

Válasz

Prof. Dr. Simon László, az MTA doktorának,
Kakuszi-Széles Adrienn „A precíziós mezőgazdasági technológiák alkalmazása a kukorica
termésingadozás mérséklésére” c. akadémiai doktori (DSc) értekezéséről készített bírálatára

Tisztelettel köszönöm opponensem Dr. Simon László, az MTA doktorának részletes és pozitív értékelését, valamint a dolgozatom célkitűzéseire, tudományos jelentőségére és aktualitására vonatkozó elismerő megállapításait. Külön öröm számomra, hogy értékelte a legmodernebb technikák és kísérleti módszerek alkalmazását a vizsgálat során, amelyek hozzájárultak a kutatás megalapozott és alapos eredményeihez.

Köszönöm a dolgozat arányosságára, szerkezeti felépítésére és áttekinthetőségére vonatkozó elismerést, és a rövidítésjegyzék beillesztésére tett javaslatát a könnyebb eligazodás érdekében hasznosnak és figyelembe veendőnek tartom.

Opponensem értékes észrevételei felhívták a figyelmemet néhány kisebb hiányosságra, amelyeket a jövőbeni munkáim során fokozott gondossággal igyekszem elkerülni. Emellett a „kukoricaszem” és „kukoricamag” kifejezések szakmai használatára vonatkozó pontosításokat is figyelembe veszem, hogy a szóhasználat mindig világos és a kontextusnak megfelelő legyen.

Külön köszönöm opponensem értékelését, hogy az irodalmi áttekintést alapos, szerkezetileg átgondolt és részletesnek tartja, különösen, hogy dicséretesnek ítéli a magyar szerzők munkáira való hivatkozást, amellyel erősíteni kívántam a dolgozat szakirodalmi megalapozottságát és a hazai kutatások bemutatását.

Köszönöm opponensem hasznos észrevételét, hogy a dolgozatban a szakirodalmi hivatkozások megfelelnek a formai előírásoknak, illetve az irodalomjegyzékben a folyóiratok névhasználatának egységesítésére tett javaslatát elfogadom és a későbbiekben figyelembe veszem.

Tisztelettel köszönöm opponensem elismerő megállapítását a kellő tömörséggel bemutatott „Anyag és Módszer” fejezettel kapcsolatban. A fejezethez kapcsolódó két szakmai pontosító kérdésére az alábbiakban válaszolok: egyrészt a talaj tömörségi állapotának értelmezésére, másrészt a parcellaszéleken jelentkező peremhatás kiküszöbölésének módjára vonatkozóan.

A „közepes tömörségű” minősítést a helyszíni mérések során meghatározott $1,40\text{--}1,45\text{ g cm}^{-3}$ térfogattömeg és 46–54% összporozitás alapján alkalmaztam. A 42% agyagtartalmú, agyagos vályog mechanikai összetételű talajoknál a gyökérnövekedést korlátozó kritikus térfogattömeg általában $1,55\text{--}1,60\text{ g cm}^{-3}$ felett jelentkezik, míg $1,30\text{ g cm}^{-3}$ alatt a talaj laza állapotúnak tekinthető. A mért értékek e határértékek között helyezkednek el, ezért a talaj fizikai állapota textúrafüggő értelmezésben közepes tömörségi kategóriába sorolható. A 46–54%-os összporozitás kedvező víz- és levegőgazdálkodást biztosít, így a minősítés a talaj fizikai állapotának relatív, textúrafüggő értelmezését tükrözi, és nem utal szerkezetromlásra vagy a növények számára kedvezőtlen aerációs állapotra.

A „szélhatás,, (border/edge effect) minimalizálása érdekében mindhárom vetésidő esetében szegélysor vetésével kezdtük a kísérlet beállítását. Az egyes vetésidők között nem került kialakításra közlekedő út; a térképi ábrázoláson a V2 és V3 közötti sáv a felvétel készítésének időpontjából adódóan tűnik közlekedő területnek, mivel a felvételkor a V3 kísérlet még nem került beállításra.

Tisztelettel köszönöm, hogy opponensem értékelte a saját eredményeim módszeres összevetését más kutatók korábbi munkáival, valamint a disszertáció táblázatainak és ábráinak szakmai tartalmát, felépítését és vizuális megjelenését. Köszönettel elfogadom azt az észrevételét is, hogy néhány ábra kissé bonyolult, és a feliratok nehezen olvashatók.

