

Válasz

Prof. Dr. Berzsényi Zoltán, az MTA doktorának,

Kakuszi-Széles Adrienn „A precíziós mezőgazdasági technológiák alkalmazása a kukorica termésingadozás mérséklésére” c. akadémiai doktori (DSc) értekezéséről készített bírálatára

Ezúton szeretném kifejezni tiszteletemet és őszinte köszönetemet Dr. Berzsényi Zoltán, az MTA doktorának a dolgozatomról, valamint az azt megalapozó kutatómunkámról készített átfogó és nagy alaposággal megfogalmazott szakmai bírálatáért. Különösen hálás vagyok az elismerő szavaiért, amelyek számomra komoly szakmai megerősítést jelentenek, valamint a körültekintően megfogalmazott, jogos észrevételekért és értékes megjegyzésekért. Nagyra értékelem továbbá a felvetett, érdemi szakmai párbeszédre ösztönző kérdéseit, amelyek munkám további elmélyítését és tudományos igényű továbbgondolását segítik elő.

Irodalmi áttekintés

Tisztelettel köszönöm opponensemnek, hogy az irodalmi áttekintés szerkezetét és tartalmát a disszertáció célkitűzéseivel összhangban állónak ítélte, valamint hogy kiemelte a korszerű kukoricatermesztés azon tényezőinek bemutatását, amelyek a szabadföldi kísérletek és mérések tudományos megalapozását szolgálták. Külön megtiszteltetés számomra, hogy a dolgozat egészét gondos és igényes munkaként értékelte, a disszertáció nyelvezetét a tudományos elvárásoknak megfelelőnek találta, továbbá elismerően szólt az ábrák és táblázatok szerkesztésének magas színvonaláról és sokféleségéről.

Anyag és módszer

Örömmel veszem, hogy a kísérletek saját kezdeményezését és beállítását, valamint a tartamkísérlet elindítását pozitívan értékelte, továbbá elismerte a statisztikai elemzések – varianciaanalízis, korreláció-, regressziószámítás, kiegészítő tesztek és CV%-elemzés – szakszerű alkalmazását, valamint a predikciós módszerek és modell számítások megfelelő használatát.

Eredmények

Tisztelettel köszönöm, hogy opponensem különösen érdekesnek találta a SPAD-érték (X) és a termés (Y) közötti, valamint a szemtermés fehérjetartalma (X) és a termés (Y) közötti összefüggés vizsgálatát 13 év adatai alapján.

Szeretném kifejezni őszinte köszönetemet opponensemnek a vetésidő hatásával kapcsolatos értékes észrevételeiért. Teljes mértékben egyetértek azzal a megállapítással, hogy a három vizsgált év adatsora – annak időbeli korlátozottsága miatt – önmagában nem elegendő ahhoz, hogy általános érvényű, megalapozott következtetéseket vonjunk le a kukorica hibridek vetésidőre adott reakciójáról, illetve az optimális vetésidő meghatározásáról. Ugyanakkor fontosnak tartja hangsúlyozni, hogy a kutatás eredményei a vizsgált évjáratok agroökológiai feltételei között értelmezhetők, és értékes információkkal szolgálnak a különböző genotípusú hibridek vetésidőre adott differenciált reakciójáról. Ezek az eredmények hozzájárulhatnak a témában végzendő további, hosszabb időtartamú és szélesebb körű vizsgálatok megalapozásához, valamint iránymutatást adhatnak a jövőbeni kísérlettervezéshez.

Külön köszönöm opponensem megerősítését az olaj- és fehérjetartalom közötti kapcsolat általam adott értelmezésének helyességét illetően, miszerint a két komponens valójában együtt változik, és ezt az együttes változást a telítődési függvény megfelelően és szemléletesen leírja.

Köszönettel fogadom opponensem megállapítását, miszerint a klorofill-tartalom (SPAD) és a levélterület-index (LAI) értékes információt nyújt a növény tápláltsági állapotáról, amely nagyon szemléletes kvartilis ábrán került bemutatásra. Az elvégzett folyamatos megfigyelés a precíziós növénytermesztésben elengedhetetlen, hiszen hozzájárul a tápanyag-utánpótlás optimalizálásához és a termés pontosabb előrejelzéséhez. Ezen mérőszámok alkalmazása segítheti a termesztési döntések tudományos megalapozását, és hozzájárulhat a fenntartható, hatékony gazdálkodási gyakorlat kialakításához.

