*). *Agrokémia és Talajtan*. **54**. 3-4. 309-324.
- Megyes A. – Rátónyi T. – Huzsvai L. – Szabó Gy. – Dobos A. – Sum O.* (2000): A műtrágyázás hatása a Dekalb 471 Sc kukoricahibrid (*Zea mays L.*) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Növénytermelés*. **49**. 3. 307-316.
- Megyes A. – Nagy J. – Rátónyi T. – Huzsvai L.* (2005): Irrigation of maize (*Zea mays L.*) in relation to fertilization in a long term field experiment. *Acta Agronomica Hungarica*. **53**. 1. 41-46.
- MÉM NAK* (1979): Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. Budapest.
- Mengel K.* (1968): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- Mengel K.* (1993): Impact of intensive agriculture on resources and environment. In: *Fragoso M. A. C. - van Beisichem M. L.*: Optimization of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers. Hollandia. 613-617.

- Mengel D.* (1995): Roots, growth and nutrient uptake. Purdue University Dept. of Agronomy Publication #AGRY-95-08. West Lafayette. In: Purdue University. Available at: <http://www.agry.purdue.edu/Ext/pubs/AGRY-95-08.pdf>. Cit: Viswakumar A. – Mullen R. W. – Sundermeier A. – Dygert C. E. (2008): Tillage and Nitrogen Application Methodology on Corn Grain Yield. *Journal of Plant Nutrition*. **31**. 1963-1974.
- Mengel K. – Kirkby E.A.* (1982): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern. 655.
- Mengel K. – Kirkby A. – Kosegarten H. – Appel T.* (2001): Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht – The Netherlands.
- Menyhért Z. – Ángyán J. – Radics L.* (1980): A levélfelület-index (LAI), a fényviszonyok és a termés kapcsolata eltérő vetésidőjű és tenyészterületű kukorica állományokban. *Növénytermelés*. **29**. 4. 357-369.
- Menyhért Z.* (szerk.) (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Menyhért Z.* (1995): A felértékelődött kukoricatermesztés. *Agrofórum*. **5**. 1-3.
- Miao Y. X. – Mulla D. J. – Robert P. C. – Hernandez J. A.* (2006): Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection. *Agronomy Journal*. **98**. 1. 129-140.
- Misra S. – Mukund B.* (2001): Evaluation of quality characteristics of maize (*Zea mays L.*) genotypes/varieties. *Progressive Agriculture*. **1**. 1. 24-28.
- Moll R. H. – Kamprath E. J. – Jackson W. A.* (1982): Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*. **74**. 562-564.
- Moser S. B. – Feil B. – Jampatong S. – Stamp P.* (2006): Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural Water Management*. **81**. 41-58.
- Motavalli P. P. – Miles R. J.* (2002): Soil phosphorous fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. *Biology and Fertility of Soils*. **36**. 35-42.
- Muchow R. C.* (1989): Comparative productivity of maize, sorghum, and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. *Field Crops Research*. **20**. 207-219.
- Nagy J.* (1986): Összefüggés a kukorica hibridek öntözése, tápanyagellátása és a terméseredménye között. *DATE Tudományos Közleményei*. Debrecen. **26**. 187-201.
- Nagy J.* (1995a): A műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays L.*) termésére eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. **44**. 5-6. 493-506.



- Nagy J. (1995b): A talajművelés, a műtrágyázás, a növényszám és az öntözés hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays L.*) termésére. *Növénytermelés*. **44**. 3. 251-260.
- Nagy J. (1996a): A műtrágyázás hatása a Volga SC kukoricahibrid (*Zea mays L.*) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Növénytermelés*. **45**. 5-6. 477-486.
- Nagy J. (1996b): Effects of tillage, fertilization, plant density and irrigation on maize (*Zea mays L.*) yields. *Acta Agronomica Hungarica*. **44**. 4. 347-354.
- Nagy J. (1996c): Interactions between fertilization and irrigation and plant density of maize (*Zea mays L.*). *Cereal Research Communications*. **24**. 1. 85-92.
- Nagy J. (1997): A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Agrokémia és Talajtan*. **46**. 1-4. 275-288.
- Nagy J. (2000): A talajművelés és a műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termésére aszályos és kedvező évjáratokban. In: Nagy J. – Pepó P. (szerk.) (2000): *Növény- és talajtudomány a mezőgazdaságban. Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai. IV. nemzetközi tudományos szeminárium. Debrecen. DE-ATC.* 97-107.
- Nagy J. (szerk.) (2005): *Kukorica hibridek adaptációs képessége és termés-biztonsága: A kukoricakutatás és fejlesztés 30 éve. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen.* 268.
- Nagy J. (2007a): Evaluating the effect of year and fertilisation on the yield of mid ripening (FAO 400–499) maize hybrids. *Cereal Research Communications*. **35**. 3. 1497-1507.
- Nagy J. (2007b): *Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest.*
- Nagy P. T. (2000): Égetéssel elven működő elemvizsgáló alkalmazhatósága talaj- és növényvizsgálatoknál. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 3-4. 521-534.
- Nagy J. – Huzsvai L. (1995): Az évjárat hatás értékelése a kukorica (*Zea mays L.*) termésére. *Növénytermelés*. **44**. 385–393.
- Nagy V. – Sterauerova V. – Neményi M. – Milics G. – Koltai G. (2007): The role of soil moisture regime in sustainable agriculture in both side of river Danube in 2002 and 2003. *Cereal Research Communications*. **35**. 2. 821-824.
- Neilsen R. L. (1988): Influence of hybrids and plant density on grain yield and stalk breakage in corn grown in 15-inch rows. *Journal of Production Agriculture*. **1**. 190-195.
- Nel P. C. – Barnard R. O. – Steynberg R. E. – de Beer J. M. – Groneveld H. T. (1996): Trends in maize grain yields in a long-term fertilizer trial. *Field Crops Research*. **47**. 1. 53-64.
- Németh T. – Buzás I. (1991): Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet humuszos homok- és mészlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **40**. 399-408.

