

**DEBRECENI EGYETEM**  
**KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA**

*Doktori Iskola vezető*

**Prof. Dr. Holb Imre**

MTA doktora

*Témavezető:*

**Prof. Dr. Marton L. Csaba**

MTA doktora

**A KUKORICA HIBRIDEK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VÁLTOZÁSAINAK  
HATÁSA A NÖVÉNYI EGÉSZSÉGRE**

*Készítette:*

**Bojtor Csaba**

doktorjelölt

**DEBRECEN**

**2023**

**A KUKORICA HIBRIDEK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VÁLTOZÁSAINAK  
HATÁSA A NÖVÉNYI EGÉSZSÉGRE**

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

Írta: **Bojtor Csaba**  
okleveles növényorvos

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

**Témavezető:**  
Prof. Dr. Marton L. Csaba  
MTA doktora

**Az értekezés bírálói:**

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

**A bírálóbizottság:**

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

Az értekezés védésének időpontja: 2023. ....

TARTALOMJEGYZÉK.....	2
1. BEVEZETÉS.....	4
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	6
2.1. Kukoricatermesztés lokális és globális helyzete.....	6
2.2. Kukoricatermesztést befolyásoló klimatikus és edafikus tényezők.....	10
2.3. A kukorica korszerű tápanyag – és vízgazdálkodása.....	11
2.4. Szárazanyag- és tápelemakkumulációt befolyásoló tényezők.....	12
2.5. A kukorica esszenciális tápelemeinek szerepe.....	15
2.5.1. Makroelemek jelentősége.....	15
2.5.2. Mezoelemek, másodlagos makroelemek jelentősége.....	20
2.5.3. Esszenciális mikroelemek jelentősége.....	21
2.6. Tápanyagellátottság és termés összefüggései.....	22
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	25
3.1. A kísérleti terület jellemzői.....	25
3.2. A vizsgált évek időjárása.....	26
3.3. Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet bemutatása.....	26
3.4. Szántóföldi kísérleti agrotechnika.....	28
3.5. Szárazanyagbeépülési dinamika értékelése.....	29
3.6. Kukorica tápelem-összetétele.....	29
3.6.1. Esszenciális tápelemek analitikai meghatározása.....	29
3.7. Termés mennyiségi és minőségi értékelése.....	30
3.7.1. Termés mennyiségi meghatározása.....	30
3.7.2. Termésminőséget jellemző paraméterek mérése.....	30
3.8. Statisztikai értékelés.....	30
4. EREDMÉNYEK.....	32
4.1. Szárazanyagbeépülési dinamika értékelése.....	32
4.1.1. Nitrogéntrágyázás hatása a kukorica szárazanyag beépülésére.....	33
4.1.2. Eltérő évjárat szárazanyag beépülést módosító hatásának értékelése.....	36
4.2. Makroelemek felhalmozódási jellemzőinek értékelése.....	37
4.2.1. Növényi részek makroelem akkumulációja.....	39
4.2.2. Eltérő nitrogéntrágyázás makroelem-felvételt befolyásoló hatása.....	42
4.2.3. Évjáratok sajátosságok a nitrogén, foszfor és kálium akkumulációban.....	44
4.3. Mezoelemek felhalmozódási jellemzőinek értékelése.....	46
4.3.1. Növényi részek mezoelem akkumulációja.....	48
4.3.2. Eltérő nitrogéntrágyázás mezoelem-felvételt befolyásoló hatása.....	51
4.3.3. Évjáratok sajátosságok a magnézium, kalcium és kén akkumulációban.....	53
4.4. Mikroelemek felhalmozódási jellemzőinek értékelése.....	55
4.4.1. Növényi részek mikroelem akkumulációja.....	56
4.4.2. Eltérő nitrogéntrágyázás mikroelem-felvételt befolyásoló hatása.....	60
4.4.3. Évjáratok sajátosságok a cink, vas, mangán és réz akkumulációban.....	62
4.5. Termés mennyiségi és minőségi jellemzőinek értékelése.....	64
4.5.1. Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termés mennyiségére.....	64
4.5.2. Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésminőségét jellemző paraméterekre.....	66
4.6. A tápelem-akkumulációnak a termés kvantitatív és kvalitatív jellemzőire kifejtett hatásainak értékelése.....	69

4.6.1. Esszenciális tápelemek és a termésmennyiség összefüggésvizsgálata .....	70
4.6.2. Esszenciális tápelemek és a fehérjetartalom összefüggésvizsgálata .....	71
4.6.3. Esszenciális tápelemek és a keményítőtartalom összefüggésvizsgálata .....	72
4.6.4. Esszenciális tápelemek és az olajtartalom összefüggésvizsgálata .....	73
4.6.5. Esszenciális tápelemek és a szemnedvesség összefüggésvizsgálata.....	74
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	75
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	80
7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK .....	82
8. ÖSSZEFOGLALÁS .....	83
9. SUMMARY .....	90
10. IRODALOMJEGYZÉK .....	97
11. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK .....	115
12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	126
13. NYILATKOZATOK .....	127
MELLÉKLETEK.....	128

## 1. BEVEZETÉS

A különböző talajtulajdonságok, tápanyagellátási-, vízellátottsági és egyéb klimatikus viszonyok együttesen hatnak a növények fejlődésére. A növénytermesztés célja ezen ható tényezők mentén a növények részére az optimális termesztési rendszer megteremtése, a teljes fejlődési folyamat során.

A kukorica (*Zea mays* L.) napjaink egyik elsődleges termesztett növénykultúrája, amelynek a termés mennyiségi és minőségi növelése kiemelt fókuszterület a világon. (Xin et al., 2016). A növénytermesztési gyakorlatban a klímaváltozás – klímaváltozékonyság fokozódásával előtérbe kerül a precíziós gazdálkodás, amely az okszerű tápanyagutánpótláson keresztül képes biztosítani a magas és kiváló minőségű terméshozamokat. Nagy (2007a) kutatásában megállapítja, hogy a megfelelő tápanyagdózis megválasztása kiemelten nehéz a termesztés során, hiszen számos környezeti és genotípusra jellemző paramétert kell egyszerre figyelembe venni. A szántóföldi tartamkísérletek megbízható alapot biztosítanak az alkalmazott kutatásokhoz, amely a növénytermesztési kutatások eredményeinek gyakorlati alkalmazhatóságát teszi lehetővé. Ezen kísérletek eredményei módot teremtenek az emelkedő élelmiszer-és takarmánynövénytermelés jelentette kihívásnak való megfelelésre, amelyet a globális népességnövekedés tesz szükségessé.

A modern komplex tápanyagutánpótlási stratégiák jövője nem egyértelmű, a világ növénytermesztési rendszerei sokfélék, és legalább két különböző intenzitási szintre, alacsony és nagy ráfordítású műtrágyázási rendszerre oszthatók (Fischer és Connor, 2018). Az optimális tápanyagellátás kulcsfontosságú tényező a jó minőségi paraméterekkel rendelkező magas terméshozam eléréséhez. A talaj - növényi kölcsönhatások és a tenyészidőszakban a tápanyagok komplex felhasználása - egyéb környezeti tényezők mellett - meghatározhatják a növény egészségi állapotát, nagymértékben befolyásolva a kukorica szemtermésének mennyiségi és minőségi paramétereit (Széles et al., 2019).

A növénytermesztésben a precíziós gazdálkodás technológiai innovációinak terjedésével a növényi tápanyagutánpótlás optimalizálására, környezetterhelésének csökkentésére irányuló törekvések jelentek meg, amelyeket a gazdálkodók az adott terület edafikus és környezeti heterogenitásának kezelése mellett szándékoznak megvalósítani. Ezen technológiák adaptálásával sikerrel növelhető a kukoricatermesztés versenyképessége (Nagy és Széles, 2018).

A növényi tápanyagutánpótlás precíziós kivitelezésének az egyes genotípusok megválasztásától kezdve számos alapfeltétele van, amelyek együttesen képesek biztosítani a technológia megfelelő színvonalú végrehajtását (Bojtor et al., 2021a). Ilyenek többek között a műszaki – informatikai innovációk, mint a térinformatikai rendszerek alkalmazása, valamint az agronómiai módszertan megújítása a trágyázási – tápanyagutánpótlási szaktanácsadás kifejezetten növényi mintavételekre, mérésekre, in situ non-destruktív műszeres analitikai vizsgálatokra alapozott továbbfejlesztése, illetve a növények részenkénti vagy teljes növényanalízise, amely az esszenciális tápelemek általi ellátottság, az azok közötti kölcsönhatások detektálására remekül alkalmazható (Kádár, 1992; Izsáki, 2009).

Ezen esszenciális tápelemek megfelelő mértékű növényi hozzáférhetősége segíti elő a növényi egészség kialakulását és fenntartását, amelyek a fiziológiai és anyagcsere folyamatokban, növényi strukturális felépítésben meglévő szerepük révén nélkülözhetetlenek a megfelelő fejlődéshez, növekedéshez, abiotikus és biotikus stresszhatásokkal szembeni toleranciához, ezáltal pedig a termés mennyiségi és minőségi maximalizálásához (Achari és Kowshik, 2018; Souri és Hatamian, 2019).

A tudatos trágyázási, tápanyagutánpótlási gyakorlat kialakítása kiemelkedő jelentőségű az ökonómiailag és környezetileg egyaránt fenntartható növénytermesztés megvalósítása érdekében. A műtrágyadózisok meghatározása, az egyes új kukorica genotípusok tápanyagfelvételi dinamikájának megismerése alapot biztosít ennek megvalósításához.

A kutatómunkám során az alábbi célkitűzéseim voltak:

- A kukorica tápanyagreakcióinak komplex vizsgálata, optimális tápanyagutánpótlási dózis meghatározása
- A kukorica tápanyagfelvételi, tápanyaghasznosítási jellemzőinek értékelése, elsődleges fókusszal a nitrogénre
- A szárazanyagakkumuláció értékelése, nitrogénellátottság szárazanyagbeépülést módosító hatásának elemzése
- A kukorica komplex makro-, mezo- és mikroelemfelvételi jellemzőinek meghatározása az egyes vegetatív és generatív növényi részekben, a nitrogéntrágyázás tápelemfelvételre gyakorolt hatásának komplex értékeléséhez
- A kukorica makro-, mezo- és mikroelemellátottságának a termés mennyiségi és minőségi paramétereire gyakorolt hatásvizsgálata

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Kukoricatermesztés lokális és globális helyzete

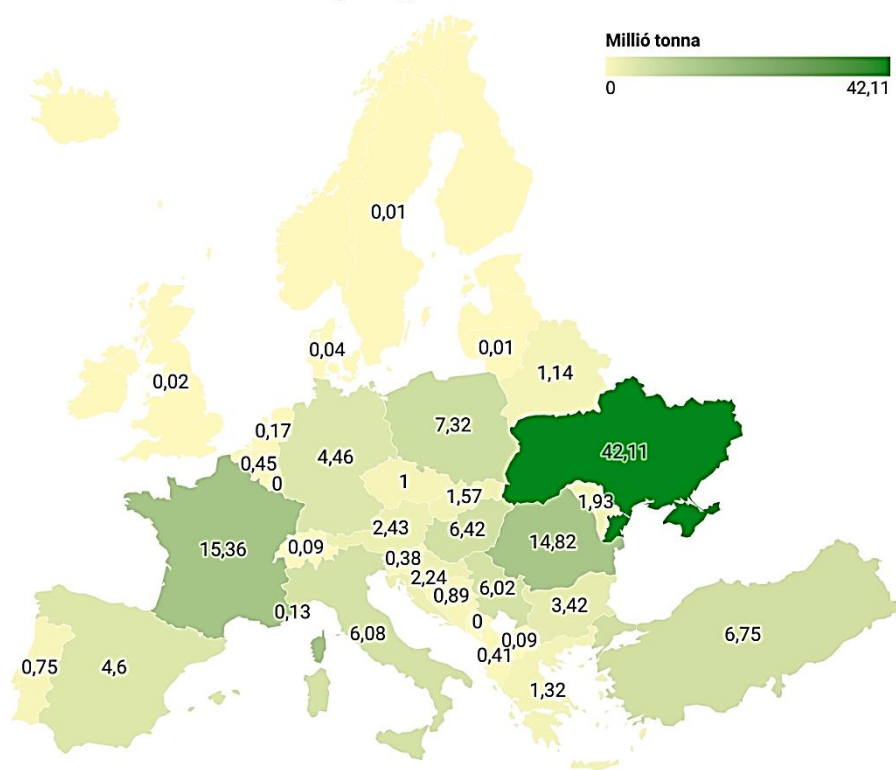
Mintegy 9000 évvel ezelőtti domesztikációja óta a kukorica (*Zea mays* L.) egyre növekvő és változatos szerepet játszik a globális mezőgazdasági élelmiszer-rendszerekben. A globális kukoricatermelés az elmúlt néhány évtizedben jelentősen nőtt, amelynek oka főként a feldolgozóipar fejlődése által generált növekvő kereslet volt. A kukorica már most is vezető gabonaféle a termelési mennyiséget tekintve, és a következő évtizedben a legszélesebb körben termesztett és legkeresettebb növény lesz. Sokoldalú, többcélú növény, elsősorban takarmányként használják világszerte, de élelmiszernövényként is fontos, különösen a szubszaharai Afrikában és Latin-Amerikában, egyéb nem élelmiszeripari felhasználások mellett (Erenstein et al., 2022).

A nemzetközi adatok alapján a kukoricát évente körülbelül 197 millió hektáron termesztik világszerte, így a búza után ez a második legszélesebb körben termesztett növény a világon. A területi megoszlás alapján globális kukoricatermelés közel 50 %-át Amerika biztosítja, ezt követi Ázsia (32 %), Európa (11 %) és Afrika (7,4 %) részesedéssel. Világszerte az USA (361 millió tonna/év) és Kína (259 millió tonna/év) uralja a kukoricatermesztést – együtt a világ kukoricatermelésének több mint felét (54,5 %) állítják elő. Összesen nyolc ország – USA, Kína, Brazília, Argentína, Ukrajna, Indonézia, India és Mexikó együttesen 881 millió tonnát, azaz a világ kukoricatermelésének háromnegyedét (77,4 %) adják, amelyből látszik, hogy Európában egyedül Ukrajna rendelkezik világszinten meghatározó termeléssel (FAO, 2021).

A globális kereskedelem a kukorica termesztési és felhasználási helye közötti térbeli különbségeket tükrözi, beleértve azt is, hogy hol fogyasztják élelmiszerként (Kinnunen et al., 2020). Ez alátámasztja az aktív globális kukoricakereskedelmet, amely összekapcsolja az amerikai és európai összesített többlettermelést, valamint az ázsiai és afrikai összesített hiányt. Európa jellemzően nettó importőrként jelenik meg a globális ellátási láncban, emellett ugyanakkor egyesíti a jelentős többlettel és deficittel rendelkező országokat, amely az egyes országok éghajlati és domborzati jellemzői által meghatározott termelési sajátosságokból ered (1-2. ábra)



## Kukorica termésmennyisége - 2021

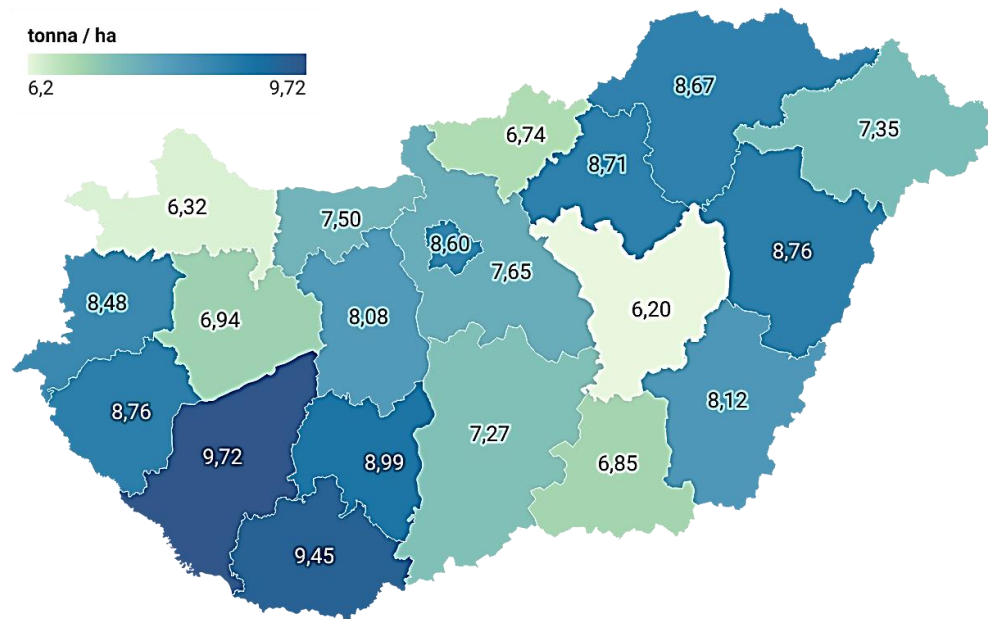


Forrás: FAO 2021 • A készítéshez használt program: Datawrapper

2. ábra: Kukorica termésmennyisége Európa országaiban 2021-ben. Forrás: FAO, 2021.

A kutatómunkám során vizsgált évek eltérő agrometeorológiai paraméterei jelentős termésmennyiségi eltéréseket okoztak. 2019-ben 1,02 millió ha termőterületen 8,06 t/ha átlagtermés termett, amely így összesen 8,23 millió tonna teljes megtermelt kukorica szemtermést jelentett. Ezzel szemben a 2021-es évben közel azonos mértékű termőterületen (1,05 millió ha) szignifikánsan kevesebb, 6,13 t/ha átlagtermést, ezáltal pedig 6,46 millió tonna teljes betakarított termést realizáltak a termelők országos szinten. A termelési jellemzők az egyes hazai termőterületek között jelentős eltéréseket mutattak, 2019-ben 6,2 és 9,72 t/ha, 2021-ben pedig 4,32 és 8,23 t/ha közötti megyei átlagterméssel (3-4 ábra, KSH, 2019; KSH, 2021).

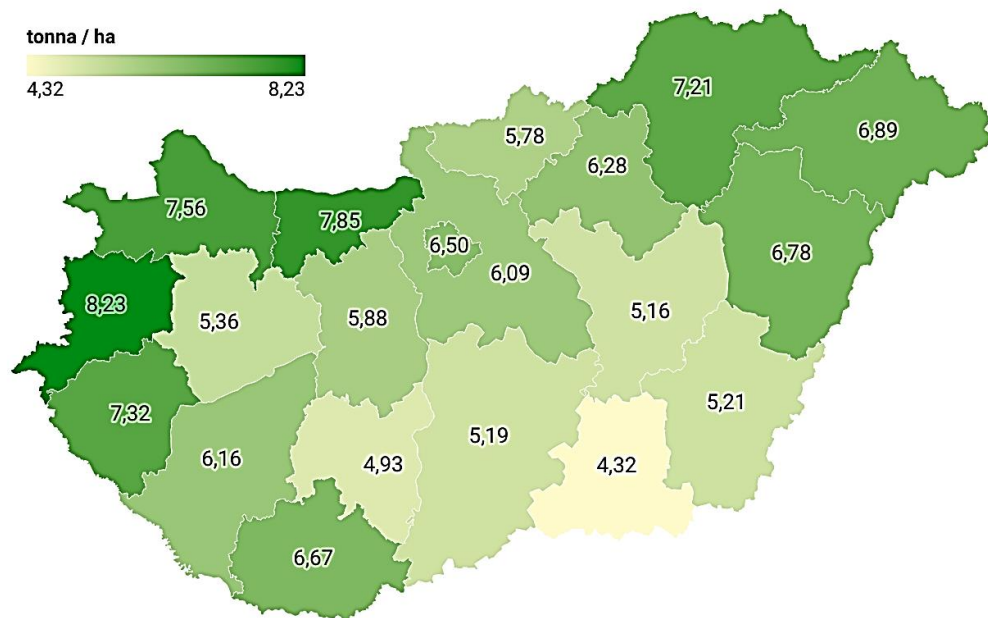
## Kukorica termésátlag - 2019



Forrás: KSH 2019 • Térképadatok: © OSM • A készítéshez használt program: Datawrapper

3. ábra: Magyarország kukorica termésátlagának megyei eloszlása 2019-ben. Forrás: KSH 2019.

## Kukorica termésátlag - 2021



Forrás: KSH 2021 • Térképadatok: © OSM • A készítéshez használt program: Datawrapper

4. ábra: Magyarország kukorica termésátlagának megyei eloszlása 2021-ben. Forrás: KSH 2021.

## 2.2. Kukoricatermesztést befolyásoló klimatikus és edafikus tényezők

A kukorica általánosságban környezetére igényes kultúrnövény, a jó termőhelyi adottságokon képes kiemelkedő terméshozamokat produkálni. A talajigény szempontjából az egyik leginkább igényes növényként tekinthetünk a kukoricára, jó kultúrállapotú, megfelelő víz-levegő arányú talajviszonyok biztosítása szükséges a sikeres termesztéshez (Berzsenyi és Győrffy, 1995; Bocz és Nagy, 2003; Nagy, 2005).

Ezen felül a kukorica mélyen gyökerező jellegéből adódóan a mély termőrétegű, kiváló tápanyagszolgáltató képességgel rendelkező kötött – közép-kötött vályogtalajok a termesztés optimális helyszínei, amelyek humuszban és a növény számára felvehető tápanyagokban gazdagok (Pepó et al., 2005). A talajhőmérséklet a csírázást, valamint a gyökérfejlődést is jelentősen befolyásolja, amely az adott területen termesztendő hibridek érési idejét, vetési idejét, valamint fejlődési dinamikáját, tápanyagfelvételét egyaránt meghatározza (Mackay és Barber, 1984). Ezen felül az egyes kukorica hibridek hidegtűrése fontos nemesítői kihívás, amely a vetésidőt és a termesztéstechnológiát alapvetően képes meghatározni (Marton et al., 1997).

A termőhelyi elterjedésének talajviszonyok melletti fő limitáló tényezője a csapadék, hiszen a termés mennyiségét és minőségét, a tápanyagok felvehetőségét egyaránt meghatározza a rendelkezésre álló víz mennyisége, amelynek a biztosítása Magyarországon az időjárás változékonyságát tekintve kihívást jelent a mezőgazdasági gyakorlatban (Huzsvai és Nagy, 2003). A talajviszonyok vízbefogadó – vízáteresztő – vízmegtartó képességeinek értékelése a nagy szárazanyagképződéshez kiemelt jelentőségű, hiszen a rosszabb vízgazdálkodású, kevésbé kötött, nagy pórustérfogatú talajok a kedvezőtlenebb vízmegtartó képességük miatt egyenletesebb vízellátást, sok esetben mesterséges vízpótlást igényelnek (Pepó et al., 2006). A kukorica esetén kritikus fejlődési fázisként ismert a csírázás-keletkezés és a virágzás – termésképzés a vízigényt tekintve.

### 2.3. A kukorica korszerű tápanyag – és vízgazdálkodása

A sikeres szántóföldi növénytermesztéshez a modern mezőgazdaságban a nagy terméshozamok elérése érdekében elengedhetetlen a növények igényeit kielégítő tápanyagutánpótlás, műtrágyázási gyakorlat kialakítása (Bocz, 1974; Bocz, 1976; Németh, 2001). A kukorica tápanyagellátottságának megítélése többféleképpen is lehetséges, eltérő tápelemkoncentrációs mértékek mentén (Izsáki, 2004, 2010, Kádár és Elek, 1980;). Ezek a koncentráció értékek egyes esetekben azonosságokat, más esetben pedig szignifikáns eltéréseket mutatnak, genetikai és termőhelyi változatok szerint. A kukorica optimális vízellátottsága az egyes termőhelyek közötti eltérések mentén képes meghatározni a megfelelő hibridválasztást, szárazságtűrő – víztakarékos kukorica genotípusok nemesítése által (Marton et al., 2012). A kukoricanevelés genetikai fejlődése, valamint a precíziós gazdálkodás okozta műszaki – agronómiai fejlődés a termőképességet, terméshozamokat növekvő pályára állította, amely igényként támasztja a kutatók felé az adott termésmennyiségek eléréséhez szükséges tápelem koncentrációkat. Ehhez a tápanyagellátottsági rendszereket értékelő szántóföldi tartamkísérletek képesek hozzájárulni, amelyben az egyes növények kritikus fenofázisokban mért tápanyagfelvételi jellemzőit kontrollálva van lehetőségünk tanulmányozni (Kádár és Lásztity, 1981; Csathó, 2004; Pepó, 2017).

