

## Kukorica hibridek keményítő tartalmának vizsgálata közeli infravörös spektroszkópiai (NIT) technikával

Kiss Csongor Gábor

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Kerpely Kálmán Doktori Iskola  
kisscs@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

*Kutatásom során a bioetanol-gyártáshoz leginkább kedvező kukorica fajták kiválasztását tűztem ki célul, a beltartalmi értékeik – különös tekintettel a keményítő tartalom – összehasonlítása alapján, közeli infravörös spektroszkópiai módszer, az úgynevezett „NIT” technika alkalmazásával. A vizsgálat másik célja a leglényegesebb termesztési tényezők közül az öntözés és műtrágyázási eljárás hatásainak kimutatása a különböző kukorica-hibridek keményítő tartalmának alakulására.*

**Kulcsszavak:** kukorica hibridek, keményítő, bioetanol, műtrágya dózisok, közeli infravörös spektroszkópia

### SUMMARY

*The purpose of my research is to find the most favourable maize hybrids for bioethanol-production feedstock, using the so called „NIT”, near infrared spectroscopy method in the analysis of the inner contents especially of starch content. The other goal of my analysis is to reflect on how the effects of the most important growing factors – such as irrigation and the use of different dose fertilizers – contribute to the maize hybrids starch content.*

**Keywords:** maize hybrids, starch, bioethanol, fertilizer doses, near infrared spectroscopy

### BEVEZETÉS

Az EU tagországainak zöme, köztük Magyarország is hasonló helyzetben vannak az energiaellátottságukat tekintve. Mivel jelentős saját energia készletekkel nem rendelkezünk, ezért az energiahordozók importjára szorulunk. 2007-ben egy felmérés szerint az importált mennyiség olajból 80%, földgáz esetében 57%, kőszén esetén pedig 40% volt. A felmérés sajnálatos módon azt reprezentálja, hogy az EU energiafüggősége már így is rendkívüli mértéket öltött, kiszolgáltatva magát az egyre gyakrabban jelentkező és egyre kedvezőtlenebb áringadozásoknak. Mivel egyre kevesebb és egyre nehezebben, illetőleg költségesebben kitermelhető készletek mutatkoznak a fosszilis energiahordozókból, ezért az emelkedő és tartósan magas szinten maradó olajárak hatással lesznek a mezőgazdasági növénytermesztés költségeire és gazdaságosságára is. Ennek a várható forgatókönyvnek az ismeretében nem csoda, hogy sokan a megújuló-energiaforrások, ezen belül is a biomasszából, köztük a bioetanolból nyert energia felhasználásában látnak kiutat ebből a kedvezőtlen helyzetből. Napjainkban jelenleg hátrányként említhető, hogy a megújuló forrásból előállított energia ára 50–200%-kal magasabb a hagyományos forrásokból nyerhető energia áránál, ezen kívül jelentős beruházásokat igényel, ezért is annyira fontos ebben a helyzetben a hatékony felhasználás és a takarékoság (Meskó, 2003). Azon túlmenően, hogy az adott termékpálya, a kukorica-bioetanol konverzió alapjául szolgáló kiinduló nyersanyagból – jelen esetben kukoricából – megemelkedett kereslet mellett minél több terméket lehetne előállítani, az is lényeges szempont, hogy a nyersanyag milyen minőséget képvisel. A napjainkban létező számos jó minőségű, de paramétereiben mégis nagy különbségeket mutató kukorica hibridek beltartalmi értékei hibridről hibridre változnak, lényeges eltérések

mutatkoznak az első ránézésre olyan egyformának tűnő sárga gabonaszemek között. Vizsgálataim során nyert eredményeim hozzájárulhatnak a hazai kukorica alapú energiatermelés hatékonyságának fokozásához. Mivel a bioüzemanyagok gyártása és felhasználása jelen körülmények között többbe kerül, mint a fosszilis energiahordozók felhasználása, valamint az előállítás a támogatásokkal együtt sem mindig versenyképes, ezért egyáltalán nem mindegy, hogy az adott célra leginkább kedvező alapanyagból történik-e a termelés, kiváltképp akkor, amikor köztudott, hogy a bioetanol előállítása során az összköltség közel 60%-át az alapanyag természetének költsége teszi ki.