- Nótás E. – Debreczeni K. – Berecz K. – Heltai Gy. (2007): Effect of N fertilizers and soil moisture levels on the N gaseous losses and the plant N uptake in a maize pot experiment. *Cereal Research Communications*. **35**. 2. 853-856.
- Novák V. – Vidovic J. (2003): Transpiration and nutrient uptake dynamics in maize (*Zea mays L.*) *Ecological Modelling*. **166**. 99–107.
- Novoa R. – Loomis R. S. (1981): Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*. **58**. 177-204.
- Otegui M. E. – Andrade F. H. – Suero E. E. (1995): Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research*. **40**. 87–94.
- Ottman M. J. – Welch L. F. (1989): Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agronomy Journal*. **81**. 167-174.
- Outtar S. – Jones R. J. – Crookston R. K. – Kajeiuo M. (1987): Effect of drought on water relations of developing maize kernels. *Crop Science*. **27**. 730-735.
- Overman A. R. – Scholtz III. R. V. – Brock K. H. (2006): Model analysis of corn response to applied nitrogen and plant population density. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **37**. 1157-1172.
- Pakurár M. – Nagy J. – Jagendorf S. – Farkas I. (2004): Fertilisation and irrigation effects on maize (*Zea mays L.*) grain production. *Cereal Research Communications*. **32**. 1. 151-158.
- Pandey R. K. – Maranville J. W. – Admou A. (2000): Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management*. **46**. 1-13.
- Pepó P. (2001): A genotípus és a vetésváltás szerepe a kukorica tápanyag-ellátásában csernozjon talajon. *Növénytermelés*. **50**. 2-3. 189-202.
- Pepó P. – Vad A. – Berényi S. (2006): Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. *Cereal Research Communications*. **34**. 1. 621-624.
- Pintér L. (1979): Kukorica (*Zea mays L.*) hibridek alkalmazkodóképességének alakulása hazai ökológiai viszonyok között. *Növénytermelés*. **28**. 3. 213-216.
- Pintér L. – Szirbik M. (1977): A kukorica (*Zea mays L.*) hibridek alkalmazkodóképességének vizsgálata. *Növénytermelés*. **26**. 6. 433-442.
- Pletser J. – Szalai D. – Ábrányi A. (1980 a): A kukorica vegetatív fejlődési szakaszainak kapcsolata az időjárással. Beszámoló az 1978-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ. Budapest. 210-218.
- Pletser J. – Szalai D. – Ábrányi A. (1980 b): A kukorica generatív fejlődési szakaszainak kapcsolata az időjárással. Beszámoló az 1978-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ. Budapest. 219-225.

- Pokovai K. – Kovács G. – Nagy J.* (2003): A foszforellátottság hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays L.*) fejlődésére. *Agrártudományi Közlemények*. **10**. 171-173.
- Pommel B. – Bonhomme R.* (1998): Variations in the vegetative and reproductive systems in individual plants of a heterogeneous maize crop. *European Journal of Agronomy*. **8**. 39-49.
- Prokszáné Paplogó Zs. – Széll E. – Kovácsné Komlós M.* (1995): A N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termésére és néhány beltartalmi mutatójára eltérő évjáratokban réti öntéstalajon. *Növénytermelés*. **44**. 33-42.
- Rajan S. S. S.* (1973): Phosphorous adsorption characteristics of Hawaiian soils and their relationships to equilibrium phosphorous concentration required for maximum growth of millet. *Plant and Soil*. **39**. 519-532. Cit: *Loch J. – Jászberényi I.* (1995): Untersuchung der Phosphatadsorption und -Desorption in Dauerdüngungsversuchen. *Agribiological Research*. **48**. 1. 53-62.
- Rastija M. – Simic D. – Bukvic G. – Rastija D. – Durdevic B.* (2008): Phosphorous, calcium and magnesium state in maize genotypes grown on acid soil. *Cereal Research Communications*. **36**. 2. 1303-1306.
- Raymond F. D. – Alley M. M. – Parrish D. J. – Thomason W. E.* (2009): Plant density and hybrid impacts on corn grain and forage yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*. **32**. 395-409.
- Reid J. B. – Stone P. J. – Pearson A. J. – Wilson D. R.* (2002): Yield response to nutrient supply across a wide range of conditions – 2. Analysis of maize yields. *Field Crops Research*. **77**. 173-189.
- Rimski-Korsakov H. – Rubio G. – Lavado R. S.* (2009): Effect of water stress in maize crop production and nitrogen fertilizer fate. *Journal of Plant Nutrition*. **32**. 565-578.
- Ritchie J. T. – Basso B.* (2007): Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed. The role of agronomic management. *European Journal of Agronomy*. **28**. 273-281.
- Ritter W. F. – Beer C. E.* (1969): Yield reduction by controlled flooding of corn. *Trans. ASAE*. **12**. 46-50.
- Ruzsányi L.* (1987): Agrotechnika a kukoricatermesztésben. *Magyar Mezőgazdaság*. **42**. 18. 8-9.
- Ruzsányi L.* (1992a): A N-műtrágyázás hatása a termésre és a talajszelvény nitrátosodására. *Növénytermelés*. **41**. 6. 497-510.
- Ruzsányi L.* (1992b): A főbb növénytermesztési tényezők és a vízellátás kölcsönhatásai. *Akadémiai doktori értekezés*.

