

A műtrágyázás hatása a kukorica fejlődésére és tápanyagforgalmára

II. Tápelemfelvétel

LÁSZTITY BORIVÓJ, BICZÓK GYULA, ELEK ÉVA és RUDA MIHÁLY

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest, MTA Botanikai és Ökológiai Kutató Intézete, Vácrátót, MEM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest és MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete, Budapest

A növény által felvett tápelemmennyiség ismerete egyik alapja a növénytáplálás kutatásának és gyakorlatának. A növény összes és időszakos ásványtápelemigényének megismeréséhez a felvétel mennyiségi változásának vizsgálatával juthatunk el. Az ásványtápelem-felvétel az ökológiai viszonyok függvényében változik [4, 5, 7, 8, 11, 12]. E kapcsolat, valamint a kölcsönhatások felfedésére a felvétel tanulmányozása lehetőséget nyújt. Az edafikus tényezők közül a talaj tápelemviszonyai azok, melyek a leginkább képesek befolyásolni a tápelemfelvétel mennyiségi és minőségi viszonyait. Számos közleményből ismeretes, hogy a növény tápelemigénye a tenyészidő folyamán nem azonos, időben és mennyiségben eltérő [6, 7, 8].

Jelen munkánkkal — az eddigi hazai vizsgálatokat [5, 6, 8] kibővítve — adatokat kívánunk szolgáltatni egy rövid tenyészidejű kukorica (NK—PX. MSc. 20. hibrid) tápelemfelvételéről. A talaj tápelemviszonyai és a felvétel kapcsolatát egy szabadföldi trágyázási kísérletben tanulmányoztuk. A vizsgált növény szárazanyagfelhalmozásáról, valamint a tápelemtartalmak és -arányok alakulásáról előző közleményünkben adtunk számot [10]. A felvétel dinamikájának leírásához matematikai modellt alkalmaztunk.

Anyag és módszer

A szabadföldi kísérletet az 1975/76. gazdasági évben állítottuk be karbonátos csernozjom jellegű homoktalajon. A kísérleti körülményeket, az alkalmazott agrotechnikát részletesen az előző közleményünkben [10] ismertettük. A tenyészidő folyamán a mintaanyagot 4—6, 10—12 leveles korban, virágzáskor, tejes éréskor, valamint töréskor, a teljes érés fenofázisában vettük, a teljes föld feletti rész felhasználásával. Az N-, P-, K-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- és Cu-felvételi adatok értékelését variancia- és regresszióanalízissel, a felvételi dinamika leírását az előző közleményben bemutatott, egyszerű kettős szubkompartment modell [1, 2, 3, 9] segítségével végeztük.

Kísérleti eredmények és megvitatásuk

A kísérletben a P- és K-műtrágyázás egy év alatt jelentősen megváltoztatta a talaj tápanyagviszonyait [10]. A kukorica által felvett ásványitápelem-mennyiséget tápelemenként adjuk meg a műtrágyázási kezelésekben és azok átlagában. A kezelésekben alkalmazott műtrágyamennyiségeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

A kísérlet kezelései (Örbottyán, 1975—1978)

(1) Kezelés sorszám	1975/1976			1976/1977			1977/1978			(2) 1975—1978 között		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha											
1.	200	—	—	200	—	—	200	100	—	600	100	—
2.	200	50	100	200	50	100	200	100	100	600	200	300
3.	200	100	200	200	100	200	200	100	200	600	300	600
4.	200	500	500	200	—	—	200	100	—	600	600	500
5.	200	500	500	200	50	100	200	100	100	600	650	700
6.	200	500	500	200	100	200	200	100	200	600	700	900
7.	200	1000	1000	200	—	—	200	100	—	600	1100	1000
8.	200	1000	1000	200	50	100	200	100	100	600	1150	1200
9.	200	1000	1000	200	100	200	200	100	200	600	1200	1400

P₂O₅ = szuperfoszfát (18%); K₂O = kálisó (40%); N = pétisó (28%), fele ősszel, fele tavasszal, ill. 1978-ban csak tavasszal

A növény által felvett nitrogén mennyisége (2. táblázat) a kísérlet átlagában lassú kezdeti növekedés után a 10—12 leveles kori állapottól kezdve a teljes érésig rohamosan gyarapodva, majd mérséklődve ugyan, de a betakarításig nőtt. A felhalmozás intenzitása virágzaskor volt a legnagyobb, amikor a növény 34 nap alatt a teljes felvett mennyiségnek mintegy a felét halmozta fel.

A teljes felvétel 2/3-a a szemben, a maradék a melléktermékben volt megtalálható. A PK-műtrágyázás szignifikánsan növelte a felvett N mennyiségét.

A kukorica P-felvételének (2. táblázat) lefutása hasonlít a nitrogénéhez. Ez esetben is a gyors gyarapodás időszaka a 10—12 leveles kor és a teljes érés fenofázisai között volt. Ezután a felvétel mérsékelt ütemben egészen a betakarításig tartott. A kukoricánövényben — a szervezeten belüli transzlokáció folytán — az akkumulált foszfor 3/4-e a szemtermésbe, a kisebb része a melléktermékekbe került. A feltöltő PK-műtrágyázás utóhatásában, és valamennyi fenntartó adagban a vizsgált fenofázisban szignifikánsan növelte a felvett foszfor mennyiségét. A feltöltő és a fenntartó műtrágyázás hatása között viszont a különbség nem volt bizonyítható annak ellenére, hogy növekedési tendencia figyelhető meg a nagyobb adagú PK-feltöltés utóhatásában.

A kukorica K-felvételében (2. táblázat) — hasonlóan más növényekhez — megnyilvánult a specifikus jelleg. Ugyanis a maximális felvételt a virágzás fázisában mértük, majd ezután a betakarítás időpontjáig mintegy 20%-os csökkenés következett be a kísérlet átlagában. A felhalmozás igen gyors volt a 10—12 leveles kor és a virágzás

2. táblázat

A kukorica tápelemfelvételének változása a tenyészidő folyamán (NK. PX-MSc. 20. fajta, Órbottyán, 1978.)