Az egyes kukorica genotípusok tápanyagigényének meghatározása során nagy mértékű körültekintéssel kell lennünk az adott termesztési zóna, termőterület éghajlati – környezeti sajátosságaira (Gyórfy, 1965; Berzsenyi et al., 2013). A műtrágyázás és a különböző agrotechnikai beavatkozások számos korábbi kutatás eredményeiben megjelennek, hiszen a tápanyagellátottság önállóan is, azonban a vetésidő, tőszám, talajművelés, öntözés faktorokkal együttesen is hatást gyakorol a kukorica elérhető terméspotenciáljára (Berzsenyi és Lap, 2005; Bocz és Nagy, 1981; Nagy, 1997; Nagy, 1989; Szalka, 1996).

A szántóföldi multifaktoriális tartamkísérletekben végzett kutatások eredményei az egyes hibridek optimumát képesek meghatározni a vizsgált agrotechnikai paraméterek mentén (Nagy 2012; Nagy, 2017). Az évjáratok, hosszú idősoros kísérletes elemzések alapján megállapítható a nitrogénműtrágyázás termést megnövelő hatása, amely alapjaiban

alakította át a magasabb terméshozamokkal a modern, korszerű gazdálkodási rendszereket (Berzsenyi et al., 2000; Pepó et al., 2016).

A különböző tartamkísérletek eredményei alapján a modern mezőgazdasági eszköztár segítségével különböző modellek mentén meghatározható az egyes genotípusok tápanyagreakció optimuma, a műtrágyázási gyakorlatban csökkentve a túltrágyázás környezeti és ökonómiai hátrányait, valamint megfelelő mértékben kiszolgálva a növény makro-, mezo- és mikroelem igényeit (Berzsenyi, 1996; Zelenák et al., 2022; Nyéki et al., 2019; Nyéki et al., 2021; Kovács et al., 2014).

Az egyes növényfajok fajspecifikus tápanyagutánpótlása harmonikusan megvalósítva hozzájárulhat a biotikus és abiotikus károsításokkal szembeni toleranciához (Árendás et al., 2013; Bognár et al., 2003). A kukorica szárszilárdságának fontos előfeltétele a megfelelő foszfor és káliumtrágyázás, amely a szárban károsító patogének kártételét is képes csökkenteni (Árendás et al., 2003). Emellett a megfelelő, termőhelyhez illesztett növényszám megválasztása a mikroklíma módosítása révén a növénybetegségekkel szembeni fontos agrotechnikai védekezési mechanizmus, hiszen a hőmérséklet és páratartalom csökkentése a meleg évszakban hozzájárulhat a kártevők és kórokozók egyedszámának csökkenéséhez (Glits et al., 1997).

#### 2.4. Szárazanyag- és tápelemakkumulációt befolyásoló tényezők

A növények életfolyamatai szempontjából az egyes felvett tápanyagok hasznosulása, ezáltal pedig a szárazanyag-akkumuláció mértékének, dinamikájának változása jelentősen képes meghatározni az egyes növények környezeti stresszhatásra adott válaszreakcióit. A megtermelt szárazanyag egyes növényalkotó részek közötti eloszlása a kezdeti intenzív növényfejlődési fázisban meghatározó a későbbi elérhető termések tekintetében (Tollenaar, 1989). Zhang et al. (2009) kutatásukban az eltérő nitrogénkijuttatás és az akkumulált szárazanyag mennyisége között statisztikailag igazolt kapcsolatot bizonyítottak az egyes növényi részek vizsgálata során. A szárazanyag-felhalmozódás elemzése azt mutatta, hogy a növények fejlődésének előrehaladtával a szentelítődés sebessége meghaladta a szárazanyag-felhalmozódást, jelezve a tárolt asszimilátumok nettó újraelosztásának lehetőségét a tenyészidőszak hátralévő részében (Jurgens et al., 1978).

A szárazanyag felhalmozódása a növények megfelelő szervi differenciálódásának és a termés hozamnak feltétele (Wei et al., 2017). A szárazanyagfelhalmozódás és a nitrogénfelvétel folyamatainak és mechanizmusainak megértése szükséges a hatékony trágyázási gyakorlat kialakításához, javítva ezzel a termesztett növények termés hozamát és a növények nitrogénhasznosítási hatékonyságát (Wang et al., 2011). A megnövekedett szárazanyagtömeg közvetlenül és közvetve egyaránt képes hozzájárulni a magas termés hozam képződéséhez (Yan et al., 2006).

A növények nitrogénfelvételi csúcs időpontjának megfelelően az ésszerű mennyiségű N-kijuttatás a kritikus időszakokban nemcsak a szárazanyag akkumulációt segítette elő, hanem a termés hozamot és a műtrágya felhasználásának hatékonyságát is nagymértékben javította (Liu et al., 2016, Meng et al., 2018., Bojtor et al., 2022). A kukorica termés hozamának növekedése azonban nem csak a szárazanyagbeépülés mértékétől függ, hanem a kukorica nitrogénfelvételétől, asszimilációjától és allokációjától egyaránt (Tollenaar és Lee, 2011). Egy meghatározott értéktartományon belül a szárazanyagfelhalmozódás egyenesen arányos a kukorica termés hozamával (Wang et al., 2020). Mivel a nitrogén a kukorica növekedését leginkább korlátozó tényező (Feil et al., 2005), a nitrogéntrágya megfelelő mértékű kijuttatása a vegetatív és generatív növényi részek szárazanyagtömegének nagymértékű növekedését eredményezi (Subedi és Ma, 2005).

A tápanyagutánpótlás mértéke és ideje befolyásolhatja a kialakult szárazanyag mennyiségét, ezen belül is a nitrogén jelentős szereppel bír (Ványiné Széles, 2010). McCullough et al. (1994) vizsgálatai alapján a nitrogénstressz eltérő hatást gyakorol a kukorica hibridek szárazanyagbeépülési dinamikájára, különösen érzékenyek lehetnek erre egyes hibridek a korai fejlettségi fázisban. A szárazanyag felhalmozódás és az esszenciális tápelem akkumuláció és hasznosulás közötti kapcsolat vizsgálata során Kolkov (1966) megfigyelte, hogy a kukorica szárazanyagbeépülési, valamint víz- és tápanyagfelvételi dinamikája hasonló dinamikát követ, egymással összefüggésben van. A vetésidő vizsgálata során három év átlagában a későn vetett kukorica hibridek több szárazanyagot halmoztak fel a hímvirágzás előtt, mint a hímvirágzástól a fiziológiai érésig, míg a korai vetésre ez fordítottan igaz, kevesebb szárazanyagot halmoztak fel hímvirágzásig, mint a hímvirágzástól fiziológiai érésig. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy a vetésidő szignifikánsan befolyásolja a kialakult szárazanyag mennyiségét és az ezerszemtömeget a tenyészidőszak során (Zhou et al., 2016; Cirilo és Andrade, 1994).

Virágzás után a szárazanyagbeépülésben leginkább a felül elhelyezkedő levelek felelősek. A felső öt levél körülbelül 40 %-kal járul hozzá a virágzás után képződő szárazanyag mennyiségéhez (Allison és Watson, 1966). A szárazanyagtömeg megfelelő eszköz lehet a hibridek abiotikus stresszekre azon belül is a sóstresszre adott válaszreakciójuk szerint való értékelésre. A különböző környezeti stressztényezők közül az szárazságstressz szignifikánsan növeli a szárazanyag transzlokációt, annak hatékonyságát és a képződött asszimiláták szállításának mértékét a vegetatív növényi részekről a generatív részek felé (Zhang et al., 2012).

Széles et al. (2019) kutatásukban megállapították, hogy a kukorica hibridek környezeti stressztényezőkkel szembeni toleranciája növelhető egy emelkedő dózisu nitrogéntrágyázás és optimális arányú foszfor és kálium kijuttatása mellett. A magasabb sótoleranciával rendelkező hibridek kisebb mértékű levéltünetet és nagyobb mértékű szárazanyagot képeztek a hajtásban és a gyökérben a kevésbé toleráns hibridekhez képest (Eker et al., 2006). Qi et al. (2013) vizsgálatai alapján az intenzív tápanyagkijuttatási technológia esetén a modern kukorica hibridek átlagos hektáronkénti szárazanyag-, és makroelem felhalmozódási mennyisége  $33500 \text{ kg*ha}^{-1}$  szárazanyag,  $370 \text{ kg*ha}^{-1}$  N,  $120 \text{ kg*ha}^{-1}$  P és  $285 \text{ kg*ha}^{-1}$  K.

A növényállomány agrotechnikai jellemzői jelentősen képesek módosítani a tápanyaghasznosítást, hiszen a megfelelően megválasztott növényesűrűséggel nagyobb tápanyagmennyiség jobban képes hasznosulni, ellenben kisebb növényesűrűségnél nem lehetséges a felvehető és elérhető összes tápelemmennyiséget abszorbeálni (Stevens et al., 2005). A növény tápanyagigénye nem azonos a különböző növekedési fázisokban. A nitrogén felvétel sebessége befolyásolja a kukorica növény növekedését. Általában a felvétel a legnagyobb a  $V_8$  (vegetatív stádium, 8 levél) és a nővirágzás között (Russelle et al., 1983).

A kukorica szemtermésének tápanyagai a nővirágzást követő fenológiai fázisokból és a vegetatív szervekben felhalmozódott tápanyagok remobilizálásából származnak (Hirel et al., 2007). Míg a nővirágzás utáni tápanyagfelvétel a talaj pillanatnyi tápanyagszolgáltató képességétől függ és egyes esetekben pótlólagos tápanyagkijuttatást is igényel. A tápanyagok remobilizálása a vegetatív szervekből a legjobb útja a szemtermés tápanyagtartalmának növelésére (Masclaux-Daubresse et al., 2008).

Chen et al. (2016) vizsgálatai alapján a tápanyagok mobilitása egyrésről tápanyagspecifikus másrésről szervspecifikus és nagymértékben érzékeny az időjárási viszonyokra, ezért a tápanyagok átalakulásának fokozására irányuló genetikai nemesítésnek tápanyagspecifikus célokat kell figyelembe venni. Csak a remobilizált N, P, K, Mn és Zn járult hozzá a szemterméshez, ezen tápanyagok koncentrációja javítható azáltal, hogy fokozza a növény tápanyagok remobilizációját a vegetatív szervekből. A szemekben a legtöbb tápanyag felhalmozódása megegyezett a szárazanyagban felhalmozott tápelemmel.

A jó minőségű, nagy mennyiségű termés megfelelő termésbiztonsággal történő eléréséhez elengedhetetlen a kiegyensúlyozott tápanyagutánpótlás (Győrffy, 1976; Debreczeni és Berecz, 2000). A talaj – növény rendszer növények által felvehető tápanyagtartalmának ismerete, nitrogén, foszfor és káliumellátottság vizsgálata kell, hogy megelőzze a kiadott műtrágyamennyiség megválasztását (Árendás et al., 2000). A műtrágyák hatékonyságát nagy mértékben befolyásolják a termőhely időjárási jellemzői, valamint a vizsgált évjárat konkrét agrometeorológiai sajátosságai (Várallyay és Németh, 1996). A precíziós gazdálkodás terjedésével megoldhatóvá válik a táblán belüli heterogenitás tápanyagkijuttatás szempontjából történő differenciálása (Láng és Csete, 1992).

## 2.5. A kukorica esszenciális tápelemeinek szerepe

### 2.5.1. Makroelemek jelentősége

#### Nitrogén

A nitrogén (N) a növények optimális növekedéséhez és fejlődéséhez szükséges alapvető tápanyag. A nitrogén számos élettani és anyagcsere folyamatban vesz részt, és kulcsfontosságú a növények szerkezeti felépítésében, mivel a fehérjék, enzimek és nukleinsavak elsődleges alkotóeleme (Maathuis, 2009). Ezért a mezőgazdaságban korlátozó erőforrásként a nitrogén ugyanolyan fontos, mint a víz elérhetősége (Sinclair és Rufty, 2012).

A modern műtrágyaipar fejlődése, amely a XIX. század végén kezdődött a nátrium-nitrát és a madárguanó Chiléből és Peruból az északi féltekére történő exportjával (Melillo,

2012), támogatta a növekvő népesség igényeit, amely magas terméshozamokat igényelt. Az 1960-as években a „zöld forradalom” további ösztönzést nyújtott a termelőknek, hogy nagy mennyiségű nitrogénműtrágyát használjanak, hogy az újonnan kifejlesztett növényi genotípusokkal a lehető legnagyobb hozamot ériék el (Tilman et al., 2002; Good és Beatty, 2011).

A XX. század végére az olyan környezeti problémák, mint a talajvíz szennyeződése, az üvegházhatású gázok kibocsátása és a vízi ökoszisztémák eutrofizációja korrelációba kerültek a szántóföldek erős N-műtrágyázásával (Byrnes, 1990; Robertson és Vitousek, 2009), amely arra kényszerítette a szabályozási politikák végrehajtását Európában és az USA-ban, hogy korlátozzák a műtrágyák mezőgazdasági területekre való felhasználását (Tilman, 1998).

A tanulmányok szoros összefüggést állapítottak meg a növényi sejtek N-tartalma és a fotoszintetikus aktivitás között (Maathuis, 2009; Wullschleger, 1993) A nitrogéntrágyázás döntő tényező a terméshozam javításában. A N túlzott kijuttatása azonban nem javítja a terméshozamot, és csökkentheti a termés jövedelmezőségét a műtrágya pazarlása és a talaj- és felszíni vizek szennyeződése révén (Hallberg és Follett, 1989; Cox et al., 1993). Raun és Johnson (1999) kutatásukban arról számoltak be, hogy a gabonatermesztésben világszerte használt N-műtrágyák körülbelül 67 %-a elveszett a denitrifikáció, a felszíni elfolyás, az elpárolgás és a kilúgozódás miatt.

Kétségtelen, hogy a nitrogén-műtrágyázási igények alulbecslése alacsony terméshozamhoz vezethet, és a N-felvételt nagymértékben befolyásolják a N-műtrágya-adagok (Halvorson et al., 2006). A nitrogénhiány negatívan befolyásolja a növényi szervek növekedését, és a zöld szín elvesztéséhez vezet (Tucker, 1984). A nitrogéntrágyázás befolyásolja a teljes N-felvételt, valamint a teljes növényi biomassza-termelést. Például a kukorica N-felvétele körülbelül 40 kg N·ha<sup>-1</sup>-ről 95 kg·N·ha<sup>-1</sup>-re nőtt, és a kukorica szemtermése 2,3-ról 4,9 t·ha<sup>-1</sup>-re nőtt, amikor 120 kg·N·ha<sup>-1</sup> műtrágyát alkalmaztak a nem trágyázott kontrollhoz képest (Abbasi et al., 2012).

A kukorica által felvett N mennyiségét elegendő N ellátás esetén a hajtás növekedési potenciálja határozta meg, nem pedig a gyökér mérete (Peng et al., 2010). Zhou et al. (2008) vizsgálatai alapján a nitrogéntrágyázás mértékének növelésével csökkent a P és K

koncentráció a termésben, illetve szignifikáns hatás volt a termés mennyisége és a N és P aránya között.

Mind a vegetatív szervekből történő N-remobilizáció, mind a nővirágzás utáni nitrogénfelvétel képes hozzájárulni a szemtermés kialakulásához (Chen et al., 2015). Korábbi vizsgálatok azt mutatták, hogy a kukorica nitrogénfelvétele a nővirágzás után is zajlik (Subedi és Ma, 2005), és a szemek nitrogéntartalmának 35-55 %-át a nővirágzás után veszik fel (Gallais et al., 2007). A reproduktív növekedési szakaszokban a nitrogén 45 – 65 %-a fokozatosan remobilizálódott a vegetatív szervektől a kukoricaszemekbe (Masclaux-Daubresse et al., 2010). Ezért a nitrogéntrágyázás és a kukorica nitrogén szükséglete közötti egyensúly elérése a toxicitás vagy hiánytünetek elkerülése érdekében kulcsfontosságú a kukoricatermesztésben a terméshozam, a profit és a környezetvédelem kompromisszumának érdekében (Malhi et al., 2001; Sun et al., 2020).

#### Foszfor

A legtöbb talaj eredendően nagyon csekély kapacitással rendelkezik ahhoz, hogy elegendő foszfort (P) biztosítson a növénytermesztéshez. A P azonban a növények növekedéséhez nélkülözhetetlen tápanyag. Serkenti a fiatal növények növekedését, jó és erőteljes indulást biztosítva nekik. A tenyészidőszak elején jelentkező foszforstressz jobban csökkenti a terméshozamot, mint a P-korlátozások a termésciklus későbbi szakaszában (Grant et al., 2001). Megfelelő mennyiségű tápelem hiányában a növények nem tudnak a kelést követően gyors fejlődésnek indulni, gyökérrendszerük nem fejlődik kielégítően, növekedésben visszamaradnak, és gyakori jelenség a száraz, a levélnyel és az alsó levelek lilás elszíneződése (Mengel et al., 2001).

A talaj P domináns jellemzője a foszfát ásványok igen csekély oldhatósága. A szemcsék felületéhez való erős kötődése kis talajoldat-koncentrációt eredményez, így a P korlátozó tényezője az optimális termésnövekedésnek. A foszforműtrágyázás ezért elengedhetetlen a jövedelmező növénytermesztés fenntartásához, és a legtöbb országban a növénytermesztési rendszerek szerves részét képezik (Haygarth et al., 2013). A műtrágyagyártáshoz használt P nagy részét üledékes foszforlerakódásokból bányásszák. Egyes esetekben azonban apatitban gazdag magmás kőzeteket is bányásznak erre a célra. Ezek a P-források végesek, és úgy gondolják, hogy a következő 40-400 évben kimerülnek (Obersteiner et al., 2013). A globális P-hiány sürgető probléma, és a P-kezelési stratégiák

végrehajtása a mezőgazdasági és a környezeti kihívások teljesítése érdekében több mint időszerű.

A foszfor nélkülözhetetlen a növények növekedéséhez, mivel részt vesz az energia-anyagcserében, a sejttáviteli mechanizmusokban, a légzésben és a terméskepzésben egyaránt. A növény  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  vagy  $\text{HPO}_4^{2-}$  (ortofoszfát-ionok) formájában veszi fel a talaj pH-jától függően. Bár azt feltételezték, hogy a növények oldható, kis molekulatömegű szerves vegyületeket is képesek felvenni a talajból (azaz nukleinsavat és fitint), ezek a vegyületek valószínűleg ortofoszfát ionokká alakulnak a rizoszférában. A  $\text{HPO}_4^{2-}$  növényi felvétele sokkal lassabb, mint a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  esetében. A P azonban beépül a növény energiaanyagcseréjéhez szükséges adenzin-di- és trifoszfátba (ADP, illetve ATP). A foszfor esszenciális eleme a növény genetikai kódját tartalmazó dezoxiribonukleinsavnak (DNS) és ribonukleinsavnak (RNS) is, amelyek fehérvék, egyéb, a növény szerkezetéhez, a magterméshez és a genetikai transzferhez nélkülözhetetlen vegyületek előállításában játszanak szerepet (Havlin et al., 2014).

Általában a növényeknek megfelelő foszforellátásra van szükségük a növekedés korai szakaszában, hogy gyors, egyenletes kelés és intenzív korai fejlődés tudjon megvalósulni. Ezért bevett gyakorlat a foszfort a vetéssel egy menetben startertrágyaként alkalmazni, az őszi feltöltőtrágyázáson túl. A foszforműtrágya használatának hatékonysága a természetett talajokban a műtrágya megválasztásával, elhelyezésével, időzítésével és arányával növelhető vagy csökkenthető. Fel kell ismerni a biotrágyák azon képességét is, hogy oldhatóvá alakítják a talaj foszfortartalmát a növények számára. A növény- és különösen a talajvizsgálat elengedhetetlen a megfelelő trágyázási programokhoz, hogy optimális növénytermesztést biztosítsunk minimális felszíni vízszennyezés mellett (Mardamootoo et al., 2021). A kukorica nagyon érzékeny a foszfor korai felszívódására. A vetéskor a magsorban közvetlenül alkalmazott kis mennyiségű foszfor általában nagyobb P-felszívódást és szemtermést eredményez, mint egy későbbi szakaszban felvitt nagyobb mennyiségű foszfor. A négy-öt leveles állapot általában kritikusabb a növény foszfortrágyázásra adott válasza szempontjából, mint a foszfor más növekedési szakaszokban történő alkalmazása, és a megnövekedett szemtermés inkább a csövenkénti szemszám növekedéséből adódik, nem pedig a megnövekedett szemtömegeből (Lauzon és Miller, 1997).

## Kálium

A kálium (K) a nitrogén mellett a növények által legnagyobb mennyiségben szükséges ásványi elem. Az optimális növekedés és termelékenység érdekében a modern növénytermesztéshez nagy mennyiségű káliumra van szükség, különösen a generatív fejlődés során. Az optimális növénynövekedés káliumszükséglete a növény száraztömegének 2-5 %-a (Marschner, 1995), azonban a növény által felhasznált kálium mennyisége a növényfajtól és a talajban elérhető  $K^+$  mennyiségétől függően változik. Ezen túlmenően a K felvételét befolyásolják a tenyészidőszak környezeti feltételei és az alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok (Mullins et al., 1997).

Az optimális terméshozam érdekében a növények megfelelő táplálása megköveteli a tápanyaghiányok elkerülését. A káliumhiány azonban a világ minden tájáról beszámolt jelenség különböző okok miatt, például a talajtípusok és a termesztéstechnológiai gyakorlatok miatt (Rengel és Damon, 2008), vagy a növényi maradványok eltávolítása miatt a bioüzemanyag-iparban (Romheld és Kirkby, 2010). Ezen túlmenően, bár az USA-ban és világszerte a gazdálkodók lényegesen több kereskedelmi műtrágyát használnak, mint 40 évvel ezelőtt, a nitrogén:kálium aránya jelentősen csökkent az 1960-as 100:63-ról 2000-ben 100:27-re (Maene, 2001). A hatékony műtrágyázáshoz a talaj tápanyagállapotának pontos ismeretére, valamint a szezon során elvégzett megbízható szövetelemzésre van szükség a termékenységi állapot finomhangolására és az előre nem látható hiányosságok elkerülésére (Oosterhuis et al., 2014). A nagyobb gyökérszárazanyaggal rendelkező hibridek nagyobb K-felvételi hatékonyságot mutatnak, ezáltal nagyobb mennyiségű K-t képes a xylemből a felső levelekbe juttatni (Wang et al., 2013).

Összességében tehát a kálium fontos szerepet játszik a növények növekedésében és a termésfejlődésben egyaránt. Számos élettani funkcióban, így a vízkapcsolatokban, az enzimaktiválásban, a sztómaszabályozásban és a fotoszintézisben, az asszimilátum- és nitrátranzsportban vesz részt. Emellett szerepe van a növényi egészség biztosításában, az abiotikus és biotikus stresszel szembeni tolerancia alakításában, valamint a stresszjelzésekben egyaránt (Oosterhuis et al., 2014).

### 2.5.2. Mezoelemek, másodlagos makroelemek jelentősége

A mezoelemek, vagy más néven másodlagos makroelemek közé a kén, kalcium és magnézium sorolható, amelyek a szárazanyagra számított mennyiségüket tekintve a mikro- és makroelemek között találhatóak meg a növényekben. Számos létfontosságú fiziológiai folyamatban játszanak nélkülözhetetlen szerepet.

