

(32) **BERZSENYI Z., ÁRENDÁS T., BÓNIS, P., MICSKEI GY., SUGÁR E.**
A növénytermesztési tényezők tartamhatásának vizsgálata a kukorica produktívására eltérő évjáratokban

Long-Term Effect of Crop Production Factors on Maize Productivity in Different Years

berzseny@mail.mgki.hu

MTA Agrártudományi Központ Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a tartamkísérletek iránti érdeklődés világszerte fokozódott, ugyanis kizárólag ilyen kísérletekből nyerhetők megfelelő indikátorok (terméstrendek, az agroökoszisztémát jellemző mutatók) a termesztés fenntarthatóságáról, illetve a klímaváltozás hatásáról. A Győrffy Béla által az 1959-1961 években, Martonvásáron beállított tartamkísérletek ma már több mint 50 évesek és a klasszikus tartamkísérletek közé tartoznak. Kutatásainkban a növénytermesztési technológiák fenntarthatóságát, melynek fontos mutatója a termésstabilitás, e tartamkísérletekben tanulmányozzuk. A dolgozatban több évtizedes adatsorok alapján vizsgáltuk különböző növénytermesztési tényezőket, így a vetésforgó, a trágyázás, a vetésidő, a növényszám és a genotípus hatását a kukorica termésére és termésstabilitására (Berzsenyi, 2010; Árendás et al., 2010). A több évtizedes tartamkísérletekben az évjárat hatásának vizsgálata a termesztési tényezők optimális szintjére és a termésstabilitásra különösen fontos a klímaváltozás várható hatásával összefüggésben.

Anyag és módszer

A tartamkísérleteket Győrffy Béla az intézet kísérleti területén, Martonvásáron állította be. A kísérleti terület talaja a szántott rétegben enyhén savanyú, felvehető foszforral gyengén és káliummal jól ellátott humuszos vályog, típusa erdőmaradványos csernozjom.

A vetésforgó kísérlet kezelése. A vetésforgó kísérletet 1961-ben állították be az intézet kísérleti területén, kéttényező, osztott parcellás elrendezésben, négy ismétlésben. A főparcellákat a növényi sorrendek, az alparcellákat a trágyakezelések képezik. A főparcella 7 növényi sorrendet foglal magában: 1. Kukorica monokultúra, 2. Búza monokultúra, 3. 3 év lucerna – 5 év kukorica (KL), 4. 3 év lucerna – 5 év búza (BL), 5. 2 év búza – 2 év kukorica (KB), 6. 3 év lucerna – 3 év kukorica – 2 év búza (KBL), 7. Kukorica – tavaszi árpa – borsó – búza (NF). A kukorica, illetve a búza részaránya a vetésforgótól függően 25, 37.5, 50, 62.5 és 100%. A kísérlet alparcellái 5 eltérő trágyázási rendszert képviselnek: A: Kontroll, trágyázás nélkül, B: 60 t/ha istállótrágya 4-évenként + NPK kiegészítés, C: 5 t/ha szalma, illetve 7 t/ha kukoricaszár évente + NPK kiegészítés, D: a növény által felvett NPK műtrágya, E: Felvett NPK, 15 t/ha kukorica- és 10.5 t/ha búzaterméshez.

A trágyázási tartamkísérletek kezelése. A trágyázási kísérleteket kukorica-búza dikultúrában 1958-ban, kukorica monokultúrában 1959-ben állították be. A kukorica-búza dikultúra kísérletben a növényi sorrend 2 év kukorica, 2 év búza. Mindkét kísérletet latin négyzet elrendezésben állították be, a monokultúra kísérletet 7 kezeléssel, a dikultúra kísérletet 6 kezeléssel.

