

Az őszi búza és a kukorica műtrágyázás hatásának vizsgálata tartamkísérletben (1960 – 1967)

II. A kísérleti eredmények értékelése másodfokú polinomokkal

KRÁMER MIHÁLY és LATKOVICS GYÖRGYNÉ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A pesthidegkúti tápanyagszegény barna erdőtalajon beállított tartam-műtrágyázási kísérletünkben — amint arról már beszámoltunk [4] az NPK-trágyázás a kalászosok, valamint a kukorica termését jelentősen növelte. A kontrollparcellák 10 q/ha körüli szemtermése 4–4 év átlagában az NPK-kombinációk hatására mindkét jelzőnövény esetében közel 40 q/ha-ra emelkedett. A kísérletre vonatkozó néhány alapvető adatot az 1. táblázatban foglaljuk össze.

A kísérletben a szemtermések értékelésén kívül a kezelésekből vett szem- és melléktermések átlagmintáinak a tápanyagtartalmát is rendszeresen meghatároztuk. Így lehetőségünk nyílt a termések tápanyagfelvételének és ennek ismeretében az 1 q szemre jutó — fajlagos — tápanyagfelvételnek a megállapítására, valamint a műtrágya hatóanyagok érvényesülésének a kiszámítására is. Ezenkívül talajvizsgálatokat végeztünk a felvehető tápanyagkészlet megállapítására.

A kísérletben kapott adatok rendezésére és értékelésére a másodfokú polinomok modelljét alkalmaztuk és az eredmények ismertetésével a folytonos modell alkalmazásának az előnyeire is rá kívánunk mutatni.

Anyagok és módszerek

a) A növényminták vizsgálata

A termés tápanyagtartalmának a vizsgálatához valamennyi parcella szemterméséből 1 literes átlagmintát vettünk. A melléktermések vizsgálati anyagát parcellánként 200–400 kalászos (4 folyóméteren szedett), illetve 15–25 kukoricatöbblől álló növénymintából nyertük. A mintákat kezelésenként egyesítettük, majd őrleményükből 16 órás 105 °C-on történő szárítás után a nedvességtartalmat, valamint külön bemérésből $H_2SO_4 + H_2O_2$ -es roncsolás után az N-, P_2O_5 - és K_2O tartalmat [11] meghatároztuk.

b) A talajminták vizsgálata

A termésbetakarítás után a nettóparcella területéről véletlenszerűen 20 helyről NDK-botfúróval vett egyes mintákat szobahőmérsékleten megszáritottuk, összekevertük és 2 mm lukbőségű szitán áttörtük. Az ammónium-

1. táblázat

A kísérlet néhány alapvető adata

(1) Hatóanyag kg/ha	(2)	(3)	(4)				(5)		(6)
	Tavaszi árpa	Őszi búza	Kukorica				Őszi búza		Átlag
	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	
N ₁	50	60	60	60	60	60	60	60	59
N ₂	100	100	120	120	120	120	120	120	115
P ₁	50	35	60	60	60	60	30	30	48
P ₂	100	90	120	120	120	120	60	60	99
K	50	50	60	60	60	60	45	45	54
(7) Kezelés	(8) Szemtermés, q/ha								
∅	11,7	13,3	5,6	11,2	7,4	15,5	12,0	14,8	11,4
N ₂ P ₁ K	27,8	32,3	20,1	39,1	35,2	58,3	45,3	38,5	37,1

K és P hatóanyagadagok oxid formában

laktát-ecetsavas kivonatban (AL-oldat) oldható foszfor- és káliumtartalmakat laboratóriumunkban szokásos módszerrel (SARKADI és munkatársai [7]) határoztuk meg.

c) A folytonos matematikai modell alkalmazása

A többtenyezős kísérletek leírása legcélszerűbben hatásgörbékkel, illetve hatásfelületekkel történhet (BOX [2], HEADY és DILLON [3], MÉSZÁROS [5, 6], SARKADI és munkatársai [8], SEN [9]). A hatásfelületekre többféle függvényt lehet illeszteni és statisztikai elemzéssel az illeszkedés szorosságáról meg lehet győződni. Az ilyen illesztésvizsgálat annál hatékonyabb, minél több szinten vannak az egyes hatótényezők a kísérletben jelen. Az N- és P-hatását csupán 3–3 szinten vizsgáló pesthidegkúti tartamkísérletekben az illeszkedés vizsgálatnak nem volt sok értelme. Ezért a legegyszerűbb és trágyázási kísérletek esetében általában megfelelő másodfokú polinomokat alkalmaztuk (BAJAI és munkatársai [1], MÉSZÁROS [5, 6], SPECHT és munkatársai [10]). Ilyenkor egyszerűen differenciálással meghatározható bármelyik műtrágyaadaghoz tartozó hatékonyság, illetve a trágyaadagoknak az a kombinációja, amely a maximális vagy minimális hatást adja.

A pesthidegkúti kísérletben egy adott K-műtrágyaszinten az N- és P-adagokat változtatva a hozamokat az alábbi vegyes másodfokú egyenlettel írhatjuk le:

$$y = b_0 + b_{N,L} \cdot x_N + b_{N,Q} \cdot x_N^2 + b_{P,L} \cdot x_P + b_{P,Q} \cdot x_P^2 + b_{N \times P, L} \cdot x_N \cdot x_P$$

Itt x_N és x_P (a továbbiakban az egyszerűség kedvéért N és P) az N illetve P₂O₅ hatóanyagmennyiségeket (q/ha-ban), az y pedig a szemtermést (q/ha-ban) illetve a felvett N-, P₂O₅- és K₂O-mennyiségét (kg/ha-ban) jelenti.

A b-értékek az ún. regressziós együtthatók, és pedig b_0 a kontrollhoz tartozó y-érték, b_L a lineáris, b_Q a kvadratikus együttható. Mint látható, a hozamokat több összetevőre bontottuk: egy állandó, az N- és P-adagok

2. táblázat

A kísérlet szemterméseredményei q/ha, a hatóanyag-szintek kombinációiban (8 év átlaga)

Szintek	K ₀ -szinten				K-szinten			
	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag
N ₀	11,4	11,8	13,6	12,3	10,3	12,9	11,6	11,6
N ₁	24,4	26,6	28,4	26,4	24,0	28,7	28,3	27,0
N ₂	29,8	34,9	34,3	33,1	31,9	37,1	37,3	35,4
Átlag	21,9	24,4	25,4	23,9	22,1	26,2	25,7	24,7
SzD _{5%} kombinációk között				3,1				
átlagok között				1,8				

szintek	K és K ₀ -szintek átlagában				K és K ₀ -szintek különbsége			
	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag
N ₀	10,9	12,4	12,6	12,0	-1,1	+1,1	-2,0	-0,7
N ₁	24,2	27,6	28,3	26,7	-0,4	+2,1	-0,1	+0,6
N ₂	30,8	36,1	35,8	34,2	+2,1	+2,2	+3,0	+2,3
Átlag	22,0	25,3	25,6	24,3	+0,2	+1,8	+0,3	+0,8
SzD _{5%} kombinációk között				2,2				
átlagok között				1,3				

nagyságától független tagra, egy-egy lineáris, illetve kvadratikus tagra — ezek a műtrágyaadagokkal, illetve azok négyzeteivel arányosak — és végül az N és P kölcsönhatást számbavevő, az N- és P-adagok szorzatával arányos tagra.

Ha elfogadjuk, hogy a hatásfüggvények nemcsak a kísérletekben alkalmazott x-értékekre, hanem az ezek által közrefogott értéktartomány egészére érvényesek — vagyis ha a diszkrét modellről a folyamatos modellre térünk át — akkor a műtrágyahatások természetéről az eddigieknél részletesebb és jellemzőbb információt kaphatunk.

Mindenekelőtt jól jellemezhető a műtrágyaadagok nagysága és hatékonysága közötti összefüggés. A műtrágyák hatékonyságán az egységnyi hatóanyagmennyiségre jutó változás (pl. szemterméstöbblet, tápanyagfelvételtöbblet) nagyságát értjük. Beszélhetünk átlagos, pótlólagos, valamint marginális hatékonyságról. Az átlagos hatékonyságot számítva a vizsgált hatóanyagot tartalmazó és nem tartalmazó kezelésekben kapott termések különbségét elosztjuk az adott hatóanyag mennyiségével. A pótlólagos hatékonyság valamely hatóanyagszinten a trágyaadag növelésével kapható hozamtöbbletre jellemző. A termés és a műtrágya adataihoz illesztett függvényből számított hatékonyság a marginális hatékonyság, amelyet a pótlólagos hatékonyságból származtathatunk az esetben, ha a pótlólagos adagokat minden határon túl sűrítjük. Ha a hatóanyag növekedése végtelen kicsi, úgy a pótlólagos hatékonyság a marginális hatékonyságba megy át. Számításainkban az N₁₀₀P₅₀K₅₀ hatóanyagkombinációt — azaz a jelenlegi állami gazdasági szinthez közelálló adagot — választottuk összehasonlítási alapul. Évenként a hatásfüggvények segítségével kiszámítottuk az NPK-K, NK-K és NPK-NK kezeléskülönbségeket és így az 1 kg hatóanyagra jutó többlethozamokat évenként és növényfajonként összehasonlíthattuk. A választott hatóanyagkombinációra a hatásfüggvények első differenciálhányadosát kiszámítva pedig a marginális hatékonyságokat kaptuk meg.

