



Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A MEZŐGAZDASÁGI FÖLDHASZNÁLAT ÉS A TALAJTANI  
ADOTTSÁGOK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA TALAJMINŐSÉG-  
INDEXEK KIALAKÍTÁSÁVAL**

**Juhos Katalin**

Témavezető: Dr. Madarász Balázs, PhD  
egyetemi adjunktus

Budapest

2015

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

vezetője: Dr. Tóth Magdolna  
egyetemi tanár, DSc  
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Gyümölcsstermő Növények Tanszék

Témavezető: Dr. Madarász Balázs  
egyetemi adjunktus, PhD  
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,  
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A fenntartható mezőgazdaság feltétele az ökológiai adottságokhoz alkalmazkodó racionális földhasználat kialakítása (ÁNGYÁN és MENYHÉRT, 2004). A környezeti alkalmazkodás és tájgazdálkodás azt jelenti, hogy a földet arra és olyan intenzitással használjuk, amire az a legalkalmasabb, így ugyanazt a termésszintet kisebb mesterséges energiabevittel elérhetjük el, miközben csökken a környezet terhelése, és javul a termelés gazdaságossága (LÓCZY, 1989). Mindez a mezőgazdasági táblák területi szerkezetének racionalizálása útján valósítható meg, amelyhez megfelelő intenzitású termőhely-specifikus termesztéstechnológia kidolgozása szükséges (VÁRALLYAY, 2003).

A hazai kutatók több kvalitatív termőhelyelemző és -osztályozási módszert is kidolgoztak a talajok mezőgazdasági értékelésére (pl. BEKE, 1933; KREYBIG, 1956; GÖRÖG, 1954; GÉCZY, 1968), amelyek eredményei sajnos nagyrészt feledésbe merültek, holott a mai szakemberek számára is tartogathatnak hasznos információkat. Jelenleg nincs olyan korszerű kvantitatív mezőgazdasági talajminősítési rendszerünk, vagy talajhasznosítási térképi adatbázisunk, ami legalább a termőhelyválasztásban irányadó lenne.

A 18. századból örökölt jelenlegi hozadéki földértékelési rendszerünk (aranykorona), nem ökológiailag, hanem közgazdasági szempontból értékeli a földet (DÖMSÖDI, 1999). A hagyományos kvantitatív talajminősítési rendszerünk (100 pontos talajértékszám) a genetikus talajosztályozás egységeinek pontozásos értékelése útján egy általános termékenységet fejez ki, és nem kifejezetten agronómiailag értékeli a talajokat (FÓRIZSNÉ et al., 1972). A 2000-es évek fordulóján a *D-e-Meter* projekt egy új földminősítési és földértékelési rendszer kialakítására vállalkozott, amely az ökológiai és ökonómiai szempontokat egyszerre képes érvényre juttatni (TÓTH et al, 2006). A *D-e-Meter* rendszer ugyanúgy az altípus és változati szinten lehatárolt egységek pontozásán alapul, de a pontozás sokkal objektívebben, országos terméshozamok és agrokémiai adatbázisok feldolgozásán alapult. Ennek bevezetését a megfelelő léptékű talajtérképek és laboratóriumi talajvizsgálati eredmények hiánya akadályozza.

A hazai földminősítési munkák és földhasználati tervezés abban különböznek leginkább a nemzetközi tendenciáktól, hogy főként genetikai talajosztályozási egységeket értékelnek, és kevésbé vállalkoznak a talajtermékenység egyszerűbb talajtulajdonságokból való felépítésére, ill. azoknak egymással és a terméseredményekkel való összefüggéseinek vizsgálatára (JUHOS, 2013; 2014). Egyszerű indikátorokból felépíteni a földminősítési rendszert nem könnyű. A hazai álláspont általában az, hogy a talajtulajdonságok és a termés közötti kapcsolatrendszer nagyon bonyolult, használható empirikus összefüggést találni nehéz. Talajtulajdonság-kombinációk értékelésének van értelme, így adódik, hogy a genetikus talajosztályozás egységeiből induljunk ki. A genetikai

típusokban rejlő információt azonban összetettségénél fogva nehéz interpretálni, ráadásul az osztályba sorolás szubjektivitása is befolyásolja az eredményt.

Véleményem szerint mégis meg kellene vizsgálni a lehetőségét valamilyen paraméteres, a talajtulajdonságokból felépülő termőhelyi értékelés kialakításának. Ugyanis helyi szinten a művelési ágak, vetésforgók és termesztéstechnológiák ökológiai adottságokhoz való helyes megválasztása mélyebb ismeretet igényel a termőhely és a növény kapcsolatáról. Többek között meg kell tudni válaszolni, hogy: (1) a földhasználatnak mik a talajtani optimumai; (2) a talajnak mely tulajdonságai és milyen mértéktől vannak korlátozó hatással a növénytermesztésre, és azok egymáshoz viszonyított súlya hogyan alakul; (3) mennyire alkalmazkodik a földhasználat a talajtani adottságokhoz; (4) a földhasználat milyen hatással van a termőhelyre?

