

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**AZ ŐSZI ÁRPA NÖVÉNYTÁPLÁLÁSÁNAK FEJLESZTÉSE
CSERNOZJOM RÉTI TALAJON**

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Surányi Szilvia

Gödöllő

2019

A doktori iskola

megnevezése: Szent István Egyetem Növénytudományi Doktori Iskola
tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: **Dr. Helyes Lajos, Ph.D**
egyetemi tanár, az MTA doktora
Szent István Egyetem Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Intézet

Témavezetők: **Prof. Dr. habil. Izsáki Zoltán C.Sc**
professor emeritus, a mezőgazdasági tudományok kandidátusa
Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar,
Tessedik Campus
Agártudományi és Vidékfejlesztési Intézet

Prof. Dr. Jolánkai Márton D.Sc
professor emeritus, az MTA doktora
Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Növénytermesztési Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezetés	5
1.1	A kutatómunka célkitűzése	6
2	Irodalmi áttekintés	7
2.1	Az árpatermesztés jelentősége	7
2.2	A növények ásványi táplálkozása és jellemzői	9
2.2.1	Növényi tápanyagok	9
2.2.2	A növények gyökéren keresztüli tápanyagfelvételének mechanizmusa	11
2.2.3	A növényi tápanyagok felvehetőségét befolyásoló főbb tényezők ..	12
2.3	A N-, P- és K-ellátottság hatása a szemtermés mennyiségét befolyásoló termésjellemzőkre	18
2.3.1	A N hatása az őszi árpa termésjellemzőire és a szemtermés mennyiségére	18
2.3.2	A P hatása az őszi árpa termésjellemzőire és a szemtermés mennyiségére	20
2.3.3	A K hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére	21
2.4	A növények tápláltsági állapotának ellenőrzési lehetőségei	22
2.4.1	Vizuális vizsgálat	22
2.4.2	SPAD-érték mérése	23
2.4.3	Növényanalízis	23
3	Anyag és módszer	26
3.1	A kísérlet kezelései és elrendezése	26
3.2	Alkalmazott fajta	27
3.3	Talajadottságok	27
3.4	Időjárási viszonyok	29
3.5	A kísérlet agrotechnikája, mintavételezések, vizsgálatok	29
3.6	Statisztikai értékelés	31
4	Eredmények	32
4.1	A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás kezdetén	32
4.2	A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás végén	34
4.3	A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa tápelem-koncentrációjára bokrosodás végén	36
4.3.1	N-koncentráció	36
4.3.2	P-koncentráció	38
4.3.3	K-koncentráció	39
4.3.4	Ca-koncentráció	41
4.3.5	Mg-koncentráció	42
4.3.6	Na-koncentráció	43
4.3.7	Mn-koncentráció	44
4.3.8	Zn-koncentráció	45
4.3.9	Cu-koncentráció	46
4.3.10	B-koncentráció	48
4.3.11	Mo-koncentráció	49
4.4	Tápelemarányok bokrosodás végén	50
4.5	A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalma- és kalászhosszára, a terméskomponensekre és a hektolitertömegre	54
4.5.1	Szalmahossz	54

4.5.2	Kalászhossz.....	56
4.5.3	Kalásonkénti szemszám	58
4.5.4	Ezerszemtömeg	60
4.5.5	Hektolitertömeg	62
4.6	A N-, P- és K-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére	64
4.6.1	N-ellátottság főhatás	64
4.6.2	P-ellátottság főhatás	65
4.6.3	K-ellátottság főhatás	66
4.7	Összefüggés az őszi árpa SPAD-értéke és a N-koncentrációja között bokrosodás végén	66
4.8	Összefüggés az őszi árpa SPAD-értékek és a szemtermés mennyisége között	67
4.9	Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért tápelem-koncentrációja és a szemtermés mennyisége között	69
4.10	A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelemtartalmára	75
4.10.1	N-koncentráció	75
4.10.2	P-koncentráció.....	76
4.10.3	K-koncentráció	78
4.10.4	Ca-koncentráció.....	80
4.10.5	Mg-koncentráció.....	81
4.10.6	Na-koncentráció	83
4.10.7	Mn-koncentráció.....	84
4.10.8	Zn-koncentráció.....	86
4.10.9	Cu-koncentráció	87
4.10.10	B-koncentráció	88
4.10.11	Mo-koncentráció.....	90
4.11	A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira	91
4.12	Új és újszerű tudományos eredmények	94
5	Következtetések és javaslatok	95
6	Összefoglalás	99
7	Summary.....	103
8	Mellékletek	107
8.1	M1 Irodalomjegyzék.....	107
8.2	M2 Ábrajegyzék	124
8.3	M3 Táblázatjegyzék.....	126
8.4	M4 A tartamkísérlet elrendezése	128
9	Köszönetnyilvánítás.....	134

1 BEVEZETÉS

A mezőgazdasági termelés alapvető célja az emberek és állatok számára az élelemtermelés, illetve az élelmiszeripar alapanyagainak (biomassza) biztosítása. Az állattenyésztésnek, mint „másodlagos fehérjetermelőnek”, takarmányozási igényeit, az „elsődleges fehérjetermelő” növénytermesztésnek kell biztosítania (Kralovánszky 2002). A takarmányok közül a kalászos gabonamagvak a fehérjeszegény takarmányok közé tartoznak, azonban Bódis és Manninger (2002) kiemeli, hogy a hazai fehérjetermelés közel 50%-át a gabonafélék adják, a legtöbb fehérje a búzával, majd az árpával termelhető. Az árpatermesztés jelentősége megnövekedhet a jövőben, így az árpa műtrágyázásával kapcsolatban több információra lehet szükség a talajtípust, a talaj tápanyag-ellátottsági szintjét, valamint a klimatikus viszonyokat illetően.

A növénytáplálás során a növények tápanyagigényének kielégítése a cél környezetkárosítás nélkül, a gazdaságos termésszint és a jó minőségű termés eléréséhez. A fenntartható mezőgazdasági fejlődés új kihívásai igénylik a trágyázási szaktanácsadási rendszerek elemeinek fejlesztését (Németh és Jolánkai 2002, Jolánkai 2003). A fejlesztés fontos területe az egyes szántóföldi termőhelyi kategóriákba tartozó talajtípusok tápelem-szolgáltatásának vizsgálata, tápelem-ellátottsági határértékeinek pontosítása, növénykísérletekkel való kalibrálása (Kádár 1992, Csathó et al. 1998, Várallyay és Németh 1999, Németh et al. 2002, Izsáki 2008).

Az őszi árpa trágyázásával foglalkozó hazai szakirodalom meglehetősen szerény, illetve nem tekinthető naprakész információnak. A külföldi szakirodalmat illetően is kevés a fellelhető források száma, illetve a külföldi kutatási eredmények csak részben vehetők át, adaptálhatók hazai körülményekre az eltérő termőhelyi feltételek miatt. Kádár (2000) a mai termesztési körülmények és fajták nyomán az őszi árpát, az őszi búzához hasonlóan nitrogén (N)-igényesnek minősíti. Az őszi árpa tápanyagellátásának legkritikusabb eleme a N-trágyázás. A N-trágyaszükséglet meghatározásához általában a talajok N-ellátottságát a humusztartalom alapján vesszük figyelembe. Csathó (2003) közepesen szoros összefüggést írt le a talaj humusztartalma és az őszi búza relatív termésében és terméstöbbletében kifejezett N-hatása között.

A humusztartalom alapvetően kategorizálásra alkalmas, mert segítségével nem tudjuk meghatározni a talajban ténylegesen jelenlévő N-mennyiséget.

Az őszi árpa N-trágyázási szaktanácsadás fejlesztésének fontos része a talaj ásványi N-tartalom meghatározására (N_{\min} módszer) alapozott fejtrágyázás, kiegészítve azt diagnosztikai célú növényanalízissel (Elek és Kádár 1980, Németh 2002, Izsáki és Németh 2007). A növényvizsgálati eredmények alapján határértékekre hazai viszonyaink között Kádár (1988, 1992) tett javaslatot. A növényanalízist azért is jó az ásványi-N vizsgálatokhoz kapcsolódva elvégezni, mert tájékoztatást ad a növények tápelem-ellátottságáról, valamint a tápelemarányok számítása révén a tápláltság kiegyensúlyozottságáról is (Németh 2002).

A N mellett szükséges a talaj foszfor (P) -ellátottságának megítélése, különösen azért is, mert Csathó (2002) a hazai szabadföldi P-trágyázási tartamkísérletek adatbázisát feldolgozva P-igényes növények csoportjába sorolta a pillangósok és a gyökégumósok mellett a gabonaféléket is. Ezen megállapítást Kádár (2012) is megerősíti, továbbá kiemeli, hogy a jó P-szolgáltatás biztosító a talaj P-ral való feltöltöttsége, kielégítő ellátottsága.

A talaj K-tartalmú ásványai és a műtrágyából származó lekötődött K feltáródik a mikrobiológiai folyamatok során képződő szerves és szervesetlen savak hatására (Tóth 2003). Adamo et al. (2016) pedig kiemelik, hogy a K^+ nem hajlamos a kimosódásra,

így biztosítani tudják a növények fejlődése során a K-ot a következő vegetációs időszakokban. Brennan és Jayasena (2007) szerint K-hiány gyakorlatilag csak a homoktalajokon okozhat problémát. A gabonafélék kevésbé igényesek a K-ra, mint a kapásnövények (Lásztity 1989, Kádár 1992, Csathó 1997). Hazai körülmények között Kádár (2000a) karbonátos vályog csernozjom talajon a 120-140 mg/kg AL-K₂O-tartalmat elégségesnek tartja az őszi árpa K-igény kielégítéséhez, továbbá Kádár (2012) vizsgálatai azt is kimutatták, hogy az átlagosnál kötöttebb talajon a kalászosok különösebben nem reagálnak a K-trágyázásra.

A klímaváltozás egyre gyakrabban okozhat száraz tavaszokat és esős nyarakat Észak-Európában és hosszabb száraz periódusokat délen (Zörb et al. 2014). A klímaváltozás magyarországi tapasztalatai szerint számolnunk kell a hőmérséklet növekedésével és a csökkenő csapadékkal (Gaál és Horváth 2006, Bartholy et al. 2007), ami az árpatermesztés felértékelődését eredményezheti. Albrizio et al. (2010) szerint a száraz területeken az árpa magasabb hozamot biztosít, mint a búza. Európában Magyarország területének több mint 80%-a szárazföldi ökoszisztémával fedett (Jolánkai et al. 2010), amit elsősorban mezőgazdasági területként hasznosítunk.

Nehéz optimális értéket meghatározni a talajban előforduló legfontosabb elemekre (Körschens 2006), mivel azok időjárási viszonyonként, talajtípusonként és növényfajonként változnak. Minél szélesebb körű tapasztalatokkal rendelkezünk a trágyahatásokat illetően, minél több talajtípusra és növényre ismerjük meg az optimumokat, annál jobban pontosítható a szaktanácsadás (Kádár 2005).

1.1 A kutatómunka célkitűzése

Kutatási tevékenységünk az őszi árpa trágyázási szaktanácsadási rendszerének fejlesztését alapozó kutatás.

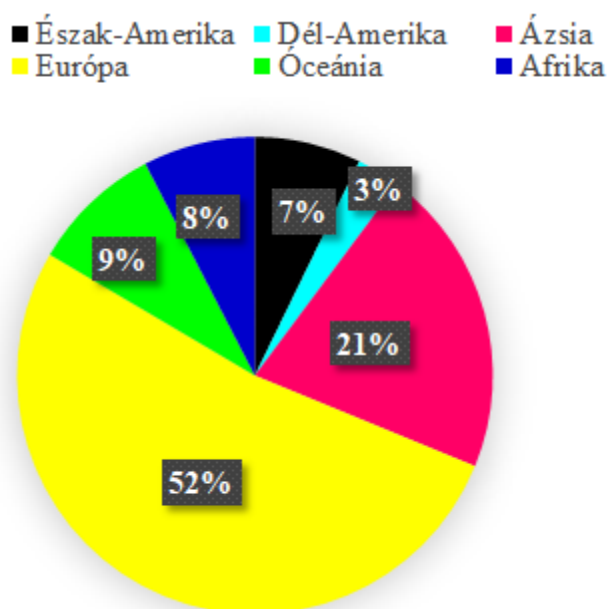
Tudományos kutatásom céljai az alábbi témakörökre terjedtek ki:

- Szarvason beállított műtrágyázási tartamkísérletben vizsgálni a 4-4 N-, P- és K-ellátottsági szintek hatását az őszi árpa terméshozamára, terméskomponenseire és egyes gazdasági értékmérő tulajdonságaira.
- N-tápláltság becslése klorofill tartalom (SPAD-érték) meghatározásával bokrosodás kezdetén és végén, a kielégítő N-ellátottság határértékének megállapítása SPAD-értékekkel.
- Az őszi árpa tavaszi N-trágyaigényének meghatározása a talaj N_{min} készlete alapján.
- Diagnosztikai célú növényanalízissel az őszi árpa tápelem-ellátottsági határértékeinek meghatározása és pontosítása.
- A növényanalízist alkalmazó trágyázási szaktanácsadás fejlesztése, gyakorlati útmutatás a levéltrágyázáshoz.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Az árpatermesztés jelentősége

Az árpát különböző szélességi fokokon termesztik a világon, az Egyenlítőtől egészen a 65. északi és az 50. déli szélességi fokig, valamint a tengerszinttől 4000-5000 m magasságig (OECD 2004, Kant et al. 2016). Az árpa a legjobban adaptálódott gabona a világon, a hideget jól tolerálja, rövid tenyészidejű, ennél fogva északabbra is termesztethető, mint bármely más gabona. Nagyon fontos élelmiszer a világ hegyvidéki régióiban úgy, mint nepáli felvidékeken, Tibetben, Dél-Amerikában, az Andok-országaiban (Peru és Chile), a Himaláján, ahol a rövid tenyészidő korlátozza a búzatermesztést (Edney 1996, OECD 2004, Kant et al. 2016). Az árpa jobban tolerálja a szárazságot, mint bármely más gabona, így a Föld száraz régióiban is gyakran csak az árpa a megfelelő gabona, mint ahogy Afrika szemiárid régióiban (Marokkó, Algéria, Líbia, Tunézia, Etiópia), a Közel-Keleten (Szaúd-Arábia, Irán, Irak, Szíria) és Indiában is (Edney 1996, Kant et al. 2016). A világon a legtöbb vetésterület Európában található (52%), 21%-a Ázsiában, 9%-a Óceániában, 8%-a Afrikában, 7%-a Észak-Amerikában, valamint 3% a Dél-Amerikában (1. ábra).



1. ábra. A világ árpatermesztésének megoszlása a vetésterület alapján (FAO 2018)

Feltehetően az árpa volt az első humán táplálék, azonban a búza és a rizs előtérbe kerülésével – az árpához képest a búzából és rizsből készített élelmiszerek jobb minősége és íze miatt – jelentősen csökkent az árpa élelmiszerként való felhasználása, inkább takarmányként, malátaként, sör alapanyagként kezdték használni (Newman és Newman 2006, Baik és Ullrich 2008). Napjainkban az árpát elsősorban állatok takarmányozására használják (OECD 2004, Baik és Ullrich 2008, Sullivan et al. 2013). Az Egyesült Államokban, különösen azokban a régiókban, ahol a kukoricát nem lehet gazdaságosan előállítani (OECD 2004, Bleidere és Grunte 2007, Marwat et al. 2012) szintén jelentős a termesztése. Az árpa könnyű emészthetősége miatt legelterjedtebb a sertésenyésztésben, a baromfi takarmányozásban, valamint a húsmarha hizlalás befejező takarmányozásában.

Az árpa kiváló táplálkozási tulajdonságokkal rendelkezik, a szemtermés kb. 65-68% keményítőt, 10-17% fehérjét, 2-3% szabad zsírsavat, 4-9% β -glükánt és 1,5-2,5%

ásványi anyagot tartalmaz (Quinde et al. 2004, Pepó 2004, Das és Kaur 2015). Kerckhoffs et al. (2002) kiemelik, hogy az árpa szemtermés kiváló vitamin és ásványi anyag forrás, mert az összes vitamint és a kolint tartalmazza, kivéve az A-, D-, K-, B₁₂-és C-vitaminokat (Arendt és Zannini, 2013). Ellenben Nikkhah (2012) szerint az árpa gazdagabb A-vitaminban, mint az egyéb gabonafélék.

Az összes gabona közül az árpa tartalmazza legnagyobb mennyiségben a nikotinsavat (Newman és Newman 2008) és a zsírban oldódó E-vitamint, amely az egyik legfontosabb antioxidáns (Kerckhoffs et al. 2002, Bleidere és Gaile 2012). Prýma et al. (2007) szerint az árpa az egyetlen gabonamag, amelyben jelen van az E-vitamin valamennyi izomer formában, a négy tokoferol (α -T, β -T, γ -T és δ -T) és a négy tokotrienol (α -T3, β -T3, γ -T3 és δ -T3) (Morrison 1978, OECD 2004). Gyulai (2004) szerint a gabonafélék közül az árpa cukortartalma a legnagyobb, azonban Schmidt (2004) a búza és a rozs cukortartalmát magasabbnak ítéli meg. Schmidt (2004) az árpafehérjét nem tartja biológiailag értékes fehérjének – mint ahogy a többi gabona szemtermést sem -, mert a fehérje nagyobb részét hordein- és glutelinfrakciók teszik ki, melyek esszenciális aminosav tartalma nem kielégítő (OECD 2004, Jacob és Pescatore 2012).

A β -glükánok nélkülözhetetlenek az emberi táplálkozás és egészség tekintetében (Arendt és Zannini 2013), amit az árpa általában 2-10%-ban tartalmaz (Henry 1987). Alijošius et al. (2016) szerint a magas β -glükán-tartalom előnytelen a monogasztrikus állatok takarmányozásában, antinutritív hatása miatt. A β -glükán elsősorban fiatal szárnyasok esetében befolyásolja kedvezőtlenül az emésztési folyamatokat, csökkenti a bél viszkozitását (Newman és Newman 1992), de β -glükánáz enzim-kiegészítéssel ez mérsékelhető (Schmidt 2004, Mcallister és Meale 2015). Lahouar et al. (2017) kiemelik, hogy az ásványi elem tartalom befolyásolja az árpa tápértékét. Az árpa ásványi frakciójának fő alkotóelemei a magnézium (Mg), foszfor (P), kálium (K), kalcium (Ca) és a nátrium (Na) (OECD 2004).

Táplálkozási szempontból fontos mikroelemeket (Fe, Zn, Mn) viszonylag nagy koncentrációban tartalmaz a szemtermés (Legzdina et al. 2014, Šterna et al. 2015). Mengel (1972) szerint bizonyos mértékig növénytáplálással kedvezően befolyásolható az egyes minőségi mutatók, így az ásványi összetétel is. Egyes szerzők (Mengel 1972, Kádár 1992, Mäkelä et al. 2012) úgy vélik, hogy kevésbé ingadozik a növények elemkészlete a szaporodásukat szolgáló termésben, magvakban, azonban a kálium (K) esetében kb. 80-90%-a növényi részben (szárban, gyökérben) akkumulálódik (Birkás 2006). Kádár és Csathó (2017) amellett, hogy kimutatták, a réz (Cu)-trágyázás az őszi árpa termést nem befolyásolta, igazolták, hogy a Cu döntően a gyökérben dúsult fel, a Cu növényen belüli gátolt vertikális transzportja miatt.

Hazánkban a búza és a kukorica után az árpa a legfontosabb gabonanövényünk. A kalászosok közül az őszi árpa a leggyengébb talajokon nagyobb termésre képes és legkevésbé reagál a talaj minőségének változására, mint a búzára. Korai aratásával a gabonacentrikus vetésforgókban a munkacsúcs széthúzható és kettőstermesztésre is lehetőséget ad (Jolánkai 2005).

A környezeti tényezők, úgy, mint a csapadék, a hőmérséklet, a talajviszonyok, valamint a trágyázás és a genetikai tényezők hozzájárulhatnak a gabonafélék kémiai összetételének és fizikai jellemzőinek változásához (Metayer et al. 1993, Rodehutschcord et al. 2016).

2.2 A növények ásványi táplálkozása és jellemzői

2.2.1 Növényi tápanyagok

A növénytermesztésben a növénytáplálás, növényi tápelemek biztosítása fontos előfeltétele a magas hozamoknak és jó minőségű termékeknek. A tápanyagok, mint nélkülözhetetlen növényi összetevők a biokémiai reakciókhoz, a fotoszintézis által képződő szerves anyagok előállításához (szénhidrátok, fehérjék, zsírok, vitaminok stb.) nélkülözhetetlenek (Roy et al. 2006).

Barker és Pilbeam (2007) a növényi tápanyagokat olyan kémiai elemeknek nevezik, amely elengedhetetlen a növény növekedéséhez és reprodukciójához, míg Mengel (1972) növényi tápelemnek nevez minden olyan kémiai elemet, amely a növények növekedéséhez és normális fejlődéséhez szükséges és funkciójában más kémiai elemmel nem helyettesíthető. A növények számos ásványi anyagot vesznek fel ionos formában a talajból vagy bármely más tápközegből anyagcseréjük és növekedésük érdekében (Mitra 2017), de nem mindegyikre van szükségük a növekedésükhöz, élettani funkciójukhoz (Johnston 2005).

Sprengel volt az első, aki megpróbálta felsorolni a talaj különböző ásványi elemeit, amelyek a növények normális növekedéséhez szükségesek. A növény hamvaiból származó 10 ásványi elem [K, Na, Ca, Mg, vas (Fe), alumínium (Al), mangán (Mn), kén (S), P, klór (Cl)] általános előfordulása miatt arra a következtetésre jutott, hogy az imént nevezett elemek mind alapvető fontosságúak a növények növekedéséhez (Beeson 1941). Később Liebig úgy gondolta, hogy a N, a S, a K, a Ca, a Mg, a szilícium (Si), a Na és a Fe azon elemek, amelyek a növények növekedéséhez elengedhetetlenül szükségesek, következtetéseit azonban megfigyelésekre és a teóriákra alapozta, nem pedig pontos kísérletezéssel (Kirkby 2012).

Arnon és Stout 1939-ben javasolta az "alapvető ásványi elem" kifejezést. Egy elem akkor tekinthető esszenciálisnak, ha az három fő kritériumnak megfelel.

1. Legfontosabb kritérium, hogy a növény egész életciklusa során igényelje az elemet.
2. Más elemmel nem helyettesíthető teljes egészében.
3. Minden növény igényelje az elemet.

Gowariker et al. (2009) szerint egy ásványi elem akkor nélkülözhetetlen a növény növekedésében és fejlődésében, ha a növény életciklusában, metabolikus működésében részt vesz. Jelenleg 17 elemet tartanak szükségesnek a növények fejlődéséhez (Walia és Walia 2015).

1. táblázat. A növényi tápanyagok létfontosságának bizonyítási éve és annak felfedezője

Elem	Kémiai jel	A felvétel legfontosabb formája	Létfontosság bizonyítás éve	A létfontosság felfedezője
oxigén	O	O ₂ , H ₂ O	1804	T. de Saussure ¹
kalcium	Ca	Ca ²⁺	1856	F. Salm-Horstmar ¹
vas	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	1860	J. Sachs ¹
nitrogén	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1872	G.K. Rutherford ¹
szén	C	CO ₂	1882	J. Sachs ¹
hidrogén	H	H ₂ O	1882	J. Sachs ¹
kálium	K	K ⁺	1890	A.F. Z. Schimper ¹
foszfor	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	1903	Posternak ¹
magnézium	Mg	Mg ²⁺	1906	Willstatter ¹
kén	S	SO ₂ , SO ₄ ²⁻	1911	Peterson ¹
mangán	Mn	Mn ²⁺	1922	J. S. McHague ¹
bór	B	H ₃ BO ₃	1923	K. Warington ¹
cink	Zn	Zn ²⁺	1926	A.L. Sommer és C. B. Lipman ¹
réz	Cu	Cu ²⁺	1931	A.B. Lipman és G. MacKinney ¹
molibdén	Mo	MoO ₄ ²⁻	1938	D. I. Arnon és P. R. Stout ²
klór	Cl	Cl ⁻	1954	T. C. Broyer et al. ¹
nikkel	Ni	Ni ²⁺	1987	Brown et al. ³

Forrás: ¹ Fageria et al. (2010), ² Arnon és Stout (1939a), ³ Brown et al. (1987)

Az esszenciális kritériumok alapján az ásványi elemeknek specifikus és alapvető funkciói vannak a növényi anyagcserében. Ennélfogva a tápelem optimális növényi növekedést előidéző követelményétől függően a tápanyagot makroelemnek vagy mikroelemnek nevezik (Pandey 2015). A makroelemek vagy főelemek nagyobb mennyiségben szükségesek, mint a mikroelemek és a növényi szövetekben 0,2 és 4,0 tömeg% közötti mennyiségben vannak jelen (Roemheld 2005, Pandey 2015). Kilenc tápelemet (C, H, O, N, P, K, Mg, Ca, S) igényelnek a növények viszonylag nagy mennyiségben (UNIDO 1979, Sharma 2013). A növények számára a C, az O és H elérhető a levegőből és a talajból (Munson 1998) és általában nem limitáló tényezők (Campbell és Plank 2000). A megmaradó hat tápelem tovább felosztható, mint elsődleges és másodlagos tápelem (UNIDO 1979, Sharma 2013). Elsődleges tápelemekhez tartozik a N, a P és a K, mely elemek általában hiányoznak a talajból, mert a növények nagy mennyiséget vesznek fel fejlődésükhöz (Mukherjee 2015). A Mg, a Ca és a S, mint másodlagos tápelemek általában elegendő mennyiségben vannak jelen a talajban, így műtrágya formájában kijuttatásuk nem mindig szükséges (Palavan-Unsal et al. 2011), hiányuk esetén elsődleges tápanyagokon keresztül kiegészíthetők (Sharma 2013). A mikroelemekhez a következő elemeket soroljuk: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo és Ni (Kaur et al. 2015), koncentrációjuk a növényi szövetben 5-200 ppm vagy kevesebb, mint 0,02% (Pandey 2015). Vannak olyan egyéb elemek [Al, Si, kobalt (Co), Na, szelén (Se)], melyek nem felelnek meg az ásványi elemek „esszenciális” kritériumainak, de a növények felveszik és használják azokat. Az olyan elemeket, amelyek növelhetik a biomasszát és a hozamot, de nem feltétlenül szükségesek a fajok túléléséhez, funkcionális vagy jótékony hatású elemeknek nevezzük (Broadley et al. 2012). Brownell (1968) vizsgálatai szerint a Na

nélkülözhetetlen mikroelem néhány növény számára, - ezt állítják néhány évtizeddel később Moore et al. (2003) is -, azonban megnevezi a nikkelt (Ni) és a Si-ot, amelyek létfontossága csak néhány növényre bizonyított. Az Al, a Co, a Na, a Se és a Si a növények számára előnyös elemeknek tekintik Pilon-Smits et al. (2009). Ezeket az elemeket nem minden növény igényli, de elősegíthetik a növény növekedését, fontosak lehetnek több taxon számára. Hasonlóképp ítéli meg Barrett (2008) is, aki a Co, a Na, a Si és a vanádium (V) elemeket egyes növények számára hasznos elemeknek ítéli meg, míg Haby et al. (2012) ugyanezen elemeket esszenciális elemeknek tartják, azonban elismerték, hogy létfontosságuk csak néhány növény esetében bizonyított.

Kádár (2003) kiemeli, hogy az élettani szükségletet meghaladó koncentrációk esetén minden elem káros hatású lehet az adott növényre vagy a növényt fogyasztó állatra, emberre, az egész tápláléklánra. A trágyázási gyakorlatban a N, P, K Ca, Mg, B, Cu, Mn, Mo és Zn elemeknek van szerepük (Bergmann 1979).

Szántóföldi növényeink a termés előállításához tetemes mennyiségű makro- és mikroelemet használnak fel. Amennyiben e tápanyagok nincsenek, vagy nem kellő arányban, illetve nem felvehető módon vannak jelen az adott fenofázisban, akkor a növényzet fejlődésében zavar támad, a tápanyaghiány gátolja mind a vegetatív, mind a generatív fejlődést, - végső soron a termésképzést. Természetesen az egyes növényfajok eltérő módon reagálnak a trágyázásra. A tápanyagellátás minden termesztett növényfaj termésével erős pozitív korrelációt mutat, de az összefüggés szorossága fajonként eltérő (Jolánkai et al. 2014). A növények kiegyenlített fejlődéséhez az egyik alapvető feltétel, hogy a számukra szükséges tápanyagok megfelelő mennyiségben és arányban álljanak rendelkezésére. Az egyensúly eltolódásának mértékétől függően megváltozhat az anyagcsere, ami a növény fejlődésbeni csökkenéséhez vagy a termés mennyiségi és/vagy minőségi visszaeséséhez vezethet.

Világszerte célkitűzés a hosszútávon fenntartható gazdálkodás megvalósítása, melynek elsőrendű feladta a talajok termékenységének a megőrzése. Loch (2005) kiemeli, hogy a talajok termékenysége számos egyéb tényező mellett alapvetően a tápanyag-gazdálkodástól függ.

2.2.2 A növények gyökéren keresztüli tápanyagfelvételének mechanizmusa

A növények gyökerei a szervetlen és szerves anyagokat ionizált vagy töltés nélküli alakban veszik fel, de elsősorban az ionos forma a meghatározó (Mengel 1972). A talaj szerves anyagainak mineralizációja, valamint a műtrágyázás során keletkező ásványi anyagok egy része kolloidokhoz kötött, másik része a talaj vizes fázisában található (Pető 1998).

A növények három fokozatban veszik fel a talajból a tápanyagokat. A tápelem felvétel első lépcsője a tápelem transzportja a gyökérközelbe, mely a tömegáramlás, a diffúzió és az intercepció jelenségein alapul (Lásztity 2006). Az intercepció során a gyökér közvetlen környezetében a szilárd talajkolloidok felületén adszorbeált ionok kontakt cserével kicserélődnek a gyökérszőrök felületén, az adszorpciós helyeken lévő H^+ - és HCO_3^- -ionokkal. A talaj, valamint a gyökér felületén adszorbeált ionok oszcilláló mozgásuk során egymás hatósugarába kerülve helyet cserélnek. E mechanizmus során a talaj felvehető tápelem mennyiségének maximálisan 3%-a kerülhet a növényekbe (Füleky et al. 1999). A felvehető tápanyagok nagy része anyagáramlással jut a növénybe. A folyamatot a növények transzspirációja indítja meg, mely során a vízben oldott tápelemek is eljutnak a gyökér

felszínére. A gyökér felszínéhez érkező tápelemek mennyisége a vízmozgás sebességétől, a növények vízfogyasztásától, illetve a vízben oldott tápelem-koncentrációtól függ. Erre a mechanizmusra hatással van a talaj nedvességtartalma, annak csökkenésével csökken a vízmozgás sebessége is, valamint az alacsony hőmérséklet, amely jelentősen csökkenti a transzspiráció folyamatát (Füleký et al. 1999). Amennyiben sem intercepcióval, sem anyagáramlással nem jut megfelelő mennyiségű tápelem a gyökér felületéhez, abban az esetben a gyökérre merőleges koncentrációgradiens lép fel, amely az illető tápelemion diffúzióval történő elmozdulását indukálja a növényben (Füleký et al. 1999). A diffúzió a P és a K felvétele esetében jellemző, 0,1-0,15 mm-es körzetből történik a felvételük (Füleký et al. 1999, Zeļonka et al. 2005).

2. táblázat. A gyökérirányba történő ionmozgás formák megoszlása a legfontosabb tápelemek esetében

Tápelem	Gyökér intercepció	Anyagáramlás	Diffúzió
Nitrogén	-	+++++	-
Foszfor	-	-	+++++
Kálium	-	+	++++
Kalcium	+	+++	-
Magnézium	+	++++	-
Kén	-	+++++	-
Réz	+	++++	-
Cink	+	+	+
Vas	+	+++	+
Molibdén	+	++++	-
Bór	+	++++	-

Forrás: Füleký et al. (1999)

A növények számára szükséges tápanyagok gyökérhez tapadása csereionok segítségével valósul meg (H^+ és HCO_3^-) (Buzás 1983). A gyökerek légzése során keletkező CO_2 a gyökérszőrök felületén található vízrétegben oldódva szénsavat (H_2CO_3) képez, ami H^+ - és HCO_3^- - ionokra disszociál (Debreczeni 1979). A talajoldatban a sók is disszociált ionok formájában vannak jelen, a kationok (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} stb.) a sejt plazma H^+ -ionjaival, az anionok (NO_3^- , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- stb.) a sejt plazma HCO_3^- -ionjaival cserélődnek ki (Debreczeni 1979). Az ásványianyag-felvétel következő fokozata a tápanyagok továbbítása a gyökerek belsejébe, amely egy biológiailag aktív elnyelőfolyamat (abszorpció). A növény azokat az elemeket fogja elsősorban felvenni a talajból, amelyekre az adott fejlődési stádiumában leginkább szüksége van (biológiai szelektivitás). Az ionok elérve a gyökér behatolnak a gyökérsejtekbe. A sejt nedvben az ion koncentráció többször nagyobb, mint a külső közegben és emiatt az ionoknak gyakran kell haladnia a koncentráció-grádiens ellenében. Ehhez energia szükséges, amit a gyökér respiráció útján biztosít. Az ionok sejtről sejtre haladnak a xilemig, kiválnak a xilem nedvekben, majd tovább szállítva kerülnek a növény növekvő szerveibe, mely a tápanyagfelvétel harmadik fokozata (Lásztity 2006). A tápelemek egy részét közvetlenül a gyökér hasznosítja, másik része a tenyészőcsúcs felé áramlik (Buzás 1983).

2.2.3 A növényi tápanyagok felvehetőségét befolyásoló főbb tényezők

A tápanyagfelvétel aktív, energiaigényes folyamat, emiatt minden olyan tényező, ami a gyökér légzésére közvetve vagy közvetlenül hat, befolyásolja a felvehető tápanyagok mennyiségét. A tápanyagok felvétele csak ott eredményes, ahol

annak feltételei kedvezőek (Buzás 1983, Pető 1998). Az árpa fejlődését Zeng et al. (2017) szerint döntő mértékben határozza meg a talaj tápanyagellátása, a hőmérséklete és a fotoperiódus hossza, míg más szerzők (Iqbal et al. 1999, Füleky et al. 1999, Buzás 1983, Fageria 2014) egyéb tényezőket tartanak fontosnak.

Genetikai tényezők

A növény és a tápanyag helye közötti távolság befolyásolja a gyökerek tápanyag „észlelését”, amely következképp befolyásolja a tápanyagfelvételt és a műtrágya hasznosulást (Sander és Eghball 1999). Mozgékony iont, mint például a NO_3^- -ot 100 mm-ről is elérheti a gyökér, a legkevésbé mozgékony ionnak, mint a foszfát (H_2PO_4^-) 1 mm-en belül kell lennie (Wibberley 2006). A műtrágyát abba a talajrétegbe célszerű kijuttatni, ahol a legtöbb gyökértömeg helyezkedik el, az árpa a gyökértömegének 90-97%-át a felső 30 cm-es talajrétegben halmozza fel (Hansson és Andren 1987).

Klimatikus tényezők

Fény

Igen fontos klimatikus tényezőnek tartja Szász (1988) a napsugárzás tartalmát, intenzitását és hullámhosszát, amelyek a növények szervesanyag képzésének alapvető folyamatára, a fotoszintézisre vannak hatással. A fotoperiódus hosszúsága elsősorban a vegetatív fejlődést befolyásolja, fontos szerepet játszik a kalászkák differenciálódása vagy későbbi reproductív fázis során (Zeng et al. 2017). Az árpa, mint hosszúnappalos növény (Stockinger et al. 2007), számára a legkedvezőbb a csírázást követő első 20 napban a 18 órás fényintenzitás megléte (Vniizh 1978). A fotoperiódus megváltoztatása közvetlenül megváltoztatja a levél N tartalmát és fotoszintetikus képességét (Zeng et al. 2017). Debreczeni (1979) ezt azzal magyarázza, hogy kis fényintenzitás esetében kisebb a növény N-szükséglete, mert a fotoszintézissel kapcsolatos nitrátredukció akadályozott, amely következtében a nitrátionok felhalmozódnak, a klorofill tartalom pedig nagyobb lesz. Bergmann (1979) szerint kis fényintenzitásnál vagy borús időben több K-ot igényelnek a növények, Mg-, B-, Fe-, és Zn-hiány kevésbé jelentkezik ezen időszakban, míg nagy fényintenzitás esetén ilyen hiánytünetek gyakrabban észlelhetők. A P esetében a fényintenzitással növekszik a P-felvétel, ami összefügg a hőmérséklet emelkedéssel is (Debreczeni 1979).

Hőmérséklet

A vegetatív fejlődési fázisban általában magasabb a hőmérsékleti optimum, mint a reproductív szakaszban (Fageria 2014), azonban ez növényfajonként eltérő. Az árpa csírázásához ideális a 12 °C-25 °C közötti hőmérséklet, de a csírázás előfordulhat 4 °C és 37 °C között is (GRDC 2016). Power et al. (1970) szerint az árpa számára a 18 °C talajhőmérséklet optimális a gyökér növekedéshez és a maximális hozam elérése érdekében. A gyökér hőmérséklete általában alacsonyabb, mint a levegőé, de szezonális ingadozások is előfordulhatnak a talaj és a talajszint függvényében (McMichael és Burk 1998). A talaj hőmérséklete befolyásolja a növények gyökerének fejlődését, tápanyagfelvevő képességét, illetve térbeli terjedését is. Szimrnov és Peterburgszkij (1975) megállapították árpakísérletben, hogy a tápközeg hőmérsékletének növelés 10 °C-ról 24 °C-ra 33%-kal növelte a párolgást, a Ca-felvételt 15-szeresére, a NO_3^- és Mg-felvételt 5-szörösére, a K-felvételt pedig 3,2-szeresére emelte. A növények tápanyagellátása szempontjából a P-felvétel érzékeny a hőmérséklet csökkenésére, hűvös tavaszon gyakori a P-hiány, különösen a kukorica esetében (Debreczeni 1979).

Csapadék

A nem megfelelő vízellátás csökkenti a sejtsztódását, így a levélfejlődést és a gyökérnövekedést, amely a fotoszintézis és a tápionok szállításának csökkenéséhez vezet (Saseendran et al. 2014). Hanway és Olson (1980) a P esetében arra hívták fel a figyelmet, hogy a P nagyobb része a felső talajrétegben marad, és a száraz időszakban a növényi gyökerek az alsóbb talajrétegből veszik fel a vizet és az oldott tápelemeket, emiatt P-hiány kialakulására lehet számítani száraz mezőgazdasági területeken. Etienne et al. (2018) szerint az aszály a tömegáramlás csökkenésére van hatással, az ásványi tápelemfelvétel csökken, a szemtelítődés során többnyire a levél tápanyagremobilizációjára támaszkodik a növény. A tápanyagok kimosódási kockázata emelkedik a talajban való mobilitás növekedésével.

3. táblázat. Az egyes tápelemek mobilitása a talajban

Mobil elem	Immobil elem
NO_3^-	NH_4^+
H_3BO_3	H_2PO_4^-
SO_4^{2-}	K^+
Cl^-	Ca^{2+}
MoO_4^{2-}	Mg^{2+}
	Zn^{2+}
	Cu^{2+}
	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$
	Ni^{2+}
	Mn^{2+}

Forrás: Fageria (2014a), Ketterings et al. (2016)

A N-műtrágya azért is kerül gyakran a figyelem középpontjába, mert a kiadott N-műtrágya hatóanyagának 30-65%-át veszik fel a növények (Roberts 2008, Sebito et al. 2013), így a feleslegben adott, fel nem vett nitrogén ($\text{NO}_3^- \text{N}$) a gyökérszónát elhagyva, a mélyebb rétegekben akkumulálódhat vagy a csapadékviszonyok függvényében mozoghat. Az akkumulálódott N mennyiség jelentősen függ a kiadott N-műtrágya adagjától (Izsáki 2010). NO_3^- nem önmagában, hanem gyakran ellenkező töltésű ionokkal (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ stb.) együtt mosódnak le, így eredményezve egyéb tápanyagok hiányát is (Várallyay et al. 2005).

Edafikus tényezők

Megfelelő talajszerkezet mellett a talaj kellően szellőzött, a gyökerek számára hozzáférhető a légzéshez szükséges O_2 . Tömődött, szellőzetlen vagy vízzel elárasztott talajban lelassul a gyökér növekedése vagy mechanikus akadályozása miatt nem tud mélyen lehatolni, ezért közvetlen környezetében a talaj tápelem készlete kimerül, lecsökken a tápanyagfelvétel (Pető 1998, Iqball et al. 1999). Iqball et al. (1999) szerint a korlátozott gyökérrendszer jelentősen csökkentheti a kevésbé mozgékony tápanyagok felvételét, úgy, mint a P-t. Bergmann (1979) kiemeli, hogy a kötött talajok nagyobb tápanyagadagokat igényelnek a talajoldatban az optimális növényfejlődéshez szükséges tápanyagszint biztosítása érdekében. A kötött talajok jobban pufferoznak a nagy tápanyagokat, így túl nagy tápanyagkoncentráció okozta károkkal alig, vagy egyáltalán nem kell számolni. Kedvezőtlen viszonyok között, úgy, mint a szárazság, a tápanyagfelvétel a kötött talajokon erősebben gátolt, mint könnyű talajokon. Tartósabb szárazság idején a kötött talajokon jelentkező Fe-, Mn- vagy Mg- és K-hiány mindig ezzel a körülménnyel van összefüggésben.

Talajnedvesség

A talaj nedvességtartalmának növekedésével egy bizonyos határig növekszik a kationok és anionok felvétele (Füleky et al. 1999), azonban a nem megfelelő vízellátás csökkenti a légzés intenzitását, ezáltal csökken a növekedés intenzitása, a távolabbi talajrészekből a tápelemek diffúziója, így mérséklődik a tápanyagok felvétele (Pető 1998). Csak a közeg megfelelő nedvességtartalma esetén lehetséges az ionok mozgása, mivel a növények elsősorban oldott állapotban veszik fel a számukra szükséges ásványi elemeket (Kádár 1992). A talaj nedvességének fogyása csökkenti a P diffúziós együtthatóját és ezt követően annak rendelkezésre állását (Fageria et al. 2017). A tömegáramlással mozgó ionok esetében a talajszáradás ugyancsak csökkenti azok felvételét, amit Scott et al. (1975) a talajoldat mobilitásának csökkentésével és a diffúziós úthossz növelésével magyaráz. A talaj K-tartalmának egy része kevésbé oldódik és ezért nehéz elérni a növényeknek, másik része vízben oldható formában van, mely a növények számára elérhető. Ezeknek a formáknak az arányát befolyásolja az ásvány természet, az agyagtartalom és a pH (Nanu et al. 2013). A talaj száradása során a K felvehetősége is csökken, ezért tapasztalható szárazságban K-hiány, azonban nedves időben a nagyobb mérvű K-felvétel Mg-hiányhoz vezethet, amit fokoz a K-trágyázás Mg-szegény talajon (Debreczeni 1979). Riaz (2009) arra hívja fel a figyelmet, hogy szárazság előtt P és K használata N-nel együtt segíthet tolerálni későbbiekben fellépő szárazság stresszt, azonban szárazság során nem célszerű műtrágyát használni, mert serkenti a növekedést és növelheti a vízigényt. Amennyiben egy tápanyagban gazdag talaj kiszárad, a N koncentrációja megnő a növényben, mert a szárazság a növekedést jobban korlátozza, mint a növény N-felvételét (Debreczeni 1979). Gonzales Ponce et al. (1993) eredményei szerint a talajnedvesség és a N-ellátottság közötti kölcsönhatás az árpa hozamát meghatározó fő tényező.

A pH-viszonyok

A talajok kémhatása közvetlenül befolyásolja a tápanyagok oldódását és felvételét (Buzás 1983, Loch 1992). A gyengén savanyú és a semlegeshez (5,5-7 pH) közel álló kémhatás a legkedvezőbb a növények számára, a legtöbb elem jól hozzáférhető 6-8 pH tartományban (Chubb 2015). Általánosan tapasztalat, hogy minél savanyúbb egy talaj, annál nagyobb mértékű az anion-adszorpció, minél lúgosabb a kémhatás, a kation-megkötődés lesz erőteljesebb (Buzás 1983, Füleky et al. 1999). Chubb (2015) arra figyelmeztet, hogy a talaj pH-érték csökkenéssel, az Al-, a H- és a Mn-toxicitás esélye növekszik. Minőségi termés előállítás szempontjából a N-formáknak szerepe meghatározó. A NO_3^- vagy a NH_4^+ -ion felvétele a növények anyagcserefolyamataiban együtt jár a reakcióközeg pH-változásával, amely következtében megváltoznak egyes elemek (Mn, Mo, B, Fe stb.) felvételi lehetőségei, valamint megváltozik a különböző szerves savak képződési lehetősége, melyek befolyásolják a növekedést és a termésminőséget (Debreczeniné és Sárdi 1999). A NO_3^- -táplálás mindig a tápközeg pH-értékének emelkedését, az NH_4^+ - táplálás pedig a tápközeg pH-értékének csökkenését vonja maga után (Kirkby és Mengel 1967). A NO_3^- -N felvétel kedvezően befolyásolja a Mg^{2+} , és a Ca^{2+} -felvételét, míg a P-felvétele csökkenti (Debreczeniné és Sárdi 1999).

Talaj adszorpciós tulajdonsága

Magyarországi talajokban a kolloidok töltése túlnyomórészt negatív, kémhatásuk a gyengén savanyú és gyengén lúgos közötti, ezért a kationadszorpció az uralkodó. Az adszorbeált kationok 95%-át a Ca^{2+} , a Mg^{2+} , K^+ és Na^+ alkotja, és többnyire ezek az elemek vesznek részt a növények tápelemellátásában is. Az ioncsere végbemehet a talajoldat közvetítésével (az ionok először a talajoldatba mennek át és utána adszorbeálódnak egy másik kolloidon) vagy létrejöhet a kolloidok közvetlen

érintkezésével is. A kationkicserélődésre jelentős hatással van a talajoldat ionkoncentrációja. A talajoldat koncentrációját a benne lévő elemek oldhatósága és a víz mennyisége határozza meg. Nagyobb víztartalomnál a talajoldatban az egy vegyértékű kationok (K^+ és Na^+) mennyisége nő, a kisebb víztartalom esetében (száradáskor) a kétvegyértékűekké (Ca^{2+} , Mg^{2+}) (Füleky et al. 1999). Barczak (2008) kiemeli, hogy az egyszikű növényeknek, így az őszi árpának is a gyökérrendszere korlátozott cserekapacitással rendelkezik, ennél fogva több K-ot, Na-ot vesz fel, mint Ca-ot és Mg-ot. A Cu erősen abszorbeálódik a talajban, így a növényekben túlzott koncentráció kivételesen fordul elő, melyre Pueyo et al. (2003) hívják fel a figyelmet.

Sókoncentráció

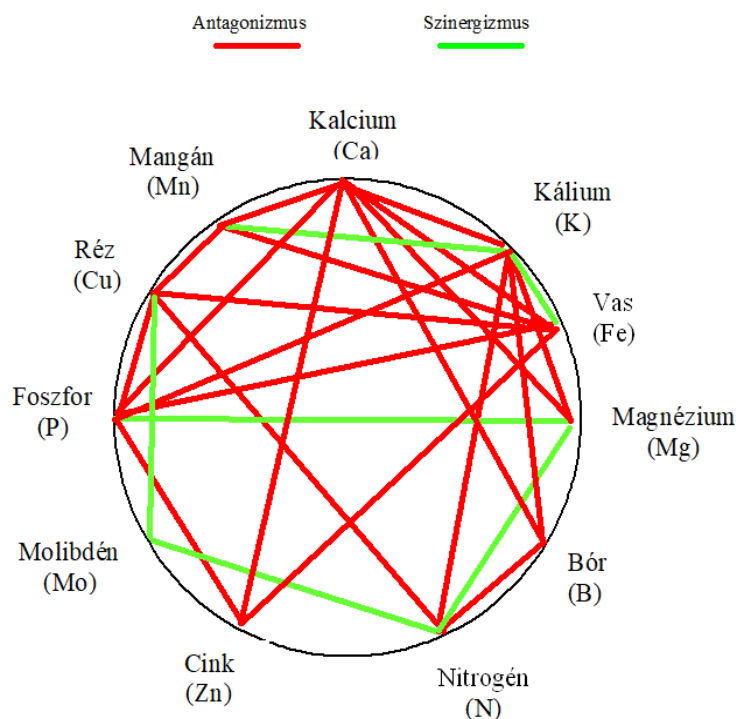
Jól ismert tény, hogy a magas sókoncentrációk toxikusak és korlátozzák a növekedést, mivel a tápanyagok arányosan kevésbé állnak rendelkezésre, vagy élettani szárazságot hoznak létre a talajoldat nagyfokú ozmotikus nyomása következtében (Endris és Mohammed 2007). A növények érzékenysége a talajoldat sókoncentrációjára nem azonos, a gabonafélék közül az árpa jól tolerálja a talaj sótartalmat (Chen et al. 2007).

Interakciók

A tápelem kölcsönhatások a növényben Fageria (2014) szerint az egyik legfontosabb tényező, amely befolyásolja a növények hozamát. A tápanyagok közötti interakciók akkor fordulnak elő, ha egy tápanyag befolyásolja egy másik tápanyag adszorpcióját, eloszlását vagy működését. Így a tápanyagok közötti kölcsönhatások vagy hiányosságokat vagy toxicitást okozhatnak, és módosíthatják a fejlődési viszonyokat. Amennyiben a tápanyagellátás nem hiányos és nem is mérgező a növény növekedésre, akkor a kölcsönhatásokat a növényi tápanyag-koncentráció és -tartalom figyelembevételével értékelhetjük (Robson és Pitman 1983).

Mulder volt az első, aki az ásványi elemek reakciójának összetettségét bemutatta a kölcsönhatás diagramján 1953-ban (Swilling 2004). A Mulder diagram azt szemlélteti, hogy az egyes tápanyagok hogyan kapcsolódnak egymáshoz és mutatja, hogy az egyik feleslege negatív hatással lehet egy másikra, amelyről feltételezhető, hogy elegendő (Chubb 2015).

A kölcsönhatások befolyással vannak a növényi tápelemfelvételre, így annak tartalmára is (Kádár 1992, Osvalde 2011). A tápanyag-kölcsönhatások a gyökérfelületen vagy a növényen belül fordulhatnak elő, melyeket Fageria (2001) két fő kategóriába sorolja. Az első kategóriában az ionok között létrejövő kölcsönhatások tartoznak, mivel az ionok képesek kémiai kötést létrehozni. A kölcsönhatások ebben az esetben kicsapódásoknak vagy komplex képződésének tulajdoníthatók. A Cu erősebb komplexben oldható szerves anyag, mint a Zn és a talaj pH-értékének emelkedése a Zn felvételénél nagyobb, mint a növények Cu felvétele során (Robson és Pitman 1983). A kölcsönhatás második formája olyan ionok között alakul ki, amelyek kémiai tulajdonságai eléggé hasonlóak ahhoz, hogy versenyezzenek az adszorpció, abszorpció, szállítás és a növényi gyökérfelületeken vagy a növényi szöveteken belüli működéshez. Az ilyen kölcsönhatások gyakrabban előfordulnak a hasonló méretű töltésű, geometriájú és elektronikus konfigurációjú tápanyagok között (Robson és Pitman 1983). Ez a fajta kölcsönhatás gyakori a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} és K^+ között (Fageria 2001). Szükséges megemlíteni Wallace (1990) által bevezetett Liebig-szinergizmust is, mely akkor alakul ki, mikor egy tápanyag rendelkezésre állása korlátozza a növénytermesztést, egy másik tápanyag hozzáadása nem mutat hatást a hozamra, míg mindkét tápanyag hozzáadása megnövekedett (szinergikus) hatást mutat.



2. ábra. Mulder diagram

Forrás: Chubb (2015)

A Francia Kálium Ipar Agronómiai Osztálya (SCPA) tanulmányozta kísérletsorozatában - Aspach kísérleti gazdaságában - a N és a K kölcsönhatását. A kísérlet során rotációban burgonyát, búzát, árpát, kukoricát, cukorrépat, valamint fű- és lóhere keveréket termesztettek. A legerősebb kölcsönhatásokat a K-igényes növények mutatták, úgy, mint a burgonya, a cukorrépa, valamint a kukorica, míg a búza és az árpa esetében sokkal kisebb mértékben tapasztaltak kölcsönhatást (Gething 1993).

Holzapfel (2016) vizsgálatai az mutatták, hogy P-műtrágyázás nélkül a K nem befolyásolta érdemben az árpa hozamát, azonban 30 kg P-ellátás 7%-os hozamgyarapodást eredményezett, azonban a 60 kg/ha P-adag már csökkentést okozott. Barczak (2008) eredményei szerint a javuló N-ellátás emelte a N-, K-, és a Na-koncentrációt az őszi árpa bokrosodásakor. Shah et al. (2017) vizsgálataik során négy árpa genotípuson azt tapasztalták, hogy a növekvő N-ellátás emelte mind a hajtás, mind a gyökér P, K, Ca, Mg, Fe, Cu és Mn koncentrációját, mely a N szinergista hatását mutatja. Wibberley (2006) kiemeli a Cu-hiány negatív hatását a hozamra, melyre az árpa különösen érzékeny. Kádár (2012a) eredményei szerint a növekvő N-dózis (N₁₀₀, N₂₀₀, N₃₀₀) az árpaszem N-koncentrációját szignifikánsan emelte (1,80; 2,8; 2,41; 2,53%), míg a Ca koncentrációt megbízhatóan csökkentette, a K tartalmat pedig érdemben nem befolyásolta. Balasubramanian et al. (2004) kiemelik a N és más tápelemek közötti kölcsönhatásokat. Így a N szinergista interakciója a P, K, S és egyéb mikroelemekkel figyelemre méltó terméshozamhoz vezethet. A P- és K-hiányos talajokon a növények N-re adott reakciója gyenge, sőt negatív is lehet. Pedas et al. (2011) eredményei azt mutatták, hogy az árpalevél Fe-, Cu- és N-koncentrációja emelkedett a jobb P-ellátással, míg a Mn-koncentrációra a növekvő P-ellátás egyértelműen negatív hatást mutatott, mely nem az általános hígulási hatás miatt alakult ki. Hasonló eredményeket közöl Kádár (2012a) is, mely szerint a P-ellátás növelése javítja a N beépülését a szembe, azonban a Zn-koncentrációt drasztikusan csökkenti. A növények számára a Zn hozzáférhetőségét jelentősen befolyásolja a talaj N- és P-műtrágyázása (Fecenko és Ložek 2000). Wibberley (2006) szerint Zn-hiány a

meszes talajokon gyakoribb, különösen, ha az jól ellátott P-ral. Kádár (2008) szerint a P-túlsúly gátolja a Zn transzportját a növényben, tehát relatív Zn-hiány alakul ki a P/Zn antagonizmus miatt (Kádár és Turán 2002).

