

Kukorica P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán

A talajok összes foszfortartalma 0,05 és 0,12 % között változik (GYÖRI, 1984). A foszfor esszenciális makrotápelem a növények, az állatok, ill. az ember számára. Más növényi tápelemekkel összehasonlítva a talajban levő foszfor oldékonysága kicsi (JÁSZBERÉNYI et al., 1994; JÁSZBERÉNYI & LOCH, 2001). A szántóföldi növények az első évben a műtrágyával adott foszfornak csupán mintegy 5–10 %-át veszik fel (GREENWOOD et al., 1980). Gyakran a növényi P-felvétel 90 %-a a talajban levő ún. „reziduális” foszforból származik (JOHNSTON et al., 1986). A növények P-szükségletének kielégítéséhez a talajoknak nagy P-készlettel kell rendelkezniük. Más oldalról, a talajok kritikus (maximálisan megengedhető) könnyen oldható P-koncentrációját is meg kell határozni a talajokból a felszíni, ill. felszín alatti vizekbe jutó P-mennyiség minimálisra csökkentése céljából (KAMPRATH & WATSON, 1980; SIBBESSEN & SHARPLEY, 1997; NÉMETH, 1998).

A hazai növénytaplálás gyakorlatában markáns változások történtek az elmúlt 40 év során. Mint ismeretes, az 1960-as évekig talajzsaroló P-gazdálkodást folytattunk. Az 1970–1980-as években a talajgazdagító P-műtrágya-használat következtében kétszer annyi foszfort juttattunk ki a területekre, mint amennyit a betakarított terméssel kivontunk. Ez a gyakorlat erőteljesen pozitív (+20 – +30 kg/ha) P_2O_5 -mérlegeket eredményezett. Az 1990-es évek elején drasztikusan (1/20-ára, 1/25-ére) csökkent a hazai P-műtrágya-használat, 10–20 kg/ha-os negatív P-mérlegeket eredményezve (KÁDÁR, 1987; CSATHÓ, 1994). Földművelésünk P-igényének becsléséhez kulcsfontosságú a hazai szabadföldi P-trágyázási tartamkísérletek eredményeinek szintézise. Jelen dolgozatban a kukoricakísérletek feldolgozásával erre teszünk kísérletet. A hazai kukorica N-hatás (CSATHÓ, 2003a) és K-hatás (CSATHÓ, 1997) kísérletek adatbázisának értékelése korábbi közleményeinkben tanulmányozható.

Anyag és módszer

A hazai szakirodalomban talált 1960 és 2000 közötti szabadföldi kukorica P-hatás kísérletek adatbázisán kíséreltük meg a P-kontroll- (NK-) parcellák AL- P_2O_5 -tartalma és a relatív termésben (NK/NPK, %) ill. a terméstöbbletekben kifejezett (NPK-NK, t/ha) P-hatások közötti összefüggéseket jellemezni.

Az adatbázisba azok a kísérletek kerültek be, amelyekben standard NK-alaptrágyázás mellett P_0 -szint (P-kontroll), valamint a foszfor növekvő adagjai is szerepeltek kezelésként, és a szerzők közölték a talaj AL-P-tartalmát is. Az AL-P korrekcióhoz szükséges egyéb talajtulajdonságok (K_A , pH_{KCl} , $CaCO_3$) megléte is az adatbázisba

kerülés feltétele volt. Egy-egy kísérleten belül több P-szint esetén a legnagyobb jövedelmet biztosító (a maximális termés 95 %-ához legközelebb álló) P-kezelés termését vettük figyelembe a feldolgozásban (1. táblázat).

Ahol egyes publikációkban a P-kontroll- (NK-) parcellák AL-P-tartalmát nem közölték, illetve – különösen a vizsgált időszak elején – a P₀-kezelések DL-P-tartalmát adták meg a szerzők, közelítő becslést alkalmaztunk. Utóbbi esetben a DL-P-tartalomról AL-P-tartalomra a FÁBRY (1967) által létrehozott szorzófaktorokat alkalmaztuk: 1,5 a mésznélküli savanyú talajokon: 1,3 az 1–5 %, 1,9 az 5–10 %, 3,2 a 10–15 % közötti, és 3,4 a 20 % vagy annál nagyobb CaCO₃-tartalmú talajokon.

Az adatbázis segítségével lehetőség nyílt annak vizsgálatára is, hogy a P-kontroll-parcellák korrigált AL-P-tartalmán túl (SARKADI et al., 1987, CSATHÓ, 2002) a talajok fizikai félesége, pH és mészállapota, a szántóföldi termőhely (BUZÁS et al., 1979), ill. a talaj P-ellátottsága (CSATHÓ et al., 1998a,b, CSATHÓ, 2002) hogyan befolyásolja a kukorica P-hatásokat, az eltérő talajok P-szolgáltatását. Az itt ismertetett kísérletek területén a kísérletek beállítása előtti időszakban ugyanis P-műtrágyázás vagy egyáltalán nem vagy csak minimális volt. Ez alól kivételt egyes R/S kísérletek (BUZÁS et al., 1982) jelenthettek.

Az AL-P-tartalmakat az adatbázisban szereplő kísérletekben EGNÉR és munkatársai (1960) módszerével határozták meg. A fizikai féleségek Arany-féle kötöttségi értéke alapján történő besorolását STEFANOVITS és munkatársai (1999), a szántóföldi termőhelyi besorolást BUZÁS és munkatársai (1979) szerint végeztük (lásd CSATHÓ, 2003a).

A feldolgozás során 155 tartamkísérletben 433 kukorica P-hatás kísérleti év adatait gyűjtöttük össze. A szakirodalomban talált, 1960 és 2000 között publikált hazai kukorica P-hatás kísérletek irodalmi forrásait, fontosabb paramétereit az 1. táblázatban közöljük.

Az irodalomban talált kísérletek nagy része 4–8 vagy több éves tartamkísérlet volt. Az évjárat-hatások csökkentése érdekében feldolgozásunkban a P-hatásokat a tartamkísérletek 1–10. évének átlagában szerepeltetjük egy-egy kísérleten belül. Az „évjárat” nagyobb t/ha-ban kifejezett különbségeket hoz létre egy-egy termesztett növény átlagtermései között, mint egy adott éven belül az eltérő trágyázási szintek (NÉMETH, 1982; CSATHÓ et al., 1991; BERZSENYI, 1993; NAGY, 1995, NAGY & HUZSVAI, 1995; ÁRENDÁS et al., 2000). A rendelkezésre álló csapadék a kapás kultúrákban gyakran, a kalászosok esetében inkább csak az aszályos években nem fedezi a növények vízigényét Magyarországon (RUZSÁNYI, 1974; ANTAL, 1986; SZÁSZ, 1987).

A kísérletek 10. éve utáni eredmények azért nem szerepelnek feldolgozásunkban, mivel a P-kontroll- (NK-) parcellák elszegényedése, valamint a foszfort kapott kezelésekben a P-akkumuláció miatt a 2–4 éves kísérletekkel nem hasonlíthatók össze (HOLLÓ et al., 1991; NÉMETH, 1985; KÁDÁR et al., 1989; KÁDÁR, 1992; DEBRECZENI & DEBRECZENI, 1994; FÜLEKY, 1999).

A feltöltő adagokkal beállított kísérleteket csak a táblázatos értékelésből zártuk ki (hiszen esetükben lehetetlen gazdaságos műtrágyaadagról beszélni), a grafikus értékelésbe viszont bevontuk (KÁDÁR, 1980; LÁSZTITY & KÁDÁR, 1985; LÁSZTITY, 1991).

Nem kerültek értékelésre azok a kísérletek, amelyben 3–4 éven belül istállótrágyázás volt (BUZÁS et al., 1982) mivel ezek a tényezők befolyásolják a talajok természetes P-szolgáltató képességét, a várható P-hatásokat (pl. NÉMETH, 1991; HOLLÓ, 1993; SARKADI, 1993; ÁRENDÁS & CSATHÓ, 1994; RAGASITS & KISMÁNYOKY, 2000; TÓTH & KISMÁNYOKY, 2000). Hasonló sorsra jutottak azok a kísérletek is, amelyekben sza-

badelvirágzású fajták (Aranyözön stb.) szerepeltek (pl. BELÁK et al., 1968 stb.). Az esetek nagy részében ezek 1960 előtt beállított kísérletekben fordultak elő. Az 1960-as évek elejétől legtöbbször a martonvásári és szegedi hibridek, később főképpen a Pioneer hibridek jelezték a P-hatásokat.

Ennek megfelelően, természetesen nem azonos az adatbázisban (1. táblázat) és az értékelésben (3. táblázat) szereplő tartamkísérletek száma. Sok esetben már a forrás cikkben is egyes tényezők (pl. fajták) átlagában közlik az adatokat. Amikor csak lehetséges volt, összevonásokat alkalmaztunk. A feldolgozásba a fentieket figyelembe véve 84 kukoricakísérlet került. A grafikus ábrázolásból a függvényillesztés során 5 kukoricakísérletet kizártunk, mivel azok kiugró adatnak bizonyultak.