A kukorica monokultúra kísérlet kezelése az alábbiak (2-7. kezelés 4 évenként): 1. Kontroll, trágyázás nélkül, 2. 35 t/ha istállótrágya, 3. 17.5 t/ha istállótrágya + NPK műtrágya kiegészítés ($N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$), 4. 35 t/ha istállótrágya hatóanyagának megfelelő mennyiségben NPK műtrágya ($N_1P_1K_1$), 5. 70 t/ha istállótrágya, 6. 35 t/ha istállótrágya + NPK műtrágya kiegészítés ($N_1P_1K_1$), 7. 70 t/ha istállótrágya hatóanyagának megfelelő mennyiségben NPK műtrágya ($N_2P_2K_2$). A kukorica-búza dikultúra kísérlet kezelése az alábbiak (2-5. kezelés 4 évenként): 1. Kontroll, trágyázás nélkül, 2. 35 t/ha istállótrágya, 3. 17.5 t/ha istállótrágya + NPK műtrágya kiegészítés ($N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$), 4. 35 t/ha istállótrágya hatóanyagának megfelelő

LIV.

GEORGIKON NAPOK

54th Georgikon Scientific Conference

mennyiségben NPK műtrágya ($N_1P_1K_1$), 5. 35 t/ha istállótrágya N-tartalmának megfelelő N-műtrágya (N_1) 1981-ig, 1982-től $N_2P_2K_2$, 6. 35 t/ha istállótrágyában levő N-nek kétszeres mennyisége, a P_2O_5 és K_2O tartalmának fele ($N_2P_{1/2}K_{1/2}$) 1981-ig, 1982-től $N_{160}P_{320}K_{320}$ évente.

A martonvásári *kukorica hibridek N-műtrágya reakcióját* két eltérő környezetben, 50 éves monokultúra tartamkísérletben (stressz-környezet) és norfolki típusú vetésforgó kísérletben (optimális környezet) vizsgáltuk. Mindkét kísérletben különböző N-dózisokat állítottunk be, azonos P- és K-ellátottságnál. Kukorica monokultúra kísérletben az N-műtrágya dózisa a következő volt (kg/ha): 0, 80, 160 és 240 (jelölésük: N_0 , N_{80} , N_{160} és N_{240}). A P- és K-műtrágya dózisa minden kezelésben azonos, 160 kg/ha volt. Vetésforgóban (kukorica, tavaszi árpa, borsó, őszi búza) a kukorica hibridek N-műtrágya reakcióját 0 és 280 kg/ha N-dózis tartományban, 40 kg/ha kezelésenkénti különbséggel vizsgáltuk. A P- és K-műtrágya mennyisége azonos (120 kg/ha) volt. Kukorica monokultúrában az évjárat hatását 1970 és 2009 között vizsgáltuk. Vetésforgóban, 1995-2007 között, mindkét kísérletbe (monokultúra, vetésforgó) beállított 5 azonos kukorica hibrid N-műtrágya reakcióját 4 N-műtrágyaszinten (N_0 , N_{80} , N_{160} és N_{240}) tudtuk összehasonlítani.

A *vetésidő és az N-műtrágyázás hatását* a kukorica hibridek szemtermésére egy 1980-ban beállított N-műtrágyázási tartamkísérletben tanulmányoztuk 1991 és 2009 között. A háromtenyezős, kétszeresen osztott parcellás kísérletben N-műtrágyázás volt a főparcella, a vetésidő az alparcella és a kukorica hibrid az al-alparcella. Az N-kezelések a következők voltak: 0, 60, 120, 180 és 240 kg/ha. A vetésidő-kezelés négy időpontot foglal magában: az optimális időpontnál 10 nappal korábban (korai), az optimális időpontban (április 24. körül), az optimális időpont után 10 nappal (késői) és az optimális időpont után 20 nappal (igen késői). A kukorica hibridek eltérő tenyészidő csoportokat képviseltek.

A *növényszám hatását a kukorica szemtermésére* sávos elrendezésű kísérletsorozatban, 20 000 és 100 000 tő/ha növényszám-tartományban, kilenc különböző növény számnál vizsgáltuk (1000 tő ha^{-1}): 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 és 100. Az évjárat és a növény szám hatását a kukorica termésére és termésstabilitására az 1981-2010. évi adatok alapján, évente 20-45 hibrid átlagában mutatjuk be.