Hazánkban és a térségben működő bioetanol előállító üzemek túlnyomó többségében szemes kukoricát használnak bioetanol előállításához. Igen lényeges szempont, hogy az e célra kiválasztott hibridek adott talaj-, klimatikus- és termesztés technológiai viszonyok mellett, minél nagyobb terméshozamot és keményítőhozamot produkáljanak, biztosítva ez által is, a még gazdaságosabb bioetanol konverziót. 2010-ben Magyarországon már több mint 360, a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) elismerését megszerzett hibrid került a köztermesztésbe, továbbá az EU fajtalistán szereplő hibridek közül tetszőlegesen bármelyik behozható (Nagy, 2007). Ebből az igen nagy választék-ból már lényegesen kevesebb az olyan magas keményítő-tartalmú hibrid, amely megbízható terméshozamával és magas keményítőhozamával megfelelhet a gazdaságos bioetanol-gyártás alapanyagaival szemben állított követelményeknek. Nagyüzemi száraz őrléses eljárások alkalmazásával végeztek összehasonlításokat az ún. HTF (High Total Fermentable) és a hagyományos kukorica-hibridek etanol-hozamáról és a tapasztalatok szerint a HTF hibridekből előállított bioetanol mennyisége 1–4,7%-kal haladta meg a hagyományos hibridekből kinyerhető etanol mennyiségét (Hingyi et

al., 2006). A bioetanol-gyártás szempontjából azonban nemcsak a kukoricában lévő keményítő mennyisége, de annak összetétele, az amidóz/amilopektin arány is fontos befolyásoló tényező. A két molekula növényen belüli egymáshoz viszonyított aránya jelentősen befolyásolja a keményítő kémiai tulajdonságait. A normál kukorica hibridek esetében a keményítőben körülbelül 70–75%-ban amilopektin, és csak 25–30%-ban mutatható ki amidóz, amíg a viaszos fajták keményítőtartalmának 95–100%-át amilopektin képezi. A viaszos, angolul „waxy”-nak nevezett különleges beltartalmi értékű hibridek keményítője szinte kizárólag amilopektint (95–100%) tartalmaz (Sólyom és Kudron, 1985). Az amidóz/amilopektin arány tehát befolyásolja az etanol-kihozatait, a waxy kukoricából származó keményítő fermentálásával ugyanis több alkohol keletkezik (Kiss és Andorkó, 2008).

Az eddig leírtak alapján egyértelműen kiderül, hogy a számos kukorica-fajta és hibrid közül egyáltalán nem mindegy, hogy mely beltartalmú gabonaszemek kerülnek a bioetanol-előállító üzemekbe. A kukorica minőségi vizsgálataira kifejlesztett mérési módszerek közül a kukorica nedvességtartalmát és egyéb komponenseinek mennyiségét is pontosan meghatározó NIR és NIT műszerek használatát eredményes módszerként említi (Györi és Györiné, 2002). A vizsgálati eljárás során gyors és lényegében roncsolásmentes technológiával lehet a különböző gabona minták beltartalmi értékeit meghatározni. A jelenlegi gyakorlatban a közeli infravörös tartományt felhasználó spektroszkópiai technikák közül a reflexió (near-infrared reflectance = NIR), és a transzmissziós (near-infrared transmittance = NIT) vizsgálati módszerek terjedtek el széles körben. Ma már egyre több munkacsoport foglalkozik ezeknek a technikáknak az alkalmazásával olyan összetett biológiai rendszerek minőségi paramétereinek jellemzésére, mint a búza vagy kukorica nedvesség-, keményítő-, olaj-, hektoliter-, illetve fehérjeteralmának a meghatározása. A NIR spektroszkópiával történő elemzés megbízhatóságát a kukoricaszemek összetétele tekintetében kínai szerzők, a kémiai módszerekkel történő analízishez hasonló pontosságúnak találták (Wei et al., 2005). Rajtuk kívül viszonylag kevés szerző alkalmazta a NIR spektroszkópiás módszert a kukoricaszemek keményítő tartalmának elemzésére (Hames et al., 2003; Mentink et al., 2006). A leggazdaságosabb eredményesség elérése érdekében fajtánként és termőtalajonként kell meghatározni azt az optimális mennyiséget, amely a legkedvezőbb műtrágya felhasználási költség mellett tudja biztosítani a maximális kukorica terméshozamot, ezáltal a gazdaságos biotanol gyártás alapanyagául szolgáló kukorica termesztés optimális termés beállítási feltételeit. Az elmúlt években végzett kísérletek alapján hasonló eredményekre tett szert Széll és Streb (2007), Nagy (2009), Ványiné et al. (2010) és Zhang et al. (2010).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A beltartalmi vizsgálatok elvégzéséhez szükséges kukoricaminták a kukorica teljes érési fázisában a betakarítás előtt kerültek begyűjtésre a szántóföldi kísérlet során. A kukorica-hibridek beltartalmi vizsgálatait a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudomá-