Munkám célkitűzése a földhasználat és a talajviszonyok kapcsolatának vizsgálata volt egy jellegzetes alföldi mezőgazdasági területen, ennek érdekében:

- a terület talajviszonyainak felmérése legalább változati szinten, a mezőgazdasági szempontból releváns fontosabb talajtulajdonságok vizsgálata;
- a jelenlegi gazdálkodási rendszer főbb jellemzőinek és eredményének megismerése különböző évjáratokban, ehhez a várható terméshozamok és termésbiztonság (termékenység) jellemzésére megfelelő mérőszám kialakítása;
- olyan matematikai statisztikai módszerek kidolgozása, amelyek lehetővé teszik a jellemző talajtulajdonság-kombinációk kvantitatív megfogalmazását egy relatív skálán (indexek) úgy, hogy azok kifejezzék a növénytermesztésre való alkalmasságot vagy legalább az általános talajtani kockázatot;
- ennek segítségével a talaj agrökológiai értékeléséhez minimálisan szükséges indikátorok meghatározása, a fontosabb korlátozó tényezők azonosítása, ill. annak meghatározása, hogy milyen talajtulajdonság-kombináció(k) a legkevésbé korlátozó(k) a növénytermesztés számára;
- a kapott viszonyszámok alapján olyan talajalkalmassági osztályok kialakítása, amelyek agroökológiailag releváns talajtulajdonság-kombinációkat határolnak le, és szignifikánsan meghatározzák a gazdálkodás lehetséges színvonalát és a várható terméseredményeket, valamint talajtani információt nyújtanak a művelési ág, növény és termesztéstechnológia választáshoz.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. A mintaterület bemutatása

A vizsgált mintegy 300 hektáros terület a Nagy-Sárréten található, Báránd község határában (21°13' E, 47°17' N). A terület egy alacsony fekvésű ármentes síkság, ahol a tengerszint feletti magasság 86-89,5 m között változik. A felszín nagy részét ártéri iszap és agyag borítja, amelyen a talajvíz mélységétől (0,5-4 m) és sótartalmától függően jellegzetes hidromorf talajsorok alakultak ki (réti csernozjom, csernozjom réti, réti, lápos réti, láp, szolonyeces réti, réti szolonyec). A talajvíz mélysége a legcsapadékosabb évjáratokban 50-120 cm mélységben volt található, aszályos nyarakon a feltárás mélységéig 120-150 cm sehol sem található meg a talajvíz tükre. A terület 74.4%-a szántó (225 ha), 24.5%-a legelő (74 ha), erdő csupán kisebb foltokban jelenik meg (3,4 ha; 1,1%). Jelenleg a szántóterületek a 2-7. földminőség osztályokba tartoznak, az átlagos aranykorona/ha értékük 17,5. A leggyengébb, 7. szántóföldi minőségi osztályba a terület közel 20%-a esik. A terület kiválasztásának fontos szempontja volt, hogy természetstechnológiát és vetésforgót illetően minél egységesebb legyen. A vizsgált 28 parcella területe 1,04 és 31,90 hektár között alakult.

### 2.2. Talajmintavétel, talajvizsgálatok

2010-től 2014-ig talajtérképezést kezdtem a nagyméretarányú talajtérképezési útmutató (MÉM-FTH-NTF, 1989) alapján. A laboratóriumi vizsgálatokhoz a fúrásokból egységesen 20 cm-ként vettem mintát. Az elkészített genetikus térkép és a leíró kartogramok alapján 33 homogén talajfoltot határoztam le. A homogén talajfoltokat a rájuk eső szelvényel, több szelvény esetében a szelvények átlagával jellemeztem. A homogén talajfoltokra kiszámítottam a 100 pontos talajértékszámokat domborzati és klimatikus módosítások nélkül (MÉM-FTH-FFF, 1986). A térképszerkesztéshez *Q-GIS* 2.8. szoftvert használtam. Tápanyagvizsgálatok céljából gazdálkodási területegységekről, parcellákról 20-20 részmintából álló átlagmintát gyűjtöttem a felső 20-30 cm-es rétegből (Pürkhauer-féle szűrőbottal).

A talaj 0-100 cm-es rétegében 20 cm-ként meghatároztam a pH, szénsavas mész, vízdoldható só (MSZ-08-0206-2:1978), vízdoldható és kicserélhető Na<sup>+</sup> (EGNÉR et al., 1960), agyagtartalom, leiszapolható rész (MSZ-08-0205-1978), humusztartalom (MSZ-08-0210-1977) paramétereit. A művelt rétegből származó átlagmintákból vizsgáltam a felvehető foszfor, kálium (EGNÉR et al., 1960) és könnyen hidrolizáló nitrogén (HARGITAI, 1970) mennyiségét. A topográfiai helyzet és a talajvíz elhelyezkedésének indikátoraként a tengerszint feletti magasságot használtam. A paramétereit kiszámítottam a parcellák területére vetítve is.

### 2.3. A várható termés és termésbiztonság jellemzése

A terméseredményeket az 2004-2013 időszakra vonatkozóan kértem el a földhasználóktól. Csak azoknak a növényfajoknak a termésadatait vontam be a vizsgálatba, amelyeket 3 évnél hosszabb ideig termesztettek a vizsgált területen, ill. legalább a táblák felén előfordultak: őszi búza (*Triticum aestivum* L.), kukorica (*Zea mays* L.) és napraforgó (*Helianthus annuus* L.). Mivel a vetésforgóban több növény is szerepel, azok összehasonlíthatósága (standardizálása) érdekében előbb növényenként relatív terméshozamokat számítottam a mintaterületen elérhető legnagyobb terméshozam alapján:

$$RY_p = \frac{Y_p}{Y_{max}}$$

ahol  $RY_p$ : a relatív terméshozam  $p$  parcellán (értéke 0 és 1 közé eső szám),  $Y_p$ : növény terméshozama  $p$  parcellán ( $t\ ha^{-1}$ ),  $Y_{max}$ : a teljes területen tapasztalt maximális terméshozama a növénynek ( $t\ ha^{-1}$ ).

