

A műtrágyázás és a csapadék változékonyságának hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére

MÁRTON LÁSZLÓ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

Az éves átlaghőmérséklet az elmúlt évszázad kezdetétől fokozatos emelkedést mutat, amely kedvezőtlenül befolyásolhatja a klíma más fontos elemeit (csapadék, sugárzás, szél stb.) a jövőben (JAN et al., 1994; GEOFFREY, 1995; DORLAND, 2000; PATRICK, 2002; SZÁSZ, 2005); drámaivá fokozódhat a súlytőaszályok és az árvizek gyakorisága (JACQUES, 1997), felmérhetetlen károkat okozva. Emiatt egyre nő az igény olyan tudományos kutatásokra, amelyek konkrét válaszokat adnak a globális, regionális, ill. lokális időjárási anomáliákra (BERTJAN et al., 2002; LÁNG, 2005b), azok tulajdonságaira, előfordulási valószínűségére, reverzibilis és irreverzibilis következményeire, előrejelezhetőségére és a felvetődő ökoetikai problémákra egyaránt (ALAN, 1999; LÁNG, 2005a; CSETE, 2005).

A klíma – csapadék – a fenntartható agrár-, ill. növénytermelés egyik alapvető princípiuma (CSETE & LÁNG, 2005), amelynek változékonysága (a szántóföldi növények főterméstömegét közel 75%-ban befolyásolhatja) a fentiek alapján döntően meghatározza az említett szférák produktivitását és a profittermelési lehetőségeit (VÁRALLYAY, 2005). E kérdéskör nemzetközi kutatásában főként SMITH (1903), FISHER (1924), RUNGE (1968), WETHERALD és MANABE (1995), DOWNING és munkatársai (2000), LOBELL és ASNER (2003) nevét; a hazai kutatásban RÖSZLER (1910), SZÁSZ (1971), PETRASOVITS (1988), KÁDÁR (1992, 1998), HARNOS (1993), SZÁSZ és TÖKEI (1997), VÁRALLYAY (1997), RÁCZ (1999), BOCZ (2001) és LÁNG (2003) munkáit kell megemlíteni. RÁCZ (1999) szerint az 1900-as évek első felétől a téli, az 1950-es évektől a tavaszi, az 1980-as évektől a nyári és az 1950-es évektől napjainkig az őszi csapadék fokozatosan csökken. Ugyancsak erre a következtetésre jutottak BIACS és munkatársai (2004) és DOMONKOS (2004). A Nyírség csapadékelátottságának romlását támasztják alá MÁRTON (2002b) adatai is az utóbbi négy évtizedben. A nyírlugosi tartamkísérlet 39 évének (1962 és 2001 között) csapadékváltozásait értékelve a szerző arra a következtetésre jut, hogy a régió időjárása 56%-kal aszályosodott, miközben 15%-kal nőtt az átlagos, 20%-kal csökkent a csapadékos és 52%-kal a száraz évek előfordulása.

Haszonnövényeink éghajlat-, csapadék- és tápanyag-reakciói eltérőek (EGERSZEGI, 1958; ANTAL, 1973; KÁDÁR, 1992; GYÖRFFY & SVÁB, 1993; VÁRALLYAY, 1997; GYURICZA & BIRKÁS, 2000; HARNOS, 2005; JOLÁNKAI, 2005; KISMÁ-

NYOKY, 2005; LÁNG, 2005b, VARGA-HASZONITS & VARGA, 2005). MÁRTON (2002a,b,c,d) őszi búzával, tritcaleval, rozssal és burgonyával végzett kutatási eredményei is ezt mutatják. Az optimális csapadékmennyiségek 1 mm-re eső szem-, ill. gumótermés- tömegek a különböző tápanyagszintektől függően a búzánál $3,7\text{--}7,2\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($\bar{O} = 3,7$, $N = 4,6$, $NP = 6,1$, $NK = 4,8$, $NPK = 6,2$, $NPKMg = 7,2$, a kezelések átlaga $= 5,4\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a tritcalénál $3,6\text{--}9,5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($\bar{O} = 3,6$, $N = 6,2$, $NP = 7,9$, $NK = 7,3$, $NPK = 7,1$, $NPKCa = 7,8$, $NPKMg = 9,0$, $NPKCaMg = 9,5$, a kezelések átlaga $= 7,3\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a rozsnál $3,8\text{--}9,0\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($\bar{O} = 3,8$, $N = 7,9$, $NP = 9,0$, $NK = 7,5$, $NPK = 8,8$, $NPKMg = 8,4$, a kezelések átlaga $= 7,6\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) és a burgonyánál $38,1\text{--}63,0\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($\bar{O} = 38,1$, $N = 44,6$, $NP = 50,1$, $NK = 55,0$, $NPK = 63,0$, $NPKMg = 53,4$, a kezelések átlaga $= 50,7\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) között alakultak.

A C4-es kukorica az egyik legfontosabb sokhasznú; élelmiszer-, takarmány- és energianövényünk. A csapadék-, és a tápanyagellátás indikátorának is tekinthető (SMITH, 1903; GRÁBNER, 1935; LÁNG, 1976; GYÖRFFY & SVÁB, 1993; HARNOS, 1993; TIMOTHY, 1997; KÁDÁR et al., 2000; GYURICZA & BIRKÁS, 2000; BOCZ, 2001; VARGA-HASZONITS & VARGA, 2005). FAKHRI (1996) szerint érzékenyebb, mint a C3-as búza, árpa, rizs, szója, burgonya, napraforgó és a gyapot. Mivel a klíma-, ill. csapadékváltozások és a tápanyagellátás kölcsönhatásai a kukorica esetében csak 40–50 éves tartamhatás-vizsgálatokban (tartamkísérletek) mérhetők megnyugtatóan, a nemzetközi és a hazai szakirodalomban is kevés a konkrét, szám-szerűsíthető adat.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet fenti témához kapcsolódó kutatásainak célja az volt, hogy tartamkísérletekben különböző növénykultúrákkal vizsgáljuk a csapadék×tápanyagellátás×termés összefüggéseket. Jelen közleményben a kukoricával kapcsolatos főbb eredményeinket mutatjuk be.

Anyag és módszer

Az A-17 jelű kísérletet 1967 őszén állították be Mezőföldön az MTA TAKI Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén azzal a céllal, hogy vizsgálják a három fő tápelem (N, P, K) adagjainak és azok arányainak hatását a különböző szántóföldi növénykultúrák termésére és minőségére. A termőhely talaja a művelt rétegben a következő értékekkel jellemezhető: pH(KCl): 7,3; CaCO_3 -: 5%; humusz-: 2,5–3,0%; agyag-: 20–22%; AL-oldható P_2O_5 - és K_2O -: 60–80 és 140–160; KCl-oldható Mg- 150–180, EDTA-oldható Mn-, Cu- és Zn-tartalom: 80–150, 2–3 és 1–2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. A MÉM NAK (Szerk.: BUZÁS et al., 1979) határértékek alapján ezek az adatok a talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságáról tanúskodnak.

