DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető
Prof. Dr. Holb Imre
MTA doktora

Témavezető:
Prof. Dr. Nagy János
professor emeritus

A KUKORICA HIBRIDEK FŐBB ÉRTÉKMÉRŐ TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSE SZÁNTÓFÖLDI TARTAMKÍSÉRLETBEN

Készítette:
Illés Árpád
doktorjelölt

DEBRECEN
2023

A KUKORICA HIBRIDEK FŐBB ÉRTÉKMÉRŐ TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSE SZÁNTÓFÖLDI TARTAMKÍSÉRLETBEN

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

Írta: **Illés Árpád**
okleveles növényorvos

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskolája
(Növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezető:
Prof. Dr. Nagy János
professor emeritus

Az értekezés bírálói:

név	tudományos fokozat	aláírás
……	……	……
……	……	……

A bírálóbizottság:

	név	tudományos fokozat	aláírás
elnök:	……	……	……
tag:	……	……	……
titkár:	……	……	……

Az értekezés védésének időpontja: 2023. ……. ……

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ..... - 2 -
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS ..... - 5 -
2.1 Általánosságban a növények és a stressz kapcsolatáról ..... - 6 -
2.2 Reaktív oxigénformák és az enzimatikus antioxidáns védőrendszer ..... - 8 -
2.2.1 Aszkorbát peroxidáz ..... - 10 -
2.2.3 Abiotikus tényezők (oldott sótartalom, magas fényintenzitás vagy a fotoxidatív károsodás, hőmérséklet, nehézfémtoxicitás és aszálystressz) hatása az APX aktivitásra ..... - 12 -
2.2.4 Szuperoxid dizmutáz (SOD) ..... - 13 -
2.3 Lipidperoxidáció (LP) ..... - 13 -
2.4 Szárazságstressz és az antioxidáns enzimek kapcsolata ..... - 14 -
2.5 Sóstressz és az antioxidatív rendszer ..... - 15 -
2.6 Tápanyagutánpótlás és a növényfiziológiai válaszreakciók ..... - 16 -
3. ANYAG ÉS MÓDSZER ..... - 17 -
3.1 Tartamkísérlet helyszíne, alap paraméterei ..... - 17 -
3.2 Agrotechnikai paraméterek ..... - 21 -
3.3 Talajvizsgálati eredmények értékelése ..... - 22 -
3.4 Időjárási körülmények ..... - 24 -
3.4.1 2019-es tenyészév időjárási körülményei ..... - 25 -
3.4.2 2020-as tenyészév időjárási körülményei ..... - 26 -
3.5 Lipidperoxidáció mérési és mintakezelési protokoll ..... - 28 -
3.6 Enzimvizsgálatok ..... - 28 -
3.6.1 Aszkorbát-peroxidáz (APX) mérési és mintakezelési protokoll ..... - 28 -
3.6.2 Szuperoxid-dizmutáz (SOD) mérési és mintakezelési protokoll ..... - 29 -
3.7 Termés beltartalom vizsgálat NIR készülékkel ..... - 30 -
3.8 A vizsgálatok értékeléséhez használt statisztikai elemzések ..... - 30 -
4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE ..... - 31 -
4.1 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása eltérő fenológiai fázisokban és tápanyagszinten ..... - 31 -
4.2 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek, tenyészidőszakok és tápanyagszintek átlagában eltérő fenológiai fázisokban ..... - 52 -
4.3 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek és tápanyagszintek átlagában 2019-2020-as tenyészévben, eltérő fenológiai fázisokban ..... - 53 -
4.4 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a 2019-2020-as tenyészévben eltérő hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában, eltérő fenológiai fázisokban ..... - 55 -
4.5 Terméparaméterek alakulása a hibridek, tenyészidőszakok és műtrágyaszintek függvényében - 59 -
4.6 Variancia analízis vizsgálat a tenyészévek hibridek és mért paraméterek figyelembevételével .. - 62 -
4.7 Szignifikáns különbségek statisztikai elemzése Fisher-féle LSD teszt által ..... - 66 -
4.8 Korreláció analízis statisztikai elemzés ..... - 71 -
4.9 Biplot analízis vizsgálat ..... - 77 -
5. KÖVETKEZTETÉSEK ..... - 80 -
5.1 Eltérő fenológiai fázisok szerinti dinamika elemzés ..... - 80 -
5.2 Tápanyagszintek szerinti fiziológiai változások elemzése ..... - 81 -
5.3 Variancia analízis vizsgálatokból levont következtetések ..... - 86 -
5.4 Korreláció analízis vizsgálatból levont következtetések ..... - 87 -
6. ÖSSZEFOGLALÁS ..... - 88 -
7. SUMMARY ..... - 92 -
8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ..... - 96 -
9. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK ..... - 97 -
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ..... - 98 -
11. NYILATKOZATOK ..... - 99 -
1. Nyilatkozat ..... - 99 -
2. Nyilatkozat ..... - 99 -
12. PUBLIKÁCIÓS LISTA ..... - 100 -
13. SZAKIRODALMI JEGYZÉK ..... - 110 -
14. Mellékletek ..... - 120 -

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a növénytermesztés eredményességének növelése elengedhetetlen a növekvő népesség élelmezésének biztosítása érdekében. A termőterület növelésének lehetősége korlátozott. Egyre kisebb rendelkezésre álló területen kell megtermelnünk a megnövekedett népesség számára szükséges élelmiszert, takarmányt és ipari alapanyagot. Magyarországon és az EU-ban forgalomban lévő, gazdálkodók számára elérhető és felhasználható takarmánykukorica hibridek száma meghaladja a 400-at. A termelőknek nehéz eligazodni a nagyszámú különböző hibridek között. Az egyes hibridek más és más abiotikus és biotikus ellenállóképességgel rendelkeznek, ezen felül a tenyészidőszak hossza és az azzal kapcsolatos fiziológiai paraméterek ismerete kevésbé jellemző.

A mezőgazdasági termelés környezete dinamikusan változó. Az inputanyagok költségének növekedése és a rendelkezésre álló terület csökkenése a megtermelt termés értékének növekedését eredményezte. A gazdálkodók elsődleges feladata az átgondolt, okszerű gazdálkodási rendszer alkalmazása, a hibridek szükségleteinek kielégítése és az optimális inputanyag felhasználás. Egyre bővülő hibrid paletta áll a gazdálkodók rendelkezésére (*Nagy,* 2021). A precíziós gazdálkodás, a műszaki fejlesztés eredményei lehetővé teszik és megkövetelik a szántóföldi növények igényeinek hatékonyabb kielégítését. Ehhez ismerni kell a növények/fajták/hibridek genetikai paramétereit és az eltérő környezeti hatásokra adott válaszaikat (*Nagy et al.,* 2020). A helyspecifikus növénytermesztést a termelési célokhoz és az ökológiai feltételekhez optimálisan igazodó módon kell megvalósítani. *Széles et al*. (2019) vizsgálataik alapján javasolják, hogy a termesztés során minden alkalmazott hibridnél meg kell határozni a műtrágya felhasználás hatékonyságát.

A gazdálkodók nehéz döntés előtt álnak a fajta/hibrid választás során, mivel a nagyszámuk miatt nem tudnak olyan információkat szerezni, ami segítséget nyújtana az adott termőterületre, talajtípusra, klimatikus viszonyokra jellemző stressz tolerancia értékeikre. Sok esetben a szakma háttérbe kerül és a marketing tevékenységek befolyásolják a döntést, aminek köszönhetően az adott termőterületre, talajra, vagy klimatikus viszonyoknak nem megfelelő genotípust választanak a termelők, ezáltal a termesztés sikeressége, minősége és a termésbiztonság nagyban csökkenhet.

A hibridek közötti genetikai potenciál és stressztolerancia érték eltérő. Az eltérő évjáratok és különös képpen a kedvezőtlen évjáratokban a toleranciából adódó eltérések nagyobbak, mint egy átlagos évjáratban.

Időjárásunk szélsőségességének gyakorisága növekszik. A tenyészidőszakban lehullott csapadék mennyiségének csökkenése és annak eloszlása komoly kihívás elé állítja a gazdálkodókat. A talajok téli feltöltődése csökken, mely a tenyészidőszakban lehullott csapadék szerepét növelik, viszont ennek mértéke sok esetben nem kielégítő és nem a fenológiailag fontos időpontban érkezik. A tenyészidőszakban mért időjárási paraméterek a szélsőségek irányába mozdulnak el, mely kompenzálására az adott termőterületre és klimatikus viszonyokra alkalmas hibrid választása nagyban meghatározza a sikeres termesztést.

A kukoricát több mint 160 országban termesztik, és a második legnagyobb területen termesztett növény világviszonylatban. A nagy területi kiterjedése köszönhető a genetikai sokszínűségnek és akklimatizációs képességének. A kukoricának számos változata van termesztésben (csemegekukorica, takarmánykukorica, pop-corn) és számos felhasználási módja van, mint például az ipari, humán táplálkozás, takarmány és bioüzemanyag. A fogyasztói piac preferencia változása magával vonja az új nemesítési irányokat, mint például a hozzáadott értékkel rendelkező termékek, ennek kiváló példája a csemegekukorica és a lutein tartalom. A lutein-t az „emberi szem vitaminjának" is nevezik és a csemegekukorica nagymértékben tartalmazza. A világon 1161 millió tonna az összes előállított termésmennyiség (*Internet 1 - FAO* 2022). Napjainkban a kukorica termesztés specializálódott, sok esetben az ipar vagy a fogyasztópiac határozza meg a genotípust. Olyan szempontok kerülnek előtérbe, mint például a termés beltartalom az ipari vagy egyéb humán felhasználási területeken, vagy pedig gazdasági megfontoltságból történő genotípus választás kapcsolódva a betakarításkori szemnedvességhez, ezáltal a költség arányos jövedelmezőséget növelve. Előtérbe kerül a keményitőtartalom és az izocukor gyártás, mint olcsó alternatívája a finomítottcukrot tartalmazó italoknak és ételeknek.
Fontos időpontokban, időszakokban a növényt érő abiotikus és biotikus stresszfaktorok nagymértékben meghatározzák a termesztés sikerességét, azon belül is a termés mennyiségét, minőségét és a termés biztonságát.

Célkitűzésem, hogy a vizsgált hibrideken keresztül a mintavételi időpontokban mért enzim aktivitások és markerek segítségével meghatározzam a termésképzés szempontjából legérzékenyebb fenológiai időszakokat.

Vizsgálatom további célja volt, hogy a különböző mennyiségű és arányú makroelem trágyázás hatására bekövetkező növényfiziológiai és termés változás értékelése, a különböző hibrideknél.

Az eredmények alapján célom az is, hogy a gazdálkodók számára ajánlást tudjak adni a kijuttatandó műtrágya dózisokra és arányokra, illetve a technológiai szempontból fontos fenológiai fáziskora felhívni a figyelmet.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A növények fiziológiai állapotát negatívan befolyásoló tényezőket gyűjtőnevükön stressztényezőknek nevezzük, melyek három fő csoportra oszthatók: természetes, azaz abiotikus (élettelen környezeti) és biotikus (élő környezeti) eredetű, valamint emberi (antropogén) okokra visszavezethető hatások. Bár a csoportok mereven nem választhatók szét egymástól, és egy-egy stresszor akár több csoportba is sorolható.

A kukorica növényfiziológiai állapotának optimális szintjét napjainkban sem ismerjük kellő részletességgel. A vizsgált tényezők jelentős része a produktív szakasz eredményességére koncentrálódik, melynek fiziológiai hátterét teljes mértékben még nem sikerült feltárni. A különböző hibridek eltérő optimum értékekkel rendelkeznek és így eltérő a stressztolerancia tűrés küszöbük is. Mindkét érték meghatározása nehéz, mivel számos egyéb tényező befolyásolja ezt a kölcsönhatást. Ugyanakkor, a terméképzéshez szükséges feltételek megléte sem eredményezi a biztosan kimagasló hozamot. A tenyészidőszakban fellépő különböző stresszfaktorok befolyásolják a növények fiziológiai állapotát, mely akár az egész tenyészidőszakra hatással lehet.

Napjaink globális kihívása az élelmiszertermelési színvonal megőrzése és javítása, a biodiverzitás megtartása mellett. Az éghajlatváltozás napjainkban növekvő hatást gyakorol a globális élelmiszertermelésre (*Ray et al.,* 2019). A kukorica a világon az egyik legfontosabb termesztett szántóföldi növény, világszerte mintegy 150 millió hektár termőterületen termesztjük. A precíziós tápanyagutánpótlás a modern, inputhatékony gazdálkodás elengedhetetlen feltétele. A modern, új hibridek megjelenésével egyidejűleg felmerül a pontos tápanyagszükségletére irányuló kérdés, melynek megválaszolásához egzakt növényfiziológiai vizsgálatokra van szükségünk szántóföldi körülmények között.

A mezőgazdasági kutatások során a szántóföldi tartamkísérletek lehetőséget biztosítanak a termesztés során alkalmazott agrotechnikai műveletek, és az általuk kifejtett hatások hosszútávú elemzésére és összehasonlítására. A precíziós növénytermesztés és azon belül is a precíziós tápanyagutánpótlás elengedhetetlen tényezője a modern mezőgazdasági gyakorlatnak. Éghajlatunk szélsőségessé válásával a növénytermesztés időjárási kitettsége tovább növekszik, mely a környezethez sikeresen alkalmazkodó hibridvonalak előállítását igényli. Az éghajlatváltozás várhatóan növeli mind az abiotikus, mind a

biotikus stressz gyakoriságát és intenzitását. Ennek megfelelően a nemesítők feladata a különböző kukorica hibridek előállítása során a gyorsan változó környezeti és az eltérő termesztéstechnológiai igényeknek való megfelelés.

2.1 Általánosságban a növények és a stressz kapcsolatáról

A stressz jelentése növényi környezetben: Megterheléssel járó számtalan sokféle helyzet leírása – mely helyzetek egy adott szervezetben a normális viselkedéstől való eltéréshez vezetnek (*Szigeti,* 2007). A stressz tehát egy olyan terheléses állapot, amelyben a növénnyel szembeni fokozott igénybevétel a funkciók kezdeti destabilizációját követően egy normalizálódási folyamaton át az ellenállóság fokozódásához vezet. Majd a tűréshatár túllépésekor tartós (krónikus) károsodást vagy akár pusztulást is okoz (*Larcher,* 1987). A stressz kezdetén a növények egy vagy több fiziológiai funkció csökkenésével reagálnak, mint például a fotoszintézis, a metabolitok felhalmozódása vagy átcsoportosítása/szállítása és / vagy az ionok felvétele és transzlokációja. A riasztási fázis során a legtöbb növény a metabolikus anyagcsere gyors változásával reagál, ezt a folyamatot általános riasztási szindrómának (GAS) nevezzük. Ezek a folyamatok aktiválják a javító funkciókat a növényekben és morfológiai változásokat eredményezhetnek, amely a növények edződésének része a stresszhatásokkal szemben (*Lichtenthaler,* 1996). Az anyagcsere-aktivitás csökkenése miatt viszont a növények eltérnek normál fiziológiai állapotuktól, vitalitásuk és turgorjuk csökkenhet. Azokban a növényekben, amelyek nem rendelkeznek ezen hatásokkal szembeni ellenálló képeséggel, az akut károsodás gyorsabban léphet fel.

Azonban a stressztényezők által okozott eltérés utáni normalizálódás sok esetben „látens" tünetet is okozhat, mely később a termés mennyiségi és minőségi csökkenéséhez vezet. Ugyanakkor, *Janda et al.,* 2016 vizsgálatai alapján a különböző stressz indukált növények a későbbiekben jobban ellenálnak az abiotikus stressztényezőknek, mint a stresszel nem találkozott növények. *Larcher,* 1987 megállapításai szerint a növényi stressz egyaránt tartalmaz konstruktív és destruktív elemeket, melyek szelekciós tényezőként viselkednek, valamint a jobb ellenállást lehetővé téve az adaptív evolúció hajtóereje. *Lichtenthaler et al.,* (1988) szerint az enyhe stressz aktiválhatja a sejtek anyagcseréjét, fokozza a fiziológiai aktivitást, és nem okoz hosszú távú károsító hatást. Az enyhe stressz (eustress) és valós, destruktív stressz közötti átmenet élesen nem választható el egymástól, hanem

folytonos. Az enyhe, stimuláló stressz kedvező lehet a növények számára. Figyelembe kell venni, hogy a stressz dózisfüggő, azaz a károsodás mértéke függ a kitettség idejétől és az intenzitásától. Hasonlóan káros lehet a növények számára a rövidtávú, nagy intenzitású hatás, mint a hosszú távú, de alacsony intenzitású hatás (*Lichtenthaler,* 1996).

A természetes stresszfaktorok, melyek legtöbbször befolyásolják a növényeket, olyan tényezőket foglalnak magukban, mint a káros sugárzás, a növények számára túl alacsony vagy túl magas hőmérséklet, a vízhiány, illetve vízfelesleg és/vagy levegőtlenség, ásványi anyaghiány, állati kártevők, valamint vírusos, gombás és bakteriális kórokozók. Míg az antropogén eredetű stressz tényezők közül érdemes felsorolni a peszticideket, a légszennyező anyagokat, ózont, savas esőt, az extrém talaj, illetve víz pH értékeket, a nitrogén túladagolását, ammónia túltermelődést, a nehézfémszennyezést, a magas sótartalmat és a globális éghajlatváltozást.

A különböző stresszek általános, illetve az adott stresszorra jellemző speciális folyamatokat egyaránt beindítanak a növényekben, melyek közötti kapcsolat azonban sok esetben még nem tisztázottak. Általánosnak tekinthetők, hogy az elsődleges stresszek másodlagos stresszként, oxidatív stresszt váltanak ki. Ez utóbbi folyamat során keletkező reaktív oxigénformák (ROS) károsítják a membránt és a különféle makromolekulákat, ugyanakkor a jelátvivő molekuláknak is szerepük van (*Van Breusegem et al.,* 2001; *Neill et al.,* 2002). A különféle stressz hatásokra aktiválódó válaszreakcióban fontos szerepet játszanak a különböző növényi hormonok és növekedésszabályozó anyagok, valamint a különböző antioxidánsok is (*Foyer - Noctor* 2005; *Fujita et al.,* 2006). Ezek a vegyületek hatásukat nem önmagukban, hanem egymással kölcsönhatásban fejtik ki. A fitokémiai védővegyületek fontos szerepet játszanak az abiotikus stressz ellenálló képességben és a biotikus kihívásokkal szembeni rezisztenciában. Ezeknek a vegyületeknek a koncentrációja és összetétele szintén függ az éghajlati változóktól (*Vaughan et al.,* 2018). A különböző stressz hatásokra indukálódó válaszreakciók jelátviteli útvonalai közös elemeket is használhatnak, ezt a jelenséget az angol nyelv „crosstalk”-nak nevezi és ezáltal válik lehetővé a növényi válasz finomhangolása.

.

2.2 Reaktív oxigénformák és az enzimatikus antioxidáns védőrendszer

Az oxigén a légkörben nem reaktív formában (O_2) fordul elő, ami fizikai vagy kémiai úton aktiválható. Ez az aktiválás nemcsak a környezetben, hanem közvetlenül magában a növényekben is végbemegy. A biológiai rendszerekben előforduló ROS képződése történhet enzimatikus és nem enzimatikus úton (*Blokhina et al.,* 2003). A leggyakrabban előforduló aktív oxigénformák a szinglet oxigén ($^1O_2$), a hidroxilgyök ($OH^{\cdot}$), a szuperoxid aniongyök ($O_2^{\cdot -}$) és a hidrogénperoxid (H_2O_2). Az aktív oxigénformák a növényekben természetes módon kis mennyiségben a normál életfolyamatai során is keletkeznek, viszont valamely stressz tényező hatására mennyiségük nagy mértékben megnövekszik és ez szerkezeti destrukciót okoz a sejtben, például károsíthatja a sejtmembránt (*Caverzan et al.,* 2012). Az aktív oxigénformák keletkezési helye leggyakrabban a kloroplasztisz.

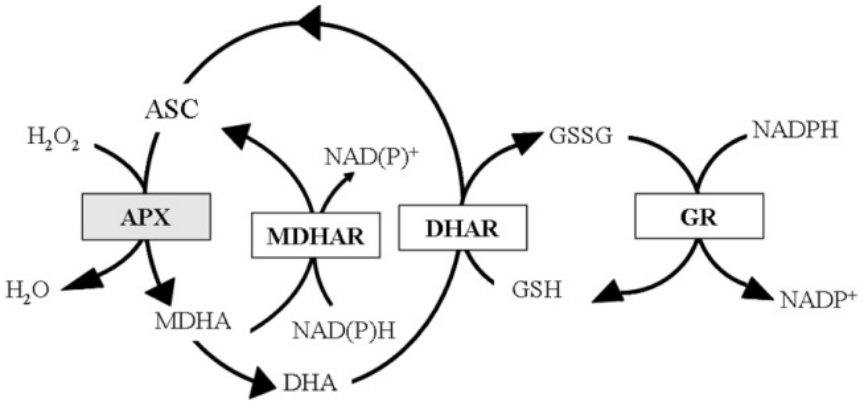
Az egyik legnagyobb mennyiségben előforduló ROS, a H_2O_2 közepes reakcióképességű, viszonylag hosszú (1 ms) fél élet idejű molekula, mely bizonyos távolságra membránokon keresztül is képes diffundálni. Így a stresszhatások következtében kialakuló jelátviteli utak közös komponense és szerepe van a kereszt tolerancia kialakulásában is (*Pastori - Foyer,* 2002).

A reaktív oxigén gyökök akár közvetlen protektív elemekként is szolgálhatnak a fertőzéssel szemben. A növényi sejtekben ezek a reaktív oxigén gyökök képesek megerősíteni a sejtfalat a glikoproteinek keresztkötéseivel (*Bradley et al.,* 1992*; Lamb - Dixon,* 1997), vagy lipidperoxidáció és károsítás együttes hatása által (*Lamb - Dixon*, 1997; *Montillet et al.,* 2005). Szintén jelentős szerepük van a védekező gének aktiválásához szükséges jeltovábbításban is (*Levine et al.,* 1994). A ROS és a nitrogén oxid (NO) jelátvitel közötti kapcsolatnak fontos szerepe van a hiperszenzitív reakció kialakításában (*Delledonne et al.,* 2001).

A reaktív oxigén gyökök antimikrobiális aktivitása is régóta ismert. A $O_2^{\cdot -}$ és a H_2O_2 baktériumok és gombák elleni antimikrobiális aktivitása *in vitro* kísérletekben igazolt, *in vivo* betöltött szerepük azonban nem bizonyított (*Király et al.,* 1997). A szabadgyökök túlzott mértékű felhalmozódása a redox homeosztázis, azaz az egyensúlynak felbomlásához vezet. A kloroplasztiszokban keletkező H_2O_2 -re számos enzim érzékeny, mely hatására CO_2 megkötés gátlódhat, ezért a lehető leghamarabb ártalmatlan vegyületté

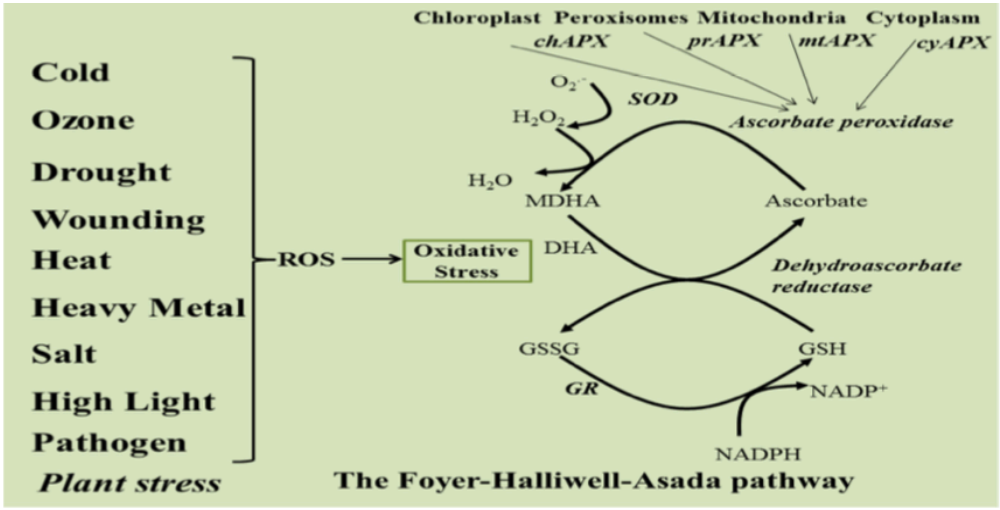
kell alakítani (*Kaiser,* 1976 – *Kaiser,* 1979 - *Robinson et al.,* 1980). Ennek érdekében a nem enzimatikus, antioxidáns tulajdonsággal rendelkező vegyületek (például aszkorbát, glutation, α-tokoferol, karotenoidok és fenolos vegyületek) mellett, specializált antioxidáns enzimek is működnek (*Szigeti,* 2007), melyek hatékony módszert jelent az abiotikus stressz elleni védekezésben (*Kellős,* 2008).

A legnagyobb jelentőséggel bíró detoxifikáló folyamat az aszkorbát-glutation ciklus (más néven a Foyer-Halliwell-Asada ciklus), melyben az egyik kulcs enzim az aszkorbát peroxidáz (APX) (1. ábra).



1. ábra Az aszkorbát-glutation ciklus *(Locato et al.,* 2013 alapján). APX: aszkorbát-peroxidáz; ASC: aszkorbát; DHA: dehidroaszkorbát; DHAR: dehidroaszkorbát-reduktáz; GSH: glutation; GSSG: oxidált glutation; GR: glutation-reduktáz; MDHA: monodehidroaszkorbát; MDHAR: monodehidroaszkorbát-reduktáz.

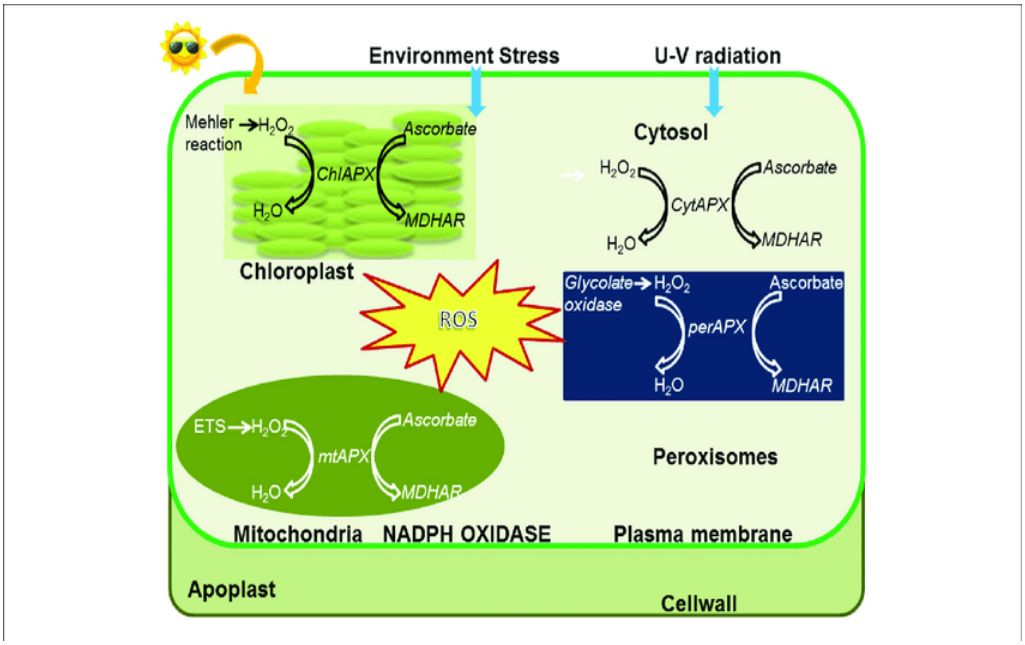
Az aszkorbát peroxidáz katalizálja azt a folyamatot, amelyben az aszkorbát, mint specifikus elektrondonor tölti be szerepét, miközben a H_2O_2 átalakul H_2O-ra (*Caverzan et al.* 2012). Az aszkorbát specifikus peroxidázok fontos szerepet játszanak a kloroplasztokban, ahol nincs kataláz (CAT) aktivitás, valamint a citoszolban keletkező H_2O_2 bomlásában (*Klapheck et al.* 1990; *Elavarthi – Martin*, 2010). A reaktív gyökök semlegesítésében résztvevő további enzimek még a szuperoxid-dizmutázok (SOD) és a peroxidázok (POD). A SOD-ok az $O_2^{-\cdot}$ gyököt diszproporcionálják H_2O_2-dá, melyet a CAT és POD enzimek redukálnak vízzé (*Elavarthi – Martin,* 2010).



2. ábra: Foyer-Halliwell-Asada sematikus ábra

2.2.1 Aszkorbát peroxidáz

Az aszkorbát peroxidáz (APX) az aszkorbinsav és a H_2O_2 reakcióját katalizálja az alábbiak szerint, miközben dehidroaszkorbát (DHA) és víz keletkezik: $H_2O_2 + 2AA \rightarrow 2H_2O + 2DHA$. Az aszkorbát-peroxidáz egy vas tartalmú protein, mely erősen specifikus az aszkorbinsavra, mint elektrondonorra, míg más peroxidáz enzimek, mint pl. a gvajakol-peroxidázok, többfelé vegyületet is használhatnak elektrondonorként. Az APX enzimnek több izoformája is létezik. Az eltérő APX izoformák különböző szubcelluláris lokalizációjúak a sejtekben, amelyeket kis géncsaládok kódolnak a növényekben (*Passardi et al.,* 2007). A membránhoz kötött típusa megtalálható a tilakoid membránban (tAPX), a glioxiszómák és peroxiszómák membránjában (mAPX), míg a kloroplaszt sztrómájában oldékony formában az sAPX, a mitokondriumban a mitAPX, illetve a citoszol-ban a cAPX előfordulása ismert (*Caverzan et al*., 2012). A méréseink során a kloroplasztokban található APX-et tudtuk kivonni és aktivitását mérni.



3. ábra: APX izoformák a sejt különböző partikulumaiban (*Pandey et al*. 2017)

Az APX enzim aktivitás változását számos abiotikus stressz hatás során leírták különböző növényekben, így kukoricában is (*Chugh et al.,* 2011; *Kellős et al.,* 2008; *Janda et al.,* 2005; *Vuletić et al*., 2014). Egyes reaktív oxigénfajták (ROS) megkötő enzimek, a kataláz (CAT) és az aszkorbát-peroxidáz (APX) aktivitása fokozódott a toleráns genotípusokban a szárazságstressz hatására. A szuperoxid-dizmutáz (SOD) aktivitása szignifikánsan csökkent az érzékeny genotípusokban, de változatlan maradt a toleráns genotípusokban stressz alatt (*Chugh et al.,* 2011). Egy legújabb tanulmányban, a kukoricanövényben nyolc *APX* génjének expressziós mintázatát írták le a vegetatív és reproduktív szervekben, különböző növekedési és fejlődési szakaszokban, stressz mentes és stressz körülmények között. Megfigyelték, hogy normál körülmények között az *APXa1* és *APXb1* vesz részt a vegetatív szervek antioxidáns anyagcseréjében, míg a stresszválaszban az *APXa2*, *APXb2*, *APXc1.1* és *APXc1.2* géneknek van szerepe (*Qu et al.*, 2020).

Transzgénikusan előállított rizs (*Oryza sativa*) kettős Apx1 2 izoformák elnémított növények normális fejlődést mutattak, bár ezek a növények az APX aktivitás összetett mennyiségi csökkenését mutatták, ami erősen befolyásolja az egész antioxidáns rendszerszabályozást. Az Apx1 /2 elnémított növények szintén fokozott H_2O_2 felhalmozódást mutattak a kontroll és a stresszhelyzetekben, és nagyobb toleranciát mutattak az alumínium toxikus koncentrációjára a vad genotípusú növényekhez képest. Másrészről az *OsApx1* és az *OsApx2* gének egyénileg történő elnémítása jelentős hatást

gyakorolt a növényfejlődésre, ami félig törpe fenotípust eredményezett. Ezek az eredmények arra következtetnek, hogy a citoszolos *OsApx* gének kettős elnémítása a rizsben kompenzáló antioxidáns mechanizmusokat indukálnak (*Rosa et al.,* 2010).

2.2.3 Abiotikus tényezők (oldott sótartalom, magas fényintenzitás vagy a fotoxidatív károsodás, hőmérséklet, nehézfémtoxicitás és aszálystressz) hatása az APX aktivitásra

Magas oldott sótartalom alatt a növényi ionegyensúly eltolódik, mely során gátlódik a rendelkezésre álló felvehető víz hasznosítása és a növény számára az aszályhoz hasonló állapot alakul ki. A sejtek turgorja csökken. A magas sótartalom oxidatív stresszt okozott a gyökerekben és a levelekben (*Abdelgawad et al*., 2016). Transzgenikus növényeknél a génexpresszió hatására javulnak a tolerancia faktorok. Paradicsom növényekbe borsó cAPX gént expresszálva növekedett a sótűrés (*Wang et al.,* 2005).

Erős fénysugárzás hatására csökkent a fotoszintézis hatékonysága és gyors ROS mennyiség növekedés következett be. Különböző APX izoformák képesek csökkenteni a reaktív oxigénformák mennyiségét (*Karpinski et al.,* 1999). Mutáció során keletkezett hiányos tAPX körrel rendelkező búza vizsgálatakor megállapították, hogy magas fényintenzitás során jelentősen csökkent a fotoszintetikus hatékonyság, köszönhetően a hiányos tAPX izoformának (*Yoshimura et al*., 2000).

Az extrém magas és alacsony hőmérséklet negatív hatást fejt ki a növények alapvető fiziológiai folyamataira. A Burgonyában mért cAPX nagyobb hatást fejtett ki hidegstressz alatt, mint magas hőmérsékleten okozott stressz során, ez a hidegtűréssel kapcsolatos szerepét jelzi (*Kawakami et al*., 2002).

Kadmium és az arzén szennyezett talajon több növény (A. *thaliana, Solanum nigrum, Brassica juncea*) levelének vizsgálatakor megállapították, hogy megnövekedett az APX aktivitása (*Smeets et al.,* 2008; *Khan et al.,* 2009; *Markovska et al*., 2009; *Nouairi et al*., 2009; *Pinto et al.,* 2009). A nehézfémek, mint például a kadmium számos élettani változást idéz elő. Hatással van a növekedésre, a víz és ion-anyagcserére, a fotoszintézist gátolja, az enzimaktivitásokat megváltoztatja, valamint a szabad gyökök képződésében is szerepet játszik (*Pál et al*., 2006).

Az APX-nek fontos szerepe van az aszálystressz során, illetve a növények regeneráló folyamataiban egyaránt. Az éghajlatváltozás számos abiotikus stressz gyakoriságát és súlyosságát növelte, különösen a víz és/vagy a hőmérsékleti szélsőségek következtében. A növények enyhe, nem végzetes vízstressznek való kitettsége azonban olyan toleranciamechanizmusokat aktiválhat, amelyek segítenek túlélni a későbbi súlyos stresszt (*Darkó et al.,* 2022).

2.2.4 Szuperoxid dizmutáz (SOD)

A SOD egy két alegységből álló fémprotein enzim, mely a O_2^- dizmutációval történő átalakítását katalizálja oxigénné és H_2O_2-dá az alábbi reakcióban:
$2\ O_2^{\cdot -} + 2\ H+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$.

Különösen fontos a kloroplasztiszokban, a mitokondriumokban, a glioxi- és peroxiszómákban, mivel itt képződhet szuperoxidgyök. Az enzim aktív oldalán található háromféle fémion, kofaktor alapján megkülönböztethetünk Cu/Zn-SOD-ot, mely feladatát a citoszólban, a kloroplasztisz sztómában és a peroxiszómában látja el; Mn-SOD-ot, mely a peroxiszómában, valamint a mitokondrium mátrixában található; továbbá Fe-SOD-ot, mely főleg a prokariótákra jellemző, növényekben csak néhány család kloroplasztiszaiban fordul elő (*Marklund,* 1985; *Elavarthi – Martin,* 2010). A SOD-ok képezik az első védelmi vonalat a káros oxigénformák ellen. A szuperoxid-dizmutáz fehérjék (SOD) antioxidáns enzimek, amelyek fontos szerepet játszanak az abiotikus stresszválaszokban. A SOD géncsaládot számos növényben szisztematikusan elemezték. A kukoricában azonban még mindig vannak nem vizsgált területek (*Liu et al.,* 2021).