Köszönöm opponensem elismerő megállapítását, miszerint a szakmai érvek és a kísérleti eredmények logikus összekapcsolása, valamint a levont következtetések elfogadhatók és tudományosan alátámasztottak.

Tisztelettel elfogadom opponensem észrevételét, miszerint a „Legfontosabb eredmények” fejezetben az újnak tekintett tudományos eredményeket rövidebben és tömörebben lehetett volna kiemelni.

Tisztelettel megjegyzem, hogy jogos az észrevétele a dolgozat angol nyelvű összefoglalójának hiányával kapcsolatban. Az MTA doktori szabályzatában nem szerepelt pontos útmutatás a dolgozat kötelező fejezeteire vonatkozóan, így az angol nyelvű összefoglaló elkészítésére sem. Ugyanakkor elismerem, hogy egy ilyen összefoglaló a dolgozat nemzetközi olvasóközönsége számára is hasznos lett volna.

Örömmel veszem opponensem megállapítását, miszerint a tézisfüzet megfelelő áttekintést nyújt a vizsgálatok eredményeiről.

Köszönettel tartozom opponensemnek, hogy a disszertációban ismertetett valamennyi új tudományos eredményt elfogadásra és elismerésre méltónak ítélte.

Az alábbiakban részletesen válaszolok opponensem kérdéseire

1. kérdés: *Figyelembe vette-e a 2023 tavaszán kijuttatott műtrágyák adagjai esetén, hogy a 2022 tavaszán az alap- vagy fejtrágyákkal kijuttatott tápanyagok egy része valószínűleg nem hasznosult, a talajban maradt, azaz a tesztnövényekbe nem került be a 2022-ben kialakult rendkívüli aszály miatt?*

Válasz: Köszönöm a fontos felvetést. A 2022. évi extrém vízhiány valószínűsíthetően csökkentette a talajoldat-koncentrációt, a diffúziós és tömegáramlásos tápanyagtranszportot, valamint a gyökéraktivitást, ami összességében a növények tápanyag-felvételének mérséklődéséhez vezethetett. Ennek következtében a kijuttatott tápanyagok egy része nem hasznosult teljes mértékben. A pontos mennyiségek meghatározásához laboratóriumi vizsgálatok nem álltak rendelkezésre, ezért a feltételezett utóhatás a 2023. évi eredmények értelmezése során figyelembe veendő tényezőként kezelhető.

Fontos kiemelni, hogy az adott csernozjom talaj kedvező fizikai és kémiai tulajdonságai — különösen a magas szervesanyag-tartalom és a jó vízmegtartó képesség — elősegítik a kijuttatott tápanyagok megkötődését, és hozzájárulhatnak a hosszabb távú talajmaradvány kialakulásához. Ez a jelenség különösen fontos az aszályos év utáni tápanyag-utóhatás értékelésénél, amikor a talaj–növény rendszer tápanyagforgalma módosult környezeti feltételek mellett zajlik.

A két évre vonatkozóan becslésen alapuló tápanyagmérleget készítettem. A kisebb műtrágyaadagok A₆₀, A₁₂₀ és V₆₉₀ kijuttatása esetén a becsült növényi nitrogénfelvétel meghaladta a kijuttatott mennyiséget, ami arra utal, hogy a növények a talaj természetes nitrogénkészletéből is jelentős mennyiséget vettek fel. Ezeknél a kezeléseknél ezért nem feltételezhető jelentős talajmaradvány. Ezzel szemben a nagyobb adagú kezelés (V₆₁₅₀, V₁₂₁₂₀ és V₁₂₁₈₀) esetében a kijuttatott nitrogén mennyisége meghaladta a becsült növényi felvételt, így feltételezhető, hogy ezeknél a kezeléseknél a talajban maradt tápanyag hozzájárulhatott a 2023. évi magasabb terméseredményekhez, tükrözve az ún. tápanyag-utóhatást.

A talaj-tápanyag dinamika szempontjából a nitrogén mobilitása és a csernozjom talaj magas szerves anyag-tartalma alátámasztja, hogy a nagyobb adagoknál a talajban maradt N potenciálisan elérhető formában maradhatott a következő év növényei számára. A kísérleti sajátosságok – az azonos adagok és kijuttatási időpontok minden évben – biztosítják, hogy a kezelések összehasonlíthatók legyenek, és az aszály mint rendkívüli környezeti tényező értelmezhető, amely a 2023. évi eredményekben utóhatásként jelentkezhetett. A jövőben végzett N_{min}- (ásványi NO₃⁻-N és NH₄⁺-N) mérések lehetőséget adnak a betakarítást követően

a talajban visszamaradó, potenciálisan kimosódásra hajlamos nitrogénfrakció pontosabb meghatározására, ezáltal a tápanyag-hasznosulás megbízhatóbb értékelésére.

