

DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Holb Imre

az MTA doktora

Témavezetők:

Prof. Dr. Nagy János, DSc

professor emeritus

Dr. Nyéki Anikó Éva, PhD

egyetemi docens

**ELTÉRŐ GENOTÍPUSÚ KUKORICA HIBRIDEK ÖSSZEHAISONLÍTÓ
VIZSGÁLATA**

Készítette:

Szombatiné Zelenák Annabella

doktorjelölt

Debrecen

2026

ELTÉRŐ GENOTÍPUSÚ KUKORICA HIBRIDEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
növénytermesztési- és kertészeti tudományok tudományágban

Írta: **Szombatiné Zelenák Annabella** okleveles növénytermesztő mérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája
(Növénytermesztési- és kertészeti tudományok programja) keretében

Témavezetők:

Dr. Nagy János, DSc

Dr. Nyéki Anikó, PhD

Az értekezés bírálói:

név	tudományos fokozat	aláírás
.....		
.....		

A bírálóbizottság:

név	tudományos fokozat	aláírás
elnök:		
tag:		
titkár:		

Az értekezés védésének időpontja: 2026.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	6
2. Szakirodalmi áttekintés.....	10
2.1 A precíziós gazdálkodás jelentősége.....	10
2.2 A kukorica rendszertana, fejlődése	10
2.3 Az ökológiai tényezők jelentősége a kukorica termesztésében	12
2.3.1 Az éghajlati, klimatikus tényezők hatása a kukoricatermesztésre.....	12
2.3.2 A kukorica vízigénye.....	13
2.3.3 A klímaváltozás kukoricatermesztésre gyakorolt hatása.....	14
2.4 A biológiai alapok, genotípus szerepe a kukoricatermesztésben	16
2.5 A termesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására	17
2.5.1 A vízellátás, öntözés hatása a kukoricatermesztésre	17
2.5.2 A tápanyagellátás hatása a kukoricatermesztésre	18
2.5.3 Termesztéstechnológia, beltartalmi paraméterek	19
2.6 Precíziós technológiák, a kukorica SPAD és NDVI értékeinek jelentősége	20
2.7 A kukorica hozam modellezése	21
3. Anyag és módszer	23
3.1 A kísérleti terület elhelyezkedése, talajtani adottságai és paraméterei	23
3.2 A kísérleti terület éghajlat jellemzői	23
3.3 A kísérlet bemutatása, agrotechnikája.....	26
3.4 A kísérletben alkalmazott hibridek	28
3.5 Kísérletben végzett mérések bemutatása és kiértékelésének módszere	30
3.6 A kísérleti adatok statisztikai értékelése	36
3.7 A DSSAT Ceres-Maize program alkalmazásának módszertana.....	36
4. Eredmények	39
4.1 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2020, Látókép.....	39
4.1.1 A hőösszeg jellemzése a 2020-as kísérleti évben	39
4.1.2 A SPAD értékek alakulása a 2020-as évben	40
4.1.3 Az NDVI értékek alakulása a 2020-as évben	41
4.1.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2020-as évben.....	42
4.1.5 Csőparaméterek alakulása a 2020-as évben	42
4.1.6 Ezerszemtömeg a 2020-as évben.....	43
4.1.7 Terméseredmények a 2020-as évben.....	44

4.1.8 Beltartalmi értékek a 2020-as évben	45
4.1.9 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2020-as évben .	46
4.1.10 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2020-as évben	47
4.2 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2021, Látókép.....	49
4.2.1 A hőösszeg jellemzése a 2021-es kísérleti évben	49
4.2.2 A SPAD értékek alakulása a 2021-es évben	50
4.2.3 Az NDVI értékek alakulása a 2021-es évben	50
4.2.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2021-es évben.....	51
4.2.5 Csőparaméterek alakulása a 2021-es évben	52
4.2.6 Ezerszemtömeg a 2021-es évben.....	53
4.2.7 Beltartalmi értékek a 2021-es évben	55
4.2.8 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2021-es évben .	55
4.2.9 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2021-es évben	58
4.3 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2022, Látókép.....	60
4.3.1 A hőösszeg jellemzése a 2022-es kísérleti évben	60
4.3.2 A SPAD értékek alakulása a 2022-es évben	61
4.3.3 Az NDVI értékek alakulása a 2022-es évben	62
4.3.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2022-es évben.....	62
4.3.5 Csőparaméterek alakulása a 2022-es évben	63
4.3.6 Ezerszemtömeg a 2022-es évben.....	64
4.3.7 Terméseredmények a 2022-es évben.....	65
4.3.8 Beltartalmi értékek a 2022-es évben	66
4.3.9 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2022-es évben .	66
4.3.10 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2022-es évben	69
4.4 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2023, Látókép.....	71
4.4.1 A hőösszeg jellemzése a 2023-as kísérleti évben	71
4.4.2 A SPAD értékek alakulása a 2023-as évben	72
4.4.3 Az NDVI értékek alakulása a 2023-as évben	73
4.4.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2023-as évben.....	74
4.4.5 Csőparaméterek alakulása a 2023-as évben	74
4.4.6 Ezerszemtömeg a 2023-as évben.....	76

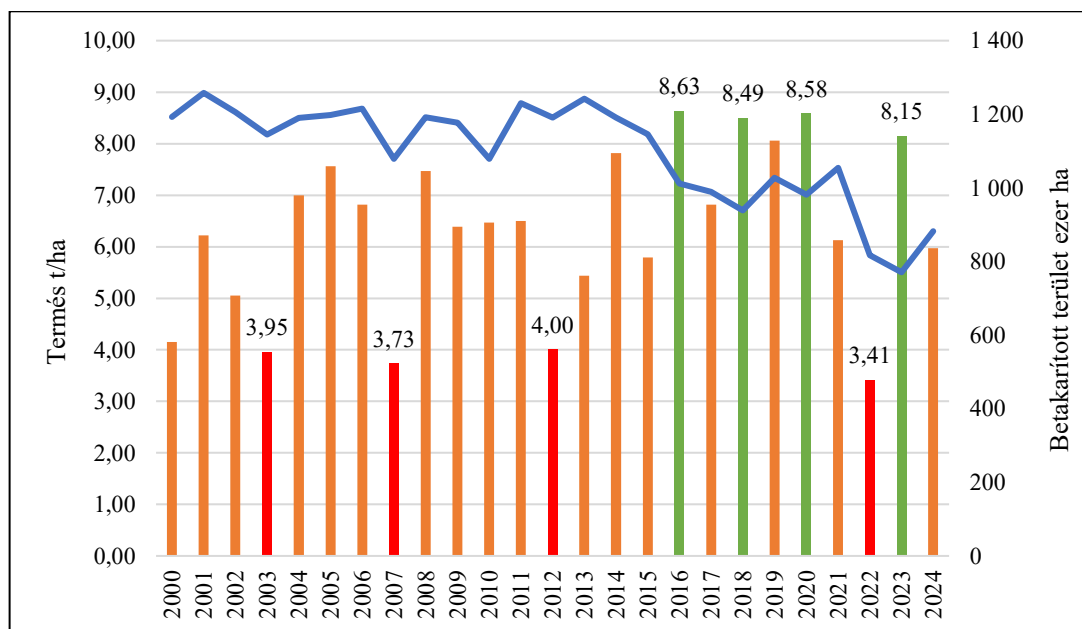
4.4.7 Terméseredmények a 2023-as évben.....	76
4.4.8 Beltartalmi értékek a 2023-as évben	77
4.4.9 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2023-as évben .	78
4.4.10 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2023-as évben	80
4.5 A vizsgált évek összehasonlító elemzése 2020-2023.....	82
4.5.1 Termésmennyiségek 2020-2023	82
4.5.2 Fenológiai paraméterek 2020-2023	83
4.5.3 Terméselem paraméterek 2020-2023	85
4.5.4 Beltartalmi paraméterek 2020-2023	89
4.5.5 A hőösszeg jellemzése a kísérleti években (2020-2023).....	91
4.5.6 SPAD értékek 2020-2023	94
4.5.7 NDVI értékek 2020-2023	96
4.5.8 Vízleadás dinamika 2020-2023	98
4.5.9 A DSSAT Ceres-Maize program futtatásának eredményei.....	99
5. Következtetések és javaslatok.....	102
6. Új tudományos eredmények	111
7. Gyakorlatban hasznosítható eredmények	113
8. Összefoglalás	114
9. Summary.....	117
10. Szakirodalmi jegyzék.....	120
11. Publikációs Lista.....	131
12. Nyilatkozatok.....	135
13. Köszönetnyilvánítás	136
14. Mellékletek	137
15. Rövidítésjegyzék.....	138

1. BEVEZETÉS

A kukorica (*Zea mays* L.) napjaink egyik elsőszámú növénykultúrája, amely termés mennyiségének és minőségének növelésére nagy jelentőséget fordítanak a világon (Xin et al. 2016). Termőterülete meghaladja a 200 millió hektárt, átlagos termése 5,75 t/ha. Genetikai terméspotenciálja azonban eléri az 50 t/ha termésátlagot. A kukorica jelentősebb termesztői közé tartozik az Egyesült Államok 34,6 millió hektár vetett területtel, ahol átlagosan 11,11 t ha⁻¹ termésátlagot érnek el. Kína az első helyen áll 43,3 millió hektáros területtel (6,29 t/ha termésátlag) majd jelentős Argentína is 8,1 millió hektárral (7,43 t/ha termésátlag). Európában Franciaország 1,5 millió hektáron termeszt kukoricát, ahol a termésátlag 9,91 t/ha.

Termesztésének jelentősége Magyarországon is megmutatkozik, azonban termését meglehetősen befolyásolja az adott év időjárása. Jól mutatja, hogy a rekord aszályos 2022-es évet követően egyre nagyobb figyelmet kell szentelni a növény termésbiztonságának és termésstabilitásának.

Magyarországon az utóbbi években vetésterülete 1 millió hektár alá csökkent, a 2022-es évtől 800 ezer hektáron termesztik, 2023-ban a betakarított terület 770 ezer hektár volt (1.ábra).

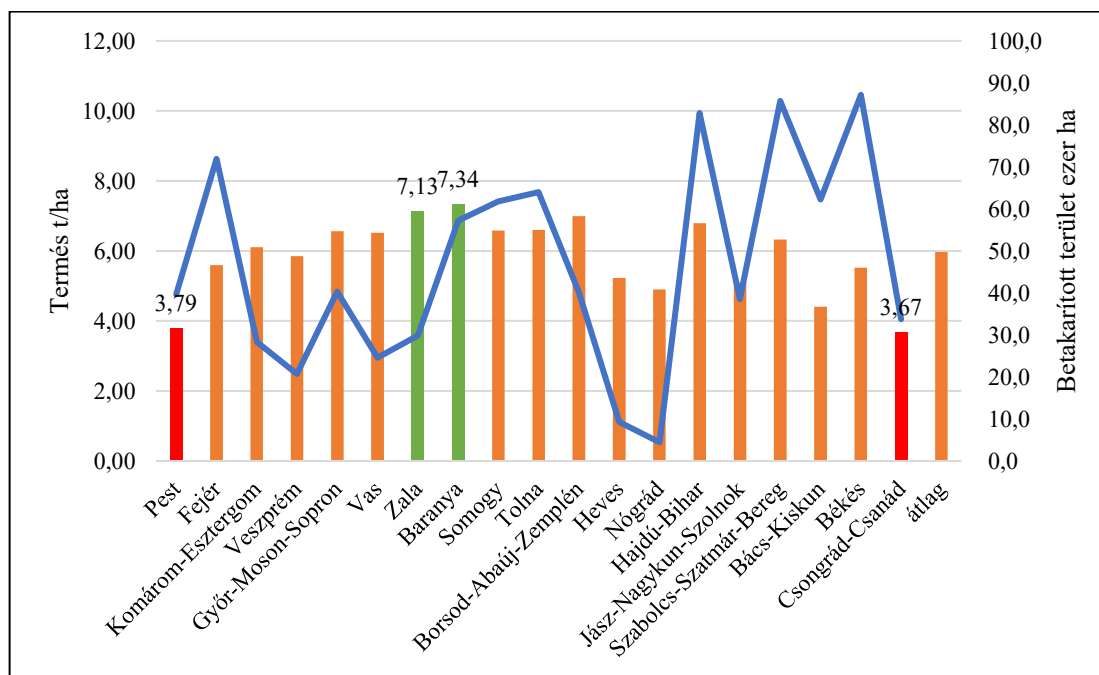


1. ábra: Magyarország kukorica betakarított területének és hektáronkénti termésátlagának alakulása 2000-2024 között

Forrás: KSH adatok, saját szerkesztés

A termésátlagok is meglehetősen ingadozóak, főleg az utóbbi éveket tekintve. Legalacsonyabb átlagtermésű, amely a hektáronkénti 4 tonnát sem érte el 2003, 2007,

2012 és legalacsonyabb a 2022-es (3,41 t/ha) év volt. A 8 tonnás hektáronkénti termést meghaladó évek 2016, 2018, 2020 és 2023 voltak. Ennek oka a szélsőséges időjárási viszonyok gyakorisága, átlagban 10 évből 7-8 év aszályos. A 2022-es extrém aszályos év és a 2023-as évi magas termés között 50%-ot is meghaladó termésszűkülést kétségtelenül a vízhiány okozta.



2. ábra: A kukorica betakarított területének és hektáronkénti termésátlagának alakulása 2024-ben Magyarország vármegyéinek felosztásában és az országos átlagtermésben
Forrás: KSH adatok, saját szerkesztés

Az aszály hatása leginkább az alföldi megyékben figyelhető meg (2.ábra) magasabb terméshozamot a dunántúli vármegyeekben (Zala, Baranya) mértek. A termésbiztonságot elsősorban az öntözés fejlesztésével növelhetjük. Kiemelkedő biológiai alapok állnak rendelkezésre, a termesztés magas színvonalú, így hazánkban a kukorica számára kedvező évjáratban országos termésátlaga 8,20-8,60 t ha⁻¹. Az öntözéssel növelhetnénk termésátlagainkat 14-16 tonnára hektáronként, így az országban nagyobb arányban választhatnának a termelők hosszabb tenyészidejű, potenciálisan nagyobb termőképességű hibridek (FAO 500) közül.

Sokoldalúan felhasználható, így jelentősége egyre nagyobb, felhasználása folyamatosan nő, egyre nagyobb a kereslet a fejlődő országokban, ami a nagyobb mennyiségű takarmányfogyasztással is együtt jár. Napjainkban változatos felhasználásának eredményeképpen előtérbe került a kukorica emberi fogyasztása, (kukoricapehely, sült kenyér, kukoricaliszt és dara). A korábbi évekhez képest

látványosan megnőtt az ipari célra való felhasználása is. Ez köszönhető egyrészt a megújuló energiaforrások iránti piaci keresletnek, a keményítő alapú etanolgyártásnak.

Napjainkban az emberiség létszámának gyorsuló ütemű növekedése figyelhető meg a statisztikák alapján. 1950-ben 2 milliárd, 2010-ben pedig már több mint 7 milliárd volt a Föld lakosainak száma. A statisztikai előrejelzések szerint ezt a tendenciát folytatva 2050-re a világ lakosainak száma elérheti akár a 9,5 milliárd főt is. A növekvő népesség igényeinek kielégítése egyre nagyobb elvárásokat támaszt a szántóföldi növénytermesztéssel szemben. A népességnövekedésnek köszönhetően a jelenlegi 2,8 milliárd tonna gabona szükségletünk várhatóan további 1 milliárd tonnával fog emelkedni. A problémát fokozza, hogy a világ termőföldkészlete egyre csökken, így az egy főre jutó szántóterület nagysága ma már csak 0,2, míg 1961-ben 0,4 hektár volt.

A magasabb termés hozam optimális tápanyagutánpótlással megvalósítható, viszont a termésbiztonságot megfelelő vízgazdálkodással biztosíthatjuk. Az éghajlatváltozással járó általános légköri felmelegedés mezőgazdaságilag jelentős következménye, hogy a növényi kultúrák termeszthetőségi feltételei megváltoznak. Várhatóan tovább fog növekedni a szélsőségesen magas hőmérsékletű napok száma és csökkenni fog a nyári csapadék mennyisége, ezáltal a talaj víztartalma is. Az elmúlt évszázadban 1 °C-kal emelkedett az évi középhőmérséklet, a sokévi csapadékatlag azonban jelentősen csökkent.

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 egymással szoros összefüggésben határozzák meg, ezen belül is a legfontosabb az ökológiai, a biológiai alapok és az alkalmazott agrotechnika. 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 termőképesség a hibridválasztás egyik legmeghatározóbb kritériuma. Jelenlegi ismereteink, illetve az amerikai termésversenyek alapján elmondható, hogy a kukorica genetikai terméspotenciálja 40-50 t/ha-t is elérheti. Ebből jelenleg a gazdálkodók legfeljebb 35 t/ha körüli terméseredményt képesek elérni.

A jelenben és a jövőben is azon kukoricafajták termesztése kerül előtérbe, amelyek megőrzik termésstabilitásukat a napjainkban tapasztalható szélsőséges időjárási viszonyok ellenére is. Azonban elengedhetetlen hozzá az a szakmai tudás, amely segítségével el tudjuk dönteni, hogy az adott ökológiai és ökonómiai feltételek mellett milyen agrotechnikai elemek alkalmazásával érhető el mennyiségileg, minőségileg és gazdaságilag a legkedvezőbb hozam. A jövőben a kutatás és innováció is fontos szerepet kap a fenntartható kukoricatermesztés szempontjából.

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.

Vizsgálataim legfontosabb célkitűzései:

- a vizsgált évek, illetve 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 terméshozamában és termésbiztonságában.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A precíziós gazdálkodás jelentősége

A precíziós gazdálkodás Erdeiné (2020) szerint olyan műszaki, informatikai, információs technológiai és termesztéstechnológiai alkalmazások együttese, amelyek által a termelés hatékonyabb lesz. Napjainkban a precíziós gazdálkodás kifejezése egyre gyakrabban szerepel a mezőgazdaságban. Az elkövetkezendő évtizedekben növekedni fog az agrártermékek iránti kereslet, ehhez pedig szükséges a hatékonyabb termelés elsajátítása, ennek nélkülözhetetlen eszköze a precíziós gazdálkodás. Mindez másnéven a digitális megoldások alkalmazását jelenti a mezőgazdaságban, ezáltal a fejlesztések segítségével versenyképes módon lehet gazdálkodni. Így az eredményességet tudjuk növelni, azonban a környezeti fenntarthatóságra is nagy hangsúlyt fektethetünk.

A világ növekvő népességének élelmezését figyelembe véve fontos és elkerülhetetlen a termelés növelése, ennek érdekében jelentősége növekszik a professzionális termesztéstechnológiának. A gazdasági folyamatok mellett ezek a tényezők határozzák meg a növénytermesztés így a kukoricatermesztés eredményességét (Nagy és Széles, 2018).

Ez a folyamat az egy főre jutó művelhető terület nagyságát a tendenciákat figyelembevéve csökkenti. A kihívást az jelenti, hogy az egyre növekvő népesség élelmiszerszükségletét egyre kisebb területen kell megtermelni. Eerre megoldás lehet a helyspecifikus (precíziós) növénytermesztés technológia alkalmazása.

Ennek a technológiának további előnye, hogy a termelés nyomonkövethetősége javul, a fajlagos hozam növekszik, a hozamingadozás mértéke csökken és mindezek eredményeképpen a jövedelmezőség magasabb lesz (Lencsés et al., 2014, Sinka-Mesterházi, 2014; Eip és Agri, 2015, Bora et al., 2012, Schieffer és Dillon, 2014).

A precíziós gazdálkodás lehetővé teszi a műszaki fejlesztés eredményességét, ezzel megkövetelve a szántóföldi növények szükségleteinek minél hatékonyabb kielégítését. Ehhez azonban szükséges ismerni a növények (ezen belül fajták/hibridek) genetikai paramétereit és az eltérő környezeti hatásokra adott válaszaikat (Nagy et al., 2020).

2.2 A kukorica rendszertana, fejlődése

A kukorica őshazája feltehetőleg Dél és Északkelet-Brazília, továbbá Paraguay területére tehető, és elsődleges domesztikációja Peru területén volt, innen terjedt el Közép-Amerikába és Mexikóba (Geisler, 1980).

A kukorica (annak is a keményszemű változata) először Kolumbusz Kristóf által jutott Európába 1493-ban (Lazányi, 1955). A szigeten „mahiz” néven volt ismert, majd ezt az elnevezést vették át a spanyolok is, így keletkezett a „mays” szó, amelyet később Linné a kukorica-faj nevének választott, a nemzetséget pedig a görög „zooín” = élni szóból a „Zea” névvel jelölte. Írásos feljegyzéseink szerint a kukorica két úton jutott el a Kárpát-medencébe. A törökök segítségével került a Balkánról térségünkbe, az ismert „törökbúza” név is erre utal.

A kukorica a Poaceae családjába tartozó C_{4-es} kultúrnövény faj, közepesen érzékeny az abiotikus stresszekre, mint például a szárazságra és a hőmérsékleti szélsőségekre (Lie et al., 2021., Herman et al., 2012.)

A kukorica fejlődését tekintve a termesztési gyakorlatban 11 szakaszt különböztetünk meg. A csírázást, kelést, 3-4 leveles állapotot, szárba szökést, 6-7 leveles állapotot, címerhányást, nővirágzást, csőképződést, tejesérést, viaszérést és biológiai érettséget (Bocz, 1996).

A kukorica szára erősen húsos, hengeres, belül tömött, csomók által szártagokra osztott. A növény magassága fejlettségétől függően alakul, a termesztésben lévő fajtáknál végleges magasságuk 130-350 cm között változhat (Berzsenyi, 2012). A kukorica hajtásának növekedési ütemére nemcsak a biológiai alapok, hanem a termesztési hely és annak éghajlata is hatással van (Nagy, 2012). A növénymagasság egy fontos fiziológiai paraméter, amely Jasemi et al. (2013) szerint közvetlen kapcsolatban áll a növény potenciális termőképességével.

A címer megjelenését követően a hímvirágzás 3-13, átlagosan 9 nappal következik be, ez az intervallum rövidülhet 1-2 nappal magas hőmérséklet esetén (Berzsenyi és Janosits, 1958).

Az elmúlt években számos kutatásban foglalkoztak a kukorica levélterületének fontosságáról. Hammer et al. (2009) azt vizsgálták, milyen hatással van a levélterület nagysága a kukorica terméshozamára. Megállapították, hogy a nagyobb levélterületű növények nagyobb termést adtak, mint a kisebb levélterületűek, továbbá, hogy a levélterület és a növények termésmennyiségei között szignifikáns összefüggések voltak. A kutatási eredmények is azt bizonyítják, hogy a levélterület nagysága is szorosan összefügg a kukorica növekedésével és a termés mennyiségével. Továbbá a levélterület nagyságának vizsgálata során becsülhető a növény fotoszintetikus kapacitása és a vízhasználat hatékonysága is.

A növény növekedésének és élettani fejlődésének mutatója, a Leaf Area Index (LAI) a különböző stresszhatások, mint a környezeti és technológiai feltételek hatására erősen változik (Dwyer, 1995). A vízstressz csökkenti a levélfelületet, mivel a levélszám és a levélnövekedés gátlásával korlátozza a lombkorona fejlődését (Spitkó et al., 2016).

2.3 Az ökológiai tényezők jelentősége a kukorica termesztésében

2.3.1 Az éghajlati, klimatikus tényezők hatása a kukoricatermesztésre

Józsa (1981) meghatározása szerint a hőegység az a hőmennyiség, amely szükséges a kukorica fejlődéséhez és növekedéséhez a csírázástól egészen a fiziológiai érettségig. A hőegység több módon is kiszámítható.

A szakirodalomban nemcsak a hőösszeg számításának ismert több változata, az elnevezés terén is több változat van. A hőegység (Heat Unit, Thermal Unit) mellett használják a „hőösszeg” (Heat Sum), a „hőidő” (Thermal Time) és a „foknap” (Degree Day) megnevezést is. Általánosságban a számítások mindig a tenyészidőszakra vonatkoznak, így a „növekedési foknap” (Growing Degree Day, GDD) elnevezés is ismert (Bonhomme, 2000). Váczi (1973) szerint adott érésidő csoportban egyes évjáratokban a tenyészidő hossza 10-20 nappal is eltérhet.

A tenyészidőt elsőként Gunn és Christensen (1956) osztotta fel vegetatív és generatív szakaszra. A vetéstől nővirágzásig terjedő időszakot nevezzük vegetatív szakasznak, a nővirágzástól a betakarításig tart a generatív szakasz.

Hanway (1963) a kukorica nővirágzást megelőző fejlődési szakaszait a levélszámok alapján határozta meg. A virágzás utáni periódusokat a szemfejlődés alapján állapította meg, végül a kukorica tenyészidejét 11 szakaszra osztotta. A kukoricahibridek tenyészideje három adattal jellemezhető: az 50%-os nővirágzás időpontjával, a 28-32%-os szemnedvesség eléréséhez szükséges napokkal, vagy hőegységértékével (esetleg mindkettővel), valamint a vízleadás ütemével (Németh, 1980).

Melegigényes tulajdonságának köszönhetően, célszerű az ország északi részén rövidebb tenyészidejű hibridek termesztését előnyben részesíteni és csak a déli tájakon választani nagyobb arányban a hosszabb tenyészidejű (FAO 400-500-as) hibrideket (Sárvári és El Hallof, 2005).

Az időjárási viszonyok (ezen belül a hőmérséklet és sugárzás) változása a kukorica növekedési ütemére jelentős hatással van a virágzástól egészen az érésig, ezzel meghatározva a virágzás utáni szárazanyag-beépülést és a szemtermést (Zhou et al., 2016). Számos kutatás során bizonyították már, hogy az egyes fenofázisok eléréséhez,

mint például a vetéstől a nővirágzásig (Gunn, 1963) a különböző környezeti feltételek ellenére közel azonos hőösszeg elérésére van szükség, ugyanakkor a tenyészidő naptári napokban kifejezett hossza az éghajlattól és fajtaadottságoktól függően változhat (Andrew, 1956).

Ragán et al. (2024) a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén a 2015-2023 években végzett kutatásában vizsgálta a kukorica termésmennyiségét. Az adott év összes csapadékmennyiségének és éves középhőmérsékletének eltérését vizsgálták a 30 éves (1981-2011) telephelyi átlagtól. Eredményeik alapján elmondható, a kukorica kedvezőtlen 2021. évi termése (7,05 t/ha) statisztikailag a második legalacsonyabb volt a vizsgált időszakban. Az általuk vizsgált kilenc év közül a kukorica számára a legkedvezőtlenebb a 2022-es aszályos rekordév volt, amikor 2,52 t/ha termést figyeltek meg. A következő, 2023-as évben a vizsgált időszak legmagasabb kukoricatermése, 11,97 t/ha volt. Megállapították, hogy a kukorica hozamára a legnagyobb hatást az évjárat gyakorolta 73,5%-kal, ezt követte a műtrágyázás 24,7%-kal.

Nyéki et al. (2022a) tanulmányai bizonyítják, hogy hazánkban a szántóföldi és a szántóföldön belüli terméskülönbséget többnyire az időjárás okozta pozitív és negatív hatások és a talaj fizikai, kémiai jellemzői befolyásolják.

2.3.2 A kukorica vízigénye

Bocz et al. (1996) szerint a kukorica alapvető élettani funkcióiban elengedhetetlen a hőmérséklet, így ebből kifolyólag nagy termés potenciálja miatt a vízigénye is magas.

A meteorológiai tényezők közül a csapadék határozza meg leginkább a terméshozamot, ennek következtében a kukoricatermesztés szempontjából a vízhiány jelentős problémát okoz. A kukorica vízszükséglete meghaladja az adott évi átlagos csapadékmennyiséget, a főbb termőterületeken akár 200 mm-rel is (Nagy, 2021). A kukorica fejlődési ciklusában a címerhányás fázisa kritikus jelentőséggel bír, a terméseredményekre nagy hatást gyakorol, hogy ebben az időszakban mennyi nedvesség éri a növényt (Denmead and Shaw, 1960; Parks and Knetsch, 1960). Huzsvai és Nagy (2003) szerint döntő szerepe van a vetéstől virágzásig lehullott csapadék mennyiségének.

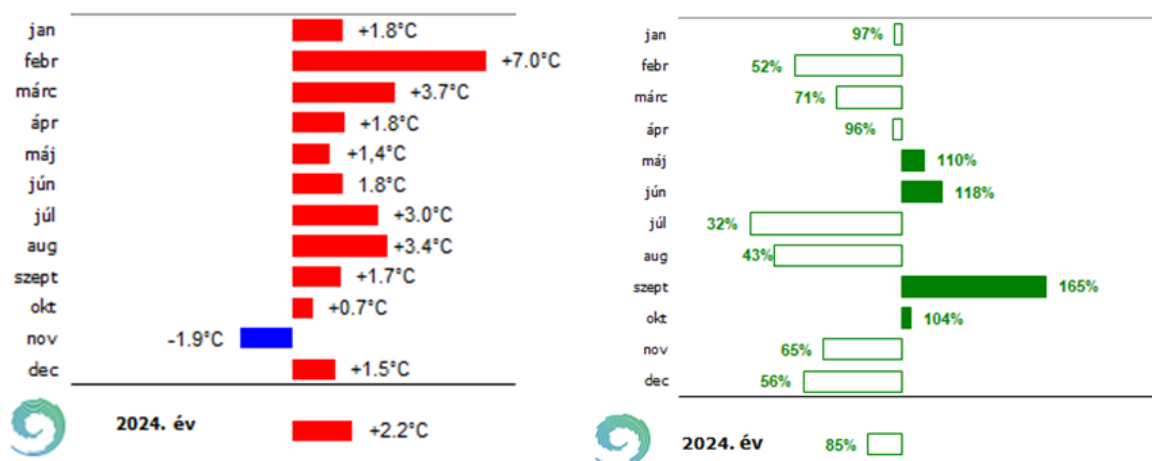
Annak ellenére, hogy a C4-es növények közé tartozik a kukorica (amelyekre jellemző a jó hő- és szárazságtűrés), mégis nehezen tűri a jelentősen aszályos időjárást (Berzsenyi, 2012). Aszályos évjáratokban megnőhet a meddő tövek aránya és csökkenhet a csöveken fejlődő szemszám (Csathó et al., 1991).

Azonban kutatások szerint az öntözés ellenére is bekövetkezhet terméseszkkenés, ennek lehetséges oka, hogy hiányzik a megfelelő tápanyagellátottság, illetve az adott évjáráthatás is befolyásolja. Ezért nem hanyagolható el a víz- és tápanyagellátás összehangolása (Nyéki et al. 2021).

2.3.3 A klímaváltozás kukoricatermesztésre gyakorolt hatása

A gazdasági növényekre egyre nagyobb hatással vannak egyes abiotikus stressztényezők, mint például a szélsőséges csapadékeloszlás. Az évi csapadék mennyiségek a korábbi években is csak átlagosan 50-80 %-ban fedezték a szántóföldi növények vízigényét, a hőmérséklet évről évre pedig emelkedő tendenciát mutat. Ennek köszönhetően növekszik a hosszabb száraz periódusú és a kiszámíthatatlan, sok esetben csekély csapadékmennyiségű évek gyakorisága, amelynek következtében a talaj nedvességtartalma csökken, ami egyértelmű veszélyt jelent a növények folyamatos vízellátására nézve, ezáltal a növények zökkenőmentes életfunkciójának biztosítására (Vágó et al., 2006; Stekauerová és Nagy, 2006; Ruzsányi, 1996).

Példaként említve 2024-ben a november volt az egyetlen olyan hónap, amikor az 1991-2020-as sokévi átlag alatt maradt a havi középhőmérséklet (3. ábra).



3. ábra: Az országos havi középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991-2020-as) átlagtól és a csapadékösszegek 2024-ben az 1991-2020-as normál százalékában (homogenizált, interpolált adatok alapján)

Forrás: MET.HU

Továbbá négy hónap volt, amikor az anomália mértéke elérte vagy meghaladta a 3 °C-ot. A legnagyobb különbség februárban adódott (+7,0 °C), ezt a március (+3,7 °C), augusztus (+3,4 °C) majd július (+3,0 °C) követte. A 2023/24-es tél, 2024-es tavasz és nyár egyaránt a legmelegebbnek bizonyult 1901 óta. Ugyanebben az évben az országos

évi csapadékösszeg 525,5 mm volt, mely az 1991-2020-as sokévi átlag 85 %-a, s ezzel a 25. legszárazabb lett 1901 óta. Az év mintegy felében a havi csapadékösszegek 30-70 %-kal elmaradtak az 1991-2020-as normáltól (internet1, MET.hu).

Magyarország éghajlatát a kontinentális és sokszor szélsőséges időjárási viszonyok határozzák meg. Ez legfőképp tapasztalható a csapadék mennyiségében és eloszlásában, de szélsőséges értékek vannak a hőmérsékleti értékek alakulásában is (Gombos és Nagy, 2019).

Magyarországon a megváltozó éghajlat eredményeképpen a tenyészidőszakok átlaghőmérsékletének további emelkedésére és a csapadék mennyiségének csökkenésére számíthatunk, amely egyértelműen növeli az aszályra való hajlandóságot (Bartholy et al., 2011, Horváth É. et al., 2021). Mivel a kukoricát világszerte termesztik különböző ökoszisztémákban, a kukoricatermés sokféle környezeti abiotikus igénybevétellel szembesül, beleértve a szárazságot és a klímaváltozás miatti megnövekedett hőmérsékletet, ami számos termésveszteséget okoz (Wang et al., 2021; Poudel et al., 2019.)

Az aszály okozta károkat csökkenthetjük a hektáronkénti kisebb növénysszámmal, ezzel kihasználva a növények egyedi termőképességében rejlő lehetőségeket. A másik lehetőség a rövidebb tenyészidejű hibridek választása, így a kritikus generatív szakasz elkerülheti a gyakori aszályos periódust (Nagy, 2010). 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 kukorica termésbiztonságának növeléséhez a klimatikus tényezők megváltoztatása nem lehetséges, viszont a negatív időjárási hatásokat mérsékelhetjük az adott termőhelyhez igazított kukorica hibridek alkalmazásával, illetve a szükséges igényeket figyelembe vevő (hibridspecifikus) agrotechnikával (Pepó, 2006).

A virágzás és szemtelítődés szakaszában fellépő aszályos stressz 50- illetve 21 %-os termésveszteséget okozhat. (Liang et al., 2020)

A kukorica termésvesztesége 30-90 % között változhat a szárazságstressz intenzitásától és időtartamától függően. A hőstressz terméscsökkentő hatása a reprodukzív fenofázisban, azon belül is különösen a virágzás idején a legjelentősebb (Wheeler et al., 2000). Az aktív csőnövekedési fázis kritikus a szemszámok alakulásának szempontjából.

Otegiu és Bonhomme (1998) a lényeges periódust hőösszeg módszerrel jelölte a növirágzást megelőző 250 foknap és az azt követő 100 foknap által kijelölt időponttal.

2.4 A biológiai alapok, genotípus szerepe a kukoricatermesztésben

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. Termelési mennyiségét tekintve a kukorica már most is a vezető gabonafélék közé tartozik, várhatóan a következő években a legkeresettebb növények közé fog tartozni (Erenstein et al, 2022). A kukoricatermelés eredményességét jelentősen növelte a hibrid vetőmagok használata (Ignacio és Ciampitti 2014). Tokatlidis és Koutroubas (2004) szerint a realizálható termést három tényező befolyásolja. Ezek az adott hibrid egyedi produkciója, a biotikus és abiotikus stresszel szembeni tolerancia és az inputokra való reagálása. A termőképesség, vagy terméspotenciál a legnagyobb elérhető termést jelenti bizonyos növényfajták esetében. Ahhoz, hogy ez megvalósuljon több körülménynek is kell teljesülnie. A termesztésre alkalmas fajta kiválasztása, a vetés ideje, a helyes tőszám és kedvező évjárat (Dobermann et al., 2003.)

Nagy különbségek vannak a különböző genetikai hátterű kukorica hibridek között (Pepó és Karancsi, 2014). Eltérő lehet az adott hibrid termelési potenciálja, hozam stabilitása, illetve a hibridek különböző agrotechnikai inputokhoz való alkalmazkodóképessége. Pepó (2012) véleménye szerint az elkövetkezendő években a gyakorlatban nem egy-egy évben, és egy adott termőhelyen csúcstermést elérő hibridekre, hanem kiváló termőképességű-, stressz tűrő és agrotechnikai reakciójú hibridekre lesz szükség. A fenotípusos tulajdonságai a kukoricának a genetikai sokféleségének előzetes értékelését segítették, amelyek gyakorlati és alapvető információkat adtak a genetikai tulajdonságok megismeréséhez. A kukorica termőterület bővülésének köszönhetően az egyes területeken magas teljesítményeket érnek el. Azonban fontos a hibridek reakcióinak vizsgálata a különböző régiókban és az adott években, így a legjobb genotípusokat nagy termelési potenciállal rendelkező fajtákként azonosítják és vezetik be (Choukan et al., 2005).

A kukorica genotípusok egyik alapvető tulajdonsága a tenyészidőszak hossza. Nem elhanyagolható a termőhely elhelyezkedése sem, miszerint kiválaszthatóak a megfelelő éréscsoportba tartozó hibridek, illetve mely hibridek termesztethetők megfelelő és stabil terméssel (Nagy, 2007). Napjaink kukoricatermesztése szempontjából kulcsfontosságú technológiai elem a korszerű genotípusok megfelelő használata. A növénynemesítés

egyik fő iránya továbbra is a terméspotenciál növelése és a gyors vízleadás elérése (Sárvári et al., 2011).

2.5 A termesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására

2.5.1 A vízellátás, öntözés hatása a kukoricatermesztésre

Bocz és Nagy (1981) szerint az öntözés és a műtrágyázás hatására szignifikánsan nő a terméseredmény. Megállapították, hogy az öntözés és a műtrágyázás eredményessége először a gyökértömegben, majd azt követően a föld feletti részekben nyilvánul meg. A termésképző elemeket figyelembe véve a kukoricacsövön a sorok száma változott legkevésbé az alkalmazott kezelések hatására, azonban az ezerszemtömeg és az egy csövön levő szemszám az öntözéssel és műtrágyázással jelentősen nőtt. Az alkalmazott agrotechnikai elemek Sárvári és Boros (2010) és Pepó (2009) szerint befolyásolják a genetikailag determinált sorok számát a kukoricacsövön.

A Magyarországon leginkább alkalmazott középérésű kukoricahibrideknek a tenyészidőszak során 430-545 mm vízre van szüksége. Vízigénye július elejétől augusztus közepéig fokozott, amikor is 200-250 mm vízre van szükség a növény optimális fejlődéséhez (Ruzsányi, 1987).

A kukorica öntözésre gyakorolt reakciója meglehetősen jó. Hatására a várható terméstöbblet (az évjáratától és genotípustól függően) akár 2-6 t/ha is lehet. Az 1 mm öntözővízre jutó terméstöbblet elérheti a 20-40 kg-ot is. Azonban csak a jó öntözési reakciójú, nagy termőképességű hibridek öntözhetőek sikeresen, a genotípusok között lényeges különbségek is lehetnek (Csajbók, 2004; Ruzsányi, 1981). A csepegtető öntözés a szükséges vízmennyiséget közvetlenül a gyökérzónába juttatja a növényeknek, ezáltal minimálisra csökkentheti a felszíni lefolyást, elősegítve a víz- és műtrágyafelhasználás hatékonyságát (Singandhupe et al., 2003).

Mi et al. (2018) a kukorica szárazságstresszre gyakorolt hatásait a vegetatív és generatív fenofázisokban hasonlította össze. Eredményeik azt bizonyították, hogy legmeghatározóbb a kukorica termése szempontjából a generatív fejlődési szakasz, mert hozama ebben a fejlődési fázisban bekövetkező stressz hatására jelentősebben (41,6-46,6%-kal) csökkent, mint a vegetatív növekedés szakaszában (18,6-26,2%). Ezek alapján következtethetünk arra, hogy aszályos stresszhelyzetben a jelentősebb terméskiesés elkerülése érdekében fontosabb a generatív szakasz megfelelő vízellátása, mint a vegetatív szakaszban.

Ragán (2014) szerint a kukorica tápanyag-felhasználását nagymértékben befolyásolja a talajban elraktározott vízmennyiség. Fejlődése szempontjából a vízellátottság figyelembe véve nem annyira a csapadék mennyisége, hanem annak tenyészidőszak alatti eloszlása volt a meghatározó. Ezt bizonyítja, hogy a három vizsgált év közül 2012-ben, amikor a tenyészidőszakban lehullott (kedvezőbb eloszlású) mindössze 276 mm csapadék javította a tápanyagok felvehetőségét, ebben az évben volt a legnagyobb termésátlag ($14,394 \text{ t ha}^{-1}$).

2.5.2 A tápanyagellátás hatása a kukoricatermesztésre

A trágyázás olyan termesztési szempont, amelynek segítségével nagyrészt mérsékelhetők a változó évjáratok és az eltérő termőhelyek okozta mennyiségi és minőségi anomáliák (Árendás, 2006). Pepó és Csajbók (2014) vizsgálatai során megállapította, hogy a termés hozamot legfőképp a trágyázás (39%) befolyásolja, majd ezt követően a vetésváltás (28%), az öntözés (14%) és végül az adott tőszám (7%). Széles et al. (2023) kutatásai szerint a száraz években a nitrogén 120 kg ha^{-1} alaptrágyakénti kijuttatása bizonyult a gazdaságilag optimális műtrágyamennyiségnek. A trágyázás legfőbb célja, a növények tápanyagellátása, azonban meghatározó szerepe van továbbá a talajtermékenység fenntartásának, a hozamok megtartásának, növelésének és a beltartalmi értékek minőségi javításának is (Nagy, 2021). A megfelelő trágyázással pótoljuk a növények által talajból elvont tápelemeket (Csathó, 2004).