2.3 Lipidperoxidáció (LP)

Az oxidatív stressz a biomolekulák reverzibilis vagy irreverzibilis (például fehérjék, polinukleinsavak, szénhidrátok és lipidek) módosulását okozza. Ezek közül a lipidek oxidációja különösen veszélyes, mert úgynevezett „láncreakción" keresztül további szabad gyököket képez, lipidperoxidációhoz vezetve. A lipidperoxidációt egy hidroxilgyök (OH ˙), egy peroxilcsoport (LOO˙), egy alkoxilcsoport (LO˙) és egy alkilcsoport (L Ψ) reakciója kezdeményezhet. Ezen kívül a nitrogén-dioxid, a kén-dioxid és a hipoklorit is megindíthatja a folyamatot. A lipidperoxidáció során olyan folyamat

zajlik le, amelyben a lipidperoxidok dekompilálódhatnak. Ezt a jelenséget átmeneti fémek (például Fe és Cu) is okozhatják. A lipidperoxidációs termékek további átalakulása többek között a β-elimináción keresztül történik, ami többszörösen telítetlen zsírsav maradékok széteséséhez vezet, valamint több szén és még több tucat szén-dioxid fragmentum képződéséhez vezet (*Jablonska*, 2017). A fenti reakció végtermékei közé tartoznak többek között a malon-dialdehid (MDA) és a 4-hidroxinonenal (4-HNE), amelyek károsíthatják a nukleinsav molekulákat és fehérjéket.

A legfrissebb tanulmányok szerint a lipidperoxidációval képzett reaktív lipid fajták többféleképpen is hasznosíthatók a sejtek számára. Bizonyítékok támasztják alá azt a nézetet, miszerint a reaktív lipid fajták által közvetített jelátvitel számos fiziológiás folyamatban részt vesz, beleértve az apoptózist és az antioxidatív védekezés indukálását (*Bhattacharjee*, 2014). A dikarboximid gombaölő szerek fungicid aktivitásukat főként membrán lipidek peroxidációja révén fejtik ki (*Lee et al.,* 1998). A lipidperoxidáció mértékének meghatározását a keletkezett MDA mértéke alapján végezzük (*Heat - Packer,* 1968) módszer segítségével. Abiotikus stressz során fellépő kedvezőtlen körülmények hatására a levélben és a gyökérben is a lipidperoxidáció mértéke nőtt és ezzel párhuzamosan az antioxidáns enzimrendszer működésében is változást mértek a kukoricában (*Ge Tida et al.,* 2005, *Aly et al.,* 2012).

2.4 Szárazságstressz és az antioxidáns enzimek kapcsolata

Az aszály, a hő és az aszály + a hőstressz oxidatív stresszt okozott a ROS (O_2–, H_2o_2, OH–) túltermelésével és a megnövekedett malondialdehid-tartalommal, ami csökkentette a fotoszintetikus komponenseket, a tápanyagfelvételt és a keletkezett termés mennyiségét. Az aszály és a hő együttes előfordulása súlyosabbnak bizonyult a kukorica növekedésében, mint a két tényező külön-külön. Mindkét stressz indukálta a metabolitok felhalmozódását és az enzimatikus és nem enzimatikus antioxidánsokat, hogy megakadályozzák az oxidatív károsodást.

A FAO 360 hibrid aszállyal szembeni nagyobb ellenállóképessége az erős antioxidáns védelmi rendszernek, a nagyobb ozmolit felhalmozódásnak, valamint a fotoszintetikus pigmentek és a tápanyag-egyensúly fenntartásának tulajdonították (*Hussian et al*., 2019). Vízhiányos körülmények között a növekedési tulajdonságok, a relatív víztartalom

(RWC), klorofill, az összes klorofill és a karotinoidok, valamint a hozam mindkét vonalon (B_{73}, MO_{17}) jelentősen csökkentek, összehasonlítva a kontroll feltételek mellett. Ezzel szemben a vízhiány hatására jelentősen megnövekedett a szuperoxid-dizmutáz (SOD) és a kataláz (CAT) izoenzimek aktivitása, valamint a glicin-betain (GB), a prolin és a malondialdehid (MDA) szint, míg az összes fenol, az összes oldható protein, H_2O_2, a klorofill b, a klorofill a / b arány, az antocianin és a peroxidáz (POX) izoenzim aktivitása változatlan maradt mindkét kukoricahibridnél. A vízhiány mindkét kukoricahibridnél (B_{73}, MO_{17}) oxidatív stresszt váltott ki (*Moharramnejad et al.,* 2019).

A kukorica magas sótartalom és aszály hatására jelentős oxidatív stresszt szenved. Az enzimatikus antioxidánsok közül a szuperoxid-dizmutáz (SOD), a kataláz (CAT), az aszkorbát-peroxidáz (APX) és a glutation-peroxidáz (GPX) - valamint a POD - fontos szerepet játszanak a reaktív oxigén fajták (ROS) megsemmisítésében mindkét stressz esetén (*Rohman et al.,* 2019).

2.5 Sóstressz és az antioxidatív rendszer

A só által stresszelt növények leveleiben a szuperoxid-dizmutáz (SOD), az aszkorbát-peroxidáz (APX), a guaiacol-peroxidáz (GPX) és a glutation-reduktáz (GR) aktivitás megnőtt a kontrollokhoz képest. A sóstressz nem befolyásolta szignifikánsan a kataláz (CAT) aktivitást a sótoleráns genotípusokban, de a sóérzékeny genotípusban szignifikánsan csökkent. A sótűrő genotípus gyökérzetében a SOD és a CAT aktivitás csökkent, az APX, GPX és GR aktivitás változatlan maradt a kontrollhoz képest. A sóérzékeny genotípus gyökereiben a sótartalom csökkentette az összes vizsgált enzim aktivitását. Az adatok azt mutatják, hogy a CAT és a GPX enzimek mind a levelekben, mind a gyökerekben rendelkeznek a legnagyobb H_2O_2-redukáló aktivitással. Ezenkívül úgy tűnik, hogy a CAT, APX és GPX aktivitás a SOD-al együtt alapvető védő szerepet játszanak a szabadgyök eltávolító folyamatokban. A lipidperoxidáció csak a sóérzékeny genotípus sóstressz által indukált növényeinél nőtt a levélben. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy az oxidatív stressz fontos szerepet játszhat a só által stressz indukált kukorica növényekben (*De Azevedo et al.,* 2006).

2.6 Tápanyagutánpótlás és a növényfiziológiai válaszreakciók

A tápanyagutánpótlás alapvetően meghatározza a növények fiziológiai folyamatait. A tápelem megfelelő mértékben és időben történő kijuttatása a termesztés sikerességének alapfeltétele.

A különböző termésnövelő anyagok és tápanyagok közvetlenül befolyásolják a növények fiziológiai paramétereit (*Kutasy et al.,* 2022). A nitrogén utánpótlás hatására vízstressz körülmények között a fotoszintetikus rendszer megfelelően működött a levélben. Az enzimaktivitás növekedésével és az MDA tartalom csökkenésével a lipidperoxidációs szint is csökkent (*Jiang et al.,* 2005). *Zhang et al*. (2007) kutatásai során arra a következtetésre jutottak, hogy a nitrogénpótlás hatása az antioxidáns enzimaktivitásra és az MDA koncentrációra különböző víz és nitrogéndózisú kezelésekkel függ össze. Összefüggést mutattak ki a növekvő műtrágya adagok és APX szintje között. A kukorica növényekben mért LP koncentrációja kismértékben nőtt a műtrágyakezelés növelésével tartamkísérletben (*Illés et al.,* 2021). A sejtmembrán stabilitását befolyásolta a lipidperoxidáció stressz körülmények között (*Sudhakar et al*., 2001).

A makroelemek számos fiziológiai folyamatot befolyásolnak a növényi fejlődés során. A foszfor (P) a legtöbb mezőgazdasági ökoszisztéma egyik korlátozott ásványi eleme (*Trinch et al.,* 2018, *Obersteiner et al.,* 2013). Ez az elem számos kulcsfontosságú energiaátviteli és fotoszintetikus oxidációs-redukciós reakcióban vesz részt (*Singh et al.,* 2017). A foszfor a biokémiai vegyületek széles skálájának is része, beleértve a nukleinsavakat, szerkezeti fehérjéket és enzimeket, valamint a jelátvitelt (*Duff et al.,* 1989, *Pandey et al.,* 2015). Az elégtelen N-ellátás (mind a túlzott, mind az alacsony arányú) abiotikus stresszorként a reaktív oxigénfajták (ROS) felhalmozódását váltja ki, ami oxidatív stresszt okoz a növényekben. Ezenkívül a túlzott ROS reakcióba léphet a klorofill lebomlását feldolgozó kulcsfontosságú fotoszintetikus anyagokkal (*Noein*, 2022).

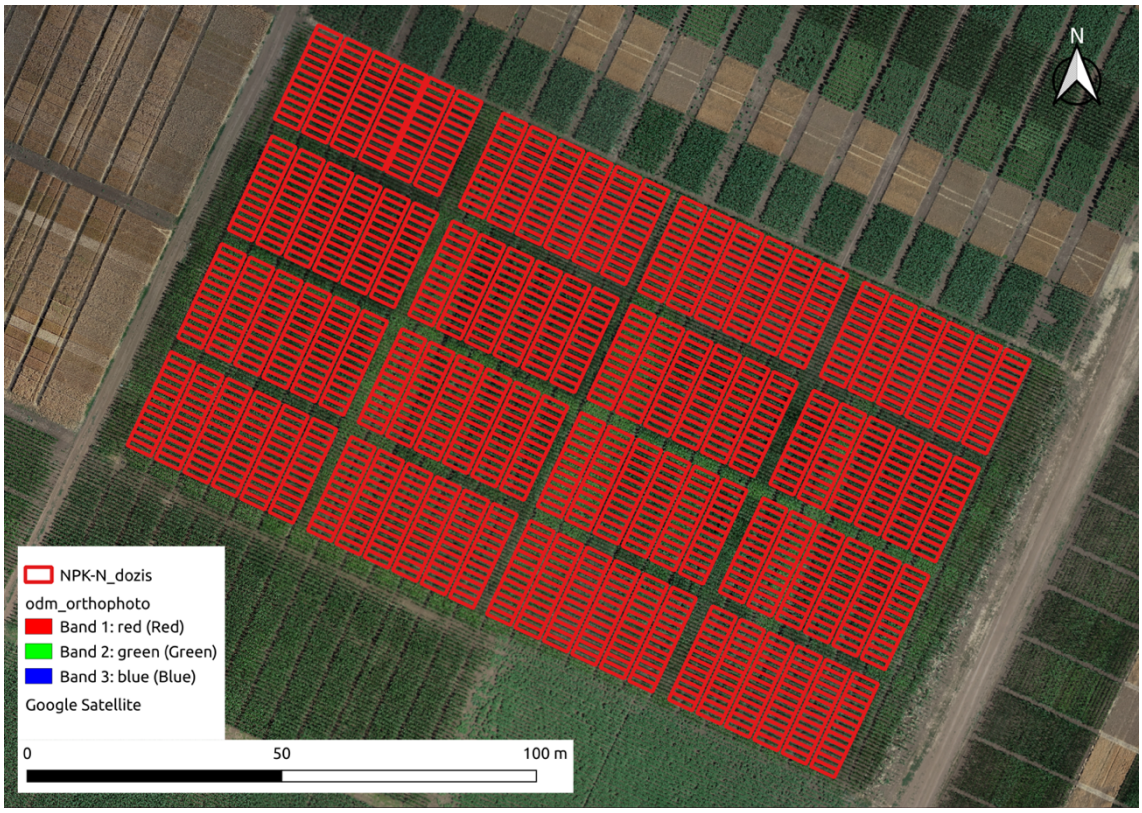
3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Tartamkísérlet helyszíne, alap paraméterei

Kísérleti növénynek két takarmánykukorica (*Zea mays* L.) hibridet használtam, melyek eltérő éréscsoportba tartoznak és különböző FAO-számmal rendelkeznek: 1-es hibrid – FAO 360 (nagy termés, kiváló vízleadás, stressztolerancia, termésbiztonság, széles tőszámoptimum, jó műtrágyareakció jellemzi). 2-es Hibrid - FAO 490 (nagy termés, jó vízleadás, stressztolerancia, termésbiztonság, kiváló állóképesség és műtrágyareakció jellemzi). Mindkét alkalmazott kukorica hibrid Magyarországon nagy területen termesztett és kiemelkedő termesztési paraméterekkel rendelkeznek. Ezek a hibridek ellenállnak az abiotikus stressznek és modern nemesítésűek. A kísérleteket a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén végeztem (47° 83, 030” É, 21° 82, 060” K, 111 m tsz). A kísérleti terület szántóföldi növénytermesztésre kiválóan alkalmas terület, megfelelő agrotechnikai biológiai és talaj feltételekkel rendelkezik.



1. kép: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep



2. kép: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep - vizsgálatnak helyt adó tartamkísérlet

A vizsgálatomnak helyet adó tartamkísérletet 1983-ban hozta létre Prof. Dr. Nagy János, és 40 éve változatlan paraméterekkel, azonos tápanyagutánpótlási rendszerrel, helyszínnel, talajműveléssel és agrotechnikával folytatódik. A tartamkísérlet teljes terjedelmében több mint 1,3 ha, melyben 1248 db parcella van. A tartamkísérlet agrotechnikai műveletei konvencionális gazdálkodási modellhez alkalmazkodó műveletsorból állnak, melynek alapja a forgatásos talajművelés. Jelen esetben a szántásos alapművelés, melynek mélysége 35 cm volt. A kísérlet megalakulása óta monokultúrás termesztésben történik.

A vetés időpontja 2019. április 16. és 2020. április 17., a betakarítás időpontja pedig 2019. október 15-16. és 2020. október 23-24. volt. Vetéssel egy menetben 15 kg/ha-os dózisban teflutrin tartalmú talajfertőtlenítő szert (Force 1.5 G) is alkalmaztam (1. táblázat).

Dátum	Művelet
2018.10.05	Alapművelés - Szántás
2019.03.04	Alapművelés elmunkálás - Kombinátor
2019.04.05	Műtrágyaszórás
2019.04.05	Magágykészítés - Kombinátor
2019.04.16	Vetés
2019.05.02	Növényvédelem - Gyomírtás
2019.05.23	Növényvédelem - Gyomírtás
2019.05.27	Sorközművelés - Kultivátor
2019.10.15-16	Betakarítás
2019.10.18	Műtrágyaszórás
2019.10.23	Szár aprítás - Carrier rövid tárcsa
2019.10.25	Szántás
2020.03.27	Szántás elmunkálás - Kombinátor
2020.04.09	Műtrágyaszórás+ Kombinátor
2020.04.17	Vetés
2020.05.18	Növényvédelem - Gyomírtás
2020.05.27	Sorközművelés - Kultivátor
2020.10.23-24	Betakarítás + Szárzúzás

1. táblázat: Vizsgált tenyészévek agrotechnikai műveletei és annak időpontjai

A parcellák 2 sorosak és 5 méter hosszúak. A kezelések között szegélyek találhatóak, a szegélyhatás és a torzítás elkerülése miatt. A növénysűrűség 73 000 db növény/ha volt minden parcellában, ami a véletlenszerű teljes blokk kialakítása szerint 7,6 négyzetméter. A kísérlet kéttényezős terepi kisparcellás kísérlet négy ismétléssel, amely lehetővé teszi a megfelelő statisztikai értékelést.

A levélmintavétel során öt ismétlést alkalmaztam, az ötödik ismétlést a négy ismétléses parcellarendszerből véletlenszerűen végeztem. A véletlenszerű kiválasztáshoz a Microsoft Excel (Ms) 2022 programot használtam.

A kukorica esetében öt fontos fenológiai fázist használtam a vizsgálathoz - négy levél (V_4), hat levél (V_6), nyolc levél (V_8), tizennegyedik levél (V_{14}) és nővirágzást (R_1). A hőösszegek a mintavétel időpontjában eltérőek voltak. V_4 fenológiai fázisban a vizsgált hibrideknek 2020-as tenyészévben kevesebb hőösszegre volt szükség, illetve korábban érték el a négy leveles fenológiai állapotot. Ez a dinamika az egész tenyészidőszakban

hasonlóan alakult. 2020-as tenyészévben a növényállomány gyorsabban fejlődött és kevesebb hőösszeg érték elegendő volt az adott fenológiai fázisok eléréshez. A tényleges érés időpontja a fekete réteg kialakulása 2019-es tenyészévben 2019.09.03-án volt, ez az érték 2020-ban későbbi 2020.09.11 volt (2. táblázat).

Meghatároztam a mintavételi időpontokhoz tartozó hőösszeg értéket vagy másnéven a (GDD = Growing Dergee Days-t, ami a 10 fokos bázishőmérséklettel április 1-től számolt érték, vagy más néven növekedési foknap. Számítás menete: A napi minimum és maximum hőmérséklet összegét megfelezzük, levonjuk belőle a bázishőmérsékletet (jelen esetben ez 10 Celsius fok), majd ezt április 1-től kezdve naponta összegezzük a vegetációs időszakban. Amennyiben a minimum hőmérséklet a bázishőmérsékletet nem érte el, akkor azt a bázishőmérsékletre módosítottam, valamint a napi maximum hőmérsékletet pedig maximalizáltam. 30 Celsius fok feletti hőmérséklet a kukorica számára kedvezőtlen feltételeket eredményez és zárt gázcsere nyílással fotoszintetizál.

	2019		**2020**	
Fenológiai fázis	**Mintavétel időpontja 2019**	**Hőösszeg (foknap GDD)**	**Mintavétel időpontja 2020**	**Hőösszeg (foknap GDD)**
V_4	2019.05.22	**153**	2020.05.19	**148**
V_6	2019.05.28	**221**	2020.05.22	**187**
V_8	2019.06.03	**341**	2020.05.26	**227**
V_{14}	2019.07.03	**630**	2020.07.03	**545**
R_1	2019.07.15	**779**	2020.07.09	**587**
Fiziológiai érés	2019.09.03	**1313**	2020.09.11	**1211**

2. táblázat: A különböző vizsgálati évben mért mintavételi időpontokhoz tartozó hőösszeg értéke.

Az első három mintavétel alkalmával a 4. teljesen kifejlődött levélből, a 4. mintavételnél a 10. teljesen kifejlett levélből, az utolsó mintavételnél a csővel szemközti levélből vettem mintát. A mintavételek során a méréshez szükséges legkisebb mintamennyiséget gyűjtöttem a kísérlet megóvása érdekében. A kismennyiségű minták gyűjtéséhez használt levélkorong lyukasztó eszközt a növények korai fenológiai fázisában a roncsolás minimalizálása szempontjából alkalmaztam. Későbbiekben a levél erősödése és szárazanyag beépülésének növekedésével nem működött megfelelően ezen mintavételi

eszköz. Ezt követően a megfelelő mintamennyiséghez szükséges levél szeleteket gyűjtöttem. A mintavételt a napnak azonos időpontjában végeztem reggel 9:00-kor. A mintákat folyékony nitrogénben szállítottam és a feldolgozásig - 80 °C-os Fryka B85-35 ultramélyhűtőben tároltam.

3.2 Agrotechnikai paraméterek

A kísérlet első részében (első kísérlet) a nitrogén hatása 0-300 kg/ha (N-dózis kísérlet) ((kontroll N0 = N 0 kg/ha, P_2O_5 0 kg/ha és K_2O 0 kg/ha - N2 = N 120 kg/ha, P_2O_5 184 kg/ha, K_2O 216 kg/ha - N5 (provokatív mennyiségű műtrágya szint) = N 300 kg/ha, P_2O_5 184 kg/ha, K_2O 216 kg/ha. N5 jelölésű műtrágyaszint gyakorlatban nem alkalmazható, kifejezetten kísérleti célú provokatív nitrogénmennyiséggel rendelkezik, ami nem felel meg a modern csökkentett mennyiségű input és műtrágya felhasználás irányelveinek.

A második rész (második kísérlet) a kukorica nitrogén:foszfor:kálium (NPK kísérlet) optimális arányát vizsgáltam: kontroll NPK 0 = N 0 kg/ha, P_2O_5 0 kg/ha és K_2O 0 kg/ha - NPK 2 = N 60 kg/ha, P_2O_5 46 kg/ha, K_2O 54 kg/ha - NPK 5 = N 150 kg/ha, P_2O_5 115 kg/ha, K_2O 135 kg/ha. A foszfor és kálium műtrágyát a téli szántás előtt, a nitrogén műtrágyát tavasszal a vetés megkezdése előtt juttattam ki.

A kísérlet első részében, ahol a tápanyagszintektől függetlenül állandó magas szinten biztosítottuk a foszfor és káliumot a növények számára, ott nem volt gátló tényező és tápelem antagonizmus a felvétel szempontjából. A kísérlet második felében nitrogénnel arányos mértékben növeltük a foszfor és kálium szintjét, ott a gyakorlati gazdálkodáshoz közeli műtrágya lépcsőt tudtunk vizsgálni (3. táblázat).

Nitrogén lépcső magas foszfor és kálium szint mellett				**Nitrogén lépcső arányos foszfor és kálium szinttel**			
(kg/ha)	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**(kg/ha)**	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**
N 0	0	0	0	**NPK 0**	0	0	0
N 2	120	184	216	**NPK 2**	60	46	54
N 5	300	184	216	**NPK 5**	150	115	135

3. táblázat: A kísérletben alkalmazott tápanyagutánpótlási szintek hatóanyag mennyiségben makroelemek szerint

3.3 Talajvizsgálati eredmények értékelése

A kísérleti terület klimatikus-meteorológiai tényezőit kontinentális és gyakran szélsőséges viszonyok jellemzik, talaja meszes csernozjom, 80-90 cm mélységű felső talajjal és 2,7 Hu% humuszossággal. A talaj nedvességtartó képessége kimagasló a vastag (A) 0-50 cm és (B) 50-80 cm termőrétegnek köszönhetően. A talaj pH-ja 5,8 (enyhén savas). Talaj savanyodásra kevésbé hajlamos, mivel a 80-90 cm mélyen lévő mészlepedékes réteg megfelelő puffer a savanyodással szemben. Talaj savanyodás tekintetében a kísérlet közel 40 éves nagyadagú nitrogén műtrágyázása (300 kg /ha hatóanyag) alig 0,6 egység pH csökkenést eredményezett a kontrollhoz viszonyítva. Fizikai változatát tekintve agyagos vályog, melynek plaszticitási indexe Arany szerint K_A 38.

A talaj kémiai tulajdonságait tekintve az arányos NPK tápanyagellátás hatására a pH érték alacsonyabb volt, mint az N0, N2 és N5 tápanyagszinteken. A magnézium szint NPK kísérletben a tápanyagszintek növelésével csökkent. NPK 5 tápanyagszinten NPK 0 tápanyagszinthez képest 50 mg/kg értékkel csökkent a magnézium értéke. N-dózis kísérletben a réz értéke a három vizsgált tápanyagszint esetében közel azonos volt, az NPK kísérletben a tápanyagszintek növelésével csökkent a réz értéke. NPK 5 tápanyagszinten 0,22 mg/kg értékkel alacsonyabb réz értéket mértem, mint a NPK 0 kontroll parcellákon. N-dózis kísérletben a nátrium szintje jelentősen csökkent több mint 4 mg/kg értékkel a kontroll és a legmagasabb 300 kg/ha dózisú parcellában. Az N-dózis kísérletben a mangán szintje viszonylagosan kiegyenlített a tápanyagszintek között nincs jelentős változás, viszont az NPK kísérletben az arányos N-P-K kijuttatás hatására a mangán szintje NPK 2 tápanyagszinten volt a legnagyobb 250 mg/kg értékkel.

Talajmintavételezés során a felső 0-30 cm mélységből vettem mintát 4 ismétlésben, majd homogenizáltam. A talaj fizikai és kémiai tulajdonságait akkreditált talajlaboratórium mérte – a Mertcontrol HL-LAB Kft. A talajmintákat a felsorolt magyar szabványok alapján vizsgálta: MSZ-08-0206-2:1978, MSZ-08-0205:1978, MSZ-08-0206-2:1978, MSZ-08-0206-2:1978, MSZ 08-0210:1977, MSZ 20135:1999, MSZ 20135:1999, MSZ 20135:1999-, MSZ20-6082- 1978 (4-5. táblázat).

	pH (KCl 1:2,5)	Arany féle kötöttségi szám K_A	Nátrium [mg/kg]
N0	6,15	38,56	13,59
N2	5,7	40,28	9,55
N5	5,57	36,81	9,22
	Magnézium [mg/kg]	**Kén [mg/kg]**	**Kálium-oxid [mg/kg]**
N0	362,3	0,78	185,28
N2	346,15	6,88	277,44
N5	359	2,81	277,02
	Humusz [m/m%]	**Nitrogén-nitrit+nitrát [mg/kg]**	**Cink [mg/kg]**
N0	2,76	2,17	0,58
N2	2,63	2,3	0,59
N5	2,52	2,11	0,59
	Foszfor-pentoxid [mg/kg]	**Réz [mg/kg]**	**Mangán [mg/kg]**
N0	52,9	2,26	248,4
N2	146,65	2,3	259,6
N5	129,12	2,28	252,85

4. táblázat: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep tápanyagutánpótlási tartamkísérlet talajtani paraméterei (N-dózis kísérlet – Nitrogénlépcső állandó magas foszfor és kálium szint mellett) a 2020-as tenyészévben.

	pH (KCl 1:2,5)	Arany féle kötöttségi szám K_A	Nátrium [mg/kg]
NPK 0	5,76	38,71	9,8
NPK 2	5,63	37,97	8,03
NPK 5	5,23	36,81	7,34
	Magnézium [mg/kg]	**Kén [mg/kg]**	**Kálium-oxid [mg/kg]**
NPK 0	374,4	0,46	169,08
NPK 2	341,8	0,67	193,2
NPK 5	322,45	0,76	270,48
	Humusz [m/m%]	**Nitrogén-nitrit+nitrát [mg/kg]**	**Cink [mg/kg]**
NPK 0	2,06	1,75	1,28
NPK 2	2,16	2,13	0,58
NPK 5	2,04	2,54	0,5
	Foszfor-pentoxid [mg/kg]	**Réz [mg/kg]**	**Mangán [mg/kg]**
NPK 0	56,39	2,2	174,2
NPK 2	72,31	2,1	250,15
NPK 5	184,38	1,98	228,7

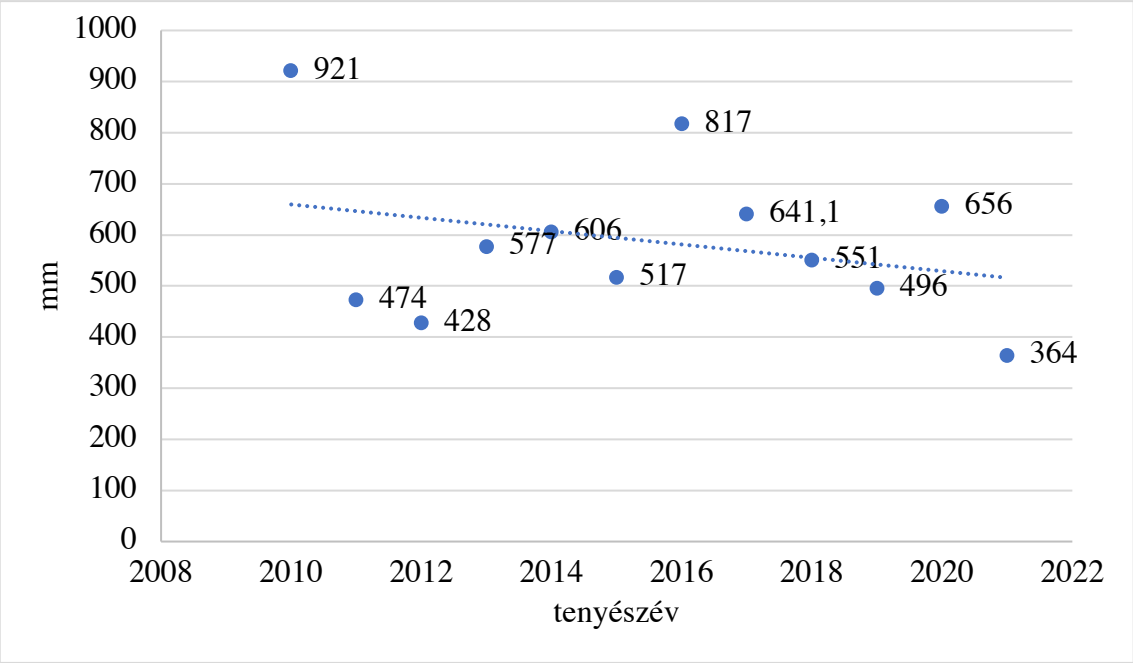
5. táblázat: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep tápanyagutánpótlási tartamkísérlet talajtani paraméterei (NPK kísérlet – nitrogén lépcső arányos foszfor és kálium szint mellett) a 2020-as tenyészévben.

3.4 Időjárási körülmények

Időjárási szélsőségek aránya növekvő tendenciát mutat, még a klimatikus szempontból védett Kárpát-medencében is. Vizsgálatom során egész éves meteorológiai méréseket végeztem az eredmények értékelhetősége, alátámaszthatósága és megismételhetősége szempontjából. A klimatikus értékelések a kukorica szempontjából fontos fenológiai fázisokra terjednek ki. A meteorológiai állomás a kísérletek közvetlen közelében, légvonalban 420 méteres távolságban volt elhelyezve, ezzel is pontosítva és kiküszöbölve a nyári zivatarokra jellemző lokalitást.

Az elmúlt 10 év csapadék átlagai a kísérleti helyszínre vonatkoztatva nagy szélsőértékeket mutatnak. A csapadék mennyisége 817 mm és 428 mm között változott. Az éves csapadékértékek lineáris függvényelemzéssel enyhén csökkennek. A csökkenés mértéke elemzés nélkül, a nagy kilengések miatt, nem mutatható ki, viszont függvénnyel jól leírható. A csökkenés mértéke alapvetően kisebb, mint a függvény által jellemzett érték, ha a 2010-es évben lehullott nagymennyiségű átlagon felüli csapadék mennyiségétől függetlenül elemezzük.

Az elmúlt 10 év átlagcsapadék mennyisége Látóképen 565,3 mm volt. A 2019-es tenyészévben 71 mm hiány volt a sokéves átlaghoz képest, 2020-as tenyészévben pedig 49 mm többlet a sokéves átlaghoz képest. Ennek függvényében a vizsgált két év eltérő agrometeorológiai környezetet teremtett és ezáltal illeszkedik a napjainkban tapasztalható változó szélsőséges klimatikus viszonyokhoz. Az elmúlt 10 év csapadék mennyiségének alakulását az alábbi diagram mutatja be (4. ábra).



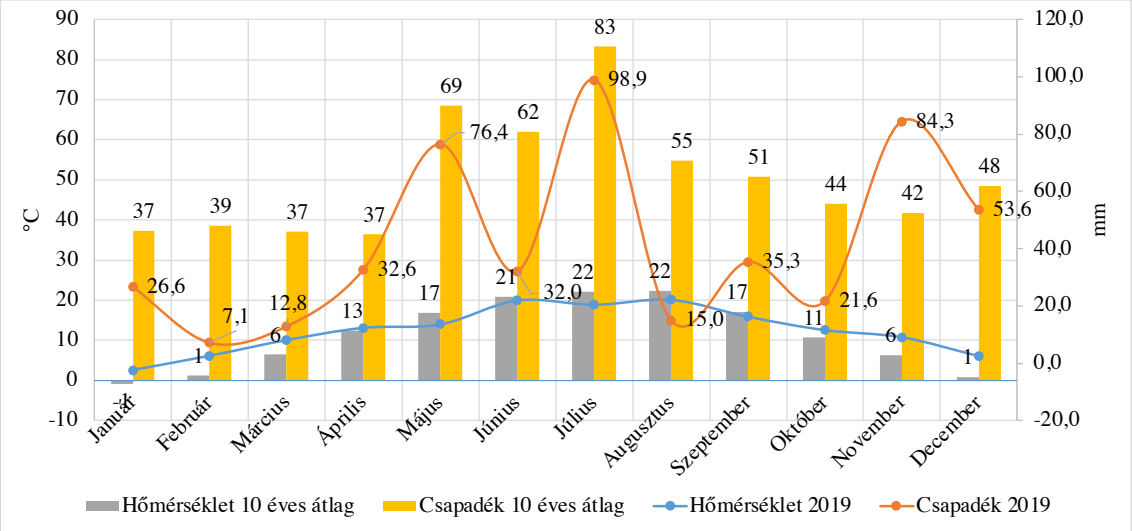
4. ábra: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep csapadék viszonyai az elmúlt 10 évben (2010-2020).

3.4.1 2019-es tenyészév időjárási körülményei

Összességében elmondható, hogy 2019-es tenyészév erősen változékony, sőt hektikus időjárási viszonyok éve volt. Az áprilisi pozitív hőmérsékleti anomáliát egy hasonló nagyságrendű negatív eltérés követte májusban. A májusi negatív hőmérsékleti anomália a kezdeti korai 2-4 leveles fejlettségben lassította a kukorica növekedését. Korai fejlettségi állapotban megfigyelhető volt enyhe antiociános színeződés a fiatal növények levelén, mely a hideg hatására bekövetkező foszfor felvételi problémának a jele volt. Hasonló jelenséget már korábban *Cobbina - Miller* (1987) kutatásában is megemlített, melyet a hideg és a foszfor felvételével hoztak összefüggésben kukorica állományban.

A júniusi hőmérséklet jóval az átlag felett alakult, ezután egy átlagos július és egy egyértelműen átlag feletti augusztus követte, a pozitív hőmérsékleti anomália ősszel is folytatódott. Áprilisban átlagosan, májusban jóval átlag feletti volt a havi csapadék, ezt követi a június és július, egyértelmű jelentős csapadékhiánnyal. Az augusztus havi átlagos csapadékmennyiség mínuszban zárta az őszi hónapokat. Az 10 évhez képest a 2019-es tenyészidő mutatta a legkedvezőtlenebb képet, nagyon kevés csapadékkal és magas maximum hőmérsékletekkel. Különösen júniusban párosult az erős pozitív hőmérsékleti

anomália kiemelkedően magas globálsugárzási értékekkel. A júniusi átlaghoz képest magasabb hőmérsékleti értékeket egy júliusi átlag alatti érték követte, mely kedvező hatást fejtett ki a virágzás és termékenyülés szempontjából fontos fenológiai fázisokban. A fontos fenológiai fázisban virágzás és termékenyülés szempontjából a légköri aszály mértéke alacsony maradt. Hőösszeget tekintve az elmúlt 10 év értékei alapján a második legmagasabb értéket mértem 1723,7 °C-ot (5. ábra).



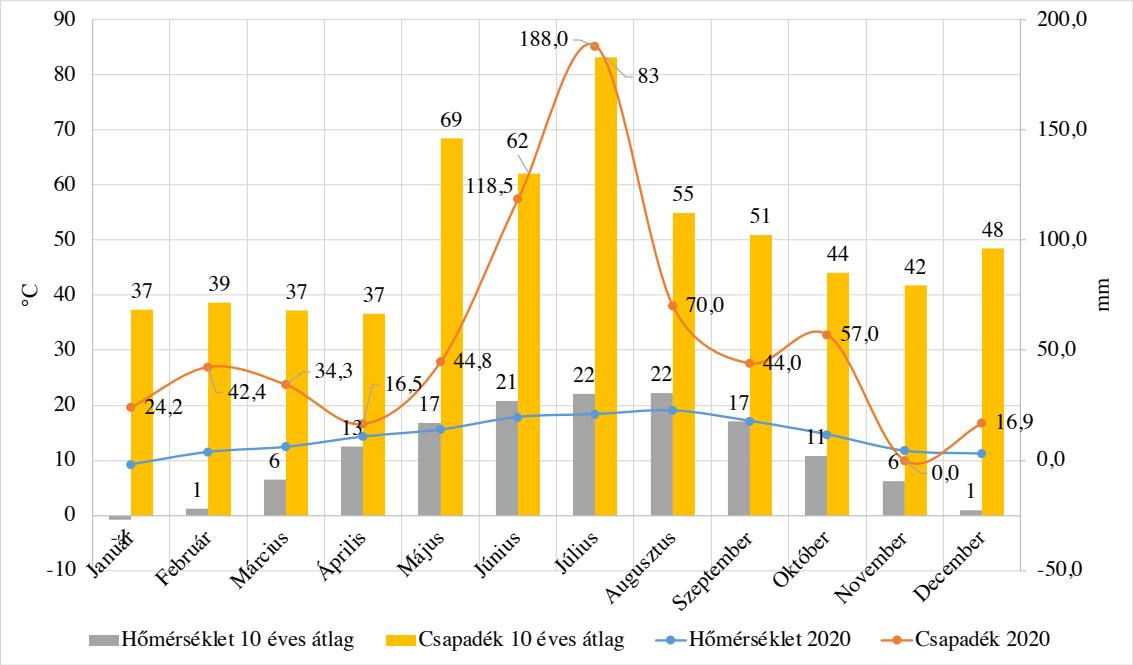
5. ábra: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep 2019-as tenyészév agrometeorológiai környezete

3.4.2 2020-as tenyészév időjárási körülményei

A tavaszi csapadékot a következő három hónapban (május, június, július) különösen magas havi csapadékösszeg követte. A levegő hőmérsékleti viszonyait tekintve a legszembetűnőbb a májusi jelentős negatív hőmérsékleti anomália, amely a tavaszi csapadékhiány mellett negatívan befolyásolta a fejlődést a vetés és a kelés időszakában. A nyári hónapokra június és július átlagos vagy az átlagosnál kissé hűvösebb időjárást eredményezett augusztusban pedig egyértelműen az átlagosnál melegebb nyári időszak volt, ami az őszi hónapokban is folytatódott.