(1) Kezelés sorszama	(2) 4–6 leveles, máj. 31.	(3) 10–12 leveles, jún. 21.	(4) Virágzás, júl. 25.	(5) Tejes érés, aug. 9.	(6) Töréskor, okt. 10		
					(7) szem	(8) szár	(9) összes
N, kg/ha							
1.	0,65	10,0	81,2	101,3	83,1	35,4	118,5
2.	0,78	13,9	107,1	149,2	130,8	68,5	199,3
3.	0,80	17,2	111,0	141,6	139,6	62,7	202,3
4.	0,92	17,7	108,0	143,6	129,7	58,9	188,6
5.	0,98	14,3	110,5	154,7	135,6	58,3	193,9
6.	0,94	16,9	111,2	133,6	138,2	64,5	202,7
7.	0,86	13,8	112,3	143,6	142,0	70,7	212,7
8.	0,94	15,1	126,9	157,8	133,1	66,8	199,9
9.	1,05	14,9	126,3	150,8	132,1	70,8	202,9
a) SzD _{5%}	0,27	6,6	24,8	19,7	27,7	15,4	34,2
b) Átlag	0,88	14,9	110,5	141,8	129,3	61,8	191,1
%	0,5	8	58	74	68	32	100
P, kg/ha							
1.	0,07	1,5	11,8	18,1	18,1	3,9	22,0
2.	0,08	2,1	15,6	26,9	31,1	9,8	40,9
3.	0,08	2,5	15,3	26,6	32,3	8,8	41,1
4.	0,11	2,9	14,8	27,2	29,1	7,7	36,9
5.	0,12	2,4	17,8	29,4	25,6	8,7	34,2
6.	0,11	3,1	15,4	26,9	27,4	9,6	37,0
7.	0,12	2,5	17,7	27,2	31,4	13,2	44,6
8.	0,13	2,9	20,4	28,2	32,5	8,7	41,2
9.	0,15	2,8	20,0	28,7	34,2	11,3	45,5
SzD _{5%}	0,04	0,9	3,3	5,3	5,1	2,8	6,9
Átlag	0,11	2,5	16,5	26,6	29,1	9,1	38,2
%	0,3	7	43	70	76	24	100
K, kg/ha							
1.	0,26	6,6	29,0	26,0	10,5	11,3	21,8
2.	0,47	16,0	53,8	41,9	20,2	29,0	49,2
3.	0,56	25,7	65,6	49,2	21,4	29,7	51,1
4.	0,58	20,1	47,8	41,1	17,8	39,4	57,2
5.	0,70	19,6	66,3	43,4	15,3	35,1	50,4
6.	0,73	29,1	68,5	55,0	18,2	45,5	63,7
7.	0,58	21,7	69,9	52,6	18,8	46,5	65,3
8.	0,87	26,1	90,8	56,0	19,4	44,7	64,1
9.	0,97	28,0	96,0	67,1	19,0	53,8	72,8
SzD _{5%}	0,64	21,4	65,4	48,0	17,8	37,3	55,1
%	1	32	100	73	27	57	84

(1) Kezelés sorszám	(2) 4–6 leveles, máj. 31.	(3) 10–12 leveles, jún. 21.	(4) Virágzás, júl. 25.	(5) Tejes érés, aug. 9.	(6) Töréskor, okt. 10		
					(7) szem	(8) szár	(9) összes
Ca, kg/ha							
1.	0,24	2,6	21,0	24,4	2,4	30,4	32,8
2.	0,24	3,4	30,8	36,7	3,0	63,5	66,5
3.	0,19	3,7	28,7	32,9	3,5	58,1	61,6
4.	0,26	4,5	26,0	31,8	3,0	54,0	57,0
5.	0,29	3,6	25,1	34,1	3,4	49,2	52,6
6.	0,23	4,1	25,9	30,1	3,4	50,0	53,4
7.	0,23	3,3	22,2	33,0	3,5	51,1	54,6
8.	0,23	3,7	21,6	31,9	3,3	52,5	55,8
9.	0,23	3,5	28,1	28,2	3,3	57,7	61,0
SzD _{5%}	0,06	1,2	8,0	12,5	0,8	11,7	11,9
Átlag	0,24	3,6	25,5	31,5	3,1	51,8	54,9
%	0,5	7	46	57	6	94	100
Mg, kg/ha							
1.	0,12	1,8	15,8	21,1	5,1	14,3	19,4
2.	0,11	2,0	16,7	22,5	10,3	26,6	36,9
3.	0,09	2,1	16,6	20,9	9,4	21,2	30,6
4.	0,11	2,7	16,4	21,2	8,9	23,9	32,8
5.	0,11	1,8	16,2	21,2	8,7	20,5	29,2
6.	0,09	2,1	9,9	19,1	8,2	20,0	28,2
7.	0,10	1,9	14,5	19,5	9,8	21,2	31,0
8.	0,08	1,8	14,5	20,3	10,8	18,6	29,4
9.	0,07	1,6	12,7	18,2	10,0	16,8	26,8
SzD _{5%}	0,03	0,9	4,1	5,5	1,9	5,5	5,2
Átlag	0,10	2,0	14,8	20,4	9,1	20,2	29,3
%	0,3	6,8	50	69	31	69	100
Fe, g/ha							
1.	28	134	670	625	141	405	546
2.	52	288	678	847	210	2745	2955
3.	52	415	775	656	153	2848	3001
4.	41	411	717	1138	95	2444	2539
5.	34	329	931	1011	112	2203	2315
6.	51	400	839	824	141	2306	2447
7.	55	264	750	698	109	1761	1870
8.	48	342	879	730	151	1626	1777
9.	37	294	812	1068	147	2589	2736
SzD _{5%}	23	120	207	260	98	716	713
Átlag	44	320	783	844	140	2103	2243
%	2	14	35	38	6	94	100
Mn, g/ha							
1.	2,2	26	200	255	40	140	180
2.	3,1	36	284	266	59	505	564
3.	2,7	46	298	332	73	477	550
4.	2,5	44	241	323	58	433	491
5.	2,5	40	244	327	53	414	467

(1) Kezelés sorszám	(2) 4–6 leveles, máj. 31.	(3) 10–12 leveles, jún. 21.	(4) Virágzás, júl. 25.	(5) Tejes érés, aug. 9.	(6) Töréskor, okt. 10		
					(7) szem	(8) szár	(9) összes
6.	3,3	53	230	309	58	359	417
7.	3,4	37	258	313	67	363	431
8.	3,1	40	252	339	61	360	421
9.	3,0	44	228	307	66	464	530
SzD _{5%}	1,0	16	55	75	21	154	99
Átlag	2,9	41	248	308	59	391	450
%	0,6	9	55	68	13	87	100

