

Válasz

Prof. Dr. Marton L. Csaba, 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 részletes és pozitív értékelését, valamint a dolgozatom célkitűzéseire és tudományos jelentőségére vonatkozó elismerő megállapításait. Külön köszönöm, hogy opponensem kiemelte a hosszú idősoros, tartamkísérleteken alapuló megközelítés időszerűségét és megalapozottságát, valamint a kukorica termésingadozásának komplex vizsgálatát a termesztési tényezők és a növény fiziológiai állapotának összefüggésében.

Köszönöm továbbá, hogy opponensem fontosnak és relevánsnak ítélte a szemtermés mennyiségi jellemzői mellett a minőségi paraméterek vizsgálatát is, valamint hogy az értekezés tudományos és gazdasági jelentőségét nemcsak hazai, hanem más, hasonló ökológiai adottságú régiók vonatkozásában is kiemelkedőnek tartja.

Köszönöm az értekezés formai és szerkezeti felépítésére vonatkozó elismerő szavait. Megtisztelő számomra, hogy az opponensem az ábrákat és táblázatokat informatívnak és jól értelmezhetőnek találta, valamint hogy a dolgozat stílusát, tagolását és logikai felépítését átgondoltnak és következetesnek ítélte.

Opponensem elismerő véleménye megerősítést jelent számomra abban, hogy a választott téma és az alkalmazott módszertani megközelítés időszerű, szakmailag megalapozott, és hozzájárulhat a kukoricatermesztés eredményességének jobb megértéséhez és fejlesztéséhez.

Az „Irodalmi áttekintésben” különös figyelmet fordítottam arra, hogy a témával kapcsolatos legfontosabb tudományos előzményeket átfogóan és elemzően értékeljem. Törekedtem arra, hogy a magyar szakirodalmak és az alma mater korábbi tanulmányai megfelelő arányban kerüljenek bevonásra.

Köszönöm opponensem pozitív értékelését, mely szerint a kísérlet során alkalmazott vizsgálati módszerek megbízhatóak, korszerűek, és alkalmasak a célkitűzésekben megfogalmazott kérdések megalapozott vizsgálatára. Köszönöm továbbá annak elismerését, hogy az eredmények feldolgozását és matematikai-statisztikai értékelését magas színvonalúnak, az alkalmazott módszertannal összhangban állónak és a mértéktartó következtetések levonását támogató megközelítésnek minősítette.

Tisztelettel megköszönöm, hogy opponensem különösen érdekesnek találta a 4.3. fejezetben bemutatott, a környezeti tényezők és az N-műtrágyázás kukorica SPAD-értékére és termésére gyakorolt hatására, valamint a SPAD alkalmazhatóságára vonatkozó megállapításaimat.

Köszönöm annak elismerését, hogy a kukorica beltartalmi tulajdonságaira vonatkozó vizsgálati eredmények – viszonylag kis genetikai variabilitás ellenére – releváns és értékes információkkal szolgálnak.

Nagyra értéklek, hogy a 4.4.4. „Vetésidő hatásának modellezése a kukorica kelésére és virágzására” című fejezetben ismertetett eredményeket kiemelkedőnek minősítette. Egyetértését fejezte ki továbbá azzal, hogy a szimulációs modellben a hasznos hőösszeg (GDD) számításakor a 10 °C-os bázisérték helyett 6 °C-os talajhőmérsékleti bázisértéket vettem figyelembe, mivel a 6 °C-os talajhőmérséklet feleltethető meg a kukorica fejlődése szempontjából kritikus 10 °C-os léghőmérsékleti bázisértéknek.

Köszönöm annak elismerését is, hogy a növekedési modellek módosítását és továbbfejlesztését alkotó jellegűnek tartja, valamint hogy eredményeim szakirodalmi kontextusba helyezését és az abból levont következtetéseket megalapozottnak minősítette.

Köszönettel tartozom opponensemnek, hogy a disszertációban ismertetett új tudományos eredmények közül kilencet elfogadásra és elismerésre méltónak ítélte.

Az alábbiakban részletesen válaszolok opponensem kérdéseire

1. kérdés: *Mi lehet a SPAD szerepe a precíziós növénytermesztésben. Mennyiben javítja a várható termés előrejelzést a SPAD és LAI értékek egyidőben történő együttes alkalmazása?*

