

## **Opponensi vélemény**

### **Széles Adrienn: "A precíziós mezőgazdasági technológiák alkalmazása a kukorica terméshozadás mérséklésére" c. MTA doktori értekezéséről**

A disszertáció 134 oldal terjedelmű, melyet 21 oldal irodalomjegyzék és 3 oldal ábra- és táblázatjegyzék egészít ki. Szerkezeti felépítése a követelményeknek megfelel. Magában foglalja a következő fejezeteket: (1) Bevezetés, (2) Irodalmi áttekintés, (3) Anyag és módszer, (4) Eredmények, (5) Összefoglalás, (6) Legfontosabb eredmények, Irodalomjegyzék.

#### **Irodalmi áttekintés**

Az irodalmi áttekintés fő fejezetei tartalmazzák a korszerű kukoricatermesztésnek azokat a tényezőit, melyeket a disszertációban részletesen elemez a Jelölt, a szabadföldi kísérletekben végzett mérések, felvételezések alapján. Az *Irodalomjegyzék* hatalmas mennyiségű irodalmi hivatkozást tartalmaz, 21 oldalon keresztül mintegy 500 irodalmat, főként nemzetközi és kisebb arányban hazai releváns forrásból. Hivatkozásai pontosak és az idézett irodalmakat ütközteti saját kutatási eredményeivel és korrekt következtetéseket von le.

Gondos, igényes munka jellemzi az egész dolgozatot. A disszertáció nyelvezete megfelel a tudományos elvárásoknak, viszonylag ritkán találkozunk bonyolult megfogalmazásokkal, nem indokolt szakmai zsargonokkal. Nagyszámú, összesen 48 ábrát és 24 táblázatot tartalmaz. Legtöbb ábra és táblázat szerkesztése magas színvonalú. Kiemelendő az ábrák sokfélesége.

#### **Anyag és módszer**

Magában foglalja a kísérleti tér talajtulajdonságainak, klimatikus adottságainak jellemzését, a szántóföldi kísérletek beállításának, elrendezésének és a termesztéstechnológiai eljárásoknak az ismertetését; a kísérletekben használt agrometeorológiai műszereket és a mért paramétereket; végül a kísérleti adatok feldolgozásánál alkalmazott statisztikai módszereket.

A kísérleteket a Debreceni Egyetem Látóképi kísérleti területén állították be, mészlepedékes csernozjom talajon, melynek fontosabb jellemzőit méréseik alapján közlik. A kísérleti tér klimatikus jellemzőit a kísérletek mellett elhelyezett automata meteorológiai állomás hőmérséklet és csapadék adataiból határozták meg. Mérték a talajhőmérsékletet, felhasználtak külső adatforrásokat is. Különböző agrometeorológiai indexeket számítottak ki, ismertetik az indexek kiszámításának formuláit.

A disszertáció alapvetően két kísérletben végzett kutatásokat foglalja magában: az egyik a nitrogén alap- és fejtrágyázási tartamkísérlet. a másik a vetésidő kísérlet. A vetésidő kísérlet kéttényezős (vetésidő, kukorica hibrid), négy ismétléses. Az *1. ábrán* bemutatott kép alapján osztott parcellás kísérletnek tűnik (főparcella a vetésidő, alparcella a kukorica hibrid). Három

vetésidőben (V1: korai, V2: optimális és V3: késői) vizsgálták 8 kukorica hibrid vetésidő reakcióját. A disszertációban közülük három eltérő tenyészidejű kukorica hibrid 2011-2013. évi reakcióját vizsgálták részletesen.

A nitrogén alap- és fejtrágyázási tartamkísérlet három tényezős (kukorica hibrid, N-műtrágyázás és öntözés). A tartamkísérletet 2011-ben állította be a Jelölt és a disszertációban 13 év (2011-2023) adatait dolgozták fel. A N-műtrágyát alap- és fejtrágya kezelések formájában juttatták ki, összesen hét kezelésben. Az "öntözés" változó magában foglalja a természetes csapadékelátottságot és öntözést. A kísérletben eltérő tenyészidejű (FAO 300 és FAO 400) kukorica hibridek reakcióját vizsgálták. A kísérlet elrendezése nem teljesen egyértelmű a 2. ábra alapján, valószínűsíthető a strip-split plot. Megjegyzem, hogy a kísérletek elrendezésének pontos definíciója nagyon fontos, mivel erre épül a varianciaanalízis, a kettő között összhangnak kell lenni.

