

A bioetanol előállítás hatékonyságát növelő kukorica termesztési technológia fejlesztése

Boros Beáta – Sárvári Mihály

Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma,
Mezőgazdaságtudományi Kar, Növénytudományi Intézet,
Debrecen
borosb@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A kukorica az egyik legfontosabb növény a világon és Magyarországon. Felhasználhatósága széleskörű: takarmánynövénynek, közvetlen emberi táplálkozásra és ipari felhasználásra egyaránt alkalmas.

Termésátlaga Magyarországon az utóbbi évtizedekben nagymértékben ingadozott, 2004-2006 között 6,82-7,56 t/ha, míg 2007-ben csak 3,6 t/ha. Ennek következtében a kukorica tonnánkénti ára 2006-hoz viszonyítva 2007-re 2-2,5-szeresére nőtt. A magas kukorica árak viszont akadályozzák a bioetanol előállítását. Egy tonnára számítva kukoricából lehet a legtöbb bioetanol előállítani, 387 liter.

Napjainkban egyre nagyobb mértékű lehet a kukorica klasszikus takarmány – élelmiszer felhasználása mellett az ipari (különösen bioetanol célú) felhasználása.

Az ipari célú termesztéshez új termesztéstechnológiára van szükség. A kísérletünkben a célnak megfelelő hibrid tesztelés útján történő kiválasztásával foglalkoztunk, az NPK műtrágyázás, valamint a tőszám és a termés közötti összefüggést vizsgáltuk. A kísérletet 2007-ben csernozjom talajon állítottuk be.

A kijuttatott műtrágya hatóanyag egységeseen N 120, P₂O₅ 80, kálium esetében 5 különböző adag volt. Ezek: K₂O 0, K₂O 100 (KCl), K₂O 100 (Kornkáli), K₂O 200 (KCl), K₂O 200 (Kornkáli) kg/ha hatóanyag. Az alkalmazott tőszám 40, 50, 60, 70, 80, 90 ezer tő/ha volt.

A trágyázási kísérletben a kukorica hibridek termése 10,53-14,62 t/ha között változott. A K adagját és formáját illetően a 100 kg/ha Kornkáli bizonyult a legkedvezőbbnek. A beltartalmi paramétereknél a kezelések átlagában a keményítőtartalom a legmagasabb (legkedvezőbb) a PR36K67 hibridnél volt: 73,57%. A termés is – így a hektárra vetített keményítőhozam is – e hibrid esetében volt a legnagyobb, tehát bioetanol előállítás szempontjából ez a hibrid bizonyult a legkedvezőbbnek. A legmagasabb fehérjetartalmat a KWS 353-es hibridnél tapasztaltuk (12,13%), ami inkább takarmányozási célból lehet kedvező.

A hibridek zöme a 80 ezer tő/ha-nál, míg a PR36K67-es és az Mv Tarján hibridek a 90 ezres állománysűrűségnél adták a legtöbb termést.

Bioetanol előállításnál fontos a jó termőképességű és magas keményítőtartalmú hibrid megválasztása. A termesztéstechnológia esetében a N kismértékű csökkentése, a kálium növelése, a tőszámoptimum intervallum felső értékének alkalmazása, és a teljes érésben való betakarítása javasolható, amikor a szárazanyag tartalom a 86%-ot megközelítette, valamint a fehérjéhez viszonyítva a keményítőtartalom a legnagyobb.

Kulcsszavak: kukorica, bioetanol, műtrágyázás, tőszám

SUMMARY

Maize is one of the most important crops worldwide and also in Hungary, it can be utilized for multiple purposes: as a feedingstuff, for human nutrition and for industrial processing.

In the last decades, the per ha yield of maize varied greatly in Hungary, between 2004 and 2006, it was 6.82-7.56 t/ha, while in 2007, it was only 3.6 t/ha. Resulting from this, the price of maize became 2-2.5 times higher. The high price hinders bioethanol production. The largest per ton amount of bioethanol, 387 l, can be produced from maize.

In addition to its classical utilization as feed and food, the industrial use (especially for bioethanol production) of maize is increasing.

For industrial production, a new production technology is needed. I tested and selected hybrids appropriate for this purpose and set up fertilization and plant density experiments. The experiment were set up on chernozem soil in 2007.

The applied fertilization treatment was N 120, P₂O₅ 80 uniformly, and five different dosages of potassium: K₂O 0, K₂O 100 (KCl), K₂O 100 (Kornkáli), K₂O 200 (KCl), K₂O 200 (Kornkáli) kg/ha active ingredient. The applied plant densities were 40, 50, 60, 70, 80, 90 thousand plants/ha.

The yield of maize hybrids in the fertilization experiment ranged between 10.53 – 14.62 t/ha. Both regarding the form and dosage, 100 kg/ha Kornkáli proved to be the best potassium treatment. Regarding the inner content parameters, the highest starch content in the average of treatments was obtained for the hybrid PR36K67: 73.57%, and its yield was also the highest, so this hybrid proved to be the most suitable for bioethanol production. The highest protein content was observed for the hybrids KWS 353 (12.13%), which can be favourable for feeding purposes.

Most of the hybrids gave the highest yield at 80 thousand plants/ha plant density, however, hybrids PR36K67 and Mv Tarján achieved the highest yield at 90 thousand plants/ha.

In bioethanol production, the selection of a high-yielding hybrid with high starch content, a slight reduction of N, increase of potassium, the application of the highest plant densities of the optimum interval, harvest at full maturity (when starch content is the highest compared to protein content) are of great importance.

Keywords: maize, bioethanol, fertilization, plant density

BEVEZETÉS

A világ növénytermesztése az elmúlt évtizedek során jelentős változásokon ment át. Ezt a változást a biológiai alapok javulása és agrotechnikai tényezők korszerűsödése tette lehetővé.

A jövőbeni változását pedig a növényi termékek élelmiszer- és takarmány célú felhasználása mellett az ipari célú felhasználásnak növekedése fogja jellemezni. Például a keményítőtartalmú növények esetében várhatóan nőni fog az üzemanyagként felhasználható vízmentes alkohol – bioetanol előállítás. Hazánk növénytermesztésére a

gabonatúlsúly jellemző (60-70%). A gabonatermő területen belül a kukorica vetésterülete meghaladja a 30%-ot. Nagy gondot jelent, hogy az országos termésátlag az utóbbi évtizedekben erősen ingadozik. 2003-ban 3,9 t/ha, 2005-ben 7,7 t/ha, 2007-ben 3,6 t/ha, volt az országos termésátlag (1. ábra).

