

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**ELTÉRŐ GENOTÍPUSÚ KUKORICA HIBRIDEK ÖSSZEHASONLÍTÓ
VIZSGÁLATA**

Szombatiné Zelenák Annabella
doktorjelölt

Témavezető: Prof. Dr. Nagy János
professor emeritus

Társtémavezető: Dr. Nyéki Anikó Éva
egyetemi docens



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola
Debrecen

2026

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

Hazánk egyik legfontosabb termesztett növénye a kukorica, azonban termése nagyban függ az adott év időjárási viszonyaitól. Jól mutatja, hogy a 2022-es év egyik történelmi aszályát követően egyre nagyobb odafigyelést kell szentelni a növény termésbiztonságának, termésstabilitásának. A globális kukoricatermelés megugrott az elmúlt néhány évtizedben, ami köszönhető a növekvő keresletnek, valamint a technológia fejlődésének. Ezt elősegítette a termésnövekedés és a területbővítés kombinációja. A kukorica már most is a vezető gabonafélék közé tartozik a termelési mennyiséget tekintve, és várhatóan a következő években a legszélesebb körben termesztett és legkeresettebb növény lesz (Erenstein et al, 2022).

A magasabb terméshozamot megfelelő tápanyag-gazdálkodással lehet megvalósítani, viszont a termésbiztonság kérdését a megfelelő vízgazdálkodással biztosíthatjuk. Az éghajlatváltozással járó általános légköri felmelegedés mezőgazdaságilag jelentős következménye, hogy a növényi kultúrák termesztetőségi feltételei megváltoznak.

A kutatók számos olyan módszert dolgoztak ki, amelyek lehetővé teszik a mezőgazdasági termelés hatékonyságának értékelését, illetve annak javítását. Az egyik ilyen gyakorlatban is használt módszer a növényi klorofilltartalom és a vegetációs index mérése. A növényi klorofilltartalom és a vegetációs index segítenek a növények állapotának meghatározásában és ezáltal az öntözés hatékonyságának értékelésében.

A kukorica termésbiztonságát a termesztési tényezők, ezen belül az ökológia, a biológiai alapok és az agrotechnika együttesen határozzák meg, egymással szoros összefüggésben. A biológiai alapok a nemesítésnek köszönhetően nagyon kedvezőek, hazánkban több mint 300 kukoricahibrid szerepel a köztermesztésben és hozzáférhetőek az Európai Unióban termesztett vetőmagok is. A kukoricatermelés eredményessége jelentősen emelkedett a hibrid vetőmagok használatával (Ignacio és Ciampitti 2014). A termőképesség a hibridválasztás egyik legmeghatározóbb kritériuma. Napjainkban rendkívül korszerű hibridek érhetőek el eltérő tenyésztéssel (FAO 200–600-as csoport). A hibridek tenésztidejének hosszát befolyásolja a hőmérséklet, ezért a hőegység és a tenésztidő között összefüggés van. A hőegység értéke pontosabban jellemez egy-egy adott hibridet, mint a napokban mért tenésztidő hossza, mert ez utóbbi egyik évről a másikra eltéréseket eredményezhet még az azonos termőhelyeken is. Ennek hatására napjainkban terjedni kezd a hibridek tenésztidejének hőegység alapján való besorolása is.

A gazdasági növények számára a szélsőséges csapadékeloszlás, mint abiotikus stressztényező, egyre nagyobb figyelmet érdemel. Az évi csapadék mennyiség korábban sem volt teljesen elegendő, átlagban összesen 50-80%-ban fedezte a szántóföldi növények vízigényét. A hőmérséklet évről évre emelkedő tendenciát mutat, hosszabb száraz periódusok és a kiszámíthatatlan, sok esetben csekély csapadékmennyiség következtében a talaj nedvességtartalma csökken, ami egyértelmű veszélyt jelent a növények folyamatos vízellátására nézve, ezáltal a növények problémamentes életfunkciójának ellátására (Vágó et al., 2006; Stekauerová és Nagy, 2006; Ruzsányi, 1996). Csaknem két évtizeddel ezelőtt Olesen és Bindi (2002) hangsúlyozta, hogy Európában a vízhiány és a szélsőséges időjárási jelenségek esetleges növekedése alacsonyabb betakarítható hozamot, nagyobb termésváltoztatást és a hagyományos növények számára alkalmas területek csökkenését okozza.

A jelenben és a jövőben is olyan kukorica fajtákra lesz szükség, amelyek szélsőséges időjárási viszonyok mellett is meg tudják őrizni termésstabilitásukat. Azonban elengedhetetlen a szakmai háttér, az a képesség, hogy eldöntsük, hogy adott az ökológiai és ökonómiai feltételek mellett milyen agrotechnikai elemek alkalmazásával érhető el mennyiségileg, minőségileg és gazdaságilag a legkedvezőbb hozam. A jövőben a fenntartható kukoricatermesztés érdekében a kutatás és innováció egyaránt nagy jelentőséget kap.

Dolgozatomban olyan vizsgálatokat mutatok be, amelyeknek célja a kukorica fejlődése, termésképző elemei, produktivitása és minőségi paraméterei közötti kapcsolatrendszer feltárása. Kutatásaim során 4 éven keresztül (2020-2023) vizsgáltam a termesztés hatékonyságát kukorica kultúrában öntözött körülmények között, öt különböző genotípus esetében. Vizsgálataim a kukorica növények relatív klorofilltartalmára, levélterületére, vegetációs indexére, fenometriai paramétereinek mérésére, termés mennyiségére és minőségére összpontosítanak. Különös figyelmet fordítottam a hibridek agronómiai tulajdonságaira és termésképző elemeinek változására. Továbbá a hibridek vízleadóképességének megismerésére és a hőösszeg alakulásának megfigyelése különböző fenofázisokban a keléstől egészen a betakarításig. A kísérletben eltérő genetikai háttérű, eltérő éréscsoportba tartozó hibrideket vizsgáltam. A termésbiztonság- és stabilitás növelhető a termőhelyhez igazodó hibrid választással és a szakszerű, a növény igényeit kielégítő hibridspecifikus agrotechnika alkalmazásával (Pepó, 2006).

Vizsgálataim legfontosabb célkitűzései:

- a vizsgált évek, évjárat hatásainak elemzése, termésmennyiségre gyakorolt hatásai,

- az évjárat hatása az egyes kukorica hibridek fejlődési fázisaira (hőösszeg, kelés, virágzás, fiziológiai érettség),
- a hibridek fenotípusos megjelenésének számszerűsítése, az évjárat és termesztési tényezők hatása a termésre, terméselemekre,
- a genotípusok vízleadásának megfigyelése, az évjárat, mint befolyásoló tényező figyelembevételével,
- a tényezők közötti kölcsönhatások feltárása, számszerűsítése,
- a kukorica hozam modellezése és összehasonlítása a gyakorlati eredményekkel,
- az eredmények termelésbe történő integrálásával a mezőgazdasági gazdálkodók minőségi és mennyiségi javulást érhetnek el a kukorica termés hozamában és termésbiztonságában.

2. Anyag és módszer

2.1 A kísérleti terület elhelyezkedése, talajtani adottságai és paraméterei

Méréseimet a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti telepén 2018-ban beállított kísérletben végeztem a 2020, 2021, 2022 és 2023-as években. Debrecenről körülbelül 15 km-re helyezkedik el a 33. számú főút mellett. A kísérleti telep területe kiegyenlített, homogén, talajgenetikailag mészlepedékes csernozjom talajtípusba sorolható. Jó minőségű és kultúrállapotú, jó víztároló és közepes vízbefogadó képességgel rendelkezik.

2.2 A kísérleti terület éghajlat jellemzői

A vizsgált kísérleti időszak (2020-2023-as tenyészévek) időjárását a Debreceni Egyetem Látóképi Telephelyén elhelyezett, a Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet által működtetett automata meteorológiai állomás léghőmérsékleti és csapadék adatai alapján elemeztem. A sokéves átlagoktól való eltérések megállapításához referenciaként az Országos Meteorológiai Szolgálat Debrecen-Repülőtér állomás 1981-2010 közötti időszak klímaátlagai szolgáltak alapul. Az egyes évek részletes (több meteorológiai elemre kiterjedő, dekád, részben napi felbontásban is bemutatott) agrometeorológiai elemzését a kukoricára, illetve Debrecen térségére vonatkozóan Nagy és Nagy 2022, Gombos és Nagy 2022, Gombos és Nagy 2023 eredményeire támaszkodva, döntően a havi adatok segítségével mutatom be a kísérleti évek időjárási viszonyait.