Másodfokú egyenletekről lévén szó az elsőfokú differenciálhányadosok elsőfokú függvények, vagyis a hatékonyságok a műtrágyaadagokkal lineárisan változnak. Így az N-adagok marginális hatékonysága

$$\frac{dy}{dN} = b_{N,L} + 2b_{N,Q} \cdot N + b_{N \times P,L} \cdot P$$

és a P-adagok marginális hatékonysága

$$\frac{dy}{dP} = b_{P,L} + 2b_{P,Q} \cdot P + b_{N \times P,L} \cdot N$$

Amint ez közismert, ha a differenciálhányadosok értéke zérus, úgy a függvényeknek szélső értéke van, tehát a regressziós együtthatók segítségével a maximális (vagy minimális) hozamokhoz tartozó műtrágyaadagok is kiszámíthatók. Így

$$N_{\max \text{ vagy } \min} = \frac{b_{N,L}}{-2b_{N,Q}} + \frac{b_{N \times P,L}}{-2b_{N,Q}} \cdot P$$

$$P_{\max \text{ vagy } \min} = \frac{b_{P,L}}{-2b_{P,Q}} + \frac{b_{N \times P,L}}{-2b_{P,Q}} \cdot N$$

Természetesen az így kiszámított értékek az alkalmazott modell szoros illeszkedése esetében is csak akkor fogadhatók el reálisnak, ha a vizsgált értékhatárok közé, azaz a hatásfüggvény értelmezési tartományába esnek.

A kísérleti eredmények

A másodfokú polinomok modelljének illesztésével számított regressziós együtthatókat évenkénti részletezésben és a 8 év átlagára a 8. táblázatban foglaltuk össze. Az alábbiakban a mért változókat (szemtermés és tápanyagfelvétel) először a 8 év átlagában elemezzük, majd rátérünk az egyes években az átlaghoz viszonyított eltérések megbeszélésére.

a) Szemtermések

A 2. táblázatban a K_0 és K szinten az egyes N és P kombinációkban kapott szemtermések évi átlagait, míg a 3. táblázatban a 8 év összesített szemterméseredményei alapján végzett varianciaanalízist közöljük. A szemtermésre az N- és P-műtrágyázás is szignifikánsan hatott. A lineáris és kvadrátikus hatás egyaránt igazolható volt. A K-műtrágyának csak a lineáris N hatással mutatott kölcsönhatása volt 5%-os valószínűségi szinten szignifikáns.

A másodfokú polinom illesztésével kapott regressziós együtthatókat és ezek konfidencia intervallumát ($\pm ts$) a 4. táblázat tartalmazza. A varianciaanalízissel összhangban a K és K_0 szint közötti különbségek nem mutathatók ki statisztikailag megbízhatóan. Tekintetbe véve, hogy a K jelenlétében mégis nagyobbak a nagyadagú N hatásai, nem érdektelen a K-műtrágyázásnak az

3. táblázat
A kísérlet varianciatáblázata
Szemtermés q/ha (8 év összegére)

Tényező	FG	MQ	F
Összes	71		
Ismétlés	3		
Kezelés	17	24 279	79***
N	2	197 129	643***
N _L	1	380 582	1241***
N _Q	1	13 675	45***
P	2	6 255	20***
P _L	1	10 005	33***
P _Q	1	2 507	8**
K	1	663	2
N×P	4	549	2+
N _L ×P _L	1	1 366	4*
Eltérés	3	276	1
K×N	2	940	3+
K×N _L	1	1 856	6*
K×N _Q	1	24	0
K×P	2	306	1
K×P _L	1	3	0
K×P _Q	1	608	2
K×N×P	4	157	1
K×N _L ×N _Q	1	119	0
K×Eltérés	3	169	1
Hiba	51	307	
CV = 8,6%			
SzD _{5%} = 24,9			
R _L ² = 0,96 R _Q ² = 0,998			

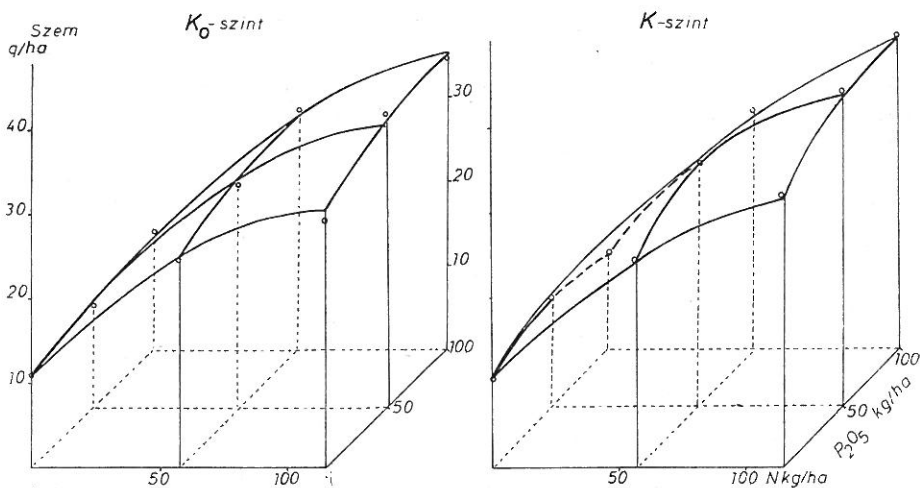
A szignifikancia valószínűségi szintje: +P = 10%; *P = 5%; **P = 1%; ***P = 0,1%

N- és P-műtrágyázás hatékonyságát befolyásoló tendenciáját az 1. és 2. ábrán a hatásfelületeket illetve ezek szintvonalait — az izokvantokat — a K₀ és K szintre külön-külön ábrázolni.

Amint ez az izokvantokon, amelyek tudvalevőleg egy adott termés-hozam eléréséhez szükséges N- és P-adagokat kötik össze, látható, valamely termés-hozam biztosítására több műtrágyakombináció is alkalmazható. A nagyobb termés-szinteken, vagyis a hatásfelület felső szakaszain a szintvonalak nagyobb görbülete és egyre kifejezettebb széttolódása a műtrágyák pótlólagos hatékonyságának a csökkenését, ugyanakkor pedig az N mellett, a P- és mindkettő mellett a K-műtrágyázás fokozottabb szükségességét jelzi.

A 3. ábrában az N- illetve a P-műtrágyázás pótlólagos hatékonyságának a változását mutatjuk be az adagok függvényében. Másodfokú hatásfüggvényt választva — mint már erre rámutattunk — ez természetesen egyenes lefutású. Az egyenes iránytangense — $2b_Q$ és ha $b_Q < 0$, az adag növelésével a pótlólagos hatékonyság egyre csökken, míg a $b_L / -2b_Q$ értéknél zérussá válik. Ez, amint erről már szó volt, a függvény szélső értékének felel meg. A kölcsönhatást a $b_{N \times P, L} / -2b_{N, Q} \cdot P$ illetve a $b_{N \times P, L} / -2b_{P, Q} \cdot N$ taggal vesszük számba, amint ezt a 3. ábra szemlélteti.

Amint erre már más szerzők (pl. SPECHT és munkatársai [10]) rámutattak, a hatékonyságok és az ezek alapján számítható szélső értékek jól jellemzik a műtrágyáknak és kombinációiknak adott helyen, évben és növénynél megmutató termésmenővelő hatását. Így évről-évre azonos kezelésekkel, illetve eltérő műtrágyaadagokkal beállított kísérletekben is mód van a műtrágyahatásokban tapasztalható különbözőségek számszerű kifejezésére és egybevetésére, melyet a 4. ábrán jól megfigyelhetünk. Az N-műtrágyaadagok 100 kg N/ha-n felüli növelése az adott viszonyok között, amint ezt a marginális hatékonyságok és a maximumok értékei mutatják, indokoltnak tekinthető. A kukoricánál, — eltekintve az 1962. aszályos évet — az N-műtrágyázás minden évben hatásosnak bizonyult, míg a P-műtrágyázás hatása 1965-t kivéve jelentéktelen volt. A 8. táblázatban a kalászosokra vonatkozó regressziós együtthatók arra mutatnak, hogy az önmagában alkalmazott P-műtrágya átlagos és pótlólagos hatékonyságát az N-műtrágyázás jelentősen növeli és természetesen ugyanakkor a megfelelő P-ellátottság az N-hatásokat is kedvezően befolyásolja. Jól észlelhető a P-hatékonyságok évenkénti alakulásából, hogy a tartamkísérlet előrehaladásával a talaj szántott rétegében a rendszeres P-műtrágyázás következtében a felvehető P-tartalom felhalmozódik, amint ezt az 5. táblázatban is láthatjuk. Ennek tudható, hogy a kísérlet utolsó két évében a maximális szemterméshez kisebb P-műtrágya adagokra van szükség. A kísérlet első évében — 1960-ban — 90 kg, míg a kísérlet utolsó évében — 1967-ben — 50 kg P_2O_5 /ha adta a maximumot. Az 5. táblázatból az is látható, hogy a K_0 és a K-szint között a talajminták AL-oldható K_2O -tartalmában következetes, bár csekély különbség mutatható ki. Ez összevág a K-műtrágyázásnak az N-hatások linearitása növelésében tapasztalt szerepével. Mivel ez a hatás jelentősen csak a kísérlet utolsó 2 évében jelentkezett, részletes elemzésére nem térünk ki és (ezért adjuk meg a 8. táblázatban a regressziós együtthatókat csak K-szintre).