1. ábra: Műtrágyázás és a kukorica termése Magyarországon (1920-2007)

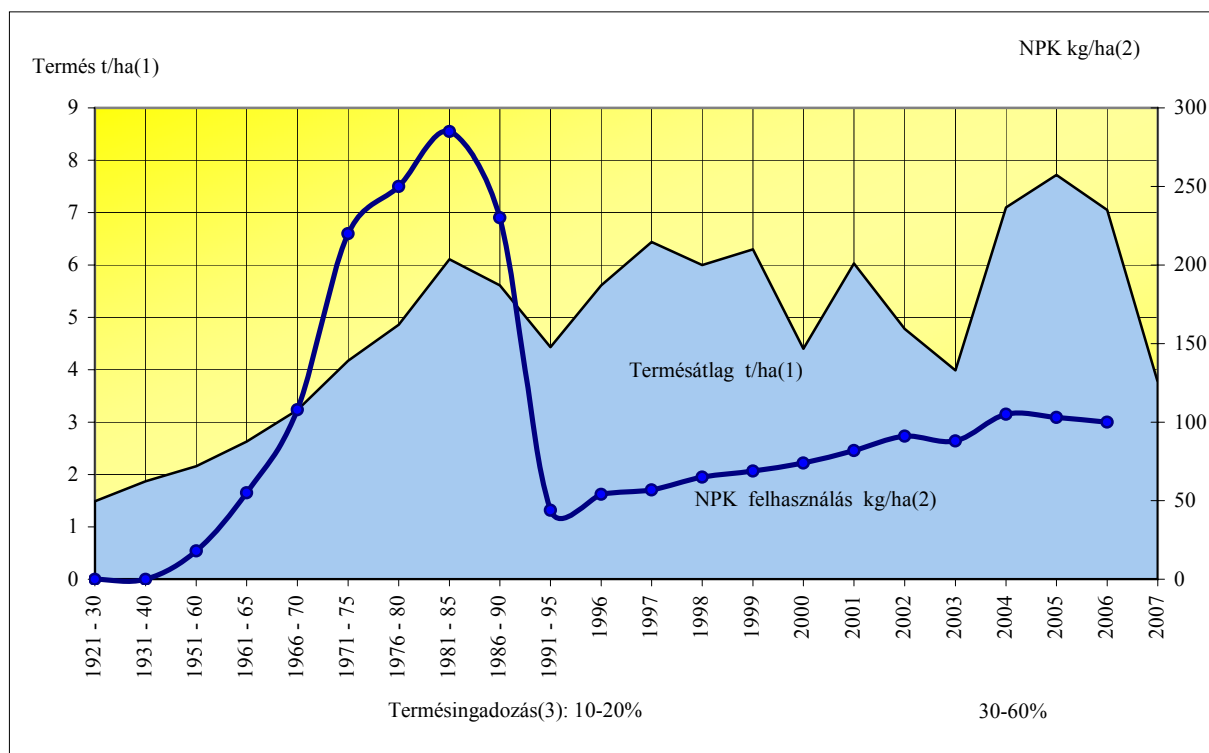


Figure 1: Correlation between fertilization and maize yield in Hungary (1920-2007)
Average yield (t/ha)(1), sum total active agent (NPK kg/ha)(2), yield fluctuation(3)

A terméssingadozás mértéke az 1970-80-as években csak 10-20% volt, míg napjainkban a 30-60%-ot is eléri. Ennek okai az inputok csökkenése. Ezen belül is jelentősen csökkent a műtrágya-felhasználás, valamint a globális felmelegedéssel járó klímaváltozás, a csapadékhiány, az időjárási szélsőségek előfordulási gyakoriságának növekedése.

A kukorica termésbiztonságát növelhetjük az ökológiai viszonyoknak megfelelő jó alkalmazkodó képességű hibridek megválasztásával, okszerű vetésváltással, harmonikus NPK tápanyag visszapotlással, víztakarékos talajműveléssel, a megfelelő töszám biztosításával és hatékony növényvédelemmel. Mindez azért fontos, hogy a termésbiztonsággal piaci kiszámíthatóság, megfelelő árviszonyok alakuljanak ki, hiszen 2007-ben éppen az alacsony országos termésátlag miatt a kukorica ára 57 ezer forint/tonnára nőtt. A magas kukorica ár miatt viszont megtorpant a hazai bioetanol előállítás, illetve az ezzel kapcsolatos beruházások.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Bioetanol számos növényből előállítható (cukorcirok, burgonya, csicsóka, őszi búza, kukorica, valamint Közép- és Dél-Amerikában a cukornád). Közülük a búza és kukorica ipari feldolgozásra történő termesztése azzal az előnnyel jár, hogy hosszú időn át tárolhatók, így a feldolgozás egész éven át folyamatosan lehetséges.

Természetesen Magyarországon a legnagyobb realitása a kukoricából történő előállításnak van, hiszen a cukorrépa termesztése teljesen visszaszorult, a burgonya vetésterülete minimális, már az étkezési szükségletet sem biztosítja. A cukorcirok termesztését a jövőben növelni lehetne a bioetanol előállítás céljából is.

A világ bioetanol előállítása és a bioetanol árának változása a 2-es és 3-as ábrákon látható (FAPRI adatok, 2008). A világon megtermelt bioetanol 80%-át USA és Brazília állítja elő. Az USA 2007-es évben még 2006 évhez viszonyítva is jelentősen növelte a termelését.

Ez a tendencia figyelhető meg az Európai Unióban is (Sárvári és Boros, 2008).

Megállapítható, hogy a kukorica árának növekedését messze nem követi a bioetanol világpiaci ára.

Szintén a Fapri előrejelzése alapján a kukorica vetésterülete 2016-ig kb. 10 millió hektárral nőni fog éppen a kukoricából történő bioetanol előállítás növekedéssel összefüggésben (4. ábra).

A kukorica nagy, 65% körüli keményítőtartalma miatt kiválóan alkalmas bioetanol előállításra. Azonban megfelelő hibrid kiválasztással és a célnak megfelelő termesztéstechnológia fejlesztéssel a keményítőtartalom akár a 70-75%-ot is elérheti (Sárvári, 2005).

A bioetanol a benzin helyettesítőjeként vagy ahhoz megfelelő százalékban keverve, oktánszámnövelő adalékanyagként használható.

Több nemzetközi vetőmag-forgalmazó vállalat és hazai kutatóintézetek is foglalkoznak olyan kukoricahibridek nemesítésével, melyeknek keményítőtartalma magas, és mellette a kinyerhető bioetanol mennyisége is nagy.

A Pioneer Hi Bred például HTF (High Total Fermentable) jelöléssel utal a magas keményítő-kihozatalú, ezért bioetanol-gyártás céljára leginkább alkalmas kukoricahibridekre.

A világ egyes részein – Brazília, USA – a bioetanol motorhajtóanyagként történő felhasználása mára már olyan jelentős arányú, amely révén csökkenthető a fosszilis energia (pl. a kőolaj származékok) felhasználása. Ez abból a szempontból is jelentős, hogy a fosszilis energiák felhasználásának növekedése maga után vonja a légköri CO₂ koncentráció növekedését, ami összefüggésbe hozható a globális felmelegedéssel.