Lásztity (1990) eredményei azt igazolták, hogy karbonátos homoktalajon a feltöltő adagú K-trágyázás a tavaszi árpa szemtermésének N-, P- és K-koncentrációjára nem volt igazolható hatással. Kádár (2000) az árpa bokrosodáskori fenofázisában a K-trágyázás mérsékelt negatív hatását tapasztalta a Ca-koncentráció esetében, azonban a Mg- és a Na-tartalom erősebb csökkenést mutatott, a K/Mg és a K/Na antagonizmus miatt. Utóbbi antagonizmust Ma et al. (2015) is tapasztalták, az árpa hajtásban. K-kezelés nélkül mérték a legalacsonyabb K-koncentrációt és a legmagasabb Na-koncentrációt, különösen a 120 kg/ha K-adag alkalmazása során. Wibberley (2006) szerint a K^+ , az NH_4^+ vagy a Ca^{2+} feleslege korlátozhatja a Mg-felvételt, míg Kádár (2000) kiemeli, hogy a meszes talajok Ca-túlsúlya akadályozhatja a Mg-felvételt, a Ca/Mg antagonizmus miatt. Wibberley (2006) pedig úgy véli, hogy a gabonák csak akkor reagálnak a Mg-ra, amennyiben alacsony a talaj Mg-tartalma, amely gyakran a K-műtrágya túlzott használatából adódik. Kovacevic et al. (2006) arról számolt be, hogy az amelioratív P-trágyázás szignifikánsan emelte az árpaszemtermés P és Mn koncentrációját, míg a Zn és Mo esetében szignifikánsan csökkentette.

Az árpa szemtermés Mn-koncentrációja Ryan et al. (2004) szerint általában a talaj kicserélhető Mn és pH értékét tükrözi, míg Farahani et al. (2011) úgy vélik, hogy szuperfoszfát alkalmazása csökkenti a talaj pH-értékét, így emelve a Mn hozzáférhetőségét. Procházka (2003) állítása szerint a savanyú talajok P-hiányát a növények Mn-nal és Al-mal szembeni toxicitása idézi elő. Wibberley (2006) megemlíti, hogy átmeneti Mn-hiány jelentkezhet hideg vagy egyéb stressz (pl. szárazság) okozta lassú növekedési időszak alatt.

A Hejcman et al. (2013) által alkalmazott $N_{91} P_{31} K_{146}$ kg/ha kezelés megbízhatóan befolyásolta a tavaszi árpa szemtermésének N, P, K és Fe koncentrációját, míg a Ca, Mg, Cu, Mn és Zn tartalmat érdemben nem befolyásolta. Csernozjom jellegű homoktalajon Kádár (2009) a kontollhoz képest a N-koncentráció megbízható csökkenését tapasztalta a N-, P- és K-trágyázás hatására, míg a Mg-koncentráció esetében érdemi változás nem jelentkezett.

2.3 A N-, P- és K-ellátottság hatása a szemtermés mennyiségét befolyásoló termésjellemzőkre

A szemtermés nagyságát a terméskomponensek határozzák meg, úgymint a kalász hossz, a kalásonkénti szemtermés száma, az ezerszemtömeg és a területegységre eső kalászsorszám (Nedel et al. 1993, Sinebo 2002, Maich et al. 2006, Wang et al. 2009, Chutimanitsakun et al. 2011). Madić et al. (2009) szerint a kalásonkénti szemszám függ a kalász hosszától, a kalászkömeletek számától, valamint a kalásonkénti sorok számtól is.

2.3.1 A N hatása az őszi árpa termésjellemzőire és a szemtermés mennyiségére

A N-trágyázás az egyik legeredményesebb hozamképző tényező (Weston et al. 1993, Candráková et al. 2009, Jankovic et al. 2011), ezért is az egyik leggyakrabban tanulmányozott tápelem. Mengel (1972) kiemeli, hogy a kielégítő fejlődés céljából fontos, hogy a növények számára minden időpontban elegendő N álljon rendelkezésre, folyamatosan, megszakítás nélkül, különösen fontos ez a N-igényes növények esetében.

Loch (1992) szerint az alaptrágyaként kijuttatott N elsősorban a vegetatív fejlődésre hat, növeli az állománysűrűséget, de ugyanakkor fokozza a megdőlés veszélyét is, míg a fejtrágyázás növeli az állománysűrűséget és kedvezően befolyásolja a kalásonkénti szemszámot is. Dwiredi et al. (1989) eredményei szerint a növekvő N-trágyázás 80 kg/ha-ig növelte a bokrosodást, a kaláshosszt, végső soron a hozamot. Azonban szükséges megemlíteni, hogy a N-műtrágya megfelelő mennyiségű P- és K-ellátás nélkül erősebb vegetatívabb növekedést és gyenge szárat eredményez, mely megdőléshez, alacsonyabb hozamhoz vezethet. Mirosavljević et al. (2015) főkomponens elemzése szerint az őszi árpa hozamnak nincs kapcsolat a növény magasságával. Simonné (2011) hazai körülmények között, tavaszi árpa esetében műtrágyázás nélkül 55 cm szalmahosszt mért, a trágyázási szintektől függően pedig 50-70 cm között alakult a szalmahossz. Hasonló eredményekről számolnak be Berhanu et al. (2013) is. Alazmani (2015) 30 kg/ha P- és 75 kg/ha N-ellátás mellett 75,2 cm-es növénymagasságot mért, amely a növekvő N-kezelések hatására emelkedett, majd 225 kg/ha N-kezelésnél maximalizálódott (82,1 cm). Zaman et al. (2015) arra figyelmeztetnek, hogy a bőséges N használat fokozza a vegetatív növekedést és magasságot, amely növeli a hajlamot a megdőlésre, a csökkentett K-trágyázás pedig gyengíti a szárat. Špunar et al. (2002) N₃₅ P₃₆ K₃₆ kezeléssel 80,28 cm-es növénymagasságot mértek, míg Aghdam és Samadiyan (2014) a N-ellátás nélkül 95 cm, míg kísérletében maximális N-dózis alkalmazása mellett 117 cm magasság. Shafi et al. (2011) 107,38 cm-es növénymagasságot mértek 100 kg/ha/N és 30 kg/ha/P-adaggal.

A növények táplálkozása már a 2-3 leveles állapotban döntő hatással van a későbbi termésképzésre, ugyanis már ekkor befolyásolja a bokrosodást és ezzel a kalászt hozó hajtások számának alakulását (Heyland 1961, Mengel és Forster 1968). Amennyiben a táplálkozás ebben a stádiumban elégtelen, csökken a jól fejlett, erős szalmaszárak és a telt kalászok száma (Mengel 1972).

Szárbainduláskor Wang et al. (2007) azért javasolja a N fejtrágya alkalmazását, mert az növeli a kalásonkénti szemszámot. Noworolnik et al. (2014) véleménye szerint bokrosodáskor a N-trágyázás pozitív hatása az árpa hozamára leggyakrabban abban nyilvánul meg, hogy növeli a kalászszaámot, míg Kalocsai et al. (2004) vizsgálatai azt mutatják, hogy a bokrosodás kezdetén kijuttatott N-műtrágya előnyösen befolyásolja a kalászsorsó hosszúságát. Albrizio et al. (2010) szerint az árpa N-trágyázásra adott reakciója főként a négyzetméterre eső szemek növekedésében nyilvánul meg.

Simonné (2011) tavaszi árpa esetében a kontroll parcellákon 5,9 cm-es kaláshosszt mért, míg a kezeléskombinációktól függően 5,9 és 7,1 cm-es intervallumban alakult a kalász hosszúsága. Eredményei szerint a kaláshossz és a kalásonkénti szemszám nem mutattak összefüggést a kezelésekkel, míg Kádár és Csathó (2015) szerint a N-túlsúly a kalásonkénti szemek számát mérsékli, amit Cai et al. (2012) is megerősített, 225 kg/ha N-ellátás eredményezte a maximális értéket, az ennél magasabb N-adag már csökkentette a kalásonkénti szemtermés számát. Moreno et al. (2003) vályogos homoktalajon – 13 ppm P (Olsen) és K 415 ppm (ammónium-acetát) – 100 kg/ha N-ellátás esetén mérte a legmagasabb ezerszemtömeget (38,6 g) és kalásonkénti szemtermés számot (16,9 db), a N-ellátás magasabb szintjei már csökkentették ezen értéket. Kismányoky (1980) vizsgálatai során azt tapasztalta, hogy a N-trágyázás növelése kedvezően befolyásolta a kalászszaámot, a kaláshosszt, valamint a kalásonkénti szemszám alakulását, azonban csökkenti az ezerszemtömeget. Az ezerszemtömeg csökkenését idézheti elő Wibberley (2006) szerint a későn alkalmazott nagy N-adag.

Earl és Tollenaar (1977) hangsúlyozzák, hogy a szemtelítődés időszakában fellépő vízhiány is nagymértékben hozzájárul az ezerszemtömeg csökkenéshez. Shafi et al. (2011) 60 kg/ha N-adag alkalmazásával érte el a leghosszabb kalászhosszt (18,25 cm), legmagasabb kalásonkénti szemszámot (27,13 db), a legnagyobb ezerszemtömeget (36,99 g), végső soron a legmagasabb termést (2,2 t/ha). Kádár és Csathó (2015) akik 128 mg/kg AL-P₂O₅ és 243 mg/kg AL-K₂O tartalmú meszes csernozjom talajon 100 kg/ha N-trágyázásig tapasztalták az őszi árpa megbízható hozamnövekedését. A nagyobb – 200 és 300 kg/ha – N-adagok 0,2-0,4 t/ha-ral csökkentették a szemtermést. Moreno et al. (2003) nem tapasztalt szignifikáns hozamkülönbséget a 100 és 150 kg közötti N-adagok között, azonban a 200 kg/ha N-adag megbízhatóan csökkentette az árpa hozamát. Cai et al. (2012) 225 kg/ha N-ellátásig hozamgyarapodást tapasztaltak, 300 kg/ha N-adag már csökkentette az árpa hozamát.

Kismányoky és Kiss (1998) Ramann-féle barna erdőtalajon végzett kísérletei szerint az őszi árpa termése N-trágya alkalmazása nélkül 2,98 t/ha volt, amely szignifikánsan emelkedett a 120 kg/ha N-szintig (4,71 t/ha), míg Alazmani (2014) a legmagasabb hozamot (4,0 t/ha) 225 kg/ha N-dózis mellett érte el. Slamka et al. (2008) barna erdőtalajon a kontroll esetében 5,95 t/ha hozamot érték el, a termésmaximumot (6,63 t/ha) 100 kg/ha N-adag alkalmazása mellett kapták. Bleidere et al. (2013) homokos vályog talajon 137-145 mg/kg P₂O₅ és 198-211 mg/kg K₂O talaj ellátottság mellett vizsgálták többek között a N-trágyázás hatását a tavaszi árpa hozamára. Az első vizsgálatainak évében – a vizsgált fajták átlagában – legmagasabb ezerszemtömeget (45,8 g) és hozamot (3,30 t/ha) 80 kg/ha, míg a következő évben a 120 kg/ha N-adag eredményezte (51,6 g és 5,55 t/ha), míg a hektolitertömeg esetében a 80 kg/ha N-dózis mellett kapta a maximumot a vizsgált években. Kozera et al. (2017) a talaj 65 mg/kg P és 112 mg/kg K ellátottsága mellett azt tapasztalták, hogy a 120 kg/ha N-dózis - 30 kg/ha P, 80 kg/ha K - alkalmazása biztosította a legmagasabb tavaszi árpa hozamot. Narolia és Yadav (2013) vályogos homoktalajon a N-trágyázás megbízható hatását tapasztalták a sörárpa magasságára, kalászhosszára, kalásonkénti szemszámára, hektolitertömegére és hozamára.

2.3.2 A P hatása az őszi árpa termésjellemezőire és a szemtermés mennyiségére

Az optimális növénytaplálás fontos kritériuma, hogy a talaj megfelelő ellátottságú legyen P-ral is (McDowell et al. 2008). A talajoldat alacsony P koncentrációja, a gyenge oldhatóságával együtt korlátozó tényező a növényi növekedésre az egész világon (Smit et al. 2009), ezért Loch (2012) hangsúlyozza, hogy a P-trágyázás szempontjából döntő a talajok P-készlete. A termesztett növények P-szükségletét a talaj természetes P-szolgáltatásán túl, a korábbi intenzív P-műtrágyázás utóhatása biztosítja. Karamanos et al. (2007) vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy a feltöltő P-trágyázást követő 20. évtől az árpa terméshozama szignifikánsan csökkent. Egyes szerzők a P és a K utóhatást 30-40 évre prognosztizálják (Árendás et al. 2010), míg mások szerint (elsősorban a K) korábban elfogy (Kovács et al. 2010). Csathó és Kádár (2013) felhívja a figyelmet arra, hogy a talajok P-kínálata egyre csökken, a növényi P-felvétel, valamint a P-megkötődés végett, az utánpótlása elengedhetetlen (Draskovits 2013).

Zelónka et al. (2005) hangsúlyozzák, hogy a hozamok növelése érdekében a talajok tápelemtartalmát, beleértve a P-tartalmát is pótolni szükséges ásványi táplálással, különösen fontos ez a P-igényes kalászosok esetében (Kádár 2012). A gabonafélék P-hiány esetén kiemelten hajlamosak és fogékonnyá válnak gyökérronthadás betegségekre (McCauley et al. 2011), ami csökkenti a rendelkezésre

álló tápanyagok felvehetőségét, csökkentve a hozamot. Mengel és Kirkby (2001) szerint a gabonák bokrosodására negatív hatással van a P-hiány, míg Draskovits (2013) kiemeli, hogy a megfelelő P-ellátás a gabonanövények esetében a bokrosodási erélyt és a szentőmeget javítja. Wakene et al. (2014) arról számoltak be, hogy a P alkalmazása kissé növelte az árpa magasságát, hasonlóképp véli Rashid és Khan (2008) is, akik azt jelezték, hogy a növénymagasság lineárisan nőtt a növekvő P-trágyázással. Mekonnen és W/kiros (2018) 20 kg/ha P-szintig tapasztalt megbízható növénymagasság növekedést. Mehrvarz et al. (2008) szerint a P-trágyázás nincs megbízható hatással az őszi árpa magasságára. Kostadinova (2014) tenyészedényben végzett vizsgálata során azt tapasztalta, hogy az árpahozam 200 mg/kg-os P-ellátottság esetén maximalizálódott, míg Al-Ajlouni et al. (2010) arról számoltak be arid viszonyok mellett, hogy a P-trágyázás megbízhatóan növelte az árpatermést 80 kg/ha ellátásig, az ennél nagyobb adagú P (120 kg/ha) már csak tendenciális hozamnövekedést eredményezett. Mullen és Gammie (2003) a P pozitív hatását a hozamra annak tulajdonítják, hogy a jobb P-ellátás növeli a kalászokénti szemtermés számát, amit Mekonnen és W/kiros (2018) is megerősít.

Mehrvarz et al. (2008) szárazabb és melegebb éghajlati viszonyok mellett vizsgálták a P-trágyázás hatását a hibrid árpa terméskomponenseire és a hozamára a talaj 109 mg/kg P-ellátottsága mellett. P-trágyázás nélkül 3,96 t/ha-os szemtermést regisztráltak, amit a növekvő adagú P-trágyázás (30, 60 kg/ha) érdemben nem módosított (3,88 és 3,97 t/ha). Holzapfel (2016) viszont már a növekvő P-trágyázás (30, 60 kg/ha) hozamcsökkentő hatásáról számolt be. Hossain és Akhtar (2014) Rajshahi-ban (Bangladesh) trópusi viszonyok között elvégzett vizsgálata során azt tapasztalták, hogy a P szignifikáns hatást gyakorolt a legtöbb hozamot képző komponensre, úgy, mint a növénymagasságra, a kalázhosszra, a kalászokénti szemtermés számára, végső soron az árpa hozamára. Ezzel szemben Mehrvarz et al. (2008) 250 kg/ha N-ellátás mellett (megosztva, három alkalommal kijuttatva) azt tapasztalták, hogy a P-kezelések (30-60 kg/ha) nem voltak hatással az árpa magasságára, illetve a hozamra, a maximális termést a 60 kg/ha P-adag eredményezte. Mekonnen és W/kiros (2018) eredményei szerint P-trágyázás nélkül 5,63 cm volt az árpa kalázhossza, amely a növekvő P-ellátás hatására megbízhatóan emelkedett 30 kg/ha P-dózisig. Mehrvarz et al. (2008) a legkisebb ezerszemtömeget (35,50 g) a kontroll esetében mérték, míg a maximális ezerszemtömeget (39,28 g) 60 kg/ha P-dózis esetén kapták. Mekonnen és W/kiros (2018) is a P-trágyázás pozitív hatását tapasztalta az árpa ezerszemtömegére. Rowe és Johnson (1995) valamint Hoppo et al. (1999) is kimutatták, hogy a P-hiány csökkentheti az árpa hozamát, míg Mühlbachová et al. (2018) a legmagasabb hozamnövekedést a legkisebb P-dózis esetén jegyezték fel, magasabb P-adagok esetén a hozamok stagnálásáról számoltak be. Amennyiben egy talaj magas vagy nagyon magas P-tartalmú, abban az esetben Lošak et al. (2016) nem ajánlják a talaj P-trágyázást (különösen gyengén savanyú talajok esetében). A jelenlegi gazdasági környezetben még a P-t kevésbé megkötő talajokon sem célszerű 2–3 évnél hosszabb időszakra P-t előretrágyázni (Csathó és Kádár 2013). Több szerző szerint a talaj rendszeres P-trágyázása növeli a növények számára felvehető P-tartalmat (Lásztity és Csathó 1995, Blake et al. 2000, Izsáki 2009, Ma et al. 2009). Több kutatási eredmény is igazolta, hogy az erősen P-hiányos talajok esetében az önmagában adagolt N-nek minimális hatása volt a termésmennyiségre, de a N és a P együttes alkalmazása jelentősen növelte azt (Aulakh és Malhi 2004).

2.3.3 A K hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére

A javuló N-ellátás fokozza a növény fejlődését, ennek következtében nő a szükséglet az egyéb tápanyagok iránt is (Wilkinson et al. 1999, Fageria 2001). Brar et

al. (2011) kiemelik, hogy a növények kiadott N-trágyára adott reakciója csökken, amennyiben a talaj K-tartalma nem kielégítő, így a N-K szinergista hatás egyre fontosabb lett a mezőgazdasági termelésben. Tal (2011) szerint a megfelelő K alkalmazás javíthatja a N-trágyázás hatékonyságát. Zörb et al. (2014) szerint a gabonák alacsony K felhasználók, és a talajból gabonamagvakkal kivont K mennyisége nagyrészt független a K-ellátottságtól, ezzel szemben PDA (2005) szerint a növények hozamát általában nagyban csökkenti a K hiányos talaj, mely talajok elsősorban a trópusokon, szubtrópusokon fordulnak elő (Mengel és Kirkby 2001). Shekhawat et al. (2013) száraz körülmények között jelentős növekedést figyeltek meg többek között az árpa növénymagasságban, kalásonkénti szemszámában, kalásztömegében, az ezerszemtömeg alakulásában és a hozamban, amelyeket a K-trágyázás következtében ért el. Radulov és Goian (2004) kiemeli, hogy a K hatása a növényi termékek minőségére erősebb, mint bármely más tápanyagé.

A hiányos K-ellátás a gabonafélék esetében csökkenti a szárszilárdságot, ami megdőlést okozhat, csökken a betegségekkel szembeni rezisztencia, valamint az őszi gabonafélék esetében a télállóság (Jacobsen és Jasper 1991). McCauley et al. (2011) kiemelik, hogy a gabonafélék közül különösen az árpa túlzott mértékben bokrosodik K-hiány esetén. Holzapfel (2016) a K-trágyázással az árpahozam emelkedését tapasztalta P-trágyázás nélkül. Lásztity (2006) csernozjom talajon, a talaj AL-P₂O₅ 130 mg/kg és AL-K₂O 148 mg/kg ellátottsága mellett azt tapasztalta, hogy a Mg felvételét a műtrágyázás szignifikánsan emelte a kontrollhoz képest, elsősorban a N és P kombinációja volt a legeredményesebb, a K/Mg antagonizmus miatt. Kádár és Csathó (2017) kielégítőnek tartja mészlepedékes csernozjom vályogtalajon az őszi árpa számára a szántott réteg 140-200 mg/kg AL-P₂O₅, -K₂O tartalmát és a 100 kg/ha/év N-dózist. A nagyobb N-adagok tendenciózusan csökkentették az árpa hozamát.

2.4 A növények tápláltsági állapotának ellenőrzési lehetőségei

2.4.1 Vizuális vizsgálat

A mezőgazdasági gyakorlat már régóta felismerte, hogy a növények tápanyag-ellátottsága és a látható tünetek között összefüggés található (Füleky et al. 1999). A növények vizuális vizsgálata a tápláltsági állapot megállapításához a lehetőségek közül a legegyszerűbb, legolcsóbb módszer, különösebb felszerelést nem igényel.

Ezzel a módszerrel a tápláltsággal kapcsolatos rendellenességek azonosítására is van lehetőség. Azonban a vizuális tünetekhez gyakran társulnak betegségek, rovarok vagy aszály által kiváltott tünetek is (Fageria et al. 1997), vagy egyéb talajtulajdonságban bekövetkező változás, úgy, mint pl. pH, kötöttség (Füleky et al. 1999). Mindezek alapján a tünetek felismerése nagy tapasztalatot igényel. A levél színe a tápanyaghiányok egyik legérzékenyebb mutatója (Blinn et al. 1988). N-hiány esetében a kloroplasztok szétesnek, a kloroplaszt fejlődésének zavara miatt a levelek kloróvizist mutatnak, egyenletesen az egész levélen, a tünet elsősorban az idősebb leveleken jelentkezik. A vegetáció későbbi, a hiány súlyosabb szakaszában a levelek elhalása is bekövetkezhet. Mindezek ismeretében a N-hiány alapvetően különbözik a K- és Mg-hiánytól, ahol a tünetek szintén az idősebb leveleken elkezdődnek, de a klorózis és a nekrotikus foltok inkább a fejlődés korai szakaszában jelennek meg (Mengel és Kirkby 2001). A mozgékony elemek esetében (N, P, K, Mg Zn) a hiánytünet az alsóbb, öregebb leveleken jelentkezik, mert az eredeti helyéről (idősebb levelek) arra a helyre mozognak a mobil elemek, ahol a tápanyagra az aktív növekedés miatt szükség van. Amennyiben valamely immobil elem (Ca, Fe, S, B, Mn, Mo) hiánya jelentkezik, nem transzlokálódik a növény fejlődő részeibe, hanem az idősebb levelekben marad, ahol eredetileg felhalmozódott, ezért a hiánytünetek először a

növény fiatalabb levelein jelentkeznek (Fageria et al. 1997). A B fitotoxicitását először árpán ismerték fel. A toxicitás tünetei, vagyis a levélnekroízisok, csak az árpára jellemzőek, azonban összekeverhetők gombás betegséggel (Jenkin 1993). A tünet a B magas szöveti koncentrációival függ össze, amelyek viszont szorosan kapcsolódnak a talajban lévő oldható B-tartalomhoz (Francois 1992).

2.4.2 SPAD-érték mérése

A klorofill meghatározó összetevője az egészséges zöld növényzet levéloptikai tulajdonságainak szabályozására és ezért a fotoszintetikus folyamat lényeges részét képezik (Richardson et al. 2002).

A levelek fényhasznosításának mérését Inada (1963) alapozta meg Japánban, eredetileg a rizs N-állapotának elemzésére tervezte a hordozható „zöld mérőket” (Takebe és Yoneyama 1989). Az 1980-as években a Minolta kifejlesztette a kézi abszorbania alapú, kettős hullámhosszú klorofillmérőket (Konica Minolta Optics 2012). A kézi klorofillmérők (SPAD-Soil Plant Analysis Development) általában vörös (650 nm) és közel infravörös (NIR, 940 nm) hullámhosszú tartományban mérik a levelek abszorbanciáját (Süß et al. 2015). Az említett hullámhosszokat bocsájtja át a levélen, a vörös fénytartományában klorofill abszorpció következik be, míg infravörös hullámhosszon klorofill abszorpció nem fordul elő, a levélszerkezet közötti különbségek mérésére (referenciaként) szolgál (Süß et al. 2015, Xiong et al. 2015). A mérő két hullámhosszon rögzíti az optikai sűrűségméréseket, átalakítja őket digitális jelekké, majd mértékegység nélküli SPAD értéké (Minolta 1989, Peltonen et al. 1995, Rodriguez 2000).

Az árpalevél klorofill- és N-tartalma szoros összefüggésben van egymással (O'Neill et al. 1984, Wood et al. 1993), mert a levélben lévő N nagy része beépül a klorofillbe, a klorofillmolekula kulcsfontosságú összetevője a N (Tracy et al. 1992, Richardson et al. 2002, Pagola et al. 2009, Marinaccio et al. 2015). A klorofillmérőket széles körben alkalmazzák gyors, roncsolásmentes és költséghatékony diagnosztikai eszközként a növények N státuszának szezonális felmérésében (Ata-Ul-Karim et al. 2016), a levélklorofill relatív mennyiségének becsléséhez (Watanabe et al. 1980). A mérővel jellemezhető a növény N-ellátottsága és lehetséges a N-stressz előfordulásának észlelése, mielőtt a tünetek szemmel láthatóak lennének (Francis és Piekielek 1999). Annak ellenére, hogy a mérések között eltelt idő minimális (kevesebb, mint 2 ms) szükséges egy levélen több mérés végzése a kis mérési felület miatt (2 mm x 3 mm). Egyes szerzők (Jongschaap és Booij 2004, Wang et al. 2009) szerint pedig a levélerek, a levél vastagsága és a nedvességtartalom indokolja ugyanazon levélen több mérés elvégzését. A klorofill-tartalom meghatározásával becsülni tudjuk a növény N-tápláltságát és közvetve a talaj N-szolgáltató képességét (Izsáki és Németh 2007). Trebichalský et al. (2012/13) megemlíti, hogy a Zn-hiány megzavarja a klorofill képződését. Spaner et al. (2005) tavaszi árpa Zadoks 30 fenofázisában azt tapasztalta, hogy közvetlenül N-fejtrágyázás előtt a mért SPAD-értékek nem tértek el a N-fejtrágya kezeléseik között. Izsáki és Németh (2007) mérései szerint a 4,0-6,0% N-koncentráció és 40-47 SPAD-érték volt kielégítő az őszi árpa bokrosodáskori (Feekes 5-6) fenofázisában, mely 4,5 t/ha szemtermést jelentett.

2.4.3 Növényanalízis

Az ásványi anyagok egyensúlyának kisebb mérvű eltolódása a növény anyagcseréjében nem vezet minden esetben kóros tünetek megjelenéséhez vagy a termés mennyiségi, illetve minőségi csökkenéséhez (Bergmann 1979). Amennyiben a kiegyensúlyozatlan növényáplálás viszonylag hosszabb ideig nem vált ki látható

tüneteket, akkor támpontot adhat a növények kémiai vizsgálata, amellyel a harmonikus tápanyag-ellátottság helyreállítható (Buzás 1983).

Növényanalízisen az esszenciális elemek kémiai becslését értjük a növény szövetéből (Campbell és Plank 2000). A növényvizsgálati eredmények értelmezésének elvi alapját az adja, hogy valamely tápelem felvehető mennyiségének változása a talajban tükröződik a növények tápelem-koncentrációjában (Kádár 1980, Füleky et al. 1999).

A tápelem-koncentrációt befolyásolja a növény faja, életkora, valamint eltérő az egyes növényi részek tápelemtartalma is. A mintavételeket szigorúan növényfajra, fejlődési stádiumra és növényi szervre vagy részre írják elő (Kádár 2005).

A növényvizsgálat céljára az aktív szövetek felelnek meg, melyek elsősorban a levelekben találhatóak. A kifejlett levelekben a tápelemek koncentrációja kevésbé gyorsan változik, mint a még fejlődő vagy már elöregedő levelekben. A fiatal növények főleg levelekből állnak, illetve az egész földfeletti növényi rész zöld és fotoszintetizál. Kalászosok esetében mintavétel szempontjából a bokrosodás vége és a virágzás kezdete a legkedvezőbb időszak, amikor nyugalmi állapotban van a növény. A szárbainduláskori gyors megnyúlás, az intenzív növekedés a koncentráció hígulásával jár. Több szántóföldi növény esetében megfigyelték, hogy a fő tápelemek szezonális változásában a K és a N hígulása kifejezettebb, míg a P koncentrációja mérsékeltebben csökken a korrallal (Kádár 1992). A növény tápelemtartalmának időbeni változását befolyásolja a talaj tápelemekkel való ellátottsága is. Így tápelemekkel jól ellátott talajok esetében azok koncentrációja stabilabb, a hígulás kevésbé jelentkezik, mert a szárazanyag-felhalmozódásával a talajból való felvétel bizonyos mértékig lépést tud tartani. Ezzel szemben egy rosszul ellátott talajon a növény szövetei gyorsabban kiürülnek (Kádár és Lásztity 1981).

Az őszi árpa tápláltságának megítélésekor nem elég csupán a N-koncentráció megítélése, hanem a N és más tápelemek kölcsönhatásának, a tápelemek-arányának vizsgálata is fontos, amit Kádár és Lásztity (1981) a növényelemzés központi elemének tekint. A növényelemzés klasszikusai szerint a tápelemtartalom a tápláltság mennyiségét, míg a tápelemek arányai a tápláltság minőségét, annak kiegyensúlyozottságát tükrözik, beleértve a kölcsönhatásokat is (Kádár és Lásztity 1981, Németh et al. 2010, Izsáki 2015). Kádár és Lásztity (1981) kiemeli, hogy az arány két tápelem egymáshoz viszonyított mennyiségéről tájékoztat, és nem ad információt a két elem egyikének aktuális mennyiségéről, valamint önmagában az arány ismeretében nem állapítható meg, hogy optimum, felesleg vagy hiány áll fenn a növényben. Egy adott elem növényben lévő mennyisége függ az egyéb tápelemekkel való ellátottságától is. Az arányok alakulását lényegesen befolyásolja a két elem között kialakuló antagonizmus vagy szinergizmus. Bindraban et al. (2015) szerint tápelemek közötti antagonizmus gyakran akkor következik be, amikor az elemek aránya kiegyensúlyozatlan. Azt az állapotot amikor minden tápelemből kielégítő mennyiség van a növényben, Kádár (1992) kiegyensúlyozott tápláltságnak nevezi.

Mengel (1976) szerint a növényanalízis trágyázási szaktanácsadásban való alkalmazhatósága szempontjából döntő a tápláltsági állapotot jellemző határkoncentráció meghatározása, amely elsősorban a tudomány feladata (Németh et al. 2010). A növényi optimumok fajra jellemzőek, mivel a növény élettani igénye hasonló minden tájon, talajon és csak szűk intervallumban ingadoznak (Kádár 2005). Tarnawa et al. (2017) úgy vélik, hogy a referenciaértékeket nem csak fajonként, hanem fajtánként is szükséges meghatározni. Ezen igénynek ellentmond a nagy fajtaválaszték, a gyors fajtaváltás és a tápelem-ellátottsági határértékek kidolgozásának időigénye (Izsáki 2015).

Nincs optimális érték meghatározva a talajban előforduló legfontosabb elemekre (Körschens 2006), mivel azok időjárási viszonyonként, talajtípusonként és növényfajonként változnak. Minél szélesebb körű tapasztalatokkal rendelkezünk a trágyahatásokat illetően, minél több talajtípusra és növényre ismerjük meg az optimumokat, annál jobban pontosítható a szaktanácsadás (Kádár 2005).

Az őszi árpa kielégítő tápláltságát jellemző bokrosodás fenofázisában a szakirodalmi határértékek és arányok a 4. táblázatban látható. Lásztity (1985) karbonátos csernozjom jellegű homoktalajon AL-P₂O₅ 85 ppm és AL-K₂O 65 ppm ellátottság mellett 5,94% N, 0,56% P, 2,55% K, 16% Ca koncentrációról számolt be, amennyiben 200 kg/ha N-ellátásban részesült az őszi árpa. Kádár (2000) karbonátos csernozjom talajon – 60-80 ppm AL-P₂O₅- és 120-140 mg/kg AL-K₂O-ellátottságú talajon – a növekvő N-műtrágyázás megbízhatóan emelte a bokrosodás kori N-, K- és Ca-koncentrációt 200 kg/ha-ig, a 300 kg/ha N-ellátás már csökkentette ezen koncentráció értékeit, míg a Mg-koncentrációt a maximális N-ellátás eredményezte. Kádár és Csathó (2015) eredményei azt mutatták, hogy az növekvő N-dózissal emelkedett az őszi árpa bokrosodása végén mért N-, K-, Ca-, Mg-, Na- és Mn-koncentrációja, míg a P-koncentráció esetében csökkenés volt kimutatható. Kostadinova (2014) vizsgálata során azt tapasztalta, hogy a P-ellátás nincs statisztikailag igazolható hatással az árpa bokrosodás kori N-, P- és K-koncentrációjára. Kádár (2000) optimális P-koncentrációt (0,4%) a talaj 173 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága mellett kapott.

4. táblázat. Az őszi árpa kielégítő tápelem ellátottsági határértékei és arányi bokrosodás fenofázisában (Feekes 4-5)

Tápelem	Tápelem koncentráció	Tápelem arány	Tápelem arány érték
N (%)	2,5-5,25	N/P	8,8-12,5
P (%)	0,20-0,60	N/K	0,5-1,1
K (%)	3,50-5,00	N/Na	5,0-10,5
Na (%)	<0,50	N/Ca	5,3-8,3
Ca (%)	0,30-1,00	N/Mg	16,7-17,5
Mg (%)	0,15-0,30	P/Mg	1,3-2,0
Cu (mg/kg)	6-15	P/Zn	100
Zn (mg/kg)	20-60	K/Na	7,0-10,0
Mn (mg/kg)	30-100	K/Mg	16,7-23,3
B (mg/kg)	6-12	Ca/Mg	2,0-3,3

*Reuter és Robinson (1997); Elek és Kádár (1980); Sanchez (2007)

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A kísérlet kezelései és elrendezése

A műtrágyázási tartamkísérletet 1989-ben állították be, a Szent István Egyetem Gazdasági, Agrár- és Egészségtudományi Kar Kísérleti Telepén, Szarvason.

A műtrágyázási tartamkísérlet három tényezővel (N-, P- és K-trágyázás), tényezőnként négy-négy N-, P- és K- szinten lett kialakítva, teljes kombinációban (4^3), azaz 64 kezeléssel, kétszeresen osztott parcellás elrendezésben, három ismétlésben. A három valódi ismétlésen belül a N-trágyázási kezelések 48, a P- trágyázási kezelések 16 belső ismétléssel szerepeltek.

A kísérlet tényezői és kezelései:

„A” tényezőként a K-trágyázás szerepelt az alábbi kezelésekkel:

K_0 =K-trágyázás nélkül,
 K_1 =300 kg/ha/év K_2O 1989-1992 között, 100 kg/ha/év 1993-tól,
 K_2 =600 kg/ha K_2O 1989-ben, 1000 kg/ha 1993-ban és 600 kg/ha 2001-ben,
 K_3 =1200 kg/ha K_2O 1989-ben, 1500 kg/ha 1993-ban és 1200 kg/ha 2001-ben.

„B” tényezőként a P-trágyázás szerepelt az alábbi kezelésekkel:

P_0 =P-trágyázás nélkül,
 P_1 =100 kg/ha/év P_2O_5 ,
 P_2 =500 kg/ha P_2O_5 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben,
 P_3 =1000 kg/ha 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben.

Az időszakosan elvégezett nagyadagú K_2 és K_3 valamint a P_2 és P_3 feltöltő trágyázás célja az volt, hogy jól elkülöníthető ellátottsági szinteket alakítsanak ki a talajban a tápláltsági szituációk tanulmányozására és a talaj tápelem-ellátottsági határértékek megállapítására.

„C” tényezőként a N-trágyázás szerepelt az alábbi kezelésekkel:

N_0 =N trágyázás nélkül,
 N_1 =80 kg N/ha/év (40 kg/ha alaptrágya + 40 kg/ha fejtrágya),
 N_2 =160 kg N/ha/év (80 kg/ha alaptrágya + 80 kg/ha fejtrágya),
 N_3 =240 kg N/ha/év (120 kg/ha alaptrágya + 120 kg/ha fejtrágya).

5. táblázat. A műtrágyázási tartamkísérletben kijuttatott összes műtrágya hatóanyag (kg/ha). (Szarvas, 1989-2012)

	Műtrágya hatóanyag, kg/ha			
K-műtrágya	$K_0 = 0$	$K_1 = 3200$	$K_2 = 2200$	$K_3 = 3900$
P-műtrágya	$P_0 = 0$	$P_1 = 2400$	$P_2 = 1500$	$P_3 = 3000$
N-műtrágya	$N_0 = 0$	$N_1 = 1920$	$N_2 = 3840$	$N_3 = 5760$

A N-t alap- és fejtrágyaként megosztva ammónium-nitrát (34%), míg a P-t szuperfoszfát (18%), a K-ot kálisó (40 vagy 60%) formájában alaptrágyaként juttattuk ki.

A kísérletben évente 4 növény szerepelt kiterített vetésforgóban, 4x192 db parcellán, ahol a főparcellák területe 320 m², az elsőrendű alparcellák területe 80 m² és a másodrendű alparcellák mérete 4 x 5=20 m² volt.

Az őszi árpa előveteménye 2010-ben és 2011-ben fénymag (*Phalaris canariensis* L.), 2012-ben pedig szója (*Glycine max* L.) volt.

Fejtrágyázás egyszer történt, a bokrosodás végén, a növénymintavételt követően. Az őszi árpa betakarítása teljesérésben történt parcellakombájnnal, június végén - július elején.

Dolgozatomban a 2010/11-2012/2013-as kísérleti évek adatait dolgoztam fel a tartamkísérlet 21-23. éveiben.

3.2 Alkalmazott fajta

A termesztett fajta GK Stramm kétsoros őszi árpa volt, melyet a szegedi Gabonatermesztési Kutató Kht. bocsájtott rendelkezésünkre.

A fajta agronómiai jellemzői a következők:

- Jó bokrosodási erélyű, kiváló állóképességgel rendelkező, erős szárú, szálkás fajta, magassága 70-80 cm.
- A korai éréscsoportban az egyik legnagyobb hozamú fajta,
 - o termőképessége: 6-8 t/ha,
 - o ezerszemtömege: 45-50 g,
 - o hektolitertömege: 70-75 kg.
- Optimális vetési idő: október első fele, a szeptemberi vetés kerülendő.
- Ajánlott csíraszám: 500-600 csíra/m².
- Gombabetegségekkel szemben kiváló, rozsdabetegségekkel szemben jó az ellenállósága.

3.3 Talajadottságok

A kísérlet talaja mélyben karbonátos csernozjom réti talaj, amelynek fontosabb jellemzői a következők:

- a humuszos réteg vastagsága 85-100 cm,
- pH_(KCl) = 5,0-5,2,
- humusz% = 2,8-3,2,
- CaCO₃% = 0,
- Arany-féle kötöttségi szám (K_A) = 50,
- agyag% = 32.

A kísérlet beállítása előtt 1989 őszén az AL-P₂O₅ 156 mg/kg, az AL-K₂O 322 mg/kg, AL-Na 212 mg/kg, a KCl-Mg 765 mg/kg, az EDTA-Mn 386 mg/kg, az EDTA-Cu 5,4 mg/kg és az EDTA-Zn 3,0 mg/kg volt a kísérleti terület átlagában. A MÉM NAK (1979) által elfogadott módszerek és határértékek alapján a talaj ellátottsága N-ből közepes-jó, P-ből, K-ből, Cu-ből és Zn-ből jó, Mg-ből és Mn-ből igen jó ellátottságot mutatott. A talajvíz átlagos mélysége 300-350 cm.

A talaj tápanyagtartalmának (K₂O, P₂O₅, NO₃⁻ és NO₂⁻-N) vizsgálatához talajmintákat vettünk a K₁-es főparcella elsőrendű alparcelláiból (P₀, P₁, P₂, P₃), illetve másodrendű alparcelláiból (N₀, N₁, N₂, N₃) minden év őszén 0-30 cm-es mélységig, valamint tavasszal – fejtrágyázás előtt – a talaj ásványi-N tartalmának (NO₃⁻ és NH₄⁺-N) meghatározásához 0-60 cm-es mélységig Eijkelamp típusú talajmintavevővel.

Az ősszel vett talajminták vizsgálatát a szolnoki Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatósága végezte. A talaj P₂O₅- és K₂O-tartalom ammónium-laktát (AL) módszerrel lett meghatározva, a magyar szabványnak megfelelően (MSZ 20135:1999 4.2.1., 5.1.).

A NO_3^- - és NO_2^- -N-tartalom, valamint az ásványi N-tartalom (NO_3^- - és NH_4^+ -N) 1 mol/l-es kálium-kloridos (KCl) kivonatból spektrofotometriás módszerrel lett meghatározva (MSZ 20135:1999 4.2.2., 5.4.5.).

A tavaszi NO_3^- - és NH_4^+ -N-tartalom meghatározását a Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Környezettudományi Intézete végezte (6-7. táblázat).

Az egyes kísérleti évek K- és P-ellátottságát az előző év őszenek vizsgálati eredményeivel jellemezzük.

Az eredmények értékelésekor a talaj NO_3^- - + NO_2^- -N valamint P- és K-ellátottságának megítélésére a szántott talajréteg (0-30 cm) értékeit, míg az ásványi N-tartalom esetében a 0-60 cm-es talajréteg értékeit használjuk.

6. táblázat. A talaj K-, P- és N-ellátottsága trágyázási szintenként (Szarvas, 2010-2012 ősz)

Kezelés	Kísérleti év		
	2010	2011	2012
A szántott réteg (0-30 cm) AL-K ₂ O ellátottsága (mg/kg)			
K ₀	218	210	212
K ₁	324	320	346
K ₂	294	335	310
K ₃	346	335	348
A szántott réteg (0-30 cm) AL-P ₂ O ₅ ellátottsága (mg/kg)			
P ₀	133	118	124
P ₁	206	224	242
P ₂	194	186	192
P ₃	251	233	244
A szántott réteg (0-30 cm) N-NO ₃ ⁻ és NO ₂ ⁻ -tartalma (kg/ha)			
N ₀	22	46	21
N ₁	21	56	60
N ₂	20	50	54
N ₃	42	52	66

7. táblázat. A talaj ásványi N-tartalma (N_{min}) N-trágyázási kezelésként a 0-60 cm-es talajrétegben N-fejtrágyázás előtt (Szarvas, 2011-2013 tavasz)

Kezelés jele	N-forma	N-tartalom a 0-60 cm-es talajrétegben (kg/ha)		
		2011	2012	2013
N ₀	NO ₃ ⁻ - N	36	59	28
	NH ₄ ⁺ -N	66	39	96
	N _{min}	102	98	124
N ₁	NO ₃ ⁻ - N	41	47	76
	NH ₄ ⁺ -N	79	62	92
	N _{min}	120	109	168
N ₂	NO ₃ ⁻ - N	39	53	58
	NH ₄ ⁺ -N	77	56	104
	N _{min}	116	108	162
N ₃	NO ₃ ⁻ - N	67	56	78
	NH ₄ ⁺ -N	91	48	186
	N _{min}	158	104	264

3.4 Időjárási viszonyok

A kísérlet tenyészidőszakának időjárása a kísérlet helyén mért adatok alapján a következőkkel jellemezhető (8.táblázat).

2010. évben 888 mm csapadék volt, amelynek nagy része az őszi árpa vetést megelőzően hullott. A 2010/2011. tenyészévben mind a csapadék mennyisége (435 mm), mind az átlaghőmérséklet (8,2 °C) meghaladta a sokévi átlagot. A téli félévben 57 mm-rel hullott több csapadék, mint ekkor szokásos, a csapadéknak közel felét december hónapban mértük. Az átlaghőmérséklet (3,6 °C) alakulása a sokévi átlagnak megfelelően alakult. A tenyészidőszakban 73 mm-rel mértünk több csapadékot a törzsértéknél, az átlaghőmérséklet ezen időszakban 0,7 °C-kal volt magasabb, mint a 1901-75. évi átlag.

A legszárazabb kísérleti időszak a 2011/2012-es tenyészidőszak volt. A téli félévben 107 mm-rel, a tenyészidőszakban pedig 135 mm-rel hullott kevesebb csapadék, mint a sokévi átlag. Az átlaghőmérséklet a téli félévben 1,6 °C-kal, tenyészidőszakban 2,9 °C-kal volt magasabb, mint az 1901-1975. évi átlag. A kedvezőtlen időjárási viszonyokat az őszi árpa jól tolerálta, fejlődését nem hátráltatta.

2013. évben hullott csapadék mennyisége a sokévi átlagnak megfelelően alakult, azonban eloszlása egyenetlen volt. A téli félévben az átlag hőmérséklet (3,6 °C) a sokévi átlagnak megfelelően alakult, a lehullott csapadék mennyisége 98 mm-rel volt több a megszokottnál. A bokrosodás végén (március) hullott, nagy mennyiségű csapadék (99 mm) miatt hiúsult meg az őszi árpa bokrosodáskori tápelemtartalmának meghatározásához a mintavétel. A tenyészidőszakban 497 mm csapadék hullott a 362 mm helyett, az átlaghőmérséklet alakulása a sokévi átlagtól csak kismértékben tért el.

8. táblázat. A kísérleti hely időjárásának adatai a vizsgált időszak alatt (Szarvas, 2010-2013)

Év	Csapadék (mm)			Átlag hőmérséklet (°C)		
	Téli félév (X-III.)	Tenyészidő (X-VI.)	Évi	Téli félév (X-III.)	Tenyészidő (X-VI.)	Évi
1901-1975	225	362	538	3,4	7,5	10,6
2010	-	-	888	-	-	11,0
2010/2011	282	435	373	3,6	8,2	11,6
2011/2012	118	227	363	5,0	10,4	12,4
2012/2013	323	497	528	3,8	8,0	11,4

3.5 A kísérlet agrotechnikája, mintavételezések, vizsgálatok

2010. év

Tarlóhántás 2010. augusztus elején, majd szeptember elején ismét tarlóhántás és lazítás történt a területen. Talajmintákat október 11-én vettük, az alapműtrágya kiszórása október 12-én történt. A Dividend M-mel csávázott őszi árpa vetőmagot 2010. október 14-én vetettük el, 12 cm-es sortávolságra, 5 cm-es vetésmélységben, 5 millió csíra/ha vetőmagnormával. Az állomány teljes kikélete november 15-én következett be.

Az őszi árpa SPAD-értéket a bokrosodás fenofázisában kétszer mértük, bokrosodás kezdetén és bokrosodás végén 16 kezelésből, a K₁-es főparcella elsőrendű alparcelláiból (P₀, P₁, P₂, P₃), illetve másodrendű alparcelláiból (N₀, N₁, N₂, N₃):

K ₁ P ₀ N ₀	K ₁ P ₁ N ₀	K ₁ P ₂ N ₀	K ₁ P ₃ N ₀
K ₁ P ₀ N ₁	K ₁ P ₁ N ₁	K ₁ P ₂ N ₁	K ₁ P ₃ N ₁
K ₁ P ₀ N ₂	K ₁ P ₁ N ₂	K ₁ P ₂ N ₂	K ₁ P ₃ N ₂
K ₁ P ₀ N ₃	K ₁ P ₁ N ₃	K ₁ P ₂ N ₃	K ₁ P ₃ N ₃

A SPAD-értéket 1 db árpalevélen két helyen (levélközép, levélvég) mértük, parcellánként 30 db levélen, 2010. november 24-én és 2011. március 24-én.

A N-fejtrágya kiszórása előtt talajmintavételt végeztünk a talajréteg ásványi-N tartalmának meghatározásához (0-60 cm) a vizsgált parcellákból.

Az őszi árpa tápelemtartalmának meghatározásához a N-fejtrágyázás előtt (2011. március 24-én), bokrosodáskor (Feekes skála 4-5), parcellánként 2x1 folyóméterről növénymintát gyűjtöttünk a K₁-es főparcella elsőrendű alparcelláiból (P₀, P₁, P₂, P₃), illetve másodrendű alparcelláiból (N₀, N₁, N₂, N₃). A teljes földfeletti növényi részek szárított és ledarált mintáiból 2 kísérleti évben (2011-2012) vizsgáltuk a következő tápelemeket: N, P, K, Na, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, B és Mo. A tápelemtartalom meghatározását a minták salétromsavas, majd hidrogén-peroxidos roncsolása után ICP-OES módszerrel lett elvégezve. A tápelemtartalom vizsgálati adatok szárazanyagra vonatkoznak.

A tápelemek vizsgálati módszerei:

- N: MSZ-08-1783-6:1983 3.1.
- P: MSZ-08-1783-28:1985
- K: MSZ-08-1783-29:1985
- Ca: MSZ-08-1783-26:1985
- Mg: MSZ-08-1783-27:1985
- Na: MSZ-08-1783-30:1985
- Mn: MSZ-08-1783-32:1985
- Zn: MSZ-08-1783-33:1985
- Cu: MSZ-08-1783-34:1985
- B: MSZ-08-1783-36:1985
- Mo: MSZ-08-1783-35:1985.

A N-fejtrágyázást 2011. március 31-én végeztük. A kísérletben nem volt szükség növényvédő szeres kezelésre.

Az őszi árpa betakarítását megelőzően a termésjellemzők meghatározásához a K₁-es főparcella elsőrendű alparcelláiból (P₀, P₁, P₂, P₃), illetve másodrendű alparcelláiból (N₀, N₁, N₂, N₃) 2x1 folyóméterről növényi mintát gyűjtöttünk. Az őszi árpa termését parcellakombájnnal takarítottuk be 2011. június 25-27-én, a termést parcellánként mértük és a terméshozamot légszáraz nedvességben (13%) t/ha értékre számoltuk át.

A szalmahosszt kalász nélkül, a kalázhosszt pedig a kalászcsúcsig mértük.

Az ezerszemtömeg meghatározását az Intézet laboratóriumában végeztük Pfeuffer Contador magszámlálóval, a magyar szabványnak megfelelően (MSZ 6367-4).

A hektolitertömeg meghatározását ¼ literes gabonaminőségi mérleggel végeztük (MSZ 6367-4).

Az őszi árpa szemtermés tápelem tartalom meghatározásához a K₁-es főparcella elsőrendű alparcelláiból (P₀, P₁, P₂, P₃), illetve másodrendű alparcelláiból (N₀, N₁, N₂, N₃). 100 g mintát vettünk. A tápelem tartalom meghatározását a Bálint Analitika Mérnöki Kutató és Szolgáltató Kft. végezte a magyar szabványnak megfelelően.

- N: MSZ-08-1783-6:1983 3.1.
- P: MSZ-08-1783-28:1985
- K: MSZ-08-1783-29:1985
- Ca: MSZ-08-1783-26:1985
- Mg: MSZ-08-1783-27:1985
- Na: MSZ-08-1783-30:1985
- Mn: MSZ-08-1783-32:1985
- Zn: MSZ-08-1783-33:1985
- Cu: MSZ-08-1783-34:1985
- B: MSZ-08-1783-36:1985
- Mo: MSZ-08-1783-35:1985.

A következő vizsgálati években (2011. és 2012. év) csak 2010. évtől eltérő időpontok, kezelések kerülnek bemutatásra.

2011. év

A talajmunkák elvégzése után a talajmintavétel október 21-én és 22-én történt, majd következett az alaptrágyák kiszórása. A vetésre kissé megkésve, 2011. november 3-án került sor. A bokrosodás kezdeti SPAD-érték mérést 2011. december 3-án végeztük, míg a bokrosodás végi mérést 2012. március 17-én. A N-fejtrágyázás előtt a kijelölt parcellákból az ásványi-N tartalom meghatározásához talajmintát vettünk (0-60 cm), majd a fejtrágyát március 20.-án szórtuk ki.

A vetésfehérítő bogár lárvája okozta súlyos kártétele miatt növényvédő szeres kezelést végeztünk Decis Mega (0,15 l/ha) növényvédő szerrel, 2012. május 28-án.

A termésjellemzők mintavétele 2012. június 26-án, a betakarítás pedig június 27-29-én volt.

2012. év

A talajmunkák elvégzése után a talajmintavétel 2012. szeptember 27-én, október 10-én kijuttattuk az alaptrágyákat, a vetés pedig október 12-én történt. A bokrosodáskori SPAD-érték mérést november 30-án végeztük, míg a bokrosodás végi mérést 2013. március 13-án.

A csapadékos időjárás miatt a terület vízborítottsága miatt bokrosodáskori tápelem tartalom meghatározásához mintavételre nem került sor. A 0-60 cm-es talajréteg ásványi-N tartalmának meghatározásához szükséges talajmintákat fejtrágyázás előtt vettük meg (2012. április 10.).

A termésjellemzők meghatározásához szükséges mintavételt betakarítás előtt vettük meg. Az őszi árpa betakarítása 2013. július 9-10-én végeztük el.