Összességében elmondható, hogy időjárási szempontból a vizsgált négy évből egy volt igen kedvező, egy jó és kettő igen kedvezőtlen a kukorica számára Debrecen térségében (Gombos és Nagy, 2024b). A 2020-as év közel optimálisnak bizonyult a tenyészidőszakban lehullott nagy mennyiségű és jó időbeli eloszlású csapadéknak köszönhetően, illetve az átlagoshoz közeli, kiegyenlített nyári hőmérsékleti viszonyokkal kiegészülve. Viszont 2021-ben súlyos aszály alakult ki, köszönhetően annak, hogy a nyár folyamán egyáltalán nem hullott a gyökérszónáig beszivárgó csapadék és a szokásosnál lényegesen magasabb volt a hőmérséklet is. A 2022-es rekord aszályos évet az igen meleg, és a meghatározó időszakokban lényegében csapadékmentes nyári időjárás, illetve talajok nagyon alacsony induló vízkészlete együttesen eredményezte. 2023-ban a szántóföldi vízkapacitásnak megfelelő induló vízkészlet, a tenyészidőszak mérsékelt meleg, kiegyenlített hőmérsékleti viszonyai és átlag körüli csapadéka Debrecen térségében kedvező agrometeorológiai feltételeket biztosított a kukorica számára.

2.3 A kísérlet bemutatása

A kísérletben a vizsgált hibridek egy ismételtsében szerepeltek. Minden parcellán ugyanazon agrotechnikai elemet alkalmazva. Az egész kísérleti alapterület 0,33 ha. A kísérletet 15 cm-es tőtávolsággal és 75 cm-es sortávolsággal állítottuk be 84.000-es tőszámmal. A kísérletben alkalmazott öntözési technológia a csepegtető öntözés (1. ábra). Minden évben a tenyészidőszak első felében, a kukorica növény 8-10 leveles állapotában lett telepítve a berendezés. 2020-ban 152 mm, 2021-ben 304 mm; 2022-ben 456,8 mm, 2023-ban 374 mm öntözővíz lett kijuttatva a tenyészidőszak során. A megfelelő tápanyagutánpótlás a tenyészidőszak alatt tápoldatozással lett kiegészítve.



1. ábra: Csepegtető öntözőberendezés (Debrecen-Látókép)

A kísérletben szereplő hibridek

Hibrid jelölés	FAO szám	Évek
H1	420	2020.,2021.,2022.,2023.
H2	390-410	2020.,2021.,2022.,2023.
H3	350-360	2020.,2021.,2022.,2023.
H4	490	2020.,2021.,2022.
H5	490	2023.

A kukorica vegetatív fázisában a következő tulajdonságokat felvételeztem:

Kelés (vetéstől eltelt napok száma, dátum), *Címer virágzás*, *Nővirágzás*, *Növénymagasság* (cm), *Csőmagasság* (cm), *Szárátmérő* (mm), *Levélfelület mérés*, *Feketeréteg vizsgálat*

Szemek vízleadásának vizsgálata: A szemek mérése (50-100 mag) először nedvesen történt, majd a szárítószekrényben 60 °C-on, súlyállandóságig szárított száraz szem mintákat analitikai mérleggel mértem vissza. A kiszámított különbség eredményezte az aktuális szem nedvességtartalmát.

SPAD mérés, NDVI mérés: A méréseket a tenyészidőszak során 4 alkalommal végeztem (6 levél; 12 levél; nővirágzás; fiziológiai érettség).

A kukorica generatív paramétereinek, terméseredményének és minőségének mérése:

A terméselem vizsgálatokhoz a fiziológiai érettséget követően genotípusonként vettünk egyedi mintákat. A csőparaméterek pontos meghatározásához a Haldrup gabona laboratóriumi cséplőgéppel dolgoztam fel a termés mintákat (szemszám, ezerszemtömeg, cső, - szem, -és csutkatömeg, szem-csutka arány). A mintákon morzsolás előtt lemértem a kukoricacsövek hosszát és átmérőjét. A beltartalmi értékek vizsgálatát NIR készülékkel, a FOSS Infratec Grain Analyzer műszerrel végeztem. Az adatok (a minta össztömege alapján) nedvességtartalmát tömegszázalékban, valamint szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott keményítő-, fehérje- és olajtartalmát szintén tömegszázalékban kifejezve adja meg.

A vizsgálatokhoz szükséges hőösszeget központilag számították a napi hőmérsékletek „Tmin” és „Tmax” átlagaiból, a bázishőmérséklet 10°C volt. (Ha Tmin<10, akkor Tmin=10, továbbá, ha Tmax>30, akkor Tmax=30 alkalmazva a számítás során.)

2.4 A kísérleti adatok statisztikai értékelése

A kísérlet során mért adatok statisztikai értékelését megelőzően az adatokat Kolmogorov-Smirnov normalitásvizsgálattal elemeztem. Az egyes vizsgált faktoroknak (év, genotípus, fenofázis) a mért növényi paramétereire gyakorolt hatását egy- és többtényezős varianciaanalízissel értékeltem. A szignifikáns különbségek megállapításához Fisher-féle legkisebb szignifikáns differencia (LSD) tesztet alkalmaztam. A statisztikai értékelést Minitab 22 statisztikai szoftverrel, a grafikonokat pedig MS Excel 2019 szoftverrel készítettem el. Az egyes mért értékek közötti összefüggések, illetve azok szorosságának meghatározásához Pearson-féle korrelációanalízist végeztem.

2.5 A DSSAT Ceres-Maize program alkalmazásának módszertana

Az adatok értékeléséhez, a terméseredmény modellezéséhez a DSSAT v4.7 szoftver Ceres-Maize modelljét (Jones et al., 2003) alkalmaztam. Ez a modell többek között alkalmas a növényi produkció (biomassza és szemtermés), levélfelület értékét leképezni. A rendszer napi léptékben számol és ad eredményeket, ennek megfelelően az időjárásra vonatkozó adatigénye is napi részletességű. A futtatáshoz szükségesek a kísérlet pontos meteorológiai adatai, a részletes talajvizsgálati adatok, az alkalmazott hibridek és az agrotechnikai műveletek rögzítése. Az elvégzett agrotechnológiai műveletek (talajművelés, vetés, műtrágyakijuttatás, betakarítás módja és időpontjai stb.) alapján került felhasználásra.

A szimulációban releváns adatok alapján adtam meg a szükséges információkat, tehát az agrotechnológiai időpontoknak megfelelően (pl. vetési időpont az adott évben és betakarítás időpontja). A Ceres-Maize alkalmazhatóságának megfelelően az evaporáció leírására, a talajban lejátszódó folyamatok modellezésére, vízkapacitási értékek futtatására és az evapotranspiráció meghatározására Ritchie, illetve Ritchie-Ceres (Priestley-Taylor/Ritchie) algoritmusokat alkalmaztunk (Nyéki et al., 2020).

Meteorológiai adatok

A modellhez szükséges paraméterek a következők voltak: minimum hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), maximum hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), csapadékmennyiség (mm), globálsugárzás értéke (MJ/m^2), relatív páratartalom (%) és a szélsébség átlaga (m/s).

Talajadatok

Talajadat modult (SBuild) használtam a helyszín koordinátáinak, talajprofiljának és osztályozásának adaptálására. A mért talajjellemzők segítségével lettek kiszámolva a talajfizikai és kémiai paraméterek, amelyek a hozam-előrejelzéshez (modell futtatásához) szükségesek.

Kísérletbe vont hibridek genetikai paramétere

A szükséges számszerűsített adatok egy hibrid meghatározásához a következők. P1 a juvenilis fázis végéig szükséges effektív hőösszeg ($^{\circ}\text{C}$ nap), P2-es paraméter a fotoperiodikus érzékenységet jelenti, P5 a nővirágzástól a fiziológiai érettségig eltelt hőösszeget jelenti ($^{\circ}\text{C}$ nap), G2-vel az egy csövön lévő szemek számát foglalja magába, míg a G3-as paraméter a szárazanyag-beépülés maximális sebességét jelenti (mg/nap) és az egymást követő levélcsúcsok megjelenése közötti intervallum foknapokban (PHINT).