I. ábra

N- és P_2O_5 hatásfelület (8 év átlaga). o pontok a kezelések mért szemtermés átlagai

b) A földfeletti részekben felvett N-, P₂O₅- és K₂O-mennyiségek

A kísérletben a növények tápanyagfelvétele éppenúgy felfogható a talajba juttatott tápanyagmennyiségek másodfokú függvényeként, mint a szemtermések. Ilyen modell illesztésével kaptuk a 8. táblázatban közölt regressziós együtthatókat. Ezek segítségével bármely függvény értelmezési tartományán belüli N- és P-műtrágyakombinációra a felvett tápanyagok

4. táblázat

Regressziós együtthatók a szemtermésekre (q/ha/év)

Együtthatók	K ₀	K	Átlag	K - K ₀
b ₀	11,0	10,3	10,6	- 0,7
b _{NL}	30,0	30,6	30,3	0,6
b _{N,Q}	- 11,5	- 10,6	- 11,0	0,9
b _{P,L}	5,4	10,6	8,0	5,3
b _{P,Q}	- 3,3	- 9,7	- 6,5	- 6,4
b _{NxP,L}	2,5	4,6	3,6	2,1
ts értékek				
b _{N,L-re}	6,0		5,0	7,1
b _{N,Q-ra}	4,7		4,0	5,6
b _{P,L-re}	7,0		5,0	8,3
b _{P,Q-re}	6,5		5,4	7,7
b _{NxP,L-re}	3,9		3,3	4,6

Y = szemtermés (q/ha/év)

$$Y = b_0 + b_{N,L}N + b_{N,Q}N^2 + b_{P,L}P + b_{P,Q}P^2 + b_{N \times P,L}NP$$

N ill. P a műtrágyaadagok N ill. P₂O₅ hatóanyag q/ha-ban

mennyisége kiszámítható. A terméssel kivont tápanyagmennyiség alapján számításokat végezhetünk a műtrágyák érvényesülésére vonatkozóan. Az egységnyi hatóanyagra jutó szemterméstöbblet analógiájára az egységnyi hatóanyagra jutó tápanyagfelvételtöbblet is lehet átlagos és marginális. Az átlagos hatékonyságnak az agrokémiában szokásos elnevezéssel a műtrágyák kezeléskülönbségek módszerével számított %-os érvényesülése, a pótlólagos illetve marginális hatékonyságnak pedig egy adott szinten a további hatóanyagadagok %-os érvényesülése felel meg.

Az 5. ábrában látható, hogy a hatásfüggvényekből számított értékek alapján az N₁₀₀P₅₀K₅₄ kezelésben a N-műtrágyában foglalt N a PK-hoz viszonyítva a 8 év átlagában közel 50%-ban érvényesült. Ez a mutató a kalászosok esetében évről-évre 45% körüli volt, míg a kukoricánál ez 23 és 74% között változott. A 6. táblázat adataiból megfigyelhetjük, hogy míg a kalászosoknál a felvett N mintegy 80%-a évről-évre a szemtermésekbe jutott, a kukoricánál évjáratonként számottevően, a kontrollnál 25-48% között, és a fenti NPK tápanyagkombináció esetében 49-66% között ingadozott a felvett N-nek a szemben értékesült hányada. A szemterméseket leíró hatásfüggvényekben az utolsó három évet kivéve az N-hatásnak számottevő kvadratikus komponense is volt, míg a N-felvételek az N-adagokkal a kísérlet mind a 8 évében lineáris összefüggést mutattak. Az N adagoknak a növekedésével párhuzamosan növekedett az N-felvétel is, vagyis az 1 q szemtermésre jutó N-felvétel is

5. táblázat

A talaj 0—20 cm-es rétegéből AL-oldattal kivont tápanyagmennyiségek
kezelésenként
Mintavétel: 1967. VIII.

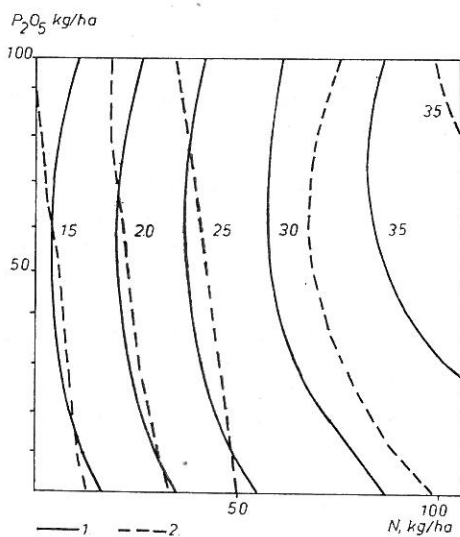
	a) P_2O_5 mg/100 g talaj							
	K ₀ -szinten				K ₁ -szinten			
	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag
N ₀	2,8	4,8	8,9	5,5	2,1	5,0	8,6	5,2
N ₁	2,0	4,6	7,4	4,7	2,1	5,0	8,0	5,0
N ₂	2,1	4,0	7,3	4,5	2,6	3,9	7,7	4,7
Átlag	2,3	4,5	7,9		2,3	4,6	8,1	

	b) K_2O mg/100 g talaj							
	K ₀ -szinten				K ₁ -szinten			
	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag	P ₀	P ₁	P ₂	Átlag
N ₀	10,9	10,2	10,4	10,5	11,8	12,0	12,2	12,0
N ₁	9,8	10,0	10,0	9,9	12,2	12,5	10,9	11,9
N ₂	10,4	9,8	9,8	10,0	12,2	11,0	11,6	11,6
Átlag	10,4	10,0	10,1		12,1	11,8	11,6	

egyre nagyobb lett. A P_2O_5 átlagos érvényesülése a 8 kísérleti év összegére az $N_{100}P_{50}K_{54} - N_{100}K_{54}$ kezeléskülönbségből számítva 14%. Az egyes éveket tekintve a kalászosoknál — amelyek 1 q szemtermésére jutó P-felvétel általában nagyobb, mint a kukoricánál — az első két évben a P-műtrágyázás érvényesülése az átlagérték körüli volt. A szemtermések értékelésénél megmutatkozó

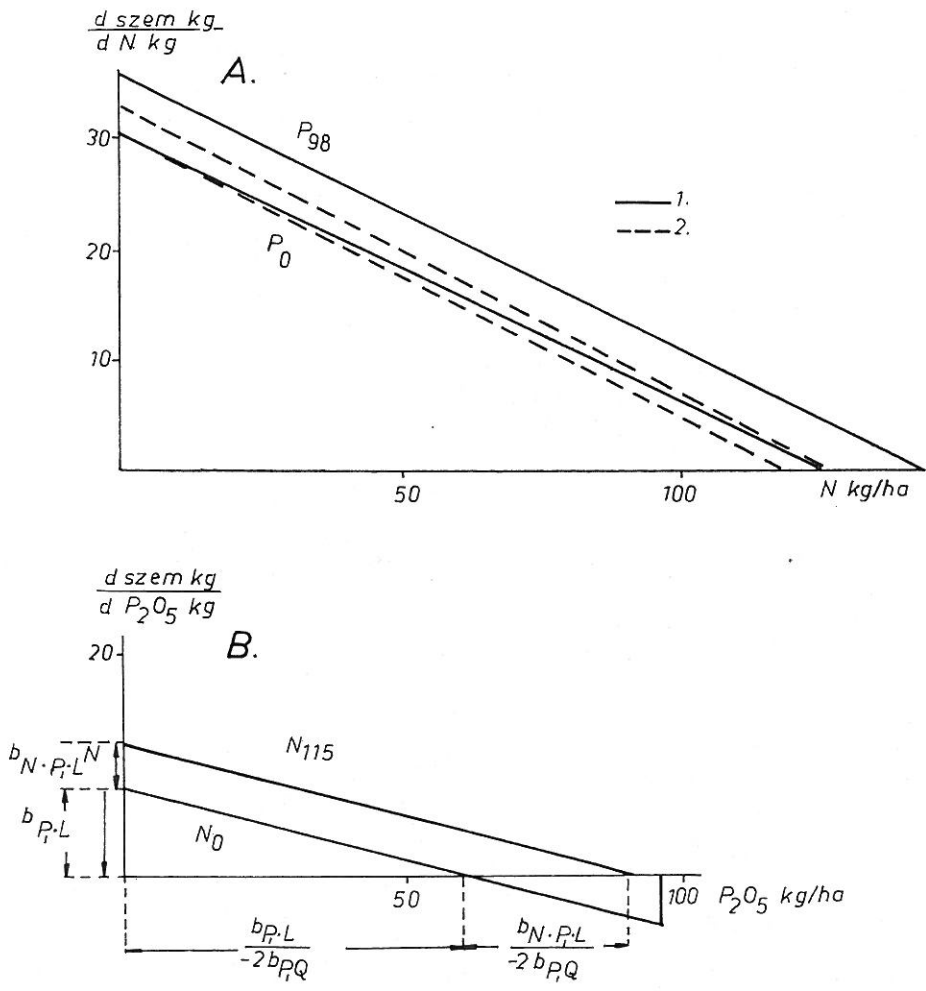
irányzathoz hasonlóan a kísérlet utolsó éveiben — a talaj P-készletének növekedésével összefüggően — egyre nagyobb lett az adott P-szinten számított átlagos és marginális érvényesülés közötti különbség, és egyre kisebb lett a maximális P-felvételt biztosító P-adag.