3.6 Statisztikai értékelés

A bokrosodáskori tápelem koncentráció elemzését, a szemtermés ásványi anyag tartalom vizsgálatát és a tápelem arányok értékelését egytényezős varianciaanalízissel az IBM SPSS statisztikai program 20-as verziójával végeztük.

A SPAD-érték, szalma-, kalászhossz, terméskomponensek valamint hektolitertömeg elemzését kéttényezős, míg a szemtermés mennyiség elemzését háromtényezős varianciaanalízissel végeztük az IBM SPSS statisztikai program 20-as verziójával.

A kezelések közötti különbségek igazolására t-próbát alkalmaztam. A kezeléscsoportok közötti legkisebb szignifikáns differencia (SzD) számítása 5%-os valószínűségi szinten, F-próbával történt. A SPAD-érték és a hozam közötti összefüggés értékelését Sváb (1981) regresszióanalízis módszerével végeztük.

4 EREDMÉNYEK

4.1 A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás kezdetén

Az őszi árpa N-tápláltságát jellemző relatív klorofill tartalmat, a SPAD-értéket először a bokrosodás kezdeti fenofázisában mértük 2010 és 2012 között, a művelt talajréteg 118-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsági tartományában K₁-ellátottsági szinten. A vizsgálati évek alatt a talaj AL-K₂O tartalma K₁-kezelés szinten azonos, 320 és 324 mg/kg volt.

2010 ősz

2010 őszén a talaj 0-30 cm-es rétegének AL-P₂O₅-tartalma P-műtrágyázás nélkül (P₀) 133 mg/kg volt, míg a NO₃-N-tartalom a N-trágyázás előtt az N₀-N₁-N₂-N₃ kezelésekben jelentősen nem különbözött, mennyiségük 22-21-20-42 kg/ha volt (6. táblázat).

2010 őszén N-trágyázás nélkül (N₀) a P-kezelések átlagában 37,6 volt az árpa relatív klorofill tartalma (9. táblázat).

9. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás kezdetén (Szarvas, 2010)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	38,0	38,5	37,5	36,4	37,6	
N ₁	40,8	41,1	41,2	40,8	41,0	1,0
N ₂	41,8	41,4	41,4	41,2	41,4	
N ₃	42,2	42,7	42,1	39,2	41,7	
Átlag	40,7	40,9	40,5	39,4	40,4	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS		-	-	

A mért SPAD-értékek alakulása szerint a kontrollhoz képest (N₀) a N-alaptrágyázás 40-80-120 kg/ha-os adagja (N₁-N₂-N₃) a SPAD-értéket szignifikánsan 41,0-41,7 közötti értékre növelte, azonban a N-kezelések között klorofill tartalomban érdemi különbség nem volt kimutatható a P-kezelések átlagában. Ez érthető, mert a bokrosodás kezdetén a teljes földfeletti biomasza tömege csak 180-220 kg/ha szárazanyag. E fejlődési fázisban a növénybe épült N mennyiség 8-10 kg/ha, melyet a 40 kg/ha-os N-adag is bőségesen kielégít.

2010 őszén P-műtrágyázás nélkül (P₀) a 0-30 cm-es talajrétegben 133 mg/kg AL-P₂O₅-tartalmat mértünk, amely – a N-kezelések átlagában – 40,7 SPAD-értéket eredményezett. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-trágyázás (P₁-kezelés) hatására, ahol a talaj AL-P₂O₅-készlete 206 mg/kg volt, a SPAD-érték (40,9) lényegében nem változott. A P₂-kezelésben a talaj 194 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottságánál a relatív klorofill tartalom a érdemben nem változott a P₁-kezeléshez képest. A P₃-kezelés esetén mértük a legalacsonyabb SPAD-értéket (39,4), amikor a talaj AL-P₂O₅-tartalma 251 mg/kg volt. Az őszi árpa levél SPAD-értékét 2010 őszén, a bokrosodás kezdetén a talaj 133-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága szignifikánsan nem befolyásolta.

2011 ősz

A N-trágyázás előtt 2011 őszén a talaj 0-30 cm-es rétegének NO₃-N-tartalma az N₀-N₁-N₂-N₃ kezelésekben csekély mértékben tért el, mennyiségük 46-56-50-52 kg/ha volt (6. táblázat).

E száraz őszi időszakban az őszi árpa levél SPAD-értéke N-trágyázás nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – kisebb, 34,2 volt, mint az előző év azonos fejlődési fázisában (10. táblázat).

10. táblázat. A N-és P-ellátottsága hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás kezdetén (Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	37,6	33,6	34,2	31,6	34,2	
N ₁	39,8	37,3	38,3	40,1	38,9	1,8
N ₂	38,1	39,6	38,2	40,5	39,1	
N ₃	39,2	40,1	37,9	40,2	39,3	
Átlag	38,7	37,7	37,1	38,1	37,9	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

A N-alaptrágyázás az előző évhez hasonló hatást mutatott. Nevezetesen a 40 kg/ha-os N-adag (N₁) a SPAD-értéket szignifikánsan 38,9 értékre növelte, – a P-kezelések átlagában –, azonban a magasabb dózsisú N-kezelések (80, 120 kg/ha) a klorofill tartalomban lényeges különbséget már nem eredményeztek.

Hasonlóan az előző évhez a talaj 118-233 mg/kg AL-P₂O₅ intervallumában a P-ellátottság az őszi árpa levél SPAD-értéket statisztikailag igazolhatóan nem módosította. A kontroll parcellán (P₀) 2011 őszén a talaj természetes P-szolgáltatása esetén 118 mg/kg volt a talaj AL-P₂O₅-tartalma, amely a legmagasabb (38,7) SPAD-érték elérését jelentette az őszi árpa bokrosodása kezdetén a N-kezelések átlagában. P₁-kezelés esetén 224 mg/kg-ra emelkedett a talaj AL-P₂O₅-tartalma, az árpa klorofill értéke pedig 37,7-re csökkent. A P₂-kezelés szintjén, 186 mg/kg talaj AL-P₂O₅-ellátottságnál, a legalacsonyabb (37,1) volt a klorofill tartalom értéke. A 0-30 cm-es talajréteg 233 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma (P₃) 38,1 SPAD-értéket eredményezett. Hasonlóan az előző évhez a talaj 118-233 mg/kg AL-P₂O₅ intervallumában a P-ellátottság az őszi árpa levél SPAD-értéket statisztikailag igazolhatóan nem módosította.

2012 ősz

A korábbi vizsgálati évektől eltérően magasabb SPAD-értékeket mértünk 2012 őszén, ami azonban meglehetősen szűkebb értéktartományban (46,0-48,4) alakult (11. táblázat).

2012 őszén N-trágyázás nélkül (N₀) a művelt talajréteg 21 kg/ha NO₃⁻-N-ellátottsága 46,7 SPAD-érték elérését eredményezte a P-kezelések átlagában. Azonban a 40-80-120 kg/ha-os N-trágyázás megbízható mértékben nem befolyásolta a SPAD-érték (47,0-47,5) alakulását a kontrollhoz képest. A N-hatás elmaradása alapvetően azzal indokolható, hogy az őszi fejlődési fázis kezdetén a csapadékosabb időjárás a talaj N-szolgáltatását kedvezően befolyásolta, és N-trágyázás nélkül is kielégítette az árpa e fejlődési fázisának csekély N-igényét.

A legcsapadékosabb vizsgálati évben (2012/2013) P-műtrágyázás nélkül (P₀) a talaj 124 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága – a N-kezelések átlagában – 46,9 SPAD-értéket eredményezett. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-trágya (P₁) eredményezte a legmagasabb klorofill mennyiséget (47,9), amikor a talaj AL-P₂O₅-ellátottsága 242 mg/kg volt. A P₂- és P₃-ellátottságoknál (192, 244 mg/kg AL-P₂O₅) a SPAD-érték a kontroll szintjén alakult. A talaj P-készletének változása (124-244 mg/kg AL-P₂O₅) a korábbi évekhez hasonlóan megbízható mértékben nem befolyásolta az őszi árpa bokrosodás kezdetén mért SPAD-értékekét.

11. táblázat. A N- és P-ellátottsága hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás kezdetén (Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	46,0	47,7	46,3	47,0	46,7	NS
N ₁	47,1	47,7	46,6	46,4	47,0	
N ₂	47,1	47,9	47,6	47,4	47,5	
N ₃	47,6	48,4	46,9	47,2	47,5	
Átlag	46,9	47,9	46,9	47,0	47,2	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS		-	-	

A vizsgált évek eredményei szerint összefoglalóan megállapítható, hogy a jó N-szolgáltató képességű csernozjom réti talajon a megfelelő N-tápláltságot jellemző SPAD-érték 39-47 közötti, amit a 40 kg/ha-os N-alaptrágyázás biztosított. Ennél nagyobb adagú N-alaptrágyázás a SPAD-értéket szignifikánsan tovább nem növelte. Szignifikáns P-hatást egyik évben sem lehetett kimutatni az őszi árpa levél relatív klorofill tartalmában a bokrosodás kezdetén a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában.

A három vizsgálati évben többnyire az évi 100 kg/ha P-trágya (P₁) kijuttatása esetén mértük a legmagasabb SPAD-értékeket, a talaj 206-242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett. A P₂- és P₃-kezelések a maximális SPAD-értékekhez képest többnyire csökkentették az árpa klorofill értékét.

A vizsgált években a N- és P-trágyázás között kölcsönhatás nem alakult ki.

4.2 A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás végén

Minden kísérleti évben a tavaszi N-fejtrágyázás és a SPAD mérés előtt, vizsgáltuk a talaj 0-60 cm-es rétegének ásványi N-tartalmát (N_{min}), melynek adatait a 7. táblázat tartalmazza.

2011 tavasz

2011 tavaszán mért SPAD-értékek alakulását a 12. táblázatban láthatjuk. N-trágyázás nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – 40,6 SPAD-értéket mértünk tavasszal 102 kg/ha N_{min}-tartalom mellett. A kontrollhoz képest az árpa SPAD-értékét megbízható mértékben emelte a 40 kg/ha N-alaptrágyázás (N₁), 120 kg/ha N_{min}-tartalom mellett. A 80 kg N/ha alaptrágyázás (N₂) 43,2 klorofill értéket eredményezett, amikor a talaj ásványi N-tartalma közel megegyezett az N₁ kezelés szintjével. A talaj 158 kg/ha N_{min}-tartalma (120 kg N/ha alaptrágyázás, N₃) érdemben nem módosította az árpa bokrosodás végén mért SPAD-értékét.

12. táblázat. A N-és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás végén (Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	42,1	38,8	40,9	40,8	40,6	0,9
N ₁	41,3	41,1	42,5	41,8	41,7	
N ₂	42,4	41,1	45,3	44,2	43,2	
N ₃	43,9	41,7	44,1	43,8	43,4	
Átlag	42,4	40,7	43,2	42,6	42,2	NS
SzD _{5%} bármely két kez.			NS		-	-

A talaj művelt rétegének 133-251 mg/kg AL-P₂O₅ tartományában a P-ellátottság – a N-kezelések átlagában – az őszi árpa levelének relatív klorofill tartalmát a bokrosodás végén szignifikánsan nem befolyásolta.

A N X P interakció nem alakult ki.

2012 tavasz

2012 tavaszán N-trágyázás nélkül – a P-kezelések átlagában – 40,2 volt az őszi árpa bokrosodás végén mért klorofill tartalma, amikor tavasszal a talajban 98 kg/ha volt az ásványi N-tartalom (13. táblázat). Az kontrollhoz képest megbízható mértékű SPAD-érték növekedést N₂-ellátásig (40, 80 kg N/ha alaptrágyázás) tapasztaltunk (49,9), a talaj N_{min}-tartalmának (108 kg/ha) jelentős különbsége nélkül. A maximális N-ellátás (120 kg N/ha, N₃) további SPAD-érték változást nem okozott.

A korábbi évhez hasonlóan a talaj P-készletének változása (118-233 mg/kg AL-P₂O₅) megbízható mértékben nem alakította a SPAD-érték alakulását, illetve N X P kölcsönhatás sem jelentkezett.

13. táblázat. A N-és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás végén (Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	41,1	39,1	39,3	41,5	40,2	1,6
N ₁	47,5	46,8	46,1	47,4	46,9	
N ₂	49,9	50,4	49,6	49,9	49,9	
N ₃	49,9	49,7	49,8	50,3	49,9	
Átlag	47,1	46,5	46,2	47,3	46,7	NS
SzD _{5%} bármely két kez.			NS		-	-

2013 tavasz

2013 tavaszán N-kezelés nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – 47,5 volt az árpa SPAD-értéke, amikor tavasszal 124 kg/ha volt az ásványi N-tartalom a talaj 0-60 cm-es mélységében (14. táblázat). A kontrollhoz képest az N₁-kezelés (40 kg N/ha alaptrágyázás) szignifikáns mértékben 50,7-re emelte az árpa klorofill értékét 168

kg/ha N_{\min} -tartalom mellett. A 80, 120 kg N/ha alaptrágyázás (N_2 , N_3) az N_1 -kezeléshez képest további kismértékű (52,1; 52,8), de megbízható SPAD-érték növekedést eredményezett a talaj 162, 264 kg/ha N_{\min} készleténél.

Az elővő vizsgálati évekhez hasonlóan a talaj P-készletének változása (124-244 mg/kg AL- P_2O_5) megbízható mértékben nem alakította a SPAD-érték alakulását, illetve N X P kölcsönhatást sem nem tapasztaltunk.

14. táblázat. A N-és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire a bokrosodás végén (Szarvas, 2013)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	47,9	47,6	46,5	48,0	47,5	0,7
N ₁	49,9	51,5	50,1	51,2	50,7	
N ₂	51,5	51,8	52,7	52,3	52,1	
N ₃	52,9	52,7	52,7	52,6	52,8	
Átlag	50,5	50,9	50,5	51,0	50,7	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

Összefoglalóan megállapítható, hogy a 2,8-3,2% humusztartalmú, jó N-szolgáltató képességű talajon N-trágyázás nélkül kora tavasszal az őszi árpa bokrosodásának végén a talaj 0-60 rétegének N_{\min} készlete 98-124 kg/ha volt a három kísérleti év alatt. A 40 kg/ha N-alaptrágyázás (N_1) esetén, amikor a talaj N_{\min} tartalma 109-168 kg/ha volt az őszi árpa relatív klorofill tartalma jelentősen növekedett, a három év átlagában 46,4 SPAD-értékre. A 80 kg/ha N-trágyázás (N_2) csak kismértékű, de szignifikáns SPAD-érték emelkedést eredményezett (N_{\min} 108-162 kg/ha). A túlzott N-ellátás (120 kg N/ha, N_3) a levél relatív klorofill tartalmát érdemben nem befolyásolta.

A talaj P-készletének alakulása (118-251 mg/kg AL- P_2O_5) megbízható mértékben nem volt hatással a SPAD-érték alakulásra. A tendenciálisan legmagasabb klorofill értékeket többnyire a talaj 194-244 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma között mértük.

4.3 A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa tápelem-koncentrációjára bokrosodás végén

Az őszi árpa N-, P-, K-, Ca-, Mg-, Na-, Mn-, Zn-, Cu-, B- és Mo-tartalom változását 2011-ben és 2012-ben a bokrosodás időszakában a 3-13. ábrák alapján értékelhetjük. A tápelemtartalom vizsgálatokat K_1 kezelés szinten végeztük, ahol a talaj AL- K_2O tartalma azonos, 320 és 324 mg/kg volt a vizsgálati években. A N- és P-trágyázás kezelése között kölcsönhatást nem tapasztaltunk, így a N- és P-ellátottság tápelem-koncentrációra gyakorolt hatásánál csak a főhatások kerülnek értékelésre.

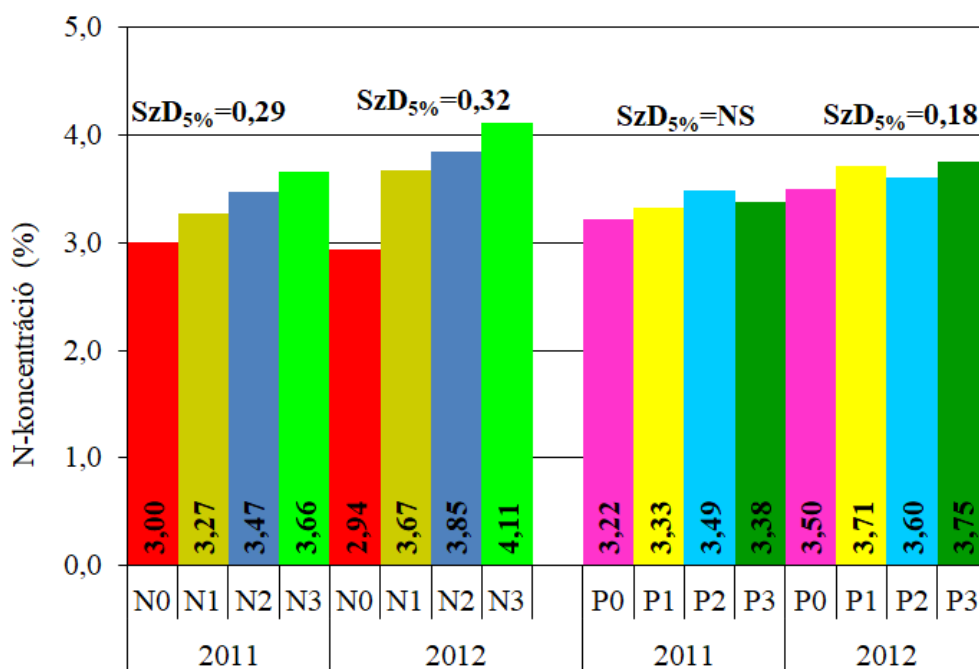
4.3.1 N-koncentráció

A N-ellátottság hatása

Az elővetemény betakarítása után 2010 őszén a talaj NO_3 -N-tartalma a 0-30 cm-es talajrétegben az N_0 , N_1 és N_2 kezeléseknél közel azonos, 20-22 kg/ha, míg az N_3 kezelésben 42 kg/ha volt. N-trágyázás nélkül (N_0) 2011 tavaszán az őszi árpa bokrosodáskori N-tartalma 3,00% volt (3. ábra). A 40 kg/ha N-alaptrágyázás (N_1) a N-koncentrációt szignifikánsan nem növelte az N_0 kezeléshez képest. Statisztikailag

igazolható N-koncentráció emelkedés 80 és 120 kg/ha N-alaptrágyázás (N₂ és N₃) hatására következett be, amikor az árpa N-tartalma 3,47%-ot és 3,66%-ot ért el (3. ábra). A bokrosodás időszakában tavasszal mért talaj ásványi N-tartalom értékek jó összefüggést mutatnak az őszi árpa N-tartalmával. N-trágyázás nélkül a talaj 0-60 cm-es rétegének N_{min} készlete 102 kg/ha, míg a legnagyobb 120 kg/ha-os N-adagnál 158 kg/ha volt, melyekhez 3,00% illetve 3,66% N-koncentráció társult.

A talaj NO₃-N-tartalma a 0-30 cm-es talajrétegben 2011 őszen lényeges különbséget nem mutatott a N-trágyázott kezelések között, értéke 46-56 kg/ha közé esett. 2012 tavaszán a 0-60 cm-es talajréteg ásványi N-tartalma is - a N-kezelésektől függően - kissé szűk (98-109 kg/ha) értéktartományban mozgott. A N-ellátottság hatását vizsgálva megállapítható, hogy N-trágyázás nélkül az árpa N-koncentrációja az előző évhez hasonlóan alakult, értéke 2,94% volt. Megbízható N-koncentráció növekedést idézett elő mindegyik N-alapkezelés (40, 80 és 120 kg/ha) a kontrollhoz képest, az árpa bokrosodáskori N-koncentrációja 3,67-4,11% között alakult. Az emelkedő N-dózisok (40, 80 kg/ha) tendenciális, míg a legmagasabb N-ellátás (120 kg/ha) megbízható mértékben emelte a koncentrációt 4,11%-ra.



3. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa N-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

2011 és 2012 tavaszán az árpa bokrosodásakor N-trágyázás nélkül (N₀) hasonló N-koncentrációkat mértünk, a talaj tavaszi közel azonos ásványi N-tartalma mellett. A legmagasabb N-koncentrációkat az N₃-kezelés (120 kg N/ha) alkalmazása eredményezte. Az őszi árpa bokrosodáskori N-koncentrációja jó összefüggést mutatott a N-trágyázás szintjével és a talaj N_{min} tartalmával.

A P-ellátottság hatása

2010 őszen a talaj művelt rétegének (0-30 cm) AL-P₂O₅-ellátottsága P- műtrágya kijuttatása nélkül (P₀) 133 mg/kg volt, mely ellátottság az egyes P-kezelések hatásra 194-251 mg/kg-ra emelkedett.

P-kezelés nélkül (P₀) az őszi árpa bokrosodáskori N-koncentrációja 3,22% volt (3. ábra). Az egyes P-kezelések matematikailag igazolható koncentráció különbséget nem eredményeztek ebben a tenyészévben, pusztán tendenciális koncentráció növekedést tapasztaltunk P₁- és P₂-kezelés esetén, a talaj 194-206 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága mellett, ahol a koncentráció értékek 3,33 és 3,49% voltak.

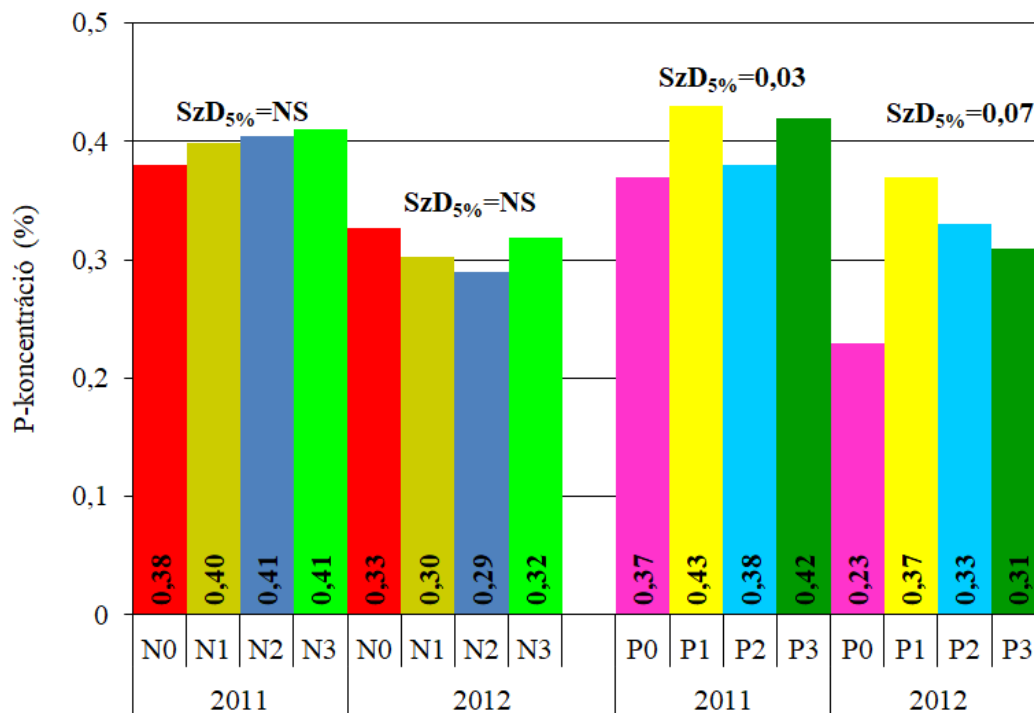
A talaj AL-P₂O₅-tartalma a talaj művelt rétegében 118 kg/ha volt P-trágyázás nélkül (P₀) 2011 őszén, amely ellátottság 3,50% N-koncentráció elérését eredményezte. A P₁-trágyázás (100 kg/ha/év) megbízható mértékben (3,71%) emelte az árpa bokrosodáskori N-koncentrációját a P₀-hoz képest, a talaj 224 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága mellett. A P₂- és P₃-kezelések (talaj AL-P₂O₅-tartalma 186 illetve 233 mg/kg) további szignifikáns N-koncentráció növekedést nem eredményeztek.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a 21 és 22 éve P-trágyázásban nem részesült kezeléshez képest, ahol a talaj művelt rétegének AL-P₂O₅-tartalma 133, 118 mg/kg volt, a jobb P-ellátottság – 186-251 mg/kg – az őszi árpa bokrosodáskori N-koncentrációját kismértékben, esetenként szignifikánsan növelte.

4.3.2 P-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2010/2011. évben a kontroll parcellán (N₀) 102 kg/ha ásványi N-tartalom tavasszal 0,38% P-koncentráció elérését jelentette. A kontrollhoz képest tendenciális P-koncentráció emelkedést N₂-alapkezelésig (80 kg/ha) tapasztaltunk, ahol a 0-60 cm-es talajréteg N_{min} tartalma 116 kg/ha volt, és a P-koncentráció értéke 0,41%. A maximális N₃-ellátás (240 kg/ha) az őszi árpa P-tartalmát nem módosította (4. ábra).



4. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa P-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

2011/2012. vizsgálati évben az egyes N-kezelések a talaj N_{\min} -készletét érdemben nem alakították (98-109 kg/ha). A kontroll parcellán (N_0) kaptuk a legmagasabb P-koncentrációt (0,33%), azonban a maximális 120 kg/ha N-alaptrágyázás (N_3) alkalmazása is megegyező koncentrációt eredményezett. A maximális P-tartalomhoz képest az N_1 - és N_2 -alapkezelések (40 és 80 kg/ha) tendenciális mértékben csökkentették az árpa bokrosodáskori P-koncentrációját.

A két vizsgálati év alapján megállapítható, hogy a N-trágyázás az őszi árpa bokrosodása végén kialakult P-koncentrációját szignifikánsan nem befolyásolta, az évjárat nagyobb mértékben befolyásolta a P-koncentrációt, mint a N-ellátottság.

A P-ellátottság hatása

2010/2011. tenyészévben a kontroll parcella (P_0) és P_2 -kezelés alkalmazása közel azonos P-mennyiség elérését jelentette (0,37-0,38%), a talaj 133 illetve 194 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett. A talaj 206 mg/kg AL- P_2O_5 ellátottsága (P_1) megbízható mértékben emelte maximális szintre (0,43%) az árpa bokrosodáskori P-koncentrációját, amit már nem módosított a talaj 251 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma (P_3) (4. ábra).

2011/2012 tenyészévben a kontroll parcellán (P_0) - 118 mg/kg AL- P_2O_5 ellátottság mellett - alacsonyabb P-koncentrációt mértünk (0,23%) a korábbi vizsgálati évhez képest (9.ábra). A P-mennyiségét a 100 kg/ha/ év P-műtrágyázás (P_1) alkalmazása szignifikáns mértékben emelte és maximalizálta 224 mg/kg AL- P_2O_5 talajellátottság mellett, a koncentráció értéke 0,37% volt. A P_2 - és P_3 -kezelések a maximumhoz képest megbízhatóan nem befolyásolták a P-koncentrációt, a talaj 186 illetve 233 mg/kg AL- P_2O_5 ellátottsága szintjén.

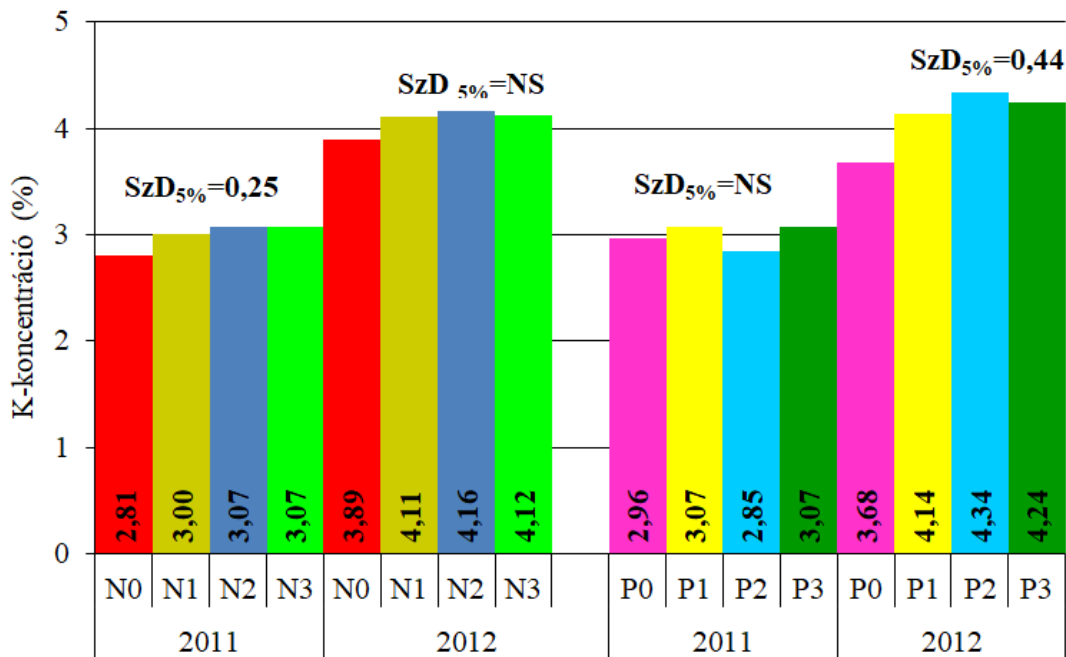
A két vizsgálati év eredményei szerint megállapítható, hogy a 118, 133 mg/kg AL- P_2O_5 ellátottsági szinthez (P_0) képest az évente kijuttatott 100 kg/ha P-trágya (P_1) megbízható mértékben emelte P-koncentrációt a talaj 206 és 224 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma esetén. A talaj 186-251 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottságánál (P_2 és P_3) P-koncentráció hasonlóképpen alakult (4. ábra).

4.3.3 K-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A N-ellátás hatását az őszi árpa K-koncentrációjára a bokrosodás végén a 5. ábra mutatja.

N-műtrágyázás nélkül (N_0) a legalacsonyabb (2,81%) bokrosodáskori K-koncentráció mértük, amikor 2011 tavaszán a 0-60 cm-es talajrétegben 102 kg/ha volt az ásványi N-tartalom. A kontrollhoz képest a legalacsonyabb N_1 -alapkezelés (40 kg/ha) tendenciális jelleggel, míg az N_2 -alapkezelés (80 kg/ha) szignifikáns mértékben emelte és maximalizálta az árpa K-tartalmát (3,07%) a talaj 116 kg/ha N_{\min} -tartalma esetén. A legmagasabb N_3 -ellátás (120 kg/ha) nem változtatta a maximális K-koncentráció értékét, amikor tavasszal az ásványi N-tartalom 158 kg/ha volt a talajban.



5. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa K-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

A következő vizsgálati évünkben (2011/2012) az egyes N-kezelések a talaj ásványi N-készletét érdemben nem módosították, illetve megbízható koncentráció változást sem okoztak. A legalacsonyabb K-koncentrációt az előző évhez hasonlóan a N-műtrágyázás nélküli (N₀) parcellán mértük (3,89%), az N_{min}-tartalom tavasszal 98 kg/ha volt. A kontrollhoz képest az emelkedő N-dózisok a K-koncentráció mennyiségét N₂-dózisig (80 kg/ha) emelték, mely ellátottság 4,16% koncentrációt eredményezett. Hasonlóan alakult a K-koncentráció (4,12%) az N₃-ellátás (120 kg/ha) szintjén.

A 2011. és 2012. év tavaszán az árpa bokrosodása végén vett mintában nem tapasztaltuk a N és K közötti antagonizmust. A legmagasabb K-koncentrációt az N₂-kezelés (80 kg/ha) eredményezte, 108-116 kg/ha N_{min}-tartalom mellett, míg az N₃-trágyázás a K-koncentráció alakulását érdemben nem módosította.

A P-ellátottság hatása

A P-kezelések 2010/2011. vizsgálati évben az árpa bokrosodáskori K-koncentrációját érdemben nem befolyásolták. P-műtrágyázás nélkül (P₀) 133 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottság 2,96% koncentráció elérését jelentette. A legalacsonyabb K-koncentrációt (2,85%) a talaj 194 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett mértük (P₂), míg a talaj 206 mg/kg AL-P₂O₅ készlete (P₁) a legmagasabb a K-koncentrációt eredményezte (3,07%), amely nem módosult a talaj 251 mg/kg AL-P₂O₅ tartalma (P₃) hatására (5. ábra).

2011/2012. vizsgálati évben a kontroll parcella (P₀) esetében a talaj 118 mg/kg AL-P₂O₅ tartalma 3,68% K-koncentráció elérését eredményezte. Az alkalmazott P-kezelések (P₁, P₂, P₃) megbízhatóan emelték a K-koncentrációt kontrollhoz képest, azonban az egyes P-kezelések között nem jelentkezett matematikailag igazolható különbség. A talaj 186 mg/kg AL-P₂O₅ tartalma maximalizálta a K-koncentrációt, mely ellátottság 4,34%-ot jelentett (5. ábra).

Az árpa K-koncentrációja eltérően alakult a két vizsgálati évben. A 2010/2011. évben a talaj AL-P₂O₅-készletének változása kevésbé volt hatással a K-koncentráció

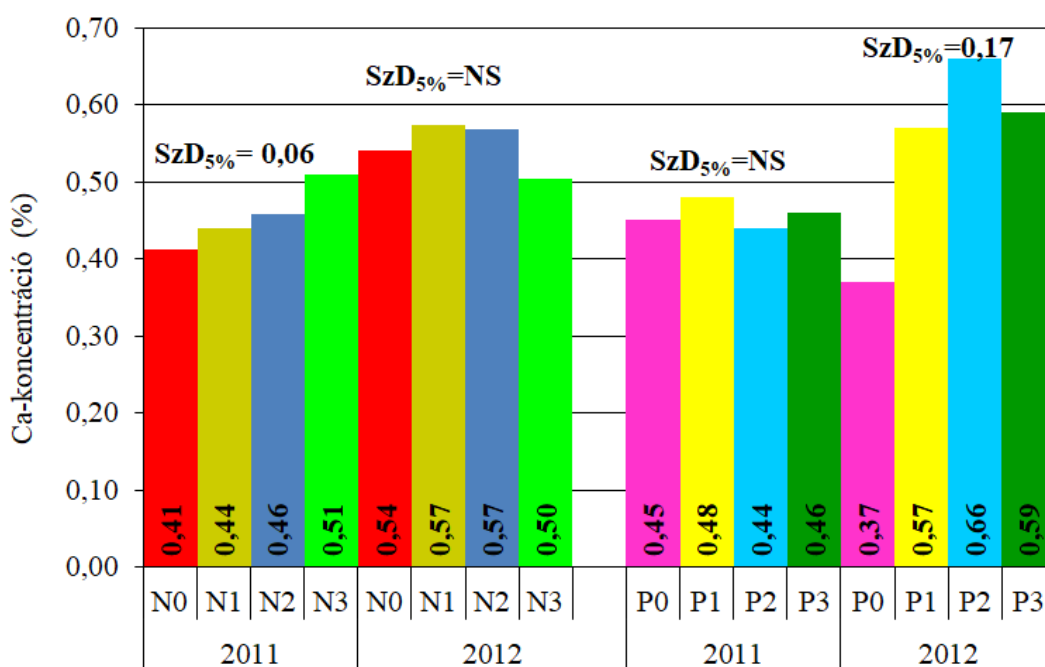
alakulására, a legmagasabb értéket a 100 kg/ha/év P-kezelés (P₁) eredményezte a művelt talajréteg 206 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett. A 2011/2012. évben magasabb K-koncentrációkat mértünk és a jobb P-ellátottság (186-233 mg/kg AL-P₂O₅) szignifikánsan növelte az árpa K-tápláltságát.

4.3.4 Ca-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011 tavaszán a 0-60 cm-es talajréteg 102 kg/ha N_{min}-tartalma N-trágyázás nélkül (N₀) 0,41% koncentrációt eredményezett (6. ábra). A kontrollhoz képest a N₁ és N₂-ellátás (40 és 80 kg/ha) csak tendenciális mértékű, míg a legmagasabb N₃-ellátás (120 kg/ha) megbízható koncentráció növekedést eredményezett, a Ca-koncentráció értéke 0,51% és a talaj N_{min}-tartalma pedig 158 kg/ha volt.

A 2011/2012. vizsgálati évben a legalacsonyabb Ca-koncentrációt az előző vizsgálati évvel ellentétben a legmagasabb 120 kg/ha N-alaptrágyázás (N₃) jelentette, a 104 kg/ha N_{min}-tartalom mellett, a koncentráció értéke 0,50% volt. A N-ellátottság azonban az árpa Ca-koncentrációját szignifikánsan nem befolyásolta.



6. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Ca-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

A P-ellátottság hatása

2010 őszén P-kezelés nélkül (P₀) a talaj művelt rétegében 133 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottság 0,45% bokrosodáskori Ca-koncentrációt jelentett, amely nem módosult a talaj 194 és 251 mg/kg (P₂, P₃) AL-P₂O₅ készleténél (6. ábra). Az évente 100 kg/ha P-trágya (P₁) alkalmazása 206 mg/kg AL-P₂O₅ tartalmat jelentett a művelt talajrétegben, mely ellátás a legmagasabb Ca-koncentrációt jelentette (0,48%).

A 2011/2012. kísérleti évben azokon a parcellákon, ahol 22 éve nem végeztek P-trágyázást 118 mg/kg volt a 0-30 cm-es talajréteg AL-P₂O₅-ellátottsága, amely 0,37% Ca-koncentráció elérését eredményezte. A kontrollhoz képest az évente kijuttatott 100 kg/ha P-műtrágya (P₁) 224 mg/kg-ra emelte a talaj AL-P₂O₅-készletét,

megbízható Ca-koncentráció növekedést eredményezve (0,57%), melyet a P₃-kezelés már érdemben nem változtatott a talaj 233 mg/kg AL-P₂O₅ -készlete mellett. Maximális koncentrációt (0,66%) a P₂-kezelés jelentette a művelt talajréteg 186 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága mellett.

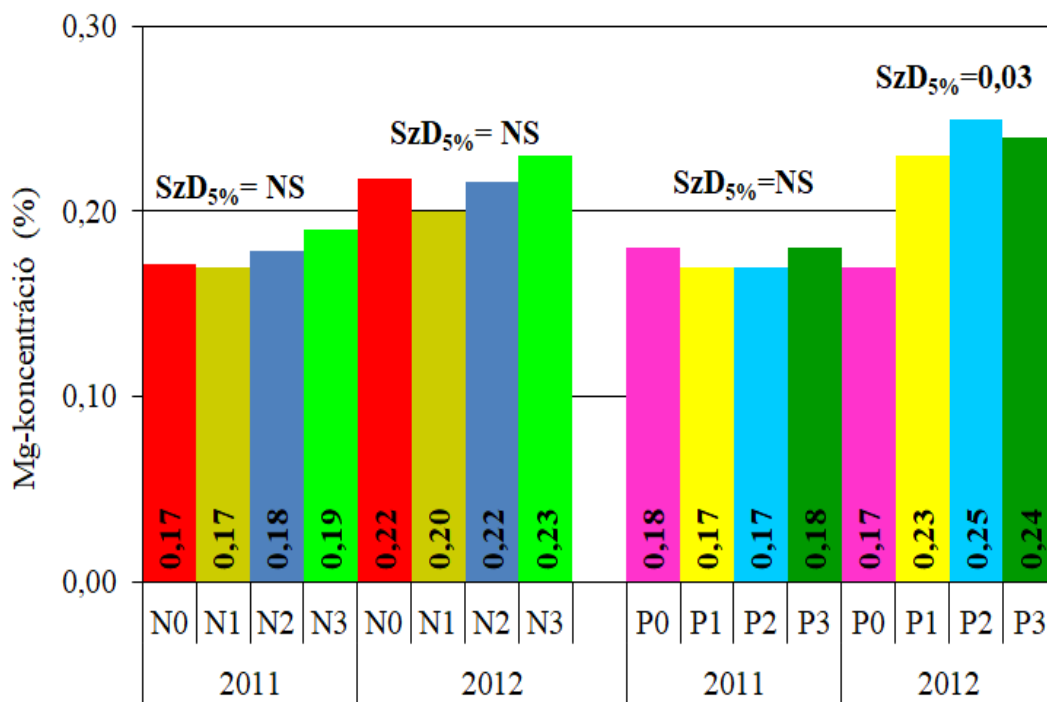
A talaj P-készletének alakulása az árpa bokrosodáskori Ca-koncentrációját kevésbé változtatta, a legmagasabb értéket 2011-ben 206 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság (P₁-kezelés) mellett kaptuk. 2012-ben a legmagasabb Ca-koncentráció értéket a talaj 186 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma (P₂) eredményezte.

4.3.5 Mg-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A 2010/2011. vizsgálati évben az őszi árpa bokrosodáskori Mg-koncentrációjára a N-trágyázás megbízható koncentráció változást nem eredményezett, a koncentrációk szűk értéktartományban alakultak (0,17-0,19%) (7. ábra). A kontroll és N₁-kezelés esetében 0,17% volt a Mg-koncentráció, az ásványi N-tartalom minimális mértékű különbsége mellett. Az N₂-kezelés (80 kg/ha) alkalmazása 0,18%-ra emelte az árpa Mg-koncentrációját, amely a legnagyobb 120 kg/ha N-dózis (N₃-kezelés) alkalmazása után érte el a maximális értékét (0,19%), ahol tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében az ásványi-N mennyisége 158 kg/ha volt.

A következő vizsgálati évünkben (2011/2012) a Mg-koncentrációk magasabbak (0,20-0,22%) voltak, de az előző évhez hasonlóan, csak tendenciális koncentráció növekedés alakult ki. A kontroll parcella (N₀) esetében 2012 tavaszán 98 kg/ha volt a talaj 0-60 cm-es rétegének N_{min}-tartalma, ami 0,22% Mg-koncentráció elérését eredményezte, amely kissé mérsékelődött az N₁- és N₂-kezelés esetén. Az előző évhez hasonlóan a legmagasabb koncentrációt N₃-kezelés eredményezte, a Mg-koncentráció értéke 0,23% volt.



7. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Mg-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

A két kísérleti év eredményei szerint a N-alaptrágyázás (40-80-120 kg/ha) az őszi árpa bokrosodás végén mért Mg-tartalmát szignifikánsan nem befolyásolta. Mindkét vizsgálati évben a legmagasabb Mg-koncentrációt a legmagasabb N-ellátás (N₃) eredményezte, 104 és 158 kg/ha N_{min}-tartalom mellett.

A P-ellátottság hatása

2010 őszén a művelt talajréteg AL-P₂O₅-készlete P-kezelés nélkül (P₀) 133 mg/kg volt, ami a legmagasabb bokrosodáskori Mg-koncentráció (0,18%) elérését eredményezte. Ennél magasabb P-ellátottság (194-251 mg/kg AL-P₂O₅) az árpa Mg-koncentrációjában érdemi változást nem okozott (7. ábra).

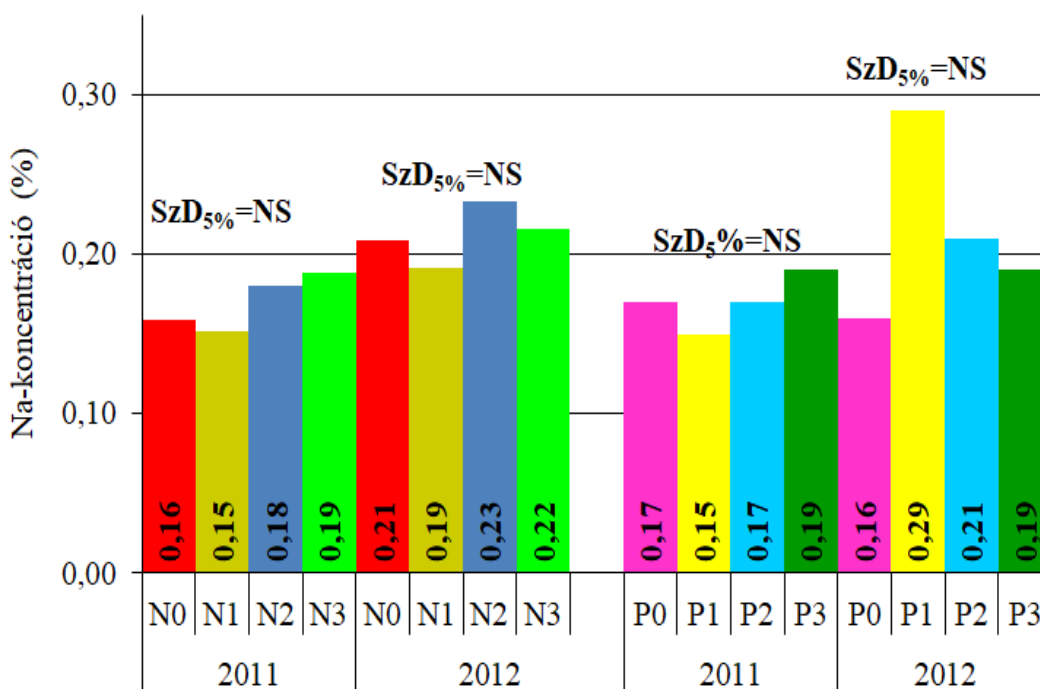
A P-ellátottság hatását vizsgálva megállapítható, hogy P-trágyázás nélkül (P₀) 2011 őszén a 0-30 cm-es talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma esetén az árpa Mg-koncentrációja az előző évhez hasonlóan alakult, a Mg-koncentráció értéke 0,17% volt. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-műtrágyázás (P₁) esetén a művelt talajréteg 224 mg/kg AL-P₂O₅-készlete megbízható Mg-koncentráció gyarapodást eredményezett (0,23%). Hasonló mértékű szignifikáns Mg-koncentráció növekedés volt kimutatható P₂ és P₃ ellátottsági (186, 233 mg/kg AL-P₂O₅) szinten.

A két vizsgálati évben a talaj kezelésenkénti P-ellátottsága közel azonos volt, de csak az egyik évben (2011/2012) eredményezett a jobb P-ellátottság magasabb Mg-koncentrációt az őszi árpa bokrosodásakor.

4.3.6 Na-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A műtrágyázási tartamkísérlet 21. évében, N-trágyázás nélkül (N₀) a tavasszal mért ásványi N-tartalom (102 kg/ha) 0,16% Na-koncentrációt eredményezett, melyet a jobb N-ellátottság (40, 80, 120 kg N/ha) szignifikánsan nem módosított (8. ábra).



8. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Na-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

2012 tavaszán N-műtrágyázás nélkül (N_0) 0,21% Na-koncentrációt mértünk 98 kg/ha ásványi N-tartalom mellett. Hasonlóan az előző év eredményéhez a N-ellátottság ebben az évben sem befolyásolta az árpa bokrosodáskori Na-koncentrációját.

A P-ellátottság hatása

P-trágyázás nélkül (P_0) és P_2 -kezelés szintjén (133 és 194 mg/kg AL- P_2O_5) egyaránt 0,17% volt az árpa Na-koncentrációja 2011 tavaszán, melyet a magasabb P-ellátottság sem módosított megbízhatóan (8. ábra).

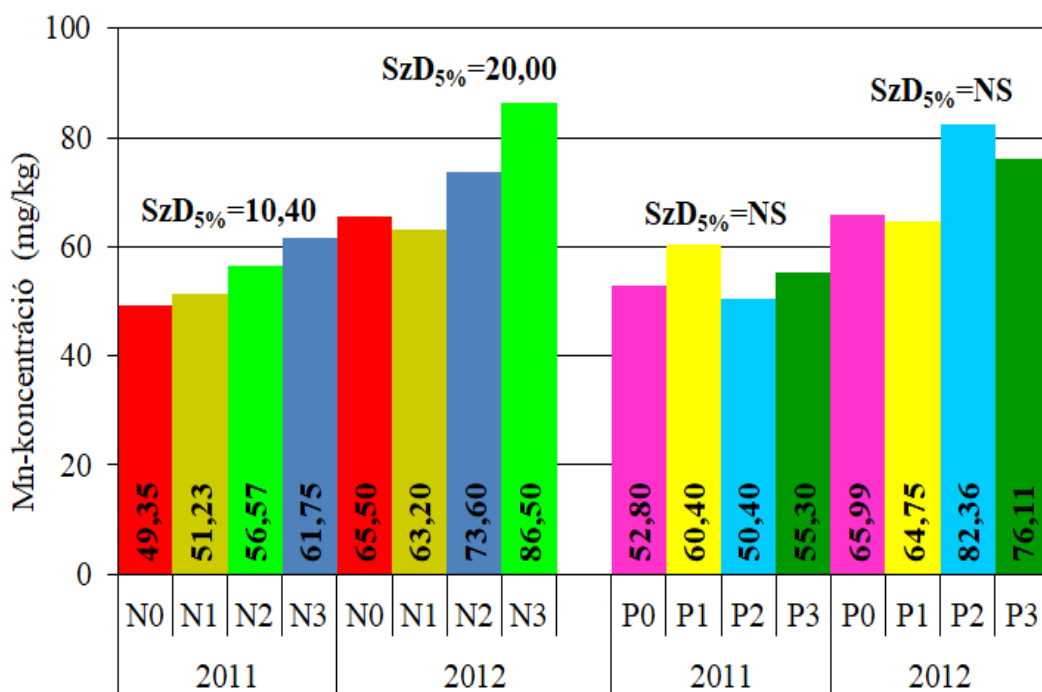
2012 tavaszán P-kezelés nélkül (P_0) mértük - az előző évhez hasonlóan - a legalacsonyabb koncentráció értéket (0,16%), amikor 2011 őszén az AL- P_2O_5 -tartalom a talajban 118 mg/kg volt. A korábbi évvel ellentétben a P_1 -kezelés eredményezte a legmagasabb Na-koncentrációt (0,29%) a 0-30 cm-es talajréteg 224 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett, amely a P_2 - és P_3 -kezelések hatására tendenciális jelleggel csökkent a talaj 186 és 233 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma esetén.

A két vizsgálati évben a talaj P-készlete eltérő mértékben alakította az árpa bokrosodáskori Na-koncentrációját, de szignifikáns Na-koncentráció változás nem érvényesült.

4.3.7 Mn-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A N-ellátás pozitív hatását a Mn-koncentráció alakulására a 9. ábra mutatja. A kontroll parcella (N_0) esetében 49,35 mg/kg koncentrációt mértünk 102 kg/ha ásványi N-ellátottság mellett 2011 tavaszán. A kontrollhoz viszonyítva az N_1 - és N_2 -kezelések (40 és 80 kg/ha) az árpa Mn-koncentrációját tendenciális mértékben, míg a 120 kg/ha N-műtrágya (N_3) kijuttatása megbízhatóan növelte és értéke 61,75 mg/kg-t ért el.



9. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Mn-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

A következő évben (2012) is tapasztaltuk a N-trágyázás szinergista hatását az őszi árpa bokrosodáskori Mn-koncentráció alakulására. Az előző évhez hasonlóan, ugyancsak a kontroll parcella esetében mértük a legalacsonyabb koncentráció értéket (65,50 mg/kg), mely - ellenben az előző évhez – kissé mérséklődött N₁-ellátás esetén. A kontrollhoz képest a N₂-ellátás (80 kg/ha) tendenciális, a 120 kg/ha N-trágyázás pedig megbízható mértékben emelte a koncentrációt 86,50 mg/kg-ra.

A vizsgált évek eredményei szerint az árpa bokrosodásakor N-trágyázás nélkül (N₀) különböző Mn-koncentrációkat mértünk (49,35 és 65,50 mg/kg), azonban az őszi árpa bokrosodáskori Mn-koncentrációja jó összefüggést mutat a N-trágyázás szintjével. Az N₁- és N₂-ellátások többnyire tendenciális, míg a N₃-kezelés (120 kg/ha) alkalmazása eredményezte szinifikánsan a legmagasabb Mn-koncentrációkat a talaj 158 és 104 kg/ha ásványi N-készlete mellett.

A P-ellátottság hatása

2010 őszén a művelt talajréteg 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságánál (P₀) az őszi árpa Mn-koncentrációja 52,80 mg/kg volt (9. ábra). A jobb P-ellátottság csak tendenciális Mn-koncentráció változást eredményezett, mely a következőkkel jellemezhető. A 100 kg/ha/év P-trágyázás (P₁) kijuttatása maximális koncentráció mennyiséget jelentett (60,40 mg/kg) a művelt talajréteg 206 mg/kg AL-P₂O₅-tartalmánál. A P₂- és P₃-kezelések az árpa bokrosodáskori Mn-koncentrációját csökkentették a maximális értékhez képest a talaj 194 és 251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságánál.

2011 őszén a 0-30 cm-es talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága 65,99 mg/kg bokrosodáskori Mn-koncentráció eléréséhez volt elegendő. Az előző vizsgálati évvel ellentétben a P₁-kezelés (224 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom) a legalacsonyabb koncentráció mennyiséget (64,75 mg/kg), míg a P₂- és P₃-kezelések pedig magasabb Mn-koncentrációt eredményeztek a talaj 186 és 233 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság mellett. Azonban az előző évhez hasonlóan a P-ellátottság szignifikáns Mn-koncentráció változást nem váltott ki.

A vizsgált években a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsági tartományában az árpa bokrosodáskori Mn-koncentrációja szignifikánsan nem változott, csak évjáráthatás volt tapasztalható.