A kísérlet búza–kukorica–kukorica–borsó forgóval működik két év kivételével, amikor tavaszi árpa (1970) és tavaszi repce (1985) volt a jelzőnövény 20 kezeléssel, 4 ismétléssel kétszeresen osztott (split-split-plot) elrendezésben, összesen 80 parcellával. A nitrogén és a foszfor hatását 3–3, a káliumét 2–2 szinten vizsgáljuk az összes lehetséges $3\times 3\times 2=18$ kombinációban. Ehhez járul a kezeletlen kontroll-

és egy a faktoriális rendszerben nem szereplő nagyobb NPK-adagú kezelés. A kísérletben a K-kezelések a főparcellát, míg a N- és P-kombinációk az alparcellákat jelentik. A műtrágyaadagokat az 1. táblázat szemlélteti. A P- és K-műtrágyákat, valamint a N- adag felét őszi szántás előtt, a N másik felét fejtrágyaként szórjuk

1. táblázat

Műtrágyaadagok (kg N, P₂O₅, K₂O·ha⁻¹·év⁻¹) az A-17 jelű OMTK kísérletben
1968–2004 között (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) NPK- szintek	(2) Búza alá adott			(3) Kukorica alá adott			(4) Borsó alá adott		
	1–4.	5–20.	21.–	1–4.	5–20.	21.–	1–4.	5–20.	21.–
	(5) év								
Ø	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₁	35	50	100	40	50	100	0	0	50
N ₂	70	100	150	80	100	150	20	32	75
N ₃	105	150	200	120	150	200	40	65	100
N ₄	140	200	250	160	200	250	40	97	125
P ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₁	35	50	60	35	50	60	40	50	60
P ₂	70	100	120	70	100	120	80	100	120
P ₃	105	150	180	105	150	180	120	150	180
K ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₁	70	100	100	100	100	200	80	100	100

ki pétisó, szuperfoszfát és kálisó formájában. A talajvíz szintje 13–15 m mélyen található. A terület az Alföldhöz hasonlóan aszályérzékeny. A kísérleti telep átlagos középhőmérséklete 11 °C, a csapadék átlagos éves mennyisége 590 mm.

A kukoricakísérletek (1969, 1973, 1974, 1977, 1978, 1981, 1982, 1986, 1989, 1990, 1993, 1994, 1997, 1998, 2001, 2002) vetésére őszi búza (1968, 1972, 1976, 1980, 1988, 1992, 1996, 2000), tavaszi repce (1985) és kukorica (1973, 1977, 1981, 1989, 1993, 1997, 2001) elővetemények után került sor. A csapadékhatásvizsgálatokban a kísérleti telepen mért adatok szerepelnek. Az évhatások elemzésekor HARNOS (1993) csapadékhiány (%) értékeit vettük figyelembe a következő módon: aszályos év = az októbertől szeptemberig lehullott csapadék mennyisége legalább 20%-kal, aszályos nyári (április–szeptember) és téli félév (október–március) = 30%-kal, aszályos hónap = 50%-kal kevesebb, mint a sokévi átlag. A túlzott csapadékbőség meghatározásánál ugyanazokat az értékeket tekintettük érvényesnek, mint az aszálynál, de ellenkező előjellel. Száraz periódusok fogalma alatt GYURICZA és BIRKÁS (2000) paramétereit fogadtuk el, „miszerint az adott időszakot vizsgálva az 10–20%-kal kevesebb csapadékot jelent a sokévi átlaghoz viszonyítva”. Adataink alapján bevezetésre kerültek a kukoricára specifikus csapadékhiány értékek az alábbiak szerint: aszályos hónap a kukorica vetése előtt (március) = a csapadék mennyisége az adott hónapban legalább 50%-kal, aszályos ku-

korica vegetáció (április–szeptember) = 30%-kal, aszályos időszak a kukorica betakarítása idején (szeptember) = 50%-kal kevesebb, mint a sokévi átlag. Egymás utáni aszályos hónapok száma a kukorica vegetációjában (április–szeptember) és a kísérleti évben (október–szeptember). Ariditási jellemző (AJ) = átlagos (ÁT), száraz (SZ), aszályos (A), csapadékos (CS), csapadékbő (B). A kísérleti évekre vonatkozó országos termésátlagokat a FAO (2004) adatbankja szolgáltatta. A műtrágyázás és a termés kapcsolatát varianciaanalízissel (SVÁB, 1981; MANOVA), a csapadékmennyiségek és a termés összefüggéseit regresszióanalízissel (SPSS) határoztuk meg.

Eredmények és következtetések

A kísérleti évek időjárási anomáliái

A kísérleti évek időjárás-elemzésekor az előforduló csapadékanomáliák meghatározása és azok termésbefolyásoló hatásainak számszerűsítése volt a cél. A sokéves átlagot (Nagyhőrcsök, 1961–1990), a kísérleti évek és a kukorica fenológiai fázisainak csapadékmennyiségeit mm-ben a 2. táblázat, a havi csapadékmennyiségek sokévi átlagtól való eltéréseit %-ban és azok ariditási jellegét a 3. táblázat mutatja be.

Megállapítható, hogy a 16 kísérleti év között az átlagosnak (ÁT) megfelelő évjárat nem fordult elő. Két évet szárazság (1981, 1982), nyolc évet (1973, 1978, 1986, 1989, 1990, 1993, 1997, 2002) aszály és hat évet csapadékbőség (1969, 1974, 1977, 1994, 1998, 2001) jellemezett. A téli félévekben az átlagosnak megfelelő csapadék (1993), szárazság (1974, 2001), aszály (1973, 1978, 1981, 1989, 1990, 1997, 1998, 2002) és csapadékbőség (1969, 1977, 1982, 1986, 1994) fordult elő. A nyári félévek időjárására az átlagosnak megfelelő (1989), száraz (1969), aszályos (1973, 1977, 1981, 1982, 1986, 1993, 1994, 1997), csapadékos (1990) és csapadékbő (1974, 1978, 1998, 2001, 2002) klíma volt jellemző. A kísérletek nyári és téli féléveit az aszály (-54%) és a szárazság (-13%) jellemezte (4. táblázat). A kísérleti hónapok tekintetében öt évben az átlagosnak megfelelő (1978, 1981, 1982, 1986, 1994), öt évben száraz (1973, 1989, 1990, 1993, 2002), egy évben aszályos (1997) és öt évben csapadékos (1969, 1974, 1977, 1998, 2001) hónapok fordultak elő. A legaszályosabb évben, 1997-ben, a három átlagos (december, május, július) mellett egy hónap volt száraz (június) és 8 aszályos (október, november, január, február, március, április, augusztus, szeptember), amelyből három a kukorica vegetációs időszakára esett. A leginkább csapadékbő 2001. évben is gyakoriak voltak a száraz (október, november, június) és az aszályos (február, május) hónapok. A kukorica vetését megelőző, március hónapokban is többnyire szárazságot és aszályt rögzítettünk (-14%). A tizenhat esetből 2 volt átlagos (1978, 1981), 1 száraz (1998), 7 aszályos (1973, 1974, 1990, 1993, 1994, 1997, 2002), 5 csapadékos (1969, 1977, 1982, 1986, 1989) és 1 csapadékbő (2001). A tenyésztidőszakok (április–szeptember) csa-