A parcellák várható terméshozamait a 10 év relatív terméseredményeinek átlagaként ( $\overline{RY_p}$ ) számítottam. A termésbiztonságot az egyes parcellákra a relatív szórásokkal fejeztem ki:

$$CV(RY_p)[\%] = \frac{SD(RY_p)}{\overline{RY_p}} \cdot 100,$$

ahol  $CV(RY_p)$ : a relatív szórás (termésbiztonság) a  $p$  parcellán (%),  $SD(RY_p)$ : a relatív terméshozamok szórása a  $p$  parcellán (2004-2013),  $\overline{RY_p}$ : átlagos relatív termés a  $p$  parcellán (2004–2013). A relatív termésátlagok és szórások alapján a parcellákat produktivitási csoportokba soroltam.

A terméshozamokat nemcsak parcellánként, hanem az évjárat függvényében is értékeltem. Ehhez a vizsgált időszakot a Pálfai-féle aszály index (PÁLFAI, 2002) alapján két évjárat-típusba soroltam (nem aszályos:  $PAI < 5$ ; aszályos:  $PAI > 5$ ).

### 2.4. Matematikai statisztikai módszerek

A parcellákra vonatkozó egyszerű talajtani indikátoroknak először a produktivitási osztályok szerinti eloszlását vizsgáltam leíró statisztikai módszerrel. A talajtani indikátorok közötti kapcsolatot lineáris korrelációanalízissel (Pearson) vizsgáltam. Ezután az indikátorokkal mint független változókkal, valamint az átlagos relatív termés és relatív szórás értékekkel mint függő változókkal egy- és többváltozós lineáris regresszióanalízist végeztem. A nem lineáris vizsgálat lehetőségeit előzetesen ellenőriztem, de semmilyen indikáció nem mutatkozott rá.

Az indikátorok kombinációinak matematikai megfogalmazása ill. a dimenzióredukció érdekében az összes változó bevonásával *főkomponens analízist* (PCA) végeztem, amely a bemenő változók olyan lineáris kombinációit állítja elő, amelyek nem korrelálnak. A PCA-t Varimax forgatással végeztem. A főkomponensek könnyebb interpretálhatósága érdekében a bemenő változókat a lineáris regresszióanalízisek tapasztalatai alapján standardizáltam: szélső értékeik alapján 0 és 1 közötti skálára vetítettem, ahol a 0 a mintaterületen előforduló legkedvezőtlenebb, az 1 érték pedig a

legkedvezőbb értéket jelenti. Az így kapott főkomponens értékeket a komponens mátrix alapján lineáris talajminőség indexekként interpretáltam.

A kapott *főkomponensekkel* mint független változókkal és az átlagos relatív termésekkel és relatív szórással mint függő változókkal *többváltozós lineáris regresszióanalízist* végeztem. A nem lineáris vizsgálat lehetőségeit itt is előzetesen ellenőriztem. A főkomponensek közül csak az 1-nél nagyobb sajátértékűeket használtam.

A lineáris vizsgálatok tapasztalatai alapján kiválasztott indikátorokat főként a hazai irodalmi adatok felhasználásával *nemlineáris transzformációval* interpretáltam. A tápanyag-gazdálkodási paraméterek értékeléséhez telítődési, a többi indikátor értékeléséhez másodfokú reciprok függvényeket alkalmaztam. A nemlineárisan interpretált változókból funkciójuk (és részben a köztük lévő korreláció) szerint 3 féle talajalkalmassági mutatót számoltam multiplikatív módon, amelyek a talaj kémiai ( $Q_{kém}$ ), fizikai ( $Q_{fiz}$ ) és termékenység ( $Q_{term}$ ) funkciót ill. kondícióit fejezik ki.

A relatív termésátlagok és szórás alapján létrehozott produktivitási osztályokkal (alacsony mérési szintű függő változók) és a talajtani indexekkel mint független változókkal diszkriminancia analízist végeztem. A külön-külön a talajindexek és az összegzett indexek, valamint a relatív termésátlagok és szórás közötti kapcsolatot a Pearson-féle korrelációs együttható alapján vizsgáltam.

Az *agroökológiai talajalkalmassági osztályok* létrehozásához a produktivitási osztályokat és a várható termést és termésbiztonságot legjobban magyarázó talajindexek alapján a homogén talajfoltokat hierarchikus klaszteranalízissel csoportosítottam. A hierarchikus klaszteranalízist within-groups linkage összevonási módszerrel végeztem, amelyben két csoport távolsága egyenlő az elemeik páronkénti távolságainak átlagának és a két csoport elemszámának hányadosával. A távolságot két megfigyelés közötti euklideszi távolság négyzetével definiáltam.

A statisztikai vizsgálatokat *IBM SPSS Statistics 22* szoftver segítségével végeztem.

### 3. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

#### 3.1. Talajviszonyok

A talajvíz mélységétől és sótartalmától függően a mintaterületen réti csernozjom, csernozjom réti, szolonyeces réti, réti és réti szolonyec talajok alakultak ki. A réti szolonyec kivételével mindegyiken folyik szántóföldi növénytermesztés. Változati szinten 33 homogén talajfoltot határoltam le. A homogén talajfoltokra vonatkozó 100 pontos talajértékszámok 8-100 pont között alakultak. A talajfelvételezés alapján megállapítható, hogy a mintaterületen a szántóföldi művelést potenciálisan korlátozó legfontosabb tényezők a szolonyecesezés, szoloncsákosodás, valamint a talaj textúrájából és a közeli talajvízből következő szélsőséges vízgazdálkodási tulajdonságok. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok közül a humusztartalom és a felvehető foszfortartalom esetében mutatkozik nagyobb heterogenitás a területen. A MÉM-NAK irányelvek szerint az ellátottsági szintek általában közepesek, helyenként gyengék vagy igen jók.