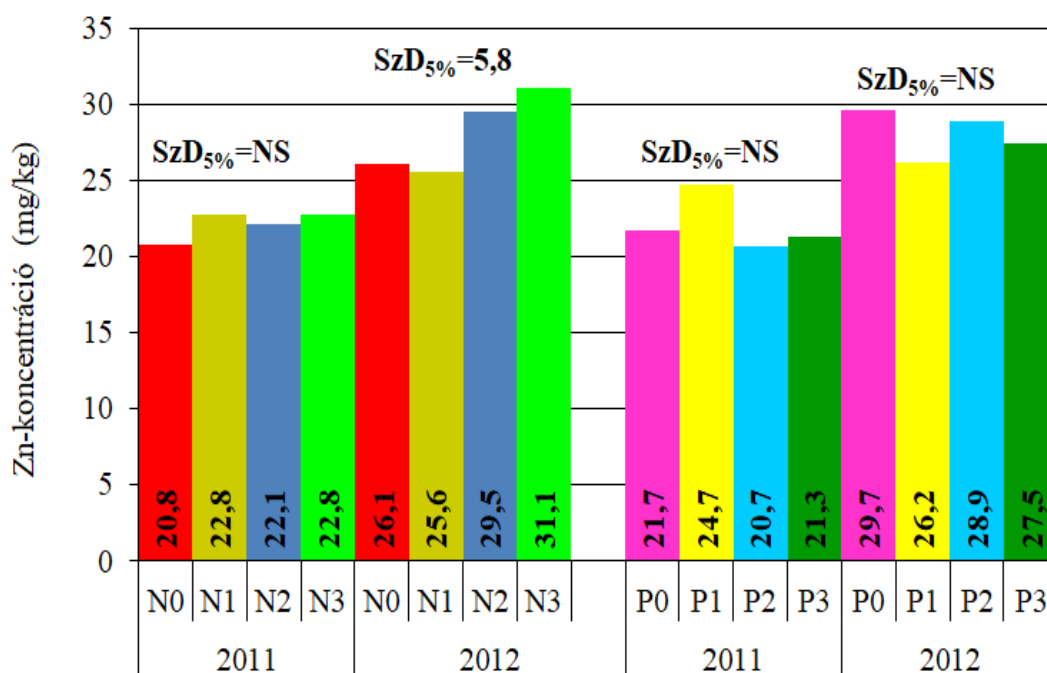
4.3.8 Zn-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A 2010/2011. év tavaszán N-trágyázás nélkül (N₀) 102 kg/ha ásványi N-tartalom 20,8 mg/kg Zn-koncentrációt eredményezett. A jobb N-ellátottság csak kismértékű, nem megbízható Zn-koncentráció növekedéssel párosult (10. ábra).

2011/2012. évben a N-trágyázás pozitív hatása a Zn-koncentrációra kifejezettebb volt, mint az előző vizsgálati évben. Az előző évhez hasonló, legalacsonyabb koncentrációt (20,1 mg/kg) a kontroll parcellán (N₀) mértük 98 kg/ha ásványi N-tartalom mellett. A N₁-ellátás (40 kg/ha) tendenciális jelleggel, a N₂- és N₃-alapkezelések (80 és 120 kg/ha) szignifikáns mértékben emelték az árpa bokrosodáskori Zn-koncentrációját.

2011 és 2012 tavaszán az árpa bokrosodásakor a N-trágyázás nélkül (N₀) hasonló Zn-koncentrációkat mértünk a kontroll esetében, a 0-30 cm-es talajréteg közel azonos N_{min}-készlete mellett. Az emelkedő N-kezelések (40, 80 kg/ha) N₃-kezelésig (120 kg/ha) emelték a Zn-mennyiségét, amely jó kapcsolatot mutat a talaj N_{min}-tartalmával.



10. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Zn-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

A P-ellátottság hatása

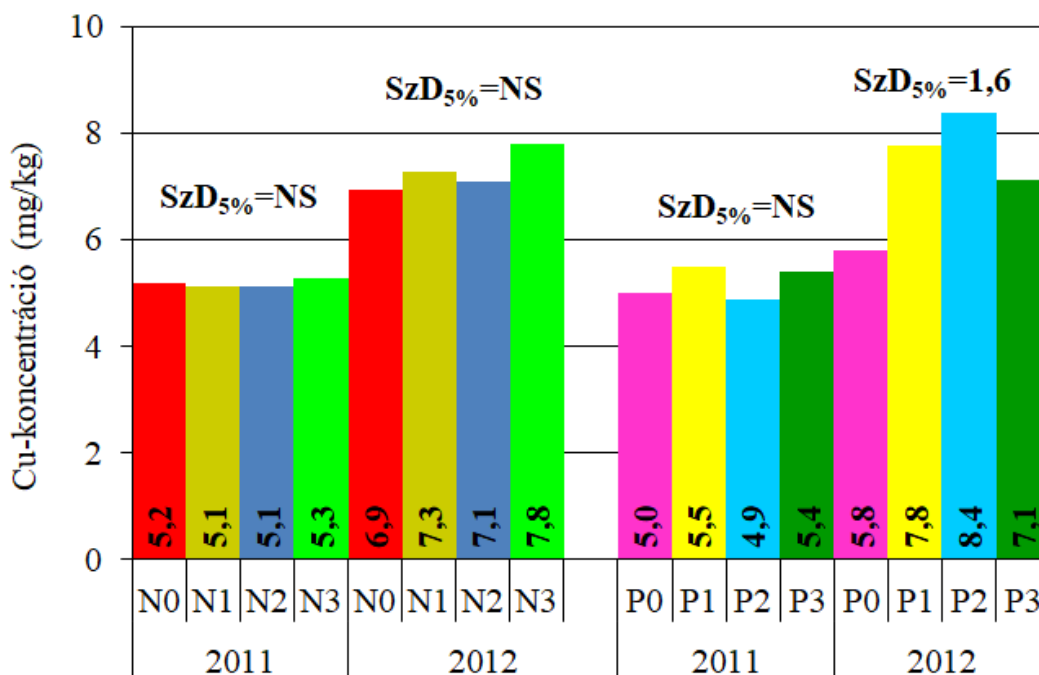
P-trágya kijuttatása nélkül (P₀) 2011-ben 21,7 mg/kg bokrosodáskori Zn-koncentrációt mértünk a 0-30 cm-es talajréteg 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága esetén. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-műtrágyázás (P₁) a legmagasabb, 24,7 mg/kg Zn-koncentrációt eredményezte a talaj 206 mg/kg AL-P₂O₅ talajellátottság mellett. A legalacsonyabb koncentráció értékeket (20,7 és 21,3 mg/kg) a P₂- és P₃-kezelések alkalmazása jelentette, amikor a talaj művelt rétegének AL-P₂O₅ ellátottsága 194 és 251 mg/kg volt. A P és Zn között lévő antagonizmus ebben a vizsgálati évben nem jelentkezett olyan mértékben, mint a következő, 2011/2012 évben. A kontroll parcella (P₀) 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága a legmagasabb Zn-koncentráció - 29,7 mg/kg - elérését jelentette. A maximális koncentrációhoz képest a talaj AL-P₂O₅-készletének emelkedése - 194-233 mg/kg - csökkentette az árpa bokrosodáskori Zn-koncentrációját, de szignifikáns P-hatás nem érvényesült (10. ábra).

2010/2011 vizsgálati évben a művelt talajréteg 206 mg/kg AL-P₂O₅-készlete (P₁) eredményezte a legmagasabb Zn-mennyiséget, míg 2011/2012 tenyészévben a talaj 118 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma (P₀). A művelt talajréteg 186-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₂- és P₃-kezelés) a maximális értékhez képest tendencia jelleggel csökkentette az árpa Zn-koncentrációját.

4.3.9 Cu-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A N-trágyázás megbízható mértékben nem módosította az árpa bokrosodáskori Cu-koncentrációját egyik vizsgálati évben sem. A tendenciális változás az alábbiakban foglalható össze (11. ábra).



11. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Cu-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

N-trágyázás nélkül (N₀) 5,2 mg/kg eléréséhez volt elégséges a tavasszal mért 102 kg/ha N_{min}-tartalom 2011-ben. A 40 kg/ha és 80 kg/ha N-alaptrágyázás (N₁, N₂) egyaránt 5,1 mg/kg a legalacsonyabb Cu-koncentráció elérését jelentette, megegyező ásványi N-tartalom mellett. A N és Cu közötti antagonizmus ellenére a talaj legmagasabb 158 kg/ha ásványi N-tartalma (N₃) eredményezte a legmagasabb koncentráció mennyiséget, a koncentráció értéke 5,3 mg/kg (11. ábra.).

A legalacsonyabb Cu-koncentrációt 2012-ben az előző évvel ellentétben a kontroll parcellán (N₀) mértük, 6,9 mg/kg-ot, amely emelkedett a N₁- és N₂-alaptrágyázás (40 és 80 kg/ha) hatására. A legmagasabb értéket az előző évhez hasonlóan a maximális N-kezelés (N₃) alkalmazása jelentette (7,8 mg/kg) a talaj megegyező ásványi N-tartalma esetén.

Az árpa bokrosodásakor a Cu-koncentrációja N-trágya kijuttatása nélkül (N₀) kissé különbözött 2011 és 2012 tavaszán 5,2 és 6,9 mg/kg. A legmagasabb Cu-koncentrációkat 120 kg/ha N-kezelés (N₃) alkalmazása jelentette, annak ellenére, hogy a N és Cu között antagonizmus a jellemző.

A P-ellátottság hatása

A 2010/2011. évben a talaj 133-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága mellett az őszi árpa Cu-koncentrációja szignifikánsan nem változott, értéke 4,9 és 5,5 mg/kg közé esett (11. ábra).

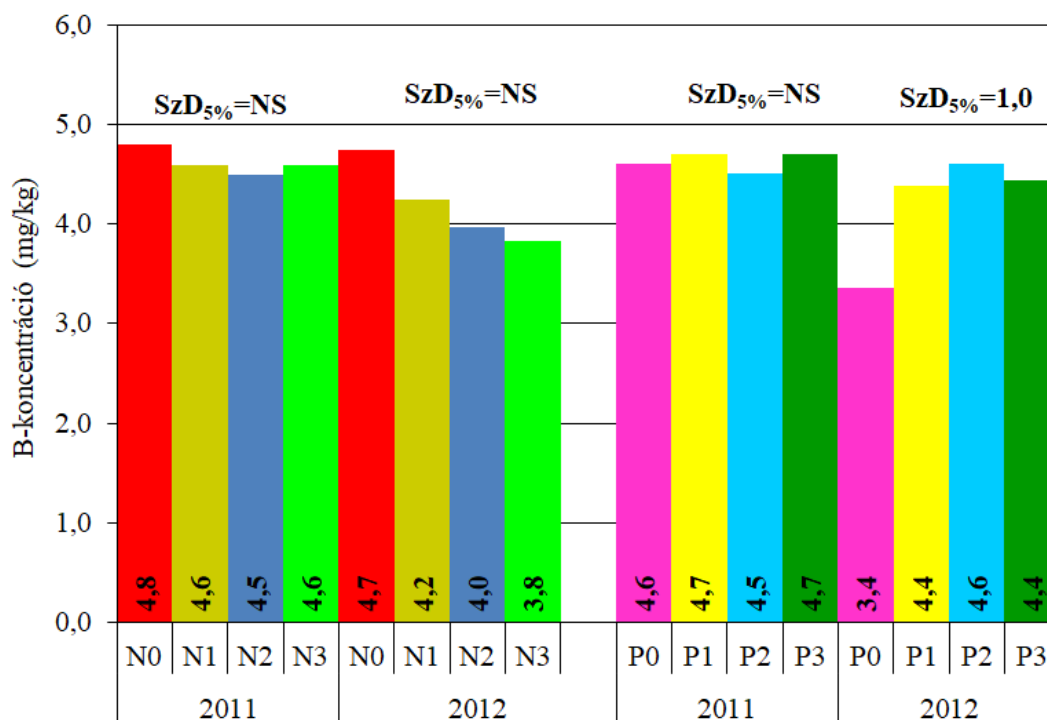
A 2011/2012. évben a kontroll parcellán (P₀) mértük a legalacsonyabb Cu-koncentráció értéket (5,8 mg/kg) a művelt talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságnál. A kontrollhoz képest megbízható koncentráció növekedést eredményezett a P₁-kezelés, a maximális Cu-mennyiséget a talaj 186 mg/kg AL-P₂O₅-készlete jelentett (P₂-ellátás). A 233 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság (P₃-kezelés) a legmagasabb koncentráció mennyiséghez képest tendenciális mértékben csökkentette az árpa bokrosodáskori Cu-mennyiségét.

A P/Cu antagonizmust a vizsgált két évben nem tapasztaltuk. A legalacsonyabb Cu-koncentrációt (5,0 és 5,8 mg/kg) P-trágya kijuttatása nélkül (P₀) mértük, a talaj hasonló AL-P₂O₅-ellátottsága mellett (133 és 118 mg/kg). A talaj AL-P₂O₅-készletének emelkedése (206 és 186 mg/kg AL-P₂O₅) a Cu-koncentrációt növelte.

4.3.10 B-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A N és B közötti antagonizmus csak tendencia jelleggel volt kimutatható az egyes kísérleti évekből (12. ábra).



12. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa B-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

2010/2011-ben N-műtrágya kijuttatása nélkül (N₀) mértük a legmagasabb 4,8 mg/kg B-koncentrációt, amit a jobb N-ellátás (40, 80, 120 kg N/ha) csekély mértékben csökkentett.

Az egyes N-kezelések 2011/2012 évben a 0-60 cm-es talajréteg ásványi N-tartalmát érdemben nem módosították. Az előző évhez hasonlóan a N-trágyázás nélkül (N₀) mértük a legmagasabb B-koncentrációt (4,7 mg/kg), mely érték az emelkedő N-trágyázások hatására tendenciális mértékben csökkent.

A N/B antagonizmust mind a két vizsgálati évben csak tendencia jelleggel tapasztaltuk az eltérő N-ellátottság ellenére.

A P-ellátottság hatása

2010/2011-ben a talaj P-készletének változása érdemben nem befolyásolta az árpa bokrosodáskori B-koncentrációját, az értékek 4,5-4,7 mg/kg között alakultak. Azon a parcellán, ahol 21 éve nem történt P-műtrágya kijuttatás a talaj 133 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága 4,6 mg/kg B-koncentrációt eredményezett. Az évenként kijuttatott 100 kg/ha P-műtrágyázás (P₁) esetén mértük a legmagasabb B-tartalmat, (206 mg/kg AL-P₂O₅), amely nem változott 251 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom (P₃) esetén, a

koncentráció értéke 4,7% volt. A P₂-ellátás esetén a talaj művelt rétegében 194 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság legalacsonyabb koncentráció értéket eredményezte, a koncentráció értéke 4,5 mg/kg volt (12. ábra).

A következő vizsgálati évben (2011/2012) a legalacsonyabb B-koncentrációt (3,4 mg/kg) a P-trágyázás nélküli (P₀) parcellán mértük 118 mg/kg AL-P₂O₅ talajellátottság mellett. A kontrollhoz képest megbízható koncentráció növekedést (4,4 mg/kg) eredményezett a P₁- és P₃-ellátás alkalmazása, a talaj 224 és 233 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett. A legmagasabb értéket (4,6 mg/kg) a P₂-trágyázás biztosította a talaj 186 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottságánál.

A talaj AL-P₂O₅-tartalmának változása 2010 őszén az árpa B-koncentrációját szűk értéktartományban alakította. A legmagasabb B-koncentrációt a 100 kg/ha/év P-trágya (P₁) kijuttatása eredményezte a talaj 206 mg/kg AL-P₂O₅-tartalmánál, míg 2011 őszén a P₂-kezelés mellett mértük 186 mg/kg AL-P₂O₅-ellátás esetén.

4.3.11 Mo-koncentráció

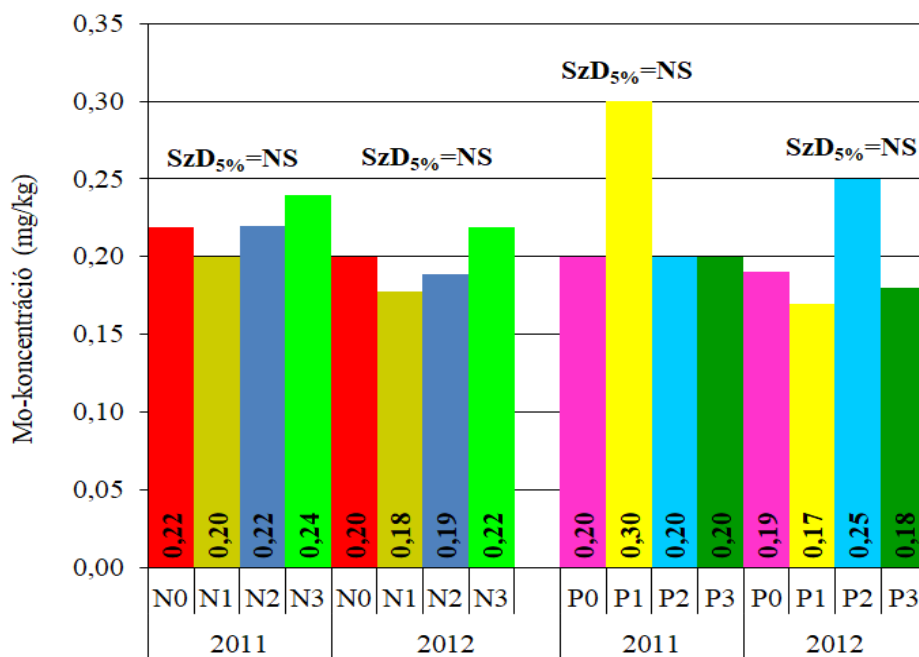
A N-ellátottság hatása

A Mo-koncentráció mind a két vizsgálati évben hasonló mértékben alakult (13. ábra). Matematikailag igazolható különbség nem alakult ki egyik vizsgálati évben sem. A tendenciális változások az alábbiakban írhatók le.

2011 tavaszán az N-kezelés nélkül (N₀) fejtrágyázás előtt a 0-60 cm-es talajréteg 102 kg/ha ásványi N-tartalma 0,22 mg/kg Mo-koncentráció eléréséhez volt elegendő, mely érték nem változott a N₂-kezelés (80 kg/ha) hatására. A N/Mo szinergizmus ellenére a 40 kg/ha N-kezelés (N₁) csökkentette az árpa bokrosodáskori Mo-koncentrációját, míg a N-trágyázás legmagasabb szintje (N₃) a maximális Mo-koncentrációt (0,24 mg/kg) jelentette 158 mg/kg N_{min}-tartalom esetén. 2011/2012 tenyészévben hasonló tendencia alakult ki, mint az előző évben.

2012 tavaszán N-kezelés nélkül (N₀) a mért ásványi N-tartalom a kontroll esetében 98, míg a N-trágyázott parcellák esetében 110 kg/ha körül alakult. A legalacsonyabb Mo-koncentrációt (0,18 mg/kg) az előző évhez hasonlóan a N₁-kezelés alkalmazása jelentette, a legmagasabbat pedig ugyancsak a a N-trágyázás legmagasabb (N₃) szintje mellett mértük (0,22 mg/kg).

Összefoglalva megállapítható, hogy az árpa bokrosodásakor N-trágyázás nélkül (N₀) hasonló Mo-koncentrációt mértünk, a talaj hasonló tavaszi ásványi N-tartalma mellett. Az N₁-trágyázás (40 kg/ha) a kontrollhoz képest csökkentette a Mo-koncentrációt, mely N₂-kezelés hatására emelkedett, majd maximalizálódott a N₃-kezelés (120 kg/ha) hatására, amikor a talajban az N_{min}-tartalom 158 és 104 kg/ha volt.



13. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa Mo-koncentrációjára a bokrosodás végén (Szarvas, 2011-2012)

A P-ellátottság hatása

2010 őszén 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság esetén az őszi árpa bokrosodáskori Mo-koncentrációja P-trágya kijuttatása nélkül (P₀) 0,20 mg/kg volt, amelyhez képest a jobb P-ellátottság (194 és 251 mg/kg AL-P₂O₅) szignifikáns változást nem eredményezett (13.ábra).

A talaj művelt rétegének (0-30 cm) 118 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága P-műtrágyázás nélkül (P₀) 0,19 mg/kg Mo-koncentrációt eredményezett, melyet az előző évhez hasonlóan a magasabb P-ellátottsági szint megbízhatóan nem módosított.

A talaj P-készletének változása az árpa bokrosodáskori Mo-koncentrációját csekély-mértékben, de nem szignifikánsan alakították 2011 és 2012 tavaszán. P-trágyázás nélkül (P₀) megegyező Mo-koncentrációkat mértünk a talaj 133 és 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága mellett. A legmagasabb Mo-koncentrációkat a talaj 206 és 186 mg/kg AL-P₂O₅-készlete jelentett.

4.4 Tápelemarányok alakulása bokrosodás végén

A N-ellátottság hatása

A N-ellátottság hatását a fontosabb tápelem arányok alakulására a 13. táblázat mutatja. A N-trágyázás az egyes tápelem arányokat szignifikáns mértékben nem befolyásolta, csak tendenciális mértékű arányváltozások alakultak ki (15. táblázat).

15. táblázat A N-ellátottság hatása az őszi árpa tápelem arányaira bokrosodás végén
(Szarvas, 2011-2012)

Év	Kezelés				SzD _{5%}	Átlag
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃		
N/P						
2011	7,9	8,2	8,5	8,9	NS	8,4
2012	9,0	12,1	13,3	12,9	NS	11,8
Átlag	8,5	10,2	10,9	10,9	-	10,1
N/Ca						
2011	7,3	7,4	7,6	7,2	NS	7,4
2012	5,4	6,4	6,8	8,2	NS	6,7
Átlag	6,4	6,9	7,2	7,7	-	7,1
N/Mg						
2011	17,5	19,2	19,4	19,2	NS	18,8
2012	13,5	18,4	17,8	17,9	NS	16,9
Átlag	15,5	18,8	18,6	18,6	-	17,9
N/Cu						
2011	5765	6371	6751	6912	NS	6450
2012	4232	5028	5429	5276	NS	4991
Átlag	4999	5700	6090	6094	-	5721
P/Mg						
2011	2,2	2,3	2,3	2,2	NS	2,3
2012	1,5	1,5	1,3	1,4	NS	1,4
Átlag	1,9	1,9	1,8	1,8	-	1,9
P/Zn						
2011	183	175	184	180	NS	181
2012	163	118	98	103	NS	121
Átlag	173	147	141	142	-	151
K/Cu						
2011	5391	5850	5973	5801	NS	5754
2012	5603	6008	6006	5398	NS	5754
Átlag	5512	5933	5989	5607	-	5754
K/Mg						
2011	16,4	17,7	17,2	16,2	NS	16,9
2012	17,9	21,2	19,2	17,9	NS	19,1
Átlag	17,2	19,5	18,2	17,1	-	18,0
K/Na						
2011	17,9	19,9	17,5	16,3	NS	17,9
2012	18,7	22,2	17,8	19,1	NS	19,5
Átlag	18,3	21,1	17,7	17,7	-	18,7
Ca/Mg						
2011	2,4	2,6	2,6	2,7	NS	2,6
2012	2,5	2,9	2,6	2,2	NS	2,6
Átlag	2,5	2,8	2,6	2,5	-	2,6

A P-ellátottság hatása

A művelt talajréteg AL-P₂O₅-ellátottsága (118-251 mg/kg) az őszi árpa bokrosodáskori N/Ca, N/Mg, N/Cu és P/Zn arányait alakította szignifikáns mértékben (16. táblázat).

2011 őszén a talaj 0-30 cm-es mélységében P-trágyázás nélkül (P₀) 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság 9,6 N/Ca arányt eredményezett, mely arány a talaj AL-P₂O₅-tartalmának emelkedésével (186-233 mg/kg) megbízható mértékben csökkent (5,4-6,5).

A 2011. évben a P-ellátottság nem okozott szignifikáns változást a N/Mg arányban, ellenben 2012-ben a talaj P-készletének emelkedése megbízható mértékű változást eredményezett, mely a következőkkel jellemezhető: 2011 őszén a művelt talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀) 9,6 N/Mg arányt eredményezett, a talaj AL-P₂O₅-tartalmának emelkedése 224 mg/kg-ra (P₁-kezelés) tendenciális mértékben, míg a P₂- és P₃-ellátások (186 és 233 mg/kg AL-P₂O₅) matematikailag igazolhatóan csökkentették a bokrosodáskori N/Mg arányt.

A P-trágyázás megbízható mértékben alakította N/Cu arányt 2011-ben. A kontroll esetében, ahol a talaj AL-P₂O₅-tartalma 133 mg/kg (P₀) volt a N/Cu arány 6423 értéket képviselt, amelyet a 206 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság (P₁-trágyázás) tendenciálisan 6091-re csökkentett. A P₁-ellátáshoz képest a P₂-ellátottsági szint (194 mg/kg AL-P₂O₅) megbízható mértékben növelte 7088-ra a N/Cu arányt, amely 251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságnál már (P₃) tendenciális mértékben csökkentett.

A talaj P-készletének változása az őszi árpa bokrosodáskori P/Zn arányát megbízható mértékben módosította 2011-ben. P-trágyázás nélkül (P₀) a művelt talajréteg (0-30 cm) 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága 169 P/Zn arányt eredményezett, mely értéket a P₁- és P₂-ellátások (206, 196 mg/kg) tendenciális mértékben, míg a P₃-kezelés (251 mg/kg AL-P₂O₅) szignifikánsan emelte.

16. táblázat A P-ellátottság hatása az őszi árpa tápelem arányaira bokrosodás végén
(Szarvas, 2011-2012)

Év	Kezelés				SzD _{5%}	Átlag
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N/P						
2011.	8,8	7,7	9,2	8,0	NS	8,4
2012.	15,3	9,9	10,9	12,2	NS	12,1
Átlag	12,1	8,8	10,1	10,1	-	10,3
N/Ca						
2011.	7,2	7,0	7,9	7,4	NS	7,4
2012.	9,6	6,5	5,4	6,4	2,8	7,0
Átlag	8,4	6,8	6,7	6,9	-	7,2
N/Mg						
2011.	18,2	19,6	21,1	18,4	NS	19,3
2012.	20,5	16,0	14,3	15,6	4,7	16,6
Átlag	19,4	17,8	17,7	17,0	-	18,0
N/Cu						
2011.	6423	6091	7088	6281	778	6471
2012.	6018	4773	4298	5252	NS	5085
Átlag	6221	5432	5693	5767	-	5778
P/Mg						
2011.	2,1	2,5	2,3	2,3	NS	2,3
2012.	1,3	1,6	1,3	1,3	NS	1,4
Átlag	1,7	2,1	1,8	1,8	-	1,9
P/Zn						
2011.	169	174	183	198	19	181
2012.	77	143	114	111	NS	111
Átlag	123	159	149	155	-	146
K/Cu						
2011.	5892	5629	5795	5707	NS	5756
2012.	6329	5325	5178	5937	NS	5692
Átlag	6111	5477	5487	5822	-	5724
K/Mg						
2011.	16,7	18,1	17,3	16,7	NS	17,2
2012.	21,5	17,8	17,2	17,7	NS	18,6
Átlag	19,1	18,0	17,3	17,2	-	17,9
K/Na						
2011.	17,5	25,0	17,2	13,6	NS	18,3
2012.	23,5	14,4	20,6	21,8	NS	20,1
Átlag	20,5	19,7	18,9	17,7	-	19,2
Ca/Mg						
2011.	2,5	2,8	2,7	2,5	NS	2,6
2012.	2,1	2,5	2,6	2,4	NS	2,4
Átlag	2,3	2,7	2,7	2,5	-	2,5

4.5 A N-és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalma- és kaláshosszára, a terméskomponensekre és a hektolitertömegre

4.5.1 Szalmahossz

A növénymagasság genetikailag erősen meghatározott fajtatulajdonság, azonban a környezet, így a N-műtrágyázás is hatással van annak alakulására. A vizsgált évek őszi (2010-2012) a művelt talajréteg K_2O -tartalma K_1 -kezelés szintjén 320, 324 és 346 mg/kg volt.

2011

2011. évben a kontroll parcellán (N_0) – a P-kezelések átlagában – 45,8 cm volt az őszi árpa szalmahossza (17. táblázat), amikor a tavaszi fejtrágyázás előtt az ásványi N-tartalom 102 kg/ha volt a 0-60 cm-es talajrétegben. A kontrollhoz képest az N_1 - és N_2 -adagok (80 és 160 kg/ha) matematikailag igazolhatóan növelték a szalmahosszt, a talaj közel azonos N_{min} -tartalma mellett (116 és 120 kg/ha). A leghosszabb szalmát, 75,8 cm-t a legmagasabb N_3 -ellátottsági szinten (240 kg/ha) mértük, amikor tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében 158 kg/ha volt az ásványi N-tartalom.

17. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalmahosszára (cm) (Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	59,6	45,5	38,4	39,5	45,8	
N ₁	57,7	63,9	64,3	68,0	63,5	3,6
N ₂	65,8	71,3	73,8	74,6	71,4	
N ₃	74,5	74,3	78,9	75,3	75,8	
Átlag	64,4	63,4	63,9	64,4	64,1	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		7,6			-	-

2010 őszi a művelt talajréteg AL- P_2O_5 -tartalma P-trágyázás nélkül (P_0) 133 mg/kg volt, ami a leghosszabb (64,4 cm) szalmát eredményezte 2011-ben, melyet nem módosított a talaj 194-251 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága (P_1 , P_2 , P_3).

A 80, 160 kg/ha N-trágyázási (N_1 , N_2) szinteken pozitív N X P kölcsönhatás mutatható ki, mert kedvezőbb N-ellátottsági szinten a jobb P-ellátottság (194-251 mg/kg AL- P_2O_5) a szalmahosszúságot növelte. P-trágyázás nélkül (P_0) a 80, 160 kg/ha N-trágyázás (N_1 , N_2) szalmahossz növelő hatása kisebb, mint jobb P-ellátottság esetén. A legrövidebb szalmát (38,4 és 39,5 cm) P_2N_0 - és P_3N_0 -kezelések esetében mértük. A legrövidebb szalmákhoz képest, a P_1N_0 -kezelés kivételével mindegyik kezelés szignifikánsan hosszabb szalmahosszt eredményezett, a leghosszabb szalmát a P_2N_3 -kezelés (194 mg/kg AL- P_2O_5 , 240 kg/ha/N) eredményezte.

2012

Tavasszal a 0-60 cm-es talajréteg ásványi N-tartalma érdemben nem különbözött az egyes N-kezelések hatására (98-109 kg/ha). N-trágyázás nélkül (N_0) – a P-kezelések átlagában – 38,1 cm árpa szalmahosszt mértünk (18. táblázat). Mindegyik N-kezelés (80,160, 240 kg/ha) megbízható mértékben emelte a szalmahosszt, azonban a N-kezelések között érdemi különbség nem volt kimutatható.

18. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalmahosszára (cm)
(Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	38,0	36,7	40,6	37,1	38,1	
N ₁	46,3	52,4	48,9	51,2	49,7	3,0
N ₂	50,3	52,6	47,4	55,0	51,3	
N ₃	51,1	52,4	52,3	51,5	51,8	
Átlag	46,4	48,5	47,3	48,7	47,7	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

A talaj P-készletének változása (118-233 mg/kg Al-P₂O₅) megbízható mértékben nem alakította az árpa szalmahosszát, értéke 46,4 és 48,7 cm között alakult a N-kezelések átlagában. N X P közötti kölcsönhatás nem jelentkezett.

2013

2013-ban a korábbi évekhez hasonlóan a kontroll parcellán (N₀) mértük a legalacsonyabb szalmahosszt – a P-kezelések átlagában – a 0-60 cm-es talajréteg tavasszal mért 124 kg/ha ásványi N-tartalma mellett, 55,3 cm-t. A kontrollhoz képest a N₁- és N₂-kezelések (80, 160 kg/ha) megbízható mértékben növelték a szalmahosszt, amit a N₃-kezelés maximalizált (72,5 cm) a talaj 264 kg/ha tavaszi N_{min}-ellátottsága mellett.

19. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalmahosszára (cm)
(Szarvas, 2013)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	62,7	60,3	49,2	48,9	55,3	
N ₁	61,3	70,8	57,9	60,3	62,6	3,4
N ₂	97,2	73,1	57,5	64,9	65,7	
N ₃	72,5	74,9	71,5	70,9	72,5	
Átlag	66,3	69,2	59,4	61,0	64,0	3,3
SzD _{5%} bármely két kez.		6,3			-	-

2012/2013 tenyésztésben – a N-kezelések átlagában – P-trágyázás nélkül (P₀) a 0-30 cm-es talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma 66,3 cm szalmahosszt eredményezett. A kontrollhoz (P₀) képest az évente kijuttatott 100 kg/ha P-trágyázás (P₁) tendenciális mértékben 69,2 cm-re emelte a szalmahosszt a művelt talajréteg 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett. A maximális értékhez képest a P₂- és P₃-kezelések megbízható mértékben csökkentették a vizsgált termékkomponenst.

2013-ban a legrövidebb szalmát a kontroll parcellán (P₀N₀) mértük, 62,7 cm-t, mely értékhez képest többnyire a magasabb N-dózisok (160, 240 kg/ha) alkalmazása növelte szignifikáns mértékben az árpa szalmahosszát a művelt talajréteg 124-244 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsági tartományban.

Összefoglalóan megállapítható, hogy N-kezelés nélkül (N_0) – a P-kezelések átlagában – 38,1-55,3 cm között alakult az árpa szalmahossza, amikor tavasszal a talaj az N_{\min} -tartalma 98-124 kg/ha volt. Az emelkedő N-ellátottság többnyire megbízható mértékben növelte a szalmahosszt az N_3 -kezelésig, ahol a talaj ásványi N-tartalma 158, 104 és 264 kg/ha volt.

A vizsgált évek szerint (2011-2013) az őszi árpa kielégítő szalmahossz eléréséhez elégséges volt a talaj természetes AL- P_2O_5 -szolgáltatása a művelt talajréteg 118-133 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága.

4.5.2 Kaláshossz

2011

2010/2011 vizsgálati évben az őszi árpa kaláshossza N-trágyázás nélkül (N_0) – a P-kezelések átlagában – 5,2 cm volt 102 kg/ha ásványi N-tartalom mellett (20. táblázat). Az emelkedő N_1 -, N_2 - és N_3 -kezelés 80-160-240 kg/ha-os adagja szignifikáns mértékben hosszabb kalászt eredményeztek. A leghosszabb árpakalászt a talaj 158 N_{\min} -tartalma esetén mértük (N_3), az árpa kalász hosszúsága 7,0 cm volt.

20. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kaláshosszára (cm)
(Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N_0	6,0	5,2	5,0	4,7	5,2	0,4
N_1	6,1	6,1	6,0	6,6	6,2	
N_2	6,4	6,7	6,5	6,9	6,6	
N_3	7,1	6,8	7,2	7,0	7,0	
Átlag	6,4	6,2	6,2	6,3	6,3	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS		-	-	

2010 őszen P-trágyázás nélkül (P_0) a talaj 0-30 cm-es mélységében mért 133 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottság eredményezte a leghosszabb kaláshosszt, 6,4 cm-t, melyet a talaj AL- P_2O_5 -készletének emelkedése (194-251 mg/kg) kevésbé módosított.

2012

2012-ben – a P-kezelések átlagában – a kontroll (N_0) kezelés eredményezte a legrövidebb kaláshosszt (6,3 cm), a N-trágyázás N_2 -ellátási szintig (160 kg/ha) megbízható mértékű, míg a legmagasabb szinten (240 kg/ha) csak tendenciális kaláshossz növekedés okozott a talaj ásványi N-készletének érdemi változása nélkül (21. táblázat).

21. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászhosszára (cm)
(Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	5,9	6,3	6,6	6,1	6,3	0,2
N ₁	6,8	7,0	7,0	7,1	7,0	
N ₂	7,4	7,1	7,0	7,2	7,2	
N ₃	7,0	7,2	7,4	7,9	7,3	
Átlag	6,8	6,9	7,0	7,0	6,9	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

A N-kezelések átlagában P-trágyázás nélkül (P₀) 6,8 cm volt az árpa kalászhossza, amikor 2011 őszén a művelt talajrétegben 118 mg/kg volt az AL-P₂O₅-ellátottság. A talaj AL-P₂O₅-tartalmának változása – a korábbi évhez hasonlóan – tendenciális mértékben módosította a kalászhosszt.

2013

2013-ban tavasszal a 0-60 cm-es mélységben 124 kg/ha N_{min}-tartalom (N₀) 6,8 cm kalászhossz eléréséhez volt elegendő, a P-kezelések átlagában. A kontrollhoz képest a N₁- N₂- és N₃-kezelések szignifikáns mértékben emelték a kalászhosszt, azonban az egyes N-kezelések között megbízható különbség nem volt kimutatható (22. táblázat).

22. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászhosszára (cm)
(Szarvas, 2013)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	7,6	7,2	6,4	6,4	6,8	0,4
N ₁	7,1	9,2	7,1	7,2	7,7	
N ₂	7,6	7,9	7,2	7,4	7,5	
N ₃	7,4	8,0	7,4	7,8	7,8	
Átlag	7,4	8,1	7,1	7,2	7,5	0,4
SzD _{5%} bármely két kez.		0,8			-	-

A legcsapadékosabb vizsgálati évben (2013-ban) a P-trágyázás – a N-kezelések átlagában – az őszi árpa kalászhosszát 7,1-8,1 cm között alakította. P-műtrágyázás nélkül (P₀) a 0-30 cm-es talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom 7,4 cm-es kalászhosszt eredményezett, majd a P₁-kezelés hatására, a talaj 242 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság mellett a kalász hossza 8,1 cm volt. A P₂- és P₃-kezelések szignifikáns mértékű kalászcsovrósítást eredményeztek a maximális kalászhosszhoz képest.

2012 őszén a művelt talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma (P₀) és 2013 tavaszán 124 kg/ha (N₀) N_{min}-tartalom (0-60 cm-es talajmélységben) 7,6 cm kalászhosszt eredményezett (P₀N₀). N-trágyázás nélkül (N₀) a talaj jobb P-ellátottsága (192-244 mg/kg AL-P₂O₅) tendenciális, illetve megbízható mértékben csökkenti a

kaláshosszt (6,4-7,2 cm) a P₀-kezeléshez képest. P-trágyázás nélkül (P₀) az emelkedő N-trágyázás (80, 160 és 240 kg/ha) érdemben nem növelte a kalász hosszúságát (7,1-7,6 cm) a kontrollhoz viszonyítva. A talaj jobb P-ellátottsága mellett (192-244 mg/kg AL-P₂O₅) a N-trágyázás kaláshossz növelő hatása érvényesült (7,1-9,2 cm).

A vizsgált évek eredményei szerint a legrövidebb kaláshosszt 2011-2013 vizsgálati években N-trágya kijuttatása nélkül (N₀) mértük, az évek átlagában 6,1 cm-t, amikor tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében az ásványi N-tartalom 98-124 kg/ha között alakult. A három vizsgálati év közül csak 2011-ben tapasztaltuk a N-kezelések közötti megbízható kaláshossz növekedést N₃-kezelésig. 2012-ben a 160 kg/ha N-kezelésig (N₂) tapasztaltunk szignifikáns kaláshossz növekedést, míg 2013-ban a 80 kg/ha N-dózis (N₁) esetében. A maximális N-dózis, 240 kg/ha N-adag (N₃) tendenciális mértékben módosította az árpakalász hosszúságát.

A vizsgált évek eredményei szerint 2011-ben a talaj természetes P-szolgáltatása (P₀) biztosította az árpa számára szükséges AL-P₂O₅-mennyiséget (133 mg/kg), míg 2012-ben és 2013-ban a 100 kg/ha/év P-kezelés (P₁) eredményezte a leghosszabb kaláshosszt, a 0-30 cm-es talajréteg 224 és 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett.

4.5.3 Kalásonkénti szemszám

2011

2011-ben N-trágyázás nélkül (N₀) a kalásonkénti szemszám – a P-kezelések átlagában – 13,6 db-ot ért el, amely az emelkedő N-ellátottság hatására N₃-szintig szignifikáns mértékben növekedett 158 kg/ha ásványi N-tartalmú talajellátottság mellett (23. táblázat).

23. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalásonkénti szemszámára (db). (Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	16,0	13,8	12,7	12,0	13,6	0,7
N ₁	15,7	16,4	16,2	17,4	16,4	
N ₂	17,1	17,0	17,7	18,0	17,5	
N ₃	18,6	17,0	18,9	18,3	18,2	
Átlag	16,9	16,1	16,4	16,4	16,4	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		1,4		-	-	

A talaj 133-251 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma nem volt megbízható hatással a szemszám alakulására, a N-kezelések átlagában 16,1-16,9 db között változott.

A talaj 2010 őszen mért 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság N-trágyázás nélkül (N₀) 16,0 db szemszámot eredményezett. Pozitív N X P kölcsönhatás a talaj 192-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságnál tapasztaltuk a N-trágyázott parcellákon (N₁, N₂, N₃).

2012

2012-ben a P-kezelések átlagában N-trágyázás nélkül (N₀) 16,6 db volt az árpa kalásonkénti szemszáma (24. táblázat). Szignifikáns szemszám növekedést eredményezett (17,9 db) az N₁-kezelés (80 kg/ha), a N-trágyázás magasabb szintjei (160 és 240 kg/ha) tendenciális mértékben emelték az árpa kalásonkénti szemszámát.

24. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászonkénti szemszámára (db). (Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	15,7	16,7	17,3	16,6	16,6	0,9
N ₁	17,5	18,0	17,7	18,3	17,9	
N ₂	18,7	18,1	17,5	18,6	18,2	
N ₃	18,5	18,0	18,7	18,4	18,4	
Átlag	17,6	17,7	18,1	18,0	17,8	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

A talaj P-készletének alakulása – a N-kezelések átlagában – nem volt megbízható hatással az őszi árpa kalászonkénti szemszám alakulására. A vizsgált termékkomponenst a talaj 118-233 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában szűk értéktartományban módosult, értéke 17,6-18,1 között volt. Ebben a vizsgálati évben nem tapasztaltuk N X P interakciót.

2013

2013-ban a korábbi évekhez hasonlóan N-trágyázás nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – a számoltuk a legkevesebb kalászonkénti szemszámot (19,0 db), a 0-60 cm-es talajréteg 124 kg/ha tavaszi N_{min}-tartalma mellett (25. táblázat). A kontrollhoz képest az N₁-kezelés (168 kg/ha N_{min}) szignifikáns mértékben (19,9 db), az N₂- és N₃-ellátások pedig már csak tendenciális jellegű szemszám emelkedést eredményeztek.

25. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászonkénti szemszámára (db). (Szarvas, 2013)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	21,2	20,4	18,1	16,4	19,0	0,7
N ₁	19,2	24,6	17,7	18,3	19,9	
N ₂	20,2	23,7	17,9	18,5	20,1	
N ₃	19,6	23,8	18,9	19,0	20,3	
Átlag	20,1	23,1	18,1	18,0	19,8	1,0
SzD _{5%} bármely két kez.		1,4			-	-

A korábbi évektől eltérően, 2013-ban tapasztaltuk a jobb P-ellátottság kalászonkénti szemszám növelő hatását. A N-kezelések átlagában P-trágyázás nélkül (P₀) a művelt talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága mellett 20,1 db volt a kalászonkénti szemszám, amit az évente 100 kg/ha P-adag (P₁) megbízható mértékben 23,1 db-ra emelt. A P₂- és P₃-kezelések (192, 244 mg/kg) a P₀- és P₁-kezeléshez képest a szignifikánsan legkevesebb szemszámot eredményezett.

2013-ban a P₀N₀-kezelés 21,2 db szemszámot eredményezett. Pozitív N X P kölcsönhatást tapasztaltunk az évente 100 kg/ha P-trágya (P₁-kezelés) alkalmazása mellett az emelkedő N-dózisok (80, 160, 240 kg/ha) esetében. Negatív N X P

interakciót eredményezett a magasabb szemszámhoz (19,2-24,6 db) képest a P₂- és P₃-kezelések.

A vizsgált években (2011-2013) a legkevesebb szemszámot N-trágyázás nélkül (N₀) kaptuk, amikor tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében hasonló ellátottságú volt az ásványi N-tartalom (98-124 kg/ha). A 80 kg/ha N-trágyázás (N₁) minden évben szignifikáns kalásonkénti szemszám növekedést eredményezett. Ennél nagyobb adagú N-ellátottság csak 2011-ben járt együtt megbízható szemszám gyarapodással.

A kísérleti eredmények azt igazolták, hogy 2011 és 2012-ben a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában a kalásonkénti szemszám szinte változatlan volt, értéke 2011-ben 16,1-16,9, még 2012-ben 17,6-18,1 közé esett. Csak 2013-ban tapasztaltuk a jobb P-ellátottság kalásonkénti szemszám növelő hatását.

4.5.4 Ezerszemtömeg

2011

Az árpa ezerszemtömege 41,9-44,9 g közötti értéktartományban változott 2011-ben, amely a 26. táblázatban látható.

26. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa ezerszemtömegére (g) (Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	44,3	44,1	42,3	44,5	43,8	NS
N ₁	44,9	42,6	41,9	44,4	43,5	
N ₂	44,6	43,1	43,6	44,7	44,0	
N ₃	44,8	43,5	42,9	43,3	43,6	
Átlag	44,7	43,3	42,7	44,2	43,7	
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

2011-ben 43,8 g volt az árpa ezerszemtömege – a P-kezelések átlagában – N-trágya kijuttatása nélkül (N₀). Az N₁-ellátás (80 kg/ha) kissé csökkentette (43,5 g), míg a N₂-kezelés tendenciális jelleggel maximalizálta (44,0 g) ezerszemtömeget, hasonló tavaszi ásványi N-készlet mellett. A legmagasabb, N₃-ellátás (240 kg/ha) a maximumhoz képest tendenciális mértékben csökkentette (43,6 g) az árpa ezerszemtömeget, a talaj 158 kg/ha tavaszi ásványi N-ellátottsága mellett.

A talaj P-készletének változása (133-251 mg/kg AL-P₂O₅) sem volt megbízható hatással a vizsgált terméskomponens alakulására, szűk értéktartományban változott (42,7-44,7 g). A kontroll parcellán (P₀) – a N-kezelések átlagában – 44,7 g volt az őszi árpa ezerszemtömege, amely tendenciális mértékben csökkentett a talaj P-készletének emelkedése (194-251 mg/kg AL-P₂O₅).

2012

2012-ban az előző évhez hasonló megállapítás tehető, mely szerint a P- és N-kezelések kevésbé voltak hatással az ezerszemtömeg alakulására (27. táblázat).

A N-trágyázás nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – 46,2 g ezerszemtömeget mértünk, melyet a jobb N-ellátottságok (80, 160, 240 kg/ha) megbízható mértékben nem módosítottak.

A talaj AL-P₂O₅-ellátottságának változása (118-233 mg/kg) szintén nem alakította szignifikáns mértékben az ezerszemtömeget. P-trágyázás nélkül (P₀) – a N-kezelések átlagában – az árpa ezerszemtömege 46,8 g volt, amely érték tendenciálisan emelkedett a talaj 224 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága esetén (P₁). A P₂- és P₃-kezelések tendenciális jellegű ezerszemtömeg csökkenést okoztak, a P₀- és P₁-kezeléshez képest a művelt talajréteg 186, illetve 233 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett.

27. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa ezerszemtömegére (g) (Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	47,1	47,0	46,3	44,5	46,2	NS
N ₁	47,6	47,7	46,5	45,0	46,7	
N ₂	45,5	48,3	44,2	48,4	46,6	
N ₃	46,8	45,8	45,4	45,7	45,9	
Átlag	46,8	47,2	45,6	45,9	46,4	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS		-	-	

2013

2013-ban a N-trágyázás nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – 43,7 g volt az árpa ezerszemtömege a talaj 0-60 cm-es mélységében 124 kg/ha ásványi N-ellátottság esetén (28. táblázat). Az emelkedő N-ellátások (80 és 160 kg/ha) N₂-dózis alkalmazásáig szignifikáns mértékben csökkentették az árpa ezerszemtömeget. A legalacsonyabb ezerszemtömeget a 240 kg/ha N-ellátás (N₃) eredményezte a talaj 264 kg/ha tavaszi ásványi N-tartalma mellett.

2012 őszén a 0-30 cm-es talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀) 41,2 g ezerszemtömeget eredményezett a N-kezelések átlagában. P₁-kezelés érdemben nem módosította a vizsgált terméskomponenst, míg P₂- és P₃-kezelések tendenciális jelleggel emelték az árpa ezerszemtömeget a művelt réteg 192 és 244 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett.

28. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa ezerszemtömegére (g) (Szarvas, 2013)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	43,8	43,1	42,9	45,0	43,7	1,2
N ₁	41,0	43,3	41,5	42,8	42,2	
N ₂	41,0	40,1	42,2	39,9	40,8	
N ₃	38,9	38,8	41,1	40,8	39,9	
Átlag	41,2	41,3	41,9	42,1	41,6	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		NS		-	-	

A kísérleti éveink eredményei szerint a legmagasabb ezerszemtömeget 2011-ben N₂-kezelés (160 kg/ha), 2012-ben a legalacsonyabb N₁-ellátás (80 kg/ha), míg 2013-ban N-trágyázás nélkül (N₀) mértük, amikor a 0-60 cm-es talajréteg N_{min}-tartalma tavasszal 109-124 kg/ha volt.

A vizsgált évek eredményei szerint a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ intervallumában a P-ellátottság az ezerszemtömeg alakulását érdemben nem befolyásolta, az évjárat nagyobb mértékben hatott az őszi árpa ezerszemtömeg alakulására.

4.5.5 Hektolitertömeg

2011

2011-ben kapott eredmények szerint – a P-kezelések átlagában – 72,1 kg hektolitertömeget mértünk N-trágyázás nélkül (N₀) és a maximális N-dózis (240 kg/ha) esetében (29. táblázat). A tendenciálisan legmagasabb hektolitertömeget 160 kg/ha N-adag (N₂) eredményezte.

A talaj természetes P-szolgáltatása (133 mg/kg AL-P₂O₅, P₀) mellett mértük – a N-kezelések átlagában – a legmagasabb hektolitertömegeket, 73,4 kg-t, amit a talaj magasabb AL-P₂O₅-tartalma megbízható mértékben csökkentett 71,8-72,2 kg értéktartomány közé.

29. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa hektolitertömegére (kg/hl) (Szarvas, 2011)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	73,2	71,6	71,8	71,8	72,1	NS
N ₁	73,3	71,6	73,1	72,1	72,5	
N ₂	73,8	72,5	72,0	72,5	72,7	
N ₃	73,3	71,6	72,0	71,3	72,1	
Átlag	73,4	71,8	72,2	71,8	72,3	0,8
SzD _{5%} bármely két kez.		NS			-	-

2012

A 2012-ben a mért hektolitertömeg értékek a 30. táblázatban láthatók. Az adatok alapján megállapítható, hogy N-trágyázás nélkül (N₀) – a P-kezelések átlagában – 70,2 kg volt az árpa hektolitertömege, amelyet N₁-kezelés szignifikáns mértékben emelt, azonban a a N-trágyázás magasabb szintjei (N₂, N₃) nem módosították az adott paraméter értékeit.

30. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa hektolitertömegére (kg/hl) (Szarvas, 2012)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	69,7	71,3	70,3	69,7	70,2	0,6
N ₁	71,1	71,4	71,2	71,6	71,3	
N ₂	70,0	71,4	72,5	71,7	71,4	
N ₃	71,0	73,6	69,8	70,8	71,3	
Átlag	70,4	71,9	70,9	71,0	71,1	NS
SzD _{5%} bármely két kez.		1,3		-	-	

A talaj 2011 őszén mért P-készlete (118-233 mg/kg) megbízható hatással nem volt a hektolitertömeg alakulására, a N-kezelések átlagában. A maximális értéket (71,9 kg/hl) az évente 100 kg/ha P-adag (P₁) kijuttatása eredményezte, amit a P₂- és P₃-kezelések tendenciális mértékben csökkentettek.

A kedvezőbb N-ellátottsági szinten (80 és 160 kg/ha) a talaj jobb AL-P₂O₅-tartalma (186-233 mg/kg) emelte az árpa hektolitertömegét, pozitív N X P kölcsönhatást eredményezve.

2013

2013-ban a korábbi vizsgálati évekkal ellentétben – a P-kezelések átlagában – N-trágyázás nélkül (N₀) mértük a legmagasabb hektolitertömeget (67,5 kg/hl), amikor a 0-60 cm-es talajréteg ásványi N-ellátottsága tavasszal 124 kg/ha volt. A 80 kg/ha és 160 kg/ha N-ellátások (N₁, N₂) alkalmazása tendenciális jellegű, míg a legmagasabb N₃-dózisok (240 kg/ha) szignifikáns mértékű csökkenést (63,4 kg) okoztak a talaj 264 kg/ha tavaszi ásványi N-tartalma esetén (31. táblázat).

31. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa hektolitertömegére (kg/hl) (Szarvas, 2013)

N-ellátás	P-ellátás				Átlag	SzD _{5%}
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N ₀	64,9	65,0	66,3	66,7	65,7	1,1
N ₁	65,3	66,4	64,6	64,7	65,3	
N ₂	64,9	65,6	66,0	63,3	65,0	
N ₃	63,2	62,9	64,4	63,1	63,4	
Átlag	64,6	65,0	65,3	64,4	64,8	0,4
SzD _{5%} bármely két kez.		NS		-	-	

2012/2013 tenyésztésén őszén a 0-30 cm-es talajréteg 124 és 244 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀, P₃) azonos hektolitertömeget eredményezett. A kontrollhoz viszonyítva szignifikáns mértékű hektolitertömeg emelkedés jelentkezett a talaj 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma esetén (P₁), amit a P₂-ellátás érdemben nem módosított.

Összességében megállapítható, hogy három vizsgálati évből (2011-2013) két évben (2012, 2013) a N-trágyázás megbízható mértékben módosította az árpa

hektolitertömegét. A kísérleti években a magasabb hektolitertömegeket eltérő N-ellátás mellett kaptuk - N₂, N₀ - a tavasszal mért 108-124 kg/ha ásványi N-tartalom mellett. A túlzott N-trágyázás rendszerint csökkentette a hektolitertömeget.

2010, 2011 és 2012 őszén a talaj művelt rétegében mért AL-P₂O₅-ellátottságok eltérő mértékben módosították az árpa hektolitertömegét. 2012-ben a P-trágyázás tendenciális mértékben módosította a hektolitertömeget. 2011-ben a talaj AL-P₂O₅-készletének változása megbízható mértékben csökkentette, míg 2013-ban szignifikáns mértékben emelte a hektolitertömeget P₁-kezelés esetében. A P₂- és P₃-kezelések alkalmazása érdemi változást nem eredményeztek a hektolitertömeg alakulásában.