Azokban az értékelésbe bevont kísérletekben, ahol a P-kontroll- (NK-) kezelés termése nagyobb volt, mint a maximális termés 95 %-át adó NPK-kezelésé, a P-kontroll termését tekintettük gazdaságos termésszintnek. Ebből következően ezekben a kísérletekben a gazdaságos terméshez kapcsolódó P-adagot 0 kg/ha-nak, a relatív termést (100 NK/NPK, %) 100 %-nak és a terméstöbbletet (NPK-NK, t/ha) 0,00 t/ha-nak tekintettük. Hasonlóan jártunk el, amennyiben a P-kontroll termése elérte vagy meghaladta a kiválasztott NPK-kezelés 95 %-át. A grafikus ábrázolásban csak ott alkalmaztunk korrekciót, ahol a P-kontroll- (NK-) kezelés termése meghaladta az NPK-kezelését (1–3. ábra).

Hazánkban az 1960-as évek elejétől talajkivonószerként a 0,1 M ammónium-laktátot és 0,4 M ecetsavat alkalmazó AL-módszer a hivatalos P-teszt (EGNER et al., 1960). A módszer erősen talajtulajdonság függő, a talajok kémhatása, ill. mészállapota erősen befolyásolja értékét (SARKADI, 1975). Ennek kiküszöbölésére dolgozták ki SARKADI és munkatársai (1987) az AL-korrekciós modellt. A modell lényege, hogy nagyszámú magyarországi talajjal beállított Neubauer rozs csíranövény kísérlettel kalibrálták és súlyozták a talaj kötöttségének, pH-jának és mésztartalmának szerepét az AL-P-tartalmakra gyakorolt hatásuk szerint. Az így kapott konstansok segítségével az AL-P-tartalmakat egy standard talajtulajdonság-sorra transzformálták át (korrigált AL-P), kiküszöbölve az eltérő kötöttség, pH és mésztartalom torzító hatását. A korrigált AL-P-értékek sokkal jobb összefüggést mutattak a rozs csíranövény által felvett P-mennyiséggel, mint az eredeti AL-P-értékek. A 145 szabadföldi őszi búza szabadföldi P-hatás kísérlet adatbázisán az AL-P korrekciót első közelítésben SARKADI és munkatársai (1987) modelljével végeztük el (CSATHÓ, 2002). A SARKADI és munkatársai (1987) féle modell képletéből kiindulva, az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi őszi búza P-hatás kísérlet adatbázisán a „D” változatra (pH_{KCl} : 7,4; $CaCO_3$: 5,0 %; K_A : 37 konverziós sor) történő optimalizálás alapján korrigált AL-P-tartalmak és a kukorica P-hatások kapcsolatát is ismertettük (CSATHÓ, 2002).

Az optimalizálásokkal előállított új modellek segítségével új AL-P-ellátottsági határértékeket állapítottunk meg (CSATHÓ, 2002). Az új AL-P-ellátottsági határértékek kialakítása során a pH-t 3,5–5,5 és 5,6–6,5 csoportokra, a mésztartalmat 0,1–1 %; 1,1–5 %; 5,1–10 %; 10,1–20 % és >20 % csoportokra, az Arany-féle kötöttséget ≤ 30 (homok); 31–36 (homokos vályog); 37–42 (vályog); 43–50 (agyagos vályog) és ≥ 51 (agyag) csoportokra osztottuk. Ezt a felosztást az AL-P-ellátottsági határértékek megadásához több szaktanácsadási rendszer is alkalmazza (VÁRALLYAY et al., 1992; CSATHÓ et al., 1998a,b).

Az adatbázison elvégzett optimalizálásokban Fodor Nándor, az adatfeldolgozásban és a képi megjelenítésben Radimsky László nyújtottak segítségét.

I. táblázat
A szakirodalomban talált hazai kukorica P-trágyázási tartamkísérletek irodalmi forrásai, a talajok fizikai félesége szerinti csoportosításban

Kísérleti hely	Talajtípus	Irodalmi forrás
Kecskemét–Borbás Kecskemét–Szarkás Kenyeri Kisvárd Mariettapuszta Mérk Nagykálló Nyíregyháza Órbottyán Óreglak ?	lepelhomok lepelhomok agyagbemosódásos barna erdőtalaj kovárványos barna erdőtalaj rozsdabarna erdőtalaj humuszos homok barna erdőtalaj kovárványos barna erdőtalaj humuszos homok barna erdőtalaj homoktalaj	<i>Homoktalajok</i> BAUER, 1970 (I; 2); CSERNI, 1982 (I; 9); CSERNI, 1983a,b (III; 18) HAMMER, 1977 (I; 4) BUZÁS et al., 1982 (II; 2) BUZÁS et al., 1982 (II; 2) GYÓRI et al., 1985 (I; 1) BUZÁS et al., 1982 (II; 2) LATKOVICSNÉ, 1967, 1979 (I; 8); BUZÁS et al., 1982 (II; 2); LÁSZITTY, 1991 (II; 8) LATKOVICSNÉ, 1967 (I; 4) PÉNTÉK & SZITA, 1986 (I; 2)
Agárd Kecskemét Keszthely	mészlepedékes csernozjom meszes csernozjom Ramann-féle barna erdőtalaj	<i>Homokos vályogtalajok</i> DENKE, 1974 (I; 2) PROHÁSZKA & GURABI, 1974 (I; 1) BELÁK et al., 1968 (I; 10); BUZÁS et al., 1982 (II; 2); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18); LÁNG, 1978; LÁNG & NÉMETH, 1977 (II; 8) BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Rinyatamási	agyagbemosódásos barna erdőtalaj	<i>Vályogtalajok</i> BUZÁS et al., 1982 (II; 2); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18) BUZÁS et al., 1982 (II; 2); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18); ÁRENDÁS & SARKADI, 1995 (I; 6); ÁRENDÁS et al., 1998 (I; 6); KRÁMER, 1966 (II; 6); BUZÁS et al., 1982 (II; 2); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18) BUZÁS et al., 1982 (II; 2); CSATHÓ, 1986 (II; 4); CSATHÓ, 1992; CSATHÓ et al., 1994 (II; 12); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18); KÁDÁR, 1974 (II; 4); KÁDÁR, 1980, 1992, 1993, KÁDÁR et al., 2000 (II; 2); KÁDÁR, 1991, 2000 (I; 3); LÁSZITTY & CSATHÓ, 1994, 1995, CSATHÓ & LÁSZITTY, 1994–1995 (III; 18); LATKOVICSNÉ, 1967, 1979 (I; 8); SARKADI & BALLÁNÉ, 1990 (III; 6) DENKE, 1974 (I; 2) BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Bicsérd Iregszemcse Martonvásár Mosonmagyaróvár Nagyhőrcsók	csernozjom barna erdőtalaj mészlepedékes csernozjom erdőmaradványos csernozjom vályogos Duna öntéstalaj mészlepedékes csernozjom	
Nagykanizsa Nagyszentjános	agyagbemosódásos barna erdőtalaj réti csernozjom	

1. táblázat folytatása

Kísérleti hely	Talajtípus	Irodalmi forrás
Pesthidegkút	barna erdőtalaj	<i>Vályogtalajok folytatása</i>
Oroszháza	rétü csernozjom	LATKOVICSNÉ & KRÁMER, 1968 (I; 4)
Szeged-Óthalom	mélyben sós csernozjom	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Tápiószéle	meszes réti csernozjom	DENKE, 1974 (I; 2)
		BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Abony	rétü csernozjom	<i>Agyagos vályogtalajok</i>
Agyagosszergény	lápós réti talaj	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Fülpöszállás	meszes réti talaj	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Hajdúszoboszló	rétü csernozjom	HARMATI, 1991, 1995 (II; 8),
Hosszúhát	rétü talaj	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Karácsond	csernozjom barna erdőtalaj	DENKE, 1974 (I; 2)
Karcag	rétü csernozjom	MAUL, 1967 (II; 4)
Kompolt	csernozjom barna erdőtalaj	BLASKÓ & ZSIGRAI, 1994 (II; 18); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18)
		BUZÁS et al., 1982 (II; 2); CSATHÓ & MAGYAR, 1999, MAGYAR & CSATHÓ, 2000 (I; 1);
		DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18); HOLLÓ et al., 1991 (VI; 13); KRISZTIÁN &
		HOLLÓ, 1992 (I; 4); KRISZTIÁN et al., 1988 (I; 4); PEKÁRY et al., 1974 (V; 4)
Mezőhegyes	rétü csernozjom	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Mezőnagymihály	rétü csernozjom	LATKOVICSNÉ, 1967, 1979 (I; 8);
Murony	rétü csernozjom	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Nagyhegyes	mélyben karbonátos csernozjom	DENKE, 1974 (I; 2)
Oroszháza	rétü csernozjom	DENKE, 1974 (I; 2); MIKLAYNÉ, 1986 (II; 12)
Putnok	agyagbemosódásos barna erdőtalaj	BUZÁS et al., 1982 (II; 2); DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18); KADLICSKÓ &
Szentgyörgyvölgy	pszευdoglejtes barna erdőtalaj	KRISZTIÁN, 1977 (I; 4); PEKÁRY, 1969 (II; 4); PEKÁRY et al., 1974 (VI; 5)
Tiszaeszlár	szikes talaj	BUZÁS et al., 1982 (II; 2); LANG & NÉMETH, 1979 (I; 3)
		BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Gyöngyösvisonta	meddőhányó talaja	<i>Agyagtalajok</i>
Hajtóbüszörmény	rétü talaj	LÁSZITTY & KÁDÁR, 1985 (I; 2)
		DEBRECZENI & DVORACSEK, 1994 (III; 18); BUZÁS et al., 1982 (II; 2); SÁRVÁRI & GYÖRI,
		1982 (II; 4)
Szarvas	rétü öntéstalaj	BUZÁS et al., 1982 (II; 2)
Szarvas	szolonyeces réti talaj	DENKE, 1974 (I; 2)