#### 3.2. Várható termés és termésbiztonság

A területen a terméshozamok igen nagy változatosságot mutatnak. A kukorica teljes területre vonatkozó termésátlaga a vizsgált 10 évben 6,71 t/ha volt. Egyes parcellákon előfordult már 10 t/ha kukoricatermés is nem csak a csapadékosabb években. Az őszi búza termésátlaga 4,63 t/ha, a legjobb termést, 7,1 t/ha-t 2004-ben takarították be. A napraforgó terméshozama 1,4 és 4,5 t/ha között alakult, átlagosan 2,77 t/ha volt. A várható érték és variancia alapján történő lehatárolás (E,V efficiency) módszerével a következő három produktivitási osztályt lehet elkülöníteni:

- P1: nagy termésátlagok és termésbiztonság;  $\overline{RY_p}$  0,71 és 0,89 t/ha között, a  $CV(RY_p)$  6,43 és 25,71% között alakul;
- P2: közepes termésátlagok és közepes termésbiztonság;  $\overline{RY_p}$  0,55 és 0,67 t/ha közötti, a  $CV(RY_p)$  5,48 és 39,45% között változik;
- P3: kis termésátlagok és kis termésbiztonság;  $\overline{RY_p}$  0,33 és 0,50 t/ha között, a  $CV(RY_p)$  18,70 és 74,07% között alakul.

Az aranykorona értékek és a termésátlagok között szoros lineáris kapcsolat van ( $R^2 = 0,561$ ;  $p < 0,001$ ;  $F = 33,183$ ). A vizsgált időszakban 4 extrém csapadékos, belvizes év volt (2004, 2006, 2010, 2011), az aszályos évek száma 4, ebből a 2012-es és 2013-as évben a Pálfai-féle aszály index a 6,0 értéket is meghaladta. Az évek a PAI értékek alapján egy aszályos ( $PAI > 5,0$ ) és egy csapadékosabb ( $PAI < 5,0$ ) évjárat-típusba sorolható. A talajok nagy vízkapacitásának köszönhetően a terméseredményeket az aszályos évjárat nem csökkenti szignifikánsan, a túlzottan csapadékos téli



félévek azonban egy bizonyos térszín alatt a talaj korlátozott víznyelő és vízvezető képessége miatt jelentősen csökkentik a termésbiztonságot.

### 3.3. A talaj-termés kapcsolatrendszer értékelése lineáris módszerekkel

A lineáris regresszióanalízist először több, egymással nem korreláló változók kombinációiban végeztem el, azonban a többváltozós vizsgálatok minden esetben sikertelenek voltak, ill. csak egy változó maradt benne a modellben. Az egyváltozós lineáris regresszióanalízisek az indikátorok közül a kémhatás, a  $\text{CaCO}_3$  megjelenési mélysége, az agyag és a leiszapolható rész, a humusztartalom és topográfiai helyzet esetében eredményeztek szignifikáns modellt. A magyarázott variancia a relatív átlagtermés esetében  $R^2=0,246-0,492$ , a relatív szórás esetében  $R^2=0,225-0,504$  között változik.

A főkomponens analízis (PCA) három olyan főkomponenst eredményezett, amelynek sajátértéke  $>1$ . Ezek együtt a bemenő változók varianciájának 86,365%-át magyarázzák. A változók kommunalitásai általában 0,8 fölött vannak, egyetlen kivétel a Hargitai-N, amely esetében a főkomponensek a heterogenitás 49,2%-át őrzik meg (de még ez is elfogadható). Az első főkomponensben (PC1) a sófelhalmozódás, szolonyecesezés, szikesedés okozta lúgosság, a nehezebb textúra és a mélyebb topográfiai helyzet fejeződik ki a vízdoldható só,  $\text{AL-Na}^+$ , agyag,  $\text{pH-H}_2\text{O}$ , leiszapolható rész, tengerszint feletti magasság és  $\text{pH-KCl}$  változók loadingjai alapján. A PC1 az összes változó varianciájának 56,848%-át magyarázza. A második főkomponens (PC2) értékében a mész okozta lúgosságot és a humuszfelhalmozódást kifejező indikátorok szerepelnek nagy súllyal ( $\text{pH-KCl}$ ,  $\text{CaCO}_3$  megjelenési mélysége, humusztartalom). A PC2 a teljes változókészlet varianciájának 17,789%-át magyarázza. A PC3-ban az  $\text{AL-P}_2\text{O}_5$  és  $\text{AL-K}_2\text{O}$  indikátorok loading értékei alapján a felvehető foszfor- és káliumtartalmak fejeződnék ki. A magyarázott variancia ez esetben 11,728%. Mivel a kapott főkomponensek egymással összefüggő indikátorokat tömörítenek, és így talajképző folyamatársulásokra utalnak, bizonyos talajtípusok, altípusok és változatok azonosítására, lehatárolására alkalmasak. A PC1 a 100 pontos talajértékszámhoz hasonló információt hordoz, amely a talajok általános fizikai-kémiai kockázatait fejezi ki.

Az átlagos relatív terméssel és a főkomponensekkel végzett többváltozós lineáris regresszióanalízis esetében mindhárom főkomponens bekerült a modellbe. A három főkomponenssel együtt pedig a modell magyarázó ereje nagy,  $R^2=0,531$  ( $p<0,001$ ) lett. A felvehető foszfort és káliumot kifejező PC3 és az átlagos relatív termés között szignifikáns negatív lineáris kapcsolat van, ami ez esetben úgy interpretálható, hogy a tápanyagok nem korlátozó tényezői a növénytermesztésnek. Az egymással összefüggő fizikai és kémiai tulajdonságok (PC1) valamint a humusztartalom (PC2) valóban meghatározó tényezői a várható termésnek. A termés relatív szórását a főkomponensek közül a PC1 és PC2 magyarázza, a modellből a PC3 kikerült. A magyarázott variancia  $R^2=0,442$  ( $p<0,01$ ). A paraméterek mind negatívan befolyásolják a termésbiztonságot, a

PC2 (humusztartalom) valamivel erősebben, mint a PC1 (szikesedés és a fizikai korlátozó tényezők). Összességében a többváltozós regresszióval jobban magyarázhatók a várható termés és a termésbiztonság, mint egyváltozós módszerekkel, ill. az egymással nem korreláló főkomponensekkel értékelhető modellt lehet kapni szemben az egyszerű indikátorokkal.