3. Eredmények

Fenológiai paraméterek:

A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a kísérletben alkalmazott hibridek között (1. táblázat). A növénymagasságot és csőmagasságot mind az évjárat, illetve ezek együttes hatása is befolyásolja ($P < 0,001$). A legmagasabb növény és csőmagasságot, illetve szárátmérőt a hibridek átlagát tekintve 2023-ban mértem (322 cm- 138 cm- 20 mm).

1. táblázat: Fenológiai paraméterek eredménytáblázata a hibridek és évek vizsgálatában Debrecen-Látókép (2020-2023)

Paraméterek	Évek	Hibridek		
		H1	H2	H3
Növénymagasság (cm)	2020	285,3 ^{bc}	290,1 ^b	268,1 ^d
	2021	264,0 ^d	285,0 ^{bc}	279,5 ^c
	2022	293,0 ^b	317,8 ^a	318,9 ^a
	2023	313,9 ^a	323,0 ^a	321,8 ^a
Csőmagasság (cm)	2020	117,1 ^{ef}	118,2 ^{ef}	111,7 ^f
	2021	101,4 ^g	112,3 ^f	116,8 ^{ef}
	2022	123,9 ^{de}	132,9 ^{bc}	133,2 ^{bc}
	2023	127,4 ^{cd}	150,0 ^a	140,4 ^b
Szárátmérő (mm)	2020	18,04 ^{bc}	17,48 ^c	18,33 ^{bc}
	2021	18,55 ^{bc}	17,02 ^c	20,43 ^a
	2022	18,11 ^{bc}	20,29 ^a	19,43 ^{ab}
	2023	20,35 ^a	20,84 ^a	20,58 ^a
LAI	2020	4,1 ^{de}	4,3 ^{bcde}	4,2 ^{cde}
	2021	5,0 ^{bc}	4,3 ^{bcde}	3,8 ^e
	2022	5,0 ^b	4,8 ^{bcd}	4,2 ^{de}
	2023	6,4 ^a	7 ^a	7,4 ^a

A különböző paramétereknél az eltérő betűk statisztikailag igazolt különbségeket jelölnek mind a hibridek, mind pedig az évjáratok között ($p = 5\%$ szinten).

Legnagyobb növénymagassága a H2 (323 cm) és H5 (329,5) hibridnek volt. Legnagyobb csőmagasságot a H2 hibridnél kaptam 2023-ban (150,0 cm). Legvastagabb szárát a 2023-as évben felvételeztem a három hibridnél, mind a három hibrid 20 mm feletti eredményt mutatott. A maximális értéket a H2 hibridnél mértem (20,84 mm). A növénymagasság a terméssel pozitív közepes korrelációban volt (2021: $R=0,496^{**}$; 2022: $R=0,329^{*}$; 2023: $R=0,411^{**}$). A vizsgált eredmények alapján megállapítható, hogy a levélterületnek meghatározó szerepe van a kukorica hibridek termésképzésében a különböző évjáratokban.

Maximális levélterület értékeket 2023-ban mértem, (H3 hibrid 7,4), legalacsonyabb levélfelületet ugyanezen hibridnél 2021 tenyészévben kaptam (3,8). Három vizsgálati évben is a levélfelület index pozitív közepes (0,339*; 0,48*; 362*) korrelációban volt a termésmennyiségekkel. Eredményeim alapján elmondható, hogy a fenológiai paraméterek alakulása szempontjából a 2023-as év volt a legmegfelelőbb a kísérletben szereplő genotípusokat figyelembevéve.

SPAD és NDVI értékek:

Ványiné (2009) kutatási eredményeit a kísérletben kapott eredményeim alátámasztják, miszerint a műtrágyázás mellett az évjárat is jelentősen befolyásolja a SPAD értékek kapcsolatát. 6 leveles korban 2023-ban mértem mind a három hibridnél a legmagasabb értékeket. Ezen belül is a H2 hibridnél 39,31-es SPAD eredménnyel. Legalacsonyabb eredménye a H1 hibridnek volt 2021-ben (29,1). A 12 leveles korban felvételezhető eredményeknél már jelentősebb az évek közötti eltérés. 2020-ban mértem a legkiemelkedőbb értékeket, itt is a H2 hibrid adta a legnagyobb SPAD eredményt (60,5). Legnagyobb SPAD értékeket 2020-ban mértem mind a három hibridnél, legalacsonyabbat 2022-ben. McMaster (1997) megállapítása figyelhető meg a négy év során, mivel a különböző korú és levelű kukorica SPAD-értékei között szignifikáns különbség mutatkozott, és a virágzás előtti szakaszban mért értékek szignifikánsan magasabbak voltak, a virágzás után pedig csökkentek.

Az egyes vizsgált kísérleti paraméterek, mint genotípus, az évjárat és a különböző fenológiai stádiumok önálló és együttes hatásvizsgálatai alapján megállapítható, hogy mind az évjárat, a genotípus, a fenofázis, az év x hibrid, év x fenofázis, hibrid x fenofázis valamint az év x hibrid x fenofázis együttes hatása szignifikáns ($P < 0,001$) hatással volt a SPAD értékek eredményeire. A V6 fenofázisban mért relatív klorofill tartalom és a termésmennyiség között a 2020 (0,313), 2021 (0,492**) és 2023 (0,335*) években közepesen erős korreláció volt megfigyelhető. Továbbá a 2020, 2021 és 2022-es évben is statisztikailag igazolható pozitív szoros kapcsolatot találtam a cső, - szem, és csutkatömeg értékek, illetve az különböző fenofázisban mért SPAD értékek között.

A Normalizált Vegetációs Index értékeknél elmondható, hogy az adott év időjárása hatással van az értékek alakulására. 2020. és 2022. évben voltak a legalacsonyabbak a 6 leveles állapotban mért eredmények, a 2021. és 2023. évben minden hibrid magasabb eredményt produkált, legnagyobb eredménye a H2 (FAO 390-410) genotípusnak volt 2023-ban (0,59). 12 leveles állapotban szinte minden évben azonos értékeket eredményeztek a genotípusok. Legmagasabb mért NDVI érték 0,84 volt (2020: H2 hibrid, 2023: H3 hibrid). Nővirágzáskor a

hibridek nagyobb részt alacsonyabb eredményeket produkáltak, azonban 2020-ban a H3 hibrid tartotta magas NDVI értékeit (0,80). A fiziológiai érettség szakaszában a hibridek jobban elkülönültek egymástól. Kiegyenlítetten magas értékek szerepeltek 2020-ban (0,63-0,66), majd a következő években jelentősen alacsonyabb értékeket kaptam. A terméseredménnyel pozitív szoros korrelációt kaptam a V6 fenofázisban mért eredményekkel (0,762***; 0,331*). Statisztikai vizsgálatok eredményei alapján mind az évjárat, a genotípus, a fenofázis, az év x hibrid, év x fenofázis, hibrid x fenofázis valamint az év x hibrid x fenofázis együttesen szignifikáns ($P < 0,001$) hatással volt.

Hőösszegek:

A vizsgált hibridek kelése a 2020. évben volt legkorábban megfigyelhető (05.01.-05.03. között). Míg 2021-ben (05.04.-05.06.) és 2022-ben későbbi kelés volt jellemző (05.06.-05.10.). Majd a 2023-as évben a hibridek kelése szintén korábban volt felvételezhető (05.03.-05.05.). 2020, 2021 és 2023-as évben a vetés időpontja megegyezett (04.20.) így a kelést nagyrészt az adott év időjárása befolyásolta.

Az évjárat hatása és a hibridek közötti különbség a virágzások idejében is megmutatkozott. A rendkívül aszályos 2022-es évben volt legkorábban a hibridek hím- és nővirágzása. Ennek az állapotnak az eléréséig a H1 hibrid esetében 56 és 57 nap, a H2 hibridnél 55 és 58 nap, a H3 hibridnél 50 és 52 nap volt szükséges. A hőösszeg adatokat vizsgálva, megállapítható, hogy a vizsgált négy évben mért összegek jelentős különbségeket mutatnak. A nővirágzástól a fiziológiai érettség eléréséig szükséges napokban és a hozzá tartozó hőösszegekben is jelentkezett az évjárat hatása, illetve a genotípusok között is jelentős eltérések figyelhetők meg. A H1 hibridnek 2020-ban 64 nap és 721 °C foknapra volt szüksége, míg legnagyobb hőösszeg igénye a feketeteréteg kialakulás eléréséig a nővirágzástól számolva 2023-ban volt, 742 °C nappal (61 nap). A fiziológiai érettség eléréséhez legkevesebb hőösszegre a H3 hibridnek volt szüksége 2023-ban (1160 °C), a H2 hibridnek azonban 1348 foknap volt elegendő a 2020-as évben.