A talajból felvehető tápanyagok közül a nitrogénre van a legnagyobb mennyiségben szüksége a növényeknek (Tucker, 2014). A nitrogén mennyiségen túl annak kijuttatásának ideje is nagymértékben befolyásolja a termés mennyiséget, mivel felvételének mértéke eltérő, a különböző vegetációs szakaszokban a kukorica esetében (Ciampitti et al., 2013). Nagy (2007) szerint az alkalmazott agrotechnológiai elemek közül a nitrogénellátottság határozza meg leginkább a kukorica termés hozamát és annak minőségét. Az optimális nitrogénellátottság hozzájárul a kukorica megfelelő ütemű fejlődéséhez, a generatív fázis folyamán a szemtelítődéshez és az ideális harvest index kialakulásához. Ebből kifolyólag befolyásolja növekedését a kukoricacsövek szemszámának és az ezermagtömegnek is (Bocz és Nagy, 1981). A nitrogén műtrágya mennyisége és a legmagasabb termés hozam eléréséhez javasolt kijuttatási idő a különböző FAO-számú hibridek között változó, amelyet környezeti tényezők is befolyásolnak (Horváth D. et al., 2021).

A kedvező foszforellátottságú növények szárazságtűrése általában kedvezőbb (Loch és Nosticzius, 1983). A foszfor hiánya növeli a növény érzékenységét az aszályra, és

kedvezőtlenül hat a virág- illetve termésképzésre, ami termés csökkenéshez is vezethet. Sárvári (1986) szerint a nitrogén mellett a kálium volt a legfontosabb tápanyag réti talajon végzett kísérletében. Megfelelő nitrogén és foszforellátottság mellett a kálium műtrágyázás további 3-4 tonna termést eredményezett hektáronként.

2.5.3 Termesztéstechnológia, beltartalmi paraméterek

A szélsőséges időjárási viszonyokhoz való alkalmazkodás egyik lehetséges megoldása a megfelelő talajelőkészítés. Ez magába foglalja a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak javítását. Birkás és Jolánkai (2008) szerint ezzel védjük a talajok szerkezetét és annak szerves anyag tartalmát, illetve javítjuk a vízbefogadó és vízmegtartó képességét.

Babic et al., (2022) szerint a termésmennyiség, a betakarításkori szemnedvesség, illetve növény sűrűség közti összefüggés kapcsán fontos szempont a kukorica korai érése, amely hozzájárul a kukoricatermesztés költséghatékonyságához. A betakarításkori szemnedvesség függ az éréskori szemnedvességtől és a betakarítást megelőző száradási aránytól. Előbbit leginkább a genetikai paraméterek befolyásolják (De-Jager et al., 2004; Wang et al., 2019), viszont a szemek száradási sebességét szabályozza a környezeti tényező, a hőmérséklet és relatív páratartalom (Martinez-Feria et al., 2019).

A kukorica minőségét a beltartalmi paraméterei határozzák meg, melynek javításához elengedhetetlen a genotípusok, a megfelelő termőhely, illetve a helyes agrotechnika megválasztása (Marton et al., 2008).

A szemes kukorica, amelyet takarmányozási célra termesztünk, a biológiai érés bekövetkezése után takarítható be. Ez az állapot akkor következik be, amikor a szemtermésben a tápanyagok beépülése végbe ment, szemmel látható jele, amikor a szem csíra felőli végén képződő fekete réteg kialakul. Ekkor általában a kukoricaszem nedvességtartalma 25-32%-os, az időjárástól, az agrotechnikától és a genetikai-tulajdonságoktól függően (Jolánkai, 2005). A kukorica hibridek víztartalmának csökkenését a különböző körülmények eltérő mértékben változtatják meg, a fajták stabilitása különböző (Hallauer és Russell 1961). A vízleadás dinamikáját és időtartamát nagymértékben befolyásolják a klimatikus tényezők, legmeghatározóbb tényező a hőmérséklet (Bloc és Gouet, 1974).

Izsáki (1999) szerint a kukorica keményítőtartama 77%, fehérjetartalma 9 % olajtartalma 5 %. Továbbá 2 % cukrot és 2 % hamut tartalmaz. Móroczné (2004) szerint azonban a kukoricaszemet 70–72% szénhidrát, 8–10% fehérje, 4–5% olaj, 3–3,5% nyersrost, 1,5–2% hamu építi fel. A minőséget legfőképp a fehérje és olajtartalom

határozza meg. Ugyanerre a megállapításra jutott Butts-Wilmsmeyer et al. (2019), akik hangsúlyozzák, hogy a hőmérséklet, a csapadék és a talaj víztartalma jelentős hatással van a kukoricaszemek minőségére és összetételére. A minőséget befolyásoló tényezők közül kiemelkedően fontos a fajta megválasztása, mint biológiai tényező, továbbá a klimatikus tényezők és az alkalmazott agrotechnika is. Csapadékos évben alacsonyabb, aszályos évben magasabb a kukoricaszemek fehérjetartalma (Lilburn et al., 1991, Széll és Dévényiné 2009).

2.6 Precíziós technológiák, a kukorica SPAD és NDVI értékeinek jelentősége

Japánban fejlesztették ki a SPAD készüléket a rizs nitrogénellátottságának vizsgálatára (Chubachi et al., 1986). Az erre alkalmas mérőműszer neve a Minolta SPAD-502-es (Minolta Camera Co., Osaka, Japan). Ez az eszköz a levelek „zöldességét” méri (Minolta, 1990). Ez a mérőeszköz 645 és 940 nm-es hullámhosszon határozza meg a relatív klorofill- tartalmat, amelyet SPAD (Soil Plant Analysis Development) értékben fejez ki. A kapott értékeket a levélen áthaladó vörös és infravörös fény intenzitásából számítja (Schröder et al. 2000). A SPAD 502 klorofillmérő műszer (Minolta Camera Co., Osaka, Japán) alkalmas a N-kezelés javítására is. Blackmer és Schepers (1995) vizsgálataikat annak értékelésére végezték, hogy a klorofillmérő képes-e kimutatni a kukorica (*Zea mays L.*) növényi N-hiányát, ezáltal meghatározták mikor alkalmas N-műtrágyát juttatni az öntözővízbe.

Zhang et al. (2018) a termés mennyiségének alakulását, illetve a nitrogén és víz hasznosulását figyelembe véve vizsgálta a nitrogéntrágyázás és az öntözés hatását. Arra a következtetésre jutottak, hogy a növény klorofill tartalmára így a termés mennyiségére is hatással volt a műtrágyázás és az öntözés is. Ványiné (2009) szerint a műtrágyázás és a SPAD értékek kapcsolatát az évjárat jelentősen befolyásolja. Vizsgálatai során megállapította, hogy megfelelő csapadékelátottságú évben szoros, míg száraz időjárású évben gyengébb volt a kapcsolat. Széles et al., (2023) szántóföldi kísérletet végeztek száraz (2021) és extrém száraz (2022) években a termés alakulásának nyomon követésére, hogy meghatározzák a relatív klorofilltartalom (SPAD) és a levélterületi index (LAI) alakulását a jobb termésbecslés érdekében. Az eredmények azt mutatták, hogy a SPAD és a LAI szignifikánsan csökkent aszályos stressz hatására, és a levelek öregedése már a korai vegetatív szakaszban elkezdődött. Elmondható, hogy a kombinált SPAD-LAI alkalmas volt a termés előrejelzésére, és a korreláció a VT szakaszban volt a legerősebb ($R^2 = 0,762$). A különböző korú és levelű kukorica SPAD-értékei között szignifikáns

különbség mutatkozik, a virágzás előtti szakaszban mért értékek szignifikánsan magasabbak, a virágzás után 2 héttel pedig csökkennek (McMaster, 1997)

A precíziós mezőgazdasági technológia speciális berendezések használatán alapul, ezáltal valós idejű megfigyeléseket kaphatunk a növény-egészségügyi állapotáról, a klorofill- és a nitrogéntartalomról, illetve a talaj nedvességtartalmáról. Elmondható, hogy a PrA technológia segíteni fogja a gazdálkodókat abban, hogy tájékozott döntéseket hozzanak a műtrágyázási stratégiákkal és annak időzítésével kapcsolatban, ezzel maximalizálva a hozamot és minimalizálva a kockázatot (Széles et al., 2024.).

A másik leggyakrabban használt index a vegetációs időszak során végzett vizsgálatokra az NDVI (Araus et al., 2001). Az NDVI egy dimenziómentes mérőszám, egy adott terület vegetációs aktivitását fejezhetjük ki vele (Burai, 2007).

Ezzel a növény klorofilltartalma könnyen mérhető roncsolásmentes módszerekkel (Aparicio et al., 2000). A precíziós mezőgazdaságban a műholdas adatok használata széles körben elterjedt, amely a termőterületek feltérképezésében (Jovanovic et al., 2014), a növények nitrogénszükségletének becslésében (Yao et al., 2015) az egészségi állapot monitorozásában, illetve a terméshozamok előrejelzésében valósul meg (Jaaf és Ahmad, 2015). A kukorica biomasszára és a hozamra vonatkozó NDVI-mérések segítségével a gazdálkodók a tenyészidőszakon belül megfelelő döntéseket hozhatnak. Burke és Lobell (2017) szerint, a 0,14-0,88 tartományba eső NDVI-értékek felhasználhatók hozamtérképezéshez. Az erős ($r = 0,89$) NDVI - hozam korrelációt más kutatások is megerősítették (Swain et al., 2010; Szabó et al., 2022) amely a termelés nyomon követésére használható.

2.7 A kukorica hozam modellezése

A szimulációs modellezés célja a növény-légkör és talaj rendszer biológiai-matematikai leírása, annak számszerűsítése.

A terméshozam előrejelzése az egyik legnagyobb kihívást jelenti a mezőgazdaságban. Globális, regionális és helyszíni szinten fontos szerepet játszik a döntéshozatalban. Terméshozam előrejelzésére talaj-, meteorológiai, környezeti és termésparamétereket használnak. Napjainkban a döntéstámogató modellek széles skáláját használják a jelentős termésjellemzők kinyerésére az előrejelzéshez (Nyéki és Neményi, 2022). A Ceres-Maize egy olyan kukorica növekedési modell, amelynek célja a termés-előrejelzés az időjárás, a talaj és a növény (fajta) tulajdonságainak alapján, melyet 1972-ben J. T. Ritchie az USDA vezető kutatója kezdeményezett (Jones és Kiniry, 1986). A terméshozam növelésére irányuló erőfeszítések támogatására rendelkezésre álló eszközök közül a

dinamikus terménymodellek, mint például a DSSAT (Hoogenboom et al., 2010), kiemelkedő lehetőséget biztosítanak. A DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) programot hazánkban a Debreceni Egyetem kutatói alkalmazták legelőször, amelyben adatbázisként a tartamkísérleteket használták fel. Kovács és Németh (1995ab) a Nagyhörcsöki szántóföldi kísérlet adatait alapul véve használták a kukorica, illetve búza termésmennyiségének, környezeti tényezőinek meghatározására. Kovács et al. (1995) és Huzsvai (2000) tanulmányai segítségével részletes leírást kapunk a modell felépítéséről, annak működéséről oktatási és kutatási céllal. Néhány gyakorlati példán keresztül mutatják be a rendszer alkalmazhatóságát.

A Ceres-Maize modellt tekintve, azt a szélsőséges meteorológiai viszonyok és vegetációs periódusok is érzékenyen befolyásolják. A modell csapadékosabb évben fölé, szárazabb években alábecsüli a termésmennyiséget (Wu et al. (1989). Ezt támasztja alá Zelenák et al. (2022) vizsgálatai is, amelyben a modellt egy tartamkísérlet adataival kalibrálták. A kukorica hozamára vonatkozó előre jelzett adatok tartománya 6671 és 13 136 kg ha⁻¹ között változott. A DSSAT-CERES kukorica modell több esetben pontosan előre jelezte a termést, de érzékeny volt a szezonális hatásokra, és több esetben is pontatlanul becsülte meg a termést. Megállapították, hogy a hozamok növekedését a nitrogéndózis emelésével párhuzamosan követte a modell szimulált eredménye. Paz et al. (1999) optimális (141-160 kg/ha) N trágya kijuttatását (60-220 kg/ha között) vizsgálta egy 16 ha-os tábla ~500 m² –es egységein. A modell +/- 14%-os eltéréssel becsült táblaszinten három évet vizsgálva. A kezelési egységeket figyelembe véve azonban a legkiemelkedőbb eltérés 6 tonna volt.

A növénysszimulációs modellek a talaj–növény–légtér elemeit figyelembevéve hozzájárulhatnak a víz, a tápanyagok és a mikroelemek hatékonyságának optimalizálására. A velük végzett kutatások növelik hatékonyságát a növénytermesztésnek és a vízfelhasználásnak (Nyéki et al., 2020). A DSSAT a leggyakrabban használt modell a biomassza és a terméseredmény szimulálására. A DSSAT egy többcélú modell, amelyet a növények fejlődésének, mint például a növényi fenológia, a biomassza és a termés hozam értékelésére alkalmaznak (Abedinpour, 2018).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 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. Debrecentől 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 víztározó és közepes vízbefogadó képességgel rendelkezik. Enyhén savanyú a kémhatása (pH 6,3-6,5). Talajfizikailag vályog típusú, Arany-féle kötöttsége 43-47,6 között változik. A talajvíz 3-5 méter mélyen helyezkedik el. A humuszréteg vastagsága 70-80 cm, humusztartalma 2,5- 3,0 %. (Debrecen-Látókép Tartamkísérletek, 2015)

3.2 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 (Gombos et al, 2023). 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.

A 2020-as év időjárása a kukorica igényeit figyelembevéve igen kedvezően alakult Debrecen térségében. A tenyészidőszakot megelőző téli félév 261 mm csapadékösszege elegendő volt a talajok mélyebb rétegeinek vízzel való feltöltődéséhez, mert a 2019-es megfelelő vízellátottságú év is hozzájárult ehhez. Azonban a tenyészidőszak során is meglehetősen nagy mennyiségű csapadék hullott (482 mm) (1. táblázat), ez az érték nagymértékben meghaladta a többéves átlagot. Eloszlása is kedvezett a kukorica számára, a csapadék zöme nyáron esett, legtöbb júliusban (188 mm), ezzel biztosítva az optimális vízellátottságot a termés szempontjából meghatározó fenológiai fázisokban (virágzás, terméskötés, szemtelítődés). A hőmérséklet is kedvezően alakult a 2020-as évjáratban (2. táblázat). A májusi átlagosnál számottevően (-2,6°C) hűvösebb középhőmérséklet miatt

a kukorica kezdeti fejlődése viszonylag lassú volt. A június és július átlagosan alakult. Az augusztust és a szeptembert mérsékelt (+1,8°C, +1,7°C) pozitív hőmérsékleti anomália jellemezte, az érés és a vízleadás/száradás folyamatát gyorsította.

1. táblázat: A csapadékmennyiség féléves és havi összegei a 2020-2023 időszakban (Debrecen-Látókép), zárójelben az 1981-2010-es időszak átlagértékeitől való eltérések

időszak	2020	2021	2022)	2023
téli félév (X-III)	261 (+47)	246 (+32)	144 (-70)	334 (+120)
nyári félév (IV-IX)	482 (+136)	182 (-164)	268 (-78)	336 (-10)
április	16 (-37)	27 (-26)	50 (-3)	48 (-5)
május	45 (-19)	64 (0)	10 (-54)	33 (-31)
június	119 (+53)	10 (-56)	17 (-49)	82 (+16)
július	188 (+122)	30 (-36)	22 (-44)	46 (-20)
augusztus	70 (+21)	32 (-17)	17 (-32)	86 (+37)
szeptember	44 (-4)	19 (-29)	152 (+104)	41 (-7)

2. táblázat: A hőmérséklet féléves és havi középértékei a 2020-2023 időszakban (Debrecen-Látókép), zárójelben az 1981-2010-es időszak átlagértékeitől való eltérések

időszak	2020	2021	2022	2023
téli félév (X-III)	5,4 (+1,2)	4,2 (0)	3,4 (-0,8)	5,5 (+1,3)
nyári félév (IV-IX)	17,7 (+0,2)	17,6 (+0,1)	18,5 (+1,0)	18,4 (+0,9)
április	10,8 (-0,4)	8,2 (-3,0)	9,0 (-2,2)	9,3 (-1,9)
május	14,0 (-2,6)	14,5 (-2,1)	17,6 (+1,0)	16,5 (-0,1)
június	19,7 (+0,4)	22,1 (+2,8)	22,2 (+2,9)	19,5 (+0,2)
július	21,0 (-0,3)	23,9 (+2,6)	23,4 (+2,1)	22,5 (+1,2)
augusztus	22,6 (+1,8)	20,4 (-0,4)	23,5 (+2,7)	22,8 (+2,0)
szeptember	17,9 (+1,7)	16,2 (0)	15,3 (-0,9)	20,0 (+3,8)

A 2021-es tenyészidőszak is kedvező talajnedvességi állapottal indult az előző évhez hasonlóan (csapadékos 2020-as év), illetve a téli félév átlagot meghaladó csapadéka eredményeképpen. Az áprilisi és májusi időjárás az évszakhoz képest meglehetősen hűvösen alakult (2. táblázat), áprilisban igen kevés (27 mm), májusban átlagos csapadékmennyiséggel (64 mm) párosulva. Ennek eredményeképpen a kelés és a kikelt növények fejlődése is vontatottan haladt, de a vízellátottság még megfelelő volt. Júniust a megszokottnál jelentősen melegebb (+2,8°C) időjárás jellemezte és a csapadék is igen csekély mennyiségű volt (10 mm). Júliusban folytatódott az igen meleg, száraz időjárás, 2,6°C-os pozitív hőmérsékleti anomáliával és a szokásos átlag felét sem elérő (30 mm) csapadékkal. Júliusra már meglehetősen súlyos talajaszály alakult ki, valamint légköri aszályal kiegészülve volt a napok többségében, mely hatások együttesen jelentős terméskiesést okoztak. Jelentős eső augusztusban sem volt, de a kánikula a hónap

közepére megszűnt. Szeptemberben 19 mm csapadék hullott, így folytatódott a szárazság, amely kedvezett a kukoricaszemek vízleadásának, illetve száradásának (Gombos és Nagy, 2022).

A 2022-es időszakot még az előző évnél is súlyosabb aszály sújtotta. Ehhez hozzájárult, hogy a téli időszakban nem tudtak vízzel feltöltődni a mélyebb talajrétegek, meglehetősen kevesebb volt a tavaszi kezdeti vízkészlet. Az igen aszályos tenyészidőszakot követően (2021) a téli hónapokban összesen 144 mm csapadék hullott. Az április hűvös (2,2°C-kal hidegebb) és átlagosan csapadékos (50 mm) volt. Majd ezt követően az utolsó nyári hónap közepéig folyamatosan meleg vagy igen meleg, kifejezetten száraz időjárás alakult. Májustól augusztusig rendre 1,0, 2,9, 2,1, 2,7 °C-os pozitív hőmérsékleti anomáliát mutattak az egyes hónapok. Májusban 10 mm csapadék hullott, júniustól augusztusig pedig összesen 56 mm csapadék hullott, ami 179 mm-el elmaradt az átlagtól (4 hónap alatt). A nyár kezdetétől jelenlévő talajaszály jelentősen akadályozta a vízfelvételt és a transzspirációt, így a kukorica fejlődése vontatott volt. Ez tovább súlyosodott a kritikus fenológiai fázisok idejére, a kukorica tövek nagy része meddő maradt. Szeptemberben igen sok, 152 mm eső esett, több mint az azt megelőző hónapokban. Ez azonban nem gyakorolt pozitív hatást a kukoricára (Gombos és Nagy, 2023).

A 2023-as tenyészidőszak kedvező talajnedvességi állapottal indult (a mélyebb rétegekben szántóföldi vízkapacitásig feltöltődött), a megelőző őszi és téli időszakban lehullott nagy mennyiségű csapadéknak köszönhetően. Az áprilisi időjárás ismét hűvös volt (-1,9°C anomália). A sokévi átlagnak megfelelő májusi hőmérsékleti viszonyok (16,5°C középhőmérséklet) kedvező feltételt biztosítottak a kukorica korai fejlődési szakaszában. A szokásosnál kevesebb csapadék ellenére sem lépett fel vízhiány és júniusban is folytatódott a szélsőségektől mentes, kiegyenlített, mérsékelt meleg időjárás (19,5°C), átlagot meghaladó 82 mm-es havi csapadékkal kiegészülve. Nem alakult ki szélsőséges időjárási viszony a júliusi hónapban, annak ellenére, hogy az átlagosnál melegebb (22,5°C) és szárazabb (46 mm) volt. Augusztus első dekádjának kissé hűvös és mérsékelt csapadékos időjárása is jó hatást gyakorolt a termés fejlődésére. A nyár legmelegebb időszaka a kukorica érzékeny fenofázisa után, augusztus közepén csupán az érés látványos felgyorsulását eredményezte. A szemek vízleadásának és a betakarítási munkáknak kedvezett a rekord meleg (20,0°C) és az átlagosnál kissé szárazabb szeptemberi időjárás (Gombos és Nagy, 2024a)

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 gyökérzónáig beszivárgó csapadék és a szokásosnál lényegesen magasabb volt a hőmérséklet is. A 2022-es rekord aszályos évet a jelentősen meleg, főként a kulcsfontosságú fenofázisokban csapadékmentes nyári időjárás, illetve talajok csökkent 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.

3.3 A kísérlet bemutatása, agrotechnikája

A kísérletben a vizsgált hibridek egy ismételtsben szerepeltek. Minden parcellán ugyanazon agrotechnikai elemet alkalmazva. Az egész kísérleti alapterület 0,33 ha. (4. ábra: A kísérleti parcella (Debrecen-Látókép 2020-2023). A kísérletet 15 cm-es tőtávolsággal és 75 cm-es sortávolsággal állítottuk be 84.000-es tőszámmal.



4. ábra: A kísérleti parcella (Debrecen-Látókép 2020-2023)

A kísérletben alkalmazott öntözési technológia a csepegtető öntözés (5. 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. Az alkalmazott

agrotechnikai műveleteket a 3. táblázat foglalja össze. A megfelelő tápanyagutánpótlás a tenyészidőszak alatt tápoldatozással lett kiegészítve.

3. táblázat: A kísérletben alkalmazott agrotechnika (2020-2023)

Műveletek	Időpont
	2020
Elővetemény betakarítás	2019.09.13.
Tápanyagutánpótlás	2019.10.09. (300 kg/ha, 10:26:26) (P2O5 78, K2O 78)
Tárcsa + Güttler henger	2019.10.09.
Tárcsa + Güttler henger	2019.10.11.
Szántás	2019.11.17.
Szántás lezárás	2020.03.20.
Műtrágyaszórás	2020.04.16. 500 kg/ha (39%; 27:7:5)
Vetés	2020.04.20.
Növényvédelem	2020.05.18. (Laudis 2 l/ha)
Öntözés (19 alkalommal)	2020.06.08.-09.14. (152 mm)
Sorközművelő kultivátor	2020.05.22.
Tápoldatozás	2020.06.08-09.14. Megasol (N 3,5; P2O5 5; K2O 40; S 17)
Betakarítás	2020.10.09.
	2021
Elővetemény betakarítás	2020.10.09.
Szántóföldi kultivátor	2020.10.29.
Műtrágyaszórás + Kombinátor	2021.03.07. (500 kg/ha Pétisó, 39%; 27:7:5)
Vetés	2021.04.20.
Növényvédelem	2021.05.14. (Sumicorn-R)
Sorközművelő kultivátorozás	2021.06.01.
Öntözés (38 alkalommal)	2021.06.14.-08.29. (304 mm)
Betakarítás	2021.10.01.
	2022
Elővetemény betakarítás	2021.10.01.
Műtrágyaszórás	2021.10.08. (300 kg/ha (8:24:24)
Szántás	2021.10.11.
Kombinátor, szántás lezárás	2022.03.02.
Műtrágyaszórás+ kombinátor	2022.03.29. (500 kg/ha Pétisó 39% (27:7:5)
Vetés	2022.04.26.
Növényápolás, szántóföldi kultivátor	2022.05.24.
Növényvédelem	2022.06.29. (Mospilan 300g/ha; Karate Zeon 0.2 l/ha)
Öntözés (28 alkalom)	2022.05.27-08.11. (456,8 mm)
Tápoldatozás	2022.06.10. Megasol (3,5 kg N, 5 kg P2O5, 40 kg K2O)
	2022.07.12. Megasol (1,75 kg N, 2,5 kg P2O5, 20 kg K2O)
Betakarítás	2022.10.10.

	2023
Elővetemény betakarítás	2022.10.10.
Szántás	2022.10.17.
Szántás lezárás	2023.02.02.
Műtrágyaszórás + kombinátor	2023.04.17. (500 kg/ha; 39%; 27:7:5)
Vetés	2023.04.20.
Öntözés (12 alkalommal)	2023.06.18.-08.10. (374 mm)
Tápladozás	2023.07.10. Megasol ((0,875 kg N, 1,25 kg P ₂ O ₅ , 10 kg K ₂ O)
Betakarítás	2023.09.28.



5. ábra: Csepegtető öntözőberendezés (Debrecen-Látókép)

3.4 A kísérletben alkalmazott hibridek

4. táblázat: A kísérletben alkalmazott hibridek csoportjai

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 hibridek kísérlet szempontjából fontos tulajdonságai szerinti jellemzésük (4. táblázat)

H1

FAO 420 érésidejű szemes kukorica hibrid. Terméspotenciálja 16 t/ha fölötti. Növénymagassága átlagosnak mondható, azonban átlagostól alacsonyabb csőmagasságú. Sorok száma egy csövön 16-18 darab közötti. Kitűnő állóképességgel rendelkezik, nagyon tetszetős megjelenésű, kompakt felépítésű hibrid, erős szára és erős gyökérzete

van. a korai, illetve hagyományos vetésidő kedvező számára, jó vetésidő tolerancia jellemző rá. Kifejezetten jó kezdeti fejlődési eréllyel rendelkezik. Tápanyagreakciója nagyon jó, jellemző, hogy már a közepes tápanyagdózis esetén is meglehetősen magas termést produkál a hibrid, de még a vizsgált legmagasabb tápanyagszinten is határozott termésnövekedést mutat. Kiegyenlítően magas termésátlagokat eredményez a szántóföldi kísérletekben évről-évre. Zöld száron érik.

H2

Közép-korai érésidejű hibrid (FAO 390-410). Termőhely- és évjárat-stabilitása kimagasló, magas terméspotenciállal, erős szár- és gyökérzettel rendelkezik. Kiváló kezdeti fejlődés és egészséges állomány kialakítás jellemzi, melynek köszönhetően megkésett betakarítás ellenére is maximalizálható az egészséges csövek aránya. Aszály- és stressztűrésének köszönhetően kedvezőtlenebb évjáratokban is jól teljesít. Terméspotenciálja 15-16 t/ha. Átlagos növény- és csőmagasság jellemzi, megkésett betakarítás esetén sem kell tartanunk megdőléstől. Virágzási ideje saját éréscsoportján belül átlagos, gyors vízleadás jellemzi.

H3

FAO 350 éréscsoportba tartozó szemes kukorica. Hazai fajtaregisztrációs kísérletekben elért eredményei is azt bizonyítják, hogy kiválóan helytáll minden hazai termelési adottság között. Átlag feletti alkalmazkodó képessége van, a száraz és a jó vízellátottságú területeken is kiemelkedő eredményeket produkál. Jó kelési-és korai fejlődési tulajdonságának köszönhetően a szárazabb tavaszi hónapokat is könnyedén átvészeli. Erős szárat fejleszt és zöld száron érik, így vízleadása is kiemelkedő.

H4

Igazi nagyágyú a FAO 400-as éréscsoport legvégén (FAO 490). Jellemző rá, hogy az aszályos évjáratokban is megállja a helyét. A fejlesztői kísérletekben a legjobb FAO 400-as hibrideknél akár 500-600 kilogrammal is többet termett. Megjelenését tekintve visszafogott, alacsonyabb növény, és kevesebb zöldtömege van, mint ahogyan az jellemző ebben a tenyészidejű hibridcsoportban. Ajánlott a korai vetése, virágzási ideje a saját éréscsoporton belül átlagos. Aszálytűrése kiváló, átlagos csőhosszal rendelkezik, szemsorok száma a csövön 16-18 darab között alakul. Szem-cső tömegaránya 85 %, vízleadási dinamikája kiváló.

H5

A FAO 400-as éréscsoport legvégén (FAO 490) érik. Kimagasló terméspotenciállal rendelkező, hosszú tenyészidejű hibrid. Zöld száron érik és a száraz körülményeket nagyon jól tolerálja (aszálytűrése kiváló). Termésstabilitása kiemelkedő a viszontagságos időjárás ellenére is. Az átlagosnál lényegesen alacsonyabb megjelenésű, csöveit is alacsonyan hozza, a szármegdőlés nem jellemző rá. Korai vetése nem ajánlott, virágzási ideje a saját éréscsoportján belül korai. Hosszú csövekkel rendelkezik, szemsorok száma a csövön 16-18 darab. Szem-cső tömegaránya 85 %, vízleadási dinamikája kiváló.

3.5 Kísérletben végzett mérések bemutatása és kiértékelésének módszere

A kukorica vegetatív fázisában a következő tulajdonságokat felvételeztem:

Kelés (vetéstől eltelt napok száma, dátum): A vetést követően a kelés felvételezését folyamatosan ellenőriztem, az első növény megjelenését követően naponta megjelölve a kikelt egyedeket, 5 napon keresztül különböző jelöléssel dokumentálva egy 3 méteres területen. A 75%-os kelést a megjelölt növények alapján számoltam ki. (6. ábra)



6. ábra: Kelés felvételezés (Debrecen-Látókép)

Címer virágzás (vetéstől eltelt napok száma, dátum): A különböző hibridek parcelláiban a növények 75%-ának a főcímerágon megjelenő pollenszórását feljegyeztem.

Nővirágzás (bibe virágzás) (vetéstől eltelt napok száma, dátum): A különböző hibridek parcelláiban a növények 75%-án fogadóképes bibék megjelenését feljegyeztem.

Növénymagasság (cm): A növénymagasság mérőbottal való mérését a virágzási időszak végén, a talajfelszíntől a címervirágzat megjelenését követően annak legfelső pontjáig történt, parcellánként 10 egyedet vizsgálva.

Csőmagasság (cm): A tenyésztidőszak folyamán egy alkalommal mértem augusztus végén, a talajfelszínétől a legfejlettebb cső szárhoz való ízesülési pontjáig végeztem, parcellánként 10 egyedet vizsgálva. (7. ábra)

Szárátmérő (mm): Egy alkalommal mértem a tenyésztidőszak alatt augusztus végén, parcellánként 10 egyeden. A mérést a legfejlettebb cső alatti nóduszon, tolómérővel végeztem.



7. ábra: Fenometriai mérések (Debrecen-Látókép)

Levélfelület mérés: Egy alkalommal mértem a végleges növénymagasság elérését követően (virágzáskor) a levélfelület nagyságát a LICOR LI-2000 Plant Canopy Analyzer mérőműszerrel.

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. (8. ábra)



8. ábra: Minták szárítása szárítószekrényben (Debrecen-Látókép)

Feketeréteg vizsgálat: A tenyészidőszak végéhez közeledve, a szemek nedvességtartalmának csökkenését figyelve augusztus végén kezdtem el a feketaréteg megjelenésének vizsgálatát. Két-naponta figyeltem a szemek megkaparásával, hibridenként több csövön vizsgálva (9. ábra).



9. ábra: Feketeréteg mintavételezés (Debrecen-Látókép)

SPAD mérés:

A méréseket a Minolta SPAD-502 mérőműszerrel végeztem (10. ábra). A mérőfej két fényforrást tartalmaz, ezek a mérés alkalmával egy vörös fénysugarat (650 nm) és egy infravörös fénysugarat (940 nm) bocsátanak ki. Az index képzésének folyamata: a klorofill molekulák a vörös fény egy részét abszorbeálják, az infravörös fényt viszont átengedik, így a készülék az érzékelőbe érkező fénysugarak intenzitását arányosítja. Ez a

szám 1-100 között változhat (SPAD érték). SPAD mérést a tenyészidőszak során 4 alkalommal végeztem (6 levél; 12 levél; nővirágzás; fiziológiai érettség). A méréseket a szakirodalomnak megfelelően hajtottam végre. Méréseket a V és V12 fázisban (Ritchie et al., 1997) megállapítása szerint a legfelső kifejtett levélen, majd azt követően az R1 fázisban a megjelent kukoricacsővel szemközti leveleken végeztem (Costa et al., 2001).



10. ábra: SPAD mérés (Debrecen-Látókép)

NDVI mérés:

A fotoszintetikus aktivitás mérését (NDVI) GreenSeeker Handheld mérőműszer segítségével végeztem a tenyészidőszak során 4 alkalommal (6 levél; 12 levél; nővirágzás; fiziológiai érettség) (11. ábra).



11. ábra: NDVI mérés (Debrecen-Látókép)

Az adatok a levelek klorofill- és víztartalmát, illetve a biomassza mennyiségét tükrözik. A mértékegység nélküli mérőszám értéke 0 és 1 között változik: a csupasz (növényzet nélküli) talaj NDVI értéke: 0,0 – 0,05 körüli, a dús vegetáció értéke 0,9. Magasabb vegetációs index értéket, sötétebb zöld terület jellemez. Nagyobb zöldtömeg jellemző az egészséges, vízzel és tápanyaggal jól ellátott állományokra. Ha kisebb az index értéke akkor a növényállomány még kicsi (csupasz talaj), vagy víz-és tápanyaghiány, valamilyen betegség, kártevő van jelen. Az NDVI indexet többek között a növények fejlődésének, egészségének, a legelők állapotának nyomon követésére, a biomassza mennyiségének becslésére lehet használni. Az egyes növények NDVI értékének optimális körülmények között jellegzetes éves menete van. A kukorica NDVI értéke a kelés utáni időszakban egészen augusztusig folyamatosan emelkedik, majd ősszel nagymértékben csökken. Aszály idején az említett jellegzetes éves menetektől eltérhetnek az értékek.

Sok tényező befolyásolhatja az NDVI értékét, például a növények fotoszintetikus aktivitása, a növényborítottság mértéke, a biomassza, a növényzet és a talaj víztartalma, víz telítettsége és a növény egészségi állapota. Ezért fontos a mezőgazdasági termelés szempontjából, mert az értékek erősen kölcsönhatásban vannak a várható biomassza és így a várható terméshozamok értékeivel. Az NDVI-t meghatározott módon, a növényállománytól függőleges irányban 40-60 cm-re mértem.

A kukorica generatív paramétereinek, terméseredményének és minőségének mérése:

A terméselem vizsgálatokhoz a fiziológiai érettséget követően genotípusonként vettünk egyedi mintákat (12. ábra). A csőparaméterek méréséhez a Haldrup gabona laboratóriumi cséplőgépet alkalmaztam (szemszám, ezerszemtömeg, cső, - szem, -és csutkatömeg, szem-csutka arány). A mintákon morzsolás előtt lemértem a kukoricacsövek hosszát és átmérőjét.



12. ábra: Terméselem vizsgálatok (Debrecen)

A kísérlet Sampo 2010 típusú parcella kombájnnal lett betakarítva, melyben a beépített mérleg segítségével a parcellánkénti termésmennyiségek meghatározása is megtörtént. A betakarítást követően közvetlen megmértem a minták nedvességtartalmát és hektolitertömegét, ennek eszköze a DICKEY-John GAC 2100 típusú gabona analizátor. A termésmennyiséget a parcellákon mért adatokból 14%-os nedvességtartalomra átszámolva állapítottuk meg.



13. ábra: Beltartalom vizsgálat (Debrecen)

A beltartalmi értékek vizsgálatát NIR készülékkel, a FOSS Infratec Grain Analyzer műszerrel végeztem (13. ábra). A műszer a közeli infravörös transzmissziós technika elvén működik, így darálás nélkül az egész szemből kis időn belül analizáljon. A készülék szoftverje a mért adatokat számszerűen adja meg a vizsgált mintákra vonatkoztatva. Az adatok (a minta össztömege alapján) nedvességtartalmát tömegszázalékban, valamint

szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott keményítő-, fehérje- és olajtartalmát szintén tömegszázalékban kifejezve adja meg.

A vizsgált négy évben összegyűjtött, különböző nedvességtartalmú kukorica hibridek összehasonlíthatósága végett az egyes minták szárazanyagra vonatkoztatott keményítőtartalmát határoztam meg. Így az eltérő nedvességtartalmú hibridek mintáinak összehasonlíthatóságát el lehet végezni.

A relatív keményítőtartalom a következő képlet segítségével számítható ki:

$$100/(100-A) \times B$$

ahol: A – a mérés alatti pillanatnyi nedvességtartalom, B – az adott nedvesség tartalmú minta mérőműszer szerinti keményítőtartalma.

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.)

3.6 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. A korreláció együttható értéke (r- érték) -1 és + 1 közötti értékeket vehet fel., így az összefüggés iránya az eredmény előjele alapján megállapítható. A megállapított összefüggés erősségének értékeléséhez a következő kategóriákat használtam. Ha az r értéke $r < 0,25$ akkor az összefüggés nagyon laza. Abban az esetben, ha az r értéke $r = 0,25-0,5$, akkor az összefüggés közepes. Ha az r értéke $r = 0,5-0,75$ szoros a kapcsolat, ha $r > 0,75$ nagyon szoros a kapcsolat.

3.7 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 így 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 alkalmazott agrotechnológia (talajművelés, vetés, műtrágyakijuttatás, betakarítás módja és időpontjai stb.) alapján használtam fel.

A szimulációban releváns adatok alapján adtam meg a szükséges információkat, végül a Ceres-Maize alkalmazhatóságának megfelelően az evaporáció leírására, a talajban lejátszódó folyamatok modellezésére Ritchie, illetve Ritchie-Ceres (Priestley-Taylor/Ritchie) algoritmusokat alkalmaztunk (Nyéki et al., 2020).

Meteorológiai adatok

A kísérlet részletes időjárási viszonyainak adatbázisát a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központ által működtetett, közvetlenül a kísérleti parcellák mellett elhelyezett automata meteorológiai állomás adatai alapján készítettem el (Gombos és Nagy, 2019). A modellhez szükséges paraméterek a következők voltak: minimum hőmérséklet (°C), maximum hőmérséklet (°C), csapadékmennyiség (mm), globálisugárzás értéke (MJ/m²), relatív páratartalom (%) és a szélsebesség átlaga (m/s).

Talajadatok

A kísérlet talajtípusát az USDA szerinti frakció (szemcseeloszlás, %) osztása alapján lett meghatározva (5.táblázat). Fizikai féleséget nézve a talaj iszapos vályog kategóriába sorolható. A talajminták adatai 140 cm mélységig álltak rendelkezésre. A talaj fizikai kondíciója mellett annak térfogattömege, pH_a, foszfor-, kálium- és nitrogén ellátottsági szintje került meghatározásra. A CSM-Ceres modell (v.4.7) egy determinisztikus modell a termés növekedésének és fejlődésének napi szintű szimulálására (Jones és Kiniry, 1986).

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 (1. melléklet).

5. táblázat: Talajfizikai jellemzők a kísérleti területen

Talajmélység (cm)	Homok		Iszap				Agyag
	2-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	<0,002
0-20	0,08	8,24	34,81	12,78	8,55	7,47	28,07
20-45	0,04	8,60	32,72	15,34	8,05	7,34	27,91
45-65	0,04	10,39	32,43	15,51	7,80	8,81	25,02
65-95	0,24	10,15	29,11	14,88	7,87	10,12	27,63
95-105	0,20	8,36	32,82	15,93	7,79	8,20	26,70
105-140	0,32	11,50	34,08	15,70	8,12	7,28	23,00

Kísérletbe vont hibridek genetikai paramétere

A szántóföldi kísérletben Hanway skála alapján került sor a hibridek karakterizációjára (11 db mérési pontban), ezeket az értékeket használtam fel a genetikai paraméterek meghatározásához (6. táblázat).

6. táblázat: A kísérletben és modellben felhasznált hibrid genetikai paramétere

Hibrid	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
FAO 340	118	0,500	926	830	7,1	42

A szükséges számszerűsített adatok egy hibrid meghatározásához a következők. P1 a juvenilis fázis végéig szükséges effektív hőösszeg (°C nap), P2-es paraméter a fotoperiodikus érzékenységet jelenti, P5 a nővirágzástól a fiziológiai érettségig eltelt hőösszeget jelenti (°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).