Zn, g/ha

1.	0,5	9	56	131	113	59	172
2.	0,6	12	73	180	166	79	245
3.	0,6	14	80	170	178	94	272
4.	0,7	13	102	170	147	86	233
5.	0,6	13	96	159	161	72	233
6.	0,6	14	91	149	151	83	234
7.	0,7	11	94	140	162	65	227
8.	0,7	12	92	162	146	73	219
9.	0,7	12	88	173	160	121	281
SzD _{5%}	0,2	4	24	45	31	38	52
Átlag	0,6	12	86	159	154	81	235
%	0,3	5	37	68	66	34	100

Cu, g/ha

1.	0,1	2,7	39,5	21,3	21,0	22,0	43,8
2.	0,2	6,4	50,3	50,0	16,8	34,8	51,6
3.	0,2	10,3	64,5	50,8	24,8	57,8	82,6
4.	0,2	10,0	59,8	55,8	20,8	76,3	97,1
5.	0,1	9,6	57,0	75,5	24,3	80,8	105,1
6.	0,2	12,1	50,0	42,3	27,5	97,8	125,3
7.	0,3	8,7	47,5	37,8	24,8	86,0	110,8
8.	0,2	9,2	45,6	44,5	20,5	71,5	92,0
9.	0,2	9,6	49,3	43,3	23,3	59,0	82,3
SzD _{5%}	0,1	3,0	12,2	22,9	5,0	22,2	23,0
Átlag	0,2	8,7	51,5	46,8	22,6	65,2	87,8
%	0,2	10	59	26	26	74	100

fenofázisai között: az eltelt 34 nap alatt a növény a teljes felvétel mintegy 70%-át halmozta fel, ami napi 1,3 kg K-gyarapodásnak felelt meg. A PK-műtrágyázás, valamint a fenntartó adagú K-kezelések szignifikánsan növelték a felvett K mennyiségét, valamennyi vizsgált fejlődési szakaszban, különösen fiatalabb korban és a szártermésben. A teljes felvétel 2/3-a a szárban található.

A Ca-felvétel (2. táblázat) a kukoricánövényben a teljes tenyészidő alatt tartott. A menete viszonylag egyenletesnek mondható, közel azonos volt az akkumulált

mennyiség, a vegetatív és a generatív periódusban. A betakarítás időpontjában a belső tápelem-átcsoportosulás eredményeképpen a felvett Ca-mennyiségnek több mint 90%-a a szártermésben akkumulálódott, és csak elenyésző része került a szemtermésbe.

A kukoricánövény föld feletti részében a Mg-felhalmozás (2. táblázat) közel hasonló képet mutat, mint a kalciumé. A felvétel itt is a tenyészidőszak végéig tartott, és eléggé kiegyenlített volt. A leggyorsabb gyarapodást a virágzás szakaszát megelőzően regisztrálhattuk, amikor a növény a teljes felvétel 43%-át halmozta fel. Töréskor a teljes felvett mennyiség 31%-a a szemben, 69%-a a szártermésben jelentkezett. A PK-feltöltő és a fenntartó adagú K-műtrágyázás a Mg-felvételeiben általában nem eredményezett igazolható többleteket, a teljes érés kivételével.

A mikroelemek közül a vas felvételét szintén a 2. táblázatban mutatjuk be. A felvétel — menetét tekintve — a vegetatív fejlődési periódus alatt lassúnak mondható, és a generatív szakasz az, amikor a növény a teljes felhalmozás több mint 60%-át akkumulálta. A teljes felvétel döntő része, több mint 9/10-e a szártermésben jelentkezett, és csupán elenyésző részét találtuk a szemtermésben. A PK-feltöltés utóhatása, valamint a fenntartó K-műtrágyázás változatos képet mutat: enyhe növekedést, egy-egy időpontban és kezelésben szignifikáns növekedést is, azonban következetes hatásról nem beszélhetünk egyetlen fenofázisban sem. A Mn-felvétel (2. táblázat) a vegetációs időszak végéig tartott. A felhalmozás intenzív szakaszát a 10—12 leveles kor és a virágzás fenofázisai között figyeltük meg; ez alatt a teljes felvett mennyiség 45%-át halmozta fel a növény. A virágzás után az akkumuláció közel egyenletes ütemmel a teljes érés időpontjáig tartott. Az összes felvett Mn-mennyiség döntő része (87%) a szárban, kisebb része a szemtermésben halmozódott fel a kísérlet átlagában. A feltöltő PK- és a fenntartó K-műtrágyázás csaknem minden fenofázisban biztosított igazolható felvétel-növekedést a kontrollhoz viszonyítva.