A növényeknek kénre van szükségük a kéntartalmú cisztin, cisztein és metionin aminosavak szintéziséhez. A fehérjékben található kén fő szerkezeti funkciója a diszulfid kötések kialakítása, amelyek elősegítik a fehérjék harmadlagos és kvaterner szerkezetének összeállítását (Duke és Reisenauer, 1986). A kén a koenzim-A részeként is szükséges, amely fontos a citromsavciklusban és a klorofillképzésben egyaránt. Ezenkívül a kén részt vesz a klorofill stabilizálásában zöld növényekben (Marschner, 1995). A kénhiány vizuális tünetei a nitrogén-, vas- és magnézium-hiány tüneteivel hasonlítanak: sárgás, klorotikus levelek. Mivel a kén nem olyan mozgékony, mint a nitrogén a növényekben, a fiatal levelek mutatják először a hiánytüneteket. A nitrogénhez képest viszonylag kis mennyiségű kénre van szükségük a növényeknek (St. John et al., 2013).

A kalcium az ötödik legnagyobb mennyiségben előforduló elem a földkéregben, amelynek átlagos kalciumkoncentrációja a talajban 3,6 % (Barber, 1984). A talajoldatban oldható kalcium, a talaj kationcserélő helyeihez kapcsolódóan pedig kicserélhető kalcium található. A kalcium elsősorban passzívan szívódik fel a gyökércsúcson kalciumionként. A kalcium felhalmozódása a sejtek külső felületén két létfontosságú szerkezeti funkciót lát el: a sejtfaalak megerősítését és a membrán permeabilitásának szabályozását. A kalcium számos kulcsfontosságú szerepet játszik a gyökérműködésben. A kalcium a sejtfaalakban lévő pektinláncokhoz kötődik, ami biztosítja a sejtek stabilitását és merevségét (St. John et al., 2013).

A magnézium ionos formában passzívan szívódik fel a talajból. A legtöbb talajban a magnéziumionok fő forrása a kicserélhető magnézium, amely az agyag-humusz komplex része (Brady és Weil, 2002). A magnézium kevésbé vonzódik a kationcserélő helyekhez, mint más kationok mind a talajban, mind a gyökérszövet apoplazmájában; ezért a magnézium könnyebben kimosódik a talajból, és a növények magnéziumfelvételét más

kationok, például kalcium, kálium, ammónium, nátrium és mangán könnyen csökkenthetik (Marschner, 1995). Miután a magnézium felszívódik a növényben, könnyen mozog mind a xilémbe, mind a floémbe. Mivel a magnézium mozgékony a növényben, a hiánytünetek először az idősebb leveleken jelennek meg. Ahogy a magnézium az idősebb levelekről a fiatalabb levelekre kerül át, az idősebb (alsó) levelek klorotikussá válnak, és világossárga csíkok lehetnek az érkező klorózis miatt. A klorotikus levelek végül vöröses színűvé válhatnak, és a levélszáron vörös foltos területek jelenhetnek meg (Carrow et al., 2002). A magnéziumhiány lelassítja a fotoszintézist és a cukorszállítását, ami végül csökkenti a gyökernövekedést és a termést. A magnéziumhiány csökkentheti a szacharóz floémában történő transzportját, és keményítő felhalmozódását eredményezheti a kloroplasztiszokban. A szacharóz terhelés csökkentése végső soron csökkenti a gyökerek növekedését (St. John et al., 2013).

### *2.5.3. Esszenciális mikroelemek jelentősége*

A kiegyensúlyozott növénytáplálás elengedhetetlen a terméshozamok fenntartható módon történő növeléséhez, amely során az optimális makroelem utánpótlás mellett fontos elkerülni a növényben esetlegesen fellépő mikroelem hiányokat is (Ciampitti et al., 2013). A növények számára az alábbi mikroelemek esszenciálisak: Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Ni, B, Cl. Ezek a mikroelemek rendkívül kis mennyiségben szükségesek a növények számára, azonban ennek ellenére fontos szerepet töltenek be a növény számos életfolyamatában, úgy, mint növekedés, stressztolerancia és a reprodukciós képesség (Reid, 2001).

A nitrogénműtrágyázás képes lehet növelni a növények által felvett mikroelemek koncentrációját és teljes mennyiségét a hajtás és gyökér fejlődésének elősegítése által, amely a nagyobb levélfelület következtében fokozottabb fotoszintézist és transzpirációt eredményez (Marschner, 1995; Rengel et al., 1999). Cakmak (2002) vizsgálata szerint a csak makroelemekkel történő tápanyagutánpótlás esetén a növények számára esszenciális mikroelemek hiányának valószínűsége fokozatosan növekedhet.

Az intenzív műtrágyázás jelentős termésnövekedést képes eredményezni, ami két, egymással ellentétes folyamathoz vezethet: ha az ásványi tápanyagfelvétel és felhalmozódás gyorsabban növekszik, mint a szárazanyag felhalmozódása, akkor a

mikroelemeknek a növényi koncentrációja megnövekszik, ha pedig a szárazanyag felhalmozódása a gyorsabb, abban az esetben a mikroelemek növényi részekben való hígulása következik be (Jarrell és Beverly, 1981).

A kukoricában az egyes kiemelt fenológiai stádiumokban felhalmozódó makro- és mikroelemek vizsgálata alapvető fontosságú a kijuttatott műtrágya mennyiségének és a kijuttatás idejének meghatározásához, valamint a talaj optimális termékenységének fenntartásához (Brasil et al., 2007; Deuner et al., 2008). Az adott növény igényeihez alkalmazandó adagok ismeretét követően az első lépés a növény különböző fejlődési szakaszaiban a tápanyagok felszívódásának és felhalmozódásának értékelése, meghatározva az egyes tápelemek iránti nagyobb igényeket jelentő fenológiai szakaszokat (Borges et al., 2009).

Xue et al. (2014) vizsgálatai során a hajtás mikroelem-felhalmozódását értékelték több eltérő fejlődési szakaszban, eltérő nitrogéntrágyázási szintek mellett. Kutatásukban megállapították, hogy a Fe, Mn és Cu növényi hasznosulási hatékonyságát a termés és az N ellátottsági szint szignifikánsan nem befolyásolta. Irodalmi adatok szerint kevés nemzetközi tanulmány vizsgálta kukorica tesztnövényen a N trágyázási gyakorlatnak a növényi mikroelemfelvétellel és tápelemekkoncentrációval meglévő kölcsönhatásait, a kapott eredmények pedig ellentmondásosak (Riedell et al., 2009; Losak et al., 2011; Ciampitti et al., 2013).

## 2.6. Tápanyagellátottság és termés összefüggései

A kukorica magja körülbelül 73 % keményítőből, 10 % fehérjéből és 5 % olajból, a fennmaradó rész pedig rostokból, vitaminokból és ásványi anyagokból áll (Eckhoff és Paulsen, 1996) A takarmánygabonák közül a kukorica az egyik legkoncentráltabb energiaforrás a magas keményítő- és alacsony rosttartalma, valamint az emészthetőbb tápanyagtartalma miatt. Magas telítetlen zsírsavtartalmának köszönhetően a kukoricaolajat széles körben használják emberi fogyasztásra. A kukorica legnagyobb hátránya azonban viszonylag alacsony fehérjekoncentrációja. Emellett a kukoricafehérje alacsony biológiai értékű, mivel nem található meg benne az összes esszenciális aminosav a megfelelő mennyiségben és arányban (Pollak, 2003).

A kukorica termésmennyiségét továbbá a szárazanyag felhalmozódásának és eloszlásának jellemzői is meghatározzák a növekedési időszak alatt, és a szárazanyag felhalmozódása és a termés között szignifikáns pozitív korreláció van (Liu et al., 2019). A nagy terméshozamú kukoricatermesztés termesztési körülményei között számos vizsgálatot végeztek a szárazanyagfelhalmozással, valamint a tápanyagfelvétellel és -hasznosítással kapcsolatban. Egyértelmű, hogy a kukorica szárazanyag- és tápanyagfelhalmozódását és -szállítását elsősorban a genotípus, a termőhelyi környezet és a termesztéstechnológia együttesen képes befolyásolni (Berzsenyi, 1992; Árendás et al., 2018; Zhai et al., 2022). A kukorica szemtermést növelő termelési tényezők a keményítő koncentrációt is növelik, miközben a szem fehérjekoncentrációját csökkentik (Mason és D'croz-Mason, 2002). Tsai et al. (1983) kimutatták, hogy a kukoricaszem fehérjekoncentrációja nőtt az N-ellátással, és a zein (egyfajta alkoholban oldódó fehérje) előnyösebb lerakódása volt a többi endospermium fehérjével szemben. Ezenkívül a szemtermés maximalizálásához szükséges N műtrágya mennyisége nem azonos a maximális szemfehérje-koncentráció előállításához szükséges mennyiséggel, és az utóbbi általában magasabb, mint az előbbi.

A N-műtrágya alkalmazása a kukoricaszem aminosav-egyensúlyát is megváltoztathatja. Ahogy a kukoricaszem fehérjekoncentrációja az N-arányok növekedésével növekszik, a zein egyre nagyobb hányadát teszi ki a gabonafehérjében. Mivel a zein kisebb mennyiségben tartalmazza a leginkább korlátozó esszenciális aminosavakat, a lizint és a triptofánt, a megnövekedett zeinkoncentráció a lizin és a triptofán arányának csökkenését okozza, így csökken a kukoricaszem fehérje biológiai értéke (Tsai et al., 1992). Ez azonban bizonyos esetekben kompenzálható. esetekben, mivel a N-műtrágyázás növeli a csíra méretét, amelynek aminosav-egyensúlya jobb, mint az endospermiumé (Bhatia és Rabson, 1987)

Mivel a kukoricaszemben nagyon alacsony az olajkoncentráció, kevés tanulmány készült a trágyázásról és más, a kukoricaolaj koncentrációját befolyásoló mezőgazdasági gyakorlatokról. Welch (1969) arról számolt be, hogy az N-, P- és K-alkalmazások kismértékben növelték a kukoricaszemek olajkoncentrációját, de még ennél is fontosabb, hogy a megnövekedett szemtermés nagyobb olajtermelést eredményezett területegységenként. Huq (1987) tanulmányában megállapította, hogy a P alkalmazása nem tudja növelni a kukoricaszem fehérjekoncentrációját, illetve a N és a K sem.

A nitrogéntrágyázás mértéke a termésnövekedés mellett befolyásolja a kukoricaszem tápanyag-összetételét, különösen a fehérje- és keményítőtartalmat (Nagy, 1995; Rehman et al., 2011). A terméshozam maximalizálása érdekében a nitrogénnek (N) egyensúlyban kell lennie más makrotápanyagokkal, például a foszforral (P) és a káliummal (K). A növényi tápanyag-sztöchiometrikus arányok (pl. N-P és N-K arányok) elemzése nagyon hasznos megközelítés ezen egyensúlyok megértéséhez (Chen et al., 2021). A növényi sztöchiometria kulcsfontosságú mérőeszköz a növényi tápanyagok változásainak vizsgálatához a kukorica tápanyagfelvételének utólagos diagnosztikájához (Carciochi et al., 2020, Chen et al., 2020), és a tápanyagfelvétel szükséges mechanizmusoknak a növények tápanyag-hasznosításához szükséges megértéséhez (Zhang et al., 2018).

Mind a növényi sztöchiometria, mind a tápanyagfelvétel értékelése új kutatási irányt nyújthat a növények tápanyag-megoszlásába és a klímaváltozásra adott válaszaiba (Yan et al., 2021). Ennek megfelelően a N az egyik fő korlátozó tényező a növények növekedésében és végső soron a termelésben (Yang et al., 2017), a P elengedhetetlen a különböző metabolikus tevékenységekhez (Wang et al., 2018), és a K elősegíti a fotoszintetikus folyamatot (Hafeez et al., 2019). Továbbá Leite et al. (2016) arról számoltak be, hogy magasabb tápanyagtartalmat és kiegyensúlyozottabb növényi N-P (6-1) és növényi N-K (0,5-1) arányt találtak a magas hozamú cukornádrendszerekben. Korábbi kutatások pedig rámutattak arra, hogy a tápanyag-kölcsönhatások (szinergikus vagy antagonista) egyaránt fokozhatják vagy csökkenthetik a tápanyagfelvételt és hasznosítást (Bak et al., 2016).

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. A kísérleti terület jellemzői

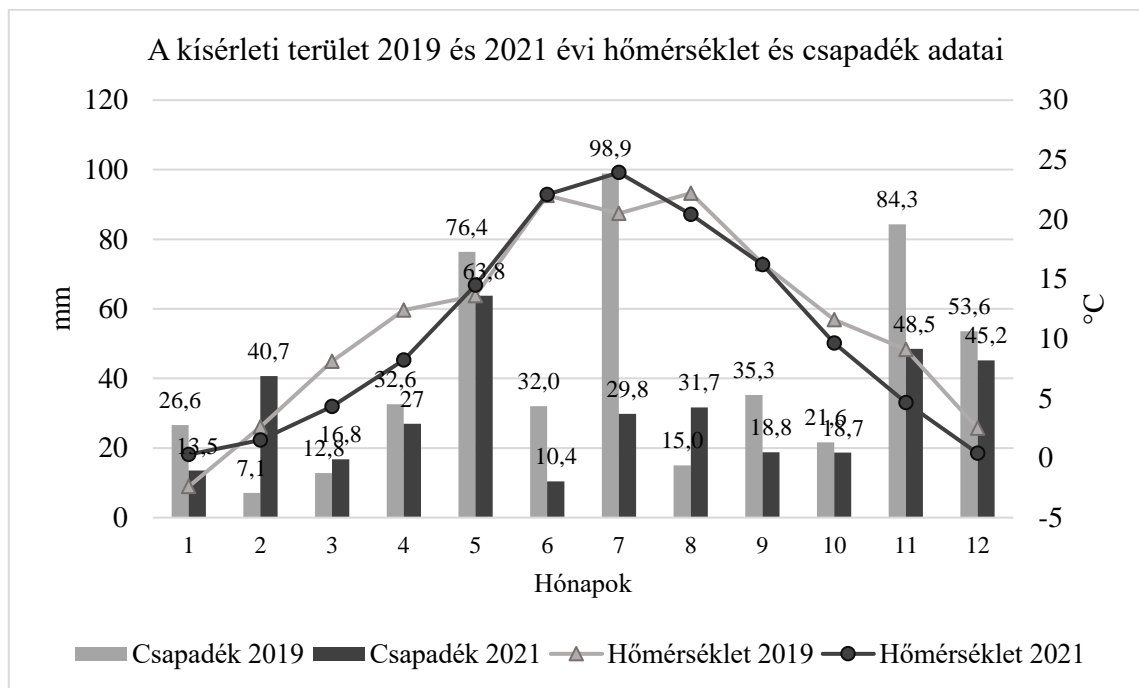
A kísérlet helyszínét a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep biztosította. A kísérleti telep Debrecentől 13 km-re nyugatra, északi szélesség 47°33' és keleti hosszúság 21°26' koordinátákon, 111 m tengerszint feletti magasságon helyezkedik el. A terület hajdúsági löszháton kialakult mészlepedékes csernozjom talaja a kukoricatermesztés szempontjából kedvező talajfizikai és talajkémiai tulajdonságokkal rendelkezik, amelynek a meghatározásához a talajvizsgálati eredményeket a HL-LAB Környezetvédelmi és Talajvizsgáló Laboratórium mérései szolgáltatták (1. táblázat).

	Nitrogéntrágyázási szintek					
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
pH (KCl 1:2,5)	6,15	5,81	5,70	5,59	5,40	5,57
K <sub>A</sub>	38,56	37,06	40,28	38,47	37,04	36,81
Összes só [m/m %]	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
CaCO <sub>3</sub> [m/m %]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Humusz [m/m %]	2,16	2,16	2,23	2,25	2,06	2,02
N <sub>nitrit+nitrát</sub> [m/m %]	2,17	1,47	2,30	1,98	1,91	2,11
Magnézium [mg/kg]	362,30	353,00	346,15	344,50	344,85	359,00
Kén [mg/kg]	0,78	1,48	6,88	4,75	1,10	2,81
Kálium-oxid [mg/kg]	185,28	287,70	277,44	321,18	315,48	277,02
Nátrium [mg/kg]	13,59	10,08	9,55	10,10	8,59	9,22
Foszfor-pentoxid [mg/kg]	52,90	142,61	146,65	200,89	184,77	129,12
Réz [mg/kg]	2,26	2,17	2,30	2,17	2,01	2,28
Mangán [mg/kg]	248,40	246,40	259,60	240,60	230,10	252,85
Cink [mg/kg]	0,58	0,64	0,59	0,57	0,53	0,59

1. táblázat: A kísérleti terület talajvizsgálati eredményei. Debrecen-Látókép

### 3.2. A vizsgált évek időjárása

A kísérleti terület jellemzően kontinentális éghajlatú, gyakran előfordulnak különböző időjárási szélsőségek, mint például a csapadék mennyiségének és eloszlásának változása, valamint a hőmérsékleti értékek ingadozása a vegetációs időszakon belül és kívül. 2019-es évben 04. 01. és 10. 31. között mindössze 311,8 mm csapadék hullott a tenyészidőszak alatt. Ezzel szemben 2021 évben a kukorica vetésének idején meglévő megfelelő csapadék általi vízellátottságot a vegetatív és generatív fejlődés későbbi szakaszaiban jelentős deficit követett, június és szeptember közötti 4 hónap alatt mindösszesen 90,7 mm csapadék hullott, amely az kísérleti területen is megalapozta az országosan is tapasztalható alacsonyabb termésmennyiségeket (5. ábra).



5. ábra: A kísérleti terület hőmérséklet és csapadékviszonyai 2019 és 2021-es évben. Debrecen-Látókép

### 3.3. Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet bemutatása

A Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepen 1983-ban Prof. Dr. Nagy János által alapított komplex multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben közel negyven év azonos tápanyagutánpótlási technológiájának tartamhatását van lehetőség vizsgálni és értékelni. A kísérletben komplex módon összehasonlíthatóak az egyes kukorica genotípusok műtrágyareakciói a nem műtrágyázott kontroll parcellák és az öt növekvő műtrágyadózis



### 3.4. Szántóföldi kísérleti agrotechnika

A kísérleti terület művelési technológiája hagyományos, forgatásos alapművelésre épülő talajművelési rendszerből áll (2. táblázat). A kísérleti parcellák foszfor és kálium alaptrágyázása ősszel, az egyes tápanyagkezeléseknek megfelelő nitrogéntrágyázás pedig tavasszal, vetés előtt történik, precíziós, egyedi parcellaszintű kijuttatási technológia segítségével.

A vetéssel egy menetben teflutrin hatóanyagú talajfertőtlenítőszer kijuttatása történik meg 15 kg/ha dózisban. A kísérletben alkalmazott tőszám 72.000 tő/ha. A betakarítás minden esetben a fiziológiai érettséget követően, a vízleadási folyamat után történik, a 3.7.1 alfejezetben részletezett módon.

A kísérletben értékelt genotípus FAO 420 érésidővel jellemzett, középérésű, lófogú kukorica hibrid, amely kiváló termőhelyi alkalmazkodóképességgel rendelkezik. Intenzív kelési erély, dinamikus korai fejlődés és optimális szárszilárdság jellemzi. Elérhető termésmennyisége maximálisan 18 – 20 t/ha, amelyhez kiváló minőséget jellemző paraméterek társulnak, köztük 8,1 – 8,4 % átlagos fehérjetartalom, 3 – 5 % közötti olajtartalom, valamint 70 – 72 % közötti keményítőtartalom (Nagy et al., 2020).

Agrotechnikai művelet	2019	2021
Szántás	2018.10.05	2020.11.02
Kombinátor	2019.03.04	2021.03.12
Mútrágyaszórás + Kombinátor	2019.04.05	2021.04.08
Vetés	2019.04.16	2021.04.21
Növényvédelmi permetezés	2019.05.02	2021.05.19
Növényvédelmi permetezés	2019.05.23	-
Sorközművelő kultivátor	2019.05.27	2021.06.07
Betakarítás	2019.10.16	2021.09.28

2. táblázat: A kísérlet főbb agrotechnikai adatai.

### 3.5. Szárazanyagbeépülési dinamika értékelése

A kukorica szárazanyagbeépülésének és tápelemfelvételének komplex értékeléséhez az egyes mintavételek során a fenológiai fázisoknak megfelelően vizsgáltam a különböző vegetatív és generatív növényi részeket. A kukorica vegetatív fejlődési fázisaiban, 4 leveles (V<sub>4</sub>), 8 leveles (V<sub>8</sub>) és a hímvirágzás (V<sub>T</sub>) fenofázisokban az egyes vizsgálatokat a levélen és száron végeztem, később termés megjelenésével szemtermés és a csutka beltartalmi vizsgálatával egészítettem ki a fiziológiai érettség, (R<sub>6</sub>) fenofázisban történt mintavételeket. A növényi részek szárazanyagtartalmának meghatározása termometriás módszerrel történt. A friss minták tömegmérését követően a mintákat laboratóriumi szárítószekrényben (ED 720, Binder GmbH, Tuttlingen, Németország) 65°C-on tömegállandóságig szárítottam, majd szobahőmérsékletre történt visszahűtés után analitikai mérlegen (E10640, OHAUS Europe GmbH, Nänikon, Svájc) mértem, ezáltal meghatározva a szárazanyagtartalmat, valamint a friss növényi minták nedvességtartalmát.

### 3.6. Kukorica tápelem-összetétele

A kukorica teljeskörű, vegetatív és generatív növényi részeinek tápelemanalitikai értékeléséhez az előzőekben leírtak szerint termometriás módszerrel tömegállandóságig szárított minták esszenciális makro-, mezo és mikroelemtartalmának kvantitatív meghatározása akkreditált laboratóriumban történt.

#### *3.6.1. Esszenciális tápelemek analitikai meghatározása*

A minták esszenciális tápelemtartalmának komplex meghatározása akkreditált laboratóriumban valósult meg. Az alábbi tápelem összetevők meghatározására került sor, a vonatkozó szabványok mellett: Kjeldahl-módszerrel történő nitrogéntartalom meghatározás (MSZ-08-1783-6:1983), illetve ICP-OES (Thermo Scientific iCAP 7400, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) mérőeszköz által mért foszfor (MSZ-08-1783-28:1985), kálium (MSZ-08-1783-29:1985), kalcium (MSZ-08-1783-26:1985), magnézium (MSZ-08-1783-27:1985) cink (MSZ-08-1783-33:1985), réz (MSZ-08-1783-34:1985), vas (MSZ-08-1783-31:1985), kén (MSZ-08-1783-38:1985), mangán (MSZ-08-1783-32:1985).

### 3.7. Termés mennyiségi és minőségi értékelése

#### 3.7.1. Termés mennyiségi meghatározása

A fiziológiai érést követően a kísérleti parcellák betakarítása SR2010 (Sampo Rosenlew Ltd., Pori, Finnország) parcellakombájnnal történt. A betakarítógép beépített tömegmérője által történt a parcella termésmennyiségének meghatározása, amelyet a parcella területének és tőszámának ismeretében üzemi méretre számoltam át.

#### 3.7.2. Termésminőséget jellemző paraméterek mérése

A betakarítás során valamennyi kísérleti parcella szemterméséből egyedi 1 kg ösztömögű átlagmintát különítettem el, amelynek a főbb beltartalmi minőségi paramétereit (fehérje-, keményítő-, olajtartalom, szemnedvesség) ezt követően Perten DA7250 (PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA) NIR készülékkel értékeltem.