1989 és 1999 között 11 éven keresztül tartamkísérletben vizsgáltuk a trágyázás, a növény szám és a hibrid hatását a kukorica szemtermésére. Négy N-kezelést alkalmaztunk: 0 (N-0), 100 (N-100), 200 (N-200) és 300 (N-300), megfelelő P- és K-műtrágya kiegészítéssel. A növény szám 3, 5, 7 és 9 növény/ m^2 volt. A négy eltérő tenyészidejű martonvásári hibrid a Mara (FAO 297), a Norma (FAO 380), a Gazda (FAO 450) és a Maraton (FAO 450) volt.

Eredmények és megvitatás

A vetésforgó és a trágyázás hatását a kukorica termésére és termésstabilitására, összehasonlítva a monokultúrával, a vetésforgó típusától függően 13, 18, 24 és 30 év adatai alapján értékeltük (1. ábra). A vetésforgó termésmenvelő hatása fordított arányban volt a kukorica részarányával a vetésforgóban. Legnagyobb volt a termésmenvelő hatás a norfolki típusú forgóban (1.103 t/ha), sorrendben a lucerna - kukorica-búza trikulturá (0.937 t/ha), a búza-kukorica dikultúra (0.494 t/ha) és a lucerna-kukorica dikultúra (0.448 t/ha) következett. Az istállótrágyázás és a növényi maradványok (kukoricaszár, búzaszalma) visszajuttatása, NPK műtrágya kiegészítéssel a kukorica trágyázásának hatékony módszere. Az istállótrágyázás egyúttal fokozza a termésstabilitást is.

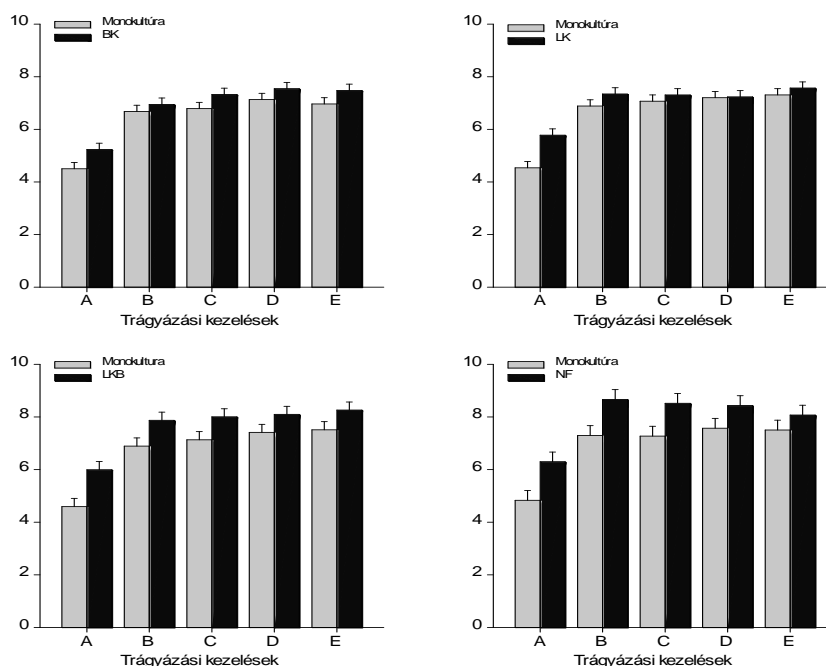
A trágyázási kezelések hatását a kukorica termésére száraz és csapadékos években, kukorica monokultúrában és kukorica-búza dikultúrában a 2. ábra szemlélteti. Az ábra oszlopdiagramjai jól mutatják az évjárat termésre gyakorolt nagyon jelentős hatását. Monokultúrában, a vizsgált kezelések átlagában a kukorica szemtermése száraz években 3.586 t/ha, csapadékos években 6.010 t/ha volt, vagyis kedvező évjáratban a termésmenvekedés 2.424 t/ha volt. Dikultúrában, a kezelések átlagában a

LIV.