- Ruzsányi L. – Pepó P. – Sárvári M. (1994): Evaluation of major agrotechnical factors in sustainable crop production. *Agrokémia és Talajtan*. **43**. 3-4. 335-343.
- Ruzsányi L. – Daróczy M. – Lesznyák M-né (2000): Energia- és költségtakarékosság lehetőségei, módjai a kukoricatermesztésben. *Gyakorlati Agroforum*. **11**. 3. 55-61.
- Sairam R. K. – Sharma U. S. – Tomer P. S. (1991): Effect of different levels of nitrogen and atrazine on nitrogen metabolism of fodder maize (*Zea mays L.*). *Indian Journal of Agricultural Research*. **25**. 1. 33-37.
- Sara M. – Mondal S. S. (2006): Influence of integrated plant nutrient supply on growth, productivity and quality of baby corn (*Zea mays*) in Indo-Gangetic plains. *Indian Journal of Agronomy*. **51**. 3. 202-205.
- Sárdi K. (1999): A kálium szerepe a növények életében. In: Füleky Gy. (szerk.) (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 50-57.
- Sárdi K (2003): Agrokémia –a növény táplálás alapjai. Kari jegyzet. Veszprémi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar. Keszthely.
- Sárvári M. (1986): A vetésváltás és a tápanyagellátás hatása a búza és a kukorica termésátlagára. Kandidátusi Értekezés. Debreceni Agrártudományi Egyetem.
- Sárvári M. (1993): A műtrágyázás hatása a kukorica termésére és minőségére. Kutatási jelentés. DATE. Növénytermesztési Tanszék. 1-70.
- Sárvári M. (1995): A kukoricahibridek termőképessége és trágyareakciója réti talajon. *Növénytermelés*. **44**. 2. 184-190.
- Sárvári M. – Szabó P. (1998): A termesztési tényezők hatása a kukorica termésére. *Növénytermelés*. **47**. 2. 213-221.
- Sárvári M. (2005): Impact of nutrient supply, sowing time and plant density on maize yields. *Acta Agronomica Hungarica*. **53**. 1. 59-70.
- Sattelmacher B. – Gerendas J. – Thoms K. – Bruck H. – Bagdady N. H. (1993): Interaction between root-growth and mineral nutrition. *Environmental and Experimental Botany*. **33**. 1. 63-77.
- Scharf P. C. – Wiebold W. J. – Lory J. A. (2002): Yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agronomy Journal*. **94**. 435-441.
- Scheffer F. – Schachtschabel P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH. Heidelberg – Berlin. 295-304.
- Schenk M. K. – Barber S. A. (1979): Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. *Soil Science Society of America Journal*. **43**. 880-883.

- Schenk M. K. – Barber S. A. (1980): Potassium and phosphorous uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. Plant and Soil. 54. 65-76.*
- Shafi M. – Bakht J. – Jan M. T. – Shah. Z. (2007): Soil C and N dynamics and maize yield as affected by cropping systems and residue management in North-western Pakistan. Soil and Tillage Research. 94. 520-529.*
- Shah Z. – Shah S. H. – Peoples M. B. – Schwenke G. D. – Herriedge D. F. (2003): Crop residue and fertilizer N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. Field Crops Research. 83. 1-11.*
- Shalaby M. H. – Kádár I. (1984): A foszfor- és cinktrágyázás közötti kölcsönhatások vizsgálata meszes homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. 33. 261-267.*
- Stevens W. B. – Hoefl R. G. – Mulvaney R. L. (2005): Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study: II. Nitrogen uptake efficiency. Agronomy Journal. 97. 1046-1053.*
- Stone P. J. – Wilson D. R. – Beid J. B. – Gillespie R. N. (2001): Water deficit effects on sweet corn. I. Water use, radiation use efficiency, growth, and yield. Australian Journal of Agricultural Research. 52. 103-113.*
- Subedi K. D. – Ma B. L. (2005): Nitrogen uptake and partitioning in stay green and leafy maize hybrids. Crop Science. 45. 740-747.*
- Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.*
- Szalókiné Z. I. – Szalóki S. (2002): A víz- és a tápanyagellátás hatása a kukorica termésösszetevőinek mennyiségére és NPK-tartalmára. Növénytermelés. 51. 543-557.*
- Szász G. (1988): Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.*
- Szász G. (1998): A természetes vízhasznosulás agrometeorológiai vizsgálatának eredményei. Növénytermelés. 47. 3. 289-300.*
- Szieberth D. (2001): Államilag elismert kukoricafajták kisparcellás fajta-összehasonlító kísérleteinek kiértékelési módszertana. OMMI. Budapest.*
- Tchienkoua M. – Nolte C. – Jemo M. – Sanginga N. – Zech W. (2008): Biomass and phosphorous uptake responses of maize to phosphorous application in three acid soils from Southern Cameroon. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 39. 1546-1558.*
- The C. – Calba H. – Zonkeng C. – Ngonkeu E. L. M. – Adetimirin V. O. – Mafouasson H. A. – Meka S. S. – Horst W. J. (2006): Responses of maize grain yield to changes in acid soil characteristics after amendments. Plant and Soil. 284. 45-57.*
- Tokatlidis I. S. – Koutroubas S. D. (2004): A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. Field Crops Research. 88. 103-114.*