2. ábra: Etanol termelés a világon

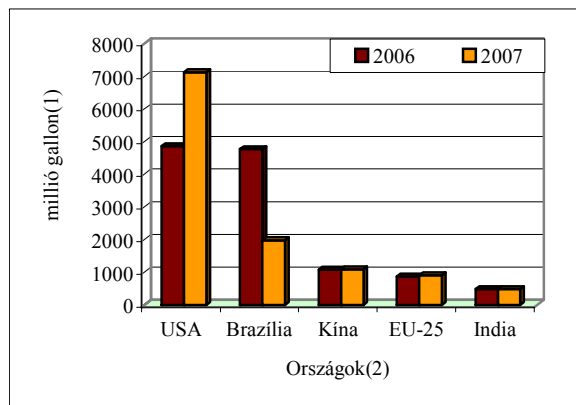


Figure 2: Production of bioethanol in Word Million gallon(1), country(2)

3. ábra: Az etanol ára

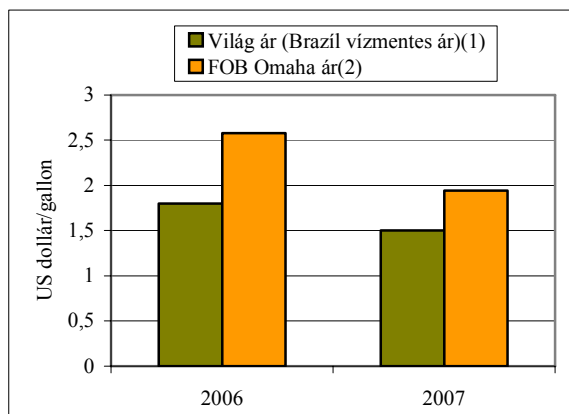


Figure 3: The bioethanol-price Word-price(1), FOB Omaha-price(2)

4. ábra: A kukorica vetésterületének és termésmennyiségének alakulása

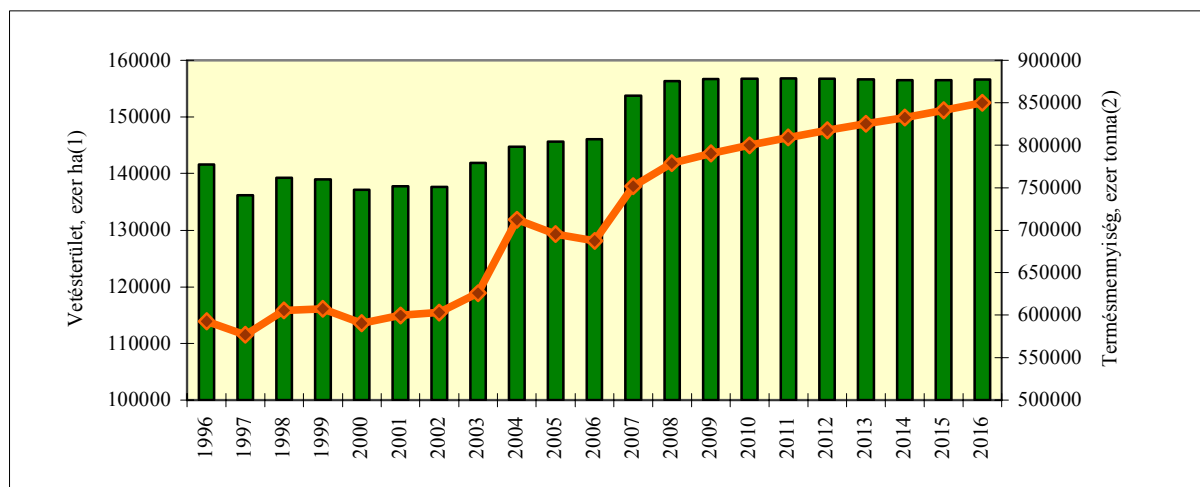


Figure 4: The crop area and the average yield or maize Crop area (thousand ha)(1), average yield (thousand t)(2)

Az EU a fentiekhez képest mérsékeltebb tervet dolgozott ki a bioüzemanyagok előállítására. A 2005. évi 2%-os részarányukat 2010-ig 5,75%-ra kívánja emelni. Ezáltal az EU etanol igénye a 2005. évi 4 millió m³-ről 12 millió m³-re nő. Ez a 8 millió m³-es piacbővülés lehetőséget teremt Magyarország tervezett bioetanol termelésének fejlesztésére. Mivel az állattenyésztésünk felére csökkent, így ez a tény lehetővé tenné a kukorica feleslegek ipari célra történő felhasználását. Ez viszont csak elfogadható kukoricaárak mellett járható út. Kabán a volt cukorgyár helyén, évente 300 ezer tonna kukorica bioetanol előállítására alkalmas üzem felépítése éppen a nem megfelelő üzleti tervek miatt állt le.

A kukorica bioetanol célú felhasználásához új természetstechnológiát kell kialakítani, ahol nagy szerepe van többek között a hibrid megválasztásnak, az NPK tápanyagellátásnak, a területegységre vetített tőszámának. Hiszen bioetanol előállításnál az a kedvező, ha a fehérjetartalom alacsonyabb, a keményítőtartalom magasabb. És ez kedvező kiejeszthetőséggel párosul.

Magyarországon a biológiai alapokkal összefüggésben megállapítható, hogy nyitott fajtapolitikát folytat (Németh és Szél, 1985).

A N-műtrágyák alapvetően egy éves hatásúak. Általában 50-85%-ban hasznosulnak az ökológiai és agrotechnikai tényezőktől függően (Dezső, 1981; Debreczeni et al., 1998).

A N-trágyázás a termés mellett a fehérjetartalmat is növeli (Györffy et al., 1965; Pekáry, 1969; Bretele, 1976; Decan és Pujol, 1974).

Míg a fehérjetartalmat a N-műtrágya, addig a keményítőtartalmat a P, K műtrágyák növelik (Getmance és Kljavzo, 1981).

A kálium műtrágyázás hatását, hatékonyságát, a talajból származó és a műtrágyák kálium hatóanyagának a felvételét a harmonikusan adott nitrogén és foszfor műtrágyákkal növelni lehetett (Nikitishen et al., 1996; Gorbanov és Kostadinova, 2000; Rusu et al., 2001).

A K műtrágyázás barna erdőtalajon 245-280 kg/ha-ral növelte a termést (Krisztián et al., 1989), míg réti talajon 100 kg/ha K műtrágya termésmenvelő hatása 3-4 t/ha volt (Sárvári és Győri, 1982).

A kukorica a káliumot már a tenyészidő kezdetén gyors ütemben veszi fel, ezért még a K-mal jól ellátott talajon is érdemes a kukoricát K-trágyázni (Feigenbaum et al., 1990; Fotyma és Gosek, 1991).