nyok Centruma, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézetben Foss Infratec™ 1241 Grain Analyzer (FOSS Tecator AB, Hoeganaes, Sweden) típusú terményanalizáló berendezéssel végeztem (1. ábra). A berendezés főbb paraméterei a következők voltak: Az Infratec 1241 spektrofotométer mintakezelő egysége a Grain Analyzer, amelyet „conveyor (6–33 mm) flour module” mintakezelő egységgel szereltek fel. Az infravörös berendezés működési módja transzmissziós, a mérési hullámhossz-tartománya 850 és 1048 nm között volt, 2 nm-es lépésközzel. A vizsgálat során használt készülék spektrum adatpontjainak száma 100 volt. Valamennyi vizsgálati minta kapcsán 5 db almintával végeztem a méréseket a még pontosabb mérési eredmények érdekében. A berendezés automatikusan választotta szét a mintatartóba adagolt kukoricaszemeket 5 almintává. A műszert az ISW 3.10 (FOSS Tecator AB, Hoeganaes, Sweden, 2003) szoftver vezérelte. A műszer a szoftver programja segítségével, az 5 almintát átlagértékeként numerikusan adta meg a vizsgálati minták össztömegét, nedvességtartalmát tömegszázalékban, valamint a szárazanyag tartalomra vonatkoztatott keményítő-, fehérje-, és olajtartalom értékeit, ugyancsak tömegszázalékban. A minták műszer által kapott mérési eredményeit Excel file-ba tároltam. Az adatok további feldolgozását és kiértékelését a Microsoft Office Excel 2007-es programmal végeztem.

1. ábra: Infratec™ 1241 Grain Analyzer készülék kijelzőjén látható adatok



Figure 1: Infratec™ 1241 Grain Analyzer device and parameters

A mért adatok kiértékelését az SPSS for Windows 17.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) statisztikai programmal végeztem. Kolmogorov-Smirnov próba használatával határoztam meg a folytonos adatok eloszlását. A Gaussi (normál) eloszlású adatok összehasonlítását Independent-Samples T próbával végeztem, és a nem-Gaussi (nem-normál) adatok összehasonlításához a Mann-Whitney U próbát használtam. A kategórikus változók összehasonlítását „Analysis of Variance” (One-Way ANOVA) próbával végeztem, „Least Significant Difference” (LSD) módszer segítségével. A kezelések (öntözés, műtrágyázás) keményítőtartalomra gyakorolt hatását (asszociáció) általános lineáris modellel „General Linear Model” (GLM) értékeltem. A GLM használatával igazolhatóak azon statisztikai feltevések, amelyek a változók csoportjai közötti szignifikáns különbségekre utalnak. A normális eloszlású célváltozók és a

folytonos eloszlású független változók kombinációinak összefüggés-analízisére a GLM használatát választottam. Statisztikailag szignifikáns különbségnek a  $p < 0,05$ -öt tekintetem.

**EREDMÉNYEK**

**A műtrágyázás hatása a hibridek beltartalmi értékeire 2007-ben és 2008-ban**

A növekvő műtrágyadózis hatására szignifikánsan csökkent a hibridekben mért szárazanyagra vonatkoztatott keményítőtartalom mindkét év során (2. ábra). A legnagyobb keményítőtartalom mindkét év műtrágyázatlan beállításában kezelt hibridek esetében volt mérhető, a legalacsonyabb pedig a 240 N kg/ha-al kezelt mintáknál. Ettől függetlenül a műtrágyázásnak a keményítőhozamra gyakorolt hatása éppen ellenkező tendenciát mutatott mindkét kísérleti év során, vagyis minél nagyobb dózisban helyeztek N műtrágyát a kukoricaföldekre, annál nagyobb keményítőhozam keletkezett.