4. EREDMÉNYEK

4.1 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2020, Látókép

4.1.1 A hőösszeg jellemzése a 2020-as kísérleti évben

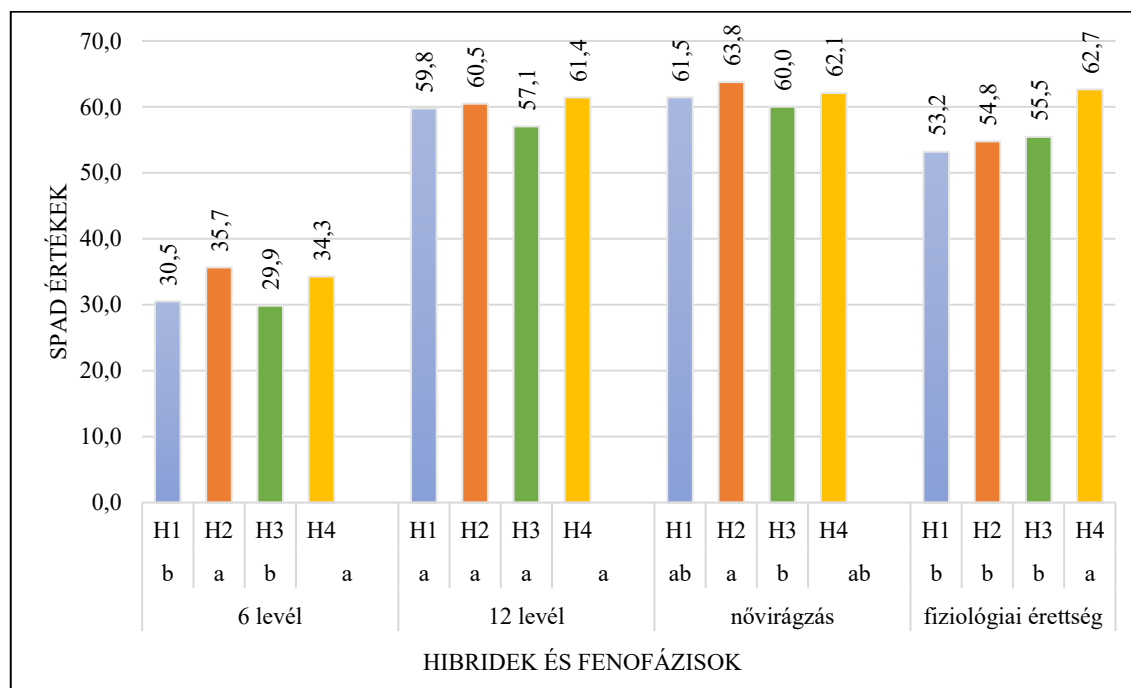
7. táblázat: A hibridek Hanway skála alapján mért hőösszeg adatai a 2020-as évben (Debrecen-Látókép 2020)

Hibridek		kelés	6 levél	12 levél	hímvirágzás (75%)	nővirágzás (75%)	fiziológiai érettség	betakarítás
H1	dátum	05.01.	05.22.	06.26.	07.05.	07.06.	09.08.	10.09.
	hőösszeg °C	0	109	393	513	525	1247	1490
H2	dátum	05.03.	05.22.	06.26.	07.09.	07.14.	09.18.	10.09.
	hőösszeg °C	0	100	384	546	595	1347	1481
H3	dátum	05.03.	05.22.	06.26.	07.06.	07.07.	09.13.	10.09.
	hőösszeg °C	0	100	384	517	530	1286	1481
H4	dátum	05.02.	05.22.	06.26.	07.06.	07.07.	09.08.	10.09.
	hőösszeg °C	0	125	389	522	535	1243	1486

A 6, 12 leveles állapot és betakarítás minden hibrid esetében azonos időben volt. (7. táblázat) Kelés felvételezéskor a H2 és H3 hibrid egy napon volt megfigyelhető (05.03.) így a 6 és 12 leveles állapotban ugyanannyi hőösszeg volt szükséges (100 °C és 384 °C). A H1 és H4 hibrid kettő, illetve egy nappal korábban kelt ki állomány szinten, így több foknap volt szükséges a 6 és 12 leveles felvételezéshez (109 és 393 °C illetve 125 és 389 °C). A vizsgált négy genotípus közül a H2 hibrid virágzott legkésőbb, így a virágzáskori hőösszege magasabb volt (546 °C és 595 °C). A H3 és H4 hibridek esetében a hím- és nővirágzás ugyanazon időben volt, de az eltérő kelési idő miatt a hőösszeg eltérő volt. A H1 hibrid 75 %-os pollen szórásához 513 °C napra, nővirágzásához 525 °C napra volt szüksége. A H1-es és H4-es hibrid érte el leghamarabb a biológiai érettségét (09.08.) ehhez elegendő volt 1247 és 1243 °C nap. Ezt követte a H3 hibrid (09.13.) 1286 °C nappal, végül legkésőbb jelent meg a feketeterégy a H2-es genotípusnál (09.18.) ehhez 1347 °C napra volt szüksége. Betakarítás időszakában a négy hibrid hőösszeg igénye 1481-1490 °C között változott.

4.1.2 A SPAD értékek alakulása a 2020-as évben

A 14. ábra a 4 mérési időpontban mért SPAD eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.

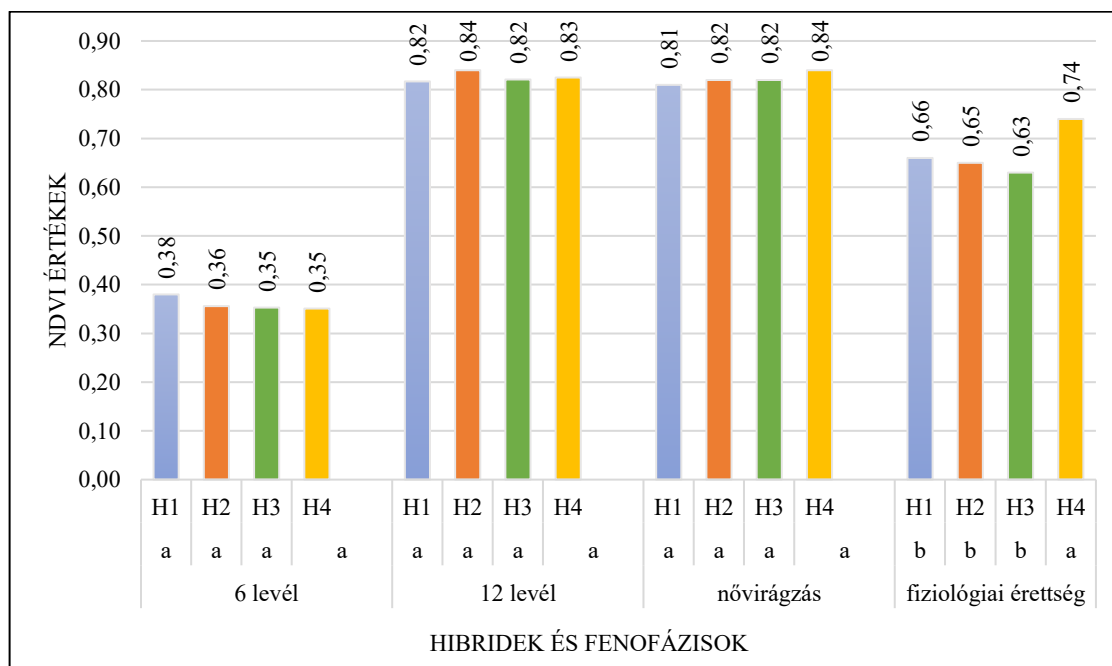


14. ábra: A kukorica SPAD értékei a 2020-as évben (Debrecen-Látókép, 2020) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten.)*

Az ábrán jól látható, hogy a fenológiai fázisok előrehaladtával a SPAD értékek növekvő tendenciát mutatnak egészen a nővirágzásig. 6 leveles állapotban átlagosan 32,6 volt a SPAD érték. Legalacsonyabb értéket a H3 hibrid mutatott (29,9), 19 %-kal nagyobb eredményt mértem a H2 hibridnél (35,7). 12 leveles korban átlagosan 59,7 értéket mértem, ebben a szakaszban a hibridek között kiegyenlítettebben alakultak a SPAD értékek, legalacsonyabb értéke itt is a H3 hibridnek volt 57,1, 7 %-kal nagyobb eredményt mutatott a H4 hibrid. Nővirágzáskor átlagosan 61,85 volt a SPAD érték. A legalacsonyabb értéket a H1 (61,5) és H3 (60,0) hibridnél mértem. Átlagon felüli eredményt a H2 (63,8) és H4 (62,1) genotípus mutatott. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag SPAD érték 56,55 volt. Legalacsonyabb értéket a H1 (53,2), legmagasabbat a H4 (62,7) hibridnél mértem, amely 18 %-os különbséget eredményezett. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 leveles állapot, nővirágzás és fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.1.3 Az NDVI értékek alakulása a 2020-as évben

A 15. ábra a 4 mérési időpontban mért NDVI eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.



15. ábra: A kukorica NDVI értékei a 2020-as évben (Debrecen-Látókép, 2020) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

Az NDVI értékeket a 6 leveles állapottól a nővirágzásig növekvő tendenciát mutatnak. 6 leveles állapotban átlagosan 0,36 NDVI értéket eredményeztek a hibridek. Legmagasabb értéket a H1 hibridnél mértem (0,38), ettől 8 %-kal kisebb eredményt kaptam a H3 és H4 hibrideknél (0,35). A 12 leveles állapotban mért eredményeknél szintén elmondható, hogy a legalacsonyabb eredményt a H1 hibrid érte, illetve a H3 hibridek érték el (0,82) a legmagasabbat a H2 hibrid (0,84). Átlagosan ebben a fenológiai fázisban az NDVI érték 0,82 volt. Nővirágzáskor legmagasabb értéket a H4 hibrid ért el (0,84). A H1 és H2 genotípusnál már ebben a fenológiai fázisban enyhe NDVI értékcsökkenést mértem. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag érték 0,67 volt. Kiemelkedően magas értéke a H4 (0,74) hibridnek volt, amely 17 %-kal magasabb érték, mint a H3 hibridnél mért eredmény (0,63). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 leveles állapot, nővirágzás és fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.1.4 A hibrdek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2020-as évben

A 2020-as évben a legnagyobb növénymagasságot a H4 és a H2 hibrid esetében mértem 291,9 cm és 290,1 cm eredménnyel. Legalacsonyabbnak a H3 hibrid (268,1 cm) bizonyult. Átlag érték körüli magasságot a H1 (285,3 cm) hibridnél mértem, a H4-es hibrid 8 %-kal magasabb volt a H2 hibridnél. (8. táblázat)

8. táblázat: A hibrdek fenometriai paramétereinek eredménye a 2020-as évben (Debrecen-Látókép 2020)

Paraméterek	Hibrdek 2020			
	H1	H2	H3	H4
Növénymagasság (cm)	285,3 ^a	290,1 ^a	268,1 ^b	291,9 ^a
Csőmagasság (cm)	117,1 ^b	118,2 ^b	111,7 ^b	141 ^a
Szárátmérő (mm)	18,4 ^b	17,48 ^b	18,33 ^b	20,09 ^a
Levélfelület index	4,1 ^a	4,3 ^a	4,2 ^a	4,0 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibrdek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

A csőmagasságok 117,1-141 cm között változtak. Az átlagtól (122 cm) kiemelkedően nagyobb magasságot mutatott a H2 (141 cm) hibrid. Legalacsonyabban helyezkedett el a cső a H3-as hibriden (111,7 cm), ez 21 %-os csökkenés. Átlag alatti értéke a H1 (117,1 cm) és H2 (118,2 cm) hibrdeknek volt. A szárátmérők átlagosan a 18,48 mm körül alakultak. A legnagyobb eredményt a H4 hibrid esetében mértem (20,09 mm), közel azonos értékeket felvételeztem a H1 (18,4 mm) és H3 (18,33 mm) hibridnél. Legkisebb szárátmérője a H2 (17,48 mm) hibridnek volt, ami 13 %-kal kisebb, mint a H4 hibrid. A virágzáskori legmagasabb levélfelületek alakulását tekintve legmagasabb értéke a H2 (4,3) hibridnek volt. Azt követte a H3 (4,2) H2 (4,1) és H4 (4,0) hibrid. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a növény- és csőmagasság, illetve szárátmérő eredményei alapján szignifikáns különbség volt a vizsgált hibrdek között.

4.1.5 Csőparaméterek alakulása a 2020-as évben

A betakarítást megelőzően vizsgált csöveken a következő paraméterek eredményeit kaptam a 2020-as tenyészévben (9. táblázat). A csőhossz és csőátmérő vizsgálatnál a H2 hibridnél mértem kiemelkedően magas eredményt. (22,6 cm és 55,5 mm). Legalacsonyabb csőhossza a H4 hibridnek (19,1 cm), csőátmérője a H3 (49 mm) hibridnek volt. A H2 hibrid csőhossz eredményével 12 %-kal, csőátmérő értékével 13 %-kal volt nagyobb a legkisebb mért értékektől.

9. táblázat: A hibridek terméslelem paramétereinek eredménye a 2020-as évben (Debrecen-Látókép 2020)

Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Csőhossz (cm)	20,4 ^b	22,6 ^a	20,2 ^b	19,1 ^c
Csőátmérő (mm)	51b ^c	55,5 ^a	49 ^c	53,5 ^{ab}
Szemszám (db)	493 ^b	624 ^a	520 ^b	487 ^b
Csőtömeg (g)	277,9 ^b	358,7 ^a	274,2 ^b	252,1 ^b
Szemtömeg (g)	245,4 ^b	307,0 ^a	237,7 ^b	219,5 ^b
Csutkatömeg (g)	32,48 ^b	51,70 ^a	36,48 ^b	32,52 ^b
Szem-Csutka arány (%)	7,6 ^a	6,0 ^b	6,7 ^{ab}	6,9 ^{ab}
Sorok száma (db)	17 ^a	18 ^a	15 ^a	16 ^a
Szemszám egy sorban (db)	28 ^b	42 ^a	40 ^a	37 ^b

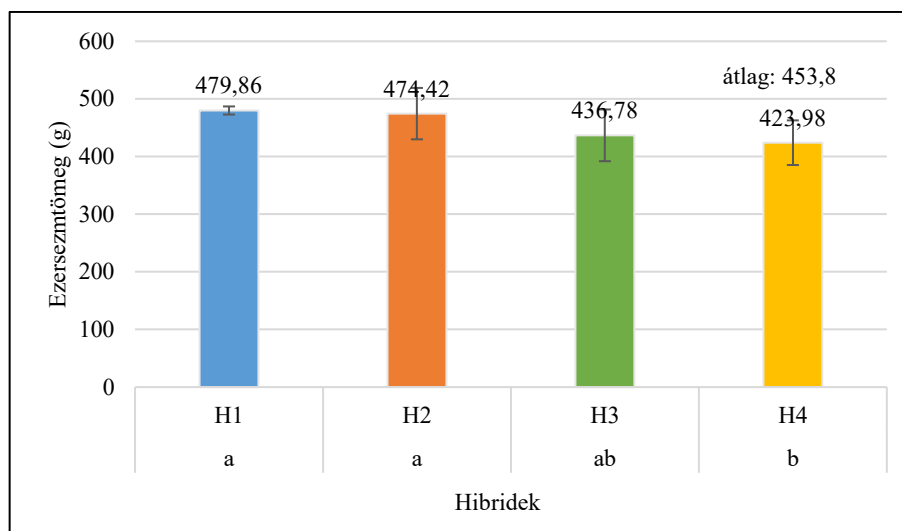
A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

Legmagasabb szemszáma szintén a H2 genotípusnak volt (624 db), míg legkevesebbet a H4 hibrid eredményezett (487 db), 28 %-kal nagyobb eredmény. A korábbi tendenciákhoz hasonlóan a H2 hibridnél mértem a legmagasabb csőtömeget (358,7 g) amelyből következtetve is a legmagasabb (307 g) szem és csutkatömeget (51,7 g) eredményezte. Ez 42 % és 39 %-kal nagyobb, mint a legkisebb mért cső- és szemtömegek. Szem-csutka aránya is kedvező (6 %). Legalacsonyabb csőtömege a H4 hibridnek volt (252,1 g) a legalacsonyabb szemtömeeggel (219,5 g) és második legalacsonyabb csutkatömeeggel (32,52 g) társulva. Legmagasabb szem-csutka arányt (7,6 %) a H1 hibrid mutatta. A H1 és H3 hibrid átlagos, kedvező csőtömeeggel rendelkezik (277,9 és 274,2 gramm). Szeptömegük is kedvezően alakult 245,4 gramm, illetve 237,7 gramm. A csövön mért legtöbb sor száma a H2 hibridnek volt (18 db), legkevesebb a H3 hibridnek (15 db). Azonban legalacsonyabb egy sorban lévő szemszáma a H1 hibridnek volt (28 db), legtöbb szemszáma egy sorban a H2 hibridnek volt (42 db). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a sorok számának kivételével, minden vizsgált paraméternél szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.1.6 Ezerszeptömeg a 2020-as évben

Az ezerszeptömeg vizsgálatkor a négy hibrid átlagát tekintve a 2020-as évben 453,8 gramm tömeget értek el (16. ábra). Átlagon felüli értéket a H1 (479,9 gramm) hibrid és a H2 (474,4 gramm) hibrid eredményezett, ezt követte a H3 (436,8 gramm), a H4 (424,0 gramm). A H1 hibrid 13 %-kal nagyobb ezerszeptömeget eredményezett, mint a

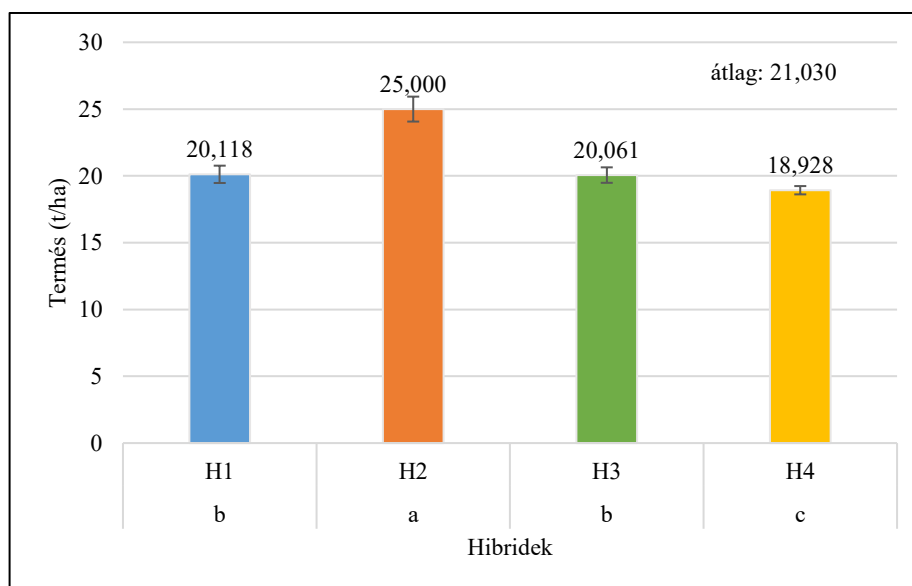
legkisebb értékekkel rendelkező H4 hibrid. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján az ezerszemtömeg vizsgálatkört szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.



16. ábra: A kukorica hibridek ezerszemtömegének értékei a 2020-as évben (Debrecen-Látókép, 2020) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

4.1.7 Terméseredmények a 2020-as évben

A vizsgált 4 hibrid közül a H2 (FAO 390-410) érte el a legkiemelkedőbb termésátlagot, 25,000 t ha⁻¹-os eredményével, ez az érték 32%-kal nagyobb, mint a legkisebb termésű H4 (FAO 490) hibrid (18,928 t ha⁻¹) (17. ábra). 20 tonnás átlagtermés felett teljesített még a H1 hibrid (FAO 420) 20,118 t ha⁻¹ és a H3 hibrid (FAO 350-360) 20,061 t ha⁻¹.



17. ábra: A kukorica hibridek terméseredményének értékei a 2020-as évben (Debrecen-Látókép, 2020) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a terméseredmények szignifikáns különbséget mutattak a vizsgált hibridek között.

4.1.8 Beltartalmi értékek a 2020-as évben

A vizsgált beltartalmi értéket (szemnedvesség, olaj, fehérje, keményítő) a következő táblázat tartalmazza (10.táblázat). A hibridek betakarításkori szemnedvesség tartalma 17,0-19,2 % között változott. Legkisebb nedvességtartalommal a H1 (FAO 350-360) lett betakarítva, majd ezt követte a H2 (FAO 420) hibrid 17,3 %-kal és a H3 hibrid (FAO 390-410) 18,1 %-kal. Legnagyobb nedvessége a H5 (FAO 490) hibridnek volt.

10. táblázat: A hibridek beltartalmi paramétereinek eredménye a 2020-as évben (Debrecen-Látókép 2020)

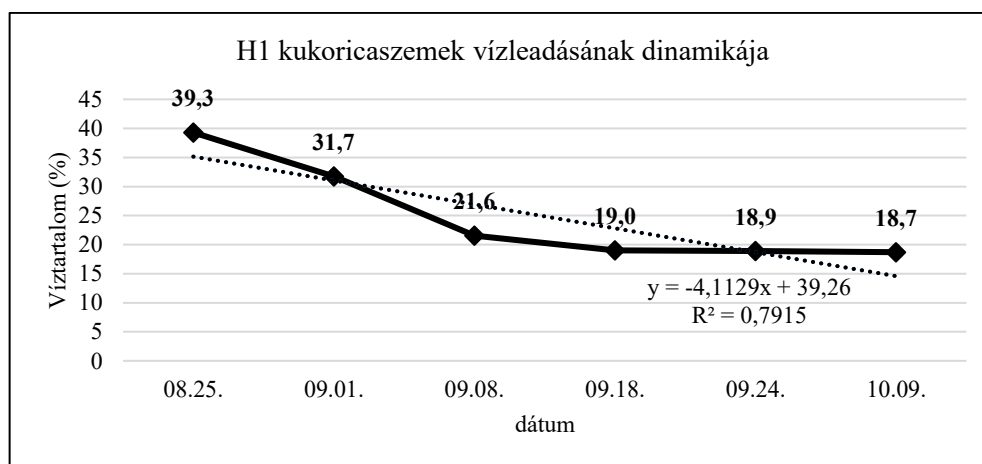
Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Szemnedvesség (%)	17,0 ^a	17,3 ^a	18,1 ^a	19,2 ^a
Fehérje (%)	6,3 ^a	6,3 ^a	6,1 ^a	6,3 ^a
Olaj (%)	3,03 ^a	2,73 ^a	3,37 ^a	3,02 ^a
Keményítő 100 g sz. a. (%)	78,60 ^a	78,72 ^a	78,02 ^a	79,76 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

Az olajtartalom átlagosan 3,04 % volt. Magasabb olajtartalma a H3 (3,37 %) hibridnek volt. Jelentősen elmaradt a többi vizsgált genotípustól a H2 hibrid 2,72 % értékkel, ez az érték 18 %-kal kevesebb mint a H3 hibrid olajtartalma. A H1 és H4 hibridek közel azonos értékeket eredményeztek (3,03 % és 3,02 %). A fehérjetartalom 6,26 %-os eredményt mutatott a genotípusok átlagában. 6,2 % feletti eredménye a H1 (6,28 %), a H2 (6,326 %) és a H4 (6,276 %) hibridnek volt. Az átlag alatti értéket a H3 (6,136 %) genotípus mutatott. A keményítőtartalom értékeit figyelembe véve a H4 hibrid kiemelkedően magas eredményt mutatott (79,76 %), legalacsonyabb keményítőtartalma a H3 genotípusnak volt (78,02 %). A H1 (78,60 %) és H2 (78,72 %) hibridek hasonló értéket mutattak. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a beltartalmi értékeknél nem volt igazolható szignifikáns különbség a vizsgált hibridek között.

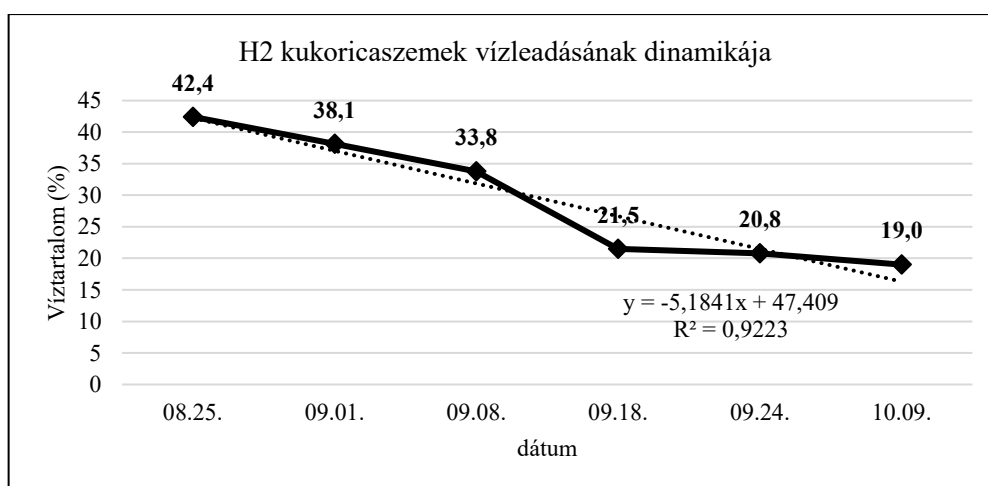
4.1.9 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2020-as évben

A 2020-as vizsgálati évben a vízleadás dinamikájának megfigyeléséhez a tenyészidőszak során 5 alkalommal végeztem a méréseket egészen a betakarítást megelőző időpontig.



18. ábra: A H1 kukorica hibrid vízleadásának dinamikája (Debrecen-Látókép 2020)

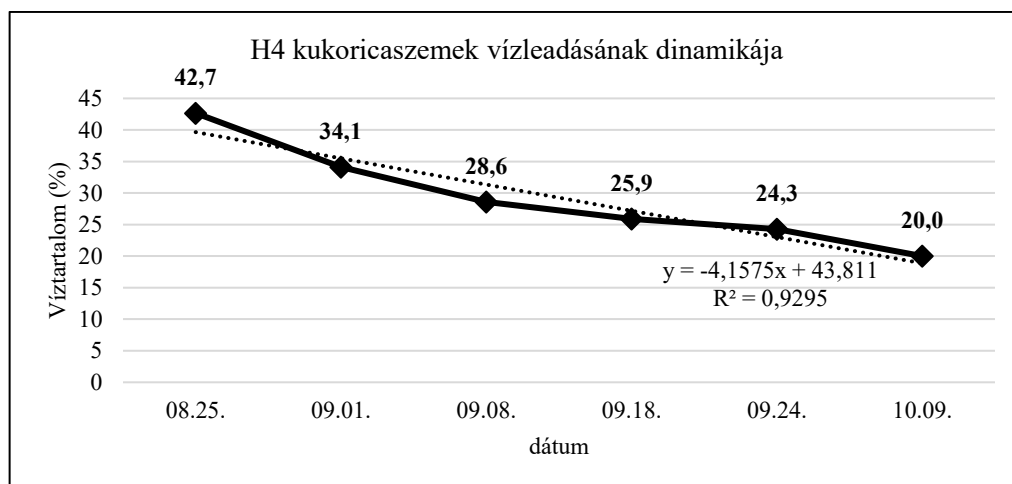
A H1 hibridet vizsgálva a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 39,3 % augusztus 25-én, 31,7 % szeptember 1-én, 21,6 % szeptember 8-án, 19 % szeptember 18-án, 18,9 % szeptember 24-én és végül betakarításkor, október 1-én 18,7 %. Csökkenő tendencia látható a mintavételezési időpontok előrehaladtával, a vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,79$ (18. ábra: A H1 kukorica hibrid vízleadásának dinamikája (Debrecen-Látókép 2020)).



19. ábra: A H2 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2020)

A H2 hibrid tekintetében a víztartalom vesztes a következő arányokban alakult, 42,4 % augusztus 25-én, 38,1 % szeptember 1-én, 33,8 % szeptember 8-án, 21,5 % szeptember 18-án, 20,8 % szeptember 24-én és 19 % október 1-én. Csökkenő tendencia

figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,92$ (19.ábra)



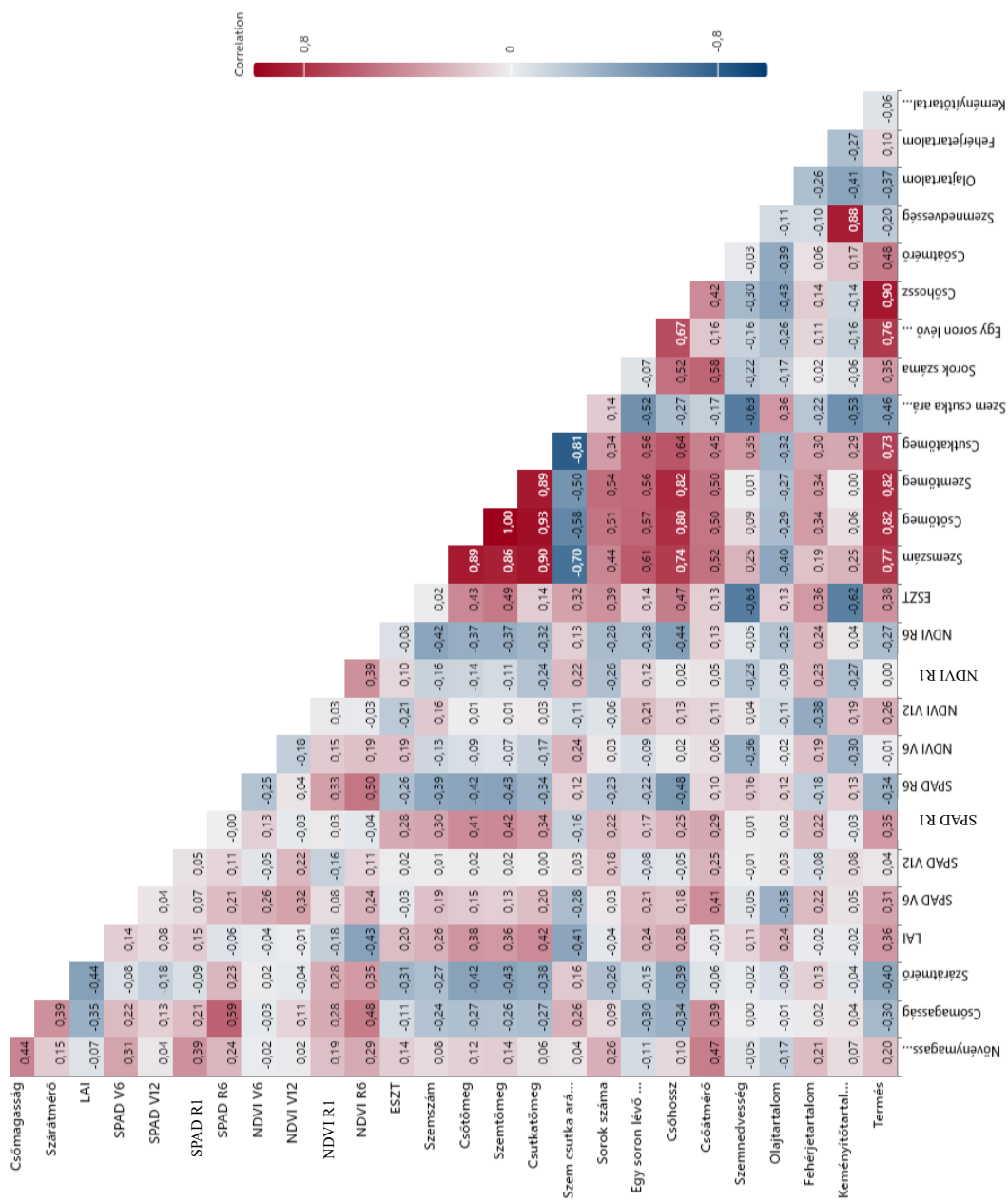
20. ábra: A H4 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2020)

A H4 vizsgált genotípus tekintetében a víztartalom vesztes a következő arányokban figyelhető meg, 42,7 % augusztus 25-én, 34,1 % szeptember 1-én, 28,6 % szeptember 8-án, 25,9 % szeptember 18-án, 24,3 % szeptember 24-én és végül betakarításkor, október 1-én 20 %. Csökkenő tendencia látható a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,92$ (20.ábra).

4.1.10 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2020-as évben

A vizsgált tényezőket Pearson-féle összefüggés vizsgálattal értékeltem, az eredményeket a 11.táblázat mutatja. A SPAD V6 a terméssel és csőátmérővel is pozitív közepes korrelációban volt (0,313 és 0,407**). A SPAD VT és a cső, - szem, - illetve csutkatömeg között is pozitív közepes (0,413**; 0,422**; 0,44) korrelációt eredményezett a vizsgálat. Továbbá a SPAD R6 és NDVI R6 fenofázis eredményei a csőmagassággal pozitív szoros (0,587***) és pozitív közepes (0,479**) kapcsolatot eredményezett. A levélfelület index a cső, - szem- és csutkatömeggel közepes pozitív kapcsolatban volt (0,375*; 0,356*; 0,417**). A Levélfelület a terméssel pozitív közepes (0,362*) korrelációban volt. A termésparaméterek (szemszám, cső, - szem és csutkatömeg, csőhossz) igazolhatóan pozitív szoros kapcsolatban voltak a termés eredménnyel (0,767**; 0,815***; 0,82***; 0,727***; 0,901***). Beltartalmi értékek közül az olajtartalom a keményítővel negatív közepes (-0,415**) korrelációban volt.

11. táblázat: Pearson-féle korreláció értékek (Debrecen-Látólép,2020)



4.2 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2021, Látókép

4.2.1 A hőösszeg jellemzése a 2021-es kísérleti évben

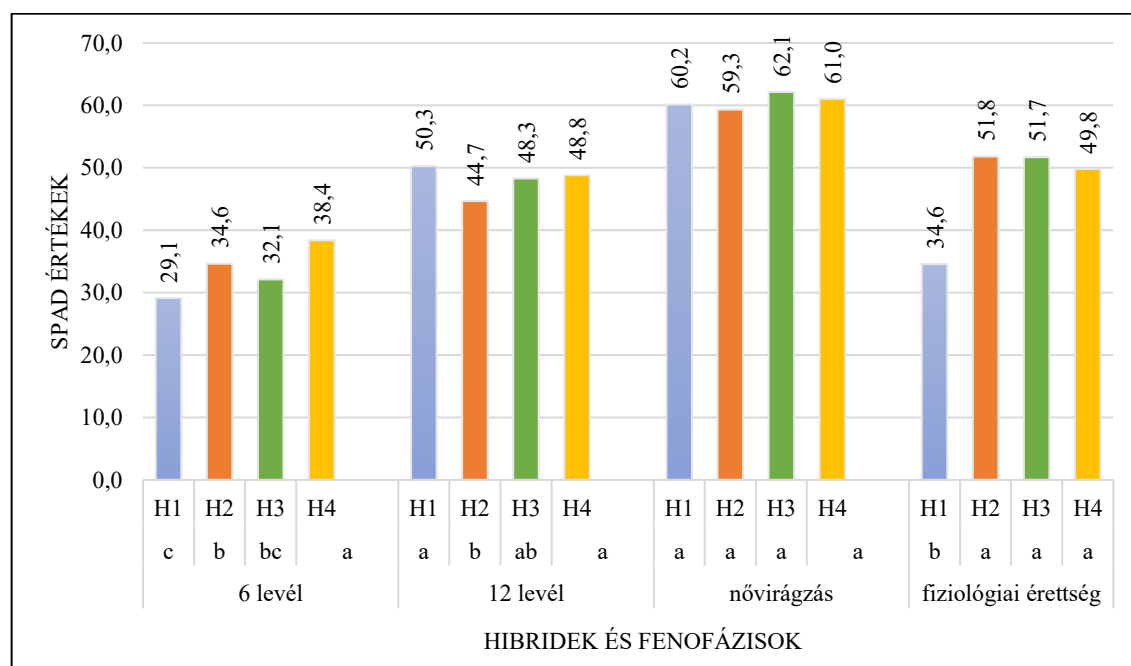
12. táblázat: A hibridek Hanway skála alapján mért hőösszeg adatai a 2021-es évben (Debrecen-Látókép 2021)

Hibridek		kelés	6 levél	12 levél	hímvirágzás (75%)	nővirágzás (75%)	fiziológiai érettség	betakarítás
H1	dátum	05.04.	06.02.	06.28.	07.07.	07.09.	09.04.	10.01.
	hőösszeg °C	0	150	435	547	575	1222	1411
H2	dátum	05.06.	06.02.	06.28.	07.07.	07.10.	09.13.	10.01.
	hőösszeg °C	0	139	424	536	579	1284	1400
H3	dátum	05.06.	06.02.	06.28.	07.05.	07.08.	08.30.	10.01.
	hőösszeg °C	0	139	424	511	550	1179	1400
H4	dátum	05.05.	06.02.	06.28.	07.10.	07.12.	09.13.	10.01.
	hőösszeg °C	0	145	430	585	614	1290	1406

A 6, 12 leveles állapot és betakarítás minden hibrid esetében azonos időben volt (12. táblázat). Kelés felvételezéskor a H2 és H3 hibrid egy napon volt megfigyelhető (05.06.), így a 6 és 12 leveles állapotban ugyanannyi hőösszeg volt szükséges (139 és 424 °C), illetve a betakarításkor a későbbi kelés eredményeképp a legkevesebb hőösszegre volt szükség (1400 foknap). A H1 és H4 hibrid kettő, illetve egy nappal hamarabb kelt ki állomány szinten, így nagyobb hőösszeget mértem a 6 és 12 leveles felvételezéskor (150 és 435 °C, illetve 145 és 430 °C). A H1-es és H2-es genotípus hímvirágzása egy napon volt felvételezhető (július 7.), azonban az eltérő kelési idő miatt az ehhez szükséges hőösszeg eltérően alakult (547 °C és 536 °C). A H1 hibrid 75%-os hímvirágzásához 575, a H2 hibridnek 579 foknapra volt szüksége. A H2 hibrid 75 %-os pollen szórásához 536 °C napra nővirágzásához 549 °C napra volt szüksége. A H3 hibrid virágzása volt legkorábban megfigyelhető így 511 és 550 foknap elegendő volt a hibrid számára. A H4-es genotípus virágzott legkésőbb, 585 és 614 foknapra volt szüksége ehhez. A H3-as hibrid érte el leghamarabb a biológiai érettségét (08.30.), ehhez elegendő volt 1179 °C nap. Ezt követte a H1 hibrid (09.04.) 1222 °C nappal. Legkésőbb jelent meg a feketeteréteg

a H2-es és H4-es genotípusnál (09.13.) ehhez 1284 és 1290 °C napra volt szükség. Betakarítás időszakában a négy hibrid hőösszeg igénye 1400-1411 °C között változott.

4.2.2 A SPAD értékek alakulása a 2021-es évben

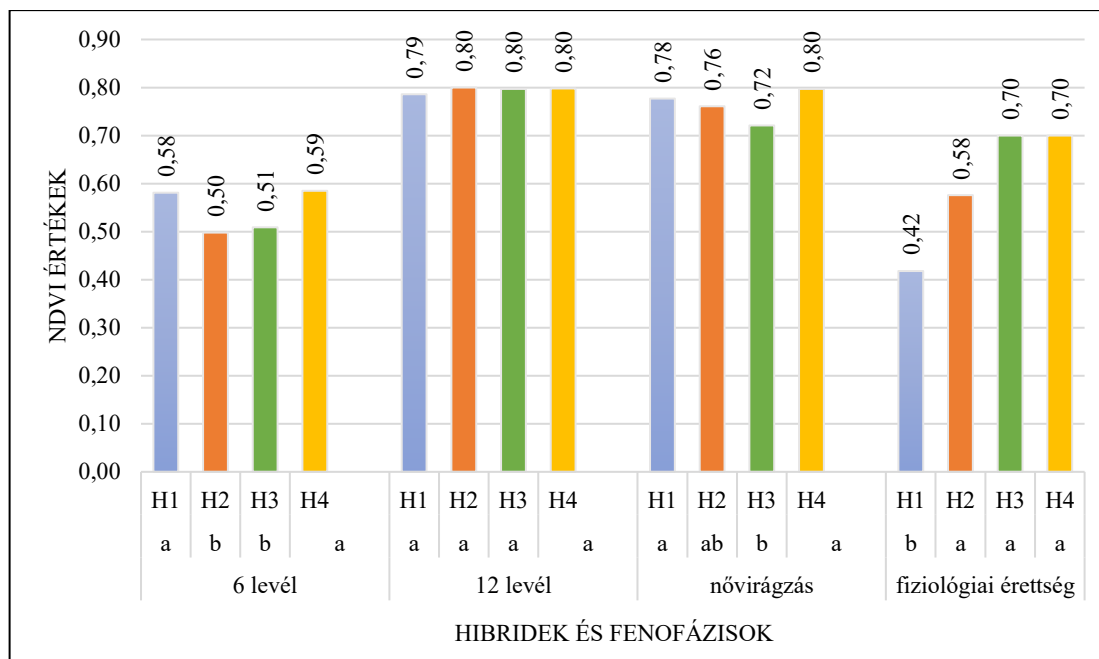


21. ábra: A kukorica SPAD értékei a 2021-es évben (Debrecen-Látókép, 2021) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten.)*

Az ábrán jól látható, hogy a fenológiai fázisok előrehaladtával a SPAD értékek növekvő tendenciát mutatnak egészen a nővirágzásig (21. ábra). 6 leveles állapotban átlagosan 33,55 volt a SPAD érték. Legalacsonyabb értéket a H1 hibrid mutatott (29,1) a legnagyobbat a H4 hibrid (38,4), ez 31 %-kal magasabb eredmény. 12 leveles korban átlagosan 48,00 értéket mértem, legmagasabb eredménye a H1 (50,3) hibridnek, legalacsonyabb eredménye a H2 (44,7) hibridnek volt, amely 11 %-kal alacsonyabb. Nővirágzáskor átlagosan 60,65 volt a SPAD érték. Ebben a szakaszban a hibridek között kiegyenlítettebben alakultak a SPAD értékek. Átlagon felüli eredményt a H3 (62,1) és H4 (61,0) genotípus mutatott. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag SPAD érték 46,97 volt. Jelentősen alacsonyabb értéket (amely 33 %-kal kisebb) a H1 hibridnél mértem (34,6), legmagasabbat a H2 (51,8) és H3 (51,7) hibridnél. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 és 12 leveles állapot, és fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.2.3 Az NDVI értékek alakulása a 2021-es évben

A 22 ábra a 4 mérési időpontban mért NDVI eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.



22. ábra: A kukorica NDVI értékei a 2021-es évben (Debrecen-Látókép, 2021) Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p=5\%$ szinten.)

Az NDVI értékek a 6 leveles állapottól a nővirágzásig növekvő tendenciát mutatnak. 6 leveles állapotban átlagosan 0,54 NDVI értéket eredményeztek a hibridek. Legmagasabb értéket a H1, H4 hibridnél mértem (0,58-0,59) a legalacsonyabbat a H3 hibridnél (0,50), ez 15 %-kal alacsonyabb. A 12 leveles állapotban mért eredményeknél a H1 hibridnél 0,79 értéket, a többi vizsgált három hibrid esetében 0,80 NDVI értéket mértem. Nővirágzáskor legmagasabb értéket, egyben stagnálást a H4 hibrid mutatott (0,80). A többi genotípusnál enyhe NDVI értékcsökkenést mértem. A H4 hibrid 11 %-os többletet mutatott a H3 hibridhez mérten. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag érték 0,6 volt. Legmagasabb értéke a H3 és H4 (0,7) hibridnek volt, (+66 % a legalacsonyabb eredményhez viszonyítva), amelyek jelentős csökkenést nem mutattak a nővirágzás idejében elért eredményekhez nézve. Legalacsonyabb NDVI értéke a H1 (0,42) genotípusnak volt. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 leveles állapot, nővirágzás és fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.2.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2021-es évben

A 2021-es évben legnagyobb növénymagasságot a H4 hibridnél mértem (297,7 cm), ezt követte a H2 (285 cm) és H3 hibrid 279,5 cm-rel (13. táblázat). Legalacsonyabbnak bizonyult a H1 genotípus 264 cm-rel, amely 11 %-kal alacsonyabb, mint a legmagasabb hibrid. A csőmagasságok 101,4-129,7 cm között változtak.