2. táblázat
A sokéves átlag*, a kísérleti évek és a kukorica (*Zea mays* L.) fenológiai fázisainak csapadékmennyiségei 1969–2002 között, mm
(Nagyhőrsők)

(1) Év	(2) Hónap												(6) T. id. összes	(7) Eltérés	(8) Évi összes	(7) Eltérés	
	IX.. (3) Betak.	(4) Tenyészidőn kívüli időszak										(5) Tenyészidő (T. idő)**					
		X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.					
1969	29,5	7,7	62,6	20,9	37,1	98,6	41,1	14,9	62,8	133,5	21,9	78,4	341,0	19,7	609,0	51,6	
1973	38,2	23,6	61,0	3,0	21,7	36,8	11,2	61,8	0,0	100,9	58,8	27,2	286,9	-34,4	444,2	-113,2	
1974	88,0	30,5	24,8	71,4	33,5	49,8	10,9	34,2	69,7	102,5	48,5	79,6	422,5	101,2	643,4	86,0	
1977	36,3	47,4	38,4	98,1	29,7	63,0	51,6	35,2	49,4	40,3	32,6	62,3	256,1	-65,2	584,3	26,9	
1978	30,9	16,4	78,8	25,9	8,2	24,3	35,7	41,7	75,0	119,3	106,8	9,9	383,6	62,3	572,9	15,5	
1981	40,2	56,3	151,5	39,0	7,9	14,7	34,4	6,2	45,4	101,0	41,6	53,2	287,6	-33,7	591,4	34,0	
1982	14,9	22,2	34,3	115,1	31,3	19,4	39,1	40,9	29,0	72,4	87,9	49,9	295,0	-26,3	556,4	-1,0	
1986	0,0	16,0	96,9	57,0	41,2	32,7	49,0	43,4	53,3	77,5	19,0	26,5	219,7	-101,6	512,5	-44,9	
1989	1,0	27,0	13,8	38,0	5,5	24,2	42,2	71,6	43,5	62,4	65,3	77,5	321,3	0,0	472,0	-85,4	
1990	60,2	31,4	35,9	7,0	33,5	3,0	15,0	67,0	39,0	90,5	45,0	23,5	325,2	3,9	451,0	-106,4	
1993	66,0	124,5	64,0	28,5	10,1	4,0	14,7	27,5	7,5	11,5	60,5	31,7	204,7	-116,6	450,5	-106,9	
1994	36,5	90,8	103,0	60,0	37,0	10,0	13,0	50,5	35,0	17,0	22,0	81,2	242,2	-79,1	556,0	-1,4	
1997	4,0	0,0	27,5	42,0	0,0	8,0	13,0	7,5	53,2	59,6	50,1	8,5	182,9	-138,4	273,4	-284,0	
1998	114,3	37,0	27,6	50,6	54,0	0,0	28,0	104,3	78,7	36,6	63,3	61,0	458,2	136,9	655,4	98,0	
2001	112,8	31,5	33,5	57,0	44,5	0,0	62,3	47,0	17,0	47,3	79,5	128,8	432,4	111,1	661,2	103,8	
2002	65,0	0,0	57,2	25,2	11,0	17,5	14,3	41,0	54,9	32,0	64,2	84,0	341,1	19,8	466,3	-91,1	
a)Átlag (D ₂)	46,1	35,1	56,9	46,2	25,4	25,4	29,7	43,4	44,6	69,0	54,2	55,2	312,5	-8,8	531,2	-26,2	
* (D ₁)	43,3	36,6	56,3	44,5	33,1	31,0	34,6	43,0	49,3	72,9	53,8	59,0	321,3	-	557,4	-	
D ₁ -D ₂	2,8	-1,5	0,6	-1,7	-7,7	-5,6	-4,9	0,4	-4,7	-3,9	0,4	-3,8	-8,8	-	-29,6	-	

Megjegyzés: * 30 éves (1961–1990) csapadékatlag Nagyhőrsők mérőállomáson. ** Fenológiai fázisok: csírázás, kelés, 4–6 leveles kor, szár-
baindulás, éimerhánnyás, érés. Az október, november, december hónapok csapadék adatai a megelőző évre vonatkoznak.

3. táblázat
Csapadékelterések a sokévi átlagtól (%), ariditási jellemzők (AJ) a kukoricakísérleti években 1969–2002 között (Nagyhőrcsök)