Válasz: A SPAD szerepe a precíziós növénytermesztésben elsősorban a növényállomány nitrogénellátottságának monitorozásában és a térbeli heterogenitás feltárásában érvényesül. A SPAD-érték azonban nemcsak a nitrogénellátottság állapotát tükrözi, hanem – a klorofilltartalomon keresztül – a levél fotoszintetikus kapacitásáról is információt ad, így a növény aktuális produktivitási potenciáljának egyik leggyorsabban mérhető indikátora. Alkalmazhatósága ugyanakkor döntően, a megfelelő fenológiai időzítéstől függ. Vizsgálataim alapján a V6 fenofázisban mért SPAD-érték a terméspotenciál korai indikátoraként tekinthető. Ebben a fejlődési szakaszban kialakul a levélfelület és a fotoszintetikus kapacitás strukturális alapja is, valamint megkezdődik a generatív szervek differenciálódása. A nitrogénellátottság ekkor közvetlenül befolyásolja az asszimilátum-termelés mértékét, és ezáltal a fejlődő szervek számára rendelkezésre álló szervesanyag-mennyiséget. Következésképpen a V6 stádiumban mért SPAD-érték nem csupán az aktuális nitrogénellátottságot tükrözi, hanem a későbbi

terméskomponensek kialakulását meghatározó életteni kondíciót is előre jelzi. Bár a V6-ban mért SPAD és a végső termés közötti korreláció laza, mely azonban a korai döntéstámogatás szempontjából értékes, mivel a paraméter lehetővé teszi a potenciális nitrogénstressz felismerését és a célzott beavatkozások (például nitrogénkijuttatás) időbeni megtervezését. Ezzel szemben az R1 fenofázisban a terméskomponensek nagy része már rögzült, és a SPAD-érték közvetlenebbül tükrözi a szemképződés és -telítődés folyamatát, ezért ebben a szakaszban a SPAD a várható termés nagyságáról szolgáltat megbízható információt, vagyis termésbecslésre alkalmasabb, ugyanakkor a beavatkozást támogató szerepe már korlátozott.

A SPAD és a LAI együttes alkalmazása lehetővé teszi a növény nitrogén- és fotoszintetikus potenciáljának, valamint az állomány napfény-felvételi kapacitásának pontos értékelését, így az állomány fotoszintetikus teljesítménye megbízhatóan közelíthető. Vizsgálatom alapján a SPAD és a LAI együttes modellbe foglalása biztosította a legpontosabb termés-előrejelzést (VT, $R^2=0,762$), roncsolásmentesen és költséghatékonyan, még száraz és extrém száraz években is. A 0,762-es determinációs együttható mezőgazdasági, több évjáratot felölelő vizsgálatok esetében kifejezetten erős kapcsolatnak tekinthető, különösen figyelembe véve az évjáráthatás és a vízstressz jelentős variációját.

A modell egyszerűségének köszönhetően jól alkalmazható a gyakorlatban, mivel csupán SPAD és LAI értékekre van szükség, és már a VT fázisban megbízhatóan képes becsülni az adott év termését. A precíziós növénytermesztésben hatékony módszer a két szenzor kombinációja, mert a VT fázisban a levélfelület és a klorofilltartalom együttesen tükrözi a fotoszintetikus kapacitást és a potenciális termés realizálódását. Lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy a termesztést ellenőrzött módon tervezhetik, illetve az észlelt problémákra időben reagáljanak.

A modell alkalmazása során figyelembe kell venni néhány tényezőt: a genotípus-specifikus klorofill-reakciók különbségeit, a magas LAI esetén fellépő önárnyékolás hatását; továbbá rendelkezni kell a megfelelő pontosságú mérőműszerekkel, folyamatosan nyomon kell követni a kukorica fejlettségi állapotát, valamint a VT fázisban elegendő számú méréssel kell rendelkezni a megbízható előrejelzéshez.

2. kérdés: *Mivel magyarázható, hogy 2023-ban a keményítő- és fehérjetartalom értéke a korábbi trendtől jelentős mértékben eltért?*

Válasz: Az évjárat komplex környezeti hatása meghatározó volt a kukoricaszem keményítő- és fehérjetartalom alakulásában. A 13 év átlagában mért 72,7 g 100 g⁻¹sza. keményítő- és 8,5 g 100 g⁻¹sza. fehérjetartalomhoz képest 2023-ban mindkét mutató számottevően alacsonyabb volt (keményítő: 62,1 g 100 g⁻¹sza., fehérje: 6,4 g 100 g⁻¹sza), miközben a termés az átlag körül alakult (11,093 t ha⁻¹).

A szemek beltartalmi összetételét elsősorban a szemtelítődés (R2–R5) időszakának környezeti feltételei (vízellátás, hőmérséklet) határozzák meg, amelyek a tápanyagok termésbe történő eloszlásán keresztül érvényesülnek.

A keményítőtartalom 2020-ban érte el maximumát, amikor a tenyészidőszakban a 13 év közül a legtöbb csapadék hullott (483 mm), átlagos hőmérsékleti viszonyok mellett (17,6 °C). A kritikus szemtelítődés időszakában lehullott jelentős csapadék (302 mm) és a mérsékelt hőmérséklet (20,5 °C) kedvező feltételeket biztosított a fotoszintézisnek és a szénhidrát-felhalmozásnak, ami magas keményítőtartalmat eredményezett.