A földfeletti részekben felvett K_2O -mennyiségek az N-, illetve a P_2O_5 -hatóanyagok függvényében a 8. táblázatban közölt paraméterekkel szintén kiszámíthatók. Az összehasonlítási alapnak választott $N_{100}P_{50}K_{54}$ kezelésben a számítások szerint a K_2O -felvétel a kalászosok esetében évi átlagban 59,8 kg/ha, a kukorica esetében pedig 61,6 kg/ha. A 6. táblázatból azt is megfigyelhetjük, hogy a növények földfeletti részeiben felvett káliumnak csak kisebb hányada, a kalászosoknál átlagosan 28%-a, a kukoricánál pedig 22%-a jut a szemtermésbe.



2. ábra

A pesthidegkúti kísérlet 8 év szemtermés-
átlagának izokvantjai. Szemtermések q/ha-
ban. 1. K₀ szinten, 2. K₁ szinten



3. ábra

N illetve P_2O_5 marginális hatékonyságának változása (8 év átlagában). A) 1. K szinten. 2. K_0 szinten. B) K és K_0 átlagában

c) A fajlagos tápanyagfelvétel alakulása

Végül a másodfokú polinomokat az ún. fajlagos tápanyagfelvétel értékeire illesztettük, és így ezeket is, bármely N-P-kombinációra kiszámíthattuk. Amint a 8. táblázatban látható, itt a lineáris komponensek együtthatói többnyire negatívak. Ez annyit jelent, hogy az N- illetve a P-adagokat növelve a fajlagos tápanyagfelvétel csökken, vagyis 1 q szem előállításához a növényeknek kevesebb tápanyagra van szüksége. Többnyire egy minimális érték elérése után a luxus-felvétel jeleként a fajlagos tápanyagfelvétel nagysága a vizsgált hatóanyagadagok határain belül újra növekszik. A 7. táblázatban

6. táblázat

A szemtermések tápanyagtartalma és a "kivont" tápanyagmennyiségek szemben talált hányada (H%)

(1) Hatóanyag	(2) Megnevezés	(3) Kezelés	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	(6) Átlag	
			(4) Kalászos		(5) Kukorica				(4) Kalászos		Kalászos	Kukorica
N	szem %	∅ N ₂ P ₁ K	1,55 1,86	1,53 1,76	1,00 1,41	1,07 1,41	1,09 1,44	1,06 1,27	1,66 1,76	1,68 1,69	1,60 1,78	1,06 1,38
	H %	∅ N ₂ P ₁ K	80 77	77 81	35 61	40 66	25 49	48 65	78 82	85 79	81 79	37 60
P ₂ O ₅	szem %	∅ N ₂ P ₁ K	0,86 0,79	0,70 0,69	0,54 0,40	0,58 0,51	0,55 0,50	0,66 0,50	0,88 0,84	0,81 0,73	0,81 0,76	0,58 0,47
	H %	∅ N ₂ P ₁ K	90 92	75 90	48 76	39 79	23 54	53 76	78 86	87 85	82 88	40 71
K ₂ O	szem %	∅ N ₂ P ₁ K	0,54 0,52	0,47 0,47	0,38 0,35	0,35 0,32	0,36 0,37	0,45 0,41	0,51 0,51	0,45 0,39	0,49 0,47	0,38 0,36
	H %	∅ N ₂ P ₁ K	29 22	22 20	21 22	13 23	8 16	23 26	33 35	41 35	31 28	16 22

$$(H\%) = \frac{\text{szemben felvett tápanyag} \times 100}{\text{szemben és melléktermésben felvett tápanyag}}$$

a különböző kezelésekre vonatkozó N-, P₂O₅- és K₂O fajlagos tápanyagfelvétel évenkénti értékeit hasonlítjuk össze. Amint látható, az NPK-kezelésben a kalászosok esetében 1 q szemtermésre évi átlagban 2,2 kg N illetve 0,89 kg P₂O₅ és 1,70 kg K₂O felvétele jut, és az évi eltérések az esetek többségében nem nagyobbak ±20%-nál. Azt is megfigyelhetjük, hogy a tartamkísérlet végén észrevehetően kisebb a búzák fajlagos K₂O-felvétele. A kukorica esetében, éppen a tápanyagfelvétel már bemutatott évenkénti erős ingadozása miatt a fajlagos felvételek is erősebben ingadoznak az átlagos érték körül, mint a kalászosok esetében. Négy év átlagában a kukorica 1 q szemtermés kialakításához a kalászosokhoz hasonló mennyiségű N- és K, de kevesebb mennyiségű P volt szükséges.

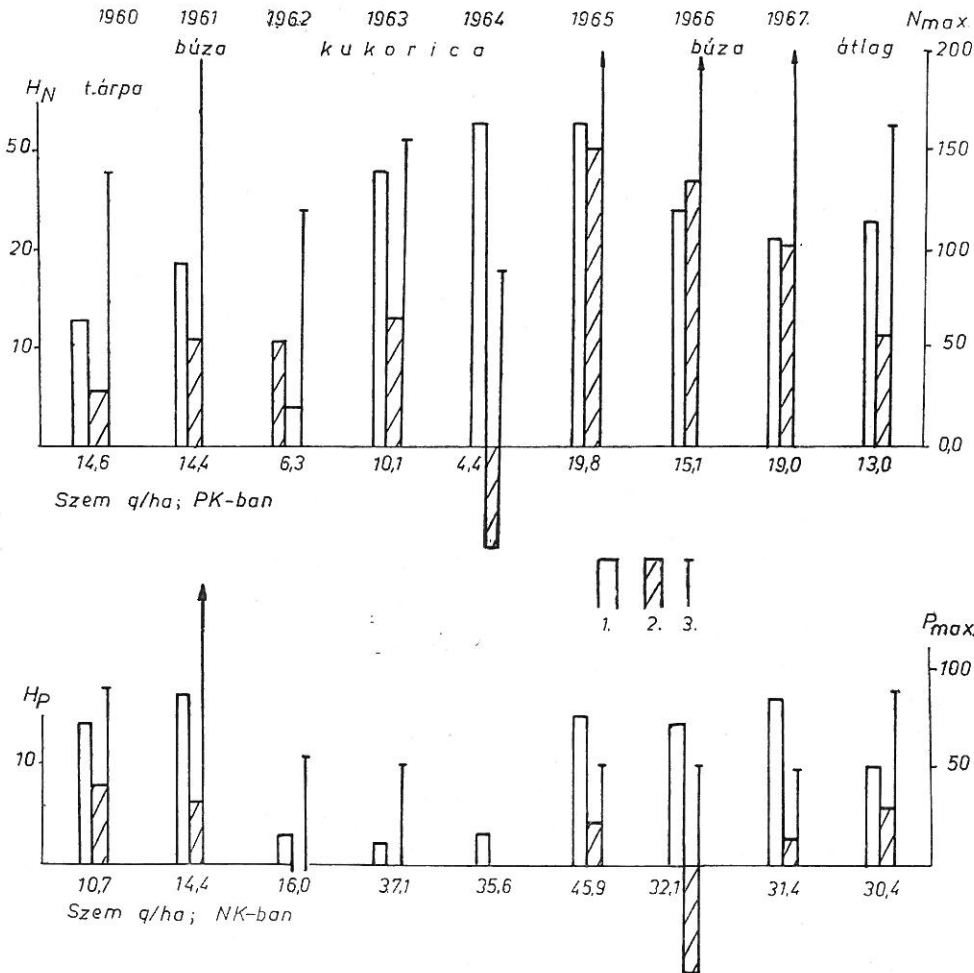
A táblázatban az is megfigyelhető, hogy a kukorica esetében az N-műtrágyázás nélküli kezeléseknél 1 q szemtermés eléréséhez sokkal nagyobb tápanyagmennyiségekre volt szükség, mint az N-nel is jól ellátott kezeléseknél. A harmonikus tápanyagellátás hiánya tehát jelentősen csökkentette a műtrágyák hatékonyságát.

Az eredmények megbeszélése

Amint az előzőkből látható, a műtrágyázási kísérletek eredményeinek hatásfüggvények alakjában történő feldolgozása az előző közleményünkben is alkalmazott ún. diszkrét hatások egybevetésével szemben több előnnyel is jár.

Mindenekelőtt a mérések adataira illesztett függvények együtthatói alapot nyújtottak a terjedelmes kísérleti anyag áttekintésére, az évenkénti eredmények összevetésére és célszerű összevonására.