A precíziós növénytermesztési eljárások megalapozásához elsősorban a SPAD-502 klorofill-mérő műszert használták a kukoricanövény N-ellátottságának monitorozására, különböző fenológiai fázisokban. A kukoricanövény levélterületének (LAI) monitorozása a SunScan levélkorona elemző műszerrel történt, ugyancsak eltérő fenológiai fázisokban. A kukoricanövény fiziológiai állapotát UAV-alapú NDVI mérésekkel vizsgálták hat fenológiai fázisban. A kukorica szemtermés minőségi paramétereit infravörös transzmissziós (NIT) elven működő műszerrel vizsgálták.

A kísérleti adatok feldolgozása során különböző statisztikai módszereket alkalmaztak. A kísérletek varianciaanalízisét a faktoriális kísérletekre kidolgozott általános módszerrel végezték, amely nem épít a speciális kísérleti elrendezésekre. Megjegyzem, a speciális kísérleti elrendezések varianciaanalízisére az adatok feldolgozásához használt SPSS program kevésbé alkalmas, erre szakosodott programcsomagok (pl. GenStat) állnak rendelkezésre. A különböző regresszió analízisekhez az általános lineáris módszert (GLM) használták. Bizonyos számításokat a CERES Maize crop model keretében végeztek el. Az ábrázoláshoz előnyösen használták a hagyományos boxplot (kvartilis vagy doboz) ábrákat. (A statisztikai vizsgálatokhoz még az eredmények értékelésénél visszatérek.)

### **A tudományos eredmények részletes értékelése**

A kutatás eredményeit négy fő fejezetben foglaltam össze.

#### **1. A kukorica hibridek fenológiai folyamatainak vizsgálata hőmérséklet-alapú agrometeorológiai indexekkel és a hófelhasználás hatékonysága különböző N-műtrágya kezelésekben (2018-2019)**

A vizsgálatokat az N-műtrágyázási tartamkísérletben, két eltérő évben, 2018-ban és 2019-ben, két hibriddel (Sushi: FAO 340 és Fornad: FAO 420) végezték. A 2018. év tenyészidőszakát kevesebb csapadék és magasabb középhőmérséklet jellemezte.

Meghatározta a két kukorica hibrid 8 fenológiai fázisának bekövetkezéséhez szükséges 4 agrometeorológiai index kumulált értékeit, 2 eltérő évben. Megállapította, hogy a vizsgált agrometeorológiai indexek közül a növekedési foknapok (GDD) és a fototermikus egységek (PTU) alapján a kukorica hibridek vegetációs időszakának hossza (tenyészideje) jól előre jelezhető. A heliotermikus egység (HTU) és a hidrotermikus egység (HYTU) kevésbé alkalmas a fenológiai fázisok hosszának becslésére. Igazolta, hogy a különböző éréscsoportokhoz tartozó kukorica hibridek eltérő GDD összegeket igényelnek egy adott fejlődési fázis bekövetkezéséhez.

A két hibrid tenyészidőszakában lévő különbséget a hő-összegben (GDD) 2018-ban kimutatta, 2019-ben azonban nem. Ugyanakkor a PTU, HTU és HYTU értéke egyaránt a Fornad hibrid magasabb értékét mutatta ki 2018 és 2019 években egyaránt.

A négy agrometeorológiai index (HUE, HTU, HTUE, HYTUE) alapján, N-műtrágya kezelésként és évenként meghatározta a két hibrid hő-felhasználási hatékonyságát. A hő-felhasználás hatékonysága legalacsonyabb volt a nem műtrágyázott kezelésben ( $A_0$ ) és legmagasabb értéket a szignifikánsan legnagyobb termésnél érte el.