Terméselem paraméterek:

A H2 genotípus minden évben kiemelkedett a csövenkénti szemszámok alakulásában (567-624 db). Legkisebb csőhosszúságot minden genotípusnál 2021-ben mértem (legkisebb H1 hibrid 16,7 cm). Leghosszabb csöveket a 2020-as évben fejlesztettek a vizsgált hibridek (leghosszabb H2 hibrid 22,6 cm). Csőátmérőt tekintve a 2020-as évben kiemelkedő

eredmények figyelhetőek meg, Legvastagabb csövet a H2 hibrid produkált (55,5 mm) (2. táblázat).

2. táblázat: Terméselem paraméterek eredménytáblázata a hibrdek és évek vizsgálatában Debrecen-Látókép (2020-2023)

Paraméterek	Évek	Hibridek		
		H1	H2	H3
Ezerszemtömeg (g)	2020	479,9 ^{ab}	474,4 ^{abc}	436,8 ^{bcd}
	2021	306,1 ^f	370,6 ^e	384,9 ^{de}
	2022	395,7 ^{de}	378,1 ^e	486,2 ^{ab}
	2023	421,8 ^{cde}	410,4 ^{de}	523,4 ^a
Szemszám (db)	2020	493 ^{def}	624 ^a	520 ^{bcd}
	2021	519 ^{bcd}	567 ^{abcd}	495 ^{cdef}
	2022	498 ^{bcd}	585 ^{ab}	453 ^{ef}
	2023	521 ^{bcd}	581 ^{abc}	432 ^f
Csőhossz (cm)	2020	20,6 ^b	22,6 ^a	20,2 ^{bc}
	2021	16,7 ^e	16,8 ^e	17,5 ^{de}
	2022	19,6 ^{bc}	18,8 ^{bcd}	19,0 ^{bcd}
	2023	18,6 ^{cde}	19,9 ^{bc}	19,5 ^{bc}
Csőátmérő (mm)	2020	51,0 ^g	55,5 ^g	49,0 ^g
	2021	45,2 ^f	52,1 ^a	46,4 ^{ef}
	2022	47,3 ^{de}	50,7 ^{abc}	49,0 ^{cd}
	2023	49,1 ^{cd}	51,1 ^{ab}	49,9 ^{bc}
Csőtömeg (g)	2020	277,9 ^b	358,7 ^a	274,2 ^b
	2021	183,1 ^{cd}	248,2 ^{bc}	216,1 ^{cd}
	2022	216,1 ^d	247,6 ^{bc}	252,3 ^{bc}
	2023	241,1 ^{bc}	264,5 ^b	251,4 ^{bc}
Szemtömeg (g)	2020	245,4 ^b	307,0 ^a	237,7 ^b
	2021	168,8 ^d	223,4 ^{bc}	195,4 ^{cd}
	2022	197,5 ^{cd}	219,4 ^{bc}	222,0 ^{bc}
	2023	221,2 ^{bc}	237,9 ^b	222,4 ^{bc}
Csutkatömeg (g)	2020	32,48 ^{bc}	51,70 ^a	36,48 ^b
	2021	14,32 ^g	24,74 ^{def}	20,64 ^{efg}
	2022	18,61 ^{fg}	28,18 ^{cd}	30,23 ^{bcd}
	2023	19,97 ^{efg}	26,55 ^{cde}	28,91 ^{cd}
Szem-csutka arány (%)	2020	7,6 ^{ef}	6,0 ^g	6,7 ^{fg}
	2021	12,8 ^a	9,1 ^{cde}	9,7 ^{bc}
	2022	10,7 ^b	7,8 ^{def}	7,4 ^{fg}
	2023	11,1 ^b	9,2 ^{cd}	7,9 ^{def}
Sorok száma (db)	2020	17 ^{abcd}	18 ^{abc}	15 ^{def}
	2021	16 ^{bcd}	18 ^{ab}	14 ^f
	2022	16 ^{cdef}	17 ^{bcd}	16 ^{bcd}
	2023	17 ^{bcd}	19 ^a	15 ^{ef}

Szemszám egy sorban (db)	2020	37 ^{bcd}	42 ^a	40 ^{ab}
	2021	33 ^{de}	32 ^e	39 ^{abc}
	2022	35 ^{cde}	37 ^{bcd}	39 ^{abc}
	2023	37 ^{abcd}	37 ^{abcd}	40 ^{ab}

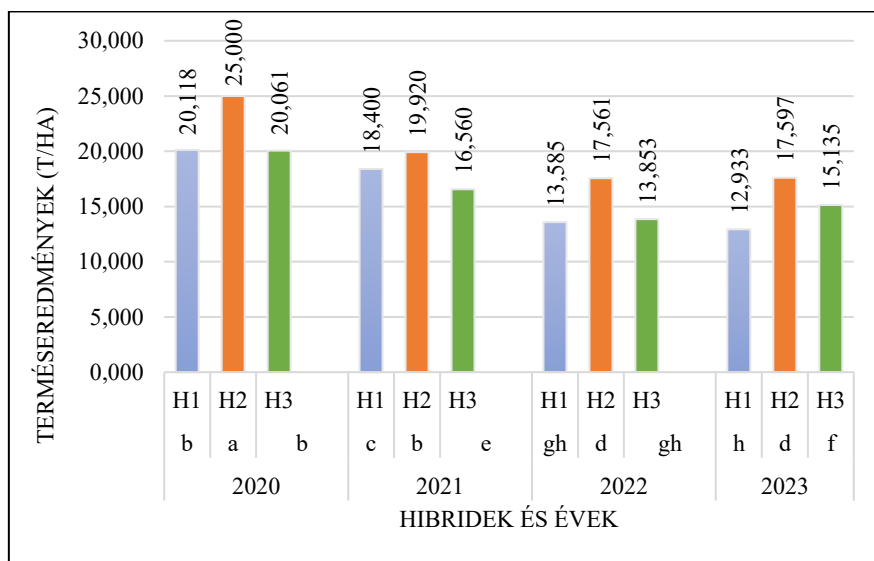
A különböző paramétereknél az eltérő betűk statisztikailag igazolt különbségeket jelölnek mind a hibridek, mind pedig az évjáratok között (p= 5% szinten).

A csőtömeg vizsgálatkor minden esetben a 2020-as év tekinthető a legjobbnak (274,2-358,7 g). Itt is legmagasabb eredménye a H2 hibridnek volt (358,7 g). Legalacsonyabb értékeket 2021-ben mértem (H1 hibrid 183,1 gramm). A szemtömeg vizsgálatkor ez a tendencia megmaradt. A H2 hibrid szemsúlya minden évben kimagaslott. Legmagasabb értékeket a 2020-as év eredményezett (307 g). A csutkasúlyok értékei is a 2020-as évben voltak a legmagasabbak, legalacsonyabbak viszont a 2021-es évben (H1 hibrid 14,32 g), legnagyobb csutkatömeget 2020-ban, 51,70 g (H2 hibrid). A szem-csutka aránya a 2020-as kísérleti évben volt a legkedvezőbb (H2 hibrid 6 %) és a 2021-es évben a legmagasabb (H1 hibrid 12,8 %). A 2023-as évben érték el átlagban a vizsgált hibridek a legmagasabb csövön lévő szemszámot (19 darab), a legalacsonyabbat értékeket a H3 hibridnél mértem mind a négy évben. Legtöbb szemszám egy sorban a H2 hibridnél (42 db) volt megfigyelhető. Legalacsonyabb ezerszemtömeget a 2021-es kísérleti évben érte el a H1 hibrid (306,1 g). A H3 hibridnél 2023-ban (523,4 g), a H1 (479,9 g) és H2 (474,4 g) genotípusnál 2020-ban mértem a legmagasabb ezerszem tömeget. A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a hibridek között. A különböző terméselem paraméterek értékelése során megállapítottam, hogy a kukorica hibridek ezerszemtartalmára szignifikáns hatást gyakorolt mind az évjárat és a hibrid ($P<0,001$) illetve az év x hibrid ($P<0,001$). A szemszámok alakulását a hibrid ($P<0,001$), a csőhossz mért értékeit az évjárat ($P<0,001$) szignifikánsan befolyásolta. A csőátmérők alakulását mind a két tényező önállóan, illetve együttesen is szignifikánsan ($P<0,001$) befolyásolta. A csőtömeg, szemtömeg, csutkatömeg és szem-csutka arány alakulására az évjárat és a hibrid is ($P<0,001$) szignifikáns hatással volt. A csutkatömegre a két tényező együttesen is szignifikáns hatást gyakorolt ($P<0,05$). A korreláció vizsgálat során minden évben a termés és valamennyi terméselem paraméter között statisztikailag igazolható pozitív szoros kapcsolat volt.