Megállapítható azonban, hogy a régebben gyakori tartós hőhullámok 2020-ban hiányoztak. A 2020-as tenyészévben a kukorica számára fontos fenológiai szakaszokban nagymennyiségű csapadék megfelelő eloszlásban érkezett. A virágzás körüli bőséges

csapadék és a fejlődés e kritikus szakaszában a mérsékelten magas hőmérséklet valószínűleg hozzájárult a magas terméshozamhoz. A nyári nagymennyiségű csapadék sok esetben meghaladta a párolgás napi mértékét és kismértékben gyarapította a talajnedvesség készletét a tenyészidőszakban. Az egész tenyészidőszakra jellemző kisebb hőmérsékleti értékek kedvezően hatottak a virágzás körüli légköri aszály mértékére. A termékenyüléshez szükséges klimatikus feltételek megfelelőek voltak. A körülbelül 1500 °C-os érték az elmúlt öt év átlagában mért legalacsonyabb hőösszeg érték volt (6. ábra).



6. ábra: Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep 2020-as tenyészév agrometeorológiai környezete

3.5 Lipidperoxidáció mérési és mintakezelési protokoll

A lipidperoxidációs értéket a 155 mM^{-1} cm^{-1} extinkciós együtthatójú malondialdehid (MDA) mennyiségéből számítottam ki, amelyet az MDA μmol*g^{-1} FW (Fresh Weight) friss tömegében határoztam meg *Heat - Packer* (1968) leírása alapján. A lipidperoxidáció (LP) mérésére 100 mg-os levélér nélküli levélmintákat használtam. A mintákat 0,25%-os koncentrációjú tiobarbitursavval (TBA) és 10%-os koncentrált triklór-ecetsavval (TCA) 2 ml folyékony nitrogén hozzáadásával dörzsmozsárban dörzsöltem, majd 10 800 fordulat/perc sebességgel 25 percig 4 °C-on Esco Versati MCR-88-8 hűthető asztali centrifugával centrifugáltam. A felülúszót pipettáztam, és egy 200 μl-es növényi mintát kaptam. 800 μl 0,5%-os TBA-val és 20%-os TCA-val összekevertem, és 30 percre 95 °C-os Julabo Pura 10 típusú laboratóriumi vízfürdőbe helyeztem hermetikusan zárható eppendorf fagyasztócsőbe. Majd ezután a mintákat jégre helyeztem. A mintákat mérés előkészítése céljából 10 800 fordulat/perc sebességgel centrifugáltam 10 percig 4 °C-os hőmérsékleten, majd a felülúszót pipettáztam. Az abszorbanciát 532 nm-en Thermo Scientific Evolution 350 UV-Vis spektrofotométerrel mértem. A vakmintát 600 nm-en mértük. A mérés során alkalmazott vak meghatározásához milli-Q tisztaságú desztillált vizet használtam.

Számítási képlet: MDA koncentrációja (mM) = (ABS 532 – ABS 600) / 155

3.6 Enzimvizsgálatok

3.6.1 Aszkorbát-peroxidáz (APX) mérési és mintakezelési protokoll

Az aszkorbát-peroxidáz (APX) aktivitását az abszorbancia csökkenésének mértékével határoztam meg. Az APX értéket 290 nm-en, 60 másodperc alatt mért abszorbancia csökkenése jellemezte *Nakano – Asada* (1981) módszere alapján, *Janda et al*. (1999) módosításokkal. A mintafeldolgozás során 500 mg növényi mintát izoláló pufferrel dörzsmozsárban dörzsöltem. A dörzsöléshez 2 ml folyékony nitrogént és 0,02 g labor tisztaságú 0,1-0,4 mm frakcióméretű kvarchomokot használtam a megfelelő homogenitás eléréséhez *Illés et al*. (2021) iránymutatásai alapján. Majd 2 °C-os hőmérsékleten 20 percig centrifugáltam és mérésig jégágyon hűtve tároltam. A mérés során 50 μl növényi

mintához 2 ml Tris-HCl (1.0 M pH 7.8) oldatot és 100 μl aszkorbát oldatot adtam. Az előző keverék 60 másodperc alatti abszorbancia csökkenést meghatároztam Thermo Scientific Evolution 350 UV-Vis spektrofotométer kinetikus mérési mód segítségével, majd ugyanezen keveréket kiegészítve 100 μl H_2O_2-vel (30%-os) megmértem a 60 másodperces csökkenés mértékét. Majd a két érték közötti különbséget kiszámoltam.

Az aszkorbát-peroxidáz (APX) számítási formája: enzimaktivitás (egység/L) = (ΔABS × teljes vizsgálati térfogat) / (Δt x ε x l x enzim minta térfogata).

Az extinkciós együttható = a szubsztrátok ε-e M^{-1} cm^{-1} egységekben, és l a küvetta átmérőjét jelenti cm-ben. Az enzimaktivitást (egység) az enzim azon mennyiségeként határoztam meg, amely 1 μmol szubsztrátot oxidált percenként.

3.6.2 Szuperoxid-dizmutáz (SOD) mérési és mintakezelési protokoll

Vizsgálatomat *Giannopolitis et al*. 1977 és *Beyer – Fridovic* 1989 által leírt protokollok alapján végeztem. A szuperoxid-dizmutáz (SOD) aktivitását 400 mg-os, levélér nélküli levélminta segítségével mértem. A mintákat K_2HPO_4-et, polivinil-pirrolidont (PVP), fenil-metil-szulfonil-fluoridot (PMSF) és etilén-diamin-tetraecetsavat (EDTA) tartalmazó pufferrel homogenizáltam dörzsmozsárban folyékony nitrogén segítségével. A puffer pH-ját foszforsavval 7,8-ra állítottam be VWR 1100 L pH mérő műszerrel. A kapott elegyet 10 000 fordulat/perc sebességgel centrifugáltam 14 percig 4 °C-os hőmérsékleten, majd a felülúszót pipettáztam. Az abszorbanciát Thermo Scientific Evolution 350 UV-Vis spektrofotométerrel mértem 560 nm-en. A méréshez 2,675 ml pufferoldatot, 250 μl metionint, 25 μl riboflavint, 25 μl nitro-blue-tetrazólium-kloridot (NBT) adtam egy reakciócsőbe, végül 25 μl növényi mintát. Majd a vak mintába is belehelyeztem az NBT-t, melynek együttes mennyisége 2,7 ml volt. A reakcióelegyhez, mely tartalmazta a mintát percenként NBT-t adtam SOD csőbe. Majd a mintákat spektrofotométerrel 3 ismétlésben meghatározott sorrendben percenként mértem 20 perc elteltével.

3.7 Termés beltartalom vizsgálat NIR készülékkel

A hozammérésen túl keményítő, olaj, fehérje, nedvességtartalom és térfogat/térfogat tömeg meghatározása FOSS Infratech kalibrált beltartalom mérővel történt. A minták méréséhez 1 kg homogenizált termésmintát alkalmaztam, melyet a betakarítás után közvetlenül mértem. A mérés során az eszköz a mintát 10 alegységre osztva egyesével mérte, majd átlagolta a mérési eredményeket. A közeli infravörös (NIR) spektroszkópia roncsolásmentes módszert kínál a keményítő, olaj, fehérje, nedvességtartalom és térfogat/térfogat tömeg meghatározására (*Janni et al., 2008*).

3.8 A vizsgálatok értékeléséhez használt statisztikai elemzések

A kísérleti eredmények statisztikai értékelését R 3.2.4. statisztikai környezetben *(Team 2016a), RStudio* (*Team 2016b*) grafikus felülettel,"gplots" (*Warnes et al.,* 2015), "car" (Fox és Weisberg*,* 2011) és "agricolae" (*De Mendiburu*, 2016) csomagok felhasználásával, valamint GenStat (VSN International, Rothamsted, England) és Minitab (Minitab LLC., Pennsylvania, USA) statisztikai szoftverekkel végeztem. Az egyes értékek közötti statisztikailag igazolható különbségek meghatározásához Fisher-féle legkisebb szignifikáns különbség tesztet használtam. A grafikus elemzéshez GGE biplot analízist alkalmaztam.

A hipotézisvizsgálat és a statisztikai kutatások egyik legszélesebb körben használt eszköze a varianciaanalízis másnéven különbözőség vizsgálat. A varianciaanalízis és a varianciaanalízis módszerek olyan statisztikai modellek csoportja, amelyek képesek a csoportok vagy kategóriák közötti különbségek vizsgálatára. Mindezen módszerek alapja az adatok szórásának vagy szórásának több komponensre való szétválasztása volt.

Az egyes vizsgált fiziológiai- és terméspараméterek közötti kapcsolat értékelését Pearson-féle korrelációanalízis segítségével végeztem el. A grafikonokat Ms Excel 365 programmal készítettem.

4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása eltérő fenológiai fázisokban és tápanyagszinten

Az APX aktivitása a nitrogén dózis emelésével N2 szinten növekedett 0,7 egységgel kontrollhoz képest, az N5 nitrogéndózis a kontrollhoz viszonyítva kismértékben csökkentette 0,6 egységgel az APX aktivitást négy leveles fenológiai állapotban. A lipidperoxidáció mértékében és a SOD aktivitásban nem okozott jelentős eltérést a tápanyagszintek átlagában négy leveles fenológiai állapotban a közepes érés idejű hibridnél (6. táblázat).

Műtrágyaszint	**APX aszkorbát peroxidáz (egység)**	**LP lipidperoxidáció (egység)**	**SOD szuperoxid dizmutáz (egység)**
N0	$7{,}352 \pm 1{,}04^{ab}$	$4{,}212 \pm 0{,}35^{b}$	$3{,}725 \pm 0{,}32^{a}$
N2	$8{,}129 \pm 0{,}90^{a}$	$3{,}568 \pm 0{,}44^{c}$	$3{,}807 \pm 0{,}62^{a}$
N5	$6{,}731 \pm 0{,}87^{b}$	$4{,}866 \pm 0{,}54^{a}$	$3{,}584 \pm 0{,}61^{a}$
Átlag	**7,404**	**4,210**	**3,705**

6. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

A közép hosszú FAO 490-es éréscsoportba tartozó hibridnél négy leveles fenológiai állapotban hasonló módon alakult az APX aktivitásnak változása a tápanyagkezelések hatására, mint a FAO 360 hibridnél. Az N5 nitrogén kezelés szintén növelte az APX aktivitást a kontrollhoz képest. A lipidperoxidáció mértékében enyhe növekedés volt, viszont a SOD aktivitás nem változott a tápanyagszintek növelésével (7. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$7{,}484 \pm 1{,}46^{ab}$	$4{,}048 \pm 0{,}55^{b}$	$3{,}819 \pm 0{,}27^{a}$
N2	$6{,}950 \pm 2{,}05^{b}$	$3{,}814 \pm 0{,}37^{b}$	$3{,}780 \pm 0{,}65^{a}$
N5	$9{,}614 \pm 1{,}60^{a}$	$5{,}318 \pm 0{,}26^{a}$	$3{,}598 \pm 0{,}39^{a}$
Átlag	**8,016**	**4,393**	**3,732**

7 táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

Az arányos NPK ellátás hatására az NPK 2 és NPK 5 tápanyagszintek között nem volt eltérés az APX aktivitásában. A lipidperoxidáció mértékében szignifikáns növekedés volt NPK 0, NPK 2 és NPK 5 tápanyagszint között. A SOD aktivitása enyhe növekedést mutatott a tápanyagszintek arányos NPK mértékének emelésével a FAO 360 hibridnél négy leveles fenológiai állapotban (8. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$7{,}352 \pm 1{,}04^{b}$	$4{,}702 \pm 0{,}31^{a}$	$3{,}725 \pm 0{,}32^{b}$
NPK 2	$9{,}511 \pm 1{,}50^{a}$	$4{,}189 \pm 0{,}29^{a}$	$4{,}381 \pm 0{,}32^{a}$
NPK 5	$9{,}828 \pm 1{,}17^{a}$	$4{,}293 \pm 0{,}38^{ab}$	$4{,}224 \pm 0{,}27^{a}$
Átlag	**8,897**	**4,394**	**4,110**

8. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

Az arányos NPK ellátás hatására a tápanyagszintek növelésével az APX aktivitása nem szignifikáns mértékben enyhén növekedett a kontrollhoz képest 26 %-kal. A lipidperoxidáció mértéke nem változott a tápanyagszintek növelésével, a SOD aktivitása enyhén csökkent szignifikáns mértékben a tápanyagszintek növelésével FAO 490 hibridnél négy leveles fenológiai fázisban arányos NPK utánpótlásnál (9. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$7{,}484 \pm 1{,}46^{a}$	$4{,}302 \pm 1{,}45^{a}$	$4{,}068 \pm 0{,}38^{a}$
NPK 2	$8{,}074 \pm 1{,}96^{a}$	$4{,}615 \pm 0{,}55^{a}$	$3{,}606 \pm 0{,}95^{b}$
NPK 5	$9{,}446 \pm 1{,}00^{a}$	$4{,}106 \pm 0{,}76^{a}$	$3{,}498 \pm 0{,}09^{b}$
Átlag	**8,334**	**4,341**	**3,724**

9. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

Hatleveles fenológiai fázisban a FAO 360 hibridnél a nitrogén szintek emelésével az APX aktivitása nem változott, az N2-es tápanyagszinten kontrollhoz képest 32 %-kal csökkent. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitásának átlag értékei a tápanyagszint növelésével arányosan csökkent a kontrollhoz képest. Hatleveles fenológiai fázisban a lipidperoxidáció és a SOD aktivitása nem változott a négyleveles fenológiai állapothoz képest a nitrogénszintek függvényében. (10. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$8{,}329 \pm 1{,}26^{a}$	$4{,}586 \pm 0{,}19^{a}$	$4{,}327 \pm 0{,}31^{a}$
N2	$5{,}679 \pm 0{,}79^{b}$	$4{,}003 \pm 0{,}56^{b}$	$3{,}968 \pm 0{,}28^{a}$
N5	$8{,}240 \pm 0{,}71^{a}$	$3{,}135 \pm 0{,}30^{c}$	$3{,}436 \pm 0{,}48^{b}$
Átlag	**7,416**	**3,908**	**3,910**

10. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

V_6 fenológiai állapotban a FAO 490 hibridnél mért APX aktivitás eltérő volt a FAO 360 hibridhez képest. FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása kontroll és magas N5 tápanyagszinten magasabb volt, mint a N2 tápanyagszinten. Az eltérés kontrollhoz képest 13 %-kal magasabb, N5-höz képest pedig 11 %-kal. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD

aktivitás változatlan szintű volt a FAO 490 hibrid, mely azonos volt a rövid tenyészidejű hibrid értékeivel V_6 fenológiai állapotban (11. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$7,407 \pm 1,19^{a}$	$4,096 \pm 0,09^{a}$	$4,376 \pm 0,40^{a}$
N2	$8,385 \pm 0,61^{a}$	$4,440 \pm 0,34^{a}$	$3,755 \pm 0,30^{b}$
N5	$7,662 \pm 0,40^{a}$	$4,161 \pm 1,08^{a}$	$4,150 \pm 0,39^{ab}$
Átlag	**7,818**	**4,232**	**4,093**

11. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_6 fenológiai fázisban egyenlő mértékű NPK műtrágyázás hatására a FAO 360 hibrid esetében az NPK 2 tápanyagszintnél jelentős APX aktivitás növekedés volt a kontrollhoz képest, továbbá az APX aktivitása csökkent NPK 5 tápanyagszinten NPK 2 tápanyagszinthez képest szignifikáns mértékben. Ezzel arányosan csökkent a lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása a tápanyagszintek növelésével (12. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$8,339 \pm 1,06^{b}$	$5,343 \pm 0,40^{a}$	$4,287 \pm 0,69^{a}$
NPK 2	$11,150 \pm 1,27^{a}$	$3,329 \pm 1,41^{b}$	$3,792 \pm 0,50^{ab}$
NPK 5	$9,097 \pm 0,51^{c}$	$4,339 \pm 1,51^{ab}$	$3,175 \pm 0,44^{b}$
Átlag	**9,525**	**4,337**	**3,75**

12. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_6 fenológiai fázisban a FAO 360 hibridhez hasonló NPK 2 szinten mért magasabb APX aktivitás volt a FAO 490 hibridnél. Kontrollhoz képest 68 %-kal volt nagyobb az APX aktivitás NPK 2-es tápanyagszinten, NPK 5 tápanyagszinthez képest pedig 44 %-kal. A két genotípus átlagértékei hasonlóak voltak (13. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$7{,}407 \pm 1{,}19^{b}$	$4{,}710 \pm 0{,}28^{a}$	$4{,}265 \pm 0{,}15^{a}$
NPK 2	$12{,}483 \pm 1{,}66^{a}$	$4{,}834 \pm 0{,}48^{a}$	$3{,}044 \pm 0{,}64^{b}$
NPK 5	$8{,}649 \pm 0{,}46^{b}$	$3{,}843 \pm 0{,}93^{b}$	$3{,}445 \pm 0{,}30^{b}$
Átlag	**9,513**	**4,462**	**3,584**

13. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_8 fenológiai fázisban nitrogénszintek emelésével kiegyenlített állandó magas P és K szint mellett a FAO 360 hibridnél nem volt jelentős változás az APX aktivitásában. N2 tápanyagszinten N0 és N5 tápanyagszinthez képest 0,6 egységgel csökkent az aktivitás. Lipidperoxidáció mértéke enyhén növekedett N5 tápanyagszinten a kontrollhoz képest, a SOD aktivitása pedig enyhén csökkent (14. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$5{,}666 \pm 0{,}78^{a}$	$3{,}826 \pm 0{,}62^{b}$	$4{,}284 \pm 0{,}26^{a}$
N2	$5{,}034 \pm 1{,}09^{b}$	$3{,}043 \pm 0{,}40^{b}$	$3{,}789 \pm 0{,}39^{b}$
N5	$5{,}629 \pm 0{,}80^{a}$	$4{,}655 \pm 0{,}65^{a}$	$3{,}256 \pm 0{,}14^{b}$
Átlag	**5,443**	**3,841**	**3,776**

14. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_8 fenológiai fázisban a FAO 490 hibridnél mért APX aktivitás és lipidperoxidáció mértéke növekedett a tápanyagszintek növelésével. N2 tápanyagszinten 1 egységgel, N5 tápanyagszinten 1,3 egységgel növekedett kontrollhoz viszonyítva. A SOD aktivitás enyhén csökkent az N szintek növelésével. A lipidperoxidáció mértéke N5 tápanyagszinten N0 tápanyagszinthez viszonyítva növekedett 1,7 egységgel (15. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$4{,}813 \pm 0{,}67^{a}$	$3{,}578 \pm 1{,}48^{a}$	$4{,}143 \pm 0{,}20^{a}$
N2	$5{,}858 \pm 0{,}95^{b}$	$4{,}467 \pm 0{,}99^{b}$	$3{,}911 \pm 0{,}41^{a}$
N5	$6{,}169 \pm 0{,}69^{c}$	$5{,}295 \pm 0{,}22^{b}$	$3{,}580 \pm 0{,}11^{a}$
Átlag	**5,613**	**4,446**	**3,878**

15. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

Mind a két vizsgált hibrid esetében arányos NPK utánpótlás hatására jelentős eltérés nem volt a tápanyagszintek hatására az APX aktivitásában és a lipidperoxidáció mértékében. A SOD aktivitása enyhén csökkent a tápanyagszintek növelésével (16-17. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$5{,}126 \pm 0{,}78^{a}$	$3{,}819 \pm 0{,}39^{a}$	$4{,}859 \pm 0{,}30^{a}$
NPK 2	$4{,}349 \pm 0{,}60^{b}$	$4{,}781 \pm 0{,}78^{b}$	$3{,}851 \pm 0{,}32^{ab}$
NPK 5	$5{,}159 \pm 0{,}91^{a}$	$4{,}080 \pm 0{,}54^{ab}$	$3{,}441 \pm 0{,}27^{b}$
Átlag	**5,058**	**4,226**	**4,050**

16. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

V8 fenológiai fázisban FAO 490 hosszú tenyészidejű hibrid esetében nem volt szignifikáns eltérés az APX és SOD aktivitásában a tápanyagszintek hatására kontrollhoz viszonyítva. A legnagyobb LP értéket N2 tápanyagszinten mértem. A tápanyagkezelések szignifikánsan növelték a hibrid LP értéket kontrollhoz viszonyítva (17. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$4{,}803 \pm 0{,}77^{a}$	$3{,}957 \pm 0{,}73^{b}$	$4{,}387 \pm 0{,}56^{a}$
NPK 2	$5{,}031 \pm 0{,}99^{a}$	$5{,}075 \pm 0{,}18^{a}$	$4{,}149 \pm 0{,}30^{a}$
NPK 5	$5{,}839 \pm 1{,}81^{a}$	$4{,}994 \pm 0{,}66^{a}$	$3{,}607 \pm 0{,}24^{a}$
Átlag	**5,227**	**4,675**	**4,014**

17. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

Nitrogéntrágyázás szintjének növelésével V_{14} fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében nem volt szignifikáns különbség az APX aktivitásában. Az LP mértéke kontrollhoz viszonyítva mind a két alkalmazott tárgyadózisnál szignifikánsan nőtt. A SOD aktivitása csökkent N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest (18. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$4{,}878 \pm 0{,}57^{a}$	$2{,}874 \pm 0{,}85^{b}$	$4{,}413 \pm 0{,}33^{a}$
N2	$5{,}676 \pm 0{,}89^{a}$	$4{,}568 \pm 0{,}21^{a}$	$4{,}046 \pm 0{,}76^{ab}$
N5	$5{,}427 \pm 1{,}63^{a}$	$4{,}077 \pm 0{,}48^{a}$	$3{,}473 \pm 0{,}26^{b}$
Átlag	**5,327**	**3,839**	**3,977**

18. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

Tizennégy leveles fenológiai állapotban FAO 490 hibrid esetében az N5 tápanyagszintem mért APX aktivitása kontrollhoz képest jelentősen 21 %-kal, N2 tápanyagszinthez képest 48 %-kal csökkent. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása enyhén csökkent a tápanyagszintek növelésével (19. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$8{,}063 \pm 2{,}64^{a}$	$4{,}259 \pm 1{,}49^{a}$	$4{,}312 \pm 0{,}34^{a}$
N2	$9{,}492 \pm 3{,}71^{a}$	$3{,}912 \pm 0{,}26^{a}$	$4{,}605 \pm 0{,}36^{a}$
N5	$6{,}380 \pm 0{,}86^{a}$	$3{,}804 \pm 0{,}56^{a}$	$3{,}558 \pm 0{,}14^{b}$
Átlag	**7,978**	**3,991**	**4,158**

19. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_{14} fenológiai fázisban az egyenlő NPK arány hatására a tápanyagszintek növelésével fokozatosan nőtt az APX aktivitása. A lipidperoxidáció mértéke NPK 2 -es tápanyagszinten volt a legnagyobb, legkisebb a kontroll parcellában 2,874 egységgel. A SOD aktivitása enyhén csökkent a tápanyagszintek növelésével (20. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$4{,}878 \pm 0{,}57^{b}$	$2{,}874 \pm 0{,}85^{ab}$	$4{,}642 \pm 0{,}40^{a}$
NPK 2	$5{,}307 \pm 0{,}70^{ab}$	$4{,}085 \pm 0{,}70^{a}$	$4{,}141 \pm 0{,}55^{a}$
NPK 5	$6{,}540 \pm 1{,}64^{a}$	$3{,}492 \pm 0{,}69^{b}$	$3{,}575 \pm 0{,}02^{b}$
Átlag	**5,575**	**3,483**	**4,11ó**

20. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A 2019-es tenyészévben a vizsgált paraméterek közül az APX aktivitása fokozatosan növekedett a mintavételi időpontok között a hibridek és a tápanyagszintek átlagában. V_{14} fenológiai állapotban a FAO 360 hibridnél mért APX aktivitásához képest jóval magasabb értékeket tapasztaltam a FAO 490 hibrid esetében. Kontroll állományokat összehasonlítva a FAO 490 hibridnél több mint 40%-al magasabb APX aktivitást mértem 8,063 értékkel. Ennek függvényében a V_{14} fenológiai állapotban a két hibrid között jelentős fiziológiai eltérés volt a tápanyagszintek függvényében (21-22. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$8,223 \pm 2,54^{a}$	$4,259 \pm 1,49^{a}$	$4,465 \pm 0,70^{a}$
NPK 2	$6,655 \pm 0,98^{a}$	$3,392 \pm 0,29^{a}$	$4,180 \pm 0,36^{ab}$
NPK 5	$7,547 \pm 1,25^{a}$	$3,262 \pm 0,26^{a}$	$3,498 \pm 0,45^{b}$
Átlag	**7,421**	**3,637**	**4,047**

21. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

R_1 fenológiai időszakában a FAO 360 hibrid esetében a kontroll állománynál mért APX aktivitás értéke N2 tápanyagszinthez képest 50%-os növekedést mutatott. N5 tápanyagszinthez képest pedig 30%-os növekedést, emellett a lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása jelentősen nem változott (22. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$17,714 \pm 5,83^{a}$	$4,621 \pm 0,24^{a}$	$3,465 \pm 0,13^{a}$
N2	$9,089 \pm 0,90^{b}$	$4,804 \pm 0,54^{a}$	$3,639 \pm 0,18^{a}$
N5	$12,444 \pm 1,85^{b}$	$4,382 \pm 0,37^{a}$	$3,667 \pm 0,10^{a}$
Átlag	**13,082**	**4,602**	**3,590**

22. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

Az R_1 fenológiai állapotban a FAO 490-es hibridnél a FAO 360-as hibridhez hasonlóan kontroll állományban az APX aktivitása N2 tápanyagszinthez képest 76 %-kal, N5 tápanyagszinthez képest pedig 60 %-kal volt nagyobb. A lipidperoxidáció mértéke kontroll állományhoz képest N2 tápanyagszinten enyhén 0,973 egységgel csökkent. A SOD aktivitása növekedett a tápanyagszintek emelésével (23. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$16,423 \pm 0,90^{a}$	$4,076 \pm 0,16^{a}$	$3,510 \pm 0,18^{b}$
N2	$9,615 \pm 0,67^{b}$	$3,503 \pm 0,31^{b}$	$3,487 \pm 0,18^{b}$
N5	$10,562 \pm 1,35^{b}$	$4,164 \pm 0,40^{a}$	$4,236 \pm 0,45^{a}$
Átlag	**12,366**	**4,047**	**3,744**

23. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

Arányos NPK kijuttatás mellett R_1 fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében nem eredményezett a tápanyagutánpótlás szignifikáns változást egyik vizsgált paraméter tekintetében sem (24. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$17,714 \pm 5,83^{a}$	$4,665 \pm 0,26^{a}$	$4,155 \pm 0,47^{a}$
NPK 2	$12,191 \pm 4,21^{a}$	$4,907 \pm 0,91^{a}$	$4,001 \pm 0,53^{a}$
NPK 5	$14,210 \pm 2,93^{a}$	$4,937 \pm 0,68^{a}$	$3,991 \pm 0,31^{a}$
Átlag	**14,705**	**4,836**	**4,049**

24. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A kiegyenlített arányos makroelemek (NPK) hatására a mért paraméterek közül az APX aktivitása és a lipidperoxidáció mértéke jelentősen nem tért el a két vizsgált tápanyagutánpótlási módszernél, viszont a SOD aktivitása állandó magas P és K szinteknél csökkent. Egyenlő arányú NPK hatására enyhe növekedést mutatott (25. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$16,923 \pm 0,96^{a}$	$4,476 \pm 0,07^{b}$	$3,840 \pm 0,17^{a}$
NPK 2	$7,905 \pm 0,86^{b}$	$5,474 \pm 0,38^{a}$	$3,501 \pm 0,20^{a}$
NPK 5	$10,191 \pm 3,08^{b}$	$4,777 \pm 0,43^{b}$	$3,923 \pm 0,49^{a}$
Átlag	**11,673**	**4,909**	**3,754**

25. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2019-es tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

2020-as tenyészévben a V_4 fenológiai fázisban gyűjtött minták APX aktivitása többszöröse volt a 2019-es tenyészévben mért eredményeknek. Amely összefüggésben lehetett azzal a ténnyel, hogy a 2020-as tenyészévben a V_4 fenológiai fázisban a mintavétel időszakában a sokéves átlaghoz képest kevesebb volt a csapadék mennyisége és nagyobb volt a hőmérséklet (26. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$10,054 \pm 1,22^{b}$	$2,063 \pm 0,43^{a}$	$4,214 \pm 0,18^{a}$
N2	$23,553 \pm 2,00^{a}$	$2,349 \pm 0,57^{a}$	$4,361 \pm 0,19^{a}$
N5	$22,254 \pm 1,32^{a}$	$2,292 \pm 0,42^{a}$	$4,218 \pm 0,51^{a}$
Átlag	**18,620**	**2,234**	**4,264**

26. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

2020-as tenyészévben V_4 fenológiai fázisban a nitrogénszintek emelése szignifikánsan növelte az APX aktivitását, viszont nem volt hatással az LP mértékére. A SOD aktivitás szignifikáns mértékben növekedett N5 tápanyagszinten kontrollhoz viszonyítva (27. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$11,604 \pm 1,35^{c}$	$1,942 \pm 0,71^{a}$	$4,403 \pm 0,22^{a}$
N2	$15,912 \pm 1,98^{b}$	$2,057 \pm 0,22^{a}$	$4,179 \pm 0,16^{ab}$
N5	$19,657 \pm 3,84^{a}$	$2,156 \pm 0,30^{a}$	$3,998 \pm 0,22^{b}$
Átlag	**15,724**	**2,051**	**4,193**

27. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW).

V_4 fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében csak a magas nitrogén dózisú N5 tápanyagszinten volt szignifikáns növekedés az APX aktivitásában és az LP mértékében kontrollhoz képest (28. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$10,054 \pm 1,22^{b}$	$2,063 \pm 0,43^{b}$	$4,214 \pm 0,18^{b}$
NPK 2	$11,310 \pm 0,80^{b}$	$2,162 \pm 0,51^{ab}$	$4,494 \pm 0,20^{a}$
NPK 5	$14,404 \pm 3,59^{a}$	$3,039 \pm 0,99^{a}$	$4,647 \pm 0,08^{a}$
Átlag	**11,922**	**2,421**	**4,451**

28. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX egység = az a mennyiség, ami 1 μmol szubsztrátot oxidált percenként; LP = MDA μmol*g^{-1} FW - friss tömeg; SOD = egység/mg friss tömeg).

