

Crop
Production

 HERMAN OTTÓ INTÉZET
NONPROFIT KFT.

NÖVÉNYTERMELÉS

67. kötet | 2. szám | 2018. június

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



Biogáz üzemi fermentlé hatása a napraforgó növekedésére és klorofill-tartalmára, tápelemhiányos tápoldaton nevelt körülmények mellett a növekedés kezdeti szakaszában

A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) szemtermésének aminosav összetételére

A SPAD és az NDVI értékek alkalmazhatóságának vizsgálata a klorofill koncentráció függvényében kukoricánál

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

A Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. kiadásában,
az Agrárminisztérium támogatásával megjelenő folyóirat
a növénytermesztés, növénynevelés, növénygenetika, növényélettan, agrobotanika
területén magyar és külföldi szerzők által írt, angol és orosz nyelvű összefoglalókkal
ellátott tudományos közleményeket, vitacikkeket, szemlét, könyvismertetést közöl.

**A folyóirat szakmai támogatója az MTA Agrártudományok Osztályának Talajtani,
Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Bizottsága**

Megjelenés egy kötet négy füzetben.

A Növénytermelést a SCOPUS és a Google Scholar indexeli.

Szerkesztőség:

DEBRECENI EGYETEM MÉK
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.
4002 Debrecen, Pf. 400
Telefon: (06 52) 508-310
Fax: (06 52) 508-460
E-mail: novenytermeles@agr.unideb.hu
szelesne@agr.unideb.hu

Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:

Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.
Kiadói Osztály
1223 Budapest, Park u. 2.
Telefon: (06 1) 362-8100
Fax: (06 1) 362-8104
E-mail: info@agrarlapok.hu
www.hoi.hu
www.novenytermeles.hu

A kiadásért felelős Bárányné Erdei Rita,
a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője

ISSN 0546-8191
Növényterm 67 (2018) 2
Printed in Hungary

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

67. kötet, 2. szám, 2018. június

Főszerkesztő/Editor-in-Chief:

JÁNOS NAGY

Szerkesztőbizottság/Editorial Board:

Z. BERZSENYI, M. BIRKÁS, L. BLASKÓ, CS. GYURICZA, K. INUBUSHI,
Z. IZSÁKI, M. JOLÁNKAI, T. KISMÁNYOKY, É. LEHOCZKY,
N. A. MAKARENKO, D. MEZŐSZENTGYÖRGYI, J. NAGY, P. PEPÓ, R. SCHMIDT

AGRÁRMINISZTERIUM

A kiadásért felelős a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője

A nyomást és kötést a Komáromi Nyomda és Kiadó Kft. végezte

Felelős szerkesztő: Dr. Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

Fotót készítette: Dr. Pepó Péter

ISSN 0546-8191

TARTALOM

| | |
|--|----|
| <i>Hankovszky Gerda – Tóth Brigitta</i> : Biogáz üzemi fermentlé hatása a napraforgó növekedésére és klorofilltartalmára, tápelem-hiányos tápoldaton nevelt körülmények mellett, a növekedés kezdeti szakaszában | 5 |
| <i>Izsáki Zoltán</i> : A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa (<i>Hordeum vulgare</i> L.) szemtermésének aminosav összetételére | 23 |
| <i>Simkó Attila – Bodnár Karina Bianka – Veres Szilvia</i> : A SPAD és az NDVI értékek alkalmazhatóságának vizsgálata a relatív klorofilltartalom függvényében kukoricánál | 45 |
| <i>Várallyay Szilvia – Veres Szilvia – Bódi Éva – Soós Áron – Kovács Béla</i> : Elterő arzénformák hatása a fejlődés korai stádiumában lévő napraforgó növény (<i>Helianthus annuus</i> L.) szárazanyag-produktumára, valamint foszfor-, kén- és mikroelem-koncentrációjára | 57 |
| <i>Veres Szilvia – Simkó Attila</i> : Fotokémia aktivitás változásának vizsgálata kukoricán | 75 |
| <i>Zsombik László – Seres Emese</i> : Nitrogénkezelések őszi búza (<i>Triticum aestivum</i> L.) agronómiai paramétereire gyakorolt hatása savanyú homoktalajon | 87 |

CONTENTS

| | |
|---|----|
| <i>G. Hankovszky – B. Tóth</i> : Effect of digestate of biogas factory on sunflower growth and chlorophyll content, grown on some macroelement-deficient nutrient solution at the beginning of the growth stage | 5 |
| <i>Z. Izsáki</i> : The effect of N and P supply on the amino-acid composition of the grain yield of winter barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) | 23 |
| <i>A. Simkó – K. B. Bodnár – Sz. Veres</i> : Analysis of the usability of SPAD and NDVI readings in view of the relative chlorophyll content in maize | 45 |
| <i>Sz. Várallyay – Sz. Veres – É. Bódi – Á. Soós – B. Kovács</i> : Effect of different arsenic treatments on the dry mass and uptake of P, S and microelement of sunflower seedlings (<i>Helianthus annuus</i> L.) in the early phase of plant development | 57 |

| | |
|--|----|
| <i>Sz. Veres – A. Simkó</i> : Examination of photochemical activity changes in maize | 75 |
| <i>L. Zsombik – E. Seres</i> : The effect of nitrogen supply on the agronomical parameters of winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) on acidic sandy soil ... | 87 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| <i>Г. Ханковски – Б. Том</i> : Влияние ферментной жижи биогазового завода на рост подсолнечника, выращенного в питательном растворе с дефицитом питательных элементов в начальной стадии роста, и на содержание им хлорофилла | 5 |
| <i>З. Ижаки</i> : Влияние обеспеченности N-ом и P-ом на состав аминокислот урожая зерна озимого ячменя (<i>Hordeum vulgare</i> L.) | 23 |
| <i>А. Шимко – К. Б. Боднар – С. Вереш</i> : Исследование возможности применения показателей SPAD и NDVI в функции относительного содержания хлорофилла у кукурузы | 45 |
| <i>С. Варайай – С. Вереш – Э. Боди – А. Шоош – Б. Ковач</i> : Влияние различных форм мышьяка на продукт сухого вещества растения подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.) в ранней стадии развития, и на концентрацию фосфора, серы и микроэлементов | 57 |
| <i>С. Вереш – А. Шимко</i> : Исследование изменения фотохимической активности в кукурузе | 75 |
| <i>Л. Жомбик – Е. Шереш</i> : Влияние, оказанное на агрономические параметры, обработками азотом озимой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) на кислой песчаной почве | 87 |

Biogáz üzemi fermentlé hatása a napraforgó növekedésére és klorofilltartalmára, tápelem-hiányos tápoldaton nevelt körülmények mellett, a növekedés kezdeti szakaszában

HANKOVSKY GERDA – TÓTH BRIGITTA

Debreceni Egyetem Táplálkozástudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A biharnagybajomi biogáz üzemben keletkezett folyékony melléktermékkel, más néven fermentlével végeztünk vizsgálatokat tápelem-hiányos tápoldaton nevelt (Ca, Mg, K, P) napraforgón, laboratóriumi körülmények között. Korábbi munkánk során azt tapasztaltuk, hogy a vizsgált melléktermékben a növények számára számos esszenciális tápelem található, ezért fontosnak tartottuk a fermentlé további vizsgálatát.

Jelen kutatás során mértük a napraforgó (*Helianthus annuus* L. cv. Alego) hajtásának és gyökerének száraztömegét, az első és a második levél relatív klorofilltartalmát (SPAD-érték), a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét (klorofill-a, klorofill-b, karotinoidok), és a vizsgálat szempontjából lényeges elemek (Ca, Mg, K, P) mennyiségét. Az eredmények kiértékelése után azt a következtetést vontuk le, hogy a tápelem-hiányos körülmények között nevelt napraforgó hajtásának és gyökerének száraz tömegére kedvezően hatottak a fermentlével kiegészített kezelések. A napraforgó hajtásának száraz tömege 0,7–1,4 g/növény (káliumhiányos növény, foszforhiány+fermentlé), a gyökér száraz tömege 0,005–0,21 g/növény (kalciumhiány, káliumhiány+fermentlé).

A relatív klorofill-tartalom (SPAD-érték) több esetben is magasabb volt fermentlé kezelés hatására, mint a kontroll érték. A legmagasabb értéket a káliumhiány+fermentlé kezelésnél mértük, az első levélben mért érték 43,22 SPAD-egység, míg a második levélben 41,39 SPAD-egység. A napraforgó első levelében mind a három mért fotoszintetikus pigment mennyisége nőtt fermentlé kezelés hatására – kivéve a foszforhiányt. A napraforgó hajtásában a Ca, K, Mg és P, a gyökerében Ca, Mg és P mennyisége emelkedett fermentlé kezelés hatására.

Eredményeink alapján javasoljuk a biogáz üzemi fermentlé tápanyag-utánpótlásra való alkalmazását olyan esszenciális makro-, vagy mezoelemekben hiányos talajoknál, ahol nélkülük a növények növekedése és fejlődése gátolt.

Kulcsszavak: fermentlé, napraforgó, növénytermesztés, tápanyaghiány, tápanyag-utánpótlás

Effect of digestate of biogas factory on sunflower growth and chlorophyll content, grown on some macroelement-deficient nutrient solution at the beginning of the growth stage

G. HANKOVSZKY – B. TÓTH

University of Debrecen, Institute of Nutrition, Debrecen

Summary

We examined the compensation effect of by-product – so called “digestate” – which is originated from Biharnagybajom, in the case of nutrient deficiency. The experimental plant was sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Alego) is grown under laboratory conditions.

Previously we observed that the digestate contains several essential elements for plants. The dry weight of shoots and roots, the relative chlorophyll content of the 1st and 2nd leaves (SPAD unit), the photosynthetic pigments (chlorophyll-a, chlorophyll-b, carotenoids) and the up-taken elements (Ca, Mg, P and K) were measured during the experiment. Based on the results of the performed experiments, it was concluded that digestate had positive effect on dry weight of shoots and roots of sunflower. The dry weight of the sunflower shoots was 0.7–1.4 g plant⁻¹ (potassium deficiency, potassium deficiency+digestate), the dry weight of the sunflower roots was 0.005–0.21 g plant⁻¹ (calcium deficiency, potassium deficiency+digestate).

The relative chlorophyll content (SPAD-unit) was increased by the digestate treatments compared to nutrient deficient treatments. The highest relative chlorophyll value was measured at potassium deficiency+digestate treatment, this value was 43.22 SPAD-units in the first leaf and 41.39 SPAD-units in the second leaf. When the digestate was added to the nutrient-deficient nutrient solution, more favorable effects were achieved on the measured parameters like photosynthetic pigments and the elements uptake.

Due to these results, we suggest the use of digestate in agriculture production, especially on element-deficient soil conditions or when the uptake of macro- and mesoelements is blocked.

Key words: crop production, digestate, nutrient deficiency, nutrient supply, sunflower

Влияние ферментной жижи биогазового завода на рост подсолнечника, выращенного в питательном растворе с дефицитом питательных элементов в начальной стадии роста, и на содержание им хлорофилла

Г. ХАНКОВСКИ – Б. ТОТ

Институт Науки о Питании Дебреценского Университета, Дебрецен

Резюме

С образовавшимися на биогазовом заводе в местечке Бихарнадьбайом (Biharnagybajom) жидкими отходами, называемыми ферментной жижей, проводили исследования на подсолнечнике, выращенном на питательном растворе с дефицитом питательных элементов (Ca, Mg, K, P) в лабораторных условиях. В ходе предшествующей работы обнаружили, что в исследованном побочном продукте есть множество эссенциальных для растений питательных элементов, поэтому считаем важным дальнейшее исследование ферментной жижи.

В ходе данного исследования измеряли сухую массу побега и корня подсолнечника (*Helianthus annuus* L. cv. Alego) и релятивное содержание хлорофилла первым и вторым листом (SPAD-показатель), количество фотосинтетических пигментов (хлорофилл-а, хлорофилл-б, каротиноиды), и количество с точки зрения исследования существенных элементов (Ca, Mg, K, P). После оценки результатов сделали вывод, что обработки с добавками ферментной жижи благоприятно влияли на сухую массу побегов и корня подсолнечника, выращенного на питательном растворе с дефицитом питательных элементов. Сухая масса побега подсолнечника 0,7–1,4 г/растение (растение с дефицитом калия, фосфора+ферментная жижа), а сухая масса корня 0,005–0,21 г/растение (дефицит кальция, калия+ферментная жижа).

Релятивное содержание хлорофилла (SPAD-показатель) во многих случаях также было выше под влиянием обработок ферментной жижей, чем контрольная величина. Самые высокие показатели измерили при обработке дефицит калия+ ферментная жижа, измеренная величина первого листа 43,22 SPAD-единиц, а во втором листе 41,39 SPAD-единиц. В первом листе подсолнечника во всех трёх измерениях выросло количество фотосинтетического пигмента под влиянием обработки ферментной жижей – кроме дефицит фосфора. В побеге подсолнечника под влиянием обработок ферментной жижей увеличилось количество Ca, K, Mg и P, а в корне увеличилось количество Ca, Mg и P.

На основании наших результатов предлагаем применение ферментной жижи биогазовых заводов для дополнения питательных веществ при дефицитной такими эссенциальными макро- или мезо-элементами почве, где без них рост и развитие растений задерживается.

Ключевые слова: ферментная жижа, подсолнечник, растениеводство, дефицит питательного вещества, дополнение питательного вещества

Bevezetés

A megújuló energiaforrások és az ipari hulladékok, melléktermékek lehetséges újrafelhasználása iránt folytatott kutatások egyre nagyobb jelentőséggel bírnak, a környezetvédelmi törekvéseket és fenntartható gazdálkodás követelményeit szem előtt tartva. Ezek a lehetőségek jelentős energiaráfordítással járnak. A fenntartható földhasználat meghatározó iránya, hogy ezeket az energia-bebefektetéseket a lehető legalacsonyabb szintre csökkentse azáltal, hogy munkaműveleteket von össze, a kémiai növényvédő szerek helyett természetes biológiai készítményeket használ, tápanyag-gazdálkodási terveket készít, és alternatív tápanyag utánpótlási lehetőségeket kutat. Az egyik ilyen alternatív tápanyag-utánpótlási lehetőség a biogáz üzemekben melléktermékként keletkező folyékony rész, az úgynevezett fermentlé mezőgazdasági célú alkalmazása. A biogáz keletkezésének folyamata során keletkezett melléktermékeket – szilárd rész (komposzt) és folyékony rész (fermentlé) – jövedelmezően a telep környezetében található területeken hasznosítják tápanyag-utánpótlásra, ezáltal kialakul egy zárt körforgás a biogáz üzem, az állattartó telep és az állattartó telepet takarmánnyal kiszolgáló szántóföldek között (*Berglund és Börjesson*

2006). A maradékanyag minősége függ a betáplált anyag jellegétől, fajtájától, a biogáz termelő technológiától, a nedvességtartalomtól és a hőmérséklettől (Olessák és Szabó 1984). Biológiai eredeténél fogva komplex tápanyagnak tekinthető, hiszen makro- (N, P, K), mezo- (Ca, Mg) és mikroelemeket (Cu, Zn), nyomelemeket, valamint szerves vegyületeket egyaránt tartalmaz (Liu et al. 2006, Möller és Müller 2012).

A kiejert anyag szerves alkotórészeket és ásványi anyagokat tartalmaz, emellett találhatóak benne növekedést serkentő anyagok, nevezetesen szkatol- és indolszármazékok, C-vitamin, karotin, triptofán, tyrodin és fenol vegyületek is (Rudolfs 1943). Felhasználása mellett a tápanyagtartalmán kívül még az szől, hogy a mikrobiális erjedés révén kórokozóktól és gyommagvaktól mentes (Kaltwasser 1983), továbbá mezőgazdasági felhasználásának előnye, hogy alkalmazásával toxikus elemek nem halmozódnak fel a talajban (Vágó et al. 2008), mint például egyes szennyvíziszapok használatakor.

A szervesanyag-tartalmú, tápanyagokat tartalmazó melléktermékek előnye, hogy fokozzák a talaj termékenységet és növelik a növények által felvehető tápelemek mennyiségét (Liu et al. 2009). Alburquerque et al. (2012) kertészeti növényekkel végzett kísérletükben azt tapasztalták, hogy a fermentlével való trágyázás kedvezően hat a dinnye növekedésére, fejlődésére, és a termés mennyisége is nagyobb volt, azonban a karfiolnál nem tudták a fermentlé kedvező hatását kimutatni. Liedl et al. (2004) hidropóniásan nevelt salátáknál fermentlével történt trágyázáskor ugyanolyan eredményt kaptak, mint amikor műtrágyát használtak a tápelemek pótlására. Fermentlével való trágyázáskor a zöldségfélék nitrát-tartalma szignifikánsan csökken hidropóniás (Liu et al. 2006) és homokban történt nevelés során (Liu et al. 2011) a műtrágya-kezeléshez képest, míg szántóföldi körülmények között ilyen hatás nem figyelhető meg (Furukowa és Hasegawa 2006). Yu et al. (2010) a hígítatlan fermentlé szignifikáns hatását figyelték meg a paradicsomon. Fermentlé adagolásnál a paradicsom víztartalma csökkent, a teljes nitrogén, a teljes foszfor, az aminosavak és fehérjék, az oldható cukortartalom és a C-vitamin mennyisége nőtt a termésben.

A növénytermesztés során a gazdálkodók gyakran találkoznak különböző hiánytüneteket mutató egyedekkel, amik nem kedveznek a gazdálkodás sikerességének, mivel ezek valamilyen esszenciális tápelem hiányára utalnak, ami által csökken a termés mennyisége és minősége (Kádár 1997). Ennek a problémának a megoldása történhet a megfelelő műtrágya adagok növelésével, de ezek nem feltétlenül követik a fenntartható fejlődés célkitűzéseit.

A fent leírt okok miatt vizsgáltuk, hogy a biogáz üzemi fermentlé alkalmazása alkalmas-e lehet-e a Ca, K, P, és Mg-hiánytünetek mérséklésére, kezelésére.

Fontosnak tartjuk, hogy minél szélesebb képet kapjunk a biogáz üzemi fermentlé tulajdonságairól, a növénytermesztés során fellépő hiánytünetek kezelésében való alkalmazásának lehetőségeiről, mivel használatával hozzájárulhatunk a környezetünk megóvásához és a fenntartható fejlődés célkitűzéseinek elősegítéséhez.

Kísérletünk során célul tűztük ki, annak bizonyítását, hogy a biogáz üzemi fermentlé alkalmas a hiánytüneteket mutató növények tápanyag-utánpótlására és ezáltal az eddig használt műtrágyák fokozatos kiegészítésére. Vizsgáltuk, hogy:

- 1) a fermentlé kezelés hatására, hogyan változik a növények klorofilltartalma a tápelem-hiányos növényekéhez képest;
- 2) a kezelése során alkalmazott fermentlé hogyan befolyásolja a tápelem-hiányos növények szárazanyag-termelését.

A kérdések megválaszolására tápoldatos kísérletet állítottunk be kontrollált körülmények között, klímaszobában, napraforgó teszt növényvel.

Anyag és módszer

Kísérleti növényként napraforgót (*Helianthus annuus* L. cv. Alego) használtunk. A magvak felületének fertőtlenítését 6%-os H_2O_2 -dal végeztük el 20 percen keresztül. A fertőtlenített magvakat desztillált vízzel ötször öblítettük. A magvakat nedves szűrőpapír között, termosztátban csíráztattuk úgy, hogy a csíranövények polaritása természetes legyen. A termosztát hőmérséklete $22\text{ }^\circ\text{C}$ volt. A 4 cm-es hipokotílú napraforgó csíranövényeket tápoldatra helyeztük. A kontroll növények neveléséhez az alábbi összetételű módosított Hoagland tápoldatot használtuk: 2,0 mM $Ca(NO_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM $MgSO_4$, 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl, 100 μM H_3BO_3 , 1 μM $MnSO_4$, 1 μM $ZnSO_4$, 0,2 μM $CuSO_4$, 0,01 μM $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$. A növények a vasat 100 μM Fe(III)-EDTA formában kapták.

A Ca, Mg, P, és K tápelem hiányos növények nevelésénél az alábbi összetételű tápoldatot használtuk, a mikroelemek mennyisége minden kezelésnél megegyezik a kontrollnál használttal (Hankovszky et al. 2014):

- Ca hiányos tápoldat: 0,5 M K_2SO_4 , 0,5 M $MgSO_4$, 0,1 M KH_2PO_4 , 0,1 M KCl, 0,5 M NH_4NO_3 ,

- Mg hiányos tápoldat: 0,5 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,5 M K_2SO_4 , 0,1 M KH_2PO_4 , 0,1 M KCl,
- P hiányos tápoldat: 0,5 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,5 M K_2SO_4 , 0,5 M MgSO_4 , 0,1 M KCl,
- K hiányos tápoldat: 0,5 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,5 M MgSO_4 , 0,1 M NaH_2PO_4 , 0,05 M CaCl_2 .

A kísérlethez használt fermentlé a biharnagybajomi Dózsa Agrár Zrt.-től származik, melyből 10 ml/dm³ mennyiséget használtunk, és ezt adtuk a prés-vízzel kiegészített kezeléseknél a tápoldathoz. A koncentrációt a fermentlével végezett korábbi vizsgálataink alapján állapítottuk meg (Hankovszky 2011). A fermentlében található tápelemek koncentrációját az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A vizsgált elemek koncentrációja (mg/kg) a biogáz gyártása során keletkezett fermentlében (n=3± S.D.)

| Elemek (1) | mg/kg | Elemek (1) | mg/kg | Elemek (1) | mg/kg |
|---------------|---------|---------------|--------|---------------|---------|
| Al | 109±2 | B | 3,2±0 | Ba | 4,3±0 |
| Ca | 1411±59 | Cd | 0,12±0 | Cr | 0,4±0 |
| Cu | 3,9±0 | Fe | 157±8 | K | 2651±52 |
| Li | 0,2±0 | Mg | 433±9 | Mn | 15±1 |
| Na | 454±6 | Ni | <1 | P | 448±12 |
| S | 405±15 | Sr | 6,4±0 | Zn | 19±1 |

Table 1. Element content (mg kg⁻¹) in the examined digestate (n=3±S.D.). (1) Elements

A fermentlé pH-ja 7,6 volt.

A tápoldatot kétnaponta cseréltük, a tápoldat levegőztetése folyamatos volt.

A kísérleti növényeket 1,7 literes edényekben neveltük, 170 ml tápoldatot hígítottunk fel 1,7 literre és ehhez adagoltuk a fermentlevet. Kilenc féle kezelést állítottunk be három ismétlésben. Egy edényben négy növényt neveltünk.

A kísérlet során alkalmazott kezeléseket a 2. táblázat mutatja be.

A klorofill méréséhez a növények első, illetve második legfiatalabb, de már teljesen kifejlett leveleit használtuk. A relatív klorofilltartalmat SPAD-502 (MINOLTA, Japán) Chlorophyll Meter-rel mértük, kezelésenként 12 növényen, 60 ismétlésben (Véres 2005). A fotoszintetikus pigmentek meghatározását spektrofotometriás méréssel végeztük Moran és Porath (1980), valamint Wellburn (1994) módszere alapján, METERTEK SP 80 készülékkel. A száraz tömeg meghatározásához a kezelésenként 12 mintát 65 °C-on tömegállandóságig szárítottuk,

majd szobahőmérsékletre történt visszahűlés után analitikai mérlegen (OHAUS) mértük.

2. táblázat. A kísérlet során alkalmazott kezelések és azok jelölése

| Kezelés (1) | Jelölés (2) |
|-----------------------------------|----------------|
| Kontroll tápoldat (3) | Kontroll (12) |
| Ca hiányos tápoldat (4) | -Ca |
| Ca hiányos tápoldat+fermentlé (5) | -Ca+flé |
| K hiányos tápoldat (6) | -K |
| K hiányos tápoldat+fermentlé (7) | -K+flé |
| Mg hiányos tápoldat (8) | -Mg |
| Mg hiányos tápoldat+fermentlé (9) | -Mg+flé |
| P hiányos tápoldat (10) | -P |
| P hiányos tápoldat+fermentlé (11) | -P+flé |

Table 2. Applied treatments during the experiment. (1) Treatment, (2) Indication, (3) Control nutrient solution, (4) Ca-deficient nutrient solution, (5) Ca-deficient nutrient solution+digestate, (6) K-deficient nutrient solution, (7) K-deficient nutrient solution+digestate, (8) Mg-deficient nutrient solution, (9) Mg-deficient nutrient solution+digestate, (10) P-deficient nutrient solution, (11) P-deficient nutrient solution+digestate

A környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $200 \mu\text{mol}^2/\text{s}$, a hőmérséklet periodicitása $25/20 \text{ }^\circ\text{C}$ (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra volt.

A felsorolt paraméterek a kísérlet 20. napján kerültek mérésre.

Az eredmények statisztikai kiértékeléséhez Sigma Plot 12.0 verziót használtunk az egytényezős variancia-analízishez.

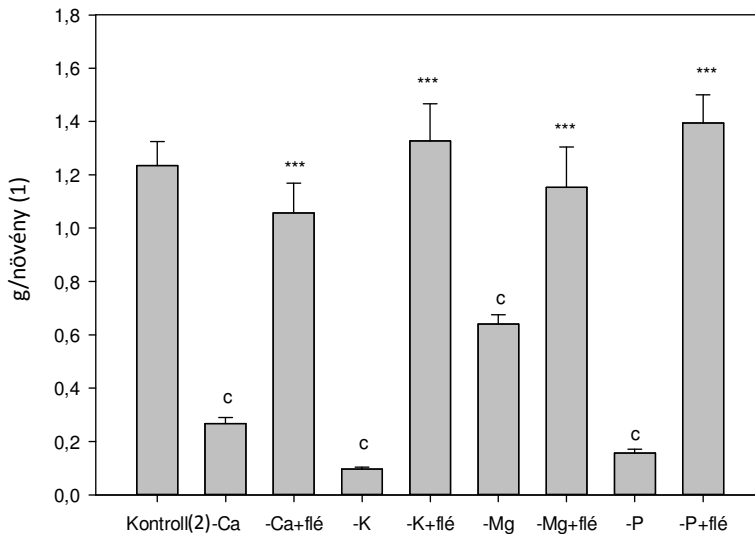
Eredmények

A különböző tápelem-hiányos napraforgó tesztnövények hajtásának és gyökerének száraz tömegére kedvezően hatott a vizsgált melléktermék. Az 1–2. ábrákon a napraforgó hajtás és gyökér száraz tömegének alakulását mutatjuk be.

A növények szervesanyag-felhalmozása bonyolult biokémiai folyamatok összessége. Alapvetően a fotoszintézis és a légzés különbsége adja azt a szervesanyag-tömeget, ami például egy vegetációs periódus végén a biológiai termést

jelenti. Ennek egy része a „gazdasági termés”, amit különböző céllal felhasználnak. A környezeti tényezők mindkét folyamat intenzitását meghatározzák, miközben a növény ultrastruktúrája, annak aktivitása a környezeti hatások érvényesülésének a feltételei.

1. ábra. A 20 napos napraforgó hajtásának száraz tömege (g/növény) különböző kezelések hatására ($n=12\pm S.E.$)



Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: ^b $p<0,01$; ^c $p<0,001$. Szignifikáns különbség a fermentlé nélküli és a fermentlével kiegészített kezelés között: ^{***} $p<0,001$.

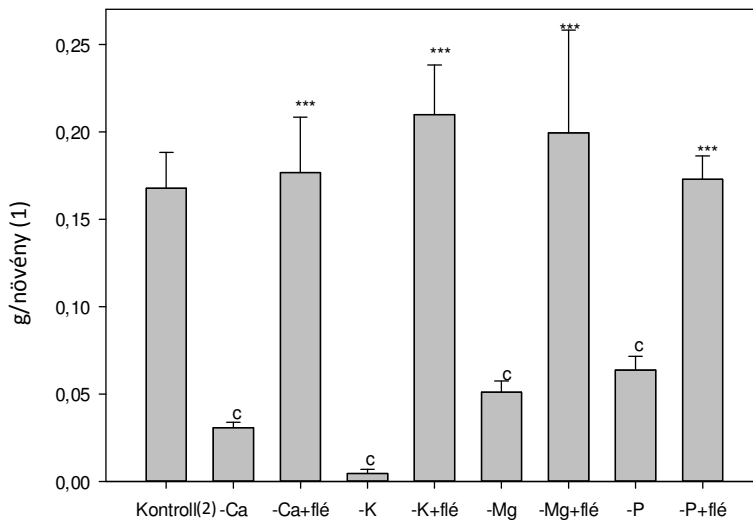
Figure 1. Dry weight of shoots of sunflower ($g\ plant^{-1}$) ($n=12\pm S.D.$). (1) $g\ plant^{-1}$, (2) Control, Note: significant difference compared to the control: ^b $p<0.01$, ^c $p<0001$. Significant difference compared to the digestate treatment: ^{***} $p<0.001$.

A napraforgó hajtás és gyökér száraz tömegének vizsgálatánál azt tapasztaltuk, hogy a tápelem-hiányok fermentlével való kompenzálás hatására minden egyes kezelésnél magasabb értékeket mértünk. A legnagyobb növekedés a káliumhiány+fermentlé kezelésnél figyelhető meg. A Ca, K és Mg hiány melléktermékkel való kiegészítésnél a kontrollnál magasabb, de nem szignifikáns száraz tömeget értünk el a napraforgó gyökerében, ami igazolja a biogáz üzemi melléktermék kedvező hatását.

Irodalmi adatok elsősorban a fermentlé zöldségfélékre és takarmánynövényekre kifejtett hatására alapozódnak. *Simon et al. (2015)* kísérletében a ferment-

lé alkalmazásával az őszi búza termése 39,6%-kal szignifikánsan nőtt. A fermentlé kedvező hatását *Losak et al.* (2011) karalábén, *Kourimska et al.* (2012) paprikán tesztelte. *Montamurro et al.* (2008) két éves szántóföldi kísérletükben a fermentlé kedvező hatását a lucerna szerves tömeg gyarapodására nem tudták kimutatni, de a tarackbúza termése az első évben 41,3%-kal, a második évben 23%-kal nőtt fermentlével való trágyázás hatására.

2. ábra. A 20 napos napraforgó gyökérének száraz tömege (g/növény) különböző kezelések hatására ($n=12\pm S.E.$)



Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: ^ap<0,05; ^cp<0,001. Szignifikáns különbség a fermentlé nélküli és a fermentlével kiegészített kezelés között: ***p<0,001.

Figure 2. Dry weight of roots of sunflower (g plant⁻¹) ($n=12\pm S.D.$). (1) g plant⁻¹, (2) Control, Note: significant difference compared to the control: ^ap<0.05, ^cp<0001. Significant difference compared to the digestate treatment: ***p<0.001.

A kísérlet során a 20. napon mértük az 1. és 2. legfiatalabb, de már teljesen kifejlett levél relatív klorofilltartalmát (RKT) (3. táblázat).

Az első levélen a kalcium- és a káliumhiányos kezelésnél, a második levélen a kalcium-, kálium- és foszforhiányos kezelésnél nem lehetett relatív klorofilltartalmat mérni vagy a levelek csökkent növekedése miatt, vagy mert azok elhaltak.

3. táblázat. A 20 napos napraforgó 1. és 2. levelében mért relatív klorofilltartalom (RKT) alakulása különböző kezelések hatására (Spad Units - $n=60\pm S.D.$)

| Kezelések (1) | 1. levél (2) | 2. levél (3) |
|------------------|-------------------------|----------------------------|
| | 20. napon (4) | |
| Kontroll (5) | 41,91±2,61 | 39,48±1,58 |
| -Ca | - | - |
| -Ca+flé | 41,31±1,61*** | 40,86±1,90*** |
| -K | - | - |
| -K+flé | 43,22±2,13*** | 41,39±2,13*** |
| -Mg | 33,10±3,10 ^c | 33,16±1,94 ^c |
| -Mg+flé | 38,79±4,31*** | 39,32±3,39*** |
| -P | 40,23±3,04 | - |
| -P+flé | 43,00±1,75* | 41,72±1,77*** ^b |

Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: ^bp<0,01; ^cp<0,001. Szignifikáns különbség a fermentlé nélküli és a fermentlével kiegészített kezelés között: *p<0,05; ***p<0,001.

Table 3. Relative chlorophyll content (RCT) of 1st and 2nd leaf of sunflower ($n=60\pm S.D.$). (1) Treatments, (2) 1st leaf, (3) 2nd leaf, (4) 20th day, (5) Control, Note: significant difference compared to the control: ^bp<0.01, ^cp<0.001. Significant difference compared to the digestate treatment: *p<0.05, ***p<0.001.