- Tollenaar M. - Wu J.* (1999): Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Science*. **39**. 1597-1604.
- Tolner L. – Füleky Gy. – Aydinalp C.* (2008): Öntözés talajszennyező hatásának igazolása valódi ismétlést nem tartalmazó megfigyelési adatok segítségével. VIII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia. Budapest.
- Traynor J.* (1980): Ideas in soil and plant nutrition. Kovak Books. Bakersfield.
- Uhart S. A. – Andrade F. H.* (1995): Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Science*. **35**. 183-190.
- Váczai D.* (1973): Kukorica. Vetőmagtermelők Kiskönyvtára. Budapest.
- Varga B. – Grbesa D. – Kljak K. – Horvat T.* (2008): Nitrogen uptake and utilization efficiency of maize hybrids under high and limited nutrient supply. *Cereal Research Communications*. **36**. 1. 463-466.
- Varga-Haszonits Z.* (1987): Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Varga-Haszonits Z.* (1997): Agrometeorológia. PATE. Mezőgazdaságtudományi Kar. Mosonmagyaróvár.
- Varga-Haszonits Z.* (2005): Az éghajlati változékonyság hatása az agroökoszisztémákra. 'Agro-21' Füzetek. Klímaváltozás – hatások – válaszok. **41**. 29-37.
- Viswakumar A. – Mullen R. W. – Sundermeier A. – Dygert C. E.* (2008): Tillage and Nitrogen Application Methodology on Corn Grain Yield. *Journal of Plant Nutrition*. **31**. 1963-1974.
- Walinga J. – van der Lee J. J. – Huoba V. J. G. – van Vark W. – Novozamsly I.* (1995): Plant analysis manual. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht – Boston – London. A1/31-33.
- Zaidi P. H. – Rafique S. – Singh N. N.* (2003): Response of maize (*Zea mays L.*) genotypes to excess soil moisture stress: morpho-physiological effects and basis of tolerance. *European Journal of Agronomy*. **19**. 383-399.
- Zhang H. – Oweis T. Y. – Garabet S. – Pala M.* (1998): Water use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rain-fed conditions and supplemental irrigation in a Mediterranean-type environment. *Plant and Soil*. **201**. 295–305.
- Zhang B. R. – Dong S. T. – Hu C. H. – Wang K. J.* (2007): Effect of high air temperature during different growth stage on starch synthesis in grain and yield in maize (*Zea mays L.*). *Acta Agronomica Sinica*. **33**. 1. 38-42.
- '*Sigmond E.* (1934): Általános talajtan. Korda Nyomda. Budapest. CIT: Kádár I. (1986): A talajtápanyag-vizsgálatok értelmezéséről **36**. 211-216.

## **12. Publikációk az értekezés témakörében**

### Magyar nyelvű könyvfejezet:

*Sipos M. – Vágó I.* (2008): A talaj tápanyag-készlete. In: Talajtan, talajökológia. Szerk.: *Kátai J.* Talajtan, talajökológia. DE AMTC. Debrecen.

### Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

*Sipos M. – Balla Kovács A. – Oláh Zsuposné Á.* (2008): Effect of nitrogen supply, nickel contamination and liming on the chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*). Cereal Research Communications. 36. 447-450 p. VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna.

*Balla Kovács A. – Sipos M. – Kremper R.* (2008): Influence of bio- and chemical fertilization on nitrate accumulation, phosphorus and calcium content in lettuce (*Lactuca sativa L.*). Cereal Research Communications. 36. 555-558. p. VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna.

*Kincses I. – Filep T. – Kremper R. – Sipos M.* (2008): Effect of nitrogen fertilization and biofertilization on element content of parsley. Cereal Research Communications. 36. 571-574. p. VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna.

*Nagy P. T. – Sipos M. – Szabó Z. – Nyéki J.* (2008): „Érdi Bőtermő” Sour Cherry Response to Nitrogen and Boron Foliar Fertilization. Journal of Agricultural Sciences. Debrecen. 193-197. p.

*Balla Kovács A. – Vágó I. – Kremper R. – Sipos M. – Tállai M.* (2008): The Influence of Chemical Biofertilizers on the Yield, Nitrogen, Phosphorous and Potassium Content of Lettuce (*Lactuca sativa L.*) in a two-year Greenhouse Experiment. Journal of Agricultural Sciences. Debrecen. 43-48. p.

*Kincses I. – Kremper R. – Sipos M.* (2008): Investigation of the after effect of bacterium fertilization in pot experiment. (Jubileum Nagyvárad) 6<sup>th</sup> International Scientific Symposium, „Natural Resources and Sustainable Development. Results and Practise of the Bologna process. Debrecen, 2008. október 3. Journal of Agricultural Sciences Acta Agraria Debreceniensis Supplement 23-28.

*Sipos M. – Kincses I. – Berta Szabó E.* (2009): Study of the effect of limiting production factors – hybrid, nutrient supply level and irrigation – on the yield and starch content of maize (*Zea mays L.*) Cereal Research Communications. 37. 145-149 VIII. Alps-Adria Scientific Workshop. Neum.

Nagy P. T. – Sipos M. – Szabó Z. – Soltész M. – Nyéki J. (2009): The effect of climatic anomalies on the nutrient supply of fruit plantation (Minireview). International Journal of Horticultural Science. 15. (1-2). 111-116.

Tudományos közlemény magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

Sipos M. (2008): A nikkell-szennyezés, a nitrogén-trágyázás és a kalcium-karbonát adagolás hatása az angol perje (*Lolium perenne L.*) elemtartalmára. Agrártudományi Közlemények. 30. 85-92.

Sipos M. (2009): A hibrid, a tápanyag-ellátás és az öntözés hatása a kukorica (*Zea mays L.*) betakarításkori szemnedvesség-tartalmára, illetve keményítőtartalmára. Agrártudományi Közlemények. 35. 89-94.

Sipos M. (2009): A kukorica (*Zea mays L.*) termésének, valamint néhány beltartalmi értékének vizsgálata a hibrid, a tápanyagellátás és az öntözés függvényében. Agrokémia és Talajtan. 58. 1. 79-90.

Sipos M. (2009): A kukorica (*Zea mays L.*) magnézium-felvételi dinamikája mezőségi talajon. Agrártudományi Közlemények. 42. 83-89.

Balláné Kovács A. – Sipos M. (2009): Az ammónium-nitrát és a Microbion UNC baktériumtrágya hatása a torma (*Armoracia macrocarpa*) tápelemtartalmára. Kertgazdaság. 41. 4. 3-11.

Vágó I. – Sipos M.- Kátai J. (2012): A tápanyagellátás és öntözés hatása a talaj egyes paramétereire mészlepedékes csernozjomon végzett tartamkísérletben. Talajtani Vándorgyűlés 2012. Augusztus 25. Miskolc. Talajvédelem. In print.