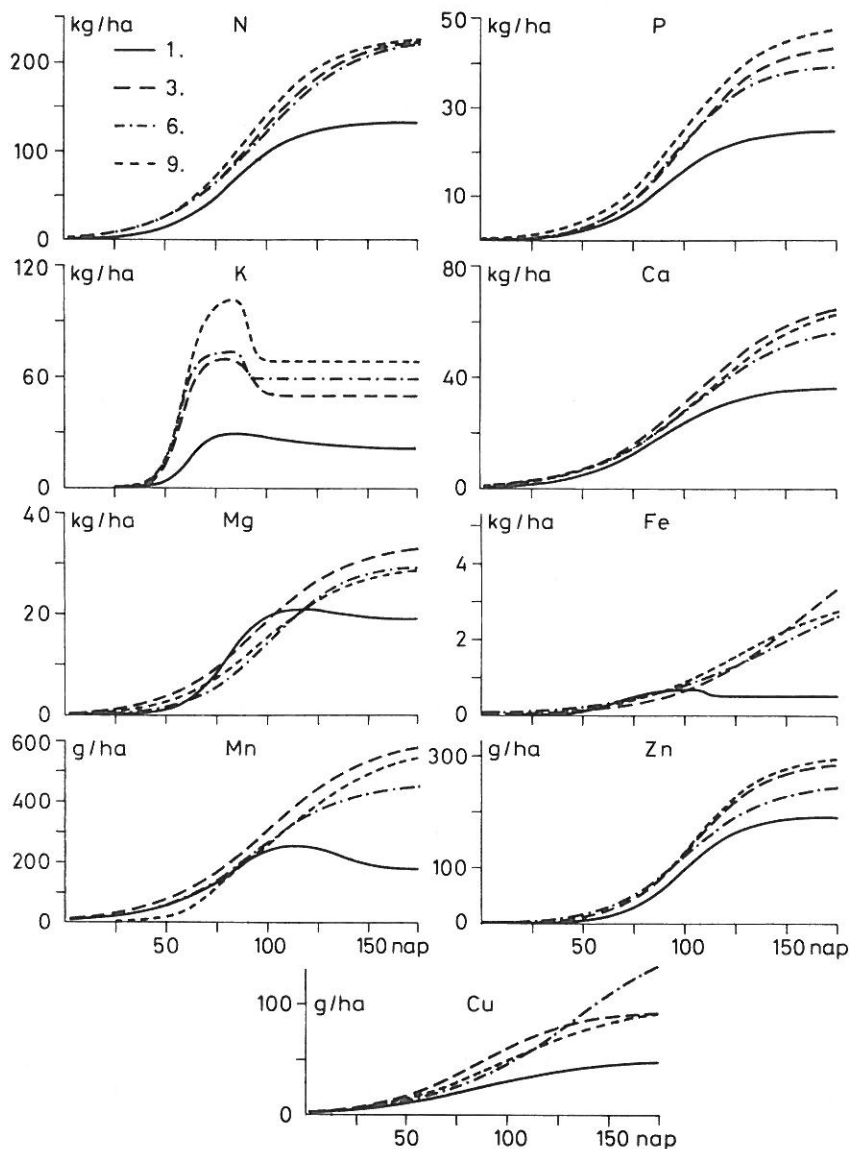
A cinknek, a kukorica egyik fontos tápelemének felhalmozása (2. táblázat) a tenyészidő végéig tartott. Menetét tekintve a leginkább igazodott a száraz anyag és a N felhalmozódásához. A 10—12 leveles kor és a virágzás, illetve a virágzás és a teljes érés fenofázisai között a betakarításkori teljes felvétel 30—30%-át vette fel a kukorica, a

3. táblázat

A kukorica fajlagos tápanyagtartalmának alakulása a trágyázás hatására
(1 t szem és a hozzátartozó melléktermék tápanyagtartalma) (Örbottyán, 1978.)

(1) Kezelés sorszám	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	kg/ha							g/ha			
1.	28,2	5,2	11,9	5,2	6,2	7,8	4,6	130	43	41	10
2.	28,8	5,9	13,5	7,1	8,5	9,6	5,3	430	79	35	7
3.	28,3	5,8	13,3	7,2	8,6	8,6	4,3	420	77	38	12
4.	27,5	5,4	12,4	8,4	10,1	8,5	4,8	370	72	34	14
5.	27,8	4,9	11,2	7,2	8,6	7,5	4,2	330	59	33	15
6.	29,5	5,4	12,4	9,3	11,2	7,8	4,1	360	68	34	18
7.	30,1	6,3	14,4	9,2	11,0	7,7	4,4	260	61	32	16
8.	29,5	6,1	14,0	9,5	11,4	8,2	4,3	260	62	32	14
9.	30,5	6,8	15,6	10,9	13,1	9,2	4,0	410	80	42	12
a) Átlag	28,9	5,8	13,3	8,2	9,8	8,3	4,4	330	67	36	13

fennmaradó további rész felvétele a teljes érésig tartott. A végtermékben való megoszlást elemezve, a többi mikroelemtől eltérően itt a szemtermésben találtuk a nagyobb részt (66%) és a további 34%-ot a szártermésben. A tápláltsági viszonyok befolyását tekintve a PK-feltöltő műtrágyázás a szárazanyag-növekedés ellenére nem következetesen, nem minden fenofázisban biztosított felvétel-növekedést.



1. ábra

A műtrágyázás hatása a kukoricánövény (NK.PX-MSc. 20. hibrid) tápelemfelvételére (Órbottyán, 1978)

A modell paraméterei

(1) Kezelés sorszama	N	P	K	Ca	Mg	Fe
	A_i					
1.	131,8	24,68	31,11	36,74	22,60	71,33
2.	223,6	43,88	60,28	74,70	41,37	512,44
3.	227,0	43,96	70,23	69,03	34,28	537,24
4.	211,6	39,47	64,09	63,93	36,75	310,77
5.	217,6	36,63	70,93	59,13	32,79	307,00
6.	227,5	39,52	73,44	59,80	30,23	399,43
7.	224,3	47,79	78,32	58,56	34,81	267,11
8.	238,6	46,25	97,14	59,68	32,96	235,60
9.	227,6	48,41	102,74	68,36	30,04	329,26
	h_i					
1.	0,064	0,059	0,177	0,050	0,099	0,118
2.	0,051	0,053	0,288	0,040	0,043	0,032
3.	0,046	0,052	0,204	0,039	0,046	0,033
4.	0,050	0,058	0,042	0,039	0,042	0,034
5.	0,055	0,070	0,235	0,044	0,050	0,029
6.	0,043	0,055	0,230	0,039	0,055	0,027
7.	0,055	0,048	0,321	0,047	0,043	0,027
8.	0,045	0,046	0,220	0,045	0,047	0,026
9.	0,050	0,048	0,181	0,037	0,047	0,036
	t_g					
1.	84	91	62	89	80	67
2.	94	101	59	106	103	157
3.	95	102	58	107	96	159
4.	92	97	75	106	100	125
5.	91	90	59	101	94	128
6.	97	97	57	104	102	150
7.	88	104	58	103	102	137
8.	97	98	60	105	98	125
9.	91	100	60	111	99	127

A kukoricanövény részfelvétele (2. táblázat) szintén a vegetáció végéig tartott, a virágzás és a tejes érés fázisai között enyhe stagnálás mellett. A felhalmozás üteme ez esetben is a gyors növekedés, a 10—12 leveles kor és a virágzás fenofázisai között volt a legintenzívebb, amikor a növény a teljes felvételnek csaknem a felét akkumulálta. A betakarításkori teljes felvett tömeg 3/4-e — a vizsgált mikroelemek többségéhez hasonlóan — a szártermésben jelentkezett, és a kisebb hányad a szemtermésben. A kisebb adagú feltöltő PK-műtrágyázás valamennyi vizsgált fenofázisban igazolható felvétel-növekedést eredményezett. A nagyobb adagú PK-feltöltés nem növelte tovább a Cu felvételét, és csak ritkán érte el a fenntartó K-műtrágyázással egyetemben a szignifikáns különbséget a NP-kontrollhoz viszonyítva.