Összességében ez a mechanizmus magyarázza, hogy a kisebb adagoknál nem alakult ki jelentős talajmaradvány, míg a nagyobb adagok esetében a talajban maradt nitrogén hozzájárulhatott a következő évi eredmények növekedéséhez.

2. kérdés: *SPAD méréseinek eredményeit összehasonlította-e, kalibrálta-e oldószeres extrakció után kapott klorofill-a vagy -b koncentrációkkal? Befolyásolhatta-e SPAD-méréseinek értékeit az adott évjáratban a szárazság-stressz hatására kialakult levélvastagodás, szövetszerkezeti, mikroanatómiai változás?*

Válasz: A levél nitrogéntartalmának gyors, roncsolásmentes meghatározása volt a cél. Ennek érdekében a modern precíziós mezőgazdaság követelményeinek megfelelően a SPAD-készüléket alkalmaztam, amely lehetővé teszi a roncsolásmentes és nagyszámú adatgyűjtést, így támogatva a gazdálkodók időben történő döntéshozatalát.

Jelen kísérletben oldószeres klorofill-a/b extrakcióval történő abszolút kalibráció nem történt, mivel a vizsgálat kezelések közötti relatív különbségek kimutatására irányult, és nem a pigmentkoncentráció pontos meghatározására. Ugyanakkor a SPAD-méréseket a gyártó által előírt rutin kalibrációs eljárásoknak megfelelően végeztem, amelyek biztosítják a készülék megbízható működését. Minden kezelésben azonos fenofázisban és levélpozícióban végeztem a méréseket, így az évjárat hatása – például a szárazság miatti levélvastagodás vagy szövetszerkezeti változások – az összehasonlítást egységesen érintette, és nem torzította a kezelések közötti különbségek értelmezését.

A látóképi kísérleti területen, Nagy János professzor úr 1983-ban alapított „Kukorica komplex tartamkísérlet”-ében végzett korábbi vizsgálatokban a kollégák összehasonlították a SPAD-értékeket oldószeres klorofill-extrakcióval meghatározott klorofill-a és -b koncentrációkkal. Eredményeik kimutatták, hogy a kukorica levél klorofill-tartalma és fotoszintetikus aktivitása nitrogénellátottság függvényében változik, és a SPAD-mérések jól korrelálnak a valódi pigmenttartalommal (Tóth et al., 2002). Ez alátámasztja a SPAD-mérések megbízhatóságát és alkalmazhatóságát a levél nitrogéntartalmának gyors, roncsolásmentes becslésére.

A jelen kísérletben mikroanatómiai vizsgálatok nem történtek, ezért közvetlenül nem tudom számszerűsíteni, hogy a 2022. évi aszály során kialakult levélszerkezeti változások milyen mértékben befolyásolták a SPAD-értékek alakulását. A szakirodalom azonban rámutat arra, hogy a SPAD-mérések eredményeit nemcsak a klorofill-tartalom, hanem a levél optikai és

anatómiai jellemzői is befolyásolhatják. Szárazságstressz hatására módosulhat a levél vastagsága, sejtszerkezete, valamint a fény levélen belüli terjedése (Peng et al., 1993; Coste et al., 2010; Uddling et al., 2007; Li et al., 2011; Cotrozzi, et al., 2020; e Oliveira et al., 2025). Mivel a SPAD-készülék a levél abszorpciós és reflexiós tulajdonságain alapuló relatív indexet mér, ezek a szerkezeti változások – a klorofill-koncentrációtól részben függetlenül – közvetlenül befolyásolhatják a mért értékeket.

Köszönöm az opponensi felvetést, amely rámutat egy olyan tényezőre, amely a jövőbeni vizsgálataim során célzott mikroanatómiai elemzésekkel tovább pontosítható lesz.

3. kérdés: Több éves eredményei alapján Ön szerint milyen mennyiségű csapadéknak kell lehullania a tenyészedőszakban ahhoz, hogy a hazai legelterjedtebb kukoricahibridek legalább egy átlagos csőhozamot produkáljanak aszályos évjárat kialakulása esetén?