Idegen nyelvű, lektorált konferencia kiadvány:

Sipos M. – Vágó I. – Balla-Kovács A. – Kincses I. (2007): Die Wirkung von Stickstoffversorgung, Schwermetallbelastung und Kalkung auf die Trockensubstanzproduktion des Englischen Weidelgrases (*Lolium perenne L.*). Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia, 2007. aug. 27-28. Kecskemét. 184-187. p.

Sipos M. – Vágó I. (2007): The effect of nitrogen supply, liming and nickel contamination on the productivity of ryegrass (*Lolium perenne L.*) in a greenhouse experiment. Joint International Conference on Long-term Experiments, Agricultural Research and Natural Resources. 31st May – 1st June. Debrecen-Nyírlugos. Lecture. 163-169. HU-ISBN: 978-963-473-054-5

Vágó I. – Kátai J. – Sipos M. – Balla Kovács A. – Kincses I. (2008): Changes of yield amount and some content parameters of strawberry (*Fragaria ananassa*) as affected by



- potassium and magnesium fertilization. International Symposium “Risk Factors for Environment and Food Safety” Oradea, Romania. 317-322. p.
- Kincses I. – Sipos M.* (2008): The effect of bacteria fertilizers on the nitrogen amount extracted by the yield of perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) on different soil types. International Symposium “Risk Factors for Environment and Food Safety” Oradea, Romania. 121-126. p.
- Sipos M. – Balla-Kovács A. – Kincses I. – Nagy P. T.* (2009): Investigation of effects and interactions between nutrient-supply, irrigation, hybrid and zinc-uptake of maize (*Zea mays L.*) Trace Elements in the Food Chain. Vol. 3. Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health. 317-321.
- Sipos M. – Nagy P. T. – Balla Kovács A. – Kincses I. – Vágó I.* (2009): Interactions between long-term fertilization, hybrid and irrigation on the calcium-uptake dynamics of maize (*Zea mays L.*). Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2009. 09. 03-04. 3.kötet. 1397-1401. ISBN: 978-963-7294-73-0.
- Sipos M. – Kincses S.né – Nagy P. T. – Balláné Kovács A. – Bakó A.* (2009): Die Wirkung von mineralischer Düngung auf die Magnesiumaufnahme des Mais (*Zea mays L.*). Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2009. 09. 03-04. Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2009. 09. 03-04. 1.kötet. 394-398. ISBN: 978-963-7294-73-0.
- Sipos M. – Vágó I. – Nagy P. T. – Balláné Kovács A. – Kincses S.né* (2009): The effect of long-term fertilization on the manganese uptake dynamics of maize (*Zea mays L.*). LI. Georgikon Tudományos Napok. Keszthely. 2009. 10. 01. 832-837.
- Sipos M. – Vágó I.* (2009): The effect of and interactions between hybrid, nutrient-supply and irrigation on the calcium and magnesium-uptake dynamics of maize (*Zea mays L.*). In: International Symposia Risk Factors for Environment and Food Safety & Natural Resources and Sustainable Development, Faculty of Environmental Protection, November 6-7 Oradea 2009. Symposium CD 329-337.
- Vágó I. – Sipos M.* (2009): Investigation of production factors on the yield and starch content of maize (*Zea mays L.*) on a chernozem soil in Hungary. Ukrán-magyar TÉT bilaterális pályázat keretében megrendezett konferencia. Debrecen. In print.
- Balla-Kovács A. – Vágó I. – Sipos M. – Filep T.* (2009): Effects of different N and S doses on Mn and Zn content of garden bean (*Phaseolus vulgaris L.*). Trace Elements in the Food Chain. Vol. 3. Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health. 282-286.

Nagy P. T. – Kincses I. – Sipos M. – Nyéki J. – Szabó Z. (2009): Study of the effects of a complex fertilizer and a biostimulator on trace element contents of leaf and fruit of sweet cherry (*Prunus Avium*). Trace elements in food chain Vol. 3. Deficiency or excess of trace elements in the environment as a risk of health. Eds.: M. Szilágyi, K. Szentmihályi, pp. 307-311.

Kincses I. – Nagy P. T. – Sipos M. (2009): Effect of bacteria fertilizers on plant extracted Zn and Cu content of ryegrass (*Lolium perenne*) at different types of soil Trace Elements in the Food Chain. Vol. 3. Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health. 357-361.

Nagy P. T. – Sándor Zs. – Kincses I. – Sipos M. – Nyéki J. – Szabó Z. (2009): Effects of different groundwater applications on nutrient contents of soil in an integrated apple orchard in eastern Hungary. Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2009. 09. 03-04. 3.kötet. 1372-1376. ISBN: 978-963-7294-73-0.

Nagy P. T. – Kincses I. – Sipos M. – Nyéki J. – Szabó Z. (2009): Effects of different groundcover applications on available easily soluble nitrogen forms of soil in an integrated apple orchard in east Hungary. In: International Symposia Risk Factors for Environment and Food Safety & Natural Resources and Sustainable Development, Faculty of Environmental Protection, November 6-7 Oradea 2009. Symposium CD 436-441.

#### Magyar nyelvű, lektorált konferencia kiadvány:

Balláné Kovács A. – Sipos M. – Kremper R. – Vágó I. (2009): A különböző formájú műtrágyák és a Microbion UNC baktériumtrágya hatása a torma (*Armoracia macrocarpa*) N, P, K, Ca és Mg-tartalmára. Tudomány és oktatás. Agtedu 2009 Konferencia. Kecskemét. ISSN: 1586-846x; ISBN: 978-963-7294-77-8. 37-42.