A speciális térbeli varianciájuk és kombinációik miatt a talajtani változók jelentősége a várható terméshozamok és termésbiztonság alakításában önmagukban lineárisan nem, vagy nehezen értékelhetők. Az egyváltozós lineáris vizsgálatok könnyen vezetnek helytelen következtetésre, de segítenek a változók viselkedésének és a közöttük lévő kapcsolatrendszer megismerésében. Az egyszerű indikátorok lineáris kombinációikban magyarázzák a várható terméseredényeket és termésbiztonságot, amelynek matematikai megfogalmazására alkalmas módszer a főkomponens analízis (PCA). A változók lineáris kombinációjával kialakított indexek segítenek a várható terméshozamokra szignifikáns hatással lévő tulajdonságok azonosításában, a minimálisan szükséges indikátorok kiválasztásában. Azonban a módszer nem visz közelebb annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy a földhasználat eredményességét mely talajtani tulajdonságok milyen mértéktől és milyen súllyal határozzák meg. Ehhez nemlineáris vizsgálatok szükségesek.

### **3.4. A talajtani indikátorok nemlineáris interpretálása és a talajalkalmassági indexek**

Az értékeléshez a változók körét a talajtulajdonságok és terméseredmények statisztikai vizsgálatainak tapasztalatai alapján szűkítettem. Az erősen korrelálók közül akár egyet is elég továbbvinni azok közül, amelyek a lineáris elemzések során a terméssel szignifikáns kapcsolatban álltak. A nemlineárisan interpretált  $q$  értékek a növénytermesztésre való alkalmasság viszonyszámaként értelmezhetőek, amelyek a következőképpen fejezik ki a szántóföldi növények igényéhez való viszonyukat: 0,8-1: nem korlátozó; 0,6-0,8: mérsékelten korlátozó; 0,4-0,6 közepesen korlátozó; 0,2-0,4; erősen korlátozó; 0-0,2: szántó művelésre nem alkalmas.

A homogén talajfoltok  $q_{pH}$  értéke 0,400-0,947 között változik, területi eloszlását tekintve (1. táblázat) elmondható, hogy a kémhatás a vizsgált terület jelentős részén, beleértve a szánóterületeket is, mérsékelten és közepesen korlátozó. A  $q_{s\acute{o}}$  érték 0,181-1,000 között változik, de szembeűnő, hogy vízdoldható sótartalomhoz a földhasználat jól alkalmazkodik, a szántóterületeken legfeljebb mérsékelten korlátozó értékek jelennek meg. A  $Q_{k\acute{e}m}$  index értéke a teljes területen 0,108 és 0,947 között alakul, de a szántóterületekre vonatkozó értékek alapján a kémiai tulajdonságok a szolonyeces réti és réti talajokon is legfeljebb közepes vagy mérsékelt korlátozó tényezőt jelentenek.

A homogén talajfoltok  $Q_{f\acute{i}z}$  értékei 0,318-1,000 között alakulnak, és területi eloszlását tekintve (2. táblázat) szolonyecesedéssel érintett és réti talajokon a legkisebbek. Az index értéke alapján a víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságok a vizsgált terület jelentős részén, beleértve a szánóterületeket is, mérsékelten és közepesen korlátozó.

A felvethető foszfor- és káliumtartalmak nemlineáris interpretálása után a minősítők legkisebb értéke is 0,870 lett (3. táblázat). A talajalkalmasság értékelésében a jelenlegi tápanyag-ellátottsági szinteken nem feltétlenül kell szerepeltetni az AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és AL-K<sub>2</sub>O indikátorokat. Azonban a  $q_{humusz}$  értékek (0,627-0,916) alapján a humusztartalom bizonyos területeken mérsékelt korlátozó tényező lehet. A tápanyag-gazdálkodási tulajdonságokat kifejező termékenység indexként ( $Q_{term}$ ) a továbbiakban a legnagyobb varianciájú és legkisebb értékeket felvevő  $q_{humusz}$  értéket használtam.

1. táblázat. A kémiai indikátorok nemlineáris interpretálása (kémiai talajalkalmasság index,  $Q_{kém}$ )

| $Q_{kém} = q_{pH} \cdot q_{s0}$                               |   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
|---|---|--|--------------|----|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|------|
| $q_{pH} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$                       | $q_{s0} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$                     | rétegek súlyozása  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| $x_i \leq 7,8$<br>$y_i = 1$                                   | $x_i \leq 0,1$<br>$y_i = 1$                                 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>i. réteg, cm</th> <th>Wi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-20</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>20-40</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>40-60</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>60-80</td> <td>0,12</td> </tr> <tr> <td>80-100</td> <td>0,04</td> </tr> </tbody> </table> | i. réteg, cm | Wi | 0-20 | 0,36 | 20-40 | 0,28 | 40-60 | 0,20 | 60-80 | 0,12 | 80-100 | 0,04 |
| i. réteg, cm  | Wi  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 0-20  | 0,36  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 20-40   | 0,28  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 40-60   | 0,20  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 60-80   | 0,12  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 80-100  | 0,04  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| $x_i > 7,8$<br>$y_i = \frac{1}{1 + 0,95 \cdot (x_i - 7,8)^2}$ | $x_i > 0,1$<br>$y_i = \frac{1}{1 + 50 \cdot (x_i - 0,1)^2}$ |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |

2. táblázat. A fizikai indikátorok nemlineáris interpretálása (fizikai talajalkalmasság index,  $Q_{fiz}$ )

| $Q_{fiz} = q_{text} \cdot q_{topo}$                          |  |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
|--|--|--|--------------|----|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|------|
| $x \geq 88$<br>$q_{topo} = 1$                                | $q_{text} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$                                      | rétegek súlyozása  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| $x < 88$<br>$q_{topo} = \frac{1}{1 + 1,15 \cdot (x - 88)^2}$ | $x_i \leq 40$<br>$y_i = 1$<br>$x_i > 40$<br>$y_i = -0,0094 \cdot x_i + 1,3771$ | <table border="1"> <thead> <tr> <th>i. réteg, cm</th> <th>Wi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-20</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>20-40</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>40-60</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>60-80</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>80-100</td> <td>0,20</td> </tr> </tbody> </table> | i. réteg, cm | Wi | 0-20 | 0,20 | 20-40 | 0,20 | 40-60 | 0,20 | 60-80 | 0,20 | 80-100 | 0,20 |
| i. réteg, cm   | Wi   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 0-20   | 0,20   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 20-40  | 0,20   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 40-60  | 0,20   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 60-80  | 0,20   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |
| 80-100   | 0,20   |  |              |    |      |      |       |      |       |      |       |      |        |      |

3. táblázat. A tápanyag-gazdálkodási indikátorok nemlineáris interpretálása (termékenységi index,  $Q_{term}$ )

|   |   |   |
|---|---|---|
| $q_{humusz} = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i)$ $y_i = 1 - 10^{-0,2913 \cdot x_i}$<br>(CSATHÓ 2003a)<br>vizsgált réteg:<br>0-60 cm  | * AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> korrekció<br>$q_{P205} = 1 - 10^{-0,0141 \cdot x}$<br>(CSATHÓ 2003b)<br>vizsgált réteg:<br>0-30 cm | ** AL-K <sub>2</sub> O korrekció<br>$q_{K20} = 1 - 10^{-0,0083 \cdot x}$<br>(CSATHÓ 2005)<br>vizsgált réteg:<br>0-30 cm |
| * AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> korrekció pH-KCl: 7; CaCO <sub>3</sub> : 1%; K <sub>A</sub> : 37 paraméterekre (SARKADI et al 1987; CSATHÓ 2002):<br>$korrP_2O_5 = P \cdot \left[ \frac{K^{-0,28} \cdot (M + 0,22)^{-0,15} \cdot H^{0,25}}{37^{-0,28} \cdot (1 + 0,22)^{-0,15} \cdot 70,25} \right]^{\frac{1}{0,6}}$ P: AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg); K: Arany-féle kötöttségi szám; M: CaCO <sub>3</sub> (m/m %); H: pH-KCl<br>** AL-K <sub>2</sub> O korrekció <0,02 mm = 45% paraméterre: $x = a \cdot [-0,0009 \cdot (b - 45)^2 + 0,0017]$<br>a: AL-K <sub>2</sub> O (mg/kg); b: <0,02 mm szemcsefrakció (m/m %) |   |   |
| $Q_{term} = q_{humusz}$   |   |   |

A topográfiai adottságokhoz, a talaj textúrájához, víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságaihoz a földhasználat kevésbé alkalmazkodik. Holott a mélyebb térszíneken a nehéz textúrával gyakran együtt jár a szolonyecsedés is, ami a szántó területeken a legfontosabb korlátozó tényezőnek tekinthető. A szikesedésnek a teljes skálája megjelenik a területen, azonban a sótartalomhoz a földhasználat jól alkalmazkodik, szántókat nem találunk a szoloncsákos talajokon. A szántókon a talaj kémhatása is csak mérsékelt, közepes korlátozó tényezőt jelent. A termékenységet meghatározó paraméterek közül a foszfor és kálium (nagy varianciájuk ellenére) a legkevésbé befolyásolják a várható termést, a humusztartalomnak azonban sokkal nagyobb jelentősége van a termékenység alakításában.

A főbb talajtulajdonságokat jellemző nemlineáris talajalkalmassági indexek jobban magyarázzák a várható termést és a termésbiztonságot, ill. az ezek alapján lehatárolt produktivitási osztályokat, mint a főkomponens analízissel kapott lineáris indexek. A három talajalkalmassági index integrálható:

$$Q = Q_{fiz} + Q_{kém} + Q_{term}$$

A talajalkalmassági indexekből következtetni lehet a földhasználatot leginkább befolyásoló talajtani tényezőkre. A kvantitatív paraméteres talajminősítéshez minimálisan szükséges indikátorok a vizsgált területen: a 0-100 cm réteg pH-ja, leiszapolható része és humusztartalma (de legalább a művelt réteg humusztartalma és a humuszos réteg vastagsága), valamint a topográfiai helyzet.