A napraforgó első levelében – a foszforhiányt kivéve – a tápelem-hiányok hatására szignifikánsan csökkent a relatív klorofilltartalom a kontrollhoz viszonyítva.

Azoknál a növényeknél, ahol a nitrogén-, magnézium- és foszforhiány prés-vízzel volt kompenzálva, szignifikáns növekedés figyelhető meg a fermentlé nélküli kezeléshez képest mind a két vizsgált levélben.

A napraforgó első levelében a magnéziumhiány hatására szignifikánsan csökkent a relatív klorofilltartalom a kontrollhoz viszonyítva.

Azoknál a növényeknél, ahol a magnézium- és foszforhiány fermentlével volt kompenzálva, szignifikáns növekedés figyelhető meg mind a két vizsgált levélben.

A napraforgó második levelében szintén szignifikáns csökkenés tapasztalható a magnéziumhiányos kezelésnél a kontrollértékhez képest. Magnéziumhiány+fermentlé kezelésnél a relatív klorofill-tartalom megközelítőleg 6 SPAD-értékkel szignifikánsan nőtt a magnéziumhiányos kezeléshez viszonyítva.

Mivel a SPAD-érték csak egy viszonylagos értéket ad, ezért mértük a fotoszintetikus pigmentek abszolút mennyiségét is az első és a második levélben (4. táblázat).

4. táblázat. A tápelem-hiányok (Ca, K, Mg, P) és fermentlé (flé) kezelés hatása a fotoszintetikus pigmentek (klorofill-a, klorofill-b, karotinoidok) mennyiségére (mg/g) ($n=3\pm S.D.$)

| Kezelések (1) | Klorofill-a (2) | Klorofill-b (3) | Karotinoidok (4) |
|------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| | 1. levél (5) | | |
| Kontroll (6) | 12,61±1,43 | 3,90±1,08 | 9,76±0,66 |
| -Ca | 8,99±1,14 ^a | 2,15±0,51 | 5,50±0,57 ^b |
| -Ca+flé | 12,52±0,40* | 3,98±0,39 ^a | 8,65±0,41** |
| -K | – *** ^c | – *** ^c | – *** ^c |
| -K+flé | 13,58±0,85*** | 4,21±0,36 | 9,00±0,89 |
| -Mg | 8,09±0,32 ^a | 2,06±0,25 | 5,31±0,57 ^b |
| -Mg+flé | 11,36±1,63 | 3,51±0,59 | 7,34±1,19 |
| -P | 13,21±0,11 | 4,73±0,53 | 9,64±0,64 |
| -P+flé | 12,77±0,49 | 3,84±0,29 | 8,33±0,44* |
| 2. levél (7) | | | |
| Kontroll (6) | 13,83±0,70 | 4,49±0,68 | 9,44±0,67 |
| -Ca | 0,00±0,00 ^c | 0,00±0,00 ^c | 0,00±0,00 ^c |
| -Ca+flé | 14,41±0,75*** | 4,68±0,67** | 10,44±0,95*** |
| -K | 0,00±0,00 ^c | 0,00±0,00 ^c | 0,00±0,00 ^c |
| -K+flé | 14,92±1,26*** | 5,40±1,17*** | 10,58±1,33*** |
| -Mg | 10,59±0,38 ^b | 2,55±0,32 ^a | 7,17±0,56 ^a |
| -Mg+flé | 14,14±0,55* | 4,64±0,40** | 10,57±1,40* |
| -P | 0,00±0,00 ^c | 0,00±0,00 ^c | 0,00±0,00 ^c |
| -P+flé | 16,37±0,94*** ^a | 4,34±0,51*** | 10,32±0,83*** |

Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: ^ap<0,05; ^bp<0,01; ^cp<0,001. Szignifikáns különbség a fermentlé nélküli kezeléshez viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

Table 4. Photosynthetic pigments contents of 1st and 2nd leaf of sunflower (mg kg⁻¹) ($n=3\pm S.D.$). (1) Treatments, (2) Chlorophyll-a, (3) Chlorophyll-b, (4) Carotenoids, (5) 1st leaf, (6) Control, (7) 2nd leaf, Note: significant difference compared to the control ^ap<0.05, ^bp<0.01, ^cp<0.001. Significant difference compared to the digestate treatment: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

A fotoszintetikus pigmentek meghatározásakor az első levél esetében a káliumhiányos, a második levél esetében a kalcium-, kálium- és foszforhiányos növényeknél nem tudtunk pigmentmennyiséget mérni, mivel a levelek nem fejlődtek ki megfelelő mértékben.

A napraforgó első levelében mind a három mért fotoszintetikus pigmentmennyisége nőtt a melléktermék hatására, amikor kalcium- és magnéziumhiányos kezelésnél alkalmaztuk. Foszforhiány+fermentlé kezelésnél a klorofill-b és a karotinoidok mennyisége csökkent a fermentlé nélküli kezeléshez viszonyítva, a csökkenés a karotinoid-tartalomban szignifikáns. A fermentlé kezelésnél és a kontrollnál mért értékek összehasonlításakor megállapíthatjuk, hogy a kalcium+fermentlé és a foszforhiány+fermentlé kezeléseknél a klorofill-a és klorofill-b mennyisége a kontroll körül volt, míg a kálium+fermentlé kezelésnél nem szignifikánsan meghaladta a kontroll értéket. A karotinod-tartalomra nagyobb hatással voltak az alkalmazott tápelem-hiányos tápoldatok, nem szignifikáns csökkenés figyelhető meg a fermentlé kezelés hatására a kontrollhoz viszonyítva.

Magnéziumhiánynál a kiegészítés hatására szignifikánsan nőtt mind a három vizsgált paraméter értéke a napraforgó második levelében, a fermentlé nélküli kezeléshez viszonyítva.

Fermentlé kezelés hatására mind a három fotoszintetikus pigment mennyisége nőtt, a kontrollhoz viszonyítva, vagy kontroll körüli érték volt mérhető. A klorofill-a mennyisége szignifikánsan nőtt foszforhiány+fermentlé kezelés hatására a kontroll értékhez képest, a napraforgó második levelében. A magnézium a klorofill központi atomjaként nagy szerepet tölt be a fotoszintézisben. A napraforgó második levelében mért fotoszintetikus pigmentek mennyisége ennek megfelelően szignifikánsan csökkent a magnéziumhiányos tápoldaton nevelt növényekben, a kontrollhoz képest, de fermentlé kezelés hatására az értékek szignifikánsan emelkedtek a magnéziumhiányos kezeléshez viszonyítva.

Az 5–6. táblázatban a napraforgó hajtásában és gyökerében mért Ca, K, Mg és P mennyisége látható tápelem-hiánynak és fermentlé kezelésnek kitett tesztnövényeknél.

A kalcium koncentrációja megközelítőleg 95-ször volt alacsonyabb kalciumhiányos körülmények között, mint a kontroll növényben mért érték. Fermentlé kezelés hatására a kalcium koncentrációja 30-szor nagyobb volt, de még így se érte el a kontrollt.

5. táblázat. A Ca, K, Mg és P koncentrációja (mg/kg) a 20 napos napraforgó hajtásában (n=3±S.D.)

| Kezelések (1) | Ca | K | Mg | P |
|------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Kontroll (2) | 20443±123 | 48958±218 | 3832±20 | 3851±15 |
| -Ca | 214±4 | 10254±157 | 458±12 | 2651±11 |
| -Ca+flé | 6446±321 | 456391±351 | 6062±35 | 5709±63 |
| -K | 23912±412 | 6776±45 | 12418±112 | 335122±315 |
| -K+flé | 19386±65 | 23953±187 | 6418±42 | 5034±18 |
| -Mg | 21770±271 | 47466±541 | 625±18 | 4382±66 |
| -Mg+flé | 19788±133 | 54491±132 | 2244±54 | 4683±98 |
| -P | 15422±189 | 48863±133 | 2819±62 | 643±3 |
| -P+flé | 17633±143 | 38629±199 | 3143±68 | 4000±14 |

Table 5. Ca, K, Mg and P concentration (mg kg⁻¹) of the shoot of 20-day-old sunflower (n=3±S.D.). (1) Treatments, (2) Control

6. táblázat. A Ca, K, Mg és P koncentrációja (mg/kg) a 20 napos napraforgó gyökerében (n=3±S.D.)

| Kezelések (1) | Ca | K | Mg | P |
|------------------|--------|----------|-----------|-----------|
| Kontroll (2) | 195±5 | 3713±115 | 1379±33 | 3545±15 |
| -Ca | 24±1 | 6464±41 | 54467±154 | 38863±157 |
| -Ca+flé | 446±23 | 2234±15 | 1279±32 | 4422±25 |
| -K | 890±5 | 2185±45 | 549±19 | 2477±121 |
| -K+flé | 355±13 | 1266±66 | 2405±29 | 4185±63 |
| -Mg | 190±9 | 3721±12 | 987±47 | 6148±33 |
| -Mg+flé | 267±8 | 2064±23 | 1455±19 | 3642±185 |
| -P | 75±2 | 2170±62 | 1623±24 | 1104±38 |
| -P+flé | 403±11 | 2119±19 | 1082±151 | 3262±133 |

Table 6. Ca, K, Mg and P concentration (mg kg⁻¹) of the root of 20-day-old sunflower (n=3±S.D.). (1) Treatments, (2) Control

Káliumhiányos körülmények között a kálium koncentrációja megközelítőleg 7-szer alacsonyabb, és fermentlé kezelés hatására se érte el a kontrollt. A mag-

néziumhiányos növényekben mért magnézium koncentráció 6-szor alacsonyabb, fermentlé kezelés hatására 18%-kal volt alacsonyabb, mint a kontroll. A foszfor koncentrációja elérte a kontroll értéket, amikor fermentlevet adtunk a tápoldathoz a foszforhiány kompenzálására.

A napraforgó hajtásában a Ca, K, Mg és P mennyisége emelkedett fermentlé kezelés hatására. Egyedül a foszforhiány+fermentlé kezelésnél a foszfor mennyisége érte el a kontroll körüli értéket, így kijelenthetjük, hogy a vizsgált tápelemek közül a napraforgónál a foszforhiány mérsékelhető a legjobban.

Kalciumhiányos körülmények között (-Ca) a kalcium koncentrációja 8-szor kevesebb, mint a megfelelő tápanyag-ellátottsági körülmények között nevelt növény gyökerében mért érték. Fermentlé kezelés hatására a kalcium mennyisége megközelítőleg kétszerese volt a kontroll növényben mért értékhez képest. Kálium hiány hatására nem csökkent a gyökérben mért kálium koncentrációja olyan mértékben, mint a kalciumé. Magnéziumhiányos körülmények között a magnézium koncentrációja 28%-kal csökkent a kontrollhoz képest, fermentlé kezelés határa a magnézium koncentrációja elérte a kontroll értéket. Foszforhiányban a foszfor koncentrációja megközelítőleg háromszor volt alacsonyabb, mint a kontroll növényben mért érték, fermentlé kezelésnél viszont elérte a kontrollt.

A biogáz üzemek melléktermékeként keletkezett fermentlé a növények számára nélkülözhetetlen, létfontosságú elemeket tartalmaz jelentős koncentrációban (*Hankovszky* 2011, *Makádi et al.* 2012). A mért elemek koncentrációját figyelembe véve a fermentlé alkalmazható a növények tápanyag-utánpótlásában. Jelentőségét fokozza, hogy egy melléktermék újrahasznosításáról lehet szó, tehát környezetvédelmi szerepe is jelentős.

Eredményeink alapján javasoljuk a biogáz üzemi melléktermék tápanyag-utánpótlásra való alkalmazását, olyan területeken, ahol a termesztett növények megfelelő növekedéséhez és fejlődéséhez szükséges esszenciális makro- vagy mezoelemek a talajból hiányoznak. Alkalmazása jelenleg törvényi szabályozás által lehetséges nitrogén és esetleges nehézfém tartalma miatt. A fermentlevet kizárólag akkreditált talajvizsgálat után, növénykultúránkként a növény igényei és a talaj tápanyagkészlete szerint előre megtervezett mennyiségben és előre meghatározott időpontokban lehet kijuttatni a termőterületre.

Irodalom

- Alburquerque, J. A.-de la Fuente, C.-Campoy, M.-Carrasco, L.-Nájera, I.-Baixauli, C.-Caravaca, F.-Roldán, A.-Cegarra, J.-Bernal, M. P.*: 2012. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*. 43: 119-128.
- Berglund, M.-Börjesson, P.*: 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Environmental and Energy Systems Studies LTH*. Lund University. Gerdagatan 13. SE-223 62 Lund. Sweden.
- Hankovszky G.*: 2011. A biogáz üzemi présvíz mezőgazdasági hasznosításának lehetőségei. BSc diplomadolgozat. DE MÉK. Debrecen.
- Hankovszky G.-Bojtor Cs.-Nagy L.-Gombás D.-Tóth B.*: 2014. Komplementációs vizsgálatok a biogáz üzemi présvíznél. LVI. Georgikon Napok. 144-152.
- Kádár I.*: 1997. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 418.
- Kaltwasser, B. J.*: 1983. Biogáz előállítás és hasznosítás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- Kourimska, L.-Poutkova, I.-Babicka, L.*: 2012. The use of digestate as a replacement of mineral fertilizers for vegetables growing. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 43. 4: 121-126.
- Liu, M.-Hu, F.-Chen, X.-Huang, Q.-Jiao, J.-Zhang, B.-Li, H.*: 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrition availability in a subtropical paddy field. The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*. 42: 166-175.
- Liu, W.-Yang, Q.-Du, L.*: 2006. Soilless cultivation for high-quality vegetables with biogas manure in China: feasibility and benefit analysis. *Renew Agr. Food Syst.* 24: 300-307.
- Liu, W.-Yang, Q.-Du, L.-Cheng, R.-Zhou, W.*: 2011. Nutrient supplementation increased growth and nitrate concentration of lettuce cultivated hydroponically with biogas slurry. *Acta Agric. Scand. Sect. B. Soil Plant Sci.* 61: 391-394.
- Liedl, B. E.-Cummins, M.-Williams, M. I.-Chatfield, J. M.*: 2004. Hydroponic lettuce production using liquid effluent from poultry waste bioremediation as a nutrient source. [In: Cantliffe, D. J. et al. (eds.) *Proceedings VII. IS on Plant Cult. Mild Winter Climated.*] *ISHS Acta Hort.* 659: 721-728.
- Losák, T.-Zatloukalová, A.-Szostková, M.-Hlusek, J.-Fryc, J.-Vitez, I.*: 2011. Comparison of the effectiveness of digestate and mineral fertilizers on yield and quality of kohlrabi (*Brassica oleracea* L.). *Acta Universitatis Agricultural et Silvicultural Mendeliana Brunensis*. 59: 117-122.
- Makádi, M.-Tomócsik, A.-Orosz, V.*: 2012. Digestate: A new nutrient source - Review. [In: Kumar, S. (ed.) *Biogas.*] Rijeka: InTech. 259-310.
- Möller, K.-Müller, T.*: 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng. Life Sci.* 12. 3: 242-257.

- Montemurro, F.–Canalis, S.–Convertini, G.–Vitti, C.:* 2008. Anarobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil. *Agrochimica Pisa*. 52. 5: 297–312.
- Moran, R.–Porath, D.:* 1980. Chlorophyll determination in intact tissues using N, N dimethylformamide. *Plant Physiol*. 65: 478–479.
- Olessák D.–Szabó L.:* 1984. Energia hulladékból. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- Rudolfs, W.:* 1943. „Wert des Abwasserschlamms”. *Water and Sewage Works*.
- Simon, T.–Kunzová, E.–Friedlová, N.:* 2015. The effect of digestate, cattly slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant Soil Environ*. 61. 11: 522–527.
- Vágó I.–Makádi M.–Kátai J.–Balláné Kovács A.:* 2008. A biogázgyártás melléktermékének hatása a talaj néhány kémiai tulajdonságára. *Talajvédelem, Suppl. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza*. 555–560.
- Veres, Sz.:* 2005. Alteration of photosynthetic pigment composition by applying biofertilizers. *XL. Cro. Symp. on Agric. Opatija. Cro. Proc.* 163–164.
- Wellburn, A. R.:* 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol*. 144: 307–313.
- Yu, F.–Luo, X.–Song, C.–Zhang, M.–Shan, S.:* 2010. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality. *Acta Agric. Scand. Sect. B. Soil Plant*. 60: 262–268.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Hankovszky Gerda
Hajdúböszörmény
Árpád utca 13.
H-4220
*gerda.hankovszky@gmail.com

**Dr. Tóth Brigitta*
Debreceni Egyetem
Táplálkozástudományi Intézet
Debrecen
Egyetem tér 1.
H-4032
**btoth@agr.unideb.hu

Jelenlegi cím:
University of the Free State
Faculty of Natural and Agricultural Sciences
Institute of Plant Sciences (Plant Breeding)
PO Box 339
Bloemfontein 9300
Republic of South Africa

A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) szemtermésének aminosav összetételére

IZSÁKI ZOLTÁN

Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar,
Agrártudományi és Vidékfejlesztési Intézet, Szarvas

Összefoglalás

Az őszi árpa trágyázási szaktanácsadásának fejlesztéséhez kísérleti munkánk célja volt, hogy jól elkülönülő talaj tápelem-ellátottsági szinteken, műtrágyázási tartamkísérletben vizsgáljuk a N-, P- és K-ellátottság hatását az őszi árpa termés hozamára, fehérjetartalmára, aminosav összetételére, valamint ásványi elemtartalmára és határozzunk meg N-, P-, és K-ellátottsági határértékeket csernozjom réti talajra. A műtrágyázási tartamkísérletet 1989-ben állítottuk be mélyben karbonátos csernozjom réti talajon, 4–4 N-, P- és K-ellátottsági szinten, teljes kezelés-kombinációban, 64 kezeléssel, kétszeresen osztott parcellás elrendezéssel. Jelen dolgozatban a 2006. és 2007. években végzett kísérletek eredményei közül a N- és P-ellátottság aminosav összetételre gyakorolt hatása kerül tárgyalásra, melynek főbb megállapításai az alábbiakban foglalhatók össze:

1. A 2,8–3,2% humusztartalmú, jó N-szolgáltató képességű talajon a N-ellátás emelkedő szintje a nyersfehérje-tartalmat fokozatosan, szignifikánsan növelte 13,9% értékig. A nyersfehérje-tartalom gyarapodását a vizsgált 17 aminosav mindegyikének megbízható növekedése kísérte g/100 g szárazanyagra számítva. Jelentősebb mennyiségi változás az aminosavakban a 160 kg N/ha trágyázási szintig volt kimutatható. Ennél magasabb N-ellátás (240 kg N/ha) csak néhány aminosav esetében eredményezett további szignifikáns növekedést.
2. A nyersfehérje aminosav összetételében (g/100 g nyersfehérje) a N-trágyázás az esetek többségében negatív változást idézett elő. Különösen a N-túltáplálás (240 kg N/ha) hatására, amikor az esszenciális aminosavak közül megbízhatóan csökkent a

lizin és a treonin, a nem esszenciális aminosavak közül pedig az aszparagin, a cisztin, a glicin, a prolin és a szerin nyersfehérjén belüli részesevé.

3. Jó P-ellátottsági szinten, ahol a talaj AL-P₂O₅ tartalma 185–225 mg/kg közé esett, az őszi árpa nyersfehérje aminosav összetétele érdemben nem változott a P-trágyázás nélküli (140–150 mg/kg AL-P₂O₅) kezeléshez képest. A nyersfehérje aminosav összetételében változást, gyakrabban negatív hatást, csak magasabb P-ellátottsági szinten (270–285 mg/kg AL-P₂O₅) tapasztaltunk.

Kulcsszavak: őszi árpa, N- és P-ellátottság, aminosav összetétel, tartamkísérlet

The effect of N and P supply on the amino-acid composition of the grain yield of winter barley (*Hordeum vulgare* L.)

Z. IZSÁKI

Szent István University Faculty of Agricultural and Economic Sciences,
Institute for Agricultural Sciences and Rural Development, Szarvas

Summary

The aim of our experiment related to the development of the fertilisation consultancy system of winter barley was to examine the effect of N, P and K supply on the yield, protein content, amino-acid composition and element content of winter barley in the case of distinctive nutrient supply levels in a long-term fertilisation experiment, as well as to determine the N, P and K supply limit values for chernozem meadow soil. The long-term fertilisation experiment was established in 1989 on deeply carbonated chernozem meadow soil on 4–4 N, P and K supply levels in a whole treatment combination with 64 treatments and split-split-plot design. Of the results of the experiment performed in 2006 and 2007, this study focuses on the effect of N and P supply level on the amino-acid composition. The main conclusions are summarised below.

1. The increasing N supply of the high N providing capacity soil containing 2.8–3.2% humus gradually and significantly increased the raw protein content until 13.9%. The increase of raw protein content was followed by the significant increase of the amount of all 17 examined amino-acids calculated for g per 100 g dry matter.

There was a significant change of amino-acid quantity until the 160 kg N ha⁻¹ fertilisation level. Higher N supply levels (240 kg N ha⁻¹) resulted in further significant increase only in the case of certain amino-acids.

2. In the majority of the examined cases, N fertilisation resulted in a negative change in the amino-acid composition of raw protein (g per 100 g raw protein). Especially as a result of overfertilisation (240 kg N ha⁻¹), when the share of lysine and threonine of essential amino-acids and asparagine, cystine, glycine, proline and serine of non-essential amino-acids decreased within the raw protein.
3. At the proper P supply level, if the AL-P₂O₅ content of the soil was between 185–225 mg kg⁻¹, the raw protein amino-acid composition of winter barley did not significantly change in comparison with the treatment with no P fertilisation (140–150 mg kg⁻¹ AL-P₂O₅). Changes and, more often, negative effects were observed in the amino-acid composition of the raw protein only at higher P supply levels (270–285 mg kg⁻¹ AL-P₂O₅).

Key words: winter barley, N and P supply, amino-acid composition, long-term experiment

Влияние обеспеченности N-ом и P-ом на состав аминокислот урожая зерна озимого ячменя (*Hordeum vulgare* L.)

З. ИЖАКИ

Университет им. Св. Иштвана, Факультет Сельского Хозяйства и Экономических Наук, Институт Аграрных Наук и Развития Территорий, г. Сарваш

Резюме

Для дальнейшего развития профессионального консультирования удобрения озимого ячменя целью нашей опытной работы было исследовать на хорошо различимых уровнях обеспеченности почвы питательными элементами, в опытах с искусственным удобрением влияние обеспеченности N-ом, P-ом и K-ем на урожай озимого ячменя, на содержание им белка, на состав аминокислот, а также на состав минеральных элементов, и установить предельное значение обеспеченности N-ом, P-ом и K-ем для чернозёмной луговой почвы. Продолжительный опыт искусственного удобрения установили в 1989-ом году на чернозёмной в глубине карбонатной лу-

говой почве, в 4-х уровнях обеспеченности N-ом, P-ом és K-ем, в полной комбинации доз, с 64 дозами, в разделённом надвое расположении парцелл. В настоящей работе среди результатов опытов, проведенных в 2006–2007-ом годах, обсуждаем влияние оказанное обеспеченностью N-ом и P-ом на состав аминокислот, главные выводы этого показаны ниже:

1. На почве с содержанием 2,8–3,2% гумуса, с хорошей способностью обслуживания N, растущий уровень обеспеченности N-ом постепенно увеличил содержание сырого белка, значительно увеличил до величины 13,9%. Подтверждаемый рост каждой из исследованных 17 аминокислот сопровождался увеличением содержания сырого белка в пересчёте на сухое вещество g/100 g. Более значительное количественное изменение в аминокислотах было показано до уровня удобрений 160 kg N/ha. Обеспечение N-ом выше этого уровня (240 kg N/ha) только в случае нескольких аминокислот привело к дальнейшему значительному росту.
2. В составе сырого белка аминокислот (g/100 g сырой белок) удобрение N-ом в большинстве случаев вызвало негативное изменение. Особенно под влиянием чрезмерного питания N-ом (240 kg N/ha), когда среди эссенциальных аминокислот доказуемо уменьшилась доля лизина и треонина, а среди неэссенциальных аминокислот доля аспарагина, цистеина, глицина, пролина и серина в сыром белке.
3. На хорошем уровне обеспеченности P-ом, где содержание AL-P₂O₅ почвы было 185–225 mg/kg, состав аминокислот сырого белка озимого ячменя существенно не изменился по сравнению с обработками без P-удобрения (140–150 mg/kg AL-P₂O₅). Изменение в составе аминокислот сырого белка, более частое негативное влияние обнаружили только на более высоком уровне обеспеченности P-ом (270–285 mg/kg AL-P₂O₅).

Ключевые слова: озимый ячмень, обеспеченность N-ом и P-ом, состав аминокислот, продолжительный опыт

Bevezetés

Az őszi árpa nyersfehérje-tartalma termőhelyi körülményektől, genetikai adottságoktól és az agrotechnikától függően 7,9–16,5% között változik (Lásztity

1981, Morey és Ewans 1983, Schmidt 2004, Kismányoky 2005, Shewry 2009, Csapó és Győri 2013). Az Osborne-féle oldhatósági csoportosítás szerint az árpafehérje átlagosan 3–4% vízoldható albumint, 10–20% sóoldható globulint, 35–45% alkohololdható prolamint (hordein) és 35–45% sav-, illetve lúgoldható glutelint tartalmaz (Konczak 1977, Lásztity 1984). Az oldhatóság alapján történő csoportosítás azonban teljesen eltérő szerkezetű, funkciójú és aminosav összetételű fehérjéket gyűjt össze. Az árpaszem morfológiai részeit tekintve az endosperm tartalék fehérjéinek nagyobbik hányadát a hordein és a glutelin teszi ki. Az aleuron- és csírafehérjék pedig a könnyebben oldható albumin és globulin fehérjékben gazdagabbak. Az egyes fehérje típusok aminosav összetétele meglehetősen állandó, de a szem fő morfológiai részei tömegarányának változása jelentősen befolyásolhatja a termés aminosav összetételét (Lásztity 1981, Koecler és Wieser 2013). Az árpa prolamin (hordein) típusú fehérjéi további frakciókra különíthetők el, úgymint nagy molekulásúlyú prolaminokra (D hordein, 2–10%), kén-szegény prolaminokra (C hordein, 10–20%) és kén-gazdag prolaminokra (Gamma és B-hordein 70–80%) (Shewry 2009). A hordein frakciók aminosav összetétele is eltérő, így a frakciók tömegarányának változása ugyancsak hatással van a szem aminosav összetételére (Holopainen 2015).

Az árpa aminosav összetétele különböző forrásmunkák (Pomeranz *et al.* 1976, Lásztity 1981, Morey és Ewans 1983, Kakuk és Schmidt 1988, WPSA 1989, Schmidt 2004) alapján az 1. táblázatban közölt adatokkal jellemezhető.

Az árpafehérje takarmányozás biológiai értékét alapvetően az esszenciális aminosav-tartalom határozza meg. A gabonafehérjék biológiai értékét Lásztity (1981) 50–60% között adja meg, a legjobb minőségű fehérjék (tojás, hús, tej) 90–100-as értékszámával szemben. Az árpafehérje is csak közepes minőséget képvisel, mert a fehérje nagyobbik hányadát a lizinben és metioninban szegény prolamin- és glutelinfrakciók teszik ki, míg kisebbik részét a lizinben és metioninban gazdagabb albumin- és globulinfrakciók (Lásztity 1984, Linko *et al.* 1989). Az árpafehérjén belül az esszenciális aminosavak részaránya 37–39%, és legnagyobb aránnyal a leucin, az arginin, a fenilalanin és a valin részesedik. A lizin átlagos mennyisége 3,2–3,6%, a metionin pedig 1,5–2,5% közé esik. A nem esszenciális aminosavak a nyersfehérje 57–63%-át teszik ki és ezen belül legnagyobb arányt a glutaminsav (23,4–27,8%) és a prolin (9,9–12,6%) képvisel.

1. táblázat. Az árpa aminosav összetétele különböző szerzők szerint
(g/100 g fehérje)

| Aminosav (1) | Szerzők (2) | | | | | | Inter- vallum (3) |
|--|--|-----------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | <i>Kakuk</i> és <i>Schmidt</i> (1988) | <i>WPSA</i> (1989) | <i>Morey</i> és <i>Ewans</i> (1983) | <i>Pomeranz</i> <i>et al.</i> (1976) | <i>Lásztity</i> (1981) | <i>Schmidt</i> (2004) | |
| | Esszenciális aminosavak (EA) (4) | | | | | | |
| Arginin (5) | 5,2 | 4,8 | 5,2 | 4,3 | 4,4 | 4,8 | 4,3-5,2 |
| Fenilalanin (6) | 5,2 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,1 | 4,9 | 4,9-5,2 |
| Hisztidin (7) | 2,2 | 2,1 | 1,7 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 1,7-2,2 |
| Izoleucin (8) | 3,8 | 3,6 | 3,5 | 3,6 | 3,8 | 3,7 | 3,5-3,8 |
| Leucin (9) | 7,0 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,9 | 6,9 | 6,5-7,0 |
| Lizin (10) | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,2 | 3,5 | 3,6 | 3,2-3,6 |
| Metionin (11) | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 2,5 | 1,6 | 1,5 | 1,5-2,5 |
| Treonin (12) | 3,5 | 3,4 | 3,5 | 3,1 | 3,5 | 3,5 | 3,1-3,5 |
| Triptofán (13) | 1,3 | 1,6 | - | - | 1,4 | 1,3 | 1,3-1,6 |
| Valin (14) | 5,5 | 5,1 | 4,7 | 4,9 | 5,4 | 4,8 | 4,7-5,5 |
| Összes EA (15) | 39,0 | 37,8 | - | - | 37,7 | 37,2 | 37-39 |
| Nem esszenciális aminosavak (NEA) (16) | | | | | | | |
| Alanin (17) | 4,2 | 4,1 | 3,8 | 4,1 | 4,1 | 4,0 | 3,8-4,2 |
| Aszparaginsav (18) | 6,1 | 6,0 | 5,8 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 5,8-6,1 |
| Cisztin (19) | 2,3 | 2,1 | 2,6 | 2,4 | 2,5 | 2,0 | 2,0-2,6 |
| Glicin (20) | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,7 | 4,2 | 4,3 | 3,7-4,3 |
| Glutaminsav (21) | 23,9 | 23,4 | 24,0 | 27,8 | 24,6 | 24,0 | 23,4-27,8 |
| Prolin (22) | 9,9 | 10,8 | 10,7 | 12,6 | 10,2 | 10,8 | 9,9-12,6 |
| Szerin (23) | 4,6 | 4,3 | 4,4 | 3,5 | 4,2 | 4,4 | 3,5-4,6 |
| Tirozin (24) | 3,4 | 3,1 | 3,4 | 2,5 | 2,5 | 2,8 | 2,5-3,4 |
| Összes NEA (25) | 58,4 | 57,8 | 58,7 | 62,7 | 58,4 | 58,4 | 58-63 |

Table 1. Amino-acid composition of winter barley, according to various authors (g per 100 g protein). (1) Amino-acid, (2) Authors, (3) Interval, (4) Essential amino-acids, (5) Arginine, (6) Phenylalanine, (7) Histidine, (8) Isoleucine, (9) Leucine, (10) Lysine, (11) Methionine, (12) Threonine, (13) Tryptophan, (14) Valine, (15) Total EA, (16) Non-essential amino-acids, (17) Alanine, (18) Asparagine acid, (19) Cystine, (20), Glycine, (21) Glutamine acid, (22) Proline, (23) Serine, (24) Tyrosine, (25) Total NEA

Az árpa nyersfehérje-tartalmát és aminosav összetételét a termőhelyi feltételek, az agrotechnika – elsősorban a N-trágyázás – és a fajta jelentősen befolyásolják. *Shewry* (2009) közlése szerint eltérő termőhelyi feltételek alatt ugyanazon árpa fajta nyersfehérje-tartalma 8,1% és 14,7% között változott, míg a N-trágyázás hatására szűkebb intervallumban (7,2–11,5%) mozgott a nyersfehérje mennyisége. A fehérjetartalom változása speciális módosulást okozhat az esszenciális és nem esszenciális aminosavak arányában, egyes aminosavak – különösen a lizin – mennyiségében. Vizsgálataik szerint a szemtermés N-tartalmának gyarapodását a prolamin tartalék fehérjék, ezen belül a kén-szegény (C hordein), kisebb lizin tartalmú frakció növekedése kísérte. Hasonló eredményekről számolnak be *Bénétrix et al.* (1994). *Barczak és Knapowski* (2008) a N-trágyázás hatását vizsgálták az őszi árpa nyersfehérje-tartalmára és a fehérje Osborne-féle frakcióinak arányára. Megállapították, hogy a növekvő N-kínálat (0–60–120–180 kg N/ha) csökkentette az albumin- és globulin-fehérjék mennyiségét, míg növelte a prolamin- és glutelin-fehérjék részesedését. Mivel az egyes fehérje frakciók aminosav összetétele különböző (*Linko et al.* 1989), így a frakciók arányának változása a szemtermés aminosav összetételének módosulását váltja ki. *Ruiter et al.* (1998) takarmány árpával végzett vizsgálati eredményei ugyancsak a termőhely és a N-trágyázás aminosav összetételt befolyásoló hatását igazolják. *Jahn-Deesbach és Schipper* (1982) a növekvő adagú N-trágyázás hatására azt tapasztalták, hogy a prolin, a glutaminsav és a fenilalanin tartalma növekedett az árpafehérjének, a tirozin, a cisztin, a metionin és az izoleucin érdemben nem változott, míg a többi aminosav mennyisége csökkent. *Csapó és Győri* (2013) 172 árpa őrleményben vizsgálták a fehérjetartalom és az aminosav összetétel kapcsolatát. Eredményeik szerint a nyersfehérje-tartalom növekedésével együtt szignifikánsan nagyobb volt az árpa g/100 g szárazanyagban kifejezett treonin, valin, izoleucin, tirozin, prolamin, cisztein és lizin tartalma. A fehérje aminosav összetételében (g/100 g fehérje) pedig azt tapasztalták, hogy a nyersfehérje-tartalom valamint a glutaminsav és prolin között pozitív korreláció, míg az izoleucin, a lizin és a treonin között negatív korreláció érvényesült.