GEORGIKON NAPOK

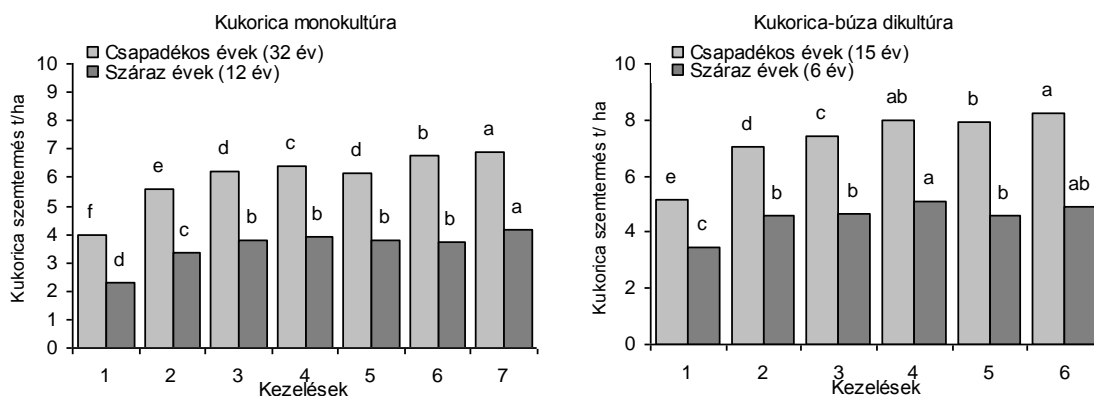
54th Georgikon Scientific Conference

kukorica szemtermése száraz években 4.561 t/ha, csapadékos években 7.306 t/ha volt, vagyis kedvező évjárásban a termés 2.745 t/ha-ral volt nagyobb. Az adatokból megállapítható a dikultúra magasabb termésszintje, az évjárát-hatás azonban monokultúrában és dikultúrában hasonló nagyságrendű volt (2. ábra).



1. ábra: Vetésforgó és trágyázás hatása a kukorica szemtermésére 1961-2009. években a martonvásári tartalmkísérletben. A függőleges vonalak az $S\pm D_{5\%}$ -ot jelölik. A kezeléseket az „Anyag és módszer” c. fejezet tartalmazza.

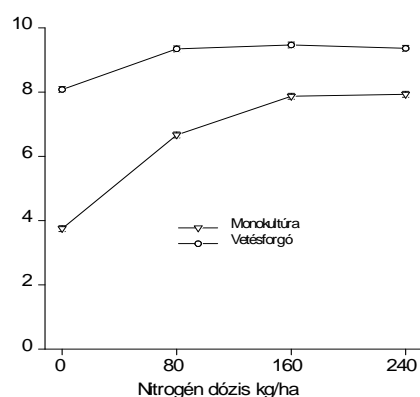
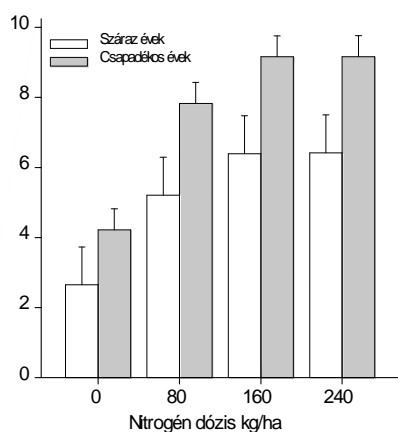
Kukorica monokultúrában száraz évjáratokban az alacsonyabb szintű trágyázásnak nagyobb volt a termésstabilitása. Száraz évjáratokban magas trágyázási szinten az istállótrágyázott kezeléseknek nagyobb volt a stabilitása, mint az NPK műtrágyázásban részesült kezeléseknek. Csapadékos években a legnagyobb termést magas szintű NPK műtrágyázásnál kaptuk. Dikultúrában nagyobb volt az összehasonlítható kezelések stabilitása, mint monokultúrában. Csapadékos években a trágyázás alacsonyabb szintjén monokultúrában és dikultúrában egyaránt legnagyobb volt a stabilitása azoknak a kezeléseknek, melyekben az NPK tápanyag felét istállótrágyában, felét műtrágya formájában juttattuk ki.