### 3.5. A mezőgazdasági talajalkalmassági osztályok

A nemlineáris talajalkalmassági indexekkel klaszteranalízissel 4 agronómiai talajalkalmassági osztály határozható le:

- 1. osztály: Kémiai tulajdonságai nem, vagy legfeljebb mérsékelt korlátozóak, vízgazdálkodási és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságaik nem jelentenek korlátozó tényezőt a növénytermesztés számára. Az ezeken a területeken található szántóföldi parcellák átlagos relatív termése a legnagyobb, 0,71-0,89, a terméshozamok szórása pedig a legkisebb, 6,49-25,71%.
- A 2. osztály: A topográfiai helyzet és a művelt réteg alatti agyagos vályog textúra miatt a vízgazdálkodási tulajdonságaik kedvezőtlenek, emiatt gyakori a belvíz kialakulása. A humusztartalom helyenként 3% alatt van, és a humuszos réteg vastagsága 30-60 cm, ami mérsékelt korlátozó tényezőt jelenthetnek. Az itt található parcellák átlagos relatív termése szignifikánsan kisebb, mint az 1. osztályban, 0,46-0,63, a terméshozamok szórása pedig nagyon változó, 28,38-62,18%.
- A 3. osztály: A szolonyecsedés megjelenési mélysége 25-50 cm, ami rontja a vízgazdálkodási tulajdonságokat, de a sófelhalmozódás mértéke nem jelent komolyabb kockázatot, a kémhatás azonban közepesen korlátozó. A humuszos réteg vastagsága általában

60-80 cm, a művelt réteg humusztartalma 2,4-3,53% közötti, ami nem jelent korlátozó tényezőt a növénytermesztés számára, bár szignifikánsan kisebb, mint az 1. osztályba tartozó területeken. Az ezeken a területeken található parcellák átlagos relatív termése a 2. osztályéhoz hasonló, 0,39-0,66, a termés hozamok szórása pedig 25,50-74,07% közötti.

A 4. csoport: A kémiai és fizikai tulajdonságok mind erős korlátozó tényezőt jelentenek a növénytermesztés számára (réti szolonyecek), így szántóföldi művelésre nem alkalmasak. Jelenleg a teljes területe legelő művelési ágban van.

Megfelelő matematikai statisztikai módszerekkel és azok eredményeinek helyes interpretálásával lehetséges egyszerű paramétereiből felépített talajminősítési rendszert alkotni. A talajtulajdonságok közötti bonyolult interkorreláció megnehezíti az egyszerű indítákorok helyes interpretálását, azokat mindig a többi talajtani paraméter, a külső környezeti tényezők és a hasznosítási cél (növény igénye) függvényében lehet értelmezni. Az egyszerű paramétereken alapuló termőhelyi értékelés és földminősítés hátránya, hogy nagy körültekintést és szaktudást igényelnek. Azonban a genetikai talajrendszertanra alapozott talajminősítési módszerhez képest jobban alkalmasak a termést leginkább meghatározó korlátozó tényezők meghatározásához, a talaj-termés kapcsolatrendszer megértéséhez, így szolgáltatva információt a talajtani adottságokhoz alkalmazkodó vetésszerkezet és agrotechnika kialakításához.

## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Egy Nagy-sárréti mezőgazdasági területen felmértem a szántóföldi növénytermesztés szempontjából releváns talajtulajdonságokat, és elkészítettem a terület genetikus talajtérképét és leíró kartogramjait.
2. A várható terméshozamok és termésbiztonság jellemzésére kidolgoztam egy értékelési rendszert, amely összehasonlíthatóvá teszi a terméshozamokat a vetésforgók, növényi sorrend valamint az évjáráthatásokban mutatkozó különbségek standardizálásával.
3. Megállapítottam, hogy a vizsgált területen az aranykorona értékek és a várható terméshozamok között szoros lineáris kapcsolat van ( $R^2=0,561$ ;  $p<0,001$ ), ami a jelenlegi ökonómiai földértékelési rendszer relevanciáját támasztja alá.
4. Megállapítottam, hogy a vizsgált területen a 100 pontos talajértékszám kapcsolata a várható terméshozammal és termésbiztonsággal gyenge. Ennek oka, hogy a genetikus talajosztályozáson alapuló talajminősítési rendszer a szikesedésnek, a kémiai tulajdonságoknak a vizsgált szántóföldi kultúrák igényéhez képest nagyobb jelentőséget tulajdonít.
5. Főkomponens analízissel olyan mérhető talajtani indikátorokból felépülő lineáris talajminőség indexeket hoztam létre, amelyek egy relatív skálán fejezik ki a növénytermesztés potenciális talajtani kockázatait. A fizikai és kémiai indikátorok lineáris kombinációjával kapott index (főkomponens) a 100 pontos talajértékszámmal azonos információt nyújt a talajminőségről.
6. Megállapítottam, hogy a speciális térbeli varianciájuk és kombinációik miatt a talajtani változók önmagukban nem, de lineáris kombinációikban jól magyarázzák a várható terméseredményeket és termésbiztonságot a vizsgált területen. Ezen összefüggések vizsgálatának megfelelő statisztikai módszere a főkomponensekkel végzett többváltozós lineáris regresszióanalízis.
7. Mérhető talajtani indikátorokból felépülő nemlineáris matematikai talajminősítési módszert dolgoztam ki (talajalkalmassági index), amely kifejezi, hogy a földhasználat eredményességét mely talajtani tulajdonságok milyen mértéktől és milyen súllyal határozzák meg. A kapott

talajalkalmassági index egy relatív skálán fejezi ki a növénytermesztésre való alkalmasságot, és a vizsgált területen jobban magyarázza a várható termést és termésbiztonságot, mint a lineáris indexek és a 100 pontos talajértékszám.

8. A lineáris és nemlineáris indexek segítségével a vizsgált területen azonosítottam a szántóföldi növénytermesztés fontosabb korlátozó tényezőit és azok jelentőségét, valamint meghatároztam a talaj agrökológiai értékeléséhez minimálisan szükséges indikátorok körét. A nemlineáris indexek alapján elkészítettem a terület mezőgazdasági talajalkalmassági térképét.

