

## Víz- és tápanyag-gazdálkodási tartamkísérlet (NPK) eredményei

<sup>1</sup>NAGY JÁNOS - <sup>1</sup>GOMBOS BÉLA - <sup>2</sup>HADÁSZI LÁSZLÓ -

<sup>1</sup>BOJTOR CSABA - <sup>1</sup>ILLÉS ÁRPÁD

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>KITE Zrt., Nádudvar

### Összefoglaló

Vizsgálatunk során különböző tápanyag-utánpótlási szinteket elemeztünk 1996–2021 között szántóföldi polifaktoriális tartamkísérletben látóképen. A tápanyag-utánpótlási tartamkísérlet során a vizsgált évjáratok és az öntözés átlagában az N150 kg/ha dózis eredményezte a legnagyobb termésmennyiséget 10,74 t/ha értékkel. A tápanyag-szintenként történő elemzés során megállapítható, hogy az öntözés csökkentette az évjáratok közötti különbségeket és ehhez pozitívan hozzájárult a műtrágya-utánpótlás. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy optimális műtrágya-ellátás és öntözés hatására az évjáratok kedvezőtlen hatása csökkenthető.

**Kulcsszavak:** évjáráthatás, kukorica, tartamkísérlet, tápanyag-utánpótlás

## **Results of a water and nutrient management (NPK) long-term experiment**

<sup>1</sup>J. NAGY – <sup>1</sup>B. GOMBOS – <sup>2</sup>L. HADÁSZI – <sup>1</sup>CS. BOJTOR – <sup>1</sup>Á. ILLÉS

<sup>1</sup>University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Foods Sciences and Environmental Management, Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

<sup>2</sup>KITE Zrt., Nádudvar

### **Summary**

The analysis of various nutrient replenishment levels was performed in a multifactorial long-term field experiment at the Látókép Experiment Site between 1996–2021. During the long-term fertilisation experiment, the N150 kg ha<sup>-1</sup> dose resulted in the highest yield (10.74 t ha<sup>-1</sup>) averaged over the examined crop years and irrigation. As a result of the analysis of each nutrient level, it can be concluded that irrigation reduced the differences between crop years and this effect was strengthened by fertilisation. It can be concluded that optimum fertilisation and irrigation can mitigate the unfavourable effect of crop years.

**Keywords:** crop year effect, maize, long-term experiment, nutrient replenishment

### **Bevezetés**

Az éghajlati változékonyság mértéke folyamatosan növekszik, mely komoly kihívást jelent az intenzív termesztési gyakorlat során. A gazdáknak a termesztési színvonalukat az intenzivitás irányába kell elmozdítaniuk, ami megköveteli az adott termőterület, a hibrid és az éghajlati körülmények pontos ismeretét. A tartamkísérlet egy adott terület jellemzésére és a gyakorlatban nagymértékben alkalmazott tápanyag-utánpótlási kombinációk tesztelésére kiválóan alkalmas szántóföldi kísérleti forma. A tápanyagok hasznosulásának egzakt megbízható mérésére szántóföldi körülmények között csak a tartamkísérlet biztosít lehetőséget. Napjaink globális kihívása az élelmiszertermelési színvonal megőrzése és javítása – a biodiverzitás megtartása mellett. Az éghajlatváltozás

napjainkban növekvő hatást gyakorol a globális élelmiszertermelésre (Ray et al. 2019). A kukorica a világon az egyik legfontosabb termesztett szántóföldi növény, világszerte mintegy 150 millió hektár termőterületen termesztjük. A precíziós tápanyag-utánpótlás a modern, inputhatékony gazdálkodás elengedhetetlen feltétele.

A hosszú távú kísérletek általánosan használt eszközök az agronómiában, talajtudományban, erdészetben, ökológiában és más tudományágakban a különböző kezelési módok hatásainak hosszabb időn keresztüli összehasonlítására (McRae és Ryan 1996).

A precíziós gazdálkodás, a műszaki fejlesztés eredményei lehetővé teszik és megkövetelik a szántóföldi növények igényeinek hatékonyabb kielégítését. Ehhez ismerni kell a növények/fajták/hibridek genetikai paramétereit és az eltérő környezeti hatásokra adott válaszaikat (Nagy et al. 2020). A helyspecifikus növénytermesztést a termelési célokhoz és az ökológiai feltételekhez optimálisan igazodó módon kell megvalósítani. Széles et al. (2019) vizsgálataik alapján javasolják, hogy a termesztés során minden alkalmazott hibridnél meg kell határozni a műtrágya-felhasználás hatékonyságát. A termésnövelés biztosításához elengedhetetlen az intenzív növénytáplálás. A műtrágya optimális kijuttatási mennyiségének meghatározása nehéz feladat a talajvízzel való kölcsönhatás és egyéb tényezők miatt. Figyelembe kell venni a talaj tápanyag-gazdálkodási előzményeit és tápanyagmegkötő képességét, valamint a kukorica hibrid terméspotenciálját és tápanyagigényét, valamint az előző növénykultúrából származó maradék talaj N-t (Hansen és Djurhuus 1996, D'Haene et al. 2007). Széles körben kimutatták a közvetlen összefüggést a N-műtrágyázási arány és a kukorica növénynövekedése és a szemtermés között (Jokela et al. 1989, Zhang et al. 1993, McCullough et al. 1994).