Terméseredmény:

Gombos és Nagy (2024b) megállapítását, miszerint a 2020-as év közel optimálisnak bizonyult a tenyészidőszakban lehullott nagy mennyiségű és jó időbeli eloszlású csapadéknak köszönhetően, a saját vizsgálati eredményeim is alátámasztják, miszerint az a három genotípus,

amely mind a négy vizsgálati évben szerepelt kiemelkedően magas terméseredményeket ért el (2. ábra).



2. ábra: A kukoricahibridek terméseredményei a 2020-2023 évben. Debrecen-Látókép. Az eltérő betűk statisztikailag igazolt különbségeket jelölnek mind a hibridek, mind pedig az évjáratok között ($p = 5\%$ szinten).

Kiemelve a H2 (FAO 390-410) genotípust, amely elérte a $25,000 \text{ t ha}^{-1}$ termést. Ebben az évben a legkisebb terméseredmény is meghaladta a 18 tonnás hektáronkénti átlagot (H4-FAO 490). A H2 hibrid 2021-ben is magas értéket eredményezett ($19,920 \text{ t ha}^{-1}$), ennél nagyobb termése csak a H4 hibridnek volt ($21,600 \text{ t ha}^{-1}$), a legalacsonyabb terméssel a H3 (FAO 350-360) hibrid volt betakarítható ($16,560 \text{ t ha}^{-1}$). A 2022-es rekord aszályos évet a jelentősen meleg, és a főként kulcsfontosságú időszakokban csapadékmentes nyári időjárás, illetve talajok csökkent vízkészlete együttesen eredményezte, ezt igazolják a terméseredmények is, a H2 ($17,561 \text{ t ha}^{-1}$), a H3 ($13,583 \text{ t ha}^{-1}$) és a H4 ($14,973 \text{ t ha}^{-1}$) hibrid legalacsonyabb terméseredményeit érte el. 2023-ban a tenyészidőszak mérsékelt meleg, kiegyenlített hőmérsékleti viszonyai és átlag körüli csapadéka Debrecen térségében kedvező agrometeorológiai feltételeket biztosított a kukorica számára, a terméseredmények is növekedést mutattak a 2022-es évhez képest, kivétel a H1 (FAO 420) hibrid $12,933 \text{ t ha}^{-1}$ -os eredményével. A H5 (FAO 490) hibrid is kimagasló eredményt ért el ($17,935 \text{ t ha}^{-1}$). Összefoglalva a négy év terméseredményeit a legkedvezőbb év 2020. volt átlagosan $21,030 \text{ t ha}^{-1}$ terméssel, ezt követte 2021-es év $19,120 \text{ t ha}^{-1}$ átlaggal, 2023-ban $15,900$ tonna volt az hektáronkénti átlagtermés és végül 2022-ben voltak a legalacsonyabb betakarítható mennyiségek hektáronként ($14,999$ tonna). Eredményeim statisztikailag is igazolhatóak, miszerint a kukorica termésparamétereinek vizsgálata során az egy- és többtenyezős varianciaanalízis segítségével megállapítottam, hogy a termés mennyiségére az évjárat, a hibrid

és a két tényező együttesen is szignifikáns ($P < 0,001$) hatással volt. Illetve szignifikáns különbség is kimutatható a vizsgált hibrdek között a négy tenyészidőszakban.

Beltartalom:

Legalacsonyabb szemnedvességgel a 2023-as évben voltak betakaríthatóak a vizsgált genotípusok, átlagosan 14,66 %-kal (kiemelkedett a H3 hibrid 13,9 %-kal). A szemek vízleadásának és a betakarítási munkáknak kedvezett a rekord meleg ($20,0^{\circ}\text{C}$) és az átlagosnál kissé szárazabb szeptemberi időjárás (Gombos és Nagy, 2024a). Kedvező szemnedvességük volt 2022-ben is (átlagosan 15,09 %). Legnagyobb betakarításkori szemnedvességet a 2021-es év eredményezett (átlagosan 18,39 %), a 2020-as évben is nagyobb szemnedvességgel voltak betakaríthatóak a termések (17,88 %), ezt befolyásolta az augusztus csapadékmennyisége (3. táblázat).

3. táblázat: Beltartalmi paraméterek eredménytáblázata a hibrdek és évek vizsgálatában Debrecen-Látókép (2020-2023)

Paraméterek	Évek	Hibrdek		
		H1	H2	H3
Szemnedvesség (%)	2020	17,0 ^{bc}	17,3 ^{bc}	18,1 ^{ab}
	2021	17,4 ^{bc}	19,2 ^a	16,4 ^{cd}
	2022	15,2 ^{de}	15,0 ^e	14,8 ^e
	2023	14,4 ^e	14,5 ^e	13,9 ^e
Olajtartalom (%)	2020	3,0 ^{cde}	2,7 ^e	3,4 ^{abcd}
	2021	3,2 ^{bcde}	2,9 ^{de}	3,6 ^{ab}
	2022	3,4 ^{abc}	3,3 ^{bcd}	3,8 ^a
	2023	3,8 ^a	3,5 ^{abc}	3,8 ^a
Fehérjetartalom (%)	2020	6,3 ^{abc}	6,3 ^{abc}	6,1 ^{abc}
	2021	6,2 ^{abc}	6,3 ^{abc}	6,2 ^{abc}
	2022	5,9 ^c	6,7 ^a	6,6 ^{ab}
	2023	5,9 ^{bc}	6,4 ^{abc}	6,6 ^{ab}
Keményítőtartalom (%)	2020	78,6 ^a	78,7 ^a	78,0 ^a
	2021	78,0 ^a	79,3 ^a	76,1 ^b
	2022	74,8 ^{bcd}	73,8 ^{de}	72,7 ^e
	2023	75,9 ^{bc}	75,7 ^{bc}	74,4 ^{cd}

A különböző paramétereknél az eltérő betűk statisztikailag igazolt különbségeket jelölnek mind a hibrdek, mind pedig az évjáratok között ($p = 5\%$ szinten).

Legmagasabb olajtartalmat a 2023-as év eredményezett (átlagosan 3,6 %). Legalacsonyabb értéke minden évben a H2 hibridnek volt, 2020-ban és 2021-ben is 3 % alatt maradt (2,7 % és 2,9 %). Magasabb fehérjetartalmat a H2 és H3 genotípusnál 2022-ben és 2023-ban mértem (6,4-6,7 %), alacsonyabb eredményei 2020-ban és 2021-ben voltak (6,1-6,3 %).

Legalacsonyabb keményítőtartalmat a H3 genotípusnál mértem 2022-ben (72,7 %). Legmagasabb értéke a H2 hibridnek volt 2021-ben (79,3 %) illetve a H4 hibridnek a 2022-es évben (80,82 %). A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a hibridek között. A vizsgált hibridek beltartalmi paramétereinek alakulása során megállapítottam, hogy a kukorica hibridek szemnedvességére szignifikáns hatást az évjárat ($P < 0,001$) és az évjárat x hibrid ($P < 0,005$), az olajtartalmára az évjárat ($P < 0,001$) és hibrid ($P < 0,001$), a keményítőtartalmára az év ($P < 0,001$) és hibrid ($P < 0,001$) gyakorolt (táblázat). A vizsgált beltartalmi paraméterek között minden évben negatív szoros és közepes korreláció volt megfigyelhető. A minőségi paramétereket az ökológiai és genetikai tényezők egyaránt befolyásolják, így az egyes genotípusoknál jelentős eltérések lehetnek.

Vízleadás:

A 2020-as év augusztusát és a szeptemberét mérsékelt ($+1,8^{\circ}\text{C}$, $+1,7^{\circ}\text{C}$) pozitív hőmérsékleti anomália jellemezte, az érés és a vízleadás/száradás folyamatát gyorsította (Nagy és Nagy, 2022). A 2020-as vizsgálati évben a vízleadása a mérések kezdeti időpontjától (08.25.) fiziológiai érésig 1,26 % (H1) és 0,87 % (H2) volt a napi mérték, hőösszegek tekintetében 8,13 (H1) és 12,10 (H2) foknap volt szükséges 1 % vízleadáshoz. A H1 hibridnek a fiziológiai éréstől a betakarításig vízvesztése 0,01 % volt naponta, a H2 hibrid esetében 0,12 %.