A kukorica a foszfornál jobban reagál a K műtrágyázásra (Pekáry, 1969; Prokszané et al., 1995; Árendás et al., 1998).

A termésátlagok megkétszereződésében, megháromszorozásában jelentős szerepe volt a magasabb tőszám alkalmazhatóságának (Carlone és Russel, 1987).

A tőszámoptimum intervallumon belül a felső értékhez közelítve, valamint az optimálisnál némileg nagyobb tőszám a fehérje- és olajtartalmat csökkenti, keményítőtartalmat pedig növeli (Sárvári és Szabó, 1998).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A bioetanol előállítással összefüggő tápanyagellátási és tőszámsűrítési kísérleteket a hajdúsági löszháton elhelyezkedő csernozjom talajon végeztük 2007-ben. A kísérlet Hajdúböszörmény I-es kerületében található, jellemzője, hogy 2006-ban a terület (faiskola után) ugaroltatva volt.

A kísérleti terület talajának Arany-féle kötöttségi száma 43, szervesanyag tartalma 2,92%, NO₃-N mennyiség 33,6 mg/kg, P₂O₅ tartalma 313,6 mg/kg, K₂O tartalom 354,8 mg/kg. AL oldható foszfor és kálium tartalma a vizsgálati eredmények szerint igen jó.

A talaj jó levegő- és hógazdálkodású. A humuszanyagok felhalmozódása kedvező, morzsalékos szerkezet kialakulása, valamint a kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása a jellemző.

A talaj vízgazdálkodása igen jó, mert minden szintjének kiváló a vízáteresztése és víztároló képessége. 200 cm mélységig, ha fel tud töltődni, 500 mm vizet is képes tárolni, melynek fele holt, fele pedig diszponibilis – a növények számára is felvehető – víztartalom.

A globális felmelegedés – klímaváltozás – következtében nőtt az időjárási szélsőségek előfordulásának gyakorisága. Az utóbbi 17 évből 9-10 év aszályos volt. Ennek következtében csökkent a terméshozadék, nőtt a terméshozadék.

Rendkívül kedvezőtlen időjárás volt jellemző a 2007-es évre. A csapadék mennyisége a kukorica tenyészidejében 59,4 mm-rel kevesebb volt a 30 éves átlagtól, azonban még ettől is kedvezőtlenebb volt a csapadék szélsőséges eloszlása.

Az évi középhőmérséklet a kukorica tenyészidejében 1,9-3,5 °C-kal meghaladta a sokévi átlagot. Különösen kedvezőtlen volt a júliusi magas hőmérséklet és csapadékhiány. A hőmérséklet és a csapadék alakulása 2007. évben az 5. ábrán látható.

Hajdúböszörmény I-es kerületében a csapadék ellátottság eltért a debreceni területen lehullott csapadéktól.

A legnagyobb csapadékhiány áprilisban, júniusban és júliusban volt, amikor is áprilisban 38,6 mm-rel, júniusban 64,1 mm-rel, július hónapban 22,7 mm-rel hullott kevesebb csapadék a 30 éves átlaghoz viszonyítva.

A kukorica tenyészidejében (IV-IX. hó) a csapadék 30 éves átlaga 345,1 mm, ezzel szemben 2007-ben a ténylegesen lehullott csapadék 291,2 mm. Összességében 53,9 mm-rel kevesebb csapadék hullott a sokévi átlaghoz viszonyítva, ezen túl viszont a kedvezőtlen eloszlása is hátráltatta a megtermékenyülést és a szemtelítődést.

A havi középhőmérséklet I-VIII. hónapban lényegesen magasabb volt a 30 éves átlaghoz viszonyítva, szeptember hónapban viszont alacsonyabb volt.

5. ábra: Hőmérséklet és csapadék alakulása (Hajdúböszörmény, 2007)

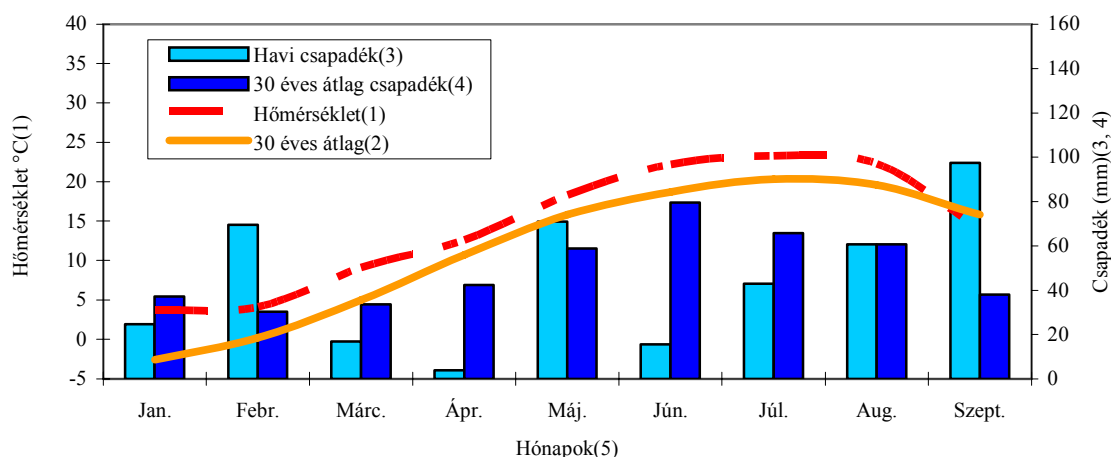


Figure 5: Temperature and weather data (Hajdúböszörmény, 2007)

Monthly precipitation(1), average precipitation of 30 years(2), temperature(3), average of 30 years(4), monthly(5)

Január hónapban 6,3 °C-kal, februárban 3,9 °C-kal, márciusban 4,1 °C-kal, áprilisban 1,9 °C-kal, májusban 2,5 °C-kal, júniusban 3,5 °C-kal, júliusban 3,0 °C-kal, augusztusban 2,7 °C-kal volt magasabb a hőmérséklet a sokévi átlaghoz viszonyítva. Különösen kedvezőtlen volt a júliusi magas hőmérséklet a kukorica szempontjából. Szeptember hónapban a havi középhőmérséklet 1,8 °C-kal alacsonyabb volt a 30 éves átlaghoz viszonyítva. A kukorica tenyészidejében (IV-IX. hó) a hőmérséklet 30 éves átlaga 16,32 °C, a tényleges havi középhőmérséklet átlaga (IV-IX. hó) 18,78 °C volt, vagyis a kukorica tenyészidejében 1,96 °C-kal magasabb volt a havi középhőmérséklet átlaga a 30 éves átlaghoz viszonyítva.

A jövőben a kukorica termésbiztonságának előtérbe kell kerülnie. Fontos, hogy mindig a termesztési célnak megfelelő technológiát alkalmazzuk, valamint az ökológiai viszonyoknak és a ráfordítás színvonalának megfelelő hibridet válasszunk.