Gazdasági és környezetvédelmi okokból is nagy jelentősége van az optimális nitrogén (N) műtrágya kijuttatási mennyiségének szántóföldi körülmények között, különösen öntözött körülmények között (Széles et al. 2012).

### **Anyag és módszer**

A jogelőd Debreceni Agrártudományi Egyetemen a nádudvari KITE Zrt.-vel együttműködve Búvár Géza vezérigazgató javaslatára indult háromtényezős kísérlet (műtrágyázás, öntözés, genotípus) 1978-ban Hajdúszoboszlón. 1983-

ban új telephelyen a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén folytatódtak a kutatások. A kísérletet Prof. Dr. Nagy János alapította. A kutatás legfontosabb célja és feladata a növénytermesztésben ható ökológiai, biológiai és agronómiai tényezők hatásainak, kölcsönhatásainak feltárása, számszerűsítése, és a növényállományokat érő stresszfaktorok alap tudományi vizsgálata, amelyet a tartamkísérlet 40 éves adatbázisa és a nemzetközi szintű műszerezettség tesz lehetővé.

A kísérlet háromtényezős, szabadföldi, négyismétléses, osztott sávos elrendezésű, amely lehetővé teszi a heterogenitásból adódó különbségek kiküszöbölését, és a kísérlet statisztikai értékelhetőségét is egyaránt biztosítja. A parcellák területe:  $0,76 \times 2 \times 5 = 7,6$  m<sup>2</sup>. A sortávolság 76 cm, melyhez 73 400 db/ha növényszám társul (1. ábra).

A kísérlet lehetőséget biztosít a hosszútávú műtrágyahatások értékelésére (1. táblázat), és amelyben minden tenyészidőszakban 13 db takarmánykukorica hibridet vizsgálunk.

A kísérlet egyik legjelentősebb része a 40 éve műtrágyázatlan kontroll parcellák, melyek kiváló indikátorai az adott tenyészidőszak során genetikailag elérhető termés mennyiségének. A kísérlet agrotechnikai szempontból hagyományos forgatásos alapművelésre alapozott termesztési móddal történik. A vetés időpontja a kukorica vetéséhez mérten az optimális időtartamban történik, az évjáratok függvényében április utolsó dekádjában, amikor a talaj és a levegő hőmérséklete megfelelő a gyors és homogén keléshez. A vetés során alkalmazott tőszám 73 400 db mag/ha. A tenyészidőszak során vegyszeres növényvédelem és mechanikai gyomirtással egybekötött sorközművelés történik.

### ***Meteorológiai adatok***

Az éghajlati vizsgálatához az Országos Meteorológiai Szolgálat debreceni homogenizált hőmérséklet és csapadék adatsorait használtuk. A szervezet honlapján szabadon elérhető, letölthető az 1901–2020 időszak napi felbontású adatbázisa (Meteorológiai Adattár, OMSZ):

- csapadék napi összege,
- napi minimumhőmérséklet,
- napi maximumhőmérséklet,
- napi középhőmérséklet.

1. ábra. A multifaktoriális trágyázási tartamkísérlet térbeli elrendezése (Debrecen-Látókép)