2. ábra: Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica termésére száraz és csapadékos években, kukorica monokultúrában (44 év) és kukorica-búza dikultúrában (21 év). A kezeléseket az „Anyag és módszer” c. fejezet tartalmazza.

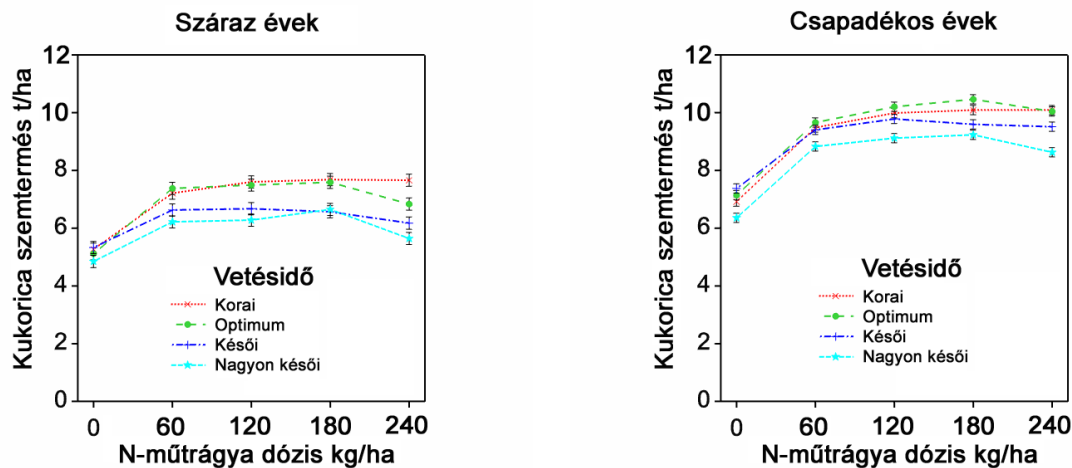
Az agrotechnikai tényezők közül a *nitrogén (N) műtrágyázás* a kukorica terménynövelésének egyik legfontosabb tényezője. Ugyanakkor viszonyaink között a vízhiány-stressz rendszeresen limitálja a növényi produkciót és a tápanyag hasznosítást. A tenyészidőszakban 30 év átlagában lehullott csapadék a kukorica tenyészidőszakában (04-09 hónap) 330 mm körüli, és száraz évek átlagában a csapadék mintegy 100 mm-rel kevesebb. A N-műtrágyázás és az évjárat hatását a kukorica szemtermésére 1970 és 2009 között 14 száraz és 26 csapadékos évjáratban vizsgáltuk (3. ábra). A száraz és csapadékos éveket összehasonlítva, csapadékos években a terménynövekedés N-kezelésenként a következő volt (t/ha): N₀: 1.567, N₈₀: 2.616, N₁₆₀: 2.764, N₂₄₀: 2.74. Jelentős a kukorica hibridek N-műtrágya reakciójában az évenkénti ingadozás. A 40 éves kísérleti adatsor évenkénti varianciaanalízise alapján szignifikánsan legnagyobb termést legnagyobb gyakorisággal N₁₆₀ dózissnál kaptunk. A termelői döntéseket ex-ante megalapozó adatok kizárólag tartamkísérletekből nyerhetők.