táblázat

(Órbottyán, 1979)

Mn	Zn	Cu	K	Mg	Fe	Mn
R_i						
27,26	19,17	4,91	9,65	3,66	17,87	9,60
63,28	26,21	5,78	14,85	—	—	—
61,68	29,10	9,26	20,92	—	—	—
55,12	24,85	10,88	—	—	—	—
52,34	24,90	11,78	24,88	—	—	—
46,82	25,01	17,25	14,62	—	—	—
48,39	25,36	9,17	20,10	—	—	—
47,18	23,45	10,32	38,66	—	—	—
58,74	30,09	9,63	34,17	—	—	—
S_i						
0,097	0,070	0,036	0,070	0,093	0,541	0,103
0,044	0,074	0,111	0,397	—	—	—
0,040	0,056	0,042	0,338	—	—	—
0,043	0,057	0,038	—	—	—	—
0,046	0,054	0,047	0,568	—	—	—
0,045	0,050	0,030	1,000	—	—	—
0,048	0,044	0,034	0,547	—	—	—
0,045	0,059	0,035	0,480	—	—	—
0,040	0,055	0,035	0,537	—	—	—
t_s						
78	100	89	109	131	111	136
99	101	71	90	—	—	—
100	105	87	93	—	—	—
100	96	98	—	—	—	—
96	99	94	92	—	—	—
94	102	135	90	—	—	—
92	105	105	90	—	—	—
94	97	108	92	—	—	—
106	105	101	92	—	—	—

A 3. táblázatban összefoglaltuk a kukorica fajlagos tápelemtartalmára vonatkozó adatokat. Ezek az adatok a tápanyagmérleg-számításoknál, a tervezett termés tápelemszükségletének becslésénél iránymutatóul szolgálhatnak. A kísérletben a fajlagos tápelemtartalom módosulása a PK-műtrágyázás függvényében elsősorban a P és a K, másodsorban a mikroelemek vonatkozásában mutatkozott be. A fajlagos foszfor mintegy 20%-kal, a kálium 40—50%-kal növekedett, egyes mikroelemeknél a növekedés relatíve nagyobb: réznél 40—60, mangánál 70—80, vasnál 80—100%-ot tett ki. Azonban abszolút értékben ezek tömege jelentősen kisebb, mint a relatíve kisebb növekedés a makroelemek (PK) fajlagos tápelemtartalmában. A többi (N, Ca, Mg, Zn) fajlagos tápelemtartalom minimálisan, illetve gyakorlatilag nem változott a

PK-műtrágyázás alkalmazásakor. A kísérletben kapott fajlagos tápelemtartalmak alapján 1 t szemtermés és a hozzátartozó melléktermék létrehozásához a növény 27—30 kg N-t, 5—7 kg P-t (10—15 kg P_2O_5), 5—10 kg K-ot (6—12 kg K_2O), 7—9 kg Ca-ot, 4—5 kg Mg-ot, 0,1—0,4 kg vasat, 40—80 g mangánt, 30—40 g cinket és 10—20 g rezet vett fel, ill. vont ki hektáronként.

A tápelemfelvétel dinamikájának leírásához a BICZÓK és munkatársai által kidolgozott [1, 2, 3] egyszerű kettős szubkompartment modellt alkalmaztuk. Az egyes elemek felvételi görbéit a kiválasztott kezelésekben az 1. ábrán mutatjuk be. A modell paramétereit, szintén elemenként, a 4. táblázatban ismertetjük. (A_i : telítési érték, a maximális felhalmozás értéke; R_i : a teljes leépülés, ill. reflux (a talajfelszínre vagy a

talajba visszajutó mennyiség); b_i : a felvétel gyorsulása, ill. rokon mennyiség a tápelem puffercapacitással; t_g : a felhalmozás inflexiós pontja; s_i : a szeneszencia (öregedés) által indukált veszteség gyorsulásának, ill. tompításának mértéke; t_s : a reflux inflexiós pontja.) A görbék valamennyi vizsgált tápelemnél jól jelzik a leépülést, ill. a leépülésmentes dinamikát, a rohamos gyarapodást és a tápelemvesztést a káliumnál. A műtrágyázás hatását jól tükrözik a görbék, melyek egyrészt a mennyiségi eltéréseket, másrészt a dinamikai eltolódásokat is jelzik az egyes kezeléseknél. A modell segítségével számított és a ténylegesen mért felvételi adatokat összevetettük; az összefüggés-vizsgálat eredményeit az 5. táblázatban mutatjuk be. Látható, hogy az összefüggés minden esetben igen szoros volt.

5. táblázat

A mért és modell alapján számított tápelemfelvétel összefüggés-vizsgálatának paraméterei

(1) Tápelem	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
N	—5,590	0,973	0,988***
P	—0,555	0,987	0,997***
K	0,455	0,991	0,993***
Ca	—1,812	1,016	0,988***
Mg	—0,738	0,988	0,992***
Fe	6,539	0,999	0,988***
Mn	—11,170	0,981	0,984***
Zn	—4,252	0,994	0,997***
Cu	—3,724	1,026	0,959***

***0,1% szinten szignifikáns

a: regressziós állandó;

b: regressziós koeficiens;

r: korrelációs koeficiens.

Összefoglalás

Szabadföldi trágyázási kísérletben csernozjom jellegű karbonátos homoktalajon vizsgáltuk a martonvásári rövid tenyészidejű, a köztermesztésben használatos NK.PX-MSc. 20. hibrid kukorica N-, P-, K-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- és Cu-felvételét a tenyészidő folyamán. A felvétel dinamikáját egy egyszerű biomatematikai modell segítségével leírtuk, és vizsgáltuk a fajlagos tápelemtartalmak alakulását a PK-műtrágyázás függvényében. Az elvégzett vizsgálatok és a kapott eredmények alapján a következő fontosabb megállapításokat tehetjük.