### 3.8. Statisztikai értékelés

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. A mért adatok megfelelőségét Kolmogorov – Smirnov normalitás tesztel vizsgáltam. Az eltérő nitrogéntrágyázás és évjárat önálló és együttes hatásait egy- és többtényezős varianciaanalízissel végeztem. Az egyes értékek közötti szignifikáns különbségek meghatározásához Fisher – féle legkisebb szignifikáns különbség (LSD) tesztet alkalmaztam. A tápelemanalitikai adatok és a termés mennyiségi, minőségi paramétereinek közötti összefüggésvizsgálatot klaszteranalízis segítségével végeztem el, a grafikus elemzéshez pedig GGE biplot analízist alkalmaztam. A grafikonokat Ms Excel 365 és Datawrapper programokkal készítettem.

A GGE biplot modell nem választja el a genotípus hatását (G) a genotípus x környezet (GE) kölcsönhatás hatásától, hanem két multiplikatív tagban tartja őket együtt, amelyet a következő egyenlet képvisel:  $Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{1i}e_{1j} + g_{2i}e_{2j} + \varepsilon_{ij}$ , ahol  $Y_{ij}$  az  $i$  genotípustól a  $j$  környezetben várható teljesítmény;  $\mu$  a megfigyelésekből származó általános konstans;  $\beta_j$  a  $j$  környezet fő hatása;  $g_{1i}$  és  $e_{1j}$  az  $i$ -edik genotípus  $j$ -edik környezetben elért fő pontszámai;  $g_{2i}$  és  $e_{2j}$  az  $i$ -edik genotípus  $j$ -edik környezetben elért másodlagos pontszámai; és  $\varepsilon_{ij}$  a maradványérték, amelyet egyik hatás sem magyaráz. A hagyományos módszerekkel ellentétben a GGE biplot grafikus eljárásában a választások a grafikus adatok vizsgálata és az adatok alapján történnek. Ez a technika számos kapacitást és egyértelműséget tartalmaz az eredmények értelmezésében. Ily módon az értékelések grafikus képeken alapulnak, nem pedig a táblázatokban látható értékeken. A Yan és Hunt (2002) GGE biplot modellje két koncepciót hangsúlyoz: (1) Bár a mért hozam a genotípus, a környezet és a genotípus-környezet kölcsönhatás kombinációja, amint azt fentebb említettük, csak a genotípus-hatás és a genotípus-környezet kölcsönhatásokat kell egyidejűleg figyelembe venni a fajtában vagy a genotípusban történő értékelésnél. Emiatt a módszer első részét GGE-nek (GE + G) nevezzük. (2) A GGE szántóföldi teljesítményvizsgálatok ábrázolására a Gabriel (1971) által kifejlesztett biplot módszert használták. Emiatt ez a módszer a GGE biplot módszer néven vált ismertté. Ebben a kutatásban a GGE biplot módszertan alapján az első tényező a műtrágyakezelések, a második tényező pedig az esszenciális tápelemek voltak.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. Szárazanyagbeépülési dinamika értékelése

A kutatásom során vizsgáltam a kukorica szárazanyagbeépülési dinamikáját, valamint a nitrogéntrágyázás hatását az eltérő növényi részek szárazanyag akkumulációjára. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a vegetatív növényi részek esetében a szár szárazanyag felhalmozódását a nitrogéntrágyázás, az évjárat, a fenofázis, valamint a fenofázis x évjárat együttes hatása szignifikánsan befolyásolta ( $P < 0,001$ ). Ezzel szemben a kukorica levelének szárazanyag-növekedését a nitrogéntrágyázás, fenofázis, fenofázis x évjárat hatások befolyásolták a legnagyobb mértékben ( $P < 0,001$ ), azonban ezeken felül a nitrogéntrágyázás x évjárat és a fenofázis x évjárat ( $P < 0,01$ ), valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x évjárat együttes hatása is statisztikailag igazolható mértékű volt ( $P < 0,05$ ) (3. táblázat).

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Szár	NPK	5	2079	415,8	5,62	0,000
	Év	1	4029	29,1	54,50	0,000
	Fenofázis	3	120702	40234,0	544,20	0,000
	NPK*Év	5	291	58,2	0,79	0,561
	Fenofázis*Év	3	1877	625,6	8,46	0,000
	Fenofázis*NPK	15	1552	103,5	1,40	0,155
	Fenofázis*NPK*Év	15	1153	76,8	1,04	0,419
	Hiba	144	10646	73,9		
Levél	NPK	5	1266,3	253,3	17,16	0,000
	Év	1	0,9	0,9	0,06	0,804
	Fenofázis	3	34248,5	11416,2	773,76	0,000
	NPK*Év	5	241,5	48,3	3,27	0,008
	Fenofázis*Év	3	329,4	109,8	7,44	0,000
	Fenofázis*NPK	15	605,8	40,4	2,74	0,001
	Fenofázis*NPK*Év	15	403,9	9,26	1,83	0,036
	Hiba	144	24,6	8,14		
Szemtermés	NPK	5	50637	10127,4	20,22	0,000
	Év	1	87311	87310,5	174,32	0,000
	NPK*Év	5	6247	1249,4	2,49	0,049
	Hiba	36	18031	500,9		
Csutka	NPK	5	401,56	80,31	12,50	0,000
	Év	1	2462,61	2462,61	383,41	0,000
	NPK*Év	5	85,41	17,08	2,66	0,038
	Hiba	36	231,23	6,42		

3. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás és az évjárat szárazanyagbeépülési dinamikát befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukorica vegetatív és generatív növényi részeiben. Debrecen-Látókép

A generatív növényi részek szárazanyagbeépülésének vizsgálata során megállapítottam, hogy a mind a szemtermés mind pedig a csutka esetében a nitrogéntrágyázás, az évjárat és a nitrogéntrágyázás x évjárat kölcsönhatás egyaránt statisztikailag igazolható hatást eredményezett, előbbieik  $P < 0,001$ , míg az együttes kölcsönhatása kisebb,  $P < 0,05$  mértékben (3. táblázat).

A kutatásom megerősíti Martins et al. (2017) eredményeit, amely szerint a kukorica fejlődése során a szárazanyag legmagasabb százalékos arányát kezdetben a leveleknél figyelték meg. A vetés után 70 nappal ( $R_1$  növekedési szakasz) a szárazanyag legmagasabb százalékos aránya a szárban volt, amely ebben a szakaszban a kukoricánövénny fő raktározó szerve volt. Guo et al. (2021) kutatásukban az átlagos szárazanyagfelhalmozódás a kukorica különböző növényi részeiben a következő sorrendet követte: szemtermés > szár > levél > csutka, amelyet a jelen kutatási eredményeim is alátámasztanak.

#### *4.1.1. Nitrogéntrágyázás hatása a kukorica szárazanyag beépülésére*

A kutatásom során végzett szárazanyagbeépülési vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a vegetatív és generatív növényi részek szárazanyagmennyiségét egyaránt képes növelni a növekvő nitrogéntrágyázás.

Az eltérő fenológiai fázisokban mért dinamikai folyamatok az egyes növényi részekben eltérőek voltak. A vegetatív növényi részekben a szár szárazanyagbeépülésére  $V_4$  fenofázisban az  $N_1$  kezelés kivételével mindegyik kezelés szignifikáns hatást gyakorolt, 60 – 80 % mértékben növelve a felhalmozott szárazanyagtartalmat.

$V_8$  fenofázisban a kontroll parcella értékeihez képest szintén az  $N_1$  kezelés kivételével mindegyik trágyakezelés statisztikailag igazolt hatást gyakorolt, a legnagyobb mértékben az  $N_5$  kezelés, amely +135 %-kal (+8,87 g) növelte a szárazanyagtartalmat. A generatív fejlődési szakaszban hímvirágzáskori állapotban szignifikáns pozitív változást az  $N_1$  és  $N_5$  kezelés eredményezett, 12 – 24 % mértékben. A tenyésztési időszak befejeztével  $R_6$  fenofázisban a szár szárazanyagtartalma a nitrogéntrágyázás hatására 21 – 53 % magasabb volt, a legnagyobb növekedést az  $N_5$  kezelés eredményezte +22,5 g/növény értékkel (4A táblázat).

A levél szárazanyagmennyisége, mint a szervesanyagképződéshez meghatározó asszimilációs felület elsődleges biztosítója meghatározó mértékben függött a növekvő nitrogéntrágyázástól. A kezdeti V<sub>4</sub> fenofázisban minden kezelés szignifikánsan növelte a szárazanyagtartalmat, 39 – 64 % közötti mértékben. A vegetatív fejlődési szakasz előrehaladtával a V<sub>8</sub> stádiumban mért értékek mindegyike jelentősen növekedett a kezelések hatására, legkisebb mértékben az N<sub>1</sub> kezelésben 33,9 %-kal, legnagyobb mértékben pedig az N<sub>3</sub> és N<sub>5</sub> kezeléseknél, 96,4 és 98,3 %-kal.

Pan et al. (1995) kutatásában a szárazanyag felhalmozódás növényi szervek közötti megoszlását indikátorként használta a szemtelítődés során elérhető fotoszintetikus termékek mennyiségi jellemzőire. Megállapította, hogy a vegetatív növényi részek szárazanyag akkumulációja nagyobb mértékben reagált a növekvő nitrogéntrágyázásra. Eredményeim ezzel szemben a generatív növényi részek nagyobb mértékű nitrogénreakcióját bizonyították, amely a szemtermésnek a vegetatív növényi részekhez képest nagyobb mértékű szárazanyagbeépülését eredményezték.

He et al. (1998) vizsgálataikban arról számoltak be, hogy a megfelelő talajnedvesség és nitrogénellátottság hatékonyan segítette elő a szárazanyag felhalmozódását és a kukorica növények N-felvételét, továbbá javította a N-remobilizációt a vegetatív szervekből a szemtermésbe R<sub>1</sub> fenofázist követően. Az egyik legígéretesebb módja a termés hozamok növelésének a szárazanyagfelhalmozás, nitrogénfelvétel és nitrogén hasznosítási hatékonyság egyidejű fokozása (Hou et al., 2012).

Hímvirágzás fenofázisban statisztikailag igazolt növekedést mindösszesen a magas, N<sub>4</sub> és N<sub>5</sub> műtrágyadózis okozott, 33,1 és 33,7 % mértékben. A generatív fejlődés utolsó, R<sub>6</sub> szakaszában pedig mindegyik kezelés növelte a levél szárazanyagtartalmát, szignifikáns hatást eredményezve az N<sub>3</sub> (+36,7 %), N<sub>4</sub> (+61,4 %) és N<sub>5</sub> (+46,3 %) kezeléseknél (4B táblázat). Eredményeim megerősítik Ma és mtsai (2021) kutatásában foglaltakat, amely szerint a szárazanyag-felhalmozódás mértéke és a termés hozam is akkor volt a legmagasabb, amikor a nitrogén kijuttatásának mértéke 306,5 kg\*ha<sup>-1</sup> volt. A kutatásom során az N<sub>5</sub> kezelés (300 kg\*ha<sup>-1</sup>) nitrogéntrágyázás mellett mértem a maximumot. Ezzel ellentétben megcáfoltam Kosgey et al. (2013) kísérleti eredményeit, amely szerint korábbi évek nitrogéntrágyázását követően további N-trágya hozzáadása nem volt statisztikailag igazolható hatással ( $P = 0,601$ ) a fiziológiai érés kor felhalmozott összes szárazanyagra.

A		V <sub>4</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>T</sub>	R <sub>6</sub>
Szár (g)	N <sub>0</sub>	0,20 <sup>b</sup>	6,53 <sup>c</sup>	51,48 <sup>c</sup>	42,23 <sup>b</sup>
	N <sub>1</sub>	0,33 <sup>a</sup>	10,37 <sup>bc</sup>	57,64 <sup>b</sup>	56,81 <sup>ab</sup>
	N <sub>2</sub>	0,28 <sup>ab</sup>	14,15 <sup>ab</sup>	54,42 <sup>bc</sup>	56,29 <sup>ab</sup>
	N <sub>3</sub>	0,33 <sup>a</sup>	15,24 <sup>a</sup>	56,02 <sup>c</sup>	59,91 <sup>ab</sup>
	N <sub>4</sub>	0,32 <sup>a</sup>	14,69 <sup>a</sup>	55,65 <sup>bc</sup>	51,24 <sup>ab</sup>
	N <sub>5</sub>	0,36 <sup>a</sup>	15,40 <sup>a</sup>	64,06 <sup>a</sup>	64,78 <sup>a</sup>
B		V <sub>4</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>T</sub>	R <sub>6</sub>
Levél (g)	N <sub>0</sub>	0,28 <sup>b</sup>	8,42 <sup>c</sup>	29,10 <sup>b</sup>	22,02 <sup>c</sup>
	N <sub>1</sub>	0,41 <sup>a</sup>	11,27 <sup>bc</sup>	32,56 <sup>ab</sup>	27,97 <sup>bc</sup>
	N <sub>2</sub>	0,39 <sup>a</sup>	15,10 <sup>ab</sup>	33,33 <sup>ab</sup>	27,59 <sup>bc</sup>
	N <sub>3</sub>	0,39 <sup>a</sup>	16,54 <sup>a</sup>	33,90 <sup>ab</sup>	30,11 <sup>ab</sup>
	N <sub>4</sub>	0,41 <sup>a</sup>	15,66 <sup>a</sup>	38,72 <sup>a</sup>	35,54 <sup>a</sup>
	N <sub>5</sub>	0,46 <sup>a</sup>	16,70 <sup>a</sup>	38,91 <sup>a</sup>	32,22 <sup>ab</sup>

4. táblázat: Kukorica vegetatív növényi részeinek szárazanyagbeépülési dinamikai változása A: Szár, B: Levél. Debrecen – Látókép. V<sub>4</sub> = 4 leveles fejlettségi állapot, V<sub>8</sub> = 8 leveles fejlettségi állapot, V<sub>T</sub> = hímvirágzás, R<sub>6</sub> = fiziológiai érettség. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei a fenofázisokon belül szignifikánsan különböznek.

A generatív növényi részek (szemtermés és csutka) szárazanyagtartalmának meghatározása során megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás minden esetben szignifikáns növekedést eredményezett a szemtermés, valamint a csutka mért értékeiben egyaránt.

A szemtermésben a legnagyobb mértékű növekedést az N<sub>4</sub> kezelés okozta, 109,3 %-kal növelve a szárazanyagtartalmat. A csutka esetében pedig méréseim alapján hasonlóképpen az N<sub>4</sub> kezelés okozta a legnagyobb mértékű növekedést (+124,9 %), emellett jelentős, 118,4 és 121,7 %-os növekedést volt mérhető az N<sub>3</sub> és N<sub>5</sub> kezelések hatására is (5. táblázat).

	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
Szemtermés (g)	108,52 <sup>c</sup>	166,55 <sup>b</sup>	193,70 <sup>ab</sup>	212,14 <sup>a</sup>	227,16 <sup>a</sup>	216,87 <sup>a</sup>
Csutka (g)	10,32 <sup>c</sup>	15,54 <sup>b</sup>	20,02 <sup>ab</sup>	22,55 <sup>a</sup>	23,22 <sup>a</sup>	22,89 <sup>a</sup>

5. táblázat: Kukorica generatív növényi részeinek szárazanyagbeépülési dinamikai változása eltérő nitrogéntrágyázási szinteken. Debrecen – Látókép. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei egymástól szignifikánsan különböznek.

#### 4.1.2. Eltérő évjárat szárazanyag beépülést módosító hatásának értékelése

Az egyes növényi részek szárazanyagbeépülésének fenofázisokon keresztüli dinamikai értékelése során megállapítottam, hogy a kukorica szára 2019-ben egy alacsonyabb kiinduló kezdeti szárazanyag értékről magasabb, 64,86 g/növény mértékig emelkedett a szárazanyagtömeg. Ezzel szemben a 2021-es vizsgált év során magasabb, 0,5 g/növény kiindulási értékről a tenyészidőszak során meglévő kisebb csapadékmennyiség hatására kisebb mértékű volt a szárazanyagfelhalmozódás, mindösszesen 49,15 g/növény maximum értéket elérve (6A táblázat).

Ezzel szemben a levelek szárazanyagbeépülési dinamikájában nem állapítottam meg ilyen évjáratoktól függő változást, hasonló  $V_4$  fenofázisban mért értékekről (0,3 és 0,48 g/növény) mindkét évjáratban hasonló, 35,99 g/növény és 27,29 g/növény, valamint 32,84 g/növény és 31,2 g/növény értékig növekedtek  $V_T$  és  $R_6$  fenofázisokban (6B táblázat). Az eredményeim megegyeztek Johnson et al. (1966) és Golzardi et al. (2017) kutatásában foglaltakkal, amelyek szerint hímvirágzást követően a kukorica levelei és szárai csak kis mértékű tápanyagfelhalmozást mutattak, a levelek és a szárok száraz tömege pedig a fehérjék és az oldható szénhidrátok csökkenése miatt csökkent. Egy korábbi, több helyszínen végzett tanulmány szerint a szárazanyagfelhalmozódás 73,7%-ban járult hozzá a szemterméshez, ami azt jelzi, hogy fontos szerepet játszik a magas termésszintű fajtáknál (Liu et al., 2020). Számos tanulmány rámutatott arra, hogy a szárazanyag felhalmozódása a hímvirágzás utáni időszakban fontosabb a modern nagy termőképességű kukorica hibridek esetében (Yang et al., 2012; Zhou et al., 2016; Liu et al., 2017; Cao et al., 2021).

A		$V_4$	$V_8$	$V_T$	$R_6$
Szár (g)	2019	0,11 <sup>c</sup>	10,88 <sup>b</sup>	64,86 <sup>a</sup>	61,27 <sup>a</sup>
	2021	0,50 <sup>c</sup>	8,58 <sup>b</sup>	48,23 <sup>a</sup>	49,15 <sup>a</sup>
B					
Levél (g)	2019	0,30 <sup>d</sup>	14,70 <sup>c</sup>	35,99 <sup>a</sup>	27,29 <sup>b</sup>
	2021	0,48 <sup>c</sup>	13,20 <sup>b</sup>	32,84 <sup>a</sup>	31,20 <sup>a</sup>

6. táblázat: Kukorica vegetatív növényi részeinek szárazanyagbeépülési dinamikai változása. Debrecen – Látókép.  $V_4$  = 4 leveles fejlettségi állapot,  $V_8$  = 8 leveles fejlettségi állapot,  $V_T$  = hímvirágzás,  $R_6$  = fiziológiai érettség. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjáraton belül szignifikánsan különböznek.

A szemtermés és a csutka növekvő nitrogéntrágyázás hatására bekövetkező változásai az egyes évjáratokban hasonló dinamikát követtek, az évjárat hatás módosította bázisértékek különbségei mellett. A szárazanyag-felhalmozódás és annak a magokba való beépülése nagyon fontos meghatározói a termésmennyiségnek (Rivera-Amado et al., 2019; Liu et al., 2020). Ezen eredményeket sikerrel bizonyítottam kísérletemben, amely során a 2019-es első vizsgált évben a növekvő N kezelések minden esetben szignifikáns pozitív változást eredményeztek, legnagyobb mértékben 89 %-ban az N<sub>4</sub> kezelés volt hatással. A 2021-es vizsgált évben a növekvő nitrogéntrágyázás jelentősebb növekedést eredményezett, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelésben, 165 %-kal növelve a szemtermés szárazanyagtartalmát (7A táblázat).

A csutka évjáratok közötti szárazanyagbeépülésének nitrogéntrágyázás befolyásolta változásait értékelve megállapítottam, hogy mindkét évben hasonló növekvő tendencia keletkezett a növekvő nitrogénellátottság hatására. A 2019-es vizsgált évben a kezelések 53,3 és 116,7%-kal növelték a csutka szárazanyagtartalmát, legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésben, 16,53 g/növény mértékben. Ezzel szemben a 2021-es vizsgált év adatai alapján a nitrogéntrágyázás 44,6 és 173,5 %-os pozitív növelő hatást okozott, legjelentősebb esetben az N<sub>5</sub> kezelésben 11,24 g/növény értékkel (7B táblázat).

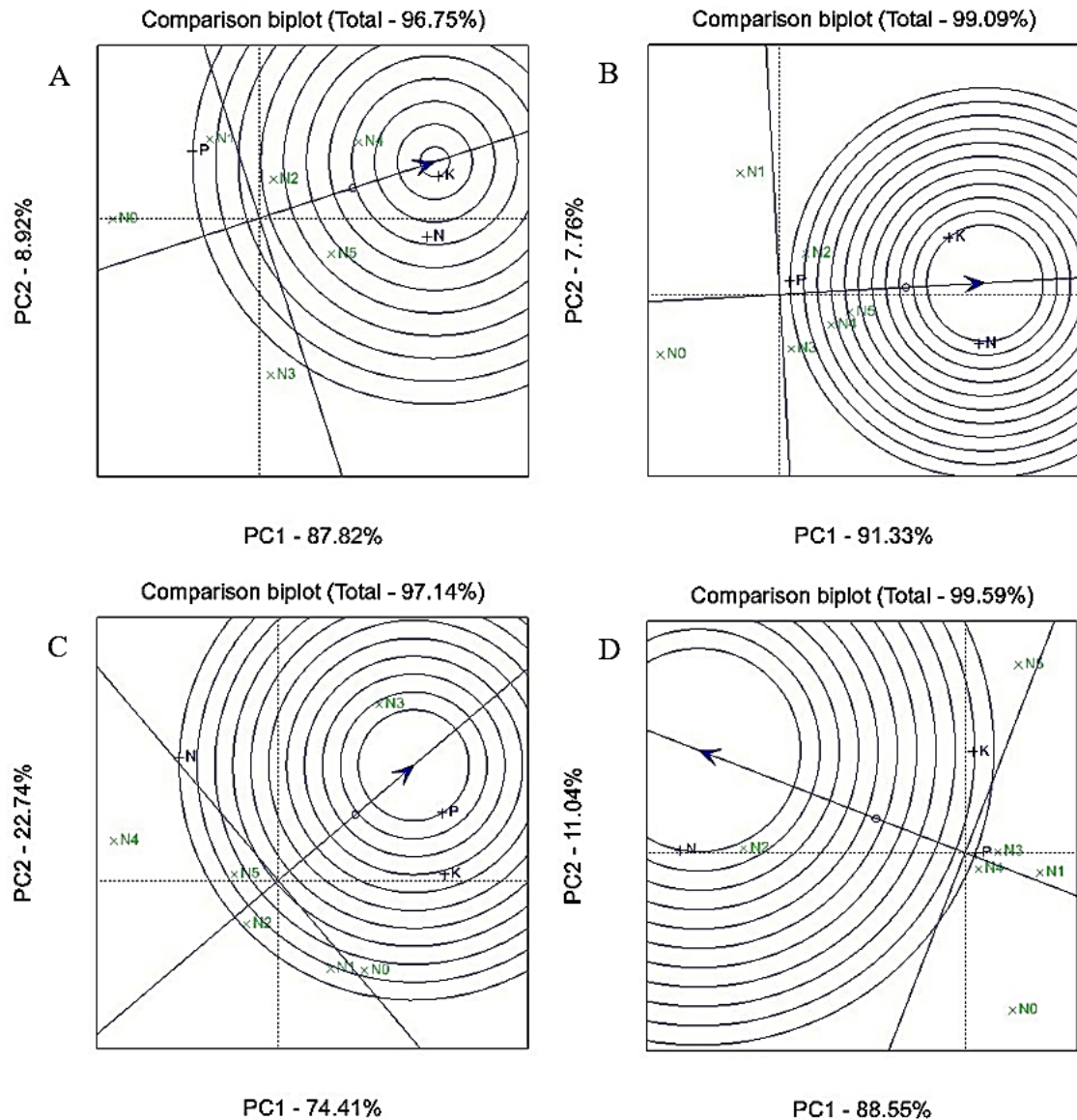
A		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
Szemtermés (g)	2019	146,42 <sup>e</sup>	209,87 <sup>d</sup>	224,47 <sup>cd</sup>	251,60 <sup>b</sup>	276,95 <sup>a</sup>	246,55 <sup>bc</sup>
	2021	70,63 <sup>a</sup>	123,24 <sup>b</sup>	162,94 <sup>b</sup>	172,69 <sup>b</sup>	177,38 <sup>bc</sup>	187,19 <sup>c</sup>
B							
Csutka (g)	2019	14,17 <sup>d</sup>	21,72 <sup>c</sup>	26,85 <sup>bc</sup>	28,52 <sup>ab</sup>	30,70 <sup>a</sup>	28,07 <sup>ab</sup>
	2021	6,48 <sup>a</sup>	9,37 <sup>a</sup>	13,19 <sup>ab</sup>	16,57 <sup>abc</sup>	15,75 <sup>bc</sup>	17,72 <sup>c</sup>

7. táblázat: Kukorica generatív növényi részeinek szárazanyagbeépülési dinamikai változása eltérő nitrogéntrágyázási szinteken a vizsgált évjáratokban. Debrecen – Látókép. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei egymástól szignifikánsan különböznek.