13. táblázat: A hibridek fenometriai paramétereinek eredménye a 2021-es évben (Debrecen-Látókép 2021)

Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Növénymagasság (cm)	264 ^c	285 ^b	279,5 ^b	297,9 ^a
Csőmagasság (cm)	101,4 ^c	112,3 ^b	116,8 ^b	129,7 ^a
Szárátmérő (mm)	18,55 ^b	17,02 ^c	20,4 ^a	18,00 ^{bc}
Levélfelület index	5,0 ^a	4,3 ^b	3,8 ^c	4,7 ^{ab}

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten.)

Az átlagtól (115,1 cm) kiemelkedően nagyobb magasságot mutatott a H4 (129,7 cm) hibrid (+27 %). A H2 és H3 genotípusnál közel azonos magasságot mértem (112,3 és 116,8 cm). Átlag alatti értéke a H1 hibridnek volt. A szárátmérők átlagosan 18,5 mm körül alakultak. A legnagyobb eredményt a H3 hibrid esetében mértem (20,4 mm). 20,58 mm értékeket felvételeztem a H3 hibridnél. Átlagon aluli szárátmérője a H2 (17,02 mm) és H4 (18,00 mm) hibridnek volt. A H3 hibrid 19 %-kal nagyobb eredményt ért el, mint a H2 genotípus. A virágzáskori legmagasabb levélfelületet vizsgálva a legnagyobb levélfelületet a H1 hibridnél mértem (5,0). Átlagon aluli, egyben legalacsonyabb értéket a H3 hibridnél mértem (3,8), ez 24%-kal alacsonyabb. A H2 hibrid 4,3 a H4 hibrid 4,7 LAI értéket eredményezett. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a növény- és csőmagasság, szárátmérő és LAI eredményei alapján szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.2.5 Csőparaméterek alakulása a 2021-es évben

A betakarítást megelőzően vizsgált csöveken a következő paraméterek eredményeit kaptam a 2021-es tenyészévben (14. táblázat). A csőhossz mérése során a hibridek sorrendje H4 (18,6 cm), H3 (17,5 cm), H2 (16,8 cm) és H1 (16,7 cm) volt. A H4 hibrid 11 %-kal nagyobb csőhosszt produkált a legalacsonyabb értékhez viszonyítva. A csőátmérő vizsgálatnál a H2 (52,1 mm) és H4 (50,2 mm) hibridnél mértem kiemelkedően magas eredményt. Legalacsonyabb eredménye a H1 hibridnek volt (45,2 mm), amely 13 %-kal kevesebb. Legmagasabb szemszáma a H4 genotípusnak volt (640 db), 29 %-kal magasabb eredményt ért el, mint a H3 hibrid (495 db). 500 darab feletti szemszáma volt a másik két hibridnek (519 és 567 db). A korábbi tendenciákhoz hasonlóan a H4 hibridnél mértem a legmagasabb csőtömeget (282,7 g), amelyből következtetve is a legmagasabb

(251,2 g) szem- és csutkatömeget (31,52 g) eredményezte. Szem-csutka aránya is kedvező (8,3 %).

14. táblázat: A hibridek terméselem paramétereinek eredménye a 2021-es évben (Debrecen-Látókép 2021)

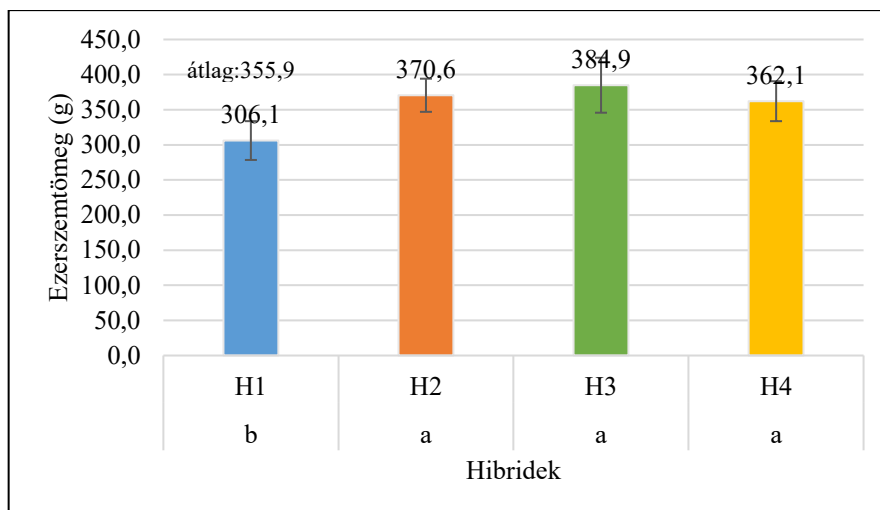
Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Csőhossz (cm)	16,7 ^a	16,8 ^a	17,5 ^a	18,6 ^a
Csőátmérő (mm)	45,2 ^b	52,1 ^a	46,4 ^b	50,2 ^a
Szemszám (db)	519 ^b	567 ^{ab}	495 ^b	640 ^a
Csőtömeg (g)	183,1 ^c	248,2 ^{ab}	216,2 ^{bc}	282,7 ^a
Szemtömeg (g)	168,8 ^c	223,4 ^{ab}	195,4 ^{bc}	251,2 ^a
Csutkatömeg (g)	14,32 ^c	24,74 ^{ab}	20,64 ^{bc}	31,52 ^a
Szem-Csutka arány (%)	12,8 ^a	9,1 ^b	9,7 ^b	8,3 ^b
Sorok száma (db)	16 ^b	18 ^a	14 ^c	16 ^{bc}
Szemszám egy sorban (db)	33 ^{bc}	32 ^c	39 ^{ab}	42 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

Legalacsonyabb csőtömege a H1 hibridnek volt (183,1 g) a legalacsonyabb szemtömeeggel (168,8 g) és csutkatömeeggel (14,32 g) társulva. Legmagasabb szem-csutka arányt (12,8 %) mutatta. A H2 és H3 hibrid átlagos, kedvező csőtömeeggel rendelkezik (248,2 és 216,2 gramm). Szemtömegük is kedvezően alakult 223,4 gramm, illetve 195,4 gramm. Szem-csutka arányuk kedvező 9,1 % és 9,7 %. A H4 hibrid + 54 %-os csőtömeeggel és + 48 %-os szemtömeeggel rendelkezik, mint a H1 hibrid. A csövön mért legtöbb sor száma a H2 hibridnek volt (18 db), legkevesebb a H3 hibridnek (14 db). Azonban legalacsonyabb egy sorban lévő szemszáma a H1 (33 db) és H2 (32 db) hibridnek volt. Legtöbb szemszáma egy sorban a H4 hibridnek volt (42 db) (+ 31 % a legkisebb eredménytől). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a csőhossz mért eredményeinek kivételével, minden vizsgált paraméternél szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

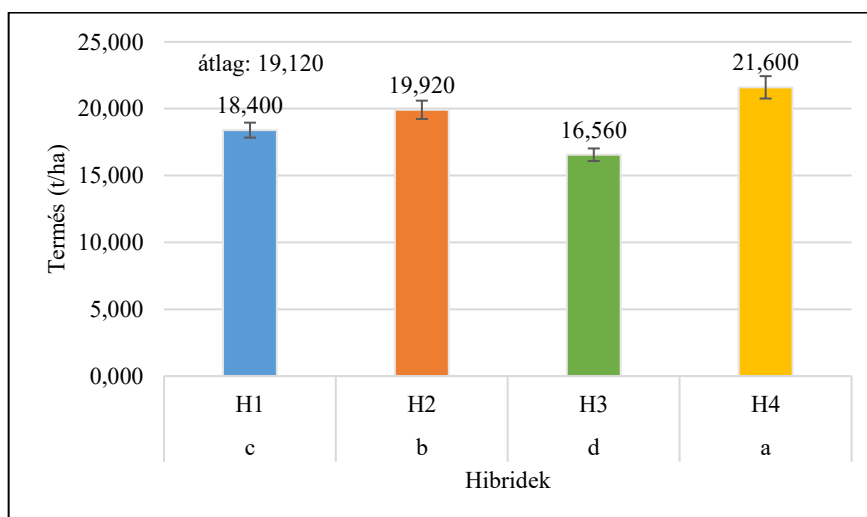
4.2.6 Ezerszemtömeg a 2021-es évben

Az ezerszemtömeg vizsgálatkor a négy hibrid átlagát tekintve a 2021-es évben 355,9 gramm tömeget értek el. Átlagon aluli értéket a H1 genotípus eredményezett (306,1 gramm). Legmagasabb értéke a H3 hibridnek volt 384,9 gramm ezerszemtömeeggel, ez 25 %-kal nagyobb eredmény. Ezt követte a H2 (370,6 gramm) majd a H4 (362,1 gramm) hibrid. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján az ezerszemtömeg vizsgálatkor szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között (23. ábra).



23. ábra: A kukorica hibridek ezerszemtömegének értékei a 2021-es évben (Debrecen-Látókép, 2021) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten.)*

A vizsgált 4 hibrid közül a H4 (FAO 490) érte el a legkiemelkedőbb termésátlagot, 21,600 t ha⁻¹-os eredményével (24. ábra).



24. ábra: A kukorica hibridek terméseredményeinek értékei a 2021-es évben (Debrecen-Látókép, 2021) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten.)*

Ezen kívül átlagon (19,920 t ha⁻¹) felül teljesített a H2 (FAO 390-410) 19,920 t ha⁻¹ termékkel. Az átlagtól legnagyobb mértékben a H3 (FAO 350-360) maradt el, 16,560 t ha⁻¹-os értékkel. A H1 (FAO 420) 18,400 t ha⁻¹ termést eredményezett. A H4 hibrid 30 %-kal magasabb terméseredményt ért el a H3 hibridhez képest. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a terméseredmények szignifikáns különbséget mutattak a vizsgált hibridek között.

4.2.7 Beltartalmi értékek a 2021-es évben

A vizsgált beltartalmi értéket (szemnedvesség, olaj, fehérje, keményítő) a következő táblázat tartalmazza (15. táblázat).

15. táblázat: A hibridek beltartalmi paramétereinek eredménye a 2021-es évben (Debrecen-Látókép 2021)

Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Szemnedvesség (%)	17,4 ^c	19,2 ^b	16,4 ^c	20,5 ^a
Fehérje (%)	6,20 ^a	6,32 ^a	6,21 ^a	6,34 ^a
Olaj (%)	3,2 ^{ab}	2,9 ^b	3,6 ^a	3,0 ^b
Keményítő 100 g sz. a. (%)	77,96 ^b	79,34 ^b	76,08 ^c	80,82 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten.)

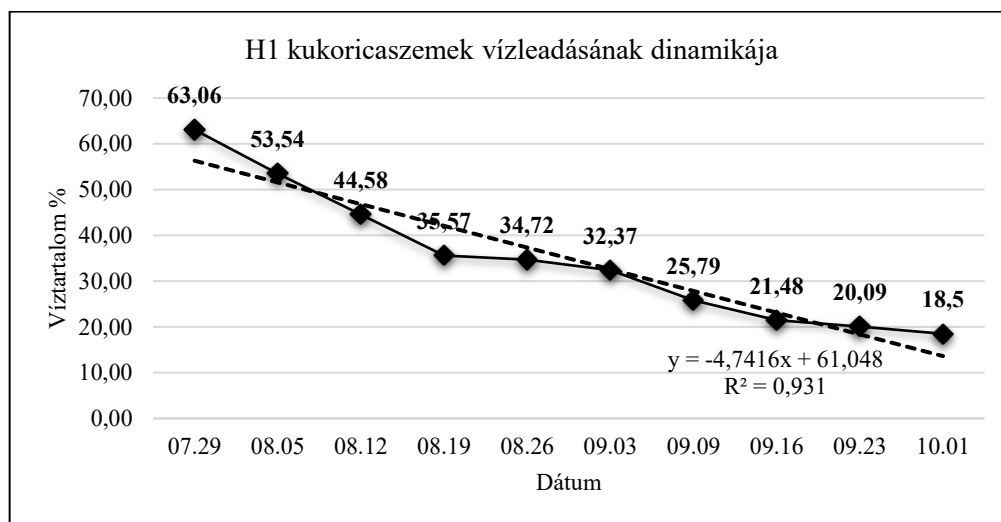
A hibridek betakarításkori szemnedvesség tartalma 16,4-20,5 % között változott. Legkisebb nedvességtartalommal a H3 (FAO 350-360) lett betakarítva, majd ezt követte a H1 (FAO 420) hibrid 17,4 %-kal és a H2 (FAO 390-410) 19,2 %-kal. Legnagyobb nedvessége a H4 (FAO 490) hibridnek volt (20,5 %).

Az olajtartalom átlagosan 3,2 % volt. Magasabb olajtartalma a H1 (3,2 %) és a H3 (3,6 %) hibridnek volt. Elmaradt a többi vizsgált genotípustól a H2 hibrid 2,9 % értékkel és a H4 hibrid 3,0 %-kal. A H3 hibrid 24 %-kal magasabb olajtartalmat ért el, mint a H2 hibrid. A fehérjetartalom 6,3 %-os eredményt mutatott a genotípusok átlagában. 6,3 % feletti eredménye a H2 (6,32 %), a H4 (6,34 %) hibridnek volt. Az átlag alatti értéket a H1 (6,20 %) és H3 (6,21 %) genotípus mutatott. A keményítőtartalom értékeit figyelembe véve 78,55 % alatt a H1 és H3 hibrid (77,96 %, 76,08 %) volt. A H2 (79,34 %) hibridnél átlag feletti értéket mértem, legmagasabb keményítő tartalma a H4 (80,82 %) genotípusnak volt. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a beltartalmi értékeknél (a fehérjetartalom kivételével) igazolható volt a szignifikáns különbség a vizsgált hibridek között.

4.2.8 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2021-es évben

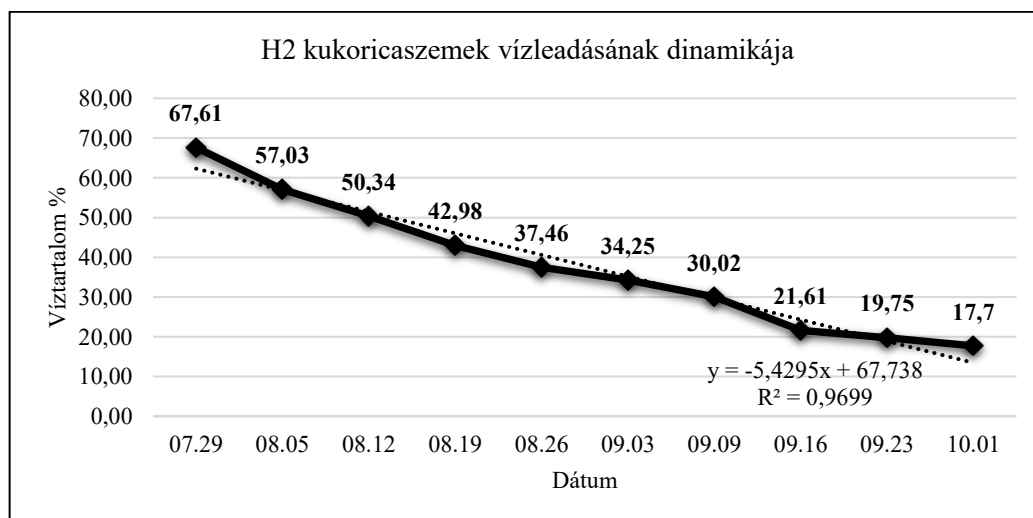
A 2021-es vizsgálati évben a vízleadás dinamikájának megfigyeléséhez a tenyészedőszak során 9 alkalommal végeztem a méréseket egészen a betakarítást megelőző időpontig. A H1 hibrid esetében a víztartalom veszteség a következő arányokban történt, 63,06 % július 29-én, 53,54 % augusztus 5-én, 44,58 % augusztus 12-én, 35,57

% augusztus 19-én, 34,72 % augusztus 26-án, 32,37 % szeptember 3-án, 25,79 % szeptember 9-én, 21,48 % szeptember 16-án, 20,09 % szeptember 23-án. Betakarításkori szemnedvesség tartalma 18,5 % (október 1.). Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,93$ (25. ábra).



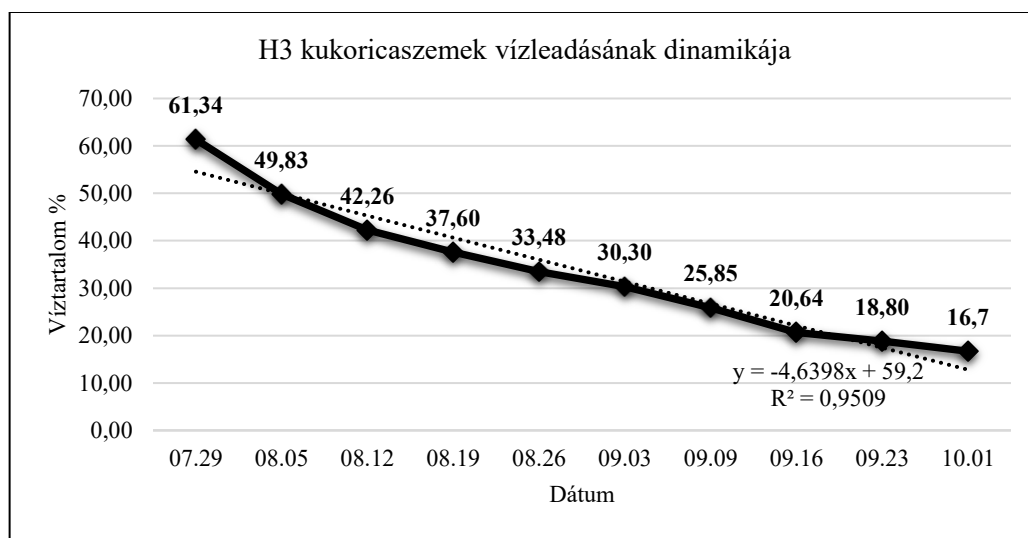
25. ábra: A H1 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2021)

A H2 hibridnél csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,96$ (26. ábra). A víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 67,61 % július 29-én, 57,03 % augusztus 5-én, 50,34 % augusztus 12-én, 42,98 % augusztus 19-én, 37,46 % augusztus 26-án, 34,25 % szeptember 3-án, 30,02 % szeptember 9-én, 21,61 % szeptember 16-án, 19,75 % szeptember 23-án. Betakarításkori szemnedvesség tartalma 17,7 % (október 1.).



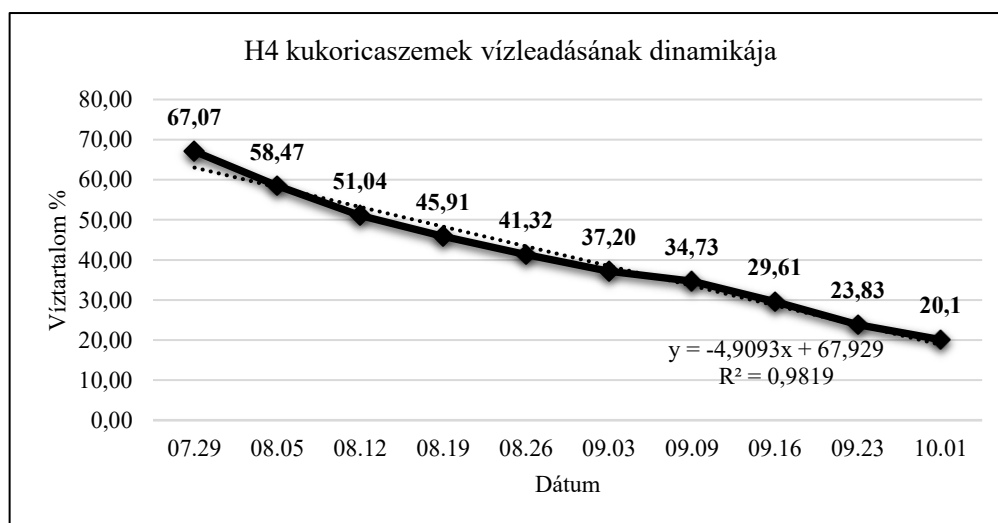
26. ábra: A H2 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2021)

A H3 hibrid esetében a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 61,34 % július 29-én, 49,83 % augusztus 5-én, 42,26 % augusztus 12-én, 37,60 % augusztus 19-én, 33,48 % augusztus 26-án, 30,30 % szeptember 3-án, 25,85 % szeptember 9-én, 20,64 % szeptember 16-án, 18,80 % szeptember 23-án. Betakarításkori szemnedvesség tartalma 16,7 % (október 1.). Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,95$ (27. ábra).



27. ábra: A H3 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2021)

A H4 hibrid esetében a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 67,07 % július 29-én, 58,47 % augusztus 5-én, 51,04 % augusztus 12-én, 45,91 % augusztus 19-én, 41,32 % augusztus 26-án, 37,20 % szeptember 3-án, 34,73 % szeptember 9-én, 29,61 % szeptember 16-án, 23,83 % szeptember 23-án. Betakarításkori szemnedvesség tartalma 20,1 % (október 1.) (28. ábra).



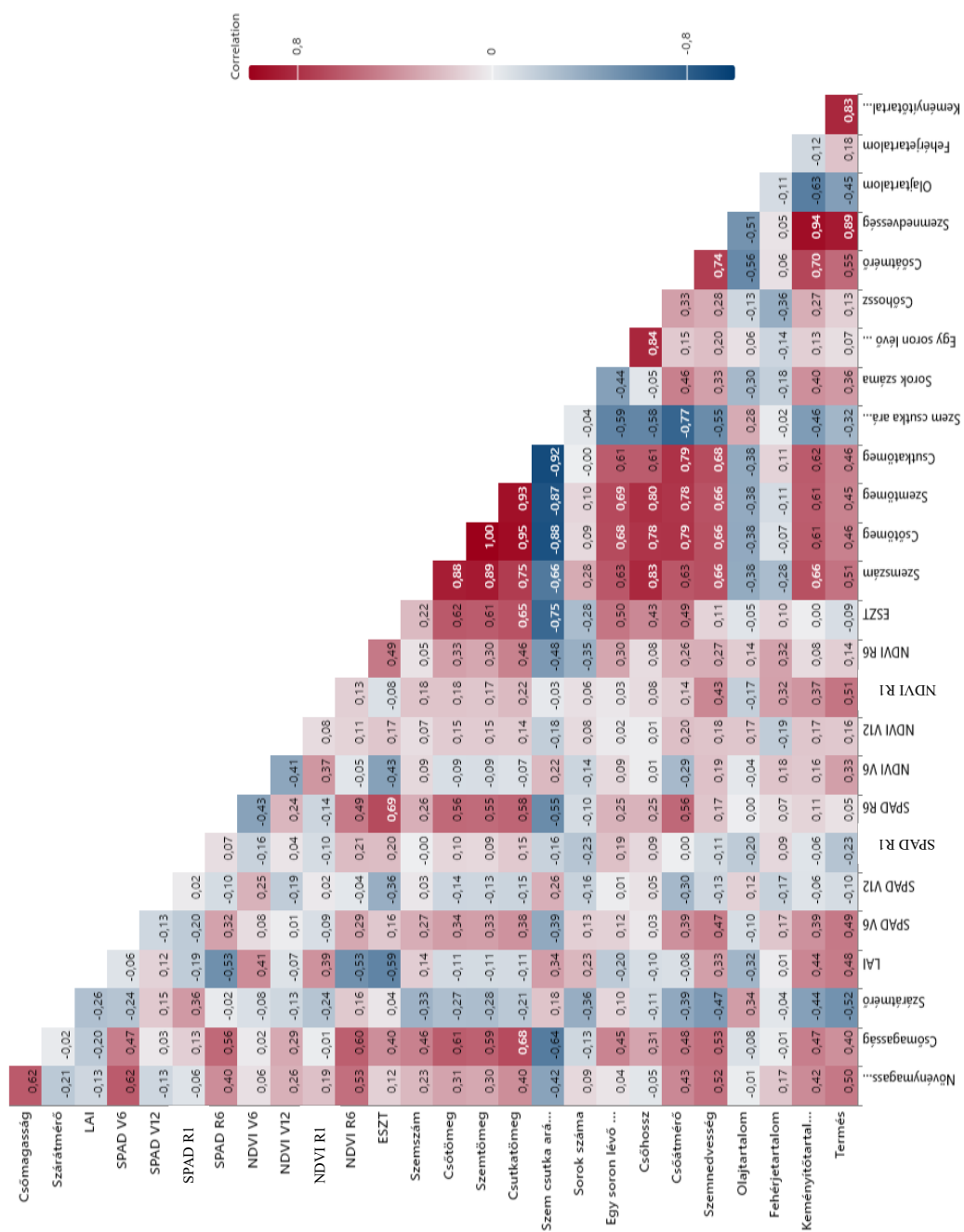
28. ábra: A H4 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2021)

Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,98$.

4.2.9 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2021-es évben

A vizsgált tényezőket Pearson-féle összefüggés vizsgálattal értékeltem, az eredményeket a 16. táblázat mutatja. A növény, - és csőmagasság is pozitív közepesen kapcsolatban volt a termésmennyiséggel (0,496**; 0,396*). A növénymagasság a SPAD V6 és NDVI R6 fenofázisban mért értékekkel statisztikailag igazolt pozitív szoros korrelációban volt (0,618***, 0,534***). A fiziológiai érettség szakaszában mért SPAD értékekkel pozitív közepes korrelációban volt (0,405*). A csőmagasság a SPAD V6 értékeivel pozitív közepes (0,472**), a fiziológiai érettség szakaszában mért SPAD és NDVI értékekkel pozitív szoros kapcsolatot eredményezett (0,559***, 0,602***). A csőtömeg és növénymagasság pozitív közepes (0,315*) kapcsolatban volt. A csőmagasság a csőtömeggel (0,61***) és a szemtömeggel is (0,591***) pozitív szoros korrelációban volt. A Levélfelület és a termés pozitív közepes (0,48*) statisztikailag is igazolt ($P < 0,05$) korrelációban volt. A SPAD V6 eredményei pozitív közepes kapcsolatban voltak a csőátmérővel (0,389*) és terméseredményekkel (0,492**). A SPAD R6 és cső, - szem, - csutkatömeg között szoros pozitív (0,56***; 0,551****; 0,575***) korreláció lépett fel. A terméseredmény a hatleveles állapotban mért NDVI értékekkel pozitív közepes (0,331*), a nővirágzás NDVI értékeivel pedig pozitív szoros (0,508**) korrelációban volt. A szemszám és csőátmérő a terméseredményekkel pozitív szoros (0,515**; 0,552****) kapcsolatban volt. A termésmennyisége a cső, - szem és csutkatömeggel, illetve a szemsorok számával pozitív közepes korrelációban volt (0,456**, 0,45**, 0,459**, 0,356*). Beltartalmi értékek közül az olajtartalom a keményítővel negatív szoros (-0,629****) korrelációban volt. A keményítőtartalom és termés között pozitív szoros (0,833****) kapcsolat lépett fel.

16. táblázat: Pearson-féle korreláció vizsgálat eredménytáblázata (2021)



4.3 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2022, Látókép

4.3.1 A hőösszeg jellemzése a 2022-es kísérleti évben

17. táblázat: A hibridek Hanway skála alapján mért hőösszeg adatai a 2022-es évben (Debrecen-Látókép 2022)

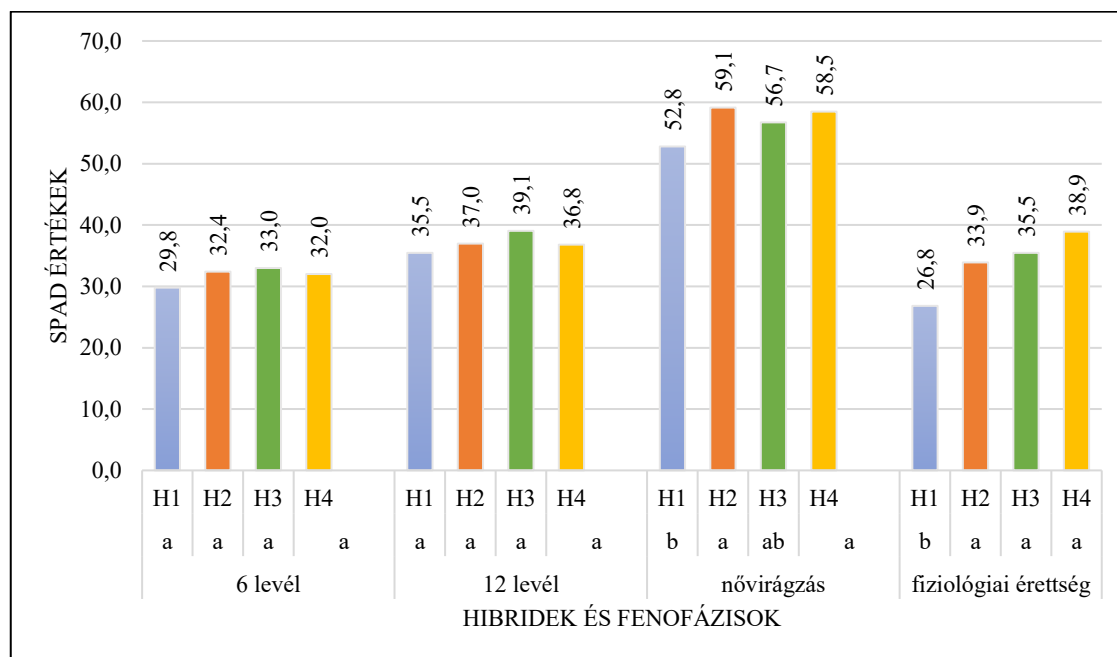
Hibridek		kelés	6 levél	12 levél	hímvirágzás (75%)	nővirágzás (75%)	fiziológiai érettség	betakarítás
H1	dátum	05.06.	05.23.	06.11.	07.01.	07.02.	09.06.	10.10.
	hőösszeg °C	0	140	316	546	561	1377	1570
H2	dátum	05.07.	05.23.	06.11.	07.01.	07.04.	08.31.	10.10.
	hőösszeg °C	0	133	309	539	583	1320	1564
H3	dátum	05.10.	05.23.	06.11.	06.29.	07.01.	08.31.	10.10.
	hőösszeg °C	0	110	286	486	561	1297	1541
H4	dátum	05.06.	05.23.	06.11.	07.01.	07.03.	08.24.	10.10.
	hőösszeg °C	0	140	316	546	576	1233	1570

A 6, 12 leveles állapot és betakarítás minden hibrid esetében azonos időben volt (17. táblázat: A hibridek Hanway skála alapján mért hőösszeg adatai a 2022-es évben (Debrecen-Látókép 2022)). Kelés felvételezéskor a H1 és H4 hibrid egy napon volt megfigyelhető (05.06.), így a 6 és 12 leveles állapotban ugyanannyi hőösszeg volt szükséges (140 és 316 °C), illetve a betakarításkor a korábbi kelés eredményeképp a legtöbb hőösszegre volt szükség (1570 foknap). A H2 és H3 hibrid egy, illetve négy nappal később kelt ki állomány szinten, így kisebb hőösszeget mértem a 6 és 12 leveles felvételezéskor (133 és 309 °C, illetve 110 és 286 °C). A H1, H2 és H4 genotípus hímvirágzása egy napon volt felvételezhető (július 1.), azonban az eltérő kelési idő miatt a H2 hibridnek kisebb hőösszegre volt szüksége, az egy napon kikelt H1 és H4 hibridnél 546 foknapot mértem hímvirágzáskor. A H3 hibrid virágzása volt legkorábban megfigyelhető, így a 75%-os pollenszóráskor 486 foknap (06.29.), nővirágzáskor (07.01.) 550 foknap elegendő volt a hibrid számára. A nővirágzás ezt követően a H1 (561 °C) H4 (576 °C) és H2 (583 °C) sorrendben alakult. A H4-es hibrid érte el leghamarabb a biológiai érettségét (08.24.), ehhez elegendő volt 1233 °C nap. Ezt követte 08.31-én a H2

(1320 °C) és H3 (1297 °C) hibrid. Legkésőbb jelent meg a feketeréteg a H1-es genotípusnál (09.06.), ehhez 1377 °C napra volt szükség. Betakarítás időszakában a négy hibrid hőösszeg igénye 1541-1570 °C között változott.

4.3.2 A SPAD értékek alakulása a 2022-es évben

A 29. ábra a 4 mérési időpontban mért SPAD eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.

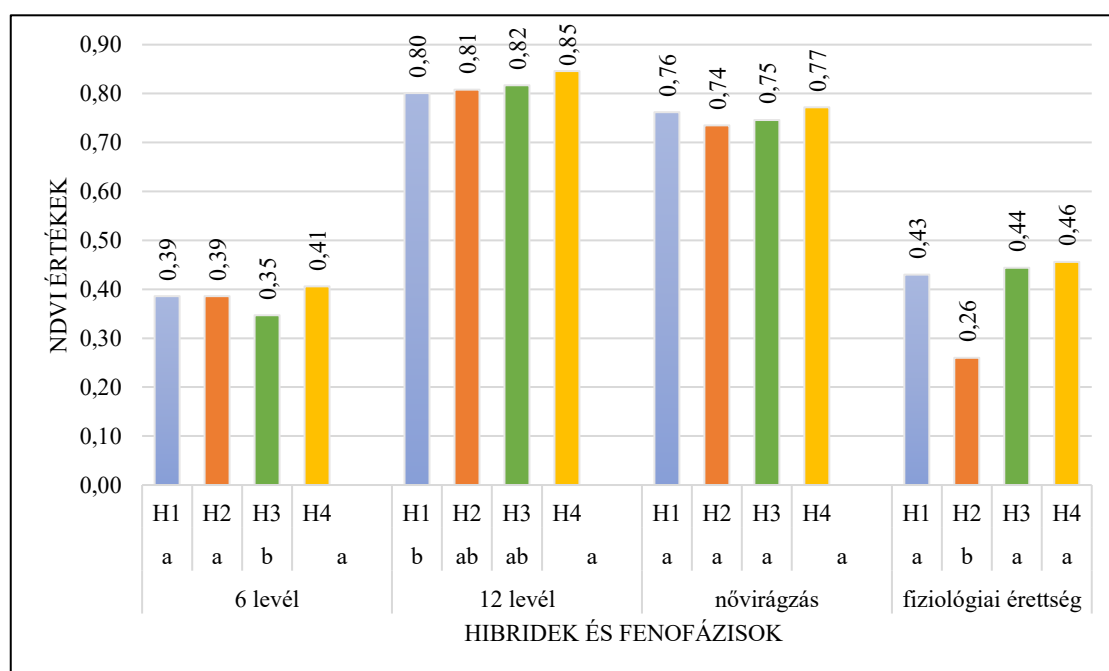


29. ábra: A kukorica SPAD értékei a 2022-es évben (Debrecen-Látókép, 2022) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten.)*

Az ábrán jól látható, hogy a fenológiai fázisok előrehaladtával a SPAD értékek növekvő tendenciát mutatnak egészen a nővirágzásig. 6 leveles állapotban átlagosan 31,8 volt a SPAD érték. Legalacsonyabb értéket a H1 hibrid mutatott (29,8), a legnagyobbat a H3 hibrid (33,0). 12 leveles korban átlagosan 37,1 értéket mértem, legmagasabb eredménye a H3 (39,1) hibridnek, legalacsonyabb eredménye a H1 (35,5) hibridnek volt. A H3 hibrid a 6 és 12 leveles állapotban is 10 %-kal volt magasabb a H1 hibrid értékeinél. Nővirágzáskor átlagosan 56,77 volt a SPAD érték. Átlagon felüli eredményt a H2 (59,1) és H4 (58,5) genotípus mutatott. Legalacsonyabb értéke a H1 (52,8) hibridnek volt, ez 10 %-kal maradt el a H2 hibridtől. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag SPAD érték 33,77 volt. A legalacsonyabb értéket a H1 (26,8), legmagasabbat a H4 (38,9) hibridnél mértem (+ 45 %). Minden vizsgált fenofázisban a H1 hibridnél mértem a legalacsonyabb értékeket. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a nővirágzás és fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.3.3 Az NDVI értékek alakulása a 2022-es évben

A 30. ábra a 4 mérési időpontban mért NDVI eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.



30. ábra: A kukorica NDVI értékei a 2022-es évben (Debrecen-Látókép, 2022) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten.)*

Az NDVI értékek a 6 leveles állapottól a nővirágzásig növekvő tendenciát mutatnak. 6 leveles állapotban átlagosan 0,38 NDVI értéket eredményeztek a hibridek. Legmagasabb értéket a H4 hibridnél mértem (0,41), a legalacsonyabbat a H3 hibridnél (0,35), 14 %-kal kevesebbet. A 12 leveles állapotban mért eredményeknél a legkisebbet a H1 hibridnél (0,80) a legmagasabbat a H4 (0,85) hibridnél mértem. Nővirágzáskor legmagasabb értéket szintén a H4 hibrid mutatott (0,77). A fiziológiai érettség szakaszában az átlag érték 0,39 volt. Legmagasabb értéke a H3 és H4 (0,44 és 0,46) hibridnek volt. Legalacsonyabb NDVI értéke a H2 (0,26) genotípusnak, amely 43 %-kal alacsonyabb. A tenyészidőszakban minden mérésnél a H4 hibrid eredményezte a legmagasabb NDVI értékeket. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 és 12 leveles állapot, illetve a fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.3.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2022-es évben

A 2022-es évben legnagyobb növénymagasságot a H3 és H4 hibridnél mértem (318,9 és 318,2 cm), ezt követte a H2 hibrid (317,8 cm) (18. táblázat).

18. táblázat: A hibridek fenometriai paramétereinek eredménye a 2022-es évben (Debrecen-Látókép 2022)

Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Növénymagasság (cm)	293 ^b	317,8 ^a	318,9 ^a	318,2 ^a
Csőmagasság (cm)	123,9 ^b	132,9 ^a	133,2 ^a	128,4 ^{ab}
Szárátmérő (mm)	18,11 ^b	20,29 ^a	19,43 ^{ab}	20,49 ^a
Levélfelület index	5,0 ^a	4,8 ^{ab}	4,2 ^b	5,0 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten.)

Legalacsonyabbnak bizonyult a H1 genotípus 293 cm-rel, 12 %-kal alacsonyabb volt a mért legmagasabb értéktől. A csőmagasságok 123,9-133,2 cm között változtak. Közel azonos magasságot mutatott a H3 (133,2 cm) és H2 (132,9 cm) hibrid. Kevéssel maradt el a H4 (128,4 cm) genotípus. Átlag alatti értéke a H1 hibridnek volt (123,9 cm). A szárátmérőknél a legnagyobb eredményt a H4 (20,49 mm) és H2 (20,29 mm) hibrid esetében mértem 19,43 mm értékeket felvételeztem a H3 hibridnél. Átlagon aluli szárátmérője a H1 (18,11 mm) hibridnek volt. A legmagasabb eredmény 13 %-kal volt nagyobb a H1 hibridnél. A virágzáskori legmagasabb levélfelületet vizsgálva a legnagyobb levélfelületet a H1 és H4 hibridnél mértem (5,0). Legalacsonyabb értéket a H3 hibridnél mértem (4,2), ez 16 %-kal alacsonyabb eredmény. A H2 hibrid 4,8 LAI értéket eredményezett. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján minden paraméternél szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.3.5 Csőparaméterek alakulása a 2022-es évben

A betakarítást megelőzően vizsgált csöveken a következő paraméterek eredményeit kaptam a 2022-es tenyészévben (19. táblázat). A csőhossz mérése során a hibridek sorrendje H4 (20 cm), H1 (19,6 cm), H3 (19 cm) és H2 (18,8 cm) volt. A csőátmérő vizsgálatnál a H4 (51,5 mm) és H2 (50,7 mm) hibridnél mértem kiemelkedően magas eredményt, kis mértékben maradt el a H3 genotípus 49 mm-el. Legalacsonyabb eredménye a H1 hibridnek volt (47,3 mm). A H4 hibrid 8 %-kal eredményezett nagyobb szárátmérőt a legkisebb értékhez mérve. Szinte megegyezően legmagasabb szemszáma a H4 és H2 genotípusnak volt (586 és 585 db), míg legkevesebbet a H3 hibrid eredményezett (453 db). 498 darab szemszámot mértem a H1 hibridnél. A H4 hibrid 29 %-kal több szemszámot produkált a H3 hibridhez képest.