Szeptemberben 19 mm csapadék hullott, így folytatódott a szárazság, amely alkalmas feltételeket teremtett a szem vízleadásához, illetve száradásához (Gombos és Nagy 2022). A 2021-es évben a H1 genotípus vízleadásának napi mértéke 0,85 % volt, a H2 hibridnek 0,92 % a mérések kezdeti időpontjától (07.29.), illetve 11,89 (H1) és 10,61 (H2) foknapra volt szükség 1 % vízleadáshoz. Vízvesztése a fiziológiai éréstől egészen a betakarításig 0,47 %/nap volt a H1 hibridnél, 0,41 %/nap a H2 genotípusnál.

2022 szeptemberében igen sok, 152 mm eső esett, több mint az azt megelőző öt hónap során. Ez azonban nem gyakorolt pozitív hatást a kukoricára (Gombos és Nagy, 2023a). 2022-es évben a vízleadás mértéke (07.28-tól) a fiziológiai érettség eléréséig 0,69 % (H1) és 0,63 % (H2) volt naponta. A H1 hibridnek ugyanezen periódus alatt 17,81 foknap kellett 1 % vízleadáshoz, a másik hibridnek 20,68 foknap. Vízvesztése a betakarításig 0,19 %/nap volt a H1 genotípusnak, a H2 hibridnek 0,34 % (4. táblázat). A szemek vízleadásának és a betakarítási munkáknak kedvezett a 2023-as év rekord meleg ($20,0^{\circ}\text{C}$) és az átlagosnál kissé szárazabb szeptemberi időjárás (Gombos és Nagy, 2024a). A 2023-as évben 07.31-től napi vízleadása a H1 hibridnek 0,91 %, a H2 hibridnek 1,12 % volt. Hőösszeg tekintetében utóbbi genotípusnak

10,35 °C/ 1%, a H1 hibridnek 13,20 °C/ 1% volt ehhez szükséges. Vízesztése naponta a betakarításig 0,56 % volt a H1 hibridnek, a H2 hibridnek 0,32 %.

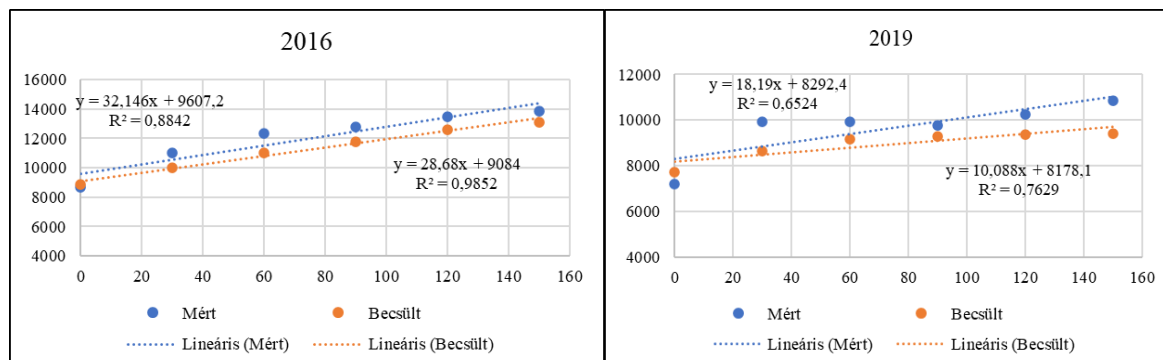
4. táblázat: A H1 és H2 hibrid vízleadásának és vízvesztésének fajlagos mutatói Debrecen-Látókép (2020-2023)

Évek	Fajlagos mutatók		H1	H2
2020	Vízleadás 08.25.-tól fiziológiai érésig	szemnedvesség %/nap	1,26	0,87
		hőösszeg °C/ 1%	8,13	12,10
	Vízvesztés Fiziológiai éréstől- betakarításig	szemnedvesség %/nap	0,01	0,12
2021	Vízleadás 07.29.-tól fiziológiai érésig	szemnedvesség %/nap	0,85	0,92
		hőösszeg °C/ 1%	11,89	10,61
	Vízvesztés Fiziológiai éréstől- betakarításig	szemnedvesség %/nap	0,47	0,41
2022	Vízleadás 07.28.-tól fiziológiai érésig	szemnedvesség %/nap	0,69	0,63
		hőösszeg °C/ 1%	17,81	20,68
	Vízvesztés Fiziológiai éréstől- betakarításig	szemnedvesség %/nap	0,19	0,34
2023	Vízleadás 07.31.-tól fiziológiai érésig	szemnedvesség %/nap	0,91	1,12
		hőösszeg °C/ 1%	13,20	10,35
	Vízvesztés Fiziológiai éréstől- betakarításig	szemnedvesség %/nap	0,56	0,32

DSSAT Ceres-Maize futtatási eredmények

Az általam alkalmazott DSSAT Ceres-Maize program növényi modellezéséhez egy több tápanyaglécsoős kísérletet választottam, amelynek a betakarított termésmennyiségét a szimulált eredményekkel hasonlítottam össze egy kiváló genetikai tulajdonságú hibrid segítségével (FAO 340). 2016-ban az N0 dózis kivételével a modell minden esetben alulbecsülte a hozamot. A mért termésadatok determinációs együtthatója $R^2 = 0,88$, a szimulált

eredményeket $R^2 = 0,98$ értékkel határoztam meg. A nitrogén dózis egységnyi növelése a mért adatoknál 32,14 kg ha⁻¹, a szimulált adatoknál 28,68 kg ha⁻¹ volt (3. ábra).



3. ábra: A FAO 340 hibrid mért és becsült termésadatai (2016, 2019)

2019-ben a mért terméseredmények jelentősebben alacsonyabbak voltak, a legmagasabb terméshozam 10 t ha⁻¹ volt. Az egységnyi nitrogéndózis növelése a mért adatoknál 18,19 kg ha⁻¹, míg a szimulált adatoknál 10,08 kg ha⁻¹ volt. A szimulációs hozamnál is hasonló tendencia figyelhető meg, de a N0 dózis kivételével minden esetben alulbecsülte azt. A mért eredményeket $R^2 = 0,65$, a becsült hozamokat $R^2 = 0,76$ értékkel határoztam meg.

Az általam vizsgált kísérleti eredmények alapján elmondható, hogy a CERES-Maize modell nagyon érzékeny volt az éghajlati tényezők változásaira, a modell pontatlanul szimulálta a kukorica hozamát a különböző N-kezelésekben és az eltérő tenyésztési időszakokban. Összefoglalva, a szimulált kukoricatermés nem társult a kísérleti parcellákon mért helyspecifikus kukoricahozamokhoz. Hosszú távú kísérlet azt mutatta, hogy a növekvő műtrágyázás hatására nő a terméshozam, amelyet a modell is követett. A vizsgált 5 év időjárása jelentősen eltért egymástól. A csapadékos évben (2016) a hibrid (FAO340) 13 858 kg ha⁻¹ termést ért el, míg az aszályos (2019) évben 3 tonnával (10 860 kg ha⁻¹) lett kevesebb. A modell becsült eredményei követték a hozamok növekedését a N dózis emelésével. Az egyes kezelési szinteken a modell közel azonos módon becsülte meg a genotípus hozamát, de a modell több esetben alul- vagy túlbecsülte a termést. Azon hozamok előrejelzéséhez, amelyek megfelelnek a precíziós gazdálkodás követelményeinek, ügyelni kell az optimális körülmények között végzett kísérletek adatainak összegyűjtésére. Ezenkívül a kalibrációhoz felhasznált adatokat olyan helyről szükséges gyűjteni, ahol részletes talajadatok állnak rendelkezésre. A tanulmány eredményei alátámasztják a modell alkalmazásának lehetőségét a megfelelő agrotechnika alkalmazására, beleértve a nitrogéndózis meghatározását is. A nagyobb műtrágyaadagok minden évben magasabb termést eredményeztek (Nyéki et al., 2022b, Zelenák et al., 2021)