#### 4.2. Makroelemek felhalmozódási jellemzőinek értékelése

A vizsgálataim során a makroelemek felvételi dinamikájának elemzése során kiemelten vizsgáltam a kukorica növényi részeinek akkumulációs jellemzőit és az eltérő nitrogéntrágyázás hatásait, átfogó és részletes elemzési metodika segítségével. A vegetatív növényi részekben a három makroelem közül a szár és a levél esetében egyaránt a kálium volt elsődleges jelentőségű, amelyet a nitrogén egészített ki, ellenben a foszfor

nem volt meghatározó. A nitrogéntrágyázási szintek közül pedig a magas, N<sub>4</sub> – N<sub>5</sub> kezelések eredményezték a legkiemelkedőbb makroelem akkumulációt (7A-7B ábra).



7. ábra: A nitrogénellátottság és makroelemek (N, P, K) felhalmozódásának kölcsönhatásvizsgálata GGE Biplot analízis alapján. A: Szár, B: Levél, C: Szemtermés, D: Csutka. Debrecen – Látókép

A kukorica generatív növényi részeinek makroelem-felvételi sajátosságait átfogóan értékelve megállapítottam, hogy a szemtermésben a foszfor, mint a termésképződésben kiemelt szereppel bíró tápelem akkumulációja volt meghatározó, amelyet a kálium, majd pedig minimális mértékben a nitrogénfelvétel követett, ezzel szemben a csutka tápelemakkumulációjában a nitrogén volt kiemelt jelentőségű. A nitrogén dózisosk

hatásvizsgálata során pedig megállapítható, hogy a generatív növényi részek makroelem-felvételéhez egy közepes, a kísérletben N<sub>2</sub> – N<sub>3</sub> tápanyagszint a kedvező (7C-7D ábra).

#### 4.2.1. Növényi részek makroelem akkumulációja

A kutatásomban a szárazanyagbeépülési dinamika értékelésén túl a kukorica tápelemfelvételi jellemzőinek komplex meghatározását végeztem el, vizsgálva a növények számára esszenciális makro-, mezo- és mikroelemek felvételi sajátosságait.

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték	
Szár	Nitrogén	NPK	5	5,717	1,143	9,51	0,000
		Év	1	5,924	5,924	49,30	0,000
		Fenofázis	3	475,345	158,448	1318,42	0,000
		NPK*Év	5	1,265	0,253	2,11	0,068
		Fenofázis*Év	3	1,694	0,565	4,70	0,004
		Fenofázis*NPK	15	2,861	0,191	1,59	0,084
		Fenofázis*NPK*Év	15	1,795	0,120	1,00	0,463
		Hiba	144	17,306	0,120		
	Foszfor	NPK	5	7490723	1498145	8,41	0,000
		Év	1	48609483	48609483	272,97	0,000
		Fenofázis	3	5,97E+08	1,99E+08	1118,06	0,000
		NPK*Év	5	12280923	2456185	13,79	0,000
		Fenofázis*Év	3	8150325	2716775	15,26	0,000
		Fenofázis*NPK	15	13084234	872282	4,90	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	14921942	994796	5,59	0,000
		Hiba	144	25642977	178076		
	Kálium	NPK	5	2,83E+09	5,67E+08	14,66	0,000
		Év	1	29746135	29746135	0,77	0,382
		Fenofázis	3	7,31E+10	2,44E+10	630,55	0,000
		NPK*Év	5	2,35E+08	47086118	1,22	0,304
		Fenofázis*Év	3	7,68E+08	2,56E+08	6,62	0,000
		Fenofázis*NPK	15	9,58E+08	63840391	1,65	0,067
		Fenofázis*NPK*Év	15	1,09E+09	72834912	1,88	0,029
		Hiba	144	5,57E+09	38661209		

8. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás, az eltérő fenofázis és az évjárat makroelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukoricaszár vizsgálata alapján. Debrecen-Látókép

Az egyes vizsgált kísérleti paraméterek, mint a nitrogéntrágyázási dózisok, az évjárat és a mintavételi fenológiai stádiumok önálló és együttes hatásvizsgálatai alapján megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás, az évjárat, a fenofázis ( $P < 0,001$ ), valamint a fenofázis x évjárat együttes hatása ( $P < 0,01$ ) volt szignifikáns a kukoricaszár nitrogén akkumulációjára.

A foszforfelvételre mindegyik vizsgált faktor önálló és együttes hatása statisztikailag igazolható hatást fejtett ki ( $P < 0,001$ ), a kálium felvételi sajátosságait értékelve pedig megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás, fenofázis, fenofázis x év tényezők, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x év szignifikáns hatással voltak, előbbieket  $P < 0,001$ , utóbbi pedig  $P < 0,05$  mértékben (8. táblázat). A megfelelő szárszilárdságon túl a növényfejlődés kulcsfontosságú tényezője a levelek megfelelő növekedése, az asszimilációs felület megfelelő nagyságának kialakítása érdekében.

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték	
Levél	Nitrogén	NPK	5	13,805	2,7610	15,55	0,000
		Év	1	0,003	0,0027	0,01	0,903
		Fenofázis	3	285,514	95,1713	536,16	0,000
		NPK*Év	5	2,390	0,4780	2,69	0,023
		Fenofázis*Év	3	4,549	1,5163	8,54	0,000
		Fenofázis*NPK	15	1,276	0,0850	0,48	0,948
		Fenofázis*NPK*Év	15	1,693	0,1129	0,64	0,841
		Hiba	144	25,561	0,1775		
	Foszfor	NPK	5	488531	97706	0,81	0,542
		Év	1	16667490	16667490	138,73	0,000
		Fenofázis	3	2,75E+08	91610537	762,51	0,000
		NPK*Év	5	4466421	893284	7,44	0,000
		Fenofázis*Év	3	38155629	12718543	105,86	0,000
		Fenofázis*NPK	15	13086559	872437	7,26	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	5660188	377346	3,14	0,000
		Hiba	144	17300707	120144		
	Kálium	NPK	5	1,02E+09	2,03E+08	4,22	0,000
		Év	1	1,02E+09	1,02E+09	110,83	0,000
		Fenofázis	3	2,42E+10	8,07E+09	874,60	0,000
		NPK*Év	5	57427749	11485550	1,24	0,292
		Fenofázis*Év	3	1,4E+09	4,67E+08	50,56	0,000
		Fenofázis*NPK	15	5,16E+08	34394793	3,73	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	3,19E+08	21257052	2,30	0,006
		Hiba	144	1,33E+09	9231296		

9. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás, az eltérő fenofázis és az évjárat makroelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukoricalevél vizsgálata alapján. Debrecen-Látókép

A levél makroelemfelvételének értékelése során megállapítottam, hogy a nitrogén akkumulációt a fenofázis, a nitrogéntrágyázás, a fenofázis x év, valamint a nitrogéntrágyázás x év szignifikánsan befolyásolta,  $P < 0,001$ , valamint  $P < 0,05$  mértékben. A levél foszfortartalmában a nitrogéntrágyázás kivételével mindegyik vizsgált faktor önálló és együttes hatása statisztikailag igazolt ( $P < 0,001$ ) változást

eredményezett. A káliumfelhalmozódásban pedig a nitrogéntrágyázás x év kivételével mértünk minden esetben szignifikáns hatásokat (9. táblázat).

A makroelem felvétel generatív növényi részekben történő vizsgálata során megállapítottam, hogy a csutka foszfor és a káliumfelvételi jellemzőket a nitrogéntrágyázás, az évjárat, valamint a nitrogéntrágyázás x évjárat egyaránt szignifikánsan befolyásolta ( $P < 0,001$ ), ezzel szemben a szemtermésben mindkét tápelem koncentrációjában egyedül a nitrogéntrágyázás x évjárat hatás eredményezett statisztikailag igazolt változást (10. táblázat).

			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Szemtermés	Nitrogén	NPK	5	0,13666	0,02733	1,17	0,342
		Év	1	0,04550	0,04550	1,95	0,171
		NPK*Év	5	0,06669	0,01334	0,57	0,721
		Hiba	36	0,83937	0,02332		
	Foszfor	NPK	5	1037351	207470	2,46	0,052
		Év	1	192227	192227	2,27	0,140
		NPK*Év	5	1177096	235419	2,79	0,032
		Hiba	36	3042187	84505		
	Kálium	NPK	5	983230	196646	2,25	0,070
		Év	1	36510	36510	0,42	0,522
		NPK*Év	5	1582738	316548	3,63	0,009
		Hiba	36	3143567	87321		
			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Csutka	Nitrogén	NPK	5	0,9941	0,1988	0,62	0,688
		Év	1	1,1499	1,1499	3,57	0,067
		NPK*Év	5	1,6801	0,3360	1,04	0,408
		Hiba	36	11,6010	0,3223		
	Foszfor	NPK	5	263,5	52,709	7,57	0,000
		Év	1	111,8	111,786	16,06	0,000
		NPK*Év	5	324,7	64,936	9,33	0,000
		Hiba	36	250,6	6,962		
	Kálium	NPK	5	54846867	10969373	36,14	0,000
		Év	1	373006678	373006678	1228,88	0,000
		NPK*Év	5	63683071	12736614	41,96	0,000
		Hiba	36	10927189	303533		

10. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás és az évjárat makroelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukorica generatív növényi részeiben. Debrecen-Látókép

#### 4.2.2. *Eltérő nitrogéntrágyázás makroelem-felvételt befolyásoló hatása*

A növekvő nitrogéntrágyázás eltérő hatásokat gyakorolt az egyes növényi részek elemfelvételére, tápelem-koncentráció értékeire. A 11A. táblázat értékeiből látható, hogy a növények számára elérhető nitrogén trágyadózis növekedésének megfelelően emelkedett az egyes növényi részek nitrogéntartalma, a vegetatív részek esetében szignifikáns mértékben, a kontroll növények értékeihez képest. A szárban ez a növekedés legkisebb mértékben az N<sub>1</sub> tápanyagszint esetén 4 %, míg legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésben 28 % volt, levélben ugyanezen növekmények 6 és 31 % mértékűek voltak, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelés hatására.

A levélben mért nitrogén koncentráció értékeinek változásai megegyeznek Izsáki (2012), Boomsma et al. (2009) és Zhang et al. (2014) korábbi eredményeivel, amelyekben a növekvő nitrogéntrágyázás megemelkedett nitrogéntartalmat eredményezett a kukorica leveleiben, azonban ellentétesek Kincses et al. (2002) megállapításával, amely szerint a növények kezdeti fejlődése során V<sub>3-4</sub> és V<sub>6-7</sub> stádiumban a legnagyobb nitrogénkoncentráció a kontroll, legkisebb nitrogéndózissal rendelkező növények esetében volt mérhető.

A generatív részekben a szemtermés nitrogéntartalma az N<sub>1</sub> kezelés hatására növekedett legkisebb mértékben (+3 %), míg az N<sub>4</sub> műtrágyadózis 56 % (+0,55 m/m % N) növekedést eredményezett. A csutka fajlagos nitrogéntartalmában mindegyik kezelés jelentősen, 10 % fölötti mértékben eredményezett növekedést, azonban a változások a minták variabilitása miatt egy esetben sem voltak statisztikailag igazolhatók (11A. táblázat).

A kísérleteimben a fokozott mértékű nitrogénellátottság hatására minden fenofázisban megnövekedett nitrogénakkumulációt mértem, legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelés (240 kg\*ha<sup>-1</sup> N) esetében, amely ellentétes Jakab (2003) eredményeivel, amely szerint a nitrogénakkumuláció maximuma 120 kg\*ha<sup>-1</sup> nitrogéndózis kijuttatásával érhető el.

A foszforkoncentráció vizsgálata során megállapítottam, hogy a növekvő nitrogéndózis a szárban, valamint a generatív részekben eredményezett statisztikailag igazolt csökkenő értékeket, a levél foszforellátottságát érdemben nem befolyásolta. A szár fajlagos foszfortartalmára a közepes, N<sub>3</sub> kezelés volt legnagyobb hatással, 16 %-os, mintegy 572 mg/kg értékű csökkenést okozva.

A szemtermésben a növekvő nitrogéndózis enyhén csökkenő foszforkoncentrációt eredményezett, a legnagyobb mértékben a N<sub>4</sub> kezelésben (-10 %). A csutka foszforkoncentrációjában a többi növényi részhez képest szignifikánsan alacsonyabb kontroll értékek mellett statisztikailag igazolható módon 11 és 52 % közötti mértékű csökkentést figyeltem meg a növekvő nitrogéndózisok esetén (11B táblázat).

A foszforkoncentrációt érintő eredményeim megegyeznek Jakab (2003) kutatásában mért adataival, amely szerint a műtrágyázás nélküli kezeléseknél volt a legnagyobb a kukorica foszfortartalma. Ezzel szemben a kísérletben mért csökkenő foszfor koncentráció értékek ellentétesek Kincses et al. (2002) eredményeivel, amely szerint a növekvő nitrogéntrágyázás nincs hatással a növények egészének foszforfelvételére.

A szárszilárdság és a sejtfal stabilitás fontos alkotóelemeként a kálium megnövekedett koncentrációban volt mérhető a növények vegetatív részeiben a növekvő nitrogéndózis eredményeképpen. Az egyes nitrogéndózisok eltérő mértékben voltak hatással a szár káliumtartalmára, legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelés növelte a kontrollhoz képest 45 %-kal (12392 mg/kg K), ugyanakkor mindegyik nitrogénellátottsági szint több mint 20 %-os növekedést eredményezett.

A szár értékeihez képest a levél kálium koncentrációjában kiegyensúlyozottabb hatást mértem, 19 és 31 % közötti növekménnyel, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelésben (+ 6706 mg/kg K). Ezzel szemben a szemtermésben a koncentráció változása nem szignifikáns módon ugyan, de csökkenő tendenciát eredményezett az egyes kezelések hatására, 2 és 10 % közötti mértékben (11C táblázat). A generatív részek káliumkoncentrációjának változásai összhangban vannak Jakab (2003) eredményeivel.

A vizsgálatok eredményei megerősítették továbbá Thiraporn et al. (1992) eredményeit, amelyben a növekvő nitrogéntrágyázás okozta termésnövekedés nem okozott szignifikáns koncentráció hígulást a szemtermés foszfor- és káliumtartalmában, amely jelen kísérletben is fokozottabb makroelemfelvételt és intenzív tápelemmegoszlást jelent.

A		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
N (m/m %)	Szár	1,76 <sup>c</sup>	1,83 <sup>bc</sup>	2,06 <sup>ab</sup>	2,05 <sup>ab</sup>	2,25 <sup>a</sup>	2,16 <sup>a</sup>
	Levél	2,33 <sup>b</sup>	2,46 <sup>b</sup>	2,84 <sup>a</sup>	2,88 <sup>a</sup>	2,97 <sup>a</sup>	3,06 <sup>a</sup>
	Szem	0,99 <sup>a</sup>	1,02 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,39 <sup>a</sup>	1,54 <sup>a</sup>	1,27 <sup>a</sup>
	Csutka	0,26 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>
B							
P (mg/kg)	Szár	3652 <sup>a</sup>	3537 <sup>ab</sup>	3309 <sup>bc</sup>	3080 <sup>c</sup>	3269 <sup>bc</sup>	3183 <sup>c</sup>
	Levél	3341 <sup>a</sup>	3388 <sup>a</sup>	3395 <sup>a</sup>	3350 <sup>a</sup>	3246 <sup>a</sup>	3382 <sup>a</sup>
	Szem	3015 <sup>ab</sup>	2985 <sup>ab</sup>	2918 <sup>ab</sup>	3217 <sup>a</sup>	2719 <sup>b</sup>	2942 <sup>ab</sup>
	Csutka	441,8 <sup>a</sup>	391,8 <sup>ab</sup>	300,2 <sup>abc</sup>	284,8 <sup>bc</sup>	193,8 <sup>c</sup>	257,9 <sup>bc</sup>
C							
K (mg/kg)	Szár	27766 <sup>c</sup>	34633 <sup>b</sup>	37126 <sup>ab</sup>	34234 <sup>b</sup>	40158 <sup>a</sup>	37143 <sup>ab</sup>
	Levél	21759 <sup>c</sup>	26698 <sup>ab</sup>	27929 <sup>ab</sup>	25814 <sup>b</sup>	28205 <sup>a</sup>	28465 <sup>a</sup>
	Szem	3612 <sup>a</sup>	3536 <sup>a</sup>	3373 <sup>a</sup>	3246 <sup>a</sup>	3246 <sup>a</sup>	3340 <sup>a</sup>
	Csutka	5690 <sup>c</sup>	5956 <sup>bc</sup>	6391 <sup>ab</sup>	5726 <sup>c</sup>	6664 <sup>a</sup>	4478 <sup>d</sup>

11. Táblázat: Eltérő nitrogénellátottság hatása a kukorica növényi részeinek makroelemtartalmára. A: Nitrogén, B: Foszfor, C: Kálium. Debrecen-Látókép 2019,2021. Az egyes növényi részekben az eltérő tápanyagszintek értékeinél az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek

#### 4.2.3. Évjáratok sajátosságok a nitrogén, foszfor és kálium akkumulációban

Az egyes fő fejlődési stádiumok tápelemfelvételi jellemzőinek értékelése során megállapítottam, hogy a makroelemek koncentrációja statisztikailag igazolt mértékben, mintegy hígulási effektusként csökkent. Az vizsgált növényi részek R<sub>6</sub> stádiumban mért értékei megegyeznek Bák et al. (2016) kutatási megállapításaival, amely szerint a nitrogén és a foszfor koncentráció maximuma a szemtermésben figyelhető meg, ezzel szemben a kálium a legnagyobb mértékben a szárban halmozódott fel.

A szár és a levél nitrogénkoncentrációjában az egyes vizsgált években hasonló volt a dinamika, a kezdeti V<sub>4</sub> fenofázis értékeihez képest a későbbi mérési időpontokban a szárban mért nitrogénkoncentráció V<sub>8</sub> fenofázisban a 2019-es vizsgált évben 46 %-kal, a 2021-es vizsgált évben 59 %-kal, V<sub>T</sub> stádiumban 77 és 86 %-kal, fiziológiai érettségben pedig 86 és 90 %-kal csökkent (12A táblázat). Ezen eredmények megegyeznek Ning et al. (2013) vizsgálatukban mért tendenciával, amely szerint a nitrogén vegetatív növényi részekben mért koncentrációja a hímvirágzást követően szignifikánsan csökken, megalapozva a szemtermés fokozatosan kialakuló nitrogéntartalmát a növényi részek közötti nitrogén remobilizáció által.

A			V <sub>4</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>T</sub>	R <sub>6</sub>
N (m/m %)	Szár	2019	4,60 <sup>a</sup>	2,47 <sup>b</sup>	1,05 <sup>c</sup>	0,66 <sup>d</sup>
		2021	4,47 <sup>a</sup>	1,84 <sup>b</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,43 <sup>d</sup>
	Levél	2019	4,54 <sup>a</sup>	2,88 <sup>b</sup>	2,35 <sup>c</sup>	1,27 <sup>d</sup>
		2021	4,37 <sup>a</sup>	3,28 <sup>b</sup>	2,50 <sup>c</sup>	0,87 <sup>d</sup>
B						
P (mg/kg)	Szár	2019	4468 <sup>a</sup>	4327 <sup>a</sup>	1620 <sup>b</sup>	925,8 <sup>c</sup>
		2021	6007 <sup>a</sup>	5448 <sup>b</sup>	2597 <sup>c</sup>	1314 <sup>d</sup>
	Levél	2019	4147 <sup>a</sup>	3576 <sup>b</sup>	2770 <sup>c</sup>	1730 <sup>d</sup>
		2021	4339 <sup>b</sup>	5599 <sup>a</sup>	3304 <sup>c</sup>	1338 <sup>d</sup>
C						
K (mg/kg)	Szár	2019	43583 <sup>b</sup>	61708 <sup>a</sup>	21550 <sup>c</sup>	15441 <sup>c</sup>
		2021	49277 <sup>b</sup>	60924 <sup>a</sup>	16819 <sup>c</sup>	12112 <sup>d</sup>
	Levél	2019	42437 <sup>a</sup>	37087 <sup>b</sup>	25162 <sup>c</sup>	10460 <sup>d</sup>
		2021	29208 <sup>b</sup>	38128 <sup>a</sup>	20269 <sup>c</sup>	9074 <sup>d</sup>

12. táblázat: Makroelemek felvételi dinamikájának változása eltérő évjáratban a vegetatív növényi részekben. A: Nitrogén, B: Foszfor, C: Kálium. Debrecen – Látókép. V<sub>4</sub> = 4 leveles fejlettségi állapot, V<sub>8</sub> = 8 leveles fejlettségi állapot, V<sub>T</sub> = hímvirágzás, R<sub>6</sub> = fiziológiai érettség. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjárat fenofázisai között szignifikánsan különböznek.

A vegetatív növényi részek foszfor koncentrációjának változása csökkenő tendenciát eredményezett, azonban a nitrogénnel ellentétben a fejlődési stádiumok előrehaladtával nem azonos mértékben. A szárban a vegetatív szakaszban V<sub>8</sub> fázisban a vizsgált években kismértékű, 3 és 9 % közötti csökkenést figyeltem meg, amely a hímvirágzással kezdődő generatív szakaszban statisztikailag igazolható mértékű, 64 – 79, valamint 57 – 78 % csökkentést mértem az eltérő évjáratokban. A levél foszforkoncentrációja évjáratától függően eltérően változott, a 2019-es első vizsgált évben a vegetatív fenofázisok előrehaladtával 14 %-kal csökkent, a 2021-es vizsgált évben pedig 29 %-kal növekedett a V<sub>4</sub> fenofázis értékeihez képest. Ezt követően a generatív szakaszban minkét vizsgált évjárat dinamikája hasonló volt, V<sub>T</sub> és R<sub>6</sub> fázisokban 33 és 58, valamint 24 és 69 %-os csökkenést eredményezve a fajlagos foszforkoncentrációban (12B táblázat).

A kálium vegetatív növényi részekben mért értékei a kezdeti vegetatív fejlődési szakaszban szignifikánsan növekedtek, majd ezt követően kezdtek csökkenni. Ez a folyamat a szárban kezdetben V<sub>8</sub> fenofázisban 42, illetve 24 %-os koncentráció növekedést, majd azt követően pedig nagymértékű, szignifikáns csökkenést (51 – 65 %, és 66 – 75 %) eredményezett. A levél esetében hasonló értékeket állapítottam meg, amely

szerint a generatív szakaszban a vizsgált években 41 – 75, valamint 31 – 69 % -os csökkenést mértem (12C táblázat).

Az egyes évjáratokat összehasonlítva vizsgálva pedig a 2019-es csapadékosabb évben magasabb nitrogén és káliumkoncentrációt, viszont szignifikánsan alacsonyabb foszforkoncentrációt állapítottam meg a kukorica fejlődése során a vegetatív növényi részek makroelemfelvételének értékelése során. Az eredményeim arra is rávilágítanak, hogy a kukoricában a nitrogén, foszfor és a kálium különböző dinamikával jellemezhető módon halmozódik fel és oszlik meg a teljes növekedési időszak alatt az egyes növényi részekben, ami összefügg az egyes tápelemeknek a kukoricában betöltött különböző fiziológiai funkcióikkal.