Válasz: A kukorica termesztésében a vízhasznosítási mutató (water use efficiency, WUE) a növény vízfelhasználásának hatékonyságát jellemző alapvető indikátor. A modern növénytermesztés egyik kiemelt mérőszáma, különösen a fokozódó ariditási tendenciák mellett, mivel a termés képzés vízellátottság-érzékeny fenológiai fázisai – különösen a címerhányás és a megtermékenyülés – döntően befolyásolják a hozam nagyságát és stabilitását. A magasabb vízhasznosítási hatékonysággal rendelkező genotípusok kedvezőbb élettani és morfofiziológiai tulajdonságokkal (pl. sztómaszabályozás dinamikája, mélyebb és kiterjedtebb gyökérzet, fenntartott fotoszintetikus aktivitás) képesek mérsékelni a vízhiány negatív hatásait. Ennek megfelelően a WUE jelentős szelekciós kritérium a nemesítésben, valamint fontos agrotechnikai optimalizálási paraméter a fenntartható kukoricatermesztési rendszerek kialakításában, különös tekintettel a klímaváltozás következtében gyakoribbá váló csapadékeloszlási szélsőségekre.

A 13 éves tartamkísérleti adatsor alapján a tenyészedőszakban lehullott csapadék mennyiségének figyelembevételével végeztem vízhasznosítási mutató (WUE) számításokat, majd az eredményeket összehasonlítottam a nagyüzemi termesztési gyakorlatban ismert vízhasznosítási értékekkel. Az összehasonlító elemzés lehetővé tette annak értékelését, hogy a kísérleti kezelések milyen mértékben járultak hozzá a csapadék hatékonyabb hasznosításához, valamint hogy az eredmények mennyiben térnek el az üzemi szintű, gyakorlati körülmények között tapasztalt mutatóktól.

A hazai szakirodalom alapján kukorica optimális vízigénye 450–550 mm (Rajkainé Végh, K. és Szundy, 2004; Csajbók et al., 2014; Nagy, 2021) és nagyüzemi gyakorlatban a vízhasznosítási mutató (WUE) általában 18–24 kg ha⁻¹ mm⁻¹ tartományban alakul.

A 13 éves tartamkísérleti adatok alapján számított 35 kg ha⁻¹ mm⁻¹ érték ezt jelentősen meghaladja, ami a csapadékra vetített termésképzés kiemelkedő hatékonyságára utal (11 749 kg ha⁻¹ termés/332 mm tenyészidőszaki csapadék). Ugyanakkor hangsúlyozandó, hogy ehhez a termésmennyiséghez kukorica tényleges vízigénye 480–520 mm közé tehető, így a hiányzó vízmennyiséget a növényállomány döntően a talaj téli vízkészletéből fedezte.

Az eredmények a termesztéstechnológia magas színvonalát, valamint a termőhely kedvező agroökológiai adottságait igazolják. A kísérleti terület kiváló vízgazdálkodású csernozjom talajának jelentős víztároló kapacitása hozzájárult a tenyészidőszak során fellépő vízhiány mérsékléséhez. Emellett a csapadék kedvező időbeli eloszlása – különösen a kritikus fenológiai fázisokban, mint a virágzás és a szemkitelés időszaka – biztosította a reprodukzív folyamatok zavartalan lefolyását, illetve a kiváló genetikájú modern hibridek optimális terméshozamát. E tényezők együttesen lehetővé tették a talaj–növény rendszer vízkészleteinek hatékony hasznosítását és a magas termésszint stabil realizálását. A kapott WUE-érték tehát nem csupán a lehullott csapadék közvetlen hasznosulását, hanem a talaj–növény rendszer komplex vízgazdálkodási egyensúlyát is tükrözi.

A tenyészidőszak alatt lehullott csapadék mennyisége és eloszlása mellett a műtrágya-ellátás is jelentős hatással van a kukorica vízhasznosítására és termésképzésére. A 13 éves kísérleti átlagok alapján a legkisebb WUE (34 kg ha⁻¹ mm⁻¹) az A₆₀ kezelésben, míg a legnagyobb (41 kg ha⁻¹ mm⁻¹) a V₆₁₅₀ kezelésben volt. Eredményeink rávilágítanak arra, hogy a magasabb N-műtrágya-adag javíthatja a kukorica aszálytűrést és akár 20%-kal is javíthatja a WUE-t, de csak akkor, ha a környezeti tényezők – például a csapadék eloszlása és a hőmérséklet – nem korlátozzák a szemtelítődést.