2020-as tenyészévben V_4 fenológiai állapotban a NPK 2 tápanyagszinten kontrollhoz képest az APX aktivitása kismértékben 1,2 egységgel növekedett. A kontroll állományban mért APX aktivitása megegyezett az NPK 5 tápanyagszinten mért APX aktivitásával. Lipidperoxidáció mértéke alacsony volt minden vizsgált tápanyagszint esetében. N0 tápanyagszinthez képest N5 tápanyagszinten 30 %-kal magasabb lipidperoxidációs értéket mértem. SOD aktivitása közel azonos volt a kontroll és a két vizsgált tápanyagszint esetében a FAO 490-es hibrid esetében (29. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	11,604 ± 1,35[a]	1,942 ± 0,71[a]	4,403 ± 0,22[a]
NPK 2	12,808 ± 0,93[a]	1,805 ± 0,14[a]	4,546 ± 0,23[a]
NPK 5	11,384 ± 1,31[a]	2,528 ± 0,88[a]	4,373 ± 0,35[a]
Átlag	**11,932**	**2,091**	**4,440**

29. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_4 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével fokozatosan nőtt. N2 tápanyagszint kontrollhoz képest 21 %-kal, N5 tápanyagszint pedig 22 %-kal növekedett a kontrollhoz képest. A lipidperoxidáció mértéke is szintén növekedett kontrollhoz képest a tápanyagszintek növelésével. Minden tápanyagszint szignifikáns mértékben járult hozzá az LP mértékének növekedéséhez. A SOD aktivitása tápanyagszinttől függetlenül 4,055-4,501 érték között változott a 2020-as tenyészévben V_6 fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében, legmagasabb értéket NPK 0 tápanyagszinten mértem 4,501 értékkel (30. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$12{,}134 \pm 1{,}30^{b}$	$3{,}470 \pm 0{,}24^{a}$	$4{,}501 \pm 0{,}31^{a}$
N2	$14{,}726 \pm 1{,}56^{a}$	$4{,}655 \pm 0{,}18^{b}$	$4{,}285 \pm 0{,}24^{ab}$
N5	$14{,}860 \pm 1{,}16^{a}$	$5{,}397 \pm 0{,}14^{c}$	$4{,}055 \pm 0{,}10^{b}$
Átlag	**13,906**	**4,057**	**4,280**

30. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

2020-as tenyészévben V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása hasonló tendenciát követett a két hibrid tekintetében. Kontrollhoz képest növekedett a lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása (31. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$10{,}883 \pm 2{,}79^{a}$	$3{,}593 \pm 0{,}25^{a}$	$3{,}876 \pm 0{,}24^{a}$
N2	$12{,}742 \pm 0{,}86^{b}$	$4{,}345 \pm 0{,}55^{b}$	$4{,}577 \pm 0{,}28^{b}$
N5	$15{,}223 \pm 1{,}59^{c}$	$5{,}388 \pm 0{,}34^{b}$	$4{,}108 \pm 0{,}20^{ab}$
Átlag	**12,949**	**4,442**	**4,187**

31. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_6 fenológiai fázisban egyenlő arányú NPK tápanyagutánpótlás hatására az APX aktivitása kontrollhoz képest NPK 2 tápanyagszinten csökkent 2,3 egységgel. NPK 5 tápanyagszinten mért APX aktivitása 72%-kal volt magasabb, mint a kontroll állománynál FAO 360 hibrid esetében. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása növekedett a tápanyagszintek növelésével (32. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$12{,}134 \pm 1{,}30^{a}$	$3{,}179 \pm 0{,}24^{b}$	$4{,}501 \pm 0{,}31^{ab}$
NPK 2	$9{,}835 \pm 1{,}72^{b}$	$3{,}338 \pm 0{,}37^{b}$	$4{,}169 \pm 0{,}05^{b}$
NPK 5	$20{,}982 \pm 1{,}59^{c}$	$5{,}249 \pm 0{,}23^{a}$	$4{,}637 \pm 0{,}42^{a}$
Átlag	**14,317**	**3,922**	**4,435**

32. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása NPK 5 tápanyagszint hatására nem növekedett az NPK 2 tápanyagszinthez képest. Ez a folyamat ellentétes a rövid tenyészidejű hibridnél mért eredményekhez képest. A lipidperoxidáció mértéke az NPK 5 tápanyagszinten kontrollhoz képest 2 egységgel magasabb volt, a SOD aktivitása jelentősen nem változott a tápanyagszintek növelésével (33. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$10{,}883 \pm 2{,}79^{a}$	$3{,}303 \pm 0{,}25^{b}$	$3{,}876 \pm 0{,}24^{ab}$
NPK 2	$13{,}554 \pm 2{,}49^{a}$	$3{,}133 \pm 0{,}21^{b}$	$4{,}296 \pm 0{,}38^{a}$
NPK 5	$13{,}182 \pm 2{,}13^{a}$	$5{,}335 \pm 0{,}19^{a}$	$3{,}472 \pm 0{,}31^{b}$
Átlag	**12,539**	**3,923**	**3,881**

33. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_6 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_8 fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében az APX aktivitása kontrollhoz képest N2 tápanyagszinten 3,4 egységgel, N5 tápanyagszinten pedig 4,8 egységgel volt magasabb. A lipidperoxidáció mértéke kontrollhoz képest N5 tápanyagszinten enyhén 0,9 egységgel növekedett. A SOD aktivitása tápanyagszintek növelésével nem változott (34. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$10,731 \pm 2,73^{a}$	$2,398 \pm 0,21^{b}$	$3,638 \pm 0,31^{a}$
N2	$14,139 \pm 1,73^{ab}$	$2,577 \pm 0,24^{b}$	$3,751 \pm 0,51^{a}$
N5	$15,506 \pm 1,28^{c}$	$3,256 \pm 0,40^{a}$	$3,424 \pm 0,53^{a}$
Átlag	**9,447**	**2,743**	**3,604**

34. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

2020-as tényészévben FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása kontroll és N5 tápanyagszinten azonos volt, viszont a kontrollhoz és az N5 tápanyagszinthez képest az N2 tápanyagszinten 3 egységgel alacsonyabb értéket mértem. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása a tápanyagszintek növelésével nem változott (35. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$12,584 \pm 1,54^{a}$	$2,364 \pm 0,04^{a}$	$3,023 \pm 0,27^{a}$
N2	$9,335 \pm 2,80^{b}$	$2,485 \pm 0,20^{a}$	$3,743 \pm 0,46^{a}$
N5	$12,565 \pm 1,40^{a}$	$2,663 \pm 0,67^{a}$	$3,275 \pm 0,90^{a}$
Átlag	**11,494**	**2,504**	**3,347**

35. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_8 fenológiai állapotban az APX aktivitása 2019-es tenyészidőszakhoz képest eltérő volt. 2020-as tenyészévben az APX aktivitása magasabb értékű volt. A kontrollhoz képest a tápanyagszintek növelésével fokozatosan növekedett az APX aktivitása. Az NPK 2 tápanyagszinten 1,8 egységgel, az NPK 5 tápanyagszinten 5,3 egységgel volt magasabb az APX aktivitása, mint kontroll állományban. A lipidperoxidáció mértéke nem változott a tápanyagszintek emelésével. A SOD aktivitása enyhén növekedett. FAO 490 hibrid esetében hasonló tendenciát mértem (36-37. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$10,731 \pm 2,73^{b}$	$2,398 \pm 0,21^{a}$	$3,638 \pm 0,31^{b}$
NPK 2	$12,055 \pm 1,33^{b}$	$2,477 \pm 0,30^{a}$	$4,241 \pm 0,47^{a}$
NPK 5	$16,094 \pm 1,49^{a}$	$2,725 \pm 0,42^{a}$	$4,235 \pm 0,23^{a}$
Átlag	**12,960**	**2,533**	**4,038**

36. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_8 fenológiai fázisban FAO 490 hibrid esetében az arányos NPK kijuttatás és annak növelése nem eredményezett a szignifikáns változást egyik vizsgált paraméter tekintetében sem (37. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$12,584 \pm 1,54^{a}$	$2,364 \pm 0,04^{a}$	$3,023 \pm 0,27^{a}$
NPK 2	$14,181 \pm 2,05^{a}$	$2,510 \pm 0,13^{a}$	$2,825 \pm 0,76^{a}$
NPK 5	$15,313 \pm 2,42^{a}$	$2,539 \pm 0,18^{a}$	$3,386 \pm 0,67^{a}$
Átlag	**14,026**	**2,471**	**3,078**

37. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_8 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_{14} fenológiai időpontban az APX aktivitása a nitrogén szintek növelésével növekedett FAO 360 hibrid esetében. Kontrollhoz képest 2,3 egységgel N2 tápanyagszinten, N5 tápanyagszinten pedig 6,4 egységgel. A lipidperoxidáció mértéke is növekedett a tápanyagszintek emelésével, N2 tápanyagszinten 0,5 egységgel, N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest pedig 2,6 egységgel. A SOD aktivitása nem változott jelentősen (38. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$9{,}186 \pm 1{,}50^{a}$	$3{,}588 \pm 0{,}54^{b}$	$4{,}664 \pm 0{,}30^{a}$
N2	$11{,}438 \pm 0{,}95^{b}$	$4{,}130 \pm 0{,}23^{b}$	$4{,}203 \pm 0{,}44^{a}$
N5	$15{,}526 \pm 1{,}11^{c}$	$5{,}272 \pm 0{,}36^{a}$	$4{,}067 \pm 0{,}53^{a}$
Átlag	**12,050**	**4,330**	**4,311**

38. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_{14} fenológiai időpontban a FAO 490 hibrid esetében a 2020-es tenyészidőszakban növekedett az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével. N2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 1 egységgel, N5 tápanyagszinten 5,2 egységgel. A lipidperoxidáció mértéke kontrollhoz képest N5 tápanyagszinten 2 egységgel növekedett. A SOD aktivitása N0 és N2 tápanyagszinten azonos volt N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest 1,2 egységgel csökkent (39. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$10{,}378 \pm 0{,}81^{b}$	$3{,}086 \pm 0{,}55^{a}$	$4{,}812 \pm 0{,}42^{a}$
N2	$11{,}302 \pm 1{,}05^{b}$	$3{,}943 \pm 0{,}37^{b}$	$4{,}409 \pm 0{,}25^{a}$
N5	$15{,}529 \pm 0{,}50^{a}$	$5{,}056 \pm 0{,}55^{c}$	$3{,}628 \pm 0{,}35^{b}$
Átlag	**12,403**	**4,028**	**4,283**

39. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

V_{14} fenológiai állapotban arányos NPK ellátottság hatására az APX aktivitása a tápanyagszintek emelésével jelentősen növekedett. NPK 2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 2,1 egységgel és NPK 5 tápanyagszinten 7,7 egységgel. A lipidperoxidáció hasonlóan, mint az APX aktivitása növekedett a tápanyagszintek emelésével. A SOD aktivitása fokozatosan csökkent a tápanyagszintek emelésével. FAO 490 hibrid esetében az egyes növényfiziológiai paraméterek hasonlóan alakultak (40-41. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$9{,}186 \pm 1{,}50^{b}$	$3{,}588 \pm 0{,}54^{a}$	$4{,}664 \pm 0{,}30^{a}$
NPK 2	$11{,}234 \pm 1{,}31^{b}$	$4{,}456 \pm 0{,}23^{b}$	$4{,}191 \pm 0{,}06^{a}$
NPK 5	$16{,}935 \pm 0{,}64^{a}$	$5{,}133 \pm 0{,}75^{c}$	$3{,}258 \pm 0{,}63^{b}$
Átlag	**12,451**	**4,392**	**4,037**

40. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$10{,}378 \pm 0{,}81^{b}$	$3{,}086 \pm 0{,}55^{a}$	$4{,}812 \pm 0{,}42^{a}$
NPK 2	$11{,}455 \pm 1{,}13^{b}$	$4{,}313 \pm 0{,}15^{b}$	$4{,}264 \pm 0{,}35^{a}$
NPK 5	$16{,}162 \pm 0{,}48^{a}$	$5{,}037 \pm 0{,}41^{c}$	$3{,}093 \pm 0{,}66^{b}$
Átlag	**12,665**	**4,145**	**4,056**

41. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) V_{14} fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

Az R1 fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében az APX aktivitása szignifikáns mértékben növekedett a tápanyagszintek növelésével kontrollhoz viszonyítva. A lipidperoxidáció mértéke N5 tápanyagszinten szignifikánsan nagyobb volt, mint kontroll tápanyagszinten. A SOD aktivitása nem változott a tápanyagszintek növelésével (42. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$10,505 \pm 2,61^{b}$	$2,082 \pm 0,21^{b}$	$2,807 \pm 0,48^{a}$
N2	$13,030 \pm 2,07^{ab}$	$2,305 \pm 0,31^{b}$	$2,586 \pm 0,85^{a}$
N5	$15,953 \pm 1,59^{a}$	$4,031 \pm 0,65^{a}$	$2,473 \pm 0,53^{a}$
Átlag	**13,162**	**2,806**	**2,622**

42. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A 2020-as tenyészévben R_1 fenológiai állapotban az állandó magas foszfor és kálium szintek mellett a nitrogén szint növelésével enyhén csökkent az APX aktivitása. A lipidperoxidáció mértéke a tápanyagszintek növelésével növekedett. N2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 0,6 egységgel, N5 tápanyagszinten 2,2 egységgel növekedett. A SOD aktivitása a tápanyagszintek növelésével nem változott (43. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
N0	$11,945 \pm 1,34^{a}$	$1,819 \pm 0,23^{a}$	$2,278 \pm 0,65^{a}$
N2	$11,566 \pm 1,59^{a}$	$2,400 \pm 0,34^{b}$	$2,671 \pm 0,35^{a}$
N5	$10,345 \pm 1,72^{a}$	$4,068 \pm 0,33^{c}$	$2,437 \pm 0,47^{a}$
Átlag	**11,285**	**2,762**	**2,462**

43. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis hatása (N-dózis kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A 2020-as tenyészévben az APX aktivitása hibridenként és tápanyagkezelésenként eltérő dinamikát eredményezett. Arányos NPK kijuttatása esetén a FAO 360 hibridnél az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével jelentősen nőtt. Kontrollhoz képest NPK 5 tápanyagszinten 5 egységgel magasabb értéket mértem. A lipidperoxidáció mértéke hasonlóan a hosszú tenyészidejű hibridnél növekedett a tápanyagszintek emelésével. A SOD aktivitása nem változott jelentősen (44. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$10,505 \pm 2,61^{b}$	$2,082 \pm 0,21^{a}$	$2,516 \pm 0,32^{a}$
NPK 2	$10,985 \pm 4,29^{b}$	$3,077 \pm 0,58^{b}$	$2,859 \pm 0,45^{a}$
NPK 5	$15,593 \pm 2,27^{a}$	$4,196 \pm 0,52^{c}$	$2,478 \pm 0,60^{a}$
Átlag	**12,361**	**3,118**	**2,617**

44. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 360 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

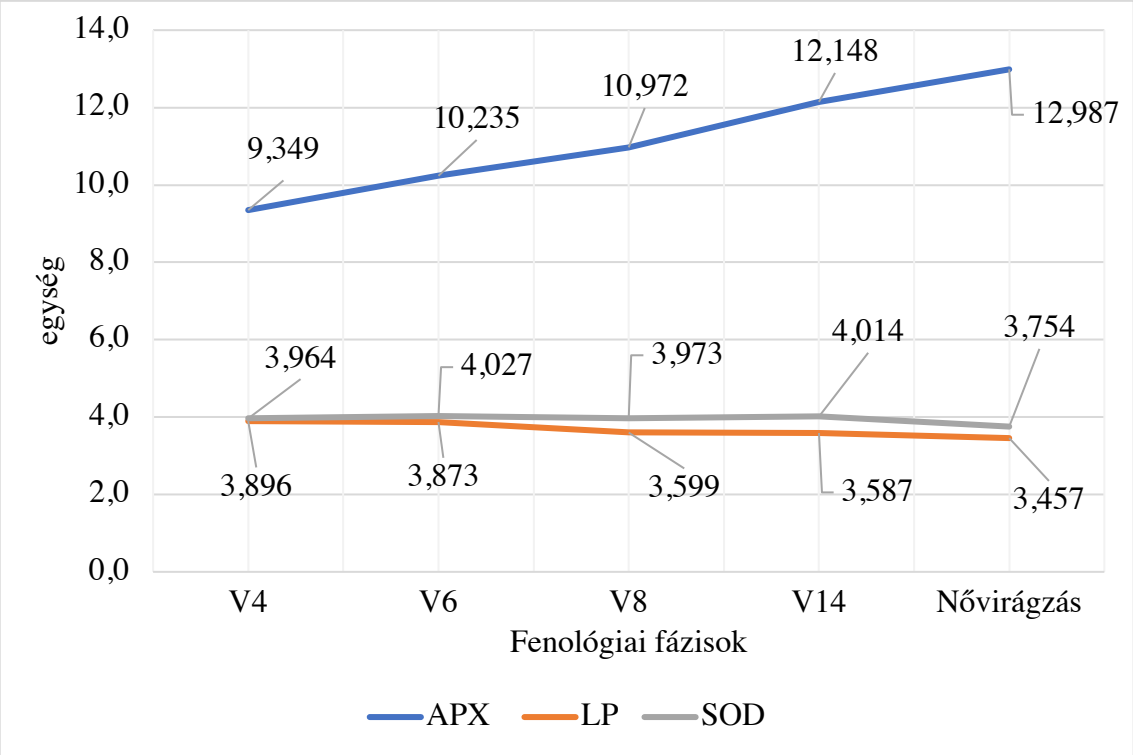
R_1 időszakában a FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével csökkent a kontrollhoz képest. NPK 2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 21 %-kal, NPK 5 tápanyagszinten pedig 38 %-kal csökkent. A lipidperoxidáció mértéke jelentősen növekedett a tenyészidőszak végén az egyenlő arányú NPK szintek növelésével FAO 490 esetében. NPK 2 tápanyagszinten a lipidperoxidáció mértéke 1,3 egységgel, NPK 5 tápanyagszinten pedig 2,6 egységgel növekedett a kontrollhoz képest. A SOD aktivitása nem változott a tápanyagszintek növelésével (45. táblázat).

Műtrágyaszint	APX aszkorbát peroxidáz (egység)	LP lipidperoxidáció (egység)	SOD szuperoxid dizmutáz (egység)
NPK 0	$11,945 \pm 1,34^{a}$	$1,819 \pm 0,23^{a}$	$2,278 \pm 0,65^{a}$
NPK 2	$9,513 \pm 2,28^{ab}$	$3,154 \pm 0,33^{b}$	$2,628 \pm 0,70^{a}$
NPK 5	$7,448 \pm 2,21^{b}$	$4,440 \pm 0,45^{c}$	$2,206 \pm 0,41^{a}$
Átlag	**9,635**	**3,137**	**2,370**

45. táblázat: Az eltérő nitrogéndózis és arányos NPK hatása (NPK kísérlet) R_1 fenológiai állapotban az aszkorbát peroxidáz és szuperoxid dizmutáz enzim aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére 2020-as tenyészévben FAO 490 hibridnél. Az egyes tápanyagszinteknél eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

4.2 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek, tenyészidőszakok és tápanyagszintek átlagában eltérő fenológiai fázisokban

A vizsgált enzimek és lipidperoxidáció mértéke a tápanyagszintek, hibridek és tenyészévek átlagában eltérően alakultak. Az APX aktivitása a fenológiai fázisok előrehaladtával folyamatosan növekedett. V_4 fenológiai fázisban 9,35 egység értékről R_1 fenológiai fázis időszakára 12,99 egységre növekszik. A lipidperoxidáció és SOD aktivitása enyhén, fokozatosan csökkent a fenológiai fázisokban. A fiziológiai paraméterek átlagban történő elemzése eltérő dinamikát eredményezett (7. ábra).

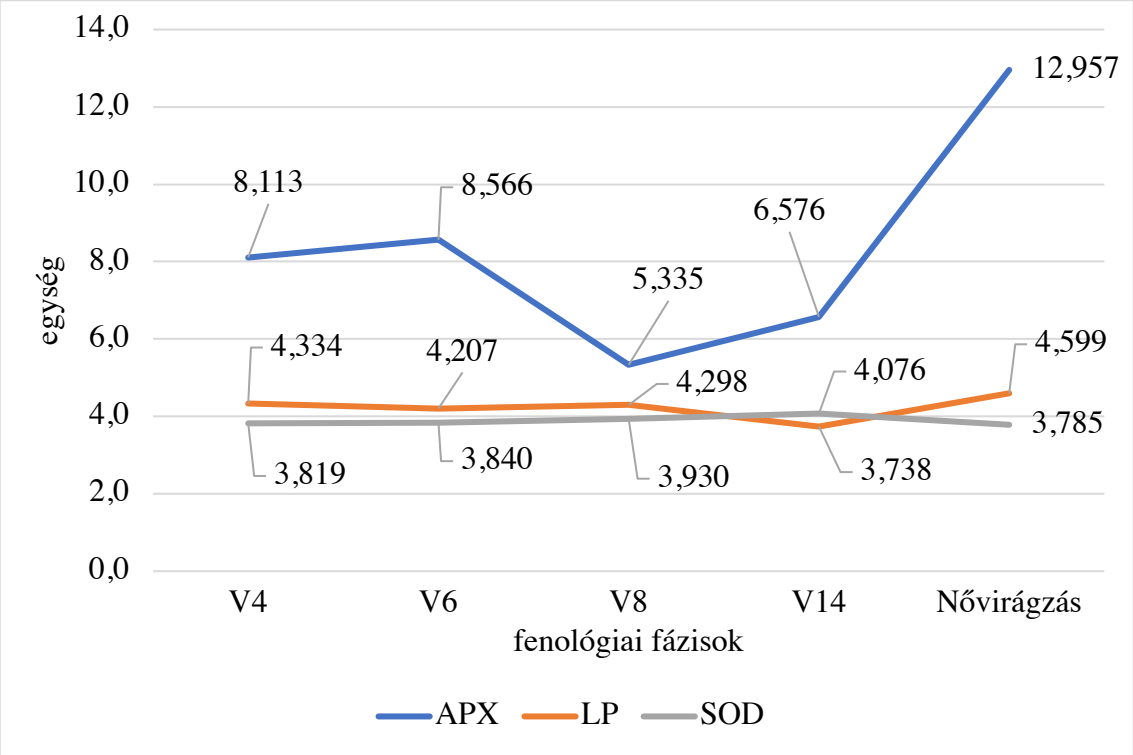


7. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek (FAO 360 - FAO 490), tenyészidőszakok (2019-2020) és tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

4.3 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek és tápanyagszintek átlagában 2019-2020-as tenyészévben, eltérő fenológiai fázisokban

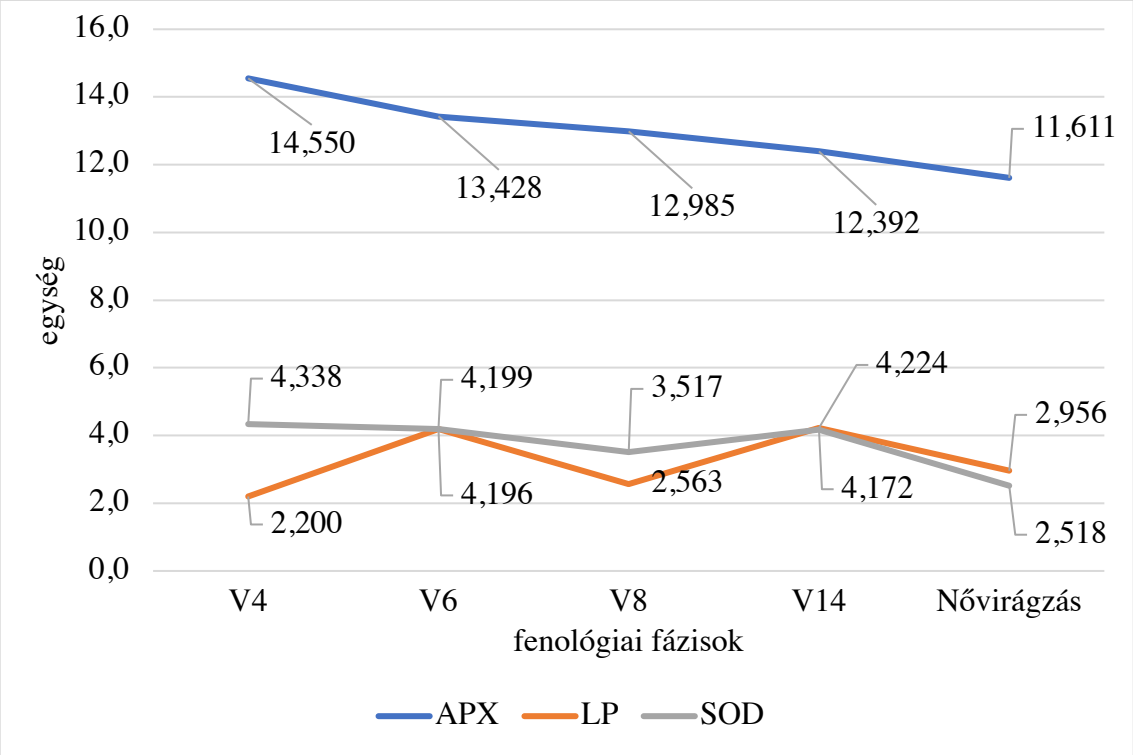
A 2019-es tenyészévben eltérő dinamika volt, mintha a tenyészéveket átlagban vizsgáltam volna. Az APX aktivitása V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisban 0,5 egységgel növekedett, majd V_8 fenológiai fázisra 3,1 egységgel csökken. V_8 fenológiai fázis után R_1 időpontjáig folyamatosan növekedett. R_1 fenológiai fázisban 12,96 egységet mértem.

A lipidperoxidáció és a SOD aktivitás a fenológiai fázis első felében hasonló értéket eredményezett, majd a tenyészidőszak végén a lipidperoxidáció mértéke kismértékben növekedett, a SOD aktivitása szintén kismértékben csökkent (8. ábra).



8. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek (FAO 360.- FAO 490) és tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) 2019-es tenyészévben eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

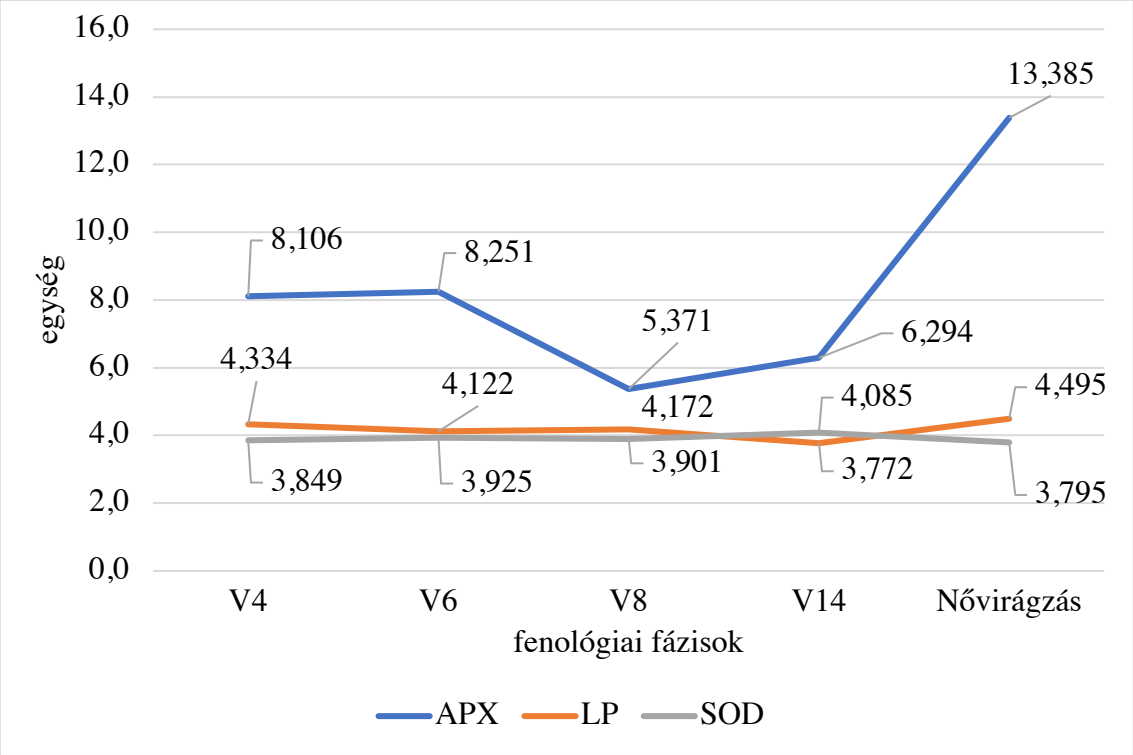
A 2020-as tenyészévben az APX aktivitása fokozatosan csökkent, ami az eltérő tenyészidőszakban jelen lévő agrometeorológiai környezetre vezethető vissza. A magasabb APX aktivitás részben a tenyészidőszak első harmadában megfigyelhető kedvezőtlen időjárási körülményeknek köszönhető, mely hatást gyakorolt a további mintavételi időpontok értékeire. Az APX aktivitása R_1 fenológiai fázisban V_4 fenológiai fázishoz képest több mint 20%-kal csökkent. 2020-as tenyészévben mind a három vizsgált paraméter mértéke csökkent a tenyészidőszak végére (9. ábra).



9. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a hibridek (FAO 360.- FAO 490) és tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) 2020-as tenyészévben eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

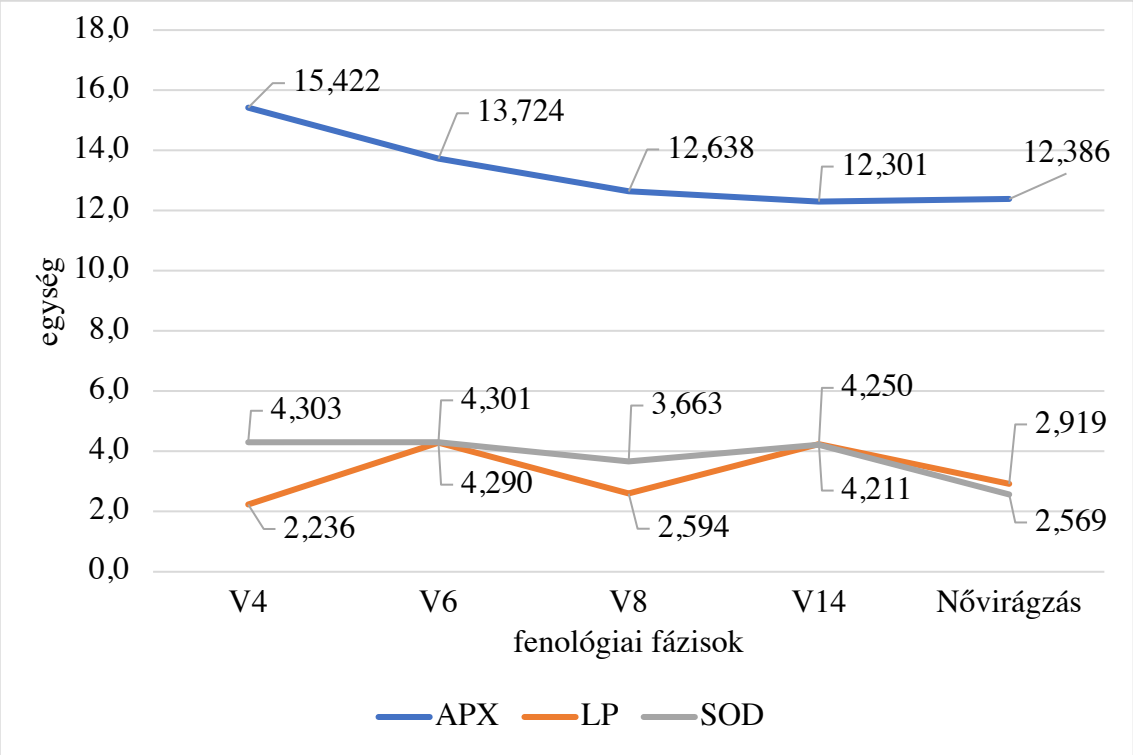
4.4 Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a 2019-2020-as tenyészévekben eltérő hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában, eltérő fenológiai fázisokban

A hibridek külön történő elemzése során szintén eltérő dinamikát tapasztaltam a tenyészévek között a tápanyagszintek átlagában. A FAO 360 hibrid APX aktivitása V_4 és V_6 fenológiai fázisban hasonló értékkel rendelkezett, majd V_8 fenológiai fázisban 2,9 egységgel csökkent. A V_8 fenológiai fázis után R_1 fenológiai fázisig fokozatosan növekedett az APX aktivitása. Az R_1 fenológiai fázisban 13,38 értéket mértem az APX aktivitásában. A lipidperoxidáció mértéke és SOD aktivitása a FAO 360 hibrid esetében a 2019-es tenyészévben a tápanyagszintek átlagában állandó értéket eredményezett. A tenyészidőszak végén az LP mértéke enyhén növekedett, a SOD aktivitása csökkent (10. ábra).



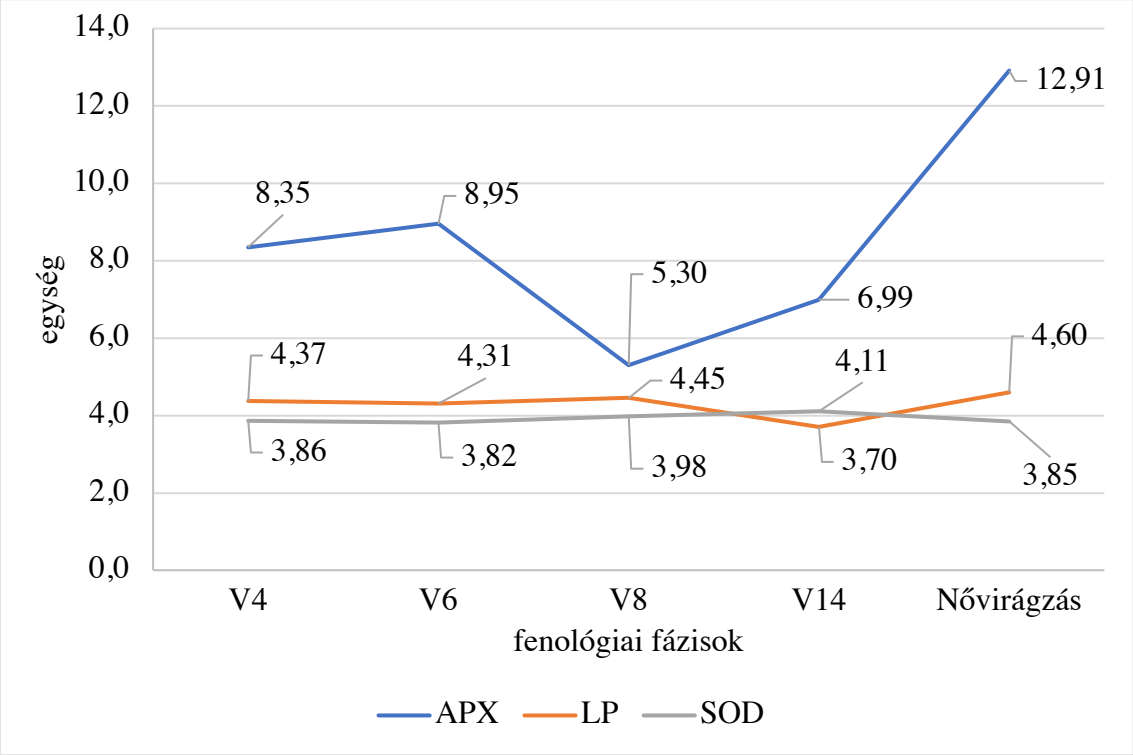
10. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a 2019-es tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A FAO 360 hibrid esetében a 2020-as tenyészévben a tápanyagszintek átlagában a tenyészidőszakban folyamatosan csökkent az APX aktivitása. Kezdetben V_4 fenológiai fázisban 15,4 egység értékkel rendelkezett, majd fokozatosan csökkent. R_1 fenológiai állapotban 12,38 egység értéket mértem. A SOD aktivitása a tenyészidőszakban az APX aktivitáshoz hasonlóan csökkent. A tenyészidőszak első felében enyhén csökkent, majd V_{14} fenológiai fázisról R_1 fenológiai fázisra 1,7 egységgel csökkent. A lipidperoxidáció dinamikája nem kiegyenlített a 2020-as tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában. Az egyes mintavételi időpontok között csökkent majd nőtt az értéke. A tenyészidőszak végére az APX-hez és a lipidperoxidációhoz hasonlóan csökkent (11. ábra).



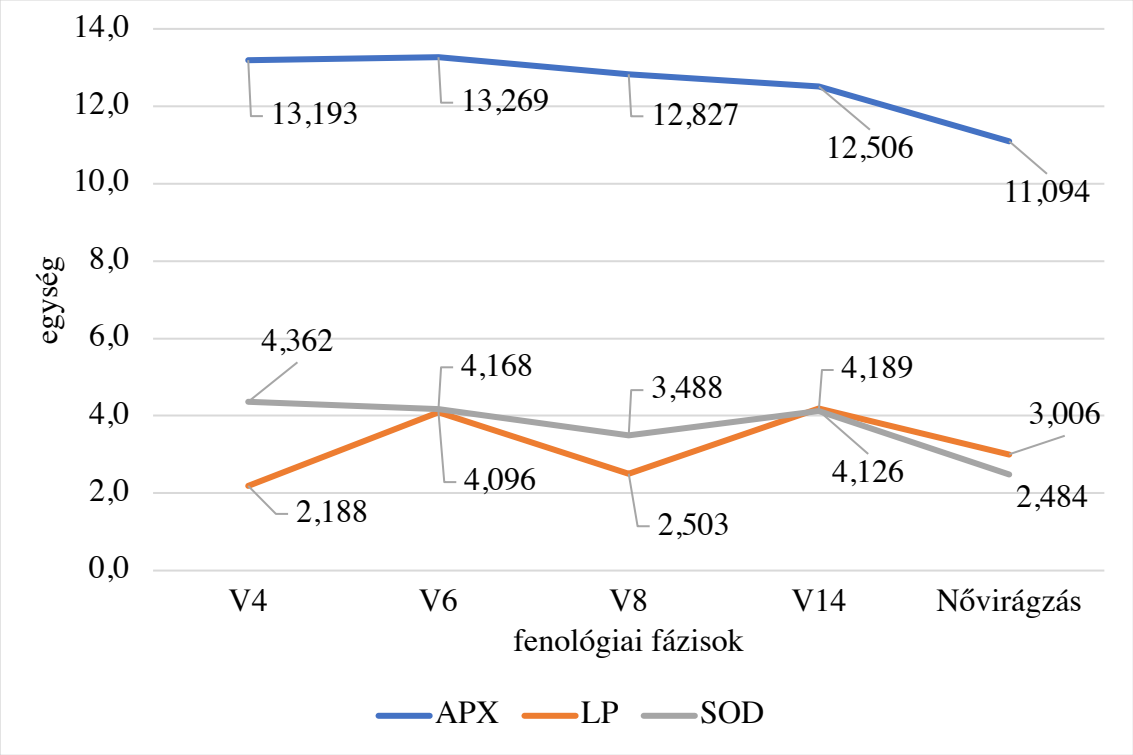
11. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a 2020-as tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A 2019-es tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása 0,5 egységgel nőtt V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisra, majd csökkent 3 egységgel V_8 fenológiai fázisra. A tenyészidőszak végé felé R_1 időszakában növekedett 12,91 egységre az APX aktivitása. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitás dinamikája a tenyészidőszak vége felé V_{14} fenológiai fázisról R_1 fenológiai fázisra vált különbözővé. A lipidperoxidáció mértéke nőtt, a SOD aktivitása csökkent R_1 fenológiai fázisra (12. ábra).



12. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a 2019-as tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

A 2020-as tenyészévben az APX aktivitása 2019-es tenyészévhez képest a FAO 490 hibrid esetében ellentétes dinamikát mutatott. Az APX aktivitása egy magas szintről indult, majd fokozatosan csökkent a tápanyagszintek átlagában a tenyészidőszak előrehaladtával. A SOD aktivitás és lipidperoxidáció mértéke összeségében csökkenő tendenciát mutatott a tenyészidőszak előrehaladtával. A tenyészidőszak kezdetén V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisra növekedett a LP mértéke 2 egységgel, majd V_8 fenológiai állapotra hasonló módon a SOD aktivitásával csökkent. A V_{14} fenológiai fázisra szintén növekedett az LP mértéke és SOD aktivitása majd csökkent a tenyészidőszak végén R_1 fenológiai fázisra (13. ábra).



13. ábra: Az APX, SOD és LP értékeinek alakulása a 2020-as tenyészévben FAO 490 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában (NPK, N-dózis kísérlet) eltérő fenológiai fázisokban. (APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW)

4.5 A terméskomponensek alakulása a hibridek, tenyészidőszakok és műtrágyaszintek függvényében

A FAO 360-as hibrid esetében a legmagasabb termést az arányos NPK kijuttatás és 150 kg/ha N hatóanyag jelentette 11,71 t/ha értékkel, ezt követte az állandó magas foszfor és kálium szinten elért alacsonyabb N dózis (120 kg/ha) 11,56 t/ha értékkel. Az olajtartalom tekintetében 16 % növekedést eredményezett a nagyadagú provokatív mennyiségű 300 kg/ha N dózis a 2019-es tenyészévben. A többi vizsgált tápanyagszint nem befolyásolta a hibridek olajtartalmának változását jelentősen. A tápanyagszintek emelésével növekedett a szemtermés nedvességtartalma 12,36 % értékről N2 tápanyagszinten 14,33 %-ra növekedett (46. táblázat).