(): zárójelben római számmal a tartamkísérletek száma; arab számmal: hány évben szerepelt kukorica a tartamkísérleten belül

Kísérleti eredmények és értékelésük

A talaj AL-P-, ill. korrigált AL-P-tartalma, és a relatív termésben, ill. terméstöbbletben kifejezett P-hatások közötti függvénykapcsolat leírása kukoricánál

A hazai szabadföldi kukorica P-hatás kísérletek adatbázisán az eredeti AL-P-tartalmak és a relatív termések, ill. terméstöbbletek kapcsolatát az 1–3. ábrák jelzik. Az 1.A. ábrán jól látható, hogy az AL-P korrekció elvégzése előtt a savanyú és a meszes talajon beállított kukoricakísérletek két külön csoportot alkotnak: a meszes talajokon beállított kísérletek „fáziskéséssel” követték a savanyú talajokon szereplőket, korábbi közleményekhez hasonlóan jelezve az AL-módszernek a talaj mészállapotától való függőségét (SARKADI, 1975; FÜLEKY, 1976a,b; THAMMNÉ, 1980). A savanyú talajokon a „jó” P-ellátottság alacsonyabb AL-P-értékeknél jelentkezik, mint a meszes talajokon (1.A. ábra).

Adatbázisunkban az eredeti AL-P-tartalom és a relatív termések kapcsolatában a „c” hatótényező a mérsékelt P-igényű kukoricában 0,0530 volt. Az illeszkedés közepes szorosságú volt ($r = 0,53$). A relatív termések (100 PK/NPK, %) kukoricában 80–100 % között alakultak, jelezve a kukorica kisebb P-trágya reakcióját (1.A. ábra).

A foszfor hatására a kukoricaszemtermés-többletek 0,0 és 1,5 t/ha között változtak. A növekvő AL-P-tartalmakkal a P-hatások mérséklődtek. Savanyú talajokon 70, meszes talajokon 120 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom felett a kukorica már nem mutatott P-hatásokat (1.B. ábra).

A hazai kukorica P-hatás kísérletek adatbázisán a SARKADI és munkatársai- (1987) féle AL-P korrekció elvégzése után a meszes és a mésznélküli talajcsoportok korábbi elkülönültsége megszűnt. A P-kontroll- (NK-) parcellák korrigált AL-P-tartalma és a relatív termésben ($r = 0,53$ -ról $0,58$ -ra), ill. terméstöbbletben ($r = 0,67$ -ről $0,68$ -ra) kifejezett P-hatások közötti kapcsolat szorossága tovább javult (2.A., B. ábra)

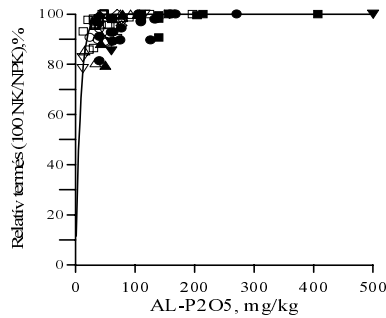
A szabadföldi kísérletek adatbázisán kalibrált, új modellparaméterekkel kapott korrigált AL-P-tartalmak és a relatív termésben ($r = 0,58$ -ról $0,67$ -re), ill. terméstöbbletben ($r = 0,68$) kifejezett P-hatások közötti kapcsolat szorossága a SARKADI és munkatársai- (1987) féle modellhez képest kismértékben tovább javult. A „D” változat szerint konvertált korrigált AL-P-tartalmak és a kukorica relatív termések közötti, BRAY (1944) által módosított Mitscherlich-féle függvény „c” hatótényezője 0,0216-nak adódott (3.A., B. ábra).

Az új AL-P korrekciós modell segítségével a foszforra kevésbé igényes növénycsoportra megállapított, a közepes P-ellátottságot jelző új, az AL-P-tartalmak szerinti határértékeket a 2. táblázatban adjuk meg. Mivel az egyes növények P-trágya-reakciója igen eltérő lehet, mindenképpen indokolt természetű növényinket P-igényes voltuk szerint csoportosítani. A hazai szabadföldi P-trágyázási tartamkísérletek adatbázisában kapott eredmények alapján az első, a P-igényes növények csoportjába sorolhatók a kalászos gabonák (őszi búza, őszi árpa, tavaszi árpa, rozs, triticale, zab stb.), a pillangósok (bab, borsó, lucerna, vörös here stb.) és a gyök gumósok (cukorrépa, takarmányrépa, burgonya stb.). A P-igényes növénycsoportra érvényes új P-ellátottsági határértékeket korábbi közleményünkben ismertettük (CSATHÓ, 2002). A második, a foszforra kevésbé igényes növények csoportjába sorolhatók a füveshere, kukorica, napraforgó, rostlen, silókukorica, szója, szudánifű és az egyéb gyepnövények. Az ezekre a növényekre érvényes AL-P₂O₅-ellátottsági határértékeket tartalmazza a 2. táblázat.

1. A Eredeti AL-P tartalmakkal

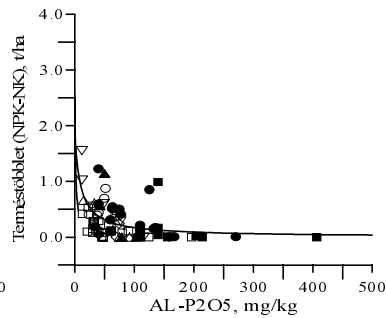
$$Y' = 100(1 - 10^{-cx}); \quad n = 83;$$

$$c = 0,0530; \quad r = 0,53$$

**1. B Eredeti AL-P tartalmakkal**

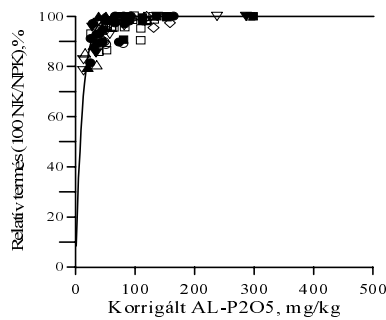
$$Y' = 1/(ax+b); \quad n = 83$$

$$a = 0,053; \quad b = 0,57; \quad r = 0,67$$

**2. A Sarkadi-féle korrekcióval**

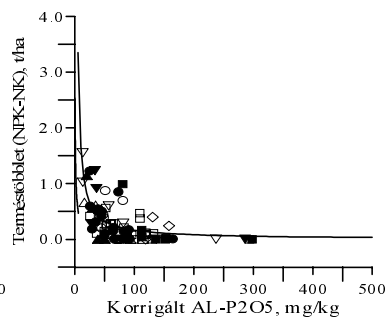
$$Y' = 100(1 - 10^{-cx}); \quad n = 83;$$

$$c = 0,0382; \quad r = 0,58$$

**2. B Sarkadi-féle korrekcióval**

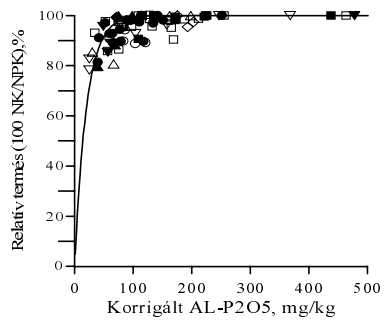
$$Y' = 1/(ax+b); \quad n = 83$$

$$a = 0,061; \quad b = 0,57; \quad r = 0,67$$

**3. A „D” változat szerinti korrekcióval**

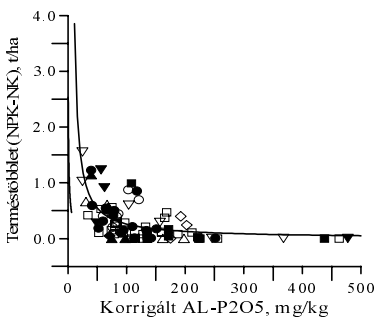
$$Y' = 100(1 - 10^{-cx}); \quad n = 83;$$

$$c = 0,0216; \quad r = 0,67$$

**3. B „D” változat szerinti korrekcióval**

$$Y' = 1/(ax+b); \quad n = 83$$

$$a = 0,040; \quad b = -0,19; \quad r = 0,68$$



△ homok ▽ h. vályog ○ vályog □ a. vályog ◇ agyag

1–3. ábra

Összefüggés a P-kontroll-parcellák AL-P-, ill. eltérő módon optimalizált korrigált AL-P-tartalmai és a kukorica P-hatások között a hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán, 1960–2000
Megjegyzés: savanyú talajok: üres jelek; meszes talajok: tele jelek