Kísérleti körülmények

A tápanyagellátási kísérletben öt eltérő genetikai adottságú kukoricahibridet teszteltünk, öt különböző NPK műtrágyakezelés mellett: a kijutatott hatóanyag egységesen 120 kg N, egységesen 80 kg P₂O₅ hatóanyag volt hektáronként, a K formáját és hatóanyag tartalmát változtattuk a különböző kezeléseknél:

1. kezelés K nélküli, a
2. kezelés 100 kg /ha KCl-ot, a
3. kezelés 100 kg /ha Kornkálit, a
4. kezelés 200 kg /ha KCl-ot, az
5. kezelés 200 kg/ha Kornkálit kapott.

A kísérleteket négy ismétlésben állítottuk be.

A tőzsámsűrítési kísérletben tíz eltérő genetikai tulajdonságú kukoricahibridet teszteltünk hat különböző tőzsámon. Az alkalmazott tőzsámok: 40, 50, 60, 70, 80 és 90 ezer volt hektáronként.

A tápanyagellátás egységesen 120 kg N, 80 kg P₂O₅ és 110 kg K₂O hatóanyag volt hektáronként.

Mindkét kísérletet négy ismétlésben állítottuk be. A kísérletek kiértékelését varianciaanalízissel és parabolikus regressziós analízissel végeztük.

A vizsgált paraméterek a nyersfehérje-tartalom, a keményítőtartalom, az olajtartalom %-os meghatározásban szárazanyagra vetítve.

A beltartalmi paraméterek vizsgálata a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézetben Dr. Györi Zoltán munkatársai segítségével végeztük el. A keményítőtartalom meghatározása az MSZ 6830/18-1988 szabvány szerint történt, a fehérjetartalom meghatározása roncsolásos módszerrel, az olajtartalmat Soxtec félautomata készülékkel mérték.

EREDMÉNYEK

A kukorica ipari célú felhasználása esetén új termesztési technológiát kell kidolgozni, mellyel növelhető a keményítőtartalom, és ennek eredményeként a bioetanol kihazatal. A technológiai elemek közül különösen fontos a hibridválasztás, az állománysűrűség és a tápanyagellátás.

Hazánkban az állattenyésztés abraktakarmány igénye lecsökkent, a növénytermesztés-állattenyésztés aránya is kedvezőtlen 60:40%, amin a jövőben célszerű változtatni. Azonban a kukorica alternatív felhasználását mindenképp növelni kell, ami a 2007 évi magas kukoricaárak miatt megtorpant. A 2008 évi kedvező termésátlagok következtében kialakult alacsonyabb árak, és ha ez nagyobb mértékű állami támogatással is párosulna, már gazdaságos lehetne.

Több nemzetközi vetőmag forgalmazó vállalat és hazai kutatóintézetek is foglalkoznak olyan kukoricahibridek nemesítésével, amelyek termésének keményítőtartalma magas.

Az ökológiai-biológiai és agrotechnikai tényezők közül a legkedvezőbb helyzetben a biológiai alapok vonatkozásában vagyunk. 2007-ben 423 szemes és siló hibrid volt köztermesztésben, ami talán túlzás is. A kukorica hibrid választása a felhasználás célja szerint napjainkban kedvező, mind ipari, mind takarmányozási célra ki lehet választani a megfelelő tulajdonságokkal és beltartalmi paraméterekkel rendelkező hibridet. Ennek ellenére a kukoricatermő területek több mint 50%-án 10 hibridet termesztnek hazánkban.

Ezek alapján feltételezhetjük, hogy nem mindig az ökológiai viszonyoknak, a ráfordítás színvonalának és a felhasználás céljának megfelelő hibridet választunk.

Takarmányozási cél esetén kedvező a magasabb fehérjetartalom, míg bioetanol előállításnál a magasabb keményítőtartalom jósolja a nagyobb alkoholt kihozatal esélyét.

A tesztelt biológiai alapok a kedvezőtlen időjárás ellenére is jól szerepeltek, kiemelkedő terméseredményt adtak, aminek magyarázata, hogy a

kísérletet kiváló talajon állítottuk. A talajban volt elegendő hasznos vízkészlet, míg monokultúrás termesztésnél már tavasszal a talajok a holtvíztartalomig kiszáradtak, mivel az előző őszi és a 2007 év eleje száraz és aszályos volt.

Az 1. táblázatban szereplő termésmaximumok egyévesen 14% nedvességtartalomra lettek számítva. Az $SzD_{5\%}$ értékei a hibridek vonatkozásában 0,63 t/ha, a műtrágya esetében 0,59 t/ha, kölcsönhatás vonatkozásában 1,32 t/ha.

A PR37D25 és PR36K67-es hibrid termése a többi vizsgált hibridhez viszonyítva szignifikánsan nagyobb, a DKC 5211 termése pedig szignifikánsan kisebb.

A műtrágyakezelés és a termés közötti összefüggést értékelve megállapítható, hogy a hibridek átlagában már a K műtrágyázás nélküli kezelésnél is 10,39 t/ha a termés, ehhez viszonyítva a 100 kg Kornkáli (egy esetben a PR37D25-ös hibridnél a KCl) 0,68-1,92 t/ha-ral növelte a területegységre vetített termést (6. ábra).

1. táblázat

A kísérletben szereplő hibridek rangsorolása a termőképesség alapján

A hibrid neve(1)	FAO szám(2)	Termésmaximum t/ha(3)	Termésmaximumhoz tartozó műtrágyakezelés kg/ha hatóanyag(4)		
1. PR36K67	490	14,62	N 120	P ₂ O ₅ 80	Kornkáli 100
2. PR37D25	330	13,25	N 120	P ₂ O ₅ 80	KCl 100
3. KWS 353	350	11,65	N 120	P ₂ O ₅ 80	Kornkáli 100
4. PR38B12	310	11,63	N 120	P ₂ O ₅ 80	Kornkáli 200
5. DKC 5211	460	10,53	N 120	P ₂ O ₅ 80	Kornkáli 200
Átlag(5)		12,34			

Table 1: Rank of hybrids based on yield

Name of the hybrid(1), FAO number(2), maximum yield (t/ha)(3), optimum fertilizer dosage (kg/ha)(4), average(5)

6. ábra: A műtrágyázás hatása a kukorica hibridek termésére (Hajdúböszörmény, 2007)