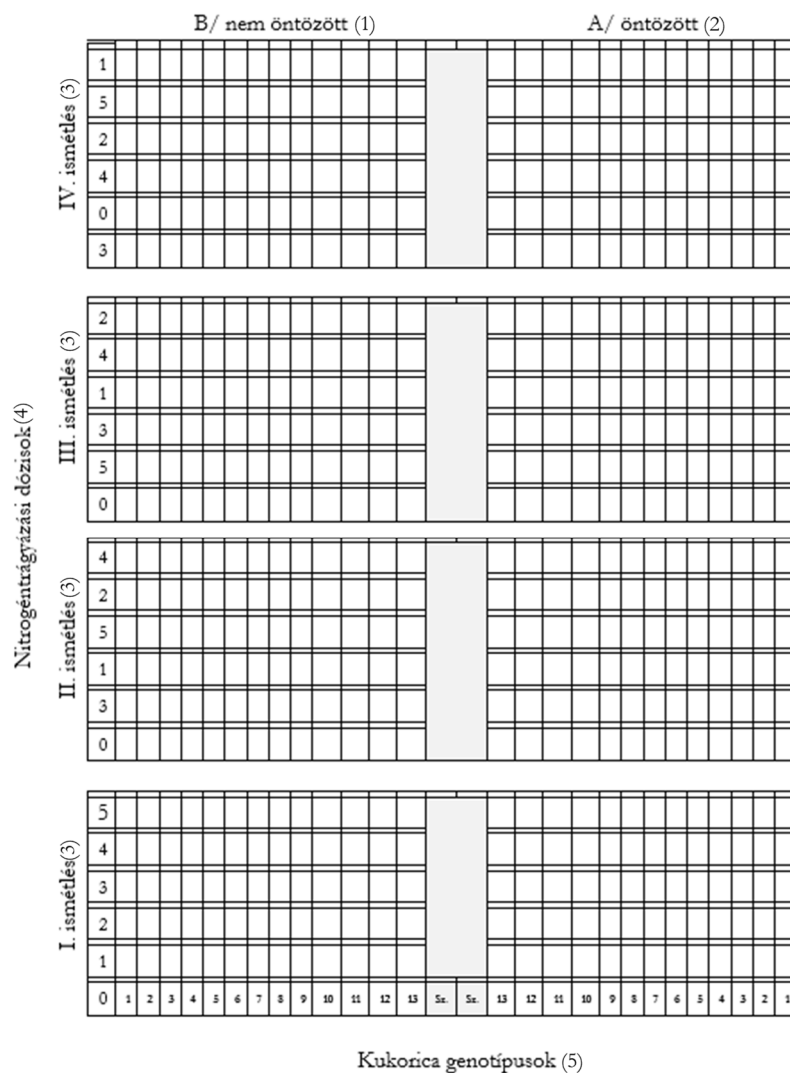


Figure 1. Spatial arrangement of the multifactorial long-term fertilisation experiment (Debrecen-Látókép). (1) B/non-irrigated, (2) A/irrigated, (3) Replicate, (4) Nitrogen fertilisation doses, (5) Maize genotypes

1. táblázat. A kísérletben alkalmazott tápanyag-utánpótlási szintek hatóanyag mennyiségben, makroelemek szerint (nitrogénlépcső-arányos foszfor- és káliumszinttel)

NPK	N (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)	K <sub>2</sub> O (kg)	Összesen (kg) (1)
0	-	-	-	-
1	30	23	27	80
2	60	46	54	160
3	90	69	81	240
4	120	92	108	320
5	150	115	135	400

Table 1. Nutrient replenishment levels applied in the experiment in terms of active ingredient amounts and macroelements (phosphorus and potassium levels proportionate to the given nitrogen level). (1) Total (kg)

Az adatsorok 1991 utáni részét vontuk be a vizsgálatokba, kiegészítve a 2021–2022 évek adataival. A mérések ebben az időszakban végig a várostól délre elhelyezkedő repülőtéren folytak (É.sz.: 47°30', K.h. 21°38', 107 mBf.). Az adatsorok a jelenlegi helyzethez igazítva homogenizáltak, a mérési körülmények változásából fakadó inhomogenitások kiszűrésre kerültek.

A Debrecen-Repülőtér mérőállomáson az évi középhőmérséklet 11,0 °C, az éves csapadékösszeg 543 mm az 1991–2020 időszak átlagában. A leghidegebb hónap a január (-0,8 °C), a legmelegebb a július (21,9 °C) volt. A legkevesebb csapadék a január és március közötti időszakban, a legtöbb május-július hónapokban hullott (január 24 mm, július 68 mm) (2. táblázat).

2. táblázat. A havi középhőmérséklet (T) és csapadékösszeg (Cs) 30 éves átlagai (1991–2020) Debrecenben

	Hónapok											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
T (°C)	-0,8	0,9	5,8	11,9	16,8	20,3	21,9	21,8	16,5	11,0	5,6	0,5
Cs (mm)	24	32	30	45	59	67	68	46	47	41	41	42

Table 2. Average monthly temperature and precipitation in Debrecen (1991–2020). (1) Months

### Módszer

A kutatásunk során vizsgáltuk a Debrecenben az elmúlt 30 év (1993–2022) április–október időszakában végbement hőmérsékleti változásokat. A trendvizsgálatot a következő paraméterek vonatkozásában végeztük el:

- havi középhőmérsékletek (április, május, június, július, augusztus, szeptember, október);
- napi minimum hőmérsékletek havi átlagai (április, május, június, július, augusztus, szeptember, október);
- napi maximum hőmérsékletek havi átlagai (április, május, június, július, augusztus, szeptember, október).

A nem-paraméteres Mann-Kendall statisztikai tesztet alkalmaztuk (*Mann* 1945, *Kendall* 1975), ami széleskörűen elterjedt meteorológiai idősorok trendvizsgálatában – mind csapadék, mind hőmérséklet vonatkozásában. A nem-paraméteres próbák esetében a normális eloszlás nem feltétel, továbbá kevésbé érzékenyek a kiugró értékekre. Ezen robosztus módszer előfeltétele mindössze az adatok függetlensége. A kapcsolódó a Sen's slope Estimator minden adatpárra kiszámolja a meredekség értékét ( $m_{ij}$ ), és ezek mediánja adja a lineáris trend meredekségének (Q) becslését:

$$m_{ij}=(Y_j-Y_i)/(j-i)$$
$$Q=\text{medián}(m_{ij})$$

ahol:  $Y_j$  és  $Y_i$  a meteorológiai változó értéke  $t=j$ , illetve  $t=i$  időpontban ( $j>i$ ), és  $i=1, \dots, n-1$ ,  $j=2, \dots, n$ ;  $n$ : a minta elemszáma.