Nagy P. T. – Sipos M. – Vágó I. – Szabó Z. – Nyéki J. (2009): A hazai gyümölcsstermesztés jelenlegi tápanyag-utánpótlási gyakorlatának értékelése. Tudomány és oktatás. Agtedu 2009 Konferencia. Kecskemét. ISSN: 1586-846x; ISBN: 978-963-7294-77-8. 90-95

Vágó I. – Balláné Kovács A. – Sipos M. – Kátai J. – Nagy P. T. (2009): Mátrixhatások a talajextraktumok bórtartalmának spektrofotometriás mérésénél. Tudomány és oktatás. Agtedu 2009 Konferencia. Kecskemét. ISSN: 1586-846x; ISBN: 978-963-7294-77-8. 136-141.

Nagy P. T. – Sipos M. – Szabó Z. – Nyéki J. (2009): Biostimulátorok használata cseresznye ültetvények tápanyag-ellátásában. LI. Georgikon Napok. 2009. 648-654.

Kincses S.né – Sipos M. – Kremper R. (2009): Baktériumtrágyák hatása az angolperje (*Lolium perenne*) terméssel kivont nitrogén- és foszfor mennyiségére különböző típusú

talajon. Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2009. 09. 03-04. 3.kötet. 1258-1262. ISBN: 978-963-7294-73-0.

*Szabó A. – Tomócsik A. – Sipos M. – Nagy P. T. – Makádi M. (2010):* Biogáz előállítás fermentációs maradékainak hasznosíthatósága a növénytáplálásban. Zöldenergia, földhő és napenergia hasznosítása a hőtermelésben. Konferenciakiadvány. Károly Róbert Főiskola. Kuktató, Fejlesztő Központ. Gyöngyös. 98-101.

*Sipos M. – Szöllősi N. – Nagy P. T. – Sándor Zs. – Balláné Kovács A. – Vágó I. (2010):* A trágyázás tartamhatása a talaj urán-felhalmozódására tartamkísérletben. Szeged, Talajtani Vándorgyűlés, 2010. szeptember. In print.

*Vágó I. – Sipos M. – Kátai J. (2012):* A tápanyagellátás és az öntözés hatása a talaj egyes paramétereire mészlepedékes csernozjomon végzett tartamkísérletben. “Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában” Miskolc, Talajtani Vándorgyűlés. Augusztus 23-24. Talajvédelem. In print.

#### Magyar nyelvű absztrakt:

*Sipos M. – Kincses I. – Nagy P. T. (2008):* A talajtakarás szerepe fiatal, nem termő cv. Vilmos körtefák makro-tápelem-felvételére. A Tudomány Ünnepe – Fiatal Kutatók az Élhető Földért Konferencia. Poszter. Budapest.

<http://www.agrarkutatas.net/absztraktok/elem/id/75/A-talajtakarás-szerepe-fiatal,-nem-termő-cv--Vilmos-körtefák-makrotápelem-felvételére>

*Vágó I. – Sipos M. – Tolner L. – Schnug E. (2012):* Környezetünk uránterhelése. I. Környezetkémiai szimpózium. Mátraháza. 2012. 10.11-12. Előadás-kivonatok. 33.p.

#### Idegen nyelvű absztrakt:

*Sipos M. (2009):* Contamination of agricultural soils by mineral fertilization. II. Nachwuchswissenschaftlerforum des JKI. Berlin-Dahleim. 2009. 11. 17-19. In print.

#### Ismeretterjesztő publikáció:

*Bai A. – Sipos M. (2009):* A növénynevelés és az agrotechnika szerepe a bioetanol versenyképességében. Bioenergia. 4. 1. 15-20.

A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk:

*Sipos M.* (2008): Climate change, food crisis and effectivity of energy-use: Is the whole thing about idleness or are only the problems too complicated? Winner prize of the FAO REU Essay Contest

[http://www.fao.org/world/regional/reu/docs/marianna\\_sipos.pdf](http://www.fao.org/world/regional/reu/docs/marianna_sipos.pdf)

*Sipos M.* (2009): Élelmiszer vagy nyersanyag – a mezőgazdasági termékek hasznosításának dilemmája. Tudomány és oktatás. Agtedu 2009 Konferencia. Kecskemét. ISSN: 1586-846x; ISBN: 978-963-7294-77-8. 108-112.

*Sipos M. – Vágó I. – Kratz S. – Schnug E.* (2010): Uran in Düngemitteln und dessen Verbleib in der Umwelt - Teil 2: Grund-, Oberflächen- und Mineralwässer. XII. NTN. Gyöngyös. 2010.03.25-26. Előadások összefoglalója 127.

*Sipos M.* (2010): A kukorica keményítő-hozamát befolyásoló tényezők vizsgálata a jobb etanol-kihozatal érdekében. Zöldenergia, földhő és napenergia hasznosítása a hőtermelésben. Konferenciakiadvány. Károly Róbert Főiskola. Kuktató, Fejlesztő Központ. Gyöngyös. 90-93.

*Vágó I. – Sipos M. – Tolner L. – Schnug E.* (2010): Uran in Düngemitteln und dessen Verbleib in der Umwelt - Teil 1: Boden. XII. NTN. Gyöngyös. 2010.03.25-26. Előadások összefoglalója 126.

*Sipos M. – Nagy P. T. – Szabó A. – Kátai J. – Vágó I.* (2010): Uranium in fertilizers and their retention in ground and stream waters. Natural and artificial ecosystems in the Somes - Cris - Mures - Tisa river basin. International Conference, Arad, 07-08. May. Book of Abstracts p. 151.

*Földesi M. – Sipos M. – Szabó A. – Vágó I.* (2010): Uranium in fertilizers and their retention in the soil. Natural and artificial ecosystems in the Somes - Cris - Mures - Tisa river basin. International Conference, Arad, 07-08. May. Book of Abstracts p. 140.