— A kukorica N-, P-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- és Cu-felvétele a tenyészidő végéig tartott, és a maximumot a teljes érés szakaszában, betakarításkor mértük.

— A kukorica K-felvétele a vegetatív növekedéssel párhuzamosan befejeződött, és a generatív szakaszban mintegy 20%-os veszteség következett be.

— A kukorica tápelemfelvételében a felhalmozás intenzív szakasza a makroelemeknél a virágzás fenofázisát megelőzi, a mikroelemeknél azt követi.

— A makroelem-felvétel a fejlődés korai szakaszában meghaladta a mikroelem-felvételt; az utóbbi sokkal egyenletesebb volt a tenyészidő folyamán.

— A kukorica tápelemfelvételi dinamikáját — a kálium kivételével — a leépülésmentes típus jellemzi, míg a kálium esetében leépüléssel jelleget tapasztaltunk.

— A feltöltő PK utóhatása, valamint a fenntartó adagú K-műtrágyázás a vizsgált elemek többségénél a felvételt növelte, de jellegét — a Mg, Fe és Mn kivételével — kevésbé változtatta meg.

— A modell révén számított és a ténylegesen mért tápelemfelvételek valamennyi elem esetében igen szoros összefüggést mutattak.

— A fajlagos tápelemtartalmakban a PK-műtrágyázás a P, K, Fe, Mn és Cu esetében 20—100%-os növekedést eredményezett, a többi (N, Ca, Mg és Zn) viszont gyakorlatilag nem befolyásolta.

— Kísérleti adataink szerint 10 t szem + a hozzátartozó melléktermés eléréséhez 270—300 kg N, 50—70 kg P (100—150 kg P_2O_5), 50—100 kg K (60—120 kg K_2O), 70—90 kg Ca, 40—50 kg Mg, 1—4 kg Fe, 400—800 g Mn, 300—400 g Zn, 100—200 g Cu hektáronkénti tápelemkivonással számolhatunk.

Irodalom

- [1] BICZÓK GY., BÉKÉSSY A. & RUDA M.: Szántóföldi növények tápelemfelvételi dinamikájának modellezése. In: Számítástechnikai és kibernetikai módszerek alkalmazása az orvostudományban és biológiában. (Szerk.: GYÓRI I et al.) 127—131. Neumann Számítástud. Társ. XI. Kollokviuma. Szeged. 1982.
- [2] BICZÓK GY., RUDA M. & TOLNER L.: Szántóföldi növények tápanyagfelvételi dinamikájának modellezésére szolgáló nem-lineáris regressziós programrendszer. MÉM NAK — MTA SzTAKI Kiadvány. Budapest. 1981.
- [3] BICZÓK, GY. et al.: Analysis of agroecological systems and modelling their nutrient cycles. System Science VIII. Conference, Wroclaw. MTA SzTAKI Working paper IV/27. 1—23. 1983.
- [4] DEBRECZENI B-NÉ: Víz- és tápanyagellátás hatása a kukorica transzspirációjára és tápanyagfelvételére. Öntözéses Gazdálkodás. **2.** 129—148. 1965.
- [5] DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B-NÉ: Tápanyag- és vízellátás kapcsolata. 60—72. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1983.
- [6] FERENCZ V.: A kukoricánövény tápanyag-gazdálkodásának tanulmányozása. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1953—1957. (Szerk.: I'So I.) 59—78. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1958.
- [7] HANWAY, J. J.: Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P, K and their distribution in different plant parts during the growing season. Agron. J. **54.** 217—222. 1962.
- [8] LATKOVICS GY-NÉ: A kukorica trágyázása és tápanyagfelvétele. MTA Agrártud. Oszt. Közlem. **22.** 423—429. 1963.
- [9] LÁSZTITY, B. & BICZÓK, GY.: Modelling on the kinetics of dry matter and nutrients accumulation in winter barley. Agrochimica. **XXVII.** 514—520. 1983.

- [10] LÁSZTITY B., BICZÓK GY. & ELEK, É.: A műtrágyázás hatásának tanulmányozása a kukorica fejlődésére és tápanyagforgalmára. I. Szárazanyag-felhalmozás, tápelemtartalom és -arányok. *Agrokémia és Talajtan*. **34**. 137—160. 1985.
- [11] LOUÉ, A.: Maize nutrition. Cation requirements and potash demand. *World Crops*. **15**. 373—379. 1963.
- [12] NAMBIAR, E. K. S. & COTTENIE, A.: Influence of soil moisture status on the microelement uptake by maize and bean. *Agrochimica*. **XV**. 259—268. 1971.

Érkezett: 1984. november 30.

The Growth and Nutrient Turnover of Maize as Affected by Fertilizer Application

II. Nutrient Uptake

B. LÁSZTITY, GY. BICZÓK, É. ELEK and M. RUDA

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Ecological and Botanical Research Institute of the HAS, Vácraátót, Plant Protection and Agrochemistry Center of the Ministry of Agriculture and Food, Budapest and Computer and Automation Institute of the HAS, Budapest

Summary

Within the framework of a fertilization field experiment conducted on a chernozem-like sandy soil, the N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, and Cu uptakes by a maize hybrid (NK.PX-MSc. 20.) of short vegetative period were studied. The dynamics of uptake was described by a simple bio-mathematical model and the changes in the specific nutrient contents were determined as a function of PK application. The findings of the study are summarized below.

— N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, and Cu uptakes by maize continued throughout the vegetative period, and the maximum was measured at full ripening, at harvest.

— K uptake by maize stopped simultaneously with vegetative growth, and a 20% decrease in K occurred in the generative growth stage.

— The intensive phase of macro-element accumulation by maize precedes the phenological period of flowering, while that of micro-element accumulation follows it.

— During early growth the uptake of macro-elements surpassed that of micro-elements; the latter was far more even during the growing season.

— The dynamics of nutrient uptake (with the exception of K) by maize is of the reflux-free type, while in the case of K it is characterized by reflux.

— The residual effect of storage dressings of PK, as well as normal K application increased the uptake of most elements studied, but — with the exception of Mg, Fe, and Mn — hardly affected its tendency.

— A close relationship was found between the actually measured uptake data and the values calculated on the basis of the model.

— PK dressings increased the specific P, K, Fe, Mn, and Cu contents by 20 to 100%, but they did not noticeably affect the others (N, Ca, Mg, and Zn).