A kukorica hibridek N-műtrágyareakcióját monokultúrában és vetésforgóban a 4. ábra szemlélteti, 13 év (1995-2007) és 5 kukorica hibrid adatai alapján. A kukorica hibridek termése monokultúrában 6.628 t/ha, míg vetésforgóban 8.874 t/ha volt, vagyis a vetésforgó terménynövelő hatása 2.246 t/ha volt. Látható, hogy a kukorica termése vetésforgóban mindegyik N-dózissnál nagyobb volt, mint monokultúrában. Legnagyobb (4.255 t/ha) volt a különbség a kukorica termésében az N-műtrágya nélküli kontrollban (monokultúrában: N₀: 3.724, vetésforgóban: N₀: 7.979 t/ha). A vetésforgó és a monokultúra termése között a különbség fokozatosan csökkent az N-műtrágya dózisének növekedésével (a különbség N₈₀-nál: 2.488, N₁₆₀-nál: 1.268, N₂₄₀-nél 0.975 t/ha). Vetésforgóban magasabb a termésszint és alacsonyabb N-műtrágya dózissnál érjük el a maximális termést. Vetésforgóban a legnagyobb termést évjáratától függően 80 és 120 kg/ha N-dózissnál kaptuk. Vetésforgóban a termés stabilitása minden műtrágyaszinten nagyobb volt, mint monokultúrában.



3. ábra: A N-műtrágyázás hatása a kukorica szemtermésére száraz (14 év) és csapadékos években (26 év) 1970-2009 közötti időszakban
4. ábra: Kukorica hibridek N-műtrágya reakciója 1995-2007 monokultúrában és vetésforgóban

Az 5. ábra a vetésidő × N-műtrágyázás kölcsönhatását mutatja száraz (12) és csapadékos (7) években. Jól látható, hogy az optimálisnál későbbi vetésidőben mindkét évjáratban csökken a N-műtrágyázás hatékonysága, melynek mértéke nagyobb a száraz években. A kezelések átlagában, csapadékos években 2.553 t/ha-ral nagyobb volt a termés, mint száraz években. Száraz években legnagyobb volt a termés a korai és az optimális vetésidőben (7.083 és 6.880 t/ha), és szignifikánsan csökkent a 10 nappal és a 20 nappal későbbi vetésidőkben (6.273 és 5.925 t/ha). Legnagyobb termést 60 kg/ha N dózissnál kaptuk és

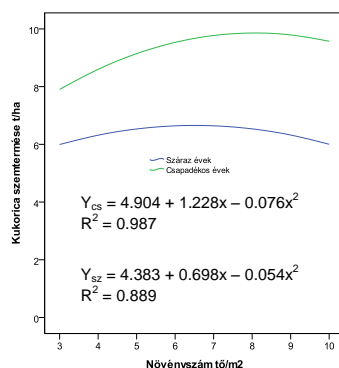


5. ábra: A N-műtrágyázás × vetésidő kölcsönhatása a kukorica szemtermésére száraz (7 év) és csapadékos (12 év) években (1991-2009).

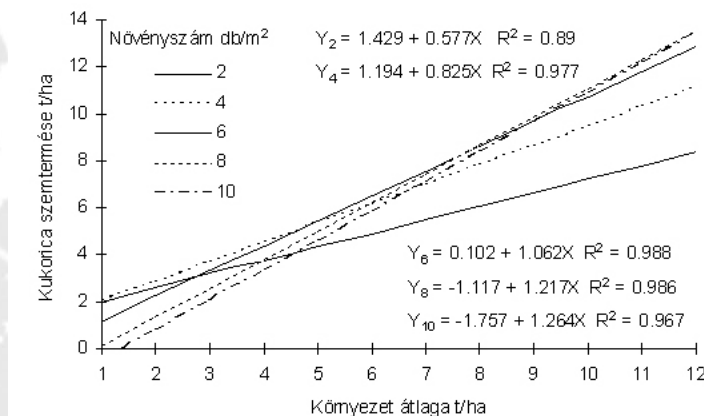
az N_{240} kezelésben szignifikánsan csökkent a termés. Csapadékos években szignifikánsan legnagyobb volt a termés az optimális vetésidőben (t/ha): korai: 9.312, optimális: 9.5, késői: 9.131, igen késői: 8.431. Az optimális N-műtrágya dózis 120 kg/ha volt és ennél magasabb dózisonál a termés szignifikánsan nem változott. Az optimális és a 10 nappal későbbi vetésidőnek, illetve a 60 és 120 kg/ha N-műtrágya dózisonak volt a legnagyobb a termésstabilitása (adatokat nem közöltük).