		N (m/m %)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
Szemtermés	2019	1,39 <sup>a</sup>	3029 <sup>a</sup>	3482 <sup>a</sup>
	2021	1,08 <sup>b</sup>	2903 <sup>a</sup>	3427 <sup>a</sup>
Csutka	2019	0,27 <sup>a</sup>	255,1 <sup>b</sup>	3276 <sup>b</sup>
	2021	0,37 <sup>a</sup>	362,1 <sup>a</sup>	7210 <sup>a</sup>

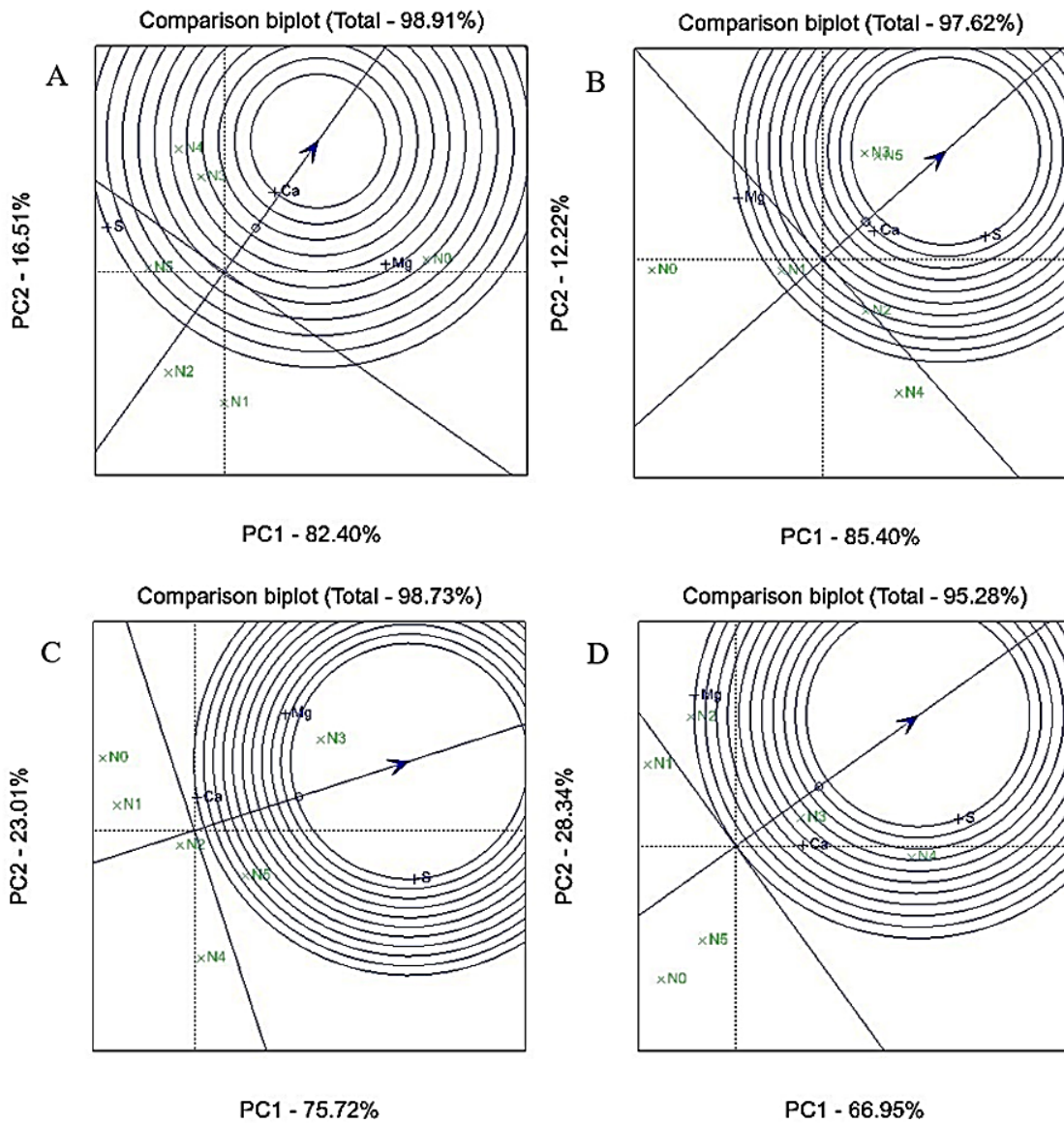
13. táblázat: Makroelemek felvételi jellemzőinek változása eltérő évjáratban a generatív növényi részekben. Debrecen – Látókép. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjáratok között szignifikánsan különböznek.

A generatív növényi részek makroelemfelvételének évjáratok összehasonlítása során megállapítottam a 2021-es csapadékszegényebb évjáratban a szemtermés alacsonyabb nitrogénakkumulációját, ellenben a csutkában magasabb foszfor és kálium feldúsulást mértem (13. táblázat).

#### 4.3. Mezoelemek felhalmozódási jellemzőinek értékelése

A kutatásom során értékeltem a kukorica növényi részeinek mezoelem akkumulációját, meghatározva az egyes kezeléseknél a mezoelemek növényi részekben való felhalmozódásában betöltött jelentőségét. Megállapítottam, hogy az eltérő növényi részek mezoelem igénye változó. A kukorica szárának elemzése alapján a kalcium bizonyult az elsődleges fontosságúnak, mint a szárszilárdságot meghatározó fő tápelem, amelyet a magnézium, majd végül pedig a kén követett. A nitrogén dózisok és a mezoelem

akkumuláció közötti optimum meghatározása során az N<sub>3</sub> kezelés volt hatással a szár mezelem akkumulációjára, amelyet az N<sub>4</sub> és az N<sub>0</sub> kezelés követett (8A ábra).



8. ábra: A nitrogénellátottság és mezelemek (Mg, Ca, S) felhalmozódásának kölcsönhatásvizsgálata GGE Biplot analízis alapján. A: Szár, B: Levél, C: Szemtermés, D: Csutka. Debrecen – Látókép

A kukorica leveleinek vizsgálata során a kén tartalom bizonyult elsődlegesnek, amelyet a kalcium majd pedig a magnézium követett. A nitrogénellátottság hatásvizsgálata során a magas, N<sub>3</sub> és N<sub>5</sub> tápanyagszintek eredményezték a legnagyobb mértékű felhalmozódást (8B ábra). A kukorica fiziológiai érettségben történő vizsgálata során a generatív növényi részek mezelem akkumulációjának értékelése bizonyította a kén, mint termésképzésben kiemelkedő szereppel bíró tápelem elsődleges jelentőségét, amely mellett a szemtermésben a magnézium, a csutka felépítésében pedig a kalcium bizonyult hasonló

fontosságúnak. A nitrogéntrágyázás növelése emellett mindkét generatív növényi rész tápelemakkumulációját pozitívan befolyásolta (8C-8D ábra).

#### 4.3.1. Növényi részek mezeoem akkumulációja

A kukoricaszár mezeoem akkumulációjának értékelése során megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás hatása és az eltérő fenofázisok értékei  $P < 0,001$ , a fenofázis x évjárat együttes hatása pedig  $P < 0,01$  szignifikancia szint mellett befolyásolták a magnézium akkumulációját. A kalcium felvételre az évjárat, a fenofázis, valamint a fenofázis x évjárat együttes hatása  $P < 0,001$  mértékben, valamint a nitrogéntrágyázás x évjárat  $P < 0,05$  mértékben volt szignifikáns hatással. A kénfelvétel vizsgálata során megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás, fenofázis, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis egyaránt szignifikáns hatást eredményezett ( $P < 0,001$ ), ezen felül bizonyítottam az évjárat és a nitrogéntrágyázás x évjárat kisebb fokú ( $P < 0,01$ ) szignifikáns hatását is (14. táblázat).

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték	
Szár	Magnézium	NPK	5	13209183	2641837	5,73	0,000
		Év	1	188620	188620	0,41	0,523
		Fenofázis	3	42167421	14055807	30,49	0,000
		NPK*Év	5	1417741	283548	0,61	0,689
		Fenofázis*Év	3	7828596	2609532	5,66	0,001
		Fenofázis*NPK	15	11811395	787426	1,71	0,055
		Fenofázis*NPK*Év	15	8888292	592553	1,29	0,219
		Hiba	144	66392253	461057		
	Kalcium	NPK	5	3614800	722960	2,14	0,064
		Év	1	6164176	6164176	18,26	0,000
		Fenofázis	3	6,28E+08	2,09E+08	620,14	0,000
		NPK*Év	5	3857308	771462	2,29	0,049
		Fenofázis*Év	3	37244620	12414873	36,79	0,000
		Fenofázis*NPK	15	8017856	534524	1,58	0,085
		Fenofázis*NPK*Év	15	6739366	449291	1,33	0,191
		Hiba	144	48599050	337493		
	Kén	NPK	5	2401426	480285	8,51	0,000
		Év	1	497412	497412	8,82	0,003
		Fenofázis	3	2,05E+08	68317817	1210,88	0,000
		NPK*Év	5	1114025	222805	3,95	0,002
		Fenofázis*Év	3	270512	90171	1,60	0,192
		Fenofázis*NPK	15	3020762	201384	3,57	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	1323383	88226	1,56	0,091
		Hiba	144	8124445	56420		

14. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás, az eltérő fenofázis és az évjárat mezeoem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukoricaszár vizsgálata alapján. Debrecen-Látókép

A kukorica levelének vizsgálata során pedig megállapítottam, hogy a magnézium ellátottságra a nitrogéntrágyázás, a fenofázis, a fenofázis x évjárat, valamint a fenofázis x nitrogénellátottság  $P < 0,001$  mértékben, a nitrogéntrágyázás x évjárat  $P > 0,01$  mértékben, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x évjárat kölcsönhatása  $P < 0,05$  mértékben volt szignifikáns hatással. A kalcium felhalmozódására az évjárat, fenofázis, nitrogéntrágyázás x évjárat, fenofázis x évjárat, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x évjárat gyakorolt statisztikailag igazolható hatást ( $P < 0,001$ ). A kén levelekben történő felhalmozódási folyamatának értékelése során pedig megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás x fenofázis x évjárat kölcsönhatás kivételével mindegyik vizsgált tényező önállóan és együttesen is szignifikáns ( $P < 0,001$ ) változást eredményezett (15. táblázat).

			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Levél	Magnézium	NPK	5	4081917	816383	10,07	0,000
		Év	1	41608	41608	0,51	0,475
		Fenofázis	3	34938488	11646163	143,70	0,000
		NPK*Év	5	1433940	286788	3,54	0,005
		Fenofázis*Év	3	11614620	3871540	47,77	0,000
		Fenofázis*NPK	15	4133528	275569	3,40	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	2201537	146769	1,81	0,038
		Hiba	144	11670321	81044		
	Kalcium	NPK	5	2764753	552951	1,11	0,357
		Év	1	8601188	8601188	17,30	0,000
		Fenofázis	3	8,41E+08	2,8E+08	563,82	0,000
		NPK*Év	5	15824323	3164865	6,37	0,000
		Fenofázis*Év	3	1,91E+08	63704964	128,15	0,000
		Fenofázis*NPK	15	6572550	438170	0,88	0,586
		Fenofázis*NPK*Év	15	24902055	1660137	3,34	0,000
		Hiba	144	71586437	497128		
	Kén	NPK	5	15724721	3144944	38,56	0,000
		Év	1	3251436	3251436	39,86	0,000
		Fenofázis	3	87710863	29236954	358,45	0,000
		NPK*Év	5	2482725	496545	06,09	0,000
		Fenofázis*Év	3	10989361	3663120	44,91	0,000
		Fenofázis*NPK	15	5622888	374859	4,60	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	1957428	130495	1,60	0,080
		Hiba	144	11745402	81565		

15. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás, az eltérő fenofázis és az évjárat mezoelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukoricalevél vizsgálata alapján. Debrecen-Látókép

A generatív növényi részek mezelem felvételi dinamikájának értékelése során megállapítottam, hogy a szemtermés magnéziumtartalmára szignifikáns hatást az évjárat ( $P < 0,01$ ) és a nitrogéntrágyázás x év ( $P < 0,05$ ), a kalciumtartalmára az évjárat ( $P < 0,001$ ), a kén tartalmára pedig a nitrogéntrágyázás ( $P < 0,01$ ) gyakorolt. Ezzel szemben a csutka magnézium és kalciumtartalmára a nitrogéntrágyázás, az évjárat és a nitrogéntrágyázás x év egyaránt statisztikailag igazolható hatással volt ( $P < 0,001$ ), továbbá a kén tartalmát az évjárat és a nitrogéntrágyázás x év faktorok egyaránt szignifikánsan befolyásolták (16. táblázat).

			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Szem	Magnézium	NPK	5	179034	35807	2,26	0,070
		Év	1	161866	161866	10,20	0,003
		NPK*Év	5	214433	42887	2,70	0,036
		Hiba	36	571547	15876		
	Kalcium	NPK	5	1029285	205857	1,04	0,410
		Év	1	63567517	63567517	320,75	0,000
		NPK*Év	5	743888	148778	0,75	0,591
		Hiba	36	7134586	198183		
	Kén	NPK	5	153542	30708,5	5,04	0,001
		Év	1	590	590,3	0,10	0,757
		NPK*Év	5	45491	9098,2	1,49	0,216
		Hiba	36	219271	6090,9		
			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Csutka	Magnézium	NPK	5	0,001045	0,000209	6,59	0,000
		Év	1	0,000534	0,000534	16,84	0,000
		NPK*Év	5	0,000992	0,000198	6,25	0,000
		Hiba	36	0,001142	0,000032		
	Kalcium	NPK	5	2,24910E+11	44981929447	50,00	0,000
		Év	1	8,03757E+11	8,03757E+11	893,41	0,000
		NPK*Év	5	2,25349E+11	45069839653	50,10	0,000
		Hiba	36	32387405265	899650146		
	Kén	NPK	5	5779	1156	0,64	0,673
		Év	1	162211	162211	89,43	0,000
		NPK*Év	5	41232	8246	4,55	0,003
		Hiba	36	65297	1814		

16. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás és az évjárat mezelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukorica generatív növényi részeiben. Debrecen-Látókép

#### 4.3.2. *Eltérő nitrogéntrágyázás mezoelem-felvételt befolyásoló hatása*

A mezoelemfelvétel értékelése során megállapítottam, hogy a kijuttatott nitrogéntrágyázás csökkent magnéziumkoncentrációt eredményezett a szárban és a levélben is, a nitrogén mértékétől függetlenül mindegyik kezelésben. A szár értékeit tekintve a csökkenés 17 és 27 % közötti mértékű volt, a legnagyobb mértékben a N<sub>5</sub> kezelés csökkentette 809 mg/kg fajlagos értékkel a szár magnéziumkoncentrációját.

A levélben lezajló magnézium akkumulációra kisebb hatást gyakorolt a növekvő nitrogéntrágyázás, 8 és 17 % közötti mértékű csökkenést eredményezve. A magas, N<sub>4</sub> kezelés okozta a legnagyobb mértékű, 478 mg/kg magnéziumkoncentráció csökkenést. A generatív részekben a szemtermésben a magnéziumkoncentráció az N<sub>4</sub> kezelés kivételével (-7 % csökkenés) nem szignifikáns mértékben különbözött a kontroll értéktől.

Az eredményeim így ellentétesek Izsáki (2011) megállapításával, amely szerint a növekvő nitrogéntrágyázás a kukorica leveleinek magnéziumtartalmát pozitívan befolyásolja. Ezzel szemben a csutkánál a vegetatív növényi részekhez hasonlóan szintén statisztikailag igazolt koncentrációcsökkentő hatást mértem, 17 és 41 % közötti értékekkel csökkentve a magnéziumkoncentrációt, legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelés 163 mg/kg fajlagos értékkel (17A táblázat).

A kalcium vegetatív növényi részekben mért koncentrációjára statisztikailag igazolt hatást nem fejtett ki a növekvő nitrogéntrágyázás, a nitrogénellátottságtól független tényezőnek értékeltem a felvett kalcium mennyiségét, az csupán, 1 – 7 % közötti mértékben csökkent. Ezen eredményem összhangban van Riedell (2010) kutatási eredményeivel, amely szerint a kukorica szárának N-koncentrációjával ellentétben a szár kalcium koncentrációját a V<sub>6</sub> és V<sub>12</sub> szakaszban nem befolyásolták a nitrogéntrágyázási kezelések.

A V<sub>T</sub> stádiumban azonban a szár kalcium koncentrációja nagyobb volt a magas N-tartalmú műtrágyával történő kezelésben, mint a N nélküli kezelésben. Így a szár száraz tömegére és kalcium koncentrációjára vonatkozó időbeli adatok arra utalnak, hogy a szinergista válasz (megnövekedett száraz tömeg és megnövekedett szár kalcium koncentráció) csak a V<sub>T</sub> fejlődési szakaszban volt jelen. A kalcium és magnéziumtartalom mért változásai azonban ellentétesek Kincses et al. (2002) eredményeivel, amelyben

növekvő nitrogéntrágyázás hatására növekvő kalcium és magnéziumtartalmat figyeltek meg.

A generatív növényi részeknél a szemtermés kalciumkoncentrációját heterogén módon befolyásolta a növekvő nitrogéndózis, legnagyobb mértékben az N<sub>2</sub> kezelés 23 %-os, 385 mg/kg mértékű csökkenést eredményezve. Ezen eredményem ellentmond Jakab (2003) kutatási megállapításainak, amelyben hasonló, 120 kg\*ha<sup>-1</sup> N műtrágyadózis alkalmazásával szignifikánsan megemelkedett kalciumkoncentráció volt mérhető. A kísérletemben a csutka értékeit ezzel szemben a nitrogéntrágyázás egyhangú mértékben módosította, 24 – 38 % közötti csökkenést realizálva (17B táblázat).

A		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
Mg (mg/kg)	Szár	3027 <sup>a</sup>	2453 <sup>b</sup>	2282 <sup>b</sup>	2410 <sup>b</sup>	2513 <sup>b</sup>	2218 <sup>b</sup>
	Levél	2843 <sup>a</sup>	2626 <sup>b</sup>	2491 <sup>bc</sup>	2612 <sup>b</sup>	2365 <sup>c</sup>	2543 <sup>bc</sup>
	Szem	1129 <sup>ab</sup>	1107 <sup>ab</sup>	1119 <sup>ab</sup>	1253 <sup>a</sup>	1049 <sup>b</sup>	1122 <sup>ab</sup>
	Csutka	400,7 <sup>a</sup>	305,4 <sup>abc</sup>	333,5 <sup>ab</sup>	313,6 <sup>abc</sup>	237,6 <sup>c</sup>	270,6 <sup>bc</sup>
<b>B</b>							
Ca (mg/kg)	Szár	5127 <sup>a</sup>	4786 <sup>a</sup>	4742 <sup>a</sup>	5054 <sup>a</sup>	4898 <sup>a</sup>	5127 <sup>a</sup>
	Levél	7602 <sup>a</sup>	7166 <sup>a</sup>	7261 <sup>a</sup>	7441 <sup>a</sup>	7051 <sup>a</sup>	7155 <sup>a</sup>
	Szem	1710 <sup>a</sup>	1604 <sup>a</sup>	1325 <sup>a</sup>	1691 <sup>a</sup>	1385 <sup>a</sup>	1602 <sup>a</sup>
	Csutka	567,7 <sup>a</sup>	432,5 <sup>b</sup>	387,9 <sup>bc</sup>	361,8 <sup>c</sup>	352,7 <sup>c</sup>	375,5 <sup>c</sup>
<b>C</b>							
S (mg/kg)	Szár	1211 <sup>b</sup>	1451 <sup>a</sup>	1497 <sup>a</sup>	1525 <sup>a</sup>	1539 <sup>a</sup>	1499 <sup>a</sup>
	Levél	1492 <sup>c</sup>	2063 <sup>b</sup>	2262 <sup>ab</sup>	2250 <sup>ab</sup>	2292 <sup>a</sup>	2288 <sup>a</sup>
	Szem	865,1 <sup>c</sup>	883,2 <sup>bc</sup>	935,2 <sup>abc</sup>	1023 <sup>a</sup>	970,6 <sup>abc</sup>	990,8 <sup>ab</sup>
	Csutka	249,5 <sup>a</sup>	239,3 <sup>a</sup>	250,6 <sup>a</sup>	238,2 <sup>a</sup>	218,6 <sup>a</sup>	247,8 <sup>a</sup>

17. Táblázat: Eltérő nitrogénellátottság hatása a kukorica növényi részeinek mezelemtartalmára. A: Magnézium, B: Kalcium, C: Kén. Debrecen-Látókép 2019,2021. Az egyes növényi részekben az eltérő tápanyagszintek értékeinél az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek

A kén tartalomban a növekvő nitrogéndózis hatására szignifikáns koncentrációnövekedést mértem, a vegetatív és a generatív növényi részekben egyaránt. Ezen megállapításon megegyezik Győri és Boros (2013) kutatási eredményeivel, amelyben a növekvő NPK műtrágyázás a talaj és a kukorica növény kén tartalmának fokozatos növekedését eredményezte. A nitrogéndózis és a kén koncentrációjának növekedése között egyenes arányú kapcsolatot figyeltem meg.

A vegetatív növényi részeknél a szár és a levél kén tartalmának változásában a növekvő nitrogénellátottság átlagosan 20 – 27 %, valamint 38 – 54 % közötti növekedést

eredményezett, amely a legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésnél valósult meg, 328 mg/kg többlettel a szárban és 800 mg/kg mért többlettel a levélben. A generatív részeket értékelve megállapítottam, hogy a szemtermés kéntartalmára szignifikánsan pozitív hatással a magas nitrogéndózisok (N<sub>3</sub> és N<sub>5</sub> kezelések) voltak, 18 és 15 %, 157,8 és 125,7 mg/kg többlet kéntartalmat eredményezve. Ezzel szemben a csutka értékeiben pozitív változás nem volt (17C táblázat).

#### *4.3.3. Évjáratí sajátosságok a magnézium, kalcium és kén akkumulációban*

A vegetatív növényi részek mezelemfelvételének dinamikai értékelése alapján megállapítottam, hogy az évjárat szignifikánsan képes befolyásolni a változások mértékét és annak irányát, csökkenést vagy növekedést eredményezve ezáltal.

A magnézium szárban mért értékei során 2021-ben nem volt mérhető egyértelmű hígulási effektus, a V<sub>8</sub> fenofázisban 18 %-os növekedés, majd pedig V<sub>T</sub> és R<sub>6</sub> stádiumokban 8 és 18 %-os csökkenés volt tapasztalható a kezdeti, V<sub>4</sub> fenofázisban mért értékekhez képest.

2019-ben fokozatos csökkenő tendencia volt mérhető a fenológiai fázisok előrehaladtával, 5, 35 és 48 %-os csökkenést eredményezve a V<sub>4</sub> állapothoz képest. A levélben viszont mindkét évjárat hasonló tendenciát mutatott, előbb a kezdeti fejlődés során fellépő koncentráció hígulást, 41 és 11 % mértékben a V<sub>8</sub> fenofázisban, amelyet a fiziológiai érettségben a V<sub>8</sub> vegetatív szakaszban mért értékekhez képest növekedés követett (18A táblázat).

A kalcium értékeit vizsgálva megállapítottam, hogy a szár koncentrációi évjárattól függetlenül a fejlődés előrehaladtával csökkenő jelleget mutattak. A legmagasabb értékeket minden esetben a kezdeti, V<sub>4</sub> fenofázisban figyeltem meg, amelyet egy statisztikailag igazolható, dinamikus csökkenés követett, 34 és 65 % közötti mértékben, a fenológiai fejlődés előrehaladtával.

Ezzel szemben pedig a levélben egyik évben kezdeti csökkentést (-49 %) követően a fiziológiai érettségben mért szignifikáns növekedést (+ 37 %), 2021-ben pedig jelentős csökkenés nélküli statisztikailag igazolt növekedést (+ 48 %, +3055 mg/kg) állapítottam meg a tenyészidőszak végén mért értékekben (18B táblázat).