Kutatásunkban az adatfeldolgozás első lépéseként a napi felbontású adatbázis alapján Excel táblázatkezelő segítségével előállítottuk a vizsgálandó havi adatsorainkat az 1993–2022 időszakra. A trendvizsgálathoz a Finn Meteorológiai Intézet által kifejlesztett MAKESENS (FMI) Excel makrót használtuk (*Salmi et al.* 2002). A meredekséget – mint a trendérték időegységre eső változását – a könnyebb értelmezhetőség kedvéért a hőmérsékleti értékek esetében °C/10 év egységekben adtuk meg. A MAKESENS négy szignifikancia szint teljesülését vizsgálta a Z teszt statisztika segítségével ( $\alpha$ : 0,1; 0,05; 0,01 és 0,001; kétoldali teszttel).

### **Hőmérsékleti trendek**

#### *Havi adatok*

Az 1993–2022 időszakban a havi középhőmérséklet, a maximumok havi átlaga, a minimumok havi átlaga május kivételével minden vizsgált hónapban emelkedő tendenciát mutat (2. táblázat). A változások a június–szeptember időszakban szignifikánsak.

Az áprilisi középhőmérsékletben mérsékelt emelkedés figyelhető meg (0,30 °C/10 év), de a trend nem szignifikáns. Igen eltérő a maximumok és minimumok változása. Míg a maximumok 0,74 °C/10 év mértékű növekvő trendet mutatnak, addig a minimum hőmérsékletek áprilisi átlagban lényegében nincs trendszerű változás.

A májusi középhőmérsékletben 0,44 °C/10 év ütemű (a minimumok és maximumok esetében valamivel kisebb mértékű) csökkenés mutatható ki. Ugyan a változás nem szignifikáns, de figyelemre méltó, mivel egyedül ebben a hónapban tapasztalhatunk negatív hőmérsékleti trendet, illetve a kukorica termesztés szempontjából is fontos hónapról van szó.

A nyári hónapokban minden paraméter esetében igazolódott az emelkedő trend. Különösen júniusban és augusztusban nőtt a hőmérséklet, a középhőmérsékletben 0,81 és 0,82 °C/10 év, a minimumok havi átlagában 0,73 és 0,58 °C/10 év, míg maximumokéban 0,96 és 1,00 °C/10 év emelkedés figyelhető meg. Júliusban a melegedés valamivel kisebb mértékű volt, a középhőmérséklet 10 évenként 0,63 °C emelkedést mutatott. A maximum hőmérsékletek mindhárom nyári hónapban nagyobb mértékben emelkedtek, mint a minimumok.

Szeptemberben a középhőmérséklet az utóbbi 30 évben szignifikáns és jelentős mértékű (0,66 °C/10 év) melegedés mutatható ki. A szeptemberi maximumok emelkedése a legnagyobb ütemű (1,07 °C /10 év).

Az októberben megfigyelhető melegedés kisebb mértékű (0,20 °C/10 év a középhőmérsékletben, 0,39 °C/10 év a maximumokban) és nem mutat szignifikanciát még a  $p=0,1$  szinten sem (3. táblázat).

3. táblázat. A havi hőmérsékleti trendek Debrecenben az 1993–2022 közötti időszakban (°C/10 év)

Hónapok (1)	Középhőmérséklet (2)	Minimum hőmérséklet (3)	Maximum hőmérséklet (4)
Április (5)	0,30	0,07	0,74
Május (6)	-0,44	-0,34	-0,26
Június (7)	0,81***	0,73***	0,96**
Július (8)	0,63+	0,48+	0,86*
Augusztus (9)	0,82*	0,58**	1,00**
Szeptember (10)	0,66+	0,55	1,07+
Október (11)	0,20	0,20	0,39

Megjegyzés: szignifikancia szintek - \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ; + $p < 0,1$  (Mann-Kendall teszt, Sen's estimator).

Table 3. Monthly weather trends in Debrecen between 1993–2022 (°C/10 years). (1) Months, (2) Mean temperature, (3) Minimum temperature, (4) Maximum temperature, (5) April, (6) May, (7) June, (8) July, (9) August, (10) September, (11) October, Note: significance levels - \*\*\* $p < 0.001$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \* $p < 0.05$ ; + $p < 0.1$  (Mann-Kendall Trend Test, Sen's estimator)

Vizsgálataink során a négy ismétlésből származó terméseredményeket értékeltük a hibridek átlagában az egyes termesztési években 1996–2021 között.