Az eddigi kutatási eredmények széleskörűen igazolták a termőhelyi adottságok, a fajta és a tápanyagok közül elsősorban N-trágyázás hatását az árpa fehérjetartalmára és aminosav összetételére. A növénytermesztés számára azonban különösen fontos annak ismerete, hogy milyen tápanyag-ellátottsági szint mellett érhető el gazdaságos terméshozam, valamint takarmányozás biológiai

szempontból magas fehérjetartalom kedvező aminosav összetétellel. Jelen dolgozat e kérdéskörre szándékozik választ adni és a gyakorlati növénytápláláshoz információt szolgáltatni.

Anyag és módszer

A műtrágyázási tartamkísérletet a Kar Növénytermesztéstani Tanszéke Kísérleti Telepén, Szarvason állítottuk be 1989-ben. A kísérleti terület talaja mélyben karbonátos csernozjom réti talaj, a humuszos réteg vastagsága 85–100 cm, a művelt réteg pH_{KCl} -ja 5,0–5,2, humusztartalma 2,8–3,2%, CaCO_3 -ot nem tartalmaz, kötöttsége (K_A) 50, agyagtartalma 32%.

A kísérlet beállítása előtt 1989 őszén az AL- P_2O_5 156 mg/kg, az AL- K_2O 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 által elfogadott módszerek és határértékek (Buzás *et al.* 1979) 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 műtrágyázási tartamkísérletet három tényezővel (N-, P- és K-trágyázás), tényezőnként 4–4 N-, P- és K-szinten alakítottuk ki, teljes kombinációban (43), 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 kezelése a következők.

„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 P_2O_5 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben.

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

N_0 = N-trágyázás nélkül,

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

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

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

N_{1A} = 40 kg N/ha/év alaptrágya,

N_{2A} = 80 kg N/ha/év alaptrágya,

N_{3A} = 120 kg N/ha/év alaptrágya.

Az időszakosan végzett nagyadagú P és K feltöltő trágyázás célja az volt, hogy jól elkülönülő ellátottsági szinteket alakítsunk ki a talajban a tápláltsági szituációk tanulmányozására és a talaj tápelem-ellátottsági határértékek megállapítására. A nitrogént alap- és fejtrágyaként megosztva ammóniumnitrát (34%), míg a foszfort szuperfoszfát (18%) és a káliumot kálisó (40 vagy 60%) formájában alaptrágyaként juttattuk ki. A kísérletben évente 4 növény szerepelt kiterített vetésforgóban, 4×192 db parcellán, ahol a főparcellák területe 320 m², az elsőrendű alparcellák területe 80 m² és a másodrendű alparcellák mérete 4×5= 20 m² volt. Annak érdekében, hogy a N-alaptrágyázás hatását elkülönülten is tudjuk értékelni, az alparcellákat megfeleztük, és ez tette lehetővé a fenti N-kezelések alkalmazását. Az őszi árpa előveteménye rostkender (*Cannabis sativa* L.) volt. A kísérletben GK Stramm nevű kétsoros őszi árpa fajtát használtunk. A dolgozatban a tartamkísérlet 17-18. évi (2005/2006, 2006/2007) eredményei kerülnek közlésre. A vizsgált években a vetést október 8-án és 12-én végeztük 12 cm-es sortávolságra, 5 millió csíra/ha vetőmagnormával. Fejtrágyázás egyszer történt, a bokrosodás végén. A betakarítást teljesérésben végeztük parcellakombájnnal június végén.

A kísérlet tenyészidőszakának időjárása a kísérlet helyén mért adatok alapján a következőkkel jellemezhető (2. táblázat). A 2005/2006. évi tenyészidőszakban a csapadék mennyisége (379 mm) a sokévi átlag szintjén alakult, míg az átlaghőmérséklet (6,9 °C) kissé elmaradt a törzsértéktől. A legkedvezőtlenebb időjárású kísérleti időszak a 2006/2007-es tenyészidő volt, amikor a sokévi átlagnál 69 mm-rel kevesebb csapadék hullott, és az átlaghőmérséklet 2,7 °C-kal volt magasabb.

A talaj N-ellátottságának jellemzésére vizsgáltuk az őszi árpa vetése előtt a 0-60 cm-es talajréteg ásványi nitrogéntartalmát. Az ásványi nitrogént

($\text{NO}_3\text{-NO}_2\text{-NH}_4\text{-N}$) 1 mol/dm^3 KCl-os kivonatból fotometriás módszerrel (MSZ 20135:1999) határoztuk meg, melynek értékeit a 3. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A kísérleti hely időjárásának adatai a vizsgálati időszak alatt (Szarvas, 2005–2007)

| Év (1) | Csapadék (mm) | | | Átlag hőmérséklet (°C) | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------|------------|
| | (2) | | Évi (6) | (3) | | Évi (6) |
| | Téli félév (X-III.) (4) | Tenyészdő (-VI.15.) (5) | | Téli félév (-III.) (4) | Tenyészdő (-VI.15.) (5) | |
| Átlag 1901–1975 (7) | 225 | 362 | 538 | 3,4 | 7,5 | 10,6 |
| 2005 | - | - | 721 | - | - | 10,2 |
| 2005/2006 | 204 | 379 | 537 | 2,2 | 6,9 | 10,7 |
| 2006/2007 | 159 | 293 | 548 | 6,5 | 10,2 | 12,2 |

Table 2. Weather data of the experiment site during the period of examination (Szarvas, 2005–2007). (1) Year, (2) Precipitation (mm), (3) Mean temperature °C, (4) Winter period, (5) Growing season, (6) Yearly

A talaj tápelem-vizsgálatokat évente, ősszel az elővetemény betakarítása után a 0–60 cm-es talajrétegből vett mintákból végeztük el. A talaj P_2O_5 - és K_2O -tartalmát AL-módszerrel (MSZ 20135:1999) határoztuk meg, és az eredmények értékelésekor a talaj P- és K-ellátottságának megítélésére a szántott (30 cm-es) réteg értékeit használjuk (4. táblázat).

A nyersfehérje-tartalom és az aminosav összetétel vizsgálatához a magmintákat a K_1 -kezelés 4 N (N_0 , N_1 , N_2 és N_3) és 4 P (P_0 , P_1 , P_2 , P_3) kezeléseiből szedtük. A parcellánkénti magtermésből átlós felezés módszerével 0,5 kg mintát vettünk, ezt ledaráltuk és ebből 100 grammot adtunk át a laboratóriumnak vizsgálatra. A vizsgálati eredmények három ismétlésre vonatkoznak.

Az őszi árpa nyersfehérje-tartalmának (%) számításához ($\text{N}\% \times 6,25$) az összes N-t Makro-Kjeldahl módszerrel (MSZ 6830-4:1981), az aminosav-összetelt savas (6 N HCl) hidrolízis után ioncserés oszlop-kromatográfiás módszerrel (HPLC, Magyar Takarmánykódex 1990) a Bács ÁG Kft. Mezőgazdasági Vizsgáló és Termékminősítő Laboratórium végezte el. Az aminosavak közül a triptofánt nem határoztuk meg. Az arginint takarmányozás-biológiai szempontból az esszenciális aminosavak közé soroltuk. A kísérletek matematika-

statisztikai értékelését variancia-analízissel végeztük Sváb (1981) módszere szerint. A kísérleti eredmények ismertetése a N- és P-főhatásokra terjednek ki.

3. táblázat. A talaj ásványi N-tartalma (N_{min}) N-trágyázási kezelésként a 0–60 cm-es talajrétegben N-műtrágyázás előtt (Szarvas, 2005 és 2006 szeptember)

| Kezelés jele (1) | N-forma (2) | N-tartalom a 0–60 cm-es talajrétegben (kg/ha) (3) | |
|---------------------|--------------------|--|------|
| | | 2005 | 2006 |
| N ₀ | NO ₃ -N | 12,0 | 29,8 |
| | NH ₄ -N | 25,6 | 21,5 |
| | N _{min} | 37,6 | 51,3 |
| N ₁ | NO ₃ -N | 12,2 | 33,6 |
| | NH ₄ -N | 28,4 | 22,6 |
| | N _{min} | 40,6 | 56,2 |
| N ₂ | NO ₃ -N | 15,6 | 30,8 |
| | NH ₄ -N | 39,3 | 22,6 |
| | N _{min} | 54,9 | 53,4 |
| N ₃ | NO ₃ -N | 23,3 | 36,9 |
| | NH ₄ -N | 38,6 | 21,6 |
| | N _{min} | 61,9 | 58,5 |

Table 3. The mineral N content of the soil (N_{min}) in the 0–60 cm soil layer before N fertilisation (Szarvas, September 2005 and 2006). (1) Treatment sign, (2) N form, (3) N content in the 0–60 cm soil layer (kg ha⁻¹)

Eredmények és következtetések

N-ellátottság hatása

A N-ellátottság hatása az őszi árpa nyersfehérje-tartalmára és aminosav-összetételére kísérleti évenként, g/100 g szárazanyagban kifejezve az 5. táblázat adatai alapján értékelhető.

A tartamkísérlet 17. évében 2006-ban a N-trágyázás nélküli kezelésben (N₀), ahol a talaj 0–60 cm-es talajrétegének N_{min}-tartalma a megelőző év őszén 37,6 kg/ha volt, az őszi árpa nyersfehérje-tartalma 10,3%-ot ért el. A N-ellátás emelkedő szintje a nyersfehérje-tartalmat fokozatosan, szignifikánsan növelte

13,9% értékig. A nyersfehérje-tartalom gyarapodását a vizsgált 17 aminosav mindegyikének megbízható növekedése kísérte a kontroll (N_0) kezeléshez képest. Jelentősebb mennyiségi változás az aminosavakban a 160 kg N/ha (N_2) trágyázási szintig volt kimutatható. Ennél magasabb N-ellátás (N_3) csak néhány aminosav esetében eredményezett további szignifikáns növekedést. A N-trágyázás hatására az esszenciális és nem esszenciális aminosavak arányában érdemi változás nem következett be, az arány 39/61 a N-trágyázott kezelésekből, míg N-trágyázás nélkül 38/62.

4. táblázat. A talaj P- és K-ellátottsága trágyázási kezelésként (Szarvas, 2005 és 2006 szeptember)

| Kezelés jele (1) | Kísérleti évek (2) | |
|---|-----------------------|------|
| | 2005 | 2006 |
| AL-P ₂ O ₅ mg/kg a művelt talajrétegben (3) | | |
| P ₀ | 150 | 141 |
| P ₁ | 217 | 222 |
| P ₂ | 186 | 193 |
| P ₃ | 282 | 273 |
| AL-K ₂ O mg/kg a művelt talajrétegben (4) | | |
| K ₀ | 199 | 211 |
| K ₁ | 320 | 322 |
| K ₂ | 324 | 301 |
| K ₃ | 377 | 340 |

Table 4. P and K supply in each fertilisation treatment (Szarvas, September 2005 and 2006). (1) Treatment sign, (2) Years of experiment, (3) AL-P₂O₅ mg kg⁻¹ in the examined soil layer, (4) AL-K₂O mg kg⁻¹ in the examined soil layer

A 2007. kísérleti évben a 18. éve N-trágyázásban nem részesült parcellák (N_0) talajának N_{\min} -tartalma a 0–60 cm-es talajrétegben 51,3 kg/ha volt a vetést megelőzően és az őszi árpa nyersfehérje-tartalma 9,3%-ot ért el. A nyersfehérje-tartalom jelentősebben, 13,8%-ig a 160 kg/ha N-adagig (N_2) növekedett. Ennél magasabb N-ellátottsági szinten (240 kg N/ha, N_3) további érdemi nyersfehérje-tartalom emelkedés már nem érvényesült. Hasonlóan a 2006. évhez az összes vizsgált aminosav mennyisége szignifikánsan növekedett a nyersfehérje-tartalommal együtt a jobb N-ellátás eredményeként.

5. táblázat. A N-ellátottság hatása az őrpe aminosav-összetételére (g/100 g szárazanyag) (Szarvas, 2006, 2007)

| Komponensek (1) | 2006 | | | 2007 | | | Szd% (2) | Átlag (3) | Szd% (2) | Átlag (3) | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|----------------|----------------|
| | N ₀ | N ₁ | N ₂ | N ₃ | N ₄ | N ₅ | | | | | N ₆ | N ₇ |
| Nyersfehérje% (4) | 10,3 | 11,5 | 13,0 | 13,9 | 12,1 | 9,3 | 0,8 | 12,1 | 13,8 | 14,0 | 0,9 | 12,3 |
| Esszenciális aminosavak (EA) (5) | | | | | | | | | | | | |
| Arginin (6) | 0,40 | 0,53 | 0,62 | 0,60 | 0,54 | 0,39 | 0,17 | 0,54 | 0,67 | 0,71 | 0,19 | 0,58 |
| Fenilalanin (7) | 0,54 | 0,61 | 0,70 | 0,74 | 0,65 | 0,48 | 0,09 | 0,65 | 0,72 | 0,71 | 0,22 | 0,62 |
| Hisztidin (8) | 0,32 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,41 | 0,29 | 0,07 | 0,41 | 0,52 | 0,38 | 0,09 | 0,41 |
| Izoleucin (9) | 0,34 | 0,38 | 0,45 | 0,47 | 0,41 | 0,42 | 0,04 | 0,41 | 0,58 | 0,70 | 0,16 | 0,56 |
| Leucin (10) | 0,70 | 0,77 | 0,89 | 0,94 | 0,82 | 0,72 | 0,07 | 0,82 | 0,96 | 1,06 | 0,09 | 0,91 |
| Lizin (11) | 0,38 | 0,45 | 0,47 | 0,50 | 0,45 | 0,39 | 0,11 | 0,45 | 0,53 | 0,53 | 0,12 | 0,49 |
| Metionin (12) | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,23 | 0,15 | 0,03 | 0,23 | 0,22 | 0,20 | 0,04 | 0,19 |
| Treonin (13) | 0,34 | 0,36 | 0,43 | 0,44 | 0,39 | 0,37 | 0,03 | 0,39 | 0,45 | 0,47 | 0,07 | 0,43 |
| Valin (14) | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,63 | 0,55 | 0,56 | 0,05 | 0,55 | 0,72 | 0,81 | 0,07 | 0,69 |
| Összesen EA (15) | 3,66 | 4,27 | 4,85 | 5,02 | 4,45 | 3,77 | - | 4,45 | 5,37 | 5,57 | - | 4,88 |
| Nem esszenciális aminosavak (NEA) (16) | | | | | | | | | | | | |
| Alanin (17) | 0,45 | 0,48 | 0,57 | 0,59 | 0,52 | 0,45 | 0,02 | 0,52 | 0,54 | 0,65 | 0,11 | 0,54 |
| Aszparaginsav (18) | 0,68 | 0,71 | 0,77 | 0,80 | 0,74 | 0,61 | 0,05 | 0,74 | 0,69 | 0,81 | 0,09 | 0,71 |
| Cisztein (19) | 0,27 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,29 | 0,21 | 0,03 | 0,29 | 0,26 | 0,26 | 0,03 | 0,24 |
| Glicin (20) | 0,43 | 0,47 | 0,53 | 0,53 | 0,49 | 0,41 | 0,04 | 0,49 | 0,51 | 0,54 | 0,08 | 0,49 |
| Glutaminsav (21) | 2,19 | 2,47 | 2,89 | 3,14 | 2,67 | 2,11 | 0,21 | 2,67 | 2,76 | 2,89 | 0,45 | 2,60 |
| Prolin (22) | 1,27 | 1,32 | 1,48 | 1,49 | 1,39 | 0,77 | 0,13 | 1,39 | 1,08 | 1,21 | 0,29 | 1,01 |
| Szerin (23) | 0,43 | 0,47 | 0,55 | 0,58 | 0,51 | 0,44 | 0,04 | 0,51 | 0,55 | 0,57 | 0,08 | 0,52 |
| Tirozin (24) | 0,31 | 0,36 | 0,41 | 0,46 | 0,39 | 0,31 | 0,07 | 0,39 | 0,43 | 0,38 | 0,09 | 0,36 |
| Összes NEA (25) | 6,03 | 6,56 | 7,50 | 7,91 | 7,00 | 5,31 | - | 7,00 | 6,87 | 7,31 | - | 6,47 |
| Összes EA+NEA (26) | 9,69 | 10,83 | 12,35 | 12,93 | 11,45 | 9,08 | - | 11,45 | 12,24 | 12,88 | - | 11,35 |
| EA/NEA arány (27) | 38/62 | 39/60 | 39/61 | 39/61 | 39/61 | 42/58 | - | 39/61 | 44/56 | 43/57 | - | 43/57 |

Table 5. The effect of N supply level on the amino-acid composition of winter barley (g per 100 g protein) (Szarvas, 2006, 2007). (1) Component, (2) LSD_{5%}, (3) Mean, (4) Raw protein content %, (5) Essential amino-acids, (6) Arginine, (7) Phenylalanine, (8) Histidine, (9) Isoleucine, (10) Leucine, (11) Lysine, (12) Methionine, (13) Threonine, (14) Valine, (15) Total EA, (16) Non-essential amino-acids, (17) Alanine, (18) Asparagine acid, (19) Cystine, (20) Glycine, (21) Glutamine acid, (22) Proline, (23) Serine, (24) Tyrosine, (25) Total NEA, (26) Total EA+NEA

Azonban jelentősebb aminosav-tartalom gyarapodást a 160 kg/ha N-adagig tapasztaltunk az N_0 kezeléshez viszonyítva. A legmagasabb N-ellátási szinten (240 kg N/ha, N_3) már további jelentősebb aminosav mennyiségi változás nem volt, kivéve hisztidint, melynek értéke csökkent. Az esszenciális és nem esszenciális aminosavak aránya a 160 kg/ha N-adagnál (N_2) volt a legkedvezőbb 44/56 értékkel, szemben az N_0 kezelés 42/58 arányával.

Mindkét kísérleti évben az aminosav összetételre jellemző volt, hogy az esszenciális aminosavak közül az uralkodóak a leucin, a fenilalanin és a valin, míg legkisebb mennyiségben a metionin fordult elő. A nem esszenciális aminosavak közül a legnagyobb arányt a glutaminsav és a prolin képviselt, míg a legkisebbet a kéntartalmú cisztin.

Az őszi árpa nyersfehérje aminosav összetételét (g/100 g nyersfehérje) a N-ellátottságtól függően az 6. táblázat mutatja be.

A kedvező 80, 160 kg/ha N-ellátás (N_1 , N_2) mindkét kísérleti évben csak az arginin és a hisztidin mennyiségét növelte szignifikánsan. Azonban a túlzott 240 kg/ha N-adagolás (N_3) már csökkenést okozott a hisztidin nyersfehérjén belüli arányában. A nyersfehérje aminosav összetételében a N-trágyázás az esetek többségében negatív változást idézett elő. Különösen a N-túltáplálás (N_3) hatására, amikor az esszenciális aminosavak közül megbízhatóan csökkent a lizin és a treonin, a nem esszenciális aminosavak közül pedig az aszparagin, a cisztin, a glicin, a prolin és a szerin nyersfehérjén belüli részeseése.

Korábban publikált kísérleti eredményeink szerint a 2,8–3,2% humusztartalmú csernozjom réti talajon, melynek N-szolgáltatása N-trágyázás nélkül átlagosan 126 kg/ha/év, az őszi árpa terméshozama és nyersfehérje-tartalma jelentősebben maximum 160 kg/ha N-adagig növekszik (Izsáki 2015, 2017). Az aminosav összetétel is ilyen N-ellátottság mellett még kedvező, negatív irányú változásokat mind a terméshozamban, mind az aminosav összetételben a N-túltáplálás vált ki.

P-ellátottság hatása

A P-ellátottság befolyása az őszi árpa nyersfehérje aminosav összetételére (g/100 g nyersfehérje) a 7. táblázat adatai alapján tekinthető át.

P-trágyázás nélkül (P_0) a művelt talajréteg AL- P_2O_5 -tartalma 140–150 mg/kg volt. A jobb P-ellátottság (P_1 , P_2), ahol a talaj AL- P_2O_5 -tartalma 185–225 mg/kg közé esett, az őszi árpa nyersfehérje aminosav összetételét érdemben nem befolyásolta.

6. táblázat. A N-ellátottság hatása az őszi árpa aminosav-összetételére (g/100 g fehérje) (Szarvas, 2006, 2007)

| Komponensek (1) | 2006 | | | 2007 | | | Szd _{5%} (2) | Átlag (3) | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------|------|-------|
| | N ₀ | N ₁ | N ₂ | N ₀ | N ₁ | N ₂ | | | | |
| Esszenciális aminosavak (EA) (4) | | | | | | | | | | |
| Arginin (5) | 3,90 | 4,57 | 4,98 | 4,84 | 4,16 | 4,48 | 4,86 | 5,10 | 0,68 | 4,65 |
| Fenilalanin (6) | 5,25 | 5,32 | 5,35 | 5,34 | 5,12 | 4,87 | 5,27 | 5,04 | NS | 5,08 |
| Hisztidin (7) | 3,05 | 3,95 | 3,39 | 3,20 | 3,08 | 3,66 | 3,75 | 2,70 | 0,60 | 3,30 |
| Izoleucin (8) | 3,26 | 3,33 | 3,46 | 3,34 | 4,47 | 4,35 | 4,18 | 4,29 | NS | 4,32 |
| Leucin (9) | 6,80 | 6,72 | 6,80 | 6,73 | 7,75 | 7,49 | 6,99 | 7,60 | NS | 7,46 |
| Lizin (10) | 3,70 | 3,89 | 3,53 | 3,60 | 4,16 | 4,33 | 3,74 | 3,74 | 0,36 | 3,99 |
| Metionin (11) | 1,86 | 1,93 | 1,85 | 1,80 | 1,63 | 1,45 | 1,56 | 1,44 | NS | 1,52 |
| Treonin (12) | 3,31 | 3,14 | 3,26 | 3,15 | 3,98 | 3,44 | 3,27 | 3,36 | 0,46 | 3,51 |
| Valin (13) | 4,31 | 4,39 | 4,58 | 4,56 | 6,03 | 5,56 | 5,24 | 5,77 | NS | 5,65 |
| Összesen EA (14) | 35,44 | 37,24 | 37,20 | 36,56 | 40,38 | 39,63 | 38,86 | 39,04 | - | 39,48 |
| Nem esszenciális aminosavak (NEA) (15) | | | | | | | | | | |
| Alanin (16) | 4,39 | 4,14 | 4,37 | 4,23 | 4,87 | 4,39 | 3,88 | 4,62 | NS | 4,44 |
| Aszparaginsav (17) | 6,56 | 6,18 | 5,93 | 5,72 | 6,10 | 6,52 | 5,70 | 5,74 | 0,59 | 5,83 |
| Cisztiin (18) | 2,59 | 2,43 | 2,32 | 2,30 | 2,41 | 2,20 | 1,87 | 1,83 | 0,30 | 1,95 |
| Glicin (19) | 4,13 | 4,10 | 4,02 | 3,81 | 4,02 | 3,96 | 3,72 | 3,74 | 0,54 | 3,95 |
| Glutaminsav (20) | 21,23 | 21,53 | 22,17 | 22,63 | 21,89 | 22,56 | 21,81 | 20,06 | NS | 21,26 |
| Prolin (21) | 12,25 | 11,49 | 11,35 | 10,69 | 11,45 | 8,23 | 7,88 | 7,77 | NS | 8,12 |
| Szertin (22) | 4,16 | 4,05 | 4,21 | 4,15 | 4,14 | 4,76 | 4,28 | 3,99 | 0,54 | 4,27 |
| Tirozin (23) | 2,98 | 3,10 | 3,11 | 3,03 | 3,05 | 3,26 | 2,80 | 3,14 | NS | 2,97 |
| Összes NEA (24) | 58,29 | 57,02 | 57,48 | 56,56 | 57,34 | 56,76 | 52,70 | 49,79 | - | 52,79 |
| Összes EA+NEA (25) | 93,73 | 94,26 | 94,68 | 93,12 | 93,95 | 97,14 | 92,33 | 88,65 | - | 92,27 |
| EA/NEA arány (26) | 38/62 | 40/60 | 39/61 | 39/61 | 39/61 | 42/58 | 43/57 | 44/56 | - | 43/57 |

Table 6. The effect of N supply level on the amino-acid composition of winter barley (g per 100 g protein) (Szarvas, 2006, 2007). (1) Component, (2) LSD_{5%}, (3) Mean, (4) Essential amino-acids, (5) Arginine, (6) Phenylalanine, (7) Histidine, (8) Isoleucine, (9) Leucine, (10) Lysine, (11) Methionine, (12) Threonine, (13) Valine, (14) Total EA, (15) Non-essential amino-acids, (16) Alanine, (17) Asparagine acid, (18) Cystine, (19) Glycine, (20) Glutamine acid, (21) Proline, (22) Serine, (23) Tyrosine, (24) Total NEA, (25) Total EA+NEA

7. táblázat. A P-ellátottság hatása az őszi árpa aminosav-összetételére (g/100 g fehérje) (Szarvas, 2006, 2007)

| Komponensek (1) | 2006 | | | | | 2007 | | | | | Szd _{5%} (2) | Átlag (3) |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------|
| | P ₀ | P ₁ | P ₂ | P ₃ | Szd _{5%} (2) | Átlag (3) | P ₀ | P ₁ | P ₂ | P ₃ | | |
| Esszenciális aminosavak (EA) (4) | | | | | | | | | | | | |
| Arginin (5) | 4,45 | 4,06 | 4,40 | 5,35 | 0,90 | 4,56 | 5,06 | 4,10 | 4,91 | 4,52 | NS | 4,65 |
| Fenilalanin (6) | 5,23 | 5,42 | 5,28 | 5,34 | NS | 5,31 | 4,86 | 5,03 | 5,77 | 4,65 | 0,65 | 5,08 |
| Hisztidin (7) | 3,20 | 3,42 | 3,40 | 3,57 | NS | 3,40 | 3,50 | 2,97 | 3,26 | 3,46 | NS | 3,30 |
| Izoleucin (8) | 3,39 | 3,27 | 3,40 | 3,33 | NS | 3,35 | 4,38 | 4,25 | 4,36 | 4,30 | NS | 4,32 |
| Leucin (9) | 6,84 | 6,67 | 6,93 | 6,60 | NS | 6,76 | 7,76 | 7,35 | 7,33 | 7,39 | NS | 7,46 |
| Lizin (10) | 3,28 | 3,43 | 3,63 | 4,40 | 0,69 | 3,69 | 3,97 | 4,14 | 3,64 | 4,00 | NS | 3,94 |
| Metionin (11) | 1,82 | 1,97 | 1,88 | 1,77 | NS | 1,86 | 1,63 | 1,45 | 1,55 | 1,44 | NS | 1,52 |
| Treonin (12) | 3,21 | 3,22 | 3,31 | 3,10 | NS | 3,21 | 3,39 | 3,61 | 3,66 | 3,40 | NS | 3,51 |
| Valin (13) | 4,37 | 4,47 | 4,56 | 4,30 | 0,20 | 4,42 | 6,11 | 5,43 | 5,64 | 5,43 | 0,63 | 5,65 |
| Összesen EA (14) | 35,79 | 35,93 | 36,79 | 37,76 | - | 36,56 | 40,66 | 38,33 | 40,12 | 38,59 | - | 39,43 |
| Nem esszenciális aminosavak (NEA) (15) | | | | | | | | | | | | |
| Alanin (16) | 4,39 | 4,22 | 4,34 | 4,18 | NS | 4,28 | 5,16 | 4,34 | 4,05 | 4,21 | 0,76 | 4,44 |
| Aszparaginsav (17) | 6,13 | 6,28 | 6,10 | 5,89 | 0,38 | 6,10 | 5,95 | 5,92 | 5,76 | 5,68 | NS | 5,83 |
| Cisztein (18) | 2,36 | 2,57 | 2,38 | 2,32 | NS | 2,41 | 2,14 | 1,86 | 1,95 | 1,83 | 0,23 | 1,95 |
| Glicin (19) | 4,04 | 3,97 | 4,06 | 3,99 | NS | 4,02 | 3,99 | 4,04 | 3,96 | 3,89 | NS | 3,97 |
| Glutaminsav (20) | 21,79 | 21,61 | 22,04 | 22,19 | NS | 21,91 | 20,11 | 21,63 | 21,66 | 21,62 | NS | 21,25 |
| Prolin (21) | 11,79 | 11,73 | 11,55 | 10,71 | 1,01 | 11,44 | 7,16 | 8,32 | 8,18 | 9,33 | 1,12 | 8,24 |
| Szerin (22) | 4,11 | 4,18 | 4,26 | 4,03 | NS | 4,14 | 4,32 | 4,35 | 4,28 | 4,19 | NS | 4,29 |
| Tirozin (23) | 3,13 | 3,11 | 3,06 | 2,92 | NS | 3,05 | 2,91 | 2,99 | 3,25 | 2,76 | 0,42 | 2,97 |
| Összes NEA (24) | 57,74 | 57,67 | 57,79 | 56,23 | - | 57,35 | 51,74 | 53,45 | 53,09 | 53,51 | - | 52,94 |
| Összes EA+NEA (25) | 93,53 | 93,60 | 94,58 | 93,99 | - | 93,91 | 92,40 | 91,78 | 93,21 | 92,10 | - | 92,37 |
| EA/NEA arány (26) | 38/62 | 38/62 | 39/61 | 40/60 | - | 39/61 | 44/56 | 42/58 | 43/57 | 42/58 | - | 43/57 |

Table 7. The effect of P supply level on the amino-acid composition of winter barley (g per 100 g protein) (Szarvas, 2006, 2007). (1) Component, (2) LSD_{5%}, (3) Mean, (4) Essential amino-acids, (5) Arginine, (6) Phenylalanine, (7) Histidine, (8) Isoleucine, (9) Leucine, (10) Lysine, (11) Methionine, (12) Threonine, (13) Valine, (14) Total EA, (15) Non-essential amino-acids, (16) Alanine, (17) Asparagine acid, (18) Cystine, (19) Glycine, (20) Glutamine acid, (21) Proline, (22) Serine, (23) Tyrosine, (24) Total NEA, (25) Total EA+NEA, (26) EA/NEA ratio

Kivéve egy esetet, amikor a fenilalanin mennyisége növekedett 2007-ben. A nyersfehérje aminosav összetételében változást csak magasabb P-ellátottsági szinten (270–285 mg/kg AL-P₂O₅) tapasztaltunk, amikor egy-egy alkalommal az arginin, a lizin és a prolin nyersfehérjén belüli aránya növekedett a P₀ kezeléshez képest. Más esetekben a magas P-ellátottsági szint negatív hatása volt kimutatható, ami a fenilalanin, a valin, az alanin, az aszparaginsav, a cisztin, a prolin és a tirozin nyersfehérjén belüli arányának csökkenésével járt együtt.