Tisztelettel elfogadom opponensem megállapítását a 44. ábrával kapcsolatban. Az ábra valóban rendkívül szofisztikált, hiszen a vizsgált hét paraméter (fenológia, időpont, hibrid, N-műtrágyázás, SPAD, NDVI, termés) közötti kölcsönhatások összetett kapcsolatait mutatja be. Ugyanakkor áttekintése az információk gazdagsága miatt összetett, ami a kapcsolatok részletes értelmezését nehezíti.

Észrevételek, megjegyzések és javaslatok

Opponensem értékes észrevételeivel kisebb hiányosságokra hívta fel a figyelmemet, amelyeket a jövőbeni munkáim során fokozott gondossággal igyekszem elkerülni.

Egyetértek opponensemvel abban, hogy a kísérletek elrendezésének pontos meghatározása kiemelt jelentőségű, mivel a varianciaanalízis erre épül, és a kettő között teljes összhangnak kell fennállnia. A kísérleti elrendezést bemutató ábrákon a teljes körű, egyértelmű információ feltüntetése indokolt lett volna. Az 1. ábra: osztott parcellás elrendezésű kísérlet (főparcella a

vetésidő, alparcella a kukorica hibrid), három vetésidő (V1: korai, V2: optimális és V3: késői) és 8 kukorica hibrid, illetve a 2. ábra: a strip-split plot elrendezésű kísérlet (főparcella a hibridek, osztó parcella az öntözési változatok (öntözött, nem öntözött), valamint az osztó-osztóparcella a műtrágyadózisok).

Köszönöm opponensem észrevételét, miszerint a 4.3. fejezetben a varianciaanalízis nem épít a speciális kísérleti elrendezésekre. Az alkalmazott modell a kísérleti elrendezés alapvető struktúráját vette figyelembe. Az elemzés során az alkalmazott modell explicit módon tartalmazta a speciális kísérleti elrendezésekből adódó hierarchikus struktúrát. A klasszikus sávós, illetve osztott parcellás elrendezések esetében a főparcella- és alparcella-szintű hibakomponenseket (Hiba MQ) a modellben megfelelően definiáltam, és a tényezők tesztelése ezekhez rendeltén történt. Ennek megfelelően a varianciafelbontás és az F-próbák az adott kísérleti elrendezés logikájával összhangban kerültek meghatározásra, így a kezelés hatások pontosan és megbízhatóan kimutathatók voltak.

Jogos az észrevétel, hogy néhány ábráról (30., 36–37., 45–48.) hiányzik az összefüggést leíró egyenlet, és az összefüggéseket bemutató ábrákon nem került feltüntetésre az adatpárok száma (n), továbbá a 14. és 16. ábrán az SzD jelölése elmaradt.

Elismerem, hogy a 33. ábrán nem került feltüntetésre, hogy az adatok a két hibrid átlagértékeit mutatják, illetve a 43. ábrán az évek jelölése felcserélődött.

Elfogadom, hogy a 18., valamint a 20–22. ábrákon a logaritmushatvány egyenlete nem megfelelően került feltüntetésre, továbbá hogy célszerűbb lett volna oszlopdiagramot alkalmazni.

Opponensem teljesen jogosan mutat rá arra, hogy a 4.5. fejezetben indokolt lett volna a varianciatáblázatok közlése.

Külön köszönöm a 20–23. táblázatok mintaszerű összeállítására vonatkozó elismerő szavait.

Az alábbiakban részletesen válaszolok opponensem „Eredmények” fejezetben megfogalmazott kérdéseire

1. Kérdés: *Mivel magyarázható a Sushi kukorica hibrid tenyésztőjére vonatkozó GDD értékek eltérése 2018 és 2019 között?*

Válasz: Az eredmények alapján 2018-ban a Sushi (FAO 340) és a Fornad (FAO 420) hibridek tenéyzsidőszakára számított hőösszeg (GDD) között különbség volt kimutatható, míg 2019-ben ez az eltérés nem jelentkezett. A Fornad hibrid GDD-értéke mindkét évben gyakorlatilag

azonos volt (2018: 1446°C; 2019: 1444°C), míg a Sushi hibrid esetében évjáráti eltérés mutatkozott. Ezzel párhuzamosan a PTU, HTU és HYTU értékek mindkét évben a Fornad hibrid esetében magasabbak voltak.