A kísérleti eredmények statisztikai értékelését R 3.2.4. statisztikai környezetben (Team 2016a), RStudio (Team 2016b) grafikus felülettel, "gplots" (Warnes et al. 2015), "car" (Fox és Weisberg 2011) és "agricolae" (De Mendiburu 2016) csomagok felhasználásával, valamint GenStat (VSN International, Rothamsted, England) és Minitab (Minitab LLC., Pennsylvania, USA) statisztikai szoftverekkel végeztük. Az egyes értékek közötti statisztikailag igazolható különbségek meghatározásához Fisher-féle legkisebb szignifikáns különbség tesztet használtuk. A hipotézisvizsgálat és a statisztikai kutatások egyik legszélesebb körben használt eszköze a varianciaanalízis, másnéven különbözőség vizsgálat. A grafikonokat Ms Excel 365 programmal készítettük.

## Eredmények

A nitrogén – mint leginkább fontos makroelem a termésmennyiség kialakításában – egyértelműen, statisztikailag igazoltan növelte a kukorica termésmennyiségét a hibridek átlagában. A legnagyobb termésmennyiséget a 150 kg/ha nitrogéndózis eredményezte. A kontroll tápanyagszint pontos képet ad 30 év átlagában egy adott termőhely természetési képességéről. A műtrágyázatlan kontroll parcellák termésszintje az évjáratok átlagában 6,07 t/ha értéket eredményeztek. A tápanyagszintek növelésével N0 és N150 kg/ha nitrogéndózis között a termésmennyiség szignifikánsan növekedett (+4,4 t/ha) (2. ábra).

2. ábra. A tápanyag-utánpótlás hatása a kukorica hibridek termésmennyiségére (nitrogénlépcső-arányos foszfor- és káliumszinttel) (Debrecen, 1992–2021)

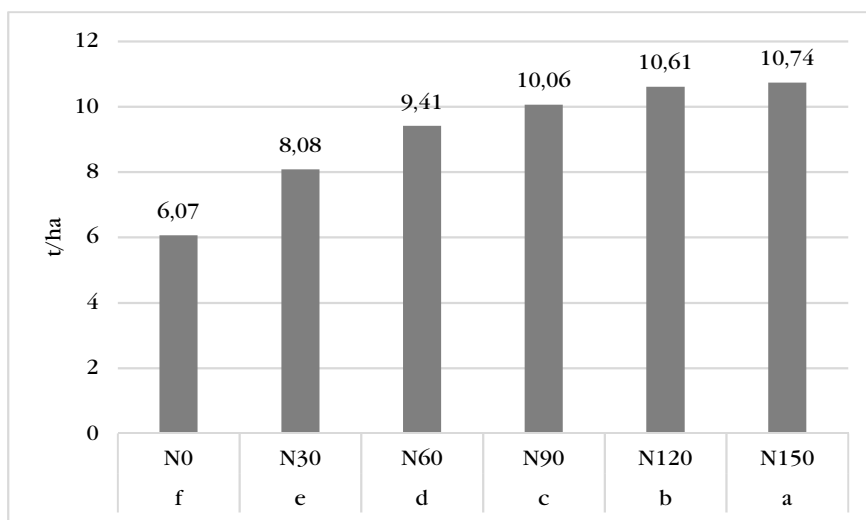


Figure 2. The effect of nutrient replenishment on maize hybrid yields (with phosphorus and potassium levels proportionate to nitrogen levels) (Debrecen, 1992–2021)

Öntözési körülmények között a kontroll állományban magasabb szintről indul a termés mennyisége, majd a növekedési dinamika fokozatosan csökken az N120 kg/ha tápanyagszintig. A legnagyobb termés mennyiséget az N150 kg/ha

tápanyagszint eredményezte (4,96 t/ha), a növekedés N120 kg/ha tápanyagszinthez képest szignifikáns (3. ábra).

3. ábra. A tápanyag-utánpótlás hatása a kukorica hibridek termés mennyiségére öntözött körülmények között (nitrogénlépcső-arányos foszfor- és káliumszinttel) (Debrecen, 1992–2021)

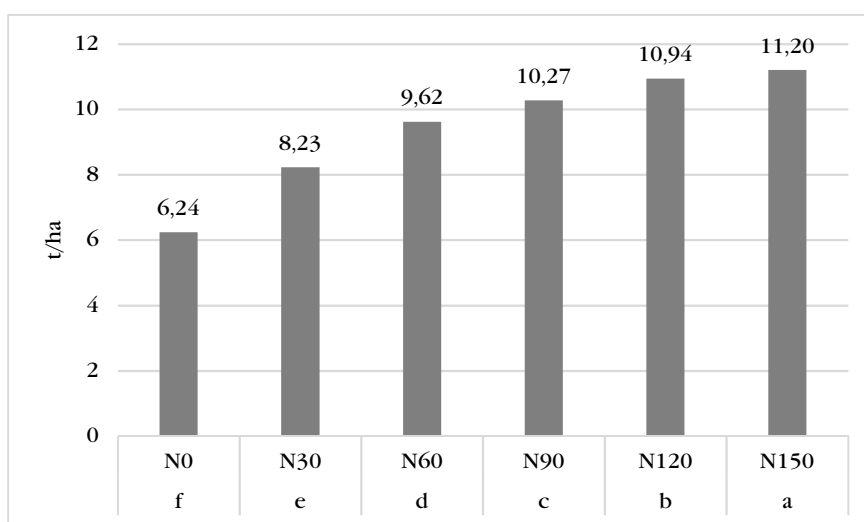


Figure 3. The effect of nutrient replenishment on maize hybrid yields (with phosphorus and potassium levels proportionate to nitrogen levels) under irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