19. táblázat: A hibridek terméslelem paramétereinek eredménye a 2022-es évben (Debrecen-Látókép 2022)

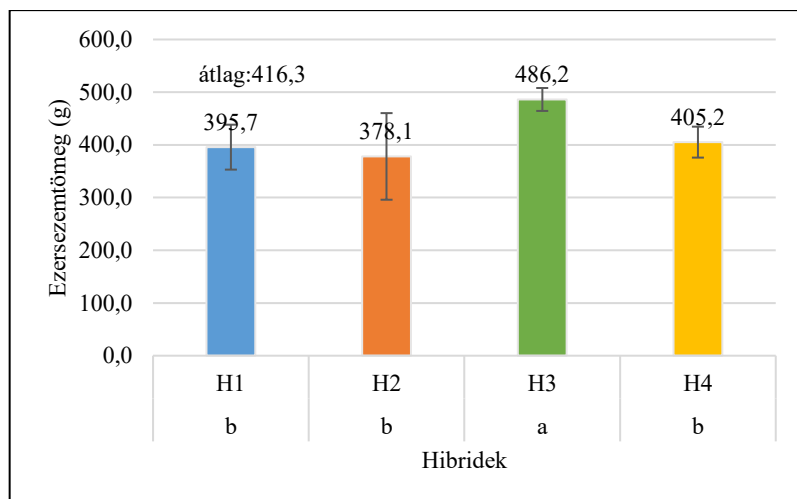
Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Csőhossz (cm)	19,6 ^a	18,8 ^a	19,0 ^a	20,0 ^a
Csőátmérő (mm)	47,3 ^b	50,7 ^a	49,0 ^{ab}	51,5 ^a
Szemszám (db)	498 ^{ab}	585 ^a	453 ^b	586 ^a
Csőtömeg (g)	216,1 ^b	247,6 ^{ab}	252,3 ^{ab}	265,8 ^a
Szemtömeg (g)	197,5 ^b	219,4 ^{ab}	222,0 ^{ab}	240,9 ^a
Csutkatömeg (g)	18,61 ^b	28,18 ^a	30,23 ^a	24,91 ^a
Szem-Csutka arány (%)	10,7 ^a	7,8 ^b	7,4 ^b	9,9 ^a
Sorok száma (db)	16 ^a	17 ^a	16 ^a	15 ^a
Szemszám egy sorban (db)	35 ^b	37 ^{ab}	39 ^{ab}	40 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten.)

A korábbi tendenciákhoz hasonlóan a H4 hibridnél mértem a legmagasabb csőtömeget (265,8 g), amelyből következtetve is a legmagasabb (240,9 g) szemtömeget eredményezte. Szem-csutka aránya is kedvező (9,9 %) volt. Legalacsonyabb csőtömege a H1 hibridnek volt (216,1 g), a legalacsonyabb szemtömege (197,5 g) és csutkatömeggel (18,61 g) társulva. A magasabb értékek + 23 % és 21 %-kal voltak nagyobbak. Legmagasabb szem-csutka arányt a H1 hibrid (10,7 %) mutatta. A H2 és H3 hibrid átlagos, kedvező csőtömeggel rendelkezik 247,6 és 252,3 gramm. Szeptömegük is kedvezően alakult 219,4 gramm, illetve 222 gramm. Szem-csutka arányuk 7,8 és 7,4 %. A csövön mért legtöbb sor száma a H2 hibridnek volt (17 db), legkevesebb a H4 hibridnek (15 db). Azonban legalacsonyabb egy sorban lévő szemszáma a H1 (35 db) és H2 (37 db) hibridnek volt. Legtöbb szemszáma egy sorban a H4 hibridnek volt (40 db). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a csőhossz és a csövön lévő sorok számán kívül minden más paraméternél szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.3.6 Ezerszeptömeg a 2022-es évben

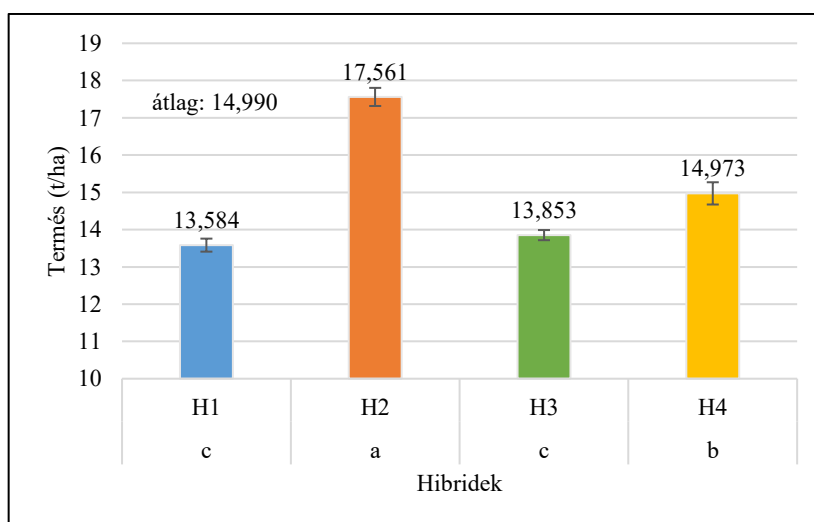
Az ezerszeptömeg vizsgálatkor a négy hibrid átlagát tekintve a 2022-es évben 416,3 gramm tömeget értek el. Átlagon felüli értéket a H3 genotípus eredményezett (486,2 gramm). Legalacsonyabb értéke a H2 hibridnek volt 378,1 gramm ezerszeptömeggel. Ezt követte a H1 (395,7 gramm), majd a H4 (405,2 gramm) hibrid. A H3 genotípus 28 %-kal nagyobb ezerszeptömeget ért el a legkisebb eredménytől. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján az ezerszeptömeg vizsgálatkor szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között (31. ábra).



31. ábra: A kukoricahibridek ezerszemtömegének értékei a 2022-es évben (Debrecen-Látókép, 2022) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

4.3.7 Terméseredmények a 2022-es évben

A vizsgált 4 hibrid közül a H2 (FAO 390-410) érte el a legkiemelkedőbb termésátlagot 17,561 t ha⁻¹-os eredményével. Ezt követte a H4 (FAO 490) genotípus 14,973 tonnás hektáronkénti átlaggal. Közel azonos eredménnyel lett betakarítva a H1 (FAO 420) és H3 (FAO 350-360) hibrid 13,585 és 13,853 t ha⁻¹ terméssel. A H2 hibrid 29 %-kal haladta meg a legkisebb termést elért hibridet. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a hibridek termésmennyiségei között szignifikáns különbség volt (32. ábra).



32. ábra: A kukoricahibridek terméseredményeinek értékei a 2022-es évben (Debrecen-Látókép, 2022) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

4.3.8 Beltartalmi értékek a 2022-es évben

A vizsgált beltartalmi értéket (nedvességtartalom, olaj, fehérje, keményítő) a következő táblázat tartalmazza (20. táblázat).

20. táblázat: A hibridek beltartalmi paramétereinek eredménye a 2022-es évben (Debrecen-Látókép 2022)

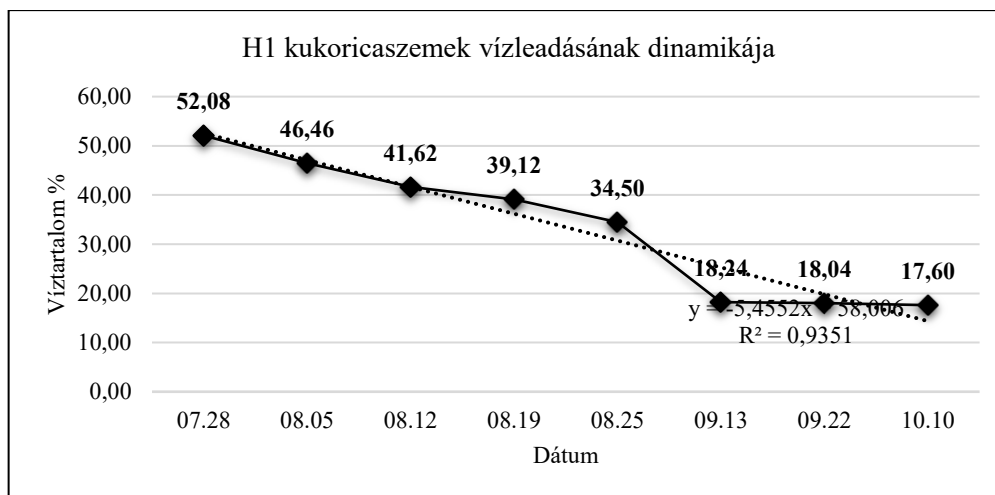
Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H4
Szemnedvesség (%)	15,2 ^{ab}	15,0 ^{ab}	14,8 ^b	15,4 ^a
Fehérje (%)	5,9 ^b	6,7 ^{ab}	6,6 ^{ab}	6,8 ^a
Olaj (%)	3,4 ^{ab}	3,3 ^b	3,8 ^a	3,3 ^b
Keményítő (%)	74,77 ^a	73,80 ^{ab}	72,68 ^{bc}	71,14 ^c

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

A hibridek betakarításkori szemnedvesség tartalma 14,8-15,4 % között változott. Legkisebb nedvességtartalommal a H3 (FAO 350-360) és H2 (FAO 390-410) lett betakarítva (14,8 % és 15,0 %) majd ezt követte a H1 (FAO 420) hibrid 15,2 %-kal. Legnagyobb nedvessége a H4 (FAO 490) hibridnek volt (15,4 %). Az olajtartalom átlagosan 3,43 % volt. Magasabb olajtartalma a H3 (3,8 %) és a H1 (3,4 %) hibridnek volt. Kicsivel elmaradva, 3,3 %-os olajtartalommal a H2 és H4 hibrid követte. A fehérjetartalom 6,49 %-os eredményt mutatott a genotípusok átlagában. Magasabb eredménye a H2 (6,7 %), a H3 (6,6 %) és H4 (6,8 %) hibridnek volt. Az átlag alatti értéket a H1 (5,9 %) genotípus mutatott, ez az érték 13 %-kal maradt el a legmagasabb mért eredménytől. A keményítőtartalom értékeit figyelembe véve 73,1 % alatt a H3 és H4 hibrid (72,68 %, 71,14 %) volt. A H2 (73,80 %) hibridnél átlag feletti értéket mértem, legmagasabb keményítő tartalma a H1 (74,77 %) genotípusnak volt. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a különböző paramétereknél szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

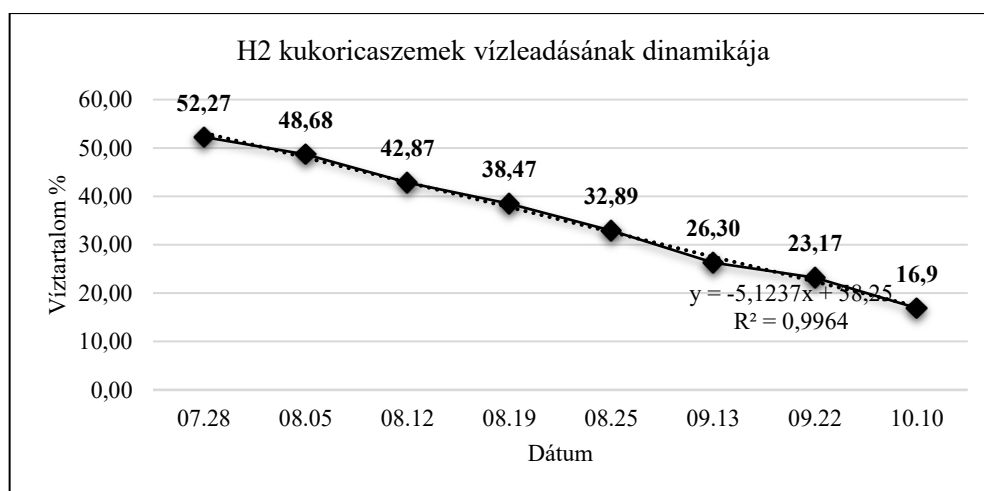
4.3.9 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2022-es évben

A 2022-es vizsgálati évben a vízleadás dinamikájának megfigyeléséhez a tenyészedőszak során 7 alkalommal végeztem a méréseket egészen a betakarítást megelőző időpontig.



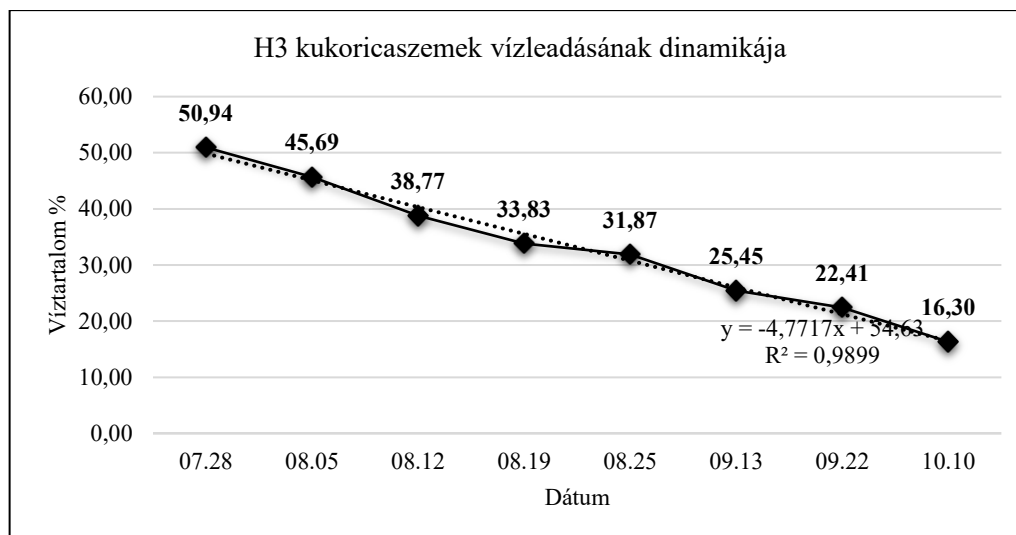
33. ábra: A H1 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2022)

A H1 hibrid esetében a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 52,08 % július 28-án, 46,46 % augusztus 5-én, 41,62 % augusztus 12-én, 39,12 % augusztus 19-én, 34,50 % augusztus 25-én, 18,24 % szeptember 13-án, 18,04 % szeptember 22-én, Betakarításkori szemnedvesség tartalma 17,60 % (október 10.). Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,93$ (33. ábra).



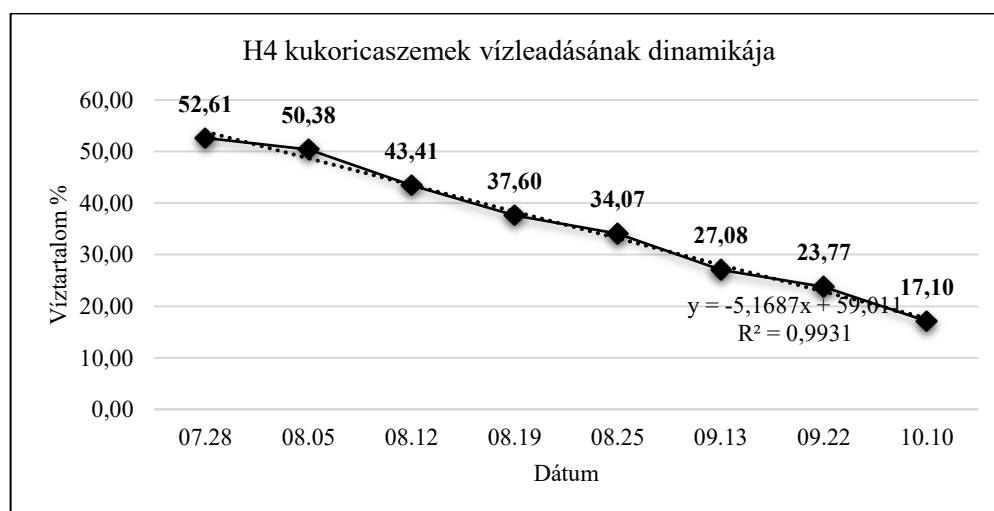
34. ábra: A H2 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2022)

A H2 hibrid esetében a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 52,27 % július 28-án, 48,68 % augusztus 5-én, 42,87 % augusztus 12-én, 38,47 % augusztus 19-én, 32,89 % augusztus 25-én, 26,30 % szeptember 13-án, 23,17 % szeptember 22-én. Betakarításkori szemnedvesség tartalma 16,9 % (október 10.). Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,99$ (34. ábra).



35. ábra: A H3 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2022)

A H3 hibrid esetében a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 50,94 % július 28-án, 45,69 % augusztus 5-én, 38,77 % augusztus 12-én, 33,83 % augusztus 19-én, 31,87 % augusztus 25-én, 25,45 % szeptember 13-án, 22,41 % szeptember 22-én, Betakarításkori szemnedvesség tartalma 16,30 % (október 10.). Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,98$ (35. ábra).



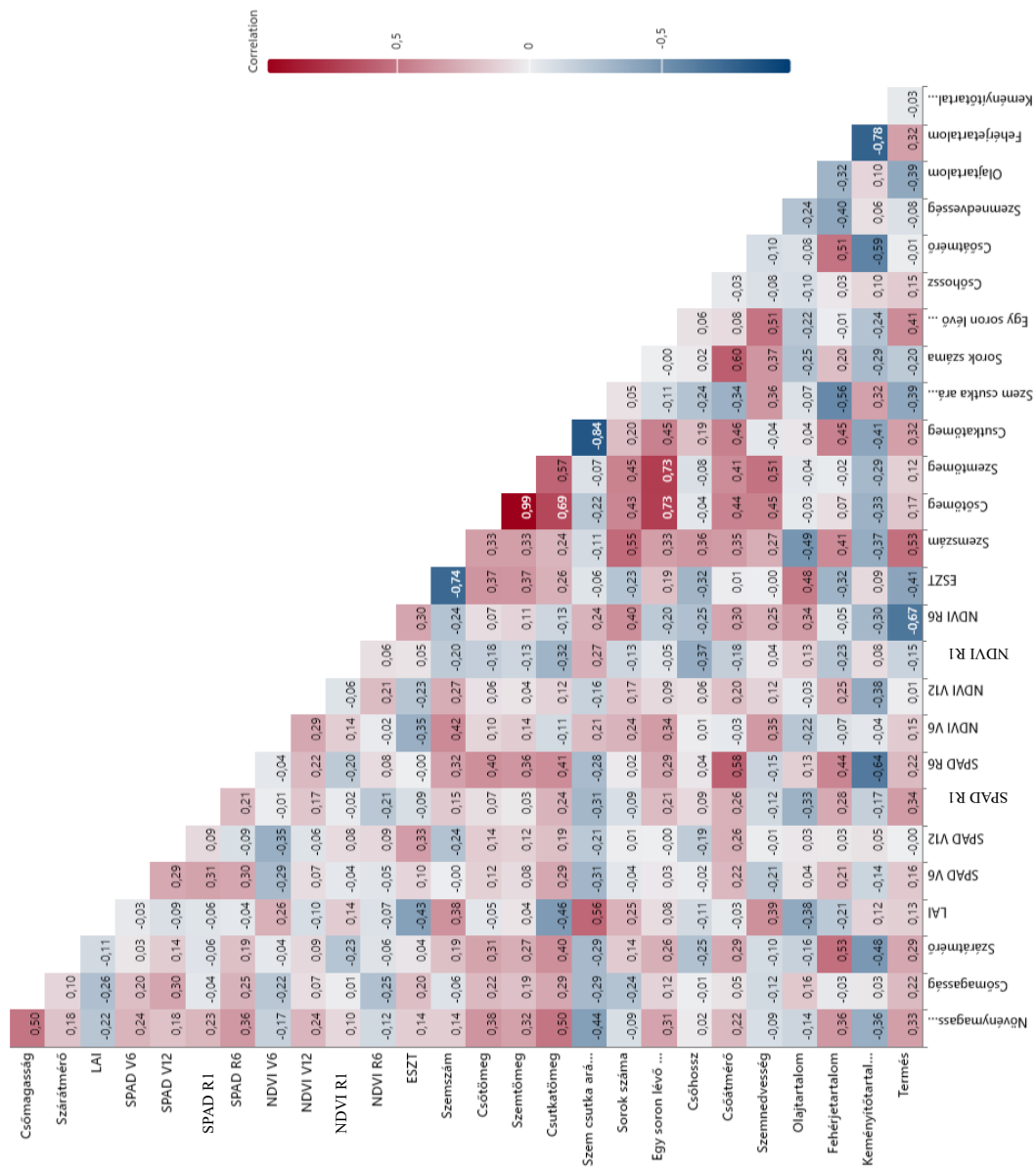
36. ábra: A H4 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2022)

A H4 hibrid esetében a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 52,61 % július 28-án, 50,38 % augusztus 5-én, 43,41 % augusztus 12-én, 37,60 % augusztus 19-én, 34,07 % augusztus 25-én, 27,08 % szeptember 13-án, 23,77 % szeptember 22-én. Betakarításkori szemnedvesség tartalma 17,10 % (október 10.). Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,99$ (36. ábra).

4.3.10 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2022-es évben

A vizsgált tényezőket Pearson-féle összefüggés vizsgálattal értékeltem, az eredményeket a 21. táblázat mutatja. A növénymagasság a cső, - szemtömeggel statisztikailag igazolt pozitív közepes (0,376*; 0,321*), a csutkatömeggel pozitív szoros (0,502**) korrelációban volt. A növénymagasság és termés között is pozitív közepesen (0,329*), a csőmagassággal pozitív gyenge (0,217) kapcsolatot találtam. A szárátmérő és csőtömeg között pozitív közepes (0,308) kapcsolat volt. A Levélfelület index a szemszámmal pozitív közepes (0,382*) korrelációban volt. Az ezerszemtömeg és a fiziológiai érettségkor mért NDVI értékek között pozitív közepes (0,302) a 12 leveles korban mért SPAD értékekkel is (0,335*) pozitív közepes kapcsolat lépett fel. A levélfelület index és termés gyenge pozitív korrelációban volt (0,129). A nővirágzáskor mért SPAD értékek a terméssel pozitív közepesen (0,34*) módon korreláltak. A fiziológiai érettség szakaszában mért SPAD eredmények és cső, - szem, - csutkatömeg között közepes pozitív (0,318*; 0,395*; 0,364*) korreláció lépett fel. Az egy sorban lévő szemszám a növénymagassággal és szárátmérővel pozitív közepes kapcsolatban volt (0,311, 0,263). A szemszám a terméssel pozitív szoros (0,529***), a csutkatömeggel és az egy sorban lévő szemek számával pozitív közepes módon (0,323*, 0,411**) korrelált. Beltartalmi értékek közül a fehérjetartalom az olajtartalommal negatív közepes (-0,324*), a keményítővel igen szoros negatív (-0,775***) korrelációban volt. A fehérjetartalom és termés között pozitív közepes (0,323*) kapcsolat lépett fel.

21. táblázat: Pearson-féle korreláció vizsgálat eredménye (2022)



4.4 A kísérlet eredményei és azok értékelése 2023, Látókép

4.4.1 A hőösszeg jellemzése a 2023-as kísérleti évben

A 22. táblázat mutatja a különböző fenológiai fázisokban mért hőösszegeket a megfigyelési dátumokkal együtt a vizsgált négy hibrid esetében.

22. táblázat: A hibridek Hanway skála alapján mért hőösszeg adatai a 2023-as évben (Debrecen-Látókép 2023)

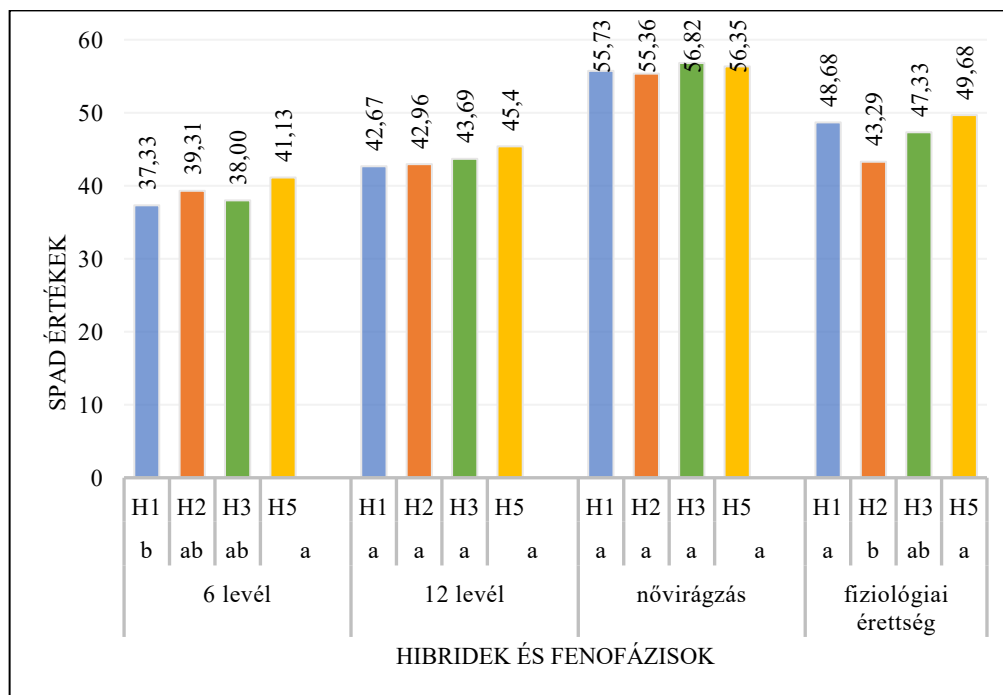
Hibridek		kelés	6 levél	12 levél	hímvirágzás (75%)	nővirágzás (75%)	fiziológiai érettség	betakarítás
H1	dátum	05.03.	05.30.	06.20.	07.04.	07.04.	09.03.	09.28.
	hőösszeg °C	0	182	362	525	525	1267	1531
H2	dátum	05.05.	05.30.	06.20.	07.06.	07.07.	09.08.	09.28.
	hőösszeg °C	0	169	349	536	549	1299	1518
H3	dátum	05.04.	05.30.	06.20.	07.03.	07.04.	08.26.	09.28.
	hőösszeg °C	0	175	355	504	517	1160	1523
H5	dátum	05.03.	05.30.	06.20.	07.08.	07.07.	09.05.	09.28.
	hőösszeg °C	0	182	362	572	562	1283	1531

A 6, 12 leveles állapot és betakarítás minden hibrid esetében azonos időben volt. Kelés felvételezéskor a H1 és H5 hibrid egy napon volt megfigyelhető (05.03.), így a 6 és 12 leveles állapotban ugyanannyi hőösszeg volt szükséges (182 és 362 °C). A H2 és H3 hibrid kettő, illetve egy nappal később kelt ki állomány szinten, így kevesebb foknap volt elegendő a 6 és 12 leveles felvételezéshez (169 és 349 °C illetve 175 és 355 °C). A H1-es genotípus hím-nővirágzása egy napon volt felvételezhető, így 525 foknapra volt szüksége. A H2 hibrid 75 %-os pollen szórásához 536 °C napra nővirágzásához 549 °C napra volt szüksége. A H3 hibrid virágzása volt legkorábban megfigyelhető, így 504 és 517 foknap elegendő volt a hibrid számára. A H5-ös genotípus virágzott legkésőbb, 572 és 562 foknapra volt szüksége ehhez. A H3-as hibrid érte el leghamarabb a biológiai érettségét (08.26.), ehhez elegendő volt 1160 °C nap. Ezt követte a H1 hibrid (09.03.) 1267 °C nappal, A H5-ös hibrid (09.05.) 1283 foknappal, végül legkésőbb jelent meg a

feketeréteg a H2-es genotípusnál (09.08.) ehhez 1299 °C napra volt szüksége. Betakarítás időszakában a négy hibrid hőösszeg igénye 1518-1531 °C között változott.

4.4.2 A SPAD értékek alakulása a 2023-as évben

A 37. ábra a 4 mérési időpontban mért SPAD eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.



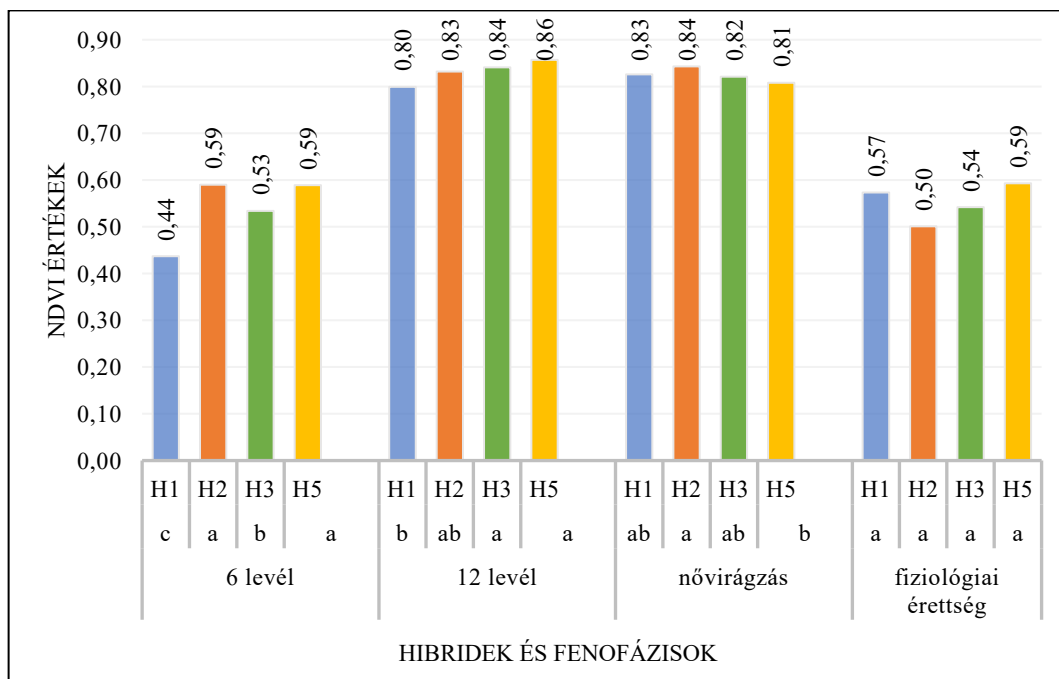
37. ábra: A kukorica SPAD értékei a 2023-as évben (Debrecen-Látókép, 2023) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

Az ábrán jól látható, hogy a fenológiai fázisok előrehaladtával a SPAD értékek növekvő tendenciát mutatnak egészen a nővirágzásig. 6 leveles állapotban átlagosan 38,94 volt a SPAD érték. Legalacsonyabb értéket a H1 hibrid mutatott (37,33) a legnagyobbat a H5 hibrid (41,13), ez 10 %-kal magasabb a legkisebb mért hibrid eredményétől. 12 leveles korban átlagosan 43,68 értéket mértem, ebben a szakaszban a hibridek között kiegyenlítettebben alakultak a SPAD értékek, de itt is a H5 hibridnek kiemelkedően magasabb eredménye volt (45,4). Nővirágzáskor átlagosan 56,06 volt a SPAD érték. A H1 hibridnél 55,73 és H2 hibridnél 55,36 értéket mértem. Átlagon felüli eredményt a H3 (56,82) és H5 (56,35) genotípus mutatott. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag SPAD érték 47,25 volt. Legalacsonyabb értéket a H2 (43,29), legmagasabbat a H5 (49,68) hibridnél mértem, ez 14 %-kal több. Az egész tenyészidőszakot tekintve minden mérési időpontban a legmagasabb SPAD értékeket a H5 hibridnél mértem. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 leveles állapot,

illetve a fiziológiai érettség fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibrdek között.

4.4.3 Az NDVI értékek alakulása a 2023-as évben

A 38. ábra a 4 mérési időpontban mért NDVI eredményeket ábrázolja, a vizsgált négy hibrid értékeit mutatva.



38. ábra: A kukorica NDVI értékei a 2023-as évben (Látókép, 2023) *Hibridenként a különböző fenofázisokban feltüntetett eltérő betűk a hibrdek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p=5\%$ szinten).*

Az NDVI értékek a 6 leveles állapottól a nővirágzásig növekvő tendenciát mutatnak. 6 leveles állapotban átlagosan 0,54 NDVI értéket eredményeztek a hibrdek. Legmagasabb értéket a H2, H5 hibridnél mértem (0,59), ez 34 %-kal magasabb érték, mint a legalacsonyabb eredményű H1 hibridnél (0,44). A 12 leveles állapotban mért eredményeknél szintén elmondható, hogy a legalacsonyabb eredményt a H1 hibrid érte el (0,80), a legmagasabbat a H5 hibrid (0,86). Átlagosan ebben a fenológiai fázisban az NDVI érték 0,83 volt. Nővirágzáskor legmagasabb értéket a H2 hibrid ért el (0,84). Növekedést a 12 leveles állapotban mért eredményekhez képest csak a H1 hibrid mutatott még (0,83). A H3 és H5 genotípusnál enyhe NDVI értékcsökkenést mértem. A fiziológiai érettség szakaszában az átlag érték 0,55 volt. Legmagasabb értéke a H5 (0,59) és a H1 (0,57) hibridnek volt. A H2 hibridnél 15 %-kal alacsonyabb NDVI értékeket mértem (0,50). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a 6 és 12 leveles állapot, illetve a nővirágzás fázisában szignifikáns különbség volt a vizsgált hibrdek között.

4.4.4 A hibridek fenometria mérésvizsgálatainak eredményei a 2023-as évben

23. táblázat: A hibridek fenometriai paramétereinek eredménye a 2023-as évben (Debrecen-Látókép 2023)

Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H5
Növénymagasság (cm)	313,9 ^b	323 ^{ab}	321,8 ^{ab}	329,5 ^a
Csőmagasság (cm)	127,4 ^c	150 ^a	140,4 ^{ab}	138 ^{bc}
Szárátmérő (mm)	20,35 ^a	20,84 ^a	20,58 ^a	20,23 ^a
Levélfelület index	6,4 ^a	7 ^a	7,4 ^a	7,4 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).

A 2023-as évben a 322,05 cm-es átlag növényt magasságon felül a H2 és a H5 hibrid esetében mértem a legnagyobb magasságokat 323 cm és 329,5 cm eredménnyel (23. táblázat). Legalacsonyabbnak a H1 hibrid (313,9 cm) bizonyult, ez 4 %-kal alacsonyabb érték. Átlag érték körüli magasságot a H3 (321,8 cm) hibridnél mértem. A csőmagasságok 127,4-150 cm között változtak. Az átlagtól (138,95 cm) kiemelkedően nagyobb magasságot mutatott a H2 (150 cm) hibrid, 17 %-kal magasabb érték, mint a H1 hibridnél (127,4 cm). A H3-as genotípus 140,4 cm-t ért el. Átlag alatti értéke még a H5 (138 cm) hibridnek volt. A szárátmérők átlagosan a 20,5 mm körül alakultak. A legnagyobb eredményt a H2 hibrid esetében mértem (20,84 mm), de közeli értékeket felvételeztem a H3 (20,58 mm) hibridnél. Átlagon aluli szárátmérője a H1 (20,35 mm) és H5 (20,23 mm) hibridnek volt. A virágzáskori legmagasabb levélfelületek alakulását mutatja a következő diagram a 4 hibridet vizsgálva. Átlagon aluli, egyben legalacsonyabb értéket a H1 hibridnél mértem (6,4). A H2 hibrid 7,0, végül a H3 és H5 genotípus egységesen 7,4 LAI értéket eredményezett, amely értékek 15 %-kal magasabb. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a növényt magasság és csőmagasság eredményeiben szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

4.4.5 Csőparaméterek alakulása a 2023-as évben

A betakarítást megelőzően vizsgált csöveken a következő paraméterek eredményeit kaptam a 2023-as tenyésztésben (24. táblázat). A csőhossz és csőátmérő vizsgálatnál a H5 hibridnél mértem kiemelkedően magas eredményt (20,5 cm és 54,1 mm). Legalacsonyabb eredménye a H1 hibridnek volt (18,6 cm és 49,1 mm), 9 % és 10

%-kal elmaradva a legnagyobb mért csőhossztól és csőátmérőtől. A H2 és H3 hibridek átlagos értékeket mutattak.

24. táblázat: A hibridek terméselem paramétereinek eredménye a 2023-as évben (Debrecen-Látókép 2023)

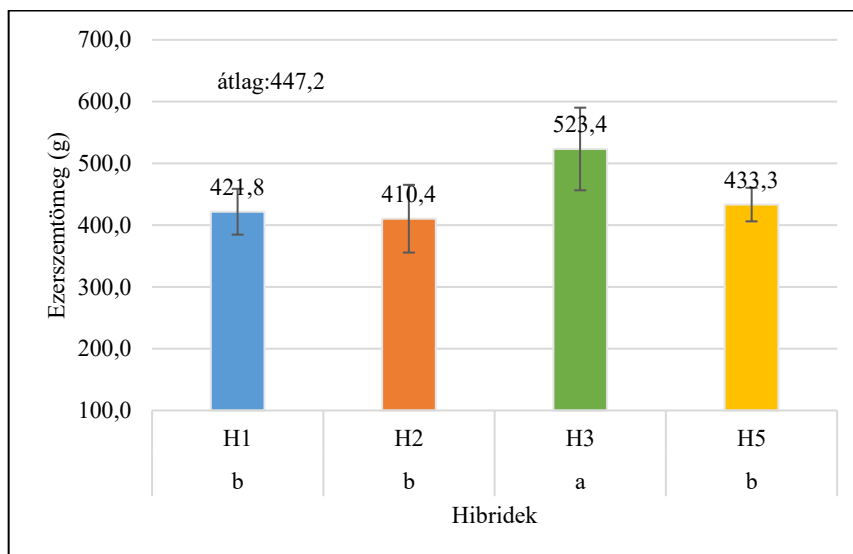
Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H5
Csőhossz (cm)	18,6 ^c	19,9 ^{ab}	19,5 ^{bc}	20,5 ^a
Csőátmérő (mm)	49,1 ^b	51,1 ^b	49,9 ^b	54,1 ^a
Szemszám (db)	521 ^b	581 ^{ab}	432 ^c	641 ^a
Csőtömeg (g)	241,1 ^b	264,5 ^b	251,4 ^b	316,5 ^a
Szemtömeg (g)	221,2 ^b	237,9 ^b	222,4 ^b	282,0 ^a
Csutkatömeg (g)	19,97 ^c	26,55 ^b	28,91 ^b	34,50 ^a
Szem-Csutka arány (%)	11,1 ^a	9,2 ^b	7,9 ^b	8,2 ^b
Sorok száma (db)	17 ^{ab}	19 ^a	15 ^b	17 ^{ab}
Szemszám egy sorban (db)	37 ^b	37 ^b	40 ^a	41 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

Legmagasabb szemszáma szintén a H5 genotípusnak volt (641 db), míg legkevesebbet a H3 hibrid eredményezett (432 db), 48 %-kal nagyobb különbség. 500 feletti szemszáma volt a másik két hibridnek (521 és 581 db). A korábbi tendenciákhoz hasonlóan a H5 hibridnél mértem a legmagasabb csőtömeget (316,5 g), amelyből következtetve is a legmagasabb (282 g) szem és csutkatömeget (34,5 g) eredményezte. Szem-csutka aránya is kedvező (8,2 %). Legalacsonyabb csőtömege a H1 hibridnek volt (341,1 g), a legalacsonyabb szemtömeggel (221,2 g) és csutkatömeggel (19,97 g) társulva. A H5 hibrid ezen értékeket nézve százalékosan 31,- 27,- és 72 %-kal eredményezett nagyobb értékeket. Legmagasabb szem-csutka arányt (11,1 %) mutatta. A H2 és H3 hibrid átlagos, kedvező csőtömeggel rendelkezik (264,5 és 251,4 gramm). Szemtömegük is kedvezően alakult 237,9 gramm, illetve 222,4 gramm. A H2 hibrid magasabb csőtömegéhez mégis alacsonyabb csutkatömeg párosult (26,55 g). A csövön mért legtöbb sor száma a H2 hibridnek volt (19 db), legkevesebb a H3 hibridnek (15 db). Azonban legalacsonyabb egy sorban lévő szemszáma a H1 és H2 hibridnek volt (37 db), legtöbb szemszáma egy sorban a H5 hibridnek volt (41 db). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a különböző paraméereknél szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között.

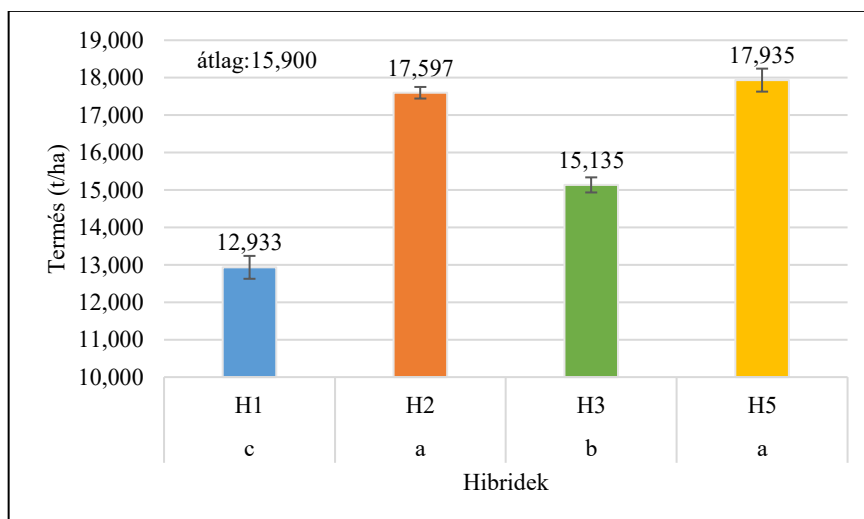
4.4.6 Ezerszemtömeg a 2023-as évben

Az ezerszemtömeg vizsgálatkor a négy hibrid átlagát tekintve a 2023-as évben 447,2 gramm tömeget értek el. Átlagon felüli értéket a H3 (523,4 gramm) hibrid eredményezett, ezt követte a H5 (433,3 gramm), a H1 (421,8 gramm) és H2 (410,4 gramm) hibrid. A H3 hibrid 27 %-kal nagyobb ezerszemtömeget produkált. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján az ezerszemtömeg vizsgálatkört szignifikáns különbség volt a vizsgált hibridek között (39. ábra).



39. ábra: A kukorica hibridek ezerszemtömegének értékei a 2023-as évben (Debrecen-Látókép, 2023) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

4.4.7 Terméseredmények a 2023-as évben



40. ábra: A kukorica hibridek terméseredményeinek értékei a 2023-as évben (Debrecen-Látókép, 2023) *Hibridenként az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik ($p = 5\%$ szinten).*

A vizsgált 4 hibrid közül a H5 (FAO 490) érte el a legkiemelkedőbb termésátlagot, 17,935 t ha⁻¹-os eredményével. Ezen kívül átlagon (15,900 t ha⁻¹) felül teljesített a H2 (FAO 390-410) 17,597 t ha⁻¹ terméssel (40. ábra). Az átlagtól legnagyobb mértékben a H1 hibrid (FAO 420) maradt el, 12,933 t ha⁻¹-os értékkel. A H3 (FAO 350-360) 15,135 t ha⁻¹ termést eredményezett. A H5 hibrid 38 %-kal magasabb terméseredményt ért el a H1 hibridhez viszonyítva. A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján a termésmennyiségek szignifikáns különbséget mutattak a vizsgált hibridek között.