2. táblázat

Foszforra kevésbé igényes növények részére a közepes P-ellátottságot jelző AL-P határértékek a talajok kémhatása, mészállapota és kötöttsége függvényében a SARKADI és munkatársai- (1987) féle AL-P korrekciós modellnek a hazai szabadföldi őszi búza P-tágyázási kísérletek adatbázisán való optimalizálása után (CSATHÓ, 2002)

pH _{KCl}	CaCO ₃ %	Közepes P-ellátottság (AL-P, mg P ₂ O ₅ /kg)				
		Homok	H. vályog	Vályog	A. vályog	Agyag
3,5–5,5	0	39–78	36–73	34–67	31–62	29–58
5,6–6,5	0	40–80	37–74	35–69	32–64	30–60
	0,1–1	59–102	55–91	51–85	48–80	45–75
	1,1–5	81–127	76–118	71–110	66–103	62–96
	5,1–10	93–145	87–136	81–127	76–118	71–110
	10,1–20	106–167	99–156	93–145	87–136	81–127
	20,1–	112–175	104–164	97–153	91–142	85–133

A két táblázat egybevetéséből következik, hogy a P-igényes növényre nézve közepes P-ellátottság a foszforra kevésbé igényes növény részére már jó P-ellátottságot jelent. Ily módon lehetőség nyílik a vetésforgó P-trágyázására, azaz arra, hogy a forgón belül a P-igényes növényekre közepes ellátottság esetén ezek alá a növények alá juttassuk ki a P-trágyát, míg a kevésbé igényes növények részére a korábban kijuttatott P-trágya utóhatása is elegendő foszfort biztosít.

Ez a gyakorlat – amellet, hogy környezetkímélő P-táplálást eredményez – a gazdálkodók részére biztonságosan nagy termésszintek elérését is lehetővé teszi és ajánlható mindazokon a területeken, ahol vízvédelmi szempontokból a P-használat ennél komolyabb korlátozása nem indokolt.

Átlagos P-hatások kukoricában a korrigált AL-P-tartalom, a fizikai féleség, a pH és mészállapot, a szántóföldi termőhely és a P-ellátottság függvényében

A talajok „D” változat alapján korrigált AL-P-tartalma (CSATHÓ, 2002) szerinti csoportosításban az adatbázisban szereplő 84 kukoricakísérlet 40 %-ában 90 mg/kg alatti, 30 %-ában 91–150 mg/kg közötti és szintén 30 %-ában 150 mg/kg feletti volt a P-kontroll- (NK-) parcellák korrigált AL-P-tartalma (3. táblázat). Ebben a csoportosításban az AL-P korrekciót a $K_A = 37$; CaCO₃ = 5 %; pH_{KCl} = 7,4 paraméterekre végeztük el. Az Arany-féle kötöttség (K_A) általában együtt nőtt az AL-P-tartalmakkal. A legalacsonyabb korrigált AL-P-tartalmakat a mésznélküli savanyú talajokon kaptuk. A P-ellátottság is együtt növekedett az AL-P-tartalmakkal. Ezzel ellentétes tendenciát mutatott a maximális gazdaságos terméshez (a maximális termés mintegy 95 %-ához) szükséges P-adag mennyisége: a < 30 mg/kg kategóriában szükséges 60 kg/ha-ról 1/4-ére (mintegy 15 kg/ha-ra) csökkent a 91–120 mg/kg közötti korrigált AL-P-tartalom mellett. 120 mg/kg felett már P-trágyázás nélkül is teljes termést lehetett elérni. A P-kontroll- (NK-) parcellák szemtermése általában együtt nőtt a javuló P-kínálattal (4,8 t/ha-ról 7,2 t/ha-ra). P-trágyázás nélkül 82 %-os termést lehetett elérni a 30 mg/kg alatti kategóriában, míg 97–99 %-os termést a 90 mg P₂O₅/kg feletti korrigált AL-P-értékeknél. A terméstöbbletekben kifejezett kukorica P-hatások a 90 mg/kg alatti tartomány-

3. táblázat

Átlagos P-hatások Magyarországon, szabadföldi kukoricakísérletekben a talajok új korrigált AL-P₂O₅-tartalma, kötöttsége, pH-ja és mészállapota, szántóföldi termőhelye, valamint P-ellátottsága szerinti csoportosításban, 1960–2000 (CSATHÓ, 2002)

Tulajdonság	Kísérletek száma, n	K _A	CaCO ₃ %	pH (KCl)	AL- P ₂ O ₅ , mg/kg	Korr. AL-P ₂ O ₅ , mg/kg*	P-ellátottság**	Adott P, kg/ha P ₂ O ₅ ***	Szem, t/ha, P-kontroll (NK)	Relatív termés, % (NK/NPK)	Terméstöbblet, t/ha (NPK-NK)	
<i>A talajok korrigált AL-P₂O₅-tartalma szerinti csoportosításban, mg/kg</i>												
≤ 30	3	33	0,0	6,2	13	27	1,3	59	4,78	82	1,08	
31–60	11	39	3,0	6,4	37	49	1,7	45	5,09	91	0,53	
61–90	20	39	1,1	6,2	45	76	2,4	37	5,28	92	0,33	
91–120	15	41	6,5	6,5	83	106	3,0	13	6,78	97	0,22	
121–150	9	43	2,6	6,0	90	132	3,4	4	6,60	99	0,08	
≥ 151	26	43	1,7	6,2	145	229	4,5	8	7,25	99	0,07	
Átlag	84	41	2,6	6,2	85	130	3,1	22	6,26	95	0,25	
<i>A talajok fizikai félesége szerinti csoportosításban</i>												
Homok	10	27	1,6	6,4	63	96	2,3	46	4,23	87	0,49	
H. vályog	10	35	1,9	6,5	108	157	3,1	28	6,89	93	0,53	
Vályog	23	39	5,5	6,9	87	99	2,8	27	6,24	95	0,31	
A. vályog	37	46	1,6	5,8	86	147	3,5	11	6,50	98	0,10	
Agyag	4	55	0,2	5,8	65	160	3,5	15	7,60	99	0,10	
Átlag	84	41	2,6	6,2	85	130	3,1	22	6,26	95	0,25	
<i>A talajok pH-ja és mészállapota szerinti csoportosításban</i>												
pH _{KCl}	CaCO ₃ %											
3,5–5,5	0	26	42	0,0	4,9	49	119	3,0	21	5,55	96	0,19
5,6–6,5	0	17	45	0,0	6,0	62	142	3,2	16	6,35	97	0,17
≥ 6,6	0,1–1	9	35	0,2	7,2	60	108	2,4	54	5,22	88	0,54
≥ 6,6	1,1–5	19	39	3,5	7,2	96	110	3,1	14	6,71	97	0,17
≥ 6,6	5,1–10	9	40	6,7	7,3	208	208	4,0	24	7,39	93	0,49
≥ 6,6	10,1–20	1	38	12,2	7,2	168	142	4,0	0	8,64	100	0,00
≥ 6,6	≥ 20,1	3	44	25,9	7,7	144	106	3,3	13	7,89	97	0,33
Átlag		84	41	2,6	6,2	85	130	3,1	22	6,26	95	0,25
<i>A termőhelyi kategória szerinti csoportosításban</i>												
I. Csernozjom talajok	50	42	3,5	6,4	98	128	3,2	17	6,74	97	0,19	
II. Barna erdőtalajok	19	38	0,0	5,5	58	133	3,0	27	5,29	93	0,37	
III. Kötött réti talajok	7	51	4,5	6,2	90	146	3,4	16	7,19	98	0,20	
IV. Laza talajok	7	26	2,3	6,8	72	101	2,3	53	4,33	86	0,52	
V. Szikes talajok	1	48	0,0	8,6	124	255	5,0	0	7,56	100	0,00	
Átlag	84	41	2,6	6,2	85	130	3,1	22	6,26	95	0,25	