A kéntartalomban a tendencia ezzel szemben egyértelmű volt, a vegetatív növényi részekben a növények fenológiai stádiumainak előrehaladtával egyenletes

koncentrációcsökkenés ment végbe. A szárban mindkét vizsgált évben a V<sub>4</sub> fenofázis értékeihez képest V<sub>8</sub>, V<sub>T</sub> és R<sub>6</sub> fenofázisokban 43 – 45 %, 78 – 79 %, valamint 86 % mértékben csökkent a kén tartalom.

A levél fajlagos kén tartalmának a változása az egyes évjáratokban eltérő volt, a 2019-es vizsgált évben folyamatos, 8, 36 és 53 %-os csökkenés, ellenben a 2021-es évjáratban a kezdeti V<sub>4</sub> fenofázishoz képest a V<sub>8</sub> mérési időpont értékei 50 %-kal növekedtek, ezután következett csak be a 10, majd pedig 57 %-os koncentrációcsökkenés.

A vizsgált két év összehasonlítása során megállapítottam, hogy a 2021-es csapadékszegényebb évjárat magasabb tápelemkoncentrációt eredményezett (18C táblázat).

A			V <sub>4</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>T</sub>	R <sub>6</sub>
Mg (mg/kg)	Szár	2019	3151 <sup>a</sup>	2989 <sup>a</sup>	2040 <sup>b</sup>	1631 <sup>b</sup>
		2021	2567 <sup>b</sup>	3029 <sup>a</sup>	2369 <sup>c</sup>	2097 <sup>d</sup>
	Levél	2019	3348 <sup>a</sup>	1956 <sup>c</sup>	2002 <sup>c</sup>	2955 <sup>b</sup>
		2021	2535 <sup>b</sup>	2248 <sup>d</sup>	2423 <sup>c</sup>	3172 <sup>a</sup>
B						
Ca (mg/kg)	Szár	2019	7779 <sup>a</sup>	4733 <sup>b</sup>	2745 <sup>c</sup>	5112 <sup>b</sup>
		2021	7838 <sup>a</sup>	4851 <sup>b</sup>	3013 <sup>c</sup>	3234 <sup>c</sup>
	Levél	2019	8245 <sup>b</sup>	4166 <sup>c</sup>	4295 <sup>c</sup>	11300 <sup>a</sup>
		2021	6633 <sup>c</sup>	6326 <sup>d</sup>	6956 <sup>b</sup>	9784 <sup>a</sup>
C						
S (mg/kg)	Szár	2019	3148 <sup>a</sup>	1740 <sup>b</sup>	689,3 <sup>c</sup>	442,2 <sup>d</sup>
		2021	2922 <sup>a</sup>	1674 <sup>b</sup>	600,5 <sup>c</sup>	415,7 <sup>d</sup>
	Levél	2019	2960 <sup>a</sup>	2722 <sup>a</sup>	1892 <sup>b</sup>	1377 <sup>c</sup>
		2021	2069 <sup>b</sup>	3105 <sup>a</sup>	1854 <sup>c</sup>	882,9 <sup>d</sup>

18. táblázat: Mezelemek felvételi dinamikájának változása eltérő évjáratban a vegetatív növényi részekben. Debrecen – Látókép. V<sub>4</sub> = 4 leveles fejlettségi állapot, V<sub>8</sub> = 8 leveles fejlettségi állapot, V<sub>T</sub> = hímvirágzás, R<sub>6</sub> = fiziológiai érettség. A: Magnézium, B: Kalcium, C: Kén. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjárat fenofázisai között szignifikánsan különböznek.

A generatív növényi részek évjáratától függő mezelemfelvételi jellemzőit értékelve megállapítottam, hogy a szárazabb 2021-es év alacsonyabb magnézium és kalciumkoncentrációt eredményezett a szemtermésben, azonban a csutkában mindhárom mezelem feldúsulását fokozta (19. táblázat).

		Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)	S (mg/kg)
Szemtermés	2019	1188 <sup>a</sup>	2704 <sup>a</sup>	948,2 <sup>a</sup>
	2021	1072 <sup>b</sup>	402,5 <sup>b</sup>	941,2 <sup>a</sup>
Csutka	2019	271,6 <sup>b</sup>	216,1 <sup>b</sup>	182,5 <sup>b</sup>
	2021	342,8 <sup>a</sup>	552,6 <sup>a</sup>	298,8 <sup>a</sup>

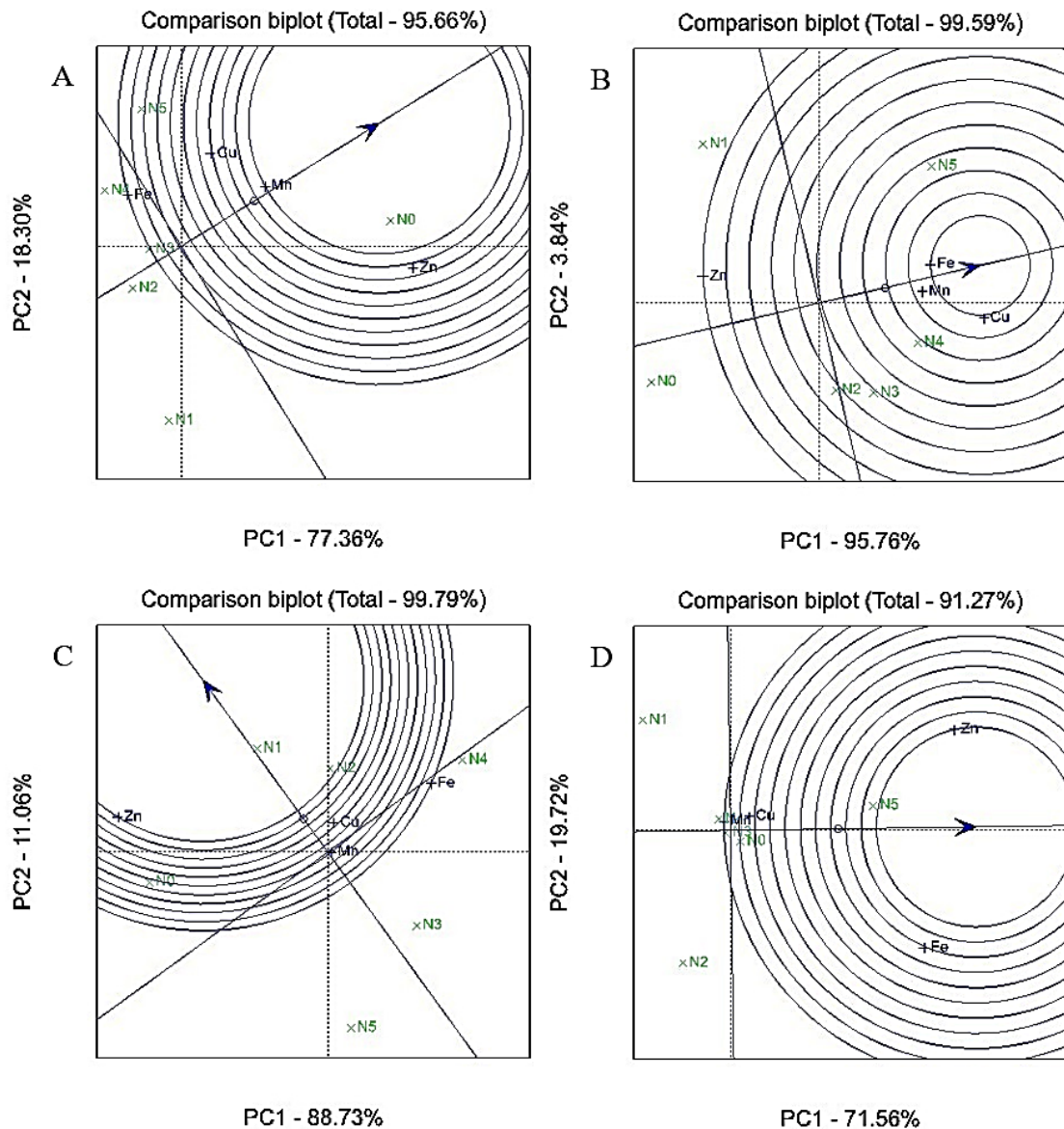
19. táblázat: Mezoelemek felvételi jellemzőinek változása eltérő évjáratban a generatív növényi részekben. Debrecen – Látókép. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjáratok között szingifikánsan különböznek.

#### 4.4. Mikroelemek felhalmozódási jellemzőinek értékelése

A mikroelemfelvétel értékelése során az esszenciális mikroelemek közül vizsgáltam a cink, vas, mangán és réz akkumulációjának dinamikai folyamatait. A vegetatív és generatív növényi részek különálló értékelése során megállapítottam, hogy a kukorica szárának mikroelem felvételében a mangán bizonyult elsődleges fontosságúnak, amelyet a cink, illetve a réz követett. A kezelések közül a kontroll, N<sub>0</sub> bizonyult a mikroelemfelvétel szempontjából ideálisnak (9A ábra).

A levél mikroelemfelvételi jellemzőit tekintve a vas, mangán és réz együttes kiemelt jelentőségét állapítottam meg, a levélfejlődést tekintve a cink kisebb jelenőségűnek bizonyult. A nitrogénellátottság hatásvizsgálata során a magas nitrogén dózis (N<sub>4</sub>, N<sub>5</sub>) bizonyult ideálisnak az akkumulációs folyamatokhoz (9B ábra).

A generatív növényi részek mikroelem felvételi jellemzőinek értékelése során megállapítottam, hogy a cink, mint a kukorica számára igazoltan kiemelt jelentőséggel bíró esszenciális tápelem volt az elsődleges a szemtermés és a csutka mikroelem akkumulációjában, azonban az előbbi esetében alacsonyabb (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>) nitrogéndózis, az utóbbinál pedig a magas, N<sub>5</sub> nitrogéndózis eredményezett kiemelt felhalmozódást (9C-9D ábra).



9. ábra: A nitrogénellátottság és mikroelemek (Zn, Fe, Mn, Cu) felhalmozódásának kölcsönhatásvizsgálata GGE Biplot analízis alapján. A: Szár, B: Levél, C: Szemtermés, D: Csutka. Debrecen – Látókép

#### 4.4.1. Növényi részek mikroelem akkumulációja

A mikroelemfelvétel részletes elemzése és értékelése során a szár vizsgálatával megállapítottam, hogy a cink, mint a kukorica számára fontos tápelem felvételében valamennyi vizsgált paraméter statisztikailag igazolt hatást eredményezett. A vas felvételi jellemzőire az évjárat, a fenofázis, valamint az évjárat x fenofázis együttes hatása gyakorolt szignifikáns hatást ( $P < 0,001$ ).

A réz szárban mért értékeire statisztikailag igazolt hatással volt az évjárat, a fenofázis, az évjárat x fenofázis, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis  $P < 0,001$  szinten, illetve a

nitrogéntrágyázás x évjárat, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x évjárat  $P < 0,05$  szinten. Ezen felül a mangán mért értékeit a nitrogéntrágyázás x fenofázis együttes hatásán kívül valamennyi mért faktor szignifikánsan módosította (20. táblázat).

			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Szár	Cink	NPK	5	2,28	1585,64	68,18	0,000
		Év	1	4,66	2966,36	127,55	0,000
		Fenofázis	3	11144,0	3714,68	159,73	0,000
		NPK*Év	5	1753,7	350,75	8,15	0,000
		Fenofázis*Év	3	618,5	206,15	8,86	0,000
		Fenofázis*NPK	15	931,2	8,62	2,67	0,001
		Fenofázis*NPK*Év	15	833,1	55,54	2,39	0,004
		Hiba	144	9,48	23,26		
	Vas	NPK	5	13692	2738	0,98	0,433
		Év	1	313183	313183	111,97	0,000
		Fenofázis	3	7672176	2557392	914,36	0,000
		NPK*Év	5	14037	2807	1,00	0,418
		Fenofázis*Év	3	510337	170112	60,82	0,000
		Fenofázis*NPK	15	44178	2945	1,05	0,406
		Fenofázis*NPK*Év	15	72639	4843	1,73	0,051
		Hiba	144	402758	2797		
	Réz	NPK	5	4,83	0,967	0,69	0,633
		Év	1	26,94	26,945	19,17	0,000
		Fenofázis	3	2418,52	806,175	573,70	0,000
		NPK*Év	5	18,43	3,687	2,62	0,027
		Fenofázis*Év	3	359,12	119,706	85,19	0,000
		Fenofázis*NPK	15	120,54	8,036	5,72	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	40,72	2,714	1,93	0,025
		Hiba	144	200,95	1,405		
	Mangán	NPK	5	1283,4	256,7	4,14	0,002
		Év	1	913,3	913,3	14,72	0,000
		Fenofázis	3	60724,0	20241,3	326,25	0,000
		NPK*Év	5	1110,2	222,0	3,58	0,004
Fenofázis*Év		3	6,99	899,9	14,50	0,000	
Fenofázis*NPK		15	1509,3	100,6	1,62	0,075	
Fenofázis*NPK*Év		15	7,74	131,6	2,12	0,012	
Hiba		144	8934,0	62,0			

20. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás, az eltérő fenofázis és az évjárat mikroelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukoricaszár vizsgálata alapján. Debrecen-Látókép

A kukorica levelének mikroelemfelvételi jellemzőit elemezve megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás, az évjárat, a vizsgált fenofázis, valamint ezeknek az együttes hatásai szignifikánsan befolyásolták a cink, vas, réz és mangán akkumulációs jellemzőit. Kivételt

jelentett ez alól a cink- és a vastartalom esetében a fenofázis x nitrogéntrágyázás x év együttes hatása, valamint a vastartalom mérése során a nitrogéntrágyázás x évjárat hatás, amelyeknél nem azonosítottam szignifikáns hatást (21. táblázat).

			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Levél	Cink	NPK	5	610,2	122,05	10,56	0,000
		Év	1	593,4	593,42	51,36	0,000
		Fenofázis	3	1024,4	341,46	29,55	0,000
		NPK*Év	5	190,7	38,13	3,30	0,007
		Fenofázis*Év	3	1754,2	584,75	50,61	0,000
		Fenofázis*NPK	15	552,8	36,86	3,19	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	167,8	11,18	0,97	0,492
		Hiba	144	1663,9	11,55		
	Vas	NPK	5	160503	32101	12,26	0,000
		Év	1	526980	526980	201,27	0,000
		Fenofázis	3	2627762	875921	334,53	0,000
		NPK*Év	5	24671	4934	1,88	0,101
		Fenofázis*Év	3	1749050	583017	222,67	0,000
		Fenofázis*NPK	15	187169	12478	4,77	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	50631	3375	1,29	0,216
		Hiba	144	377039	2618		
	Réz	NPK	5	408,66	81,732	57,81	0,000
		Év	1	40,57	40,570	28,69	0,000
		Fenofázis	3	313,87	104,623	73,99	0,000
		NPK*Év	5	43,62	8,725	6,17	0,000
		Fenofázis*Év	3	356,49	118,829	84,4	0,000
		Fenofázis*NPK	15	168,92	11,261	7,96	0,000
		Fenofázis*NPK*Év	15	48,58	3,238	2,29	0,006
		Hiba	144	203,61	1,414		
	Mangán	NPK	5	18257	3651	45,14	0,000
		Év	1	116999	116999	1446,43	0,000
		Fenofázis	3	39825	13275	164,12	0,000
		NPK*Év	5	13685	2737	33,84	0,000
Fenofázis*Év		3	92248	30749	380,15	0,000	
Fenofázis*NPK		15	12595	840	10,38	0,000	
Fenofázis*NPK*Év		15	12107	807	9,98	0,000	
Hiba		144	11648	81			

21. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás, az eltérő fenofázis és az évjárat mikroelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukoricalevél vizsgálata alapján. Debrecen-Látókép

A generatív növényi részek vizsgálata során megállapítottam, hogy a cink koncentrációját a szemtermésben és csutkában a nitrogéntrágyázás, az évjárat és a nitrogéntrágyázás x évjárat egyaránt szignifikánsan befolyásolta. Statisztikailag igazolt változásokat mértem

továbbá a szemtermés vastartalmában a nitrogéntrágyázás, valamint a nitrogéntrágyázás x évjárat hatásokat értékelve, valamint a réz- és mangántartalomban az évjárat hatására. A csutka vastartalmát mindhárom mért faktor, a réztartalmát a nitrogéntrágyázás és az évjárat, a mangántartalmát az évjárat befolyásolta szignifikáns mértékben (22. táblázat).

			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Szem	Cink	NPK	5	361,58	72,316	17,45	0,000
		Év	1	28,23	28,226	6,81	0,013
		NPK*Év	5	83,24	16,648	4,02	0,005
		Hiba	36	149,19	4,144		
	Vas	NPK	5	194,163	38,833	8,76	0,000
		Év	1	1,809	1,809	0,41	0,527
		NPK*Év	5	70,953	14,191	3,20	0,017
		Hiba	36	159,569	4,432		
	Réz	NPK	5	0,3368	0,0674	0,84	0,532
		Év	1	47,9070	47,9070	596,03	0,000
		NPK*Év	5	0,3548	0,0710	0,88	0,503
		Hiba	36	2,8936	0,0804		
	Mangán	NPK	5	80,3	16,1	0,57	0,724
		Év	1	25221,6	25221,6	892,34	0,000
		NPK*Év	5	71,6	14,3	0,51	0,769
		Hiba	36	1017,5	28,3		
			DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Csutka	Cink	NPK	5	7455,1	1491,02	86,65	0,000
		Év	1	4674,1	4674,07	271,64	0,000
		NPK*Év	5	3777,2	755,43	43,90	0,000
		Hiba	36	619,4	17,21		
	Vas	NPK	5	0,04818	0,009636	3,05	0,021
		Év	1	0,02866	0,028657	9,08	0,005
		NPK*Év	5	0,03974	0,007947	2,52	0,047
		Hiba	36	0,11364	0,003157		
	Réz	NPK	5	157,87	31,57	10,05	0,000
		Év	1	1294,41	1294,41	412,13	0,000
		NPK*Év	5	26,63	5,33	1,70	0,161
		Hiba	36	113,07	3,14		
	Mangán	NPK	5	0,002081	0,000416	1,61	0,183
		Év	1	0,765711	0,765711	2958,57	0,000
		NPK*Év	5	0,003027	0,000605	2,34	0,061
		Hiba	36	0,009317	0,000259		

22. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás és az évjárat mikroelem-felvételt befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez a kukorica generatív növényi részeiben. Debrecen-Látókép

#### 4.4.2. *Eltérő nitrogéntrágyázás mikroelem-felvételt befolyásoló hatása*

A nitrogéntrágyázás mikroelemfelvételt meghatározó hatásvizsgálata során megállapítottam, hogy a cink, mint a kukorica számára elsődleges esszenciális mikroelem koncentrációját minden növényi részben szignifikánsan csökkentette a növekvő nitrogéndózis, a kontroll értékeihez képest. Ezen hatások közül a vegetatív növényi részekben a szár cinkkoncentrációjában mért csökkenés volt meghatározó, amely mindegyik kezelés esetén legalább 40 %-os mértékű, a legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésben 18,71 mg/kg koncentrációcsökkenést jelentett.

A levelek cinktartalmára kevésbé hatott negatívan a növekvő nitrogénellátottság, ugyanakkor a csökkenés mértéke itt is 5 és 18 % között volt. A mért csökkenő tendenciák ellentétesek Izsáki (2011) kutatási eredményeivel, amelyben több évben is döntően megbízható növekedésről számolt be a nitrogéntrágyázás hatására. A generatív növényi részek esetében a szemtermés cinktartalma mindegyik kezelés hatására statisztikailag igazolhatóan csökkent, a legnagyobb mértékű negatív változást ebben az esetben is az N<sub>4</sub> kezelés eredményezte, 40 %-os (9,04 mg/kg) koncentráció csökkenéssel. A szemtermésben mért dinamikai folyamatok egyeznek Jakab (2003) kutatási eredményeivel, amelyben hasonló csökkenő tendenciát mért a szemtermés cinktartalmában növekvő nitrogéntrágyázás hatására. A csutka cinktartalmát a kontroll parcella értékeihez képest jelentősen, 29 – 84 %-kal csökkentették a növekvő nitrogén trágyakezelések. A kukorica egyes növényi részeiben mért cinkkoncentráció nagyságrendje megegyezett a korábbi kutatásokban mért értékekkel (Grzebisz et al., 2008; Jakab, 2003) (23A táblázat).

A vastartalom a nitrogéntrágyázás növelésére pozitívan reagált. Mindegyik növényi rész esetében növekvő tendenciát mértem, amely számos esetben volt szignifikáns. Statisztikailag igazolt megnövekedett vas akkumulációt állapítottam meg minden trágyakezelés hatására a kukorica levélanálízise során, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelés hatására, 48 %-kal megnövelt értékben. A növekvő vastartalom igazolta Izsáki (2011) kutatási eredményeit a nitrogéntrágyázás vasfelvételt módosító hatásairól. Hasonló tendenciát figyeltem meg a csutka vastartalmában, amely során mindegyik esetben legalább 50 %-os koncentráció növekedés történt, a legnagyobb mértékben a levélmintához hasonlóan az N<sub>5</sub> kezelés hatására, 122 %-os mértékben (23B táblázat).

A réztartalom és a nitrogénellátottság növényi részekben vizsgált összefüggései alapján megállapítottam, hogy a növekvő nitrogén trágyakezelés statisztikailag igazolt megemelkedett koncentrációt eredményezett a kukorica levelében és csutkájában egyaránt, 5 – 57 %, valamint 8 – 39 % közötti mértékben. A rézkoncentráció nitrogéntrágyázás által befolyásolt változásai igazolták Izsáki (2011) kutatásában mért eredményeket. A szár és a szemtermés vizsgálatával kapott értékek nem bizonyultak statisztikailag igazolt hatású változásoknak (23C táblázat).