## Felhasznált irodalom

- ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. (2004): Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 559 p.
- BEKE L. (1933): Mezőgazdasági termelésünk átszervezése természeti adottságok alapján. Kivitelre mit és hol termesszünk? Piatnik Rt. Budapest, 33 p.
- CSATHÓ P. (2003a): Őszi búza N hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 52(1): 41-59.
- CSATHÓ P. (2003b): Őszi búza P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 52(6): 679-701.
- CSATHÓ P. (2005): Kukorica K-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés* 54(5-6) 447-465.
- CSATHÓ P., ÁRENDÁS T., NÉMETH T. (2002): Új, a hazai körülményekre adaptált, költségkímélő számítógépes trágyázási szaktanácsadási rendszer. In: Harnos Zs., Herdon M. (szerk.). Agrárinformatika 2002: Informatikai kutatások, fejlesztések és alkalmazások az agrárgazdaságban és vidékfejlesztésben. Debrecen. 2002 augusztus 27-28. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. pp. 237-241.
- DÖMSÖDI J. (1999): Földhasználati reform az ezredforduló után. *Geodézia és Kartográfia* 51(11): 17-22.
- EGNÉR H., RIEHM H., DOMINGO W. R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler 26: 199-215.
- FÓRIZSNÉ, MÁTÉ F., STEFANOVITS P. (1972): Talajbonitáció - Földértékelés. *Agrártudományi Közlemények* 30(3): 359-378.
- GÉCZY G. (1968): Magyarország mezőgazdasági területe. Akadémiai Kiadó, Budapest, 307 p.
- GÖRÖG L. (1954): Magyarország mezőgazdasági földrajza. Tervgazdasági Kiadó, Budapest. 197 p.
- HARGITAI L. (1970): Különböző földnemek és földkeverékek nitrogén szolgáltató képességének meghatározása. *Kertészeti Egyetem Közleményei* 34: 179-193.
- KREYBIG L. (1956): Az agrotechnika tényezői és irányelvei. Akadémiai Kiadó, Budapest, 819 p.
- LÓCZY D. (1989): Tájértékelés, földértékelés vagy mezőgazdasági célú környezetminősítés? *Földrajzi Értesítő* 38(3-4): 263-282.
- MÉM Földügyi és Térképészeti Hivatal, Földvédelmi és Földértékelési Főosztály (1986): Táblázatok a termőföld minősítéséhez. Budapest.
- MÉM Földügyi és Térképészeti Hivatal, Növényegészségügyi és Talajvédelmi Főosztály (1989): Útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához. AGROINFORM, Budapest, 147 p.
- PÁLFAI I. (2002): Probability of drought occurrence in Hungary. *Időjárás* 106(3-4): 265-275.
- SARKADI J., THAMM F.-né, PUSZTAI A. (1987): A talaj P-ellátottságának megítélése a korrigált AL-P segítségével. Melioráció, Öntözés és Tápanyag-gazdálkodás. Agroinform, Budapest, pp. 66-72.
- TÓTH T., NÉMETH T., HORVÁTH E., LÁSZLÓ P., BIDLÓ A., DÉR F., FEKETE M., FÁBIÁN T., GAÁL Z., HEIL B., HERMANN T., KOVÁCS G., MAKÓ A., MÁTÉ F., MÉSZÁROS K., PÁSZTOR L., PATOCSKAI Z., SPEISER F., SZÜCS I., TÓTH G., VÁRALLYAY GY., VASS J., VINOGRADOV SZ. (2006): Új földminősítési rendszer megalapozása Magyarországon. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, 2006. szeptember 6-7. (CD).
- VÁRALLYAY GY. (2003): Az ésszerű és fenntartható földhasználat tudományos alapjai. *Geodézia és Kartográfia* 55(5): 3-11.



## **Az értekezés témakörében megjelent publikációk**

### Impakt faktoros folyóiratcikkek

**JUHOS K., SZABÓ SZ., LADÁNYI M.** (2015) Influence of soil properties on crop yield: a multivariate statistical approach. *International Agrophysics* 29: 425–432. (IF=1.117)

### Osztálylistás folyóiratban megjelent cikkek

**JUHOS K., MADARÁSZ B.** (2016): Interpretation and integration of pedological data in land evaluation systems. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 22: (2) (in press)

**JUHOS K.** (2014): A mezőgazdasági földminősítés és földhasználati tervezés nemzetközi és hazai módszerei. *Földrajzi Közlemények* 138: (2) 122–133.

**JUHOS K.** (2013): A földminősítés, talajbonitáció módszerei a nemzetközi szakirodalomban. *Talajvédelem, Talajtani Vándorgyűlés – Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában.* Miskolc, Magyarország, 293–302.

### Konferencia proceeding kiadvány (full paper)

**JUHOS K., SEPSI P., LADÁNYI M., ASZTALOS I., TÖKEI L.** (2011): A szántóföldi növénytermesztés klimatikus és talajtani kockázatainak vizsgálata üzemi szinten. XVII. In: Nagy V., Biró G. (szerk.) Nemzetközi Tehetség gondozási, Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2011.06.6-8. Szolnoki Főiskola, CD ROM. ISBN: 978-963-89339-1-1

**JUHOS K., GURÁLY A., BÚCSI A.** (2011): A szántóföldi növénytermesztés talajtani kockázatainak vizsgálata üzemi szinten. Válságkezelés a tudomány eszközeivel: Erdei Ferenc VI. Tudományos Konferencia. III. Kötet. Konferencia helye, ideje: Kecskemét, Magyarország, 2011.08.25. Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, pp. 349-353. ISBN: 978-615-5192-01-2

**JUHOS K.** (2011): Talajvizsgálatokra alapozott földhasználati tervezés. VII. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Nap, Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2011. 11.17. Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, CD-ROM, ISBN 978-963-89339-1-1