Korábbi közleményünk (Izsáki 2017) szerint a talaj 118–282 mg/kg AL-P₂O₅ ellátottsági tartományában az őszi árpa szemtermésének nyersfehérje-tartalmában érdemi változást nem tapasztaltunk. Azonban míg a nyersfehérje-tartalmat a magas P-ellátottsági szint nem befolyásolja, addig egyes években a P-túltáplálás a nyersfehérje aminosav összetételét kedvezőtlenül változtathatja.

Az őszi árpa szemtermésének aminosav összetétele a kezelések és évek átlagában

Az őszi árpa szemtermésének aminosav összetételét a trágyázási kezelések és a kísérleti évek átlagában a 8. táblázat foglalja össze.

A szemtermés nyersfehérje-tartalma a trágyázási kezelések és az évjárártól függően 9,3 és 14,0% között változott, átlagértéke 12,2% volt, melyből a vizsgált 17 aminosav mennyisége a szárazanyagra vonatkoztatva 11,39%-t tett ki, s ezen belül az esszenciális és nem esszenciális aminosavak megoszlása 4,66% és 6,73%. Így az esszenciális és nem esszenciális aminosavak nyersfehérjén belüli aránya 41/59 volt. Szárazanyagra vonatkoztatva a N- és P-ellátottságtól, valamint az évjárártól függően az esszenciális aminosavak mennyisége 3,66% és 5,57% és a nem esszenciális aminosavak mennyisége 9,08% és 12,93% között változott. Az összes aminosav mennyisége g/100 g nyersfehérjére számítva átlagosan 92,11%-ot tett ki, mely viszonylag tág intervallumban, 88,65–97,14% között változott. Az esszenciális aminosavak között a legnagyobb arányt a leucin, a fenilalanin és a valin képviselnek, míg a nem esszenciális aminosavak esetében a glutaminsav, a prolin és az aszparaginsav az uralkodóak. Az árpafehérje kén-tartalmú aminosavakban szegény, a metionin és a cisztin együttes mennyisége a nyersfehérjén belül csak 3,87%.

Két kísérleti év eredményei alapján az mutatható ki, hogy az őszi árpa nyersfehérje-tartalmát és aminosav összetételét a N- és P-ellátottság jelentősebben befolyásolta, mint az évjárat.

8. táblázat. Az őszi árpa aminosav összetétele a trágyázási kezelések és a kísérleti évek átlagában (Szarvas, 2006–2007)

| Aminosav (1) | Átlag | Szélsőérték | Átlag | Szélsőérték |
|---|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | (2) | (3) | (2) | (3) |
| | g/100 g szárazanyag (4) | | g/100 g nyersfehérje (5) | |
| Esszenciális aminosavak (EA) (6) | | | | |
| Arginin (7) | 0,56 | 0,39–0,71 | 4,61 | 3,90–5,10 |
| Fenilalanin (8) | 0,63 | 0,48–0,74 | 5,20 | 4,87–5,35 |
| Hisztidin (9) | 0,41 | 0,29–0,52 | 3,35 | 2,70–3,95 |
| Izoleucin (10) | 0,48 | 0,34–0,70 | 3,84 | 3,26–4,47 |
| Leucin (11) | 0,86 | 0,70–1,06 | 7,11 | 6,72–7,75 |
| Lizin (12) | 0,47 | 0,38–0,53 | 3,83 | 3,53–4,33 |
| Metionin (13) | 0,22 | 0,15–0,25 | 1,69 | 1,44–1,93 |
| Treonin (14) | 0,41 | 0,34–0,47 | 3,36 | 3,26–3,98 |
| Valin (15) | 0,62 | 0,45–0,81 | 5,05 | 4,31–6,03 |
| Összesen (EA) (16) | 4,66 | 3,66–5,57 | 38,04 | 35,44–40,38 |
| Nem-esszenciális aminosavak (NEA) (17) | | | | |
| Alanin (18) | 0,53 | 0,45–0,59 | 4,36 | 4,14–4,87 |
| Aszparaginsav (19) | 0,73 | 0,61–0,81 | 5,97 | 5,34–6,56 |
| Cisztin (20) | 0,27 | 0,21–0,32 | 2,18 | 1,83–2,59 |
| Glicin (21) | 0,49 | 0,41–0,54 | 3,99 | 3,74–4,36 |
| Glutaminsav (22) | 2,63 | 2,11–3,14 | 21,58 | 20,06–22,63 |
| Prolin (23) | 1,20 | 0,77–1,49 | 9,78 | 7,77–12,25 |
| Szerin (24) | 0,51 | 0,43–0,58 | 4,20 | 3,99–4,76 |
| Tirozin (25) | 0,37 | 0,31–0,46 | 3,01 | 2,70–3,26 |
| Összesen (NEA) (26) | 6,73 | 5,31–7,91 | 55,07 | 49,79–58,29 |
| Összes EA+NEA (27) | 11,39 | 9,08–12,93 | 92,11 | 88,65–97,14 |
| EA/NEA arány (28) | 41/59 | 38/62–44/56 | 41/59 | 38/62–44/56 |

Table 8. Amino-acid composition of winter barley averaged over different fertilisation treatments and years of experiment (Szarvas, 2006–2007). (1) Amino-acids, (2) Mean, (3) Extreme value, (4) g per 100 g dry matter, (5) g per 100 g raw protein, (6) Essential amino-acids, (7) Arginine, (8) Phenylalanine, (9) Histidine, (10) Isoleucine, (11) Leucine, (12) Lysine, (13) Methionine, (14) Threonine, (15) Valine, (16) Total EA, (17) Non-essential amino-acids, (18) Alanine, (19) Asparagine acid, (20) Cystine, (21) Glycine, (22) Glutamine acid, (23) Proline, (24) Serine, (25) Tyrosine, (26) Total NEA, (27) Total EA+NEA, (28) EA/NEA ratio

A szarvasi kísérletekben a trágyázási kezelések és a kísérleti évek átlagában kapott aminosav összetételek (g/100 g fehérje) jó egyezőséget mutatnak a hazai és nemzetközi irodalomban közölt értékekkel, egy-egy aminosavnál csak kismértékben térve el attól. Ez alól csupán a hisztidin képezett kivételt: a szarvasi tartamkísérletben az irodalomban közöltekénél mintegy 50%-kal nagyobb értéket mutatva.

Köszönetnyilvánítás

A kísérleti eredmények részben az OTKA (T-048816) támogatásával megvalósult kutatási programok keretében születtek.

Irodalom

- Barczak, B.–Knapowski, T.*: 2008. Protein fractional composition in ripening grains of winter barley cultivated under intense fertilization with nitrogen. *Acta Scientiarum Polonorum*. 7. 2: 3–10.
- Bénétrix, F.–Sarraf, A.–Autran, J. C.*: 1994. Effects of genotype and nitrogen nutrition on protein aggregates in barley. *American Association of Cereal Chemists*. 71. 1: 75–82.
- Buzás I.–Fekete A. (szerk.)*: 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. I–II. rész. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- Csapó, J.–Győri, Z.*: 2013. The relation between quality and quantity with respect to quality parameters of Hungarian field crops. *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. 6: 35–44.
- Holopainen, M. U.*: 2015. Composition and structure of barley (*Hordeum vulgare* L.) grain in relation to end uses. Academic dissertation. Faculty of Biological and Environmental Sciences, University of Helsinki.
- Jahn-Deesbach, W.–Schipper, A.*: 1982. Über die Änderungen der Aminosäuren-Gehalte in Gerste bei steigenden Rohproteingehalten. *Landwirtschaft Forschung*. 35. 3–4: 153–161.
- Izsáki Z.*: 2015. A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei I. 1990–2010. Kukorica, cukorrépa, zab, olajlen és silócirok tápanyagellátása. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest.
- Izsáki Z.*: 2017. A talaj N-, P- és K-ellátottságának hatása az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) termés hozamára és fehérjetartalmára csernozjom réti talajon. *Növénytermelés*. 66. 4: 1–20.
- Kakuk T.–Schmidt J.*: 1988. Takarmányozástan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

- Kismányoky T.*: 2005. Őszi és tavaszi árpa. [In: Antal J. (szerk.) Növénytermesztés 1. A növénytermesztés alapjai. Gabonafélék.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 244–276.
- Koecler, P.–Wieser, H.*: 2013. Chemistry of cereal grains. [In: Gobetti, M.–Ganzle, M. (eds.) Handbook on sourdough biotechnology.] Springer Science+Business Media. New York. 11–14.
- Konzak, C. F.*: 1977. Genetic variability in the nature and properties of wheat proteins. *Advances in Genetics*. 19: 440–476.
- Lásztity R.*: 1981. Gabonafehérjék. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Lásztity, R.*: 1984. The Chemistry of Cereal Proteins. CRC Press. Boca Raton. USA.
- Linko, R.–Lapvetelainen, A.–Laakso, P.–Kallio, H.*: 1989. Protein composition of a high-protein barley flour and barley grain. *American Association of Cereal Chemists*. 66. 6: 478–482.
- Magyar Takarmánykódex*: 1990. Földművelésügyi Minisztérium és a Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet kiadványa. Budapest.
- Morey, D. D.–Ewans, J. J.*: 1983. Amino acid composition of six grains and winter wheat forage. *Cereal Chemists*. 60. 6: 461–464.
- MSZ 20135*: 1999. A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása.
- MSZ 6830-4*: 1981. Nyersfehérje, nyersfehérje tartalom (Makro-Kjeldahl módszer) meghatározása.
- Pomeranz, Y.–Robbins, G. S.–Smith, R. T.–Craddock, J. C.–Gilbertson, J. T.*: 1976. Protein content and amino acid composition of barleys from the world collection. *American Association of Cereal Chemists*. 53: 497–504.
- Ruiter, J. M.–James, K. A. C.–Johnstone, J. V.–Rea, M. B.*: 1998. The effect of nitrogen management and cultivar on the yield, total protein and amino acid composition of feed barley. *Proceedings Agronomy Society of New Zealand*. 28: 35–45.
- Schmidt J.*: 2004. Az árpa kémiai összetétele. [In: Tomcsányi A.–Turcsányi G. (szerk.) Az árpa. Magyarország Kultúrflórája. VIII. 14.] Akadémiai Kiadó. Budapest. 143–154.
- Shewry, P. R.*: 2009. Improving the protein content and quality of temperate cereals: wheat, barley and rye. [In: Cakmak, I.–Welch, R. M. Impact of agriculture on human health and nutrition.] EOLSS. UK. 1-2: 118–137.
- Sváb J.*: 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- WPSA*: 1989. European table of energy values for poultry feedstuffs. 3rd edition. European Amino Acid Table – WPSA. Published by Working Group No 2 (Nutrition) of the European Federation of Branches of the WPSA.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Izsáki Zoltán

Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar,

Agrártudományi és Vidékfejlesztési Intézet

Szarvas

Szabadság út 1-3.

H-5540

izsaki.zoltan@gk.szie.hu

A SPAD és az NDVI értékek alkalmazhatóságának vizsgálata a relatív klorofilltartalom függvényében kukoricánál

¹SIMKÓ ATTILA - ²BODNÁR KARINA BIANKA - ¹VERES SZILVIA

Debreceni Egyetem MÉK

¹Növénytudományi Intézet, Debrecen

²Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Napjainkban a hazai mezőgazdaságnak a legfontosabb feladata a termelés, és a fenntarthatóság követelményeinek való megfelelés. Erre az egyik legkiválóbb megoldás a precíziós technológiák alkalmazása. Ez kifejezetten igaz a műtrágyázás kapcsán, ami az egyik legköltségesebb beavatkozás, továbbá jelentős környezetvédelmi kockázatot hordoz magában.

A munkánk során a növényi eredetű klorofilltartalom meghatározás két relatív módszerét hasonlítottuk össze, ezzel ajánlást téve a precíziós mezőgazdaság felé. Egy kukorica (*Zea mays* L.) genotípust vizsgáltunk a kísérlet során, szántóföldi körülmények között. A kísérlet során a méréseket két, eltérő termőképességű területen végeztük el. A vizsgálat ideje alatt az időjárási körülmények megegyezők voltak. A relatív klorofilltartalom meghatározását SPAD-502 (Minolta, Japán) és kézi GreenSeeker készülékekkel végeztük. Meghatároztuk a növények abszolút klorofilltartalmát is. A különböző paraméterek felvételezéséhez a növényeket véletlenszerűen választottuk ki. Növényenként négy eltérő korú levelet vizsgáltunk meg. A vizsgálataink alapján a két műszer alkalmasnak bizonyult a tápanyag hiánytünetek detektálására, azonban a műszerek pontossága között eltérést tapasztaltunk. A két készülék által mért értékek szinkronizálása és az eredmények megbízhatóságának vizsgálata segítheti a gazdákat, hogy megfelelő döntést hozzanak a készülékek megvásárlásának kapcsán.

Kulcsszavak: NDVI, SPAD, relatív klorofilltartalom, kukorica

Analysis of the usability of SPAD and NDVI readings in view of the relative chlorophyll content in maize

¹A. SIMKÓ – ²K. B. BODNÁR – ¹SZ. VERES

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management

¹Institute of Crop Sciences, Debrecen

²Institute for Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

Summary

Nowadays one of the most important objectives of the Hungarian agriculture are to produce and keep the principles of sustainability. The integration of precision technologies gives an excellent opportunity for this. This is especially true about fertilisation techniques which are one of the most expensive interventions. Furthermore it includes a large environmental risk.

During our work, we compared two relative methods of the phytogetic chlorophyll content determination and made recommendations for precision farming. A maize (*Zea mays* L.) genotype was examined at two different capability areas in a field experiment. Weather factors were the same during the investigation. SPAD-502 (Minolta, Japan) and a handheld GreenSeeker (Trimble, USA) device were used to determine the relative chlorophyll content. We also defined the absolute chlorophyll content. Plants were randomly chosen for the survey of the different parameters. Four leaves per plant with different ages were involved in our measurements. According to our results, we can conclude that the two devices are suitable for detection of the effects of nutrient deficiencies. However, there are differences in the accuracy of the given devices. The synchronizing of the values measured by the two devices and the investigation of the reliability of results can help farmers and scientists make a better purchase decision.

Key words: NDVI, SPAD, relative chlorophyll content, maize

Исследование возможности применения показателей SPAD и NDVI в функции относительного содержания хлорофилла у кукурузы

¹А. ШИМКО – ²К. Б. БОДНАР – ¹С. ВЕРЕШ

Дебреценский Университет Факультет Сельского Хозяйства,
Науки о Пище и Экологического Менеджмента (МЭК),

¹Институт Биологии, Дебрецен

²Институт Землепользования, Технический и Развития Территорий, Дебрецен

Резюме

В наши дни самой важной задачей отечественного сельского хозяйства является соответствие требованиям устойчивого производства. Одним из самых лучших способов решения этой задачи является применение прецизионных технологий. Это действительно очень важно в связи с использованием искусственных удобрений, одним из самых дорогостоящих вмешательств, и в добавок несёт в себе значительные экологические риски.

В ходе нашей работы сравнивали два релятивных метода определения содержания хлорофилла растительного происхождения, сделав этим рекомендации для прецизионного сельского хозяйства. В ходе опыта исследовали один генотип кукурузы (*Zea mays* L.) в пахотных условиях. В ходе опыта измерения проводили на двух, различной плодородности территориях. Во время исследования погодные условия были одинаковыми. Определение релятивного содержания хлорофилла проводили приборами «SPAD-502» (Minolta, Japán) и ручным «GreenSeeker». Установили также и абсолютное содержание хлорофилла растениями. Для сбора различных параметров растения выбирали случайно. На каждом растении исследовали четыре листа различного возраста. На основе наших исследований оба прибора оказались пригодными для определения признаков отсутствия питательного вещества. Однако в точности приборов обнаружили различия. Синхронизация измеренных двумя приборами показателей и исследование достоверности результатов может оказать помощь фермерам в ходе покупки приборов принять правильное решение.

Ключевые слова: NDVI, SPAD, релятивное содержание хлорофилла, кукуруза

Bevezetés

Napjainkban a mezőgazdaság egyik legfontosabb feladata, hogy a fenntarthatóság szabályait betartva termeljen. A precíziós technológiák termelésbe való bevonása kiváló lehetőséget ad erre. Ez kifejezetten igaz a tápanyagellátás kapcsán, ami az egyik legköltségesebb beavatkozás és ezen felül jelentős környezetvédelmi kockázatot hordoz magában. A precíziós technológiák alkalmazhatóságának az alapja a különböző mérési módszerek validálása. A klorofilltartalom *in situ* meghatározása fontos része a technológiának, mivel az gyors, olcsó és megfelelő minőségű információt ad a tápanyag ellátottságról, különösképp a nitrogén-ellátottságról, és a növények fotoszintetikus kapacitásáról.

A tenyészidőbeli nitrogén-ellátottság meghatározására alkalmazott módszerek közül a leginkább elterjedtebbek a SPAD, illetve az NDVI értékek meghatározása. A vizsgálathoz két relatív klorofilltartalom meghatározására alkalmas eszközt használtunk, a SPAD-502 (Minolta, Japán) és a kézi GreenSeeker (Trimble, USA) készüléket. A GreenSeeker készülék a mért értékeket Normalizált Vegetációs Indexként [Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)] jelzi ki. Korábbi tanulmányok bebizonyították, hogy az NDVI érték alkalmas lehet az aszálystressz-kutatásokban (Adebayo et al. 2014), továbbá a tenyészidőbeli nitrogénstátusz meghatározására kukoricában (Tingting et al. 2015). A GreenSeeker és a SPAD-502 legnagyobb előnye, hogy non destruktívok, továbbá a mérések gyors kivitelezhetősége. Mind a két műszerrel, közvetlenül mérhető a levelek relatív klorofilltartalma, ezáltal közvetve meghatározható a levelek nitrogéntartalma is (Costa et al. 2006). A SPAD-502 két fénykibocsátó diódát és egy detektort használ a leveleken keresztül történő vörös és infravörös fényáteresztés mérésére (Markwell et al. 1995). Az NDVI értéke a kibocsátott közel-infravörös hullámhosszú fény és a látható fény hullámhossz adataiból számítható ki (Shaver et al. 2011). Argenta et al. (2004) szerint a SPAD érték sokkal érzékenyebb a hibákra a kukorica korai fejlettségi fázisaiban, azonban a későbbi fázisokban megbízható. Több tanulmány szerint az NDVI a V10 vegetációs fázis előtt használható hatékonyan a nitrogén-ellátottsági szint értékelésére kukoricában (Martin et al. 2005, Freeman et al. 2007).

A kukorica nagyon érzékeny a nitrogén-ellátásra, így például a virágzáskori nitrogénhiány jelentősen csökkenteti a szemszámot kukorica esetében (Uhart és Andrade 1995), valamint befolyásolja a szár hosszát, illetve a levélfelület méretét is (Zhao et al. 2003). McCullough et al. (1994) szerint az újabb kuko-

rica hibridek kevésbé érzékenyek a nitrogénhiányra, de a nitrogén-kijuttatás még mindig az egyik legfontosabb pontja az agrotechnikának. *Postma et al.* (2014) eredményei azt mutatják, hogy a gyökér laterális irányú növekedésének intenzitása jelentős mértékben függ a rendelkezésre álló nitrátkoncentrációtól. A nitrogént a növények képesek re-mobilizálni a vegetatív szervek között, azonban e tápelem re-mobilizációja nagymértékben függ a genotípus adottságaitól és a rendelkezésre álló nitrogén mennyiségétől (*Ta és Weiland* 1992). A nitrogén-felvétel nagymértékben függ a növények felvételi hatékonyságától (*Mueller és Vyn* 2016), továbbá a különböző fejlettségi állapotokban is eltérő a nitrogén-felvétel (*Beauchamp et al.* 1976).

Jelen munkánk célja, hogy összehasonlítsa a két műszer által mért értéket, eltérő termőképességű területeken a tényleges klorofilltartalommal, illetve az összehasonlításakor korfüggést is értékeljen.

Anyag és módszer

A mérésekre két területet választottunk ki a magyarországi KITE Zrt. által biztosított hozamtérkép alapján. Az „(1) terület” magasabb termőképességgel rendelkezik, ezt sötétszürkével jelöltük a térképen, a „(2) területet” a világosszürke jelöli. Ez utóbbi alacsonyabb termőképességgel rendelkezik (*1. ábra*).

A sötétszürke szín 87,3791 egységet jelöl, míg a világosszürke 63,5714 egységet. A kísérlet során kukorica (*Zea mays* L.) növényeket vizsgáltunk, az alkalmazott genotípus a P9903 nevű hibrid volt. Mind a két területen ugyanabban az időben volt elvetve a kukorica. A növények vizsgálata a virágzási fázisban történt (2017. 07. 11. 10 óra). A fejlődési szakaszt *Hanway* (1963) munkája alapján azonosítottuk. Hat darab véletlenszerűen kiválasztott növényt vizsgáltunk területenként. A növényeken külön-külön elemeztük az eltérő korú leveleket *in situ* módon. A vizsgált levelek lentről felfelé a következők voltak:

- 1 - cső alatti levél,
- 2 - csőlevél,
- 3 - cső fölötti levél,
- 4 - utolsó kifejlett levél.

A relatív klorofilltartalom mérését két különböző műszer segítségével végeztük. A SPAD értéket és az NDVI értéket használtuk a területek adottságainak, a levelek relatív klorofilltartalmára gyakorolt hatásának vizsgálatára. Mind-egyik mérést ugyanazon a levélen végeztük el hatszoros ismétlésben. Az ered-

mények feldolgozására és statisztikai analizésére SigmaPlot 12.0 for Windows programot használtunk.

1. ábra. A terület (Tépe, Szalmáskert) hozamtérképe a két mérési ponttal
 (1) terület: sötétszürke, magas hozam,
 (2) terület: világosszürke, alacsony hozam

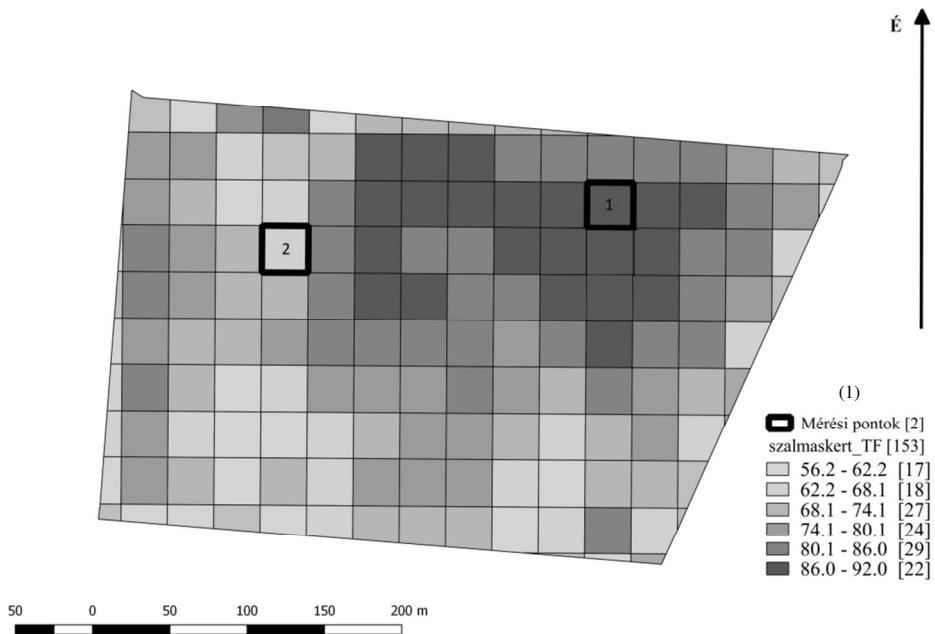


Figure 1. Yield map of the area (Tépe, Szalmáskert) with two measurement points [(1) area: dark grey, high yield, (2) area: light grey, low yield]. (1) Measurement points

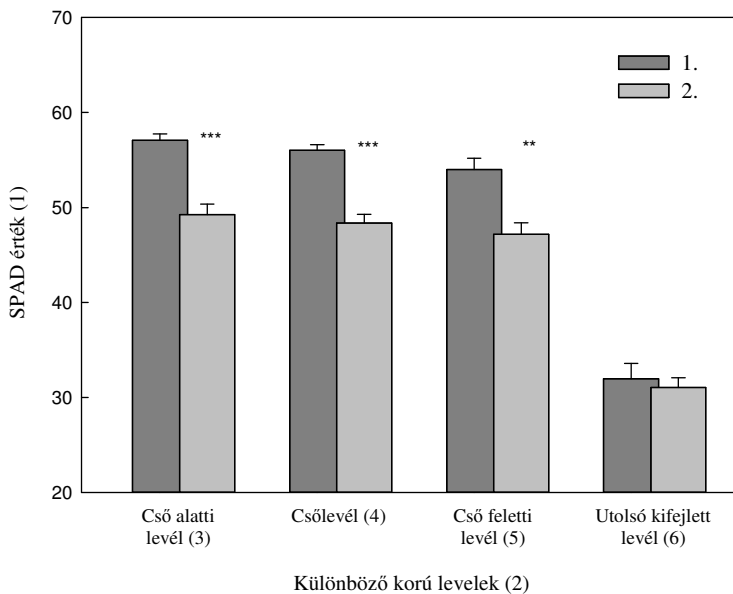
Eredmények

Az általunk mért SPAD érték fokozatosan csökkent az idősebb levéltől a fiatalabbak felé (2. ábra).

Az (1) területen a cső alatti levél és a csőlevél között 1,5% eltérést, a csőlevél és a cső feletti levél között 3,6% eltérést, a cső feletti és az utolsó kifejlett levél esetében 41% különbséget tapasztaltunk a SPAD érték tekintetében. A (2) területen, a cső alatti levél és a csőlevél között 1,8% eltérést, a csőlevél és a cső feletti levél között 2,8% eltérést, a cső feletti és az utolsó kifejlett levél esetében pedig 33% különbséget tapasztaltunk a leveleken mért SPAD értékek között.

Erős szignifikáns eltérést tapasztaltunk a két eltérő termőképességgel jellemezhető terület között. Az alacsonyabb értékkel jellemzett, alacsonyabb termőképességű területen a SPAD érték csökkenését figyeltük meg. A legmagasabb SPAD értéket az (1) terület cső alatti levelein tapasztaltuk 57,08 ($\pm 1,61$) egységgel. Ugyanezen levelek SPAD értéke 49,27 ($\pm 2,68$) volt az alacsonyabb értékkel jellemzett (2) területen. A legalacsonyabb értéket az utolsó kifejlett leveleken tapasztaltuk. Ezek SPAD értéke 31,97 ($\pm 3,97$) volt a (1) területen, és 31,05 ($\pm 2,55$) a (2) területen. E levelek két területen tapasztalt SPAD értékei között nem találtunk szignifikáns eltérést.

2. ábra. A kukorica leveleken (cső alatti levél, csőlevél, cső feletti levél, utolsó kifejlett levél) tapasztalt SPAD érték változása eltérő területeken

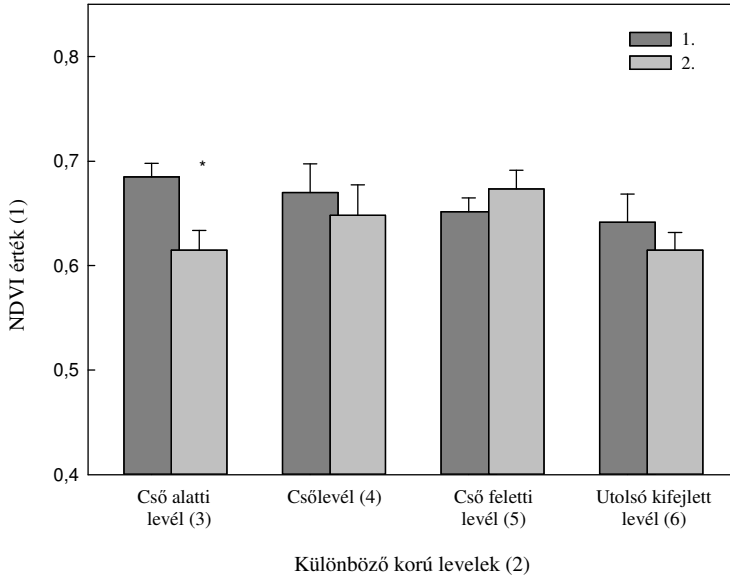


Megjegyzés: 1. - terület (1.), 87,3791 egység, 2. - terület (2.), 63,5714 egység. n=6, \pm s.e. (területek közötti eltérés $p < 0,01^{**}$, $p < 0,001^{***}$).

Figure 2. Change of SPAD readings on different maize leaves (leaf below and above the ear, last fully developed leaf) in different areas. (1) SPAD reading, (2) Leaves of various age, (3) Leaf below the ear, (4) Ear leaf, (5) Leaf above the ear, (6) Last fully developed leaf. Note: 1 - area (1), 87.3791 units, 2 - area (2), 63.5714 units. n=6. \pm s.e. (difference between areas: $p < 0.01^{**}$, $p < 0.001^{***}$).

A 3. ábrán a különböző korú leveleken tapasztalt NDVI értékeket mutatjuk be.

3. ábra. A kukorica leveleken (cső alatti levél, csőlevél, cső feletti levél, utolsó kifejtett levél) tapasztalt NDVI érték változása eltérő területeken



Megjegyzés: 1. - terület (1.), 87,3791 egység, 2. - terület (2.), 63,5714 egység. n=6, ±s.e. (területek közötti eltérés $p < 0,05^*$).

Figure 3. Change of NDVI readings on different maize leaves (leaf below and above the ear, last fully developed leaf) in different areas. (1) NDVI reading, (2) Leaves of various age, (3) Leaf below the ear, (4) Ear leaf, (5) Leaf above the ear, (6) Last fully developed leaf. Note: 1 - area (1), 87.3791 units, 2 - area (2), 63.5714 units. n=6. ±s.e. (difference between areas: $p < 0.05^*$).

A legmagasabb NDVI értéket a cső alatti leveleken mértük az (1) területen, ez $0,69 (\pm 0,032)$ egység volt. Az ugyanilyen korú leveleken tapasztalt érték a (2) területen $0,61 (\pm 0,45)$ volt. A két vizsgálati területen a cső alatti leveleken mért értékek között statisztikailag szignifikáns eltérést fedeztünk fel. A legalacsonyabb NDVI értékeket a (2) területen az utolsó kifejtett leveleken felvételztük. Ebben az esetben a mért érték $0,61 (\pm 0,04)$ volt. Ezekben a leveleken tapasztalt érték az (1) területen $0,64 (\pm 0,065)$. Az NDVI értékei csökkenő tendenciát mutatnak az alsó levelektől az utolsó kifejtett levél irányába. A cső alatti levél és a csőlevél között 2,9% eltérést, a csőlevél és a cső feletti levél között 3% eltérést, a cső feletti és az utolsó kifejtett levél esetében 1,5% különbséget tapasztaltunk az (1) terület esetében. Ilyen tekintetben ellentétes eredményeket tapasztaltunk a (2) területen, mivel ott az NDVI érték folyamatosan növekedett

a cső alatti levéltől a cső fölöttiig. Ezután egy relatív nagymértékű csökkenés figyelhető meg a cső fölötti levél és az utolsó kifejlett levél között. Ebben az esetben az eltérés közel 9% volt a két eltérő korú levélen tapasztalt érték között.

Az eltérő területeken tapasztalt SPAD értékek között 14% különbség figyelhető meg a cső alatti leveleken, míg az NDVI értékek között ugyanezen a levélen 10% eltérést figyeltünk meg. A csőlevelek SPAD értékei szintén 14% eltérést mutattak a két területen tapasztalt értékek alapján, míg az NDVI értékben 3% különbség mutatkozott. A két területen tapasztalt SPAD értékek közötti eltérés 13% volt a cső feletti leveleken. Ezzel szemben az ugyanezek a leveleken mért NDVI értékek között 3% eltérés volt, de ebben az esetben az alacsonyabb értékkel jellemzett (2) területen tapasztaltunk magasabb értéket. Az eltérő területeken tapasztalt SPAD értékek között 2,9% különbség figyelhető meg a cső alatti leveleken, míg az NDVI értékek között ugyanezen a levélen 4,7% eltérést figyeltünk meg. A magasabb értékszámval jellemzett (1) területen az NDVI és SPAD érték hasonló tendenciával csökken az idősebb levelek felől a fiatalabb felé. Az alacsonyabb értékszámval jellemzett (2) területen a cső alatti levél, a csőlevél és a cső feletti levél esetében a két érték között fordított korreláció áll fenn, mivel míg az idősebb levél felől a fiatalabb felé csökken a SPAD értéke, addig az NDVI értéke növekszik.