(1) Év	(2) Félévek időjárása				(5) Hónapok időjárása						(10) Kritikus egymás utáni hónapok száma a		(13) Évjárat			
	(3) Téli félév (okt.-márc.)		(4) Nyári félév (ápr.-szept.)		(6) Október.- szeptember		(7) Vetés előtt (március)		(8) Betakarítás (szept.)		(9) Vegetáció (ápr.-szept.)	(11) vegetációban (ápr.-szept.)	(12) kísérleti évben (okt.-szept.)	Kísérleti év jellege (okt.-szept.)		
	I.		II.		III.		IV.		V.		VI.		VII.		VIII.	IX.
	%	AJ	%	AJ	%	AJ	%	AJ	%	AJ	%	AJ	AJ		AJ	
1969	128	B	-13	SZ	10	CS	19	CS	-32	SZ	-13	SZ	2A3CSB	4ASZ5CS2B	csapadékbó	
1973	-204	A	-75	A	-23	SZ	-68	A	-12	SZ	-75	A	ÁT2A2SZCS	2ÁT4A3SZ3CS	aszályos	
1974	-19	SZ	189	B	14	CS	-69	A	103	B	189	B	ÁT2ASZ2B	ÁT2A3SZ3CS3B	csapadékbó	
1977	261	B	-112	A	12	CS	49	CS	-16	SZ	-112	A	2SZ2CS2B	2ÁT6SZ2CS2B	csapadékbó	
1978	-151	A	100	B	-4	ÁT	3	ÁT	-29	SZ	100	B	ÁT2A2SZCS	2ÁT3A3SZCS3B	csapadékbó	
1981	-81	A	-95	A	-1	ÁT	-1	ÁT	-7	ÁT	-95	A	ÁT2ASZ2B	3ÁT3A3SZCS2B	aszályos	
1982	52	B	-65	A	-1	ÁT	13	CS	-66	A	-65	A	ÁT3SZCSB	3ÁTASZCS2B	száraz	
1986	117	B	-205	A	-7	ÁT	42	CS	-100	A	-205	A	ÁT3CSB	4ÁT4A3CSB	száraz	
1989	-200	A	-5	ÁT	-17	SZ	22	CS	-98	A	-5	ÁT	2A3SZCS	3ASZ3CSB	aszályos	
1990	-280	A	22	CS	-22	SZ	-57	A	39	CS	22	CS	ÁT3A2SZ	ÁT4A4SZ2CSB	aszályos	
1993	-3	ÁT	-186	A	-15	SZ	-58	A	52	B	-186	A	3ASZCSB	5A3SZ2CS2B	aszályos	
1994	148	B	-126	A	2	ÁT	-62	A	-16	SZ	-126	A	2A2CS2B	4A2SZ4CSB	csapadékbó	
1997	-393	A	-277	A	-56	A	-62	A	-91	A	-277	A	ÁT5A	3ÁT8ASZ	aszályos	
1998	-92	A	338	B	21	CS	-19	SZ	164	B	338	B	ÁT2ASZCSB	2ÁT3ASZ2CS4B	csapadékbó	
2001	-13	SZ	235	B	19	CS	80	B	161	B	235	B	A2SZ2CSB	ÁT2A3SZ3CS3B	csapadékbó	
2002	-311	A	61	B	-21	SZ	-59	A	50	B	61	B	ÁT3A2SZ	2ÁT4A2SZ2CSB	aszályos	
a)Átlag	-54	A	-13	SZ	-6	ÁT	-14	SZ	6	ÁT	-13	SZ	3ÁT3SZ	8ÁT4SZ	aszályos	

Megjegyzés: * =30 éves (1961-1990) átlag; nagyhőrcsöki mérőállomás. Ariditási jellemző (AJ): ÁT = átlagos, SZ = száraz, A = aszályos, CS = csapadékos, B = csapadékbó

padék mennyiségei a vetés előtti állapotokat tükrözik (1 átlagos, 1 száraz, 8 aszályos, 1 csapadékos, 5 csapadékbő). Betakarításkor az esetek 6%-ában átlagos, 31 és 26%-ában száraz és aszályos, 6%-ában csapadékos és 31%-ában csapadékbő időszakok váltották egymást. Az időjárási anomáliák objektív értelmezésében nagy segítséget nyújt az egymást követő száraz, aszályos, csapadékos és csapadékbő hónapok gyakoriságának ismerete. A kísérleti évek között különösen aszályosnak mondható a fentiekkel egybehangzóan az 1997. év, mivel a téli félévben 2×3 , a nyári félévben 1×2 egymást követő hónap volt aszályos. A leginkább csapadékbő 2001. kísérleti évben az 1×2 száraz időszakot 1×2 csapadékos és 1×2 csapadékbő hónap követte. A kísérleti évek évjáratát fontossági sorrendben a téli (-54%) és a nyári (-13%) félévek, valamint a vegetációs időszakok (-13%) határozták meg elsődlegesen.

A csapadék-tápanyagellátás-kukoricatermés összefüggései

A 4. táblázat a kukorica termését és az időjárás csapadékanomáliáinak összefüggéseit mutatja be különböző tápanyag-ellátottságoknál.

A tápanyagellátás és a kukorica termése szárazságban. – A 3,0% körüli humusztartalmú, felvehető foszforral gyengén-, nitrogénrel és káliummal közepesen ellátott mésztepedékes csernozjom talajon a trágyázatlan kontrollparcellák termése $3,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ körül stabilizálódott a száraz évjáratnak megfelelő két kísérleti év átlagában. Az előforduló csapadékanomáliák mellett a trágyázatlan talajokhoz hasonlóan a terméseket nagy szignifikáns kiegyenlített műtrágyahatások jellemezték. A minimális $6,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ terméstömeget a maximális ($7,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ értékkel haladta meg. Az egyoldalú N-, a hiányos NP- és a NK-műtrágyázás több mint $3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($3,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) hozamnövekményt (81%) eredményezett a kontrollterületekhez viszonyítva. Ettől a kukorica termése a teljes NPK ($7,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) kezeléssel alig volt fokozható. A száraz évjáratú kísérletek kezeléseinek átlaga $6,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (országos átlag $6,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

A tápanyagellátás és a kukorica termése aszálykor. – A kedvezőtlen csapadékellátást a kukorica kisebb hozamokkal jelezte. A kontrollparcellák termése ($5,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) mintegy $1,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ növekményt mutatott, a száraz évjáratokétól ($3,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) eltérően (31%). A trágyázási szintek minimális, ill. maximális termése $6,7$, ill. $7,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt. Ezen a mélyrétegű, nagy víztároló kapacitással rendelkező meszes csernozjom talajon a N-, NP- és NK-kezelésekben az aszálynak csak mintegy 4,0%-os termés-csökkentő hatását rögzítettünk a száraz évjáratok ugyanezen kezeléseire hasonlítva. Az NPK-adagok hatására ez az érték 1,0%-ra mérséklődött. Az aszályos évjáratú kísérletek kezeléseinek átlaga $6,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (országos átlag $5,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

A tápanyagellátás és a kukorica termése csapadékbőség esetén. – A trágyázás nélküli területeken $5,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ kukorica termett, amely $0,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ növekményt (6%) jelentett az aszálykori terméshez ($5,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) képest. A száraz évjáratokhoz viszonyítva a szemterméstöbblet elérte a 39%-ot. A különböző trágyázási szinteken regisztrált minimális, ill. maximális termés $7,1$, ill. $7,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt. Az egyoldalú N- és a hiányos NP- és NK-ellátottságoknál is jelentkezett a kedvezőbb vízellátottság

pozitív hatása ($7,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Ezekben a kezelésekben a termésnövekmény átlagosan 8% volt (az aszályos évekhez hasonlítva), amelyet az NPK-trágyázás még 2%-kal tovább fokozott (10%). A csapadékbő évjáratú kísérletek kezeléseinek átlaga $7,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (országos átlag $4,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