2018-ban a magasabb középhőmérséklet (19,6 °C) gyorsabb napi hőösszeg-felhalmozódást eredményezett, míg 2019-ben az alacsonyabb középhőmérséklet (18,4 °C) lassabb GDD-felhalmozódást tett lehetővé. A csapadék eltérése (318 és 366 mm) közvetett hatással lehetett a tenyészidő lefutására, a növény fejlődési dinamika stabilitásán keresztül, különösen a rövidebb tenyészidejű Sushi hibridnél. Fontos hangsúlyozni, hogy nem az éves átlaghőmérséklet, hanem a kritikus fenológiai szakaszok alatti hőmérsékleti dinamika befolyásolja a fiziológiai érettség eléréséig felhalmozott hőösszeget.

A Fornad hibrid hosszabb tenyészideje következtében a fejlődési ciklus időben elnyújtott, így az évjáráti hőmérsékleti és csapadékkülönbségek hatása a teljes vegetációs periódus során részben kiegyenlítődik, ezért a felhalmozott hőösszeg stabil maradt a két év között. Ezzel szemben a Sushi hibrid rövidebb tenyészideje miatt érzékenyebben reagált a kedvezőtlen évjáráti klimatikus eltérésekre, ami a kumulált GDD-értékek közötti különbségben is megnyilvánult. A rövidebb tenyészidejű hibridek fejlődési rátája gyakran nagyobb hőmérséklet-érzékenységet mutat, így a napi hőösszeg-felhalmozódás változásai arányosan nagyobb mértékben és gyorsabban módosítják a fenológiai fázisok időtartamát, ami végső soron a teljes fenológiai ciklus hosszának évjáráti ingadozását eredményezi. A komplex energia-integrációs mutatók (PTU, HTU, HYTU) mindkét vizsgált évben magasabb értéket mutattak a Fornad hibrid esetében, ami elsősorban a hosszabb vegetációs periódusból fakadó nagyobb kumulatív hő- és sugárzásintegrációs potenciállal magyarázható.

A hosszabb tenyészidejű hibrid esetében a növény hosszabb fejlődési periódusa lehetőséget biztosít arra, hogy a vegetációs időszak során fellépő hő- és sugárzási anomáliák időben részben kiegyenlítődjenek, ezáltal mérséklődjenek az évjáráti ingadozások hatásai az összegzett agroklimatikus mutatókban. Ezzel szemben a rövidebb tenyészidejű genotípusok esetében a klimatikus eltérések időben koncentráltabban érvényesülnek, így az évjáráti hatás erőteljesebben jelentkezik és nagyobb relatív mértékben befolyásolja az energia-integrációs paraméterek alakulását.

2. Kérdés: *Megelőzte-e a logaritmus függvény kiválasztását más függvények illeszkedésének összehasonlító statisztikai vizsgálata?*

Válasz: A megfelelő függvénytípus kiválasztását az SPSS programban végzett előzetes adatfeltáró elemzés alapozta meg. Első lépésként grafikusan ábrázoltam az adatokat a vizsgált

változók közötti kapcsolat szemléltetésére, amely lehetővé tette az összefüggés alakjának és a szórás mintázatának vizsgálatát. Ezt követően több lehetséges regressziós modell illeszkedését hasonlítottam össze. A lineáris, polinomiális és logaritmikus modellek összehasonlítása során nemcsak a determinációs együtthatót, hanem az illeszkedés jóságát mérő egyéb paramétereket (pl. hibák, AKAIKE információs kritérium, BAYESI információs kritérium, stb.) is értékeltem. Az elemzés eredményei alapján a logaritmikus modell jobban követte az adatok empirikus mintázatát, és az illeszkedést mérő paraméterek is magasabb értéket mutattak az egyéb modellekhez viszonyítva. A logaritmikus modell esetében a reziduumok szórása egyenletesebbnek bizonyult, és a maradékok nem mutattak szisztematikus mintázatot. Ennek alapján a további vizsgálatok során a logaritmikus függvényillesztést alkalmaztam. A logaritmikus transzformáció csökkentette a nagyobb értéktartományban jelentkező maradékok szórását, ezáltal kiegyenlítettebb varianciaszerkezetet eredményezett, és jobban megfelelt a regressziós modellek állandó varianciára vonatkozó alapfeltevésének.

A függvénytípus kiválasztása tehát statisztikai és modell-diagnosztikai szempontok együttes mérlegelése alapján történt. A logaritmikus regresszió a vizsgálat célkitűzései szempontjából módszertanilag is indokoltnak bizonyult.