Következtetések

A SPAD érték mérése alkalmas a tenyészidőszak alatt a nitrogén-ellátottsági szint értékelésére kukorica esetében (*Bullock és Anderson 1998*). A mért SPAD értékek fokozatosan csökkentek az idősebb levelektől a fiatalabbak felé. Ez mind a magasabb, mind az alacsonyabb termőképességgel jellemzett területre igaz. A mért értékek egyértelműen jelzik az (1) terület gyengébb adottságait az idősebb leveleken, azonban az utolsó teljesen kifejlett leveleken mért SPAD értékek között csak kismértékű különbség volt megfigyelhető az (1) és a (2) terület között. Az eltérő területeken tapasztalt SPAD értékek között az utolsó teljesen kifejlett levél kivételével minden vizsgált levél esetében statisztikailag szignifikáns eltérést tapasztaltunk.

Az NDVI (*Ma et al. 1996*) és a SPAD értékek (*Argenta et al. 2004*) is megbízható információkat szolgáltatnak a nitrogénhiányról a tenyészidőszakban. Egy korábbi tanulmányban (*Teal et al. 2006*) már rámutattak, hogy kapcsolat fedezhető fel az NDVI értéke és a szemtermés mennyisége között, és ugyanez

elmondható a SPAD értékre és a termésmennyiségre is (Udo *et al.* 2017). Az NDVI érték csökkenése figyelhető meg az (1) területen az idősebb levelek felől a fiatalabbak felé. A (2) területen ezzel szemben az érték növekedést mutat az idősebb levelektől a fiatalabbak felé az utolsó kifejlett levél kivételével. A két terület NDVI értékeit összehasonlítva alacsonyabb értékek figyelhetők meg a (2) területen, kivétel ez alól a cső fölötti levél. Az NDVI adatok alapján egy esetben, a cső alatti levélen figyeltünk meg szignifikáns eltérést a két terület között.

A levelek relatív klorofilltartalma a levelek öregedésével párhuzamosan növekedett a vizsgált fenofázisban. A SPAD értékek ezt egyértelműen mutatták mind az (1), mind a (2) területen. Az eredményeink alapján a SPAD érték alkalmasnak bizonyult a különböző stresszhatások vizsgálatára, azonban az NDVI érték nem jelezte ezt megbízhatóan az alacsonyabb értékkel jelzett (2) területen. A csökkent relatív klorofilltartalom egyértelműen kimutatható volt mind a két eszközzel az (1) területen. Ezzel szemben óvatosan kell használnunk őket, ha egyéb stressztényezők is befolyásolják a növények fejlődését. Ilyen esetekben ezek a tényezők megzavarhatják az NDVI mérés eredményeit, és ezáltal a műszer nem biztosít megbízható információt a szükséges tápanyag-adag meghatározásához. Eredményeink alapján elmondható, hogy a SPAD mérésére szolgáló eszközünk kevésbé érzékeny a környezeti tényezőkre.

Tanulmányunk alapján megállapítható, hogy a SPAD érték mérésére szolgáló eszközök alkalmasabbak a tudományos kutatási célokra, mint az NDVI értéket mérő eszközök, azonban az NDVI-t mérő különböző eszközök – mint az általunk használt kézi GreenSeeker készülék – megfelelő választást jelenthetnek a gazdák számára, mivel az esetek túlnyomó többségében nem igényelnek olyan pontos információt, mint amit a SPAD nyújthat számukra.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- Adebayo, M. A.–Menkir, A.–Hearne, S.*: 2014. Relationships between normalized difference vegetation index (NDVI) and other traits of tropical testcross maize (*Zea mays* L.) hybrids under drought and wellwatered conditions. *Journal of Applied Agricultural Research*. 6. 2: 173–180.
- Argenta, G.–Silva, P. R. F.–Sangoi, L.*: 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Cienc. Rural* [online]. 34. 5: 1379–1387.
- Beauchamp, E. G.–Kannenber, L. W.–Hunter, R. B.*: 1976. Nitrogen Accumulation and Translocation in Corn Genotypes Following Silking. *Agronomy Journal*. 68: 418–422.
- Bullock, D. G.–Anderson, D. S.*: 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition*. 21: 741–755.
- Costa, C.–Dwyer, L. M.–Dutilleul, P.–Stewart, D. W.–Bao Luo, M.–Smith, D. L.*: 2006. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 24: 1173–1194.
- Freeman, K. W.–Girma, K.–Arnall, D. B.–Mullen, R. W.–Martin, K. L.–Teal, R. K.–Raun, W. R.*: 2007. By-Plant Prediction of Corn Forage Biomass and Nitrogen Uptake at Various Growth Stages Using Remote Sensing and Plant Height. *Agronomy Journal*. 99: 530–536.
- Hanway, J. J.*: 1963. Growth stages of corn. *Agronomy Journal*. 55: 487–492.
- Ma, B. L.–Morrison, M. J.–Dwyer, L. M.*: 1996. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. *Agronomy Journal*. 88: 915–920.
- Markwell, J.–Osterman, J. C.–Mitchell, J. L.*: 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis Research*. 46: 467–472.
- Martin, K. L.–Girma, K.–Freeman, K. W.–Teal, R. K.–Tubana, B.–Arnall, D. B.–Chung, B.–Walsh, O.–Solie, J. B.–Stone, M. L.–Raun, W. R.*: 2005. Expression of Variability in Corn as Influenced by Growth Stage Using Optical Sensor Measurements. *Agronomy Journal*. 99. 2: 384–389.
- McCullough, D. E.–Mihajlovic, M.–Aguilera, A.–Tollenaar, M.–Girardin, P.*: 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. *Canadian Journal of Plant Science*. 74. 3: 471–477.
- Mueller, S. M.–Vyn, T. J.*: 2016. Maize Plant Resilience to N Stress and Post-silking N Capacity Changes over Time. A Review *Front Plant Science*. 7: 53.
- Postma, J. A.–Dathe, A.–Lynch, J. P.*: 2014. The Optimal Lateral Root Branching Density for Maize Depends on Nitrogen and Phosphorus Availability. *Plant Physiology*. 166. 2: 590–602.

- Shaver, T. M.–Khosla, R.–Westfall, D. G.:* 2011. Evaluation of two crop canopy sensors for nitrogen variability determination in irrigated maize. *Precision Agriculture*. 12: 892.
- Ta, C. T.–Weiland, R. T.:* 1992. Nitrogen Partitioning in Maize during Ear Development. *Crop Science*. 32: 443–451.
- Teal, R. K.–Girma, B. K.–Freeman, K. W.–Arnall, D. B.:* 2006. In-season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*. 98: 1488–1494.
- Tingting, X.–Yuxin, M.–Guohua, M.–Khosla, R.–Dali, W.–Hui, S.–Xinxing, X.:* 2015. In-season estimation of spring maize nitrogen status with GreenSeeker active canopy sensor. 2015 – Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics. 390–395.
- Udo, E. F.–Ajala, S. O.–Olaniyan, A. B.:* 2017. Physiological and morphological changes associated with recurrent selection for low nitrogen tolerance in maize. *Euphytica*. 213. 7: 140.
- Uhart, S. A.–Andrade, F. H.:* 1995. Nitrogen Deficiency in Maize: II. Carbon-Nitrogen Interaction Effects on Kernel Number and Grain Yield. *Crop Science*. 35: 1384–1389.
- Zhao, D.–Reddy, K. R.–Kakani, V. G.–Read, J. J.–Carter, G. A.:* 2003. Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*. 257: 205–218.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Simkó Attila – Dr. Veres Szilvia
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*simko.attila@agr.unideb.hu

Bodnár Karina Bianka
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Eltérő arzénformák hatása a fejlődés korai stádiumában lévő napraforgó növény (*Helianthus annuus* L.) szárazanyag-produktumára, valamint foszfor-, kén- és mikroelem-koncentrációjára

¹VÁRALLYAY SZILVIA – ²VERES SZILVIA – ¹BÓDI ÉVA – ¹SOÓS ÁRON – ¹KOVÁCS BÉLA

Debreceni Egyetem MÉK,

¹Élelmiszertudományi Intézet, Debrecen

²Növénytudományi Intézet, Debrecen

varallyay.szilvia@agr.unideb.hu

Összefoglalás

Kutatómunkánkban az As(III)- és As(V)-kezelések hatását vizsgálatuk a növények szárazanyag-produktumára és tápelem-felvételére.

Ebből a célból tápoldatos kísérletet állítottunk be, napraforgó teszt növényvel. A növényeket klímaszobában, szabályozott környezeti feltételek mellett neveltük 21 napon keresztül. A kísérletben 0, 1 és 3 mg/dm³ As(III)-, illetve As(V)-koncentrációkat alkalmaztunk. Az ismétlések száma arzénformánként, valamint kezelési szintenként három volt. Makroelemek közül a foszfor (P), valamint a kén (S), a mikroelemek tekintetében pedig a réz (Cu), vas (Fe), illetve a cink (Zn), molibdén (Mo) és mangán (Mn) mennyiségét elemeztük.

Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy az As(III)-kezelések hatására csökkent az egyes növényi részek szárazanyag-produktuma, az As(V)-dózisok alkalmazásakor szignifikáns változást csak a hajtás esetén mért értékekben figyeltünk meg, melyeknél ugyancsak csökkenés következett be.

A növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések fokozták a kísérleti növény hajtásának, valamint gyökerének P- és S-koncentrációját. Az alkalmazott As(III)- és As(V)-dózisok hatására a vizsgált mikroelemek közül a Cu, Fe és Zn mennyisége a hajtásban visszaesett, ugyanakkor ezen elemek koncentrációja a gyökérben fokozódott.

A napraforgó Mn felvételét mindkét kezelési forma serkentette, melynek következtében szignifikánsan növekvő tendenciát figyeltünk meg a hajtásnál, illetve a gyökérnél mért Mn értékekben. A Mo koncentrációja a hajtásban lecsökkent mindkét arzénforma esetén csakúgy, mint a gyökérben a 3 mg/dm³-es As(V)-kezelés hatására. Az As(III)-dózisok alkalmazásakor azonban azt tapasztaltunk, hogy az alkalmazott legkisebb koncentráció (1 mg/dm³) gyökérben növelte a Mo mennyiségét, ugyanakkor a 3 mg/dm³-es dózis már gátolta a Mo felvételét.

Kulcsszavak: napraforgó, arzén, foszfor, kén, mikroelem, szárazanyag-termék

Effect of different arsenic treatments on the dry mass and uptake of P, S and microelement of sunflower seedlings (*Helianthus annuus* L.) in the early phase of plant development

¹SZ. VÁRALLYAY – ²SZ. VERES – ¹É. BÓDI – ¹Á. SOÓS – ¹B. KOVÁCS
University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management,

¹Institute of Food Sciences, Debrecen

²Institute of Crop Sciences, Debrecen
varallyay.szilvia@agr.unideb.hu

Summary

The objective of our study was to investigate the effect of As(III)- and As(V)-treatments on the dry mass and nutrient uptake of plants.

A nutrient solution experiment was carried out with sunflower seedlings to investigate the effect of the different arsenic forms. Seedlings were grown in climate room under strictly regulated environmental condition for 21 days. The concentration of the As(III)- and As(V)-treatments were 0, 1 and 3 mg dm⁻³. The number of the replications was 3, separately in the case of As(III)- and As(V)-treatments. Among the macro- and mesoelements, the concentration of phosphorus (P) and sulphur (S) was measured. The concentration of copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), molybdenum (Mo) and manganese (Mn) was also determined from the samples.

Based on the obtained data, it was obvious that the dry mass of shoots and roots was reduced as a result of the performed As(III)-treatments. The dry mass of the shoots was also reduced in the case of the As(V)-treatments; however, the dry mass of the roots did not vary significantly under As(V)-stress.

According to the obtained results, the As(III)- and As(V)-treatments increased the concentration of P and S in the shoot and root. The amount of Cu, Fe and Zn in the shoot was reduced; however, the concentration of these element in the root was increased owing to arsenate and arsenite stress. As(III) and As(V) caused increasing tendency in the Mn content of the root and the shoot, respectively. In the case of both As(III)- and As(V)-treatments, it was found that the concentration of Mo was decreased in the shoot. The Mo content in the root was also decreased in the case of the 3 mg dm⁻³ As(V)-treatment. It was also obvious that the 1 mg dm⁻³ As(III)-treatment increased the amount of Mo in the root, even if the uptake of Mo was hampered when the seedlings were treated with 3 mg dm⁻³ As(III).

Key words: sunflower, arsenic, phosphorus, sulfur, microelement, dry mass

Влияние различных форм мышьяка на продукт сухого вещества растения подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) в ранней стадии развития, и на концентрацию фосфора, серы и микроэлементов

¹С. ВАРЯЙАИ – ²С. ВЕРЕШ – ¹Э. БОДИ – ¹А. ШООШ – ¹Б. КОВАЧ

Дебреценский Университет Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище,

Экологического Менеджмента (МÉК),

¹Институт Науки о Пище, Дебрецен

²Институт Ботаники, Дебрецен

varallyay.szilvia@agr.unideb.hu

Резюме

В нашей исследовательской работе исследовали влияния обработок As(III)-ом и As(V)-ом на продукцию сухого вещества растений и на усвоение ими питательных элементов.

С этой целью установили опыт с питательным раствором с тест-растением подсолнечник. Растения выращивали в климатической комнате, в регулируемых условиях окружающей среды в течении 21 дня. В опыте применяли концентрации 0, 1 и 3 mg/dm³ As(III) и As(V). Число повторений было три по каждой форме мышьяка, и на каждом уровне обработок. Среди макроэлементов анализировали количество фосфора (P), а также серы (S), а в отношении микроэлементов анализировали количество меди (Cu), железа (Fe), а также цинка (Zn), молибдена (Mo) и марганца (Mn).

На основании результатов установили, что под влиянием обработок As(III)-ом уменьшилась продукция сухого вещества отдельных частей растения, а при применении доз As(V) значительное изменение заметили только в случае побегов в показателях, у которых также последовало и уменьшение.

Обработки с увеличивающейся концентрацией As(III) и As(V) увеличили концентрацию P и S в побегах опытного растения, а также в его корнях. Под влиянием применяемых доз As(III) и As(V) среди исследованных микроэлементов количество Cu, Fe и Zn в побегах уменьшилось, в то же время концентрация этих элементов в корне увеличилась. Усвоение подсолнечником Mn обе формы обработки стимулировали, в результате чего наблюдали значительно растущую тенденцию в побегах, а также в показателях измеренного в корнях Mn. Концентрация Mo в побегах уменьшилась в случае двух форм мышьяка также, как и в корне под влиянием обработок 3 mg/dm³ As(V)-ом. При применении доз As(III)-ом однако наблюдали то, что использованная самая маленькая концентрация (1 mg/dm³) увеличила количество Mo, в то же время доза 3 mg/dm³ уже препятствовала усвоению Mo.

Ключевые слова: подсолнечник, мышьяк, фосфор, сера, микроэлемент, продукция сухого вещества

Bevezetés

A talaj, valamint a talajvíz antropogén, illetve természetes eredetű arzén szennyezettsége a világ számos részén problémát jelent.

Az arzén mérgező hatása már régóta ismert, toxicitása elsősorban kémiai módosulatótól függ és csak másodsorban a koncentrációjától.

A talajban elsősorban szervetlen formában, mint arzenit [As(III)] és arzenát [As(V)] található meg (*Mandal és Suzuki 2002*). Kisebb mennyiségben szerves arzénformák is előfordulhatnak, ezek jelenléte elsősorban herbicid szennyezésre utal, hiszen az MMA (monometil-arzonsav), illetve a DMA (dimetil-

arzinsav) nátrium és ammónium sóit, mint posztemergens gyomirtó szerek használták (Woolson 1973).

A felszín alatti vizekben az arzén főként szerves formában fordul elő, metilézett arzénszármazékok jelenléte nem jellemző (Harrington *et al.* 1978).

A különböző arzénformák toxicitásának tekintetében a szerves toxikusabbak, mint a szervesek. A szerves arzén vegyületek közül pedig az As(III) toxikusabb, mint az As(V) (Ullrich-Eberius *et al.* 1989).

A növényi szervezetbe bejutva az arzén számos metabolikus folyamatot képes gátolni (Zhao *et al.* 2009), mely fejlődési rendellenességek kialakulását indukálhatja. Az arzén toxicitás tünete lehet többek között a gyökér sárgásbarnás elszíneződése, illetve a termés méretének zsugorodása (Kabata-Pendias 2010). Csökkenhet a magvak csírázóképesége (Castillo-Michel *et al.* 2007), valamint a növényi biomassa tömege (Carbonell-Barrachina *et al.* 1997), a leveleken – az antocianin megnövekedett mennyiségének köszönhetően – lilás elszíneződés jelentkezhethet (Kabata-Pendias 2010).

Mindez feltételezhetően összefüggésbe hozható azzal is, hogy az arzén hatással lehet a növények növekedéséhez/fejlődéséhez szükséges makro- és mikrotápelemek felvételére is. Farnese *et al.* (2014) kísérletük során arzenáttal kezelték víziszlót (*Pistia stratiotes* L.), melynek következtében a kontroll növény esetén tapasztalt értékhez képest a növény gyökerének Mg-koncentrációjában csökkenés következett be. A növekvő koncentrációjú arzén-kezelés víziszlót (*Ipomoea aquatica* L.) levelének és szárának Mg-tartalmában hasonló változást indukált, valamint csökkentette az említett növényi szövetek Cu-tartalmát is (Shaibur *et al.* 2009). Arzén-kezelés hatására a különböző növényi szövetekben jelenlévő Mn-koncentráció kapcsán a következő növények gyökerében növekedés volt megfigyelhető: sárga csillagfürt (*Lupinus luteus* L.), kukorica (*Zea mays* L.) és taréjos tarackbúza (*Agropyron pectinatum* L.). Ugyanakkor a földfeletti részeknél csak a sárga csillagfürt és a kukorica esetén volt növekvő tendencia megfigyelhető, a taréjos tarackbúza hajtásának Mn-koncentrációja csökkent (Najmowicz *et al.* 2010). Az 5 mg/dm³ koncentrációjú arzén-kezelés hidropónikus körülmények között nevelt őszi búza (*Triticum aestivum* L.) gyökerének P-koncentrációját növelte, azonban a magasabb dózisok (15 és 20 mg/dm³) hatására csökkenés volt észlelhető. A mikroelemek mennyiségében bekövetkező változások esetében megállapítható, hogy a növekvő koncentrációjú arzén-kezelések negatívan hatottak az őszi búza hajtásának Zn-, Cu-, valamint Fe-koncentrációjára (Liu *et al.* 2008). Park

et al. (2016) arzenit és arzenát kezelések lúdfüve (*Arabidopsis thaliana* L.) gyakorolt hatásának vizsgálata során megállapították, hogy mindkét szervesetlen arzénforma növelte az említett növény Ca- és Fe-koncentrációját, ugyanakkor csökkentette a K-koncentrációját. *Kádár* (2012) szántóföldi kísérletében zöldborsó növényt alkalmazva azt tapasztalta, hogy a növekvő koncentrációjú (0, 30, 90 és 270 mg/kg) As-kezelés hatására megnőtt a szár, illetve a 30 mg/kg-os kezelés esetén tapasztaltaktól eltekintve a borsóhévely Mn-koncentrációja. A szár és a borsóhévely S-koncentrációjában ugyancsak növekedést tapasztalt a 90–270 mg/kg-os dózisos esetében.

Az előzőekben leírtakból adódóan célkitűzésünk volt annak vizsgálata, hogy a különböző szervesetlen arzénformák [As(III) és As(V)] milyen hatást gyakorolnak a növények szárazanyag-termékumára, valamint foszfor-, kén- és mikroelem felvételére.

Anyag és módszer

Növénynevelés tápoldaton

A „Bevezetés” fejezetben megfogalmazott cél eléréséhez tápoldatos kísérletet állítottunk a Debreceni Egyetem MÉK Növénytudományi Intézet Növénytani és Növényélettani Csoport klímaszobájában.

Kísérletünk során tesztnövényként napraforgót használtunk, melynek mind élelmezésbeli, mind gazdasági szerepe kiemelkedő jelentőségű.

A növények 21 napig neveltük, mely során a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra, a hőmérséklet periodicitása $25/20 \text{ }^\circ\text{C}$ (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%.

A kísérlet kezdetén a napraforgó magvakat csapvízzel mostuk a csávázószer eltávolításának érdekében, majd 20 percen keresztül $6 \text{ m}/\text{m}\%$ -os H_2O_2 oldatban történő áztatással történt a magvak felületének fertőtlenítése. A fertőtlenített magvakat desztillált vízzel többször átöblítettük, majd csíráztatásukat nedves szűrőpapír közé helyezve $22 \text{ }^\circ\text{C}$ -on végeztük, oly módon, hogy a növények polaritása természetes legyen.

A 2,5–3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket tápoldatra helyzetük (*Lévai és Kovács* 2001), melynek összetétele a következő volt: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl, 0,001 mM MnSO_4 , 0,001 mM ZnSO_4 , 0,0002 mM CuSO_4 , 0,00001 mM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, 0,01 mM

H_3BO_3 . A növények a vasat 0,1 mM Fe-EDTA formájában kapták (Cakmak és Marschner 1990). A növények neveléséhez 1,7 l űrtartalmú edényeket használtunk, melyeket a klímaszobában véletlen blokk elrendezésben helyeztünk el. Egy-egy edénybe négy növény került, a növényeket az edénybe sterilizált szivacs segítségével rögzítettük. A tápoldatok levegőztetése folyamatosan biztosított volt, azok cseréjét hetente két alkalommal végeztük.

Az arzént nátrium-arzenit ($NaAsO_2$) és kálium-dihidrogén-arzenát (KH_2AsO_4) formájában alkalmaztuk, mely során a szükséges koncentrációt arzénra vonatkoztatva számoltuk ki. A kísérletet mind arzenit, mind arzenát esetében 0, 1 és 3 mg/dm³ dózissal állítottuk be. Az ismétlések száma mindkét arzénforma esetén egyaránt három volt.

A kísérlet bontásakor a növények gyökereit 0,1 M HCl oldattal mostuk, majd desztillált vízzel öblítettük.

Száranyag-termék meghatározása

A száranyag-tartalom meghatározásához a növényi mintákat hajtás, valamint gyökér részre bontva Memmert UF 75 típusú szárítószekrényben 65 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, majd szobahőmérsékletre történő visszahűlésüket követően analitikai mérleg (Ohaus) segítségével meghatároztuk azok száraz tömegét.

Elemanalitikai vizsgálatok

A szárított mintákat dörzsmozsár segítségével homogenizáltuk, majd az elemanalitikai vizsgálatokhoz a Kovács *et al.* (1996) által kidolgozott HNO_3 - H_2O_2 -os nedves roncsolásos minta-előkészítési módszert alkalmaztuk. Amennyiben nem állt rendelkezésre megfelelő mintamennyiség, a szárított, homogenizált mintákból 0,1±0,001 g-ot mértünk be hőálló kémcsövekbe és ezzel arányosan a HNO_3 és a H_2O_2 -mennyiségét is csökkentettük 1 cm³-re (HNO_3), illetve 0,3 cm³-re (H_2O_2).

A minták elemtartalmát iCAP 6300 Dual View (Thermo Fisher Scientific) típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES), valamint Thermo Scientific X-Series 2 Quadrupole típusú induktív csatolású plazma tömegspektrométer (ICP-MS) segítségével vizsgáltuk.

Vizsgálatunk tárgyát makroelemek közül a foszfor (P) és a kén (S) képezte, míg a mikrotápelemek esetében a réz (Cu), vas (Fe), mangán (Mn), molibdén (Mo) és cink (Zn) mennyiségét határoztuk meg.

Statistikai módszer

Az eredményeket az SPSS 22.0 statisztikai program segítségével értékeltük. A paraméterek és az egyes tényezők közötti összefüggés statisztikai vizsgálatához egytényezős varianciaanalízist és Duncan-féle tesztet használtunk. 5%-os P-érték alatt tekintettük az eltéréseket szignifikánsnak. Az azonos szinten, de eltérő formában történő arzén-kezelés hatásának összehasonlítására két mintás T-próbát alkalmaztunk (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Eredmények

Növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatása tápoldaton nevelt napraforgó szárazanyag-produktumára

A tápoldaton nevelt napraforgó növények szárazanyag-produktumában bekövetkező változásokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. As(III)- és As(V)-kezelések hatása napraforgó növény szárazanyag-produktumára

| As-kezelés (mg/dm ³) (1) | Napraforgó növény szárazanyag-produktuma (g/növény) (2) | | | |
|--|--|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | Hajtás (3) | | Gyökér (4) | |
| | As(III) | As(V) | As(III) | As(V) |
| 0 | 0,811±0,208 ^a | 0,811±0,208 ^a | 0,228±0,025 ^a | 0,228±0,025 ^a |
| 1 | 0,498±0,055 ^b | 0,567±0,068 ^{b*} | 0,191±0,018 ^b | 0,205±0,026 ^a |
| 3 | 0,399±0,024 ^b | 0,522±0,111 ^{b*} | 0,167±0,005 ^c | 0,215±0,031 ^{a**} |

Megjegyzés: az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzénkezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Table 1. Effect of As(III)- and As(V)-treatments on the dry weight of sunflower seedlings. (1) As-treatments (mg dm⁻³), (2) Dry weight of sunflower (g plant⁻¹), (3) Shoot, (4) Root, Note: means followed by the same letter within columns, separately in the case of As(III) and As(V) and in the case of shoot and root, were not significantly different ($P \leq 0.05$). Means followed by * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ within columns were significantly different between the effect of As(III) and As(V) at the same level, separately in the case of shoot and root.

A növekvő koncentrációjú As(III)-kezelések hatására lecsökkent mind a napraforgó gyökerének, mind a hajtásának szárazanyag-produktuma. Az As(V)-dózisok esetében a hajtás száraztömege ugyancsak szignifikánsan lecsökkent,

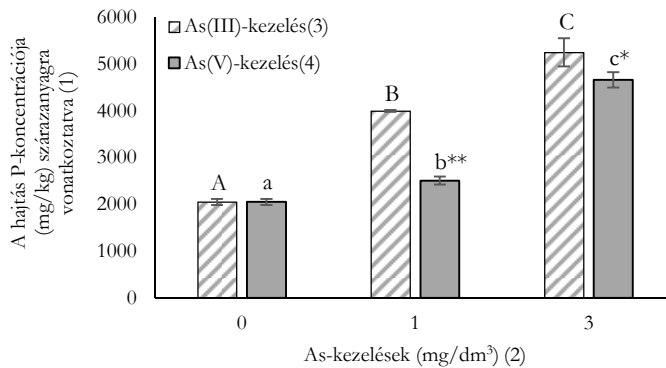
jelentős mértékű változást a gyökér száraztömegében az alkalmazott As(V)-kezelések azonban nem idéztek elő.

Megállapítottuk továbbá, hogy az As(III)-kezelések a hajtásnál minden esetben szignifikánsabban alacsonyabb szárazanyag-terméket eredményeztek, mint az As(V)-dózisok. A gyökérnél hasonló jellegű tendencia volt megfigyelhető a 3 mg/dm³-es kezelések esetében.

Növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatása tápoldaton nevelt napraforgó foszfor és kén felvételére

A tápoldaton nevelt napraforgó egyes részeinek P-, valamint S-koncentrációját a különböző koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések az esetek nagy részében jelentősen befolyásolták, ahogyan azt a 1–4. ábrák is szemléltetik.

1. ábra. As(III)- és As(V)-kezelések hatása napraforgó hajtásának P-koncentrációjára



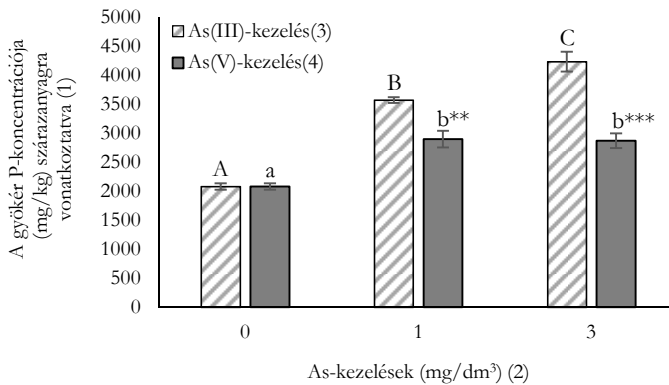
Megjegyzés: az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések hatása között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzénkezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Figure 1. Effect of As(III)- and As(V)-treatments on the P-concentration of shoot. (1) P-concentration of shoot based on dry weight (mg kg⁻¹), (2) As-treatments (mg dm⁻³), (3) As(III)-treatments, (4) As(V)-treatments. Note: the same letter, separately in the case of As(III)- and As(V)-treatments, means that there were not significantly different between the effect of the treatments ($P \leq 0,05$). Columns followed by * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ means that there were significantly different between the effect of As(III) and As(V) at the same level.

A tesztnövényként alkalmazott napraforgó növény egyes részeinek P-koncentrációját a kontrollhoz viszonyítva mindkét arzénforma serkentette. Amíg a kontroll növény hajtásának P-koncentrációja 2057±65 mg/kg volt, addig

ez az érték az 1 mg/dm³-es As(III)-kezelés hatására 4003±22 mg/kg-ra, a 3 mg/dm³-es As(III)-kezelésnél pedig 5257±300 mg/kg-ra emelkedett meg. Az azonos szinten, de eltérő formában történő kezeléseknél szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni az As(III)- és As(V)-kezelések hatása között, azt tapasztaltuk ugyanis, hogy az 1 és 3 mg/dm³-es As(V)-kezeléseknél kisebb mértékben emelkedett meg a hajtás P-koncentrációja, mint az As(III)-dózisok alkalmazásakor. Az 1 mg/dm³-es As(V)-kezelésnél 2510±86 mg/kg-os, a 3 mg/dm³-es As(V)-szintnél pedig 4669±164 mg/kg-os P-koncentrációt mértünk. A gyökér tekintetében hasonló jellegű változásokat figyeltünk meg. Amíg a kontroll növény 2086±56 mg/kg-os P-koncentrációját az alkalmazott legkisebb (1 mg/dm³) As(III)-dózis 3577±48 mg/kg-ra növelte meg, addig az ugyanilyen koncentrációjú As(V)-kezelésnél 2901±144 mg/kg-os értéket detektáltunk. A 3 mg/dm³-es kezelési szint esetében az As(III) alkalmazásakor 4237±172 mg/kg-os, az As(V)-dózisoknál pedig 2874±127 mg/kg-os P-koncentrációt tapasztaltunk (2. ábra).

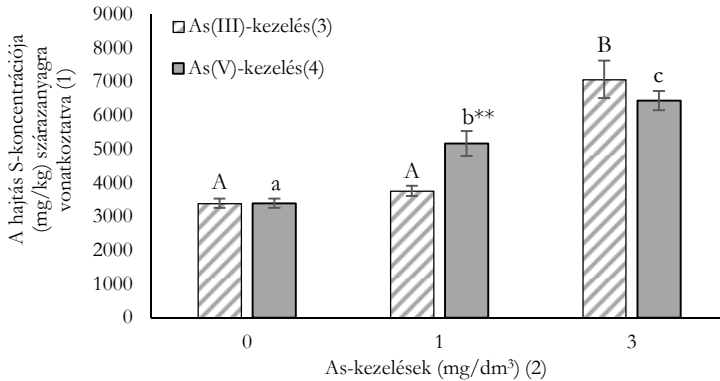
2. ábra. As(III)- és As(V)-kezelések hatása napraforgó gyökerének P-koncentrációjára



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések hatása között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzénkezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Figure 2. Effect of As(III)- and As(V)-treatments on the P-concentration of root. (1) P-concentration of root based on dry weight (mg kg⁻¹), (2) As-treatments (mg dm⁻³), (3) As(III)-treatments, (4) As(V)-treatments. Note: the same letter, separately in the case of As(III)- and As(V)-treatments, means that there were not significantly different between the effect of the treatments ($P \leq 0,05$). Columns followed by * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ means that there were significantly different between the effect of As(III) and As(V) at the same level.