4. táblázat

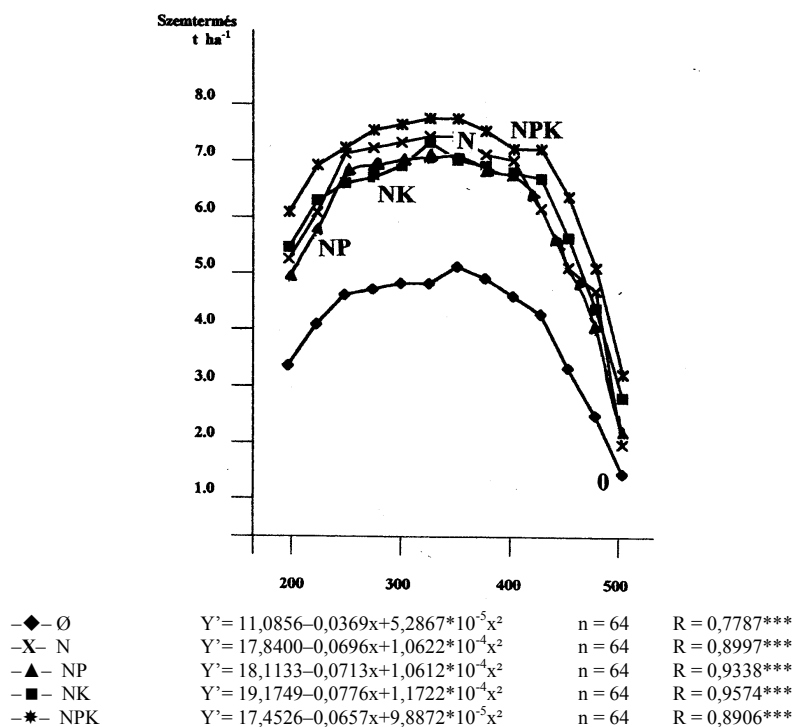
A kukorica (*Zea mays* L.) termése és a csapadékanomáliák összefüggései különböző tápanyag-ellátottságoknál 1969–2002 között (Nagyhörcsök)

(1) Év	(2) Kezelés	(3) Termés, t·ha ⁻¹	(4) Anomáliák*								
			I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
A. Száraz évjárat											
6., 7.	Ø	3,9									
	N	7,3									
	NP	6,8									
	NK	7,1	SZ	A	ÁT	CS	A	A	ÁTA2SZCS2B	3ÁT2A4SZCS2B	SZ
	NPK	7,2									
	SzD _{5%}	0,6									
	Átlag	6,5									
B. Aszályos évjárat											
2., 5., 8., 9., 10., 11., 13., 16.	Ø	5,1									
	N	6,8									
	NP	6,7									
	NK	6,9	A	A	SZ	A	SZ	A	ÁT3A2SZCS	2ÁT4A3SZ2CSB	A
	NPK	7,0									
	SzD _{5%}	0,6									
	Átlag	6,5									
C. Csapadékbő évjárat											
1., 3., 4., 12., 14., 15.	Ø	5,4									
	N	7,5									
	NP	7,1									
	NK	7,5	B	B	CS	ÁT	B	B	2ASZ2CS2B	ÁT3A3SZ3CS3B	B
	NPK	7,5									
	SzD _{5%}	0,6									
	Átlag	7,0									
a) Kísérleti évek SzD _{5%}		0,6									

Megjegyzés: Anomáliák jelzése (I.–IX.): lásd 3. táblázat

A vegetációs időszak csapadékmennyiségeinek hatása a kukorica termésére különböző N-, P- és K-tápláltságoknál

A vegetációs időszakok csapadékmennyiségei, a N-, NP-, NK-, NPK-tápláltságok és a kukorica termése közötti összefüggésrendszer regresszióanalízis eredményeit az 1. ábra mutatja be. A csapadékmennyiség és a termés között az elem-



1. ábra

A vegetáció alatti csapadékmennyiségek (mm) és a kukorica (*Zea mays* L.) termésének összefüggései különböző tápanyag-ellátottsági szinteken (Nagyhőrcsök, 1969–2002)

ellátottságoktól függő (0: $R = 0,7787^{***}$, N: $R = 0,8997^{***}$, NP: $R = 0,9338^{***}$, NK: $R = 0,9574^{***}$, NPK: $R = 0,8906^{***}$) másodfokú szignifikáns összefüggések a meghatározók. A legmagasabb korrelációs együttható 0,1%-os megbízhatósági szinten ($R = 0,9574^{***}$) az NK-kombinációnál jelentkezett feltehetően a talaj eredeti közepes K-ellátottsága (AL-oldható K_2O 140–160 $mg \cdot kg^{-1}$) miatt. A kísérletek teljes determinációs koefficiense ($R^2 = 0,7957$) azt mutatta, hogy a vegetációban lehullott csapadék és a műtrágyázás együttesen közel 80%-ban határozta meg a kukorica termését.

Az optimális csapadékmennyiségek (egyenletek első differenciálhányadosa) és az ezekhez rendelhető szemterméstömegek 328–349 mm és 5,0–7,7 $t \cdot ha^{-1}$ között

változtak ($\bar{O} = 349$ mm, $5,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; $N = 328$, $7,3$; $NP = 336$, $7,0$; $NK = 331$, $7,1$; $NPK = 332$, $7,7$; kezelések átlaga $= 335$ mm, $6,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Az $\pm 5\%$ -os minimum és maximum szélsőértékek a következők voltak: $\bar{O} = 332$ mm, $4,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ és 367 mm, $5,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; $N = 312$, $6,9$ és 344 , $7,7$; $NP = 319$, $6,7$ és 353 , $7,4$; $NK = 314$, $6,8$ és 348 , $7,5$; $NPK = 315$, $7,3$ és 349 , $8,1$; a kezelések átlaga $= 318$ mm, $6,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ és 352 mm, $7,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Számítottuk az optimális csapadékmennyiség 1 mm-re eső szemterméstömegét. A kezelésektől függően ezek az értékek $14,3$ és $23,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($\bar{O} = 14,3$, $N = 22,3$, $NP = 20,8$, $NK = 21,5$, $NPK = 23,2$, a kezelések átlaga $= 20,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) között változtak. Megállapítható volt, hogy a N-, NP-, NK- NPK-kezelések és a kezelések átlagában 56 , 46 , 50 , 62 és 54% -kal hasznosult jobban a természetes esővíz, mint a trágyázatlan területeken. Az őszi búza ugyanezen értékeit figyelembe véve (MÁRTON, 2002a) a kukorica $43,5\%$ -kal reagált érzékenyebben a csapadék×tápanyag rendszer változásaira, mint a búza.