Ennek a pesthidegkúti kísérletben annál is inkább nagy a jelentősége, mivel az N- és P-hatóanyagszintek részint technikai okokból, részint a kísérletben évek során tapasztalt hatások tekintetbevételével évről-évre nem voltak ugyanazok. Hatásfüggvények illesztésével azonban nem többé-kevésbé önkényesen kiválasztott műtrágyakezelések hatásait vetjük össze, hanem a műtrágyaadagok változásával együttjáró hatásalakulás menetét állapítjuk meg. Így az adott kezelések határain belül, a regressziós együtthatók ismeretében tájékozódhattunk a hatásgörbék (illetve N- és P-együttes alkalmazásakor a hatásfelületek) alakjairól. Így megállapítható, hogy a kukoricánö-



4. ábra

Az N- és P₂O₅-műtrágyázás hatékonyságának (H_N; H_P) évenkénti alakulása a tartamkísérletben (Δ szem kg/ Δ N kg illetve Δ P₂O₅ kg) és a számított maximális hatóanyagadagok (N_{max}; P_{max}) kg/ha. Jelmagyarázat: 1. átlagos hatás. 2. marginális hatás. 3. N- illetve P₂O₅-adag maximum

7. táblázat

A fajlagos N-, P₂O₅-, K₂O felvétel évenkénti ingadozása K-szinten
N₁₀₀P₄₀-re számítva

(1) Kezelés	(2) Átlag		(3) Évenkénti eltérés ± az átlag %-ában							
			1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
	(4) kalászos	(5) kukorica	(4) Kalászos		(5) Kukorica			(4) Kalászos		
a) Felvett N kg/szem q										
O										
K	2,0	4,0	+ 1	- 4	-30	-23	+ 85	-30	+ 1	+ 1
PK	1,9	4,3	- 4	-10	-37	-28	+ 99	-35	+12	+ 1
NK	2,1	2,2	+10	+ 6	+17	-19	+17	-15	- 7	-11
NPK	2,2	2,4	+20	- 3	- 3	-24	+48	-20	- 7	-12
b) Felvett P ₂ O ₅ kg/szem q										
O										
K	1,03	1,82	-11	+ 8	-41	-12	+76	-23	+ 7	- 4
PK	1,04	2,16	-14	-10	-52	-14	+92	-26	+13	+10
NK	0,85	0,53	0	- 2	+19	+13	-32	0	+ 6	- 2
NPK	0,89	0,66	- 4	-10	0	-30	+29	+ 3	+10	+ 3
c) Felvett K ₂ O kg/szem q										
O										
K	1,8	4,6	+12	+24	-31	-31	+98	-36	- 4	-33
PK	1,7	5,5	+22	+22	-31	-12	+81	-38	-19	-24
NK	2,0	1,8	+19	+43	+14	+14	-32	+ 3	-21	-41
NPK	1,7	1,8	+25	+24	-19	+19	- 3	+ 3	-18	-30

vény szemtermése és N-tápanyagfelvétele az N-adagolással meredekebben növekszik, mint a búzáé. Ugyanakkor azt is jól megfigyelhetjük, hogy az egyes évek időjárásviszonyai a műtrágyázás hatékonyságát kukorica esetében erősen befolyásolják. Az aszályos 1962-ben a N-adagolás alig járt terméstöbblettel, ennek megfelelően a hatásgörbe lapos — $b_{N,L}$ és $b_{N,Q}$ viszonylag kicsi. 1964-ben a kontroll igen kis szemterméséhez viszonyítva a N-műtrágya igen jelnetős szemtermés-növekedést eredményezett, de bizonyos határon túl az adagok növelése már nem volt célszerű. 1965-ben viszont a N sőt a P is gyakorlatilag az adag nagyságával arányosan növelte a kukorica szemtermését.

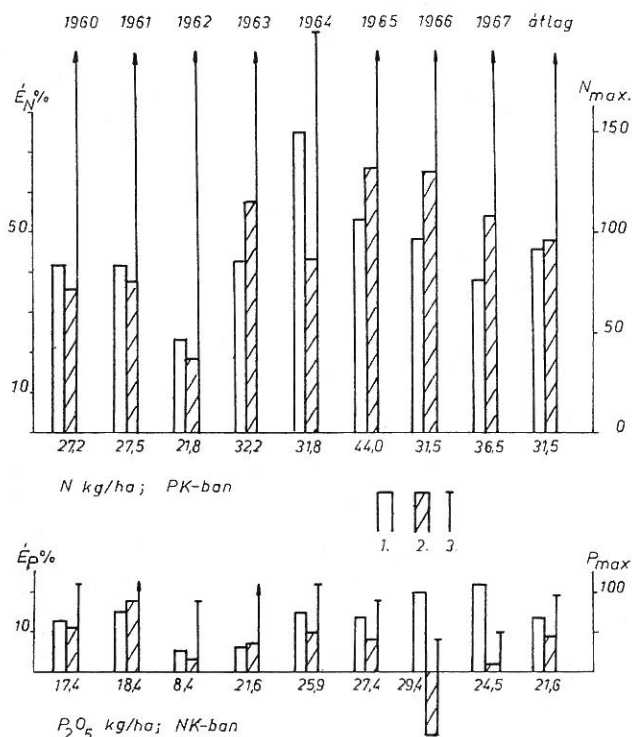
Ugyanígy a hatásgörbék lefutása a P-műtrágyázás hatékonyságának a tartamkísérletben a talajban felhalmozódó P-készletek miatti csökkenését is jól jelzi, ugyanis a P-adag maximuma csökken, míg az NK-kezelésre képest a kiindulási P-műtrágyázás hatékonysága növekedik. Ez látható abból, hogy a $b_{P,L}/-2b_{P,Q}$ a kísérlet első évében a szemtermésre 0,5 körüli, a kísérlet utolsó évében 0,4 körüli érték, a P-hatásgörbe a 2 utolsó évben jóval meredekebben indul és meredekebben hajlik alá, mint az első 2 évben.

Megállapítható az is, hogy az egyoldalú műtrágyázás a K, N és P külön-külön történő alkalmazása esetén az 1 q szemtermésre jutó tápanyagfelvétel nagyobb, mint a harmonikus NPK-adagolásnál. A fajlagos tápanyagfelvétel görbének minimum pontja van. Erre mutat az, hogy a hatásfüggvényekben a lineáris komponensek negatívak a kvadratikus komponensek pedig pozitívak.

8. táblázat

Az egyes évek hatásfüggvényeinek regressziós együtthatói K-szinten

Együtthatók	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	Átlag
a) Szemtermés q/ha									
b_0	11,9	12,7	5,6	10,7	3,9	11,7	11,2	14,8	10,3
$b_{N:L}$	16,0	17,3	17,9	40,8	73,7	40,0	17,8	18,0	30,6
$b_{N:Q}$	-7,2	-5,6	-7,5	-14,4	-42,0	-5,8	3,1	-1,4	-10,6
$b_{P:L}$	11,2	10,8	9,2	0,2	5,2	14,7	33,3	23,3	10,7
$b_{P:Q}$	-10,8	-7,5	-6,7	-2,8	-2,7	-10,0	-51,1	-30,0	-9,7
$b_N \times P:L$	8,0	10,4	1,7	3,1	1,1	-1,7	6,7	8,9	4,6
b) Szem- és melléktermésben felvett N kg/ha									
b_0	23,8	23,8	17,2	28,8	22,4	32,5	22,7	29,9	24,2
$b_{N:L}$	36,4	42,5	27,5	29,3	101,4	43,0	31,1	22,5	41,5
$b_{N:Q}$	-5,2	-6,1	-5,0	15,0	-25,6	13,9	16,3	15,3	3,0
$b_{P:L}$	16,6	4,6	14,8	10,8	3,3	33,5	58,6	29,8	18,3
$b_{P:Q}$	-19,4	5,6	-11,1	-7,8	3,6	-21,1	-82,1	-33,0	-13,7
$b_L \times P:L$	20,8	10,9	1,9	-2,2	-1,7	-7,0	2,2	2,2	2,1
c) Szem- és melléktermésben felvett P_2O_5 kg/ha									
b_0	10,8	14,1	6,0	17,2	12,5	16,4	12,3	14,6	12,6
$b_{N:L}$	17,0	8,3	3,5	5,0	15,5	8,2	21,5	8,2	11,8
$b_{N:Q}$	-10,4	-4,0	-1,1	-0,6	-1,7	2,8	-4,4	1,7	-2,7
$b_{P:L}$	6,2	-3,0	6,1	3,3	25,0	20,6	46,7	35,3	15,2
$b_{P:Q}$	-4,8	5,6	-3,6	1,9	-10,6	-11,7	-70,8	-41,1	-9,6
$b_N \times P:L$	9,2	15,0	0,6	2,2	-4,4	-0,6	8,3	7,8	3,2
d) Szem- és melléktermésben felvett K_2O kg/ha									
b_0	23,4	27,6	18,0	34,4	35,7	35,3	18,6	18,4	25,9
$b_{N:L}$	36,0	35,3	22,2	9,2	88,9	35,2	29,5	17,8	34,7
$b_{N:Q}$	-16,4	6,0	-8,9	6,1	-51,1	-0,3	2,2	3,3	-7,6
$b_{P:L}$	35,6	18,2	8,2	21,6	34,3	29,5	34,3	23,7	24,7
$b_{P:Q}$	-34,8	-5,0	-5,0	-16,1	-11,4	-16,7	-54,4	-23,3	-17,5
$b_N \times P:L$	28,8	-1,4	-3,9	-3,1	-10,6	-5,8	-1,1	-4,4	-1,1
e) Fajlagos N felvétel kg/q szem									
b_0	2,0	1,87	3,07	2,69	7,44	2,78	2,03	2,02	2,9
$b_{N:L}$	0,52	0,77	-1,63	-3,40	-12,3	-2,23	-0,15	-0,40	-2,4
$b_{N:Q}$	0,12	-0,13	1,11	2,56	7,45	1,39	0,31	0,50	1,8
$b_{P:L}$	-0,36	-0,86	-0,89	0,68	4,32	-0,07	-0,46	-0,50	0,4
$b_{P:Q}$	0,12	0,94	0,42	0,20	-4,36	0,14	1,22	0,67	-0,5
$b_N \times P:L$	0,12	-0,45	0,17	-0,92	0,81	-0,11	-0,50	-0,33	-0,1
f) Fajlagos P_2O_5 felvétel kg/q szem									
b_0	0,91	1,11	1,07	1,53	3,45	1,40	1,10	0,99	1,40
$b_{N:L}$	0,10	-0,38	-0,47	-2,74	-7,56	-1,90	-0,09	-0,38	-1,81
$b_{N:Q}$	-0,16	0,10	0,06	1,72	4,47	1,03	-0,11	0,22	1,06
$b_{P:L}$	-0,14	-0,61	-0,11	0,29	1,98	0,42	0,43	0,43	0,38
$b_{P:Q}$	0,20	0,56	0,11	0,72	-1,17	-0,08	-0,56	-0,22	-0,04
$b_N \times P:L$	0,04	0,27	0,00	-0,92	-0,42	-0,20	0,00	-0,14	-0,25
g) Fajlagos K_2O felvétel kg/q szem									
b_0	1,97	2,17	4,19	4,02	9,44	3,39	1,66	1,24	3,20
$b_{N:Z}$	0,34	0,06	-2,55	-5,53	-18,00	-3,15	-0,08	-0,18	-3,80
$b_{N:Z}$	-0,24	0,63	1,33	3,50	9,78	1,58	0,00	0,19	2,27
$b_{P:Z}$	0,58	-0,49	-1,17	1,74	1,74	0,016	-1,05	0,04	0,29
$b_{P:Z}$	-0,56	0,81	0,78	-0,47	-1,75	0,11	1,22	0,33	-0,16
$b_N \times P:L$	0,40	-1,04	-0,20	-1,17	0,39	-0,08	-0,22	-0,39	-0,30