3. táblázat folytatása

Tulajdonság	Kísérletek száma, n	K _A	CaCO ₃ %	pH (KCl)	AL- P ₂ O ₅ , mg/kg	Korr. AL-P ₂ O ₅ , mg/kg*	P-ellátottság**	Adott P, kg/ha P ₂ O ₅ ***	Szem, t/ha, P-kontroll (NK)	Relatív termés, % (NK/NPK)	Terméstöbblet, t/ha (NPK-NK)
<i>A P-ellátottság szerinti csoportosításban</i>											
Igen gyenge	6	33	2,7	7,0	33	41	1,0	55	5,11	85	0,92
Gyenge	21	39	1,5	6,2	40	64	2,0	39	5,00	91	0,43
Közepes	30	41	2,7	5,9	67	111	3,0	18	6,06	97	0,19
Jó	17	44	3,4	6,3	104	166	4,0	9	7,76	99	0,07
Igen jó	4	44	1,8	7,2	150	237	5,0	0	5,99	100	0,00
Túlzott	6	42	4,5	6,6	291	371	6,0	0	8,74	100	0,00
Átlag	84	41	2,6	6,2	85	130	3,1	22	6,26	95	0,25

Megjegyzés: * a „D”-változattal történő optimalizálás szerint (CSATHÓ, 2002); ** az F+I változattal történő optimalizálás szerint: 1 = igen gyenge; 2 = gyenge; 3 = közepes; 4 = jó; 5 = igen jó; 6 = túlzott (CSATHÓ, 2002); *** A maximális gazdaságos terméshez (a max. termés ~ 95 %-a) szükséges P₂O₅

ban gyakorlatilag 30 mg/kg értékenként feleződtek: 1,1 t/ha volt 30 mg/kg alatt, 0,5 t/ha 31–60 mg/kg között, míg 0,3 t/ha 61–90 mg P₂O₅/kg korigált AL-P-tartalom között. 120 mg/kg felett gyakorlatilag megszűntek a kukorica P-hatások (3. táblázat).

A talajok fizikai félesége szerinti csoportosításban a legnépesebb csoportnak az agyagos vályogtalajok bizonyultak: a kísérletek csaknem fele ilyen talajokon került beállításra. Szintén jelentős, mintegy 25 %-os a vályogtalajokon végzett kísérletek részaránya. Ezt a két fizikai féleség csoportot tekinthetjük a legkedvezőbb kukorica talajoknak (CSERHÁTI, 1900; BERZSENYI-JANOSITS et al., 1956; GYÖRFFY et al., 1965; LÁNG, 1976; MENYHÉRT, 1985; BOCZ et al., 1992; SZIEBERTH & SZÉLL, 1998; ANTAL, 2000) (3. táblázat). Az Arany-féle kötöttségi értékek természetesen együtt növekednek az agyagtartalommal. Míg a CaCO₃-tartalmak, a pH_{KCl} és az AL-P-tartalmak nem mutattak egyértelmű változást a kötöttségi szám növekedésével, addig a korigált AL-P-tartalmak és főképpen a P-ellátottsági értékszám általában együtt növekedtek az agyagtartalommal. Ez a tendencia befolyással bírt a maximális gazdaságos terméshez szükséges P-mennyiségre, a P-kontroll-parcellák termésére és a relatív termésben, ill. terméstöbbletben kifejezett P-hatások nagyságára is. A gazdaságos termésszinthez szükséges P-adag a kis természetes tápanyagtökéjű homoktalajokon mintegy 50 kg/ha, a homokos vályog- és vályogtalajokon 30 kg/ha, míg az agyagos vályog-, ill. agyagtalajokon 10–15 kg P₂O₅/ha volt. A P-kontroll termése 4 t/ha körüli volt a kukoricára kedvezőtlen homoktalajokon, 6–7 t/ha közötti a homokos vályogtól az agyagos vályogig terjedő csoportokban, míg 7 t/ha feletti az agyagtalajokon. P-trágyázás nélkül 87 %-os termést lehetett elérni a homoktalajokon, míg 98–99 %-os termést az agyagos

vályog- és az agyagtalajokon. Terméstöbbletben kifejezve azonos (0,5 t/ha-os) P-hatásokat kaptunk a homok- és a homokos vályogtalajokon, 0,3 t/ha-t a vályogtalajokon, míg az agyagos vályog- és agyagtalajokon gyakorlatilag nem volt mérhető P-hatás (0,1–0,1 t/ha terméstöbblet) (3. táblázat).

A talajok pH és CaCO_3 -tartalom szerinti csoportosításában a kísérletek fele savanyú, másik fele meszes talajokon került beállításra, többé-kevésbé követve a hazai talajok pH és mésztartalom szerinti megoszlását (3. táblázat). Az AL-P-tartalmak általában együtt növekedtek a pH-val és a mésztartalommal, igazolva, hogy ez az erősen savas kioldószert használó módszer erősen pH és mésztartalom függő: a meszes talajokon a növények számára csak lassan felvehetővé váló Ca-foszfátokat is oldatba viszi (SARKADI, 1975; FÜLEKY, 1976a,b; THAMMNÉ, 1980; CSATHÓ, 2002). A talajok korrigált AL-P-tartalma már sokkal kiegyenlítettebb képet mutatott, mivel valamennyi talajt azonos tulajdonságsorra ($K_A = 37$; $\text{CaCO}_3 = 5\%$; $\text{pH}_{\text{KCl}} = 7,4$) konvertáltuk az AL-P korrekciós modell segítségével (SARKADI et al., 1987; CSATHÓ, 2002). A legalacsonyabb P-ellátottságot – és legnagyobb P-hatásokat – a 0,1–1,0 % mésztartalmú csoportban kaptuk. Itt volt a legnagyobb a gazdaságos terméshez szükséges P-adag is (3. táblázat).

A szántóföldi termőhely szerinti csoportosításból kitűnik, hogy a kísérletek 60 %-a a legkedvezőbb I. (csernozjom talajok) termőhelyen került beállításra (3. táblázat). Szintén jelentős, mintegy 25 %-os a II. (barna erdőtalajok) termőhelyen beállított kísérletek száma. A K_A vonatkozásában a két szélső értéket természetesen a IV. (laza talajok) és a III. (kötött réti talajok) termőhelyek képviselték. Mész nélküliek voltak a II. (barna erdőtalajok) és az V. (szikes talajok) termőhelyen beállított kísérletek talajai. Mind az AL-P-, mind a korrigált AL-P-tartalmak nagy szórást mutattak a termőhely függvényében. A legalacsonyabb P-ellátottságot a IV. és II. termőhelyek mutatták. Értelemszerűen ezeken a talajokon volt legalacsonyabb a P-kontroll- (NK-) parcellák szemtermése és legnagyobb a gazdaságos terméshez szükséges P-adag, és a relatív termésben, ill. a terméstöbbletben kifejezett P-hatás (3. táblázat).

Az *F+I változat szerinti P-ellátottságon* alapuló csoportosításban – melyet környezetkímélő trágyázási szaktanácsadási rendszerünkben is alkalmazunk (CSATHÓ et al., 1998a,b; CSATHÓ, 2002) – a hazai kukorica P-hatás kísérletek mintegy 2/3-a szerepelt az igen gyenge, gyenge, ill. közepes P-ellátottságú talajokon (3. táblázat). A javuló P-ellátottsággal általában együtt nőtt a talaj kötöttsége. A pH és a mésztartalom nem mutattak összefüggést az ellátottsággal. Természetesen mind az AL-P-, mind a korrigált AL-P-tartalmak együtt növekedtek a javuló P-ellátottsággal. A gazdaságos terméshez szükséges P-adag mintegy 60 kg P_2O_5 /ha volt az igen gyenge, 40 kg/ha a gyenge, és 20 kg/ha a közepes P-ellátottságon, a P-kontroll- (NK-) parcellák szemtermése – egy-egy kivételtől eltekintve – növekvő tendenciát mutatott. P-trágyázás nélkül átlagosan 85 %-os termést kaptunk az igen gyenge, 91 %-ost a gyenge, és 97 %-ost a közepes P-ellátottságú kísérletekben. A terméstöbbletek gyakorlatilag megfeleltek az igen gyengétől a közepesig terjedő P-ellátottságokon (0,9–0,4–0,2 t többlet/ha). A jó P-ellátottságú területeken gyakorlatilag már nem mértünk P-hatásokat (99 %-os termés P-trágyázás nélkül, 0,07 t/ha terméstöbblet). Mint ismeretes, a kukoricát a foszforra kevésbé igényes növénycsoportba soroltuk, melynek P-ellátottsági határértékei (2. táblázat) különböznek a P-igényes csoporttól (őszi búza, lucerna). A P-igényes növényekre közepes P-ellátottság a foszforra kevésbé igényes kukorica esetén már jó ellátottságot takar. Erre utal a magas átlagos P-ellátottsági értékszám is (2. és 3. táblázat).