4. Új tudományos eredmények

1. Igazoltam és számszerűsítettem az évjáráthatásokat a vizsgált kukoricahibridek termésére. Szántóföldi tartamkísérletben (Debrecen-Látókép) a kiváló évjáráthoz (2020) képest az átlagos évjáratban (2021) a termés a vizsgált hibridek átlagában hektáronként 3,433 tonnával, az aszályos 2022-ben és 2023-ban 6,504-6,726 tonnával kisebb volt. A szántóföldi kísérlet termőhelyi adottsága jó szintű, négy év átlagában a vizsgált hibridek átlagosan $17,560 \text{ t ha}^{-1}$ terméseredményt értek el.
2. A SPAD (26,8-63,8) és NDVI (0,26-0,86) értékek alapján történő növényállapot-értékelés precízen tükrözi a különböző genotípusú kukoricahibridek fejlődési szakaszait és a környezeti stresszhatásokra adott válaszreakcióit. Az évjárat, a hibrid, a fenofázis és azok interakciói mind szignifikáns hatással voltak az NDVI-értékek alakulására ($P < 0,001$), így ezek az értékek megbízható indikátorai lehetnek a hibridek alkalmazkodóképességének.
3. A V6 fenofázisban mért relatív klorofill tartalom és a termésmennyiség között (0,313; 0,492**; 0,335*) a négy év mindegyikében pozitív korreláció volt. A kapcsolat három évben (2020, 2021 és 2023) közepesen erős, statisztikailag igazolt ($P < 0.05$) volt. A vizsgált kukoricahibridek eredményei szerint a korai fejlettségi állapotban mért relatív klorofill tartalomról következtetni lehet a termés mennyiségére.
4. A vizsgált években a genotípusok paramétereit értékelve megállapítottam, hogy a növénymagasság és a levélterület index pozitívan korrelált a termésmennyiséggel. Mindkét mért fenometria jellemző és a termésmennyiség között a vizsgált négy évből háromban statisztikailag igazolt ($P < 0.05$), közepesen erős pozitív (0,496**; 0,329*; 0,411**) korrelációs kapcsolatot állapítottam meg.
5. Vizsgálataim bizonyították, hogy a fiziológiai érettség előtti vízleadási dinamika mértéke genotípusfüggő, és előre jelezhető hőösszeg-alapú modellezéssel. Vizsgálati eredményeim szerint a H1 és H2 hibrideknél eltérő napi vízleadási értékek és a hozzájuk tartozó hőösszeg adatok alapján a vízleadási hatékonyság pontosan jellemezhető, így a betakarítás időzítése optimalizálható. A 2020-as vizsgálati évben a H1 hibridnek gyorsabb volt a vízleadása (1,26 % /nap), mint a 2022-es tenyészévben (0,69 %/nap),

azonban az 1 % vízleadáshoz több hőösszegre volt szüksége (17,81 °C), mint a korábbi évben (8,13 °C).

6. Bizonyítottam, hogy a DSSAT Ceres-Maize modell által szolgáltatott hozamprognózisok validálhatók a kísérleti eredményekkel, így a modell alkalmas az eltérő genotípusú hibridek teljesítményének előrejelzésére különböző agrometeorológiai körülmények között. A modellezett (6.671-13.136 kg ha⁻¹) és mért (5.016-14.920 kg ha⁻¹) terméseredmények közötti összhang megerősíti a szoftver gyakorlati alkalmazhatóságát a termesztéstechnológiai döntéshozatalban.

5. Gyakorlatban hasznosítható eredmények

1. A vizsgált évek mindegyikében a FAO 390-410 érésidejű hibrid (H2) szemtermés mennyiségét tekintve volt a legmegbízhatóbb. Rekord eredményt ért el az időjárás szempontjából is legkedvezőbb évjáratban (2021) 25,000 t ha⁻¹ terméssel. Egyedül a FAO 490 (H5 hibrid) produkált 2023-ban közel azonos eredményt (17,935 t ha⁻¹). Ezen eredmények alapján megállapítható, hogy az általam vizsgált hibridek közül hasonló termőhelyen a H2 (FAO 390-410) hibrid termesztető leggazdaságosabb. A kukorica szempontjából kedvezőtlen időjárású 2022-es, kifejezetten aszályos évben is a termésmennyisége (17,567 t ha⁻¹) a legmagasabb volt.
2. Kutatási eredményeim szerint a hőegység értékek pontosabban jellemeznék egy-egy adott kukorica hibridet, mint a napokban mért tenyészidő hossza, mert ez utóbbi egyik évről a másikra eltéréseket eredményezhet még az azonos termőhelyeken is. A kísérletben szereplő hibridek hőösszeg alapján való besorolása segíthet egy-egy adott termőhelynek megfelelő FAO számú hibrid kiválasztásában, amelynek termesztése biztonságosabb.
3. Kutatási eredmények alapján az aszályos években a tenyészidőszakban használt csepegtető öntözőrendszer rendkívül hatékony és gazdaságos, amely a kukorica számára kritikus fenofázisokban mérsékelni tudta az időjárás okozta károkat és jelentősen növelte a termésmennyiséget.
4. A különböző genotípusú, eltérő FAO számú kukorica hibridek vízleadó képessége eltérő, annak ismerete a fiziológiai érés szakaszában segíti a megfelelő időben történő betakarítást.
5. A tenyészidőszak során végzett relatív klorofilltartalom mérés segít a különböző kukorica hibridek egészségi állapotának nyomonkövetésében és ezáltal következtethetünk a várható termés mennyiségre is.

6. Irodalomjegyzék

1. *Erenstein, O.- Jaleta, M.- Sonder, K.- Mottaleb K.- B.M. Prasanna.*:2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. Food Sec. 14: 1295–1319.
2. *Gombos B.-Nagy J.*: 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. Növénytermelés. 71. 1: 7-20.
3. *Gombos B.-Nagy J.*: 2023. A 2022-es rendkívüli aszály agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látóképen. Növénytermelés. 72. 1: 1-14.
4. *Gombos B.-Nagy J.*:2024a. A 2023-as kukorica tenyészidőszak agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látókép. Növénytermelés. 73. 1: 29-39.
5. *Gombos B.-Nagy J.*:2024b. An empirical and a dynamic-empirical model for the estimation of maize seedbed temperature. Időjárás/ Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service. 128. 1: 41-57.
6. *Ignacio, A.-Ciampitti, T. J.*: 2014. Understanding Global and Historical Nutrient Use Efficiencies for Closing Maize Yield Gaps. 106. 6: 2107–2117.
7. *Jones, J. W.-Hoogenboom, G.-Porter, C. H.-Boote, K. J.-Batchelor, W. D.-Hunt, L. A.-Wilkins, P. W.-Singh, U.-Gijsman, A. J.-Ritchie, J. T.*: 2003. The DSSAT cropping system model. Europ. J. Agronomy. 18: 235–235.
8. *McMaster, G.S.- Wilhelm, W.W.*: 1997. Growing degree-days: One equation, two interpretations. Agric. Meteorol. 87. 291–300.
9. *Nagy Z.-Nagy J.*: 2022. A 2020-as és a 2021-es kukorica tenyészidőszak agrometeorológiai viszonyainak összehasonlító elemzése. Növénytermelés. 71. 1: 33-50.
10. *Nyéki A.-Gombos B.-Nagy J.*: 2020. Nitrogéntrágyázás hatékonyságának vizsgálata Ceres-Maize modellel a Debrecen-Látókép tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával. Növénytermelés, 69. 1: 33-52.
11. *Nyéki A.-Zelenák A. – Szabó A. - Nagy J.*: 2022b. A CERES-Maize modell terméshozam szimulációja a látóképi kísérlet adatbázisával. Növénytermelés. 71. 3-4. 133-145.
12. *Olesen, J.E.- Bindi, M.*: 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. Eur. J. Agron. 16: 239–262.
13. *Pepó P.*: 2006. Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. Gyakorlati Agrofórum Extra. 13: 17-11.
14. *Ruzsányi L.*: 1996. Aszály hatása és enyhítésének lehetőségei a növénytermesztésben. [In: Cselőtei L.-Harnos Zs. (szerk.) Éghajlat, időjárás, aszály.] Akaprint Nyomda - ipari Kft. Budapest. 5–66.
15. *Stekauerová, V. - Nagy, V.*: 2006. Course of soil layer water content in agricultural cultivated soil during years 1999 and 2000. Cereal Res. Commun. 34. 1: 287–290.
16. *Vágó, K. - Dobó, E. - Kumar Singh, M.*: 2006. Predicting the biogeochemical phenomenon of drought and climate variability. Cereal Res. Commun. 34. 1: 93–97
17. *Ványiné Széles A.*: 2009. A kukoricahibridek N-ellátottságának értékelése különböző tápanyag szinteken. I: Berzsenyi Z., Árendás T (eds.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 2009.
18. *Zelenák, A.- Szabó, A.- Nagy, J.- Nyéki, A.*: 2022. Using the Ceres-Maize model to simulate crop yield in a long-term field experiment in Hungary. Agronomy. 12. 785.