A szemfehérje-tartalom legmagasabb értékét 2021-ben mértük, amikor a tenyészidőszak mérsékeltebb csapadékelátású (182 mm) és hőmérsékletű (17,6 °C) volt. A kritikus szemtelítődés időszakában lehullott mindössze 81 mm csapadék és a mérsékelt 20,2 °C elősegítette a lassabb szemtelítődés lefolyását, ami lehetővé tette a nitrogén hatékonyabb transzlokációját a szemekbe, így magasabb fehérjetartalmat eredményezett.

Ezzel szemben a 2023-as évben, – bár a termésmennyiség nem csökkent (11,405 t ha⁻¹) –, a magasabb hőmérséklet (21,7 °C) és mérsékeltebb csapadék (173 mm) következtében a szemtelítődés (R2–R5) effektív időtartama rövidült, ami korlátozta mind a szénhidrát-, mind a nitrogénbeépülést a szemekbe. A virágzáskori SPAD-értékek (V6: 38,5; V12: 48; R1: 51,3) alapján a növények nitrogénellátottsága a generatív szakasz kezdetén megfelelő volt, így a beltartalmi paraméterek csökkenése nem induló nitrogénhiányra vezethető vissza. A keményítő- és fehérjekoncentráció együttes csökkenése így nem klasszikus hígulási hatás, hanem a felhalmozási folyamatok kinetikai korlátozottságának következménye, amelyet a rövidebb R2–R5 periódus idézett elő.

Az eredmények alapján a szemek beltartalmát nem a teljes éves csapadék vagy átlaghőmérséklet határozza meg, hanem a csapadék és hőmérséklet kritikus időszakokra eső eloszlása, illetve azok összehangoltsága a szemtelítődés fázisaival. Így a szemtelítődés időtartama, a hőmérséklet és a csapadék együttes hatása magyarázza a vizsgált évek közötti különbségeket a keményítő- és fehérjetartalomban.

3. kérdés: *Lehet-e javasolni általánosságban az alap 120 kg N ha⁻¹ kezelést a hazai száraz művelésben termesztett kukorica tápanyag ellátására?*

Válasz: Magyarország agroökológiai adottságai – különösen a talajtípusok heterogenitása és a csapadék tér- és időbeli változékonysága – jelentős mértékben befolyásolják a kukorica nitrogénhasznosulását szárazgazdálkodási körülmények között. Ennek következtében a nitrogénreakció évjáratonként és termőhelyenként számottevő eltéréseket mutathat. A vizsgált kísérletben a 120 kg N ha⁻¹ dózisú alaptrágyázás elegendőnek bizonyult a maximális termésszint eléréséhez, azonban ez az érték *nem tekinthető általános érvényű ajánlásnak. Az*

optimális nitrogénadag meghatározását több tényező együttesen befolyásolja, így a talaj ásványi nitrogénkészlete és potenciális nitrogénszolgáltató képessége, humusztartalma, az elővetemény hatása, a termesztett hibrid genetikai adottságai, valamint az adott év csapadékviszonyai és azok eloszlása.

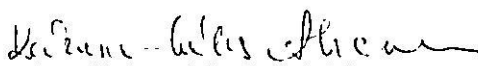
Száraz körülmények között, a csökkent transzspiráció és talajnedvesség következtében romlik a nitrogén felvétele, ami a kijuttatott műtrágya hasznosulását jelentősen mérsékli. Mivel a vízhiány korlátozza a tápanyagfelvételt és a nitrogén növényen belüli transzportját, extrém száraz évjáratban, a V6 és V12 fenofázisban kijuttatott fejtrágya hatékonysága jelentősen romolhat. A kísérleti eredmények alapján ilyen körülmények között a fejtrágyázás szignifikáns terméseszköket eredményezett, amely feltehetően a vízlimitált állapotban fokozódó élettani terheléssel és a nitrogén hasznosulásának romlásával hozható összefüggésbe. A fejtrágyázás ezért csak abban az esetben indokolt, ha a várható csapadékviszonyok és a talaj aktuális vízállapota biztosítják a kijuttatott nitrogén hatékony felvételének feltételeit.

A döntést minden esetben az elővetemény hatásának, a talajvizsgálati eredményeknek, a hibrid specifikus tápanyagigényének, valamint a meteorológiai előrejelzések integrált mérlegelésével célszerű meghozni.

Végezetül szeretném ismételten megköszönni opponensemnek részletes bírálatát, értékes észrevételeit és megállapításait, abban a reményben, hogy a válaszaimat kielégítőnek találja.

Tisztelettel köszönöm opponensemnek, Dr. Marton L. Csaba, az MTA doktorának, hogy értekezésemet elfogadásra javasolja, valamint annak nyilvános vitára bocsátását, és sikeres védés esetén a DSc fokozat odaítélését támogatja.

Debrecen, 2026. 02. 11.


Dr. Kakuszi-Széles Adrienn
egyetemi tanár