A 84 hazai szabadföldi kukorica P-hatás kísérlet átlagában az Arany-féle kötöttség 41, a CaCO_3 -tartalom 2,6 %, a pH_{KCl} értéke 6,2, az eredeti AL- P_2O_5 -tartalom 85 mg/kg, a korrigált AL- P_2O_5 -tartalom 130 mg/kg, a P-ellátottsági értékszám 3,1, a gazdaságos terméshez szükséges P_2O_5 -adag 22 kg/ha, a P-kontroll- (NK-) parcellák szemtermése 6,26 t/ha, a P-trágyázás nélküli termés 95 %-os, a terméstöbbletben kifejezett P-hatás 0,25 t/ha igen szerény volt, jelezve a kukorica kevésbé P-igényes voltát, gyenge P-trágya reakcióját (3. táblázat).

Következtetések

A hazai szabadföldi kukorica P-trágyázási tartamkísérletek eredményeinek szintézi- se alapján megállapíthatjuk, hogy a jelenlegi, a szántóterületre kijuttatott átlagosan mintegy 10 kg P_2O_5 /ha műtrágyahasználattal még a foszforra kevésbé igényes kukorica részére sem biztosítjuk a gazdaságos terméshez szükséges P-mennyiséget, figyelembe véve a hazai igen alacsony állatsűrűségből fakadó szerény szerves-trágya-kijuttatást is. A hazai szabadföldi őszi búza (CSATHÓ, 2003b), kukorica és lucerna (CSATHÓ, 2003c) P-hatás kísérletek adatbázisán nyert összefüggéseket hasznosító új, költség- és környe- zetkímélő trágyázási szaktanácsadási rendszerünk alkalmazásával természetett növé- nyeink gazdaságos és egyúttal biztonságos P-táplálása, a maximális gazdaságos ter- méshez szükséges P-adagok becslése biztosítható (CSATHÓ et al., 1998a, b).

Összefoglalás

Az 1960 és 2000 között a szakirodalomban talált 84 hazai szabadföldi kukorica P- hatás kísérlet adatbázisán függvénykapcsolatot mutattunk ki a P-kontroll- (NK-) par- cellák talajának AL-P-, valamint korrigált AL-P-tartalma és a relatív termésben, ill. terméstöbbletben kifejezett P-hatások között. Az adatbázis lehetőséget adott annak vizsgálatára is, hogy a P-kontroll- (NK-) parcellák korrigált AL-P-tartalmán túl (SARKADI et al., 1987; CSATHÓ, 2002) a talajok fizikai félesége, pH és mészállapota, a szántóföldi termőhely (BUZÁS et al., 1979), ill. a talaj P-ellátottsága (CSATHÓ et al., 1998a,b; CSATHÓ, 2002) hogyan befolyásolják a kukorica P-hatásokat, az eltérő talajok P-szolgáltatását.

A hazai P-hatás kísérletek adatbázisán a talaj AL-P-, valamint korrigált AL-P- tartalma és a relatív termésben (NK/NPK, %), kifejezett P-hatások összefüggését az $Y' = 100(1 - 10^{-cx})$ egyenlettel írtuk le. A képletben Y' a relatív termés az „x” AL-P- tartalmú talajon, a „c” konstans érték (Mitscherlich-féle „hatótényező”). BRAY (1944) – Mitscherlich-hez hasonlóan – megállapítja, hogy az eltérő trágyareakciójú (azonos talajon eltérő tápelem-hatásokat mutató) növényekben a „c” hatótényező értéke más és más, nem általánosítható. A hazai kukorica P-hatás kísérletek adatbázisán a „c”, BRAY (1944) által módosított Mitscherlich-féle hatótényező a mérsékelt P-igényű kukori- cában 0,0216 volt.

A foszfor hatására a kukoricaszemtermés-többletek 0,0–1,5 t/ha mennyiségek kö- zött változtak. A növekvő AL-P-tartalmakkal a P-hatások mérséklődtek. A talaj AL-P-, valamint korrigált AL-P-tartalma és a terméstöbbletben (NPK-NK, t/ha) kifejezett P- hatások összefüggését az $Y' = 1/(ax+b)$ hiperbola függvényvel írtuk le, ahol Y' az „x” AL-P-tartalmú talajon kapott terméstöbblet, „a” és „b” konstansok.

Savanyú talajokon 70, meszes talajokon 120 mg/kg AL-P₂O₅-tartalom felett a kevésbé P-igényes kukorica már nem mutatott P-hatásokat.

A kukorica P-hatás kísérletek adatbázisán úgy találtuk, hogy a SARKADI és munkatársai- (1987) féle AL-P korrekciós modell javította az eredeti AL-P-tartalmak, ill. a relatív termésben, valamint terméstöbbletben kifejezett P-hatások közötti összefüggés szorosságát. Mint ismeretes, ez a modell nagyszámú NEUBAUER rozs csíranövény tenyészedény-kísérletre alapozva az eredeti AL-P-értékeket egy megadott talajtulajdonosság-sorra (pH_{KCl}: 6,8; CaCO₃: 0,1 %; K_A: 37) konvertálva javítja az AL-P-tartalom és a P-hatások közötti összefüggések szorosságát. Az őszi búza P-hatás kísérletek adatbázisán végzett korábbi optimalizálás (CSATHÓ, 2002) segítségével, a „D” változat (pH_{KCl}: 7,4; CaCO₃: 5,0 %; K_A: 37 konverziós sor) alapján korrigált AL-P-tartalmak és a P-hatások összefüggésének szorossága kismértékben tovább javult.

A kapott összefüggésekre alapozva a foszforra kevésbé igényes növénycsoportokra új talaj P-ellátottsági határértékeket állapítottunk meg. A fenti összefüggések jól hasznosíthatók a szakirányú agrár-felsőoktatásban, ill. felhasználhatók egy környezetkímélő trágyázási szaktanácsadási rendszer létrehozásában

A hazai kukorica N-hatás (CSATHÓ, 2003a) és K-hatás (CSATHÓ, 1997) kísérletek adatbázisának értékelését korábbi közleményeinkben adtuk közre.

A dolgozat az OTKA (T 30180), az OM (3/024/2001. és 00181/2002. sz. NKFP-) valamint az FVM (34037/2003. sz. K+F) pályázatok támogatásával készült.

Irodalom

- ANTAL E., 1986. Éghajlatváltozás, aszály, mezőgazdaság. MTA előadás. (Kézirat)
- ANTAL J., 2000. Növénytermesztők zsebkönyve. Falugazdász Könyvek. Budapest.
- ÁRENDÁS T. & CSATHÓ P., 1994. Azonos NPK-hatóanyagú szerves- és műtrágyázás hatása a talajtulajdonosságok függvényében. *Agrokémia és Talajtan*. **43**. 399–407.
- ÁRENDÁS T. & SARKADI J., 1995. P-hatások és utóhatások erdőmaradványos csernozjomon. *Növénytermelés*. **44**. 271–281.
- ÁRENDÁS T., SARKADI J. & BÓNIS P., 2000. Műtrágyák hatása az őszi búza méret szerint frakcionált mennyiségére és néhány minőségi jellemzőjére. *Növénytermelés*. **49**. 519–525.
- ÁRENDÁS T., SARKADI J. & MOLNÁR D., 1998: Műtrágyahatások kukorica–őszi búza dikultúrában erdőmaradványos csernozjom talajon. *Növénytermelés*. **47**. 45–57.
- BAUER F., 1970. Foszforműtrágya elhelyezése istállótrágyás vetésforgóban Duna–Tisza közeli lepelhomok talajon. *Talajtermékenység*. **4**. 175–193.
- BELÁK S., HORVÁTH GY.-NÉ & SIMON F., 1968. A műtrágyák gazdaságos felhasználásának vizsgálata vetésforgó keretében. *Talajtermékenység*. **3**. (2) 83–89.
- BERZSENYI-JANOSITS L. et al., 1956. A kukorica termesztése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BERZSENYI Z., 1993. A N műtrágyázás és az évjárat hatása a kukorica hibridek (*Zea mays* L) szemtermésére és a N műtrágya-reakciójára tartamkísérletben az 1970–1991. években. *Növénytermelés*. **42**. 49–62.
- BLASKÓ, L. & ZSIGRAI, GY., 1994. Sustainable land use and mineral fertilizers on meadow chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*. **43**. 344–356.
- BOCZ E. et al., 1992. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- BRAY, R. H., 1944. Soil–plant relations: I. The quantitative relation of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions. *Soil Science*. **58**. 305–324.