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

## **2. Környezeti tényezők (év) és a N-műtrágyázás hatása a kukorica klorofill tartalmára (SPAD érték), szemtermésére és minőségére (keményítő- és fehérjetartalom) a tartamkísérletben (2011-2023)**

(1) *Az N-műtrágyázás hatása a kukorica klorofill tartalmára (SPAD érték) (2011-2023).* A levél klorofill tartalma fontos indikátora a növény nitrogén ellátottságának. A kukoricalevelek klorofill tartalmának (SPAD érték) valós idejű monitorozása a kritikus fenológiai fázisokban lehetővé teszi a termésnövekedés értékelését a precíziós növénytermesztési alkalmazásokhoz. A vizsgálat magában foglalt 13 évet (2011-2023), 3 fenológiai fázist (V6, V12 és R1), 2 érésidő csoportot (FAO 300 és FAO 400) 18 hibriddel és 7 N-műtrágya kezelést. A varianciaanalízis a négytényezős (év x fenológiai fázis x érésidő csoport x N-műtrágyázás) faktoriális kísérleti elrendezésnek megfelelően történt.

A 13 év kombinált varianciaanalízise kimutatta a fenofázis legnagyobb hatását a SPAD értékére. Jelentős volt a N-műtrágyázás hatása is, az érésidő csoport hatása nem volt szignifikáns. Az évenkénti varianciaanalízis alapján is a fenotípus hatása volt a legnagyobb.

A SPAD fenofázisonkénti értéke évenként, N-kezelésenként és éréscsoportonként is változott. A V6 fenológiai stádiumban az N-műtrágya kezelések között nem volt szignifikáns különbség, míg a V12 és R1 fenofázisban a V12<sub>180</sub> kezelésben volt a legnagyobb a SPAD értéke mindkét FAO csoportnál. 13 év átlagában, a fejtrágya kezelések szignifikánsan növelték a SPAD értéket, a növekedés mértéke a FAO 400-as csoportnál jelentősebb volt. Részletesen elemezte a Jelölt a SPAD értékek szórását a variációs koefficiens (CV%) mutatóval.

(2) *Az N-műtrágyázás hatása a kukorica termésére (2011-2023).* A 13 év kombinált varianciaanalízise és az évenkénti varianciaanalízis egyaránt kimutatta, hogy a N-műtrágyázásnak volt a legnagyobb szignifikáns hatása a kukorica termésére. 13 év átlagában szignifikáns termésnövelő hatása volt a V6<sub>150</sub> kezelésnek (120 kg N ha<sup>-1</sup> vetés előtt és 30 kg N ha<sup>-1</sup> V6 stádiumban) mindkét érésidő csoportban. Aszályos években a fejtrágyaként alkalmazott N-műtrágya hatása korlátozott, ekkor a tavaszi, egy menetben történő alaptrágyázás javasolható.

Elemezte a kukorica termése és a tenyészidőszak időjárásának (csapadék, minimális és maximális hőmérséklet) kapcsolatát. Meghatározta az adott év statisztikailag igazolt legnagyobb termését biztosító N-kezelést a FAO csoportok átlagában (11. ábra). Az elemzést az eltérő érésidő csoportokra is elvégezte.

(3) *Az N-műtrágyázás hatása a kukorica szemtermés keményítő- és fehérjetartalmára (2011-2023)* A 13 év kombinált varianciaanalízise alapján kimutatta, hogy a kukorica keményítőtartalmára az évhatás volt a legnagyobb, mintegy harmincszorosa volt a N-műtrágyázás és az érésidő csoport hatásának. Évek viszonylatában a keményítőtartalom 61.9 és 79 g 100 g<sup>-1</sup> szá. között változott. 13 év átlagában a nem műtrágyázott kezelésben (A<sub>0</sub>) volt a legnagyobb a keményítőtartalom (73.3 g 100 g<sup>-1</sup> szá.) A keményítőtartalom az N-műtrágyázás hatására csökkenő tendenciát mutatott, ennek mértéke azonban nem volt szignifikáns.