4.6 A N-, P- és K-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére

4.6.1 N-ellátottság főhatás

A N-ellátás hatását az őszi árpa szemterméshozamára a P- és K-kezelések átlagában a 32. táblázat adatai alapján értékelhetjük.

A 2010/2011-es kísérleti évben a N-trágyázás nélküli (N₀) parcellákon, ahol 21. éve N-trágyázást nem végeztek, tavasszal a talaj 0-60 cm-es rétegének N_{min}-tartalma 102 kg/ha volt, 2,22 t/ha árpahozamot mértünk. A 40 kg/ha alaptrágyaként és 40 kg/ha fejrtrágyaként kijuttatott N-trágya (N₁) megbízható hozamgyarapodást eredményezett (3,33 t/ha) a kontrollhoz képest. Ezen az agyagos vályog talajon a termésmaximumot a 160 kg/ha N-adag (N₂) megosztott kijuttatása eredményezte, mely kezelésben a tavasszal mért ásványi N-tartalom (N_{min}) 116 kg/ha volt. A legmagasabb N₃-ellátottsági szint (240 kg/ha) termésdepressziót okozva megbízhatóan csökkentette az árpa termésmennyiségét (3,58 t/ha) 158 kg/ha tavaszi N_{min}-tartalom mellett.

Használjuk a relatív termés fogalmát, amely azt mutatja, hogy N-trágyázás nélkül hány százalékos hozamot lehetett elérni a termésmaximumhoz képest. A relatív termés 2011-ben 59% volt.

32. táblázat A N-ellátás hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére a P- és K-kezelések átlagában (t/ha). (Szarvas, 2011–2013)

Év	Szemtermés (t/ha)				SzD _{5%}	Átlag	Relatív termés (%)
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃			
2011	2,22	3,33	3,77	3,58	0,15	3,23	59
2012	3,39	5,03	5,33	5,05	0,27	4,70	64
2013	2,77	4,29	4,48	4,34	0,18	3,97	62
Átlag	2,79	4,22	4,53	4,32	-	3,97	62

Annak ellenére, hogy a 2011/2012-es kísérleti évben a vetés időszakában és a bokrosodás kezdetén a több mint 70 mm-rel kevesebb csapadék hullott, mint a sokévi átlag, a vizsgált három év közül a legmagasabb hozamokat regisztráltuk (3,39-5,33 t/ha). A N-trágya kezelések a tavaszi N_{min}-tartalmában jelentős különbségek nem adódtak, azok értéke a 0-60-es szintben 98-109 kg/ha között változott (7. táblázat). A kontroll (N₀) esetében 3,39 t/ha volt az árpa termésmennyisége, amely az emelkedő N-dózisok hatására megbízhatóan növekedett. A legnagyobb terméshozamot (5,33 t/ha) a 160 kg/ha N₂-ellátottság eredményezte. A maximális N₃-ellátottsági szint (240 kg/ha) a termésmaximumhoz képest szignifikáns terméshozam csökkenést váltott ki. A relatív termés 64% volt.

2012/2013. vizsgálati évben N-ellátás nélkül (N₀) 2,77 t/ha volt a szemtermés, amikor tavasszal a 0-60 cm-es talajréteg ásványi N-tartalma 124 kg/ha volt. Az N₀-

kezeléshez képest szignifikáns mértékű hozamgyarapodást tapasztaltunk N₂-ellátás alkalmazásáig, amely egyben maximalizálta az árpatermés mennyiségét (4,48 t/ha), a 0-60 cm-es talajréteg 162 kg/ha N_{min}-ellátottsága mellett. A N₃-dózis (240 kg/ha) - a korábbi évekhez hasonlóan - termésdepressziót okozva tendenciális mértékben csökkentette az árpa hozamát, a tavasszal mért 264 kg/ha N_{min}-tartalom mellett. A relatív termés 62% volt.

A vizsgált évek (2011-2013) eredményei szerint a legalacsonyabb árpahozamot N-trágyázás nélkül (N₀) mértük (2,22-3,39 t/ha). A N-trágyázás növekvő adagja N₂-ellátásig megbízható mértékben emelték az őszi árpa hozamát, míg a maximális N₃-ellátás (240 kg/ha) többnyire szignifikáns mértékben csökkentette a termésmennyiséget.

4.6.2 P-ellátottság főhatás

A tartamkísérlet 21-23. éveiben a P-trágyázásban nem részesült (P₀) parcellák művelt talajrétegének AL-P₂O₅-tartalma 118-133 mg/kg volt, míg a P-trágyázásban részesült (P₁, P₂, P₃) parcelláké 186-251 mg/kg között alakult (6. táblázat).

2010 őszén P-trágyázás nélkül (P₀) a művelt talajréteg 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága 2,96 t/ha szemtermést eredményezett 2011-ben. A P₁-kezelés eredményezte a termésmaximumot (3,33 t/ha) a talaj 206 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett. A P₂- és P₃-trágyázások (194 és 251 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom) érdemben nem befolyásolták a termésmennyiséget a maximumhoz képest. A relatív termés pedig 89% (33. táblázat).

33. táblázat. A P-ellátás hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére a N- és K-kezelések átlagában (t/ha). (Szarvas, 2011–2013)

Év	Szemtermés (t/ha)				SzD _{5%}	Átlag	Relatív termés (%)
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃			
2011	2,96	3,33	3,30	3,32	0,23	3,23	89
2012	4,50	4,78	4,67	4,87	0,24	4,71	92
2013	3,83	3,94	3,94	4,26	0,25	3,99	90
Átlag	3,76	4,02	3,97	4,15	-	3,98	90

A 2011/2012. kísérleti évben P-kezelés nélkül (P₀) a talaj művelt rétegének 118 mg/kg AL-P₂O₅- tartalma mellett 4,50 t/ha hozamot mértünk. A kontrollhoz képest a művelt talajréteg 224 mg/kg AL-P₂O₅-készlete (P₁) megbízható hozamgyarapodást (4,78 t/ha) jelentett, amely tendenciálisan emelkedett és maximalizálódott 233 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság esetén (P₃). A relatív termés ebben a vizsgálati évben 92% volt. 2012 őszén P-trágyázás nélkül (P₀) a talaj 124 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága 3,83 t/ha árpahozamot eredményezett 2013-ban. A talaj 242 mg/kg AL-P₂O₅-készlete (P₁) tendenciális jelleggel emelte az árpa hozamát 3,94 t/ha-ra, amely nem változott talaj 192 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom hatására (P₂). A talaj 244 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága megbízható mértékben eredményezte (P₃) a termésmaximumot 4,26 t/ha. A relatív termés 90% volt.

A vizsgált években a talaj természetes P-szolgáltatóképesége (P₀) esetén a művelt talajréteg AL-P₂O₅-ellátottsága 118-124 mg/kg között alakult, mely ellátottságok az egyes években különböző hozamot eredményeztek, szám szerint 2,96, 4,50 és 3,83 t/ha-t. A vizsgált évek eredményei szerint a jobb P-ellátottság, a talaj művelt rétegének 186-244 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága szignifikánsan nagyobb szemtermést eredményezett (3,33-4,78 t/ha).

4.6.3 K-ellátottság főhatás

A K-ellátás hatását az őszi árpa szemterméshozamára a N- és P-kezelések átlagában a 29. táblázat adatai mutatják. A tartamkísérlet 21-23. éveiben a K-trágyázás nélküli (K₀) parcellák művelt talajrétegének AL-K₂O-tartalma közel azonos volt (210-218 mg/kg), míg a K-trágyázásban részesült (K₁, K₂, K₃) parcelláké 294-348 mg/kg között alakult (6. táblázat).

2010 őszén K-műtrágya kijuttatás nélkül (K₀) a művelt talajréteg 218 mg/kg AL-K₂O készlete 3,07 t/ha termés eléréséhez volt elegendő. A talaj AL-K₂O-ellátottságának emelkedése 324 mg/kg-ra (K₁) megbízható hozamgyarapodást eredményezett, az árpatermés mennyisége 3,62 t/ha volt. A K₂- és K₃-ellátottsági szintek megbízhatóan csökkentették az árpa szemtermés mennyiségét a maximális hozamhoz képest.

34. táblázat A K-ellátás hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére, N- és P-kezelések átlagában (t/ha). (Szarvas, 2011–2013)

Év	Szemtermés (t/ha)				SzD _{5%}	Átlag	Relatív termés (%)
	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃			
2011	3,07	3,62	3,26	2,95	0,24	3,23	85
2012	4,62	4,66	4,72	4,79	NS	4,70	96
2013	3,74	4,29	3,97	3,96	0,17	3,99	87
Átlag	3,81	4,19	3,98	3,90	-	3,97	89

A relatív termés – mely azt mutatja, hogy K-trágyázás nélkül a termésmaximum hány százalékát lehet elérni – 2011-ben 85% volt.

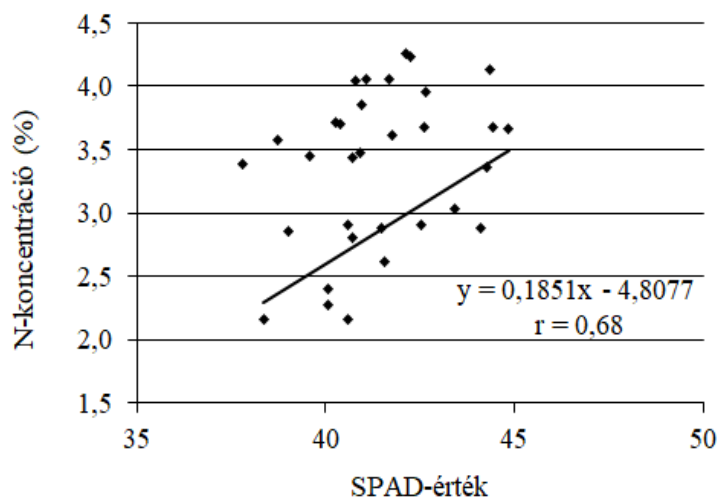
2011/2012. vizsgálati évben az árpa hozama szűk intervallumban alakult (4,62-4,79 t/ha). A talaj AL-K₂O-készletének változása (210-335 mg/kg) az egyes K-kezelések hatására csak tendenciális mértékű hozamgyarapodást jelentett.

2012/2013. kísérleti évben a kontroll (K₀) esetében 3,74 t/ha volt az árpa hozama a művelt talajréteg 212 mg/kg AL-K₂O-ellátottsága mellett. A talaj AL-K₂O-készletnek emelkedése 310-348 mg/kg-ra (K₁, K₂, K₃) megbízható hozamgyarapodást jelentett a kontroll kezeléshez képest. A K₂- és K₃-ellátottsági szintek kismértékű szemtermés csökkenést váltottak ki a termésmaximumhoz viszonyítva.

A három kísérleti év alapján megállapítható, hogy a 210-218 mg/kg AL-K₂O (K₀) ellátottsághoz képest egyes években a jobb K-ellátottság (320-348 mg/kg) a termés hozamot növelte.

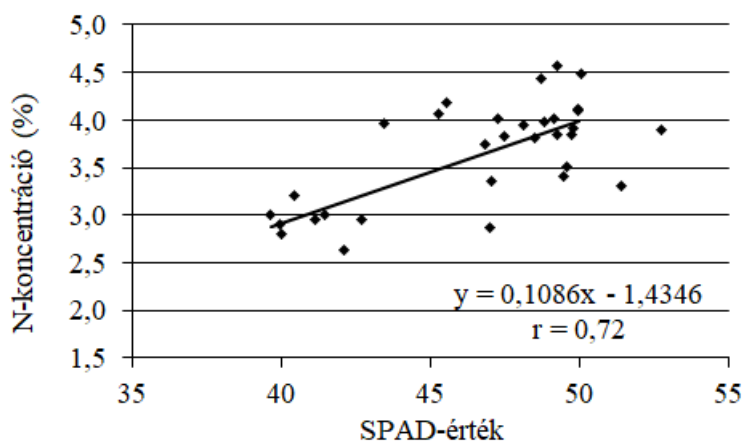
4.7 Összefüggés az őszi árpa SPAD-értéke és a N-koncentrációja között bokrosodás végén

Az őszi árpa bokrosodás végén (Feekes 5-6), 2011 tavaszán az emelkedő N-kezelés többnyire megbízhatóan növelte a N-koncentrációt. A N-ellátás függvényében az árpa levél bokrosodáskori N-szintjét jellemző SPAD-érték gyarapodás is jelentős volt. A levélzet klorofill tartalmát jellemző SPAD-érték a gyakorlatban használható az őszi árpa N-tápláltságának megítélésére. 2011-ben közepes (r=0,68) lineáris összefüggést tapasztaltunk az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és N-koncentrációja között (14. ábra).



14. ábra. Összefüggés az őszi árpa SPAD-értéke és a N-koncentrációja között bokrosodás végén (Szarvas, 2011)

2012 tavaszán az őszi árpa bokrosodásának fenofázisában (Feekes 5-6) szorosabb korreláció alakult ki az árpa N-koncentrációja és a SPAD-érték között, a korreláció értéke $r = 0,72$ volt (15. ábra).



15. ábra. Összefüggés az őszi árpa SPAD-értéke és a N-koncentrációja között bokrosodás végén (Szarvas, 2012)

Az összefüggésvizsgálatok alapján megállapítható, hogy az őszi árpa bokrosodás végén mért N-koncentrációja és a levél SPAD értéke között a korreláció szoros volt, ezek alapján relatív klorofill tartalom mérése, alkalmas a SPAD-érték a N-tápláltság jellemzésére.

4.8 Összefüggés a SPAD-érték és az őszi árpa szemtermés mennyisége között

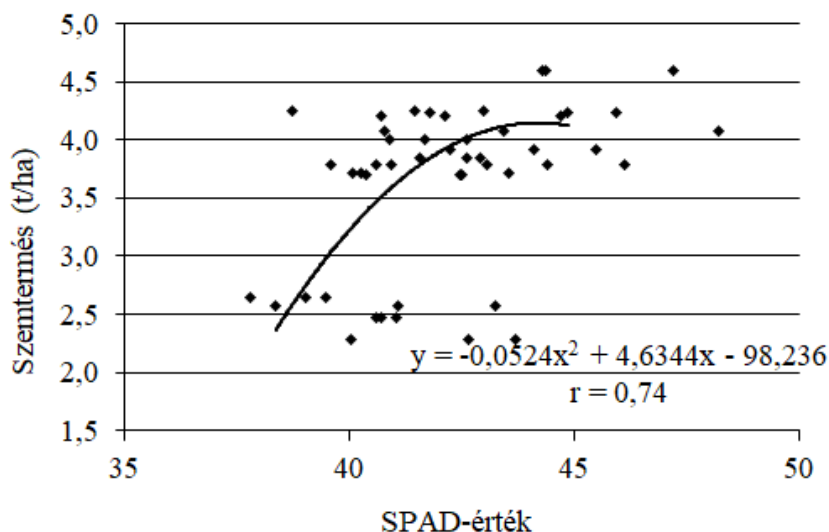
Az 16. ábra az őszi árpa szemtermése és a bokrosodás végén mért SPAD-érték közötti kapcsolatot mutatja be 2011-ben. Az összefüggést vizsgálva megállapítható, hogy a relatív klorofill tartalom emelkedésével emelkedett a hozam is. A SPAD-értéket és a hozamot jellemző polinom trendvonal szoros kapcsolatot mutatott ($r=0,74$). A kielégítő SPAD-értékhez (43-45) 4,0 t/ha szemtermés tartozott.

2012-ben az árpa szemtermése és a bokrosodás végén mért relatív klorofill tartalom közötti kapcsolatot jellemző polinom trendvonalhoz $r=0,92$ korrelációs koefficiens tartozott, ami igen szoros összefüggést jelent. A diagramot elemezve

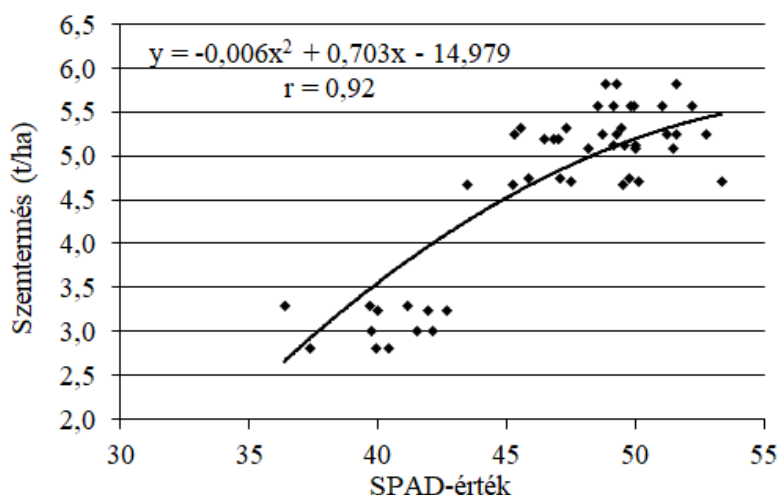
szembetűnő a N-trágyázás (N_1 , N_2 , N_3) hatására bekövetkezett hozamnövekedés, ahol a kielégítő (45-50) SPAD-értékhez 5,0-6,0 t/ha terméshozam társult (17. ábra).

2013-ban a polinomiális regresszió során az $r=0,84$ volt, ami az őszi árpa bokrosodáskori SPAD-értéke és a szemtermés közötti szoros kapcsolatot. 2013-ban a korábbi éveknél magasabb SPAD-értékeket mértünk, kielégítőnek a 47-52 SPAD-érték tekinthető, amelyhez 4,0-4,5 t/ha hozam tartozik (18. ábra).

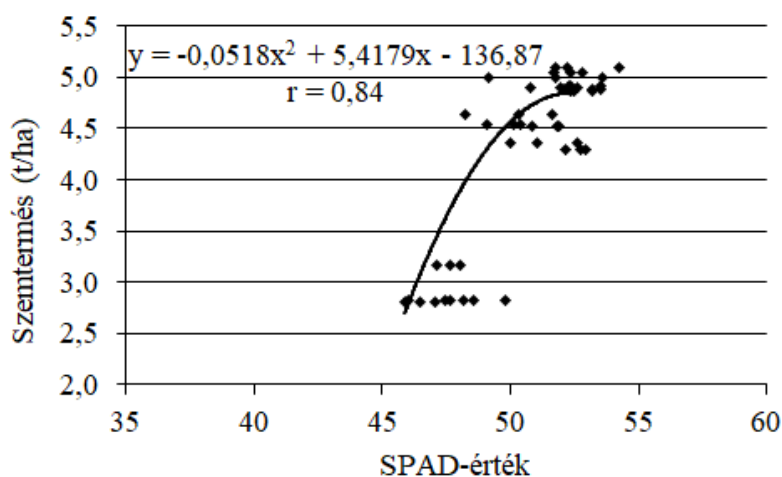
A vizsgált évek eredményei szerint az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke, N-tápláltsága kielégítőnek tekinthető, amennyiben a SPAD-érték 40-52 közötti, melyhez 4,0-6,0 t/ha terméshozam tartozott.



16. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és a szemtermés mennyisége között (Szarvas, 2011)



17. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és a szemtermés mennyisége között (Szarvas, 2012)

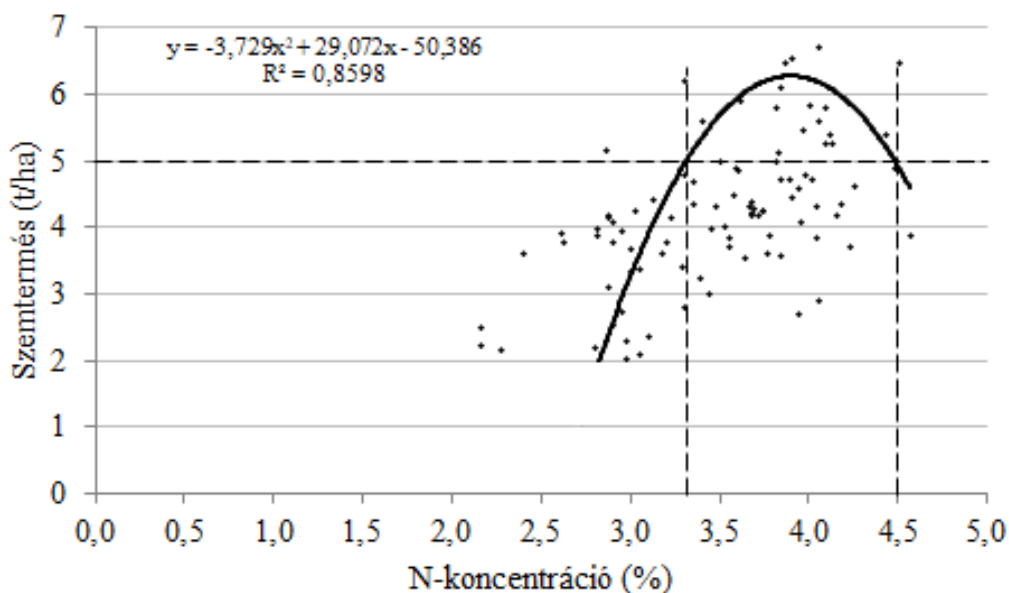


18. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és a szemtermés mennyisége között (Szarvas, 2013)

4.9 Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért tápelem-koncentrációja és a szemtermés mennyisége között

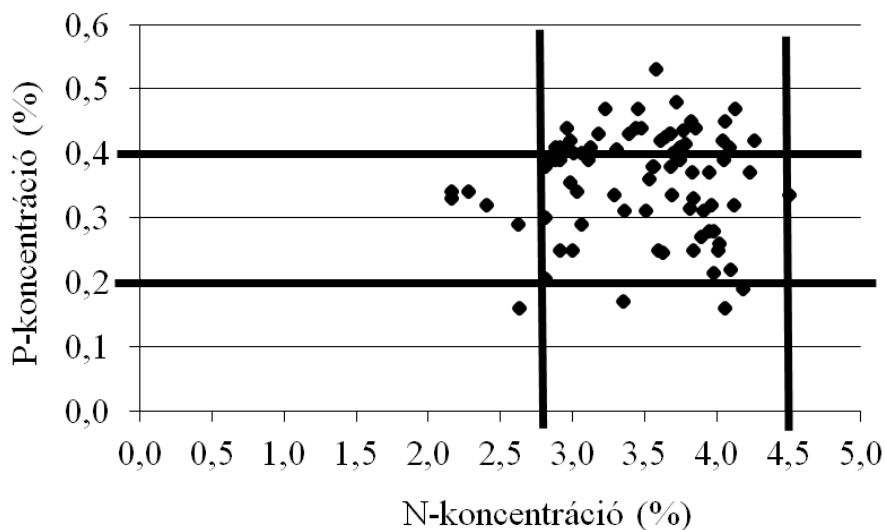
A kísérleti adatok szerint a N-ellátottságbeli különbségek jól tükröződnek az árpa levél bokrosodáskori N-koncentrációjában. A diagnosztikai célú növényanalízisnek akkor van gyakorlati értelme, ha a levél N-koncentrációja és a termés hozam között összefüggés van, és ezen összefüggés alapján az őszi árpa N-tápláltságára határértéket tudunk megállapítani. Az összefüggésvizsgálatot úgy végeztük el, hogy a szemtermést és a levél N-koncentráció értékeit koordináta rendszerben grafikusán ábrázoltuk és a pontthalmazt burkoló görbével határoltuk. A burkoló görbe mentén elhelyezkedő értékek azt az esetet reprezentálják, amikor a termést befolyásoló tényezők optimumban vannak és a hozamot csak a N-koncentráció befolyásolja. A burkoló görbe alatt elhelyezkedő értékek esetében egyes termés meghatározó tényezők nincsenek optimumban és a termés szintje nemcsak a N-tápláltságtól függ. Minél nagyobb termés szintre határozzuk meg a tápelem-ellátottsági optimumot annál szűkebb annak intervalluma, és minél kisebb hozamra annál tágabb.

A 19. ábra szerint az őszi árpa bokrosodása végén a levél N-koncentrációja és a szemtermés közötti összefüggés alapján a kielégítő N-ellátottsági határértékeit a termés maximum 90%-ára határoztuk meg, ami 5,0 t/ha feletti termés szinten 3,30-4,50% volt.

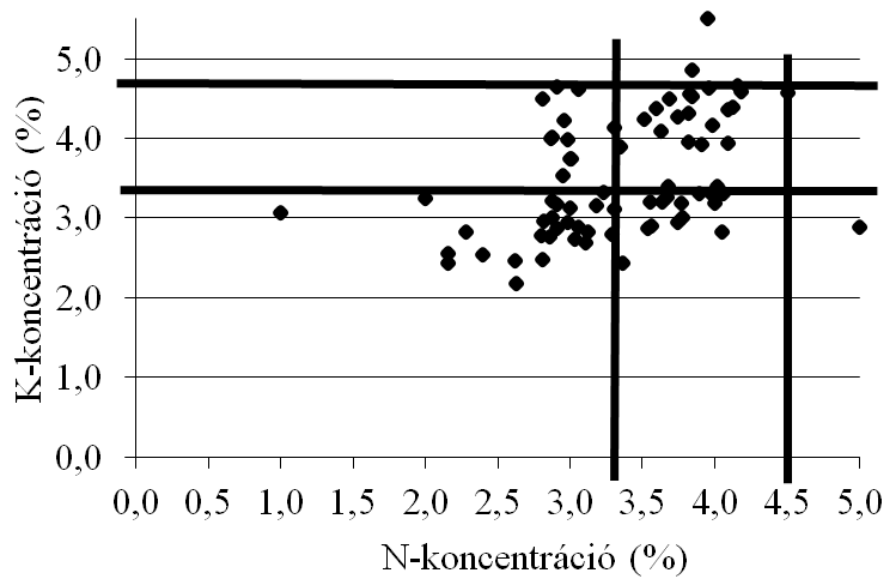


19. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért N-koncentrációja és a szemtermés mennyisége között (Szarvas, 2011-2012)

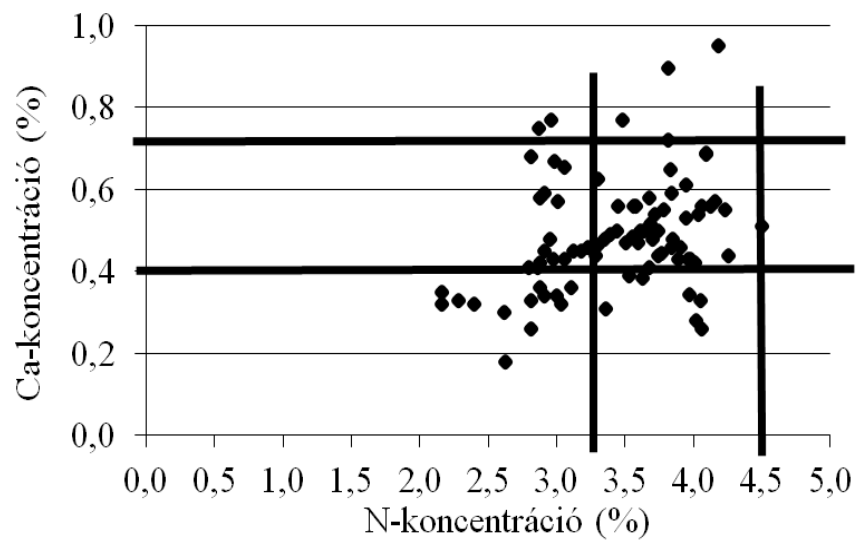
Az egyéb makroelemek (P, K, Ca, Mg és Na) és mikroelemek (Mn, Zn, Cu, B, Mo) esetében a kielégítő ellátottsági határértékét úgy határoztuk meg, hogy grafikusan ábrázoltuk a levél N-koncentrációhoz tartozó P-, K-, Na-, Ca- Mg-, Mn-, Zn-, Cu, B, és Mo-koncentrációkat, majd meghatároztuk – az ábrán lehatároltuk – a 3,30-4,50 N-koncentrációhoz tartozó egyes makro- és mikroelemek koncentrációit, amelyek a termésmaximum legalább 90%-os szintjének megfeleltek (20-29. ábrák).



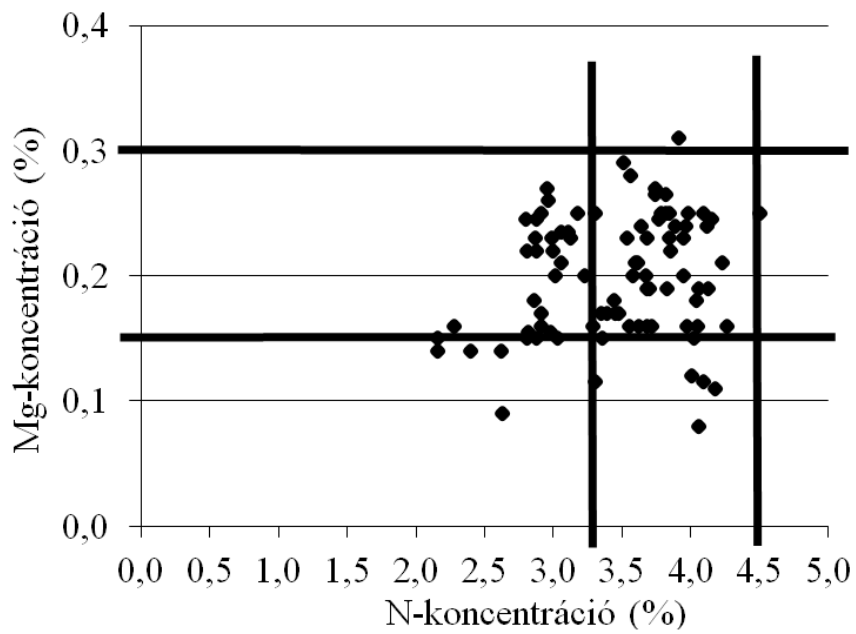
20. ábra. Kielégítő P-koncentráció határérték



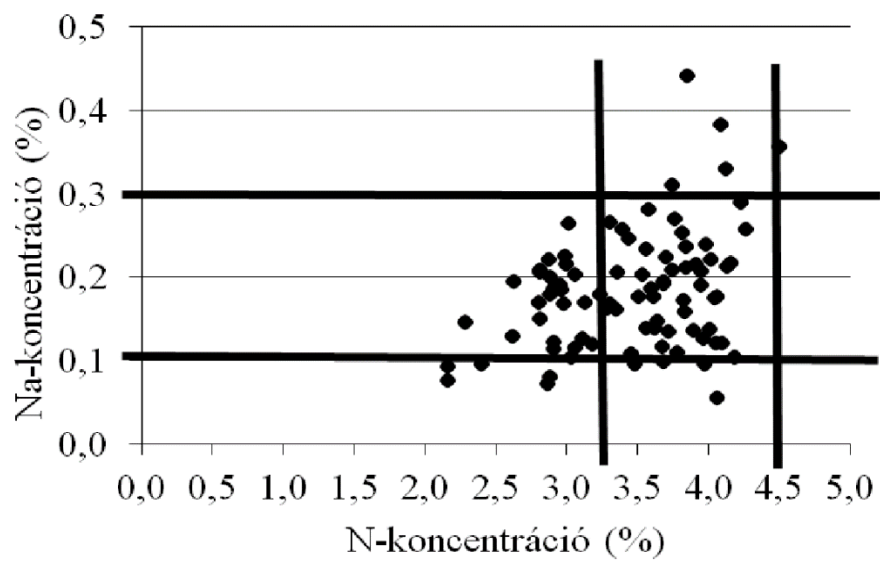
21. ábra. Kielégítő K-koncentráció határérték



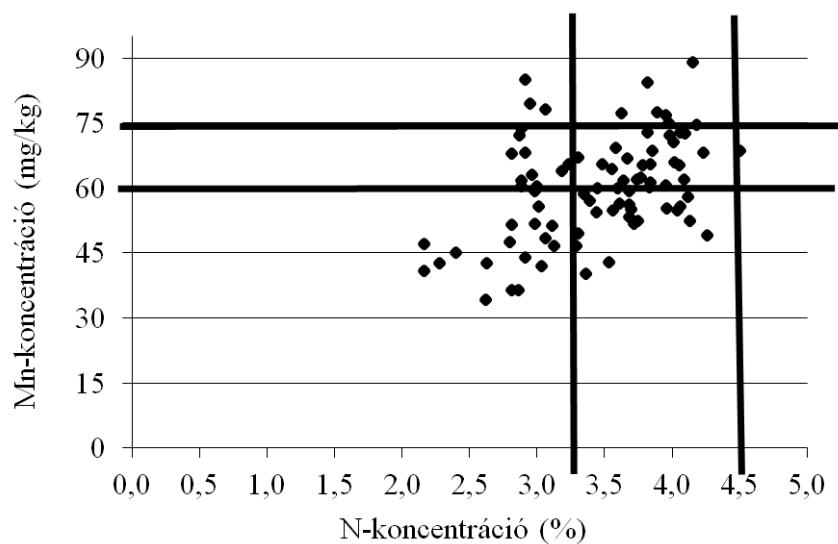
22. ábra. Kielégítő Ca-koncentráció határérték



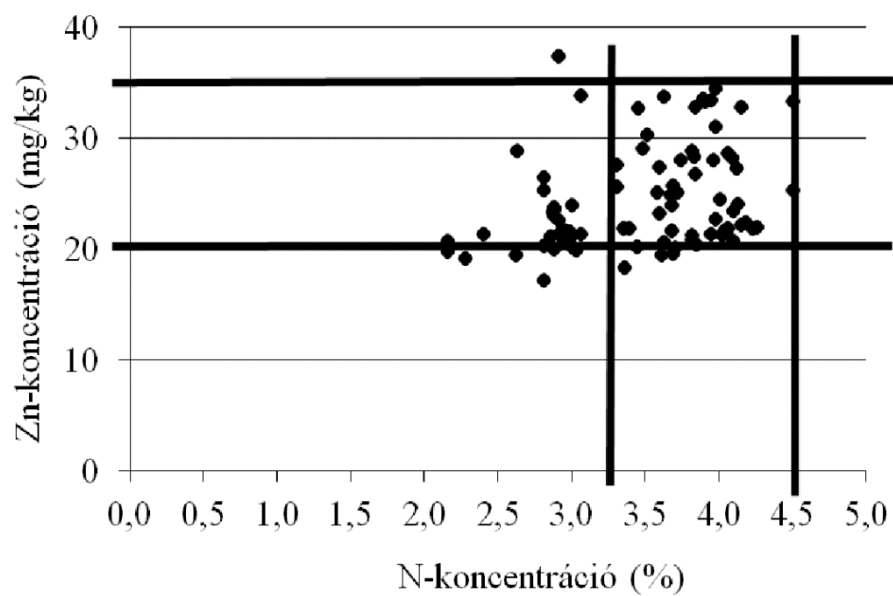
23. ábra. Kielégítő Mg-koncentráció határérték



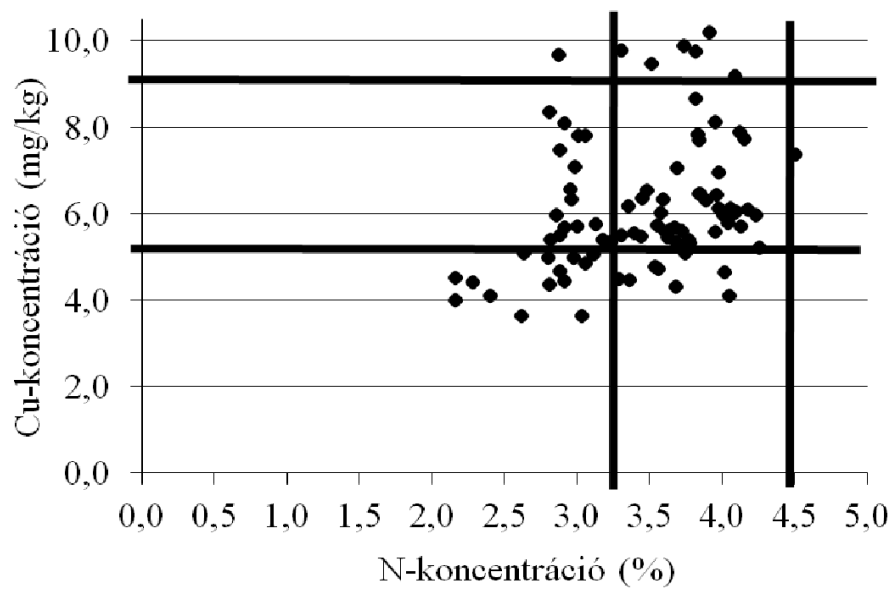
24. ábra. Kielégítő Na-koncentráció határérték



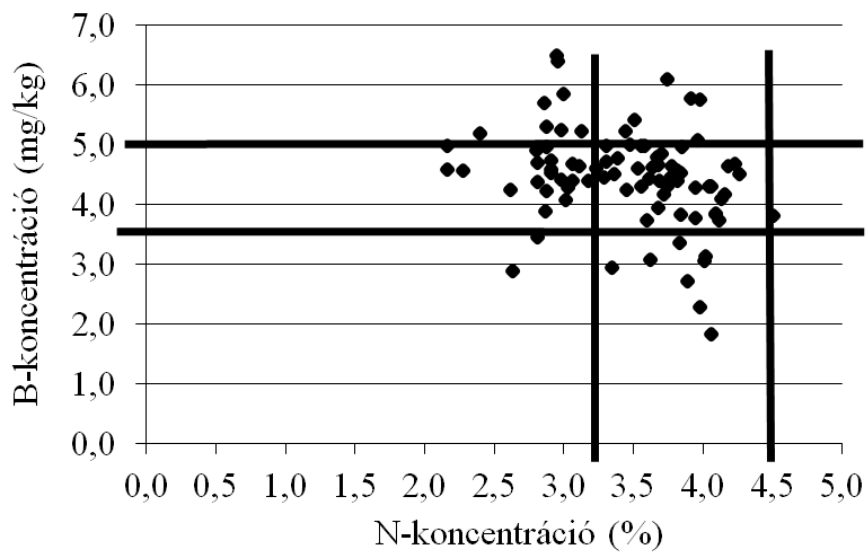
25. ábra. Kielégítő Mn-koncentráció határérték



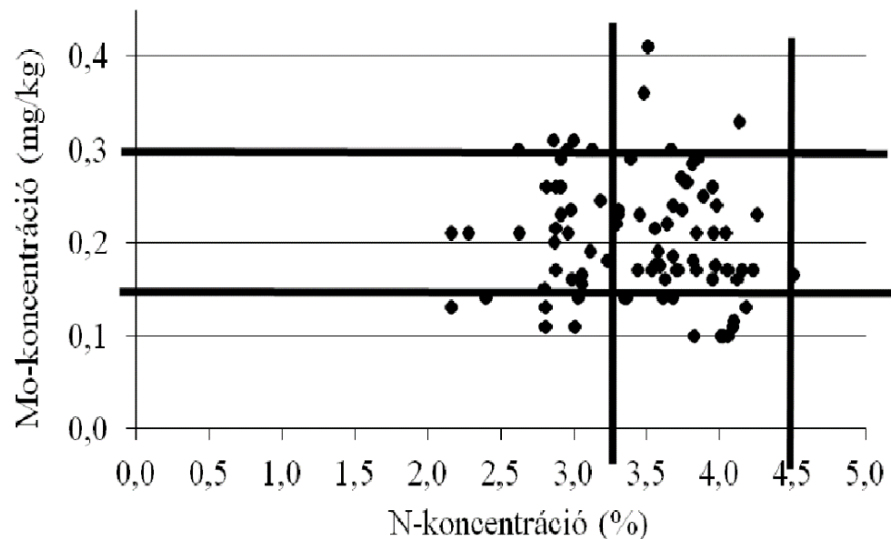
26. ábra. Kielégítő Zn-koncentráció határérték



27. ábra. Kielégítő Cu-koncentráció határérték



28. ábra. Kielégítő B-koncentráció határérték



29. ábra. Kielégítő Mo-koncentráció határérték

Az összefüggés vizsgálatok alapján az őszi árpa bokrosodása végén fonofázisában a kielégítő határértékek a következő tápelem-koncentrációkkal jellemezhető: N 3,30-4,50 %; P 0,20-0,40%; K 3,30-4,60%; Ca 0,40-0,70%; Mg 0,15-0,30%; Na 0,10-0,30%; Mn 60-75 mg/kg; Zn 20-35 mg/kg; Cu 5-9 mg/kg; B 3,50-5,00 mg/kg; Mo 0,15-0,30 mg/kg.

4.10 A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelemtartalmára

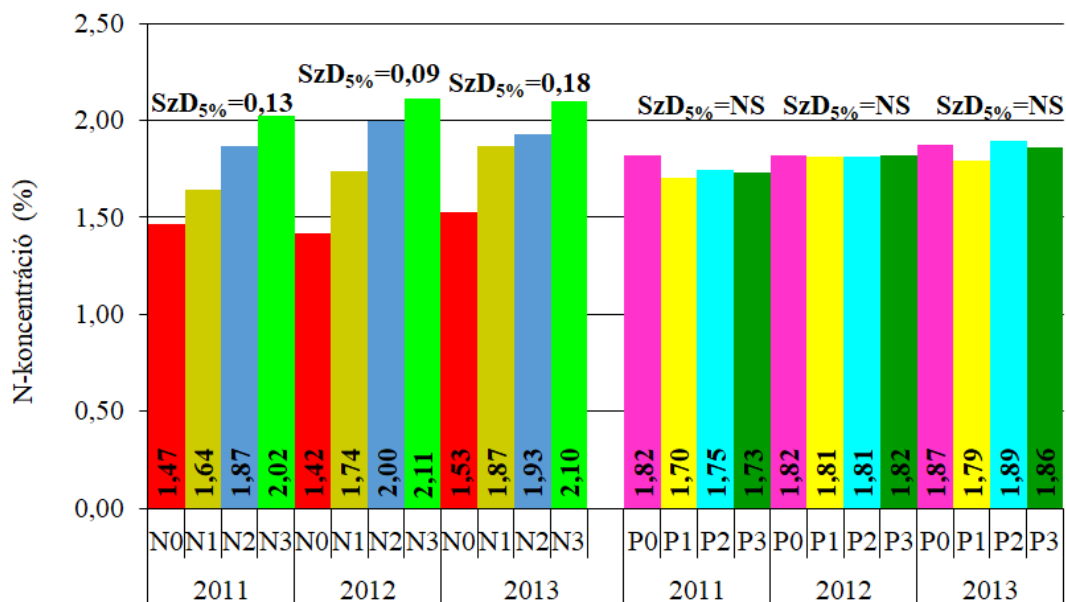
4.10.1 N-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011 tavaszán N-trágyázás nélkül (N_0) a talaj 0-60 cm-es mélységben 102 kg/ha ásványi N-tartalom 1,47% N-koncentráció elérését eredményezte a szemtermésben. Szignifikáns N-koncentráció gyarapodást eredményezett mindegyik N-kezelés (80, 160 és 240 kg/ha), az árpatermés N-koncentrációja 1,64-2,02% között alakult. A legmagasabb N_3 -ellátás (240 kg/ha) alkalmazása mellett mértük a maximális N-tartalmat (2,02%), amikor tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében az N_{\min} -tartalom 158 kg/ha volt (30. ábra).

2012 tavaszán az egyes N-kezelések érdemben nem változtatták a 0-60 cm-es talajréteg ásványi N-készletét (98-109 kg/ha). N-trágyázás nélkül (N_0) a N-koncentráció értéke 1,42% volt, mely szignifikáns mértékben gyarapodott az emelkedő N-kezelések hatására (N_1 , N_2), majd maximalizálódott N_3 -kezelés eredményeként, ahol a koncentráció mennyisége 2,11% volt.

2013-ban N-trágyázás nélkül (N_0) a talaj 0-60 cm-es mélységében 124 kg/ha ásványi N-tartalom – a korábbi évekhez hasonlóan – a legalacsonyabb N-koncentrációt eredményezte (1,53%). A kontrollhoz képest megbízható koncentráció növekedést eredményezett mindegyik N-kezelés (N_1 , N_2 , N_3), azonban az egyes N-kezelések között matematikailag igazolható koncentráció gyarapodást csak a N_3 -kezelés (240 kg/ha) alkalmazása eredményezett a talaj 264 kg/ha ásványi N-tartalma mellett, a koncentráció értéke 2,10% volt.



30. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés N-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

Mind a három vizsgálati évben (2011, 2012 és 2013) N-trágyázás nélkül (N₀) hasonló N-koncentrációkat mértünk (1,47; 1,42 és 1,53%) a talaj közel azonos tavaszi ásványi N-tartalma mellett (102-98-124 kg/ha N_{min}). A legmagasabb N-koncentrációkat a tavasszal mért 158, 104, illetve 264 kg/ha ásványi N-tartalom biztosította.

A P-ellátottság hatása

A talaj AL-P₂O₅-készletének változása a szemtermés N-koncentráció alakulását kevésbé befolyásolta (30. ábra).

2010/2011 vizsgálati évben a kontroll parcellán (P₀) mértük a legmagasabb N-koncentrációt (1,82%), a talaj művelt rétegének 133 mg/kg AL-P₂O₅ készlete mellett. A talaj AL-P₂O₅-készletének emelkedése (194-251 mg/kg) tendenciális mértékben csökkentette az árpa szemtermés N-koncentrációját.

2011/2012. tenyészévben a kontroll esetében (P₀) a korábbi évvel megegyező (1,82%) N-koncentrációt mértünk a 0-30 cm-es talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅ tartalma mellett. Ebben a vizsgálati évben a koncentráció mennyisége nem változott a talaj AL-P₂O₅-készletének emelkedésére (186-233 mg/kg).

2012 őszén a művelt talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀) 1,87% N-koncentrációt ért el eredményezte, amely érdemben nem változott a talaj 192-244 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága esetén.

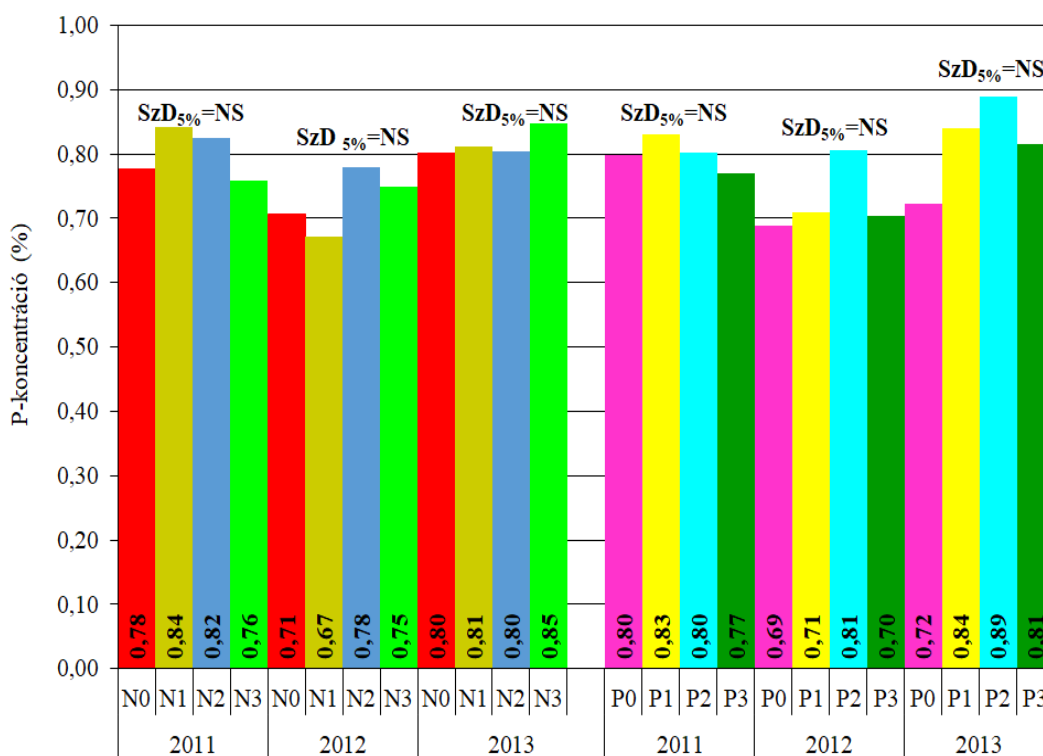
A vizsgált évek eredményei szerint a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában a szemtermés N-tartalmát a P-ellátottság megbízhatóan nem befolyásolta.

4.10.2 P-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2010/2011. vizsgálati évben az árpa szemtermés P-koncentrációja szűk intervallumban alakult (0,76-0,84%), a N-kezelések megbízható változást nem eredményeztek (31. ábra). N-trágyázás nélkül (N₀) 0,78% P-tartalmat mértünk, amely tendenciális mértékben 0,84%-ra emelkedett N₁-kezelés (80 kg/ha) hatására, amikor

tavasszal a 0-60 cm-es talajrétegben az N_{\min} -tartalom 120 kg/ha volt. A N-trágyázás magasabb szintjei (160 és 240 kg/ha) P-koncentráció csökkenést idéztek elő (31. ábra).



31. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés P-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2012 tavaszán N-trágyázás nélkül (N_0) 0-60 cm-es talajmélységben 98 kg/ha N_{\min} -tartalom 0,71% P-koncentrációt eredményezett. A N-trágyázás legalacsonyabb szintje (N_1) – a korábbi évvel ellentétben – eredményezte a legalacsonyabb (0,67%) P-koncentrációt, amit a 160 kg/ha N-ellátás (N_2) maximalizált a talaj (0-60cm) 108 kg/ha ásványi N-tartalma mellett.

2012/2013-es kísérleti évben N-kezelés nélkül (N_0) a talaj 124 kg/ha N_{\min} -készlete 0,80% P-koncentráció eléréséhez volt elegendő, mely érték nem módosult N_1 - és N_2 -kezelések hatására, azonban 240 kg/ha N-kezelés (N_3) tendenciális mértékben a legmagasabb P-koncentrációt jelentette (0,85%), a tavasszal mért ásványi N-tartalom 264 kg/ha volt.

A három vizsgálati év eredményei szerint (2011-2013) a N-kezelések az őszi árpa szemtermés P-koncentrációját szignifikáns mértékben nem befolyásolták, az évjárat nagyobb hatással volt a P-tartalom alakulására, mint a N-trágyázás.

A P-ellátottság hatása

Az árpa szemtermés P-koncentrációja 2010/2011-ben 0,77-0,83% között alakult (31.ábra). A kontroll esetében (P_0) a talaj 133 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága mellett 0,80% koncentrációt mértünk. A legmagasabb P-tartalmat (0,83%) a talaj 206 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága (P_1) mellett mértük, amely nem szignifikáns mértékben csökkent a művelt talajréteg 194 és 251 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága (P_2 , P_3) esetén.

2011 őszi a talaj 0-30 cm-es mélységében 118 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalom 0,69% P-koncentráció elérését jelentette, amely érdemben nem változott 224 és 233 mg/kg

AL-P₂O₅-ellátottság (P₁- és P₃-kezelés) esetén. A legmagasabb P-koncentrációt P₂-kezelés alkalmazása jelentette (0,81 mg/kg) a talaj 186 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága mellett.

2012/2013-es kísérleti évben a P-trágyázás nélkül (P₀) a talaj vetés előtti 124 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága 0,72% koncentrációt elérését jelentette. A kontrollhoz képest a 0-30 cm-es talajréteg 192 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma (P₂) eredményezte (0,89%) a legmagasabb P-tartalmat, amely mérséklődött 242 és 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom esetén (P₁- és P₃-kezelés).

A vizsgálati év eredményei azt mutatják, hogy a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsági tartományában az őszi árpa szemtermés P-koncentrációja megbízható mértékben nem változott, csak évjáráthatást tapasztaltunk.

4.10.3 K-koncentráció

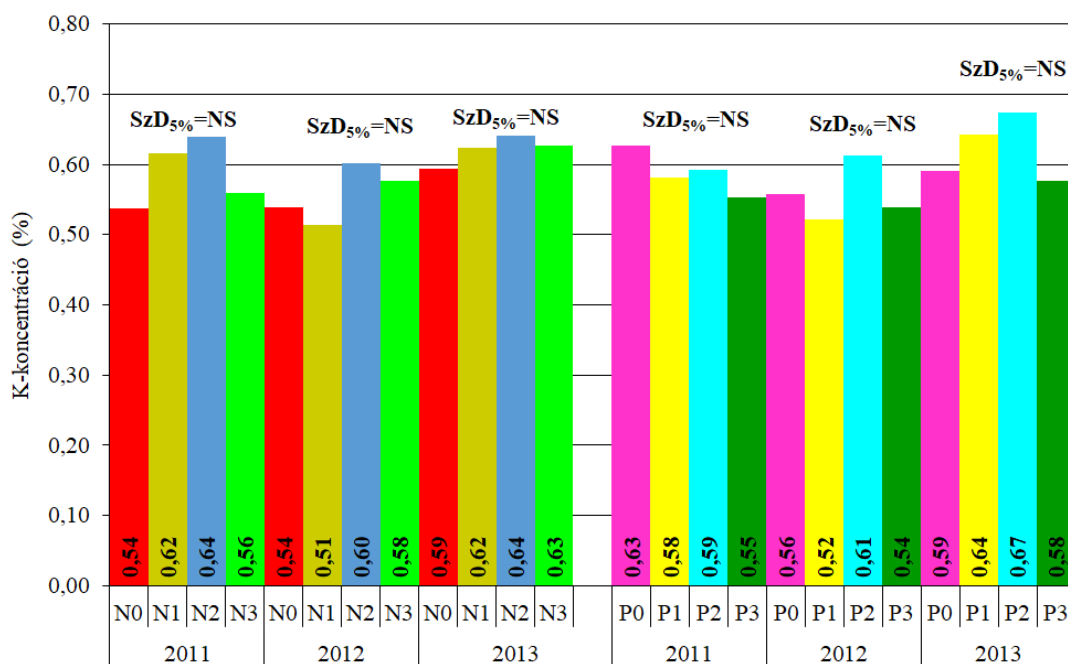
A N-ellátottság hatása

A N-trágyázás az őszi árpa szemtermés K-koncentrációját a vizsgálati években (2011-2013) hasonlóan befolyásolta, megbízható koncentráció változás nem alakult ki (32. ábra.).