4.4.8 Beltartalmi értékek a 2023-as évben

A vizsgált beltartalmi értéket (szemnedvesség, olaj, fehérje, keményítő) a következő táblázat tartalmazza (25. táblázat).

25. táblázat: A hibridek beltartalmi paramétereinek eredménye a 2023-as évben (Debrecen-Látókép 2023)

Paraméterek	Hibridek			
	H1	H2	H3	H5
Szemnedvesség (%)	14,45 ^b	14,51 ^b	13,89 ^b	15,66 ^a
Fehérje (%)	5,9 ^a	6,4 ^a	6,6 ^a	6,3 ^a
Olaj (%)	3,8 ^a	3,5 ^a	3,8 ^a	3,3 ^a
Keményítő 100 g sz.a. (%)	75,88 ^a	75,75 ^a	74,42 ^a	74,80 ^a

A különböző vizsgált tényezők szerint az eltérő betűk a hibridek közötti szignifikáns differenciát jelzik (p= 5% szinten).

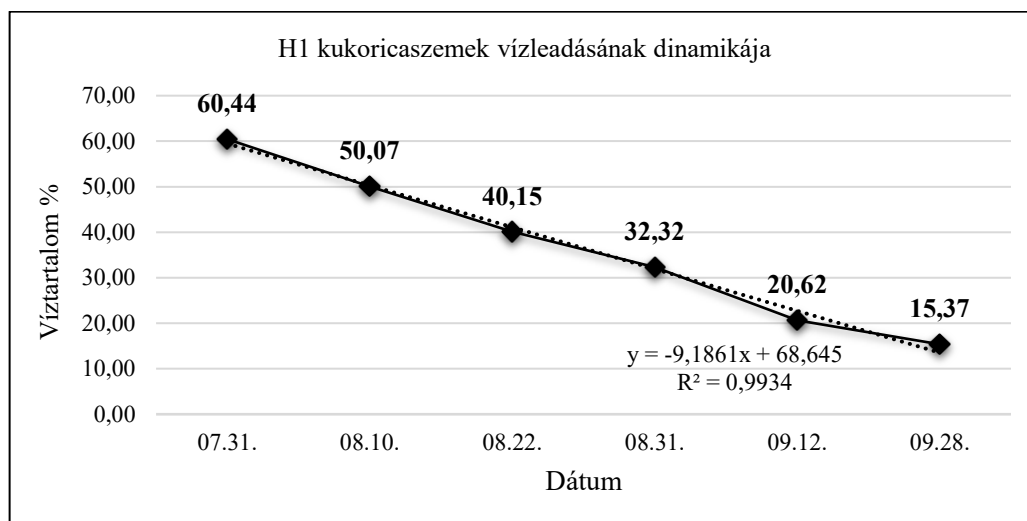
A hibridek betakarításkori szemnedvesség tartalma 13,89-15,66 % között változott. Legkisebb nedvességtartalommal a H3 (FAO 350-360) lett betakarítva, majd ezt követte a H1 (FAO 420) hibrid 14,45 %-kal és a H2 (FAO 390-410) 14,51 %-kal. Legnagyobb nedvessége a H5 (FAO 490) hibridnek volt 15,66 %-kal.

Az olajtartalom átlagosan 3,6 % volt. Magasabb olajtartalma a H1 (3,8 %) és a H3 (3,8 %) hibridnek volt. Jelentősen elmaradt a többi vizsgált genotípustól a H2 hibrid 3,5 % értékkel és a H5 hibrid 3,3 %-kal, utóbbi 13 %-kal volt kevesebb. A fehérjetartalom 6,3 %-os eredményt mutatott a genotípusok átlagában. 6,3 % feletti eredménye a H2 (6,4 %), a H3 (6,6 %) és a H5 (6,3 %) hibridnek volt. Az átlag alatti értéket a H1 (5,9 %) genotípus mutatott, 10 %-kal volt alacsonyabb. A keményítőtartalom értékeit figyelembe véve 75,21 % alatt (átlag) a H3 és H5 hibrid (74,42 %, 74,80 %) volt. A H1 (75,88 %) és H2 (75,75 %) hibridek közel azonos értékeket mutattak. A statisztikai vizsgálatok

eredményei alapján csak a szemnedvesség eredményeiben volt szignifikáns különbség a vizsgált hibridek között.

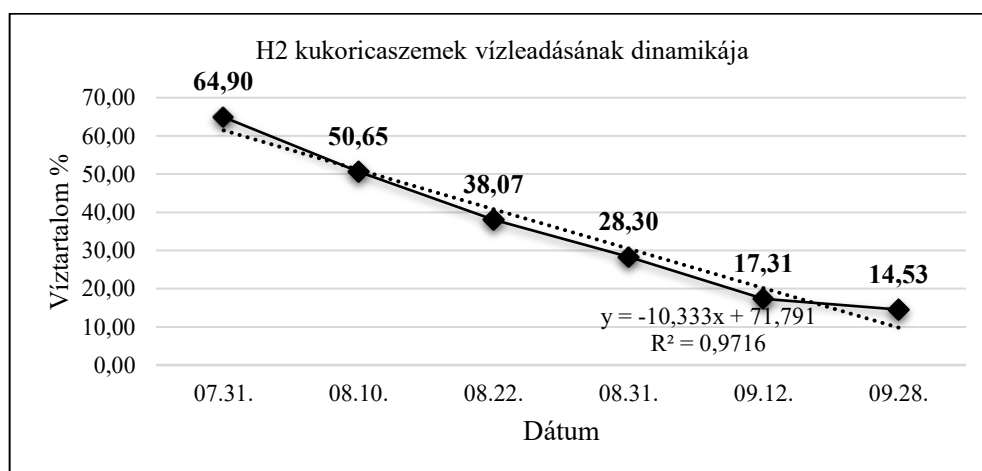
4.4.9 A kísérletben szereplő hibridek vízleadásának dinamikája a 2023-as évben

A 2023-as vizsgálati évben a vízleadás dinamikájának megfigyeléséhez a tenyészidőszak során 5 alkalommal végeztem a méréseket egészen a betakarítást megelőző időpontig.



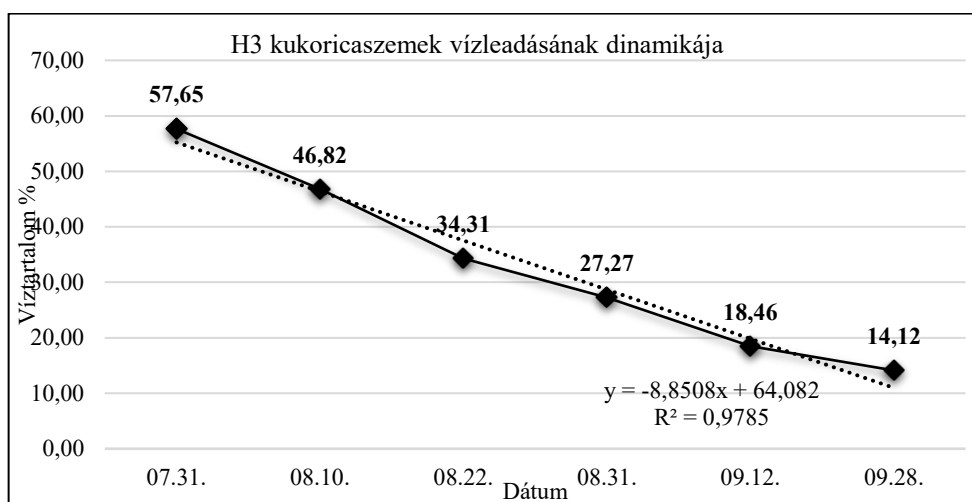
41. ábra: A H1 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2023)

A H1 hibridet vizsgálva a víztartalom vesztes a következő arányokban történt, 60,44 % július 31-én, 50,07 % augusztus 10-én, 40,15 % augusztus 22-én, 32,32 % augusztus 31-én, 20,62 % szeptember 12-én és végül betakarításkor, szeptember 28-án 15,37 %. Csökkenő tendencia látható a mintavételezési időpontok előrehaladtával, a vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,99$ (41. ábra).



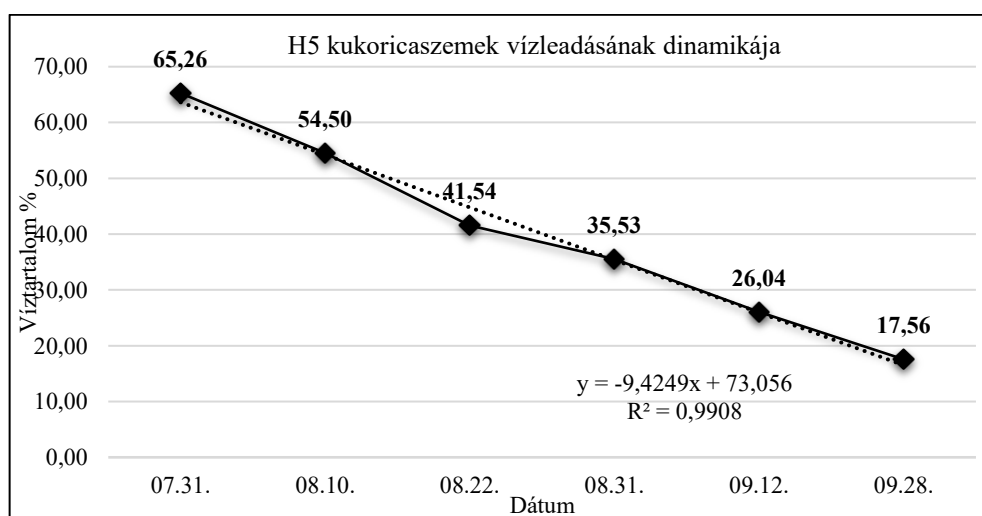
42. ábra: A H2 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2023)

A H2 hibrid tekintetében a víztartalom vesztes a következő arányokban alakult, 64,90 % július 31-én, 50,65 % augusztus 10-én, 38,07 % augusztus 22-én, 28,30 % augusztus 31-én, 17,31 % szeptember 12-én és 14,53 % szeptember 28-án. Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,97$ (42. ábra).



43. ábra: A H3 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2023)

A H3 vizsgált genotípus tekintetében a víztartalom vesztes a következő arányokban figyelhető meg, 57,65 % július 31-én, 46,82 % augusztus 10-én, 34,31 % augusztus 22-én, 27,27 % augusztus 31-én, 18,46 % szeptember 12-én és végül betakarításkor, szeptember 28-án 14,12 %. Csökkenő tendencia látható a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,98$ (43. ábra).



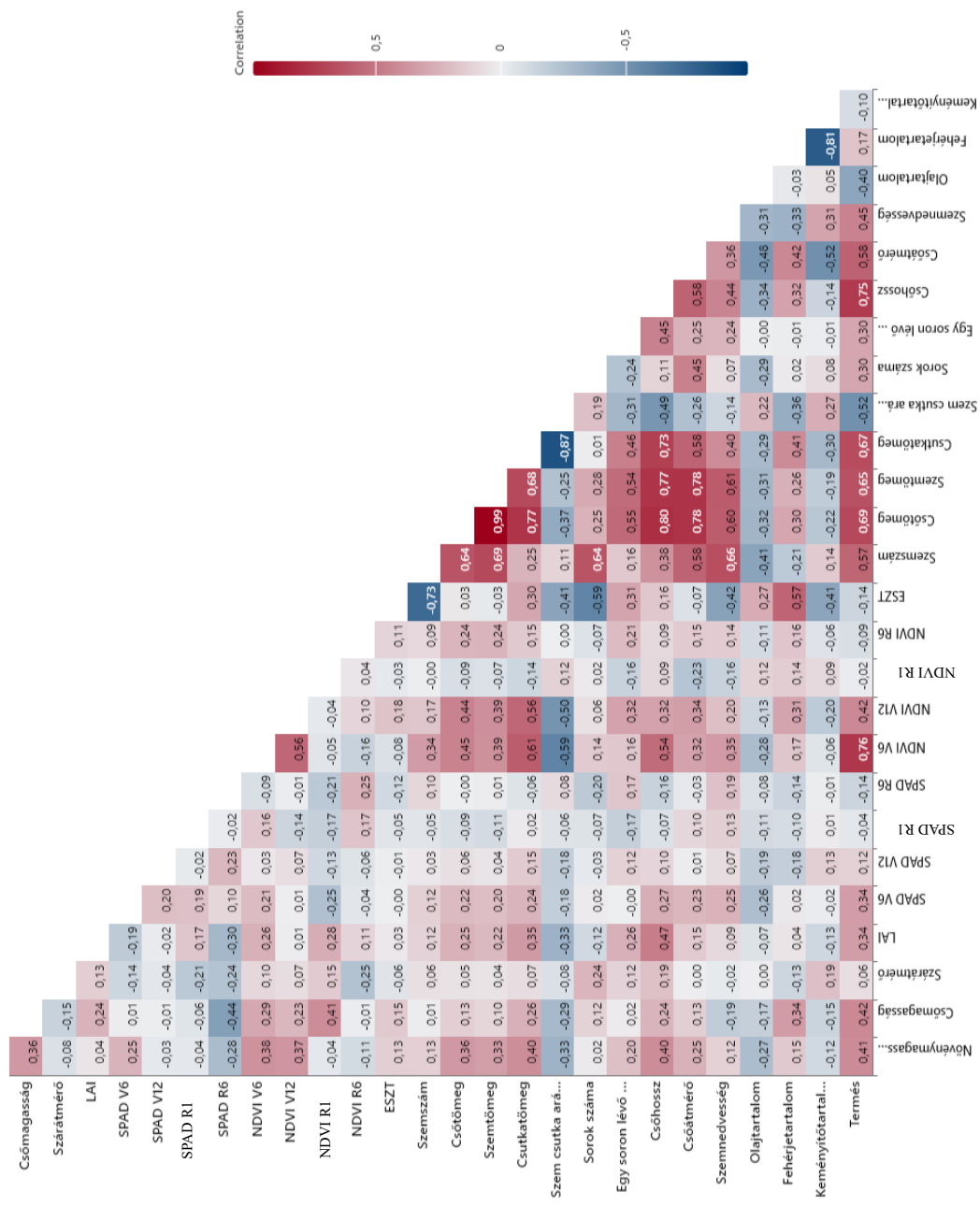
44. ábra: A H5 kukorica hibrid vízleadás dinamikája (Debrecen-Látókép 2023)

A H4 hibrid esetében a víztartalom veszteség a következő arányokban történt, 65,26 % július 31-én, 54,50 % augusztus 10-én, 41,54 % augusztus 22-én, 35,53 % augusztus 31-én, 26,04 % szeptember 12-én és 17,56 % szeptember 28-án. Csökkenő tendencia figyelhető meg a mintavételezési időpontok elteltével. A vonalgörbére illeszthető determinációs együttható $R^2 = 0,99$ (44. ábra).

4.4.10 A kísérletben szereplő paraméterek közötti korreláció vizsgálat a 2023-as évben

A termés, termés képző elemek, fenometriai mérések, illetve SPAD és NDVI értékek közötti összefüggések együttes vizsgálatára alkalmazott Pearson-féle korreláció számítás eredményét a 26. táblázat tartalmazza. A növény magasság értékek a V6 és V12 fenofázisban mért NDVI eredményekkel közepes pozitív ($0,385^*$; $0,372^*$), továbbá a cső, -, szem és csutkatömeggel is közepes pozitív ($0,357^*$; $0,328^*$; $0,402^*$) korrelációban voltak. Statisztikailag igazolt közepes pozitív kapcsolat volt a növény magasság és a termés ($0,411^{**}$), a cső magasság és termés ($0,42^{**}$), levél felület index és termés ($0,339^*$) között. A négy fenológiai fázisban vizsgált SPAD értékek közül egyedül a V6 szakaszban mért értékek voltak közepesen szoros pozitív ($0,335^*$) korrelációban a terméssel. A 6 leveles korban mért NDVI értékek pozitív nagyon szoros ($0,762^{***}$), a 12 leveles korban mért értékek pozitív közepes ($0,421^{**}$) hatást gyakoroltak a termésre. Statisztikailag igazolt pozitív szoros korreláció volt a következő termés képző elemek és a termés között, szemszám ($0,568^{***}$); csőtömeg ($0,691^{***}$); szemtömeg ($0,655^{***}$); csutkatömeg ($0,675^{***}$); és cső átmérő ($0,585^{***}$). A cső hosszúság pozitív igen szoros kapcsolatban volt a termés mennyiséggel ($0,748^{***}$). Az NDVI V6 fenofázisban mért eredmények a cső, - és szemtömeggel pozitív közepes ($0,447^{**}$; $0,388^*$) a csutkatömeggel pozitív szoros ($0,605^{***}$) korrelációban voltak. Ugyanezen paraméterekkel a V12 fázisban mért eredmények is pozitív közepes ($0,444^{**}$; $0,394^*$) illetve pozitív szoros ($0,562^{***}$) kapcsolatban voltak. A fehérje és keményítőtartalom között negatív igen szoros ($-0,81^{***}$) korreláció lépett fel.

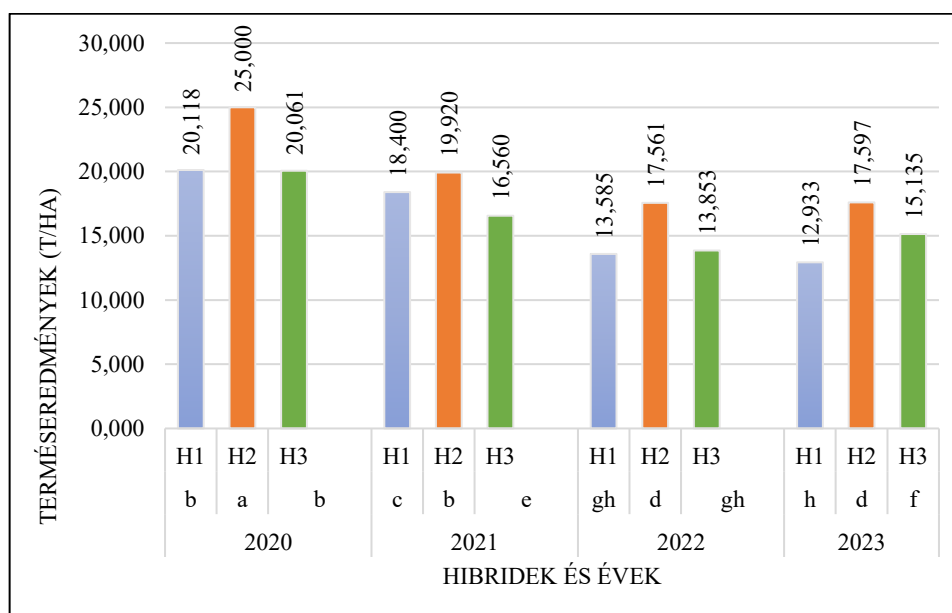
26. táblázat: Pearson-féle korreláció vizsgálat eredménye (2023)



4.5 A vizsgált évek összehasonlító elemzése 2020-2023

4.5.1 Termésmennyiségek 2020-2023

A H1 (FAO420), H2 (FAO390-410) és H3 (FAO350-360) hibrid hektáronkénti terméseredményét a 45. ábra mutatja a négy év összehasonlításában.



45. 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).

Jól látható, hogy a H2 hibrid minden évben terméseredményével jelentősen meghaladta a további két vizsgált hibridet. A legmagasabb betakarított terméseredménye elérte a 25 tonna/ hektáros mennyiséget a 2020 tenyészévben, 2021-ben is magas értéket eredményezett ($19,920 \text{ t ha}^{-1}$). A 2022. és 2023. években közel azonos mennyiséget produkált. ($17,000 \text{ t ha}^{-1}$). A négy évet vizsgálva mind a három hibrid kiemelkedően magas terméseredményt a 2020-as évben ért el, majd ezt követte a 2021-es évi betakarított mennyiség, a legalacsonyabb eredménye a H3 hibridnek volt ($16,560 \text{ t ha}^{-1}$). A 2022-es és 2023-as évben jelentősen alacsonyabb termést produkáltak, azonban a H2 hibrid tartotta stabilan magas szemtermését. Legalacsonyabb értéke a H1 hibridnek volt 2023-ban ($12,933 \text{ t ha}^{-1}$). A H3 genotípus 2022-ben érte el a legalacsonyabb mennyiséget a vizsgált 4 évben ($13,853 \text{ t ha}^{-1}$). A statisztikai vizsgálatok eredményei alapján szignifikáns különbség mutatható ki a vizsgált hibridek között a négy tenyészidőszakban.

A kukorica termésparamétereinek értékelése során az egy- és többtényezős varianciaanalízis segítségével megállapítható, hogy a termés mennyiségére az évjárat, a hibrid és a két tényező együtt is szignifikáns ($P<0,001$) hatással volt (27. táblázat).

27. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a hibrid és az évjárat a kukorica hibridek termésmennyiségét befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez. Debrecen-Látókép 2020-2023

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Termés	Év	3	362,100	120,700	499,93	0,000
	Hibrid	2	147,111	73,555	304,66	0,000
	Év*Hibrid	6	25,308	4,218	17,47	0,000
	Hiba	36	8,692	0,241		

4.5.2 Fenológiai paraméterek 2020-2023

A H1 (FAO420), H2 (FAO390-410) és H3(FAO350-360) hibrid egyes fenológiai paramétereit a 28. táblázat tartalmazza. Legnagyobb növénymagasságot mind a 3 hibrid esetében a 2023-as évben mértem. Majd ezt követte a 2022., 2020 év, és végül legalacsonyabb magasságot a 2021-es évben eredményeztek. Egyedül a H3 hibridnél mértem a legalacsonyabb végleges növénymagasságot a 2020-as tenyészévben (268,1 cm). A négy évet vizsgálva legnagyobb növénymagassága a H2 hibridnek volt (323 cm).

28. 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).

A csőmagasságok alakulásában is ugyanez a tendencia figyelhető meg. Legmagasabb értékeket a 2023-as, majd a 2022-es, 2020-as és végül a 2021-es évben

mértem (H1 hibrid 101,4 cm). Legnagyobb csőmagassága a H2 hibridnek volt 2023-ban (150 cm). Legvastagabb szarát a 2023-as évben mértem, mind a három hibrid 20 mm feletti eredményt mutatott. (legnagyobb a H2 hibrid 20,84 mm). A H1 hibrid esetében a további három év közel azonos értékeket eredményezett (18 mm). A H2 hibridnél a 2022. évben szintén 20 mm feletti szárátmérőt mértem (20,29 mm), a H3 hibridnél pedig a 2021-es évben mértem még 20,43 mm-t. Legkisebb szárátmérője a H2 hibridnek volt 2022-ben (17,02 mm). A levélfelület vizsgálatnál a 2023-as év volt a kiemelkedő, azon belül is a H3 hibrid (7,4). Legalacsonyabb LAI értéket a H3 hibridnél a 2021-ben mértem (3,8), magasabb levélfelületet a H1 genotípusnál mértem a 2021. és 2022. években (5,0). A vizsgált paraméterek eredményei alapján elmondható, hogy a fenológiai paraméterek alakulása szempontjából a 2023-as év volt a legkedvezőbb. A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a hibridek között.

29. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a hibrid és az évjárat a kukorica hibridek fenológiai paramétereit befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez. Debrecen-Látókép (2020-2023)

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Növénymagasság	Év	3	40801	13600,3	116,78	0,000
	Hibrid	2	4464	2231,8	19,16	0,000
	Év*Hibrid	6	5363	893,9	7,68	0,000
	Hiba	108	12577	116,5		
Csőmagasság	Év	3	15890	5296,74	62,28	0,000
	Hibrid	2	2560	1279,98	15,05	0,000
	Év*Hibrid	6	2068	344,64	4,05	0,001
	Hiba	108	9185	85,05		
Szárátmérő	Év	3	112,71	37,571	10,47	0,000
	Hibrid	2	20,04	10,021	2,79	0,066
	Év*Hibrid	6	67,40	11,233	3,13	0,007
	Hiba	108	387,62	3,589		
LAI	Év	3	60,392	20,1306	60,96	0,000
	Hibrid	2	1,071	0,5357	1,62	0,212
	Év*Hibrid	6	4,972	0,8287	2,51	0,039
	Hiba	36	11,888	0,3302		

A növénymagasságok statisztikai értékelése alapján megállapítottam, hogy a növénymagasságot és csőmagasságot az évjárat, hibrid és a hibrid x évjárat együttesen szignifikáns ($P<0,001$) módon befolyásolta. A szárátmérőre az évjárat ($P<0,001$) és évjárat x hibrid ($P<0,01$) gyakorolt szignifikáns hatást. A levélfelület index alakulására az évjárat ($P<0,001$) és évjárat x hibrid ($P<0,05$) gyakorolt szignifikáns hatást (29. táblázat).

4.5.3 Terméselem paraméterek 2020-2023

A H1 (FAO420), H2 (FAO390-410) és H3(FAO350-360) hibrid terméselem paramétereit a 30. táblázat tartalmazza. A vizsgált három hibrid legalacsonyabb ezerszemtömeget a 2021-es kísérleti évben érte el (H1 306,1 g). A H3 (523,4 g) hibridnél 2023-ban, a H1 (479,9 g) és H2 (474,4 g) genotípusnál 2020-ban mértem a legmagasabb ezerszem tömeget. A 2022-es évben átlagos értékeket kaptam. Az első vizsgálati év kivételével (436,8 g) minden évben a H3 hibrid produkálta a legmagasabb ezerszemtömeget.

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

Paraméterek	Hibridek			
	Évek	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 ^{bcde}
	2021	519 ^{bcdef}	567 ^{abcd}	495 ^{cdef}
	2022	498 ^{bcdef}	585 ^{ab}	453 ^{ef}
	2023	521 ^{bcde}	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 ^{bcdef}	18 ^{ab}	14 ^f
	2022	16 ^{cdef}	17 ^{bcde}	16 ^{bcdef}
	2023	17 ^{bcde}	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 szemszám vizsgálatnál nem figyelhető meg ez az évek közötti különbség tendencia. Minden évben a H2 hibridnél számoltam a legtöbb csövenkénti kukoricaszemet (567-624 db). A H1 hibrid esetében 2021 és 2023 év volt kedvező a magasabb szemszámok alakulásába (519; 521 db) a H2 hibridnél 2020 és 2022 (520; 495 db) végül a H3 hibridnél 2020 és 2021 év (520; 495 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 a H2 hibrid 22,6 cm). A másik két vizsgált évben átlagos csőhosszúságok voltak felvételezhetőek (18,6-19,9 cm). A három genotípus közül nem emelhető ki olyan hibrid, amely minden évben a legmagasabb eredményt érte volna el. Csőátmérőt tekintve a 2020-as évben kiemelkedő eredmények figyelhetőek meg, Legvastagabb csövet a H2 hibrid produkált (55,5 mm). Ez a hibrid legalacsonyabb értéket 2022-ben mutatta (50,7 mm). A H1 és H3 hibrid 2021-ben érte el a legkisebb eredményt (45,2-46,4 mm). 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 g). A 2022-es és 2023-as év átlagosnak mondható. A 2020-as év

kivételével (legalacsonyabb a H3 hibrid 274,2 g), a H1 genotípusnál figyeltem meg a legkisebb eredményeket. A szemtömeg vizsgálatkor ez a tendencia megmaradt. A H2 hibrid szemsúlya minden évben kimagaslott. Legmagasabb értékeket a 2020-as év eredményezett (307 g), A H1 és H3 hibridnél a 2021-es év tekinthető átlagon alulinak (168,8 g és 195,4 g). A csutkasúlyok értékei is a 2020-as évben voltak a legmagasabbak, legalacsonyabbak pedig a 2021-es évben. Mind a négy évben legalacsonyabb értékeket a H1 hibrid esetében mértem. Legalacsonyabb értéket 2021-ben kaptam 14,32 g (H1), legnagyobb csutkatömeget 2020-ban, 51,70 g (H2 hibrid). A szem-csutka aránya a 2020-as kísérleti évben volt a legkedvezőbb és a 2021-es évben a legmagasabb. A H2-es hibridnél a 2020-as vizsgálati évben csak 6 % volt a csutka aránya. Legmagasabb arány 2021-ben volt mérhető a H1 genotípusnál (12,8 %). Az egy kukoricacsövön lévő szemsorokat vizsgálva a H2 hibrid mind a négy vizsgált évben a legnagyobb darabszámot érte el. Legkiemelkedőbb a 2023-as évben volt (19 darab). A sorok számában legalacsonyabbat a H3 hibridnél mértem minden évben. Legkisebb darabszáma (14 db) a 2021-es évben volt. Az egy sorban lévő szemek számánál azonban a H3 hibrid érte el a magasabb eredményeket, a 2020-es év kivételével. Legtöbb szemszám egy sorban a H2 hibridnél volt (42 db). A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a hibridek között. A vizsgált hibridek különböző terméselem paramétereinek alakulását figyelembevéve 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 (31. táblázat).

31. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a hibrid és az évjárat a kukorica hibridek különböző terméselem paramétereit befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez. Debrecen-Látókép 2020-2023

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Ezerszemtömeg	Év	3	109146	36382	17,60	0,000
	Hibrid	2	38277	19138	9,26	0,000
	Év*Hibrid	6	57139	9523	4,61	0,001
	Hiba	48	99200	2067		
Szemszám	Év	3	11719	3906	0,83	0,485
	Hibrid	2	138977	69489	14,74	0,000
	Év*Hibrid	6	24065	4011	0,85	0,537

	Hiba	48	226220	4713		
Csőhossz	Év	3	127,001	42,334	18,82	0,000
	Hibrid	2	4,245	2,123	0,94	0,396
	Év*Hibrid	6	20,529	3,421	1,52	0,191
	Hiba	48	107,951	2,249		
Csőátmérő	Év	3	21602,5	7200,84	3276,63	0,000
	Hibrid	2	109,6	54,82	24,95	0,000
	Év*Hibrid	6	68,9	11,49	5,23	0,000
	Hiba	48	105,5	2,20		
Csőtömeg	Év	3	62261	20754	19,01	0,000
	Hibrid	2	25711	12855	11,78	0,000
	Év*Hibrid	6	12951	2158	1,98	0,087
	Hiba	48	52392	1092		
Szemtömeg	Év	3	37040	12346,6	14,81	0,000
	Hibrid	2	15903	7951,3	9,54	0,000
	Év*Hibrid	6	8690	1448,3	1,74	0,133
	Hiba	48	40025	833,9		
Csutkatömeg	Év	3	3423,7	1141,24	37,36	0,000
	Hibrid	2	1363,8	681,88	22,32	0,000
	Év*Hibrid	6	539,5	89,92	2,94	0,016
	Hiba	48	1466,2	30,55		
Szem-csutka arány	Év	3	111,68	37,226	26,55	0,000
	Hibrid	2	88,82	44,410	31,67	0,000
	Év*Hibrid	6	15,76	2,626	1,87	0,105
	Hiba	48	67,30	1,402		
Sorok száma	Év	3	2,212	0,7375	0,27	0,845
	Hibrid	2	77,008	38,5042	14,20	0,000
	Év*Hibrid	6	26,225	4,3708	1,61	0,165
	Hiba	48	130,200	2,7125		
Szemszám egy sorban	Év	3	163,6	54,54	4,54	0,007
	Hibrid	2	167,7	83,83	6,98	0,002
	Év*Hibrid	6	117,8	19,63	1,63	0,158
	Hiba	48	576,8	12,02		

A csóátmérők alakulását mind a két tényező önállóan, illetve együttesen is szignifikánsan ($P < 0,001$) befolyásolta. A csőtömeg, szemtömeg, csutkatömeg és szemcsutka arány alakulására az évjárat és a hibrid is ($P < 0,001$) szignifikáns hatással volt. A csutkatömegre a két tényező együttesen is szignifikáns hatást gyakorolt ($P < 0,05$).

4.5.4 Beltartalmi paraméterek 2020-2023

A H1 (FAO420), H2 (FAO390-410) és H3(FAO350-360) hibrid beltartalmi értékeit a 32. táblázat tartalmazza. Legalacsonyabb szemnedvességgel a 2023-as évben voltak betakaríthatóak a vizsgált genotípusok (kiemelkedett a H3 hibrid 13,9 %-kal). Kedvező szemnedvességük volt 2022-ben is (14,8-15,2 %). Legnagyobb betakarításkori szemnedvességet a 2021-es év eredményezett (H1 17,4 %, H2 19,2 %). Kivétel a H3 hibrid esetében volt, legnagyobb szemnedvessége 2020-ban volt (18,1 %). Legalacsonyabb betakarításkori szemnedvességgel a H3 hibrid rendelkezett (13,9 %). Legmagasabb olajtartalmat a H1 és H3 genotípusnál mértem (3,8 %) 2023-ban, illetve utóbbinál 2022-ben is. Legalacsonyabb olajtartalma minden évben a H2 hibridnek volt, 2020-ban és 2021-ben is 3 % olajtartalom alatt maradt (2,7 % és 2,9 %).

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

Paraméterek	Évek	Hibridek		
		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 hibridek, mind pedig az évjáratok között ($p = 5\%$ szinten).

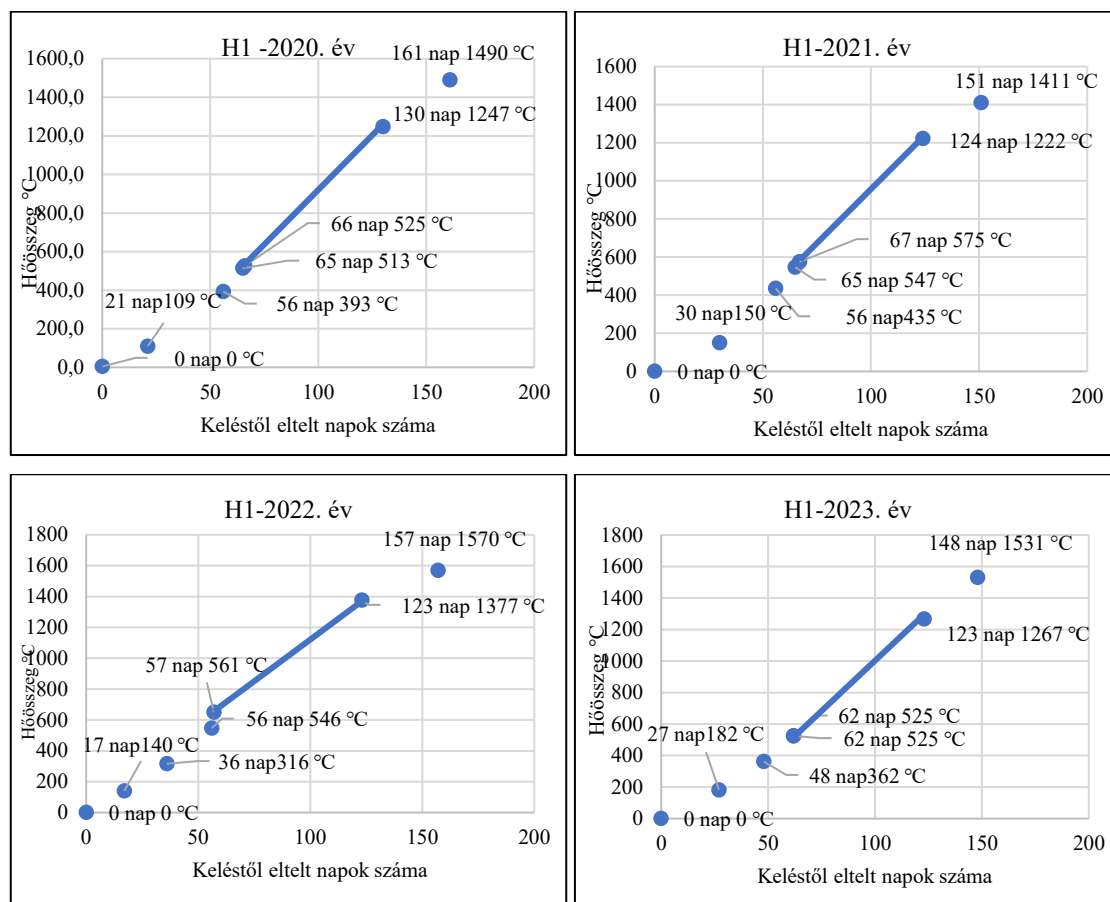
Magasabb fehérjetartalmat a H2 és H3 genotípusnál 2022-ben és 2023-ban mértem (6,4-6,7 %), alacsonyabb értékeket 2020-ban és 2021-ben (6,1-6,3 %). A H1 hibridnél ez a tendencia fordított sorrendben alakult. Magasabb fehérjetartalma az első két vizsgálati évben volt, alacsonyabb, egyben a legkisebb eredménye 5,9 %-kal a 2022-es és 2023-as évben volt. Alacsonyabb keményítőtartalma a három hibridnek a 2022-es és 2023-as évben volt, legalacsonyabb értéket a H3 genotípusnál mértem 2022-ben (72,7 %). Magasabb értékeket a másik két vizsgált évben mértem, legmagasabb keményítőtartalma a H2 hibridnek volt 2022-ben (79,3 %). A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a hibridek között. A vizsgált hibridek beltartalmi paramétereinek statisztikai értékelése során megállapítottam, hogy a kukorica hibridek szemnedvességére szignifikáns hatást az évjárat ($P < 0,001$) és az évjárat x hibrid ($P < 0,05$), 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 (33. táblázat).

33. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a hibrid és az évjárat a kukorica hibridek beltartalmi paramétereit befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez. Debrecen-Látókép 2020-2023

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Szemnedvesség	Év	3	132,89	44,297	35,67	0,000
	Hibrid	2	4,845	2,423	1,95	0,153
	Év*Hibrid	6	19,042	3,174	2,56	0,031
	Hiba	48	59,609	1,242		
Olajtartalom	Év	3	3,6634	1,22112	7,67	0,000
	Hibrid	2	2,874	1,43702	9,03	0,000
	Év*Hibrid	6	0,3745	0,06242	0,39	0,881
	Hiba	48	7,6415	0,1592		
Fehérjetartalom	Év	3	0,1872	0,06240	0,22	0,882
	Hibrid	2	1,4351	0,71753	2,52	0,091
	Év*Hibrid	6	1,7037	0,28395	1,00	0,437
	Hiba	48	13,6536	0,28445		
Keményítőtartalom	Év	3	213,66	71,219	43,64	0,000
	Hibrid	2	32,31	16,154	9,90	0,000
	Év*Hibrid	6	13,45	2,241	1,37	0,245
	Hiba	48	78,33	1,632		

4.5.5 A hőösszeg jellemzése a kísérleti években (2020-2023)

A H1 (FAO420) hibrid fenológiai fázisainak időpontját és a mért hőösszegeket a négy évet bemutatva a 46. ábra mutatja.

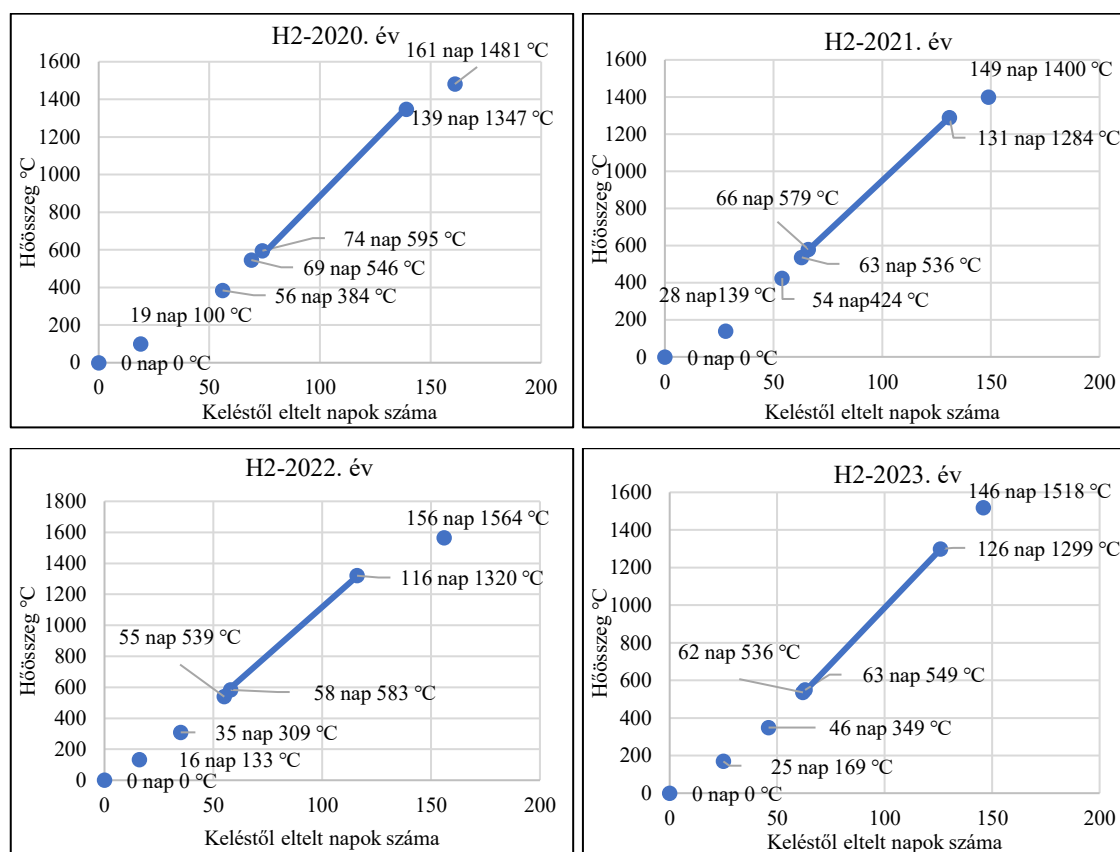


46. ábra: A H1 (FAO420) hibrid fenológiai fázisainak időpontja és a mért hőösszegek a 2020-2023 években (Debrecen-Látókép)

A fontosabb fenológiai fázisokban mért hőösszegek és a keléstől eltelt napok számában is jelentős eltérések figyelhetők meg a H1 genotípus esetében. A 6 leveles állapot legkorábban 2022-ben volt felvételezhető 17 nap elteltével, (140 foknap) míg a legkevesebb hőösszeg 2020-ban volt elegendő (109 °C). Legkésőbbi időpontja ennek az állapotnak a 2021-es évben volt megfigyelhető 30 nappal (150 °C), azonban legnagyobb hőösszeg igénye a 2023-as évben volt 182 °C nappal. A 12 leveles állapot keléstől eltelt napok számában a négy évet figyelembe véve a sorrend a következőképpen alakult. Legkorábban 2022-ben (36 nap és 316 °C nap), 2023-as év 48 nappal (362 °C), 2020. és 2021. évben 56 nap volt, 393 °C és 435 °C nappal volt megfigyelhető. A pollenszórás a 2023-as év kivételével (egy napon volt a nővirágzással feljegyezhető) minden esetben megelőzte a nővirágzást. A 75%-os hímvirágzás a keléstől eltelt napok számában 2021-ben volt megfigyelhető legkorábban (56 nap 546 °C), majd 62 nap és 525 foknappal 2023-

ban, legkésőbb a másik két évben 65 nappal. Legnagyobb hősszeg igénye 2021-ben volt (547 °C). A 75 %-os nővirágzás is 2022-ben volt legkorábban (57 nap 561 °C) majd 2023. év követte (62 nap 525 °C), 2020-ban 66 nap és 525 °C nap volt szükséges, míg legnagyobb hősszeg igénye 2021-ben volt 67 nap és 575 °C kellett. A fiziológiai érettséghez foknapban mérve az évek sorrendje a következőképpen alakult, 2021 (1222 °C), 2020 (1247 °C), 2023 (1267 °C) és 2022 (1377 °C). A nővirágzástól számolva a fiziológiai érettség eléréséig legkevesebb időre és foknapra 2021-ben volt szüksége a H1 hibridnek (57 nap és 647°C), 2020-ban 64 nap és 721 °C fok kellett hozzá, 2022-ben 66 nap 726 °C volt mérhető, míg legnagyobb hősszeg igénye a fekete réteg kialakulás eléréséig a nővirágzástól számolva 2023-ban volt 742 °C nappal (61 nap különbség). A betakarítás foknapban mérve 2022-ben és 2023-ban haladta meg az 1500 °C fokot.