		Olaj (g/100 g sza.)	Fehérje (g/100 g sza.)	Nedvesség (%)	Keményítő (g/100 g sza.)	Termés (t/ha)
FAO 360	**N0**	3,36 ± 0,13	6,50 ± 0,56	12,36 ± 0,13	55,95 ± 17,78	6,57 + 0,87
	N2	4,06 ± 0,10	8,26 ± 0,19	14,33 ± 0,19	62,43 ± 0,77	11,56 ± 1,27
	N5	4,01 ± 0,08	8,4 ± 0,54	14,32 ± 0,14	62,13 ± 0,56	11,48 ± 1,59
Átlag		**3,81**	**7,72**	**13,67**	**60,17**	**9,87**
FAO 490	**N0**	4,01 ± 0,08	7,88 ± 0,78	14,56 ± 0,37	62,26 ± 0,50	5,26 ± 0,89
	N2	4,11 ± 0,10	8,83 ± 0,47	14,57 ± 0,36	61,11 ± 0,56	9,53 ± 1,68
	N5	4,10 ± 0,14	9,03 ± 0,28	14,60 ± 0,29	61,55 ± 1,13	9,92 ± 1,91
Átlag		**4,07**	**8,58**	**14,57**	**61,64**	**8,23**

46. táblázat: A terméskomponensek alakulása az eltérő nitrogénszintek (N-dózis kísérlet) hatására 2019-es tenyészévben. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. Olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %)

		Olaj (g/100 g sza.)	Fehérje (g/100 g sza.)	Nedvesség (%)	Keményítő (g/100 g sza.)	Termés (t/ha)
FAO 360	**NPK 0**	3,81 ± 0,09	6,60 ± 0,29	13,86 ± 0,29	64,32 ± 0,64	5,92 ± 0,79
	NPK 2	3,83 ± 0,07	7,20 ± 0,48	13,82 ± 0,08	64,16 ± 1,50	10,31 ± 1,05
	NPK 5	3,91 ± 0,13	7,76 ± 0,22	13,65 ± 0,26	63,45 ± 0,43	11,71 ± 0,98
Átlag		**3,85**	**7,18**	**13,77**	**63,97**	**9,31**
FAO 490	**NPK 0**	4,00 ± 0,83	7,18 + 0,78	13,82 ± 0,37	63,50 ± 0,50	6,35 ± 0,89
	NPK 2	4,02 ± 0,04	8,07 ± 0,39	13,8 ± 0,20	62,82 ± 0,48	9,44 ± 2,27
	NPK 5	4,06 ± 0,10	8,57 ± 0,39	13,76 ± 0,18	62,23 ± 0,55	11,06 ± 1,59
Átlag		**4,02**	**7,94**	**13,79**	**62,85**	**8,95**

47. táblázat: A terméskomponensek alakulása az eltérő nitrogénszintek hatására (NPK kísérlet) arányos foszfor és kálium ellátás mellett a 2019-es tenyészévben. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. Olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %)

2020-as tenyészévben a FAO 360-as hibrid magasabb termést ért el, mint a hosszabb tenyészidejű FAO 490-es hibrid. A legmagasabb termést az N5 és NPK 5 tápanyagszinten mértem, N5 tápanyagszinten 13,72 t/ha értéket, NPK 5 tápanyagszinten pedig 13,86 t/ha értéket mértem. Tápanyagszintek átlagában a FAO 360 hibrid 10,23 t/ha értéket, a FAO 490 hibrid pedig 8,43 t/ha értéket eredményezett. Nedvességtartalom tekintetében a FAO 490-es hibrid magasabb szemnedvesség értéket eredményezett a tápanyagszintek átlagában (48. táblázat).

		Olaj (g/100 g sza.)	Fehérje (g/100 g sza.)	Nedvesség (%)	Keményítő (g/100 g sza.)	Termés (t/ha)
FAO 360	**N0**	2,82 ± 0,13	5,23 ± 0,27	16,84 ± 0,24	65,23 ± 0,32	5,19 ± 1,59
	N2	2,78 ± 0,11	5,60 ± 0,19	17,04 ± 0,64	65,77 ± 0,27	13,12 ± 2,57
	N5	2,89 ± 0,12	6,09 ± 0,22	16,84 ± 0,31	65,21 ± 0,45	13,72 ± 0,98
Átlag		**2,83**	**5,64**	**16,90**	**65,40**	**10,67**
FAO 490	**N0**	2,88 ± 0,32	5,32 ± 0,15	17,11 ± 0,30	65,35 ± 0,65	4,66 ± 1,19
	N2	2,86 ± 0,13	6,05 ± 0,30	17,01 ± 0,26	65,34 ± 0,49	7,85 ± 1,66
	N5	2,75 ± 0,09	6,46 ± 0,16	17,26 ± 0,29	64,91 ± 0,44	11,34 ± 2,18
Átlag		**2,83**	**5,94**	**17,12**	**65,2**	**7,95**

48. táblázat: A terméparaméterek alakulása az eltérő nitrogénszintek (N-dózis kísérlet) hatására 2020-as tenyészévben. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. Olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %)

		Olaj (g/100 g sza.)	Fehérje (g/100 g sza.)	Nedvesség (%)	Keményítő (g/100 g sza.)	Termés (t/ha)
FAO 360	**NPK 0**	2,89 ± 0,26	4,80 ± 0,09	16,86 ± 0,49	64,70 ± 0,18	5,91 ± 0,36
	NPK2	2,88 ± 0,13	5,03 ± 0,15	16,97 ± 0,26	65,09 ± 0,37	9,60 ± 1,25
	NPK5	3,01 ± 0,19	5,45 ± 0,11	17,51 ± 0,09	64,8 ± 0,51	13,86 ± 1,23
Átlag		**2,92**	**5,09**	**17,11**	**64,86**	**9,79**
FAO 490	**NPK 0**	3,02 ± 0,13	5,38 ± 0,08	17,31 ± 0,60	64,09 ± 0,26	4,85 ± 0,59
	NPK2	2,91 ± 0,15	5,37 ± 0,16	17,03 ± 0,28	64,62 ± 0,35	9,26 ± 1,27
	NPK5	2,84 ± 0,15	5,98 ± 0,13	17,59 ± 0,34	64,28 ± 0,28	12,66 ± 0,87
Átlag		**2,92**	**5,57**	**17,31**	**64,33**	**8,92**

49. táblázat: A terméparaméterek alakulása az eltérő nitrogénszintek (NPK kísérlet) hatására arányos foszfor és kálium ellátás mellett a 2020-as tenyészévben. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. Olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %)

A 2021-es tenyészévben a termés mennyisége hibridek és tápanyagszintek átlagában alacsonyabb volt, mint a megelőző két év termésmennyisége. Ez köszönhető az átlagtól kevesebb csapadék mennyiségnek és a hőségnapok átlag feletti számának a kukorica érzékeny fenológiai fázisaiban (50. táblázat).

		Olaj (g/100 g sza.)	Fehérje (g/100 g sza.)	Nedvesség (%)	Keményítő (g/100 g sza.)	Termés (t/ha)
FAO 360	**N0**	3,32 ± 0,04	5,74 ± 0,30	13,29 ± 0,22	64,3 ± 0,56	5,09 ± 0,21
	N2	3,18 ± 0,07	6,48 ± 0,30	13,64 ± 0,33	64,75 ± 0,15	7,95 ± 1,01
	N5	2,91 ± 0,15	7,30 ± 0,34	14,11 ± 0,40	64,09 ± 0,21	8,40 ± 0,65
Átlag		**3,13**	**6,50**	**13,68**	**64,38**	**7,14**
FAO 490	**N0**	3,26 ± 0,14	5,38 ± 0,35	15,28 ± 0,35	63,58 ± 0,24	3,48 ± 1,00
	N2	3,27 ± 0,17	5,64 ± 0,10	15,10 ± 0,10	63,79 ± 0,26	6,46 ± 1,03
	N5	3,18 ± 0,14	6,86 ± 0,29	16,15 ± 0,11	63,21 ± 0,23	8,83 ± 1,12
Átlag		**3,23**	**5,96**	**15,51**	**63,52**	**6,25**

50. táblázat: A terméparaméterek alakulása az eltérő nitrogénszintek (N-dózis kísérlet) hatására a 2021-es tenyészévben. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. Olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %)

		Olaj (g/100 g sza.)	Fehérje (g/100 g sza.)	Nedvesség (%)	Keményítő (g/100 g sza.)	Termés (t/ha)
FAO 360	**NPK 0**	3,10 ± 0.21	5,03 ± 0,13	13,52 ± 0,31	64,61 ± 0,26	5,71 ± 2,66
	NPK 2	3,19 ± 0,09	5,32 ± 0,16	13,13 ± 0,36	65,07 ± 0,33	6,76 ± 1,40
	NPK 5	2,80 ± 0,34	6,03 ± 0,42	14,20 ± 0,35	65,37 ± 0,33	8,74 ± 1,53
Átlag		**3,03**	**5,46**	**13,61**	**65,01**	**7,07**
FAO 490	**NPK 0**	3,56 ± 0,25	5,53 ± 0,09	13,43 ± 0,28	62,66 ± 0,79	4,40 ± 0,59
	NPK 2	3,60 ± 0,06	5,67 ± 0,15	13,34 ± 0,16	62,52 ± 0,57	5,50 ± 1,15
	NPK 5	3,51 ± 0,19	6,26 ± 0,08	13,88 ± 0,46	63,02 ± 0,24	7,32 ± 1,25
Átlag		**3,55**	**5,82**	**13,55**	**62,73**	**5,74**

51. táblázat: Terméparaméterek alakulása az eltérő nitrogénszintek (NPK kísérlet) hatására arányos foszfor és kálium ellátás mellett a 2021-es tenyészévben. A ± jel az egyes tápanyagszinteken mért értékek szórását jelzi. Olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %)

4.6 A Variancia analízis vizsgálat eredményei a tenyészévek hibridek és mért paraméterek figyelembevételével

A műtrágyaszint önmagában és együttesen a fenológiai fázissal szignifikánsan befolyásolta az APX aktivitását, viszont a hibriddel és fenológiai fázissal együttesen már nem volt kimutatható valós eltérés. A fenológiai fázisok között szignifikáns eltérés volt a lipidperoxidáció mértékében. A különböző hibridek és fenológiai fázisok együttes elemzése nem volt hatással a lipidperoxidáció mértékére viszont, ha kiegészítjük a vizsgált faktorokat a műtrágyaszintekkel, akkor már szignifikáns hatást gyakorolnak a lipidperoxidáció mértékére. A hibrid és műtrágyaszint, illetve kiegészítve a fenológiai fázisokkal szintén nem eredményeztek szignifikáns különbséget a lipidperoxidáció mértékében. A SOD aktivitásnak változására a mért és vizsgált faktorok jelentős része hatással volt, egyedül a fenológiai fázis és a hibridek hatásnak együttes elemzése nem befolyásolta a SOD aktivitást. A fenológiai fázis, hibrid, műtrágyaszint és ezek együttes kombinációja nem volt szignifikáns hatással a szemtermés olajtartalmának változására. A szemnedvességnél hasonlóan alakultak az értékek egyik mért és vizsgált paraméter sem befolyásolta szignifikáns mértékben a szemnedvesség alakulását. A keményítőtartalom vizsgálatánál a hibrid befolyásolta egyedül szignifikáns mértékben a keményítőtartalmat. A termés fehérjetartalom értékére a genotípusnak és a műtrágyának volt szignifikáns hatása, a keményítőtartalomra csak a genotípus volt hatással. A termést a hibrid, műtrágyaszint és a kettőnek az együttes hatása is szignifikánsan befolyásolta a termés mennyiségét (52. táblázat).

	DF	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő	Termés
Fenológiai fázis	4	1,88	6,19**	22,01**	0,005	0,006	0,00	0,008	0,004
Hibrid	1	0,22	1,47	13,50**	1,87	13,54**	1,09	21,56**	88,34**
Műtrágyaszint	5	3,43*	8,88**	6,60**	0,21	13,22**	3,80	1,80	485,08**
Fenológiai fázis*Hibrid	4	3,25	1,03	3,04	0,004	0,006	0,008	0,004	0,005
Fenológiai fázis * Műtrágyaszint	20	3,29**	1,62*	5,04**	0,003	0,005	0,007	0,006	0,003
Hibrid* Műtrágyaszint	5	1,28	1,87	3,82**	0,12	0,08	0,07	0,441	6,53**
Fenológiai fázis*Hibrid* Műtrágyaszint	20	1,17	0,82	2,06**	0,002	0,009	0,009	0,003	0,003

52. táblázat: Agrotechnikai paraméterek és a vizsgált mutatók varianciaanalízis vizsgálatának eredménye (Táblázatban az F értékek szerepelnek, a csillaggal jelölt értékek a statisztikai hatást jelölik, * P<0,05 - ** P<0,01)

A 2019-es tenyészévben a termés mennyisége a FAO 360 hibrid esetében kontrollhoz képest szignifikánsan nőtt N2 tápanyagszinten. N5 tápanyagszint hatására a termés enyhén csökkent 11,486 t/ha értékkel, viszont a csökkenés nem volt szignifikáns N2-es tápanyagszinthez képest. 2019-es tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a két magas tápanyagszint (N5, NPK 5) között nem volt szignifikáns különbség a termés mennyiségében. Az N5 tápanyagszint esetében 11,486 t/ha NPK 5 tápanyagszint esetében 11,719 t/ha volt a termés mennyisége. 2019-es tenyészévben a hosszú tenyészidejű hibrid a tápanyagszintek átlagában kisebb termést ért el, mint a rövid FAO 360-as hibrid, de a N2 és N5, valamint NPK2 és NPK 5 termés növelő hatása érvényesült. Az APX aktivitása a FAO 360 hibrid esetében 2019-es tenyészévben a mintavételi időpontok átlagában N2 tápanyagszinten kontrollhoz képest szignifikáns mértékben 2,2 egységgel, N5 tápanyagszinten pedig 1,1 egységgel csökkent. Arányos foszfor kálium kijuttatás esetében a dinamika eltérő volt. A legkisebb APX aktivitást a kontroll átlagnál mértem, majd az érték legnagyobb mértékben NPK 5 tápanyagszinten volt 9,14 egység értékkel. (53. táblázat).

Év	Hibrid		Termés	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő
2019	FAO 360	N0	7,30 ^{i}	8,76 ^{efghij}	3,95 ^{abc}	4,05 ^{abcd}	3,9 ^{cd}	7,37 ^{h}	14,38 ^{g}	57,18 ^{h}
		N2	11,56 ^{de}	6,58 ^{j}	3,96 ^{abc}	3,80 ^{abcd}	4,06 ^{a}	8,26 ^{de}	14,33 ^{g}	62,43 ^{cdefg}
		N5	11,48 ^{de}	7,64 ^{ghij}	4,29 ^{a}	3,57 ^{bcde}	4,01 ^{abc}	8,4 ^{cd}	14,32 ^{g}	62,13 ^{efg}
		NPK0	5,92 ^{jkl}	7,07 ^{ij}	4,48 ^{a}	4,20 ^{abc}	3,81 ^{d}	6,6 ^{i}	13,86 ^{h}	64,32 ^{abcde}
		NPK2	10,31 ^{fg}	9,14 ^{efghij}	4,30 ^{a}	3,76 ^{abcd}	3,83 ^{d}	7,2 ^{h}	13,82 ^{h}	64,16 ^{abcdef}
		NPK 5	11,71 ^{de}	8,59 ^{efghij}	4,08 ^{abc}	3,56 ^{bcde}	3,91 ^{bcd}	7,76 ^{g}	13,65 ^{hg}	63,45 ^{abcdef}

53. táblázat: FAO 360 hibrid termés és fiziológiai paramétereinek varianciaanalízis vizsgálatának eredménye a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) függvényében 2019-es tenyészévben (termés= t/ha; APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW; olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %) Az eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek.

2020-as tenyészévben a FAO 360 hibrid termésmennyisége szignifikánsan nőtt N2, N5, NPK 2, NPK 5 tápanyagszint hatására kontrollhoz viszonyítva. Az APX aktivitása szignifikánsan növekedett kontrollhoz viszonyítva N2, N5 és NPK 5 tápanyagszinten FAO 360 hibrid esetében. Az LP mértéke növekedett N5 és NPK 5 tápanyagszinten szignifikáns mértékben kontrollhoz viszonyítva. Az olajtartalom nem növekedett a tápanyagkezelések hatására. A SOD aktivitás NPK 2 tápanyagszinten szignifikáns növekedést eredményezett kontrollhoz viszonyítva (54. táblázat).

Év	Hibrid		Termés	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő
2020	FAO 360	N0	6,09 ^{jk}	10,57 ^{defgij}	2,65 ^{de}	3,89 ^{abcd}	2,88 ^{ghi}	5,18 ^{op}	16,94 ^{cde}	65,29 ^{ab}
		N2	14,82 ^{a}	15,65 ^{ab}	3,20 ^{bcde}	3,83 ^{abcd}	2,87 ^{hi}	5,62 ^{lm}	17,62 ^{ab}	65,62 ^{a}
		N5	14,78 ^{a}	17,02 ^{a}	3,98 ^{abc}	3,69 ^{abcde}	2,88 ^{ghi}	6,11 ^{j}	17,66 ^{ab}	65,31 ^{ab}
		NPK0	5,72 ^{jkl}	11,07 ^{cdefg}	2,56 ^{e}	4,06 ^{abcd}	2,98 ^{efg}	5,04 ^{p}	16,50 ^{f}	64,54 ^{abcde}
		NPK2	9,32 ^{gh}	11,85 ^{bcdef}	2,58 ^{e}	4,34 ^{a}	3,01 ^{ef}	5,14 ^{op}	16,58 ^{ef}	64,93 ^{abc}
		NPK 5	13,36 ^{bc}	15,53 ^{ab}	3,67 ^{abcd}	4,29 ^{ab}	3,06 ^{ef}	5,54 ^{mn}	16,99 ^{cde}	64,82 ^{abcd}

54. táblázat: FAO 360 hibrid termés és fiziológiai paramétereinek varianciaanalízis vizsgálatának eredménye a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) függvényében 2020-as tenyészévben (termés= t/ha; APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW; olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %) Az eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek.

A FAO 490 hibrid esetében a 2019-es tenyészévben a termés mennyisége szignifikánsan növekedett N2, N5, NPK2 és NPK 5 tápanyagszinten kontrollhoz viszonyítva, viszont N2 és N5 között nem volt szignifikáns növekedés. N-dózis kísérletben az APX aktivitása nem változott szignifikáns mértékben a tápanyagszintek hatására a mintavételi időpontok átlagában. NPK kísérletben az APX aktivitása a tápanyagszintek emelésével fokozatosan csökkent NPK 2 tápanyagszinten szignifikáns mértékben (55. táblázat).

Év	Hibrid		Termés	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő
2019	FAO 490	N0	5,26 ^{kl}	8,96 ^{efghij}	4,03 ^{abc}	4,06 ^{abcd}	4,01 ^{abc}	7,88 ^{fg}	14,56 ^{g}	62,26 ^{defg}
		N2	9,53 ^{gh}	7,71 ^{ghij}	4,12 ^{ab}	3,90 ^{abcd}	4,11 ^{a}	8,83 ^{ab}	14,57 ^{g}	61,11 ^{g}
		N5	9,92 ^{gh}	8,19 ^{fghij}	4,48 ^{a}	3,78 ^{acbd}	4,1 ^{a}	9,03 ^{a}	14,6 ^{h}	61,55 ^{fg}
		NPK0	6,35 ^{ij}	10,65 ^{defghi}	3,95 ^{abc}	4,31 ^{ab}	4,0 ^{abc}	7,18 ^{h}	13,82 ^{h}	63,5 ^{abcdefg}
		NPK2	9,44 ^{gh}	7,17 ^{hij}	4,53 ^{a}	3,92 ^{abcd}	4,02 ^{ab}	8,07 ^{ef}	13,8 ^{h}	62.82 ^{bcdefg}
		NPK 5	11,06 ^{ef}	8,87 ^{efghij}	4,30 ^{a}	3,74 ^{abcd}	4,06 ^{a}	8,57 ^{bc}	13,76 ^{h}	62,23 ^{defg}

55. táblázat: FAO 490 hibrid termés és fiziológiai paramétereinek varianciaanalízis vizsgálatának eredménye a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) függvényében 2019-es tenyészévben (termés= t/ha; APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW; olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %) Az eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek.

2020-as tenyészévben minden alkalmazott műtrágyaszint szignifikánsan növelte a termés mennyiségét, amely valószínűleg a csapadék megfelelő mennyiségének és eloszlásának köszönhető. Az LP mértéke NPK 5, N5 tápanyagszinten szignifikáns mértékben növekedett kontrollhoz viszonyítva. Az olajtartalom értéke NPK 0 tápanyagszinten szignifikánsan magasabb volt, mint az NPK 2 és NPK 5 tápanyagszinten (56. táblázat).

Év	Hibrid		Termés	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő
2020	FAO 490	N0	4,99 ^{i}	11,48 ^{cdefg}	2,55 ^{e}	3,63 ^{abcde}	2,94 ^{fghi}	5,34 ^{no}	17,27 ^{bc}	65,07 ^{abcd}
		N2	12,06 ^{de}	12,11 ^{bcde}	3,03 ^{cde}	3,93 ^{abcd}	3,01 ^{ef}	5,95 ^{jk}	17,28 ^{bc}	65,17 ^{ab}
		N5	13,79 ^{ab}	14,64 ^{abc}	3,81 ^{abc}	3,45 ^{cde}	2,85 ^{i}	6,41 ^{i}	17,74 ^{a}	64,67 ^{abcde}
		NPK0	4,89 ^{l}	10,98 ^{cdefgh}	2,52 ^{e}	3,44 ^{de}	3,06 ^{e}	5,4 ^{mno}	17,08 ^{cd}	64,26 ^{abcde}
		NPK2	8,87 ^{h}	11,59 ^{cdef}	3,54 ^{abcde}	3,30 ^{de}	2,98 ^{efgh}	5,30 ^{nop}	16,71 ^{def}	64,81 ^{abcd}
		NPK 5	12,31 ^{cd}	14,37 ^{abcd}	4,28 ^{a}	2,95 ^{e}	2,96 ^{efgh}	5,82 ^{kl}	17,27 ^{bc}	64,47 ^{abcde}

56. táblázat: FAO 490 hibrid termés és fiziológiai paramétereinek varianciaanalízis vizsgálatának eredménye a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) függvényében 2020-as tenyészévben (termés= t/ha; APX: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW, LP: umol g^{-1} FW, SOD: Unit (umol min^{-1}) mg^{-1} FW; olaj = termés olajtartalma %; fehérje= termés fehérjetartalma %; szemnedvesség= termés szemnedvesség érték %; keményítő= szemtermés keményítőtartalma %) Az eltérő betűvel jelzett értékek statisztikailag különböznek.

4.7 Szignifikáns különbségek statisztikai elemzése Fisher-féle LSD teszt által

A fenológiai fázisok elemzése során az APX aktivitás V_6 és V_8 fenológiai fázisban megegyezett a tenyészévek, hibridek és műtrágyaszintek átlagában. Szintén egyező volt és nem volt különbség a V_4 és V_{14} fenológiai állapotban. A fenológiai fázisokat együtt tekintve az R_1 időszakában volt az összes többi időponthoz képest eltérés. A lipidperoxidáció mértéke minden időpontban eltérő volt egymáshoz viszonyítva. Kis mértékű egyezés volt a V_6 és V_8 fenológiai fázisban. Az R_1 időszakában a lipidperoxidáció mértéke szintén eltérő volt az összes fenológiai fázishoz viszonyítva. A SOD aktivitása V_8 és V_{14} fenológiai fázisban megegyezett. V_4, V_6 és R_1 időpontban mért SOD aktivitás pedig szignifikánsan eltért egymástól (57. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő	Termés
V_4	AB	D	AB	A	A	A	A	A
V_6	B	AB	A	A	A	A	A	A
V_8	B	BC	B	A	A	A	A	A
V_{14}	AB	A	B	A	A	A	A	A
R_1	A	C	C	A	A	A	A	A

57. táblázat: Fenológiai fázisok Fisher Grouping elemzése. Az eltérő betűvel jelzett paraméterek fenológiai fázisok függvényében statisztikailag különböznek.

A hibridek szerinti elemzés során a két vizsgált eltérő tenyészidejű hibrid esetében az APX aktivitás és a lipidperoxidáció mértéke a fenológiai fázisok, műtrágyaszintek és tenyészévek átlagában nem mutatott szignifikáns eltérést. A SOD aktivitása a hibridek tekintetében eltérő volt. A terméparaméterek elemzése során az olajtartalom és szemnedvesség szintén nem volt statisztikailag elkülöníthető a két vizsgált hibridnél. A terméparaméterek közül a fehérje és keményítő % különböző volt a tápanyagszintektől függetlenül, ami azt jelenti, hogy a hibridek genetikailag különböző termés fehérje tartalommal rendelkeznek (58. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő	Termés
FAO 360 Hibrid	A	A	A	A	A	A	A	A
FAO 490 Hibrid	A	A	B	A	B	A	B	B

58. táblázat: Hibridek Fisher Grouping elemzése. Az eltérő betűvel jelzett paraméterek a hibridek függvényében statisztikailag különböznek.

Tápanyagszintek szerinti elemzés során a két legnagyobb tápanyagszint az N5 és az NPK 5 egyértelműen hatással volt az APX aktivitására. Az N0, N2, NPK 0 és NPK 2 a tenyészévek és hibridek átlagában nem eredményezett szignifikáns változást. A lipidperoxidáció mértékének vizsgálata során szintén az N5 és NPK 5 eredményezett minden tápanyagszinttől eltérő csoportot, illetve a kontroll parcellák szignifikánsan eltértek minden vizsgált műtrágyaszinttől. A SOD aktivitásának vizsgálata során az állandó magas foszfor és kálium szintű parcelláknál a kontrollhoz képest az N2 tápanyagszint nem eredményezett szignifikáns változást a hibridek és a tenyészévek átlagában. A SOD aktivitás vizsgálat során a két magas tápanyagszintű parcella (N5, NPK 5) minden esetben elkülönültek az összes vizsgált tápanyagszinttől, illetve a közepes szintű tápanyagszint a foszfor és kálium szinttől függően eltérő SOD aktivitást eredményezett.

A különböző tápanyagszintek nem eredményeztek szignifikáns eltérést a szemtermés olaj tartalmában a hibridek és vizsgálati évek átlagában. A tápanyagszintek a fehérjetartalmat szignifikánsan befolyásolták a hibridek és tenyészévek átlagában. Az N0, NPK 0 és az NPK 2-es tápanyagszint ugyanolyan fehérjetartalommal rendelkezett. Az N5 és NPK5 tápanyagszint szignifikánsan különbözik fehérjetartalom szempontjából az összes vizsgált tápanyagszinthez képest, viszont a foszfor és kálium szinttől függően egymástól is szignifikánsan különböznek. Az APX és LP értéke sok esetben hasonló volt az eltérő tápanyagszintek esetében is, viszont a SOD értéke ellentétes volt (59. táblázat).

	APX	**LP**	**SOD**	**Olaj**	**Fehérje**	**Szemnedvesség**	**Keményítő**	**Termés**
N0	B	C	AB	A	C	AB	ABC	C
N2	B	BC	AB	A	AB	A	ABC	A
N5	A	A	C	A	A	A	C	A
NPK 0	B	C	A	A	C	C	AB	C
NPK 2	B	B	B	A	C	C	A	B
NPK 5	A	A	C	A	B	BC	BC	A

59. táblázat: Műtrágyaszintek Fisher Grouping elemzése. Az eltérő betűvel jelzett paraméterek a tápanyagszintek függvényében statisztikailag különböznek.

A fenológiai fázisok és hibridek szerinti elemzés során az APX aktivitása a FAO 360 hibrid esetében V_4 és V_{14} fenológiai fázisban megegyezett a tenyészévek és műtrágyaszintek átlagában. Szintén egyezőség volt V_6 és V_8 fenológiai fázisban az APX aktivitásában a FAO 360 hibrid esetében a tenyészévek és műtrágyaszintek átlagában. FAO 360 hibrid esetében a R_1 időszaka APX aktivitásra vonatkoztatva eltért az összes fenológiai fázistól. A lipidperoxidáció mértéke a két vizsgált hibridnél V_4 fenológiai fázisban azonos volt. A SOD aktivitás vizsgálat a két hibrid esetében az egyes hibrid V_4 fenológiai stádiumában mért érték és a FAO 490 hibrid esetében mért V_6 fenológiai stádiumban mért érték egyezőségén kívül nem volt azonos aktivitás a tenyészidőszakok és műtrágyaszintek átlagában (60. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő	Termés
V_4 - FAO 360	A	C	A	A	A	A	A	A
V_6 - FAO 360	ABC	ABC	AB	A	A	A	A	A
V_8 - FAO 360	ABC	BC	BC	A	A	A	A	A
V_{14} - FAO 360	A	A	ABC	A	A	A	A	A
R_1 - FAO 360	AB	C	D	A	A	A	A	A
V_4 - FAO 490	ABC	C	CD	A	A	A	B	B
V_6 - FAO 490	BC	AB	A	A	A	A	B	B
V_8 - FAO 490	C	BC	C	A	A	A	B	B
V_{14} - FAO 490	BC	AB	C	A	A	A	B	B
R_1 - FAO490	A	BC	E	A	A	A	B	B

60. táblázat: Fenológiai fázisok és a hibridek Fisher Grouping elemzése. Az eltérő betűvel jelzett paraméterek a hibridek és fenológiai fázisok függvényében statisztikailag különböznek.

A fenológiai fázisok és műtrágyaszintek hatásának vizsgálata során az APX aktivitásban a hibridek és tenyészévek átlagában nem volt különbség N5 tápanyagszinten V_8 és V_{14} fenológiai fázis között. N5 tápanyagszinten minden fenológiai fázisban V_8 és V_{14} kiételével eltérő APX aktivitás volt a hibridek és tenyészévek átlagában. NPK 5 tápanyagszinten a fenológiai fázisok között minden esetben szignifikáns különbség volt a hibridek és tenyészévek átlagában. N2 tápanyagszinten V_{14} és R_1 fenológiai fázis között nem volt szignifikáns különbség a hibridek és tenyészévek átlagában az APX aktivitásban. NPK 2 tápanyagszinten V_4 és V_8 fenológiai fázis tekintetében nem volt különbség az APX aktivitásban a hibridek és tenyészévek átlagában. Kontroll N0 és NPK 0 parcellák esetében ugyanúgy megfigyelhető a fenológiai fázisok közötti különbség az APX aktivitásban.

A lipidperoxidáció vizsgálata során a fenológiai fázisok és műtrágyaszintek a mintavételi időpontok között minden esetben szignifikánsan változtatták az értékét a hibridek és műtrágyaszintek átlagában N5 tápanyagszinten. NPK 5 tápanyagszinten V_8 és V_{14}, illetve V_6 és R_1 időpontjában meg egyezetek a lipidperoxidációs értékek. Kontroll állományban V_4, V_6 és R_1 fenológiai állapotban meg egyeztek a lipidperoxidációs értékek.

Az olajtartalom a tápanyagszintek növelésével és a tápelemek arányának változtatásaival sem változott a hibridek és a tenyészévek átalgában. A szemnedvesség és a keményítő értékének vizsgálatában sem volt a különbség a hibridek és a tenyészévek átlagában. A termést 3 csoportra tudjuk osztani a tápanyagok szerint. A kontroll és NPK 5, N5 és N2 egyértelműen elkülönül (61. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő	Termés
V_4 - N5	AB	DEFGHIJ	EFGHI	A	A	A	A	A
V_6 - N5	ABCDE	ABC	DEFGH	A	A	A	A	A
V_8 - N5	DEFGH	ABCDEF	KLM	A	A	A	A	A
V_{14} - N5	DEFGH	A	GHIJK	A	A	A	A	A
R_1 - N5	ABCD	ABCDE	LM	A	A	A	A	A
V_4 - NPK 5	BCDE	CDEFGHIJ	DEFGH	A	ABC	A	A	A
V_6 - NPK 5	BCDEFG	ABCDEFGH	GHIJK	A	ABC	A	A	A
V_8 - NPK 5	ABC	AB	M	A	ABC	A	A	A
V_{14} - NPK 5	AB	AB	JKLM	A	ABC	A	A	A
R_1 NPK 5	EFGH	ABCDEFGH	IJKL	A	ABC	A	A	A
V_4 - N2	ABCD	J	DEFGH	A	AB	A	A	A
V_6 - N2	CDEFGH	ABCD	BCDE	A	AB	A	A	A
V_8 - N2	H	GHJI	FGHIJ	A	AB	A	A	A
V_{14} - N2	EFGH	ABCDE	ABCD	A	AB	A	A	A
R_1 - N2	H	GHJI	M	A	AB	A	A	A
V_4 - NPK 2	DEFGH	EFGHIJ	DEFGH	A	BC	A	A	B
V_6 - NPK 2	EFGH	BCDEFGHI	CDEFG	A	BC	A	A	B
V_8 - NPK 2	DEFGH	EFGHIJ	CDEF	A	BC	A	A	B
V_{14} - NPK 2	ABCDE	ABCDE	IJKL	A	BC	A	A	B
R_1 - NPK 2	GH	ABCDEFGH	IJKL	A	BC	A	A	B
R_1 - N0	A	J	MM	A	BC	A	A	C
V_4 - N0	EFGH	J	DEFGH	A	BC	A	A	C
V_6 - N0	GH	J	DEFGH	A	BC	A	A	C
V_8 - N0	H	HIJ	A	A	BC	A	A	C
V_{14} - N0	EFGH	ABCDEFG	ABCD	A	BC	A	A	C
V_4 - NPK 0	H	FGHIJ	EFGHIJ	A	C	A	A	C
V_6 - NPK 0	H	IJ	ABC	A	C	A	A	C
V_8 NPK 0	CDEFGH	ABCDEFGH	AB	A	C	A	A	C
V_{14} - NPK 0	BCDE	CDEFGHJ	FGHIJK	A	C	A	A	C
R_1 - NPK 0	BCDEF	IJ	FGHIJK	A	C	A	A	C

61. táblázat: Fenológiai fázisok és a műtrágyaszintek Fisher Grouping elemzése. Az eltérő betűvel jelzett paraméterek a fenológiai fázisok és tápanyagszintek függvényében statisztikailag különböznek.

4.8 Korreláció analízis statisztikai elemzés

A tenyészévek és hibridek átlagában a szemtermés fehérjetartalmának növekedésével nőtt az olajtartalom. A szemnedvesség növekedésével viszont csökkent a termés olajtartalma. Az olajtartalom növekedésével csökkent az APX aktivitása a tenyészévek, hibridek és tápanyagszintek átlagában. A szemnedvesség növekedésével csökkent a termés fehérjetartalma (62. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedv.	Keményítő
APX							
LP	-0.136						
SOD	-0.047	0.062					
Olaj	-0.557*	0.417	0.108				
Fehérje	-0.450	0.455	0.021	0.896**			
Szemnedv.	0.548*	-0.393	-0.117	-0.917**	-0.771*		
Keményítő	0.228	-0.158	-0.027	-0.474	-0.444	0.392	
Termés	0.303	0.188	-0.108	-0.149	0.109	0.244	0.134

62. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2019-2020 tenyészévben a FAO 360 és FAO 490 hibridek esetében a vizsgált paraméterekkel a tápanyagszintek átlagában (N0, N2, N5 – NPK 0, NPK 2, NPK5) A csillaggal jelölt értékek a statisztikai hatást jelölik, * P<0,05 - ** P<0,01)

A fehérjetartalom növekedésével növekszik az olajtartalom a termésben. A termés növekedésével szignifikánsan nőtt az olajtartalom és a fehérjetartalom a 2019-es tenyészévben FAO 360 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában állandó magas foszfor és kálium szinten (63. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	0.212						
SOD	-0.273	-0.283					
Olaj	-0.210	0.021	-0.248				
Fehérje	-0.193	0.086	-0.259	0.650			
Szemnedvesség	0.130	-0.195	0.099	-0.129	-0.212		
Keményítő	-0.185	0.146	-0.038	0.093	0.355	-0.160	
Termés	-0.198	0.148	-0.345	0.660	0.638	-0.365	0.476

63. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2019-es tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (N-dózis kísérlet) állandó magas foszfor és kálium szinten.