### **13. Táblázatok jegyzéke:**

1. táblázat: A látóképi kísérleti terület talajának főbb paraméterei .....	28
2. táblázat: A kísérlet talajának ammónium-laktát- (AL-) oldható foszfor- és kálium-, valamint 0,01 M CaCl <sub>2</sub> -oldható összes nitrogéntartalma (mg kg <sup>-1</sup> ) az öntözés és a tápanyagszintek függvényében (2007 ősz) .....	29
3. táblázat: A szabadföldi kísérletben alkalmazott kezeléskombinációk, műtrágya-hatóanyagban kifejezve .....	30
4. táblázat: A kukorica szárazanyag-produkciója a 2008-as tenyésztidőszaka során .....	40
5. táblázat: A kukorica szárazanyag-produkciója a 2009-es tenyésztidőszaka során .....	71

## **14. Ábrák jegyzéke**

1. ábra: A csapadék mennyiségének alakulása 2007 októbere és 2008 szeptembere között.....	26
2. ábra: A hőmérsékleti viszonyok alakulása 2007 októbere és 2008 szeptembere között .....	26
3. ábra: A csapadékviszonyok alakulása 2008 októbere és 2009 szeptembere között .....	26
4. ábra: A hőmérsékleti viszonyok alakulása 2008 októbere és 2009 szeptembere között .....	26
5. ábra: A tápanyag-ellátási szintek hatása az egyes hibridek termésére ( $t\ ha^{-1}$ ) nem öntözött kezelésekben.....	34
6. ábra: A tápanyag-ellátási szintek hatása az egyes hibridek termésére ( $t\ ha^{-1}$ ) öntözött kezelésekben.....	34
7. ábra: A kukorica zöldtömeg- és szárazanyag-termelése ( $t\ ha^{-1}$ ) a tenyésztési időszak különböző időpontjaiban .....	37
8. ábra: A kukorica zöldtömeg-gyapadtságának alakulása a 2008-as tenyésztési időszakban .....	38
9. ábra: A kukorica szárazanyag-gyapadtságának alakulása a 2008-as tenyésztési időszakban.....	39
10. ábra: A kukorica N-felvételi dinamikája a tenyésztési időszak során.....	42
11. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztési időszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	43
12. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyésztési időszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	43
13. ábra: A kukorica által kivont N-mennyiség ( $kg\ ha^{-1}$ ) a tenyésztési időszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében .....	44
14. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztési időszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében .....	46
15. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyésztési időszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében.....	46
16. ábra: A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztési időszak folyamán a genotípus függvényében.....	47
17. ábra: A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyésztési időszak folyamán a genotípus függvényében .....	47
18. ábra: A kukorica P-felvételi dinamikája a tenyésztési időszak során .....	49
19. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztési időszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	50
20. ábra: A talaj P-koncentrációjának változása a tenyésztési időszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	50
21. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztési időszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében .....	52
22. ábra: A talaj P-koncentrációjának változása a tenyésztési időszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében.....	52
23. ábra: A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztési időszak folyamán a genotípus függvényében.....	54
24. ábra: A talaj P-koncentrációjának változása a tenyésztési időszak folyamán a genotípus függvényében .....	54
25. ábra: A kukorica által kivont P-mennyiség ( $kg\ ha^{-1}$ ) a tenyésztési időszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében .....	57

26. <i>ábra</i> : A kukorica K-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során.....	58
27. <i>ábra</i> : A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	59
28. <i>ábra</i> : A talaj K <sub>2</sub> O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	59
29. <i>ábra</i> : A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében .....	60
30. <i>ábra</i> : A talaj K <sub>2</sub> O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátottság függvényében.....	60
31. <i>ábra</i> : A növények által kivont K-mennyiség és a növényi K-koncentráció a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében .....	62
32. <i>ábra</i> : A talaj K <sub>2</sub> O-koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében .....	62
33. <i>ábra</i> : A kukorica által kivont K-mennyiség (kg ha <sup>-1</sup> ) a tenyészidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében .....	64
34. <i>ábra</i> : A tápanyag-ellátási szintek hatása az egyes hibridek termésére (t ha <sup>-1</sup> ) a nem öntözött kezelésekben .....	65
35. <i>ábra</i> : A tápanyag-ellátási szintek hatására az egyes hibridek termésére (t ha <sup>-1</sup> ) az öntözött kezelésekben .....	65
36. <i>ábra</i> : A kukorica zöldtömeg-gyarapodásának alakulása a 2009-es tenyészidőszakban .....	67
37. <i>ábra</i> : A kukorica zöldtömeg produkciója (t ha <sup>-1</sup> ) a tenyészidőszak különböző időpontjaiban .....	68
38. <i>ábra</i> : A kukorica szárazanyag-gyarapodásának alakulása a 2009-es tenyészidőszakban.....	70
39. <i>ábra</i> : A kukorica N-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során.....	73
40. <i>ábra</i> : A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	74
41. <i>ábra</i> : A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	74
42. <i>ábra</i> : A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében .....	75
43. <i>ábra</i> : A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében.....	75
44. <i>ábra</i> : A növények által kivont N-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében.....	77
45. <i>ábra</i> : A talaj elemkoncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán a genotípus függvényében .....	77
46. <i>ábra</i> : A kukorica által kivont N-mennyiség (kg ha <sup>-1</sup> ) a tenyészidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében .....	78
47. <i>ábra</i> : A kukorica P-felvételi dinamikája a tenyészidőszak során .....	79
48. <i>ábra</i> : A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	80
49. <i>ábra</i> : A talaj P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -koncentrációjának változása a tenyészidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	80
50. <i>ábra</i> : A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyészidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében .....	81