5. ábra

Az N és P műtrágyák %-os érvényesülése (felvett N kg \times 100/adott N kg, illetve felvett P₂O₅ \times 100/adott P₂O₅ kg) valamint a maximális tápanyagfelvételhez tartozó adagok K szinten. Jelmagyarázat: 1. Átlagos. 2. Marginális. 3. Adag maximum

Végül, és a közgazdasági értékelések esetében ez is fontos többletinformáció, a kísérletben alkalmazott kezelések határain belül bármely számunkra érdekes N- és P-kombinációra kiszámíthatók a műtrágya érvényesülésének mutatói. Így megállapíthattuk, hogy pl. az N₁₀₀P₅₀K₅₄-kombinációban a kísérlet 8 évi átlagában 1 kg N-műtrágyára 23 kg szem, 1 kg P₂O₅-műtrágyára pedig 10 kg szem terméstöbbit jutott és az adagok további növelése is indokoltnak látszik. A P-hatások évenkénti elemzése pedig azt igazolja, hogy a P-műtrágyaadagok megállapításánál a várható terméssel felvett mennyiségeken kívül a talajban felhalmozódó felvehető P-tartalmat is számításba kell venni. Adatainkból megállapítható, hogy a rendszeres évi 50–60 kg P₂O₅/ha tartalmú szuperfoszfát adagolása hatására a kísérlet 6. évére az eredetileg 2 mg/100 g körüli AL-oldható P₂O₅-tartalom 5 mg/100 g talajra nőtt és ekkor már csupán a termés által kivont P-t pótolva elérhettük a viszonyok között maximális 40 q/ha körüli búzaszemtermést.

Összefoglalás

A pesthidegkúti tápanyagban szegény barna erdőtalajon egymásután 2 évi kalászos, 4 évi kukorica (korai), majd ismét 2 évi őszi búza jelző növényvel beállított $3 \times 3 \times 2$ faktoriális N-, P- és K-műtrágyázási kísérletben másodfokú polinom hatásfüggvények illesztésével állapítottuk meg a szemterméseknek, a földfeletti növényrészekben felvett N-, P_2O_5 - és K_2O -mennyiségeknek, valamint a növények az 1 q szemtermésre jutó (ún. fajlagos) N-, P_2O_5 - és K_2O -felvételének a regressziós együtthatóit. A csak szemtermésekre elvégezhető statisztikai értékelés szerint K-műtrágyázás mellett az N- és P-műtrágyázás valamennyi komponense ($b_{N,L}$, $b_{N,Q}$, $b_{P,L}$, $b_{P,Q}$ és $b_{N \times P,L}$) 8 év átlagában szignifikáns volt.

A minden kísérleti évre külön-külön kiszámított paraméterek segítségével becsültük a $N_{100}P_{50}K_{54}$ műtrágyaszintre az N- és P-műtrágyázás átlagos, valamint marginális hasznosulását (azaz az egységnyi hatóanyag mennyiségre jutó hozamtöbbleteket), valamint a maximális hozamokat eredményező N- és P_2O_5 adagokat is.

A 8 kísérleti év átlagában az NPK-kezelésben az adott N 46%-ban, az adott P_2O_5 pedig 14%-ban érvényesült. A maximális szemtermést biztosító P_2O_5 -adag 80 kg/ha volt, míg a N-adag maximuma nagyobb volt a vizsgált legnagyobb N-adagnál (115 kg N/ha). A regressziós együtthatók nagyságából, valamint a lineáris és kvadratikus komponensek arányából a tartamkísérlet során a talajban felvehető P-tartalékok kialakulására, valamint a búza és kukorica tápanyagigényének sajátos különbségeire is következtethettünk.

A fajlagos N-, P_2O_5 - és K_2O -felvételek nagyságának az évenkénti alakulását a regressziós együtthatók felhasználásával tanulmányozva megmutatkozott, hogy ezeknek az N- és P-adagoktól függő minimumuk van. Megfelelően kiegyensúlyozott NPK-műtrágyázás mellett a kalászosokra és a kukoricára 4–4 év átlagában kapott értékek közelállóak (2,2 N; 0,9 P_2O_5 ; 1,7 K_2O , ill. 2,4 N; 0,7 P_2O_5 és 1,8 K_2O kg/1 q szem).

A szemtermések hatásfüggvényeiből kiszámítható, hogy az adott viszonyok között elérhető maximális termés létrejöttéhez az N-műtrágyahatóanyagból a kísérlet átlagában 30%-kal többet kellett adni, mint amennyit a növény földfeletti részeiben érskor tartalmazott. A P_2O_5 -ből a kísérlet első két évében ennél 100%-kal több, míg a kísérlet utolsó két évében, a talaj felvehető P-szintjének megfelelő kialakulása után, csak a szemtermésben és a hozzátartozó melléktermésekben felvett P-mennyiség adagolása volt szükséges.

Irodalom

- [1] BAJAI, J., OSVÁTH, J. & SZABÓ, J. L.: Az édes szudáni cirokfű és a kukoricacsalamádé néhány termesztési tenyezőjének vizsgálata. MTA. Agrártud. Oszt. Közl. **19**, 77–98. 1961.
- [2] BOX, G. E. P.: The exploration and exploitation of the response surfaces: Some general considerations and examples. *Biometrics*. **10**, 16–60. 1954.
- [3] HEADY, E. O. & DILLON, J. L.: *Agricultural production functions*. Iowa State University Press. Ames. 1961.
- [4] LATKOVICS, GY.-NÉ & KRÁMER, M.: Az őszi búza és a kukorica műtrágyázás hatásának vizsgálata tartamkísérletben (1960–1967). I. Szemterméseredmények. *Agrokémiai és Talajtan*, **17**, 189–200. 1968.
- [5] MÉSZÁROS, S.: A műtrágyázás hatékonyságának és optimumának vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Budapest. 1970.

- [6] MÉSZÁROS, S.: A műtrágyázás hatékonysága és optimumai. MÉM Stat. és Gazd. elemző Közp. Budapest, 1971.
- [7] SARKADI, J., KRÁMER, M. & THAMM, F.-NÉ: A kalcium és ammóniumlaktátos talaj-kivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsavasónkloridos módszerrel melegítés nélkül. *Agrokémia és Talajtan*. **14**. 75–86. 1965.
- [8] SARKADI, J., SVÁB, J. & WELLISCH, P.: Probleme bei der Planung und Auswertung der Dauerversuchsserien in Ungarn. Über die Modernisierung der Methoden von Mineraldüngungsversuchen. KGST Konf. 1969. 34–53. Keszthelyi Agrártud. Főisk. Keszthely. 1970.
- [9] SEN, B. R.: Statistics of crop responses to fertilizers. FAO, Rome, 1966.
- [10] SPECHT, G., GÖRLITZ, H. & HOFFMANN, E.: Über den Nachweis der Düngerwirkung in mehrjährigen faktoriellen Stickstoff- und Phosphorsäuresteigerungsversuchen mit polynomen Näherungsfunktionen. *A. Thaeer-Arch.* **9**. 979–997. 1965.
- [11] THAMM, F.-NÉ, KRÁMER, M. & SARKADI, J.: A növények és trágyaanyagok foszfortartalmának meghatározása ammónium molibdo-vanadátos módszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. **17**. 145–156. 1968.

Érkezett: 1971. május 3.

Examination of the Effect of Fertilization on Winter Wheat and Maize in a Longterm Experiment

II. Evaluation of the Experimental Results by means of Quadratic Polynomial Functions

M. KRÁMER and I. LATKOVICS

Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest (Hungary)

Summary

On the brown forest soil poor in nutrients of Pesthidegkút a factorial $3 \times 3 \times 2$ NPK-experiment was carried out with the following test plants: in the first year summer barley, in the second year winter wheat, in the next four years early maize and in the last two years winter wheat. The regression coefficients of the grain yields and of the N-, P_2O_5 - and K_2O -quantities taken up by the overground parts of the plants, and those of their ratios belonging to 100 kg (= 1 q) of the grain yield („specific nutrient uptake”) were determined by fitting of quadratic functions on the experimental data. The analysis of the results showed that the regression coefficients relating to the N- and P-fertilization and to the $K \times NP$ interaction of the grain yields were statistically significant for the mean of 8 years.