Meghatároztuk a maximális terméshez kötődő 1 kg légszáraz anyag előállításához felhasznált vegetációs csapadékmennyiségeket ($\bar{O} = 698$, $N = 449$, $NP = 480$, $NK = 466$, $NPK = 431$, a kezelések átlaga $= 457$ liter). Az eredmények azt mutatják, hogy a trágyázatlan kontrollterületek növényállománya 36 , 31 , 33 és 38% -kal fogyasztott több vizet, mint a N-, NP-, NK- és NPK- kezeléseké (a kezelések átlaga $= 35\%$).

Értékeljük a tartamkísérlet 43 éves (1961 – 2003) meteorológiai adatbázisa alapján a különböző növénytápláltságokhoz tartozó csapadékoptimum ($\pm 5\%$) intervallumokba (vegetációs) sorolható kísérleti évek %-os előfordulását: \bar{O} 16% , N 21% , NP 21% , NK 19% , NPK 19% , a kezelések átlaga 19% . Megállapítottuk továbbá, hogy az utóbbi 23 év (1981 – 2003) időjárása jelentős mértékben aszályosodott. A bázisadatokhoz (1961 – 1980) hasonlítva 20 , 500 és 50% -kal nőtt az átlagos, a száraz és az aszályos, nem változott a csapadékos és 71% -kal csökkent a csapadékbő évek aránya. A bemutatott éghajlatváltozásokat figyelembe véve (aszályosodás) arra a következtetésre jutottunk, hogy a fentiekben tárgyalt csapadékoptimumok előfordulása és az optimális termések elérésének lehetősége a búzához hasonlóan (MÁRTON, 2002a) a kukorica esetében is csökkenni fog a jövőben.

A nemzetközi vonatkozásban is újnak tekinthető modell értékű eredményeink a különböző évjáratok (száraz, aszályos, csapadékos, csapadékbő) és a N-, P- és K-műtrágyázás számszerűsített ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ -ban kifejezett) hatásait mutatták be a kukorica termésére. Ezek jó támpontul szolgálhatnak az aszályosodási folyamatok termést befolyásoló hatásainak tudományos leírására.

Összefoglalás

Az OMTK A-17 jelű tartamkísérlet (Nagyhőrcsök, MTA TAKI Kísérleti Telepe) 16 kísérleti évében vizsgáltuk a természetes csapadék, valamint a N, P és K tápelemek hatását a kukorica termésére. A termőhely mészelepedékes csernozjom talajának legfontosabb jellemzői: pH (KCl): $7,3$, CaCO_3 -: 5% , humusz-: 3% ,

agyag-: 20–22%, AL-oldható P_2O_5 - és K_2O -: 60–80 és 180–200, KCl-Mg-: 150–180, KCl+EDTA-oldható Mn-, Cu- és Zn-tartalom: 80–150, 2–3 és 1–2 $mg \cdot kg^{-1}$. A 20 kezeléssel, 4 ismétléssel kétszeresen osztott (split-split-plot) elrendezéssel, összesen 80 parcellán működő kísérletben a nitrogén és foszfor hatása 3–3, a káliumé 2–2 szinten vizsgálható az összes lehetséges $3 \times 3 \times 2 = 18$ kombinációban. Ehhez járul a kezeletlen kontroll- és egy, a faktoriális rendszerben nem szereplő nagyobb NPK-adagú kezelés.

Főbb eredményeink a következők:

- A 16 kísérleti év időjárás-elemzésekor megállapítottuk, hogy az átlagosnak megfelelő évjárat nem fordult elő, két évre a szárazság (1981, 1982), nyolc évre (1973, 1978, 1986, 1989, 1990, 1993, 1997, 2002) az aszály és hat évre a csapadékbőség (1969, 1974, 1977, 1994, 1998, 2001) volt jellemző.

- Szárazság esetén az egyoldalú N-, a hiányos NP- és a NK-műtrágyázás több mint $3,0 t \cdot ha^{-1}$ ($3,2 t \cdot ha^{-1}$) (81%) hozamnövekményt eredményezett a kontrollterületekhez képest. A kukorica termését a teljes NPK-kezelés alig fokozta ($7,2 t \cdot ha^{-1}$).

- Aszálykor a N-, NP- és NK-kezelésekben a száraz évjáratok ugyanezen kezeléseikhez viszonyított 4,0%-os terméscsökkenést rögzítettünk. Az NPK-adagok hatására ez az érték 1,0%-ra mérséklődött.

- Csapadékbőség esetén az egyoldalú N- és a hiányos NP- és NK-ellátottságoknál is jelentkezett a kedvezőbb vízellátottság pozitív hatása ($7,4 t \cdot ha^{-1}$ körüli termések). Ezekben a kezeléseken átlagosan 8% volt a termésnövekmény az aszályos évekhez hasonlítva, amelyet az NPK-trágyázás még 2%-kal tovább fokozott (10%).

- A vegetációs időszakban a csapadékmennyiség és a termés között az elemellátottságoktól függő (\emptyset : $R = 0,7787^{***}$, N: $R = 0,8997^{***}$, NP: $R = 0,9338^{***}$, NK: $R = 0,9574^{***}$, NPK: $R = 0,8906^{***}$) másodfokú szignifikáns összefüggések voltak a meghatározók. Az optimális csapadékmennyiség és az ezekhez rendelhető szemterméstömeg 328–349 mm és $5,0$ – $7,7 t \cdot ha^{-1}$ között változott a trágyázásoktól függően. Az optimális csapadékmennyiség 1 mm-re eső szemterméstömeg 14,3 és $23,2 kg \cdot ha^{-1}$ -nak adódott. A maximális termések 1 kg légszáraz anyagának előállításához felhasznált vegetációs csapadékmennyiségek a kontroll-, N-, NP-, NK- és NPK-kezeléseknél 698, 449, 480, 466 és 431 liternek mutatkoztak.

- A kísérleti telep 43 éves (1961–2003) meteorológiai adatbázisa alapján megállapítottuk, hogy az utóbbi 23 év (1981–2003) időjárása jelentős mértékben aszályosodott. A bázisadatokhoz (1961–1980) hasonlítva 20, 500 és 50%-kal nőtt az átlagos, a száraz és az aszályos, nem változott a csapadékos, és 71%-kal csökkent a csapadékbő évek aránya.