A varianciaanalízis alapján a kukorica fehérjetartalmára legnagyobb hatása az évjáratnak volt, nagyon jelentős volt a N-műtrágyázás hatása, míg az érésidő csoportok hatása sokkal kisebb volt. A nitrogén alap- és fejtrágyázás eltérő módon befolyásolta a kukorica fehérjetartalmának alakulását. A nem műtrágyázott (A<sub>0</sub>) kezelésben volt a legalacsonyabb a fehérjetartalom minden évben (7.8 g 100<sup>-1</sup> szá). A N-műtrágyázás tíz évben szignifikánsan növelte a szemtermés fehérjetartalmát, közülük hat évben az alap 120 kg N ha<sup>-1</sup> (A<sub>120</sub>) kezelés, míg négy évben a fejtrágya kezelések növelték a fehérjetartalmat. 13 év átlagában a

szemtermés fehérjetartalma  $8.4 \text{ g } 100^{-1}$  szá. volt. Az érésidő csoportok fehérjetartalma szignifikánsan nem különbözött.

Vizsgálta a Jelölt a fehérjetartalom szórását évenként és N-kezelésenként. Kimutatta, hogy a fehérjetartalom ingadozása (CV%) több mint kétszerese a keményítőtartalom ingadozásának.

(4) *A termés mennyiségi, minőségi paraméterei és a klorofill tartalom (SPAD) közötti összefüggések különböző N-műtrágyázási szinteken (2011-2023).* A vizsgálatnak ebben a szakaszában a varianciaanalízist kiegészíti a Jelölt korreláció számítással és regresszió analízissel. A *N-műtrágya kezelés és a klorofill tartalom (SPAD érték)* közötti korrelációt 13 év adatai alapján és fenológiai fázisonként vizsgálta. A pozitív korreláció gyenge volt V6 stádiumban és közepes a V12 és R1 stádiumokban.

A *N-műtrágya kezelések és a klorofill tartalom (SPAD)* közötti összefüggéshez mindhárom fenológiai stádiumban (V6, V12 és R1) logaritmus függvényt illesztett. A független változó a N-műtrágya kezelés, a függő változó a SPAD érték. A SPAD értékek növekvő tendenciát mutattak a V12 és R1 fenofázisban a nagyobb N-dózisok irányában. Az összefüggés értelmezését korlátozza, hogy az N-kezelések az N-dózis és a kijuttatási időpont kombinációját (kvantitatív és kvalitatív változó kombinációját) képezik, nem jelentenek folyamatosan növekvő N-dózisokat, ugyanakkor az X-tengelyen az 1-7. kezelések sorrendben vannak feltüntetve: 0, 60, 120, 90, 150, 120, 180 kg ha<sup>-1</sup>.

Értékes a *SPAD érték (X) és a termés (Y) összefüggése* 13 év adatai alapján, melyet lineáris függvénnyel jellemeztek és  $P = 0.1\%$ -os szinten szignifikáns volt mindhárom fenofázisban (19. ábra). A SPAD értékek növekedésével lineárisan nőtt a termés mindegyik fenofázisban.

A 20-22. ábrán az illesztett *lineáris függvények regressziós koefficiensei* (b-érték) jól mutatják az *összefüggések tendenciáit*, vagyis a növekedést az N-műtrágyázás és a termés között ( $b = 2.11$ ), a csökkenést az N-műtrágyázás dózisa és a keményítőtartalom között ( $b = -0.543$ ), a növekedést a fehérjetartalom és az N-műtrágya dózis között. Jellemezte a korrelációk variabilitását az évek viszonylatában és az eltéréseket a FAO 300-as és FAO 400-as csoport között.

Értékes a *szemtermés fehérjetartalma (X) és a termés (Y)* közötti összefüggés vizsgálata, melyet lineáris regresszióval jellemeztek. A kezelések átlagában gyenge, pozitív összefüggést határoztak meg.

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

### 3. Vetésidő kukoricatermésre gyakorolt hatása (2011-2013)

A vetésidő és a hibrid megválasztása az egyik legfontosabb termesztési döntés a kukorica termésének és minőségének a szabályozására, a kedvezőtlen környezeti hatások elkerülésére. A kisparcellás kísérletet három vetésidővel (korai: VD1, optimális: VD2 és késői: VD3), három eltérő tenyészidejű hibriddel (Mv 255: FAO 290, Mv 350: FAO 350 és Mv Koppány: FAO 420) állította be 2011 és 2013 között. Vizsgálta a vetésidő hatását (i) a kukorica termésére, (ii) a kukorica hő-felhasználási hatékonyságára (HUE) és (iii) a szemtermés keményítő- és fehérjetartalmára.