By the aid of the parameters calculated separately for each year of the experiment the average and marginal (that is, the yield increments per unit of the nutrients given in the fertilizers) effectivities of the N- and P-fertilization were calculated for the $N_{100}P_{50}K_{54}$ fertilizer level. The N- and P_2O_5 -doses resulting maximal yields were also estimated.

In the mean of all the eight years 46% of the given N, and 14 per cent of the given P_2O_5 was recovered in the test plants in the NPK-variant. The P_2O_5 -dose resulting the maximal yield was 80 kg/ha. The N-dose resulting the maximum yield was above the highest studied (115 kg N/ha) dose.

From the value of the regression coefficients, as well as from the ratio of the linear and quadratic components some conclusions could be drawn concerning the available P-reserves in the soil and the characteristics of the nutrient demands of wheat and of maize, respectively.

By the aid of the regression coefficients the changes of the specific N-, P_2O_5 - and K_2O -uptakes were studied and was found that these values have a minimum, depending on the levels of the N- and P-doses. In case of a balanced NPK-fertilization the values in the means of each four-year period lay for cereals, as well as for maize close to one another (2,2 N; 0,9 P_2O_5 ; 1,7 K_2O ; and 2,4 N; 0,7 P_2O_5 ; 1,8 K_2O kg/1 q grain, respectively). From the response curves it has been calculated that to obtain the maximum yield possible under the existing circumstances it was necessary to give averagely 30 per cent more from

N- than the quantity found in the yield. In the first two years 100 per cent more of the P_2O_5 -nutrient was needed than taken up by the plants to produce the planned grain yield, but in the last two years of the experiment — by the time the required level of available phosphorus in the soil was formed — it was only needed to give the P-quantity taken up in the yield to achieve the maximum yield.

Table 1. Some basic data of the experiment. (1) Nutrient dose, kg/ha. (2) Summer barley. (3) Winter wheat. (4) Maize. (5) Winter wheat. (6) Average (7) Treatment. (8) Grain yield. K and P are expressed in the form of oxides.

Table 2. Grain yields (q/ha) of the experiment in the combinations of the applied nutrient levels (means of eight years).

Table 3. Table of variance of the experiment. Grain yield of eight years q/ha.

Table 4. Regression coefficients of the grain yields (q/ha/year).

Table 5. Quantity of the nutrients determined in the AL-extract of the 0—20 cm layer of the soil. Sampling: August 1967.

Table 6. Nutrient content of the grain yields and the ratio of the „extracted nutrients” found in the grain. (H%). (1) Nutrient. (2) Variant (3) Treatment. (4) Cereals. (5) Maize. (6) Means, cereals and maize. $H\% = \text{nutrient quantity in the grain yield} \times 100 / \text{nutrient quantity in the overground parts of the crop}$.

Table 7. Annual fluctuation of the specific (calculated for 100 kg grain) N-, P_2O_5 - and K_2O -uptake calculated on the level K for $N_{100}P_{10}$. (1) Treatment. (2) Mean. (3) Annual deviation \pm , in per cent of the mean values. (4) Cereals. (5) Maize. $a-b-c$) N-, P_2O_5 - and K_2O kg/q grain.

Table 8. Regression coefficients of the response curves calculated for the level K. a) Grain yield b) N kg/ha taken up by the crop c) P_2O_5 kg/ha taken up by the crop d) K_2O kg/ha taken up by the crop. Specific N-, P_2O_5 - and K_2O - uptake kg/q grain.

Fig. 1. N- P_2O_5 response surface (Mean of 8 years). The points „O” give the means of the determined grain yields of the separate treatments.

Fig. 2. Isoquantiles of the means of the grain yields of eight years. Grain yields (q/ha) 1. on K level 2. on K_0 level

Fig. 3. Changes in the marginal effectivity of N and P_2O_5 , respectively. (Means of 8 years.) A. 1. on K level 2. on K_0 level B. in the mean of K and K_0 .

Fig. 4. Annual tendency of the effectivity of the N- and P-fertilization (H_N ; H_P) Δ grain yield kg/AN-dose kg, and ΔP_2O_5 -dose kg, respectively), and the estimated maximal nutrient doses (N_{max} ; P_{max}) given in kg/ha. Legends: 1. average effect. 2. marginal effect. 3. maximal N- and P_2O_5 -doses.

Fig. 5. Percentual effectivity of the N- and P_2O_5 -fertilizers (kg N taken up $\times 100 / N$ kg given; kg P_2O_5 taken up $\times 100 / P_2O_5$ kg given), and the fertilizer doses necessary to the maximal nutrient uptake given for level K. Legends: 1. Average and 2. marginal effectivity. 3. maximum fertilizer doses.

Studie über die Düngungseffekte bei Weizen bzw. Mais in einem 8 jährigen Dauerversuch (1960—1967) auf braunem Waldboden

II. Auswertung der Versuchsergebnisse mit Hilfe von Polynomen zweiten Grades

M. KRÁMER und I. LATKOVICS

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrarkulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften,
Budapest

Zusammenfassung

Auf dem nährstoffarmen braunen Waldboden von Pesthidegkút wurde ein $3 \times 3 \times 2$ faktorieller N-, P- und K-Düngungsversuch zwei Jahre hindurch mit Halmfrüchten, weitere 4 Jahre hindurch mit Frühmais, und in den letzten zwei Jahren mit Winterweizen als Versuchspflanzen eingestellt. Die Regressionskoeffizienten der Kornerträge und der

durch die oberirdischen Pflanzenteile aufgenommenen Mengen an N, P_2O_5 und K_2O , sowie diejenigen der auf 1 dt des Kornertrages fallenden N-, P_2O_5 - und K_2O -Aufnahme („spezifische Aufnahmen“) wurden durch Anpassen von Polynomen zweiten Grades bestimmt. Diese Auswertung ergab, dass die Regressionskoeffizienten in Hinsicht auf die Kornerträge für die N—P-Düngung und für die $K \times NP$ Wechselwirkung im Durchschnitt der acht Versuchsjahre signifikant waren.

Mit Hilfe von für jedes Versuchsjahr einzeln berechneten Parametern wurde für die $N_{100}P_{50}K_{54}$ -Düngerstufe die durchschnittliche, sowie die marginale Verwertung der N- und P-Dünger (d. h. die Mehrerträge je Wirkstoffeinheit) ermittelt, dabei wurden auch die zu einem maximalen Ertrag erforderlichen N- und P_2O_5 -Düngergaben geschätzt.

Im Durchschnitt der 8 Versuchsjahre wurde in der NPK-Variante das N in 46% und das P_2O_5 in 14% verwertet. Die zu einem maximalen Ertrag benötigte P_2O_5 -Gabe betrug 80 kg/ha, das Maximum der N-Gaben lag über der grössten N-Gabe (115 kg N/ha). Aus der Grösse der Regressionskoeffizienten, sowie aus dem Verhältnis der linearen und quadratischen Komponenten konnten bezüglich der Gestaltung des aufnehmbaren P-Gehaltes im Boden während des Dauerversuches, sowie bezüglich der Eigenart der Nährstoffbedürftigkeit von Weizen und Mais Folgerungen gezogen werden.

Mit Hilfe der Regressionskoeffizienten wurde die Gestaltung der spezifischen N-, P_2O_5 - und K_2O -Aufnahme untersucht, und gefunden, dass diese Werte ein von der Grösse der N- und P-Gaben abhängiges Minimum haben. Bei entsprechender NPK-Düngung lagen die für die Durchschnittswerte von je vier Jahren erhaltenen Werte bei Halmfrüchten und Mais einander recht nahe (2,2 N; 0,9 P_2O_5 ; 1,7 K_2O ; bzw. 2,4 N; 0,7 P_2O_5 und 1,8 K_2O kg/1 dt Korn). Um den unter den bestehenden Verhältnissen erreichbaren (maximalen) Ertrag zu erhalten musste im Durchschnitt um 30% mehr N-Wirkstoff angeboten werden, als die N-Aufnahme des Korn- und Nebenproduktertrages: dies wurde aus den Wirkungskurven der Kornerträge berechnet. In den ersten zwei Jahren des Versuches musste um 100% mehr P_2O_5 gereicht werden, als was die P_2O_5 -Aufnahme des geplanten Kornertrages erforderte. In den letzten zwei Jahren aber, nachdem sich ein entsprechender Vorrat an aufnehmbarem Phosphor im Boden herausgebildet hatte, wurde zum Erreichen des Ertragsmaximums nur die Zurückgabe der durch den Korn- und Nebenproduktertrag entzogenen P-Menge notwendig.

Tab. 1. Einige Grunddaten des Versuches. (1) Wirkstoffmenge, kg/ha. (2) Sommergerste. (3) Winterweizen. (4) Mais. (5) Winterweizen. (6) Mittelwert. (7) Variante. (8) Kornertrag. K- und P-Wirkstoffmengen als Oxide angegeben.

Tab. 2. Kornerträge (dt/ha) des Versuches in den Kombinationen der Wirkstoffstufen. (Mittelwerte von 8 Jahren).

Tab. 3. Varianztabelle des Versuches. Kornertrag dt/ha (Summe von 8 Jahren).

Tab. 4. Regressionskoeffizienten der Kornerträge (dt/ha/Jahr).

Tab. 5. Nährstoffmengen je Variante, im AL-Auszug der 0—20 cm Schichte des Bodens bestimmt. Probenahme: Aug. 1967.