2. ábra: A két év műtrágyakezeléseinek hatása a hibridek keményítő tartalmára

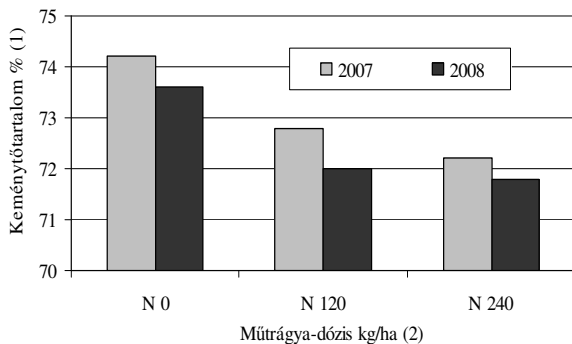


Figure 2: The effect of fertilizer doses on maize hybrids starch content in the two years  
Starch content(1), Amount of fertilizers used(2)

A 3. ábrán láthatók a két kísérleti év során vizsgált kukorica hibridek (2007–2008) műtrágyakezelés hatásaira kialakult terméshozamának eredményei (t/ha). Az ábra tanulsága szerint a Látóképi Kísérleti Telep talaján termesztett, aszályos 2007 és a jó csapadékellátottságú 2008-as év között szignifikáns eltérés volt tapasztalható a két év terméseredményei között. A vizsgált évek során, a 3–3 kukorica hibrid közül egy-egy a 2007-es és 2008-as évben is azonos genotípusú kukorica volt, emiatt a terméseredmények és keményítőtartalmak összehasonlítása megalapozott. A terméseredményekről, a kapott eredmények alapján ezúttal is megállapítható, hogy az időjárási viszonyoktól függetlenül a műtrágyadózis növelésével a terméseredmények is növekednek a termesztett hibrid fajtájától függetlenül. Minkét év során a legkisebb termés a 0 N kg/ha-ral kezeletlenül hagyott kísérleti beállításban alakult ki, míg a 120 N kg/ha-os kezelés hatására már nagyobb terméshozam volt realizálható, a 240 N kg/ha kihelyezett műtrágya esetében, pedig szignifikánsan több termés keletkezett évről évre.

3. ábra: A műtrágyadózis hatása a hibridek terméshozamára

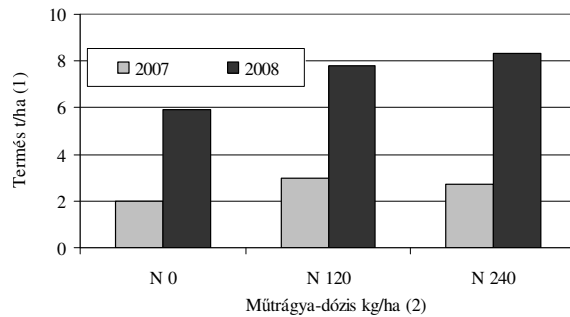


Figure 3: The effect of fertilizer doses on the yield of maize hybrids  
Yield t ha<sup>-1</sup>(1), Fertilizer doses kg ha<sup>-1</sup>(2)

**Az öntözés hatása a hibridek keményítőhozamára 2007- és 2008-ban**

A hibridek keményítőhozama (t/ha) esetében (4. ábra) az aszályos 2007-es évben az öntözés hatására szignifikáns különbség alakult ki az öntözött és öntözetlen hibridek összes keményítőhozamában (2,2 t/ha). A jó csapadékellátottságú 2008-as év során ezzel szemben közel 1 t/ha-os keményítőhozambeli csökkenés alakult ki az öntözött kezelésű hibridek esetében. A csökkenés biológiai oka vélhetően a műtrágyázásból származó nitrogénforrás talajbeli felhígulására és mélyebb talajrétegekbe való bemosódására vezethető vissza, amelyet a talajban felhalmozódott vízbőség okozott.

4. ábra: Az öntözés hatása a hibridek keményítőhozamára

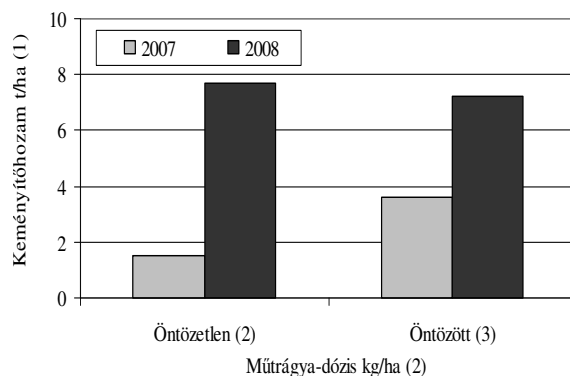


Figure 4: The effect of irrigation on the maize hybrids starch yield  
Starch yield t ha<sup>-1</sup>(1), Non irrigated(2), Irrigated(3)