Kulcsszavak: műtrágyázás, csapadék, kukorica, termés

Irodalom

- ALAN, W., 1999. A deep anthropocentric approach to environmental ethics. *The Department of Environmental Science and Policy Journal*. **2**. 23–29.
- ANTAL J., 1973. Növénytermesztési módszerek gyengén humuszos karbonátos homoktalajon. *Tudományos Doktori Értekezés*. Szeged.
- BERTJAN, H., MARCEL, K. & JAN, V., 2002. Future research and the climate issue. *Change*. **60**. 16–18.
- BIACS P., KOCSONDI CS.-NÉ & DOBOS GY., 2004. A magyar mező- és erdőgazdaság feladatai a klímaváltozás tükrében. *AGRO-21 Füzetek*. **33**. 70–83.
- BOCZ E., 2001. Magyarország vízellátottságának romlása. In: *Vízellátottsági és öntözési jelzés*. (Szerk.: LUNCZER S.) 1–2. DATE. Debrecen.
- BUZÁS I. et al. (szerk.) 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- CSETE L., 2005. A nyugat-dunántúli agrárgazdaság klímaváltozáshoz való alkalmazkodási stratégiájának áttekintése. *AGRO-21 Füzetek*. **43**. 114–142.
- CSETE L. & LÁNG I., 2005. A fenntartható agrárgazdaság és vidékfejlesztés. MTA Társadalomkutató Központ. Budapest.
- DOMONKOS P., 2004. Éghajlat előrejelzés a 2005–2025 időszakra. *AGRO-21 Füzetek*. **33**. 18–35.
- DORLAND VAN ROB, 2000. Climate change and greenhouse effect. *Change*. **50**. 16–18.
- DOWNING, T. E. et al., 2000. *Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe*. University of Oxford. Oxford.
- EGERSZEGI S., 1958. A laza homoktalajok mély termőrétegének kialakítása és tartós megjavítása. *MTA Agrártud. Közlem.* **13**. 83–111.
- FAKHRI, B., 1996. *Global Climate Change and Agricultural Production*. FAO. Rome.
- FAO, 2004. *Database*. Rome.
- FISHER, R. A., 1924. The influence of rainfall upon the yield of wheat at Rothamsted. *Phil. Trans. B*, **113**. 89–142.
- GEOFFREY, L., 1995. *Down to Earth*. UNCCD. Bonn.
- GRÁBNER E., 1935. *Szántóföldi növénytermesztés*. Pátria I. V. Ny. R. Budapest.
- GYÖRFFY B. & SVÁB J., 1993. Az 1983-as évi termesztés táblasoros aszályelemzése. In: *Aszály 1983* (Szerk.: BARÁTH CS.-NÉ, GYÖRFFY B. & HARNOS ZS.) 47–106. *Kertészeti és Élelmiszertud. Egyetem*. Budapest.
- GYURICZA CS. & BIRKÁS M., 2000. A szélsőséges csapadékelletlenség hatása egyes növénytermesztési tényezőkre barna erdőtalajon, kukoricánál. *Növénytermelés*. **49**. 691–706.
- HARNOS ZS., 1993. Időjárás és időjárás–termés összefüggéseinek idősoros elemzése. In: *Aszály 1983* (Szerk. BARÁTH CS.-NÉ, GYÖRFFY B. & HARNOS ZS.) 9–43. *KÉE*. Budapest.
- HARNOS ZS., 2005. A klímaváltozás és lehetséges hatásai a világ mezőgazdaságára. *Magyar Tudomány*. **7**. 826–832.
- JACQUES, D., 1997. *FAO's Emergency Activities*. FAO. Rome.
- JAN, R., MIKE, H. & THOMAS, E. D., 1994. Climate change implications for Europe. *Global Environmental Change*. **4**. 97–124.

- JOLÁNKAI M., 2005. A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre. AGRO-21 Füzetek. **41.** 47–58.
- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I., 1998. Műtrágyázás hatása a talaj termékenységre mészelepédékes csernozjom talajon. Nagyhörcsök. In: Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. (Szerk.: BLASKÓ L. et al.) 55–68. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt–Karcag.
- KÁDÁR I. et al., 2000. A kukorica (*Zea mays* L.) ásványi táplálása meszes csernozjom talajon. I. Növénytermelés. **49.** 371–388.
- KISMÁNYOKY T., 2005. A globális klímaváltozás hatásai és válaszai Közép- és Dél-Dunántúl szántóföldi növénytermesztésében. AGRO-21 Füzetek. **41.** 81–94.
- LÁNG G., 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LÁNG I., 2003. A globális klímaváltozással kapcsolatos feladatok kutatásának terve. A falu. **18.** 85–89.
- LÁNG I., 2005a. Klímaváltozás és várható hatásai. AGRO-21 Füzetek. **41.** 3–6.
- LÁNG I., 2005b. Éghajlat és időjárás: változás–hatás–válaszadás. AGRO-21 Füzetek. **43.** 3–10.
- LOBELL, D. B. & ASNER, G. P., 2003. Climate and management contributions to recent trends in U.S. agricultural yield. Science. **299.** 1032–1045.
- MÁRTON L., 2002a. A csapadék-, a tápanyagellátás és az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termése közötti kapcsolat. Növénytermelés. **51.** 529–542.
- MÁRTON L., 2002b. A csapadék- és a tápanyagellátottság hatásának vizsgálata a triticales termésére tartamkísérletben. Növénytermelés. **51.** 687–701.
- MÁRTON L., 2002c. Az éghajlatingadozás és a N-műtrágyázás hatása a rozs (*Secale cereale* L.) termésére. Növénytermelés. **51.** 199–210.
- MÁRTON L., 2002d. Az évhatás elemzése az északkelet-magyarországi, nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérletben. A természetes csapadék és a tápanyagellátottság hatása a burgonya (*Solanum tuberosum* L.) termésére. Növénytermelés. **51.** 71–87.
- PATRICK, J. M., 2002. Global Warming. Cato Institute. Washington.
- PETRASOVITS I., 1988. Az agrohidrologia főbb kérdései. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- RÁCZ, L. 1999. Climate History of Hungary Since 16th Century: Past, Present and Future. Discussion paper. Center for Regional Studies of the Hungarian Academy of Sciences. Pécs.
- RÖSZLER K., 1910. Adatok a búza termesztéséhez és trágyázásához. Országos Magyar Kir. Növénytermelési Kísérleti Állomás kiadványa. Magyaróvár.
- RUNGE, E. C., 1968. Effect of rainfall and temperature interaction during the growing season on corn yield. Agron. J. **60.** 503–507.
- SMITH, J. W., 1903. Relation of precipitation to yield of corn. In: USDA Yearbook 1903. 215–224. USDA. Washington, D. C.
- SVÁB J., 1981. Biometria módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SZÁSZ G., 1971. A természetes csapadékviszonyokra épülő növénytermesztés agrometeorológiai kérdései Magyarországon. MTA X. Oszt. Közlem. **4.** 187–198.
- SZÁSZ G., 2005. Termésingadozást kiváltó éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében. AGRO-21 Füzetek. **40.** 33–69.
- SZÁSZ G. & TÖKEI L., 1997. Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