(i) A vetésidőnek 2011. és 2012. években volt szignifikáns hatása a kukorica termésére. 2013-ban a vetésidő hatása nem volt szignifikáns. A vetésidő mindkét évben eltérő módon befolyásolta a hibridek termését. 2011-ben a VD2 és VD3 vetésidőben volt a legnagyobb a termés, 2012-ben a VD1-ben. Természetesen a három év adatai alapján nem lehet megalapozott következtetést levonni a vetésidő hatásáról a kukorica hibridek termésére, illetve az optimális vetésidőre. Ugyanakkor a kutatás értékes adatokat szolgáltatott a különböző genotípusú kukorica hibridek vetésidő reakciójáról a vizsgált években.

(ii) A kumulált hőegység (GDD) a későbbi vetésekben csökkent, a három év átlagában 1490 GDD-ről (VD1) 1399 GDD-re (VD3). A csökkenés jellemző volt minden évben. Vizsgálta a Jelölt a vetésidő hatását a kukorica hő-felhasználási hatékonyságára (HUE). Igazolta, hogy a hő-felhasználás hatékonysága függ a genotípustól és a vetésidőtől. Az évek és hibridek átlagában a legalacsonyabb HUE a VD1 vetésidőben volt ( $8.35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ nap}^{-1}$ ) és nagyobb értéket ért el a késői vetésidőben (VD3:  $9.82 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ nap}^{-1}$ ). A kukorica hibridek közül az Mv 255 alacsony HUE értékkel és az Mv Koppány magas HUE értékkel rendelkezett a vizsgált évek átlagában.

(iii) Vizsgálta a vetésidő hatását a kukorica szemtermés fehérje- és olajtartalmára. A varianciaanalízise kimutatta mindhárom fő tényező (vetésidő, genotípus, év) szignifikáns hatását. A fehérje- és olajtartalomra egyaránt jelentős volt a vetésidő hatása. A fehérjetartalomnál a szignifikáns interakció az év és a genotípus között arra utal, hogy a hibridek közötti különbségek nem ugyanazok a különböző években. Az olajtartalomnál az év és a vetésidő kölcsönhatása volt a legjelentősebb. A hibridek fehérje- és olajtartalma az évek átlagában a VD3 vetésidőben volt a legnagyobb.

A fehérje- és olajtartalom közötti pozitív szignifikáns összefüggést a telítődési függvény jól leírta. Az olaj- és fehérjetartalom növekedésével arányosan csökkent a szemtermés keményítőtartalma. Helyesen állapítja meg a Jelölt, hogy az olaj- és fehérjetartalom közötti kapcsolat nem jelenti a két tényező tényleges összefüggését, a valóságban a két tényező együtt változik, melyet jól leír a telítődési függvény.

A *vetésidő modellezése* fontos a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban. Ilyen célból vizsgálták, hogy lehet-e pontosan modellezni a kelés (VE) és a növirágzás (R1) idejét az 5 cm-es talajréteg hőmérsékletével. A kukorica kelésének és virágzásának meghatározására a három vetésidőben 5 cm-es mélységben mért talajhőmérséklet adatokhoz jól illeszkedett a szinusz görbe. A szinusz modellt beépítve a CERES Maize növény modellbe, a mért és szimulált kelési napok a korai vetés (VD1) esetében közel voltak egymáshoz, a későbbi vetésidőkben (VD2, VD3) azonban jelentős volt az eltérés. Az R1 idejét azonban a modell megbízhatóan jelezte előre. Kimutatta, hogy az 5 cm-es mélységben mért talajhőmérséklet alapján megbízhatóan lehet modellezni a kukorica kelését, amennyiben a bázishőmérsékletet 6°C-ra csökkentjük.