Több éves kísérleti adatok alapján a jól kiegyensúlyozott tápanyagellátás és a kedvező vízellátottság együttesen magasabb és stabilabb termésszintet eredményez, míg a tápanyaghiányos körülmények között a vízhasznosítás hatékonysága csökken, és a kritikus fenológiai fázisokban bekövetkező csapadékbőségek sem épülnek be optimálisan a termésbe.

Egy átlagos, 8 t ha⁻¹ terméshez – tartamkísérleti adatok alapján – csernozjom talajon, jó agrotechnika mellett (V₆₁₅₀ – 41 kg ha⁻¹ mm⁻¹) elméletileg kb. 195–200 mm tenyészidőszaki csapadék elegendő, feltéve, hogy az érkező csapadék eloszlása kedvező, és a téli talajvízkészlet 100%-os. A gyakorlatban azonban 330–350 mm az a küszöb, ahol a kukorica már nem csupán

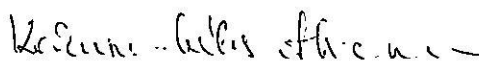
túlél vagy vegetál, hanem képes kihasználni genetikai potenciálját és a kijuttatott nitrogénmennyiséget (V₆₁₅₀) a termés maximalizálása érdekében.

Végezetül ismételten köszönetemet fejezem ki opponensem részletes bírálatáért, értékes észrevételeiért és megállapításaiért, bízva abban, hogy válaszaim kielégítő módon adnak választ felvetéseire.

Különös megtiszteltetés és elismerés számomra, hogy Dr. Simon László, az MTA doktora munkámat önálló, hiteles és tudományosan megalapozott teljesítményként értékeli, és a téma időszerűsége, az alkalmazott módszertan korszerűsége, valamint az új tudományos eredmények és azok rangos nemzetközi folyóiratokban történt publikálása alapján a Magyar Tudományos Akadémiához benyújtott értekezésemet nyilvános vitára alkalmasnak tartja.

Külön hálával tartozom azért a támogató állásfoglalásért, amely szerint sikeres védés esetén az „MTA doktora” tudományos cím odaítélését is támogatja.

Debrecen, 2026. 02. 27.


Dr. Kakuszi-Széles Adrienn
egyetemi tanár

Felhasznált irodalom

- Coste, S., Baraloto, C., Leroy, C., Marcon, É., Reneud, A., Richardson, A., Roggy, J.C., Schimann, H., Uddling J., Hérault, B. (2010). Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest. *Annals of Forest Science*, 67(6), 607–612.
- Cotrozzi, L., Peron, R., Tuinstra, M.R., Mickelbart, M.V., Couture, J.J. (2020). Spectral phenotyping of physiological and anatomical leaf traits related with maize water status. *Plant Physiology*, 184(3), 1363–1377.
- Csajbók, J., Kutasy, E., Pepó, P. (2014). The water use efficiency of maize depending on abiotic stress factors in field experiments. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 1(1), 23–28.
- de Oliveira J.P.V., Duarte, V.P., Dos Reis, C.H.G., da Silva, P.N., de Castro, E.M., Magalhães, P.C., Pereira, F.J. (2025). Anatomical variations along the leaf axis modulate photosynthetic responses of sorghum and maize under different water availabilities. *Plant Biology*, 27(7), 1366–1377.
- Li, J., Yang, J., Li, D., Fei, P., Guo, T., Ge, C., Chen, W. (2011). Chlorophyll meter's estimate of weight-based nitrogen concentration in rice leaf is influenced by leaf thickness. *Plant Production Science*, 14(2), 177–183.
- Nagy, J. (szerk.) (2021). Kukorica: a nemzet aranya — Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest.
- Peng, S., Garcia, F.V., Laza, R.C., Cassman, K.G. (1993). Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal*, 85(5), 987–990.

Rajkainé Végh, K., Szundy, T. (2004). Kukorica genotípusok vízellátottsága és vízhasznosítása. *Agrokémia és Talajtan*, 53(1–2), 35–54.

Tóth V.R., Mészáros I., Veres Sz., Nagy J. (2002). Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *Journal of Plant Physiology*, 159(6), 627–634.

Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*, 91(1), 37–46.