- TIMOTHY, G. R., 1997. Sustainable Intensification of Agriculture. CIMMYT. Mexico City.
- VARGA-HASZONITS Z. & VARGA Z., 2005. Nyugat-Magyarország éghajlati viszonyai és a kukorica. AGRO-21 Füzetek. **43.** 71–79.
- VÁRALLYAY, GY., 1997. Environmental relationships of soil water management. In.: Soil, Plant and Environment Relationships. (Ed.: NAGY, J.) 7–32. Debrecen Agricultural University. Debrecen.
- VÁRALLYAY GY., 2005. Klímaváltozások lehetséges talajtani hatásai a Kisalföldön. AGRO-21 Füzetek. **43.** 11–23.
- WETHERALD, R. T. & MANABE, S., 1995. The mechanism of summer dryness induced by greenhouse warming. J. Climate. **8.** 3096–3108.

Érkezett: 2005. szeptember 28.

Effect of Mineral Fertilization and Rainfall on the Yield of Maize (*Zea mays* L.)

L. MÁRTON

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

The effect of natural rainfall and N, P and K nutrients on the yield of maize was investigated in 16 years of a long-term fertilization experiment set up at the Experimental Station of the Institute in Nagyhörcsök. The soil was a calcareous chernozem, having the following characteristics: pH (KCl): 7.3, CaCO_3 : 5%, humus: 3%, clay: 20–22%, AL-soluble P_2O_5 : 60–80, AL-soluble K_2O : 180–200, KCl-soluble Mg: 150–180; KCl+EDTA-soluble Mn, Cu and Zn content: 80–150, 2–3 and 1–2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The experiment had a split-split-plot design with 20 treatments in 4 replications, giving a total of 80 plots. The treatments involved three levels each of N and P and two levels of K in all possible combinations ($3\times 3\times 2=18$), together with an untreated control and one treatment with a higher rate of NPK, not included in the factorial system.

The main results can be summarized as follows:

- An analysis of the weather in the 16 experimental years revealed that there were no average years, as two years were moderately dry (1981, 1982), eight were very dry (1973, 1978, 1986, 1989, 1990, 1993, 1997, 2002) and six were very wet (1969, 1974, 1977, 1994, 1998, 2001).

- In dry years the N, NP and NK treatments led to a yield increment of over 3.0 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (3.2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (81%) compared with the unfertilized control, while the full NPK treatment caused hardly any increase in the maize yield (7.2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

- In the case of drought there was a 4.0% yield loss in the N, NP and NK treatments compared to the same treatments in the dry years. This loss was only 1.0% in the NPK treatment.

- In very wet years the positive effects of a favourable water supply could be seen even in the N, NP and NK treatments (with yields of around 7.4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$). The yield increment in these treatments compared with the droughty years averaged 8%, while balanced NPK fertilization led to a further 2% increase (10%).

- Significant quadratic correlations were found between the rainfall quantity during the vegetation period and the yield, depending on the nutrient supplies (\emptyset : $R = 0.7787^{***}$, N: $R = 0.8997^{***}$, NP: $R = 0.9338^{***}$, NK: $R = 0.9574^{***}$, NPK: $R = 0.8906^{***}$). The optimum rainfall quantity and the corresponding grain yield ranged from 328–349 mm and 5.0–7.7 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively, depending on the fertilizer rate. The grain yield increment obtained per mm rainfall in the case of optimum rainfall supplies was found to be 14.3–23.2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, while the quantity of rainfall utilized during the vegetation period for the production of 1 kg air-dry matter in the case of maximum yield amounted to 698, 449, 480, 466 and 431 litres in the control, N, NP, NK and NPK treatments, respectively.

It was clear from the 43-year meteorological database for the experimental station (1961–2003) that over the last 23 years (1981–2003) the weather has become substantially drier. Compared with the data for the previous 20 years (1961–1980) there was an increase of 20, 500 and 50% in the number of average, dry and droughty years, no change in the number of wet years and a 71% drop in the number of very wet years.

Table 1. Fertilizer rates (kg N, P₂O₅, K₂O·ha⁻¹·year⁻¹) in the long-term fertilization experiment (A-17) (Nagyhőrcsök). (1) NPK levels. (2) Applied to wheat. (3) Applied to maize. (4) Applied to pea. (5) Year: 1st–4th; 5th–20th; 21st–.

Table 2. Rainfall quantities averaged over many years, in the experimental years and during the phenological phases of maize (*Zea mays* L.) between 1969 and 2002, mm (Nagyhőrcsök). (1) Year. a) Mean. (2) Month. (3) Harvest. (4) Months outside the vegetation period. (5) Vegetation period. (6) Vegetation period total. (7) Deviation. (8) Annual total. Note: *30-year rainfall mean at Nagyhőrcsök (1961). **Phenological phases: germination, emergence, 4–6-leaf stage, shooting, tasselling, maturity. Rainfall data for Oct.–Dec. refer to the previous year.

Table 3. Rainfall deviations from the many years' average (%), aridity index (AJ) for experimental years when maize was grown (1969–2002) (Nagyhőrcsök). (1) see Table 2. (2) Weather of half-years. (3) Winter half-year (Oct.–Mar.). (4) Summer half-year (Apr.–Sep.). (5) Weather in various months. (6) Oct.–Sep. (7) Prior to sowing (Mar.). (8) Harvest (Sep.). (9) Vegetation period (Apr.–Sep.). (10) The number of critical sequential years (11) in the vegetation period (Apr.–Sep.), (12) in the experimental year (Oct.–Sep.). (13) Type of experimental year (Oct.–Sep.). Note: *30-year mean at Nagyhőrcsök (1961–1990). Aridity index (AJ): ÁT = average; SZ = dry; A = droughty; CS = wet; B = very wet.

Table 4. Correlations between maize (*Zea mays* L.) yield and rainfall anomalies at various nutrient supply levels between 1969 and 2002 (Nagyhőrcsök). (1) Year. (2) Treatment. (3) Yield (t·ha⁻¹). (4) Anomalies. Note: For anomaly designations (I–IX): see Table 3.

Fig. 1. Correlations between rainfall quantity during the vegetation period (mm) and maize (*Zea mays* L.) yield at various nutrient supply levels (Nagyhőrcsök, 1969–2002).