3. ábra. As(III)- és As(V)-kezelések hatása napraforgó hajtásának S-koncentrációjára



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések hatása között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzénkezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

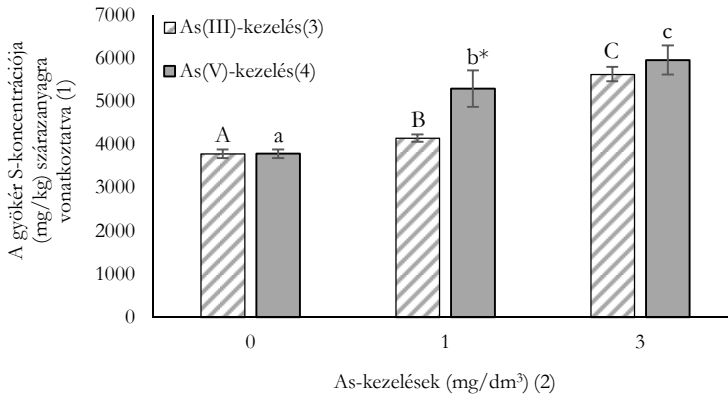
Figure 3. Effect of As(III)- and As(V)-treatments on the S-concentration of shoot. (1) S-concentration of shoot based on dry weight (mg kg^{-1}), (2) As-treatments (mg dm^{-3}), (3) As(III)-treatments, (4) As(V)-treatments. Note: the same letter, separately in the case of As(III)- and As(V)-treatments, means that there were not significantly different between the effect of the treatments ($P \leq 0,05$). Columns followed by * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ means that there were significantly different between the effect of As(III) and As(V) at the same level.

A kísérleti növény gyökerének S koncentrációját a kontrollhoz képest ugyancsak fokozta mindkét kezelési forma (4. ábra), azonban amíg a hajtás S-koncentrációja az As(V)-kezelések esetén szignifikánsan növekvő tendenciát mutatott, addig az As(III)-mal kezelt növények hajtásának S koncentrációja jelentősen csak a 3 mg/dm^3 -es dózis hatására emelkedett meg (3. ábra).

A kezeletlen növény hajtásának S-koncentrációja 3398 ± 139 mg/kg volt, mely az alkalmazott As(III)-dózisok hatására 3764 ± 154 mg/kg -ra, illetve 7077 ± 558 mg/kg -ra, az As(V)-kezelések esetében pedig 5173 ± 373 mg/kg -ra, valamint 6448 ± 285 mg/kg -ra emelkedett. A kontroll növény gyökerének S-koncentrációja 3788 ± 101 mg/kg -volt, ehhez képest az As(III)-kezeléseknél 4150 ± 87 mg/kg -os és 5632 ± 165 mg/kg -os értéket, az As(V)-dózisoknál pedig 5297 ± 422 mg/kg -os és 5957 ± 335 mg/kg -os S-koncentrációkat mértünk.

Az azonos szintű, de eltérő formájú kezelések hatása között szignifikáns különbséget mind a gyökérnél, mind a hajtásnál csak a 1 mg/dm^3 -es kezelésnél tapasztaltunk.

4. ábra. *As(III)- és As(V)-kezelések hatása napraforgó gyökerének S-koncentrációjára*



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések hatása között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzénkezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Figure 4. Effect of As(III)- and As(V)-treatments on the S-concentration of root. (1) S-concentration of root based on dry weight (mg kg^{-1}), (2) As-treatments (mg dm^{-3}), (3) As(III)-treatments, (4) As(V)-treatments. Note: the same letter, separately in the case of As(III)- and As(V)-treatments, means that there were not significantly different between the effect of the treatments ($P \leq 0,05$). Columns followed by * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ means that there were significantly different between the effect of As(III) and As(V) at the same level.

Növekvő koncentrációjú As(III)- és As(V)-kezelések hatása tápoldaton nevelt napraforgó mikroelem felvételére

Az As(III)- és As(V)-kezelések a kísérleti növények mikroelem összetételére is jelentős hatással voltak (2. táblázat).

A gyökér, illetve a hajtás mikroelem összetételében jelentkező változásokat összevetve megállapítható, hogy az As(III)- és As(V)-kezelések hatására a hajtás Cu, Fe és Zn koncentrációja lecsökkent, a gyökér esetén azonban ezen elemek akkumulációja felerősödött. Meg kell jegyezni azonban, hogy az As(III)-kezelések esetében a gyökér Cu-, valamint Zn-koncentrációjában statisztikailag igazolható növekedést csak a 3 mg/dm^3 -es dózis esetén tudtunk kimutatni, az alkalmazott legkisebb (1 mg/dm^3) kezelés a kontrollhoz viszonyítva szignifikáns változást nem okozott.

Megfigyeltük továbbá azt is, hogy a tápoldat növekvő As-tartalma pozitívan hatott mind a hajtás, mind a gyökér Mn-koncentrációjára, mindkét kezelési forma szignifikánsan növekvő tendenciát eredményezett. Mindez összhang-

ban van *Najmowicz et al.* (2010) megfigyeléseivel, miszerint a kijuttatott As serkentette a sárgavirágú csillagfűrt, valamint a kukorica Mn felvételét.

2. táblázat. *As(III)- és As(V)-kezelések hatása napraforgó növény mikroelem-koncentrációjára*

| As-kezelés (mg/dm ³) (1) | Napraforgó növény mikroelem-koncentrációja (mg/kg) szárazanyagra vonatkoztatva (2) | | | | | |
|--|--|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn | |
| | Hajtás (3) | | | | | |
| As(III) | 0 | 7,16±0,32 ^a | 101±3 ^a | 23,8±1,1 ^a | 2,68±0,04 ^a | 23,7±1,0 ^a |
| | 1 | 3,40±0,13 ^b | 57,9±7,0 ^b | 29,1±0,3 ^b | 1,32±0,11 ^b | 10,6±0,4 ^b |
| | 3 | 4,59±0,20 ^c | 70,8±7,0 ^c | 37,4±2,0 ^c | 1,08±0,12 ^c | 17,0±0,8 ^c |
| As(V) | 0 | 7,16±0,32 ^a | 101±3 ^a | 23,8±1,1 ^a | 2,68±0,04 ^a | 23,7±1,0 ^a |
| | 1 | 4,47±0,14 ^{b**} | 46,4±1,4 ^b | 26,1±1,1 ^{b*} | 1,02±0,11 ^{b*} | 10,5±0,5 ^b |
| | 3 | 4,78±0,28 ^b | 55,8±5,3 ^{b*} | 39,2±0,7 ^c | 1,23±0,11 ^b | 12,3±0,8 ^{c**} |
| | | Gyökér (4) | | | | |
| As(III) | 0 | 11,6±0,2 ^a | 181±5 ^a | 2,50±0,03 ^a | 2,68±0,01 ^a | 29,4±1,0 ^a |
| | 1 | 11,6±0,2 ^a | 727±21 ^b | 9,04±0,12 ^b | 3,29±0,03 ^b | 31,8±0,4 ^a |
| | 3 | 13,1±0,4 ^b | 656±28 ^c | 24,4±1,2 ^c | 2,08±0,12 ^c | 63,0±2,5 ^b |
| As(V) | 0 | 11,6±0,2 ^a | 181±5 ^a | 2,50±0,03 ^a | 2,68±0,01 ^a | 29,4±1,0 ^a |
| | 1 | 15,2±0,8 ^{b**} | 786±40 ^b | 28,7±1,1 ^{b***} | 2,71±0,20 ^{a*} | 34,3±1,5 ^b |
| | 3 | 15,3±0,4 ^{b**} | 874±37 ^{b**} | 36,4±1,6 ^{c**} | 2,13±0,03 ^b | 42,7±1,8 ^{c***} |

Megjegyzés: az azonos növényi rész esetén azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($P \leq 0,05$). Szignifikáns különbség azonos szinten, de eltérő formában történő arzénkezelés esetén: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Table 2. Effect of As(III)- and As(V)-treatments on the microelement concentration of sunflower seedlings. (1) As-treatments (mg dm⁻³), (2) Microelement concentration (mg kg⁻¹) of sunflower seedlings based on dry weight (mg kg⁻¹), (3) Shoot, (4) Root, Note: means followed by the same letter within columns, separately in the case of As(III) and As(V) and in the case of the shoot and the root, were not significantly different ($P \leq 0.05$). Means followed by * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ within columns were significantly different between the effect of As(III) and As(V) at the same level, separately in the case of shoot and root.

Azt tapasztaltuk továbbá, hogy amíg az előzőekben említett mikroelemek (Cu, Fe, Mn és Zn) mennyisége az As(III)-, illetve As(V)-kezelések hatására az adott növényi részben azonos irányba változott, addig ez a Mo esetén nem min-

den esetben mondható el. A hajtás Mo-koncentrációja vitathatatlanul lecsökkent mindkét kezelési forma esetén, a gyökér Mo-koncentrációja a 3 mg/dm³-es As(V)-dózis hatására ugyancsak szignifikánsan lecsökkent. Az As(III)-dózisok alkalmazásakor azonban az 1 mg/dm³-es koncentráció növelte, míg a 3 mg/dm³-es kezelés csökkentette a gyökér Mo-koncentrációját.

Következtetések

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a tápoldaton nevelt napraforgó növény hajtásának, valamint gyökerének szárazanyag-produktuma az esetek többségében csökkent az alkalmazott kezelések hatására. Az elemtartalomban több esetben is növekedést figyeltünk meg, melynek mértéke jellemzően meghaladta a szárazanyag-produktumban bekövetkező csökkenés mértékét. Az As(III) szakirodalomban (*Ulrich-Eberius et al.* 1989) leírt toxikusabb hatása megmutatkozik a száraztömeg eredményekben, hiszen a hajtásnál az As(III) mindkét kezelési szint esetében, a gyökérnél pedig a 3 mg/dm³-es dózis tekintetében szignifikánsan alacsonyabb száraztömeg eredményezett, mint az ugyanilyen koncentrációjú As(V)-dózisok.

A fitokelatinok – melyek a toxikus fémionok megkötésében és elkülönítésében szerepet játszó polipeptidek (*Rácz* 2013) – fontos szerepet játszanak a növények esetében a méregtelenítésben. A fémek okozta stressz folyamatok előidézik a fitokelatinok termelődését. A fitokelatinok tiol (-SH) csoportban gazdag peptidek (*Grill et al.* 1985), így feltételezésünk szerint a napraforgó növény hajtásának, valamint gyökerének emelkedett S-koncentrációja összefüggésbe hozható azzal, hogy a fitokelatinok fokozott termelődéséhez elengedhetetlen a megfelelő mennyiségű S jelenléte.

A S mellett a P koncentrációja is megnőtt, mely részben egyezést mutat *Liu et al.* (2008) eredményeivel, ők azt tapasztalták ugyanis, hogy a tápoldaton nevelt őszi búza P-koncentrációja megnőtt abban az esetben, ha a tápoldat As-tartalma legfeljebb 5 mg/dm³ volt.

A gyökérben az alkalmazott As(III)- és As(V)-kezelések hatására megnövekedett Cu-, Fe-, Mn- és Zn-koncentráció feltételezhetően annak köszönhető, hogy az arzén a növényeknél oxidatív stresszt idéz elő, mely során túlzott mértékben keletkeznek reaktív oxigén szabadgyökök (ROS) (*Sharma* 2012). A reaktív oxigén szabadgyökök keletkezése feltehetően jelentős részben a gyökérben zajlik (*Singh és Ma* 2006, *Zhao et al.* 2009), hiszen ez az a növényi rész

ahol az arzén a növényi felvétel során először megjelenik, illetve ahol döntően akkumulálódik (Kumar *et al.* 2015). Oxidatív stressz esetén a keletkezett nagyobb mennyiségű reaktív oxigén szabadgyökök semlegesítésében fontos szerepet játszik a megnövekedett aktivitású antioxidáns enzimrendszer. Az antioxidáns enzimrendszer tagja többek között a Cu-, Fe-, Mn- és Zn is (Gopavajhula *et al.* 2013).

Köszönetnyilvánítás



Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalom

- Cakmak, I.–Marschner, H.: 1990. Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. *Plant and Soil*. 129: 261–268.
- Carbonell-Barrachina, A. A.–Burló, F.–Burgos-Hernández, A.–López, E.–Mataix, J.: 1997. The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants. *Scientia Horticulturae*. 71: 167–176.
- Castillo-Michel, H.–Parsons, J. G.–Peralta-Videa, J. R.–Martinez-Martinez, A.–Dokken, K. M.–Gardea-Torresdey, J. L.: 2007. Use of X-ray absorption spectroscopy and biochemical techniques to characterize arsenic uptake and reduction in pea (*Pisum sativum*) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 45: 457–463.
- Farnese, F. S.–Oliveira, J. A.–Farnese, M. S.–Gusman, G. S.–Silveira, M. N.–Siman, L. I.: 2014. Uptake arsenic by plants: Effects on mineral nutrition, growth and antioxidant capacity. *Idesia (Arica)*. 32: 99–106.
- Gopavajhula, V. R.–Chaitanya, K. V.–Akbar Ali Khan, P.–Shaik, J. P.–Reddy, P. N.–Alanazi, M.: 2013. Modeling and analysis of soybean (*Glycine max.* L) Cu/Zn, Mn and Fe superoxide dismutases. *Genetics and Molecular Biology*. 36: 225–236.
- Grill, E.–Winnacker, E. L.–Zenk, M. H.: 1985. Phytochelatin: the principal heavy metal complexing peptides of higher plants. *Science*. 230: 674–676.
- Harrington, J. M.–Middaugh, J. P.–Morse, D. L.–Houseworth, J.: 1978. A survey of pollution exposed to high concentrations of arsenic in well water in Fairbanks, Alaska. *American Journal of Epidemiology*. 108: 377–385.
- Kabata-Pendias, A.: 2010. *Trace Elements in Soils and Plants* (4th edition). CRC Press. Florida.

- Kádár I.: 2012. A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet. Budapest.
- Kovács, B.–Győri, Z.–Prokisch, J.–Loch, J.–Dániel, P.: 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27: 1177–1198.
- Kumar, D.–Singh, V. P.–Tripathi, D. K.–Prasad, S. M.–Chauhan, D. K.: 2015. Effect of arsenic on growth, arsenic uptake, distribution of nutrient elements and thiols in seedlings of *Wrightia arborea* (Dennst.) Mabb. *International Journal of Phytoremediation*. 23: 128–134.
- Lévai, L.–Kovács, B.: 2001. The influence of IAA and TIBA on iron concentration of maize seedlings. [In: Horst, W. J. (ed.) *Plant Nutrition – Food. Security and Sustainability of Agro- Ecosystem.*] Kluwer Academia Publishers. Netherlands. 154–155.
- Liu, Q.–Hu, C.–Tan, Q.–Sun, X.–Su, J.–Liang, Y.: 2008. Effects of As on As uptake, speciation, and nutrient uptake by winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under hydroponic conditions. *Journal of Environmental Sciences*. 20: 326–331.
- Mandal, K. B.–Suzuki, T. K.: 2002. Arsenic around the world: a review. *Talanta*. 58: 201–235.
- Najmowicz, T.–Wyszokowski, M.–Ciecko, Z.: 2010. Effect of soil contamination with arsenic and application of different substances on the manganese content in plants. *Journal of Elementology*. 15: 549–558.
- Park, J. H.–Han, Y. S.–Seong, H. J.–Ahn, J. S.–Nam, I. H.: 2016. Arsenic uptake and speciation in *Arabidopsis thaliana* under hydroponic conditions. *Chemosphere*. 154: 283–288.
- Rácz I.: 2013. A fehérje-anyagcsere speciális növényi folyamatai. [In: Fodor F. (szerk.) *Növényi anyagcsere élettana.*] Eötvös Loránd Tudományegyetem. Budapest. 263–294.
- Shaibur, M. R.–Islam, T.–Kawai, S.: 2009. Response of leafy vegetable kalmi (water spinach; *Ipomoea aquatica* L.) at elevated concentrations of arsenic in hydroponic culture. *Water Air, and Soil Pollution*. 202: 289–300.
- Sharma, I.: 2012. Arsenic induced oxidative stress in plants. *Biologia*. 67: 447–453.
- Singh, N.–Ma, L. Q.: 2006. Arsenic speciation, and arsenic and phosphate distribution in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. and non-hyperaccumulator *Pteris ensiformis* L. *Environmental Pollution*. 141: 238–246.
- Ullrich-Eberius, C. I.–Sanz, A.–Novacky, A. J.: 1989. Evaluation of arsenate- and vanadate-associated changes of electrical membrane potential and phosphate transport in *Lemna gibba* G1. *Journal of Experimental Botany*. 40: 119–128.
- Woolson, E. A.: 1973. Arsenic phytotoxicity and uptake in six vegetable crops. *Weed Science*. 21: 524–529.
- Zhao, F. J.–Ma, J. F.–Meharg, A. A.–McGrath, S. P.: 2009. Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytologist*. 181: 777–794.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Várallyay Szilvia - Bódi Éva - Soós Áron - Dr. Kovács Béla
Debreceni Egyetem MÉK
Élelmiszertudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Dr. Veres Szilvia
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Fotokémia aktivitás változásának vizsgálata kukoricán

VERES SZILVIA – SIMKÓ ATTILA

Debreceni Egyetem MÉK Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Napjainkban a kukorica az egyik legfontosabb termesztett növény a világon. Felhasználási területe egyre inkább szélesedik (takarmány, élelmiszer, olaj, bioetanol és energia). Ezen növények fiziológiai állapotának detektálás kívánatos, főleg a precíziós növénytermesztés tekintetében.

Munkánk során egy kukorica (*Zea mays* L.) genotípus aktuális (Yield) és potenciális (F_v/F_m) fotokémiai aktivitását mértük és hasonlítottuk össze két eltérő adottságú területen. Vizsgálatainkat a kora reggeli és a déli órákban is elvégeztük, valamint korfüggést is néztünk, azaz mértük az egyed fiatalabb levelét (utolsó teljesen kifejtett) és egy idősebb levelet is (csőlevél).

Eredményeink szerint az F_v/F_m értéke az optimálishoz közeli volt mindkét vizsgált területen a különböző korú leveleknél a kora reggeli órákban. A potenciális fotokémiai hatékonyság értéke a stresszmentes környezetben élő növényeknél 0,83 körüli érték. Ennél kisebb értékek arra engednek következtetni, hogy a növény stressz alatt áll, a PSII reakcióközpontok sérültek, ez azzal áll összefüggésben, hogy csökken az elektronszállítás hatékonysága, mint amikor a növény túlzott fényintenzitás mellett növekszik. A két eltérő területen mért növények paraméterei délben nagyobb különbséget mutattak. Az aktuális fotokémiai aktivitás értéke nagyobb különbséget mutatott a potenciálisnál a két terület függvényében.

Kulcsszavak: fotokémiai aktivitás, II-es fotorendszer, kukorica, tápanyag, Yield, F_v/F_m

Examination of photochemical activity changes in maize

SZ. VERES – A. SIMKÓ

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management, Institute of Crop Sciences, Debrecen

Summary

Today, maize is one of the most important crops in the world. In addition, its range of uses is becoming increasingly wider (forage, food, oil, bioethanol and energy). Detection of physiological conditions of these plants is required in terms of precision crop production.

Potential (F_v/F_m) and actual photochemical efficiency of PSII (Yield) were measured with a PAM-2001 chlorophyll fluorometer on a maize (*Zea mays* L.) genotype at two different levels of nutrient supply in a field experiment. The investigation was set up early in the morning and at noon and in the case of younger (last fully developed) and older (leaf of the main cob) leaves.

The values of F_v/F_m were around the optimum level in the case of both treatment and leaf ages early in the morning. Potential photochemical activity for most plants grown without stress is close to 0.83, lower values suggest that plants are growing under stress and that PSII reaction centers are damaged, which, in turn, is connected with reduced effectiveness of electron transport such as when plants are grown under excess light. The differences of the measured parameters between the treatments were more pronounced at noon. The actual photochemical activity values were more sensitive for treatments, leaf ages and environmental factors.

Key words: photochemical activity, photosystem II, maize, nutrient supply, Yield, F_v/F_m

Исследование изменения фотохимической активности в кукурузе

С. ВЕРЕШ – А. ШИМКО

Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и Экологического Менеджмента, Институт Ботаники, Дебрецен

Резюме

В наши дни кукуруза является одним из самых важных выращиваемых растений в мире. Область её применения всё более расширяется (фураж, пища, масло, биоэтанол и энергия). Исследование физиологического состояния этого растения желательно, в основном, учитывая прецизионное растениеводство.

В ходе нашей работы мы измеряли актуальную (Yield) и потенциальную (F_v/F_m) фотохимическую активность генотипа кукурузы (*Zea mays* L.) и сравнивали на двух различных территориях. Наши исследования мы проводили рано утром и в полдень, также наблюдали и возрастную зависимость, т.е. измеряли более молодой лист особи (последний полностью развитый) и один более старый лист тоже (трубчатый лист).

По нашим результатам показатель F_v/F_m был близко к оптимальному на обоих исследованных территориях у листов разного возраста в ранние утренние часы. Величина потенциальной фотохимической эффективности в безстрессовой обстановке у живых растений была около 0,83. Величины ниже этого показателя дают возможность предположить, что растение находится под стрессом, повредились центры реакции PSII, и в связи с этим связано, что уменьшается эффективность проводности электронов, как когда растение растёт при чрезмерной интенсивности света. Измеренные параметры растений, выращенных на различных территориях, показали большее различие в полдень. Показали большую разность величины актуальной фотохимической активности, чем потенциальной на двух территориях.

Ключевые слова: фотохимическая активность, II-ая фотосистема, кукуруза, питательное вещество, Yield, F_v/F_m

Bevezetés

A különböző környezeti terhelések, stresszhatások által kiváltott kettes fotorendszer (PSII) elektronszállítási hatékonyságának csökkenését a PSII elsődleges fotokémiai folyamataiban bekövetkező bizonyos változásoknak kell kíséreniük, amelyek az *in vivo* klorofill fluoreszcencia mérésekben tükröződnek a leveleken. Az utóbbi évtized során a klorofill-fluoreszcencia indukciós módszer méréseinek lehetősége által jelentős információkhoz jutottunk a fotoszintetikus apparátus felépítésének és szerveződésének tekintetében. Fiziológiailag optimális hőmérsékleten a klorofill fluoreszcencia forrása főleg a kettes fotokémiai rendszer (PSII) (Papageorgiou 1975), melynek mérése fontos eszköze a fotorendszer fotokémiai hatékonyságának a megállapítására. Amikor a levelek olyan felesleges mennyiségű foton intenzitásnak vannak kitéve, melyet a fejlődésük során normál körülmények között nem tapasztaltak, a fotoszintézis fotoinhibíciója, fénygátlása zajlik le, a növénynek védekezni kell a károsodással szemben a felesleges gerjesztési energia átalakításával, semlegesítésével (Krause 1988). Ez a folyamat a fotoszintézis és a kettes fotokémia rendszer fotokémiai hatékonyságának folyamatos csökkenésével jellemezhető (Powles 1984, Winter et al. 1986). Alacsony megvilágítás mellett az abszorbeált foton mennyiségének 97%-a használdik el fotokémiaiilag, 2,5%-a hő, 0,5%-a sugárzódik ki klorofill fluoreszcencia által. Amennyiben a PSII reakcióközpontja zárva van, akkor az abszorbeált fényenergia 95–97%-a hő formájában vezetődik el, 2,5–5,0% pedig fluoreszcencián keresztül. A reakcióközpont zártságának számos oka lehet, így a QA akceptor redukáltsága, vagy a plasztokinon készlet redukáltsága, vagy a túlzottan magas és feleslegben jelenlévő fényintenzitás.

Annak a mértéke, hogy a növényt ért fotonok mennyisége okoz-e ténylegesen gátlást a fotoszintézis menetében, sok külső és belső tényezőtől függ, így a pigment-rendszerek szerkezetétől, akklimációs potenciáljától, a különböző védőmechanizmusok aktivitásától, valamint más stresszfaktorok hatásaitól (Björkman és Demmig-Adams 1994, Dulai et al. 1998). A termőhelyhez való adaptáció eredményeként a növények a magas fényintenzitás hatásait jól tolerálhatják, de más stressztényező felléptekor növekedhet a fotoinhibícióra való érzékenységük, és a CO₂ asszimilációjuk csökkenésével az abszorbeált fényenergia jelentős része feleslegessé válhat (Björkman és Demmig-Adams 1994).

A klorofill fluoreszcencia indukciós görbe paramétereiből számított F_v/F_m érték alkalmas a PSII maximális/potenciális fotokémiai hatékonyságának a

kvantitatív jellemzésére (*Kitajima és Butler 1975, Maxwell és Johnson 2000*). *Kitajima és Butler (1975)* modellje szerint, a gerjesztési energia növekvő nem-sugárzó kibocsátása az antennákban várhatóan a pillanatnyi fluoreszcencia lecsengését, kioltását eredményezi, mivel csökken a fotokémiai munka, fordított hatásként a túlzottan magas fényintenzitásnak köszönhetően az F_0 érték növekedését okozhatja (*Björkman 1987*). A távoli-vörös háttér-megvilágítás alkalmazása, mely oxidálja a plasztokinon készletet, lehetővé teszi a minimális alap-fluoreszcencia (F_0) meghatározását a megvilágított levélben. A PSII aktuális fotokémiai hatékonysága, a Yield (F/F_m') ugyancsak a növény fotoszintetikus állapotát jellemzi, de adott megvilágítás mellett a ténylegesen felhasznált fotokémiai energiát. Ebben az esetben kiemelt fontosságú a fényintenzitás és a hőmérséklet értékeinek a mérése, mert bár egyéb terhelések is befolyással vannak, de e kettő van leginkább hatással a Yield értékére (*Genty et al. 1989*).

A fénygátlás, fotoinhibíció jelensége kifejezettebb, ha más környezeti terhelések, stresszhelyzetek lépnek fel, így például a tápanyaghiány, magas hőmérséklet stb., hiszen ekkor a megnő a felesleges gerjesztési energia aránya (*Björkman és Demmig-Adams 1994*). Napjaink klimatikus körülményei miatt kiszámíthatatlanná válhat a mezőgazdasági növénytermesztés, ugyanakkor a stresszhelyzetek megfelelő és időbeni detektálása – még látható tünet előtti *in vivo* mérésekkel – rövidebb reakcióidővel biztosíthatnánk megoldást a terhelő tényezővel szemben. A klorofill fluoreszcencia indukció módszer *in situ* és *in vivo* végezhető, növényre ártalmatlan megbízható mérésekkel segíti a terhelés/stressz leírását. A kukorica egyre inkább központi termesztett növényünké válik, elsősorban szélesedő felhasználási területei miatt: takarmány, élelmiszer, olaj, bioetanol és fenntartható energia (*Nagy 2010*). Egy megbízható, egyszerű módszer leírása, mely adott körülmények között alkalmas a növényi állapot jellemzésére kiválóan alkalmazható eljárásá válna precíziós növénytermesztés és így a fenntartható mezőgazdaság számára.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat szabadföldi körülmények között végeztük Debrecen közelében (Tépe, Szalmáskert). A mérésekre két területet választottunk ki a KITE Zrt. Magyarország által biztosított hozamterkép alapján. A 'terület (1)' magasabb hozamértékekkel jellemzett, 87,3791 értékszámú, míg a 'terület (2)' alacsonyabb hozamértékű, 63,5714 értékszámú jelölve. Kísérleti növényünk kuko-

rica (*Zea mays* L.) P9903 hibrid volt, mely mindkét területen ugyanazon időben volt elvetve. A méréseket a kukorica virágzási fejlődési fázisában végeztük (VT) a *Hanway* (1963) skála szerint, 2017. július 11-én. Mindkét területen 6–6 növényt választottunk ki a mérésekhez hatszoros ismétlés gyanánt.

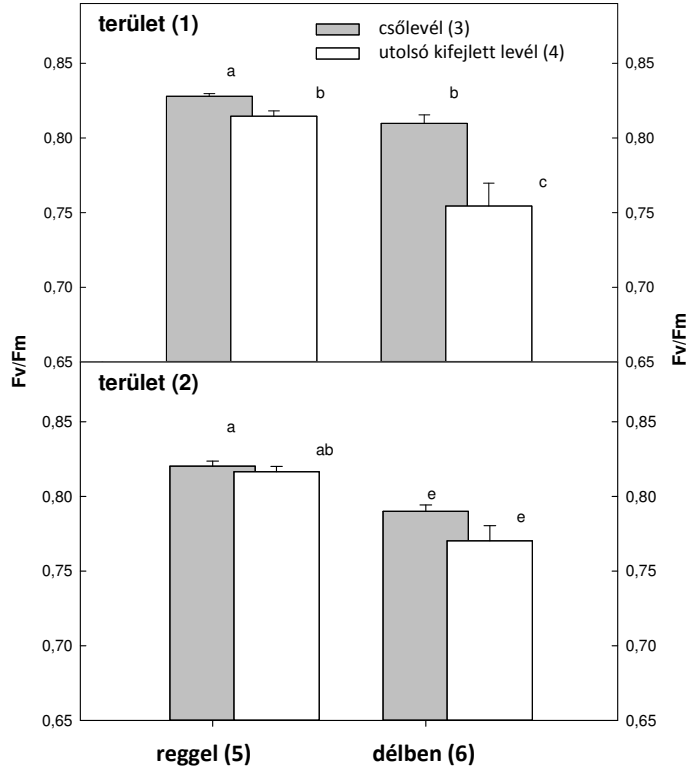
A fotokémiai aktivitásának jellemzéséhez a klorofill fluoescencia indukció módszert alkalmaztuk (*Schreiber et al.* 1986). Az *in vivo* klorofill fluoescenciát, a klorofill fluoescencia indukció gyors szakaszának paramétereit PAM-2001 típusú fluorométerrel (WALZ GmbH, Németország) végeztük. A mérés során a speciális csipeszekkel sötétadaptált (20 perc) mintát gyenge mérőfényvel világítottuk meg ($0,1 \approx \text{mol/m}^2/\text{s}$) és mértük az alap fluoescencia (F_0) szintjét, majd telítési fényimpulzus ($8000 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) alkalmazása után a műszer detektálta a maximális fluoescenciát (F_m). A két paraméter hányadosa, az $(F_m - F_0)/F_m$, azaz az F_v/F_m , mely a PSII fotokémiai hatékonyságának jellemző paramétere (*Maxwell és Johnson* 2000). Sötétítés nélkül, adott fényintenzitás mellett detektáltuk az aktuális fotokémiai hatékonyság ($F/F_m = \text{Yield}$) értékét. A méréseket napon belül két időpontban végeztük: kora reggel (6 óra) és dél körül (11 óra). Továbbá korfüggést is vizsgáltunk, azaz mindkét paramétert mértük fiatalabb (utolsó kifejlett) levélen és idősebb levélen (csőlevél) egyaránt a kiválasztott egyedeken. A kora reggeli órában a hőmérséklet $21,12 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,7$ volt, a fényintenzitás pedig $40,35 \approx \text{mol/m}^2/\text{s} \pm 10,5$. A déli órákban a hőmérsékleti átlag $30,5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,5$, a fényintenzitás értéke pedig $950 \text{ mol/m}^2/\text{s} \pm 45$ volt.

Az eredmények értékeléséhez, a statisztikai analízisekhez (2 ways ANOVA, Tukey teszt) Microsoft Excel 2010 és SigmaPlot 12.0 for Windows programokat használtuk.

Eredmények

Eredményeink szerint a potenciális fotokémiai aktivitás értéke (F_v/F_m) az optimum körüli mindkét vizsgálati területen és mindkét korú levélnél (*1. ábra*). Az utolsó kifejlett levélnek szignifikánsan alacsonyabb az F_v/F_m , mint az idősebb csőlevélnek a terület (1)-en, a reggeli értékek tekintetében. Az alacsonyabb érték ugyan csak 2%-os, de szignifikáns különbséget jelent. A mért paraméter közötti különbség a két terület összehasonlításában délben nagyobb eltérést mutatott. A terület (1)-en az utolsó kifejlett levél deli optimális fotokémiai aktivitás értéke 7%-kal kisebb, mint a csőlevélé, ugyanakkor ez a terület (2) esetében csak 2%.

1. ábra. A PSII potenciális fotokémiai hatékonyságának a változása (F_v/F_m) kukorica cső- és utolsó kifejlett levele esetében reggel és a déli órákban mérve a két eltérő hozammal jellemzett területen [terület (1) és terület (2)]



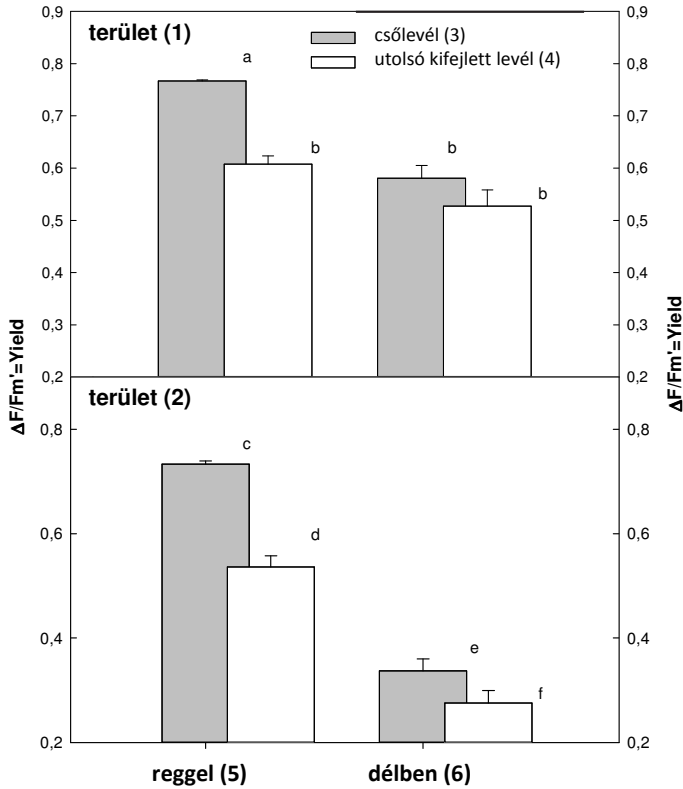
Megjegyzés: $n=6$, \pm s.e. Az azonos betűkkel jelölt oszlopok között nincs szignifikáns különbség $p \leq 0,05$ szinten.