A nitrogénszintek növelésével – arányos foszfor- és káliumszint mellett – a termés mennyisége növekedett az N120 kg/ha dózis hatására a vizsgált 30 év átlagában öntözött körülmények között (+4,38 t/ha). Az N150 kg/ha dózis már nem növelte a termés mennyiségét. A növekedési dinamika N0, N30 és N60 között közel azonos, magasabb tápanyagszinteknél a növekedés mértéke kisebb (4. ábra).

A vizsgált 30 év tekintetében nem öntözött körülmények között a termés mennyisége 4,2–8,8 t/ha értékek között változott. A kontrol tápanyagszint megfelelő indikátora az adott tenyészidőszak alapvető éghajlati és agronómiai környezetének (5. ábra).

4. ábra. A tápanyag-utánpótlás hatása a kukorica hibridek termésmennyiségére nem öntözött körülmények között (nitrogénlépcső-arányos foszfor- és káliumszinttel) (Debrecen, 1992–2021)

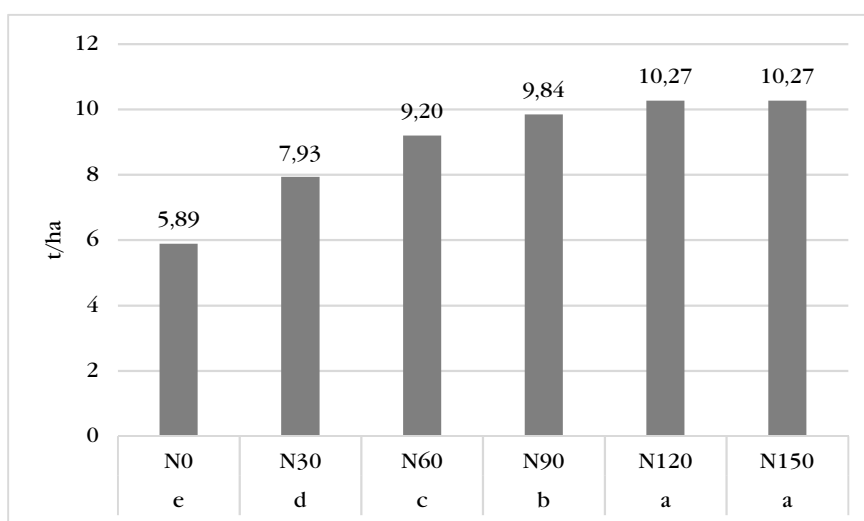


Figure 4. The effect of nutrient replenishment on maize hybrid yields (with phosphorus and potassium levels proportionate to nitrogen levels) under non-irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

N60 tápanyagszinten a termés mennyisége 5,9 t/ha és 12,6 t/ha között változott. A legmagasabb termésmennyiséget a 2016-os tenyésztés eredményezte a N60-as tápanyagszint tekintetében (6. ábra).

Nem öntözött körülmények között a vizsgált 30 évben a termésmennyiség értékek nagy változékonyságot mutattak. Kedvező évjáratban a tápanyag-utánpótlás és az öntözés együttesen kedvező hatást fejtett ki a termés mennyiségére, viszont kedvezőtlen évjáratban a termés mennyisége nagyobb mértékben csökkent. Nem öntözött körülmények között N120 kg/ha tápanyag-utánpótlási szinten a termés mennyisége 5,6 és 13,6 t/ha értékek között változott (7. ábra).

5. ábra. Műtrágyázás nélküli kezelések hatása a termés mennyiségére nem öntözött körülmények között (Debrecen, 1992–2021)

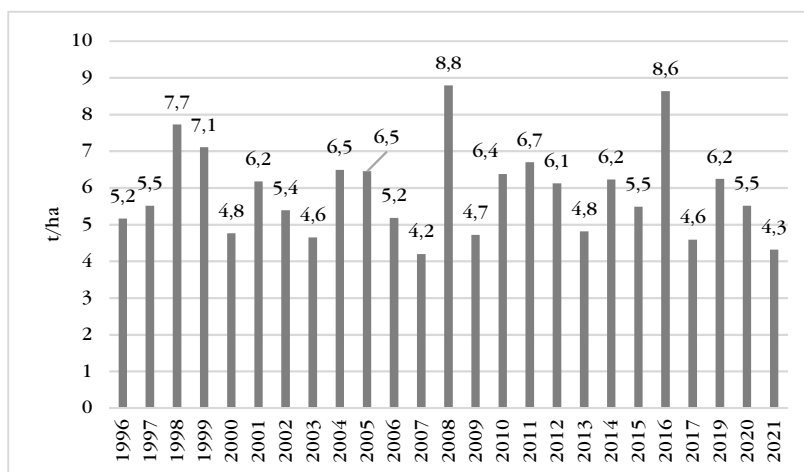


Figure 5. The effect of non-fertilised treatments on yield under non-irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