51. <i>ábra</i> : A talaj P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -koncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében.....	<b>81</b>
52. <i>ábra</i> : A növények által kivont P-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztidőszak folyamán a genotípus függvényében.....	<b>83</b>
53. <i>ábra</i> : A talaj P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -koncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán a genotípus függvényében.....	<b>83</b>
54. <i>ábra</i> : A kukorica által kivont P-mennyiség (kg ha <sup>-1</sup> ) a tenyésztidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében .....	<b>84</b>
55. <i>ábra</i> : A kukorica K-felvételi dinamikája a tenyésztidőszak során.....	<b>85</b>
56. <i>ábra</i> : A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	<b>86</b>
57. <i>ábra</i> : A talaj K <sub>2</sub> O-koncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán az öntözési variánsok függvényében.....	<b>86</b>
58. <i>ábra</i> : A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében .....	<b>88</b>
59. <i>ábra</i> : A talaj K <sub>2</sub> O-koncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán a tápanyag-ellátási lépcsők függvényében.....	<b>88</b>
60. <i>ábra</i> : A növények által kivont K-mennyiség és a növényi elemkoncentráció változása a tenyésztidőszak folyamán a genotípus függvényében.....	<b>89</b>
61. <i>ábra</i> : A talaj K <sub>2</sub> O-koncentrációjának változása a tenyésztidőszak folyamán a genotípus függvényében .....	<b>89</b>
62. <i>ábra</i> : A kukorica által kivont K-mennyiség (kg ha <sup>-1</sup> ) a tenyésztidőszak mintavételei során a kísérleti tényezők függvényében .....	<b>91</b>
63. <i>ábra</i> : Az egységnyi N-hatóanyag kijuttatásával elérhető relatív termés-mennyiség (kg kg <sup>-1</sup> ) 2008.....	<b>92</b>
64. <i>ábra</i> : Az egységnyi N-hatóanyag kijuttatásával elérhető relatív termés-mennyiség (kg kg <sup>-1</sup> ) 2009.....	<b>92</b>
65. <i>ábra</i> : A kijuttatott és kivont N-mennyiség különbsége az egyes tápanyag-ellátási szinteken .....	<b>93</b>
66. <i>ábra</i> : A kijuttatott és kivont P-mennyiség különbsége az egyes tápanyag-ellátási szinteken.....	<b>94</b>
67. <i>ábra</i> : A kijuttatott és kivont K-mennyiség különbsége az egyes tápanyag-ellátási szinteken .....	<b>94</b>



## NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán a Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem AGTC MÉK doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2013. április 15.

---

a jelölt aláírása

## NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Sipos Marianna doktorjelölt 2007 és 2010 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javasoljuk.

Debrecen, 2013. április 15.

---

a témavezetők aláírása

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném hálás szívvel megköszönni mindazoknak, akik mellettem voltak és munkám során, illetve a jelen dolgozat elkészítésében önzetlen segítséget nyújtottak.

Először is köszönettel tartozok nagyra becsült témavezetőimnek, *Dr. Vágó Imre* egyetemi docensnek és *Dr. Kátai János* egyetemi tanárnak, akik lehetővé tették azt, hogy a Tanszéken tevékenykedjek. Köszönöm az útmutatást, a bizalmat, a feladatokat, a lehetőségeket, a segítséget és a „Doktorvater”-i vezetést.

Opponenseimnek, *Dr. Czinkota Imre* egyetemi docensnek és *Dr. Rátonyi Tamás* egyetemi docensnek hálás vagyok mindazért a segítségért és iránymutatásért, amelyet önzetlenül kaptam. Köszönöm, hogy közös célnak tekintették a dolgozatom javítását.

Köszönöm a Tanszék oktatói kollektívájának, név szerint *Dr. Loch Jakab professzor Úrnak*, *Dr. Kiss Szendillének*, *Balláné Dr. Kovács Andreának*, *Dr. Kincses Sándornénak*, *Dr. Nagy Péter Tamásnak*, *Erdeiné Dr. Kremper Ritának* és *Berényi Sándornak*, hogy az első lépésektől kezdve fogták a kezemet, tanítottak, befogadtak és gyakorlati, valamint elméleti tanácsokkal átsegítettek a doktoranduszi munka buktatóin, bevezettek az analitika és az agrokémia rejtelmeibe, szépségeibe.

Hálás, szeretettel teli köszönetem illeti meg a Tanszék laboránsait, *Gáspár Istvánné Nórát*, *Katona Évát*, *Gergely Antalné Piroskát*, *Nagy Csillát*, *Kiss Sándorné Anikót*, valamint szeretettel emlékezek *Kiss Andrea Katalinra*, akik a tömérdek mintavétel és analízis során önzetlenül és erejüket nem kímélve segítségemre voltak. Köszönöm mindazt a biztatást és szeretetet is, amit az évek során kaptam.

Köszönöm a Tanszék többi Ph.D-hallgatójának, *Bertáné Szabó Emesének* és *Szabó Anitának*, hogy mind a mintavételek során fizikailag, mind pedig azokban az időszakokban, amikor elbizonytalanodtam, „sorstársként” segítően mellettem álltak. Kívánom, hogy hamarosan Ti is sikerre vigyétek a befektetett munkát!

Köszönök a *Talajtani Munkacsoport* minden tagjának minden fizikai és lelki, valamint tudományos segítséget, és a biztatást, a kollegialitást.

Köszönetem szeretném kifejezni a *Látóképi Kísérleti Telep* valamennyi munkatársának.

Köszönöm a *Kerpely Kálmán Doktori Iskolának*, hogy a hallgatója lehettem és, hogy keretet biztosított számomra a munka elvégzéséhez.

Végül, de nem utolsósorban, a legnagyobb köszönet a *férjemet* és a *családomat* illeti, akik mindvégig mellettem álltak és jobban hittek bennem, mint én magam. Köszönöm a jó tanácsot, a megértést, a türelmet, a biztatást és azt, hogy valóra válthattam egy álmot és egy ígéretet. Nektek ajánlom...