2019-es tenyészévben FAO 490 hibrid esetében a keményítőtartalom növekedésével csökkent az olaj és a fehérje tartalom a tápanyagszintek átlagában magas foszfor és kálium szint mellett. A termés keményítőtartalmának növekedésével csökkent az olaj és fehérjetartalom. A termés növekedésével nőtt a fehérjetartalom, illetve a termés növekedésével csökkent a keményítőtartalom melynek mértéke közepesen erős szignifikáns kapcsolat (64. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	0.008						
SOD	-0.191	-0.206					
Olaj	-0.207	0.004	-0.048				
Fehérje	-0.167	0.166	-0.100	0.604			
Szemnedvesség	-0.115	0.119	-0.122	0.119	0.298		
Keményítő	0.122	0.049	-0.012	-0.711	-0.715	-0.008	
Termés	-0.117	0.183	-0.140	0.387	0.785	-0.140	-0.576

64. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2019-es tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (N-dózis kísérlet) állandó magas foszfor és kálium szinten.

A 2020-as tenyészévben FAO 360 hibrid esetében a termés fehérjetartalom növekedésével nőtt az APX aktivitása. A termés növekedésével szignifikáns mértékben nőtt az APX aktivitás és a szemnedvesség értéke a tápanyagszintek átlagában (65. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	-0.002						
SOD	0.058	0.222					
Olaj	-0.032	-0.021	0.099				
Fehérje	0.581	0.444	-0.082	-0.047			
Szemnedvesség	0.203	0.191	0.074	0.277	0.423		
Keményítő	0.102	0.034	-0.005	-0.482	-0.023	0.258	
Termés	0.582	0.365	-0.042	0.012	0.804	0.599	0.284

65. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2020-es tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (N-dózis kísérlet) állandó magas foszfor és kálium szinten.

A 2020-as tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a termés növekedésével nőtt a termés fehérjetartalma, illetve a szemnedvesség értéke. A keményítő értékének növekedésével csökkent a szemnedvesség értéke a tápanyagszintek átlagában állandó magas foszfor és kálium szinten (66. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	0.029						
SOD	0.076	0.209					
Olaj	-0.330	-0.160	0.152				
Fehérje	0.427	0.424	-0.090	-0.329			
Szemnedvesség	0.158	0.169	-0.004	0.309	0.341		
Keményítő	-0.237	-0.196	0.130	-0.164	-0.436	-0.682	
Termés	0.299	0.359	0.033	-0.001	0.867	0.534	-0.307

66. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2020-es tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (N-dózis kísérlet) állandó magas foszfor és kálium szinten.

2019-es tenyészévben FAO 360 hibrid esetében arányos foszfor és kálium szint mellett a nitrogén lépcsők átlagában a termés fehérjetartalom növekedésével nőtt az olajtartalom közepes erős szignifikáns szinten. A termés növekedésével erős szignifikáns pozitív korreláció volt a fehérjetartalom növekedésével. A keményítőtartalom növekedésével csökkent a fehérjetartalom a tápanyagszintek átlagában (67. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	-0.074						
SOD	-0.209	-0.088					
Olaj	0.073	-0.163	-0.335				
Fehérje	0.275	-0.229	-0.406	0.606			
Szemnedvesség	-0.044	0.005	0.141	0.045	-0.325		
Keményítő	-0.140	0.088	0.096	-0.166	-0.570	0.090	
Termés	0.326	-0.194	-0.461	0.445	0.902	-0.409	-0.314

67. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2019-es tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (NPK kísérlet) arányos foszfor és kálium szint mellett.

A 2019-es tenyészévben FAO 490 hibrid esetében a keményítőtartalom növekedésével csökkent az olaj és fehérjetartalom, illetve a termés növekedésével nőtt a fehérjetartalom és csökkent a keményítőtartalom arányos foszfor és kálium szint mellett a nitrogéndózisok átlagában. A keményítőtartalom és a fehérjetartalom között erős szignifikáns negatív korreláció volt arányos foszfor és kálium szint mellett a nitrogéndózisok átlagában (68. táblázat).

	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	0.248						
SOD	0.095	-0.075					
Olaj	-0.175	0.071	-0.375				
Fehérje	-0.179	0.166	-0.447	0.448			
Szemnedvesség	0.077	0.043	0.304	-0.302	-0.267		
Keményítő	0.133	-0.151	0.376	-0.600	-0.918	0.114	
Termés	-0.140	0.203	-0.444	0.415	0.879	-0.313	-0.762

68. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2019-es tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (NPK kísérlet) arányos foszfor és kálium szint mellett.

A 2020-as tenyészévben a termés és az APX aktivitás között pozitív korreláció volt, a termés növekedésével nőtt az APX aktivitása közepesen erős szinten. A termés növekedésével együtt nőtt a fehérjetartalom és a szemnedvesség értéke. A szemnedvesség növekedésével pedig csökkent az olajtartalom a nitrogéndózisok átlagában arányos foszfor és kálium szint mellett. A többi vizsgált paraméter között korreláció nem volt kimutatható az alábbi tényezők függvényében (69. táblázat).

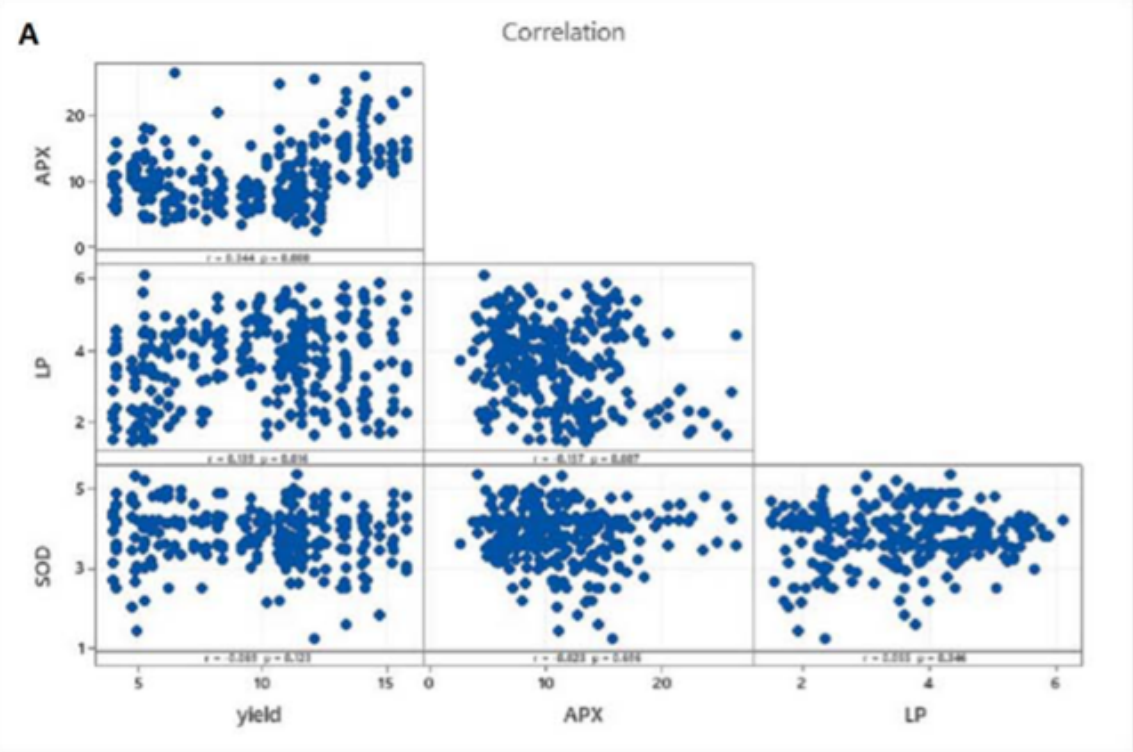
	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	0.408						
SOD	0.320	-0.122					
Olaj	0.089	0.194	0.050				
Fehérje	0.466	0.386	0.107	0.591			
Szemnedvesség	0.231	0.084	-0.046	-0.549	-0.025		
Keményítő	0.118	0.089	0.253	-0.446	-0.026	0.399	
Termés	0.512	0.362	0.185	0.105	0.613	0.563	0.466

69. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2020-es tenyészévben a FAO 360 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (NPK kísérlet) arányos foszfor és kálium szint mellett.

2020-as tenyészévben FAO 490 hibrid esetében a szemnedvesség és termés növekedésével nőtt a fehérjetartalom, illetve a keményítőtartalom növekedésével csökkent a szemnedvesség értéke arányos kálium és foszfor ellátás mellett a tápanyagszintek átlagában (70. táblázat).

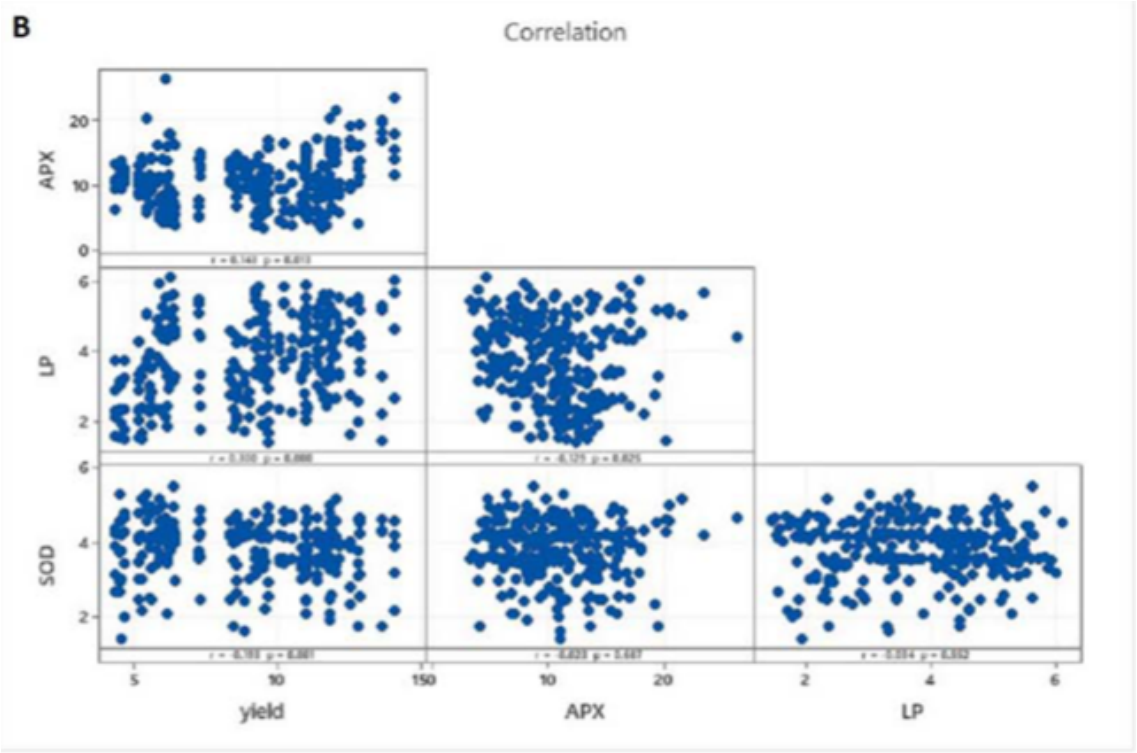
	APX	LP	SOD	Olaj	Fehérje	Szemnedvesség	Keményítő
LP	0.212						
SOD	-0.092	0.208					
Olaj	-0.170	-0.244	0.095				
Fehérje	0.423	0.413	-0.180	-0.370			
Szemnedvesség	0.259	0.065	-0.079	-0.379	0.658		
Keményítő	-0.091	0.233	-0.044	-0.065	-0.404	-0.775	
Termés	0.417	0.633	-0.216	-0.475	0.730	0.300	0.165

70. táblázat: Pearson féle korreláció analízis a 2020-es tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a vizsgált paraméterekkel a nitrogéndózisok átlagában (NPK kísérlet) arányos foszfor és kálium szint mellett.



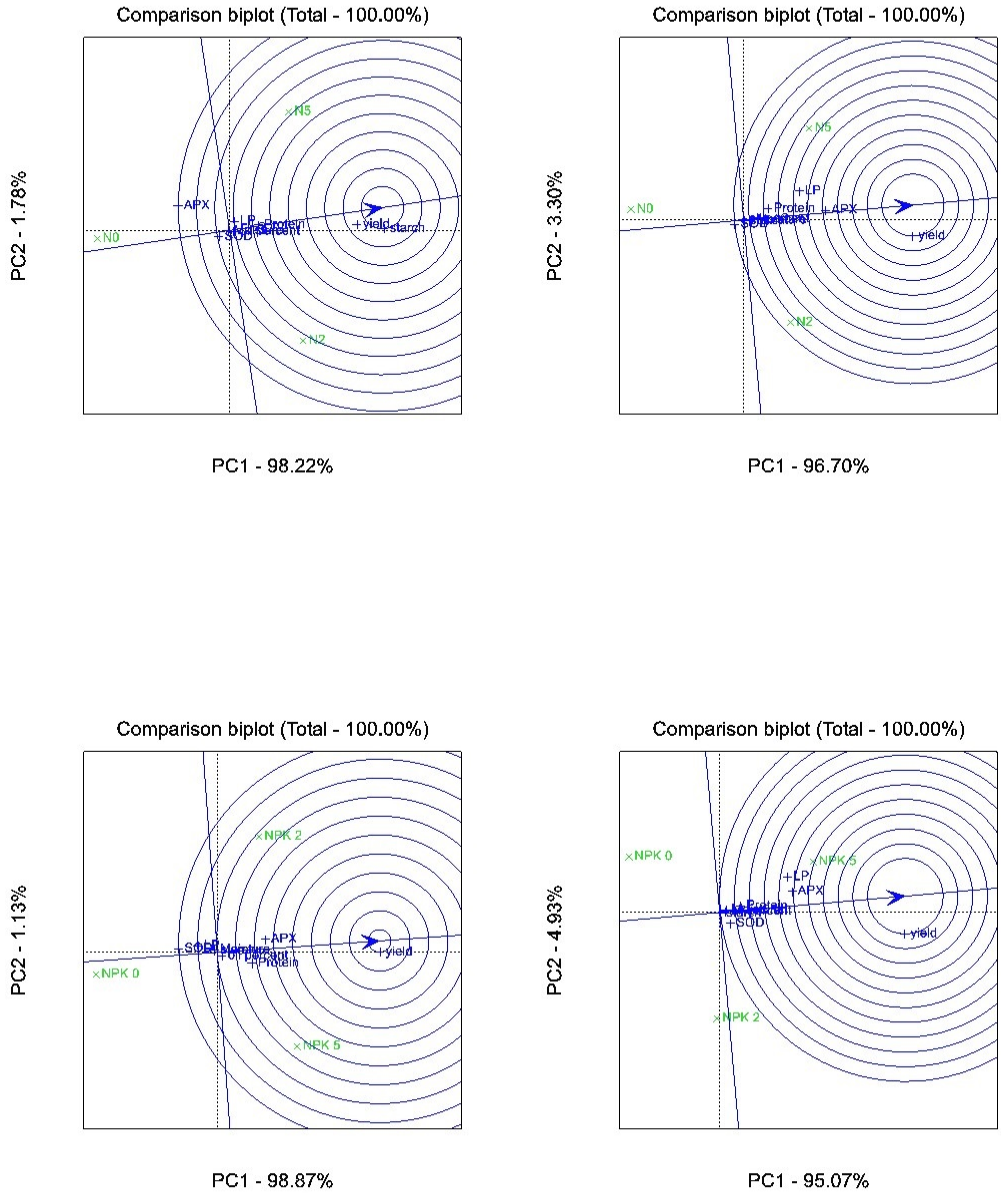
14. ábra: Pearson féle korrelációs elemzés (A) korreláció a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) és az indexek között, (B) az NPK-műtrágya és az indexek közötti korreláció. (Aszkorbát-peroxidáz (APX), lipid-peroxidáció (LP), szuperoxid-dizmutáz (SOD)) (N = 1881) (Kék pontok: két változóhoz kapcsolódó pontok).

A nitrogén műtrágyán alapuló korrelációs analízis kimutatta, hogy a szemtermés szignifikánsan korrelált az APX-el és az LP-vel. Ezenkívül az APX szignifikáns negatív korrelációt mutatott az LP-vel. A hozam azonban nem korrelált a SOD indexével. Az NPK műtrágyán alapuló korrelációs elemzés azt mutatta, hogy a terméshozam szignifikáns negatív korrelációt mutatott a SOD-val, és szignifikáns pozitív korrelációt mutatott az LP-vel és az APX-el. Ezenkívül az APX szignifikáns negatív korrelációt mutatott az LP-vel (14-15. ábra).



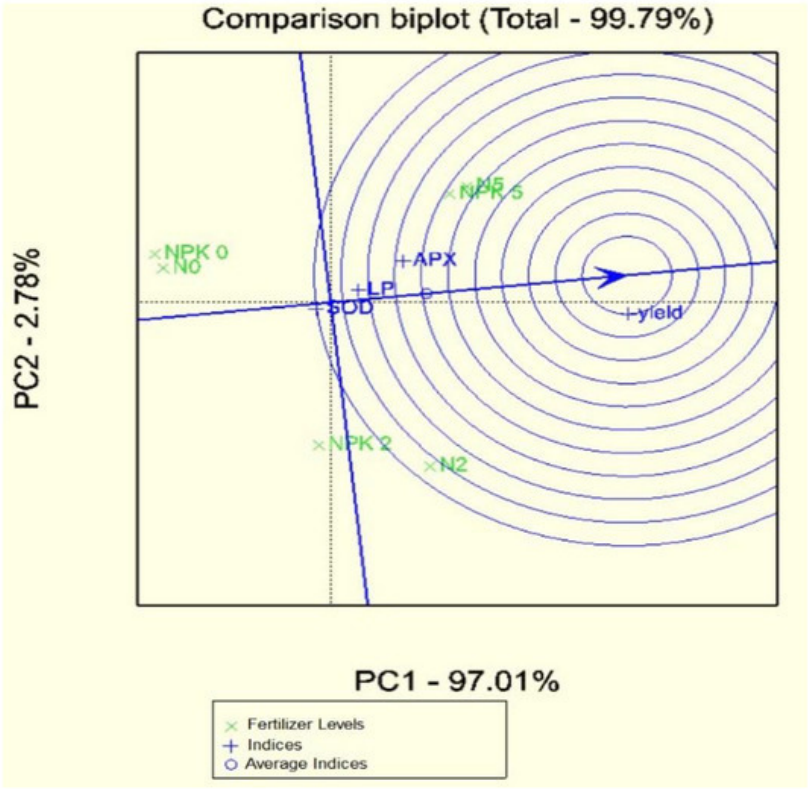
15. ábra: Pearson féle korrelációs elemzés (A) korreláció a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) és az indexek között, (B) az NPK-műtrágya és az indexek közötti korreláció. (Aszkorbát-peroxidáz (APX), lipid-peroxidáció (LP), szuperoxid-dizmutáz (SOD)) (N = 1881) (Kék pontok: két változóhoz kapcsolódó pontok).

4.9 Biplot analízis vizsgálat



16. ábra: NPK, N-dózis kísérlet 2019-2020-as tenyészév FAO 360 hibrid
1. rész: 2019 – N-dózis kísérlet FAO 360 hibrid
2. rész: 2020 – N-dózis kísérlet FAO 360 hibrid
3. rész: 2019 – NPK kísérlet FAO 360 hibrid
4. rész: 2020 – NPK kísérlet FAO 360 hibrid

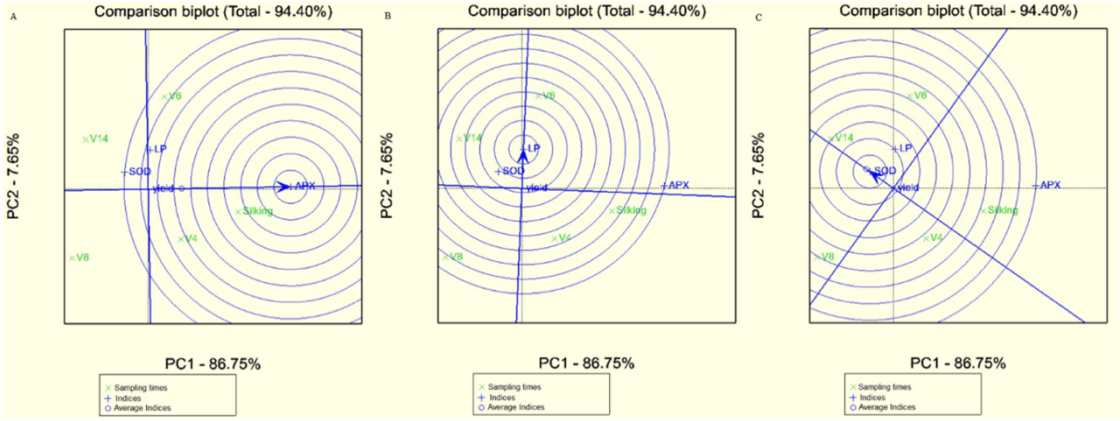
A biplot elemzés azt mutatta, hogy az első fő komponens az összes adat 97,01%-át, a második fő komponens pedig az összes adat 2,78%-át fedte le. A hozam szignifikáns korrelációt mutatott az APX, LP és SOD között. A maximális hatást az APX, majd az LP követte. A minimális szignifikáns hozamhatást SOD-val érték el. Ezen kívül NPK 5 (NPK 5 150 kg/ha N, 115 kg/ha P_2O5, 135 kg/ha K_2O), N 5 adag (N5 300 kg/ha N) és N 2 dózis (N2 120 kg/ha N) maximálisan szignifikáns hatással volt a termésre, az NPK 2, N0 és NPK 0 pedig nem volt szignifikáns (17. ábra).



17. ábra: Az indexek szemtermésre gyakorolt hatásának biplot analízise, a tápanyagszintek (N-dózis, NPK kísérlet) szerint (aszkorbát-peroxidáz (APX), lipid-peroxidáció (LP), szuperoxid-dizmutáz (SOD)) (N = 1881)

A biplot elemzésen alapuló fő komponens vizsgálat azt mutatta, hogy az első fő komponens az összes adat 86,75%-át, a második fő komponens pedig az összes adat 7,65%-át fedte le. Az APX maximális aktivitása a R_1 időszakaszban volt, ezt követte a 4 leveles állapot, a V_6, a V_{14} és V_8 fenológiai állapot. Ebben az esetben az R_1, a V_4 és V_6 fenológiai állapot befolyásolta legnagyobb mértékben az APX aktivitását. Az LP maximális hatása a V_{14} fenológiai fázisban volt, ezt követte a V_6, V_4, R_1 és a 8 leveles állapot. Minden fenológiai stádium szignifikáns hatással volt az LP-re. Ezenkívül az LP

mértéke maximális hatást gyakorolt a SOD-ra és a hozamra. A SOD maximális aktivitása a V_{14}, V_6, V_4, V_8, valamint R_1 állapotában volt. Minden szakasz szignifikáns hatással volt az SOD aktivitására. Ezen túlmenően az SOD jelentős maximális hatást fejtett ki az LP-vel ebben a vizsgálatban (18. ábra).



18. ábra: A mintavételi idők biplot elemzése az (A) aszkorbát-peroxidázra (APX), (B) a lipidperoxidációra (LP) és (C) a szuperoxid-dizmutázra (SOD) (N = 1881).

5. KÖVETKEZTETÉSEK

5.1 Eltérő fenológiai fázisok szerinti dinamika elemzés

Eltérő fenológiai fázisokban vizsgált enzimek és lipidperoxidáció mértéke a tápanyagszintek, hibridek és tenyészévek átlagában eltérően alakultak. Az APX aktivitása a fenológiai fázisok előrehaladtával folyamatosan növekszik. V_4 fenológiai fázisban 9,35 egység értékről R_1 fenológiai fázis időszakára 12,99 egységre növekszik. A lipidperoxidáció és SOD aktivitása fokozatosan csökkent a fenológiai fázisokban.

2019-es tenyészévben eltérő dinamika volt, mintha a tenyészéveket átlagban vizsgáltam volna. Az APX aktivitása V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisban 0,5 egységgel növekedett, majd V_8 fenológiai fázisra 3,1 egységgel csökkent. Hibridek külön történő elemzése során szintén eltérő dinamikát tapasztaltam a tenyészévek között a tápanyagszintek átlagában. Az APX aktivitása V_4 és V_6 fenológiai fázisban hasonló értékkel rendelkezett, majd V_8 fenológiai fázisban 2,9 egységgel csökkent. V_8 fenológiai fázis után R_1 fenológiai fázisig fokozatosan növekedett az APX aktivitása. R_1 fenológiai fázisban 13,38 értéket mértem az APX aktivitásában. A lipidperoxidáció mértéke és SOD aktivitása FAO 360 hibrid esetében a 2019-es tenyészévben a tápanyagszintek átlagában állandó értéket eredményezett. A tenyészidőszak végén az LP mértéke enyhén növekedett, a SOD aktivitása csökkent. Hasonló eredményt értek el *Rácz* et al. 2021 vizsgálatai során, ahol a nitrogén tartalmú fejtrágyázás és kontroll állományban egyaránt csökkent a SOD aktivitása a fenológiai fázis előrehaladtával V12 és R1 fenofázis között. 2019-es tenyészévben FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása 0,5 egységgel nőtt V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisra, majd csökkent 3 egységgel V_8 fenológiai fázisra. A tenyészidőszak végé felé R_1 időszakában növekedett 12,91 egységre az APX aktivitása. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitás dinamikája a tenyészidőszak vége felé V_{14} fenológiai fázisról R_1 fenológiai fázisra vált különbözővé. A lipidperoxidáció mértéke nőtt, a SOD aktivitása csökkent R_1 fenológiai fázisra.

2020-as tenyészévben az APX aktivitása fokozatosan csökkent, ami az eltérő tenyészidőszakban jelen lévő agrometeorológiai környezetre vezethető vissza. Az APX aktivitása R_1 fenológiai fázisban V_4 fenológiai fázishoz képest több mint 20%.al csökkent. 2020-as tenyészévben mind a három vizsgált paraméter mértéke csökkent a tenyészidőszak végére. A FAO 360 hibrid esetében a 2020-as tenyészévben a tápanyagszintek átlagában a tenyészidőszakban folyamatosan csökkent az APX aktivitása. Kezdetben V_4 fenológiai fázisban 15,4 egység értékkel rendelkezett, majd fokozatosan csökkent. A lipidperoxidáció dinamikája nem kiegyenlített 2020-as tenyészévben FAO 360 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában. Az egyes mintavételi időpontok között csökkent majd nőtt az értéke. A tenyészidőszak végére az APX-hez és a lipidperoxidációhoz hasonlóan csökkent.

Az APX aktivitása 2019-es tenyészévhez képest a FAO 490 hibrid esetében ellentétes dinamikát mutatott. Az APX aktivitása egy magas szintről indult, majd fokozatosan csökkent a tápanyagszintek átlagában a tenyészidőszak előrehaladtával. A SOD aktivitás és lipidperoxidáció mértéke összeségében csökkenő tendenciát mutat a tenyészidőszak előrehaladtával. A tenyészidőszak kezdetén V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisra növekedett a LP mértéke 2 egységgel, majd V_8 fenológiai állapotra hasonló módon a SOD aktivitásával csökkent. V_{14} fenológiai fázisra szintén növekedett az LP mértéke és SOD aktivitása majd csökkent a tenyészidőszak végén R_1 fenológiai fázisra.

5.2 Tápanyagszintek szerinti fiziológiai változások elemzése

Vizsgálataim során az egyes fiziológiai paraméterek hibrid, mintavételi időpont, évjárat és tápanyagszint függvényében eltérően változtak. *Krantev et al*. 2008 kutatásai alapján az egyes fiziológiai paraméterek (MDA szintje, APX aktivitása) eltérően változhat az abiotikus stressz hatására.

Vizsgálatomhoz használt két tartamkísérletben az eltérő tápanyagkezelések értékelése külön-külön szükséges. Vizsgálatom két részre osztható. Az első részben értékelem a nitrogénszintek hatását állandó magas foszfor és kálium szint mellett, második részben egy arányos NPK dózis hatását vizsgálom. Az eredményeket a tenyészidőszak mintavételi időpont, tápanyagkezelés és hibrid tekintetében elemzem.

2019-es tenyészévben FAO 360 hibrid esetében V_4 fenológiai fázisban az APX aktivitása a nitrogén dózis emelésével N2 szinten növekedett kontrollhoz képest, N5 nitrogéndózis kontrollhoz képest kismértékben csökkentette az APX aktivitást. A FAO 490-es éréscsoportba tartozó hibridnél FAO 490 hibrid négy leveles fenológiai állapotban hasonló módon alakult az APX aktivitásnak változása a tápanyagkezelések hatására, mint a FAO 360 hibridnél. Az LP és SOD értéke a két hibrid esetében hasonlóan alakultak, nem változtak a tápanyagszintek növelésével. Az eredmények átlagainak elemzése sok esetben a valós különbségeket tompította és az eltérések adott idő pillanatban nem kimutathatóak.

Az arányos NPK ellátás hatására az NPK 2 és NPK 5 tápanyagszintek között nem volt eltérés az APX aktivitásában és a lipidperoxidáció mértékében. A SOD aktivitása enyhe növekedést mutatott a tápanyagszintek arányos NPK mértékének emelésével a FAO 360 hibridnél négy leveles fenológiai állapotban. Az arányos NPK ellátás hatására a tápanyagszintek növelésével az APX aktivitása enyhén növekedett a kontrollhoz képest 26 %-kal a FAO 490 hibridnél négy leveles fenológiai fázisban. Hasonló eredményt mért *Kaya et al*. 2020 vizsgálatai során, ahol a ROS anyagok tehát az antioxidáns vegyületek mértéke tápanyagstressz hatására megnövekedett. Hatleveles fenológiai fázisban a FAO 360 hibridnél a nitrogén szintek emelésével az APX aktivitása nem változott, N2-es tápanyagszinten kontrollhoz képest 32 %-kal csökkent.

A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása a tápanyagszint növelésével arányosan csökkent a kontrollhoz képest. Hatleveles fenológiai állapotban a FAO 490 hibridnél mért APX aktivitás eltérő volt a FAO 360 hibridhez képest. A FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása kontroll és magas N5 tápanyagszinten magasabb volt, mint a N2 tápanyagszinten. Az eltérés kontrollhoz képest 13 %-kal magasabb, N5-höz képest pedig 11 %-kal. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitás változatlan szintű volt a FAO 490 hibrid esetében V_6 fenológiai állapotban. V_6 fenológiai fázisban a FAO 360 hibridhez hasonló NPK 2 szinten mért magasabb APX aktivitás volt a FAO 490 hibridnél. Kontrollhoz képest 68 %-kal volt nagyobb az APX aktivitás NPK 2-es tápanyagszinten, NPK 5 tápanyagszinthez képest pedig 44 %-kal.

V_8 fenológiai fázisban nitrogénszintek emelésével kiegyenlített állandó magas P és K szint mellett a FAO 360 hibridnél nem volt jelentős változás az APX aktivitásában. Lipidperoxidáció mértéke enyhén növekedett N5 tápanyagszinten a kontrollhoz képest. V_8 fenológiai fázisban a FAO 490 hibridnél mért APX aktivitás és lipidperoxidáció mértéke növekedett (N0 és N5 tápanyagszint között a tápanyagszintek növelésével. A SOD aktivitás enyhén csökkent az N szintek növelésével.

V_8 fenológiai fázisban mind a két vizsgált hibrid esetében arányos NPK utánpótlás hatására jelentős eltérés nem volt a tápanyagszintek hatására az APX aktivitásában és a lipidperoxidáció mértékében. A SOD aktivitása enyhén csökkent a tápanyagszintek növelésével. Tizennégy leveles fenológiai állapotban FAO 490 hibrid esetében az N5 tápanyagszintem mért APX aktivitása kontrollhoz képest jelentősen 21 %-kal, N2 tápanyagszinthez képest 48 %-kal csökkent. V_{14} fenológiai fázisban az egyenlő NPK arány hatására a tápanyagszintek növelésével fokozatosan nőtt az APX aktivitása. A lipidperoxidáció mértéke NPK 2 -es tápanyagszinten volt a legnagyobb, legkisebb a kontroll parcellában 2,874 egységgel. 2019-es tenyészévben a vizsgált paraméterek közül az APX aktivitása fokozatosan növekedett a mintavételi időpontok között a hibridek és a tápanyagszintek átlagában. V_{14} fenológiai állapotban a FAO 360 hibridnél mért APX aktivitásához képest jóval magasabb értékeket tapasztaltam a FAO 490 hibrid esetében.

Kontroll állományokat összehasonlítva a FAO 490 hibridnél több mint 40%-al magasabb APX aktivitást mértem 8,063 értékkel. Ennek függvényében a V_{14} fenológiai állapotban a két hibrid között jelentős fiziológiai eltérés volt a tápanyagszintek függvényében. R_1 fenológiai időszakában a FAO 360 hibrid esetében a kontroll állománynál mért APX aktivitás értéke N2 tápanyagszinthez képest 50%-os növekedést mutatott. N5 tápanyagszinthez képest pedig 30%-os növekedést, emellett a lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása jelentősen nem változott. R_1 fenológiai állapotban a FAO 490-es hibridnél a FAO 360-es hibridhez hasonlóan kontroll állományban az APX aktivitása N2 tápanyagszinthez képest 76 %-kal, N5 tápanyagszinthez képest pedig 60 %-kal volt nagyobb. A lipidperoxidáció mértéke kontroll állományhoz képest N2 tápanyagszinten enyhén 0,973 egységgel csökkent. *Zhang et al*. 2007 vizsgálatai során hasonló eredményeket értek el, ahol az LP szintje csökkent a nitrogénszintek növelésével

vízstressz alatt. Ezek alapján kiderült, hogy a növény az LP mértékének csökkentésével sikeresen kompenzálta a stresszhatást.