— The experimental results indicate that for the production of 10 metric tons of grain plus its by-products the maize plants required 270—300 kg N, 50—70 kg P (100—150 kg P₂O₅), 50—100 kg (60—120 kg K₂O), 70—90 kg Ca, 40—50 kg Mg, 1—4 kg Fe, 400—800 g Mn, 300—400 g Zn, and 100—200 g Cu/ha.

Table 1. Rates of N, P, K applied in the experiment (Örbottyán, 1975—1978). (1) No. of treatment. (2) Total amount applied between 1975—1978. P_2O_5 : superphosphate (18%); K_2O : potassium chloride (40%); N: calcium ammonium nitrate (28%), half of the dose was applied in the autumn, the other half in the spring, except in 1978, when the whole dose was applied in the spring.

Table 2. Changes in the nutrient uptake by maize during the growing season (maize hybrid NK.PX-MSc. 20., Örbottyán, 1978). (1) No. of treatment. a) L.S.D. 0.05; b) average. (2) 4—6-leaf stage. (3) 10—12-leaf stage. (4) Flowering. (5) Milk ripening. (6) At the snapping of maize. (7) Grain. (8) Stalk. (9) Total.

Table 3. The specific nutrient content of maize (i.e. the nutrient content of 1 metric ton of grain plus its by-products) as affected by the treatments. (1) No. of treatment. a) average.

Table 4. Parameters of the model. (1) No. of treatment. A_i : value of maximum accumulation; R_i : total reflux (the amount getting onto the soil surface and into the soil); b_i : acceleration of uptake (in other words the amount corresponding to nutrient buffer capacity); s_i : rate of acceleration or deceleration of loss induced by senescence; t_g : inflexion point of accumulation; t_r : inflexion point of reflux.

Table 5. Parameters of the correlation between the measured data of nutrient uptake and the values calculated on the basis of the model. (1) Nutrient. a : regression constant; b : regression coefficient; r : correlation coefficient. *** Significant at the 0.1% level.

Fig. 1. Nutrient uptake by maize plants (hybrid NK.PX-MSc. 20.) as affected by the various treatments (Örbottyán, 1978). For treatments see Table 1. Horizontal axis: number of days.

Wirkung der Mineraldüngung auf die Entwicklung und den Nährstoffumsatz des Maises

II. Nährstoffaufnahme

B. LÁSZTITY, GY. BICZÓK, É. ELEK und M. RUDA

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest; Forschungsinstitut für Botanik und Ökologie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Vácraót; Zentrale für Pflanzenschutz und Agrochemie des Ministeriums für Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, Budapest; Forschungsinstitut für Rechentechnik und Automatisierung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

Zusammenfassung

Es wurde in einem Feldversuch auf einem tschernosemartigen, karbonathaltigen Sandboden die Aufnahme von N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn und Cu durch die in Ungarn im allgemeinen angebaute Maishybride NK.PX-MSc. 20. von kurzer Vegetationsdauer im Laufe der Vegetationsperiode untersucht. Die Dynamik der Nährstoffaufnahme wurde mittels eines einfachen biomathematischen Modells beschrieben, auch wurde die Gestaltung des spezifischen Nährstoffgehalts in der Funktion der PK-Mineraldüngung untersucht. Aufgrund der Untersuchungen und Resultate können wir folgende wichtigere Feststellungen machen.

— Die N-, P-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- und Cu-Aufnahme hielt bei den Maispflanzen bis zum Ende der Vegetationsperiode an und erreichte ihr Maximum in der Phase der Vollreife, bis zu der Ernte.

— Die K-Aufnahme hörte zusammen mit dem vegetativen Wachstum der Pflanzen auf. Im generativen Stadium erfolgte ein Verlust von cca 20%.

— Die intensive Nährstoffspeicherung erfolgt im Falle von Mais bei den Makronährstoffen vor der Blüte und bei den Mikronährstoffen nach der Blüte.

— Im frühen Stadium der Pflanzenentwicklung übertraf die Aufnahme von Makroelementen diejenige von Mikroelementen. Letztere war im Laufe der Vegetationsperiode viel ausgeglichener.

— Die Dynamik der Nährstoffaufnahme beim Mais war — mit Ausnahme des Kaliums — nicht von einem Elementenabbau gekennzeichnet.

— Die Nachwirkung der PK-Vorratsdüngung, sowie die Wirkung der K-Erhaltungsdüngung haben bei der Mehrzahl der untersuchten Elemente die Aufnahme erhöht, aber ihren Ablauf — mit Ausnahme des Mg, Fe und Mn — nur wenig geändert.

— Zwischen den mittels dem Modell berechneten und den tatsächlich gemessenen Nährstoffaufnahmedaten konnte bei allen Elementen ein sehr enger Zusammenhang nachgewiesen werden.

— Die PK-Düngung hat in den spezifischen Nährstoffgehalten von P, K, Fe, Mn und Cu eine Zunahme von 20—100% verursacht, die Aufnahme der übrigen Elemente (N, Ca, Mg und Zn) aber praktisch nicht beeinflusst.

— Um 10 t Körner und die dazugehörigen Nebenprodukte zu erhalten kann man aufgrund unserer Versuchsergebnisse sagen, dass mit einem Nährstoffentzug von 270—300 kg N, 50—70 kg P (= 100—150 kg P_2O_5), 50—100 kg K (= 60—120 kg K_2O), 70—90 kg Ca, 40—50 kg Mg, 1—4 kg Fe, 400—800 g Mn, 300—400 g Zn und 100—200 g Cu pro Hektar gerechnet werden soll.

Tabl. 1. Varianten des Düngungsversuches (Örbottyán, 1975—1978). (1) Bezeichnung der Variante. (2) Von 1975—1978. P_2O_5 : Superphosphat (18% P_2O_5); K_2O : Kalisalz (40% K_2O); N: Kalkammonsalpeter (28% N), die Hälfte im Herbst, die andere Hälfte im Frühjahr, bzw. im Jahre 1978 nur im Frühjahr gegeben.

Tab. 2. Änderungen in der Nährelementenaufnahme des Maises im Laufe der Vegetationsperiode (Maishybride NK.PX-MSc. 20., Örbottyán, 1978). (1) Bezeichnung der Variante. a) $GD_{5\%}$; b) Mittelwert. (2) 4—6 Blätter. (3) 10—12 Blätter. (4) Blüte. (5) Milchreife. (6) Ernte (Brechen); (7) Körner, (8) Stengel, (9) Insgesamt.