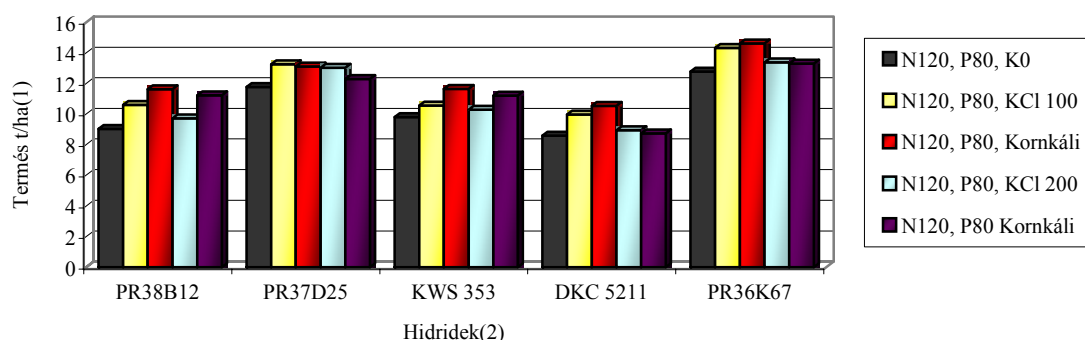


Figure 6: The effect of fertilization on the yield of maize hybrids (Hajdúböszörmény, 2007)

Yield (t/ha)(1), hybrids(2)

Kísérleteinkben a fehérjetartalom hibridtől és az NPK trágyakezeléstől függően 10,28-12,13% között változott, ami igen magas fehérjetartalomnak számít. Takarmányozási cél esetén kedvező lehet a magasabb fehérjetartalom, bioetanol előállítás szempontjából viszont ez kevésbé jelentős, sőt az alacsonyabb a kedvező. A fehérjetartalom tendenciájában a N 120, P₂O₅ 80, K₂O 200 (KCl) kg/ha hatóanyag kezelésnél

volt a legmagasabb. A kukorica hibrid tekintetében pedig a KWS 353-as fehérje százaléka a legnagyobb, 11,71-12,35% közötti. Az alacsonyabb, 11,71%-os fehérjetartalmat a kontroll (K kezelés nélküli) kezelésnél kaptuk. A legkisebb fehérje százalékot – kezeléseink átlagában – a PR36K67-es hibridnél mértük, 10,28%-ot, ami bioetanol előállítás szempontjából kedvező.

Az olajtartalom hibridtől és kezeléstől függően 4,87-5,19% között változott.

A hibridek keményítőtartalma is kedvezően alakult a vizsgált évben. A vizsgált öt hibridnél kezeléstől függően 71,79-73,59% között változott. A legnagyobb keményítő százalékot a PR37D25-ös hibrid érte el, 73,59-73,82%-ot, az N 120, P₂O₅ 80, K₂O 200 (Kornkáli) kg/ha hatóanyag kezelésnél.

A kálium egyértelműen nem növelte a kukoricaszem keményítő százalékát, hiszen

előfordult, hogy kálium műtrágyázás nélkül is kedvezően alakult, pl. KWS-353 és PR36K67 hibrideknél. Ez természetesen a kedvező termőhelyi adottságnak, a talaj jó kultúr állapotának, az igen jó AL oldható K₂O ellátottságának (354,8 mg/kg), továbbá a talaj jó tápanyag-szolgáltató képességének is köszönhető.

A beltartalmi értékek az öt vizsgált hibridnél a kiváló termőhelyi adottság és az NPK műtrágyázás hatására a 2. táblázatban látható módon alakultak.

2. táblázat

A kálium műtrágyázás hatása a kukorica hibridek minőségére (Hajdúböszörmény, 2007)

Hibrid(1)	Műtrágya-kezelés(2)	Fehérje %(3)	Keményítő %(4)	Olaj %(5)	Szárazanyag %(6)
PR38B12	N120 P80 K0	11,65	72,19	4,93	91,34
	N120 P80 KCl 200	12,34	72,70	5,04	91,71
	N120 P80 Kamex 200	11,78	72,51	5,15	91,82
Átlag(7)		11,92	72,47	5,04	91,62
PR37D25	N120 P80 K0	10,72	73,15	4,99	91,51
	N120 P80 KCl 200	10,92	73,81	4,80	91,51
	N120 P80 Kamex 200	10,64	73,82	4,83	91,60
Átlag(7)		10,76	73,59	4,87	91,54
KWS 353	N120 P80 K0	11,71	72,33	5,22	91,70
	N120 P80 KCl 200	12,35	71,74	5,25	91,28
	N120 P80 Kamex 200	12,33	71,31	5,10	91,51
Átlag(7)		12,13	71,79	5,19	91,50
DKC 5211	N120 P80 K0	11,36	72,75	5,12	91,51
	N120 P80 KCl 200	11,31	72,30	5,02	91,40
	N120 P80 Kamex 200	11,21	72,85	4,94	91,01
Átlag(7)		11,29	72,63	5,03	91,30
PR36K67	N120 P80 K0	9,86	74,04	4,86	91,49
	N120 P80 KCl 200	10,65	73,49	4,89	91,42
	N120 P80 Kamex 200	10,33	73,20	4,89	91,72
Átlag(7)		10,28	73,57	4,88	91,54

Table 2: Effect of potassium fertilization on the quality of maize hybrids (Hajdúböszörmény, 2007)
Hybrid(1), fertilization(2), protein %(3), starch %(4), oil %(5), dry matter %(6), average(7)

Az egy hektárra jutó keményítőhozam alapján rangsorolva a tesztelt hibrideket, a következő eredményt kaptuk:

1. PR37K67-es hibrid, keményítőhozam: 9,84 tonna/ha
2. PR37D25-ös hibrid, keményítőhozam: 8,93 tonna/ha
3. PR38B12-es hibrid, keményítőhozam: 7,73 tonna/ha
4. KWS353-as hibrid, keményítőhozam: 7,65 tonna/ha
5. DKC5211-es hibrid, keményítőhozam: 6,98 tonna/ha

Az elért eredményekkel csak a potenciális etanolhozamra mutattunk rá a vizsgált kukorica hibridekkel termelhető bioetanol mennyiségre, hiszen a termésmennyiség és a keményítőtartalom mellett a bioetanol kinyerhetőség is fontos, amit a jövőben feltétlenül vizsgálni szeretnénk.

A tőszám a termést és a kukorica beltartalmi értékét is meghatározza. A hibridek tőszámsűrűségét befolyásolja a hibrid genetikai tulajdonsága, tenyészideje, a termőhelyi adottság, az évjárat hatása, a víz- és a tápanyagellátás mértéke. Az optimális tőszám ismeretén túlmenően a tőszámoptimum intervallumot is meg kell határozni. Azt az intervallumot, amit a hibridek még terméscsökkenés nélkül elviselnek. (Az egyedi produkció csökkenése ellenére a területegységre vetített termés nő.)

Az 7. ábrán jól látható, hogy 2007-ben a Hajdúböszörményben beállított kísérletben nemcsak a hibridek termőképessége volt nagymértékben eltérő, hanem a tőszámreakciójuk is.

A vizsgált hibridek közül öt hibrid: a PR37N01-es, a PR37D25-ös, a DKC4626-os, az MV Koppány és a PR37N54-es 80 ezer tő/ha-os állománysűrűségnél érte el a termésmaximumát, ami 12,14 és 14,14 t/ha között alakult.