**KÖVETKEZTETÉSEK**

Az évről évre eltérő körülmények hatására változó beltartalmi összetevők megmérésével igazolni tudom, hogy nem minden kukorica hibrid reagál egyformán a változásokra. Bizonyos hibridekben a több csapadék hatására több, míg más hibridekben kevesebb keményítő, olaj vagy fehérje keletkezik. Összességében azonban megállapítható, hogy a jó terméseredményű 2008-as év során keletkezett hektáronkénti keményítőhozam még az alacsonyabb szárazanyagra vonatkozó

tatott keményítőtartalom mellett is magasabb volt, mint 2007-ben. A műtrágyadózist illetően a legoptimálisabb koncentrációban kihelyezett műtrágyadózis 2007-ben a 120 N kg/ha volt, a nagyobb dózisú műtrágya kihelyezésekor (240 N kg/ha) csökkent a keményítőhozam. 2008-ban is a 120 N kg/ha-ban kihelyezett műtrágya eredményezte a legnagyobb keményítő-hozamot (8,42 t/ha). A 240 N kg/ha koncentrációban kiszórt műtrágya ugyan tovább növelte a keményítőhozamot (9,25 t/ha), azonban ezt a dózist sem környezetvédelmi, sem gazdasági okokból nem ajánlatos használni.

A fentebb leírtakból egyértelműen kitűnik, hogy a műtrágyázás kukoricatermesztésre gyakorolt hatása első pillantásra, felületes megközelítésben „Janus arcú”, mivel a kukoricatermesztés hozamtartalmát ugyan fo-

kozza, de a keményítőtartalmát a több év során lefolytatott megismételt kísérleti eredmények szerint szerényen csökkent. Összességében azonban a terméshozamra gyakorolt egyértelmű kedvező hatása alapján a tonnánkénti kukorica hozam is jelentősen növekszik. Ilyen módon a bioetanol gyártás céljából termesztett kukorica műtrágyázása egyértelműen kedvező hatást fejt ki. A leggazdaságosabb eredményesség elérése érdekében hibridenként és termőtalajonként kell meghatározni azt az optimális mennyiséget, amely a legkedvezőbb műtrágya felhasználási költség mellett tudja biztosítani a maximális terméshozamot, ezáltal a gazdaságos biotanol gyártás alapanyagául szolgáló kukoricatermesztés optimális termés beállítási feltételeit.

#### IRODALOM

- Győri Z.–Győriné Mile I. (2002): A kukorica minősége és feldolgozása. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
- Hames, B.–Thomas, S.–Sluiter, A.–Roth, C.–Templeton, D. (2003): Rapid biomass analysis: new tools for compositional analysis of corn stover feedstocks and process intermediates from ethanol production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 108: 5–16.
- Hingyi H.–Kürthy Gy.–Radóczné K. T. (2006): A bioüzemanyagok termelésének kilátásai Magyarországon a főbb gabonafélék és olajnövények piaci helyzetének tükrében. *Agrárgazdasági Tanulmányok*. Budapest.
- Kiss, Cs.–Andorkó, I. (2008): Small-plot field experiments with maize hybrids, aiming to study starch content. *Cereal Res. Commun. Supplement*. 36: 0133–3720.
- Mentink, R.–Hoffman, P.–Bauman, L. (2006): Utility of near-infrared reflectance spectroscopy to predict nutrient composition and in vitro digestibility of total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 89. 6: 2320–2326.
- Meskó A. (2003): A földtudomány feladatai az EU csatlakozás tükrében. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy J. (2007): Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy J. (2009): A vetésidő hatása kukorica (*Zea mays* L.) hibridek terméshozamára és minőségére. *Növénytermelés*. 58. 2: 85–105.
- Sólyom L.–Kudron J. (1985): Keményítő és keményítőipari termékek gyártása. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest.
- Széll E.–Streb P. (2007): A kukorica közvetlen energetikai hasznosítása. *Agrofórum* 18. Extra. 17: 28–30.
- Ványiné Széles A.–Megyes A.–Nagy J. (2010): Vetésidő és az évjárat hatása a kukorica hibridek terméshozamára és a minőségére. *Növénytermelés*. 59. 4: 63–88.
- Wei, L.–Jiang, H.–Li, J.–Yan, Y.–Dai, J. (2005): Predicting the chemical composition of intact kernels in maize hybrids by near infrared reflectance spectroscopy. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. 25. 9: 1404–1407.
- Zhang, X.–Wang, Q.–Zhao, Y.–Yang, Q.–Li, C. (2010): Effects of nitrogen fertilization rate and harvest time on summer maize grain yield and its quality. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 21. 10: 2565–2572.