Tab. 3. Gestaltung des spezifischen Nährstoffgehaltes beim Mais infolge der Düngerwirkung (Nährstoffgehalt von 1 t Korn und der dazugehörigen Nebenprodukte) (1) Bezeichnung der Variante. a) Mittelwert.

Tab. 4. Parameter des Modells. (1) Bezeichnung der Variante. A_i : Sättigungswert, Wert der maximalen Anhäufung; R_i : vollkommener Abbau bzw. Reflux (auf oder in den Boden zurückgelangende Menge); b_i : Beschleunigung der Aufnahme, ähnlich der Nährstoff-Pufferkapazität; s_i : Ausmass der Beschleunigung bzw. der Verlangsamung des durch die Seneszenz (Altern) induzierten Verlustes; t_g : Inflexionspunkt der Anhäufung; t_r : Inflexionspunkt des Refluxes.

Tab. 5. Parameter des zwischen den gemessenen und den aufgrund des Modells berechneten Nährstoffaufnahmedaten bestehenden Zusammenhanges. (1) Nährelement. a : Regressionskonstante; b : Regressionskoeffizient; r : Korrelationskoeffizient. *** signifikant bei $P = 0,1\%$.

Abb. 1. Einfluss der Düngungsvarianten auf die Nährstoffaufnahme von Maispflanzen der Hybride NK.PX-MSc. 20. (Örbottyán, 1978). Düngungsvarianten: s. Tab. 1. Ordinate: Anzahl der Tage.

Влияние минеральных удобрений на развитие кукурузы и динамику питательных веществ

II. Усвоение питательных элементов

Б. ЛАСТИТЬ, Д. БИЦОК, Е. ЭЛЕК и М. РУДА

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии ВАН, Будапешт; Институт экологии и ботаники ВАН, Вацратот; Центр защиты растений и агрохимии МСХ и ПП, Будапешт; Институт вычислительной техники и автоматизации, ВАН, Будапешт

Резюме

В полевом опыте по внесению минеральных удобрений на черноземовидной карбонатной песчаной почве изучили усвоение N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn и Cu в продолжении вегетационного периода гибридной кукурузой НК. РХ-МSc. 20. с коротким периодом вегетации, широко применяемой в практике производства. Динамику усвоения питательных веществ описали с помощью простой биоматематической модели и установили формирование удельного содержания питательных веществ в зависимости от внесения РК-минеральных удобрений. На основе результатов исследований сделали следующие выводы:

- усвоение N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu кукурузой продолжалось до конца вегетации, максимум наблюдали в стадии полной спелости, во время уборки;
- усвоение калия кукурузой закончилось при окончании вегетативного развития, в генеративной стадии наблюдалась 20%-я потеря;
- в усвоении кукурузой питательных элементов стадии интенсивного накопления макроэлементов отмечались перед фенофазой цветения, накопления микроэлементов после неё;
- усвоение макроэлементов в ранней стадии развития превосходило усвоение микроэлементов, последнее в течение вегетации было более выровненным;
- динамика усвоения питательных элементов кукурузой — за исключением калия — не носит характер отдачи, в случае калия наблюдается обратное явление;
- последствие мелиоративных доз РК, а также дозы калия, поддерживающие определенный уровень, повысили усвоение большинства изученных элементов, в то же время — за исключением Mg, Fe и Mn-а — незначительно изменили его характер;
- для всех элементов усвоение непосредственно измеренное и рассчитанное с помощью модели показало весьма прочную зависимость;
- внесение РК-минеральных удобрений на 20—100% увеличило удельное содержание P, K, Fe, Mn, и Cu, и практически не изменило удельное содержание прочих (N, Ca, Mg и Zn) элементов;

— результаты опыта показали, что при получении 10 тонн зерна и относящихся к ним побочных продуктов надо считаться с выносом 270—300 кг азота, 50—70 кг фосфора (100—150 кг P_2O_5), 50—100 кг калия (60—120 кг K_2O), 70—90 кг Ca, 40—50 кг магния, 1—4 кг железа, 400—800 г марганца, 300—400 г цинка, 100—200 г меди на один гектар.

Табл. 1. Варианты опыта (Эрботтян, 1975—1978). (1) Номер варианта. (2) Между 1975 и 1978 гг: P_2O_5 : суперфосфат (18%); K_2O : калийная соль (40%); азот: петская соль (28%), половина осенью, половина весной, в 1978 году только весной.

Табл. 2. Изменение усвоения питательных элементов кукурузой за период вегетации (сорт НК. РХ-МSc. 20. Эрботтян, 1978). (1) Номер варианта, а) СНР б) Среднее. (2) 4—6 листьев. (3) 10—12 листьев. (4) Цветение. (5) Полная спелость. (6) При уборке: (7) зерно, (8) стебель, (9) всего.

Табл. 3. Формирование удельного содержания питательных элементов в кукурузе под влиянием внесения минеральных удобрений (содержание питательных элементов в 1 тонне зерна и относящихся к нему побочных продуктах). (Эрботтян, 1978). (1) Номер варианта. а) Среднее.

Табл. 4. Параметры модели (Эрботтян, 1978). (1) Номер варианта. A_i : показатель насыщения, величина максимального накопления; R_i : полная рефлюксия (количество попадающее обратно на поверхность почвы или в почву); b_i : ускорение процесса усвоения или количество соответствующее буферному объему питательного элемента; s_i : ускорение потерь индуцированное старением или величина глушения; t_g : инфлюксионная точка накопления; t_s : инфлюксионная точка рефлюксии.

Табл. 5. Параметры исследования зависимости между рассчитанным и определенным по модели усвоением питательных веществ. (1) Питательный элемент. а: постоянная регрессии; b: коэффициент регрессии; r: коэффициент корреляции.*** Достоверно на уровне 0,1%.

Рис. 1. Влияние различных вариантов внесения минеральных удобрений на усвоение питательных элементов кукурузой (гибрид НК. РХ-МSc. 20., Эрботтян, 1978). Варианты внесения минеральных удобрений смотри в таблице 1. По горизонтальной оси: число дней.