H2 (FAO390-410) hibrid fenológiai fázisainak időpontját és a mért hősszegeket a négy évet bemutatva a 47. ábra mutatja.



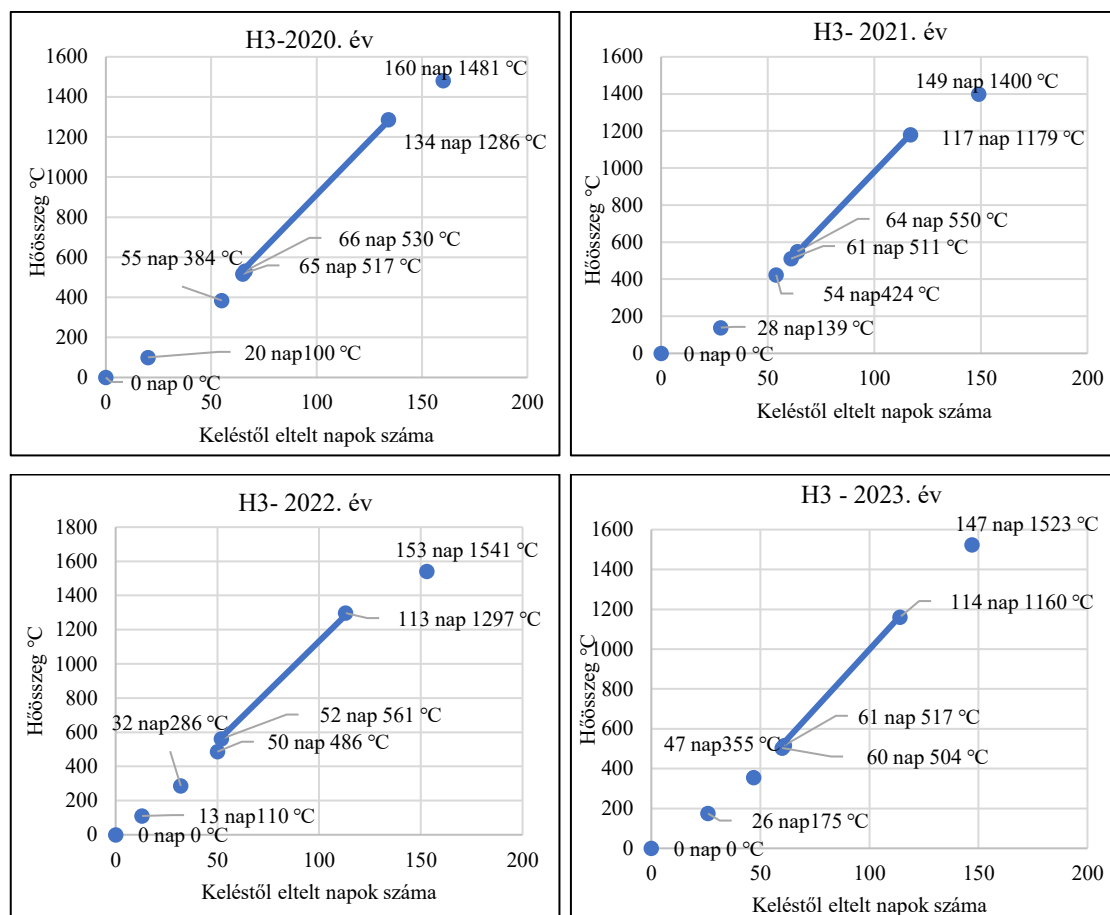
47. ábra: A H2 (FAO390-410) hibrid fenológiai fázisainak időpontja és a mért hősszegek a 2020-2023 években (Debrecen-Látókép)

A fontosabb fenológiai fázisokban mért hősszegek és a keléstől eltelt napok számában is jelentős eltérések figyelhetők meg a H2 genotípus esetében. A 6 leveles

állapot legkorábban 2022-ben volt felvételezhető 16 nap elteltével, (133 foknap) míg a legkevesebb hőösszeg 2020-ban volt elegendő (100 °C). Legkésőbbi időpontja ennek az állapotnak a 2021-es évben volt megfigyelhető 28 nappal (139 °C), azonban legnagyobb hőösszeg igénye a 2023-as évben volt 169 °C nappal. A 12 leveles állapot keléstől eltelt napok számában a négy évet figyelembe véve a sorrend a következőképpen alakult. Legkorábban 2022-ben (35 nap és 309 °C nap), 2023-as év 46 nappal (349 °C), 2021-ben 54 nap, 2020-ban 56 nap volt, 424 °C és 384 °C nappal volt megfigyelhető. A pollenszórás minden esetben megelőzte a nővirágzást. A 75%-os hímvirágzás a keléstől eltelt napok számában 2022-ben volt megfigyelhető legkorábban (55 nap 539 °C), majd 62 nap és 536 foknappal 2023-ban, 63 nap és 536 foknappal 2021-ben, legkésőbb 2020-as évben 69 nappal és legnagyobb hőösszeggel (546 °C). A 75 %-os nővirágzás is 2022-ben volt legkorábban megfigyelhető (58 nap 583 °C) majd 2023. év követte (63 nap 549 °C), 2021-ben 66 nap és 579 °C nap volt szükséges, míg legnagyobb hőösszeg igénye 2020-ban volt 74 nap és 595 °C kellett. A fiziológiai érettség fázisában foknapban mérve az évek sorrendje a következőképpen alakult, 2021 (1284 °C), 2023 (1299 °C), 2022 (1320 °C) és 2020 (1347 °C). A nővirágzástól számolva a fiziológiai érettség eléréséig legkevesebb időre 2021-ben volt szüksége a H2 hibridnek (58 nap és 737 °C), 2023-ban 63 nap és 730 °C fok kellett hozzá, 2020-ban és 2021-ben 66 napra (753 °C és 705°C volt mérhető). A betakarítás foknapban mérve 2022-ben és 2023-ban haladta meg az 1500 °C fokot.

A H3 (FAO350-360) hibrid fenológiai fázisainak időpontját és a mért hőösszegeket a négy évet bemutatva a 48. ábra mutatja. A fontosabb fenológiai fázisokban mért hőösszegek és a keléstől eltelt napok számában is jelentős eltérések figyelhetők meg a H3 genotípus esetében. A 6 leveles állapot legkorábban 2022-ben volt felvételezhető 13 nap elteltével (110 foknap), míg a legkevesebb hőösszeg 2020-ban volt elegendő (100 °C). Legkésőbbi időpontja ennek az állapotnak a 2021-es évben volt megfigyelhető 28 nappal (139 °C), azonban legnagyobb hőösszeg igénye a 2023-as évben volt 175 °C nappal. A 12 leveles állapot keléstől eltelt napok számában a négy évet figyelembe véve a sorrend a következőképpen alakult. Legkorábban 2022-ben (32 nap és 286 °C nap), 2023-as év 47 nappal (355 °C) 2021. évben 54 nap volt, 424 °C-kal, végül 2020. évben 55 nap 384 foknappal volt megfigyelhető. A pollenszórás minden esetben megelőzte a nővirágzást. A 75%-os hímvirágzás a keléstől eltelt napok számában 2022-ben volt megfigyelhető legkorábban (50 nap 486 °C), majd 60 nap és 504 foknappal 2023-

ban, 61 nap és 511 foknappal 2021-ben, legkésőbb 2020-as évben 65 nappal, legnagyobb hőösszeggel (517 °C).



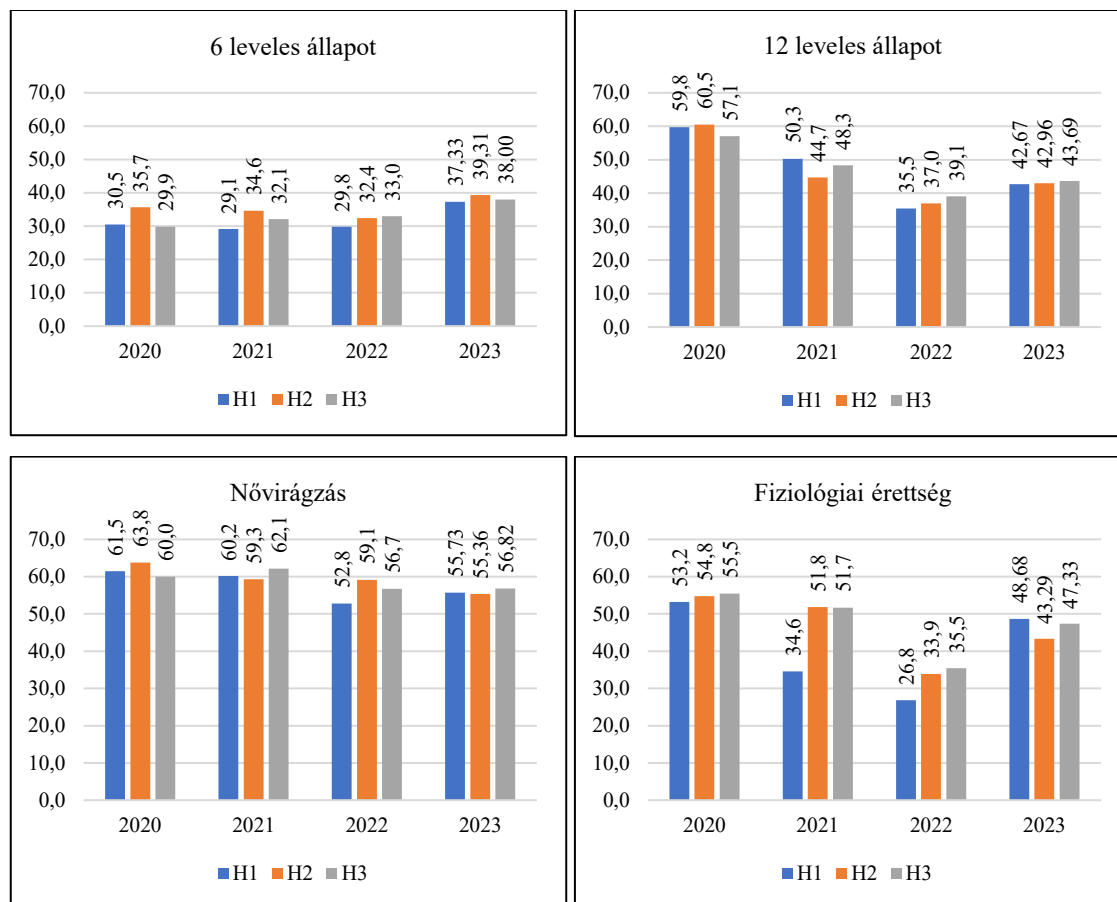
48. ábra: A H3 (FAO350-360) hibrid fenológiai fázisainak időpontja és a mért hőösszegek a 2020-2023 években (Debrecen-Látókép)

A 75 %-os nővirágzás is 2022-ben volt legkorábban megfigyelhető (52 nap 561 °C) majd 2023. év követte (61 nap 517 °C), 2021-ben 64 nap és 550 °C nap volt szükséges, míg 2020-ban 66 nap és 530 °C kellett. A fiziológiai érettséghez foknapban mérve az évek sorrendje a következőképpen alakult, 2023 (1160 °C), 2021 (1179 °C), 2020 (1286 °C) és 2022 (1297 °C). A nővirágzástól számolva a fiziológiai érettség eléréséig legkevesebb időre 2021-ben és 2023-ban volt szüksége a H3 hibridnek 53 nap és 629 °C, illetve 53 nap és 643 °C fok kellett hozzá. 2022-ben 61 nap és 736 °C, 2020-ban 68 nap és 755 foknap volt szükséges. A betakarítás foknapban mérve 2022-ben és 2023-ban haladta meg az 1500 °C fokot.

4.5.6 SPAD értékek 2020-2023

A H1 (FAO420), H2 (FAO390-410) és H3(FAO350-360) hibrid tenyészidőszak során mért SPAD értékeit a 49. ábra mutatja a 4 évet figyelembe véve. A SPAD értékek a

nővirágzásig növekvő tendenciát mutattak. 6 leveles korban 2023-ban mértem mind a három hibridnél a legmagasabb értékeket. Ezen belül is a H2 hibridnél 39,31-es SPAD eredménnyel. A 2022-es év kivételével a H2 hibridnél mindig a legmagasabb értéket kaptam. Legalacsonyabb eredménye a H1 hibridnek volt 2021-ben (29,1). A 12 leveles korban felvételezhető eredményeknél jelentősebb az évek közötti eltérés. 2020-ban mértem a legkiemelkedőbb értékeket, itt is a H2 hibrid adta a legnagyobb SPAD eredményt (60,5). Majd ezt követte a 2021-es év (44,7-50,3 közötti értékekkel).



49. ábra: SPAD értékek alakulása fenofázisonként a négy évet ábrázolva hibridenként (Debrecen-Látókép,2020-2023)

2023-ban a három hibrid eredménye kiegyenlítettebb volt (42,67-43,69). Legalacsonyabb SPAD-ot 2022-ben kaptam, 35,5-39,1 értékek között. Legalacsonyabban a H1 hibrid teljesített (35,5), amelynek kisebb értékét a nővirágzás idején tartotta 52,8 eredménnyel a hibrideket figyelembe véve. Virágzáskor 2022-ben és 2023-ban nem érték el méréskor a 60-as SPAD értéket a hibridek. Legnagyobb értéke a H2 hibridnek volt 2020-ban (63,8). A fiziológiai érettség szakaszában legalacsonyabb SPAD értéke a H1 hibridnek volt 2022-ben (26,8), legmagasabb pedig a H3 genotípusnak 2020-ban. Legnagyobb SPAD értékeket 2020-ban mértem mind a három hibridnél,

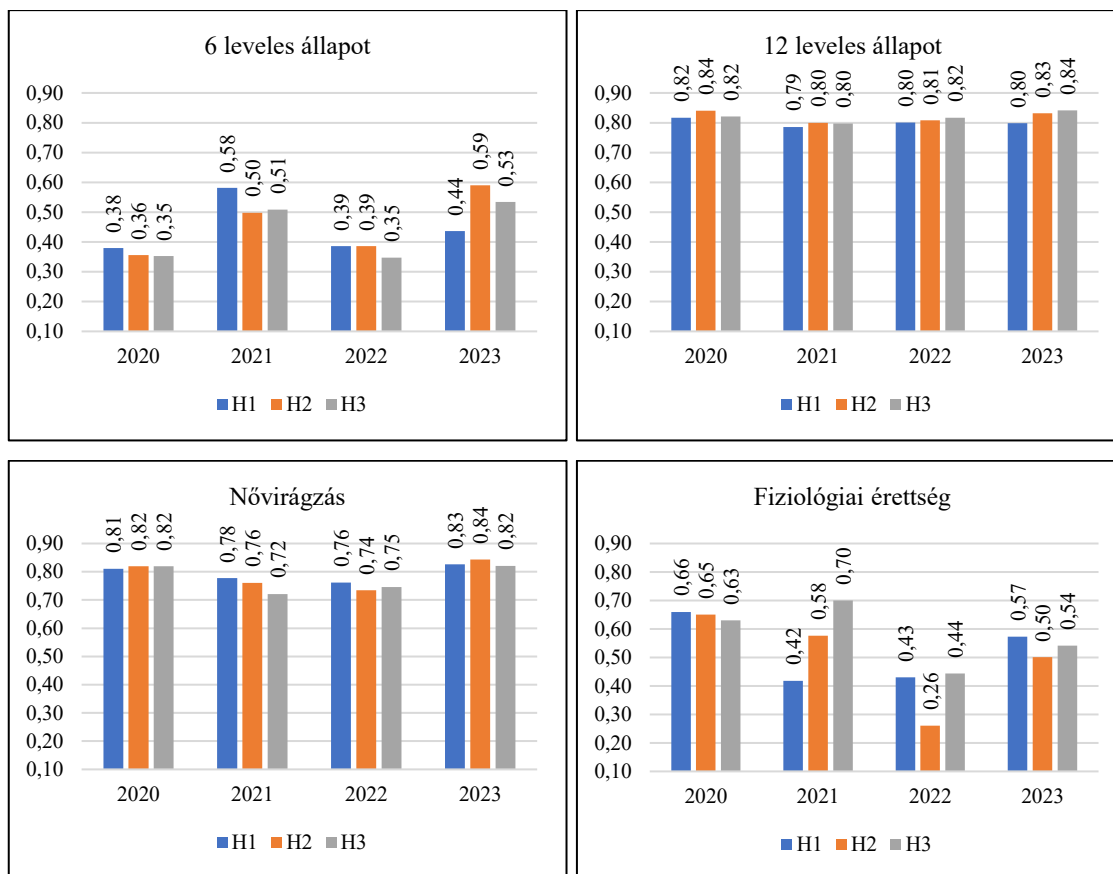
legalacsonyabbat 2022-ben. A vizsgált kísérleti paraméterek, mint genotípus, az évjárat és a különböző fenológiai stádiumfázisok önálló, illetve együttes hatásvizsgálatai alapján megállapítható, hogy mind az évjárat, a genotípus, a fenofázis, az év x hibrid, év x fenofázis, hibrid x fenofázis valamint az év x hibrid x fenofázis együttes hatása szignifikáns ($P < 0,001$) hatással volt a SPAD értékek eredményeire (34. táblázat).

34. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a hibrid, év és eltérő fenofázis önálló és együttes értékeléséhez a SPAD értékek vizsgálata során. Debrecen. Látókép (2020-2023)

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
SPAD	Év	3	9518,5	3172,8	157,32	0,000
	Hibrid	2	642,7	321,3	15,93	0,000
	Fenofázis	2	642,7	321,3	15,93	0,000
	Év*Hibrid	6	743	123,8	6,14	0,000
	Év*Fenofázis	9	7734,2	859,4	42,61	0,000
	Hibrid*Fenofázis	6	715,4	119,2	5,91	0,000
	Év*Hibrid*Fenofázis	18	1530,2	85	4,22	0,000
	Hiba	432	8712,6	20,2		

4.5.7 NDVI értékek 2020-2023

A H1 (FAO420), H2 (FAO390-410) és H3(FAO350-360) hibrid tenyészidőszak során mért NDVI értékeit a 50. ábra mutatja a 4 év során. Az NDVI értékek 2020. és 2022. évben voltak a legalacsonyabbak a 6 leveles állapotban. 0,35 értéket mértem a H3 hibridnél mindkét évben. A 2021. és 2023. évben minden hibrid magasabb eredményt produkált. Legnagyobb eredménye a H2 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). Legalacsonyabb 0,79 értékkel a H1 hibrid volt 2021-ben. A növirágzáskor alacsonyabb eredményei voltak a hibrdek többségének, azonban 2020-ban a H3 hibrid tartotta a 0,82 értéket, illetve a 2023-as évben a H1 és H2 hibrdeknel magasabb eredményt kaptam (0,83 és 0,84). A fiziológiai érettség szakaszában a hibrdek jobban elkülönültek egymástól. Kiegyenlítően magas értékek szerepeltek 2020-ban (0,63-0,66). 2021-ben a H3 genotípus tartotta magas NDVI értékét (0,70). 2022-ben jelentősen alacsony értéke a H2 hibridnek volt (0,26). 2023-ban 0,50-0,57 között alakultak a mért eredmények.



50. ábra: NDVI értékek alakulása fenofázisonként a négy évet ábrázolva hibridenként (Debrecen-Látókép,2020-2023)

35. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a hibrid, év és eltérő fenofázis önálló és együttes értékeléséhez az NDVI értékek vizsgálata során. Debrecen-Látókép (2020-2023)

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
NDVI	Év	3	0,7614	0,2538	78,21	0,000
	Hibrid	2	0,0163	0,00814	2,51	0,083
	Fenofázis	3	12,1039	4,03464	1243,23	0,000
	Év*Hibrid	6	0,0975	0,01625	5,01	0,000
	Év*Fenofázis	9	1,3074	0,14526	44,76	0,000
	Hibrid*Fenofázis	6	0,1563	0,02605	8,03	0,000
	Év*Hibrid*Fenofázis	18	0,584	0,03245	10	0,000
	Hiba	432	1,402	0,00325		

A vizsgált kísérleti paraméterek, mint genotípus, az évjárat és az eltérő fenológiai fázisok 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 az NDVI értékek eredményeire (35. táblázat).

4.5.8 Vízleadás dinamika 2020-2023

A H1 (FAO420) és H2 (FAO390-410) hibrid vízleadásának dinamikáját a négy évet tekintve a 36. táblázat tartalmazza.

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

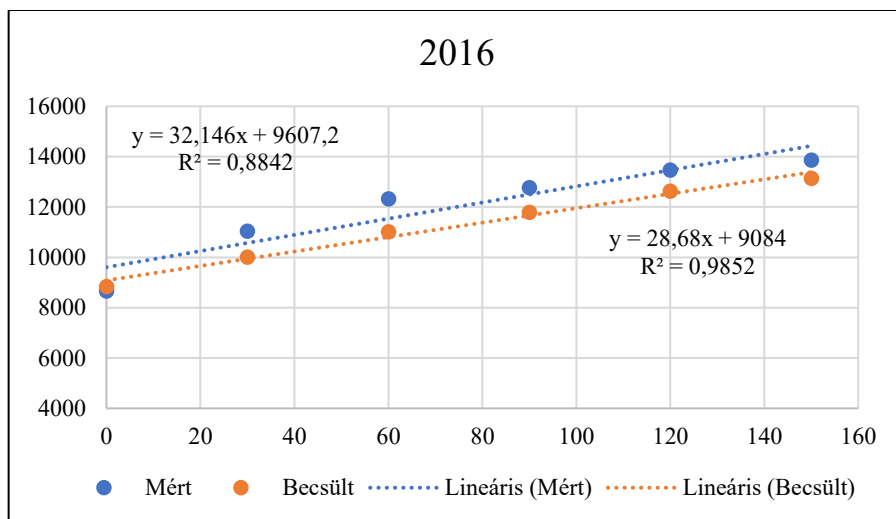
Évek	Fajlagos mutatók		H1	H2
2020	Vízleadás 08.25.-től fiziológiai érésig	szemnedvesség %/nap	1,26	0,87
		hőösszeg °C/ 1%	8,13	12,10
	Vízvesztés Fiziológiai éréstől- betakarításig	szemnedvesség %/nap	0,01	0,12
2021	Vízleadás 07.29.-től fiziológiai érésig	szemnedvesség %/nap	0,85	0,92
		hőösszeg °C/ 1%	11,89	10,61
	Vízvesztés Fiziológiai éréstől- betakarításig	szemnedvesség %/nap	0,47	0,41
2022	Vízleadás 07.28.-től 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.-től 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

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 %. 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-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 %. 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. Vízvesztése naponta a betakarításig 0,56 % volt a H1 hibridnek, a H2 hibridnek 0,32 %.

4.5.9 A DSSAT Ceres-Maize program futtatásának eredményei

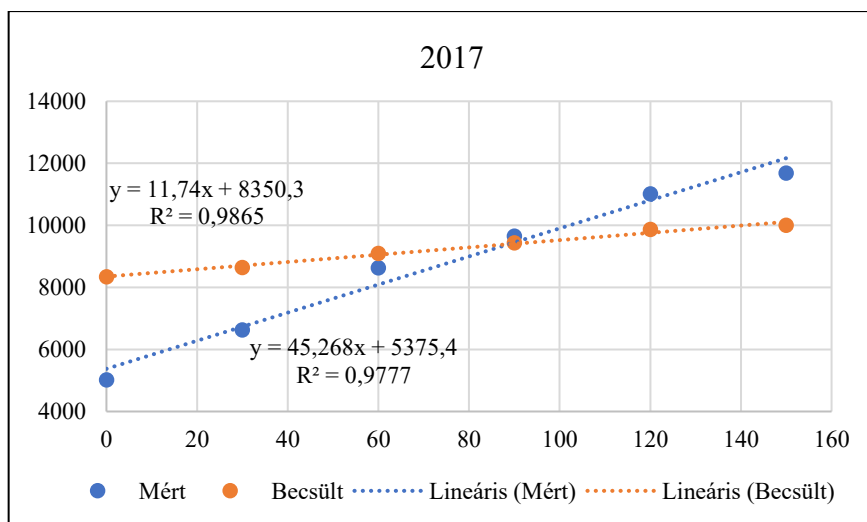
Az általam alkalmazott DSSAT Ceres-Maize program növényi modellezéséhez egy több tápanyaglépcsős kísérletet választottam, amelynek a betakarított termésmennyiségét a szimulált eredményekkel hasonlítottam össze egy kiváló genetikai tulajdonságú hibrid segítségével (FAO 340).



51. ábra: A hibrid (FAO 340) mért és becsült termésadatai (2016)

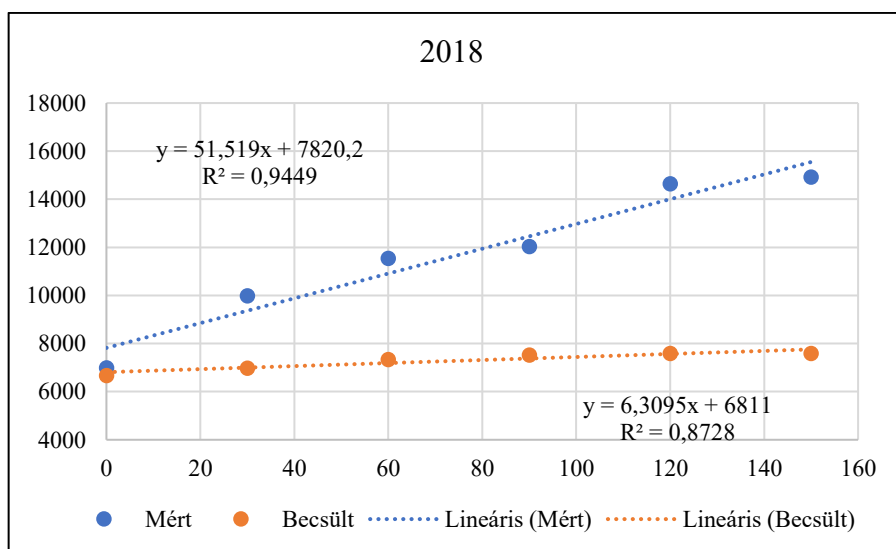
2016-ban az N0 dózis kivételével a modell minden esetben alulbecsülte a hozamot (51. ábra). A kedvező csapadékelátottságú évjáratnak hatására a magas terméshozamok a szimulációs eredményekben is megmutatkoztak. A mért termésadatok determinációs együtthatója $R^2 = 0,88$, a szimulált eredményeket $R^2 = 0,98$ értékkel határoztam meg. A nitrogén dózis egységnyi növelése a mért adatoknál $32,14 \text{ kg ha}^{-1}$, a szimulált adatoknál

28,68 kg ha⁻¹ volt. 2017-ben a N60 dóziséig a program felül, majd azt követően a többi három tápanyaglépcsőben alulbecsülte a terméseredményt (52. ábra). A mért eredmények $R^2=0,97$, a szimulált eredmények $R^2=0,98$ értéket mutattak.



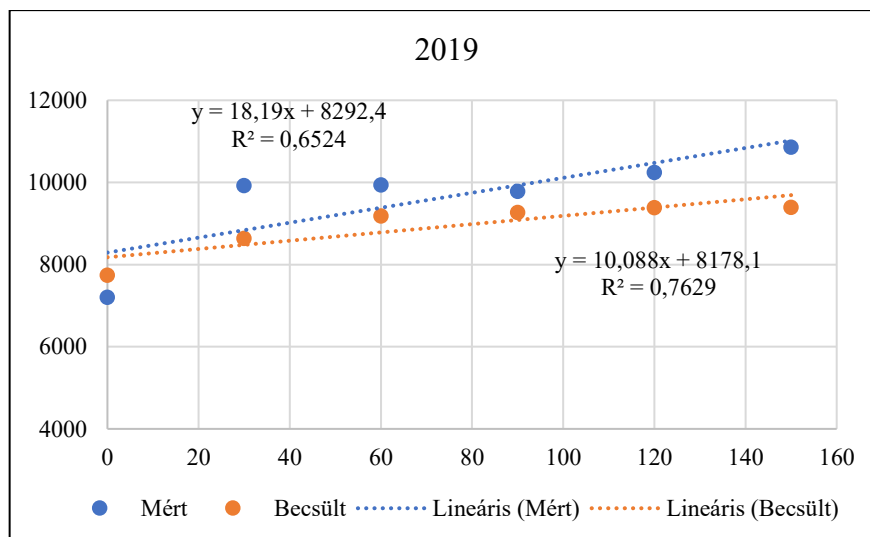
52. ábra: A FAO 340 hibrid mért és becsült termésadatai (2017)

Az egységenkénti nitrogéndózis növelése a mért adatoknál 45,26 kg ha⁻¹, a szimulált adatoknál 11,74 kg/ha volt. 2018-ban a szimulált eredmények ($R^2 = 0,87$) a műtrágyaadag emelésével párhuzamosan követték a hozam növekedését (53. ábra).



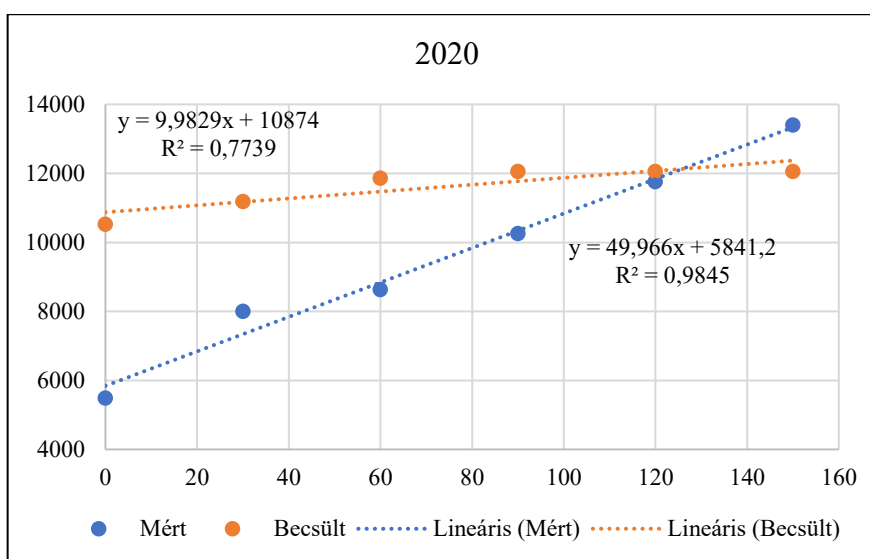
53. ábra: A FAO 340 hibrid mért és becsült termésadatai (2018)

Az értékek azonban jelentősen elmaradtak a mért eredményektől ($R^2 = 0,94$). Az egységnyi nitrogéndózis növelése a mért adatoknál 51,51 kg ha⁻¹, a szimulált adatoknál 6,30 kg ha⁻¹ volt. 2019-ben a mért terméseredmények jelentősen 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 (54. ábra).



54. ábra: A FAO 340 hibrid mért és becsült termésadatai (2019)

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.



55. ábra: A FAO 340 hibrid mért és becsült hozamadatai (2020)

A 2020-as évben a mért termésértékek $R^2 = 0,98$, a szimulált $R^2 = 0,77$. Az egységnyi nitrogéndózis növelése a mért adatoknál $49,96 \text{ kg ha}^{-1}$, míg a szimulált adatoknál $9,98 \text{ kg ha}^{-1}$ hozamnövekedést eredményez. A modell pontosan megbecsülte az N120 dózis hozamát 2020-ban, többi dózis vizsgálatánál fenntartotta a növekvő tendenciát, a N150 dózissal becsülte alul a hozamot (55. ábra).

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Fenológiai paraméterek:

A vizsgált paramétereket nézve a hibridek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a kísérletben alkalmazott hibridek között. A növénymagasságot és csőmagasságot mind az évjárat és 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). 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 a 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. Kiegyenlítően 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 1347 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 hibrdek (leghosszabb H2 hibrid 22,6 cm). Csőátmérőt tekintve a 2020-as évben kiemelkedő eredmények figyelhetők meg, Legvastagabb csövet a H2 hibrid produkált (55,5 mm). 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 (H2 hibrid 51,70 g), legalacsonyabbak viszont a 2021-es évben (H1 hibrid 14,32 g). 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 hibrdek a legmagasabb csövön lévő szemsor számot (19 darab), a legalacsonyabbat 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 hibrdek és évjáratok vizsgálatában szignifikáns különbség mutatható ki a hibrdek 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 termés elem paraméter között statisztikailag igazolható pozitív szoros kapcsolat volt.

Terméseredmény:

Gombos és Nagy (2024b) megállapítását a saját vizsgálati eredményeim is alátámasztják, miszerint a 2020-as év közel optimálisnak bizonyult a tenyészidőszakban lehullott nagy mennyiségű és jó időbeli eloszlású csapadéknak köszönhetően. Az a három genotípus, amely mind a négy vizsgálati évben szerepelt kiemelkedően magas terméseredményeket ért el. 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 többtényezős 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 hibridek 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. 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. A vizsgált beltartalmi paraméterek között minden évben negatív szoros, 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, ez 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 %.

A szemek vízleadásának és a betakarítási munkáknak kedvezett a 2023-as év rekord meleg (20,0°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. Vízvesztése naponta a betakarításig 0,56 % volt a H1 hibridnek, a H2 hibridnek 0,32 %.

Több éves kísérleti eredményeim alapján a vizsgált genotípusokról az alábbi jellemzés írható le:

H1

FAO 420 érésidejű, szemes kukorica hibrid. Terméspotenciálja eléri a 20,1 t ha⁻¹-t. Növénymagassága átlagosnak mondható (289,1 cm), azonban átlagostól alacsonyabb csőmagasságú (117,5 cm), szárátmérője 18,76 mm. Ezerszemtömege kedvező, átlagosan 400 gramm. Szemszáma kedvező 508 db/cső, egy csövön lévő sorok száma 16 db, egy sorban átlagosan 35 szem helyezkedik el. Rövidebb és kisebb átmérőjű csövet fejleszt (18 cm-48 mm). Cső (229 g) és szemtömege (208 g) alacsonyabb az átlagtól. Szem-csutka aránya 10,5 %. Kedvező a betakarításkori szemnedvességtartalma (16 %, vízleadása

kedvező) olajtartalma közepes (3,3 %), fehérjetartalma alacsonyabb (6,1 %), keményítőtartalma magasabb (76,8 %). Kifejezetten jó kezdeti fejlődési eréllyel rendelkezik, gyors kelés jellemzi. Fiziológiai érettségét átlagosan szeptember elején éri el, szükséges hőösszeg igénye (1222-1377 foknap).

H2

Közép-korai érésű hibrid (FAO 390-410). Termőhely- és évjárat-stabilitása kimagasló (átlag termése 20,000 t ha⁻¹), melyet magas terméspotenciálja is alátámaszt, eléri a 25,000 tonnás hektáronkénti átlagot. Kiváló kezdeti fejlődés mellé (közepes kelésű), magas növényeket fejleszt (304 cm), magasan elhelyezkedő csövekkel (128,4 cm). Szárátmérője átlagos 18,91 mm. Ezerszemtömege kedvező, átlagosan 408 gramm. Szemszáma igen magas 589 db/cső, egy csövön lévő sorok száma 18 db, egy sorban átlagosan 37 szem helyezkedik el. Hosszú, nagy átmérőjű csövet fejleszt (19,5 cm-52 mm). Cső (279 g) és szemtömege (246 g) igen magas. Szem-csutka aránya 8 %. Betakarításkori szemnedvességtartalma (16,5 %, vízleadása kedvező) olajtartalma alacsony (3,0 %), fehérjetartalma magasabb (6,4 %), keményítőtartalma magasabb (76,9 %). Kifejezetten jó kezdeti fejlődési eréllyel rendelkezik, gyors kelés jellemzi. Fiziológiai érettségét átlagosan szeptember elején/közepén éri el, szükséges hőösszeg igénye (1290-1348 foknap).

H3

FAO 350 éréscsoportba tartozó szemes kukorica. Terméspotenciálja eléri a 20,000 t ha⁻¹-t (átlag termése 16,402 t ha⁻¹). Növénymagassága átlagos (297 cm), kedvező csőmagasságú (125,5 cm), erős szarát fejleszt, 18,76 mm. Ezerszemtömege magas, 457 gramm. Szemszáma közepes 475 db/cső, egy csövön lévő sorok száma 15 db, egy sorban átlagosan 39 szem helyezkedik el. Rövidebb és kisebb átmérőjű csövet fejleszt (19 cm-48 mm). Cső (248 g) és szemtömege (219 g) kedvező. Szem-csutka aránya 7,5 %. Kedvező a betakarításkori szemnedvességtartalma (15,8 %, vízleadása kiemelkedő) olajtartalma magas (3,6 %), fehérjetartalma is jó (6,4 %), keményítőtartalma alacsonyabb (75,3 %). Jó kezdeti fejlődési eréllyel rendelkezik. Fiziológiai érettségét átlagosan augusztus végén, szeptember elején éri el, szükséges hőösszeg igénye (1160-1297 foknap). Zöld száron érik, fiziológiai érettségénél átlagos SPAD értéke 47,33, átlagos NDVI értéke 0,57.

H4

FAO 400-as éréscsoport legvégén (FAO 490) érik. Jellemző rá, hogy az aszályos évjáratokban is megállja a helyét. Terméspotenciálja eléri a 21,600 t ha⁻¹-t (átlag termése 18,500 t ha⁻¹) Megjelenését tekintve 302 cm átlagmagasságú, csőmagassága magasabb 133 cm. Vastag szárral rendelkezik (19,5 mm). Átlagos csőhosszúságú (19 cm), csőátmérője jelentős (51 mm). Ezerszemtömege 397 gramm. Szemszáma igen magas 571 db/cső, egy csövön lévő sorok száma 15 db, egy sorban átlagosan 39 szem helyezkedik el. Cső (266 g) és szemtömege (237 g) kedvező. Szem-csutka aránya 8,3 %. Betakarításkori szemnedvességtartalma magasabb (18,3 %), olajtartalma alacsonyabb (3,1 %), fehérjetartalma is jó (6,4 %), keményítőtartalma magas (77,2 %). Jó kezdeti fejlődési eréllyel rendelkezik. Fiziológiai érettségét szeptember közepén éri el, szükséges hőösszeg igénye (1233-1290 foknap). Zöld száron érik, fiziológiai érettségnél átlagos SPAD értéke 50,46, átlagos NDVI értéke 0,63.

H5

A FAO 400-as éréscsoport legvégén (FAO 490) érik, hosszú tenyészidejű hibrid, hektáronkénti termése 17,935 tonna. Magas megjelenésű (329,5 cm), csőmagassága is jelentős 138 cm. Vastag szárat fejleszt (20,23 mm). Hosszú csövekkel rendelkezik (20,5 cm), csőátmérője jelentős (54 mm). Ezerszemtömege 433 gramm. Szemszáma igen magas 641 db/cső, egy csövön lévő sorok száma 17 db, egy sorban átlagosan 41 szem helyezkedik el. Cső (316 g) és szemtömege (282 g) kedvező. Szem-csutka aránya 8,2 %. Betakarításkori szemnedvességtartalma 15,6 %, olajtartalma közepes (3,3 %), fehérjetartalma is jó (6,3 %), keményítőtartalma alacsonyabb (74,80 %). Fiziológiai érettségét szeptember elején éri el (1283 foknap). Zöld száron érik, fiziológiai érettségnél átlagos SPAD értéke 49,68 átlagos NDVI értéke 0,59.

DSSAT Ceres-Maize futtatási eredmények

Az általam vizsgált kísérleti eredmények alapján elmondható, hogy a CERES-Maize modell nagyon érzékeny volt az éghajlati tényezők változásaira, a modell több esetben is pontatlanul szimulálta a kukorica hozamát a különböző N-kezelésekben és az eltérő tenyészidőszakokban. Összefoglalva, a szimulált kukoricatermés nem társult a kísérleti parcellákon mért helyspecifikus kukoricahozamokhoz. Hosszú távú kísérlet azt mutatta, hogy a növekvő műtrágyázás hatására nő a termés hozam, 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., 2022).