2020-as tenyészévben a V_4 korai fenológiai fázisban gyűjtött minták APX aktivitása többszöröse volt a 2019-es tenyészévben mért eredményeknél. A V_4 fenológiai fázisban a mintavétel időszakában a sokéves átlaghoz képest kevesebb volt a csapadék mennyisége és nagyobb volt a hőmérséklet ezáltal a tenyészidőszakban az egyes fenológiai fázisokhoz tartozó hőösszeg értéke. V_4 fenológiai állapotban a NPK 2 tápanyagszinten kontrollhoz képest az APX aktivitása kismértékben 1,2 egységgel növekedett. A kontroll állományban mért APX aktivitása megegyezett az NPK 5 tápanyagszinten mért APX aktivitásával. Lipidperoxidáció mértéke alacsony volt minden vizsgált tápanyagszint esetében. SOD aktivitása közel azonos volt a kontroll és a két vizsgált tápanyagszint esetében a FAO 490-es hibrid esetében. V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével fokozatosan nőtt. N2 tápanyagszint kontrollhoz képest 21 %-kal, N5 tápanyagszint pedig 22 %-kal növekedett a kontrollhoz képest. A lipidperoxidáció mértéke is szintén növekedett kontrollhoz képest a tápanyagszintek növelésével. A SOD aktivitása tápanyagszinttől függetlenül 4,055-4,501 érték között változott a 2020-as tenyészévben V_6 fenológiai fázisban a FAO 360 hibrid esetében. V_6 fenológiai fázisban egyenlő arányú NPK tápanyagutánpótlás hatására az APX aktivitása kontrollhoz képest NPK 2 tápanyagszinten csökkent 2,3 egységgel. NPK 5 tápanyagszinten mért APX aktivitása 72%-kal volt magasabb, mint a kontroll állománynál FAO 360 hibrid esetében. V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása NPK 5 tápanyagszint hatására nem növekedett az NPK 2 tápanyagszinthez képest. Ez a folyamat ellentétes a rövid tenyészidejű hibridnél mért eredményekhez képest. A lipidperoxidáció mértéke NPK 5 tápanyagszinten kontrollhoz képest 2 egységgel magasabb volt. V_8 fenológiai fázisban FAO 360 hibrid esetében az APX aktivitása kontrollhoz képest N2 tápanyagszinten 3,4 egységgel, N5 tápanyagszinten pedig 4,8 egységgel volt magasabb. A lipidperoxidáció mértéke kontrollhoz képest N5 tápanyagszinten enyhén 0,9 egységgel növekedett. FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása kontroll és N5 tápanyagszinten azonos volt, viszont kontrollhoz és N5 tápanyagszinthez képest az N2 tápanyagszinten 3 egységgel alacsonyabb értéket mértem. V_8 fenológiai állapotban az APX aktivitása 2019-es tenyészidőszakhoz képest eltérő volt. 2020-as tenyészévben az APX aktivitása

magasabb értékű volt. Kontrollhoz képest a tápanyagszintek növelésével fokozatosan növekedett az APX aktivitása. NPK 2 tápanyagszinten 1,8 egységgel, NPK 5 tápanyagszinten 5,3 egységgel volt magasabb az APX aktivitása, mint kontroll állományban. A lipidperoxidáció mértéke nem változott a tápanyagszintek emelésével. A SOD aktivitása enyhén növekedett. *Wu et al*., 2015, *Liao et al*., 2019, *Yue et al*., 2021 vizsgálatai során kiderült, hogy az antioxidáns enzimek, például a SOD aktivitása és expressziója szorosan összefügg a nitrogénellátással, mivel az N-műtrágyázással egy bizonyos tartományig jelentősen megnő. Ehhez hasonló eredményeket értek el *Tewari et al*. 2004 vizsgálatai során, ahol a makroelemek hiánya szintén növelte a SOD aktivitást. FAO 490 hibrid esetében hasonló tendenciát mértem. V_{14} fenológiai időpontban az APX aktivitása a nitrogén szintek növelésével növekedett FAO 360 hibrid esetében. Kontrollhoz képest 2,3 egységgel N2 tápanyagszinten, N5 tápanyagszinten pedig 6,4 egységgel. A lipidperoxidáció mértéke is növekedett a tápanyagszintek emelésével, N2 tápanyagszinten 0,5 egységgel, N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest pedig 2,6 egységgel. A SOD aktivitása 0,6 egységgel csökkent. V_{14} fenológiai időpontban a FAO 490 hibrid esetében a 2020-es tenyészidőszakban növekedett az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével. N2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 1 egységgel, N5 tápanyagszinten 5,2 egységgel. A lipidperoxidáció mértéke kontrollhoz képest N5 tápanyagszinten 2 egységgel növekedett. A SOD aktivitása N0 és N2 tápanyagszinten azonos volt N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest 1,2 egységgel csökkent. V_{14} fenológiai állapotban arányos NPK ellátottság hatására az APX aktivitása a tápanyagszintek emelésével jelentősen növekedett. NPK 2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 2,1 egységgel és NPK 5 tápanyagszinten 7,7 egységgel. 2020-as tenyészévben R_1 fenológiai állapotban az állandó magas foszfor és kálium szintek mellett a nitrogén szint növelésével enyhén csökkent az APX aktivitása. A lipidperoxidáció mértéke a tápanyagszintek növelésével növekedett. N2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 0,6 egységgel, N5 tápanyagszinten 2,2 egységgel növekedett. A lipidperoxidáció mértéke jelentősen növekedett a tenyészidőszak végén az egyenlő arányú NPK szintek növelésével FAO 490 hibrid esetében. NPK 2 tápanyagszinten a lipidperoxidáció mértéke 1,3 egységgel, NPK 5 tápanyagszinten pedig 2,6 egységgel növekedett a kontrollhoz képest.

5.3 Variancia analízis vizsgálatokból levont következtetések

A fenológiai fázisok szignifikáns hatással voltak a lipidperoxidáció mértékére. A különböző hibridek és fenológiai fázisok együttes elemzése nem volt hatással a lipidperoxidáció mértékére viszont, ha kiegészítjük a vizsgált faktorokat a műtrágyaszintekkel, akkor már szignifikáns hatást gyakorolnak a lipidperoxidáció mértékére. A fenológiai fázis és a hibrid, mint faktor külön és együttesen sem volt hatással az APX aktivitására. A műtrágyaszint önmagában és együttesen a fenológiai fázissal szignifikánsan befolyásolta az APX aktivitását, viszont a hibriddel és fenológiai fázissal együttesen már nem volt kimutatható valós eltérés. A lipidperoxidáció mértéke minden időpontban eltérő volt egymáshoz viszonyítva. Kis mértékű egyezés volt V_6 és V_8 fenológiai fázisban. Az R_1 időszakában a lipidperoxidáció mértéke szintén eltérő volt az összes fenológiai fázishoz tekintve.

A SOD aktivitása V_8 és V_{14} fenológiai fázisban megegyezett. V_4, V_6 és R_1 időpontja pedig szignifikánsan eltért egymástól. Tápanyagszintek szerinti elemzés során a két legnagyobb tápanyagszint az N5 és az NPK 5 egyértelműen hatással volt az APX aktivitására. Az N0, N2, NPK 0 és NPK 2 a tenyészévek és hibridek átlagában nem eredményezett szignifikáns változást. A lipidperoxidáció mértékének vizsgálata során szintén az N5 és NPK 5 eredményezett minden tápanyagszinttől eltérő csoportot, illetve a kontroll parcellák szignifikánsan eltértek minden vizsgált műtrágyaszinttől. A SOD aktivitásának vizsgálata során az állandó magas foszfor és kálium szintű parcelláknál a kontrollhoz képest az N2 tápanyagszint nem eredményezett szignifikáns változást a hibridek és a tenyészévek átlagában. A fenológiai fázisok és hibridek szerinti elemzés során az APX aktivitása a FAO 360 hibrid esetében V_4 és V_{14} fenológiai fázisban megegyezett a tenyészévek és műtrágyaszintek átlagában. Szintén egyezőség volt V_6 és V_8 fenológiai fázisban az APX aktivitásában a FAO 360 hibrid esetében a tenyészévek és műtrágyaszintek átlagában. A FAO 360 hibrid esetében a R_1 időszaka APX aktivitásra vonatkoztatva eltért az összes fenológiai fázistól. A lipidperoxidáció mértéke a két vizsgált hibrid esetébe V_4 fenológiai fázisban azonos volt.

5.4 Korreláció analízis vizsgálatból levont következtetések

2019-es tenyészévben a FAO 490 hibrid esetében a keményítő tartam növekedésével csökkent az olaj és a fehérje tartalom a tápanyagszintek átlagában magas foszfor és kálium szint mellett.

A termés keményítőtartalmának növekedésével csökkent az olaj és fehérjetartalom. A termés növekedésével nőtt a fehérjetartalom, illetve a termés növekedésével csökkent a keményítőtartalom melynek mértéke közepesen erős szignifikáns kapcsolat. 2020-as tenyészévben FAO 360 hibrid esetében a termés fehérjetartalom növekedésével nőtt az APX aktivitása. A termés növekedésével szignifikáns mértékben nőtt az APX aktivitás és a szemnedvesség értéke a tápanyagszintek átlagában. 2019-es tenyészévben FAO 360 hibrid esetében arányos foszfor és kálium szint mellett a nitrogén lépcsők átlagában a termés fehérjetartalom növekedésével nőtt az olajtartalom közepes erős szignifikáns szinten. A termés növekedésével erős szignifikáns pozitív korreláció volt a fehérjetartalom növekedésével. A keményítőtartalom növekedésével csökkent a fehérjetartalom a tápanyagszintek átlagában.

2020-as tenyészévben a termés és az APX aktivitás között pozitív korreláció volt, a termés növekedésével nőtt az APX aktivitása közepesen erős szinten. A termés növekedésével együtt nőtt a fehérjetartalom és a szemnedvesség értéke. A szemnedvesség növekedésével pedig csökkent az olajtartalom a nitrogéndózisok átlagában arányos foszfor és kálium szint mellett. A többi vizsgált paraméter között korreláció nem volt kimutatható az alábbi tényezők függvényében.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági termelés napjainkban drasztikusan változó környezetbe került. Az élelmiszer fogyasztás növelése, valamint az inputanyagok bekerülési költségének emelkedése és a rendelkezésre álló terület csökkenése a megtermelt termés értékének növekedését eredményezte. A gazdálkodók elsődleges feladata az átgondolt okszerű gazdálkodási rendszerek alkalmazása, a kukorica hibridek szükségletének pontosabb kielégítése és az optimális inputanyag felhasználás.
A vizsgálatomnak helyt adó tartamkísérletet 1983-ban állította be Prof. Dr. Nagy János. 39 éve változatlan paraméterekkel, azonos tápanyagutánpótlási rendszerrel, talajműveléssel és agrotechnikával folytatódik a kutatás. Vizsgálatom során 2019-es és 2020-as tenyészévekben eltérő FAO számmal rendelkező takarmány kukorica hibrideket alkalmaztam. Összesen 5 db mintavételi időpontban mértem a SOD, APX aktivitását és a lipidperoxidáció mértékét, majd ezek figyelembevételével elemeztem a termés paramétereket. A kísérlet során 4 db eltérő tápanyagkezelést és a kezelésekhez tartozó teljes kontroll állományt használtam. Az eredményeket átlagok szerint elemezve nem minden esetben kaptam megfelelő választ az egyes fiziológiai hatások értékelésére, ezért az eredményeket átlagolva és részegységekre bontva, tápanyagutánpótlás, évjárat, hibrid és mintavételi időpontonként értékeltem.

2019-es tenyészévben mind a két vizsgált hibrid esetében növekedett az APX aktivitása korai V_4 fenológiai fázisban kontrollhoz képest. V_6 fenológiai állapotban a FAO 490 hibridnél mért APX aktivitás eltért a FAO 360 hibridtől. FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása kontroll és magas N5 tápanyagszinten magasabb volt, mint a N2 tápanyagszinten, az eltérés kontrollhoz képest 13 %-kal magasabb, N5-höz képest pedig 11 %-kal. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitás változatlan szintű volt a FAO 490 hibrid esetében V_6 fenológiai állapotban.

A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása a tápanyagszint növelésével arányosan csökkent a kontrollhoz képest. V_{14} fenológiai állapotban a FAO 360 hibridnél mért APX aktivitásához képest jóval magasabb értékeket mértem a FAO 490 hibrid esetében. Kontroll állományokat összehasonlítva a FAO 490 hibridnél több mint 40%-kal magasabb volt az APX aktivitás 8,063 értékkel. Ennek függvényében a V_{14} fenológiai

állapotban a két hibrid között jelentős fiziológiai eltérés volt a tápanyagszintek függvényében. R_1 fenológiai időszakában a FAO 360 hibrid esetében a kontroll állománynál mért APX aktivitás értéke N2 tápanyagszinthez képest 50%-kal nagyobb értéket mutatott, N5 tápanyagszinthez képest pedig 30%-kal. A lipidperoxidáció mértéke és a SOD aktivitása jelentősen nem változott. R_1 fenológiai állapotban a FAO 490-es hibridnél a FAO 360-as hibridhez hasonlóan kontroll állományban az APX aktivitása N2 tápanyagszinthez képest 76 %-kal, N5 tápanyagszinthez képest pedig 60 %-kal volt nagyobb. A lipidperoxidáció mértéke kontroll állományhoz képest N2 tápanyagszinten enyhén 0,973 egységgel csökkent.

2020-as tenyészévben V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével fokozatosan nőtt. N2 tápanyagszint kontrollhoz képest 21 %-kal, N5 tápanyagszint pedig 22 %-kal növekedett a kontrollhoz képest. A lipidperoxidáció mértéke is szintén növekedett kontrollhoz képest a tápanyagszintek növelésével. A SOD aktivitása tápanyagszinttől függetlenül 4,055-4,501 érték között változott a 2020-as tenyészévben V_6 fenológiai fázisban a FAO 360 hibrid esetében. V_6 fenológiai fázisban az APX aktivitása NPK 5 tápanyagszint hatására nem növekedett az NPK 2 tápanyagszinthez képest. Ez a folyamat ellentétes a rövid tenyészidejű hibridnél mért eredményekhez képest. A lipidperoxidáció mértéke is növekedett a tápanyagszintek emelésével, N2 tápanyagszinten 0,5 egységgel, N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest pedig 2,6 egységgel. A SOD aktivitása 0,6 egységgel csökkent. V_{14} fenológiai időpontban a FAO 490 hibrid esetében a 2020-es tenyészidőszakban növekedett az APX aktivitása a tápanyagszintek növelésével. N2 tápanyagszinten kontrollhoz képest 1 egységgel, N5 tápanyagszinten 5,2 egységgel. A lipidperoxidáció mértéke kontrollhoz képest N5 tápanyagszinten 2 egységgel növekedett. A SOD aktivitása N0 és N2 tápanyagszinten azonos volt N5 tápanyagszinten kontrollhoz képest 1,2 egységgel csökkent.

Az APX aktivitása a fenológiai fázisok előrehaladtával folyamatosan növekszik. V_4 fenológiai fázisban 9,35 egység értékről R_1 fenológiai fázis időszakára 12,99 egységre növekszik. A lipidperoxidáció és SOD aktivitása fokozatosan csökkent a fenológiai fázisokban. 2019-es tenyészévben eltérő dinamika volt, mintha a tenyészéveket átlagban vizsgáltam volna.

A lipidperoxidáció mértéke és SOD aktivitása FAO 360 hibrid esetében a 2019-es tenyészévben a tápanyagszintek átlagában állandó értéket eredményezett. 2020-as tenyészévben az APX aktivitása fokozatosan csökkent, ami az eltérő tenyészidőszakban jelen lévő agrometeorológiai környezetre vezethető vissza. Az APX aktivitása R_1 fenológiai fázisban V_4 fenológiai fázishoz képest több mint 20%-kal csökkent. 2020-as tenyészévben mint a három vizsgált paraméter mértéke csökkent a tenyészidőszak végére. FAO 360 hibrid esetében a tápanyagszintek átlagában a tenyészidőszakban folyamatosan csökkent az APX aktivitása.

A fenológiai fázisok szignifikáns mértékben befolyásolták a lipidperoxidáció mértékét. A különböző hibridek és fenológiai fázisok együttes elemzése nem volt hatással a lipidperoxidáció mértékére viszont, ha kiegészítjük a vizsgált faktorokat a műtrágyaszintekkel, akkor a hatások szignifikánsan hatást gyakorolnak a lipidperoxidáció mértékére. A lipidperoxidáció mértéke minden időpontban eltérő volt egymáshoz viszonyítva. Tápanyagszintek szerinti elemzés során a két legnagyobb tápanyagszint az N5 és az NPK 5 egyértelműen hatással volt az APX aktivitására. A lipidperoxidáció mértékének vizsgálata során szintén az N5 és NPK 5 eredményezett minden tápanyagszinttől eltérő csoportot, illetve a kontroll parcellák szignifikánsan eltértek minden vizsgált műtrágyaszinttől.

2019-es tenyészévben FAO 490 hibrid a keményítőtartalmának növekedésével csökkent az olaj és a fehérje tartalom, a tápanyagszintek átlagában magas foszfor és kálium szint mellett. A termés keményítőtartalmának növekedésével csökkent az olaj és fehérjetartalom. A termés növekedésével nőtt a fehérjetartalom, illetve a termés növekedésével csökkent a keményítőtartalom, melynek mértéke közepesen erős szignifikáns kapcsolat. A FAO 360 hibrid esetében arányos foszfor és kálium szint mellett a nitrogén lépcsők átlagában a termés fehérjetartalom növekedésével nőtt az olajtartalom közepes erős szignifikáns szinten. A termés növekedésével erős szignifikáns pozitív korreláció volt a fehérjetartalom növekedésével. A termés növekedésével együtt nőtt a fehérjetartalom és a szemnedvesség értéke. A szemnedvesség növekedésével pedig csökkent az olajtartalom, a nitrogéndózisok átlagában arányos foszfor és kálium szint mellett. A többi vizsgált paraméter között korreláció nem volt kimutatható a vizsgált tényezők függvényében.

A két hibrid APX, LP és SOD dinamika tekintetében sok esetben hasonló volt a tápanyagszintek átlagában. 2019-es tenyészévben FAO 360 és FAO 490 hibrid esetében is csökkenő tendenciát mutatott az összes fiziológiai paraméter a tenyészidőszak előrehaladtával. 2020-ban viszont növekedett az összes vizsgált fiziológiai paraméter hibridek és tápanyagszintek átlagában a fenológiai időpontok között.

A tenyészidőszakban érzékeny fenofázisok különböző hatásokat fejtettek ki a termés mennyiségi és minőségi paramétereire az alábbiak szerint. Az R_1, a V_4 és V_6 fenológiai állapot befolyásolta legnagyobb mértékben az APX aktivitását. Az LP maximális hatása a V_{14} fenológiai fázisban volt, ezt követte a V_6, V_4, R_1 és a 8 leveles állapot termésképzés szempontjából.

A kísérletbe bevont eltérő FAO számmal rendelkező hibridek az időjárási szélsőségek következtében eltérő termésmennyiséget eredményeztek. A korai rövidebb tenyészidejű hibrid a szélsőséges aszályos évjáratban kedvezőbb termésértéket eredményezett. A gazdálkodók számára fontos információ a talajok nedvességtartalma és az aszály valószínűsége a hibridválasztás szempontjából.

Összeségében a vizsgált tenyészévek eltérőn befolyásolták mind a fiziológiai mind a termésparamétereket. Az egyes fiziológiai paraméterek (APX, LP, SOD) megfelelő indikátorai a tenyészidőszakban a növényeket érő hatásoknak. A fiziológiai paraméterek alapján történő hibrid jellemzés több tenyészidőszak vizsgálatát igényli, mivel az egyes időjárási paraméterek nagymértékben befolyásolják azok alakulását és ezáltal eltérő dinamikák alakulhatnak ki.

7. SUMMARY

Nowadays, the environment of agricultural production has changed drastically. The increase in food consumption, as well as the rise of the acquisition cost of input materials and the reduction of available land resulted in the increase of the value of the produced yield.

The primary challenge for farmers is to apply though-out, rational management systems, to better meet the needs of maize hybrids and to optimise input use.
The long-term experiment that was used in my study was established in 1983 by Prof. Dr. János Nagy. For 39 years, the research has continued with unchanged parameters, the same nutrient replenishment system, soil tillage and agrotechnology. In my study, I used forage maize hybrids with different FAO numbers in the 2019 and 2020 growing years. In total, I measured SOD, APX activity and lipid peroxidation at 5 sampling dates and analysed the yield parameters taking these into account. In the experiment, 4 different nutrient treatments and a complete control stand for each treatment were used.
Analysing the obtained results by means of averages did not always give an adequate response to evaluate the physiological effects of each, so I averaged and subdivided the results by nutrient replenishment, crop year, hybrid and sampling date.
In the 2019 cropping year, APX activity increased in early V4 phenological phase compared to controls in both examined hybrids.

At the V6 phenological state, the APX activity measured in hybrid FAO 490 differed from that of hybrid FAO 360. For hybrid FAO 490, APX activity was higher at control and high N5 nutrient levels than at N2 nutrient levels, with a 13% difference compared to control and an 11% difference compared to N5. The lipid peroxidation rate and SOD activity were unchanged in the FAO 490 hybrid at the V6 phenological stage.
Lipid peroxidation rate and SOD activity decreased proportionally with increasing nutrient levels compared to the control. At the V14 phenological stage, much higher levels of APX activity were measured in the FAO 490 hybrid compared to the APX activity measured in the FAO 360 hybrid. Compared to control stands, the APX activity of hybrid FAO 490 was more than 40% higher with a value of 8.063. As a function of this finding, there was a significant physiological difference in the V_{14} phenological state between the two hybrids as a function of nutrient levels. In the R1 phenological stage, the APX activity

value of the FAO 360 hybrid was 50% higher than that of the control stand at N2 nutrient level and 30% higher at N5 nutrient level. The lipid peroxidation rate and SOD activity did not change significantly. In the R1 phenological stage, the APX activity of hybrid FAO 490 was 76% higher and 60% higher in the control stand compared to N2 and N5, respectively, in the same way as in the FAO 360 hybrid. The rate of lipid peroxidation was slightly reduced by 0.973 units at N2 nutrient level compared to the control stand.

In the 2020 growing year, APX activity in phenological phase V_6 increased gradually with increasing nutrient levels. N2 nutrient levels increased by 21% compared to control and N5 nutrient levels increased by 22% compared to control. The rate of lipid peroxidation also increased with increasing nutrient levels compared to the control. The SOD activity varied between 4.055 and 4.501 in the 2020 growing year, regardless of nutrient level, in the V6 phenological phase of the FAO 360 hybrid. In phenological phase V6, the activity of APX did not increase with NPK 5 compared to NPK 2. This trend is in contrast to the results obtained in the short-ripening hybrid. The rate of lipid peroxidation also increased with increasing nutrient levels, by 0.5 units at the N2 nutrient level and by 2.6 units at the N5 nutrient level compared to the control. SOD activity decreased by 0.6 units. At the V_{14} phenological phase, APX activity increased with increasing nutrient levels in the 2020 growing season for the FAO 490 hybrid. N2 nutrient levels increased by 1 unit compared to control, while N5 nutrient levels increased by 5.2 units. Lipid peroxidation rate increased by 2 units compared to the control at N5 nutrient levels. SOD activity was the same at N0 and N2 nutrient levels and decreased by 1.2 units at the N5 nutrient level compared to the control.

APX activity increased steadily with the progression of the phenological phases. It increases from 9.35 units at phenological phase V_4 to 12.99 units at phenological phase R1. The activity of lipid peroxidation and SOD gradually decreased during the different phenological phases. The dynamics in the 2019 growing year were different from the average of the growing years.

The lipid peroxidation rate and SOD activity of the FAO 360 hybrid resulted in a constant value in the average of the nutrient levels in the 2019 growing year. In the 2020 growing year, the APX activity decreased gradually, which can be attributed to the agro-meteorological environment present in the different growing season. APX activity

decreased by more than 20% in phenological phase R_1 compared to phenological phase V_4. In the 2020 growing season, all three parameters decreased at the end of the growing season. In the case of FAO 360 hybrids, APX activity decreased steadily throughout the growing season averaged over the different nutrient levels.

Phenological phases significantly influenced the degree of lipid peroxidation. The combined analysis of different hybrids and phenological phases had no effect on lipid peroxidation rates, however, when the examined factors were complemented with fertiliser levels, a significant effect was observed on lipid peroxidation rates. Lipid peroxidation rates were different at all time points relative to each other. When analysed by nutrient level, the two highest nutrient levels, N5 and NPK 5, had a clear effect on APX activity. Also, when lipid peroxidation rates were examined, N5 and NPK 5 resulted in a different group for each nutrient level, and control plots were significantly different for each examined fertiliser level.

In the 2019 growing season, the oil and protein content of hybrid FAO 490 decreased, while its starch content increased, with high phosphorus and potassium levels, averaged over different nutrient levels.
Oil and protein content decreased as the starch content of yield increased. Protein content increased with increasing yield and starch content decreased with increasing yield, with a moderately strong significant relationship. For the FAO 360 hybrid, with proportional phosphorus and potassium levels, averaged over the different nitrogen steps, oil content increased with increasing yield protein content at a medium-strong significant level. As yield increased, there was a strong significant positive correlation with the increase in protein content. Protein content and grain moisture increased with increasing yield. And as grain moisture increased, oil content decreased, with phosphorus and potassium levels proportional to the average nitrogen dose. No correlation was found between the other examined parameters as a function of the analysed factors.

The two examined hybrids showed similar APX, LP and SOD dynamics in many cases with respect to the average of nutrient levels. In the 2019 cropping year, both hybrids FAO 360 and FAO 490 showed a decreasing trend in all physiological parameters as the growing season progressed. In 2020, however, there was an increase in all examined

physiological parameters between hybrids and nutrient levels, averaged over the various phenological phases.

The phenophases sensitive to the growing season had different effects on the quantitative and qualitative parameters of yield as follows. Phenological phases R_1, V_4 and V_6 had the greatest influence on APX activity. The maximum effect of LP was observed in the V_{14} phenological phase, followed by V_6, V_4, R_1 and 8-leaf stage in terms of yield formation.

The hybrids with different FAO numbers included in the experiment resulted in different yields due to weather extremes. The early shorter ripening hybrid resulted in a more favourable yield in the extreme drought year. For farmers, soil moisture and drought probability are important information for hybrid selection.

Altogether, the examined cropping years had different effects on both physiological and yield parameters. The physiological parameters (APX, LP, SOD) are good indicators of the effects on the crop during the growing season. The hybrid characterisation based on physiological parameters requires the study of several growing seasons, since the evolution of these parameters is strongly influenced by the weather parameters and may thus lead to different dynamics.

8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az évjárat hatás elemzés eredményei alapján megállapítottam, hogy a hibridek és tápanyagszintek átlagában 2020-es tenyészévben az APX aktivitása V_4 és R_1 fenológiai fázis között 2,01 egységet csökkent. Ezzel ellentétesen 2019-es tenyészévben 4,56 egységgel nőtt, V_4 és R_1 fenológiai fázis között.

2. Vizsgálataim során megállapítottam, hogy a lipidperoxidáció és SOD aktivitása csökkent a fenológiai fázisokban. Az APX aktivitása V_4 fenológiai fázisról V_6 fenológiai fázisra kismértékben (0,5) növekedett, majd V_8 fenológiai fázisra jelentősen 3,1 egységgel csökkent.

3. A tenyészidőszakon belül, a fontos fenológiai fázisokban így a V_{14} fenológiai fázisban, az egyes markerfolyamatok vizsgálata, mint például az APX és LP mértékének elemzése adhatja a legpontosabb képet a kukoricanövényeket érő fiziológiai folyamatokról, ezen keresztül egészségi állapotáról.

4. A tartamkísérletek adatait értékelve megállapítottam, hogy a legkisebb APX aktivitást a kontroll parcella átlagértékei mutattak, legnagyobb értéket NPK 5 tápanyaszinten 9,14 egységgel mértem.

5. A nitrogén műtrágya szinteken alapuló korrelációsanalízis kimutatta, hogy a szemtermés szignifikánsan korrelált az APX aktivitásával és a lipidperoxidáció mértékével, azonban nem korrelált a SOD aktivitással.

6. N-dózis tartamkísérletben végzett vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a FAO 490 hibrid esetében az APX aktivitása kontroll és provokatív magas 300 kg/ha nitrogén tápanyagszinten (N5) magasabb volt, mint az N2 tápanyagszinten. Az eltérés kontrollhoz képest 13 %-kal magasabb, N5-höz képest pedig 11 %-kal. Az eredmények bizonyítják a 120 kg/ha nitrogén dózis kedvező hatását.

9. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

1. Az arányos és megfelelő mértékű (120 kg/ha N) műtrágya kijuttatás betartása nélkülözhetetlen a megfelelő termés mennyiség, minőség és biztonság elérése érdekében. A túlzó (300 kg/ha N) és hiányos (0 kg/ha NPK) NPK kijuttatás egyaránt káros a növény fiziológiai folyamatira, ezáltal a termés mennyiségét is befolyásolja.

2. A tenyészidőszakban növényeket érő fiziológiai folyamatok eltérően befolyásolhatják az egyes terméspараméterek kialakulását, mint például a termés mennyiségi és minőségi paraméterei. Ezáltal egyes marker fiziológiai folyamatok (APX, LP, SOD) tenyészidőszakon belüli gyors megbízható vizsgálata segít kiküszöbölni, az egyes stressz állapotból bekövetkező terméscsökkenést.

3. A szemtermés mennyiségének maximalizálása szempontjából jó indikátor az APX és LP aktivitásnak vizsgálata V_{14} fenológiai fázisban. Ezen vizsgálat segítségével a levél analízisnél, illetve talajvizsgálatnál gyorsabb módon kaphatunk visszajelzést a növényállományunk pillanatnyi fiziológiai állapotáról.

4. Vizsgálataim során megállapítottam, hogy tartamkísérletben az arányos NPK ellátás hatására (150 kg/ha N, 115 kg/ha P_2O_5, 135 kg/ha K_2O) a tápanyagszintek növelésével a FAO 490 hibrid APX aktivitása növekedett a kontrollhoz képest 26 %-kal, négy leveles korai fenológiai fázisban.

5. Korrelációvizsgálat alapján megállapítottam, hogy a tenyészévek (2019-2020), hibridek (FAO 360, FAO 490) és tápanyagszintek átlagában a termés szemnedvességének növekedésével nőtt az APX aktivitása ($R=0,548$), illetve olajtartalom növekedésével pedig csökkent az APX aktivitása ($R=0,557$).

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Prof. Dr. Nagy János professzor emeritus úrnak a kísérletek beállításában, kivitelezésében és a dolgozat elkészítésében nyújtott önzetlen segítségéért.

Köszönet a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep dolgozóinak, különösen Vad Attilának és Török Tamásnak a szántóföldi kísérlethez szükséges terület biztosításáért.

Köszönet a Doktori képzésem alatt nyújtott önzetlen segítéségért, támogatásért és szakmai tanácsért Prof. Dr. Kakuszi-Széles Adrienn-nek, Prof. Dr. Harsányi Endrének, Dr. Ragán Péternek, Dorogi Zsuzsannának. Elek Erzsébetnek és Baginé Hunyadi Ágnesnek.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Kovács Béla Róbert professzor úrnak a spektrofotométer használatához nyújtott segítségükért.

Köszönöm továbbá hallgatótársaimnak, Bojtor Csabának, Izsó-Szabó Atalának, Dr. Seyed Mohammad Nasir Mousavi-nak, Zagyi Péternek, Radócz Lászlónak és Duzs Lászlónak, akik mindig önzetlenül segítették a munkámat és hozzájárultak a doktori dolgozatom elkészítéséhez.

És végezetül köszönöm a mérhetetlen segítséget és támogatást családomnak és szeretteimnek.

11. NYILATKOZATOK

1. Nyilatkozat

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

Debrecen, 2023. …….

…….

a jelölt aláírása

2. Nyilatkozat

Tanúsítom, hogy **Illés Árpád** doktorjelölt 2019. február 01. – 2023. január 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, 2023. …….

…….

a témavezető aláírása

12. PUBLIKÁCIÓS LISTA

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/500/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Illés Árpád
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10060167

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

1. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Szabó, A., Nagy, J.: Eltérő agrotechnikai paraméterek hatása a különböző kukoricahibridek kelésdinamikai és terméspараметereire szántóföldi tartamkísérletben. *Növénytermelés. 71* (1), 21-32, 2022. ISSN: 0546-8191.
2. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Eltérő NPK-ellátottság hatása a kukorica hibridek lipidperoxidációjának mértékére. *Növénytermelés. 69* (3), 53-65, 2020. ISSN: 0546-8191.
3. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Ördög, V., Nagy, J.: Nostoc piscinale biostimulátor levéltrágya kezelés hatása a kukorica prolintartalmára, relatív víztartalom (RWC) értékére, termésmennyiségére és annak fehérjetartalmára. *Növénytermelés. 69* (1), 5-20, 2020. ISSN: 0546-8191.
4. **Illés, Á.**, Nagy, A., Tóth, B.: Fungicid készítmények hatásának vizsgálata a kukorica szuperoxid-dizmutáz aktivitására és a lipidperoxidációra fóliasátras és szántóföldi kísérletben. *Növénytermelés. 68* (1), 31-46, 2019. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

5. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Széles, A., Mousavi, S. M. N., Tóth, B., Nagy, J.: Effect of nitrogen fertiliser on the rate of lipid peroxidation of different maize hybrids in a long-term multifactorial experiment. *Acta Aliment. 50* (2), 162-169, 2021. ISSN: 0139-3006. DOI: http://dx.doi.org/10.1556/066.2020.00177 IF: 1
6. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., Marton, L. C., Ragán, P., Nagy, J.: Maize hybrid and nutrient specific evaluation of the population dynamics and damage of the western corn rootworm (Diabrotica Virgifera Virgifera LeConte) in a long-term field experiment. *Progress in Agricultural Engineering Sciences. 16* (1), 1-14, 2020. ISSN: 1786-335X. DOI: https://doi.org/10.1556/446.2020.00003

DEBRECENI EGYTEM Egyetemi és Nemzeti Könyvtár

7. **Illés, Á.**, Mousavi, S. M. N., Bojtor, C., Nagy, J.: The plant nutrition impact on the quality and quantity parameters of maize hybrids grain yield based on different statistical methods. *Cereal Res. Commun. 48*, 565-573, 2020. ISSN: 0133-3720.
DOI: https://doi.org/10.1007/s42976-020-00074-5
IF: 0.85

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (7)

8. Szabó, A., Mousavi, S. M. N., Bojtor, C., Ragán, P., Nagy, J., Vad, A., **Illés, Á.**: Analysis of Nutrient-Specific Response of Maize Hybrids in Relation to Leaf Area Index (LAI) and Remote Sensing.
Plants-Basel. 11 (9), 1-14, 2022. ISSN: 2223-7747.
DOI: https://doi.org/10.3390/plants11091197
IF: 4.658 (2021)

9. Shojaei, S. H., Mostafavi, K., Omrani, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Omrani, S., Mousavi, S. M. N., Nagy, J.: Comparison of Maize Genotypes Using Drought-Tolerance Indices and Graphical Analysis under Normal and Humidity Stress Conditions.
Plants-Basel. 11, 1-15, 2022. ISSN: 2223-7747.
DOI: https://doi.org/10.3390/ plants11070942
IF: 4.658 (2021)

10. Shojaei, S. H., Mostafavi, K., Amirparviz, L., Omrani, A., Omrani, S., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Evaluation of stability in maize hybrids using univariate parametric methods.
J. Crop Sci. Biotech. 25, 269-276, 2022. ISSN: 1975-9479.
DOI: https://doi.org/10.1007/s12892-021-00129-X

11. Khatibi, A., Omrani, S., Omrani, A., Shojaei, S. H., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Response of Maize Hybrids in Drought-Stress Using Drought Tolerance Indices.
Water. 14 (7), 1-10, 2022. EISSN: 2073-4441.
DOI: https://doi.org/10.3390/w14071012
IF: 3.53 (2021)

12. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Széles, A., Mousavi, S. M. N., Tóth, B., Nagy, J.: Analyzing the Effect of Intensive and Low-Input Agrotechnical Support for the Physiological, Phenometric, and Yield Parameters of Different Maize Hybrids Using Multivariate Statistical Methods.
Int. J. Agro. 2021, 1-11, 2021. ISSN: 1687-8159.
DOI: https://doi.org/10.1155/2021/6682573

13. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., Széles, A., Tóth, B., Szabó, A., Nagy, J.: Evaluation of Complete Fertilizer in the Aspect of the Antioxidant Enzyme System of Maize Hybrids.
Agronomy-Basel. 11 (11), 1-14, 2021. EISSN: 2073-4395.
DOI: http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11112129
IF: 3.949

DEBRECENI EGYETEM * Egyetemi és Nemzeti Könyvtár *

14. Shojaei, S. H., Mostafavi, K., Omrani, A., Omrani, S., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Yield Stability Analysis of Maize (Zea mays L.) Hybrids Using Parametric and AMMI Methods.
Scientifica. 2021, 1-9, 2021. EISSN: 2090-908X.
DOI: https://doi.org/10.1155/2021/5576691

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

15. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Ragán, P., Nagy, J.: Precíziós növénytermesztés növényvédelmi aspektusai.
In: Prega Science 2020 : Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics, [Agroinform Média Kft.], [Budapest], 1-6, 2021.

16. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Amerikai kukoricabogár (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) kártételének vizsgálata szántóföldi tartamkísérletben.
In: Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara XV. Növényorvos nap, Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara, Budapest, 109-112, 2020.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

17. **Illés, Á.**, Horváth, É., Duzs, L., Bojtor, C., Nagy, J.: Cianobaktréium lombtrágyakezelés hatása a kukorica szemtermésének mennyiségére, makro és mikroelem tartalmára.
In: XXIII. Tavaszi Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia. Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 41, 2020. ISBN: 9786155586705

18. **Illés, Á.**: Szisztematikus hatásmechanizmusú fungicid készítmények hatása a kukorica (Zea mays L.) szuperoxid-dizmutáz (SOD) aktivitásának és lipid-peroxidációjának (LP) változására.
In: Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara XIV. Növényorvos nap, Magyar Növényvédő Mérnöki és Növényorvosi Kamara, Budapest, 94-95, 2019.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

19. **Illés, Á.**, Nagy, J.: Effect of algae containing biostimulant foliar fertilization on the physiological parameters, yield quality and quantity of maize.
In: Abstract book of the 19th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: by Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 21, 2020. ISBN: 9789632698960

20. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Bojté, C., Nagy, J.: Effects of biostimulant foliar fertilization on maize (Zea mays L.) hybrid zinc content and yield parameter.
In: 4th Biostimulants World Congress : Abstract book for Oraland poster presentations, [s.n.], [Barcelona], 203, 2019.