#### **4. Kukoricatermesztés aszály-stressz környezetben: termés-előrejelzés precíziós mezőgazdasági eszközökkel (2021-2022)**

(a) *A N-műtrágyázás hatása a kukorica SPAD és LAI értékére, különböző fenofázisokban.* A vizsgálatokat a "Nitrogén alap- és fejtrágyázás" tartamkísérletben végezték. Két hibrid (Merida: FAO 390 és Armagnac: FAO 490) klorofill koncentrációjának (SPAD) és levélterület indexének (LAI) dinamikáját elemezték természetes csapadékellátottság mellett, egy száraz (2021) és egy aszályos (2022) évben.

Jelentős volt az évhatás a SPAD és a LAI értékére egyaránt. Az aszályos 2022. évben kisebb volt mindkét mutató értéke. Az évek között legnagyobb különbség a mutatók értékében a reprodukzív szakaszban (R3 és R6 fenofázis) volt kimutatható. A SPAD átlagos értéke 2021-ben 43.8, az aszályos 2022-ben 36.4 volt. A szárazság hatására alacsony volt a LAI értéke mindkét évben 2021-ben 0.63 és 3.20, 2022-ben 0.56 és 2.90 között változott. Mindkét évben nagy volt a variabilitás a SPAD és a LAI N-kezelésenkénti és fenofázisonkénti értékében.

Nagyon szemléletes kvartilis (doboz) ábrák mutatják be a nitrogén alap- és fejtrágyázás hatását a kukorica termésére a száraz 2021. és az aszályos 2022. évben (34-35. ábra). A klorofill tartalom (X) és a kukorica szemtermés (Y), illetve a LAI (X) és a kukorica szemtermés (Y) pozitív összefüggését 8 fenológiai fázisban lineáris függvénnyel jellemezték a két év átlagában (36-37. ábra). Végül többszörös lineáris regresszió analízissel tanulmányozták a klorofill tartalom és a levélterület index együttes hatását a kukorica termésére. Vizsgálták a modell felhasználhatóságát a termés előrejelzésére egy meghatározott fenológiai fázisban. A 38. ábra jól szemlélteti a kukoricatermés alakulását a klorofill tartalom (SPAD) és a levélterület index (LAI) függvényében a VT fenofázisban.

Rámutattak arra, hogy a klorofill tartalom (SPAD) és a levélterület index (LAI) fontos információt nyújt a növény tápláltsági állapotáról. Folyamatos megfigyelésük (monitoring) fontos a tápanyag utánpótlásban és a termés előrejelzésben, a precíziós növénytermesztési gyakorlatban..

(b) *N-műtrágyázás és az öntözés hatása a SPAD és az NDVI értékére és a kukorica termésére (2022).* A vizsgálatokat a nitrogén alap- és fejtrágyázási tartamkísérletben végezték három kukorica hibrid (Merida: FAO 390, Fornad: FAO 420 és Armagnac: FAO 490) adatai alapján, az extrém száraz és meleg 2022. évben.

A SPAD és a szemtermés kvartilis diagramjai jól mutatják a műtrágyázás és az öntözés hatását az átlagos értékekre és a szórásra. Összességében, az öntözésnek jelentős hatása volt a SPAD értékére, különösen a fejtrágya kezeléseknél.

Az NDVI gyorsan kimutatja a növény növekedését és a fiziológiai paramétereket. Azonnali információt nyújt az víz- és N-stresszről. A kvartilis ábrák jól szemléltetik az N műtrágya kezelések közötti szignifikáns különbségeket az NDVI értékében. A SPAD értékhez hasonlóan az NDVI értékét is növelte az öntözés. Elemezte az öntözés termésnövelő hatását különböző N-kezelésekben, összehasonlítva az öntözés nélküli kezelésekkal.

A 44. ábra mutatja a vizsgált 7 paraméter (fenológia, időpont, hibrid, N-műtrágyázás, SPAD, NDVI, termés) különböző megfigyelt értékei közötti kölcsönhatást. Az ábra dicséretes és nyilvánvalóan rendkívül szofisztikált, azonban bonyolultsága és nehéz áttekinthetősége miatt kevésbé értelmezhető.