A vizsgált hibridek közül az NK Altius terméseredménye volt a legalacsonyabb. A hibrid maximális termése 10,29 t/ha, amit a 60 ezer tő/ha-os állománysűrűség mellett ért el. Ez a FAO 300-as hibrid a tőszámsűrítésre is érzékenyen reagált.

Szintén nem igényel nagy tőszámot a PR36K67-es és a PR37F73-as hibrid, azonban nagy a növényenkénti termésük, többszörösére

hajlamosak. Így 2007-ben maximális termésük 11,95-12,45 tonna volt hektáronként.

Az eredményekből látható, hogy a tőszámot is csak adott hibridre vonatkozóan – hibridspecifikus módon – célszerű alkalmazni.

A 8. ábra az előző évek kísérleti eredményei alapján szemlélteti a tőszám és a beltartalom közötti összefüggést (három hibrid, és három év átlaga).

7. ábra: A tőszám hatása a kukorica hibridek termésére (Hajdúböszörmény, 2007)

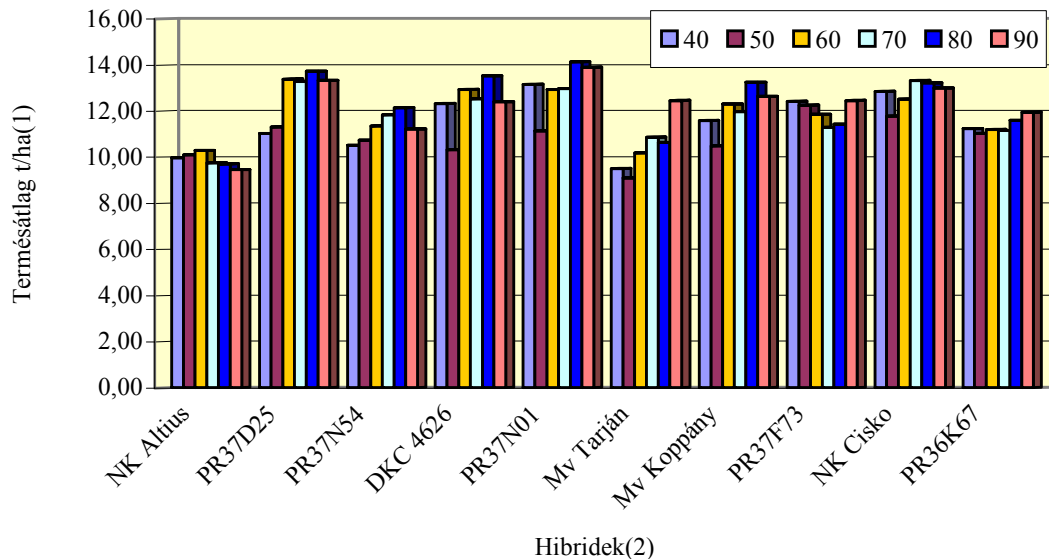


Figure 7: The effect of plant density on the yield of maize hybrids (Hajdúböszörmény, 2007)
Yield (t/ha)(1), hybrids(2)

8. ábra: Az állománysűrűség hatása a kukorica keményítő-, olaj- és fehérjetartalmára

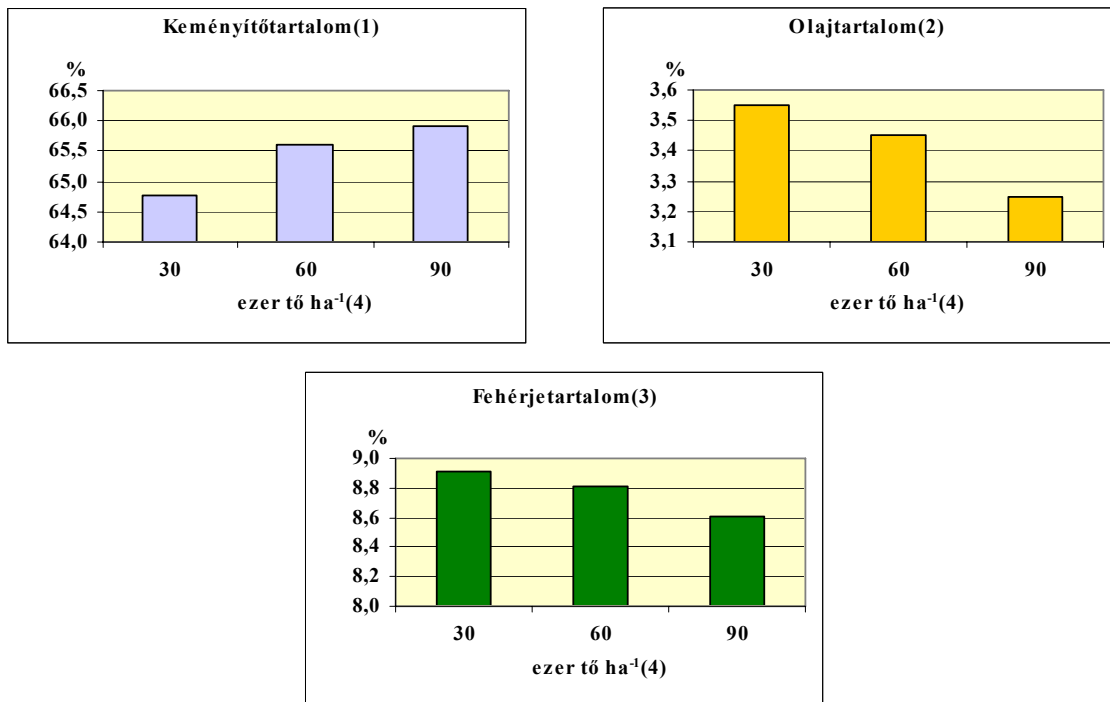


Figure 8: The plant densities of protein, starch and oil content of maize hybrids
Starch content(1), oil content(2), protein content(3), plant density(4)

Azt tapasztaltuk, hogy a tőszám emelésével (természetesen egy meghatározott intervallumon – 70-90 ezer tó/ha – belül) a beltartalmi paraméterek közül a keményítőtartalom nő, a fehérje- és olajtartalom pedig csökken.

Megállapítható, hogy a hektáronkénti keményítőhozam növelése céljából a kukoricatermesztés technológiáját változtatni kell. HTF hibridet és jó termőképességű hibridet kell választani. Mert a területegységre előállítható bioetanol mennyisége nemcsak a keményítőtartalomtól és a kiejeszthető bioetanol mennyiségétől, hanem a hektáronként elért termés mennyiségétől is függ. A HTF (High Total Fermentable) jelöléssel a Pioneer Hi-Bred utal a magas keményítőtartalmú, ezért bioetanol gyártás céljára leginkább alkalmas kukorica hibridekre.