- BUZÁS I., LOCH J. & BICZÓK Gy., 1982. Az R/S őszi búza és kukorica kísérletek értékelő elemzése. MÉM NAK. Budapest. (Kézirat)
- BUZÁS I. et al. (szerk.), 1979. Műtrágyázási irányelvek és a műtrágyázás üzemi számítási módszere. MÉM NAK. Budapest.
- CSATHÓ P., 1986. A tápanyag-ellátottság hatása egy közepes szárszilárdságú kukorica hibrid szélvihar okozta megdőlésére. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. **1**. 190–196. NEVIKI. Keszthely.
- CSATHÓ P., 1992. K- és P-hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **41**. 241–260.
- CSATHÓ P., 1994. A magyarországi talajok NPK-mérlegei 1990-ben és 1991-ben. Növénytermelés. **43**. 551–561.
- CSATHÓ P., 1997. Összefüggés a talaj K-ellátottsága és a kukorica, őszi búza és lucerna K-hatások között a hazai szabadföldi kísérletekben, 1960–1990. Agrokémia és Talajtan. **46**. 327–345.
- CSATHÓ P., 2002. Az AL-P korrekciós modell értékelése a hazai szabadföldi őszi búza P-kísérletek adatbázisán, 1960–2000. Agrokémia és Talajtan. **51**. 351–380.
- CSATHÓ P., 2003a. Kukorica N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. Agrokémia és Talajtan. **52**. 169–184.
- CSATHÓ P., 2003b. Őszi búza P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. Növénytermelés. **52**. (Megjelenés alatt)
- CSATHÓ P., 2003c. Lucerna P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. Növénytermelés. **52**. (Megjelenés alatt)
- CSATHÓ, P. & LÁSZTITY, B., 1994–1995. The effect of long-term P application on the yield of maize (*Zea mays* L.) on a calcareous chernozem soil. Acta Agron. Hung. **43**. 297–304.
- CSATHÓ P. & MAGYAR M., 1999. A reaktív algériai nyersfoszfát alkalmazásának agronómiai és környezeti vonatkozásai. In: XIII. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás (Szerk.: ELEK Gy. & VÉCSY B.) 121–131. MTESz Fejér és Veszprém megyei Szervezete. Siófok.
- CSATHÓ, P., ÁRENDÁS, T. & NÉMETH, T., 1998a. New, environmentally friendly fertiliser advisory system, based on the data set of the Hungarian long-term field trials set up between 1960 and 1995. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **29**. 2161–2174.
- CSATHÓ, P., ÁRENDÁS, T. & NÉMETH, T., 1998b. New, environmentally friendly fertilizer recommendation system for Hungary. In: Codes for Good Agricultural Practice and Balanced Fertilization. Proc. Int. Symp. CIEC, PFS and Workshop IMPHOS, IPI, Pulawy, Poland. (Ed.: FOTYMA, M.) Bibliotheca Fragmenta Agronomica. **3**. 225–230.
- CSATHÓ, P., LÁSZTITY, B. & NAGY, L., 1994. Foliar Zn application for eliminating P-induced Zn deficiency. 3rd ESA Congress, Abano–Padova, Italy. 466–467.
- CSATHÓ P., LÁSZTITY B. & SARKADI J., 1991. Az „évjárat” hatása a kukorica termésére és terméselemeire P-műtrágyázási tartamkísérletben. Növénytermelés. **40**. 339–351.
- CSERHÁTI S., 1900. Általános és különleges növénytermelés. Czeh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-Óvár.
- CSERNI I., 1982. Kukorica és rozs foszforműtrágyázása lepelhomok talajon. Kandidátusi disszertáció. Kecskemét
- CSERNI I., 1983a. Lepelhomok talaj P-ellátottsága és a P-műtrágyázás hatékonysága kukorica és rozs monokultúrában. Növénytermelés. **32**. 329–338.
- CSERNI I., 1983b. A talaj AL-oldható foszfortartalmának alakulása évenkénti és feltöltő műtrágyázás esetén lepelhomoktalajon. Agrokémia és Talajtan. **32**. 97–119.
- DEBRECZENI B. & DEBRECZENI K. (szerk.), 1994. Trágyázási kutatások 1960–1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.

- DEBRECZENI B. & DVORACSEK M., 1994. Szántóföldi tartamkísérletek különböző NPK adagokkal, -arányokkal és műtrágyázási módokkal. In: Trágyázási kutatások 1960–1990. (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI K.) 166–244. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- DENKE J., (szerk.), 1974. Trágyázási kísérletek eredményei. 2. Kukorica. Keszthelyi Agrártudományi Egyetem. Keszthely.
- EGNÉR, H., RIEHM, H. & DOMINGO, W. R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung de Nährstoffzustandes der Böden. II. K. LantbrHögsk. Ann. **26**. 199–215.
- FÁBRY I., 1967. A DL- és az AL-módszer összehasonlító vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. **16**. 441–447.
- FÜLEKY GY., 1976a. A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására használt kivonószer vizsgálat. I. Az AL-, DL-, CAL-, Bray I-, NaHCO_3 -os, $\text{NaHCO}_3+\text{NH}_4\text{F}$ -os és CaCl_2 -os kivonószer vizsgálata közvetlen kioldással. Agrokémia és Talajtan. **25**. 271–283.
- FÜLEKY GY., 1976b. A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására használt kivonószer vizsgálat. II. Az AL-, DL-, CAL-, Bray I-, NaHCO_3 -os, $\text{NaHCO}_3+\text{NH}_4\text{F}$ -os és CaCl_2 -os kivonószerrel oldott P és a szerves foszfátfrakciók korrelációja. Agrokémia és Talajtan. **25**. 284–295.
- FÜLEKY GY. (szerk.), 1999. Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- GREENWOOD, D. J. et al., 1980. Comparison of the effects of phosphate fertilizer on the yield: phosphate content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. Journal of Agricultural Science. **95**. 457–469.
- GYÓRFFY B., I'SÓ I. & BÖLÖNI I., 1965. Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- GYÓRI D., 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- GYÓRI D., PALKOVICS M.-NÉ & NÁDASYNÉ IHÁROSI E., 1985. Rozsdabarna erdőtalaj P-, K- és Ca-szolgáltató képességének vizsgálata EUF-módszerrel. Agrokémia és Talajtan. **34**. 387–396.
- HAMMER E., 1977. Műtrágyázási kísérletek kukorica monokultúrában Duna–Tisza közti homoktalajon. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. 82–89. NEVIKI. Keszthely.
- HARMATI I., 1991. A kukorica N- és P-műtrágyázása. In: Kukoricatermesztési szeminárium, Budapest, 1991. február 25–27. A kukoricatermesztés időszerű kérdései. (Szerk: HAJDU M.) 95–100. GATE Vezetőképző és Továbbképző Intézet. Budapest.
- HARMATI I., 1995. A kukorica nitrogén és foszfor műtrágyázása meszes réti talajon. Agrokémia és Talajtan. **44**. 31–39.
- HOLLÓ S., 1993. A szerves- és műtrágyázás hatásának összehasonlítása vetésforgó trágyázási kísérletekben. Kandidátusi értekezés. Kompolt.
- HOLLÓ S., CSATHÓ P. & SARKADI J., 1991. A foszfor műtrágyázás hatékonysága kukorica–tavaszi árpa–őszi búza vetésváltásban egy csernozjom barna erdőtalajon. Növénytermelés. **40**. 51–66.
- JÁSZBERÉNYI, I. & LOCH, J., 2001. Preliminary critical P-limit values of 0.01 M CaCl_2 as an extraction reagent for use as a soil testing procedure in Hungary. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **25**. 1771–1777.
- JÁSZBERÉNYI, I., LOCH, J. & SARKADI, J., 1994. Experiences with 0.01 M CaCl_2 soil test procedure. Acta Agraria Debreceniensis. **1**. 18–21.
- JOHNSTON, A. E. et al., 1986. Effect of soil and fertilizer P on yields of potatoes, sugarbeet, barley and winter wheat on a sandy clay loam soil at Saxmundham, Suffolk. Journal of Agricultural Science. **106**. 155–167.
- KÁDÁR I., 1974. A foszfor műtrágyázás hatékonysága különböző foszforellátottságú talajon. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. **1**. 141–146. NEVIKI. Veszprém–Keszthely.
- KÁDÁR I., 1980. A kálium jelentősége földművelésünkben és egy csernozjom talaj termékenységében. Agrokémia és Talajtan. **29**. 577–594.
- KÁDÁR I., 1987. Földművelésünk ásványi tápanyagforgalmáról. Növénytermelés. **36**. 517–526.