(c) *A spektrális indexek és az N-műtrágyázás, illetve a termés kapcsolata (2022).* Az N-műtrágyázás és a SPAD értékek, illetve az N-műtrágyázás és az NDVI értékek közötti összefüggést statisztikailag megbízhatóan másodfokú parabola függvénnyel jellemezték, öntözött és nem öntözött kezeléseknél, eltérő fenológiai fázisokban. A nitrogén dózis (X) és a SPAD (Y), illetve N-dózis (X) és az NDVI (Y) összefüggését leíró parabola illeszkedésének szorossága (R) nőtt a fenofázisok előrehaladásával. Öntözés nélkül a determinációs koefficiens ( $R^2$ ) értéke kisebb volt mindegyik fenofázisban.

A SPAD érték (X) és a szemtermés (Y), illetve az NDVI érték (X) és a szemtermés (Y) közötti összefüggést, öntözött és nem öntözött kezeléseknél, eltérő fenológiai fázisokban, jól leírta a lineáris függvény. Az összefüggés mindegyik fenofázisban  $P = 0.1\%$ -os szinten szignifikáns volt.

A kutatás eredményei azt mutatták, hogy legnagyobb szemtermést az extrém száraz időjárási körülmények között tavaszi alaptrágyázással ( $A_{120}$ ) érhetjük el. A 2022. évi aszályos időjárásnak tulajdoníthatóan a fejtrágyázás nem növelte a szemtermést.



**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?

### **Észrevételek, megjegyzések és javaslatok**

A következőkben néhány kisebb hiányosságra hívom fel a figyelmet:

- az 1. és 2. ábra nem nyújt megfelelő képet a kísérletek elrendezéséről,
- a 4.3. fejezetben a kísérletek varianciaanalízise nem épít a speciális kísérleti elrendezésekre, valószínűleg technikai (program) oka volt,
- a 4.5. fejezetben nem közli a variancia táblázatokat,
- a legtöbb ábrán jelölve van az SzD, a 14. és 16. ábráról azonban hiányzik,
- a 18, 20-22. ábra címében logaritmus függvény, az ábrán lineáris függvény egyenlete van; az X-tengely kvantitatív és kvalitatív változók kombinációja; előnyösebb lett volna oszlopdiagram használata,
- a 30. ábrán hiányzik az összefüggés egyenlete,
- 33. ábrán nincs feltüntetve, hogy egy kukorica hibrid adata vagy két hibrid átlagos adatai,
- 36-37. ábra: hiányzik az összefüggés egyenlete,
- valamennyi összefüggést bemutató ábráról hiányzik az adatpárok számának (n) feltüntetése,
- 43. ábra: az évek jelölése felcserélve,
- 45-48. ábra: hiányzik az összefüggés egyenlete,
- 20-23. táblázat mintaszerű.

### **Új tudományos eredmények**

1. Megállapította a Jelölt, hogy az agrometeorológiai indexek közül a növekedési foknapok (GDD) és a fototermikus egységek (PTU) alapján a kukorica hibridek fenológiai fázisainak és tenésziidejének hossza előre jelezhető. A négy agrometeorológiai index (GDD, PTU, HTU, HYTU) alapján N-kezelésként és évenként meghatározta a kukorica hibridek hő-felhasználási hatékonyságát.

2. 2011 és 2023 között tartamkísérletben vizsgálta a N-műtrágyázás hatását a kukorica klorofill tartalmára (SPAD érték), szemtermésére, keményítő- és fehérjetartalmára. A varianciaanalízis kimutatta, hogy a SPAD értékére legnagyobb hatással a fenofázis, a kukorica termésére a N-műtrágyázás, a keményítő- és fehérjetartalomra az évjárat volt. Meghatározta, hogy a fenti változók maximális és minimális értékei milyen N-kezeléseknél alakulnak ki.

3. A SPAD érték és a termés között szignifikáns, pozitív összefüggést állapított meg. A SPAD értékek növekedésével lineárisan nőtt a termés mindegyik fenofázisban. Arra következtetett, hogy a kukoricalevelek klorofill tartalmának (SPAD érték) valós idejű monitorozása a kritikus fenológiai fázisokban lehetővé teszi a termésnövekedés értékelését a precíziós növénytermesztési alkalmazásokhoz.