6. 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 tartalomból 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 tenyésztésében (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.

7. 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 leggazdaságosabban. 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.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánk egyik legjelentősebb termesztett növénye a kukorica, de termését jelentősen befolyásolja az adott év időjárási viszonya. Jól mutatja, hogy a szélsőségesen aszályos 2022-es évet követően egyre nagyobb figyelmet kell fordítani a növény termésbiztonságának, termésstabilitásának növelésére. A népességnövekedésnek köszönhetően a jelenlegi 2,8 milliárd tonna gabona szükségletünk várhatóan további 1 milliárd tonnával fog emelkedni.

A kukorica termésbiztonságát a termesztési tényezők, ezen belül az ökológia, a biológiai alapok és az agrotechnika együttesen határozzák meg, egymással szoros összefüggésben. A termőképesség a hibridválasztás egyik legmeghatározóbb kritériuma. 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, adott az ökológiai és ökonómiai feltételek mellett milyen agrotechnikai elemek alkalmazásával érhető el mennyiségileg, minőségileg és gazdaságilag a legkedvezőbb hozam.

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 megfigyelésére különböző fenofázisokban a keléstől egészen a betakarításig. A kísérletben eltérő genetikai háttérű, eltérő éréscsoportba tartozó hibrideket vizsgáltam.

Méréseimet a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti telepén 2018-ban beállított kísérletben végeztem. 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 gyökérzónáig beszivárgó csapadék és a szokásosnál lényegesen magasabb volt a hőmérséklet is. A 2022-es rekord aszályos évet a jelentősen meleg, és a főként kulcsfontosságú időszakokban csapadékmentes nyári időjárás, illetve talajok csökkent 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.

A kísérletben több tényezőt is vizsgáltam a kiváló genetikai tulajdonságokkal rendelkező hibridek termesztése során, különböző fenometria tulajdonságait, hozamát, termésképző elemeit, vízleadását és az adott évben nyomonkövetett hőösszegalakulását. Az általam vizsgált kukorica genotípusok más-más biológiai alapokkal rendelkeznek, így a közöttük lévő eltérések statisztikai módszerekkel is igazolhatóak.

Eredményeim alapján elmondható, hogy a fenológiai paraméterek alakulása szempontjából a 2023-as év volt a legmegfelelőbb. Átlagos növénymagasság 321,8, a csőmagasság 138,9 cm, a szárátmérő pedig 20,5 mm. A növénymagasságot és csőmagasságot az évjárat, hibrid és a hibrid x évjárat együttesen szignifikáns ($P < 0,001$) módon befolyásolta. Minden évben a H2 hibridnél számoltam a legtöbb csővenkénti kukoricaszemet (567-624 db). Leghosszabb csöveket a 2020-as évben fejlesztettek a vizsgált hibridek (leghosszabb H2 hibrid 22,6 cm). Csőátmérőt tekintve a 2020-as évben kiemelkedő eredmények figyelhetők meg, Legvastagabb csövet a H2 hibrid produkált (55,5 mm). A csőtömeg vizsgálatkor minden esetben a 2020-as év tekinthető a legjobbnak (274,2-358,7 g). A H2 hibrid szemsúlya minden évben kimagaslott. Legmagasabb értékeket a 2020-as év eredményezte (307 g).

McMaster (1997) megállapítása figyelhető meg a relatív klorofilltartalom eredményeknél a vizsgált 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. A SPAD értékek a négy kísérleti évben a nővirágzásig növekvő tendenciát mutattak. Az egyes vizsgált kísérleti paraméterek, mint genotípus, az évjárat és a különböző fenológiai stádiumok önálló és együttes hatásvizsgálatai alapján megállapítottam, hogy mind az évjárat, a genotípus, a fenofázis, az év x hibrid, év x fenofázis együttes hatása szignifikáns ($P < 0,001$) hatással volt a SPAD értékek eredményeire.

A hőösszegek és a keléstől eltelt napok számában jól megfigyelhető az évjárat hatása. A rendkívül aszályos 2022-es évben a hibridek hím- és nővirágzása a legkorábban volt felvételezhető. 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. Megállapítottam, hogy a fiziológiai érettség utáni vízleadási dinamika mértéke genotípusfüggő. 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 tenyésztésben (0,69 %/nap), azonban az 1 %-os vízleadáshoz több hőösszegre volt szüksége (17,81 °C), mint a korábbi évben (8,13 °C).

Összefoglalva a négy év terméseredményeit a legkedvezőbb év 2020. volt átlagosan 21,030 t ha⁻¹ terméssel, ezt követte 2021-es év 19,120 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.

Kutatási eredményeim segítségével egy-egy genotípusról komplex képet kaphatunk. A tenéyzidőszak hőösszegével jellemezhetőek a hibridek, beleértve a fiziológiai érettséget is, amely után már biztonságosan betakaríthatóak. Agronómiai tulajdonságaik, kiemelve a termésképző elemeket jelentősen befolyásolják a szemtermés alakulását. Mindemellett fontos megemlíteni azon genotípusokat, amelyek kiemelkedő termésmennyiségüket kedvezőtlenebb időjárási viszonyok mellett is megtartják.

Az általam vizsgált hibridek eredményei alapján elmondható, hogy minden genotípusnak van kiemelkedő tulajdonsága. Ezek a tulajdonságok genetikailag determináltak, azok alakulását egyes agrotechnikai elemekkel javíthatjuk, beleértve a szakszerű tápanyagutánpótlást, megfelelő talajművelést, tőszámot, növényvédelmet és a betakarítás. Ezen elemek elengedhetetlenek a korszerű kukoricatermesztéshez, de a gyakorlatban való megfelelő alkalmazásuk a technológia fejlődésével pontosítható, azaz precíziós technológiát alkalmazhatunk. Elmondható, hogy a vegetáció alatt végzett különböző vizsgálatok (NDVI és SPAD mérés) egyre nagyobb szerepet kapnak a kukoricatermesztésben. Ezzel nyomonkövethetővé válik a növényállomány fejlődése, annak fejlettségi és egészségi állapotát figyelhetjük meg, illetve következtethetünk a növények nitrogén ellátottságára és az állomány klorofilltartalmára.

9. SUMMARY

One of the most important cultivated crops in our country is corn, but its yield is significantly influenced by the weather conditions of the given year. It clearly shows that the extremely droughty year of 2022 will require more and more attention to crop security and increasing crop stability. Due to population growth, our current grain requirement of 2.8 billion tons is expected to increase by another 1 billion tons.

The yield security of maize is determined by the production factors, including ecology, biological foundations and agrotechnics, together and in close connection with each other. Yield is one of the most decisive criteria for hybrid selection. In the present and in the future, maize varieties will be needed that can maintain their yield stability even under extreme weather conditions. However, a professional background is essential, the ability to decide which agrotechnical elements can be used to achieve the most favorable yield in terms of quantity, quality and economy under given ecological and economic conditions.

In my thesis, I present studies aimed at exploring the relationship between the development, yield-forming elements, productivity and quality parameters of maize. During my research, I examined the efficiency of cultivation in irrigated maize culture for 4 years (2020-2023) in the case of five different genotypes.

My studies focus on the relative chlorophyll content, leaf area, vegetation index, measurement of phenometric parameters, yield quantity and quality of maize plants. I paid special attention to the agronomic properties of the hybrids and the changes in their yield-forming elements. Furthermore, I studied the water release capacity of the hybrids and observed the development of the heat sum in different phenophases from emergence to harvest. In the experiment, I examined hybrids with different genetic backgrounds and belonging to different maturation groups.

I conducted my measurements in an experiment set up in 2018 at the University of Debrecen Látókép Experimental Station of Plant Production. Overall, it can be said that from a weather perspective, one of the four years examined was very favorable, one good and two very unfavorable for maize in the Debrecen area (Gombos and Nagy, 2024b). The year 2020 proved to be almost optimal due to the large amount of precipitation that fell during the growing season and its good temporal distribution, combined with the close-to-average, balanced summer temperature conditions. However, a severe drought developed in 2021, due to the fact that there was no precipitation that

infiltrated to the root zone during the summer and the temperature was significantly higher than usual. The record drought year of 2022 was a result of significantly warm, mainly precipitation-free summer weather during key periods, as well as reduced water resources in soils. In 2023, the initial water supply corresponding to the water capacity of the arable land, the moderately warm, balanced temperature conditions of the growing season, and the average rainfall provided favorable agrometeorological conditions for corn in the Debrecen region.

In the experiment, I examined several factors during the cultivation of hybrids with excellent genetic properties, their various phenometric properties, yield, crop-forming elements, water release and heat formation monitored in a given year. The maize genotypes I examined have different biological bases, so the differences between them can be verified by statistical methods.

Based on my results, it can be said that the year 2023 was the most suitable in terms of the development of phenological parameters. Average plant height was 321.8 cm, tube height was 138.9 cm, and stem diameter was 20.5 mm. Plant height and tube height were significantly ($P < 0.001$) influenced by year, hybrid, and hybrid x year together. In every year, I counted the most corn kernels per tube in the H2 hybrid (567-624 pcs). The longest tubes were developed by the tested hybrids in 2020 (the longest H2 hybrid was 22.6 cm). In terms of tube diameter, outstanding results can be observed in 2020, with the H2 hybrid producing the thickest tube (55.5 mm). When examining the tube weight, 2020 can always be considered the best year (274.2-358.7 g). The H2 hybrid's eye weight has been outstanding every year. The highest values were achieved in 2020 (307 g).

McMaster (1997)'s statement can be observed in the relative chlorophyll content results during the four years examined, as there was a significant difference between the SPAD values of maize of different ages and leaves, and the values measured in the pre-flowering stage were significantly higher and decreased after flowering. The SPAD values showed an increasing trend until female flowering in the four experimental years. Based on the independent and joint effect tests of the individual experimental parameters examined, such as genotype, year and different phenological stages, I found that the joint effect of year, genotype, phenophase, year x hybrid, year x phenophase had a significant ($P < 0.001$) effect on the results of the SPAD values.

The effect of the vintage can be clearly observed in the heat sums and the number of days since emergence. In the extremely droughty year of 2022, the male and female

flowering of the hybrids was the earliest to be recorded. It took 56 and 57 days for the H1 hybrid, 55 and 58 days for the H2 hybrid, and 50 and 52 days for the H3 hybrid to reach this state. I found that the degree of water release dynamics after physiological maturity is genotype-dependent. Based on the different daily water release values and the corresponding heat sum data for the H1 and H2 hybrids, the water release efficiency can be accurately characterized, so that the timing of harvest can be optimized. In the 2020 test year, the H1 hybrid had faster water loss (1.26%/day) than in the 2022 growing year (0.69%/day), but it required more heat (17.81 °C) to produce 1% water loss than in the previous year (8.13 °C).

Summarizing the yield results of the four years, the most favorable year was 2020 with an average yield of 21,030 t ha⁻¹, followed by 2021 with an average of 19,120 t ha⁻¹, in 2023 the average yield per hectare was 15,900 tons and finally in 2022 the lowest harvestable quantities per hectare (14,999 tons) were recorded. My results can also be verified statistically.

With the help of my research results, we can get a complex picture of each genotype. Hybrids can be characterized by the heat sum of the growing season, including physiological maturity, after which they can be safely harvested. Their agronomic properties, highlighting the yield-forming elements, significantly influence the development of the grain yield. In addition, it is important to mention those genotypes that maintain their outstanding yield even under less favorable weather conditions.

Based on the results of the hybrids I have examined, it can be said that every genotype has outstanding characteristics. These characteristics are genetically determined, their development can be improved with certain agrotechnical elements, including professional nutrient supply, proper soil cultivation, plant density, plant protection and harvesting. These elements are essential for modern corn production, but their proper application in practice can be refined with the development of technology, i.e. we can use precision technology. It can be said that various tests carried out during the vegetation (NDVI and SPAD measurements) are gaining an increasingly important role in corn production. This makes it possible to track the development of the plant population, observe its developmental and health status, and draw conclusions about the nitrogen supply of the plants and the chlorophyll content of the population.

10.SZAKIRODALMI JEGYZÉK

1. *Abedinpour, M.- Sarangi, A.*: 2018. Evaluation of dssat-ceres model for maize under different water and nitrogen levels. *Pertanika J. Sci. Technol.* 26. 1605–1618.
2. *Andrew, R. H., F. P. Ferwerda, A. M. Strommen* (1956) Maturation and yield of corn as influenced by climate and production technique. *Agron. J.* 48:231-236.
3. *Aparicio N.- Villegas D.- Casadesús J.- Araus J.L.- Royo C.*: 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, 92: 83–91.
4. *Araus, J.L.- Casadesus, J.- Bort, J.*: 2001. Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. In: Reynolds M.P. – Ortiz-Monasterio J.L.- McNab A. (eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. CIMMIT. Mexico, D.F. 59-77.
5. *Árendás T.*: 2006. Növénytaplálás új szemlélettel. *Gyakorlati Agrofórum*, 17. 12/M. 8-10.
6. *Babic, V.- Stanisavljevic, D.- Zoric, M. - Mikic, S. - Mitrovic, B. - Andjelkovic, V. - Kravic, N.*:2022. Identification of New Sources for Earliness and Low Grain Moisture at Harvest through Maize Landraces' Test-Cross Performance. *Agronomy*. 12: 1939.
7. *Bartholy, J.–Pongrácz, R.–Piecza, I.–Torma, C.*: 2011. Dynamical downscaling of projected 21st century climate for the Carpathian Basin. *Climate Change Research and Technology for Adaptation and Mitigation*.
8. *Berzsenyi Z.*: 2012. Kukorica [In: Radics L. (szerk.) *Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés 2.*] Agroiinform Kiadó, 11-101.
9. *Berzsenyi Z.-Javinovits L.*: 1958. Fattyazási kísérletek, 1953. In: *Kukoricatermesztési kísérletek 1953-1957.* (Szerk: I'só I.) Akadémiai Kiadó, Budapest.
10. *Birkás M. –Jolánkai M.*: 2008. A növénytermesztés és a klímaváltozás összefüggése. In: *Klímaváltozás: Környezet-Kockázat-Társadalom. Kutatási eredmények.* Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 131-151
11. *Blackmer T.M.-Schepers J.S.*: 1995. Use of a Chlorophyll Meter to Monitor Nitrogen Status and Schedule Fertigation for Corn. *Journal of Production Agriculture*. 8. 1: 56-60.

12. Bloc, D., Gouet, J.P. (1974): Influence des sommes de temperature sur la date de floraison et l'evolution de l'umidité du grain chez le maïs. AGPM-ITCF
13. Bocz E. – Nagy J. 1981: A kukorica víz- és tápanyagellátásának optimalizálása és hatása a termés tömegére. Növénytermelés. 30. 6. 539-549.
14. Bocz E.: 1996. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest 887.p.
15. Bocz E.-Kováts A.- Ruzsányi L.- Szabó M.: 1996. Kukorica (In: Bocz et al., Szántóföldi Növénytermesztés) Mezőgazda Kiadó, Budapest, 361-413.
16. Bonhomme, R.: 2000. Bases and limits to using „degree day” unit. European Journal of Agronomy, 13: 1-10.
17. Bora, G.C.-Nowatzki, J. F.- Roberts, D. C.: 2012. Energy savings by adopting precision agriculture in rural USA. Sustainability and Society, 2. 22.
18. Burai P.: 2007. Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági mintaterületeken. PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Agrár Tudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen
19. Burke, M- Lobell, DB. : 2017. Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 114: 2189–2194.
20. Butts-Wilmsmeyer, C. J. – Seebauer, J. R. – Singleton, L. – Below, F. E.: 2019. Weather during key growth stages explains grain quality and yield of maize. Agronomy. 9. 1: 16.
21. Choukan, R.; Hosseinzadeh, A.; Ghanadha, M.R.; Taleei, A.; Mohammadi, S.A.:2005. Classification of maize inbred lines based on morphological traits. Seed Plant. 9. 139–157.
22. Chubachi T. – Asan I. – Oikawa T.: 1986. The diagnosis of nitrogen nutrition of rice plats (Sasanishiki) using chlorophyll meter. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 57. 2: 190–193.
23. Ciampitti, I. A. – Murrell, S. T. – Camberato, J. J. – Tuinstra, M. – Xia, Y. – Friedemann, P. – Vyn, T. J.: 2013. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. reproductive phase. Crop Science. 53: 2588-2602.
24. Costa C. – Dwyer L. M. – Dutilleul P. – Stewart D. W. – Ma B. L. – Smith D. L.: 2001. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. J. Plant Nutr. 24:1173-1194.

25. Csajbók J.: 2004. A növénytermesztési tér vízgazdálkodása. Mezőgazdasi vízgazdálkodási szakirányú továbbképzés jegyzet.
26. Csathó P. – Lásztity B.— Sarkadi J.: 1991. Az „évjárat” hatása a kukorica termésére és terméselmeire P – műtrágyázási kísérletekben. Növénytermelés, 40. 4: 339-351.
27. Csathó P.: 2004. A hazai agrokémiai iskolák kutatói által beállított NPK trágyázási szabadföldi kísérletek adatbázisának értékelése, Kézirat, MTA TAKI.
28. Debrecen-Látókép Tartamkísérletek 2015: Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Tartamkísérletek, Szerk: NAGY J., PEPÓ P., Debrecen. 51.
29. De-Jager, B.- Roux, C.Z.- Kühn, H.C.: 2004. An evaluation of two collections of south african maize (*Zea mays* L.) germplasm: 2. the genetic basis of dry-down rate. S. Afr. J. Plant Soil. 21: 120–122.
30. Denmead, O. T., R. H. Shaw (1960) The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agron. J. 52: 272-274.
31. Dobermann, A.-Arkebauer, T.-Cassman, K.-Drijer, R.-Lindquist, J.-Spect, J.- Walters, D.- Yang, H.- Miller, D.- Binder, D.- Teichmeier, G.- Ferguson, R.- Woermann, C.: 2003. Understanding corn yield potential in different environments. Annual Report to the Fluid Fertilizer Foundation on grant „Yield potential and optimal soil productivity in irrigated corn system of the north-central USA”. 1-16.
32. Dwyer, L.M.- Anderson, A.M.- Ma, B.L.- Stewart, D.W.- Tollenaar, M.- Gregorich, E.: 1995. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. Can. J. Plant Sci. 75: 179–182
33. Eip-Agri (2015): Precision Farming Final Report.
34. Erdeiné Késmárki-Gallys.: 2020. A precíziós gazdálkodás jelentősége a mezőgazdaság versenyképességében. Multidiszciplináris kihívások, sokszínű válaszok - Gazdálkodás- és Szervezéstudományi folyóirat. 2: 43-58.
35. 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.
36. Geisler, G.: 1980. Pflanzenbau. Berlin-Hamburg, Verlag Paul Parey.
37. Gombos B.-Nagy J.: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. Növénytermelés. 68. 2: 5–24.
38. Gombos B.-Nagy J.: 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. Növénytermelés. 71. 1: 7-20.

39. *Gombos B.-Nagy J.*: 2023. A 2022-es rendkívüli aszály agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látóképen. *Növénytermelés*. 72. 1: 1-14.
40. *Gombos B.-Nagy J.*:2024a. A 2023-as kukorica tenyésztidőszak agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látókép. *Növénytermelés*. 73. 1: 29-39.
41. *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.
42. *Gombos B.-Nagy Z.-Hajdu A.-Nagy J.*:2023. Climate change in the Debrecen area in the last 50 years and its impact on maize production. *Időjárás/ Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 127. 4: 485-504.
43. *Gunn, R. B. Christensen, R.*: 1956. Maturity relationships among early to late hybrids of corn. *Crop Science* 5. 299-302.
44. *Gunn, R. B., R. Christensen* (1963) Matuity relationships among early to late hybtids of corn (*Zea mays* L.) *Crop Sci.* 2:299-304.
45. Hallauer, A. R., Russell, W. A. (1961): Effect of selected weather factors on grain moisture reduction from silking to physiologic maturity in corn. *Agronomy Journal*. 53: 225-229.
46. *Hammer, G. L. – Dong, Z. – Mclean, G. – Doherty, A. – Messina, C. – Schussler, J. – Cooper M.*: 2009. Can Changes in Canopy and/or Root System Architecture Explain Historical Maize Yield Trends in the U.S. Corn Belt? *Crop Science*. 49. 1. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.03.0152>
47. *Hanway, J.J.*: 1963. Growth Stages of corn (*Zea mays* L.). *Agronomic Journal*. 55: 487-492.
48. *Herman, JJ; Sultan, SE; Horgan-Kobelski, T.; Riggs, C.*: 2012. Adaptive Transgenerational Plasticity in an Annual Plant: Grandparental and Parental Drought Stress Enhance Performance of Seedlings in Dry Soil. *Integrative and Comparative Biology*. 52. 77–88.
49. *Horváth D.–Illés Á.–Bojtor Cs. – Széles A.–Nagy J.*: 2021. Eltérő kukorica (*Zea mays* L.) genotípusok relatív klorofilltartalma és termésparaméterei közötti összefüggésvizsgálat multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 70. 3: 7–23.
50. *Horváth, É.- Gombos, B.- Széles, A.*: 2021. Evaluation phenology, yield and quality of maize genotypes in drought stress and non-stress environments. *Agron. Res.* 19. 408–422.

51. *Huzsvai L. – Nagy J.*: 2003. A Műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Növénytermelés*, 52. 5: 533–541.
52. *Huzsvai L.*: 2000. Számítógépes döntéstámogató rendszerek a szaktanácsadás szolgálatában [In: Nagy J. (szerk.) *Fenntartható mezőgazdaság – minőségi termelés.*] *Vider Plussz*. Debrecen. 108–157.
53. *Ignacio, A.–Ciampitti, T. J.*: 2014. Understanding Global and Historical Nutrient Use Efficiencies for Closing Maize Yield Gaps. 106. 6: 2107–2117.
54. *Izsáki Z.*: 1999. A nitrogén és foszforellátottság hatása néhány szántóföldi kultúra fehérjetartalmára és aminosav összetételére. In: *Növénytermesztés és környezetvédelem*. MTA Agrártudományi Osztály. (Szerk.: Ruzsányi L. – Pepó P.) Budapest. 92–97.
55. *Jaafar, HH- Ahmad, FA.*: 2015. Crop yield prediction from remotely sensed vegetation indices and primary productivity in arid and semi-arid lands. *Int. J. Remote Sens.* 36: 4570–4589.
56. *Jasemi M.-Darabi F.-Naseri R.-Naserirad H.-Bazdar S.*: 2013. Effect of Planting Date and Nitrogen Fertilizer Application on Grain Yield and Yield Components in Maize (SC 704). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 13.7: 914–919.
57. *Jolánkai M.*: 2005. Gabonafélék. In: *Növénytermesztéstan I.* pp. 304–326. (Szerk. Antal J.) *Mezőgazda Kiadó* Budapest.
58. *Jones, C.A.; Kiniry, J.R.*: 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development; Texas A & M University Press. ISBN UOM:39015020637560.
59. *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.
60. *Jovanović, D.- Govedarica, M.- Rašić, D.*: 2014. Remote sensing as a trend in agriculture. *Res. J. Agric. Sci.* 2014, 46, 32–37.
61. *Józsa L.*: 1981. Kukoricatermesztés szilázsnak. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest.
62. *Kovács G. J.–Németh T.*: 1995a. Nitrogénforgalom modellezése tartamkísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 3–4: 545–551.
63. *Kovács G. J.–Németh T.*: 1995b. Termés és nitrát-felhalmozódás modellezése tartamkísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 1–2: 89–98.

64. Kovács, G. J.–Németh, T.–Ritchie, J. T.: 1995. Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. *Agricultural Systems*. 49: 385–397.
65. Lazányi E.: 1955. A kukorica és nemesítése. Budapest, Mezőgazdasági és Erdészeti Állami Könyvkiadó.
66. Lencsés E.- Takács I.- Takács-György K. 2014: Farmers' perception of precision farming technology among Hungarian farmers. *Sustainability*, 6: 8452-8465.
67. Li, Y.; Shan, X.; Jiang, Z.; Zhao, L.; Jin, F.: 2021. Genome-wide identification and expression analysis of the GA2ox gene family in maize (*Zea mays* L.) under various abiotic stress conditions *Plant Physiol. Biochem.* 166, 621–633.
68. Liang, L.- Geng, D.- Yan, J.- Qiu, S.- Di, L.- Wang, S.- Xu, L.- Wang, L.- Kang, J.- Li, L.:2020. Estimating Crop LAI Using Spectral Feature Extraction and the Hybrid Inversion Method. *Remote Sensing*. 12. 21: 3534.
69. Lilburn, M.S.–Ngidi, E.M.–Ward, N.E.–Lames, C.: 1991. The influence of severe drought on selected nutritional characteristics of commercial corn hybrids. *Poultry Science*. 70: 2329–2334
70. Loch J. – Nosticzius Á.: 1983. Alkalmazott kémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
71. Martinez-Feria, R.A.- Licht, M.A.- Ordóñez, R.A.- Hatfield, J.L.- Coulter, J.A.- Archontoulis, S.V.: 2019. Evaluating maize and soybean grain dry-down in the field with predictive algorithms and genotype-by-environment analysis. *Sci. Rep.* 2019. 9: 7167.
72. Marton L.Cs–Hadi G.–Pintér J.–Hegyi Zs–Nagy E.–Spitkó T.–Szőke Cs.: 2008. Kukorica:a jövő növénye. Sokhasznú kukoricahibridek, 2008. Az MTA Mezőgazdasági Kutató intézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei. 1: 3–6.
73. McMaster, G.S.- Wilhelm, W.W.: 1997. Growing degree-days: One equation, two interpretations. *Agric. Meteorol.* 87. 291–300.
74. Mi N. - Cai F. - Zhang Y.S. - Ji R.P. - Zhang S.J. - Wang Y.: 2018. Differential responses of maize yield to drought at vegetative and reproductive stages. *Plant Soil Environ.*, 64: 260–267.
75. Minolta.: 1990. Specifications in detail – chlorophyll meter SPAD 502. Minolta Technical Note. TE102–601–01.
76. Móroczné Salamon K.: 2004. Nemesítés speciális beltartalmi értékekre. [In: Sági F. (szerk.) A nyolcadik évtizedben.] Gabonatermesztési Kutató Kht. Szeged. 180–181.

77. Nagy J.- Széles A.: 2018. A precíziós termesztéstechnológiák fejlesztését megalapozó kutatási eredmények. 299-311. In: Hangsúlyok a területfejlesztésben. (Szerk.: NAGY J.) Debrecen. 430.
78. Nagy J.: 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó, Budapest. 369-393.
79. Nagy J.: 2010. A kukoricatermesztés jelen és jövője. Növénytermelés. 59. 3: 85-111.
80. Nagy J.: 2012. Versenyképes kukoricatermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 494.p.
81. Nagy J.: 2021. Kukorica. A nemzet aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 516.
82. Nagy J.-Hadászi L.-Illés Á.-Bojtor Cs. - Zelenák A.-Nyéki A.: 2020. Fornad (FAO 420) „Smart” kukorica hibrid termesztési eredményei. Növénytermelés. 69. 2: 5–24.
83. Nagy Z.-Nagy J.: 2022. A 2020-as és a 2021-es kukorica tenyésztési időszak agrometeorológiai viszonyainak összehasonlító elemzése. Növénytermelés. 71. 1: 33-50.
84. Németh J.: 1980. Egyre nagyobb jelentőségű a kukorica tenésztideje. Magyar Mezőgazdaság. 35. 51: 11.
85. Nyéki A, Daróczy B, Kerepesi C, Neményi M, Kovács AJ.:2022a. Spatial Variability of Soil Properties and Its Effect on Maize Yields within Field—A Case Study in Hungary. Agronomy. 12. 2: 395.
86. Nyéki A, -Neményi M.: 2022: Crop Yield Prediction in Precision Agriculture. Agronómia. 12. 10: 2460. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102460>
87. Nyéki A. – Kerepesi C. – Daróczy B. – Benczúr A. – Milics G. – Nagy J. – Harsányi E. –Kovács A. – Neményi M.: 2021. Application of spatio-temporal data in site-specific maize yield prediction with machine learning methods. Precision Agriculture, 22. 1397-1415
88. Nyéki A.-Gombos B.-Nagy J.: 2020. Nitrogéntrágyázás hatékonyságának vizsgálata Ceres-Maize modellel a Debrecen–Látókép tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával. Növénytermelés, 69. 1: 33-52.
89. 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.
90. Olesen, J.E.- Bindi, M.: 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. Eur. J. Agron. 16: 239–262.

91. Otegiu, M. E.–Bonhomme, R.: 1998. Grain yield components in maize: I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research*. 56: 247–256.
92. Parks, W. L., J. L. Knetsch (1960) *Utilizing droughtdays in evaluating irrigation and fertilizer response studies*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:289-293.
93. Paz, J. O.- Batchelor, W. D.- Babcock, B. A.- Colvin, T. S.- Logsdon, S. D.- Kaspar, T. C.- Karlen, D. L.: 1999. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. *Agric. Syst.* 61. 69-75.
94. Pepó P –Karancsi L.: 2014. New results of nutrientutilization and response of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 1. 2: 87-93.
95. Pepó P – Csajbók J.: 2014. Agrotechnikai tényezők szerepe a kukorica (*Zea mays* L.) termesztésében. *Növénytermelés*. 63. 2: 45–68.
96. Pepó P.: 2006. Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. *Gyakorlati Agrofórum Extra*. 13: 17-11.
97. Pepó P.: 2012. Tartalékok a kukorica agrotechnikájában. *Agrofórum*. 46. Extra:47: 5-11.
98. Pepó, P.: 2009. A kukorica (*Zea mays* L.) termése és növénydőlése száraz és csapadékos évjáratban csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 58. 3. 53-66.
99. Poudel, R.; Finnie, S.; Rose, DJ.: 2019. Effects of wheat kernel germination time and drying temperature on compositional and end-use properties of the resulting whole wheat flour. *J. Cereal Sci.* 86. 33–40.
100. Ragán P. – Rátonyi T. – Széles A. – Nagy J. – Tamás A.: 2024. Az agrotechnikai paraméterek és az évjárat hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays* L.) termésére polifaktoriális tartamkísérleti adatok felhasználásával. *Növénytermelés*, 73. 2: 77-100.
101. Ragán, P.: 2014. The impacts of spring basal and side dressing on maize yield. *Agrártudományi közlemények*. 59: 83-86.
102. Ritchie S. W, – Hannway J. J. – Benson G. O. :1997. How a Corn Plant Develops *Spec Rep. No.48*. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service. Ames.
103. Ruzsányi L.: 1981. Öntözés. In: *Növénytermesztési praktikum, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
104. Ruzsányi L.: 1987. Agrotechnika a kukoricatermesztésben. *Magyar Mezőgazdaság* 42. 18. 8-9.

105. *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.
106. *Sárvári M.*- *Krivián Á.*- *Bene E.*: 2011. Termesztés és termésbiztonság. Magyar mezőgazdaság. 66. 45: 18-20.
107. *Sárvári M.*: 1986. A vetésváltás és a tápanyagellátás hatása a búza és a kukorica termésátlagára. Kandidátusi értekezés, DATE. 108.
108. *Sárvári M.-El Hallof.*: 2005. A biológiai alapok hatása a kukorica termésbiztonságára. Agro Napló. 2: 30-32.
109. *Sárvári, M.* – *Boros B.*: 2010. A vetésváltás és az NPK tápanyagellátás hatása a kukorica termésére. Növénytermelés. 59. 3: 37-52.
110. *Schieffer, J.-Dillon C.*: 2014. The economic and environmental impacts of precision agriculture and interactions with agro-environmental policy. Precision Agriculture, 16: 46–61.
111. *Schröder J. J.* – *Neeteson J. J.* – *Oenema O.* – *Sruik P. C.*: 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. Field Crop. Res. 66: 151–164.
112. *Singandhupe, R.B.*- *Rao, G.G.S.N.*- *Patil, N.G.*- *Brahmanand, P.S.*: 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.), European Journal of Agronomy. 19. 2: 327-340.
113. *Sinka A.*- *Mesterházi P. Á.* 2014: Effect precision farming in large scale farming practice. Journal of Central European Green Innovation, 2. 4: 119-128.
114. *Spitkó, T.*- *Nagy, Z.*- *Zsubori, Z.T.*- *Szőke, C.*- *Berzy, T.*- *Pintér, J.*- *Marton, C.L.* : 2016. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. Plant Soil Environ. 62: 293–298.
115. *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.
116. *Swain, KC.*- *Thomson, SJ.*- *Jayasuriya, HPW.*: 2010. Adoption of an Unmanned Helicopter for Low-Altitude Remote Sensing to Estimate Yield and Total Biomass of a Rice Crop. Am. Soc. Agric. Biol. Eng. 53: 21–27.
117. *Szabó, A.*- *Mousavi, SMN.*- *Bojtor, C.*- *Ragán, P.*- *Nagy, J.*- *Vad, A.*- *Illés, Á.*: 2022. Analysis of Nutrient-Specific Response of Maize Hybrids in Relation to Leaf Area Index (LAI) and Remote Sensing. Plants. 11: 1197.

118. Széles A, - Horváth É, - Simon K, - Zagyi P, -Huzsvai L.: 2023. Maize Production under Drought Stress: Nutrient Supply, Yield Prediction. *Plants*. 12. 18: 3301. <https://doi.org/10.3390/plants12183301>
119. Széles A.- Huzsvai L.-Mohammed S.- Nyéki A.- Zagyi P.- Horváth É.-Simon K.- Arshad S.- Tamás A.: 2024. Precision agricultural technology for advanced monitoring of maize yield under different fertilization and irrigation regimes: A case study in Eastern Hungary (Debrecen), *Journal of Agriculture and Food Research*. 15.
120. Széll E.-Dévényi K.-Né: 2009. A kukorica hasznosításának és termesztésének néhány kérdése – a racionális felhasználás és a termésingadozás mérséklésének jegyében. *Agrofórum Extra*. 27: 20–25.
121. Tokatlidis, I.S.-Koutroubas, S.S.:2004. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and implicatioes for crop yield stability. *Field Crops Research*. 88: 103-114.
122. Tucker, M.: 2014. Primary nutrients and plant growth, In: *Essential Plant Nutrients*, North Carolina Department of Agriculture.
123. Vácz D.: 1973. Kukorica. Vetőmagtermelők Kiskönyvtára sorozat, Egyetemi Nyomda, Budapest
124. Vágó, K. - Dobó, E. - Kumar Singh, M.: 2006. Predicting the biogeochemical phenomenon of drought and climate variability. *Cereal Res. Commun*. 34. 1: 93–97
125. 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.
126. Wang, T.; Zang, Z.; Wang, S.; Liu, Y.; Wang, H.; Wang, W.; Hu, X.; Sun, J.; Tai, F.; He, R.: 2021. Quaternary ammonium iminofullerenes promote root growth and osmotic-stress tolerance in maize via ROS neutralization and improved energy status *Plant Physiol. Biochem*. 164. 122–131.
127. Wang, X.- Wang, X.- Xu, C.- Tan, W.- Wang, P.- Meng, Q.: 2019. Decreased kernel moisture in medium-maturing maize hybrids with high yield for mechanized grain harvest. *Crop Sci*. 59: 2794–2805.
128. Wheeler, T. R.–Craufurd, P. Q.–Ellis, R. H.–Porter, J. R.–Vara Prasad, P.: 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *agric. Ecosyst. Environ*. 82: 159–167.

129. *Wu, Y. A., Sakamoto, C. M., Botner, D. M.*: 1989. On the application of the CERES-Maize model to the North China plain. *Agr. Forest. Meteorol.* 49, 9-22.
130. *Xin, X.- Zhang, J. – Zhu, A. – Zhang, C.*:2016. Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the north china plain. *Soil and Tillage Research.* 156: 166-172.
131. *Yao, X.; Huang, Y.; Shang, G.; Zhou, C.; Cheng, T.; Tian, Y.; Cao, W.; Zhu, Y.*: 2015. Evaluation of Six Algorithms to Monitor Wheat Leaf Nitrogen Concentration. *Remote Sens.* 2015. 7: 14939–14966.
132. *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.
133. *Zhang J.-Li M.-Sun Z.-Liu H.-Sun H.-Yang W.*: 2018 Chlorophyll Content Detection of Field Maize Using RGB-NIR Camera. *IFAC-PapersOnLine.* 51: 700-705
134. *Zhou, B.- Yue, Y.- Sun, X.- Wang, X.- Wang, Z.- Ma, W. - Zhao, M.*: 2016. Maize Grain Yield and Dry Matter Production Responses to Variations in Weather Conditions. *Agronomy Journal.* 108: 196-204.
135. https://www.met.hu/eghajlat/magyarország_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/main.php?ful=3

11. PUBLIKÁCIÓS LISTA



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

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., Bojtor, 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., Bojtor, 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., Bojtor, 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.: Lombrágyakezelés 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., Bojtor, 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.**, Bojtor, 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., Bojtor, 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., Bojtor, 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 Holý, 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.



12.NYILATKOZATOK

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2026

.....

jelölt aláírása

Tanúsítom, hogy Szombatiné Zelenák Annabella doktorjelölt 2020 szeptember 01 – 2024 augusztus 31. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2026

.....

témavezető aláírása

.....

témavezető aláírása

13.KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenekelőtt köszönettel tartozom elsőként témavezetőmnek, **Prof. Dr. Nagy János** professor emeritus Úrnak, aki állandó irányításával és szakmai tanácsával, meglátásaival segítette kutatómunkámat, hozzájárulva a disszertációm sikeres elkészüléséhez. Továbbá társtémavezetőmnek, **Dr. habil Nyéki Anikó** egyetemi docensnek doktori képzésem alatt való segítségnyújtásáért, szakmai vezetéséért. Kritikai észrevételeikkel nagymértékben segítették munkámat, jelentősen növelve annak szakmai értékét.

Külön köszönettel tartozom **Dr. Kakuszi-Széles Adrienn** professzor Asszonynak, a Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet vezetőjének, a Kerpely Kálmán Doktori Iskola titkárának segítő támogatásért.

Hálás köszönetemet fejezem ki kutatótársamnak, **Dr. Kith Károlynak** az évek alatt nyújtott segítségéért, illetve a Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet dolgozóinak és volt hallgató társaimnak **Dr. Bojtor Csabának, Dr. Illés Árpádnak, Dr. Horváth Évának, Balaout Ibtissemnek, Szabó Atalának** a kutatásom és disszertációm elkészüléséhez nyújtott önzetlen segítségükért.

Nem utolsó sorban pedig hálásan köszönöm családomnak az értekezés elkészítéséhez teljes körű támogatásukat és türelmüket.

14.MELLÉKLETEK

1.melléklet: A talaj fizikai és kémiai paramétereit a kísérleti területen

Réteg-mélység, cm	Szerves szén %	Össz nitrogén %	víz pH	Alsó határérték, cm ³ cm ³	Felső határérték, cm ³ cm ³	Telített víztároló kapacitás, cm ³ cm ⁻³	Térfogat-sűrűség g/cm ³	Hidraulikus vezetés, cm/h	Gyökérnövekedési faktor, 0,0-1,0
5	1.39	0.13	7.3	0.204	0.414	0.489	1.26	0.15	1.000
10	1.39	0.13	7.3	0.204	0.414	0.489	1.26	0.15	1.000
15	1.45	0.14	7.3	0.206	0.417	0.488	1.26	0.15	1.000
20	1.45	0.14	7.3	0.206	0.417	0.488	1.26	0.15	1.000
25	1.39	0.13	7.2	0.203	0.412	0.489	1.26	0.15	0.638
30	1.39	0.13	7.2	0.203	0.412	0.489	1.26	0.15	0.577
35	1.59	0.15	7.2	0.209	0.423	0.495	1.24	0.15	0.522
40	1.59	0.15	7.2	0.209	0.423	0.486	1.24	0.15	0.472
45	0.27	0.12	7.2	0.2	0.406	0.493	1.27	0.15	0.427
50	0.27	0.12	7.2	0.186	0.392	0.484	1.25	0.68	0.387
55	0.95	0.09	7.2	0.177	0.376	0.484	1.28	0.68	0.35
60	0.95	0.09	7.2	0.177	0.376	0.484	1.28	0.68	0.317
65	0.81	0.08	8.0	0.173	0.369	0.478	1.3	0.68	0.287
70	0.81	0.08	8.0	0.186	0.378	0.478	1.3	0.15	0.259
75	0.75	0.07	8.0	0.184	0.375	0.479	1.3	0.15	0.235
80	0.75	0.07	8.0	0.184	0.375	0.479	1.3	0.15	0.212
85	0.92	0.09	8.4	0.189	0.384	0.481	1.29	0.15	0.192
90	0.92	0.09	8.4	0.189	0.384	0.481	1.29	0.15	0.174

15.RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

Ceres - Crop-Environment Resource Synthesis

DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer

FAO - Food and Agriculture Organization

H1 – hibrid 1 (FAO 420)

H2 – hibrid 2 (FAO 390-410)

H3 – hibrid 3 (FAO 350-360)

H4 – hibrid 4 (FAO 490)

H5 – hibrid 5 (FAO 490)

Keményítő 100 g sz.a. (%) – Keményítő 100 gramm szárazanyagban (%)

LAI – leaf area index (Levélfelületi index)

N0 – 0 kg N/ha dózis

N120 – 120 kg N/ha dózis

N150 – 150 kg N/ha dózis

NDVI - normalizált vegetációs index (Normalized Difference Vegetation Index)

NIR- Near-Infrared, azaz közeli infravörös spektroszkóp)

PrA technológia - Robotic Process Automation – (Robotizált Folyamatautomatizálás)

r - korrelációs érték

R1 fenofázis – bibevirágzás (nővirágzás)

R² - determinációs koefficiens értéke

R6 fenofázis - fiziológiai érettség szakasza

SPAD - Soil Plant Analysis Development

USDA - United States Department of Agriculture

V12 fenofázis – 12 leveles fenofázis

V6 fenofázis – 6 leveles fenofázis

VT fenofázis – címerhányás