Figure 1. Values of potential photochemical efficiency of PSII (F_v/F_m) of cob leaf and last developed leaf in maize in the morning and at noon in two different site (Site 1 and 2). (1) Site (1), (2) Site (2), (3) Cob leaf, (4) The last fully developed leaf, (5) In the morning, (6) At noon, Note: $n=6$, \pm s.e. Column means followed by the same letter are not significantly different at the $p \leq 0.05$ level.

Napon belül az F_v/F_m érték csökkenését mértük délre mindkét területen és mindkét korú levélnél. A napi csökkenés 3% volt a terület (1)-en és 4% a terület (2)-n a csőlevél esetében. Az utolsó kifejlett levél esetében az F_v/F_m érték napi redukciója 8% volt a terület (1)-en és 6% a terület (2)-n. A reggeli értékeket összehasonlítva nem volt szignifikáns eltérés a területek tekintetében egyik korú levélnél sem.

Az PSII aktuális fotokémiai hatékonyságát jellemző Yield ($\Delta F_v/F_m'$) érték érzékenyebben változott mind a napszak, mind a terület, mind a levél korának függvényében, mint az F_v/F_m értékek (2. ábra).

2. ábra. A PSII aktuális fotokémiai hatékonyságának a változása ($\Delta F_v/F_m'$) kukorica cső- és utolsó kifejtett levele esetében reggel és a déli órákban mérve a két eltérő hozammal jellemzett területen [terület (1) és terület (2)]



Megjegyzés: $n=18$, \pm s.e. Az azonos betűkkel jelölt oszlopok között nincs szignifikáns különbség $p \leq 0,05$ szinten.

Figure 2. Values of actual photochemical efficiency of PSII ($\Delta F_v/F_m' = \text{Yield}$) of cob leaf and last fully developed leaf in maize in the morning and at noon in two different site (Site 1 and 2). (1) Site (1), (2) Site (2), (3) Cob leaf, (4) The last fully developed leaf, (5) In the morning, (6) At noon, Note: $n=18$, \pm s.e. Column means followed by the same letter are not significantly different at the $p \leq 0.05$ level.

Az utolsó kifejtett, fiatalabb levél Yield értéke mindig alacsonyabb a csőlevél Yield értékeinél reggel és délben is mindkét területen. A kisebb érték csak a terület (1)-en és délben mérve nem szignifikáns változás, de tendenciáját tekintve ugyanaz. A különböző korú levelek közötti különbség 2–10% a terület (1)-nél, míg 5–27% a terület (2) esetében. A reggel mért Yield értékek mindig magasabbak, mind a délben mértek, mindkét területen és mindkét korú levélnél.

Értékelés

A klorofill fluoreszcencia indukciós görbének számos paraméterét írták le, melyek jellemzik az adott növény, adott körülmények közötti állapotát. Sötétadaptált mintákban az F_v/F_m érték, mint a PSII potenciális fotokémiai hatékonyságának jellemzője kifejezi a PSII reakció centrumokban maximálisan absorbeálható kvantumok mennyiségét (*Maxwell és Johnson 2000*). Eredményeink szerint napon belüli redukció történt mindkét korú levél F_v/F_m értékében mindkét vizsgált területen. Ugyanakkor kisebb volt a napi különbség a különböző korú levelek (csőlevél és utolsó kifejtett, fiatalabb levél) F_v/F_m értékei között a terület (2)-n, mely alacsonyabb hozamértékkel jellemzett területen egyébként is alacsonyabb F_v/F_m értékeket mértünk. Az F_v/F_m értéke optimális fejlődési körülmények között élő, hajtásos növényeknél $0,832 \pm 0,004$ (*Björkmann és Demming-Adams 1987*), az ennél alacsonyabb értékek azt jelzik, hogy a PSII reakció centrumok egy része károsodott vagy inaktíválódott, azaz fotoinhibíció történt (*Ashraf és Harris 2013*). A terület (2) esetében az optimálisnál kisebb F_v/F_m eredményeket mértünk, mely stresszfaktor(ok) jelenlétét jelzi, nagyobb a felesleges gerjesztési energia aránya, mint ideális körülmények között (*Björkman és Demmig-Adams 1994*). A PSII aktuális fotokémiai hatékonyságának változása nagyobb mértékű volt mindhárom vizsgált szempontból: eltérő hozamértékű területek, korfüggés és napszak hatása, mint a PSII potenciális fotokémiai hatékonyság értékeinél. A cső- és utolsó kifejtett levél közötti Yield értékbeli különbség nagyobb volt a terület (2)-n, mint a terület (1)-en. A terület (2) alacsonyabb hozamértékkel jelölt terület, a Yield eredményeink szerint is, *in vivo* gyors analízissel is kisebb eredményeket kaptunk, mint a terület (1) esetében, azaz alátámasztva a kapott hozamértékeket. A déli csökkent F_v/F_m , de méginkább a csökkent Yield eredményekben nagy szerepe van a déli nagyobb fényintenzitásnak és nagyobb hőmérsékletnek,

ahogyan azt *Björkman és Demmig-Adams* (1994), valamint *Genty et al.* (1989) is leírták. A különböző és komplexen jelenlévő terhelések növelik a felesleges gerjesztési energia mennyiségét, ezzel tovább súlyosbítva a növény állapotát (*Björkman és Demmig-Adams* 1994). A csökkenés mértéke korfüggő volt, ezért nem mindegy, hogy szabadföldi vizsgálatok esetében milyen korú egyedek, illetve egyeden belül milyen korú levelek eredményeit hasonlítjuk össze. Előzetes eredményeink alapján megállapítható, hogy mindkét vizsgált paraméter változása különböző körülmények között további vizsgálatokat igényel, ugyanakkor bizonyítottan jó alapot jelent a precíziós, fenntartható növénytermesztés elveinek való megfelelés felé.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Köszönjük továbbá az „*Üzemmérettől független komplex precíziós szaktanácsadási rendszer kialakítása*” c. GINOP-2.2.1-15-2016-00001 pályázat támogatását.

Irodalom

- Ashraf, M.–Harris, P. J. C.*: 2013. Photosynthesis under stressfull environment: An overview. *Photosynthetica*. 51. 2: 163–190.
- Björkman, O.*: 1987. Low-temperature chlorophyll fluorescence in leaves and its relationship to photon yield of photosynthesis in photoinhibition. [In: Kyle, D. J. et al. (eds.) *Topics in photosynthesis* (vol. 9) *Photoinhibition*.] Elsevier. Amsterdam. 9: 123–144.
- Björkmann, O.–Demmig-Adams, B.*: 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*. 170: 489–504.
- Björkman, O.–Demmig-Adams, B.*: 1994. Regulation of Photosynthetic Light Energy Capture, Conversion, and Dissipation in Leaves of Higher Plants. [In: Schulze, E. D.–Caldwell, M. M. (eds.) *Ecophysiology of Photosynthesis* (chapter 2).] 2: 17–47.
- Dulai, S.–Molnár, I.–Lehoczki, É.*: 1998. Effects of growth temperatures of 5 and 25 °C on long-term responses of photosystem II to heat stress in atrazin resistant and susceptible biotypes *Erigeron canadensis*. *Australian Journal of Plant Physiology*. 25: 145–153.

- Genty, B.–Briantais, J. M.–Baker, N. R.:* 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta.* 990: 87–92.
- Hanway, J. J.:* 1963. Growth stages of corn. *Agronomy Journal.* 55: 487–492.
- Kitajima, M.–Butler, W. L.:* 1975. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplast dibromothymoquinone. *Biochimica et Biophysica Acta.* 173–175.
- Krause, G. H.:* 1988. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective processes. *Physiol. Plant.* 74: 566–574.
- Papageorgiou, G.:* 1975. Chlorophyll fluorescence: an intrinsic probe of photosynthesis. [In: Govindjee, K. (ed.) *Bioenergetics of Photosynthesis.*] Academic Press. New York. 320–371.
- Powles, S. B.:* 1984. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35: 15–44.
- Maxwell, K.–Johnson, G. N.:* 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany.* 51: 659–668.
- Nagy J.:* 2010. A kukoricatermesztés jelene és jövője. *Növénytermelés.* 59. 3: 85–111.
- Schreiber, U.–Schliwa, U.–Bilger, W.:* 1986. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthetic Research.* 10: 51–62.
- Winter, K.–Osmond, C. B.–Hubick, K. T.:* 1986. Crassulacean acid metabolism in the shade. Studies on an epiphytic fern, *Pyrrhosia longifolia*, and other rainforest species from Australia. *Oecologia.* 68: 224–230.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Veres Szilvia – Simkó Attila
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*szveres@agr.unideb.hu

Nitrogénkezelések őszi búza (*Triticum aestivum* L.) agronómiai paramétereire gyakorolt hatása savanyú homoktalajon

¹ZSOMBIK LÁSZLÓ – ²SERES EMESE

¹Debreceni Egyetem AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet, Nyíregyháza

²Fitt Agro Kft., Debrecen

Összefoglalás

Őszi búza kísérletünk célja volt, hogy megvizsgáljuk egy tájfajta alapú extenzív őszi búza vonal (1401HK őszi búza vonal) nitrogén tápanyag-reakcióját gyenge tápanyag-ellátottságú savanyú homoktalajon a fontosabb termésképző elemek, illetve a biomassza-tömeg és a termés vonatkozásában. A vizsgált évjáratok időjárásának kiegyenlítettsége között jelentős különbséget találtunk az őszi búza kritikus fenofázisaiban, mely a vizsgált paraméterekre is jelentős hatást gyakorolt. A kalász hossz, illetve a kalásonkénti magszám tekintetében az évjárat hatása az értékek nagyobb mértékű szórásában, illetve a paraméter csökkenésében is megmutatkozott a 2015/2016 évjáratban. A kalásonkénti mag súly vonatkozásában is nagyobb szórást tapasztaltunk a 2015/2016 évjáratban, ugyanakkor az évjáratok között statisztikailag igazolható különbség a mutató tekintetében nem volt. A nitrogénkezelések közül a nagyadagú nitrogén alkalmazása eredményezett statisztikailag igazolt növekedést a tulajdonság vonatkozásában. Az ezermagtömeg tekintetében a paramétert a szemtelítődés időszakának időjárása határozta meg. A 2015/2016 évjárat szélsőséges időjárása negatív hatást gyakorolt a bokrosodásra homoktalajon, mely a területegységenkénti kalászszám alakulását kritikus mértékben és negatívan befolyásolta, a 2014/2015 évjáratban a területegységenkénti kalászszámot az alkalmazott nitrogén hatóanyag-mennyiség növelése negatívan befolyásolta. A fajlagos biomassza-tömeg tekintetében a 2014/2015 évjáratban az alkalmazott nitrogénkezelések közül az 54 kg/ha hatóanyag-mennyiség alkalmazása eredményezte a legkedvezőbb értéket, 2015/2016 évjáratban a legnagyobb, 108 kg/ha nitrogén-hatóanyag al-

kalmazásakor érték el legnagyobb fajlagos biomassa-tömeget. A termés tekintetében mindkét vizsgált évjáratban szignifikáns műtrágyahatást tapasztaltunk, az alkalmazott hatóanyag-mennyiség növelésével nőtt a betakarított termés mennyisége. A vizsgált két évjárat közül a kedvezőtlen bokrosodási mutatókkal jellemezhető 2015/2016 évjáratban tapasztaltunk jelentősen alacsonyabb termést. A korrelációanalízissel végzett összefüggés vizsgálatok eredményei alapján legtöbb pozitív vagy szoros összefüggést a területegységenkénti kalászszaám vonatkozásában tapasztaltuk. A paraméter szoros pozitív korrelációt mutatott a fajlagos biomassa-tömegeg és a terméssel egyaránt. A kalászhozsa a vizsgált paraméterek közül a kalászonkénti magszámmal mutatott szoros pozitív korrelációt, ugyanakkor a kalászonkénti magszáma a kalászonkénti magsúlyal mutatott szoros pozitív korrelációt. A termés tekintetében meghatározónak bizonyult a fajlagos biomassa-tömeg, illetve a területegységenkénti kalászszaám vizsgálatainkban, de a kalászhozsa is pozitív korrelációt mutatott. A vizsgált paraméterek közül legkevesebb szoros összefüggést a kalászonkénti magszáma, a kalászonkénti magsúly, illetve az ezermagtömeg esetében tapasztaltuk. Az ezermagtömeg közepes pozitív korrelációt mutatott a kalászonkénti magsúly tekintetében, ugyanakkor közepes negatív korrelációt mutatott a területegységenkénti kalászszaámmal. Legerősebb évjárathatást a területegységenkénti kalászszaám (78%), a biomassa-tömeg (71%) és a termés (69%) tekintetében tapasztaltuk. Az ezermagtömeg esetében a nitrogénellátás hatása 40% volt, a kalászparaméterek közül a kalászhozsa tekintetében 46%, a kalászonkénti magszáma vonatkozásában 56% volt a nitrogénellátás hatása a két változót figyelembe véve. A legnagyobb műtrágyahatást a kalászonkénti magsúly tekintetében (82%) tapasztaltuk.

Kulcsszavak: homoktalaj, nitrogén-ellátás, őszi búza, termésképző elem

The effect of nitrogen supply on the agronomical parameters of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on acidic sandy soil

¹L. ZSOMBIK – ²E. SERES

¹University of Debrecen, Institutes for Agricultural Research and Educational Farm,
Research Institute of Nyíregyháza, Nyíregyháza

²Fitt Agro Kft., Debrecen

Summary

The aim of the performed winter wheat experiment was to investigate the nutrient reaction of an extensive winter wheat line (1401HK winter wheat line) on acidic sandy soil with weak nutrient supply, considering the major crop parameters and biomass weight and yield. Significant difference was found between the cropping year, which also had a significant effect on the examined parameters. The effect of the cropping year on ear length and on the number of grains per ear was also expressed; the higher standard deviation and decrease of these parameters were found in 2015/2016. We also experienced a larger deviation in grain weight in the ear in the same year, but there was no statistically justifiable difference in this parameter from different cropping years. Of the different nitrogen treatments, the use of high-dose nitrogen resulted in a statistically significant increase in the grain weight. The thousand grain weight was affected by the weather during the grain filling period. The extreme weather of the 2015/2016 cropping year had a critical and negative effect on the ear number per unit area, in the 2014/2015 cropping year the ear number unit area was negatively influenced by the increasing nitrogen quantity applied. In terms of specific biomass weight, in the 2014/2015 cropping year, application of 54 kg ha⁻¹ nitrogen caused the highest biomass weight, in 2015/2016 cropping year the highest nitrogen content applied (108 kg ha⁻¹) caused the same effect. In terms of yield, significant fertilizer effects were observed both in terms of the examined years, and the applied nitrogen content; the application of increasing nitrogen doses also increased yield. The obtained yield was significantly lower in the 2015/2016 year due to unfavourable tillering characteristics. Based on the correlation analysis results, the majority of positive strong correlations were detected in relation to the ear number per unit area, showing a strong positive correlation with the specific biomass weight and yield. The ear length showed a strong positive correlation with the seed number per ear, and the seed number

per ear showed a close positive correlation with the seed weight in the ear. Considering the yield, the specific biomass weight and the ear number per unit area were shown to be significant, but the ear length also showed a positive correlation with yield. Of the examined parameters, the least close correlation was found on sandy soil, between the seed number per ear, seed weight per ear or thousand grain weight, respectively. Thousand grain weight showed a moderate positive correlation with weight per ear, but showed a moderate negative correlation with the ear number per unit area. The strongest effect of the cropping year was observed on the ear number per unit area (78%), biomass weight (71%) and yield (69%) based on factor analysis. The effect of nitrogen supply was 40% in the thousand grain weight, considering the ear parameters, while its effect had a 46% significance in the ear length and 56% in terms of seed number per ear. The highest fertilizer effect was found in the seed weight per ear (82%).

Key words: sandy soil, nitrogen supply, winter wheat, yield forming element

Влияние, оказанное на агрономические параметры, обработками азотом озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на кислой песчаной почве

¹Л. ЖОМБИК – ²Е. ШЕРЕШ

¹Дебреценский Университет (АКИТ), Ниредьхазский Исследовательский Институт, г.Ниредьхаза

²«Fitt Agro» ООО, г.Дебрецен

Резюме

Целью нашего опыта с озимой пшеницей было изучить реакцию на азотное питательное вещество одной линии экстенсивной озимой пшеницы на основе местного сорта (линия озимой пшеницы 1401НК) на слабообеспеченной питательным веществом кислой песчаной почве в отношении самых главных формирующих урожай элементов и также массы урожая и биомассы. В уравновешенности погоды выращивания в годы исследования были значительные различия в критические фенофазы озимой пшеницы, которые оказали значительное влияние на исследуемые параметры. В отношении длины колоса и числа зёрен на колосе показатели влияния

погоды года выращивания были очень разбросаны и также уменьшение этого параметра проявилось в 2015/2016 году выращивания. В отношении веса зёрен на колосе также обнаружили большее различие в 2015/2016 году, в то же время среди годов выращивания статистически доказуемой разницы касательно этого показателя не было. Среди обработок азотом использование больших доз азота дало статистически подтверждаемый рост в отношении этого свойства. В отношении массы тысячи зёрен этот параметр определила погода периода наливания зерна. Экстремальная погода 2015/2016 года выращивания оказала негативное влияние на кущение на песчаной почве, которое также негативно повлияло в критическом размере на формирование числа колосов на единицу территории, а в 2014/2015 году увеличение действующего вещества азота на единицу территории негативно повлияло на число колосов. В отношении веса удельной биомассы среди использованных в 2014/2015 году доз азота применение количества действующего вещества 54 kg/ha дало самый благоприятный показатель, в 2015/2016 году при использовании самой большой дозы действующего вещества азота 108 kg/ha достигли самого большого веса удельной биомассы. В отношении урожая в оба года исследования обнаружили значительное влияние искусственного удобрения, с увеличением использованного количества действующего вещества росло и количество собранного урожая. Среди двух изучаемых лет выращивания в характеризуемый самыми неблагоприятными показателями кущения 2015/2016 году обнаружили значительно низкий урожай. На основании исследований взаимозависимости, проведённых с корреляционным анализом, обнаружили позитивную или тесную взаимосвязь в отношении числа колосов на единицу территории. Этот параметр показал равным образом тесную позитивную корреляцию с удельным весом биомассы и с урожаем. Длина колоса среди исследованных параметров показала тесную позитивную корреляцию с числом зёрен по колосу, в то же время число зёрен по колосу показало тесную позитивную корреляцию с весом зёрен по колосу. В отношении урожая оказался решающим удельный вес биомассы и число колосов на единицу территории в наших исследованиях, но и длина колоса также показала позитивную корреляцию. Среди исследованных параметров самую маленькую тесную взаимозависимость обнаружили в случае числа зёрен по колосу, весу зёрен по колосу и массы тысячи зёрен. Масса тысячи зёрен показала среднюю позитивную корреляцию относительно веса зёрен по колосу, в то же время показала среднюю негативную корреляцию с числом колосов на единицу территории. Самое сильное влияние года выращивания обнаружили в отношении числа колосов на единицу территории (78%), веса биомассы (71%) и урожая (69%). В отношении массы тысячи зёрен влияние обеспеченности азотом было 40%,

среди параметров колоса в отношении длины колоса влияние обеспеченности азотом было 46%, в отношении числа зёрен по колосу 56%. Самое большое влияние искусственного удобрения обнаружили в отношении веса зёрен по колосу (82%).

Ключевые слова: песчаная почва, обеспеченность азотом, озимая пшеница, плодородный элемент

Bevezetés

A környezeti tényezők mellett az alkalmazott agrotechnikai eljárások is nagymértékben meghatározzák az őszi búza termését. A gyenge víz- és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságokkal jellemezhető homoktalajon ezek a faktorok hatványozottan jelentkeznek, így a genotípusok reakciói intenzívebben jelentkeznek. Az őszi búza kísérlet célja volt, hogy megvizsgáljuk egy tájfajta alapú extenzív őszi búza vonal nitrogén tápanyag-reakcióját savanyú homoktalajon a fontosabb termésképző elemek (kalászhossz, kalásonkénti magszám, kalásonkénti magsúly, produktív bokrosodás, területegységenkénti kalászsorszám, ezermagtömeg) illetve a biomassa tömeg és a termés vonatkozásában. *Royo et al.* (2007) különböző időszakból származó őszi búza genotípusok vizsgálata során a területegységre jutó szemszám lineáris növekedését tapasztalták a régebbi időszakban termesztett genotípusokhoz képest a jelenleg termesztett őszi búza genotípusok esetén. A növényenkénti termés mennyisége az 1945–2000 közötti időszakban 0,36 illetve 0,44%/év mértékben nőtt, a területegységenkénti szemek száma 39, illetve 55%-kal nőtt az olasz, illetve spanyol fajták esetében a vizsgált időszakot alapul véve. A m²-enkénti kalászsorszám értéke a vizsgált időszakban átlagosan 29%-kal nőtt. A területegységenkénti termés mennyiségének növekedése a modern fajták esetén az ezermagtömeg növekedésének volt köszönhető. A genotípus illetve a környezet a területegységenkénti szemek száma mellett a fajlagos hozam tekintetében is meghatározónak bizonyult korrelációvizsgálatok eredményei alapján (*Slafer et al.* 2014). Az agronómiai beavatkozások a m²-enkénti magszám változását eredményezték legnagyobb mértékben, a szemméret változása elhanyagolható mértékű volt. Az állománysűrűség, az alkalmazott nitrogén mennyisége és az alkalmazás idejének hatását vizsgálta száraz és öntözött körülmények között *Otteson et al.* (2007). Az alkalmazott nitrogénszintek, a kijuttatás ideje és az állománysűrűség nem mutatott szignifikáns hatást a termés mennyisége tekintetében, a ge-

notípus azonban jelentős mértékben befolyásolta a betakarított termés mennyiségét. A nitrogén mennyiség növelése szignifikánsan növelte a gabona fehérjetartalmat (GPC) minden kezeléskombinációban. A hektolitersúly (GVW) és az ezermagtömeg (TKW) a nitrogénszint emelkedésével csökkent, erőteljes genotípus hatás mellett. *Pepó* és *Kovacevic* (2011) a hozamokra és a meteorológiai adatokra vonatkozó Pearson korrelációs analízis eredményei alapján 1990–2009 között pozitív korrelációt tapasztaltak a tavaszi csapadék mennyisége és a búza hozama között, illetve negatív összefüggést a tavaszi hőmérséklet és a hozam között. Az eredmények azt mutatták, hogy a hozamokat nemcsak az időjárási viszonyok, hanem számos más tényező (pl. vetésforgó, talajművelés, trágyázás, fajta, növényvédelem) határozzák meg. *Szentpétery et al.* (2007) a nitrogénalkalmazások hatását magyar, francia és szerb őszi búza fajták esetén határozták meg, 1996 és 2003 között a közép-magyarországi régióban. A vegetációs időszakban a csapadék mennyisége jelentősen befolyásolta a termés mennyiségét. A vegetáció időszakában – különösen áprilisban és májusban – a csapadékkülönbségek is jelentős hatást gyakoroltak. A nitrogén-hatóanyag alkalmazása a szárazabb időszakokban is nagy jelentőséggel bír. A száraz 2001–2003-as években még a 40 kg/ha-os dózis is termésnövekedést okozott, legkedvezőbb értékeket a 80 és 120 kg/ha műtrágya hatóanyag-mennyiség alkalmazásakor tapasztalták. A növekvő nitrogéndózis és a megosztása a kedvezőtlen ökológiai körülmények ellenére is kiemelkedő minőségjavító hatással bírt. *Pepó* (2009) tartamkísérletben, a Hajdúságban csernozjom talajon vizsgálta eltérő évjáratok és egyes agrotechnikai tényezők (vetésváltás, trágyázás, öntözés) kölcsönhatásait az Mv Pálma őszi búza fajta agronómiai tulajdonságaira és termése tekintetében. Aszályos évjáratban csernozjom talajon az őszi búza maximális termése bikultúrában (búza–kukorica vetésváltás) 5590 kg/ha, tri-kultúrában (borsó–búza–kukorica vetésváltás) 7279 kg/ha volt. Az alkalmazott NPK trágyázás hatására aszályos évjáratban 2853–3698 kg/ha terméstöbbletet kapott. A kijuttatott nitrogén hatóanyag az SLA (Specific Leaf Area) értékét a kijuttatott mennyiséggel arányosan növelte homoktalajon *Simkó et al.* (2016) vizsgálataiban.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat Nyíregyháza térségében, savanyú homoktalajon beállított őszi búza termesztéstechnológiai kísérlet keretein belül végeztük 2014–2016

közötti időszakban. Szántóföldi kisparcellás kísérleteinket gyenge tápanyag-ellátottságú, alacsony humusztartalmú (0,9%), alacsony kötöttségű (K_A 26) homoktalajon, állítottuk be négy ismétlésben, véletlenszerű blokk-elrendezéssel. Vizsgálatainkban a 1401HK, tájfajta alapú keresztezésből szelektált őszi búza genotípust használtuk jelzőnövényként. Az agrotechnikai, illetve a növényvédelmi kezelések a gyakorlatban alkalmazottnak megfelelőek voltak, a nitrogén-ellátás tekintetében kontroll, 54 kg/ha, illetve 108 kg/ha nitrogén-hatóanyag mennyiséget alkalmaztunk fejtrágyaként kora tavasszal, MAS (27% N) műtrágya formában. A parcella betakarítását parcellakombájnnal végeztük. A kaláshossz, a kalásonkénti magsúly, a kalásonkénti magszám és az ezermagtömeg meghatározásánál parcellánként 20 kalászt értékeltünk, a fajlagos biomassa-tömeg meghatározásához betakarítás előtt 0,5 fm mintaterületről származó teljes föld feletti növény minta tömegét mértük meg. A területegységenkénti kalászsám meghatározását 0,5×0,5 m-es mintaterületen, négy ismétlésben végeztük el. Az eredmények statisztikai értékelését Tukey-tesztel végeztük el. Az eredmények feldolgozását és ábrázolását SPSS for Windows program segítségével végeztük el.

Eredmények

A kísérleti évjáratok időjárási paramétereit közül a hőmérséklet és a csapadék dekádonkénti alakulását közöljük. A hőmérséklet tekintetében a vizsgált két évjárat tenyészidőszakának átlaghőmérséklete között 0,15 °C különbség volt. A szeptemberi hőmérsékletek jelentősen magasabbak voltak a 2015/2016 évjáratban, ugyanakkor a vetés és csírázás-keletés időszakában (október-november eleje) a 2014/2015 évjárat hőmérséklete kedvezőbb volt, ebben az évjáratban a kísérleti állományok kezdeti fejlődése erőteljesebb volt. A téli időszakban a 2015/2016 évjáratban jelentősebb mértékű hőingadozás mutatkozott, jóval magasabb tél végi dekádonkénti hőmérsékletekkel. Az évjárat sajátossága volt a gyors hőmérséklet növekedés a tavaszi vegetációs fejlődés kezdeti időszakában. Az ezt megelőző évjáratban ez az ugrásszerű hőmérséklet emelkedés a virágzás időszakában következett be. Összességében megállapítható, hogy a 2014/2015 évjárat jóval kiegyenlítettebb hőmérsékleti lefutással jellemezhető a 2015/2016 évjáratéhoz képest, ahol a csírázás-keletés, illetve a tavaszi vegetációs fejlődés kezdeti időszakában tapasztaltunk szélsőséges hőmérsékleti értékeket (1. ábra).

1. ábra. A hőmérséklet dekádonkénti alakulása az őszi búza tenyészidőszakában (Nyíregyháza, 2014–2016)

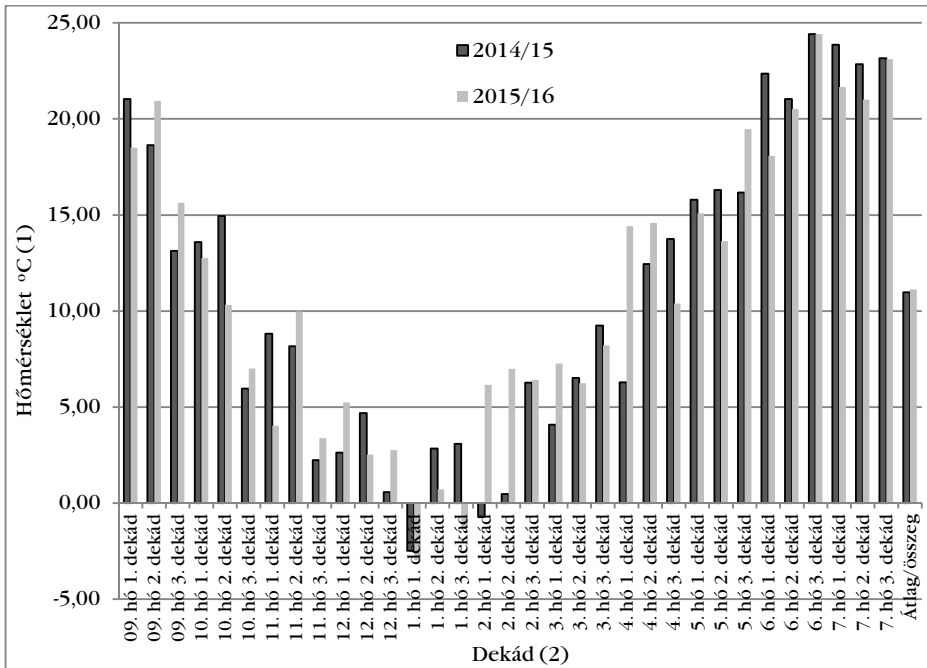


Figure 1. Temperature in each decade of the growing season of winter wheat (Nyíregyháza, 2014–2016). (1) Temperature (°C), (2) Decade

A vizsgált évjáratokban jelentős mértékben eltérő mennyiségű csapadék hullott az őszi búza tenyészidőszakában. A 2015/2016 évjáratban 277,6 mm-rel több csapadék hullott az előző évjáratához képest. A legjelentősebb eltérés a két évjárat között a szeptember végi-októberi csapadékmennyiség tekintetében volt. A 2015/2016-os évjáratban ebben az időszakban 160,1 mm csapadék hullott, mely a vetés ideje mellett a korai fejlődés mértékét is negatívan befolyásolta. Ugyanebben az évjáratban a májusi-júniusi időszakban jelentősen több csapadék hullott az előző évjáratban mérthez képest, ugyanakkor a betakarítás időszaka is csapadékosabb volt. A 2014/2015 évjáratban az őszi búza tenyészidőszakában lehullott csapadék mennyisége 207,6 mm volt a 2015/2016 évjáratban mért 485,2 mm-rel szemben (2. ábra).

A kalászhossz vonatkozásában a vizsgált genotípus esetén jelentős mértékű évjárat-függést tapasztaltunk (3. ábra). A 1401HK őszi búza vonal esetén a két

vizsgált évjárat hatása számottevő volt a vizsgált paraméter tekintetében, mely a genotípus érzékenységét jelzi a kaláshossz alakulása tekintetében. A 2015. évben a 1401HK őszi búza vonal kaláshossza stabilnak tekinthető, kismértékű szórással.