Kísérleti körülményeink között a csapadék ingadozása jelentősen befolyásolja az *optimális növényszámot*. Az 1981 és 2010 közötti időszakban a hibridek átlagában megvizsgáltuk az évjárat hatását a kukorica optimális növényszámára és szemtermésére. A kísérleti adatokhoz a másodfokú függvény jól illeszkedett. A 6. ábra szemlélteti, hogy az évjáratnak jelentős hatása van mind a szemtermésre, mind pedig az optimális növényszámra. Száraz években az optimális növényszám 64 630 tő/ha és hozzá tartozó maximális termés 6.639 t/ha volt. Csapadékos években 80 790 tő/ha és a maximális termés 9.864 t/ha volt. Megállapítható, hogy kedvezőtlen években a termés mintegy 1/3-dal kevesebb volt, mint kedvező években, miközben az optimális növényszám 20%-kal volt alacsonyabb. Száraz években az optimálisnál nagyobb növényszám jelentősebb terméseszkökenést eredményezett (mutatja a két görbe közötti távolság növekedése).

22 év (1981-2002) eltérő időjárási feltételeit figyelembe véve, 60 000 tő/ha növényzámnál volt a termés legstabilabb. 4.6 t/ha környezeti átlag alatt a 40 000 tő/ha növényzámnál stabilítása nagyobb, míg a 80 000 tő/ha növényzámnál nagyobb stabilítása 7.9 t/ha környezeti átlag felett várható. Ahhoz, hogy a 100 000 tő/ha növényzámnál stabilítása felülmúlja a 80 000 tő/ha stabilítását, >13.6 t/ha környezeti átlag szükséges (7. ábra).



6. ábra: Az évjárat hatása a kukorica szemtermésére és az optimális növényzámnál 1981-2010 között a növényzámnál kísérletben

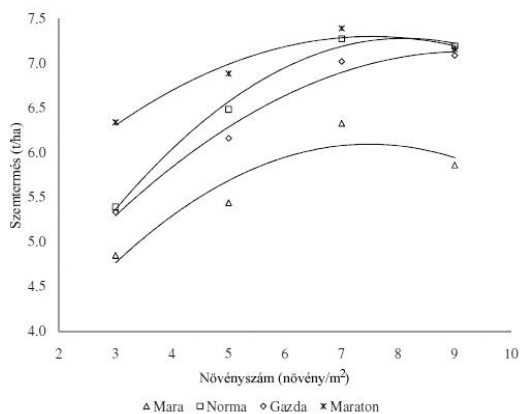


7. ábra: A kukorica hibridek termésstabilitása eltérő növényzámmal az 1981-2002

A modern hibridek termesztésekor magas növényzámmra van szükség, hogy elérjük a maximális termést, a hibridenként és évjáratonként különböző optimális növényzámmal. Kutatásaink alapján a növényzámtól függés az egyik fontos akadálya az optimális kukorica produkció elérésének eltérő csapadék-ellátottságú évjáratokban.

A 8. ábra mutatja a hibridek növényszám reakcióját 200 kg/ha N alkalmazásakor. A másodfokú egyenletek alapján az optimális növényszám 7.48, 8.11, 9.22 és 7.53 növény/m² volt a Mara, Norma, Gazda és Maraton hibridekre. Az ennek megfelelő maximális szemtermés pedig 6.09, 7.28, 7.13 és 7.30 t/ha volt. Ezek az eredmények mutatják, hogy e négy hibrid összehasonlító értékelése a terméspotenciálra nem lehetséges egyetlen növényzámmal, az erős hibrid × növényszám interakció miatt. Jóllehet a Norma és a Gazda hibrideknek egyenlő terméspotenciálja van a Maraton hibriddel, az utóbbi a maximális szemtermést jelentősen alacsonyabb növényzámmal éri el. Ezek az eredmények jelzik, hogy a Maraton hibrid képes magas terméspotenciált elérni viszonylag széles, 6-9 növény/m² növényszám tartományban, míg a Norma és a Gazda ezt 8.11 és 9.22 növény/m²-nél éri el. Ez mutatja, hogy a Maraton összehasonlíthatóan kevésbé növényzámtól függő hibrid. Összehasonlítva a hibrideket ugyanabban az éréscsoportban, a Maraton hibridnek 1.7 növény/m²-rel alacsonyabb az optimális növényzáma, mint a Gazdának (Berzsenyi – Tokatlidis, 2012).