A tápanyagellátás során a N műtrágyát kismértékben csökkenti, a K-ot növelni célszerű.

Abban az esetben, ha takarmányozási célra termesztünk kukoricát, 80-120 N, 70-80 P₂O₅, 90-110 K₂O kg/ha műtrágya hatóanyag mennyiség a kedvező; amennyiben ipari célra termesztünk kukoricát, 60-80 N, 80-90 P₂O₅, 110-140 K₂O hatóanyag lehet a területegységre nyerhető keményítő-, illetve bioetanol hozam szempontjából előnyös.

A termesztés során a tőszámoptimum intervallum felső értékét kell alkalmazni, ahol a fehérjetartalom alacsonyabb, a keményítőtartalom magasabb lesz.

A betakarítást teljes érésben kell végezni, hogy a fehérjéhez viszonyítva relatíve minél nagyobb legyen a keményítő tartalma.

KÖVETKEZTETÉS

Magyarországon a jövőben változni fog a kukorica felhasználása, a növénytermesztés: állattenyésztés kedvezőtlen 60:40%-os aránya miatt az állattenyésztés takarmányigénye folyamatosan csökkent, az intervenciós felvásárlás nem működik. Ezért a megoldás az ipari célú felhasználás növelése, a bioetanol előállítás fokozása.

Az ipari felhasználás hatékonyságának növeléséhez pedig tesztelés útján ki kell választani a nagyobb keményítőtartalmú és kedvezőbb etanol kiejeszthetőségű hibrideket. Ilyenek például a PR37K67-es, a PR37D25-ös hibridek.

Változtatni kell a termesztéstechnológián, termőhely-hibrid és a termesztési célnak megfelelő NPK műtrágyázást, tőszámot, továbbá ezekkel összefüggő hibridspecifikus agrotechnikát kell alkalmazni, ami a területegységre vetített nitrogén kismértékű csökkentését (90 kg/ha hatóanyag és az alatti adag javasolható), a kálium növelését jelenti 100 kg/ha és a feletti kijuttatott hatóanyag mennyiségre. A tőszám optimum intervallum felső értékét célszerű alkalmazni (70-90 ezer tó/ha), ahol még megfelelő a terméshozam, de kedvező a keményítőtartalom alakulása is.

IRODALOM

- Árendás T.-Sarkadi J.-Molnár D. (1998): Műtrágyahatások kukorica-őszi búza bikultúrában erdőmaradványos csernozjom talajon. *Növénytermelés* 47. 45-57.
- Breteler H. (1976): Nitrogéntrágyázás hatása a magas lizintartalmú kukoricafajták hozama és fehérje-összetételére. *Agric. London* 27. k. 10. sz. 978-982.
- Carlone, M. R.-Russel, V. A. (1987): Response top land densities and N levels for four maize cultivars from different ears of breeding. *Crop Science* 27. 465-470.
- Debreczeni K.-Fischl G.-Heltai Gy.-Bálint A. (1998): A nitrogén műtrágyázás hatása a talajból származó különböző nitrogéntartalmú gázokra. *Növénytermelés* 47. 2. 155-164.
- Decan J.-Pujol B. (1974): Az öntözés és a nitrogéntrágyázás által a különféle kukorica fajták termésének mennyiségére és minőségére gyakorolt hatások összehasonlító vizsgálata. *Anuls. Argon. Paris*. 25. k. 1. sz. 93-110.
- Dezső J. (1981): Különböző vetésforgó hatása a termésre. *Nemzetközi Növénytermesztési szimpózium, Debrecen*
- Feigenbaum, S.-Bartal, A.-Sparks, D. L. (1990): Dynamics of soil potassium in multicationic systems. Development of K-fertilizer recommendations. 22nd Colloquium of the International Potash Institute. 125-141.
- Fotyma, S.-Gosek, S. (1991): Long term potassium fertilization on Poland, *Potash-Review*. 12. Suite 8:2, 1-3.
- Getmanec, A. J.-Kljavzo, Sz. P. (1981): Vlijnie mineral'nuh udobrenij na kacsentvo Zerna Kukuruzü, *Agrohimija, Moszkva*, 2. sz. 146-153.
- Gorbanov, S.-Kostadinova, S. (2000): The effect of phosphorus and potassium fertilization on the yield and grain quality of winter wheat. Potassium and phosphorus: Fertilization Effect on soil and crops. *Proceedings of the Regional IPI workshop, Lithuania* 23-24. október 2000. 132-137.
- Györfly B.-I'só I.-Böloni I. (1965): *Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, 41.
- Krisztián J.-Kladlicskó B.-Holló S. (1989): A K műtrágyázás hasznosulása észak-magyarországi barna erdőtalajon és agyag bemosódásos barna erdőtalajon. *A Magyar Agrártudományi Egyesület Talajtani Társaságának Vándoregyesülete, Szarvas*. In: *Agrokémia és Talajtan* 38. 89-92.
- Németh J.-Szél S. (1985): *Kukoricatermesztés fejlesztése. MÉM Mérnök Vezető-továbbképző Intézet Kiadványa, Budapest*, 5-22.
- Nikitishen, V. I.-Dmitrakova, L. K.-Zaborin, A. V. (1996): Produktivity of the utilization of potassium by plants against a background of long-term application of fertilizers in agroecosystems *Agrokhimiya* 2. 11-20.
- Pekáry K. (1969): N-P-K Műtrágyaadagolási kísérletek kukoricával két északkelet-magyarországi termőhelyen (In: *Kukoricatermesztési kísérletek 1965-1968. Szerk: I'só I.*). *Akadémiai Kiadó, Budapest*, 186-201.
- Prokszáné P. Zs.-Széll E.-Kovácsné K. M. (1995): A nitrogén műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termésére és néhány beltartalmi mutatójára eltérő évjáratokban, réti öntés talajon. *Növénytermelés* 44. 33-42.

- Rusu, C.-Domescu, D.-Istrati, E.-Rusu, R. (2001): Effect of long-term fertilization on wheat yield on the typical chernozem and dark luvisol of the Moldavian plateau I. Nitrogen rate experiments. *Cercetari Agronom. in Moldova* 34. 3-4: 29-37.
- Sárvári M. (2005): Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica adaptációs képességére és termésbiztonságára. *DE AMTC Tudományos Kiadványa*, 183-203.
- Sárvári M.-Boros B. (2008): A kukoricatermesztés helyzete és jövője Magyarország. *Agronapló* XII. 4. 13-15.
- Sárvári M.-Győri Z. (1982): A monokultúrában és vetésváltásban termesztett kukorica termésátlagainak és minőségének változása különböző tápanyagellátás esetén. *Növénytermelés* 31. 177-184.
- Sárvári M.-Szabó P. (1998): A termesztési tényezők hatása a kukorica termésére. *Növénytermelés* 47. 2: 213-221.
- FAPRI adatok (2008): European bioethanol Fuel Association és European Union of Ethanol Producers