2010/2011 vizsgálati évben N-trágyázás nélkül (N₀) az árpa szemtermés K-tartalma 0,54% volt, amely N₂-kezelésig tendenciálisan emelkedett, a koncentráció értéke 0,64% a tavasszal mért ásványi N-tartalom a 0-60 cm-es talajrétegben 116 kg/ha. A legmagasabb N₃-kezelés (240 kg/ha) alkalmazása K-koncentráció csökkenését okozta.

2012-ben a kontroll parcellán (N₀) az előző évvel azonos (0,54%) K-koncentrációt mértünk, megegyező ásványi N-tartalom mellett. A legmagasabb K-tartalmat a 160 kg/ha N-kezelés (N₂) alkalmazása (0,60%) jelentette, amit a maximális N-ellátás (240 kg/ha) csökkentett (0,58%).

2013-ban az előző évekhez hasonló tendencia alakult ki. N-trágyázás (N₀) nélkül mértük a legalacsonyabb K-koncentrációt (0,59%), mely N₂-kezelésig tendenciális mértékben emelkedett (0,64%), majd csökkent a legmagasabb N₃-kezelés (240 kg/ha) alkalmazása esetén.



32. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés K-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2011., 2012. és 2013. vizsgálati évek eredményei szerint az évjárat nagyobb mértékben befolyásolta a K-koncentrációt, mint a N-trágyázás.

A P-ellátottság hatása

A vizsgált években (2011-2013) a talaj AL-P₂O₅-ellátottsága szignifikáns hatással nem volt az őszi árpa szemtermés K-koncentrációjára, csak tendenciális jelleggel módosította a koncentráció mennyiségét (32. ábra).

2010 őszen a P-trágya kijuttatása nélkül (P₀) 0,63% K-koncentrációt mértünk az árpa szemtermésében művelt talajréteg 133 mg/kg AL-P₂O₅-tartalmánál. A talaj AL-P₂O₅-készletének emelkedése (194-251 mg/kg) az árpa K-tartalmának csökkenését eredményezte.

2011 őszen P-műtrágyázás nélkül (P₀) 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság 0,56% K-tartalmat eredményezett. A kontrollhoz képest a talaj 224 és 233 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₁ és P₃) tendenciálisan csökkentette az árpa K-koncentrációját, míg a talaj 186 mg/kg AL-P₂O₅-készlete eredményezte a legmagasabb K-tartalmat, a koncentráció értéke 0,60%.

2012 őszen a 0-30 cm-es talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma (P₀) 0,59% K-koncentrációt eredményezett. A talaj 192 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₂) mellett mértük a legmagasabb K-koncentrációt, amely csökkent a magasabb (242 és 244 mg/kg) AL-P₂O₅-tartalom (P₁, P₃) hatására.

A talaj P-készletének változása a vizsgált években eltérő mértékben alakította az árpa szemtermés K-koncentrációját. A legmagasabb K-koncentrációt többnyire a P₂-kezelés eredményezte (186-194 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom), a 206-251 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom a koncentráció csökkenését jelentette a maximális mennyiséghez képest.

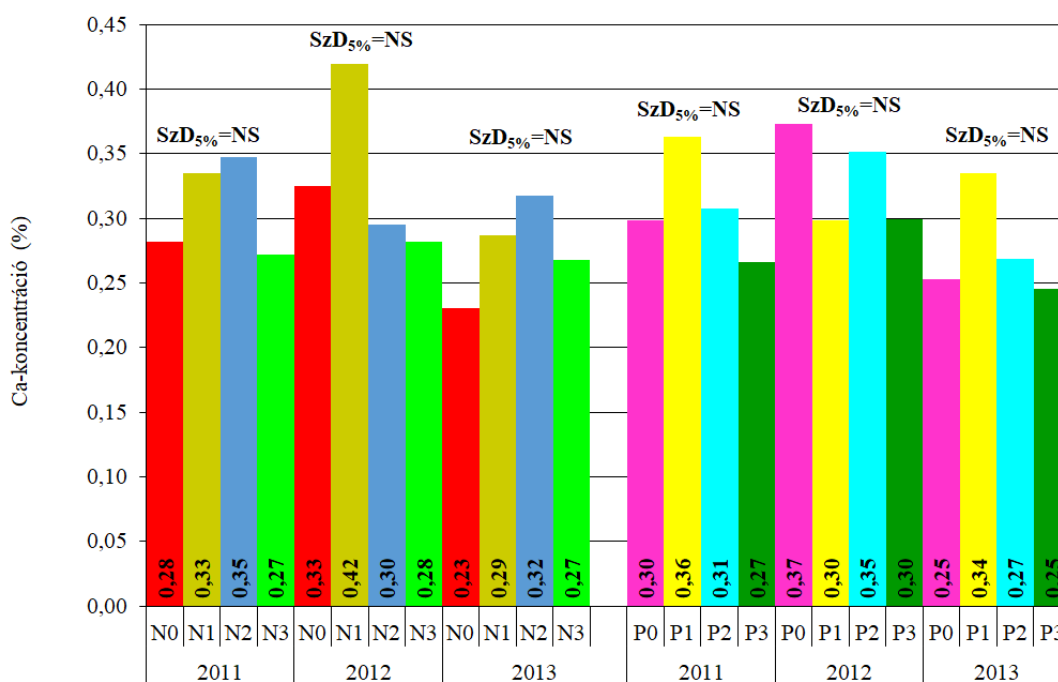
4.10.4 Ca-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011 tavaszán N-műtrágyázás nélkül (N_0) és a legmagasabb N_3 -dózis (240 kg/ha) alkalmazása esetén közel azonos volt a szemtermés Ca-koncentrációja (0,28 és 0,27%) a 0-60 cm-es talajréteg 102 és 158 kg/ha ásványi N-tartalma mellett. A kontrollhoz képest (N_0) N_2 -ellátásig tendenciális Ca-koncentráció gyarapodás jelentkezett, amely a legmagasabb Ca-mennyiséget is jelentette (0,35%) a talaj 116 kg/ha N_{\min} -tartalmánál (33. ábra).

2012. évben N-trágyázás nélkül (N_0) 0,33% Ca-koncentrációt mértünk. A legmagasabb Ca-koncentrációt N_1 -dózis (80 kg/ha) alkalmazása eredményezte a 0-60 cm-es talajréteg 109 kg/ha ásványi N-tartalmánál, a koncentráció értéke 0,42%. A legalacsonyabb Ca-tartalmat az N_2 - és N_3 -kezelések eredményezték.

2013-ban N-műtrágyázás nélkül (N_0) 0,23%-ot ért el a szemtermés Ca-koncentrációja a talaj 124 kg/ha ásványi N-ellátottsága mellett. A kontrollhoz képest tendenciálisan mértékű Ca-koncentráció gyarapodást tapasztaltunk 160 kg/ha (N_2) N-ellátottságig, amikor tavasszal a 0-60 cm-es talajrétegben az N_{\min} -tartalom 162 kg/ha volt. A korábbi évekhez hasonlóan a legmagasabb N_3 -kezelés (240 kg/ha) Ca-koncentráció csökkenését idézett elő, a 0-60 cm-es talajréteg 264 mg/kg ásványi N-tartalma mellett.



33. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Ca-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

Összességében megállapítható, hogy a vizsgált években hasonlóan alakult a szemtermés Ca-koncentrációja, amit a N-ellátottság szignifikánsan nem befolyásolt, azonban az évjárat nagyobb hatással volt a Ca-tartalom alakulására, mint a N-trágyázás.

A P-ellátottság hatása

A P-műtrágyázás hatását az árpa szemtermés Ca-koncentrációjára a 33. ábra mutatja.

2010/2011-ben a talaj természetes P-szolgáltatása (133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság) 0,30% Ca-koncentráció elérést eredményezett, amely 194 mg/kg P₂O₅-tartalom (P₂) érdemben nem módosított. A művelt talajréteg 251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₃-kezelés) eredményezte a legalacsonyabb Ca-mennyiséget (0,27%), míg a talaj 206 mg/kg-os AL-P₂O₅-készlete (P₁) maximalizálta az árpa Ca-koncentrációját, értéke 0,36% volt.

2011/2012-ben a művelt talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀) a maximális Ca-tartalmat eredményezte, a koncentráció értéke 0,37% volt. A talaj magasabb AL-P₂O₅-tartalma (186-233 mg/kg, P₁-, P₂- és P₃-kezelések) a szemtermés Ca-koncentrációját csökkentette.

2013-ban P-trágyázás nélkül (P₀) a művelt talajréteg 124 mg/kg AL-P₂O₅-készlete mellett 0,25% volt az árpa szemtermés Ca-tartalma, amely 192 és 244 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom nem befolyásolt (P₂, P₃). A 2011. évhez hasonlóan a P₁-ellátás eredményezte a legmagasabb koncentrációt (0,34%) is, a talaj AL-P₂O₅-készlete 242 mg/kg AL-P₂O₅ volt.

A vizsgált évek (2011-2013) eredményei szerint a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában szignifikáns P-hatás nem volt kimutatható a szemtermés Ca koncentrációjában, az évjárat hatása kifejezőbb volt.

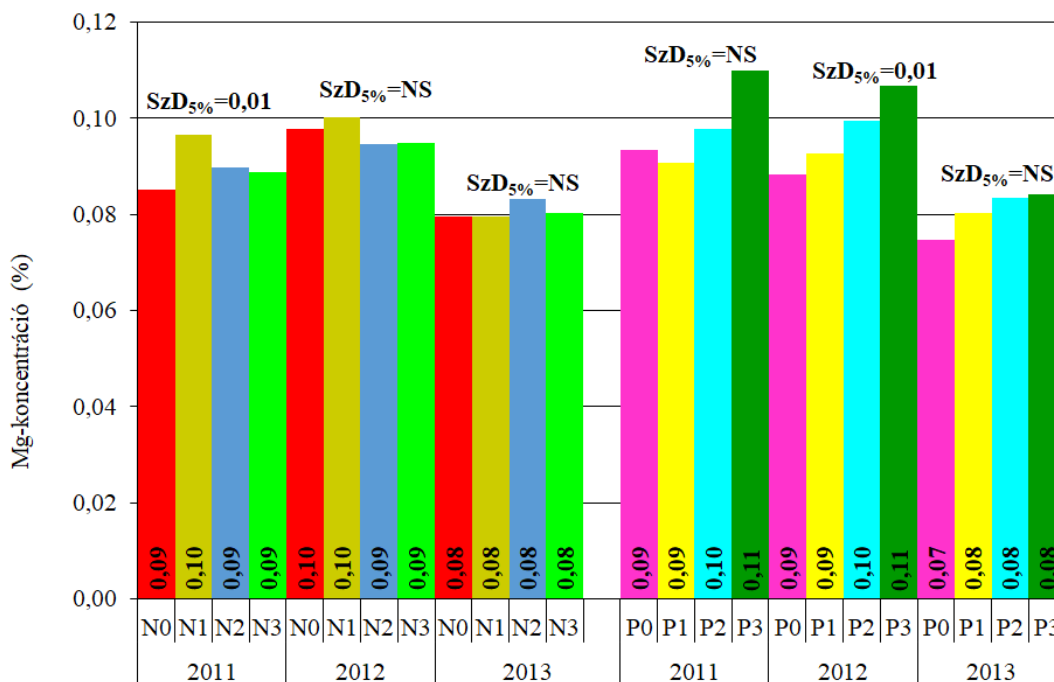
4.10.5 Mg-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011. vizsgálati évben a talaj 102 kg/ha ásványi N-tartalma 0,09% Mg-tartalmat eredményezett N-kezelés nélkül (N₀) az árpa szemtermésében, amely nem változott N₂- és N₃-ellátás (160 és 240 kg/ha) alkalmazásakor sem. A N-kezelések közül csak a 80 kg/ha N-trágyázás (N₁) emelte szignifikáns mértékben a Mg-koncentrációt (0,10%), amikor a talaj N_{min}-készlete tavasszal 120 kg/ha volt (34. ábra).

2012-ben N-trágyázás nélkül (N₀) 0,10% Mg-koncentrációt mértünk, amit az N₁-kezelés nem módosított a talaj közel azonos ásványi N-tartalma esetén. A maximális értékhez képest az N₂- és N₃-ellátás tendenciálisan csökkentette az árpa szemtermés Mg-tartalmát.

2013-ban N-trágyázás nélkül (N₀) 124 kg/ha N_{min}-tartalom mellett 0,08 mg/kg koncentrációt mértünk, mely érték nem változott az N₁, N₂- és N₃-kezelések hatására, annak ellenére, hogy a talaj N_{min}-készletében jelentős különbség volt.



34. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Mg-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

Összességében megállapítható, hogy a vizsgált években a N-trágyázás az árpa szemtermés Mg-koncentrációját csak 2011-ben alakított megbízható jelleggel, 2012- és 2013-ban az évjárat nagyobb mértékben befolyásolta a Mg-koncentráció alakulását, mint a N-trágyázás.

A P-ellátottság hatása

2010 őszen a művelt talajréteg 133 mg/kg AL- P₂O₅-ellátottsága (P₀) 0,09% Mg-koncentrációt eredményezett, mely koncentráció nem változott a talaj 206 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságánál (P₁). A talaj 194 és 251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága tendenciális mértékben emelte a Mg-koncentrációt (P₂, P₃) (34. ábra).

2011 őszen a talaj 0-30 cm-es mélységének 118 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀) az előző évvel megegyező Mg-koncentrációt eredményezett (0,09%), amely nem változott 224 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság hatására. A kontrollhoz képest a P₂-kezelés megbízhatóan emelte a koncentráció értékét a művelt talajréteg 186 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságánál, ami nem változott 233 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom (P₃) esetén.

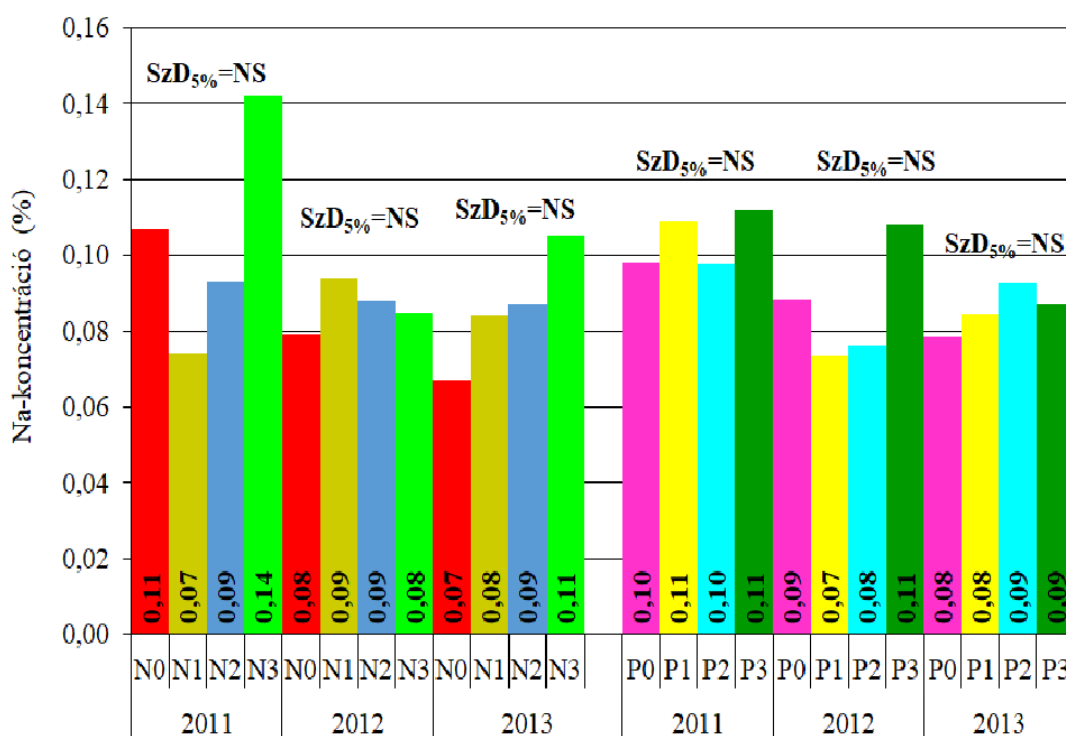
2013-ban a legalacsonyabb Mg-koncentrációt a korábbi évekhez hasonlóan a kontroll (N₀) esetében mértük (0,07%), amikor 2012 őszen a művelt talajréteg AL-P₂O₅ ellátottsága 124 mg/kg volt. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-trágya (P₁) a talaj AL-P₂O₅-készletét 242 mg/kg-ra emelte, mely ellátottság tendenciális jelleggel 0,08%-ra emelte a szemtermés Mg-tartalmát, amely nem változott a P₂- és P₃-kezelés hatására (192 és 244 mg/kg AL-P₂O₅ tartalom).

A három vizsgálati évben a talaj P-készlete hasonlóan alakult, de csak egy évben (2012) eredményezett megbízható Mg-koncentráció emelkedést.

4.10.6 Na-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011-ben az őszi árpa szemtermés Na-koncentrációja N-kezelés nélkül (N_0) 0,11% volt, amikor a 0-60 cm-es talajrétegben az N_{\min} -tartalom 102 kg/ha volt. A kontrollhoz képest az N_1 - és N_2 -kezelés tendenciális mértékben csökkentette az árpatermés Na-tartalmát. Az N_3 -ellátás esetén 158 kg/ha ásványi N-tartalom volt tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében, mely kezelés maximalizálta a Na-koncentrációt (35. ábra).



35. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Na-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2012. vizsgálati évben a talaj ásványi N-készlete a N-trágyázások hatására alig változott. N-trágyázás nélkül (N_0) 0,09% volt a szemtermés Na-tartalma. Az emelkedő N-kezelések (80, 160, 240 kg/ha) az árpa Na-koncentrációjában érdemi változást nem eredményeztek (35.ábra).

2013 tavaszán a kontroll parcella esetében (N_0) 124 kg/ha volt a talaj 0-60 cm-es rétegének ásványi N-készlete, ami a legalacsonyabb (0,07%) Na-koncentráció elérését eredményezte. Az emelkedő N-kezelések (80, 160 kg/ha) tendenciális mértékben emelték az árpatermés Na-tartalmát N_3 -kezeléseig (240 kg/ha), amikor a talaj N_{\min} -tartalma 264 kg/ha volt.

2011, 2012 és 2013 vizsgálati évek eredményei szerint az évjárat nagyobb mértékben alakította az árpatermés Na-koncentrációját, mint az egyes N-kezelések, ahol szignifikáns hatások nem érvényesültek.

A P-ellátottság hatása

A talaj P-készletének változása az árpa szemtermés Na-koncentrációját az egyes vizsgálati években különböző mértékben alakította (35. ábra).

2010 őszén P-trágyázás nélkül (P_0) a talaj művelt rétegének 133 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett az árpa szemtermés Na-tartalma 0,10% volt, mely érték nem változott 194 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalom esetén (P_2). A P_1 -ellátás tendenciálisan emelte a koncentrációt a talaj 206 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett, amely a talaj 251 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma nem módosított.

2011 őszén a talaj 118 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma (P_0) 0,09% Na-koncentrációt eredményezett az árpatermésben. A talaj AL- P_2O_5 -tartalmának emelkedése 186 és 224 mg/kg-ra (P_1 , P_2) csökkentette a Na-koncentrációt. A legmagasabb Na-tartalmat 233 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottság mellett (P_3) mértük.

2013. vizsgálati évben legalacsonyabb Na-koncentrációt (0,08%) a kontroll (P_0) esetében mértük, ami nem változott 242 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalom (P_1) hatására. 192 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottság (P_2) maximalizálta (0,09%) a Na-tartalmat (192 mg/kg AL- P_2O_5), amely nem változott P_3 -kezelés hatására.

A vizsgált évek eredményei szerint az árpa szemtermés Na-tartalma P-trágyázás nélkül (P_0) 0,08-0,10% között alakult, amit a talaj AL- P_2O_5 -készletének változása megbízhatóan nem módosított. Az évjárat nagyobb mértékben befolyásolta a szemtermés Na-tartalmát.

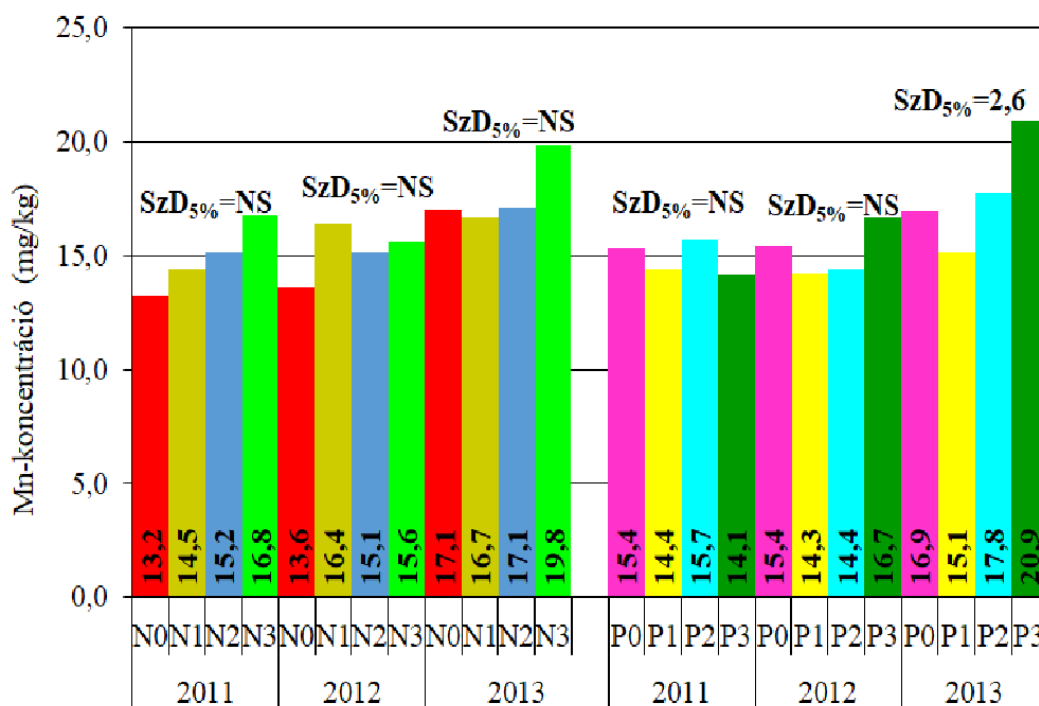
4.10.7 Mn-koncentráció

A N-ellátottság hatása

A N-trágyázás pozitív hatását a Mn-koncentráció alakulására a 36. ábra mutatja.

2011-ben a kontroll parcella (N_0) esetében az árpa szemtermésében 13,2 mg/kg Mn-koncentrációt mértünk 102 kg/ha tavaszi N_{\min} -tartalom mellett. Az emelkedő N-ellátások (80, 160 kg/ha) tendenciális mértékben emelték a koncentráció mennyiségét, majd a legmagasabb N_3 -kezelés (240 kg/ha) eredményezte a maximális Mn-koncentrációt (16,8 mg/kg), amikor tavasszal 158 kg/ha N_{\min} -tartalom volt a 0-60 cm-es talajrétegben.

2012-ben a kontroll parcella (N_0) esetében az előző évhez hasonló Mn-koncentrációt mértünk (13,6 mg/kg), közel azonos tavaszi ásványi N-tartalom mellett (98 kg/ha). A legkisebb dózisú N_1 -ellátás (80 kg/ha) 16,4 mg/kg Mn-tartalma a legmagasabb értéket jelentette. A N-műtrágyázás magasabb szintjei (N_2 , N_3) az árpa szemtermés Mn-koncentrációját tendenciális mértékben csökkentették a maximális Mn-mennyiséghez képest.



36. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Mn-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2013-ban a N-trágyázás nélkül (N₀) 17,1 mg/kg-ot regisztráltunk, amit nem módosult N₂-kezelés hatására. A legalacsonyabb Mn-koncentrációt (16,7 mg/kg) N₁-kezelés, a legmagasabbat (19,8 mg/kg) pedig N₃-ellátás mellett mértük a tavasszal mért 264 kg/ha ásványi N-tartalom mellett.

Összességében megállapítható, hogy az emelkedő N-trágyázás többnyire emelte az árpatermés Mn-koncentrációt, azonban nem megbízható mértékben.

A P-ellátottság hatása

2010 őszen a művelt talajrétegben mért 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság (P₀) 15,4 mg/kg Mn-koncentrációt eredményezett, amely érdemben nem módosult 194 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom esetén (P₂). Abban az esetben, amikor a talaj AL-P₂O₅-tartalma 200 mg/kg fölé emelkedett a Mn-koncentrációjában jelentős mértékű visszaesést tapasztaltunk (36. ábra).

2011 őszen P-trágya kijuttatása nélkül (P₀) 118 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom az előző évvel megegyező (15,4 mg/kg) Mn-tartalmat eredményezett. A legalacsonyabb Mn-tartalmat (14,3 mg/kg) 224 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom mellett mértük (P₁), amely 186 mg/kg AL-P₂O₅-készlet (P₂) nem változtatott. A P₃-kezelés eredményezte a maximális (16,7 mg/kg) Mn-koncentrációt 233 mg/kg AL-P₂O₅ talajellátottság mellett.

2012 őszen a kontroll parcellán (P₀) a talaj 0-30 cm-es mélységében 124 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom 16,9 mg/kg Mn-tartalmat eredményezett, amely nem szignifikáns mértékben 15,3 mg/kg-ra csökkent az évente kijuttatott 100 kg/ha P-trágyázás hatására a talaj 242 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₁) mellett. A P₂-kezelés hatására a talaj 192 mg/kg AL-P₂O₅-készlete tendenciális mértékben, a P₃-kezelés alkalmazása pedig megbízható mértékben emelte az árpatermés Mn-tartalmát (20,9 mg/kg) a talaj 244 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsága mellett.

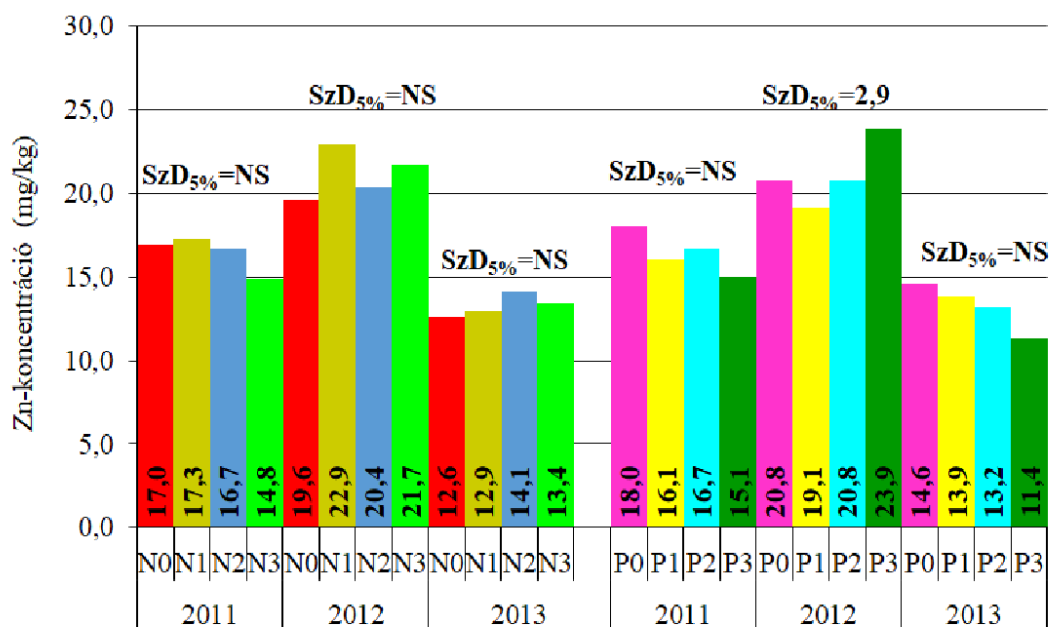
Összességében megállapítható, hogy a talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában a jobb P-ellátottság az évek többségében a szemtermés Mn-tartalmát lényegében nem befolyásolta.

4.10.8 Zn-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011-ben N-trágyázás nélkül (N₀) 17,0 mg/kg volt az árpatermés Zn-tartalma, amely a N₁-kezelés hatására érdemben nem módosult. A maximális koncentrációhoz képest az N₂- és N₃-kezelés tendenciális mértékben csökkentette a Zn-tartalmat (37. ábra).

2012-ben a kontroll parcellán (N₀) mértük a legalacsonyabb (19,6 mg/kg), míg a legmagasabb Zn-mennyiséget a legkisebb N-kezelés (N₁) jelentette, a talaj N_{min}-készletében érdemi különbség nem jelentkezett. A N-trágyázás magasabb szintjei (N₂, N₃) a maximális koncentrációhoz képest tendenciálisan csökkentették az árpa termés Zn-koncentrációját.



37. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Zn-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2013-ban a legalacsonyabb Zn-koncentrációt N-műtrágya kijuttatása nélkül (N₀) mértük, amikor tavasszal a N_{min}-tartalom a talaj 0-60 cm-es mélységében 124 kg/ha volt. Az N₁- és N₂-kezelések nem szignifikáns mértékben emelték az árpatermés Zn-tartalmát, míg a maximális N₃-trágyázás tendenciális mértékben csökkentette a Zn-koncentrációt.

A vizsgált évek eredményei szerint az árpatermés Zn-tartalmát a N-trágyázás érdemben nem módosította, az évjárat hatása jelentősebb volt.

A P-ellátottság hatása

P-trágyázás nélkül (P₀) 2011-ben a legmagasabb, 18,0 mg/kg Zn-koncentrációt mértük az árpatermésben a művelt talajréteg 133 mg/kg AL-P₂O₅-készlete esetén. A talaj magasabb AL-P₂O₅-ellátottsága (194-251 mg/kg) csökkentette a Zn-tartalmat (37. ábra).

2011/2012 vizsgálati évben 20,8 mg/kg Zn-tartalmat kaptunk a kontroll esetében (P₀) és P₂-kezelés eredményeként, amikor a talaj AL-P₂O₅-készlete 118 és 186 mg/kg volt. A talaj 224 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságánál (P₁) mértük a legalacsonyabb Zn-tartalmat (19,1 mg/kg), míg 233 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom megbízható jelleggel emelte Zn-mennyiségét 23,9 mg/kg-ra (P₃).

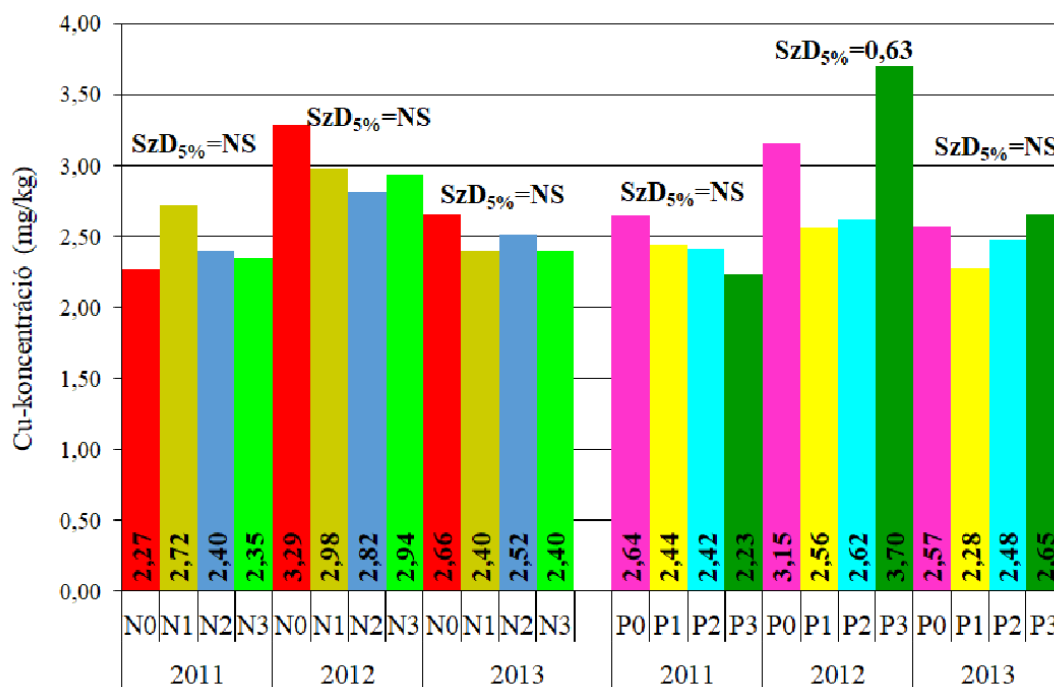
2013. évben 124 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság (P₀) esetén 14,6 mg/kg Zn-mennyiséget mértük, mely érték a talaj P-készletének emelkedésével (192-244 mg/kg AL-P₂O₅) tendenciális mértékben csökkent.

A vizsgált évek eredményei szerint többnyire P-műtrágya kijuttatása nélkül (P₀) mértük a legmagasabb Zn-koncentrációkat, a talaj 124-133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság esetén. A talaj 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában szignifikáns P/Zn antagonizmust nem tapasztaltunk a szemtermés esetében.

4.10.9 Cu-koncentráció

A N-ellátottság hatása

2011-ben a legalacsonyabb Cu-koncentrációt N-kezelés nélkül (N₀) mértük, amely értéket az N₂- és N₃-kezelések (160, 240 kg/ha) érdemben nem módosították. A legmagasabb Cu-tartalmat a legkisebb N-ellátás (N₁) eredményezte, amikor tavasszal a 0-60 cm-es talajréteg N_{min}-tartalma 120 kg/ha, a koncentráció értéke 2,72 mg/kg volt (38. ábra).



38. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Cu-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2012-ben a N és Cu közötti antagonizmus jól megfigyelhető volt az egyes N-kezelések hatására (38. ábra). N-műtrágya kijuttatása nélkül (N₀) regisztráltuk a legmagasabb koncentrációt (3,29 mg/kg), amit a N-kezelések tendenciális mértékben csökkentettek.

2013. vizsgálati évben az előző évhez hasonló tendencia alakult ki. A legmagasabb Cu-mennyiséget (2,66 mg/ha) N-trágyázás nélkül (N₀) kaptuk 124 kg/ha

tavaszi N_{\min} -tartalom mellett. A kontrollhoz képest a N-trágyázás csökkentette a Cu-tartalmát.

Mindegyik vizsgálati évben az egyes N-kezelések többnyire a Cu-koncentráció csökkenést idézték elő, mely a N/Cu antagonizmusnak tulajdonítható.

A P-ellátottság hatása

A P és Cu közötti antagonizmus legszembetűnőbb volt a 2011. kísérleti évben (38. ábra), amikor a talaj legalacsonyabb AL- P_2O_5 -ellátottsága (P_0) - 133 mg/kg - eredményezte a legmagasabb Cu-koncentrációt, 2,64 mg/kg-ot, mely érték az egyes P-kezelések hatására tendenciális jelleggel csökkent, amikor a művelt talajrétegben az AL- P_2O_5 -ellátottság 194-251 mg/kg között alakult.

2011 őszén a talaj természetes P-szolgáltatása esetén (P_0) 116 mg/kg volt a talaj művelt rétegében az AL- P_2O_5 -tartalom, amely 3,15 mg/kg koncentráció eléréséhez volt elegendő. A kontrollhoz képest P_1 - és P_2 -kezelés tendenciális mértékben csökkentették a koncentrációt (224 és 186 mg/kg AL- P_2O_5), míg a talaj 233 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága szignifikáns mértékben emelte és egyben maximalizálta a Cu-tartalmat (3,70 mg/kg).

2013-ban P-trágyázás nélkül (P_0) 2,57 mg/kg volt az árpa Cu-koncentrációja a talaj 124 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága mellett. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-műtrágya (P_1) eredményezte a legkisebb koncentráció mennyiséget (2,28 mg/kg) 242 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottság mellett, míg a legmagasabb értéket (2,65 mg/kg) a P_3 -kezelés mellett mértük, azonos AL- P_2O_5 -tartalom mellett.

Összességében megállapítható, hogy többnyire P-trágya kijuttatása nélkül (P_0) mértük a legmagasabb Cu-koncentrációkat, amely a csökkent a talaj AL- P_2O_5 -készletének emelkedésével.

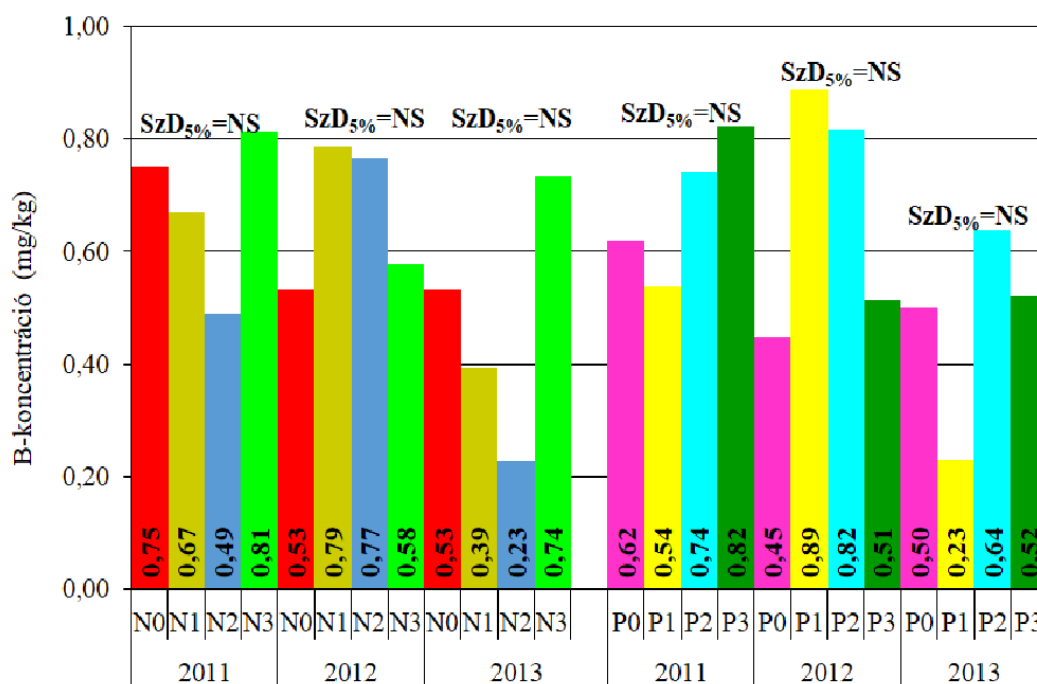
4.10.10 B-koncentráció

A N-ellátottság hatása

Az egyes kísérleti években a N-kezelések hatására különböző mértékben alakult az őszi árpa szemtermés B-koncentrációja (39. ábra).

2011-ben N-trágyázás nélkül (N_0) 0,75 mg/kg B-koncentrációt mértünk 102 kg/ha tavaszi ásványi N-tartalom mellett. A N_1 - és N_2 -kezelés (80, 160 kg/ha) a koncentráció értékét tendenciális mértékben csökkentette a kontrollhoz képest. Az N_3 -ellátás a legmagasabb B-tartalmat eredményezte (0,81 mg/kg), amikor 2011 tavaszán fejtrágyázás előtt a talaj 0-60 cm-es mélységében az N_{\min} -tartalom 158 mg/kg volt. 2012-ben N-trágyázás nélkül (N_0) illetve a maximális N_3 -ellátás (240 kg/ha) hasonló B-koncentrációt eredményezett (0,53 és 0,59 mg/kg). A legkisebb N_1 -ellátás (80 kg/ha) alkalmazása során mértük a legmagasabb B-tartalmat, a koncentráció értéke 0,79 mg/kg, ami a 160 kg/ha N_2 -dózis hatására érdemben nem módosult.

2013-ban a N-trágyázás nélkül (N_0) 0,50 mg/kg B-koncentrációt mértünk 124 kg/ha tavaszi ásványi N-tartalom mellett. A kontrollhoz képest az N_1 -ellátás tendenciálisan csökkentette a B-tartalmat (0,23 mg/kg), míg az N_2 -kezelés a legmagasabb koncentrációt eredményezte, a koncentráció értéke 0,74 mg/kg, a talaj tavasszal mért N_{\min} -tartalma pedig 162 kg/ha volt.



39. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés B-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

A három kísérleti év eredményei alapján megállapítható, hogy a szemtermés B-tartalma jelentős szórást mutatott, konzekvens és szignifikáns N-hatások nem érvényesültek.

A P-ellátottság hatása

A talaj művelt rétegének 133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága (P₀) esetén 0,62 mg/kg B-koncentrációt regisztráltunk 2011-ben. Az évente kijuttatott 100 kg/ha P-műtrágya (P₁) kismértékben csökkentette a koncentrációt (206 mg/kg AL-P₂O₅) a kontrollhoz képest, amely a P₂-kezelés hatására emelkedett, majd maximalizálódott 251 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom mellett (P₃) (39. ábra).

2012-ben a korábbi évvel ellentétben a P-trágyázás nélkül (P₀) a művelt talajréteg 118 mg/kg AL-P₂O₅-készlete mellett mértük a legalacsonyabb B-tartalmat, a koncentráció értéke 0,45 mg/kg. A talaj 224 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma eredményezte (P₁) a legmagasabb B-mennyiséget (0,89 mg/kg), amely csökkent P₂- és P₃-kezelés hatására.

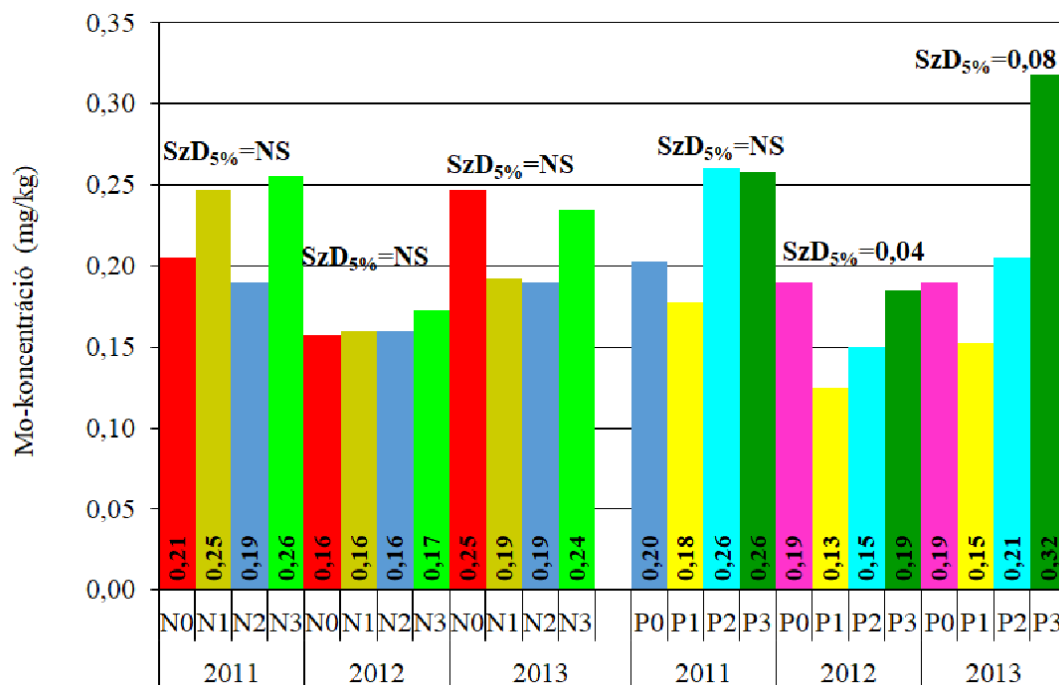
2013-ban P₀- és P₃-kezelés esetén közel azonos B-koncentrációkat mértünk (0,50 és 0,52 mg/kg), a 0-30 cm-es réteg 124 és 244 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság esetén. A talaj 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma a legalacsonyabb (0,23 mg/kg) B-koncentrációt eredményezte, míg a legmagasabbat (0,64 mg/kg) 192 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottság (P₂) mellett mértük.

A talaj P-készletének változása (118-251 mg/kg AL-P₂O₅) eltérő mértékben alakította az árpa szemtermés B-koncentrációját, azonban szignifikáns hatások nem voltak kimutatathatóak. A vizsgált évek eredményei szerint a P₂-kezelés alkalmazása jelentette a maximális mennyiséget a művelt talajréteg 186-194 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma esetén.

4.10.11 Mo-koncentráció

A N-ellátottság hatása

Az egyes vizsgálati években a N-kezelések hatására különböző mértékben változott az szemtermés Mo-koncentrációja (40. ábra).



40. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Mo-koncentrációjára (Szarvas, 2011-2013)

2011-ben N-trágyázás nélkül (N₀) a talaj tavasszal mért 102 kg/ha ásványi N-tartalma esetén 0,21 mg/kg Mo-mennyiséget mértünk, amely N₂-kezelés érdemben nem módosított. Az N₁- és N₃-ellátás (80, 240 kg/ha) alkalmazása mellett mértük a legmagasabb Mo-koncentrációkat.

2012-ben a kontroll esetében (N₀) 0,16 mg/kg volt az árpa szemtermés Mo-koncentrációja, amely érték az N₁-, N₂-kezelések hatására nem változott. A legmagasabb N₃-ellátás (240 kg/ha) 0,17 mg/kg-ra emelte az árpa termés Mo-koncentrációt.

2013. évben a kontroll parcella (N₀) és a legmagasabb N-ellátás (N₃) esetében közel azonos Mo-tartalmat mértünk, a talaj ásványi N-készlete 124 és 264 kg/ha volt. Az N₁-kezelés (80 kg/ha) eredményezte a legalacsonyabb Mo-koncentrációt, amely az N₂-kezelés nem módosított.

A vizsgált évek eredményei szerint a N-kezelések magasabb szintjei eredményezték a nagyobb Mo-koncentrációkat, de statisztikailag igazolható N-hatások nem érvényesültek.

A P-ellátottság hatása

A vizsgált években a talaj P-készletének változása többnyire hasonló mértékben módosította az árpa szemtermés Mo-koncentrációját (40. ábra).

A tartamkísérlet 21. évében, ahol 21 éve nem végeztek P-trágyázást (P_0) a művelt rétegben 133 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma 0,20 mg/kg koncentrációt jelentett, amely értéket a talaj 206 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága (P_1) csökkentett. A talaj 194 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottságánál (P_2) mértük a legmagasabb koncentrációt (0,26 mg/kg), amit a talaj 251 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma nem módosított (P_3).

2012-ben 0,19 mg/kg Mo-mennyiséget kaptunk P-trágyázás nélkül (P_0) és P_3 -kezelés mellett, amikor a művelt talajrétegben 118 és 233 mg/kg volt az AL- P_2O_5 -ellátottság. Megbízható koncentráció csökkenést eredményezett a talaj művelt rétegének 224 és 186 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma (P_1 , P_2).

2013. évben az előző évvel megegyező Mo-tartalmat mértünk a talaj 124 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett (0,19 mg/kg). A P_1 -kezelés tendenciális mértékben csökkentette a koncentrációt a kontrollhoz képest, a talaj 242 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottságánál. A P_3 -kezelés hatására - a P_1 -kezeléssel megegyező AL- P_2O_5 -tartalom esetén - megbízható Mo-koncentráció gyarapodást alakult ki.

A vizsgált években az évente kijutatott 100 kg/ha P-trágyázás (P_1) koncentráció csökkenését idézte elő a kontrollhoz képest, míg a P_2 - és P_3 -kezelések emelték az árpa szemtermés Mo-koncentrációját.

4.11 A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira

A N-ellátottság hatása

A N-trágyázás hatását az egyes tápelem arányok alakulására a 35. táblázat mutatja. A N-ellátás megbízható hatással volt a N/P, N/Ca, N/Mg és N/Cu arányokra, míg a N/Ca, P/Mg, P/Zn, K/Cu, K/Mg, K/Na és Ca/Mg arányokat tendenciális mértékben befolyásolta.

2011-ben a kontrollhoz (N_0) képest a N_2 - és N_3 -kezelések eredményeztek megbízható N/P arány növekedést, míg 2012-ben és 2013-ban tendenciális változás volt kimutatható.

Megbízható N/Ca emelkedést 2011-ben 240 kg/ha (N_3) N-trágyázás, míg 2012-ben 160 kg/ha (N_2) N-ellátás mellett kaptuk. 2013-ban tendenciális mértékű N/Ca arány változás alakult ki.

2011-ben tendenciális mértékű N/Mg arány változást eredményezett a N-trágyázás. 2012-ben a kontrollhoz képest (N_0) a N_2 -kezelés (160 kg/ha), 2013-ban pedig a N_1 -ellátás (80 kg/ha) kijuttatása eredményezett megbízható N/Mg gyarapodást.

A N/Cu arány esetében a kontrollhoz (6578, 5938) képest 2011-ben és 2013-ban a N_3 -kezelés (8682, 8898), míg 2012-ben (4481) a N_2 - és N_3 -ellátás eredményezett megbízható emelkedést (7362, 7505).

A P-ellátottság hatása

A vizsgált években (2011-2013) a talaj művelt rétege AL- P_2O_5 -ellátottságának hatását az őszi árpa szemtermés tápelem arányainak alakulására a 36. táblázat mutatja.

A 0-30 cm-es talajréteg AL- P_2O_5 -tartalma (118-251 mg/kg) szignifikánsan csak a N/Cu arányt befolyásolta 2012-ben. A kontroll esetében (P_0) 118 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottság 5960 N/Cu arányt eredményezett, amit a P_1 - és P_2 -szint (224, 186 mg/kg) tendenciális mértékben növelt (7059, 7236), míg a P_3 -kezelés (233 mg/kg) szignifikáns mértékben csökkentett (4990).