A növényzámtól függő hibrid potenciális termésvesztésének kockázata csökkenthető a kedvező évekre optimális növényszám használatával. A növényszám probléma megoldásának hatékony útja lehet a növényzámtól független hibridekre történő fókuszálás. Ez a tulajdonság lehetővé teszi a hibrid közepes növényzámmal történő elvetését, hogy megfeleljen a száraz évjárat igényeinek és ugyanakkor jól hasznosítsa az esetenkénti több csapadékot, kisebb terméspotenciál veszteséggel.



		Optimális növényszám (tő/m ²)	Potenciális termés (t/ha)
Mara	$y = -0.0661x^2 + 0.989x + 2.3954$ ($R^2 = 0.88$)	7.48	6.09
Norma	$y = -0.0733x^2 + 1.189x + 2.4593$ ($R^2 = 0.99$)	8.11	7.28
Gazda	$y = -0.0475x^2 + 0.8758x + 3.0957$ ($R^2 = 0.98$)	9.22	7.13
Maraton	$y = -0.0485x^2 + 0.7305x + 4.5529$ ($R^2 = 0.96$)	7.53	7.30

8. ábra: Négy kukorica hibrid szemtermés reakciója a növényszám változására 200 kg/ha N-dózisnál és 10 év átlagában

Összefoglalás

A martonvásári klasszikus tartamkísérletek több évtizedes adatai alapján vizsgáltuk a vetésforgó, a trágyázás, a vetésidő és a növényszám hatását a kukorica termésére és termésstabilitására eltérő évjáratokban. Száraz évjáratokban a termés jelentősen, mintegy 30%-kal csökkent és megváltozott a kísérleti kezelések termésreakciója. Száraz évjáratokban a kisebb adagú trágyázásnak nagyobb volt a hatékonysága, másrészt az istállótrágya, valamint az istállótrágya + műtrágya együttes alkalmazása a termést és a termésstabilitást egyaránt növelte. Vetésforgóban magasabb a termésszint és alacsonyabb N-műtrágya dózisonál érjük el a maximális termést, összehasonlítva a monokultúrával. Optimálistól eltérő vetésidőben nemcsak a termés, hanem a N-műtrágyázás hatékonysága is csökkent. Száraz évjáratokban az optimális növényszám és a termés egyaránt kisebb volt. Legnagyobb termést és termésstabilitást kedvező években 160 kg/ha N-műtrágya dózisonál és 70 000 - 80 000 tő/ha növényzámnál kaptunk. A növényzámtól függés az egyik fontos akadálya az optimális produkció elérésének eltérő csapadék-ellátottságú évjáratokban. Az évjárat hatásának feltárása különösen fontos a klímaváltozás várható hatásával összefüggésben.

Irodalom

- ÁRENDÁS, T., BÓNIS, P., CSATHÓ, P., MOLNÁR, D., BERZSENYI, Z. (2010): Fertiliser responses of maize and winter wheat as a function of year and forecrop. *Acta Agron. Hun.*, **58** (Suppl.), 109-114.
- BERZSENYI, Z. (2010): Significance of 50-year-old long-term experiments in Martonvásár in improving crop production. *Acta Agron. Hun.*, **58** (Suppl.), 23-34
- BERZSENYI, Z., TOKATLIDIS, I. S. (2012): Density dependence rather than maturity determines hybrid selection in dryland maize production. *Agron. J.* 104: 331-336.