2. ábra. A csapadék mennyiségének dekádonkénti alakulása az őszi búza tenyészidőszakában (Nyíregyháza, 2014–2016)

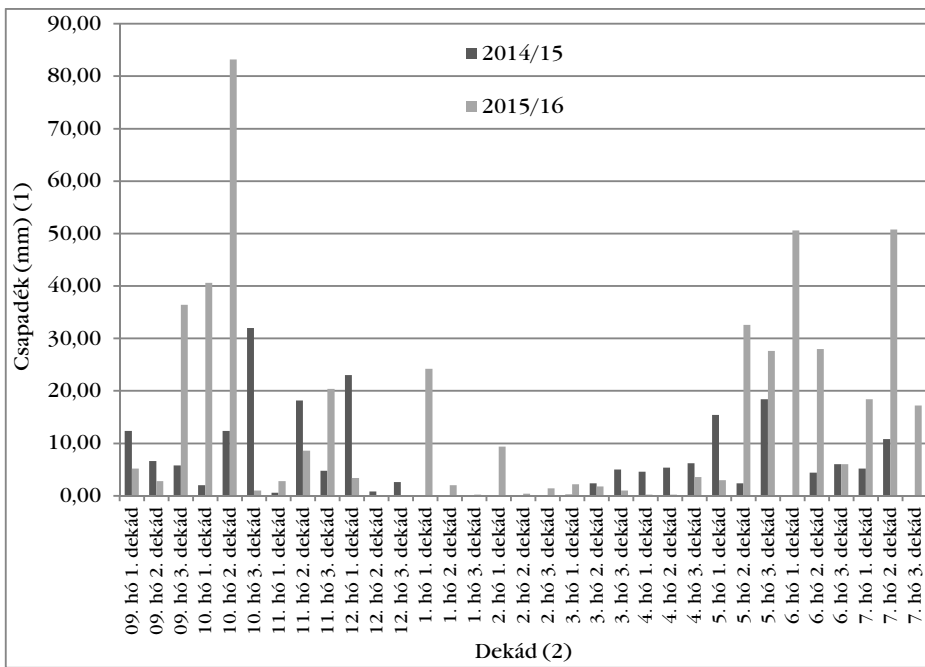


Figure 2. Precipitation in each decade of the growing season of winter wheat (Nyíregyháza, 2014–2016). (1) Precipitation (mm), (2) Decade

Ezzel ellentétben 2016-ban az értékek jelentős szórást mutattak, az előző évjáratban tapasztalt értékekhez képest alacsonyabb kaláshossz értékek mellett. A 1401HK őszi búza vonal esetén a legnagyobb adagú (108 kg/ha) nitrogén-hatóanyag alkalmazása esetén tapasztaltunk nagyobb kaláshosszt a kontroll, illetve féladagú (54 kg/ha) nitrogén-hatóanyag alkalmazásához képest. Az N 54 kg/ha hatóanyag mennyiség alkalmazása egyik évjárat esetében sem eredményezett statisztikailag igazolható növekedést a kontroll kezeléshez képest a

kalászhossz tekintetében. A Tukey-teszt eredményei alapján a tulajdonság tekintetében csak a legnagyobb adagú nitrogénkezelés hatása bizonyult szignifikánsnak (67,76 mm kalászhossz az évjáratok átlagában) a kontroll (57,48 mm), illetve az 54 kg/ha nitrogén-hatóanyag alkalmazásához (55,39 mm) képest.

3. ábra. Az évjárat és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal kalászhosszára homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

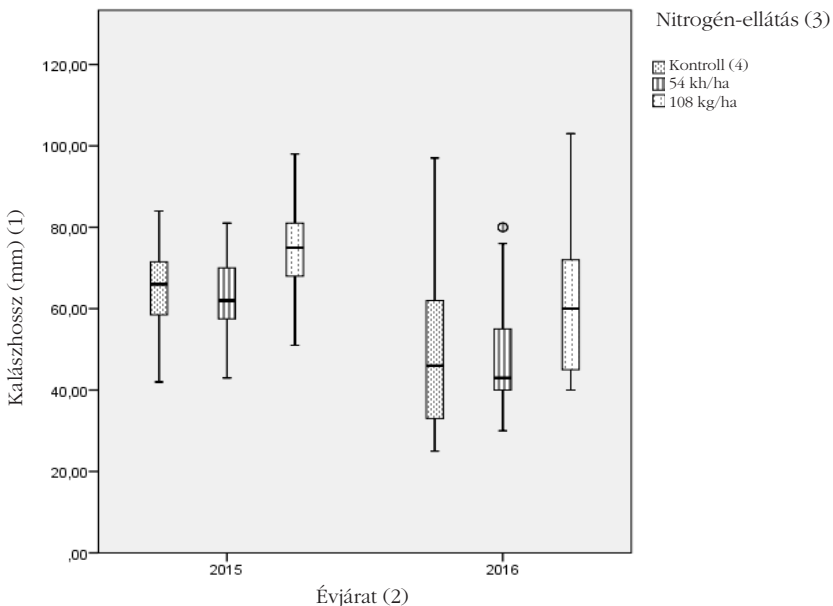


Figure 3. The effect of crop year and nitrogen supply on the ear length of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Ear length (mm), (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

A kalászonkénti magszám tekintetében a kalászhosszhoz hasonló hatást figyelhettünk meg a vizsgált két évjáratban (4. ábra). A paraméter stabilabban alakult a 2015. évjáratban, ugyanakkor a 2016-os évjáratban jelentős mértékű szórást tapasztaltunk, illetve az értékek is alacsonyabbak voltak minden nitrogén-ellátási szint esetén, mely a tulajdonság évjáratfüggésére enged következtetni homoktalajon. A 1401HK őszi búza vonal esetén a legnagyobb adagú (108 kg/ha) nitrogén-hatóanyag alkalmazása esetén tapasztaltunk nagyobb kalászonkénti magszámot a kontroll, illetve a féladagú (54 kg/ha) nitrogén-

hatóanyag alkalmazásához képest, hasonlóan a kalászhossz esetében tapasztaltakhoz. Az N 54 kg/ha hatóanyag mennyiség alkalmazása egyik vizsgált évjárat esetében sem eredményezett statisztikailag igazolható növekedést a kontroll kezeléshez képest a kalásonkénti magszám tekintetében. Ezek az eredmények megegyeznek a kalászhossz esetén tapasztaltakkal, mely a két tulajdonság szoros kapcsolatára utal.

4. ábra. Az évjárat és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal kalásonkénti magszámára homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

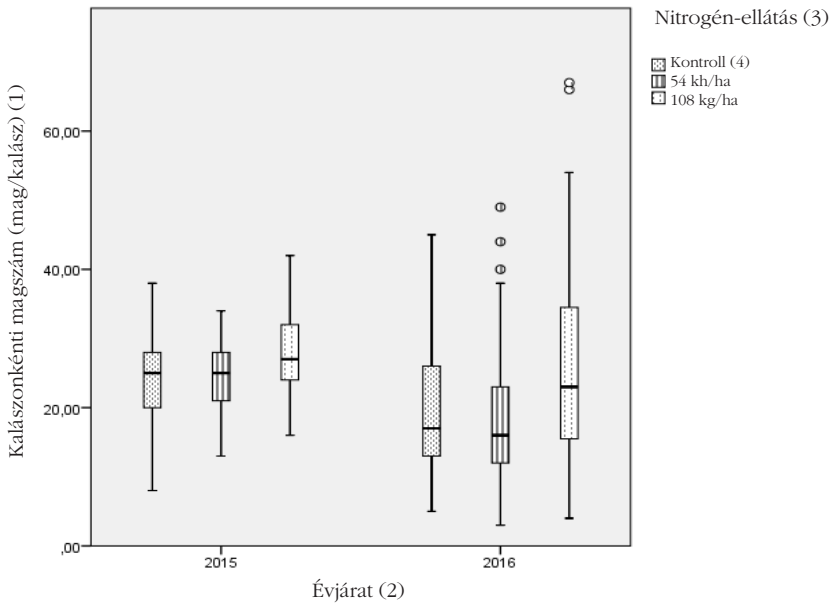


Figure 4. The effect of crop year and nitrogen supply on the grain number per ear of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Seed per ear, (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

A Tukey-teszt eredményei alapján a tulajdonság tekintetében csak legnagyobb adagú nitrogénkezelés hatása bizonyult – hasonlóan a kalászhossz esetén megfigyeltekkel – szignifikánsnak (26,29 mag/kalász kalásonkénti magszám az évjáratok átlagában), a kontroll (22,38 mag/kalász), illetve 54 kg/ha nitrogén-hatóanyag alkalmazásához (21,56 mag/kalász) képest. Hasonlóan a kalászhosszhoz, az 54 kg/ha hatóanyag alkalmazása esetén a kontrollnál kisebb

kalászonkénti magszámot tapasztaltunk, azonban a kezelés hatása nem bizonyult szignifikánsnak.

A kalászonkénti mag súly tekintetében a 2015-os évjáróban kisebb szórás mellett alacsonyabb értékeket tapasztaltunk minden nitrogén-ellátási szinten a 2016-os évjárathoz képest (5. ábra). A nitrogén-ellátás hatása konzekvens volt a legnagyobb hatóanyag-mennyiség esetén, mindkét vizsgált évjáróban a kezelés alkalmazásakor kaptuk a statisztikailag igazoltan legnagyobb kalászonkénti mag súlyt (1,05 g/kalász az évjáratok átlagában). Az 54 kg/ha nitrogén hatóanyag alkalmazása nem konzekvens változást eredményezett a tulajdonság alakulásában, a kontrollhoz viszonyítva (0,77 g/kalász) nem szignifikáns csökkenést (0,72 g/kalász) tapasztaltunk a kezelés alkalmazásakor.

5. ábra. Az évjárát és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal kalászonkénti mag súlyára homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

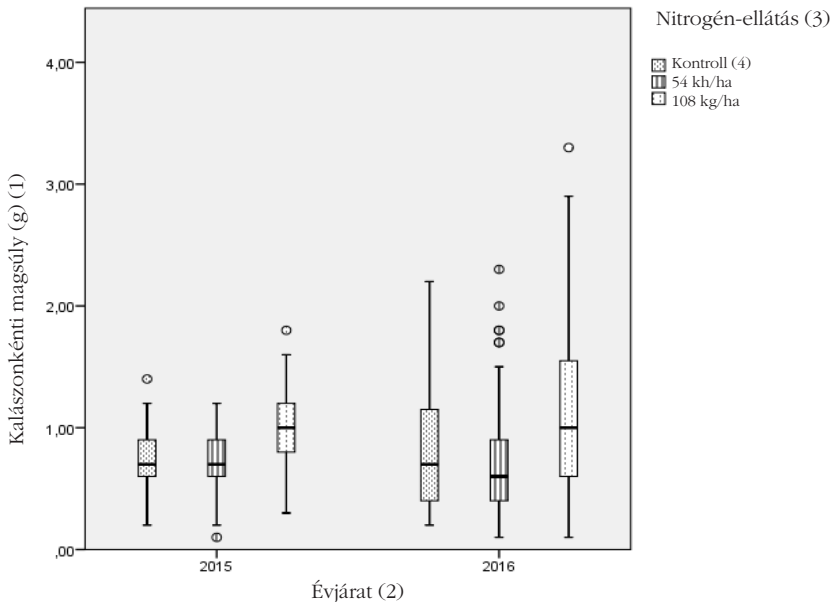


Figure 5. The effect of crop year and nitrogen supply on the grain weight per ear of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Seed weight per ear (g), (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

Az ezermagtömeg tekintetében az évjáráthatás egyértelműnek bizonyult a vizsgált őszi búza genotípus tekintetében (6. ábra). A vizsgált két évjárat közül a 2015-ös évjáratban minden nitrogén kezelés esetében alacsonyabb ezermagtömeg értékeket kaptunk a másik vizsgált évjáratban tapasztalt értékekhez képest. Mindkét vizsgált évjáratban – hasonlóan a kalászhosszhoz, kalásonkénti magszámhoz és a kalásonkénti mag súlyhoz – a legnagyobb adagú, 108 kg/ha nitrogén-hatóanyag mennyiség alkalmazása eredményezte a statisztikailag igazoltan legnagyobb ezermagtömeget (38,49 g).

6. ábra. Az évjárat és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal ezermagtömegére homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

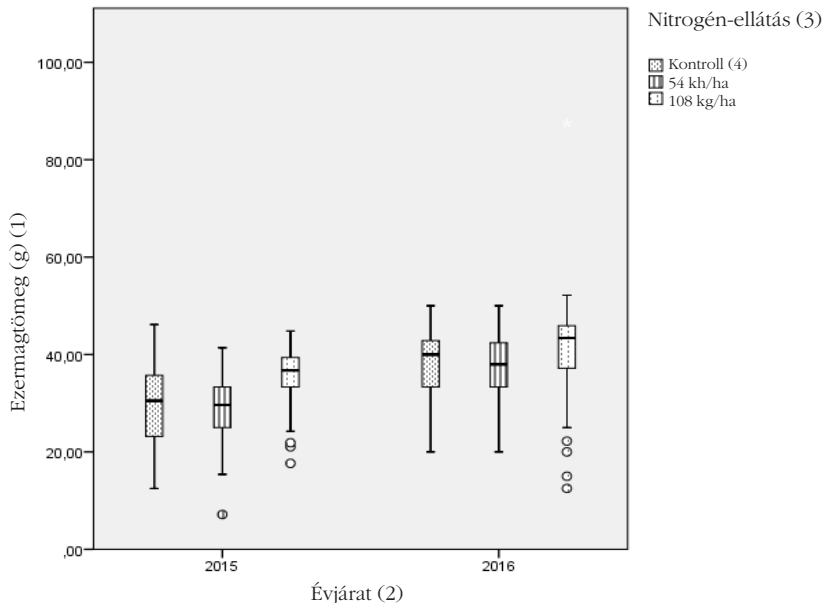


Figure 6. The effect of crop year and nitrogen supply on the thousand grain weight of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Thousand grain weight (g), (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

Az eddigi vizsgált tulajdonságokhoz hasonlóan az ezermagtömeg tekintetében sem tudtunk kezelésenként statisztikailag igazolt hatást kimutatni, a Tukey-teszt eredményei alapján a vizsgált kezelések közül szignifikáns hatást csak a 108 kg/ha nitrogén-hatóanyag alkalmazása gyakorolt a tulajdonságra. A vizsgált kezelések közül legkisebb ezermagtömeget (33,24 g) az 54 kg/ha nit-

rogén-hatóanyag alkalmazása eredményezett, a kontroll kezelésben ezt kismértékben meghaladó értéket (33,99 g) tapasztaltunk.

A területegységenkénti kalászsám alakulása jelentős mértékben különbözött (307,69–830,77 kalász/m² szélső értékek) a vizsgált két évjáratban (7. ábra).

7. ábra. Az évjárat és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal területegységenkénti kalászsámára homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

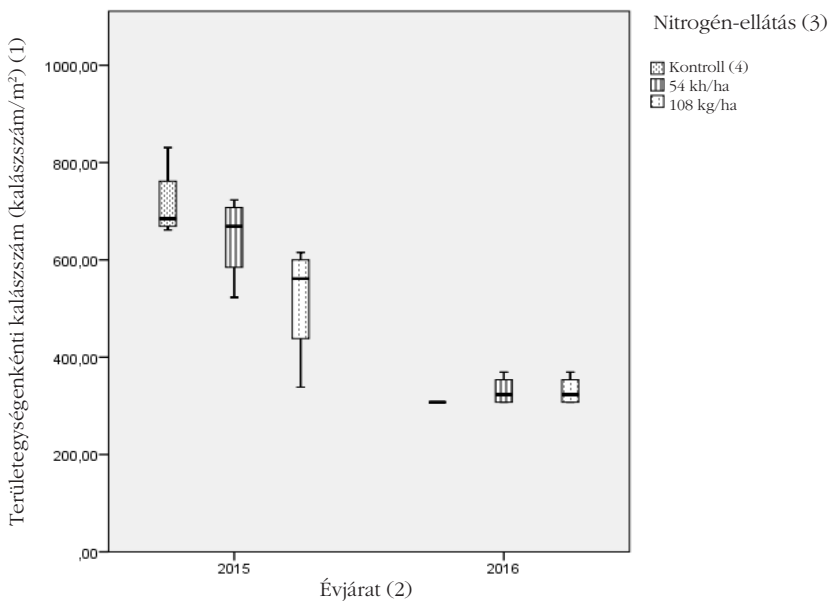


Figure 7. The effect of crop year and nitrogen supply on the ear number per area unit of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Ear number per square meter, (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

A vizsgált genotípus esetén az alkalmazott nitrogén-hatóanyag növelése a területegységenkénti kalászsám csökkenését eredményezte a 2015-ös évjáratban, a kijuttatott hatóanyag-mennyiséggel arányosan. A kapott adatok szórása a hatóanyag növelésével nőtt. Ezzel ellentétben a 2016. évjáratban a kalászsám értékei között nitrogén-hatóanyag által előidézett nagyobb mértékű különbséget nem tapasztaltunk, ami a gyakorlatilag be sem következett bokrosodás következménye volt. A Tukey-teszt eredményei alapján a különböző nitrogénkezelések területegységenkénti kalászsámra gyakorolt hatása között statisztikailag nem volt különbség.

tikailag igazolható különbség volt. Legnagyobb kalászszámot a kontroll kezelés (511,54 77 kalász/m² az évek átlagában) esetén tapasztaltunk, ez az érték 488,46 77 kalász/m² volt az 54 kg/ha nitrogén-hatóanyag alkalmazása esetén, míg a legnagyobb nitrogén hatóanyag-mennyiség esetén a területegységenkénti kalászsám csupán 425,00 77 kalász/m² volt.

A fajlagos biomassa-tömeg tekintetében egyértelmű évjáráthatás mutatkozott a vizsgált őszi búza genotípus esetén (8. ábra). A kedvezőbbnek tekinthető 2015. évben nagy szórás mellett a talajtípusnak megfelelő fajlagos biomassa-értékeket kaptunk, ugyanakkor a nitrogén-ellátás nem eredményezett konzekvens hatást.

8. ábra. Az évjárat és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal fajlagos biomassa-tömegére homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

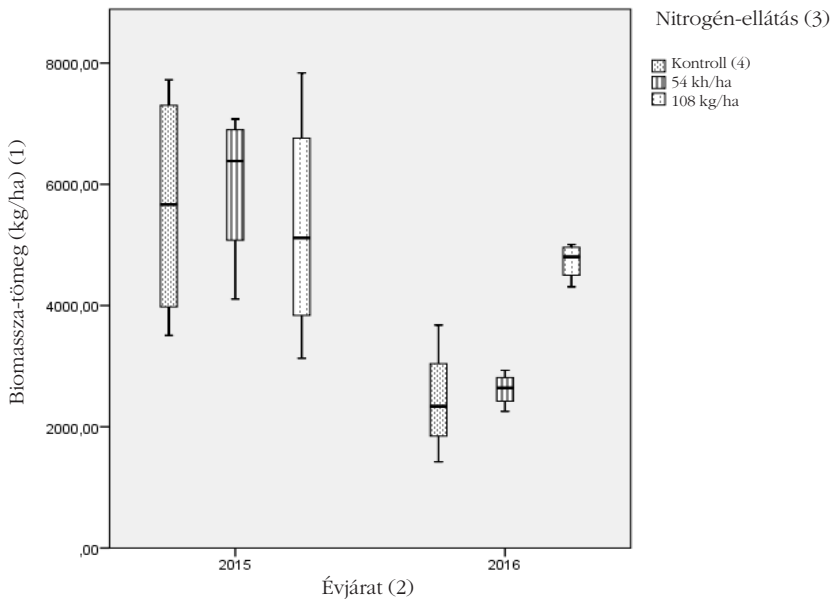


Figure 8. The effect of crop year and nitrogen supply on the specific biomass weight of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Weight of biomass (kg ha⁻¹), (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

A legnagyobb adagú nitrogénkezelés alkalmazásakor a fajlagos biomassa-tömeg csökkenését tapasztaltuk a kontroll kezeléshez képest, legkedvezőbb-

nek az 54 kg/ha hatóanyag/mennyiség alkalmazása bizonyult. 2016-ban extrém alacsony értékek és kisebb szórás jellemezte a 1401HK őszi búza genotípust a mutató tekintetében (1423,08–5007,69 kg/ha szélső értékek), mely elsősorban a gyenge bokrosodási paraméterek következményei voltak. Ebben az évjáratban a nagyadagú nitrogén-hatóanyag a fajlagos biomassza-tömeg jelentős mértékű növekedését eredményezte (kontroll kezelésben 2444,23 kg/ha, 108 kg/ha hatóanyag alkalmazása esetén 4730,76 kg/ha). A nitrogén-hatóanyag mennyiségének növelése a két évjárat eredményeinek értékelése alapján a fajlagos biomassza tömeg növekedését eredményezte (a kontroll kezelésben 4042,30 kg/ha, 54 kg/ha N hatóanyag esetében 4302,88 kg/ha), ugyanakkor a Tukey-teszt csak a legnagyobb, 108 kg/ha hatóanyag mennyiség esetében igazolta statisztikailag a biomassza-tömeg növelő hatást (5015,38 kg/ha).

A betakarított termés tekintetében is nagy különbség mutatkozott a két vizsgált évjárat között (9. ábra). A két évjáratban a betakarított terméseredmények szélső értékei tág tartományban, 615,94–4655,76 kg/ha érték között mozgott. A nitrogén-hatóanyag alkalmazása a betakarított termés egyértelmű növekedését eredményezte mindkét vizsgált évjáratban, ezt a Tukey-teszt eredményei is igazolták. A 2015-ös évjáratban a kontroll kezeléshez képest (2957,40 kg/ha) 634,06 kg/ha termésnövekedést eredményezett a 108 kg/ha nitrogén-hatóanyag kijuttatása, 2016-ban ez az érték 859,56 kg/ha volt, alacsonyabb termés-szint mellett. Az 54 kg/ha nitrogén-hatóanyag alkalmazása a terméseredményt 439,30 kg/ha-ral növelte a kontroll kezeléshez képest, a 108 kg/ha hatóanyag-mennyiség esetén ez az érték 751,80 kg/ha volt a két vizsgált év átlagában.

Következtetések

Gyenge tápanyag-ellátottsági jellemzőkkel rendelkező homoktalajon végzett őszi búza nitrogéntrágyázási kísérletünkben az évjárat hatása dominánsnak bizonyult a vizsgált tulajdonságok tekintetében, csak a kalászokéanti mag súly tekintetében nem találtunk szignifikáns különbséget a két vizsgált évjárat között. A kalász hossz tekintetében az évjárat hatása az értékek nagyobb mértékű szórásában, illetve annak csökkenésében is megmutatkozott a 2015/2016 évjáratban. A kalász hossz determinálódása a fejlődés korai szakaszában megtörténik, így a kedvezőtlenebb őszi időjárási körülmények negatív hatást gyakoroltak a paraméter alakulására.

9. ábra. Az évjárat és a nitrogén-ellátás hatása a 1401HK őszi búza vonal termésére homoktalajon (Nyíregyháza, 2015–2016)

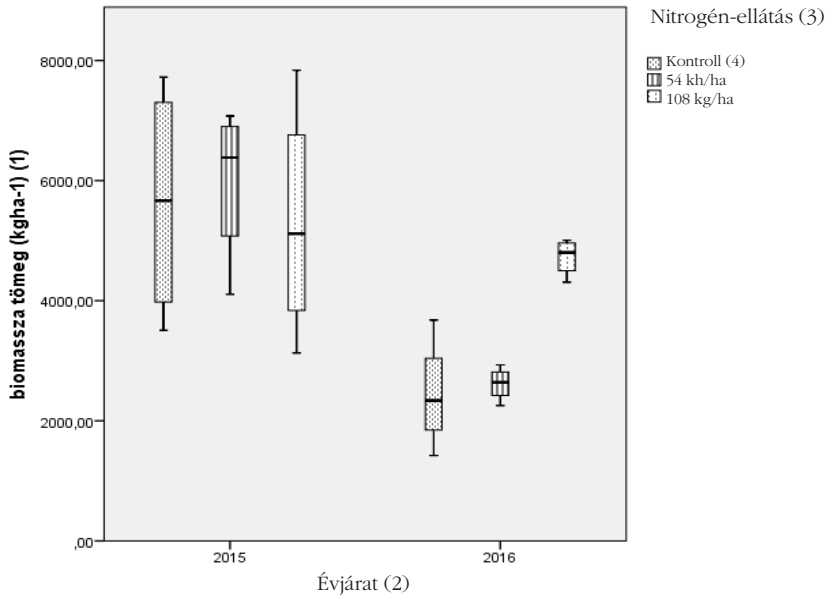


Figure 9. The effect of crop year and nitrogen supply on the yield of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2015–2016). (1) Yield (kg ha⁻¹), (2) Crop year, (3) Nitrogen supply, (4) Control

Ennek némileg ellentmond, hogy a legnagyobb nitrogén hatóanyag-mennyiség alkalmazásakor a tulajdonság szignifikáns növekedését tapasztaltuk. Ugyanez a tendencia érvényesült a kalászonkénti szemszám vonatkozásában is, mely szoros összefüggést mutat a kalászhosszal. A kalászonkénti mag súly vonatkozásában is nagyobb szórást tapasztaltunk a 2015/2016 évjáratban, ugyanakkor az évjáratok között jelentős különbség a mutató tekintetében nem volt. A nitrogénkezelések közül a nagyadagú nitrogén alkalmazása eredményezett statisztikailag igazolt növekedést. Az ezermagtömeg tekintetében már érvényesült a 2015/2016 évjárat kedvező május végi-júniusi időjárásának hatása, így a paramétert a szemtelítődés időszakának időjárása határozta meg. A 2015/2016 évjárat kedvezőtlenül csapadékos időjárása negatív hatást gyakorolt a bokrosodásra, mely a területegységenkénti kalászsúly alakulását kriti-

kus mértékben és negatívan befolyásolta. A vetést követő időszak nagy csapadékmennyisége, a kora tavaszi gyors felmelegedés és a nagy hőingadozás következtében a bokrosodás vizsgálatainkban gyakorlatilag elmaradt, így a nitrogén műtrágya hatása is értékelhetetlen volt e tekintetben. A 2014/2015 évjáratban a területegységenkénti kalászszaámot az alkalmazott nitrogén hatóanyag-mennyiség növelése negatívan befolyásolta. A fajlagos biomassa-tömeg tekintetében a 2014/2015 évjáratban az alkalmazott nitrogénkezelések közül az 54 kg/ha hatóanyag-mennyiség alkalmazása eredményezte a legkedvezőbb értéket, 2015/2016 évjáratban a legnagyobb, 108 kg/ha nitrogén-hatóanyag alkalmazásakor értük el legnagyobb fajlagos biomassa-tömeget. A termés tekintetében mindkét vizsgált évjáratban szignifikáns műtrágyahatást tapasztaltunk, az alkalmazott hatóanyag-mennyiség növelésével nőtt a betakarított termés mennyisége. A vizsgált két évjárat közül a kedvezőtlen bokrosodási mutatókkal jellemezhető 2015/2016 évjáratban tapasztaltunk jelentősen alacsonyabb termést.

A korrelációanalízissel végzett összefüggés-vizsgálatok eredményei alapján a legtöbb pozitív vagy szoros összefüggést a területegységenkénti kalászszaám vonatkozásában tapasztaltunk (*1. táblázat*). A paraméter szoros pozitív korrelációt mutatott a fajlagos biomassa tömeggel és a terméssel egyaránt. A kalászhossz a többi vizsgált paraméter közül a kalászonkénti magszámmal mutatott szoros pozitív korrelációt, ugyanakkor a kalászonkénti magszámmal a kalászonkénti magsúllyal mutatott szoros pozitív korrelációt. A termés tekintetében meghatározónak bizonyult a fajlagos biomassa-tömeg, illetve a területegységenkénti kalászszaám vizsgálatainkban, de a kalászhossz is pozitív korrelációt mutatott. A vizsgált paraméterek közül legkevesebb összefüggést – így az évjárat jelentős hatását – a kalászonkénti magszámmal, a kalászonkénti magsúly, illetve az ezermagtömeg esetében tapasztaltuk. Az ezermagtömeg meghatározó (közepes pozitív korreláció) volt a kalászonkénti magsúly tekintetében, ugyanakkor közepes negatív korrelációt mutatott a területegységenkénti kalászszaámmal.

A vizsgált paraméterekre gyakorolt hatás tekintetében faktoranalízissel értékeltük a nitrogén-ellátás és az évjárat hatását. Az évjárat hatása meghatározónak bizonyult a vizsgált tulajdonságok többségénél, azonban változó mértékben. Legerősebb évjáratthatást a területegységenkénti kalászszaám (78%), a biomassa-tömeg (71%) és a termés (69%) tekintetében tapasztaltunk.

1. táblázat. *Korrelációanalízissel értékelt összefüggések a vizsgált paraméterek között a 1401HK őszi búza vonal esetén homoktalajon (Nyíregyháza, 2014–2016)*

| | Kalász- hossz (1) | Mag/ kalász (2) | Magsúly/ kalász (3) | Termés (4) | Fajlagos bio- massza tömeg (5) | Terület- egység- kénti kalászsza szám (6) | Ezer- mag- tömeg (7) |
|--|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--|--|-------------------------------|
| Kalász- hossz (1) | 1 | | | | | | |
| Mag/ kalász (2) | 0,873** | 1 | | | | | |
| Magsúly/ kalász (3) | 0,627** | 0,844** | 1 | | | | |
| Termés (4) | 0,314** | 0,147 | -0,029 | 1 | | | |
| Fajlagos biomassza tömeg (5) | 0,334** | 0,175** | 0,033 | 0,784** | 1 | | |
| Területegység- kénti kalászsza szám (6) | 0,499** | 0,271** | -0,058 | 0,750** | 0,841** | 1 | |
| Ezermag- tömeg (7) | -0,063 | 0,154 | 0,632** | -0,233** | -0,152 | -0,443** | 1 |

Table 1. Correlations evaluated with correlation analysis with regard to the examined parameters of the 1401HK winter wheat on sandy soil (Nyíregyháza, 2014–2016). (1) Length of ear, (2) Seed per ear, (3) Seed weight per ear, (4) Yield, (5) Biomass weight, (6) Ear number per squaremeter, (7) Thousand grain weight

Az ezermagtömeg tekintetében a nitrogén-ellátás hatása 40% volt, a kalászparaméterek közül a kalászhossz tekintetében 46%, a kalásonkénti magszám

vonatkozásában 56% volt a nitrogén-ellátás hatása a két változót figyelembe véve. Legnagyobb műtrágyahatást a kalászonkénti mag súly tekintetében tapasztaltunk, ahol a nitrogén-ellátás hatása meghatározó mértékűnek (82%) bizonyult.

Köszönetnyilvánítás

Vizsgálatainkat az „AGR_PIAAC_13-1-2013-0002 Kiváló malomipari paraméterekkel rendelkező adaptív őszi búza vonalak előállítására” című projekt keretén belül valósítottuk meg.

Irodalom

- Otteson, B. N.–Mohamed Mergoum, M.–Ransom, J. K.: 2007. Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components. *Agronomy Journal*. 99. 6: 1615–1621.
- Pepó P.: 2009. Eltérő évrattípusok és agrotechnikai tényezők interaktív hatása az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termésére. *Növénytermelés*. 58. 2: 53–66.
- Pepó, P.–Kovacevic, V.: 2011. Regional analysis of winter wheat yields under different ecological conditions in Hungary and Croatia. *Acta Agronomica Hungarica*. 59. 1: 23–33.
- Royo, C.–Álvarez, F.–Martos, V.–Ramdani, A.–Isidro, J.–Villegas, D.–García del Moral, L.: 2007. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica*. 155. 1–2: 259–270.
- Simkó A.–Kiss L.–Zsombik L.–Veres Sz.: 2016. Csökkentett nitrogén ellátás hatása búza genotípusok fotoszintetikus válaszreakcióira. LVIII. Georgikon Napok: Felmelegedés, ökolábnym, élelmiszerbiztonság. Pannon Egyetem Georgikon Kar. Keszthely. 327–333.
- Slafer, G. A.–Savin, R.–Sadras, V. O.: 2014. Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*. 157: 71–83.
- Szentpétery, Zs.–Jolánkai, M.–Kleinheincs, Cs.–Szöllősi, G.: 2007. Effect of nitrogen top-dressing on winter wheat. *Cereal Res. Commun.* 33. 2–3: 128.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Zsombik László
Debreceni Egyetem AKIT
Nyíregyházi Kutatóintézet
Nyíregyháza
Westsik Vilmos út 4-6..
H-4400
zsombik@agr.unideb.hu

Seres Emese
Fitt Agro Kft.
Mátészalka
Hild János park 2.
H-4700



NAGY JÁNOS főszerkesztő
a Magyar Tudományos Akadémia doktora,
Debreceni Egyetem prorektora,
Széchenyi-díjas egyetemi tanára, az Aradi, a Nagyváradi
és a Kaposvári Egyetem „Honoris causa doktora”
az Ukrán Agrártudományi Akadémia külföldi tagja
Szakterülete: növénytermesztés, földművelés

növénytermesztés | növénynevelés | növénygenetika | növényélettan | agrobotanika