6. ábra. N60 kg/ha tápanyagszint hatása a termés mennyiségére nem öntözött körülmények között (Debrecen, 1992–2021)

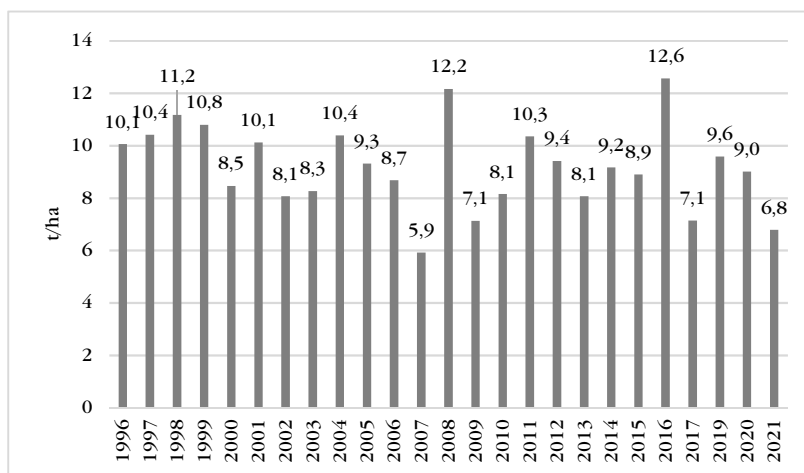


Figure 6. The effect of the N60 kg ha<sup>-1</sup> nutrient level on yield under non-irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

7. ábra. N120 kg/ha tápanyagszint hatása a termés mennyiségére nem öntözött körülmények között (Debrecen, 1992–2021)

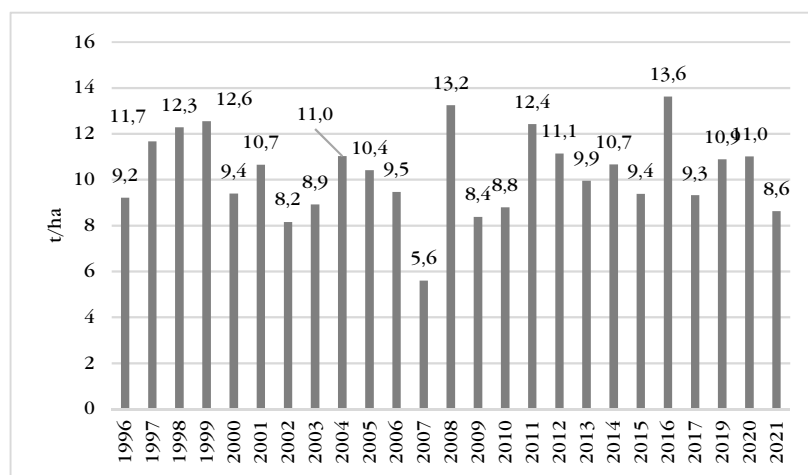


Figure 7. The effect of the N120 kg ha<sup>-1</sup> nutrient level on yield under non-irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

N60 tápanyagszint hatására öntözött körülmények között a termés mennyiség 8,5 és 10 t/ha érték között változott. A maximum termésmennyiség 12,7 t/ha, a minimum termésmennyiség pedig 7,5 t/ha volt. A tápanyagszintek növelésével az évjárat befolyásoló hatása növekedhet. Kedvező évjáratban esetként nagyobb termésmennyiséget érnek el a hibridek, viszont kedvezőtlen évjáratban a termés csökkenés nagyobb mértékű, mint a kontroll parcellákban (8. ábra).

Öntözés hatására az N120 kg/ha tápanyagszint vizsgálatánál megfigyelhető, hogy az évjáratok közötti ingadozás kisebb mértékű, mint a nem öntözött állományban. A legkisebb termésmennyiség 8 t/ha, a legnagyobb 13,7 t/ha volt (9. ábra).

8. ábra. N60 kg/ha tápanyagszint hatása a termés mennyiségére öntözött körülmények között (Debrecen, 1992–2021)