Nyilvántartási szám: DEENK/201/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Szombatiné Zelenák Annabella
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10081655

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (7)

1. Szanyi, I., Pintér, J., Bojtó, C., Illés, Á., **Zelenák, A.**, Nagy, J.: KWS kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésparamétereinek összehasonlító értékelése.
Növénytermelés. 73 (1), 7-20, 2024. ISSN: 0546-8191.
2. Nagy, J., **Zelenák, A.**, Illés, Á., Bojtó, C., Gombos, B., Szabó, A., Nyéki, A., Széles, A.: Eltérő FAO-számú kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésparamétereinek elemzése öntözött állományban.
Növénytermelés. 72 (1), 69-84, 2023. ISSN: 0546-8191.
3. Sólyom, J., Bojtó, C., Illés, Á., **Zelenák, A.**, Nagy, J.: Eltérő FAO számú kukorica hibridek (*Zea mays* L.) smart paramétereinek elemzése.
Növénytermelés. 72 (4), 5-20, 2023. ISSN: 0546-8191.
4. **Zelenák, A.**, Kith, K., Balaout, I., Nyéki, A.: Lombtrágyakezelés hatása Ivola (FAO 350) és Mv Marfi (FAO 480) kukorica (*Zea mays* L.) hibrid termesztési eredményeire = Effects of foliar fertiliser treatment on the performance of Ivola (FAO 350) and Mv Marfi (FAO 480) maize (*Zea mays* L.) hybrids.
Növénytermelés. 71, 121-140, 2023. ISSN: 0546-8191.
5. Nyéki, A., **Zelenák, A.**, Szabó, A., Nagy, J.: A CERES-Maize modell terméshozam szimulációja a látóképi kísérlet adatbázisával.
Növénytermelés. 71 (3-4), 133-145, 2022. ISSN: 0546-8191.
6. Szabó, A., Balaout, I., **Zelenák, A.**: Eltérő genotípusú kukorica hibridek szárazanyag-beépülési és vízleadási dinamikájának vizsgálata.
Növénytermelés. 71 (2), 93-100, 2022. ISSN: 0546-8191.
7. Nagy, J., Hadászi, L., Illés, Á., Bojtó, C., **Zelenák, A.**, Nyéki, A.: Fornad (FAO 420) "Smart" kukorica hibrid termesztési eredményei.
Növénytermelés. 69 (2), 5-23, 2020. ISSN: 0546-8191.





Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

8. Balaout, I., **Zelenák, A.**, Széles, A.: Comparative analysis of SPAD, NDVI, phenological and generative parameters of maize hybrids (*Zea mays* L.).
Növénytermelés. 73 (2), 5-22, 2024. ISSN: 0546-8191.
9. Balaout, I., **Zelenák, A.**, Nyéki, A., Széles, A.: Evaluation of NDVI, SPAD values and yield of two different maize (*Zea mays* L.) genotypes under foliar fertilisation.
Review on Agriculture and Rural Development. 11 (1-2), 105-111, 2022. ISSN: 2063-4803.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14232/rard.2022.1-2.105-111>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

10. **Zelenák, A.**, Szabó, A., Nagy, J., Nyéki, A.: Using the CERES-Maize Model to Simulate Crop Yield in a Long-Term Field Experiment in Hungary.
Agronomy-Basel. 12 (4), 1-16, 2022. EISSN: 2073-4395.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12040785>
IF: 3.7

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (5)

11. Balaout, I., Ocwa, A., **Zelenák, A.**, Bojtó, C., Illés, Á., Széles, A.: Response of maize yield, dry matter and nutrient accumulation to drip irrigation: a sustainable approach to food security.
In: Proceedings of the Plants 2025: From Seeds to Food Security, Sciforum MDPI, Barcelona, 1, 2025, (Plants 2025 Conference, ISSN 2223-7747 ; 2025)
12. Balaout, I., **Zelenák, A.**, Nyéki, A.: Evaluation of NDVI, SPAD values and yield of two different maize (*Zea mays* L.) genotypes under foliar fertilisation.
In: 19th Wellmann International Scientific Conference : Book of abstract. Ed.: Kiss Orsolya, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 23, 2022. ISBN: 29789633068601
13. Balaout, I., **Zelenák, A.**, Szabó, A., Bojtó, C.: Maize (*Zea mays* L.) productivity response to foliar fertilisation under different environmental conditions.
In: International Congress on Sustainable Development in the Human Environment - Current & Future Challenges ICSDEC 2022 : Proceedings book. Eds.: Anna Krakowiak-Bal, Atilgan Atilgan, Roman Rolbiecki, Hakan Aktas, Infrastructure and Ecology of Rural Areas Association, Krakow, 255, 2022. ISBN: 9788396606211
14. Kith, K., Bojtó, C., Illés, Á., Dorogi, Z., **Zelenák, A.**: Analysis of the correlation between yield results and soil in the case of different genotype maize hybrids.
In: Abstract book 18th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Csaba Bálint, Viola Kunos, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 94-95, 2019. ISBN: 9789632698182





15. **Zelenák, A.**, Illés, Á., Bojtor, C., Vad, A., Kith, K.: Phenometric comparison of different genotype and maturity maize hybrids.
In: Abstract book 18th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Csaba Bálint, Viola Kunos, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 172-173, 2019. ISBN: 9789632698182

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

16. Nagy, Z., Széles, A., Demeter, C., Illés, Á., Bojtor, C., **Zelenák, A.**, Nagy, J.: Az agrometeorológiai hatások elemzése csemegekukorica (*Zea mays* L. convar. saccharata Koern.) üzemi termesztési kísérletekben.
Növénytermelés. 70 (1), 7-21, 2021. ISSN: 0546-8191.
17. Szabó, A., Illés, Á., Bojtor, C., Széles, A., **Zelenák, A.**, Nagy, J.: Az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárvakártétel hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésének mennyiségi és minőségi paramétereire szántóföldi tartamkísérletben.
Növénytermelés. 70 (3), 41-62, 2021. ISSN: 0546-8191.
18. Demeter, C., Széles, A., Illés, Á., Bojtor, C., Szabó, A., Bakos, Z., **Zelenák, A.**, Nagy, J.: Normálédes és szuperédes csemegekukorica (*Zea mays* L. convar. saccharata Koern) hibridek beltartalmi értékeinek összehasonlító elemzése.
Növénytermelés. 70 (2), 5-20, 2021. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

19. Bakos, Z., Bojtor, C., Illés, Á., Demeter, C., **Zelenák, A.**: Nutritional values and yield parameters of a sweet maize variety (*Zea mays* L. convar. saccharata Koern).
Növénytermelés. 70 (3), 109-111, 2021. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

20. Demeter, C., Nagy, J., Huzsvai, L., **Zelenák, A.**, Szabó, A., Széles, A.: Analysis of the Content Values of Sweet Maize (*Zea mays* L. Convar Saccharata Koern) in Precision Farming.
Agronomy-Basel. 11 (12), 2596-2608, 2021. EISSN: 2073-4395.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11122596>
IF: 3.949





Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

21. Balaout, I., Bojtor, C., **Zelenák, A.**, Zagyi, P., Széles, A.: Evaluation of maize (Zea mays L.) essential nutrients dynamic during its developmental phenophases.
In: 8th Cereals and Europe Spring Meeting : Book of Abstracts / Peter Weegels, Dubravka Novotni, Artion Conferences and Events, Zagreb, 68, 2024.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

22. Demeter, C., Bakos, Z., **Zelenák, A.**, Nagy, J.: Evaluation of NDVI, SPAD and nutritional values of sweet maize (Zea mays L. convar. saccharata Koern).
In: Scientific Conference of PhD. Students of FAFR, FBFS and FHLE SUA in Nitra : Proceedings of Abstracts. Eds.: Monika Tóthová, Judita Lidiková, Kristína Candráková, Dominik Hollý, Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, 67-67, 2021. ISBN: 9788055224008

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 7,649

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 3,7

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.05.13.