35. táblázat. A N-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira
(Szarvas, 2011-2013)

Év	Kezelés				SzD _{5%}	Átlag
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃		
N/P						
2011	1,9	2,0	2,3	2,7	0,2	2,2
2012	2,1	2,6	2,6	2,8	NS	2,5
2013	1,9	2,3	2,5	2,5	NS	2,3
Átlag	2,0	2,3	2,4	2,7	-	2,3
N/Ca						
2011	5,3	5,0	5,8	7,6	1,1	5,9
2012	3,9	4,6	7,2	7,7	1,7	5,8
2013	6,8	7,2	6,2	8,1	NS	7,1
Átlag	5,3	5,6	6,4	7,8	-	6,3
N/Mg						
2011	17,3	17,0	20,8	22,8	NS	19,5
2012	14,6	17,3	21,6	22,4	3,8	19,0
2013	19,2	23,5	23,3	26,2	3,9	23,1
Átlag	17,0	19,3	21,9	23,8	-	20,5
N/Cu						
2011	6578	6040	7811	8682	1313	7278
2012	4481	5897	7362	7505	1777	6311
2013	5938	7783	7681	8898	2264	7575
Átlag	5665	6573	7618	8362	-	7055
P/Mg						
2011	9,2	8,7	9,2	8,5	NS	8,9
2012	7,2	6,7	8,5	8,0	NS	7,6
2013	10,1	10,1	9,7	10,6	NS	10,1
Átlag	8,8	8,5	9,1	9,0	-	8,9
P/Zn						
2011	462	488	498	523	NS	493
2012	364	296	391	347	NS	350
2013	648	657	573	647	NS	631
Átlag	491	481	487	506	-	491
K/Cu						
2011	2409	2266	2693	2397	NS	2441
2012	1687	1769	2233	2021	NS	1928
2013	2337	2602	2592	2647	NS	2545
Átlag	2144	2213	2506	2355	-	2305
K/Mg						
2011	6,3	6,4	7,1	6,3	NS	6,5
2012	5,5	5,1	6,5	6,0	NS	5,8
2013	7,5	7,8	7,9	7,8	NS	7,8
Átlag	6,4	6,4	7,2	6,7	-	6,7
K/Na						
2011	54,3	85,6	73,3	44,1	NS	64,3
2012	70,3	54,6	72,0	74,8	NS	67,9
2013	93,9	74,7	74,9	67,2	NS	77,7
Átlag	72,8	71,6	73,4	62,1	-	70,0
Ca/Mg						
2011	0,33	0,35	0,33	0,31	NS	0,33
2012	0,40	0,35	0,30	0,38	NS	0,36
2013	0,29	0,36	0,38	0,32	NS	0,34
Átlag	0,34	0,35	0,34	0,33	-	0,34

36. táblázat. A P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira
(Szarvas, 2011-2013)

Év	Kezelés				SzD _{5%}	Átlag
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
N/P						
2011	2,3	2,1	2,2	2,2	NS	2,2
2012	2,7	2,6	2,3	2,6	NS	2,5
2013	2,6	2,1	2,1	2,3	NS	2,3
Átlag	2,5	2,3	2,2	2,4	-	2,3
N/Ca						
2011	6,1	5,0	5,9	6,7	NS	5,9
2012	6,4	6,1	5,2	5,7	NS	5,8
2013	7,5	5,7	7,1	7,9	NS	7,1
Átlag	6,6	5,6	6,1	6,8	-	6,3
N/Mg						
2011	19,4	18,9	20,1	19,5	NS	19,5
2012	20,9	19,6	18,4	17,1	NS	19,0
2013	25,2	22,4	22,6	22,1	NS	23,1
Átlag	21,8	20,3	20,3	19,6	-	
N/Cu						
2011	6896	7138	7269	7806	NS	7278
2012	5960	7059	7236	4990	1776	6311
2013	7288	8024	7614	7373	NS	7575
Átlag	6715	7407	7373	6723	-	7055
P/Mg						
2011	8,5	9,2	9,2	8,7	NS	8,9
2012	8,0	7,7	8,1	6,6	NS	7,6
2013	9,7	10,5	10,6	9,7	NS	10,1
Átlag	8,7	9,1	9,3	8,3	-	8,9
P/Zn						
2011	444	528	484	515	NS	493
2012	337	377	388	296	NS	350
2013	497	625	674	728	NS	631
Átlag	426	510	515	513	-	491
K/Cu						
2011	2378	2416	2475	2495	NS	2441
2012	1842	1996	2402	1470	NS	1928
2013	2292	2895	2725	2266	NS	2545
Átlag	2171	2436	2534	2077	-	2305
K/Mg						
2011	6,7	6,4	6,8	6,2	NS	6,5
2012	6,5	5,5	6,2	5,1	NS	5,8
2013	7,9	8,2	8,1	6,9	NS	7,8
Átlag	7,0	6,7	7,0	6,1	-	6,7
K/Na						
2011	71,9	67,1	63,6	54,7	NS	64,3
2012	63,1	72,6	85,6	50,4	NS	67,9
2013	85,6	80,6	77,2	67,3	NS	77,7
Átlag	73,5	73,4	75,5	57,5	-	70,0
Ca/Mg						
2011	0,32	0,37	0,33	0,30	NS	0,33
2012	0,35	0,32	0,35	0,40	NS	0,36
2013	0,34	0,40	0,32	0,29	NS	0,34
Átlag	0,33	0,36	0,33	0,33	-	0,34

4.12 Új és újszerű tudományos eredmények

1. A 2,8-3,2% humusztartalmú csernozjom réti talajon az őszi árpa bokrosodása kezdetén az elfogadható SPAD-érték (39-47) 40 kg/ha N-alaptrágyázással (N₁) biztosítható, míg a bokrosodás végén 80 kg/ha (N₂) alaptrágya szükséges a kielégítő SPAD-érték (43-52) eléréséhez. A SPAD-érték alakulására a talaj P-ellátottsága 118-251 mg/kg AL-P₂O₅ tartományban nem volt megbízható hatással, azonban a legmagasabb relatív klorofill tartalmat a művelt talajréteg 206-242 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága eredményezte.
2. A talaj 320-324 mg/kg AL-K₂O és 118-251 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottságánál az őszi árpa bokrosodása végén fenofázisában a kielégítő tápláltság a következő tápelem-koncentrációkkal jellemezhető: N 3,30-4,50 %; P 0,20-0,40%; K 3,30-4,60%; Ca 0,40-0,70%; Mg 0,15-0,30%; Na 0,10-0,30%; Mn 60-75 mg/kg; Zn 20-35 mg/kg; Cu 5-9 mg/kg; B 3,50-5,00 mg/kg; Mo 0,15-0,30 mg/kg. Az általunk meghatározott határértékek részben megerősítik a korábbi szakirodalmi értékeket, részben újszerűek, mert N-, Zn-, Cu, Ca-, Na- és B-koncentrációk esetében szűkebb, míg a K-koncentráció esetében kissé tágabb koncentráció intervallumot határoztunk meg. A Mn-koncentráció mennyiségét a szakirodalom meglehetősen tág intervallumban határozta meg, mely értéktartományt szűkítettük a kísérletünk során.
3. A N-trágyázás 160 kg/ha N-ellátásig (N₂) megbízható mértékben növelte az őszi árpa hozamát (3,77-5,33 t/ha), amikor tavasszal a 0-60 cm-es talajrétegben az ásványi N-tartalom 116, 108 illetve 162 kg/ha volt. A 240 kg/ha N-ellátás a 2,8-3,2% humusztartalmú talajon többnyire szignifikáns mértékben csökkentette a termésmennyiséget a maximális hozamhoz képest (3,58-4,34 t/ha).
4. P-trágyázás nélkül (P₀) csernozjom réti talajon a művelt talajréteg 118-133 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottságához képest a jobb P-ellátottság (186-244 mg/kg AL-P₂O₅) szignifikánsan nagyobb szemtermést eredményezett (3,33-4,78 t/ha).
5. Csernozjom réti talajtípuson a kontroll parcellák 210-218 mg/kg AL-K₂O-ellátottsága (K₀) mellett a K-trágyázás K₁-ellátottságig (320-346 mg/kg AL-K₂O) megbízható mértékben növelte az őszi árpa termésmennyiségét.
6. A N-trágyázás a tápelem arányokat szignifikánsan nem befolyásolta bokrosodás végén, míg a művelt talajréteg AL-P₂O₅-ellátottsága (118-251 mg/kg) a N/Ca, a N/Mg, a N/Cu és a P/Zn arányokat alakította megbízható mértékben. A szemtermés esetében a N-trágyázás – többnyire magasabb szintjei (160, 240 kg/ha) – szignifikáns mértékben változtatta a N/P, a N/Ca, a N/Mg és a N/Cu arányokat, míg a talaj AL-P₂O₅-ellátottsága csupán a N/Cu arányra volt megbízható hatással.

5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

SPAD-érték

Az őszi árpa bokrosodásának kezdeti fenofázisában (Feekes 2-3) a SPAD-érték – a P-kezelések átlagában - 37,8; 34,3; 46,7 volt, amikor N-trágyázás előtt ősszel talaj 0-30 cm-es mélységében a NO_3^- -N-tartalom 22, 46 és 21 kg/ha volt. Megfelelő N-tápláltságot jellemző SPAD-érték 39-47 között javasolható, amely 40 kg/ha-os N-alaptrágyázással biztosítható csernozjom réti talajtípuson.

A SPAD-érték bokrosodás végén (Feekes 5-6) a kontrollhoz (N_0) képest – 40,6; 40,3, 47,5 – megbízhatóan emelkedett 80 kg/ha N-alaptrágyázás (N_2) alkalmazásáig. A kielégítő SPAD-érték ebben a fenofázisban 43-52 között javasolható, amely 80 kg/ha N-alaptrágyázással (N_2) biztosítható, amikor a 0-60 cm talajrétegben az ásványi N-tartalom a vizsgált évek tavaszán 108-162 kg/ha volt. A túlzott N-alaptrágyázás (120 kg N/ha, N_3) a levél relatív klorofill tartalmát érdemben nem befolyásolta.

A talaj AL- P_2O_5 -tartalma az őszi árpa bokrosodása kezdetén és végén mért SPAD-értékre nem volt megbízható hatással. A magasabb relatív klorofill tartalmat a művelt talajréteg 206-251 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága eredményezte.

Bokrosodáskori tápelem tartalom

A N-trágyázás nélküli (N_0) kezeléshez képest 2010/2011-ben a növekvő adagú N-trágyázás szignifikánsan emelte a tápelem-koncentrációt a N, a K, a Ca és a Mn esetében. A N-trágyázás az árpalevél P, Mg, Na, Zn és Mo koncentrációját csak tendencia jelleggel növelte. A B esetében mindkét vizsgálati évben (2011 és 2012 tavasz) kifejezett volt a N/B antagonizmus, az emelkedő N-trágyázás tendenciális mértékű B-koncentráció csökkenést idézett elő. A 2011/2012. kísérleti évben N-trágyázás megbízható növekedést csak a N, a Mn és a Zn tápelemek esetében idézett elő a N-trágyázás nélküli (N_0) kontrollhoz viszonyítva. A K, Ca, Na és Cu elemek koncentrációja csak tendencia jelleggel növekedett. A legmagasabb tápelem-koncentrációkat mind a makroelemek, mind a mikroelemek esetében túlnyomó részt a 240 kg/ha N-ellátás (N_3) eredményezte.

A talaj P-ellátottsága az őszi árpa bokrosodáskori tápelemtartalmában a 2010/2011-es tenyészévben csak a P-koncentrációt növelte szignifikáns mértékben, míg 2011/2012-ben a N, P, Mg és B elemek mellett a K-, Ca- és Cu-koncentrációk is, annak ellenére, hogy ezen elemekre az antagonizmus jellemző a P-ral szemben. Megbízható koncentráció gyarapodást a művelt talajréteg 186-233 mg/kg AL- P_2O_5 -ellátottsága mellett mértük.

Az őszi árpa bokrosodáskori fejlődési fázisában a levél N-koncentrációja és a szemtermés közötti összefüggés alapján a kielégítő N-ellátottsági határértékeit a termésmaximum 90%-ára határoztuk meg, ami 5,0 t/ha feletti termésszinten 3,30-4,50 N%. Az egyéb makroelemek (P, K, Ca, Mg és Na) és mikroelemek (Mn, Zn, Cu, B, Mo) esetében kielégítő tápláltság a következő tápelem-koncentrációkkal jellemezhető: P 0,20-0,40%; K 3,30-4,60%; Ca 0,40-0,70%; Mg 0,15-0,30%; Na 0,10-0,30%; Mn 60-75 mg/kg; Zn 20-35 mg/kg; Cu 5-9 mg/kg; B 3,50-5,00 mg/kg; Mo 0,15-0,30 mg/kg. Az általunk meghatározott határértékek részben megerősítik a korábbi szakirodalmi értékeket (Elek és Kádár 1980, Reuter és Robinson 1997, Sanchez 2007), részben újszerűek, mert N-, Zn-, Cu, Ca-, Na- és B-koncentrációk esetében szűkebb, míg a K-koncentráció esetében kissé tágabb koncentráció intervallumot határoztunk meg. A Mn-koncentráció mennyiségét a szakirodalom meglehetősen tág intervallumban határozta meg, mely értéktartományt szűkítettük a kísérletünk során.

Bokrosodáskori tápelem arány

A N-trágyázás az árpa bokrosodáskori tápelem arányaira nem volt megbízható hatással egyik évben sem. Azonban a művelt talajréteg P-készletének változása (186-251 mg/kg AL-P₂O₅) a kontrollhoz képest (118-133 mg/kg AL-P₂O₅) az őszi árpa bokrosodáskori N/Ca és N/Mg (2012) arányát megbízható mértékben csökkentette. A N/Cu arány (2011) szűkebb lett, amennyiben 200 mg/kg-nál magasabb volt a művelt talajréteg AL-P₂O₅-ellátottsága. A P/Zn arány (2011) a kontrollhoz képest (169) tendenciális mértékben (174, 183) tágult - a Zn-koncentráció csökkent a P-hoz képest - a művelt talajréteg 206 és 196 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma esetén, a 251 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom hatására pedig már szignifikáns mértékű P/Zn arány tágulás jelentkezett.

Szemtermés tápelem tartalma

A vizsgált években (2011-2013) a N-trágyázás az őszi árpa szemtermés N és Mg koncentrációjára volt megbízható hatással. A vizsgált tápelemek esetében a magasabb koncentrációkat többnyire a maximális, 240 kg/ha (N₃) N-ellátás eredményezte.

A P-trágyázás megbízható mértékben alakította a szemtermés Mg, Mn és Mo koncentrációját az egyes kísérleti években, amikor művelt talajréteg AL-P₂O₅-készlete 186-244 mg/kg között alakult. A kontrollhoz képest (118-133 mg/kg AL-P₂O₅) a talaj P-készletének emelkedése (186-251 mg/kg) rendszerint (2012) megbízható mértékben csökkentette a Zn és Cu tartalmat, a P/Zn és P/Cu antagonizmus miatt.

Az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira a N-ellátás megbízható hatással a N/P, N/Ca, N/Mg és N/Cu arányok esetében volt, míg a talaj AL-P₂O₅-tartalma (118-251 mg/kg) a tápelem arányokat a 2012. évi N/Cu kivételével nem befolyásolta megbízható mértékben.

Termésjellemzők

A vizsgálataink szerint az emelkedő N-ellátottság (80, 160, 240 kg/ha) többnyire megbízható mértékben növelte az őszi árpa szalmahosszt N₃-kezelésig (51,8-75,8), ahol tavasszal a talaj 0-60 cm-es mélységében az ásványi N-tartalom 158, 104 és 264 kg/ha volt. A vizsgált évek szerint (2011-2013) a talaj P-készletének változása szignifikáns mértékben nem emelte az árpa szalmahosszát. Az őszi árpa kielégítő szalmahossz eléréséhez elégséges volt a talaj természetes AL-P₂O₅-szolgáltatása (118-133 mg/kg AL-P₂O₅).

A kísérleti évek eredményei szerint a 80 kg/ha N-dózis (N₁) minden évben szignifikáns kalász hossz növekedést eredményezett (6,2-7,7 cm), az ennél nagyobb adagú N-ellátottság csak 2011-ben járt együtt megbízható kalász hossz gyarapodással (6,6 és 7,0 cm). 2012-ben a 160 kg/ha N-adag (N₂) még megbízható mértékben növelte a kalász hosszát, míg a 240 kg/ha N-dózis (N₃) tendenciális mértékben alakította a kalász hosszát. 2013-ban a 160 és 240 kg/ha N-adag (N₂, N₃) tendenciális mértékben módosította a kalász hosszát. Az őszi árpa kalász hossza P-trágyázás nélkül (P₀) a művelt talajréteg 133 és 118 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett 6,4 és 6,8 cm volt 2011-ben és 2012-ben, mely kalász hossz érdemben nem változott a talaj P-készletének gyarapodás hatására (6,2-7,0 cm). Ellenben 2013-ban a P-trágyázás megbízható hatását tapasztaltuk a kalász hossz alakulására a művelt talajréteg 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma mellett (8,1 cm).

A vizsgált évek eredményei szerint a 80 kg/ha N-trágyázás (N₁) minden évben szignifikáns kalásonkénti szemszám növekedést eredményezett (16,4-19,9 db), az ennél nagyobb adagú N-ellátottság csak 2011-ben járt együtt megbízható szemszám gyarapodással (17,5 és 18,2 db). A kísérleti eredményeink szerint a talaj 133 és 118

mg/kg AL-P₂O₅-készlete 16,9 és 17,6 db kalásonkénti szemszám elérését eredményezte, az ennél magasabb P-készlet (186-251 mg/kg AL-P₂O₅) érdemben nem módosította e terméskomponenst (16,1-18,1 db). Azonban 2013-ban a P-trágyázás megbízható hatását tapasztaltuk a kalásonkénti szemszám gyarapodására a talaj 242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalmánál (23,1 db).

A N-trágyázás az őszi árpa ezerszemtömeg alakulását mind a három vizsgálati évben eltérően alakította. 2011-ben a N₂-kezelés (160 kg/ha), 2012-ben a legalacsonyabb N₁-ellátás (80 kg/ha), míg 2013-ban N-trágyázás nélkül (N₀) mértük a legmagasabb ezerszemtömeget, amikor a 0-60 cm-es talajréteg N_{min}-tartalma tavasszal 109-124 kg/ha volt. Az emelkedő N-trágyázás többnyire megbízható mértékben csökkentette az árpa ezerszemtömegét. A N-trágyázás negatív hatását ezerszemtömeg alakulására más szerzők is megerősítették (Munir 2002, Slamka et al. 2008, Cai et al. 2012, Berhanu et al. 2013). Draskovits (2013) szerint a P-ellátás a gabonanövények esetében a szemtömegét javítja, mely állítás vizsgálatunk során nem volt kimutatható, az évjárat nagyobb mértékben hatott az őszi árpa ezerszemtömegére.

A kísérleti években a magasabb hektolitertömegeket eltérő N-ellátás mellett kaptuk - N₂, N₀ – a tavasszal mért 108-124 kg/ha ásványi N-tartalom mellett. A túlzott N-trágyázás rendszerint csökkentette az árpa hektolitertömegét. 2010, 2011 és 2012 őszen a talaj művelt rétegében mért AL-P₂O₅-ellátottságok eltérő mértékben módosították az árpa hektolitertömegét. 2011-ben a kontroll (133 mg/kg AL-P₂O₅) esetében mértük a legmagasabb hektolitertömeget (73,4 kg), amely megbízható mértékben csökkent (71,8-72,2 kg) a talaj P-készlet emelkedés hatására (194-251 mg/kg AL-P₂O₅). Azonban 2013-ban a talaj P-készletének gyarapodása szignifikáns mértékben emelte a hektolitertömeget kontrollhoz képest, míg 2012-ben a művelt talajréteg P-készlete nem volt hatással a hektolitertömeg alakulására.

Szemtermés mennyisége

A növekvő dózisu N-trágyázás az őszi árpa termés mennyiségét megbízhatóan emelte és a legmagasabb terméshozamot a 160 kg/ha N-ellátás (N₂) eredményezte, amikor tavasszal a 0-60 cm-es talajrétegben az N_{min}-tartalom 109-162 kg/ha között alakult. A maximális N-ellátás (240 kg/ha) mind a három vizsgálati évben termésdepressziót okozva termés csökkenést eredményezett. A 2,8-3,2% humusztartalmú csernozjom réti talajon 40 kg N-alaptrágyázás és 80 kg/ha fejtrágyázás javasolható.

A P-főhatás vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a kontrollhoz képest (118-133 mg/kg AL-P₂O₅) a megbízható szemtermés gyarapodást a művelt talajréteg 206-242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma eredményezte. Ezt figyelembe véve csernozjom réti talajon a talaj 200-250 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottságánál még az őszi árpa P-trágyázása javasolható.

A K-főhatás elemzése során az a megállapítás tehető, hogy csernozjom réti talajon K-műtrágya kijuttatása nélkül 3,07-3,74 t/ha volt a szemtermés, amikor a talaj AL-K₂O-ellátottsága 210-218 mg/kg volt. Egyes években a talaj emelkedő AL-K₂O-tartalma megbízható mértékű hozamgyarapodást eredményezett. Ezen a kötött, agyagos-vályog csernozjom réti talajon 300-350 mg/kg AL-K₂O-ellátottságnál a K-trágyázás egyes években még terméshozam növelő hatású lehet.

A terméshozam szempontjából legkedvezőbb bokrosodáskori tápelem arányok a következőkkel jellemezhető:

N/P 8,5-13,3	P/Mg 1,3-2,3	K/Cu 5973-6006	Ca/Mg 2,6
N/Ca 6,8-7,6	P/Zn 98-184	K/Mg 17,2-19,2	
N/Mg 17,8-19,4		K/Na 17,5-17,8	

N/Cu 5429-6751

Az őszi árpa számára a N-trágyázás kielégítő, amennyiben a szalmahossz 51,3-71,4 cm, kaláshossz 6,6-7,5 cm, kalásonkénti szemszám 17,5-20,1 db, ezerszemtömeg 40,8-46,6 g, a hektolitertömeg pedig 65,0-72,7 kg.

A talaj AL-P₂O₅-tartalma az őszi árpa bokrosodása kezdetén és végén mért SPAD-értékre nem volt szignifikáns hatással, míg megbízható bokrosodáskori tápelemkoncentráció gyarapodást a művelt talajréteg 186-233 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága, a szemtermés esetében pedig 186-244 mg/kg AL-P₂O₅ eredményezett. Az őszi árpa számára elégségesnek bizonyult a művel talajréteg 118-133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága a szalmahossz, kaláshossz valamint a kalásonkénti szemszám esetében, míg az ezerszemtömeget és a hektolitertömeget a talaj P-készlete eltérő mértékben módosította. Vizsgálataink szerint kedvező terméshozam eléréséhez az őszi árpa P-trágyázása a művelt talajréteg 200-250 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági szintjéig javasolható.

Csernozjom réti talajon az őszi árpa számára kedvező, amennyiben a 0-30 cm-es talajréteg AL-K₂O-tartalma 320-346 mg/kg.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Az őszi árpa trágyázási szaktanácsadásának fejlesztéséhez kísérleti munkák célja az volt, hogy jól elkülönülő talaj tápelem-ellátottsági szinteken, műtrágyázási tartamkísérletben vizsgáljuk a N-ellátottság hatását az őszi árpa SPAD-érték alakulására bokrosodás kezdetén és végén. Vizsgáltuk továbbá a N- és P-ellátottság hatását az őszi árpa bokrosodáskori tápelem koncentrációjára, a szemtermés tápelem tartalmára, a tápelem arányok alakulására, a szalma- és kaláshosszára, kalásonkénti szemszámra, ezerszemtömegre, hektolitertömegre valamint a K-, P- és N-ellátottság hatását az őszi árpa termés hozamára.

A műtrágyázási tartamkísérlet 1989-ben lett beállítva, mélyben karbonátos csernozjom réti talajon, 4-4 N-, P és K-ellátottsági szinteken, teljes kezelés kombinációban, 64 kezeléssel, három ismétlésben.

A kísérlet tényezői és kezelése:

„A” tényezőként a K-trágyázás szerepelt az alábbi kezelésekkkel:

K_0 = K-trágyázás nélkül,

K_1 = 300 kg/ha/év K_2O 1989-1992 között, 100 kg/ha/év 1993-tól,

K_2 = 600 kg/ha K_2O 1989-ben, 1000 kg/ha 1993-ban és 600 kg/ha 2001-ben,

K_3 = 1200 kg/ha K_2O 1989-ben, 1500 kg/ha 1993-ban és 1200 kg/ha 2001-ben.

„B” tényezőként a P- trágyázás szerepelt az alábbi kezelésekkkel:

P_0 = P- trágyázás nélkül,

P_1 = 100 kg/ha/év P_2O_5 ,

P_2 = 500 kg/ha P_2O_5 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben,

P_3 = 1000 kg/ha 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben.

Az időszakosan elvégezett nagyadagú K_2 és K_3 valamint a P_2 és P_3 feltöltő trágyázás célja az volt, hogy jól elkülöníthető ellátottsági szinteket alakítsanak ki a talajban a tápláltsági szituációk tanulmányozására és a talaj tápelem-ellátottsági határértékek megállapítására.

„C” tényezőként a N-trágyázás szerepelt az alábbi kezelésekkkel:

N_0 = N trágyázás nélkül,

N_1 = 80 kg N/ha/év (40 kg/ha alaptrágya + 40 kg/ha fejtrágya),

N_2 = 160 kg N/ha/év (80 kg/ha alaptrágya + 80 kg/ha fejtrágya),

N_3 = 240 kg N/ha/év (120 kg/ha alaptrágya + 120 kg/ha fejtrágya).

A bokrosodás végén mért tápelem koncentráció elemzését, a szemtermés ásványi anyag tartalom vizsgálatát és a tápelem arányok értékelését egytényezős varianciaanalízissel az IBM SPSS statisztikai program 20-as verziójával végeztük. A SPAD-érték, szalma-, kaláshossz, terméskomponensek valamint hektolitertömeg elemzését kéttényezős, míg a termés hozam elemzését háromtényezős varianciaanalízissel végeztük az IBM SPSS statisztikai program 20-as verziójával. A kezelések közötti különbségek igazolására t-próbát alkalmaztam. A kezelésközök közötti legkisebb szignifikáns differencia (SzD) számítása 5%-os valószínűségi szinten, F-próbával történt. A SPAD-érték és a szemtermés közötti összefüggés értékelését Sváb (1981) regresszióanalízis módszerével végeztük.

Az őszi árpa bokrosodásának kezdeti fenofázisában (Feekes 2-3) a N-tápláltságot jellemző SPAD-érték 39-47 között javasolható, amely 40 kg/ha-os N-alaptrágyázással biztosítható csernozjom réti talajtípuson.

Bokrosodás végén (Feekes 5-6) a 40 kg/ha N-alaptrágyázás (N_1) hatására az őszi árpa relatív klorofill tartalma jelentősen növekedett, amikor tavasszal 0-60 cm-es talajrétegben az N_{min} tartalom 109-168 kg/ha volt. A 80 kg/ha N-trágyázás (N_2)

szignifikáns SPAD-érték emelkedést eredményezett (108-162 kg/ha N_{\min}), míg a túlzott N-ellátás (120 kg N/ha, N_3) a levél relatív klorofill tartalmát érdemben nem befolyásolta. Kielégítő SPAD-érték ebben a fenofázisban 43-52 között javasolható, amely 80 kg/ha N-alaptrágyázással biztosítható.

A talaj P-készlete megbízható hatással nem volt a SPAD-érték alakulására az őszi árpa bokrosodása kezdetén és végén sem. A legmagasabb SPAD-értéket a talaj 206-251 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett mértük.

A bokrosodás végén vett növényi minták tápelemtartalmának elemzése során azt tapasztaltuk, hogy a N-trágyázás nélküli (N_0) kezeléshez képest 2010/2011-ben a növekvő adagú N-trágyázás szignifikánsan emelte N-, a K-, a Ca- és a Mn-koncentrációkat, míg 2011/2012. kísérleti évben csak a N, a Mn és a Zn tápelemek esetében tapasztaltuk a N-trágyázás megbízható hatását. 2010/2011-ben N-trágyázás csak tendencia jelleggel növelte az árpalevél P, Mg, Na, Zn és Mo koncentrációját, míg 2011/2012. kísérleti évben a K, Ca, Na és Cu elemek koncentrációját. A B esetében mindkét vizsgálati évben (2011 és 2012 tavasz) kifejezett volt a N/B antagonizmus, az emelkedő N-trágyázás tendenciális mértékű koncentráció csökkenést idézett elő.

A talaj P-készletének alakulása (118-251 mg/kg AL- P_2O_5) az őszi árpa bokrosodáskori tápelemtartalmában a 2010/2011-es tenyészévben csak a P-koncentrációt növelte szignifikáns mértékben, míg 2011/2012-ben a N, P, Mg és B elemeken kívül a K, Ca és Cu elemek is megbízhatóan emelkedtek annak ellenére, hogy ezen elemekre az antagonizmus jellemző a P-ral szemben.

A N-trágyázás szignifikáns mértékben csak a szemtermés N és Mg koncentrációját befolyásolta, ezzel szemben a P-trágyázás megbízható mértékben alakította a Mg, Mn, Zn, Cu és Mo koncentrációkat.

A N-trágyázás az egyes tápelem arányokat szignifikáns mértékben nem befolyásolta bokrosodás végén, míg a szemtermés esetében megbízható mértékben a N/P, N/Ca, N/Mg és N/Cu arányokat befolyásolta, többnyire a N-trágyázás magasabb szintjein (160, 240 kg/ha).

A művelt talajréteg AL- P_2O_5 -ellátottsága (118-251 mg/kg) az őszi árpa bokrosodáskori N/Ca, N/Mg, N/Cu és P/Zn arányait alakította szignifikáns mértékben, míg a szemtermés esetében csupán a N/Cu arányra volt megbízható hatással.

A vizsgálataink szerint az emelkedő N-ellátottság (80, 160, 240 kg/ha) többnyire megbízható mértékben növelte az őszi árpa szalmahosszát N_3 -kezelésig. A vizsgált évek szerint (2011-2013) a talaj P-készletének változása (186-251 mg/kg) a kontrollhoz képest (118-133 mg/kg) szignifikáns mértékben nem emelte a szalmahosszt.

A három vizsgálati év közül csak 2011-ben tapasztaltuk a N-kezelések közötti megbízható kalászhozsnövekedést N_3 -kezelésig. 2012-ben a 160 kg/ha N-dózis (N_2 , N_3) tendenciális mértékben módosította a kalászhozst. 2013-ban a 160 és 240 kg/ha N-adag (N_3) tendenciális mértékben módosította a kalászhozst. Az őszi árpa kalászhozsa P-trágyázás nélkül (P_0) a művelt talajréteg 133 és 118 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett 6,4 és 6,8 cm volt 2011-ben és 2012-ben, mely kalászhozst érdemben nem változott a talaj P-készletének emelkedésére sem (6,2-7,0 cm). Ellenben 2013-ban a P-trágyázás megbízható hatását tapasztaltuk a kalászhozst alakulására a művelt talajréteg 242 mg/kg AL- P_2O_5 -tartalma mellett (8,1 cm).

A vizsgált évek eredményei szerint a 80 kg/ha N-adag (N_1) minden évben szignifikáns kalásonkénti szemszám növekedést eredményezett (16,4-19,9 db), az

ennél nagyobb adagú N-ellátottság csak 2011-ben járt együtt megbízható szemszám gyarapodással (17,5 és 18,2 db). A kalásonkénti szemszám a talaj 133 és 118 mg/kg AL-P₂O₅-készlete mellett 16,9 és 17,6 db volt, az ennél magasabb P-készlet (242 mg/kg AL-P₂O₅) csak 2013-ban emelte megbízható mértékben a kalásonkénti szemszámot (23,1 db).

A kísérleti években N-ellátás eltérő mértékben módosította az ezerszemtömeg és a hektolitertömeg alakulását, míg a talaj P-készlete az ezerszemtömegegre érdemben nem volt hatással, a hektolitertömeg esetében eltérő mértékben módosította a vizsgált években.

A növekvő dózisu N-trágyázás az őszi árpa termésmennyiségét megbízhatóan emelte 160 kg/ha (N₂), amikor tavasszal a 0-60 cm-es talajrétegben az N_{min} tartalom 109-162 kg/ha között alakult. A maximális 240 kg/ha N-ellátás (N₃) mind a három vizsgálati évben termésdepressziót okozva csökkentette az őszi árpa terméshozamát.

A P-főhatás vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a kontrollhoz képest (118-133 mg/kg AL-P₂O₅) a megbízható hozamgyarapodást a művelt talajréteg 206-242 mg/kg AL-P₂O₅-tartalma eredményezte.

A K-főhatás elemzése során az a megállapítás tehető, hogy csernozjom réti talajon K-műtrágya kijuttatása nélkül 3,07-3,74 t/ha volt a szemtermés mennyisége, amikor a talaj AL-K₂O-ellátottsága 210-218 mg/kg volt. Egyes években a talaj emelkedő AL- K₂O-tartalma megbízható mértékű hozamgyarapodást eredményezett. Ezen a kötött, agyagos csernozjom réti talajon 300-350 mg/kg AL-K₂O-ellátottságnál a K-trágyázás egyes években még terméshozam növelő hatású lehet.

Összefüggésvizsgálat alapján határoztuk meg a kielégítő N-koncentráció mennyiségét a következőképp: a szemtermést és a levél N-koncentráció értékeit koordináta rendszerben grafikusán ábrázoltuk és a pontthalmazt burkoló görbével határoztuk. A burkoló görbe mentén elhelyezkedő értékek azt az esetet reprezentálják, amikor a termést befolyásoló tényezők optimumban vannak és a terméshozamot csak a N-koncentráció befolyásolja. Az őszi árpa bokrosodása végén a levél N-koncentrációja és a szemtermés közötti összefüggés alapján a kielégítő N-ellátottsági határértékét a termésmaximum 90%-ára határoztuk meg, ami 5,0 t/ha feletti termésszinten 3,30-4,50 N% volt. Az egyéb makroelemek (P, K, Ca, Mg és Na) és mikroelemek (Mn, Zn, Cu, B, Mo) esetében a kielégítő ellátottsági határértékét úgy határoztuk meg, hogy grafikusán ábrázoltuk a levél N-koncentrációhoz tartozó P-, K-, Na-, Ca- Mg-, Mn-, Zn-, Cu, B, és Mo-koncentrációkat, majd meghatároztuk – az ábrán lehatároltuk – a 3,30-4,50 N-koncentrációhoz tartozó egyes makro- és mikroelemek koncentrációit, amelyek a termésmaximum legalább 90%-os szintjének megfeleltek. Ezek alapján kielégítőnek tartjuk az őszi árpa bokrosodáskori tápelem-koncentrációját, amennyiben a N 3,30-4,50%; P 0,20-0,40%; K 3,30-4,60%; Ca 0,40-0,70%; Mg 0,15-0,30%; Na 0,10-0,30%; Mn 60-75 mg/kg; Zn 20-35 mg/kg; Cu 5-9 mg/kg; B 3,50-5,00 mg/kg; Mo 0,15-0,30 mg/kg. Az általunk meghatározott határértékek részben megerősítik a korábbi szakirodalmi értékeket (Elek és Kádár 1980, Reuter és Robinson 1997, Sanchez 2007), részben újszerűek, mert N-, Zn-, Cu-, Ca-, Na- és B-koncentrációk esetében szűkebb, míg a K-koncentráció esetében kissé tágabb koncentráció intervallumot határoztunk meg. A Mn-koncentráció mennyiségét a szakirodalom meglehetősen tág intervallumban határozta meg, mely értéktartományt szűkítettük a kísérletünk során.

A terméshozam szempontjából legkedvezőbb bokrosodáskori tápelem arányok a következőkkel jellemezhető:

N/P 8,5-13,3	P/Mg 1,3-2,3	K/Cu 5973-6006	Ca/Mg 2,6
N/Ca 6,8-7,6	P/Zn 98-184	K/Mg 17,2-19,2	
N/Mg 17,8-19,4		K/Na 17,5-17,8	
N/Cu 5429-6751			

Az őszi árpa számára a N-trágyázás kielégítő, amennyiben a szalmahossz 51,3-71,4 cm, kaláshossz 6,6-7,5 cm, kalásonkénti szemszám 17,5-20,1 db, ezerszemtömeg 40,8-46,6 g, a hektolitertömeg pedig 65,0-72,7 kg.

A talaj AL-P₂O₅-tartalma az őszi árpa bokrosodása kezdetén és végén mért SPAD-értékre nem volt szignifikáns hatással, míg megbízható bokrosodáskori koncentráció gyarapodást a művelt talajréteg 186-233 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága, a szemtermés esetében pedig 186-244 mg/kg AL-P₂O₅ eredményezett. Az őszi árpa számára elégségesnek bizonyult a művel talajréteg 118-133 mg/kg AL-P₂O₅-ellátottsága a szalmahossz, kaláshossz valamint a kalásonkénti szemszám esetében, míg az ezerszemtömeget és a hektolitertömeget a talaj P-készlete eltérő mértékben módosította, rendszerint a magasabb (224-251 mg/kg) AL-P₂O₅-ellátottság eredményezte a magasabb értékeket.

Vizsgálataink szerint kielégítő terméshozam eléréséhez az őszi árpa számára szükséges a P-trágyázás, a művelt talajréteg 200-250 mg/kg AL-P₂O₅-tartalmának biztosítása.

7 SUMMARY

The aim of this work was to improve fertiliser recommendations for winter barley by examining clearly distinct soil nutrient supply levels in a long-term fertilisation experiment to determine the effect of N supplies on the SPAD index of winter barley at the beginning and end of tillering. An analysis was also made of the effect of N and P supplies on the nutrient concentrations of winter barley at tillering, on the nutrient content of the grain yield, on nutrient ratios, and on the straw and ear length, grain number per ear, thousand-grain weight and test weight, and the effect of K, P and N supplies on the yield of winter barley.

The long-term fertilisation experiment was set up in 1989 on chernozem meadow soil calcareous in the deeper layers, with all combinations of four levels each of N, P and K supplies, giving a total of 64 treatments, in three replications.

Experimental factors and treatments:

Factor „A” (K fertilisation) involved the following treatments:

K_0 = without K fertilisation,

K_1 = 300 kg/ha/year K_2O from 1989–1992, 100 kg/ha/year from 1993 onwards,

K_2 = 600 kg/ha K_2O in 1989, 1000 kg/ha in 1993 and 600 kg/ha in 2001,

K_3 = 1200 kg/ha K_2O in 1989, 1500 kg/ha in 1993 and 1200 kg/ha in 2001.

Factor „B” (P fertilisation) involved the following treatments:

P_0 = without P fertilisation,

P_1 = 100 kg/ha/year P_2O_5 ,

P_2 = 500 kg/ha P_2O_5 in 1989, 1993 and 2001,

P_3 = 1000 kg/ha P_2O_5 in 1989, 1993 and 2001.

The aim of the periodic application of high rates of P_2 , P_3 and K_2 , K_3 fertiliser was to create clearly distinguishable supply levels in the soil in order to investigate different nutritional situations and to determine limiting values for soil nutrient supply levels.

Factor „C” (N fertilisation) involved the following treatments:

N_0 = without N fertilisation,

N_1 = 80 kg N/ha/year (40 kg/ha basic fertiliser + 40 kg/ha top-dressing),

N_2 = 160 kg N/ha/year (80 kg/ha basic fertiliser + 80 kg/ha top-dressing),

N_3 = 240 kg N/ha/year (120 kg/ha basic fertiliser + 120 kg/ha top-dressing).

The nutrient concentration at tillering, the mineral content of the grain yield and the nutrient ratios were evaluated using one-way analysis of variance (ANOVA) with the help of the IBM SPSS program, ver. 20. This program was also used for two-way ANOVA on the SPAD index, straw and ear length, yield components and test weight and for three-way ANOVA on the yield. To prove the differences between the averages of treatments we applied the least significant difference method (LSD) at 5% probability level, with F-test. The correlation between the SPAD index and the yield was evaluated using the regression analysis method outlined by Sváb (1981).

It is recommended that at the beginning of tillering (Feekes 2–3) the SPAD index representative of the N nutrition level should be between 39 and 47, which can be ensured with 40 kg/ha basic N fertilisation on chernozem meadow soil.

At the end of tillering (Feekes 5–6) the relative chlorophyll content of winter barley rose substantially in response to 40 kg/ha basic N fertilisation (N_1), when the N_{\min} content of the 0–60 cm soil layer in spring was 109–168 kg/ha. The N_2 treatment (80 kg N/ha) resulted in a significant increase in the SPAD index (N_{\min} content 108–162 kg/ha), while excessive N supplies (120 kg N/ha, N_3) had no significant effect on

the relative leaf chlorophyll content. In this phenophase it is proposed that a SPAD index of 43–52 represents a satisfactory value, which can be achieved with 80 kg/ha N basic fertilisation.

The soil P supplies had no significant influence on the SPAD index of winter barley either at the beginning or end of tillering. The highest SPAD index was recorded at a soil AL-P₂O₅ content of 206–251 mg/kg.

The analysis of the nutrient contents of plant samples taken at end of the tillering phenophase demonstrated that in 2010/2011 increasing doses of N fertiliser significantly enhanced the N, K, Ca and Mn concentrations compared to the N₀ treatment, in which no N fertiliser was applied, while in 2011/2012 the effect of N fertilisation was only significant for N, Mn and Zn. N fertilisation only resulted in a slight rise in the P, Mg, Na, Zn and Mo concentrations of barley leaves in 2010/2011 and in the K, Ca, Na and Cu concentrations in 2011/2012. Pronounced N/B antagonism was observed in both seasons (spring 2011, 2012), as rising N rates tended to decrease the concentration of B.

Among the nutrient contents of winter barley, only the P concentration was significantly increased by improvements in the soil P supplies (118–251 mg/kg AL-P₂O₅) in 2010/2011, while in 2011/2012, significant increases were detected not only in N, P, Mg and B, but also in K, Ca and Cu, despite the antagonism known to exist between these elements and P.

Only the N and Mg concentrations of the grain were significantly influenced by N fertilisation, while the Mg, Mn, Zn, Cu and Mo concentrations were all significantly affected by P fertilisation.

The nutrient ratios at end of the tillering were not significantly influenced by N fertilisation, but the N/P, N/Ca, N/Mg and N/Cu ratios of the grain yield were significantly increased, especially at higher N fertiliser levels (160, 240 kg/ha).

The AL-P₂O₅ supplies of the ploughed layer (118–251 mg/kg) caused significant changes in the N/Ca, N/Mg, N/Cu and P/Zn ratios of winter barley at tillering, while only the N/Cu ratio showed a significant response in the case of the grain yield.

Rising N supply levels (80, 160, 240 kg/ha) were generally found to induce a significant increase in the straw length of winter barley up to the N₃ treatment. During the seasons tested (2011–2013) a rise in the soil P content (186–251 mg/kg) did not rise in a significant change in the straw length compared to the control (118–133 mg/kg).

Three years of tested seasons only in 2011 were found significant rise on ear length between N-treatments up to the N₃-treatment. The 160 kg/ha N-dose (N₂) significantly rised the ear length, while the 240 kg/ha N-dose (N₃) was not significant rise ear length of barley in 2012. In 2013 the N₂ and N₃ treatments (160 and 240 kg N/ha) only led to slight changes in the ear length of barley. Without P fertilisation (P₀), when the AL-P₂O₅ content of the ploughed layer was 133 mg/kg in 2011 and 118 mg/kg in 2012, the ear length of winter barley was 6.4 and 6.8 cm, respectively, and no significant increase was obtained after P fertilisation (6.2–7.0 cm) In 2013, however, P fertiliser had a significant effect on the ear length when the AL-P₂O₅ content of the ploughed layer rose to 242 mg/kg (8.1 cm).

In all the seasons 80 kg/ha N fertiliser (N₁) led to a significant rise in grain number per ear (16.4–19.9), while higher N rates only gave further significant increases in these parameters in 2011. Grain numbers per ear of 16.9 and 17.6 were recorded at

soil AL-P₂O₅ levels of 133 and 118 mg/kg, while higher P supplies (242 mg/kg AL-P₂O₅) was significant effect on the grain number (23.1) in 2013.

The soil N supplies had diverse effects on the thousand-grain weight and test weight in the three seasons, while soil P supplies had no significant effect on the thousand-grain weight and modified the test weight to different extents in the various seasons.

Increasing rates of N fertiliser significantly enhanced the yield of winter barley up to 160 kg/ha (N₂), when the N_{min} content of the 0–60 cm soil layer in spring was 109–162 kg/ha. In all three seasons the maximum dose of N (240 kg/ha, N₃) caused yield depression, leading to lower winter barley yields.

The analysis of the main effect of P revealed that significantly higher yields were obtained when the AL-P₂O₅ content of the ploughed layer was 206–242 mg/kg compared to the control (118–133 mg/kg AL-P₂O₅).

The analysis of the main effect of K showed that on chernozem meadow soil a yield of 3.07–3.74 t/ha could be obtained without K fertiliser, when the soil AL-K₂O content was 210–218 mg/kg. In some seasons an increase in the AL-K₂O content of the soil led to significantly higher yields. On this heavy, clayey chernozem meadow soil K fertilisation may have a yield-enhancing effect even at a soil AL-K₂O content of 300–350 mg/kg.

Correlation analysis was performed to determine the satisfactory N concentration as follows: the grain yield and leaf N concentration data were plotted in a coordinate system and an envelope curve was fitted to the data set. Values located along the envelope curve represent cases when factors influencing the yield have optimum values and the yield is only influenced by the N concentration. At the end of tillering of winter barley the correlation between leaf N concentration and grain yield indicated that, at a yield level of over 5.0 t/ha, the limit value for satisfactory N supplies at 90% of the yield maximum, it was 3.30–4.50 N%. The limit values for satisfactory supplies of the other macronutrients (P, K, Ca, Mg, Na) and micronutrients (Mn, Zn, Cu, B, Mo) were determined by plotting the P, K, Na, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, B and Mo concentrations associated with the leaf N concentration and reading off the macro- and micronutrient concentrations associated with the 3.30–4.50% N concentration corresponded to a yield level that was at least 90% of the maximum value. On this basis, the following nutrient concentration ranges can be considered as satisfactory for winter barley at tillering: N: 3.30–4.50%; P: 0.20–0.40%; K: 3.30–4.60%; Ca: 0.40–0.70%; Mg: 0.15–0.30%; Na: 0.10–0.30%; Mn: 60–75 mg/kg; Zn: 20–35 mg/kg; Cu: 5–9 mg/kg; B: 3.50–5.00 mg/kg; Mo: 0.15–0.30 mg/kg. In some cases these limit values are in agreement with those given in the literature (Elek and Kádár 1980, Reuter and Robinson 1997, Sanchez 2007), while in other cases they are novel, as narrower ranges were demonstrated for the N, Zn, Cu, Ca, Na and B concentrations, and a somewhat wider range for the K concentration. A very wide optimum range was reported in the literature for Mo, but this was found to be considerably narrower in the present work.

From the point of view of yield, the most favourable nutrient ratios at tillering were as follows:

N/P 8,5-13,3	P/Mg 1,3-2,3	K/Cu 5973-6006	Ca/Mg 2,6
N/Ca 6,8-7,6	P/Zn 98-184	K/Mg 17,2-19,2	
N/Mg 17,8-19,4		K/Na 17,5-17,8	
N/Cu 5429-6751			

For winter barley satisfactory N fertilisation is indicated by a straw length of 51.3–71.4 cm, an ear length of 6.6–7.5 cm, a grain number per ear of 17.5–20.1, a thousand-grain weight of 40.8–46.6 g and a test weight of 65.0–72.7 kg/hl.

The soil AL-P₂O₅ content had no significant influence on the SPAD index of winter barley at either the beginning or end of tillering, while significant increases in plant nutrient concentrations were recorded at AL-P₂O₅ levels of 186–233 mg/kg in the ploughed layer at tillering and of 186–244 mg/kg in the case of the grain yield. An AL-P₂O₅ content of 118–133 mg/kg in the ploughed layer proved to be sufficient for winter barley in terms of straw length, ear length and grain number per ear, while the thousand-grain weight and test weight gave diverse responses to soil P supplies, though higher values were generally recorded for better AL-P₂O₅ supplies (224–251 mg/kg).

The results indicated that P fertilisation up to a soil AL-P₂O₅ content of 200–250 mg/kg in the ploughed layer is essential if winter barley is to give a satisfactory yield.

8 MELLÉKLETEK

8.1 M1 Irodalomjegyzék

1. ADAMO P., BARRÉ P., COZZOLINO V., DI MEO V., VELDE B. (2016): Short term clay mineral release and re-capture of potassium in a *Zea mays* field experiment. *Geoderma*, 264 Part A, 54-60.
2. AGHDAM S.M., SAMADIYAN F. (2014): Effect of nitrogen and cultivars on some of traits of barley (*Hordeum vulgare L.*). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(2):295-299.
3. AL-AJLOUNI M.M., AL-GHZAWI A.L.A., AL-TAWAHA A.R. (2010): Crop rotation and fertilization effect on barley yield grown in arid conditions. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3&4):869-872.
4. ALAZMANI A. (2014): Nitrogen fertilizer response of grain and forage yield of barley genotypes. *Journal of Current Research in Science*, 2(6):671-674.
5. ALAZMANI A. (2015): Evaluation of yield and yield components of barley varieties to nitrogen. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(1):52-54.
6. ALBRIZIO, R., TODOROVIC, M., MATIC, T., STELLACCI, A.M. (2010): Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a mediterranean environment. *Field Crops Research*, 115(2):179-190.
7. ALIJOŠIUS, S., ŠVIRMICKAS, G.J. KLIŠEVIČIŪTĖ, V., GRUŽAUSKAS, R., ŠAŠYTĖ, V., RACEVIČIŪTĖ-STUPELIENĖ, A., DAUKŠIENĖ, A., DAILIDAVIČIENĖ J. (2016): The chemical composition of different barley varieties grown in Lithuania. *Veterinarija ir Zootechnika*, 73(95):9-13.
8. ÁRENDÁS T., BÓNIS P., MOLNÁR D., SARKADI J. (2010): Foszforutóhatások erdőmaradványos csernozjom talajon a karbonátosság függvényében. *Agrokémia és Talajtan*, 53(1-2):111-124.
9. ARENDT E K., ZANNINI E. (2013): Cereal grains for the food and beverage industries. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. pp. 155-191.
10. ARNON D.I., STOUT P.R. (1939): The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, 14 (2): 371–375.
11. ARNON D.I., STOUT P.R. (1939a): Molybdenum as an essential element for higher plants. *Plant Physiology*, 14(3):599–602.
12. ATA-UL-KARIM S.T., CAO Q., ZHU Y., TANG L., REHMANI M.I.A., CAO W. (2016): Non-destructive Assessment of Plant Nitrogen Parameters Using Leaf Chlorophyll Measurement in Rice. *Frontiers in Plant Science*, 7(1829): 1-14.
13. AULAKH M.S., MALHI S.S. (2004): Fertilizer Nitrogen Use Efficiency as Influenced by Interactions with Other Nutrients. In: MOSIER A.R., SYERS J.K., FRENEY J.R. (Eds.): *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Scope 65, Washington, D.C.: Island Press. p. 182.
14. BAIK B-K., ULLRICH S.E. (2008): Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, (48):233-242.
15. BALASUBRAMANIAN V., ALVES B., AULAKH M., BEKUNDA M., CAI Z., DRINKWATER L., MUGENDI D., KESSEL C. VAN OENEMA O. (2004): Crop, environmental, and management factors affecting nitrogen use efficiency. In: MOSIER, A.R., SYERS, J.K., FRENEY, J.R. (Eds.): *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Scope 65, Washington, D.C.: Island Press. p. 30.

16. BARCZAK B. (2008): Contents and rations of mineral components in winter barley biomass cultivated under conditions of different nitrogen fertilization. *Journal of Elementology*, 13(3):291-300.
17. BARKER A.V., PILBEAM D.J. (2007): Handbook of Plant Nutrition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, p.3.
18. BARRETT J. (2008): Soil Science. Fet College Series Level 3. South Africa: Pearson Education. p.18.
19. BARTHOLY J., PONGRÁCZ R., GELYBÓ G. (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5 (1):1-17.
20. BEESON K.C. (1941): The mineral composition of crops with particular reference to the soils in which they were grown a review and compilation. Washington, D. C.: United States Department of Agriculture Miscellaneous Publication No. 369. p.23.
21. BERGMANN W. (1979): Termesztett növények táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
22. BERHANU G, T. KISMÁNYOKY T., SÁRDI K. (2013): Effect of nitrogen fertilization and residue management on the productivity of winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agronomica Hungarica*, 61(2):101-111.
23. BINDRABAN P.S., DIMKPA Ch., NAGARAJAN L., ROY A., RABBINGE R. (2015): Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*, 51:897–911.
24. BIRKÁS M: (2006): Földművelés és földhasználat. Budapest: Mezőgazda Kiadó. p. 414.
25. BLAKE L., MERCIK S., KÖRSCHENS M., MOSKAL S., POULTON P. R., GOULDING K. W. T., WEIGEL A., POWLSON D. S. (2000): Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56(3):263 – 275.
26. BLEIDERE M., GRUNTE I. (2007): Grain chemical composition of spring barley genotypes. Research for rural development. *Proceedings of the International Scientific Conference*. Jelgava: p. 36–41.
27. BLEIDERE M., GAILE Z. (2012): Grain quality traits important in feed barley. Review. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 66(1/2):1-9.
28. BLEIDERE M., ZUTE S., BRUNAVA L., BOBERE N., JĀCOBSONE I. (2013): Yield and grain quality of hulless spring barley in field trials under different nitrogen management condition. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 67(3):229-235.
29. BLINN C.R., LYONS A., BUCKNER E.R. (1988): Color aerial photography for assessing the need for fertilizers in loblolly pine plantations. *Southern Journal of Applied Forestry*, 12(4):270–273.
30. BÓDIS L., MANNINGER S. (2002): Növényi eredetű fehérjeforrások. In: Babinszky L. (szerk.): *Magyarország fehérjegyártásának helyzete és a fejlesztés stratégiája*. Budapest: Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. p. 45-46.
31. BRAR M.S., BIJAY-SINGH, BANSAL, S.K., SRINIVASARAO, CH. (2011): Role of Potassium Nutrition in Nitrogen Use Efficiency in Cereals. International Potash Institute. Optimizing Crop Nutrition. e-ific: 29:20-27.
32. BRENNAN R., F., JAYASENA K. W. (2007): Increasing applications of potassium fertiliser to barley crops grown on deficient soils increased grain yields while decreasing some foliar diseases. *Australian Journals of Agricultural Research*, 58(7):680-689.

33. BROADLEY M., BROWN P., CAKMAK I., MA J.F., RENGEL Z., ZAHO F. (2012): Beneficial elements. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third Edition, Academic Press, London: Academic Press. p. 249.
34. BROWN P.H, WELCH R.M., CARY E.E. (1987): Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, 85(3):801-803.
35. BROWNELL P.F. (1968): Sodium as an Essential Micronutrient Element for some Higher Plants. *Plant and Soil*, 28(1):161-164.
36. BUZÁS I. (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
37. CAI J., JIANG D., WOLLENWEBER B. DAI Z., CAO W. (2012): Effects of nitrogen application rate on dry matter redistribution, grain, yield, nitrogen use efficiency and photosynthesis in malting barley. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 62(5):410-419.
38. CAMPBELL C.R., PLANK C.O. (2000): Foundation for practical application of plant analysis. In: C. R. CAMPBELL (Eds.): *Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States*. Southern Cooperative Series Bulletin 394. p.1.
39. CANDRÁKOVÁ E, SZOMBATHOVÁ N., SMATANA J. (2009): The yield and quality of spring barley affected by nitrogen fertilisation during growing period. *Research Journal of Agricultural Science*, 41(1):16-21.
40. CHEN Z., ZHOU M., NEWMAN I., MENDHAM N., ZHANG G., SHABALA S. (2007). Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Functional Plant Biology*, 34(2):150–162.
41. CHUBB J. (2015): Management Techniques Canada for Increasing Plant & Nutrient Efficiency to Improve Food Production. Nuffield Canada Agricultural Scholarships. November. pp.1-37.
42. CHUTIMANITSAKUN Y., NIPPER R.W., CUESTA-MARCOS A., CISTUE L., COREY A., FILICHKINA T., JOHNSON E.A., HAYES P.M. (2011): Construction and application for QTL analysis of a Restriction Site Associated DNA (RAD) linkage map in barley. *BMC Genomics*, 12(1):1-13.
43. 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.
44. CSATHÓ P. (2002): Az AL-P korrekciós modell értékelése a hazai szabadföldi őszi búza P-kísérletek adatbázisán, 1960-2000. *Agrokémia és Talajtan*, 51(3–4):351-380.
45. CSATHÓ P. (2003): Őszi búza N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960-2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisában. *Növénytermelés*, 52(1):41-59.
46. CSATHÓ P., ÁRENDÁS T., NÉMETH T. (1998): New, environmentally friendly fertilizer recommendation system for Hungary. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*, 3: 225-235.
47. CSATHÓ P., KÁDÁR I. (2013): A foszfortrágyázás 22 éves utóhatása mézlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és talajtan*, 62 (1):99-114.
48. DAS M., KAUR S. (2015): Status of Barley as a Dietary Component for Human. Research & Reviews: *Journal of Food and Dairy Technology*, 3(4):42-47.
49. DEBRECZENI B. (1979): Kis agrokémiai útmutató. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
50. DEBRECZENI B.-NÉ, SÁRDI K. (1999): In: FÜLEKY Gy. (Szerk.): Tápanyag-gazdálkodás. Budapest: Mezőgazda Kiadó. p. 38-39.