- KÁDÁR I., 1991. Kukoricatermesztés–Trágyázás. In: Kukoricatermesztési szeminárium, Budapest, 1991. február 25–27. A kukoricatermesztés időszerű kérdései. (Szerk: HAJDU M.) 89–93. GATE Vezető- és Továbbképző Intézete. Budapest.
- KÁDÁR I., 1992. A növény táplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete – AKAPRINT. Budapest.
- KÁDÁR I., 1993. A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- KÁDÁR I., 2000. A kukorica tápelemfelvétele és trágyaigénye. Agrofórum. **11.** (3) 41–43.
- KÁDÁR I., CSATHÓ P. & SARKADI J., 1989. A talaj PK-ellátottsága és a PK-trágyázás hatékonysága közötti összefüggés meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **38.** 78–82.
- KÁDÁR I., GULYÁS F. & ZILAHY P., 2000. A kukorica (*Zea mays* L.) ásványi táplálása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. **49.** 440–460.
- KADLICSKÓ B. & KRISZTIÁN J., 1977. N-P-K műtrágyaadagolási kísérlet kukoricával és tavaszi árpával, erodált agyagbemosódásos barna erdőtalajon. Növénytermelés. **26.** 315–322.
- KAMPRATH, E. J. & WATSON, M. E., 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: The Role of Phosphorus in Agriculture. (Eds.: KHASAWNEH, F. E., SAMPLE, E. C. & KAMPRATH, E. J.) 433–469. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI.
- KRÁMER M., 1966. Martonvásári hibrid kukoricák termésének és tápanyagtartalmának alakulása a műtrágyázás hatására. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1961–1964. (Szerk: I'SÓ I.) 166–179. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KRISZTIÁN J. & HOLLÓ S., 1992. Periodikus foszfor műtrágyázás. Növénytermelés. **41.** 141–148.
- KRISZTIÁN J., HOLLÓ S. & KADLICSKÓ B., 1988. Periodikus kálium műtrágyázás. Növénytermelés. **37.** 259–266.
- LÁNG G., 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LÁNG G., 1978. Foszfortrágyázási tartamkísérletek. Nemzetközi Mezőgazdasági. Szemle. 1978/1. 46–51.
- LÁNG G. & NÉMETH I., 1977. A kukorica műtrágyázása barna erdőtalajon. Növénytermelés. **26.** 177–184.
- LÁNG G. & NÉMETH I., 1979. Kukorica műtrágyázása pszeudoglejes barna erdőtalajon. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1968–1974. (Szerk: BAJAI J.) 301–309. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- LÁSZTITY B., 1991. A feltöltő adagú foszfor- és kálium-műtrágyázás utóhatásának vizsgálata karbonátos, gyengén humuszos homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. **40.** 419–430.
- LÁSZTITY B. & CSATHÓ P., 1994. A tartós NPK műtrágyázás hatások vizsgálata búza–kukorica dikultúrában. Növénytermelés. **43.** 157–167.
- LÁSZTITY B. & CSATHÓ P., 1995. NPK-műtrágyázás hatásának vizsgálata tartamkísérletben mezőföldi csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **44.** 47–60.
- LÁSZTITY B. & KÁDÁR I., 1985. A műtrágyázás hatása a külszíni szénfejtéses hányóföld termékenységére. Növénytermelés. **34.** 39–45.
- LATKOVICS GY.-NÉ, 1967. NPK-műtrágyahatások vizsgálata kukorica monokultúrában. In: Trágyázási kísérletek 1955–1964. (Szerk: SARKADI J.) 192–207. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- LATKOVICS GY.-NÉ, 1979. Az N-, P-, K-műtrágya hatásának vizsgálata kukorica monokultúrában. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1968–1974. (Szerk.: BAJAI J.) 261–269. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- LATKOVICS GY.-NÉ & KRÁMER M., 1968. Az őszi búza és a kukorica műtrágyázás hatásának vizsgálata tartamkísérletben. (1960–1967) I. Szemterméseredmények. Agrokémia és Talajtan. **17.** 189–200.
- MAGYAR, M. & CSATHÓ, P., 2000. The effect of different P sources in field trials, set up on two Hungarian acid soils. In: Proc. 12th International Symposium of CIEC. (Eds.: HERA, C. et al.) 513–520. Suceava, Romania.

- MAUL F., 1967. Kukorica műtrágyázási kísérlet eredménye Mátra–Bükkaljai csernozjom barna erdőtalajon. In: Trágyázási kísérletek 1955–1964. (Szerk.: SARKADI J) 208–218. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- MENYHÉRT Z. (szerk.), 1985. A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- NAGY J., 1995. A műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő évjáratokban. Növénytermelés. **44**. 493–506.
- NAGY J. & HUZSVAI L., 1995. Az évjárat hatás értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. Növénytermelés. **44**. 383–391.
- NÉMETH I. 1982. A burgonya optimális tenyésztési területének és biztonságos nagy termésének kapcsolata. Növénytermelés. **31**. 165–175.
- NÉMETH, I., 1985: The effect of P fertilizers on wheat yields and the nutrient contents of brown forest soils. In: Proc. 9th World Fertilizer Congress, CIEC. Vol. **2**. :405–409. Goeltze Druck. Goettingen.
- NÉMETH I., 1991. Szerves- és műtrágyázás hatása a talaj termékenységére. In: A talajtermékenység fenntartásának és fokozásának lehetőségei. XXXIII. Georgikon Napok, Keszthely. 106–109.
- NÉMETH, T., 1998. The role of phosphorus in Hungarian agriculture. In: Codes of Good Agricultural Practice and Balanced Fertilization. Proc. Int. Symp. CIEC, PFS and Workshops IMPHOS, IPI, September 27–30, 1998, Pulawy, Poland. (Ed.: FOTYMA, M.) Bibliotheca Fragmenta Agronomica. **3**. 298–309.
- PEKÁRY K., 1969. N-, P-, K-műtrágyaadagolási kísérletek kukoricával két Északkelet-Magyarországi termőhelyen. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1965–1968. (Szerk: I'só I.) 186–201. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- PEKÁRY K., PUSZTAI A. & KADLICSKÓ B., 1974. Előzetes adatok a búza, kukorica és lucerna műtrágyázása kérdéséhez Északkelet-Magyarország viszonyai között. Talajtermékenység. **5**. 167–192.
- PÉNTÉK I. & SZITA K., 1986. A bázikus foszforműtrágya alkalmazástechnikai vizsgálata. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. **1**. 257–264. NEVIKI. Keszthely.
- PROHÁSZKA K. & GURABI GY., 1974. A műtrágyázás hatása a kukoricalevelek tápanyagtartalmára. Agrokémia és Talajtan. **23**. 53–58.
- RAGASITS I. & KISMÁNYOKY T., 2000. A búza minőségének alakulása szervestrágyázás és nitrogénműtrágyázás hatására. Növénytermelés. **49**. 527–532.
- RUZSÁNYI L., 1974. A műtrágyázás hatása egyes szántóföldi növényállományok vízfogyasztására és vízhasznosítására. Növénytermelés. **23**. 249–258.
- SARKADI J., 1975. A műtrágya-igény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI J., 1993. Szerves- és műtrágyák tápelem-tartalmának érvényesülése tartamkísérletekben. I. N forgalom. Agrokémia és Talajtan. **42**. 293–307.
- SARKADI J. & BALLA A.-NÉ, 1990. Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon. III. Kukorica kísérletek. Agrokémia és Talajtan. **39**. 103–110.
- SARKADI J., THAMM F.-NÉ & PUSZTAI A., 1987. A talaj P-ellátottságának megítélése a korrigált AL-P segítségével. Melioráció-Öntözés és tápanyaggazdálkodás. 66–72. Agroinform. Budapest.
- SÁRVÁRI M. & GYÖRI Z., 1982. A monokultúrában és vetésváltásban termesztett kukorica termésátlagának és minőségének változása különböző tápanyagellátás esetén. Növénytermelés. **31**. 177–184.
- SIBBESEN, E. & SHARPLEY, A. N., 1997. Setting and justifying upper critical limits for phosphorus in soils. In: Phosphorus Loss from Soil to Water. (Eds.: TUNNEY, H. et al.) 151–176. CAB International. Wallingford–New York.
- STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY., 1999. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- SZÁSZ, G., 1987. The role of climate in the intensive development of agriculture. In: Proc. Conf. on Climatic Changes, Brno, Czechoslovakia. 43–56.

- SZIEBERTH D. & SZÉLL E. (szerk.), 1998. Amit a kukoricatermesztésről tudni kell. Mezőmag Kft., Székesfehérvár.
- THAMM F.-NÉ, 1980. Az AL-P értékek korrigálása néhány talajtulajdonság figyelembevételével. *Agrokémia és Talajtan*. **29**. 473–496.
- TÓTH Z. & KISMÁNYOKY T., 2000. A trágyázás hatása a talaj szervesanyag-tartalmára és agronómiai szerkezetére vetésforgókban és kukorica monokultúrában. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 207–225.
- VÁRALLYAY, GY, et al., 1992. New plant nutrition advisory system in Hungary. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **23**. 2053–2073.

Érkezett: 2003. október 27.

CSATHÓ PÉTER
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutatóintézet, Budapest