3. Kérdés: *Az elmúlt időszakban különböző távérzékelési technikákat és vegetációs indexeket fejlesztettek ki a kukorica klorofill tartalmának becslésére. Hogyan ítéli meg ezek alkalmazhatóságát a precíziós mezőgazdaságban?*

Válasz: A növénytermesztés sikerességének egyik alapvető feltétele a termőhely adottságaihoz és a növények tápanyagigényéhez igazodó, szakszerű tápanyagellátás. A modern szenzortechnológia alkalmazása ezen a területen új dimenziókat nyit: *a kézi és proximal szenzorok* (pl. SPAD, GreenSeeker) rendkívül pontos, közvetlen klorofill- és tápanyag-mérést biztosítanak, ideálisak a kalibrációhoz és helyspecifikus döntéstámogatáshoz, bár nagy területeken munka- és időigényesek, üzemeltetésük költséges lehet. *A műholdas multispektrális és hiperspektrális távérzékelés* nagyléptékű, ismétlődő állapotmonitoringot tesz lehetővé, kis beruházási igény mellett, de felbontása korlátozott, és a felhőfedettség csökkentheti pontosságát. Az *UAV-alapú (drónos) szenzorok* ötvözik a nagy térbeli felbontást és spektrális érzékenységet, lehetővé téve a Red Edge és hiperspektrális indexek precíz alkalmazását, ugyanakkor magas beruházási és üzemeltetési igénnyel járnak.

Fontos kiemelni, hogy a hagyományos *laboratóriumi talaj- és tápanyagvizsgálatok* továbbra sem elhanyagolhatók: ezek biztosítják a referenciaadatokat, a szenzorok kalibrációját, és

nélkülözhetetlenek a megbízható tápanyag-gazdálkodási döntésekhez. Ugyanakkor a szenzorok és távérzékelési platformok hatékony alkalmazása már magasan képzett szakembereket igényel, ezért a gazdálkodóknak *oktatási és képzési programokra* van szükség, hogy az adatok értelmezése és a döntéstámogatás teljes mértékben kihasználható legyen.

Összességében a kézi szenzorok alacsony beruházással, de magas munkaigénnyel szolgálják a referenciát és kalibrációt; a műholdas platformok kis beruházással és nagyléptékű, költséghatékony monitoringot biztosítanak; míg az UAV-platformok magas beruházás és üzemeltetés mellett precíz, parcellaszintű monitorozást tesznek lehetővé. A három megközelítés integrációja a leghatékonyabb, legpontosabb és gazdaságilag optimalizált tápanyag- és klorofill-monitoringot biztosítja a precíziós gazdálkodásban, feltéve, hogy a felhasználók megfelelő képzést kapnak az eszközök és adatok hatékony alkalmazásához.

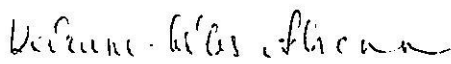
A spektrális mérések pontosságát azonban számos tényező befolyásolhatja, így különösen a talaj reflektanciája, levélszerkezeti és morfológiai sajátosságok, valamint a növény vízellátottsága. Ennek következtében a távérzékelési indexek önmagukban nem tekinthetők közvetlen tápanyag-ajánlási eszközöknek, hanem olyan döntéstámogató indikátoroknak, amelyek kizárólag terepi kalibrációval és megfelelő agronómiai kontextusba ágyazva alkalmazhatók megbízhatóan.

Hálásan köszönöm Dr. Berzsényi Zoltán, az MTA doktorának az opponensi véleményét és a kutatásaimra vonatkozó értékelést, valamint hogy munkámat alkalmasnak tartja arra, hogy hozzájáruljon a precíziós kukoricatermesztési technológiák megalapozásához és fejlesztéséhez.

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

Nagy megtiszteltetés számomra, hogy munkámat Dr. Berzsényi Zoltán, az MTA doktora önállóan és hitelesnek tartja, a tudományos eredményeket újként fogadja el, és alkalmasnak találja a nyilvános vitára. Különösen hálás vagyok javaslatáért, amely a sikeres nyilvános védés esetén hozzájárulhat az „MTA doktora” tudományos cím elnyeréséhez.

Debrecen, 2026. 02.15.


Dr. Kakuszi-Széles Adrienn
egyetemi tanár