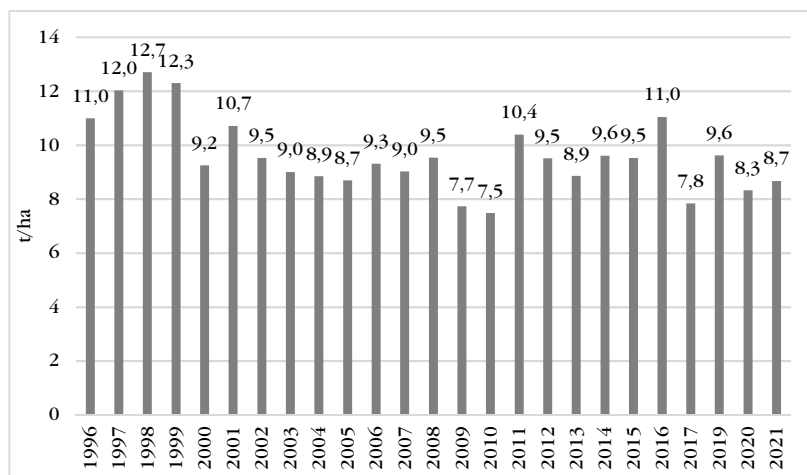


Figure 9. The effect of the N60 kg ha<sup>-1</sup> nutrient level on yield under irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

9. ábra. N120 kg/ha tápanyagszint hatása a termés mennyiségére öntözött körülmények között (Debrecen, 1992–2021)

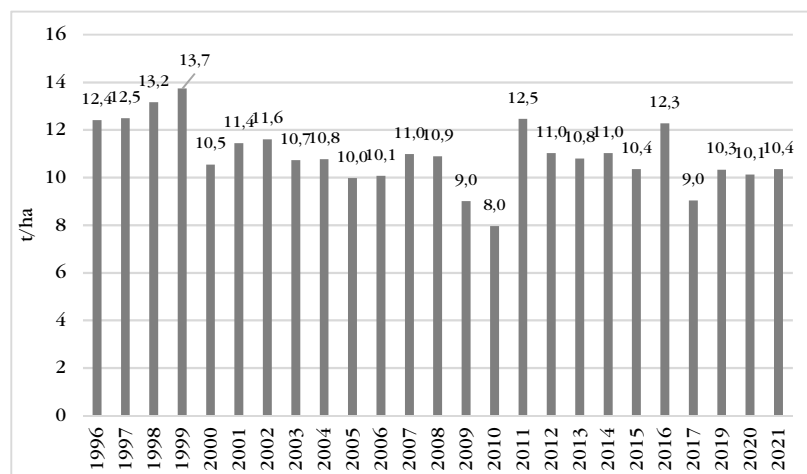


Figure 10. The effect of the N120 kg ha<sup>-1</sup> nutrient level on yield under irrigated conditions (Debrecen, 1992–2021)

### Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg, és a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### IRODALOM

- D'Haene, K.-Magyar, M.-De Neve, S.-Pálmai, O.-Nagy, J.-Németh, T.-Hofman, G.:* 2007. Nitrogen and phosphorus balances of Hungarian farms. *European Journal of Agronomy*. 26. 3: 224–234.
- de Mendiburu, F.:* 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Hansen, E. M.-Djurhuus, J.:* 1996. Nitrate leaching as affected by long-term N fertilization on a coarse sand. *Soil Use and Management*. 12. 4: 199–204.
- Jokela, W. E.-Randall, G. W.:* 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. *Agronomy Journal*. 8. 5: 720–726.
- Kendall, M. G.:* 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin. London.
- Mann, H. B.:* 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13: 245–259.
- 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.
- McRae, K. B.-Ryan, D. A. J.:* 1996. Design and planning of long-term experiments. *Canadian Journal of Plant Science*. 76. 4: 595–602.
- Nagy J.-Hadászki L.-Illés Á.-Bojtor Cs.-Zelenák A.-Nyéki A.:* 2020. Fornad (FAO 420) „Smart” kukorica hibrid termesztési eredményei. *Növénytermelés*. 69. 2: 5–24.
- Ray, D. K.-West, P. C.-Clark, M.-Gerber, J. S.-Prishchepov, A. V.-Chatterjee, S.:* 2019. Climate change has likely already affected global food production. *PloS one*. 14: 5.
- Salmi, T.-Maatta, A.-Anttila, P.-Ruoho-Airola, T.-Amnell, T.:* 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates—the Excel template application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute. Helsinki.

- Széles, A.-Kovács, K.-Ferencsik, S.:* 2019. The effect of crop years and nitrogen basal and top dressing on the yield of different maize genotypes and marginal revenue. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service. 123. 3: 265-278.
- Széles, A.-Megyes, A.-Nagy, J.:* 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. Agricultural Water Management. 107: 133-144.
- Zhang, F.-Mackenzie, A. F.-Smith, D. L.:* 1993. Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. Journal of Plant Nutrition. 16. 7: 1317-1337.
- Warnes, G. R.-Bolker, B.-Bonebakker, L.-Gentleman, R.-Liaw, W. H. A-Lumley, T.-Maechler, M.-Magnusson, A.-Moeller, S.-Schwartz, M.-Venables, B.:* 2015. Gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data. R package version 2.17.0

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Nagy János – Dr. Gombos Béla – Dr. Bojtor Csaba – \*Dr. Illés Árpád  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032  
\*illes.arpad@agr.unideb.hu

Hadászi László  
KITE Zrt. Innovációs Főigazgatóság  
Nádudvar  
Bem József u. 1.  
H-4181