4. A vetésidő a vizsgált 3 évben (2011-2013) eltérő módon befolyásolta a kukorica hibridek termését. A kutatás értékes adatokat szolgáltatott a különböző genotípusú kukorica hibridek vetésidő reakciójáról. A kumulált hőegység az első vetésidőben volt a legnagyobb és csökkent a későbbi vetésidőkben. A kukorica hő-felhasználási hatékonysága viszont legalacsonyabb az első vetésidőben volt és nőtt a későbbi vetésidőben. A kukorica hibridek közül a korai érésű hibrid alacsony, a középérésű hibrid nagy HUE értékkel rendelkezett. Igazolta, hogy a hő-felhasználás hatékonysága függ a vetésidőtől és a genotípustól. A fehérje- és olajtartalomra a vetésidő hatása volt a legjelentősebb és értékeik a késői vetésidőben voltak a legnagyobbak.

5. A vetésidő modellezése fontos a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban. A kukorica kelésének meghatározására a három vetésidőben 5 cm-es mélységben mért talajhőmérséklet adatokhoz szinusz görbét illesztettek. A szinusz modellt beépítve a CERES Maize növény modellbe, kimutatták, hogy az 5 cm-es mélységben mért talajhőmérséklet alapján megbízhatóan lehet modellezni a kukorica kelését.

6. A tartamkísérletben összehasonlították a klorofill koncentráció (SPAD-érték) és a levélterület index (LAI) dinamikáját egy száraz (2021) és egy aszályos (2022) évben. Az aszályos 2022. évben szignifikánsan kisebb volt a SPAD és a LAI értéke. Legnagyobb különbség a mutatók értékében a reprodukív szakaszban (R3 és R6) volt kimutatható. A klorofill tartalom (X) és a kukorica szemtermése (Y), illetve a LAI (X) és a kukorica szemtermés (Y) pozitív összefüggését a különböző fenológiai fázisokban, öntözött és öntözés nélküli kezelésekben egyaránt jól jellemezte a lineáris függvény. Többszörös regresszió analízissel tanulmányozták a klorofill tartalom és a levélterület index együttes hatását a kukorica szemtermésére. Vizsgálták a modell felhasználhatóságát a termés előrejelzésére egy meghatározott fenológiai stádiumban.

Rámutattak arra, hogy a klorofill tartalom (SPAD), a levélterület index (LAI) és az NDVI fontos információt nyújt a növények tápláltsági állapotáról. Folyamatos megfigyelésük (monitoring) fontos a tápanyag utánpótlásban és a termés előrejelzésében, a precíziós növénytermesztési gyakorlatban.

7. A kutatásokat a Jelölt saját maga által kezdeményezett és beállított kísérletekben végezte. Közülük az egyiket tartamkísérletként indította. A kísérleti adatok feldolgozása alapvetően a faktoriális kísérletekre kidolgozott három- és négytényezős varianciaanalízissel történt, melyet a kvantitatív változóknál korreláció számítással és regresszió analízissel egészített ki. Szakszerűen alkalmazta a kiegészítő statisztikai tesztek (pl. Duncan teszt). Hangsúlyt helyezett az adatok átlagértékei mellett szórásaik (CV%) összehasonlító elemzésére. Ahol erre

lehetőség volt, az összefüggéseket kiegészítette predikciós módszerekkel, esetenként modell számítással. Kutatásai hozzájárulnak a precíziós kukoricatermesztési technológiák megalapozásához és fejlesztéséhez. Kutatásainak eredményeit nemzetközi és hazai viszonylatban is, széles körben terjesztette és ismertette (MTMT adatbázis).

**Összefoglalva**, meggyőződtem arról, hogy Széles Adrienn MTA doktori értekezése hiteles adatokat tartalmaz, önálló munka. Az "Összefoglalás" és a "Legfontosabb eredmények" c. fejezetekben megfogalmazott tudományos eredményeket új tudományos eredményként fogadom el. A doktori művet nyilvános vitára alkalmasnak tartom. Javaslom a Jelölt részére az "MTA doktora" tudományos cím odaítélését.

Budapest, 2026. február 9.

Berzsenyi Zoltán  
az MTA doktora