Tab. 6. Nährstoffgehalt des Kornertrages und der in den Körnern gefundene Anteil der „entzogenen“ Nährstoffmenge (H%). (1) Wirkstoff. (2) Benennung. (3) Variante. (4) Halmfrucht. (5) Mais. (6) Mittelwert von Halmfrüchten und Mais. $H\% = \text{Nährstoffmenge durch die Körner aufgenommen} \times 100 / \text{Nährstoffmenge durch die oberirdischen Pflanzenteile aufgenommen}$.

Tab. 7. Die jährliche Schwankung der auf 1 dt Korn fallenden (spezifischen) N-, P_2O_5 und K_2O -Aufnahme auf der K-Stufe für $N_{100}P_{50}$ berechnet. (1) Variante. (2) Mittelwert. (3) Jährliche Abweichung \pm , im Prozent des Mittelwertes. (4) Halmfrüchte. (5) Mais. a-b-c). Aufgenommene N-, P_2O_5 - und K_2O -Menge, kg/dt Korn.

Tab. 8. Regressionskoeffizienten der Wirkungskurven der einzelnen Jahre für die K-Stufe berechnet. a) Kornertrag. b) Durch die Körner und Nebenprodukte aufgenommene N-Menge, kg/ha. c) Durch die Körner und Nebenprodukte aufgenommene P_2O_5 -Menge, kg/ha. d) Durch die Körner und Nebenprodukte aufgenommene K_2O -Menge, kg/ha. e-f-g) Spezifische N-, P_2O_5 - und K_2O -Aufnahme, kg/dt Korn.

Abb. 1. Wirkungsoberfläche von N— P_2O_5 (Durchschnitt von 8 Jahren). Die „O“ Punkte bedeuten die Mittelwerte des gemessenen Kornertrages der einzelnen Varianten.

Abb. 2. Isoquanten der Kornertragsmitten von 8 Jahren im Versuch von Pesthidegkút. Kornerträge dt/ha. 1. auf der K-Stufe. 2. auf der K_0 -Stufe.

Abb. 3. Änderungen in der marginalen Verwertung von N bzw. P_2O_5 (im Durchschnitt von 8 Jahren). A. 1. auf der K-Stufe. 2. auf der K_0 -Stufe. B. im Durchschnitt von K und K_0 .

Abb. 4. Die jährliche Gestaltung der Wirksamkeit der N- und P-Düngung (H_N ; H_P) (Δ Korn kg/ Δ Nkg, bzw. ΔP_2O_5 kg) und die berechneten maximalen Wirkstoffgaben

(N_{\max} ; P_{\max}) in kg/ha. Zeichenerklärung: 1. durchschnittliche Wirkung. 2. marginale Wirkung. 3. maximale N-, bzw. P_2O_5 -Gabe.

Abb. 5. Prozentuelle Verwertung der N- und P_2O_5 -Dünger (kg N aufgenommen \times 100) kg N gegeben, bzw. kg P_2O_5 aufgenommen \times 100 (kg P_2O_5 gegeben), sowie die zur maximalen Nährstoffaufnahme benötigten Düngergaben für die K-Stufe angegeben. Zeichenerklärung: 1. Durchschnittliche und 2. marginale Verwertung; 3. maximale Düngergabe.

Изучение влияния внесения минеральных удобрений на пшеницу и кукурузу в стационарных опытах (1960—1967)

II. Оценка опытных данных полиномами второго порядка

М. КРАМЕР и И. ЛАТКОВИЧ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Академии Наук Венгрии, Будапешт

Резюме

На бедных питательными веществами бурых лесных почвах Пештхидекута заложили $3 \times 3 \times 2$ факториальный опыт по изучению эффективности азотных, фосфорных и калийных удобрений. Подопытными растениями были в первые два года колосовые, в последующие четыре года — кукуруза (ранняя), затем снова два года озимая пшеница. Применяя квадратные функции отзывчивости определили количество азота, фосфора и калия, усвоенных надземными частями растений, урожай зерна, а также коэффициенты регрессии усвоенного азота, фосфора и калия, приходящегося на 1 ц зерна (т. е. удельное усвоение). По статистической обработке, проводимой только для урожая зерна, все компоненты внесения азотных и фосфорных удобрений, на фоне внесения калийных удобрений, в среднем за восемь лет были достоверными ($b_{N,L}$, $b_{N,Q}$, $b_{P,L}$, $b_{P,Q}$, $b_{NKP,L}$).

При помощи параметров, рассчитанных отдельно на каждый год опыта, вычислили среднее и маргинальное усвоение (т. е. прибавки урожая приходящиеся на единицу действующего начала) на уровне внесения минеральных удобрений N_{100} P_{50} K_{54} . Провели оценку доз азотных и фосфорных минеральных удобрений, способствующих получению максимальных урожаев.

В среднем за восемь лет в варианте с NPK азот усваивался на 46%, P_2O_5 — на 14%. Доза P_2O_5 , обеспечивающая получение максимального урожая зерна равнялась 80 кг/га действующего начала, для азота 115 кг/га, то есть больше чем самая высокая доза внесения. Из величин коэффициентов регрессии, а также из соотношений линейных и квадратичных компонентов на основе стационарных опытов установили образование запасов усвояемого фосфора, а также своеобразное различие в потребности питательных элементов пшеницы и кукурузы.

Изучая с помощью коэффициента регрессии формирование по годам удельного усвоения азота, фосфора и калия установили, что их минимумы зависят от доз вносимых N и P минеральных удобрений. При относительно выровненных дозах внесения NPK минеральных удобрений величины полученные для колосовых и кукурузы в среднем за 4 года были близки между собой (2,2 N; 0,9 P_2O_5 ; 1,7 K_2O или 2,4 N; 0,7 P_2O_5 и 1,8 K_2O кг/1 ц зерна).

Из функции отзывчивости для урожая зерна можно рассчитать, что в данных условиях для достижения максимальных урожаев надо дать азота на 30% больше, чем его содержалось в надземной части растений во время созревания. В первые два года опыта необходимо было внесение P_2O_5 в количестве на 100% превышающем эту величину, в то время как в последние два года, после формирования в почве соответствующего уровня содержания усвояемого фосфора, необходимо было вносить количество фосфора, усвоенное зерном и относящимися к нему побочными урожаями.

Табл. 1. Некоторые основные данные опыта. (1) Действующие начала в гк/га. (2) Яровой ячмень. (3) Озимая пшеница. (4) Кукуруза. (5) Озимая пшеница. (6) Среднее. (7) Варианты. (8) Урожай зерна. Действующие начала K и P приведены в форме оксидов.

Табл. 2. Урожай зерна в ц/га при различных дозах внесения минеральных удобрений (среднее за 8 лет).

Табл. 3. Вариационная таблица опыта. Урожай зерна в ц/га. (Среднее за 8 лет).

Табл. 4. Коэффициенты регрессии, относящиеся к урожаям зерна (ц/га/год).

Табл. 5. Содержание питательных веществ по отдельным вариантам, определенных AL из слоя почвы 0—20 см. Образцы взяты VIII. 1967 года. (AL-лактат аммоний).

Табл. 6. Содержание питательных элементов в урожае зерна и часть, которую они составляют от общего количества усвоенных питательных веществ. (Н%). (1) Действующее начало. (2) Название. (3) Варианты. (4) Колосовые. (5) Кукуруза. (6) В среднем колосовые и кукуруза. Н% - питательные элементы, усвоенные зерном $\times 100$ /питательные вещества, усвоенные зерном и побочным урожаем зерна.

Табл. 7. Годовые колебания удельного усвоения азота, фосфора и калия на фоне внесения калия в расчете на N100 P50. (1) Варианты. (2) Среднее. (3) \pm средние годовые отклонения, %. (4) Колосовые. (5) Кукуруза. а—b—e) Усвоение N, P₂O₅, K₂O в кг/ц зерна.

Табл. 8. Коэффициенты регрессии функции отзывчивости по отдельным годам на уровне внесения K. а) Урожай зерна б) Азот усвоенный зерном и побочным урожаем кг/га. с) Фосфор усвоенный зерном и его побочным урожаем в кг/га. d) Калий усвоенный зерном и его побочным урожаем в кг/га. e—f—g) Удельное усвоение азота, фосфора и калия в кг/ц зерна.

Рис. 1. Эффективная поверхность азота и P₂O₅ (Среднее за восемь лет). Нулевые точки-средние величины урожаев зерна по вариантам.

Рис. 2. Изокванты средних урожаев за восемь лет. Урожай зерна ц/га. 1. На уровне K. 2. На уровне K₀.

Рис. 3. Изменение маргинального влияния азота и P₂O₅ (среднее за восемь лет). А) 1. На уровне K. 2. На уровне K₀. В) В среднем K и K₀.

Рис. 4. Формирование по отдельным годам эффективности (Н_N, Н_P) внесения азотных и фосфорных минеральных удобрений в стационарных опытах (Δ зерно кг/ Δ азот кг или Δ P₂O₅ кг/и оцениваемые максимальные дозы внесения действующих начал) N_{МАКС}, P_{МАКС}/кг/га. Условные обозначения: 1. Средний эффект. 2. Маргинальный эффект. 3. Максимум доз азота то есть P₂O₅.

Рис. 5. Процентное усвоение азотных и фосфорных минеральных удобрений (усвоенный азот в кг $\times 100$ /внесенный азот в кг или усвоенный P₂O₅ $\times 100$ внесенный P₂O₅ в кг), а также данные, относящиеся к максимальному усвоению питательных веществ на уровне K. Обозначения: 1. Среднее. 2. Маргинальное. 3. Максимальные дозы.