DEBRECENI EGYETEM * Egyetemi és Nemzeti Könyvtár *

21. 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

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

22. Tóth, B., Bojtor, C., Hankovszky, G., Kaczur, D., **Illés, Á.**, Kovács, B.: Effects of industrial by-products on the food chain.
In: Land Reclamation in Ecological Fragile Areas. Ed.: Hu Zhenqi, Crc Press-Taylor & Francis Group, London, 539-542, 2017. ISBN: 9781138051034

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (11)

23. 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.

24. 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.

25. Horváth, D., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Széles, A., Nagy, J.: Eltérő kukorica (Zea mays L.) genotípusok relatív klorofilltartalma és terméspараméterei közötti összefüggésvizsgálat multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben.
Növénytermelés. 70 (3), 7-23, 2021. ISSN: 0546-8191.

26. Radócz, L., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Radócz, L., Szabó, A., Tamás, A., Kovács, G. E.: Fogékonysági vizsgálat Cryphonectria parasitica (Murr.) Barr gombával fertőzött tölgy (Quercus) fajokon.
Növénytermelés. 70 (4), 59-72, 2021. ISSN: 0546-8191.

27. Demeter, C., Széles, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Szabó, A., Bakos, Z., Zelenák, A., Nagy, J.: Normálédes és szuperédes csemegekukorica (Zea mays L. convar. sacharata Koern.) hibridek beltartalmi értékeinek összehasonlító elemzése.
Növénytermelés. 70 (2), 5-20, 2021. ISSN: 0546-8191.

DEBRECENI EGYETEM Egyetemi és Nemzeti Könyvtár

28. Demeter, C., Széles, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Eltérő genotípusú csemegekukorica (Zea mays L. convar. saccharata Koern.) hibridek fenometriai és terméselem vizsgálatainak eredményei.
Növénytermelés. 69 (4), 26-36, 2020. ISSN: 0546-8191.

29. 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.

30. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Nagy, J., Marton, L. C.: Nitrogéntrágyázás hatása eltérő kukorica hibridek szárazanyag-beépülésére és mikroelem-felvételére.
Növénytermelés. 69 (3), 5-26, 2020. ISSN: 0546-8191.

31. Bojtor, C., Duzs, L., **Illés, Á.**: Precíziós növényi vegetációvizsgálat.
In Green. 5 (2), 68-69, 2020. ISSN: 2498-7433.

32. Kaczur, D., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Győri, Z., Tóth, B.: Az alumínium toxicitás mérséklése baktérium készítménnyel a kukorica kezdeti növekedési stádiumában.
Gradus. 4 (2), 279-283, 2017. EISSN: 2064-8014.

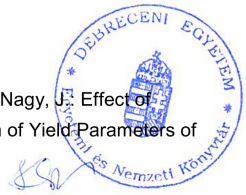
33. **Illés, Á.**, Bojtor, C., Kaczur, D., Győri, Z., Tóth, B.: Az ólom toxicitás hatásának vizsgálata a kukorica kezdeti növekedési stádiumában.
Gradus. 4 (2), 274-278, 2017. EISSN: 2064-8014.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

34. Huzsvai, L., Fejér, P., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Bojté, C., Horváth, É., Demeter, C.: Analysis of sweet corn nutritional values using multivariate statistical methods.
Agrártud. Közl. 1, 103-108, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/8587

35. Szabó, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Bakos, Z., Nagy, J.: Effect of the different nitrogen supply on the leaf area index and yield parameters of maize.
Növénytermelés. 70 (3), 117-120, 2021. ISSN: 0546-8191.

36. 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 (15)

37. Szabó, A., Széles, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., Radócz, L., Nagy, J.: Effect of Different Nitrogen Supply on Maize Emergence Dynamics, Evaluation of Yield Parameters of Different Hybrids in Long-Term Field Experiments.
Agronomy-Basel. 12 (2), 1-13, 2022. EISSN: 2073-4395.
DOI: uhttp://dx.doi.org/10.3390/agronomy12020284
IF: 3.949 (2021)

38. Omrani, A., Omrani, S., Khodarahmi, M., Shojaei, S. H., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., Nagy, J.: Evaluation of Grain Yield Stability in Some Selected Wheat Genotypes Using AMMI and GGE Biplot Methods.
Agronomy-Basel. 12 (5), 1-14, 2022. EISSN: 2073-4395.
DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12051130
IF: 3.949 (2021)

39. Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Golzardi, F., Széles, A., Szabó, A., Nagy, J., Marton, L. C.: Nutrient Composition Analysis of Maize Hybrids Affected by Different Nitrogen Fertilisation Systems.
Plants-Basel. 11, 1-14, 2022. ISSN: 2223-7747.
DOI: https://doi.org/10.3390/plants11121593
IF: 4.658 (2021)

40. Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Demeter, C., Bakos, Z., Vad, A., Abakeer, R. A., Sidahmed, H. M. I., Nagy, J.: Quantitative and qualitative yield in sweet maize hybrids.
Braz. J. Biol. 84, 1-9, 2022. ISSN: 1519-6984.
DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.265735

41. Shojaei, S. H., Mostafavi, K., Bihamta, M. R., Omrani, A., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Stability on Maize Hybrids Based on GGE Biplot Graphical Technique.
Agronomy-Basel. 12, 1-10, 2022. EISSN: 2073-4395.
DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12020394
IF: 3.949 (2021)

42. Tóth, B., Moloi, M. J., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Szőke, L., Nagy, J.: The Evaluation of the Effects of Zn, and Amino Acid-Containing Foliar Fertilizers on the Physiological and Biochemical Responses of a Hungarian Fodder Corn Hybrid.
Agronomy-Basel. 12, 1-17, 2022. EISSN: 2073-4395.
DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12071523
IF: 3.949 (2021)

43. **Illés, Á.**, Szabó, A., Mousavi, S. M. N., Bojtor, C., Vad, A., Harsányi, E., Sinka, L.: The Influence of Precision Dripping Irrigation System on the Phenology and Yield Indices of Sweet Maize Hybrids.
Water. 14 (16), 1-14, 2022. EISSN: 2073-4441.
DOI: https://doi.org/10.3390/w1416248
IF: 3.53 (2021)

44. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Mousavi, S. M. N., Széles, A., Tóth, B., Nagy, J., Marton, L. C.: Evaluation of the Nutrient Composition of Maize in Different NPK Fertilizer Levels Based on Multivariate Method Analysis.
Int. J. Agro. 2021, 1-13, 2021. ISSN: 1687-8159.
DOI: https://doi.org/10.1155/2021/5537549

DEBRECENI EGYETEM * Egyetemi és Nemzeti Könyvtár *

45. Mousavi, S. M. N., Bojtor, C., **Illés, Á.**, Nagy, J.: Genotype by Trait Interaction (GT) in Maize Hybrids on Complete Fertilizer.
Plants-Basel. 10 (11), 1-16, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: https://doi.org/10.3390/ plants10112388
IF: 4.658

46. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Horváth, É., Nagy, J., Marton, L. C.: Hybridspecific nutrient interactions and their role in maize yield quality.
Agron. Res. 19 (4), 1698-1710, 2021. ISSN: 1406-894X.
DOI: https://doi.org/10.15159/ar.21.148

47. Ördög, V., Stirk, W. A., Takács, G., Pőthe, P., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Széles, A., Tóth, B., Staden, J. v., Nagy, J.: Plant biostimulating effects of the cyanobacterium Nostoc piscinale on maize (Zea mays L.) in field experiments.
S. Afr. J. Bot. 140, 153-160, 2021. ISSN: 0254-6299.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.026
IF: 3.111

48. Bojtor, C., Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Széles, A., Nagy, J., Marton, C. L.: Stability and Adaptability of Maize Hybrids for Precision Crop Production in a Long-Term Field Experiment in Hungary.
Agronomy-Basel. 11 (11), 1-14, 2021. EISSN: 2073-4395.
DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11112167
IF: 3.949

49. Rácz, D., Gila, B., Horváth, É., **Illés, Á.**, Széles, A.: The efficiency of nitrogen stabilizer at different soil temperatures on the physiological development and productivity of maize (Zea mays L.).
Agron. Res. 19 (4), 1888-1900, 2021. ISSN: 1406-894X.
DOI: https://doi.org/10.15159/AR.21.146

50. Kovács, G. E., Szőke, L., Tóth, B., Kovács, B., Bojtor, C., **Illés, Á.**, Radócz, L., Moloi, M. J., Radócz, L.: The Physiological and Biochemical Responses of European Chestnut (Castanea sativa L.) to Blight Fungus (Cryphonectria parasitica (Murill) Barr).
Plants-Basel. 10 (10), 1-15, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: https://doi.org/10.3390/plants10102136
IF: 4.658

51. Mousavi, S. M. N., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: The impact of different nutritional treatments on maize hybrids morphological traits based on stability statistical methods.
Emir J Food Agric. 32 (9), 666-672, 2020. ISSN: 2079-052X.
DOI: http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i9.2147
IF: 1.041

DEBRECENI EGYETEM Egyetemi és Nemzeti Könyvtár

Magyar nyelvű konferencia közlemények (6)

52. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Nagy, J.: Levélen keresztüli növénytáplálás eredményei.
In: Prega Science 2020 : Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics, [Agroinform Média Kft.], [Budapest], 1-4, 2021.

53. **Illés, Á.**: Az ólomtoxicitás mérséklési lehetőségének vizsgálata baktérium készítményekkel, hidropóniásan nevelt kukoricánál.
In: Tudományos diákköri közlemények 3. : A DE MÉK Kari tudományos diákköri konferencia díjazott előadásainak kivonatai. Szerk.: Gyüre Péter, Juhász lajos, MÉK, Debrecen, 33-38, 2018. ISBN: 9789634901501

54. Kaczur, D., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Győri, Z., Tóth, B.: Az alumínium toxicitás mérséklése baktérium készítménnyel a kukorica kezdeti növekedési stádiumában.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely : [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 190-197, 2017. ISBN: 9789639639898

55. **Illés, Á.**, Kaczur, D., Bojtor, C., Győri, Z., Tóth, B.: Az ólom toxicitás mérséklési lehetőségének vizsgálata élő baktériumokat tartalmazó biológiai készítménnyel.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 183-189, 2017. ISBN: 9789639639898

56. Tóth, B., Bojtor, C., **Illés, Á.**, Nkebiwe, P. M., Győri, Z., Neumann, G.: Az újrahasznosítható melléktermékek és néhány baktérium vizsgálata a foszfor-utánpótlás tekintetében.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 538-544, 2017. ISBN: 9789639639898

57. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Kaczur, D., Győri, Z., Tóth, B.: Két őszibarack fajtajelölt vasfelvételének vizsgálata.
In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely : [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 39-44, 2017. ISBN: 9789639639898

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

58. Horváth, É., **Illés, Á.**, Duzs, L., Bojtor, C., Széles, A.: A N ellátottság hatása különböző genotípusú kukoricahibridek klorofilltartalmára eltérő évjáratban.
In: XXIII. Tavaszi Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia, Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 39-40, 2020. ISBN: 9786155586705

59. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Horváth, É., Duzs, L., Nagy, J., Marton, L. C.: Eltérő nitrogénellátottság hatása a kukoricahibridek kezdeti fejlődésének mikroelemfelvételi dinamikájára.
In: XXIII. Tavaszi Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia. Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 28, 2020. ISBN: 9786155586705

60. Bojté, C., Bojtor, C., Hajósné Novák, M., **Illés, Á.**, Horváth, B., Lovász, C., Nagy, J., Czerődiné Kempf, L., Nagy, N. E., Tímár, E., Micsinai, A.: A szója (Glycine max L.) vetőmagok genetikai homogenitás vizsgálata Maldi-TOF Készülékkel.
In: Hungalimentaria 2019 : "Ésszel a kosárba" : konferencia és kiállítás, Wessling Hungary Kft., Budapest, 24-25, 2019.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (7)

61. Szabó, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Analysis of SPAD values in FAO 380-410 maize under different nitrogen levels in long-term field experiment.
In: Modern development of science and the latest perspectives, International Science Group, Vancouver, 13-16, 2022. ISBN: 9798887575636

62. Szabó, A., **Illés, Á.**, Bojtor, C., Nagy, J.: Evolution of maize leaf area index dynamics under different nitrogen levels.
In: 19th Wellmann International Scientific Conference : Book of abstract. Ed.: Kiss Orsolya, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 64, 2022. ISBN: 9789633068601

63. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Nagy, J., Marton, L. C.: Nitrogen fertilization level: an important factor of plant's nutrient distribution in long-term field experiment.
In: Abstract book of the 19th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: by Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 22, 2020. ISBN: 9789632698960

64. 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

65. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Nagy, J.: Application of microalgae-containing bio-fertilizer in maize.
In: 9th Microalgae and Seaweed Products in Plant/Soil-Systemps: Mosonmagyaróvár, Hungary, June 25-26, 2019 : Book of abstracts, Széchenyi István University, Mosonmagyaróvár, 32, 2019.

66. Bojtor, C., **Illés, Á.**, Marton, L. C., Nagy, J.: Effect of microalgae-containing bio-fertilizer on the magnesium content and growth parameters of maize (Zea mays L.).
In: 4th Biostimulants World Congress : Abstract book for Oraland poster presentations, [s.n.], [Barcelona], 204, 2019.

DEBRECENI EGYETEM * Egyetemi és Nemzeti Könyvtár *

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

67. **Illés, Á.**, Győri, Z., Nagy, A., Sipos, P., Tóth, B.: Effects of fungicides on key plant physiological parameters of Zea mays L. and on changes in superoxide-dismutase (SOD) and lipid-peroxidase (LP) activity.
In: 17th Alps-Adria Scientific Workshop : Abstract book. Ed.: Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 46-47, 2018. ISBN: 9789632697345

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 60,046
A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 18,645

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

Debrecen, 2022.12.15.

DEBRECENI EGYETEM * Egyetemi és Nemzeti Könyvtár *

13. SZAKIRODALMI JEGYZÉK

1. Abd Elgawad H. - Zinta G. - Hegab M. M. - Pandey R. - Asard H. - Abuelsoud W. (2016): High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. *Frontiers in plant science,* 7, 276.
2. Aly A. A. - Mohamed A. A. - (2012): The impact of copper ion on growth, thiol compounds and lipid peroxidation in two maize cultivars (*Zea mays* L.) grown in vitro'. *Australian journal of crop science*, 6(3), 541.
3. Andréia C. - Gisele P. - Silvia B. R. - Carolina W. R. - Fernanda L. - Márcia M. P. (2012): Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection, *Genet mol biol*, 35: 1011–1019.
4. Bai X. - Yang L. - Yang Y. - Ahmad P. - Yang Y. - Hu X. (2011): Deciphering the protective role of nitric oxide against salt stress at the physiological and proteomic levels in maize. *J. Proteome Res*. 10, 4349–4364.
5. Baudouin E. (2011): The language of nitric oxide signalling. Plant Biol. 13, 233–242.
6. Beyer W. F. Jr. (1987): Fridovich, I. Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in conditions. *Anal. Biochem*. 1987, 161, 559–566.
7. Bhattacharjee S. (2014): Membrane lipid peroxidation and its conflict of interest: the two faces of oxidative stress, *Current Science* 107.11.1811-1823.
8. Blokhina O. - Virolainen E. - Fagerstedt K. V. (2003): Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: *A review*. *Ann. Bot*. 91, 179–194.
9. Bradley D. – Kjellbom P. – Lamb C. (1992): Elicitor- and wound-induced oxidative cross-linking of a proline-rich plant cell wall protein: a novel, rapid defense response. *Cell* 70: 21–30
10. Chugh V. - Kaur N. - Gupta A. K. (2011): Evaluation of oxidative stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) seedlings in response to drought.
11. Clarke A. - Desikan R. - Hurst R. D. - Hancock J. T. - Neill S. J. (2000): NO way back: nitric oxide and programmed cell death in Arabidopsis thaliana suspension cultures. *Plant* J. 24, 667–677.
12. Cobbina J. - Miller M. H. (1987): Purpling in Maize Hybrids as Influenced by Temperature and Soil Phosphorus 1. *Agronomy Journal,* 79(3), 576-582

13. Crawford M. - GUO F. (2005): New insights into nitric oxide metabolism and regulatory functions. *Trends Plant Sci*. 10, 195–200.
14. Darkó É. - Pál M. - Janda T. (2022): Abiotic stress responses and tolerance in wheat under climate change. In Sustainable Crop Productivity and Quality Under Climate Change. *Academic Press*. 137-155.
15. De Azevedo Neto A. D. – Prisco J. T. - Enéas-Filho J. - Abreu C. E. B. - Gomes-Filho, E (2006): Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 56(1), 87–94.
16. de Mendiburu F.:(2016). Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-4. http://CRAN.R-project.org/package=agricolae
17. Delledonne M. - Zeier J. - Marocco A. - Lamb C. (2001): Signal interactions between nitric oxide and reactive oxygen intermediates in the plant hypersensitive disease resistance response. *Proc Natl Acad Sci* USA 98:13454–9.
18. Domingos P. - Prado A. M. - Wong A. - Gehring C. - Feijo J. A. (2015): Nitric oxide: a multitasked signaling gas in plants. Mol. *Plant*. 8, 506–520.
19. Duff S. M. - Moorhead G. B. - Lefebvre D. D. - Plaxton W. C. (1989): Phosphate starvation induciblebypasses' of adenylate and phosphate dependent glycolytic enzymes in Brassica nigra suspension cells. *Plant Physiology*, 90(4), 1275-1278.
20. Egbichi I. - Keyster M. - Ludidi N. (2014): Effect of exogenous application of nitric oxide on salt stress responses of soybean. *South Afr. J. Bot*. 90, 131–136.
21. Elavarthi S. - Martin B. (2010): Spectrophotometric Assays for Antioxidant Enzymes in Plants. *Plant Stress Tolerance,* 273–280.
22. Foyer C. H. - Noctor G. (2005): Redox homeostasis and antioxidant signalling: a metabolic link between stress perception and physiological responses. *The Plant Cell*, 17. 1866-1875.
23. Fujita M. - Fujita Y. - Noutoshi Y. - Takahashi F. - Narusaka Y. - Yamaguchi-Shinozaki K. - Shinozaki K. (2006): Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signalling networks. *Current Opinion in Plant Biology*. 9.436-442.
24. Ge T. - Suo F. - Bai L. - Lu Y. - Zhou G. (2005): Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize. Zhongguo nongye kexue, 38(5), 922-928.

25. Giannopolitis C. N. - Ries S. K. (1977): Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol*. 1977, 59, 309–314.
26. Gould K. S. - Lamotte O. - Klinguer A. - Pugin A. - Wendehenne D. (2003): Nitric oxide production in tobacco leaf cells: a generalized stress response? *Plant Cell Environ*. 26, 1851–1862.
27. Hanway J. J. (1966): "How a corn plant develops", Special Report. 38.
28. Heath R. L. - Packer L (1968): Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxida-tion. Arch. Biochem. *Biophys*. 1968, 125(1), 189-198.
29. Heath R. L. - Packer L. (1968): Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, 125(1), 189-198.
30. Hussain H. A. - Men S. – Hussain S. - Chen Y. - Ali S. - Zhang S. – Wang L. (2019): Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.
31. Illes A. - Bojtor C. - Szeles A. - Mousavi S. M. N. - Toth B. - Nagy J. (2021): Analyzing the Effect of Intensive and Low-Input Agrotechnical Support for the Physiological, Phenometric, and Yield Parameters of Different Maize Hybrids Using Multivariate Statistical Methods," International Journal of Agronomy,
32. J Janni B. R. - Weinstock L. - Hagen S. Wright (2008): Novel near-infrared sampling apparatus for single kernel analysis of oil content in maize. *Applied Spectroscopy, vol*. 62, no. 4. 423–426.
33. Jablonska T A (2017): Pesticides as Inducers of Oxidative Stress, Reactive Oxygen Species 3.8.96–110.
34. Janda T. - Darko É. - Shehata S. - Kovács V. - Pál M. - Szalai G. (2016): Salt acclimation processes in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 101, 68-75.
35. Janda T. – Szalai G. - Tari I. - Paldi E. (1999): Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta*, 1999, 208(2), 175-180.
36. Jiang Z. W. – W. X. Lin – Y. Z. Li – C. Y. Zhuo – H. J. Yang – H. A. Xie (2005): Effects of nitrogen fertilizer rateson some physiological characteristics of ratoon rice," *Fujian Academy of Agricultural Sciences,* v. 3, p. 168-171.

37. Kaiser W. M. (1976): The effect of hydrogen peroxide on CO_2 fixation of isolated chloroplasts. *Biochim. Biophys.* Ada 440: 476-482.
38. Kaiser W. M. (1979): Reversible inhibition of the Calvin cycle and activation of oxidative pentose phosphate cycle in isolated intact chloroplasts by hydrogen peroxide. *Planta* 145: 377-382.
39. Karpinski S. - Reynolds H. - Karpinska B. - Wingsle G. - Creissen G. – Mullineaux P. (1999): Systemic signaling and acclimation in response to excess excitation energy in Arabidopsis. *Science* 284, 654–657.
40. Kawakami S. - Matsumoto Y. - Matsunaga A. - Mayama S. - Mizuno M. (2002): Molecular cloning of ascorbate peroxidase in potato tubers and its response during storage at low temperature. *Plant Sci.* 163, 829–836.
41. Kaya C. - Şenbayram M. - Akram N. A. - Ashraf M. - Alyemeni M. N. - Ahmad P. (2020): Sulfur-enriched leonardite and humic acid soil amendments enhance tolerance to drought and phosphorus deficiency stress in maize (*Zea mays* L.). *Scientific reports,* 10(1), 1-13.
42. Kellős T. (2008): Effect of abiotic stress on antioxidants in maize. *Acta Biologica Szegediensis,* 52(1), 173-174.
43. Khan I. - Ahmad A. - Iqbal M. (2009): Modulation of antioxidant defense system for arsenic detoxification in Indian mustard. *Ecotoxic. Environ. Saf.* 72, 626–634.
44. Király Z. - El-Zahaby H. M. - Klement Z. J. (1997): Role of extracellular polysaccharide (EPS) slime of plant pathogenic bacteria in protecting cells to reactive oxygen species. *Phytopathology* 145, 59–68
45. Klapheck S. - Zimmer I. - Cosse H. (1990): Scavenging of hydrogen peroxide in the endosperm of Ricinus communis by ascorbate peroxidase. *Plant and Cell Physiology,* 31(7), 1005-1013.
46. Klepper L. (1979): Nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO_2) emissions from herbicide- treated soybean plants. *Atmos. Environ.* 13, 537–542.
47. Klepper L. (1991): NOx, evolution by soybean leaves treated with salicylic and selected derivatives. Pesticide Biochem. *Physiol.* 39 (1), 43–48.
48. Kolbert Z. - Bartha B. - Erdei L. (2005): Generation of nitric oxide in roots of *Pisum sativum*, *Triticum aestivum* and *Petroselinum crispum* plants under osmotic and drought stress. *Acta Biol. Szeged.* 49, 13–16.

49. Krantev A. - Yordanova R. - Janda T. – Szalai G. - Popova L. (2008): Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of plant physiology*, 165(9), 920-931.
50. Kutasy E. - Buday-Bódi E. - Virág I. C. - Forgács - Melash A. A. - Zsombik L. - Csajbók, J (2021): Mitigating the Negative Effect of Drought Stress in Oat (*Avena sativa* L.) with Silicon and Sulphur Foliar Fertilization. *Plants*, 11(1), 30.
51. Lamb C. - Dixon R. A. (1997): The oxidative burst in plant disease resistance. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 48: 251–275.
52. Larcher W. (1987): Streb bei Pflanzen. *Naturwissenschaften* 74, 158-167
53. Lee J. H. - Coi J. G. - Cho Y. K. (1998): Correlation of Lipid Peroxidation in Botrytis cinerea Caused by Dicarboximide Fungicides with Their Fungicidal Activity. *J. Agric. Food Chem*. 46.2.737–741. p.
54. Levine A. - Tenhaken R. - Dixon R. - Lamb C. (1994): H_2O_2 from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. *Cell*. 79: 583–593
55. Liao L. - Dong T. - Qiu X. - Rong Y. - Sun G. – Wang Z. - Zhu J. (2019): Antioxidant enzyme activity and growth responses of Huangguogan citrus cultivar to nitrogen supplementation. Bioscience, *Biotechnology, and Biochemistry*, 83(10), 1924-1936.
56. Lichtenthaler H. K. – U. rrnderle (1988): The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *Critical Reviews in Analytical Chemistty* 19, Suppl. I, 29-85
57. Lichtenthaler H. K. (1996): Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology,* 148(1-2), 4–14.
58. Liu J. - Xu L. - Shang J. - Hu X. - Yu H. - Wu H. - Zhao, Y. (2021): Genome-wide analysis of the maize superoxide dismutase (SOD) gene family reveals important roles in drought and salt responses. *Genetics and Molecular Biology*, 44.
59. Locato V. - Cimini S. – Gara L. D. (2013): Strategies to increase vitamin C in plants: from plant defense perspective to food biofortification. *Frontiers in plant science, 4, 152*.
60. Marklund S. L. (1985): Product of extracellular-superoxide dismutase catalysis. FEBS Letters, 184(2), 237–239.
61. Markovska Y. K. - Gorinova N. I. - Nedkovska M P. - Miteva K. M. (2009): Cadmium-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Brassica juncea* plants. *Biol. Plant*. 53, 151–154.

62. Moharramnejad S. - Sofalian O. - Valizadeh M. - Asghari A. - Shiri M. R. -Ashraf, M. (2019): Response of maize to field drought stress: oxidative defense system, osmolytes'accumulation and photosynthetic pigments. *Pak. J. Bot*, *51*(3), 799-807.
63. Montillet J. L. - Chamnongpol S. - Rusterucci C. - Dat J. - Van De Cotte. B. - Agnel, J-P. – Battesti - C. - Inze D. - Van Breusegem F. – Triantaphylides C. (2005): Fatty acid hydroperoxides and H_2O_2 in the execution of hypersensitive cell death in tobacco leaves. *Plant Physiol* 138: 1516–1526
64. Nagy J. - Hadászi L. - Illés Á. – Bojtor Cs. – Zelenák A. - Nyéki A. (2020): Fornad (FAO 420) „Smart" kukorica hibrid termesztési eredményei, *Növénytermelés* 69 2020, 2
65. Nagy J. (2021): Kukorica a Nemzet Aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Budapest, Magyarország: Szaktudás Kiadó Ház Zrt. (2021)
66. Nakano Y. - Asada K. (1981): Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Phys-iol*. 22(5), 867-880.
67. Neill S. - Desikan R. – Hancock J. (2002): Hydrogen peroxide signaling. Curr. Opin. *Plant Biol*. 5: 388–395.
68. Nishimura T. (1986): Antimicrobial Chematheraphy of Infections Due to Pseudornonas aeruginosa. pp. 470–478.
69. Noctor G - Foyer C. H. (1998): A re-evaluation of the ATP: NADPH budget during C3 photosynthesis: a contribution from nitrate assimilation and its associated respiratory activity? *Journal of Experimental Botany*, 49(329), 1895-1908.
70. Noein B. - Soleymani A. (2022): Corn (*Zea mays* L.) physiology and yield affected by plant growth regulators under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation,* 41(2), 672-681.
71. Nouairi I. - Ammar W. B. - Youssef N. B. - Miled D. D. B. - Ghorbal M. H. Zarrouk M. (2009): Antioxidant defense system in leaves of Indian mustard (*Brassica juncea*) and rape (*Brassica napus*) under cadmium stress. *Acta Physiol. Plant*. 31, 237–247.
72. Obersteiner M. – Peñuelas J. - Ciais P. - van der Velde M. - Janssens I. A. (2013): The phosphorus trilemma, *Nat. Geosci*. 6, 897–898.
73. Pál M. - Horváth E. - Janda T. - Páldi E. - Szalai G. (2006): Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169 (2), 239-246.

74. Pandey R. - Zinta G. - AbdElgawad H. - Ahmad A. - Jain V. - Janssens I. A. (2015): Physiological and molecular alterations in plants exposed to high [CO_2] under phosphorus stress. *Biotechnology Advances,* 33(3-4), 303-316.
75. Pandey S. - Fartyal D. - Agarwal A. - Shukla T. - James D. - Kaul T. - Reddy M. K. (2017): Abiotic Stress Tolerance in Plants: Myriad Roles of Ascorbate Peroxidase. *Frontiers in Plant Science*, 8
76. Passardi F. - Theiler G. - Zamocky M. - Cosio C. - Rouhier N. - Teixera F. -Dunand C. (2007): PeroxiBase: the peroxidase database. *Phytochemistry*, 68(12), 1605-1611.
77. Pastori G. - Foyer C.H. (2002): Common components, networks, and pathways of cross- tolerance to stress. The central role of "redox" and abscisic acid-mediated controls. *Plant Physiol*., 129: 460-468.
78. Pimentel D. - Lach L. - Zuniga R. - Morrison D. (2000): Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience,* 50(1), 53-66.
79. Pimentel D. - Lach L. - Zuniga R. - Morrison D. (2003): Environmental and economic costs of alien arthropods and other organisms in the United States. Invasive arthropods in agriculture: problems and solutions. *Science Publishers Inc*., EnŞeld, NH. 107Ğ117.
80. Pinto A. P. - Alves A. S. - Candeias A. J. - Cardoso A. I. - De Varennes A. - Martins L. L. (2009): Cadmium accumulation and antioxidative defenses in *Brassica juncea* L. Czern, *Nicotiana tabacum* L. and *Solanum nigrum* L. Int. J. Environ. *Anal. Chem.* 89, 661–676.
81. Pucciariello C. - Perata P. (2017): New insights into reactive oxygen species and nitric oxide
82. Qu, C. - Wang L. - Zhao Y. - Liu C. (2020): Molecular evolution of maize ascorbate peroxidase genes and their functional divergence. *Genes,* 11(10), 1204.
83. Rácz D. - Szőke L. - Tóth B. – Kovács B. - Horváth É. - Zagyi P. - Széles A. (2021): Examination of the Productivity and Physiological Responses of Maize (*Zea mays* L.) to Nitrapyrin and Foliar Fertilizer Treatments. *Plants,* 10(11), 2426.
84. Ray D. K. - West P. C. - Clark M. - Gerber J. S. – Prishchepov - A. V. - Chatterjee, S. (2019): Climate change has likely already affected global food production. PloS one, 14(5)

85. Rizwana B. - Rupesh T. - Adil H. - Krishnanand P. K. - Qari M. - Bong-G M. - Byung-W Y. (2019): Nitric oxide regulates plant responses to drought, salinity, and heavy metal stress, *Environmental and Experimental Botany*. 161, 120-133.
86. Robinson J. M. - M. G. S.- M. Gibbs. (1980): Influence of hydrogen peroxide upon carbon dioxide photoassimilation in the spinach chloroplasts. *Plant Physiol*. 65: 755—759.
87. Rohman M. M. - Islam M. R. - Naznin T. - Omy S. H. - Begum S. - Alam S. S. - Hasanuzzaman M. (2019): Maize Production Under Salinity and Drought Conditions: Oxidative Stress Regulation by Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. In Plant Abiotic Stress Tolerance (pp. 1-34). *Springer,* Cham.
88. Rosa S B. - Caverzan A. - Teixeira F K. - Lazzarotto F. - Silveira J A G. - Ferreira-S. L. - Margis-P M. (2010): Cytosolic APx knockdown indicates an ambiguous redox responses in rice. *Phytochemistry*, 71(5-6), 548–558.
89. *RStudio Team*.:2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL: http://www.rstudio.com/
90. Saurabh P. - Dhiren F. - Aakrati A. - Tushit S. - Donald J. - Tanushri K. - Yogesh K. - Sandeep A. - Malireddy K. (2017): Abiotic Stress Tolerance in Plants: Myriad Roles of Ascorbate Peroxidase, *Front. Plant Sci*. 8:581.
91. Singh S. K. - Reddy V. R. - Fleisher D. H. – Timlin D. J. (2017): Relationship between photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in soybean under varying phosphorus nutrition at ambient and elevated CO_2. *Photosynthetica,* 55(3), 421-433.
92. Smeets K. - Ruytinx J. - Semane B. - Van Belleghem F. - Remans T. - Van Sanden S. (2008): Cadmium-induced transcriptional and enzymatic alterations related to oxidative stress. *Environ. Exp*. Bot. 63, 1–8.
93. Sudhakar C. - Lakshmi A. - Giridarakumar S (2001): Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypesof mulberry (Morus albaL.) under NaCl salinity. *Plant Science*. 161, 613–619, 2001.
94. Széles A. - Kovács K. - Ferencsik S. (2019): The effect of crop years and nitrogen basal and top dressing on the yield of different maize genotypes and marginal revenue. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 123.3: 265-278.
95. Tewari R. K. - Kumar P. – Tewari N. - Srivastava S. - Sharma P. N. (2004): Macronutrient deficiencies and differential antioxidant responses—influence on the activity and expression of superoxide dismutase in maize. *Plant science*, 166(3), 687-694.

96. Trinch C. D. - Laplaze L. - Guyomarc'h S. (2018): Lateral root formation: building a meristem de novo. *Annual Plant Reviews Online*, 847-890.

97. Van Breusegem F. - Vranova E. - Dat J. F. - Inzé D (2001): The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Sci.,* 161: 405–414.

98. Vaughan M. M. – Block A. - Christensen S. A. - Allen L. H. - Schmelz E. A. (2018): The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phytochemical defenses. *Phytochemistry Reviews*, 17 (1), 37-49.

99. Vuletić M. - Hadži-Tašković Šukalović V. - Marković K. – Kravić N. - Vučinić, Ž. - Maksimović V. (2014): Differential response of antioxidative systems of maize (*Zea mays* L.) roots cell walls to osmotic and heavy metal stress. *Plant Biology*, 16 (1), 88-96.

100. Wang P. - Du Y. - Li Y. - Ren D. - Song C. P. (2010): Hydrogen peroxide-mediated acti- vation of map kinase 6 modulates nitric oxide biosynthesis and signal transduction in Arabidopsis. *Plant Cell* 22, 2981–2998.

101. Wang Y. - Wisniewski M. - Meilan R. - Cui M. - Webb R. - Fuchigami L. (2005): Overexpression of cytosolic ascorbate peroxidase in tomato confers tolerance to chilling and salt stress. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 130, 167–173.

102. Warnes, G. R. – Bolker, B. – Bonebakker, L. – Gentleman, R. – Liaw, W. H. A – Lumley T, Maechler M – Magnusson A, Moeller S, Schwartz M, Venables B. Gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data. 2015. R package version 2.17.0 http://CRAN.R-project.org/package=gplots.

103. Wilson I. D. - Neill S. J. - Hancock J. T. (2008): Nitric oxide synthesis and signalling in plants. *Plant Cell Environ.* 31, 622–631.

104. Wu J. - Fu T. - Zheng C. - Yang G. - Shen F. (2015): Effects of Nitrogen Fertilizer on Biomass, Chlorophyll Content and Antioxidant Enzyme Activities of *Picris Japonica* Thunb under Pb Stress. *Acta Agric. Boreali-Sin, 30*, 213-218.

105. Yoshimura K. - Yabuta Y. - Ishikawa T. - Shigeoka S. (2000): Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiol.* 123, 223–234.

106. Yu M. - Lamattina L. - Spoel S. H. - Loake G. J. (2014): Nitric oxide function in plant biology: a redox cue in deconvolution. *New Phytol.* 202, 1142–1156.

107. Yue K. - Li L. - Xie J. - Fudjoe S. K. – Zhang R. - Luo Z. - Anwar, S. (2021): Nitrogen Supply Affects Grain Yield by Regulating Antioxidant Enzyme Activity and Photosynthetic Capacity of Maize Plant in the Loess Plateau. *Agronomy*, 11, 1094.

108. Yun B. W. - Feechan A. - Yin M. - Saidi N B. - LE B. - Moore J W. - Kang J G. - Kwon E. - Spoel S H. - Pallas J A. - Loake G J. (2011): S-nitrosylation of NADPH oxidase regulates cell death in plant immunity. *Nature* 478, 264–268.

109. Zhang L. -X - Li, S. -X. - Zhang H. - Liang Z. S. (2007): Nitrogen Rates and Water Stress Effects on Production, Lipid Peroxidation and Antioxidative Enzyme Activities in Two Maize (*Zea mays* L.) Genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(6), 387–397.

Internetes hivatkozások

Internet 1: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Letöltés dátuma: 2023.02.13

Könyv:

Szigeti Zoltán. 2007: Növények és a stressz 950-1017 In: Növényélettan: Láng Ferenc. Elte Eötvös kiadó, Budapest. 1024 p.

14. Mellékletek

1. számú melléklet: A kísérlet vetéstérképe