51. DRASKOVITS E. (2013): Szabadföldi tartamkísérletek szerepe a foszforműtrágyázás megítélésében. *Agrokémis és Talajtan*, 62(2):435-449.
52. DWIREDI D.P., PAL H., KUMAR M. (1989): Response of barley varieties to nitrogen under irrigated conditions. *Indian Journal of Agronomy*, 42(2):189-195.
53. EARL H., TOLLENAAR M. (1977): Maize Leaf Absorption of Photosynthetically Active Radiation and its Estimation using Chlorophyll Meter. *Crop Science*, 37(2):36-440.
54. EDNEY M.J. (1996): Barley. In: HENRY R.J., KETTLEWELL P.S.(Eds.): *Cereal grain quality*. London Weinheim New York Tokyo Melbourne Madaras: Chapman & Hall. pp. 113-152.
55. ELEK É., KÁDÁR I. (1980): Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. Budapest: Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium Növényvédelmi és Agrokémiai Központja, p. 3, 21.
56. ENDRIS S., MOHAMMED M.J. (2007): Nutrient acquisition and yield response of Barley exposed to salt stress under different levels of potassium nutrition. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(3):323-330.
57. ETIENNE PH., DIQUELOU S., PRUDENT M., SALON CH., MAILLARD A., OURRY A. (2018): Macro and Micronutrient Storage in Plants and Their Remobilization When Facing Scarcity: The Case of Drought. Review. *Agriculture*, 8 (1):14. doi:10.3390/agriculture8010014
58. FAGERIA N.K., BALIGAR, V.C., JONES CH.A. (1997): Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 2nd Edition, New York: Marcel Dekker. p. 123-124.
59. FAGERIA N.K., BALIGAR, V.C., JONES CH.A. (2010): Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 3rd Edition, Boca raton: CRC Press Taylor & Francis Group. p. 9.
60. FAGERIA N.K. (2014): Nitrogen Management in Crop Production. Boca Raton: CRC Press. p. 245.
61. FAGERIA N.K. (2014a): Mineral nutrition of rice. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. p.110.
62. FAGERIA N.K., HE Z., BALIGAR V.C. (2017): Phosphorus Management in Crop Production. World phosphate situation and factors affecting phosphorus availability to plants in soil. Boca Raton: CRC Press, pp.1-46.
63. FAGERIA V.D. (2001): Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8):1269-1290.
64. FAO (2018): www.fao.org/faostat
65. FARAHANI S.M., CHAICHI M.R., MAZAHARI D., AFSHARI R.T., SAVAGHEBI GH. (2011): Barley grain mineral analysis as affected by different fertilizing systems and by drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13 (3):315-326.
66. FECENKO J., LOŽEK O. (2000): Nutrition and fertilization of field crops. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra. p. 452.
67. FRANCIS D.D, PIEKIELEK W.P. (1999): Assessing Crop Nitrogen Needs with Chlorophyll Meters. Site-Specific Management Guideline. Potash & Phosphate Institute. SSMG-12. Reference 99082/Item 10-1012.
68. FRANCOIS F.E. (1992): Effect of excess boron on summer and winter squash. *Plant and Soil*, 147(2):163-170.
69. FÜLEKY GY., RAJKAINÉ VÉGH K., TOLNER L. (1999): Tápanyagellátási elvek és módszerek. In: FÜLEKY Gy. (Szerk.): *Tápanyag-gazdálkodás*. Budapest: Mezőgazda Kiadó. pp. 140-177.

70. GAÁL M., HORVÁTH L. (2006): Geographical analogies in climate change research. HAICTA, Greece. pp. 840-846.
71. GETHING P.A. (1993): Improving Returns from Nitrogen fertilizer – the Potassium-Nitrogen Partnership. 2nd Revised Edition. IPI Research Topics No.13. Basel: International Potash Institute. p.18.
72. GONZALES PONCE, R., MASON, S.C., SALAS, M.L., SABATA R.J., HERCE, A. (1993). Environment, seed rate, and N rate influence on yield of winter barley. *Fertilizer Research*, 34(1):59- 65.
73. GOWARIKER V., KRISHNAMURTHY V.N., GOWARIKER S., DHANORKAR S., PARANJAPE K. (2009): The Fertilizer Encyclopedia. New York, USA: John Wiley & Sons Inc. p.504.
74. GRAINS RESEARCH & DEVELOPMENT CORPORATION (2016): Barley. Section 4: Plant Growth and physiology. Southern region, pp. 1-6.
75. GYULAI F. (2004): IV. Az árpa elterjedésének és termesztésének története. In: TOMCSÁNYI Á., TURCSÁNYI G. (Szerk.): *Az árpa, Magyarország kultúrflórája*. Budapest: Akadémia Kiadó. pp.53-79.
76. HABY V.A., BAKER M.L., FEAGLEY S. (2012): Chapter III: Soils and fertilizers. Texas Vegetable Growers Handbook. <https://aggie-horticulture.tamu.edu/vegetable/guides/texas-vegetable-growers-handbook/chapter-iii-soils-fertilizers/>
77. HANSSON A. C., ANDREN O. (1987). Root dynamics in barley, Lucerne, and meadow fescue investigated with a minirhizotron technique. *Plant Soil*, 103:33–38.
78. HANWAY J.J., OLSON R.A. (1980): Phosphate nutrition of corn, sorghumsoybeans, and small grains. In: DINAUER R.C. (Eds.): *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, WI: ASA, CSSA and SSSA, pp. 681-692.
79. HEJCMAN M., BERKOVÁ M., KUNZOVÁ E. (2013): Effect of long-term fertilizer application on yield and concentrations of elements (N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in grain of spring barley. *Plant, Soil and Environment*, 59(7):329-334.
80. HENRY R.J. (1987): Pentosans and (1-3), (1-4)-b-glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science*, 6(3):253–258.
81. HEYLAND K.U. (1962): Über die Bedeutung der Ernährung in verschiedenen Entwicklungsstadien für den Ertrag der Sommergerste. *Z. f. Acker- u. Pflanzenbau* 113(1):41-65.
82. HOLZAPFEL Ch. (2016): Wheat and Barley Response to Phosphorus and Potassium Fertilization. Agricultural Demonstration of Practices and Technologies (ADOPT) Program Annual Report. Project Number: 20150391. Indian Head, Saskatchewan, R.M. #156.
83. HOPPO S. D., ELLIOT D. E., REUTER D. J. (1999): Plant tests for diagnosing phosphorus deficiency in barley (*Hordeum vulgare L.*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 39(7):857–872.
84. HOSSAIN B., AKHTAR M. (2014): Growth and yield of barley (*Hordeum vulgare L.*) as affected by irrigation, sowing method and phosphorus level. *Academia Journal of Agricultural Research*, 2(1):030-035.
85. INADA K. (1963) : Studies on a method for determining the deepness of green color and chlorophyll content of intact crop leaves and its practical applications. I. Principles for estimating the deepness of green color and chlorophyll content of whole leaves. *Japanese Journal of Crop Science*, 32(2):157-162.

86. IQBALL M.S., HASSAN A., ABID M. (1999): Effect of soil texture and compaction on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays L.*). *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 36(3-4):154-160.
87. IZSÁKI Z. (2008): Hatások és kölcsönhatások vizsgálata NPK műtrágyázási tartamkísérletben (*Zea mays L.*) jelzőnövényvel. *Növénytermelés*, 57 (3):275-289.
88. IZSÁKI Z. (2009): Phosphorus turnover of chernozem meadow soil in a long-term mineral fertilisation field experiment. *Cereal Research Communications*, 37(1):49 – 52.
89. IZSÁKI Z. (2010): A N-műtrágyázás hatása a csernozjom réti talaj nitrogénmérlegére és a NO₃-N mélységi eloszlására 1990 és 2007 között. *Agrokémia és talajtan*, 59 (2):233-248.
90. IZSÁKI Z. (2015): A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei I. 1990-2010. Kukorica, cukorrépa, zab, olajlen és silócirok tápanyagellátása. Budapest: Agroinform Kiadó és Nyomda Kft..
91. IZSÁKI Z., NÉMETH T. (2007): Use of a chlorophyll meter to determine the nitrogen status of winter barley (*Hordeum vulgare L.*). *Cereal Research Communication*, 35(2):521-524.
92. JACOB J. P., PESCATORE A. J. (2012): Using barley in poultry diets—A review. *The Journal of Applied Poultry Research*, 21(1):915–940.
93. JACOBSEN J.S., JASPER C.D. (1991): Diagnosis of Nutrient Deficiencies an Alfalfa and Wheat. EB 43, February. Bozeman: Montana State University, Extension Service.
94. JANKOVIĆ S., GLAMOČLIJA D., MALETIĆ R., RAKIĆ S., HRISTOV N., IKANOVIĆ J. (2011): Effect of nitrogen on yield and grain quality in malting barley. *African Journal of Biotechnology*, 10(84):534-541.
95. JENKIN M.J. (1993): The Genetics of Boron Toxicity in Barley. (Ph.D. thesis). The Department of Plant Science Waite Agricultural Research Institute University of Adelaide, Adelaide, South Australia. p.27.
96. JOHNSTON A.E. 2005. Understanding potassium and its use in agriculture. Brussels: European Fertilizer Manufacturers Association. p.35.
97. JOLÁNKAI M. (2003): Tápanyag-visszapótlás, tápanyag-ellátás a növénytermesztésben. In: CSORBA ZS., JOLÁNKAI P., SZÖLLŐSI G. (Szerk.): III. Növénytermesztési Tudományos Nap, Gödöllő 2003. május 15. Proceeding, MTA Budapest: Akaprint. pp.16-21.
98. JOLÁNKAI M. (2005): Gabonafélék. Őszi árpa. In: ANTAL J. (Szerk.): *A növénytermesztés tan I.* Budapest: Mezőgazda Kiadó. p.245.
99. JOLÁNKAI M., NYÁRAI H.F., KASSAI M.K. (2010): Impact of long-term trials on crop production research and education. *Acta Agronomica Hungarica*, 58(1):1-5.
100. JOLÁNKAI M., PÓSA B., TARNAWA Á. (2014): A szerves trágyázás és a műtrágyázás (Manures and fertilizers). *Agrokémia és Talajtan*, 63(2):419-422.
101. JONGSCHAAP R.E.E., BOOIJ R.(2004): Spectral measurements at different spatial scales in potato: relating leaf, plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(3):205–218.
102. KÁDÁR I. (1980): Növényanalízis alkalmazása az agrokémiai szaktanácsadásban és kutatásban. *Agrokémia és Talajtan*, 29(1-2):323-344.
103. KÁDÁR I. (1988): Kevesebb műtrágyát. *Búvár*. 7. 12.
104. KÁDÁR I.: (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. Budapest: MTA TAKI.

105. KÁDÁR I. (2000): Az őszi árpa (*Hordeum vulgare L.*) műtrágyázása karbonátos vályog csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 49(6):661-675.
106. KÁDÁR I. (2000a): Az őszi árpa (*Hordeum vulgare L.*) tápelemfelvétele karbonátos csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 49(5):547-559.
107. KÁDÁR I. (2003): Mikroelem-terhelés hatása az őszi árpára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*, 52(1-2):105-120.
108. KÁDÁR I. (2005): A növénytáplálás alapelvei és módszerei In: KOVÁCS G.J és CSATHÓ P. (Szerk.): *A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között*. Budapest: Open Art Nyomda. pp. 61-87.
109. KÁDÁR I. (2008): A mikroelemhatások eredményeiről, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. *Acta Agronomica Óváriensis*, 50(1):9-14.
110. KÁDÁR I. (2009): Műtrágyázás hatása az őszi árpára karbonátos homoktalajon. *Növénytermelés*, 58(1):65-75.
111. KÁDÁR I. (2012): A műtrágyázási szaktanácsadás alapelvei és módszere II. Részletes rész. Szemle. *Növénytermelés*, 61(1):101-131.
112. KÁDÁR I. (2012a): Műtrágyázás hatása az őszi árpára (*Hordeum vulgare L.*) 1979. In: KÁDÁR (Szerk.): *A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet első évtizedének tanulságai*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet. pp. 65-73.
113. KÁDÁR I., CSATHÓ P. (2015): Nitrogén és réz közötti kölcsönhatások szabadföldi tartamkísérletben őszi árpa kultúrában. *Növénytermelés*, 64(3):45-58.
114. KÁDÁR I., CSATHÓ P. (2017): A főbb makro- és mikroelemek közötti kölcsönhatások kísérletes vizsgálata. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Martonvásár. p.37, 84.
115. KÁDÁR I., LÁSZTITY B. (1981): Az őszi búza tápelemarányainak változása a tenyészidő folyamán. *Agrokémia és talajtan*, 30(3-4):291-305.
116. KÁDÁR I., TURÁN T. (2002): A P-Zn kölcsönhatás mészlepedékes csernozjom talajon kukorica monokultúrában. *Agrokémia és Talajtan*, 51(3-4):381-394.
117. KALOCSAI R., SCHMIDT R., SZAKÁL P. (2004): A fejtrágyázás hatása az őszi búza minőségére. *Agro Napló*. VIII. évf. 2004/3. pp.14-18.
118. KANT L., AMRAPALI SH., BABU B.K. (2016): Barley. In: SINGH M., UPADHYAYA H.D. (Eds.): *Genetic and genomic resources for grain cereals improvement*. London: Academic Press. pp.125-150.
119. KARAMANOS R.E. HARAPIAK J.T., KRUGER G.A. (2007): Impact of discontinuing phosphorus fertilization after 20 years on barley yields and soil phosphorus status. Proceedings Manitoba. *Soil Science Society*. Annual Meetings, February 8-9, Winnipeg, MB.
120. KAUR S., KAUR N., SIDDIQUE K.H.M., NAYYAR H. (2015): Beneficial elements for agricultural crops and their functional relevance in defence against stresses. Review Article. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(7): 905-920.
121. KERCKHOFFS D. A. J. M., BROUNS F., HORNSTRA G., MENSINK R. P. (2002): Effects on the human serum lipoprotein profile of β -glucan, soy protein and isoflavones, plant sterols and stanols, garlic and tocotrienols. *The Journal of Nutrition*, 132(9): 2494–2505.
122. KETTERINGS Q., CZYMMEK K., BEEGLE D., LAWRENCE J. (2016): Soil fertility and nutrient management. *NRCCA Soil Fertility & Nutrient Management – Study Guide*. p.2.
http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/extension/NRCCA_Manual_Nutrient_Management_10_26_2016.pdf

123. KIRKBY E.A. (2012): Introduction, Definition and Classification of Nutrients. In: MARSCHNER P. (Eds): *Marschner's Mineral Plant Nutrition of Higher Plants*. 3rd Edition. San Diego: Academic Press. p.3.
124. KIRKBY E.A., MENGEL K. (1967): Ionic balance in different tissues of tomato plant in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition. *Plant Physiology*, 42: 6-14.
125. KISMÁNYOKY T. (1980): Sörárpa termesztése barna erdőtalajon. *Kandidátusi értekezés*. PATE, Keszthely.
126. KISMÁNYOKY T., KISS L. (1998): A különböző szerves trágyák és a műtrágyázás hatása gabonák termésére tartamkísérletben. *Növénytermelés*, 47(3):316--326.
127. KONICA MINOLTA OPTICS (2012): Chlorophyll Meter SPAD-502Plus - A lightweight handheld meter for measuring the chlorophyll content of leaves without causing damage to plants. https://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/2_Products/1_Colour_Measurement/6_Chlorophyll_Meter/PDF/spad-02plus_Feb2017_EN.pdf
128. KOSTADINOVA S. (2014): Grain yield and protein of barley independence of phosphorus and potassium nutrition. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LVII.:232-2235.
129. KOVACEVIC J., LALIC A., KOVACEVIC V., BANAJ D. (2006): Response of barley to ameliorative fertilization. *Cereal Research Communications*, 34(1):565-568.
130. KOVÁCS B., HORVÁTH J., PÁLMAI O., NÉMETH T., GYŐRI Z. (2010): Soil analysis (for plant nutrition) in Hungary: Practice and results. *Agrokémia és Talajtan*, 59(1):125-134.
131. KOZERA W., BARCZAK B., KNAPOWSKI T., BRUDNICKI A., WICHROWSKA D. (2017): Response of spring barley to NPK and S fertilisation: yielding, the content of protein and accumulation of mineral nutrients. *Jorunal of Elementology*, 22(2):725-736.
132. KÖRSCHENS M. (2006): The important of long-term field experiments for soils science and environmental research – a review. *Plant, Soil and Environment*, 52:(Special Issue):1-8.
133. KRALOVÁNSZKY U.P. (2002): Az életminőség javításának lehetőségei. In: BABINSZKY L. (Szerk.): *Magyarország fehérjegyazdálkodásának helyzete és a fejlesztés stratégiája*. Budapest: Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. pp. 15-22.
134. LAHOUAR L., GHRAIRI F., EL AREM A., MEDIMAGH S., EL FELAH M., SALEM H.B., ACHOUR L. (2017): Biochemical composition and nutritional evaluation of barley rihane (*Hordeum vulgare L.*). *African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines*. 14(1):310-317.
135. LÁSZTITY B. (1985): A műtrágyázás hatása a tavaszi árpa szárazanyag felhalmozására, tápelem-tartalmára és arányaira. *Növénytermelés*, 34(5):417-427.
136. LÁSZTITY B. (1989): A kálium műtrágyázás hatása a termésre karbonátos homoktalajon. *Növénytermelés*, 38(6):559–568.
137. LÁSZTITY B. (1990): A kálium műtrágyázás hatása néhány növény tápelem és a talaj AL-K tartalmának változására karbonátos homokon. *Növénytermelés*, 39 (6):523-531.
138. LÁSZTITY B. (2006): Az ásványi tápelemek felhalmozása gabonafélékben. Budapest: Műegyetemi Kiadó.

139. LÁSZTITY B., CSATHÓ P. (1995): Studies on the effect of NPK fertilization in long-term experiments on pseudomyceliar chernozem soil in the Mezőföld region. *Agrochemistry and Soil Science*, 44:47–62.
140. LEGZDIŅA L., STRAZDIŅA V., BEINAROVICĀ I., MUCENIECE R. (2014): Effect of genotype and farming system on concentration of mineral elements in organically and conventionally grown cereals. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 68 (3/4):148–157.
141. LOCH J. (1992): Agrokémia In: LOCH J., NOSTICZIUS Á (Szerk.): *Agrokémia és növényvédelmi kémia*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
142. LOCH J. (2005): A tápanyaggazdálkodás időszerű kérdései. In: PEPÓ P. (Szerk.): *Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: A modern növénytermesztés alapjai*. Tudományos Ülés, November 8. Debrecen. pp. 162-169.
143. LOCH J. (2012): Agrokémia. *Agrokémia és Talajtan*, 61. Suppl.121-146.
144. LOŠÁK T., HLUŠEK J., LAMPARTOVA I., ELBL J., MUHLBACHOVA G., ČERMAK P., ANTONKIEWICZ J. (2016): Changes in the content of soil phosphorus after its application into chernozem and haplic luvisol and the effect on yields of barley biomass. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64 (5):1603-1608.
145. MA Q., BELL R., SCANLAN C., SARRE G., BRENNAN R., (2015): Growth and yield responses in wheat and barley to potassium supply under drought or moderately saline conditions in the south-west of Western Australia. *Crop and Pasture Science*, 66(2):135-144.
146. MA Y., LI Y., LI X., TANG X., LIANG Y., SHAOMIN H. S., WANG B., LIU H., YANG X. (2009): Phosphorus accumulation and depletion in soils in wheat-maize cropping systems: Modeling and validation. *Field Crops Research*, 110(3):207 – 212.
147. MADIĆ M., PAUNOVIĆ A., KNEŽEVIĆ D., ZEČEVIĆ V. (2009): Grain yield and yield components of two-row winter barley cultivars and lines. *Acta Agriculturae Serbica*, 14(27):17-22.
148. MAICH R.H., CHAVES A.G., CORAGLIO M.C., COSTERO B., TORRES L.E. (2006): Agronomic performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and hexaploid triticale (X Triticosecale Wittmack) based on the use of selection index. *Cereal Research Communication*, 34(2-3):1123-1127.
149. MÄKELÄ P.S.A., MANNINEN-EGILMEZ P., SANTANEN A., KLEEMOLA, J. (2012): Role of Potassium in Barley Plant Stand Architecture and Yield Formation. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 43 (20):2603-2614.
150. MARINACCIO F., REYNERI A., BLANDINO M. (2015): Enhancing grain yield and quality of winter barley through agronomic strategies to prolong canopy greenness. *Field Crops Research*, 170: 109–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.002>
151. MARWAT S. K., HASHIMI M., KHAN K. U., KHAN M.A., SHOAI B. M., FAZAL-UR-REHMAN (2012): Barley (*Hordeum vulgare* L.) A Prophetic Food Mentioned in Ahadith and its Ethnobotanical Importance. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12(7): 835–841.
152. MCALLISTER T., MEALE S. (2015): Barley Grain-Feed Industry Guide, Ruminants, Poultry, Swine, Other Livestock & Agriculture. 1st Edition. Alberta: Alberta Barley and Agriculture and Agri-Food Canada's Lethbridge Research Center, p.27. <https://www.albertabarley.com/the-barley-grain-feed-industry-guide-now-available/>

153. MCCAULEY A., JONES, C., JECOBSEN, J. (2011): Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. Nutrient Management- a self-study course from the MSU Extension Service Continuing Education Series. Modul No. 9. 4449-4, June. Montana State University.
154. MCDOWELL R.W., CONDRON L.M., STEWART I. (2008): An examination of potential extraction methods to assess plant-available organic phosphorus in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 44:707-715.
155. MCMICHAEL B.L., BURK J.J. (1998): Soil temperature and root growth. *American Society for Horticultural Science*, 33(6):947-951.
156. MEHRVARZ S., CHAICHI M.R., ALIKHANI H.A. (2008): Effects of Phosphate Solubilizing Microorganisms and Phosphorus Chemical Fertilizer on Yield and Yield Components of Barely (*Hordeum vulgare L.*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(6):822-828.
157. MEKONNEN L., W/KIROS B. (2018): Response of Food Barley (*Hordeum vulgare L.*) to Various Levels of P Fertilizer. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 5 (2):21-26.
158. MENGEL K. (1972): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Jena, DDR: VEB Gustav Fischer Verlag.
159. MENGEL K., FORSTER H. (1968): Einfluss einer zeitlich variierten, unterbrochenen K- Ernährung auf Ertrags- und Qualitätsmerkmale von Gerste. *Z. Acker- u. Pflanzenbau*. 127, 317.
160. MENGEL K., KIRKBY E. A. (2001): Principles of Plant Nutrition. 5th Edition. , Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
161. METAYER J. P., GROSJEAN F., CASTAING J. (1993): Study of variability in French cereals. *Animal Feed Science and Technology*, 43 (1-2):87–108.
162. MINOLTA CAMERA CO. LTD. (1989): Chlorophyll meter SPAD-502 Instructional Manual. Osaka, Japan: Konica Minolta. p. 22.
163. MIROSAVLJEVIĆ M., PRŽULJ N., ČANAK P., MOMČILOVIĆ V., AĆIN V., JOCKOVIĆ B., HIROSTOV N., MLADENOW N. (2015): Relationship between Grain Yield and Agronomic Traits in Winter Barley. *Field and Vegetable Crops Reserch /Ratarstvo i Povrtarstvo*, 52(2):74-79.
164. MITRA G. (2017): Essential Plant Nutrients and Recent Concepts about their Uptake. In: NAEEM M., ANSARI A.A., GILL S.S. (Eds.): *Essential Plant Nutrients Uptake, Use Efficiency, and Management*. Switzerland: Springer International Publishing. p.3.
165. MOORE R., CLARK W.D., VODOPICH D.S. (2003): Botany. 2nd Edition, New York, McGraw-Hill: pp.468-495.
166. MORENO, A., MORENO, M.M., RIBAS, F., CABELLO, M.J. (2003): Influence of nitrogen fertilizer on grain yield of barley (*Hordeum vulgare L.*) under irrigated conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(1):91-100.
167. MORRISON W.R. (1978): Wheat lipid composition. *Cereal Chemistry*, (55):548–558.
168. MUKHERJEE D. (2015): Nutrient and its Management: Prospect and challenges under the changing environment scenario. In: HEMANTARANJAN A. (Eds.): *Physiological Efficiency for Crop Improvment*. India: Scientific Publisher. pp. 413-444.
169. MULLEN C.L., GAMMIE R. L. (2003): Phosphorus Nutrition for Winter Crops. Agfact P1.4.5, 2nd Edition. Orange, NSW: NSW Agriculture. p.3. <https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/soils/improvement/p-winter-crop>

170. MUNIR A.T. (2002): Influence of varying seeding rates and nitrogen levels on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare L. cv. Rum*) in the semi-arid region in Jordan. *Die Bodenkulture*, 53(1):13-18.
171. MUNSON R.D. (1998): Principles of plant analysis. In: KALRA Y. P. (Eds.): *Handbook of Methods for Plant Analysis*. Boca Roca, USA: CRC Press Taylor & Francis Group. p.2.
172. MÜHLBACHOVÁ G., ČERMÁK P., VAVERAR, KÁŠ M., PECHOVÁ M., MARKOVÁ K., HLUŠEK J., LOŠÁK T. (2018): Phosphorus availability and spring barley yields under graded P-doses in a pot experiment. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1):13-18.
173. MÉM NAK-Mezőgazdasági Élelmészésgyi Minisztérium Növényvédelmi és Agrokémiai Főosztálya (1979): *Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer*. MÉM NAK, Budapest.
174. NANU I., RADULOV I., TITA A. (2013): Changes in soil potassium content after mineral fertilization. *Research Journal of Agricultural Science*, 45 (4):134-139.
175. NAROLIA G.P., YADAV, G.P. (2013): Effect of Nitrogen Levels its Scheduling on Growth, Yield and Grain Quality of Malt Barley (*Hordeum vulgare L.*) under Normal and Late Sown Conditions in North-West Rajasthan. *Annals of Arid Zone*, 52(2):95-99.
176. NEDEL J.L., ULLRICH S.E., CLANCY J.A. (1993): Barley semidwarf and standard isotype yield and malting quality response to nitrogen. *Crop Science*, 33:258-263.
177. NÉMETH T. (2002): Talajaink nitrogén-tartalma és a nitrogén trágyázás. *Acta Agraria Debreceniensis*, 9:51-61.
178. NÉMETH T., JOLÁNKAI M. (2002): A precíziós növénytermesztés elemei (talajtani, agrokémiai és növénytermesztési alapok). In: NAGY J. (Szerk.): *EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság*. Tudományos Tanácskozás, Debreceni Egyetem. pp.12-21.
179. NÉMETH T., NAGY J., RÁTONYI T. (2002): A fenntartható mezőgazdaság agrotechnikai feltételei. In: NAGY J. (Szerk.): *EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság*. Tudományos Tanácskozás Debreceni Egyetem. pp.2-10.
180. NÉMETH T., HORVÁTH J., PÁLMAI O. (2010): Tápanyag-gazdálkodás. In: RADICS L. (Szerk.): *Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés* 1. Budapest: Agroinform Kiadó. pp. 209-227.
181. NEWMAN C.W., NEWMAN R.K. (1992): Nutritional aspects of barley seed structure and composition. In: SHEWRY P.R. (Eds): *Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology*. Wallingford, Oxon: C.A.B. International. pp. 351-368.
182. NEWMAN C.W., NEWMAN R.K. (2006): A brief history of barley foods. *Cereal Foods World*, 51:4-7.
183. NEWMAN R.K., NEWMAN C.W. (2008): *Barley for food and health*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc. p.77.
184. NIKKHAH A. (2012): Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 3(22):1-9.
185. NOWOROLNIK K., WIRKIJOWSKA A., MIKOS-SZYMANSKA M. (2014): Effect of genotype and nitrogen fertilization on grain yield and quality of spring barley intended for health food use. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(3):576-580.
186. OECD (2004): Organisation for Economic Co-operation and Development. Consensus document on compositional considerations for new varieties of

- barley (*Hordeum vulgare L.*): key food and feed nutrients and anti-nutrients. Series on the Safety of Novel Foods and Feeds. No. 12. France.
187. O'NEILL E.J., BATEY T., CRESSER M.S. (1984): Effect of nitrogen supply on barley pigment concentrations. *Plant and Soil*, 77(2):315-326.
 188. OSVALDE A. (2011): Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. *Environmental and Experimental Biology*, 9:1–8.
 189. PAGOLA M., ORTIZ R., IRIGOYEN I., BUSTINCE H., BARRENECHEA E., APARICIO-TEJO P., LAMSFUS C., LASA B. (2009): New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis comparison with SPAD-502. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2):213-218.
 190. PALAVAN-UNSAI N., KEFELI V., BLUM W., (2011): Mechanisms of landscape rehabilitation and sustainability. Sharjah: Bentham Science Publishers. p.37.
 191. PANDEY R. (2015): Mineral Nutrition of Plants. In: BAHADUR B., VENKAT R.M., SAHIJRAM., KRISHNAMURTHY K. (Eds.): *Plant Biology and Biotechnology. Volume I: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement*. New Delhi: Springer India. pp. 499-538.
 192. PEDAS P., HUSTED S., SKYTTE K., SCHJOERRING K. (2011): Elevated phosphorus impedes manganese acquisition by barley plants. *Frontiers in Plant Science*, 2(37):1-12.
 193. PELTONEN J., VIRTANEN A., HAGGRÉN E. (1995): Using a chlorofill meter to optimize nitrogen fertilizer application for intensively-managed small-grain cereals. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174(5):309-318.
 194. PEPÓ P. (2004): Árpa. In: IZSÁKI Z., LÁZÁR L. (Szerk.): *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme*. Budapest: Mezőgazda Kiadó. p.202.
 195. PETHŐ M. (1998): A növényélettan alapjai. Budapest: Akadémia Kiadó, p. 61, 72-73.
 196. PILON-SMITS, E.A.H., QUINN., C.F., TAPKEN, W., MALAGOLI, M., SCHIAVON, M. (2009): Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3):267-274.
 197. PDA (2005): Potash for Cereals. Leaflet 11. York, UK: The Potash Development Association. p.3. https://www.pda.org.uk/pda_leaflets/11-potash-for-cereals/
 198. POWER J.F. GRUNES D.L., REICHMAN G.A., WILLIS W.O. (1970): Effect of soil temperature and rate of barley development and nutrition. *Agronomy Journal*, 62(5): 567-571.
 199. PROCHÁZKA S. (2003): Physiology of plants. Praha: Academia Press. p. 484.
 200. PRÝMA J., EHRENBERGEROVÁ J., BELCREDIOVÁ N., VACULOVÁ K. (2007): Tocol content in barley. *Acta Chimica Slovenica*, 54:102-105.
 201. PUEYO M.J, SASTRE E., HERNÁNDEZ E., VIDAL M., LÓPEZ-SANCHEZ J.F., RAURET G. (2003): Prediction of trace element mobility in contaminated soils by sequential extraction. *Journal of Environmental Quality*, 32(6):2054-2066.
 202. QUINDE Z., ULLRICH S.E., BAIK B.-K. (2004): Genotypic variation in colour and discolouration potential of barley-based food products. *Cereal Chemistry*, 81(6):752–758.
 203. RADULOV I., GOIAN M. (2004): Potasiul în agricultură și nutriție, Ed. Solness, Timișoara.

204. RASHID A., KHAN R. (2008). Comparative Effect of Varieties and Fertilizer Levels on Barley (*Hordeum vulgare*). *International Journal of Agriculture & Biology*, 10(1):124-126.
205. REUTER D.J., ROBINSON J.B. (1997): Plant analysis: An interpretation manual. CSIRO: Collingwood, Ausztralia. pp.84-94.
206. RIAZ A. (2009): Landscape under water-stress condition. In: PESSARAKLI M. (Eds.): *Handbook of plant and crop stress*. Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor&Francis Group. p.957.
207. RICHARDSON A. D., DUIGAN S. P., BERLYN G. P. (2002): An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, 153(1): 185-194.
208. ROBERTS T.L. (2008): Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32 (3):177-182.
209. ROBSON A.D., PITMAN M.G. (1983): Interactions between nutrients in higher plants. In: LÄUCHLI, A., BIELESKI, R.L. (Eds.): *Inorganic plant nutrition, Encyclopedia of Plant Physilology*. New Series Volume 15 A. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag. pp. 147-180.
210. RODEHUTSCORD M., RÜCKERT C., MAURER H. P., SCHENKEL H., SCHIPPRACK W., KNUDSEN K. E. B., SCHOLLENBERGER M., LAUX M., EKLUND M., SIEGERT W., MOSENTHIN R. (2016): Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes. *Archives of Animal Nutrition*, 70(2):87–107.
211. RODRIGUEZ I.R. (2000): Using a Chlorophyll Meter to Determine the Chlorophyll Concentration, Nitrogen Concentration, and Visual Quality of St. Augustinegrass. *American Society for Horticultural Science*, 35(4):751–754.
212. ROEMHELD V. (2005): Plant Nutrients. In: LAL R. (Eds.): *Encyclopedia Of Soil Science*. 2nd Edition, Volume 2., T&F India. p.1300.
213. ROWE B. A., JOHNSON D. E. (1995): Residual benefits of limestone and superphosphate on barley yields and soil-water deficits on a krasnozem in north-western Tasmania. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35(5):611–617.
214. ROY R.N., FINCK A., BLAIR G.J., TANDON H.L.S. (2006): Plant nutrition for food security A guide for integrated nutrient management. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. p.25.
215. RYAN M.H., DERRICK J. W., DANN P. R. (2004): Grain Mineral Concentrations and Yield of Wheat Grown under Organic and Conventional Management. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 84(3):207-216.
216. SANCHEZ CH.A. (2007): Phosphorus In: BARKER A.V., PILBEAM D.J.(Eds.): *Handbook of Plant Nutrition*. Baca Raton: CRC Press Taylor & Francis. p.57.
217. SANDER D. H., EGHBALL B. (1999): Planting date and phosphorus fertilizer placement effects on winter wheat. *Agronomy Journal*, 91(4):707–712.
218. SASEENDRAN S.A., AHUJA L.R., MA, L., NIELSEN D.C., TRAUT T.J., ANDALES A.A., CHAVEZ J.L., HAM J. (2014): Enhancing the water stress factors for simulation of corn in RZWQM2. *Agronomy Journal*, 106 (1):81-94.
219. SCHMIDT J. (2004): Az árpa kémiai összetétele-Az árpa takarmányozási érétke. In: TOMCSÁNY A., TURCSÁNYI G. (Szerk.): *Az árpa-Magyarország kultúrflórája*. Budapest: Akadémia Kiadó. pp. 143-1149.

220. SCOTT H. D., BEASLEY S. D., THOMPSON L. F. (1975). Effect of lime on boron transport and uptake by cotton. *Soil Science Society of America Proceedings*, 39(6): 1116-1121.
221. SEBILO M., MAYER B., NICOLARDOT B., PINAY G., MARIOTTI A. (2013): Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultura soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(45):18185-18189.
222. SHAFI M., BAKHT J., JALAL F., KHAN M.A., KHATTAK S.G. (2011): Effect of nitrogen application on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare L.*). *Pakistan Journal of Botany*, 43(3):1471-1475.
223. SHAH J., BUKHARI S.A.H., ZENG J., QUAN X., ALI E., MUHAMMAD N., ZHANG G. (2017): Nitrogen (N) metabolism related enzyme activities, cell ultrastructure and nutrient contents as affeted by N level and barley genotype. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(1):190-198.
224. SHARMA M.K. (2013): An intruduction top lant nutrition. In: SHARMA M.K., KUMAR P. (Eds.): *Nutrient Deficiencies of Field Crops: Guide to Diagnosis and Management*. Norcross, Georgia, USA: International Plant Nutrition Institute. pp.1-9.
225. SHEKHAWAT P.S., SHAKTAWAT R.P.S., RATHORE D.S. (2013): Effect of nitrogen and potassium levels on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare L.*) in loamy sand soil of Rajasthan. *Journal of Ecology and Environment*, 31 (3):1303-1306.
226. SIMONNÉ B. Á. (2011): Az NPK-műtrágyázás hatásának tanulmányozása a tavaszi árpa különböző korú növényi részeiben. Keszthely: PhD értekezés.
227. SINEBO W. (2002): Yield relationships of barley grown in a tropical highland environment. *Crop Science*, 42:428-437.
228. SLAMKA P., HANÁČKOVÁ E., BENČÍKOVÁ M., MACÁK M., DEMJANOVÁ E. (2008): Effect of nitrogen supply level in soil on malt characteristics of winter barley grain. Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, 28 April-2 May 2008, Stara Lesna, Slovakia. Vol. 36, Supplement: pp.1439-1442.
229. SMIT A. L., BINDRABAN P. S., SCHRÖDER J. J., CONIJN J. G., VAN DER MEER H. G. (2009): Phosphorus in agriculture: global resources, trends and decelopments. Wageningen: Plant Research International. p.1.
230. SPANER D., TODD A.G., NAVABI A., MCKENZIE D.B., GOONEWARDENE L.A. (2005): Can leaf chlorophyll measurement at differing growth stage be used as an indicator os winter wheat and spring barley nitrogen requirements in Eastern Canada? *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(5):393-399.
231. ŠPUNAR J., VACULOVÁ K., ŠPUNAROVÁ M., NESVADBA Z. (2002): Comparison os important parameters of spring barley and winter barley cultivated in sugar beet production area of Czech Republic. *Rostlinná Výroba*, 48(6):237-242.
232. ŠTERNA V., ZUTE1 S.; JÂKOBSONE I. (2015): Grain composition and functional ingredients of barley varieties created in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 69:(4)(697), pp. 158–162.
233. STOCKINGER E.J., SKINNER J.S., GARDNER K.G., FRANCIA E., PECCHIONI N. (2007): Expression levels of barley Cbf genes at the Frost resistance-H2 locus are dependent upon alleles at Fr-H1 and Fr-H2. *The Plant Journal*, 51(2):308-21.

234. SULLIVAN P., ARENDT E., GALLAGHER E. (2013): The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends in Food Science & Technology*, 29(2):124-134.
235. SÜß A., DANNER M., OBSTER C., LOCHERER M., HANK T., RICHTER K. (2015): Measuring Leaf Chlorophyll Content with the Konica Minolta SPAD-502Plus – Theory, Measurement, Problems, Interpretation. EnMAP Field Guides Technical Report, GFZ Data Services. DOI: <http://doi.org/10.2312/enmap.2015.010>
236. SVÁB J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
237. SWILLING J. (2004): Minerals Key to Vibrant Health and Life Force. Irvine, CA: Lulu Press, Inc. 163.p.
238. SZÁSZ G. (1988): Agrometeorológia - Általános és speciális. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
239. SZMIRNOV P.M., PETERBURGSZKIJ A.V. (1975): Agrohimiya. Moszkva: „Kolosz” Kiadó.
240. TAKEBE M., YONEYAMA T. (1989): Measurements of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 23(2):86-93.
241. TAL B. (2011): The effects of nitrogen from on interactions with potassium. Optimizing Crop Nutrition. Switzerland: International Potash Institute. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.661.3330&rep=rep1&type=pdf>
242. TARNAWA Á., CZERŐDINÉ KEMPF L., NYÁRAI-HORVÁTH F., MÁTÉ A., SZENTPÉTERY ZS. (2017): The comparison of spring to early summer SPAD value of various winter cereals. *Columella*, 4(1):73-77.
243. TÓTH Z. (2003): A foszfor és kálium trágyázás alapelvei. *Agro Napló*. 2003/9. <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2003/9/novenytermesztes/a-foszfor-es-kalium-tragyazas-alapelvei>
244. TRACY P.W., HEFNER S.G., WOOD C.W., EDMISTEN K.L. (1992): Theory behind the use of instantaneous leaf chlorophyll measurements for determining mid-season cotton nitrogen recommendations. In: HERBER D.J., D.A. RICHTER (Eds.): Proc. Beltwide Cotton Conf. National Cotton Council of America, Memphis, TN. p.1099– 1100.
245. TREBICHALSKÝ P., MOLNÁROVÁ J., VOLLMANNOVÁ A., MUSILOVÁ J., TOMÁŠ J. (2012/13): The Effect of Various Fertilization and Tillage on Uptake Cu, Zn to Some Varieties of barley Grain. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2(3):1050-1057.
246. UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO) International Fertilizer Development Center (IFDC) (1979): Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers. Chapter 3. Status of the Fertilizer Industry. pp.46-70.
247. VÁRALLYAY GY., NÉMETH T. (1999): A környezetkímélő növénytermesztés talajtani – agrokémiai alapjai. In: RUZSÁNYI L., PEPÓ P. (Szerk.): *Növénytermesztés és Környezetvédelem*. Budapest: MTA, pp. 69-75.
248. VÁRALLYAY GY., CSATHÓ P., NÉMETH T. (2005): Az agrártermelés környezetvédelmi vonatkozásai Magyarországon. In: KOVÁCS G.J., CSATHÓ P. (Szerk.): *A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901-2003 között*. Agronómiai és környezetvédelmi tanulságok. Budapest: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. p.166.

249. VNIIZH (1978): Metodika vyraschivaniya zernovyh kul'tur dlja selekcii na ustanovkah uskorenogo vyraschivaniya rastenij (UVR). Izdatel'stvo. VNIIZH, Shortandy.
250. WAKENE T., WORKU W., HAILE W. (2014): Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Levels on Growth and Development of Barley (*Hordeum vulgare* L.) at Bore District, Southern Oromia, Ethiopia. *American Journal of Life Sciences*, 2(5):260-266.
251. WALIA U.S., WALIA S.S. (2015): Crop Management. India: Scientific Publishers. p.29.
252. WALLACE A. (1990): Interactions of two parameters in crop production and in general biology: Sequential additivity, synergism, antagonism. *Journal of Plant Nutrition*, 13(3-4):327-342.
253. WANG J.M., CHEN J.X., DAI F., WU F.B., YANG J.M., ZHANG G.P. (2007): Protein Fractions in Barley Grains as Affected by Some Agronomic Factors and Their Relationships to Malt Quality. *Cereal Research Communications*, 35(1):129-140.
254. WANG Y., HONG W., WU CH., LIN H., FAN H., CHEN C., LI, J. (2009): Variation of SPAD values in uneven-aged leaves of different dominant species in *Castanopsis carlessi* forest in Lingshishan National Forest Park. *Journal of Forestry Research*, 20(4):362–366.
255. WATANABE S., HATANAKA Y., INADA K. (1980): Development of a digital chlorophyllometer: I. Structure and performance. *Japanese Journal of Crop Science*, 49 (special issue):89—90.
256. WESTON D.T., HORSLEY R.D., SCHARZ P.B., GOOS R.J. (1993): Nitrogen and planting date effects on low-protein spring barley. *Agronomy Journal*, 85(6):1170-1174.
257. WIBBERLEY E.J. (2006): Fertilising small-grain cereals for sustainable yield and high quality. IPI Bulletin No.:17. Horgen, Switzerland: International Potash Institute. p. 76-77.
258. WILKINSON S.R., GRUNES D.L., SUMNER M.E. (1999): Nutrient interactions in soil and plant nutrition. In: SUMNER M.E. (Eds.): *Handbook of Soil Science*. Boca Raton FL: CRC Press LLC, 8 pp.9-112.
259. WOOD C.V., REEVES D.W., HIMELRICK D.G. (1993): Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. *Proceedings Agronomy Society of New Zealand*, 23:1-9.
260. XIONG D., CHEN J., YU, T., GAO W., LING X., LI Y., PENG S., HUANG J. (2015): SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific Reports*. 5:13389.
261. ZAMAN U., AHMAD A., FAROOQ M., SAEED S., AHMAD M., WAKEEL A. (2015): Potassium fertilization may improve stem strength and yield of basmati rice grown on nitrogen-fertilized soils. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 52(2): 439-445.
262. ZELONKA L., STRAMKALE V., VIKMANE M. (2005): Effect and after-effect of barley seed coating with phosphorus on germination, photosynthetic pigments and grain yield. *Acta Universitatis Latviensis, Biology*, 691:111-119.
263. ZENG J., SHENG H., LIU Y., WANG Y., WANG Y., KANG H., FAN X., SHA L., YUAN S., ZHOU Y. (2017): High nitrogen supply induces physiological responsiveness to long photoperiod in barley. *Frontiers in Plant Science*, 12(8):569. doi: 10.3389/fpls.2017.00569

264. ZÖRB CH., SENBAYRAM M., PEITER E. (2014): Potassium in agriculture-
Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9):656-669.

8.2 M2 Ábrajegyzék

1. ábra. A világ árpatermesztésének megoszlása a vetésterület alapján	7
2. ábra. Mulder diagram	17
3. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa N-koncentrációjára.....	37
4. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa P-koncentrációjára	38
5. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa K-koncentrációjára.....	40
6. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Ca-koncentrációjára	41
7. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Mg-koncentrációjára	42
8. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Na-koncentrációjára.....	43
9. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Mn-koncentrációjára	44
10. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Zn-koncentrációjára	46
11. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa Cu-koncentrációjára.....	47
12. ábra. A N- és P- ellátottság hatása az őszi árpa B-koncentrációjára.....	48
13. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa Mo-koncentrációjára.....	50
14. ábra. Összefüggés az őszi árpa SPAD-értéke és a N-koncentrációja között bokrosodás végén (2011)	67
15. ábra. Összefüggés az őszi árpa SPAD-értéke és a N-koncentrációja között bokrosodás végén (2012)	67
16. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és a szemtermés között (2011)	68
17. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és a szemtermés között (2012)	68
18. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért SPAD-értéke és a szemtermés között(2013)	69
19. ábra. Összefüggés az őszi árpa bokrosodás végén mért N-koncentrációja és a szemtermés mennyisége között.....	70
20. ábra. Kielégítő P-koncentráció határérték.....	70
21. ábra. Kielégítő K-koncentráció határérték	71
22. ábra. Kielégítő Ca-koncentráció határérték	71
23. ábra. Kielégítő Mg-koncentráció határérték	72
24. ábra. Kielégítő Na-koncentráció határérték	72
25. ábra. Kielégítő Mn-koncentráció határérték	73
26. ábra. Kielégítő Zn-koncentráció határérték	73
27. ábra. Kielégítő Cu-koncentráció határérték	74
28. ábra. Kielégítő B-koncentráció határérték	74
29. ábra. Kielégítő Mo-koncentráció határérték	75
30. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés N-koncentrációjára.	76
31. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés P-koncentrációjára .	77
32. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés K-koncentrációjára.	79
33. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Ca-koncentrációjára	80
34. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Mg-koncentrációjára	82
35. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Na-koncentrációjára	83
36. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Mn-koncentrációjára	85
37. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Zn-koncentrációjára	86
38. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Cu-koncentrációjára	87
39. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés B-koncentrációjára .	89

40. ábra. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés Mo-koncentrációjára	90
--	----

8.3 M3 Táblázatjegyzék

1. táblázat. A növényi tápanyagok létfontosságának bizonyítási éve és annak felfedezője.....	10
2. táblázat. A gyökérintésbe történő ionmozgás formák megoszlása a legfontosabb tápelemek esetében	12
3. táblázat. Az egyes tápelemek mobilitása a talajban.....	14
4. táblázat. Az őszi árpa kielégítő tápelem ellátottsági határértékei és arányi bokrosodás fenofázisában	25
5. táblázat. A műtrágyázási tartamkísérletben kijuttatott.....	26
6. táblázat. A talaj K-, P- és N-ellátottsága trágyázási szintenként	28
7. táblázat. A talaj ásványi N-tartalma (N_{min}) N-trágyázási kezelésként	28
8. táblázat. A kísérleti hely időjárásának adatai a vizsgált időszak alatt	29
9. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire bokrosodás kezdetén (2010).....	32
10. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire bokrosodás kezdetén (2011).....	33
11. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire bokrosodás kezdetén (2012).....	34
12. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire bokrosodás végén (2011)	35
13. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire bokrosodás végén (2012)	35
14. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa SPAD-értékeire bokrosodás végén (2013)	36
15. táblázat A N- ellátottság hatása az őszi árpa tápelem arányaira bokrosodás végén	51
16. táblázat A P-ellátottság hatása az őszi árpa tápelem arányaira bokrosodás végén	53
17. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalmahosszára (2011)	54
18. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalmahosszára (2012).....	55
19. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa szalmahosszára (2013)	55
20. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászhosszára (2011)	56
21. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászhosszára (2012)	57
22. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalászhosszára (2013)	57
23. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalásonkénti szemszámára (2011).....	58
24. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalásonkénti szemszámára (2012).....	59
25. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa kalásonkénti szemszámára (2013).....	59
26. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa ezerszemtömegére (2011)	60
27. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa ezerszemtömegére (2012)	61
28. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa ezerszemtömegére (2013)	61
29. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa hektolitertömegére (2011)....	62
30. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa hektolitertömegére (2012)....	63
31. táblázat. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa hektolitertömegére (2013)....	63
32. táblázat A N-ellátás hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére	64
33. táblázat. A P-ellátás hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére.....	65

34. táblázat A K-ellátás hatása az őszi árpa szemtermés mennyiségére	66
35. táblázat. A N-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira.....	92
36. táblázat. A P-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermés tápelem arányaira	93

8.4 M4 A tartamkísérlet elrendezése

57. K2P1N0	49. K2P0N2	41. K2P3N3	33. K2P2N1		25. K0P3N3	17. K0P2N2	9. K0P1N1	1. K0P0N0
58. K2P1N2	50. K2P0N3	42. K2P3N1	34. K2P2N0	↔ 1m	26. K0P3N0	18. K0P2N3	10. K0P1N2	2. K0P0N1
59. K2P1N3	51. K2P0N1	43. K2P3N0	35. K2P2N2		27. K0P3N1	19. K0P2N0	11. K0P1N3	3. K0P0N2
60. K2P1N1	52. K2P0N0	44. K2P3N2	36. K2P2N3		28. K0P3N2	20. K0P2N1	12. K0P1N0	4. K0P0N3
2 m ↓					2 m ↓			
61. K3P2N1	53. K3P1N3	45. K3P0N0	37. K3P3N2		29. K1P0N1	21. K1P3N0	13. K1P2N2	5. K1P1N3
62. K3P2N3	54. K3P1N2	46. K3P0N1	38. K3P3N0		30. K1P0N2	22. K1P3N3	14. K1P2N1	6. K1P1N0
63. K3P2N2	55. K3P1N0	47. K3P0N3	39. K3P3N1	↔ 1m	31. K1P0N3	23. K1P3N1	15. K1P2N0	7. K1P1N2
64. K3P2N0	56. K3P1N1	48. K3P0N2	40. K3P3N3		32. K1P0N0	24. K1P3N2	16. K1P2N3	8. K1P1N1

Az I. ismétlés elrendezése

121. K0P3N0	113. K0P1N2	105. K0P2N1	97. K0P0N3	↔ 1m	89. K2P2N2	81. K2P0N0	73. K2P3N3	65. K2P1N1
122. K0P3N1	114. K0P1N0	106. K0P2N3	98. K0P0N2		90. K2P2N3	82. K2P0N2	74. K2P3N1	66. K2P1N0
123. K0P3N2	115. K0P1N3	107. K0P2N0	99. K0P0N1		91. K2P2N0	83. K2P0N1	75. K2P3N2	67. K2P1N3
124. K0P3N3	116. K0P1N1	108. K0P2N2	100. K0P0N0		92. K2P2N1	84. K2P0N3	76. K2P3N0	68. K2P1N2

2 m ↓

2 m ↓

125. K1P0N1	117. K1P3N3	109. K1P1N2	101. K1P2N0	↔ 1m	93. K3P1N3	85. K3P2N1	77. K3P0N0	69. K3P3N2
126. K1P0N2	118. K1P3N0	110. K1P1N1	102. K1P2N3		94. K3P1N1	86. K3P2N2	78. K3P0N3	70. K3P3N0
127. K1P0N0	119. K1P3N1	111. K1P1N3	103. K1P2N2		95. K3P1N2	87. K3P2N0	79. K3P0N1	71. K3P3N3
128. K1P0N3	120. K1P3N2	112. K1P1N0	104. K1P2N1		96. K3P1N0	88. K3P2N3	80. K3P0N2	72. K3P3N1

A II. ismétlés elrendezése

185. K3P1N2	177. K3P0N1	169. K3P2N3	161. K3P3N0		153. K1P3N1	145. K1P1N2	137. K1P0N0	129. K1P2N3
186. K3P1N0	178. K3P0N3	170. K3P2N1	162. K3P3N2	↔ 1m	154. K1P3N2	146. K1P1N3	138. K1P0N1	130. K1P2N0
187. K3P1N3	179. K3P0N2	171. K3P2N0	163. K3P3N1		155. K1P3N0	147. K1P1N1	139. K1P0N3	131. K1P2N2
188. K3P1N1	180. K3P0N0	172. K3P2N2	164. K3P3N3		156. K1P3N3	148. K1P1N0	140. K1P0N2	132. K1P2N1
2 m ↓					2 m ↓			
189. K0P0N3	181. K0P2N0	173. K0P3N1	165. K0P1N2		157. K2P2N0	149. K1P3N3	141. K1P1N2	133. K1P0N1
190. K0P0N2	182. K0P2N3	174. K0P3N0	166. K0P1N1		158. K2P2N3	150. K1P3N0	142. K1P1N1	134. K1P0N2
191. K0P0N0	183. K0P2N1	175. K0P3N2	167. K0P1N3	↔ 1m	159. K2P2N1	151. K1P3N2	143. K1P1N0	135. K1P0N3
192. K0P0N1	184. K0P2N2	176. K0P3N3	168. K0P1N0		160. K2P2N2	152. K1P3N1	144. K1P1N3	136. K1P0N0

A III. ismétlés elrendezése



1. kép. Az őszi árpa bokrosodás kezdetén (Szarvas, 2010 november)



1. kép. Az őszi árpa bokrosodás végén (Szarvas, 2011 április eleje)



1. kép. Az őszi árpa szárbainduláskor (Szarvas, 2011 április vége)



2. kép. A K₁-es főparcella (Szarvas, 2012)



5. kép. Az őszi árpa betakarítás előtt (Szarvas, 2012)



6. kép. Talajmintavétel (Szarvas, 2013 tavasz)

9 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetem szeretném kifejezni dr. Izsáki Zoltánnak és dr. Jolánkai Mártonnak, akik témevezetőkként pótolhatatlan segítséget nyújtottak számomra.

Szeretém megköszönni Krajcsiné Lestár Zsuzsannának a kutatói munkám során nyújtott segítséget, tanácsot és támogatást.

Az adatok statisztikai értékelésében nyújtott segítségéért hálával tartozom dr. Dunai Attilának.

Köszönettel tartozom családomnak és barátaimnak kitartó támogatásukért.