A		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>
Zn (mg/kg)	Szár	33,69 <sup>a</sup>	20,13 <sup>b</sup>	16,82 <sup>bc</sup>	17,11 <sup>bc</sup>	14,98 <sup>c</sup>	15,88 <sup>c</sup>
	Levél	22,21 <sup>a</sup>	21,04 <sup>a</sup>	18,37 <sup>b</sup>	18,16 <sup>b</sup>	17,16 <sup>b</sup>	18,39 <sup>b</sup>
	Szem	22,55 <sup>a</sup>	18,82 <sup>b</sup>	17,07 <sup>b</sup>	16,74 <sup>b</sup>	13,51 <sup>c</sup>	16,37 <sup>bc</sup>
	Csutka	40,33 <sup>a</sup>	28,75 <sup>b</sup>	12,51 <sup>c</sup>	8,66 <sup>c</sup>	6,35 <sup>c</sup>	9,93 <sup>c</sup>
<b>B</b>							
Fe (mg/kg)	Szár	175,4 <sup>a</sup>	174,5 <sup>a</sup>	181,2 <sup>a</sup>	184,8 <sup>a</sup>	195,3 <sup>a</sup>	195,3 <sup>a</sup>
	Levél	201,7 <sup>c</sup>	242,5 <sup>b</sup>	265,1 <sup>ab</sup>	258,1 <sup>b</sup>	264,5 <sup>ab</sup>	297,6 <sup>a</sup>
	Szem	15,74 <sup>b</sup>	16,97 <sup>b</sup>	18,72 <sup>ab</sup>	21,27 <sup>a</sup>	21,13 <sup>a</sup>	18,56 <sup>ab</sup>
	Csutka	10,14 <sup>b</sup>	17,63 <sup>ab</sup>	17,47 <sup>ab</sup>	17,14 <sup>ab</sup>	15,09 <sup>ab</sup>	22,51 <sup>a</sup>
<b>C</b>							
Cu (mg/kg)	Szár	5,69 <sup>a</sup>	5,37 <sup>a</sup>	5,79 <sup>a</sup>	5,87 <sup>a</sup>	5,73 <sup>a</sup>	5,80 <sup>a</sup>
	Levél	6,08 <sup>c</sup>	6,36 <sup>c</sup>	8,56 <sup>b</sup>	9,24 <sup>ab</sup>	9,57 <sup>a</sup>	9,54 <sup>a</sup>
	Szem	2,13 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	2,16 <sup>a</sup>	2,13 <sup>a</sup>	2,34 <sup>a</sup>	2,08 <sup>a</sup>
	Csutka	2,48 <sup>c</sup>	2,88 <sup>bc</sup>	2,67 <sup>bc</sup>	2,83 <sup>bc</sup>	3,08 <sup>ab</sup>	3,44 <sup>a</sup>
<b>D</b>							
Mn (mg/kg)	Szár	49,57 <sup>a</sup>	44,87 <sup>ab</sup>	42,02 <sup>b</sup>	46,20 <sup>ab</sup>	44,04 <sup>ab</sup>	48,54 <sup>a</sup>
	Levél	73,97 <sup>c</sup>	76,15 <sup>c</sup>	90,32 <sup>b</sup>	94,27 <sup>ab</sup>	96,92 <sup>a</sup>	98,48 <sup>a</sup>
	Szem	27,50 <sup>a</sup>	26,24 <sup>a</sup>	30,04 <sup>a</sup>	29,64 <sup>a</sup>	27,87 <sup>a</sup>	28,69 <sup>a</sup>
	Csutka	12,79 <sup>a</sup>	11,73 <sup>a</sup>	11,71 <sup>a</sup>	12,41 <sup>a</sup>	11,75 <sup>a</sup>	13,17 <sup>a</sup>

23. Táblázat: Elterő nitrogénellátottság hatása a kukorica növényi részeinek mikroelemtartalmára. A: Cink, B: Vas, C: Réz, D: Mangán. Debrecen-Látókép 2019-2021. Az egyes növényi részekben az eltérő tápanyagszintek értékeinél az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

A nitrogéntrágyázás kukorica mangánkoncentrációjára gyakorolt hatásvizsgálata során megállapítottam, hogy a legnagyobb mértékben a levél mangántartalma változott, statisztikailag igazolt pozitív módon. A legnagyobb növekedést az N<sub>4</sub> és N<sub>5</sub> kezelések eredményezték (31 – 33 %).

Ezen megállapítások megegyeznek Izsáki (2011) kutatásában mért eredményeivel, amelyben a nitrogéntrágyázás több kísérleti évben egyaránt szignifikánsan növelte a kukorica levelének mangánkoncentrációját. A többi vizsgált növényi rész koncentráció

értékei 15 %-on belüli mértékben változtak, a szár és a csutka esetében negatív irányba, míg ezzel szemben a szemtermés mangánkoncentrációjában a növekvő nitrogénellátottság pozitív változást eredményezett (23D táblázat).

#### *4.4.3. Évjáratok sajátosságok a cink, vas, mangán és réz akkumulációban*

A mikroelem koncentráció évjáratától függő változásainak vegetatív növényi részekben mért dinamikai változásait értékelve az alábbi eredményeket kaptam. A cinktartalom a szárban csökkenő jelleggörbét mutatott, a 2021-es évjáratban szignifikánsan magasabb értékekkel. Ezzel szemben a levélben mért értékekben a két év eltérő dinamikával volt jellemezhető, előbbi során csökkent, 36 – 45 % közötti mértékben a V<sub>4</sub> fenofázis értékeihez képest, utóbbiban pedig növekedett a koncentráció, 16 – 32 % közötti mértékben, a növényfejlődés előrehaladtával (24A táblázat).

Az eredményeim ellentétesek Grzebisz et al. (2008) kutatási megállapításaival, amely szerint a V<sub>7</sub>-V<sub>9</sub> fenofázisban mérhető a vegetatív növényi részek legnagyobb cinkkoncentrációja. Ezzel szemben a kutatásom során évjáratától függően V<sub>4</sub> – V<sub>8</sub> fenofázisokban egyaránt mérhető a legnagyobb akkumulált cink mennyisége.

A vastartalom mindkét évben hasonló dinamikát mutatott, azonban 2019-ben szignifikánsan magasabb kezdeti koncentráció értékekről nagyobb mértékű hígulás következett be, mindkét vegetatív növényi részben. A szárban mért csökkenés mértéke az évjáratától függetlenül hasonló mértékű, 84 – 92 %, valamint 77 – 92 % volt, ezzel szemben a levélben mért csökkenés a 2019-es vizsgált évben jelentős, 65 – 84 % közötti, azonban a 2021-es második vizsgált év értékeiben mindösszesen 13 – 24 % csökkenés realizálódott (24B táblázat).

A réz és mangán értékeit vizsgálva pedig megállapítottam, hogy a szárban mindkét mikroelem szignifikánsan csökkenő tendenciát mutatott a vegetatív fejlődési stádiumokban, ellenben a levélben évjáratától függő hatásokat mértem, eltérő, csökkenő és növekvő, változó dinamikai jelleggel az egyes vizsgált években (24C-24D táblázat).

A			V <sub>4</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>T</sub>	R <sub>6</sub>
Zn (mg/kg)	Szár	2019	24,67 <sup>a</sup>	21,99 <sup>a</sup>	8,39 <sup>b</sup>	8,31 <sup>b</sup>
		2021	36,31 <sup>a</sup>	24,69 <sup>b</sup>	14,75 <sup>d</sup>	19,05 <sup>c</sup>
	Levél	2019	25,45 <sup>a</sup>	13,98 <sup>b</sup>	16,27 <sup>b</sup>	14,15 <sup>b</sup>
		2021	18,85 <sup>c</sup>	18,35 <sup>c</sup>	24,90 <sup>a</sup>	21,81 <sup>b</sup>
B						
Fe (mg/kg)	Szár	2019	657,8 <sup>a</sup>	108,5 <sup>b</sup>	52,75 <sup>c</sup>	80,25 <sup>bc</sup>
		2021	400,6 <sup>a</sup>	90,35 <sup>b</sup>	51,29 <sup>c</sup>	34,04 <sup>d</sup>
	Levél	2019	664,1 <sup>a</sup>	235,2 <sup>b</sup>	224,9 <sup>b</sup>	104,9 <sup>c</sup>
		2021	238,1 <sup>a</sup>	207,2 <sup>b</sup>	184,6 <sup>c</sup>	180,2 <sup>c</sup>
C						
Cu (mg/kg)	Szár	2019	8,87 <sup>a</sup>	3,71 <sup>c</sup>	2,25 <sup>d</sup>	6,50 <sup>b</sup>
		2021	14,18 <sup>a</sup>	3,27 <sup>c</sup>	2,37 <sup>d</sup>	4,51 <sup>b</sup>
	Levél	2019	8,78 <sup>b</sup>	7,81 <sup>b</sup>	6,12 <sup>c</sup>	12,02 <sup>a</sup>
		2021	7,21 <sup>b</sup>	10,37 <sup>a</sup>	6,36 <sup>c</sup>	7,12 <sup>b</sup>
D						
Mn (mg/kg)	Szár	2019	73,76 <sup>a</sup>	50,69 <sup>b</sup>	28,66 <sup>c</sup>	21,66 <sup>d</sup>
		2021	71,84 <sup>a</sup>	47,89 <sup>b</sup>	44,43 <sup>b</sup>	28,07 <sup>c</sup>
	Levél	2019	73,54 <sup>a</sup>	69,63 <sup>a</sup>	60,25 <sup>b</sup>	51,25 <sup>c</sup>
		2021	86,79 <sup>c</sup>	93,46 <sup>bc</sup>	96,70 <sup>b</sup>	175,2 <sup>a</sup>

24. táblázat: Mikroelemek felvételi dinamikájának változása eltérő évjáratban a vegetatív növényi részekben. Debrecen – Látókép. V<sub>4</sub> = 4 leveles fejlettségi állapot, V<sub>8</sub> = 8 leveles fejlettségi állapot, V<sub>T</sub> = hímvirágzás, R<sub>6</sub> = fiziológiai érettség. A: Cink, B: Vas, C: Réz, D: Mangán. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjárat fenofázisai között szignifikánsan különböznek.

A generatív növényi részek mikroelemfelvételének évjáratától függő értékelése során az egyes nitrogéntrágyázási szintek átlagait figyelembe véve megállapítottam, hogy a szárazabb 2021-es év statisztikailag igazolhatóan magasabb mikroelemkoncentrációt eredményezett egyaránt a szemtermés és a csutka cink, vas és réztartalmában, azonban a mangán értékei elmaradtak a 2019-es csapadékosabb évjáratban mért értékektől (25. táblázat).

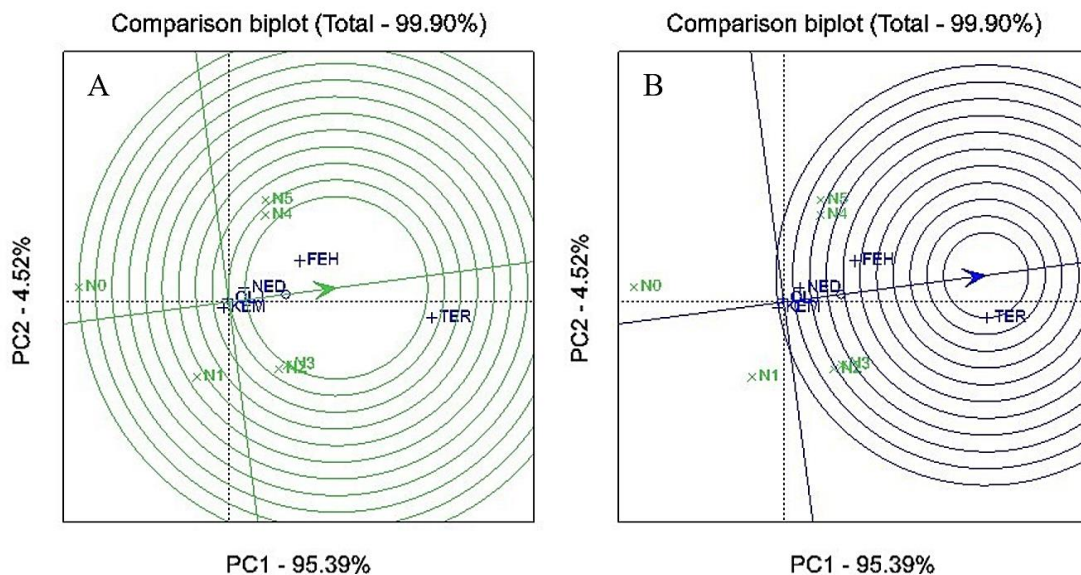
		Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Szemtermés	2019	16,75 <sup>b</sup>	18,54 <sup>a</sup>	1,17 <sup>b</sup>	51,25 <sup>a</sup>
	2021	18,28 <sup>a</sup>	18,92 <sup>a</sup>	3,17 <sup>a</sup>	5,40 <sup>b</sup>
Csutka	2019	7,89 <sup>b</sup>	13,26 <sup>b</sup>	1,82 <sup>b</sup>	39,32 <sup>a</sup>
	2021	27,62 <sup>a</sup>	19,62 <sup>a</sup>	3,70 <sup>a</sup>	5,88 <sup>b</sup>

25. táblázat: Mikroelemek felvételi jellemzőinek változása eltérő évjáratban a generatív növényi részekben. Debrecen – Látókép. Az egyes növényi részek eltérő betűvel jelzett értékei az évjáratok között szignifikánsan különböznek.

#### 4.5. Termés mennyiségi és minőségi jellemzőinek értékelése

A termés mennyiségi és minőségi paramétereinek vizsgálata során komplex, átfogó módon értékeltem a vizsgált genotípus tápanyagreakcióját. Megállapítottam, hogy a nitrogénellátottság mértékét tekintve az adott hibridnél az N<sub>3</sub> kezelés bizonyult a termés mennyiségi és minőségi jellemzőit tekintve az ideálisnak. Ezt követte az N<sub>2</sub> és N<sub>4</sub> tápanyagszint, majd pedig az N<sub>5</sub>, amely alapján kijelenthető, hogy az N<sub>3</sub>, vagyis 180 kg\*ha<sup>-1</sup> nitrogéntrágyázási szint fölött kijuttatott műtrágyát a hibrid nem képes hasznosítani (10A ábra).

A termés mennyiségi és minőségi jellemzőinek értékelése során pedig megállapítottam, hogy a vizsgált genotípus a termésmennyiségben bizonyult a legkiemelkedőbbnek, a legstabilabbnak, az egyes nitrogéntrágyázási kezelések eredményei alapján (10B ábra).



10. ábra: A nitrogénellátottság és a termés mennyiségi és minőségi jellemzőinek kölcsönhatásvizsgálata GGE Biplot analízis alapján. A: Optimális nitrogénellátottság értékelése. B: Termésparaméterek értékelése. TER = Termésmennyiség, FEH = Fehérjetartalom, KEM = Keményítőtartalom, OLA = Olajtartalom, NED = Szemnedvesség. Debrecen – Látókép

##### 4.5.1. Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésmennyiségére

A kukorica termésparamétereinek vizsgálata során az egy- és többtényezős varianciaanalízis segítségével megállapítottam, hogy a termés mennyiségére a nitrogéntrágyázás ( $P < 0,001$ ), valamint az évjárat ( $P < 0,01$ ) egyaránt szignifikáns hatást

gyakorolt, a két faktor együttes hatása azonban nem volt statisztikailag igazolható (26. táblázat).

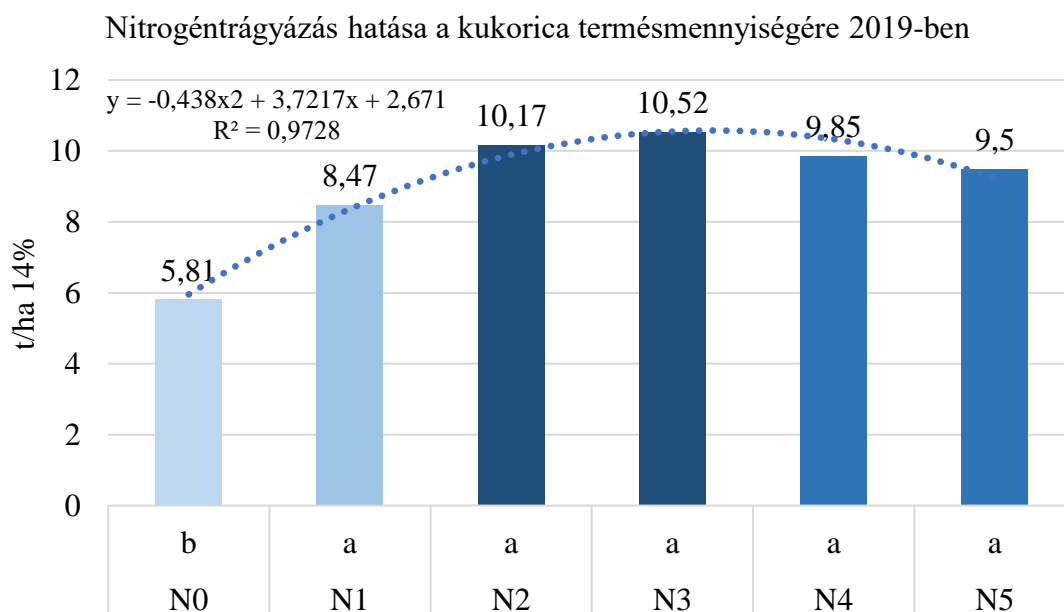
		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Termés	NPK	5	106,901	21,3801	11,80	0,000
	Év	1	23,563	23,5631	13,00	0,001
	NPK*Év	5	1,203	0,2406	0,13	0,984
	Hiba	36	65,228	1,8119		

26. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás és az évjárat termésmennyiséget befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez. Debrecen-Látókép

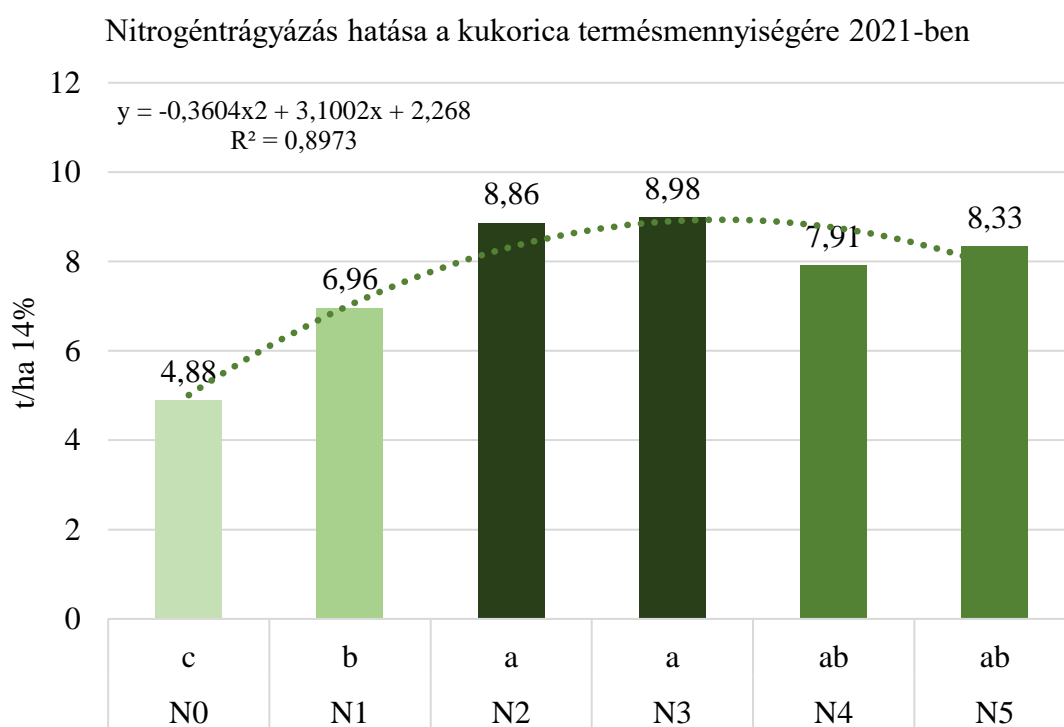
A nitrogéntrágyázás termésmennyiséget befolyásoló hatásának részletes elemzése alapján a vizsgált kukoricahibrid esetében az N<sub>3</sub>, vagyis a 180 kg\*ha<sup>-1</sup> nitrogéndózis eredményezte a legnagyobb mértékű termésnövekedést, 2019-es évjáratban 81 % (11. ábra), 2021-ben pedig 84 % mértékben (12. ábra) a kontrollhoz képest. Ezen eredményeim nem egyeztek meg Karancsi et al. (2012) kutatási megállapításaival, amely szerint 120 kg\*ha<sup>-1</sup> N + PK kijuttatása mellett érhető el a maximális termésnövekedés, azonban a kísérlet hasonló eredményeket mutatott a túlzott nitrogéntrágyázás terméshozamokat mérséklő hatásában. Mindkét vizsgált évjáratban mindegyik kezelés szignifikánsan növelte a termésmennyiséget, 43 – 84 % mértékben (27. táblázat, 11-12. ábra). Az optimális nitrogéntrágyázás termésnövelő, valamint a nagymértékű túltrágyázás depresszív hatásait számos kutató vizsgálta, hasonló tendenciát mutató eredményekkel, így kijelenthető, hogy a jelen kutatásban mért eredmények megerősítik ezeket (Pakurár et al., 2004; Pepó, 2001; Nagy, 2012; Nagy, 2017; Ragán, 2014; Szalókiné – Szalóki, 2002; Széles et al., 2015; Széles et al., 2018).

	2019	2021
	t/ha 14 %	
N <sub>0</sub>	5,81 <sup>b</sup>	4,88 <sup>c</sup>
N <sub>1</sub>	8,47 <sup>a*</sup>	6,96 <sup>b*</sup>
N <sub>2</sub>	10,17 <sup>a***</sup>	8,86 <sup>a***</sup>
N <sub>3</sub>	10,52 <sup>a***</sup>	8,98 <sup>a***</sup>
N <sub>4</sub>	9,85 <sup>a**</sup>	7,91 <sup>ab**</sup>
N <sub>5</sub>	9,50 <sup>a**</sup>	8,33 <sup>ab***</sup>

27. Táblázat: Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésmennyiségére (t/ha 14 % egalizált). n=4. Az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. A csillaggal jelölt értékek a kontrolltól statisztikailag különböznek, \*P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P<0.001.



11. ábra: Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésmennyiségére 2019-es kísérleti évben (t/ha 14 % egalizált). n=4. Az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.



12. ábra: Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésmennyiségére 2021-es kísérleti évben (t/ha 14 % egalizált). n=4. Az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

4.5.2. *Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésminőségét jellemző paraméterekre*

A nitrogéntrágyázás hatásának évjáratfüggő értékelése során a varianciaanalízis segítségével megállapítottam, hogy míg a fehérjetartalomra a nitrogéntrágyázás és az évjárat ( $P < 0,001$ ), az olajtartalomra az évjárat ( $P < 0,001$ ), addig a keményítő- és nedvességtartalomra mindegyik faktor, a nitrogéntrágyázás, az évjárat, és a nitrogéntrágyázás x évjárat egyaránt szignifikáns hatást gyakorolt (28. táblázat).

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Érték	P-Érték
Fehérjetartalom	NPK	5	16,056	3,2112	12,12	0,000
	Év	1	50,656	50,6558	191,14	0,000
	NPK*Év	5	2,173	0,4347	1,64	0,174
	Hiba	36	9,541	0,2650		
Olajtartalom	NPK	5	1,633	0,327	0,32	0,900
	Év	1	736,359	736,359	711,56	0,000
	NPK*Év	5	8,034	1,607	1,55	0,198
	Hiba	36	37,255	1,035		
Keményítőtartalom	NPK	5	12,674	2,5349	10,27	0,000
	Év	1	95,422	95,4223	386,67	0,000
	NPK*Év	5	3,163	0,6326	2,56	0,044
	Hiba	36	8,884	0,2468		
Szemnedvesség	NPK	5	4,467	0,8934	3,51	0,011
	Év	1	1,092	1,0920	4,29	0,045
	NPK*Év	5	3,985	0,7969	3,13	0,019
	Hiba	36	9,158	0,2544		

28. táblázat: Varianciaanalízis eredménytáblázata a nitrogéntrágyázás és az évjárat termésminőségét jellemző paramétereket befolyásoló hatásának önálló és együttes értékeléséhez. Debrecen-Látókép

A termés minőségi jellemzőinek részletes vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a növekvő nitrogéntrágyázás legnagyobb mértékben a fehérjetartalomban eredményezett változást, 2019-es évben 11 – 20 % közötti, 2021-ben pedig 2 és 25 % közötti fehérjetartalom növekedést a kontroll értékekhez képest. Az eredményeim megerősítik több kutató korábbi vizsgálatainak megállapítását a nitrogéntrágyázás fehérjetartalmat növelő hatásairól (Rehman et al., 2011; Szabó et al., 2021; Széles et al., 2018; Széles et al., 2019; Vad et al., 2007).

Olajtartalomban eltérő évjárat hatást mértem, 2019-ben 2 – 5 % közötti növekedést, 2021-ben pedig 1 – 6 % közötti csökkentést mértem a kontrollhoz viszonyítva, amellyel igazoltam több kutató eredményét az olajtartalom nitrogéntrágyázás általi befolyásoltságáról (Széles et al., 2020; Horváth et al., 2021.).

A növekvő nitrogéntrágyázás minimális hatással volt a keményítőtartalomra, mindkét vizsgált évben enyhe, 0 – 2 % közötti csökkenést mértem. A nedvességtartalom vizsgálata során szintén eltérő évjárat hatásokat, 2019-ben 0 – 1 % közötti változásokat, 2021-ben viszont 5 – 11 % közötti növekedést mértem a növekvő nitrogéntrágyázás hatására a kontroll értékekhez viszonyítva (29. táblázat).

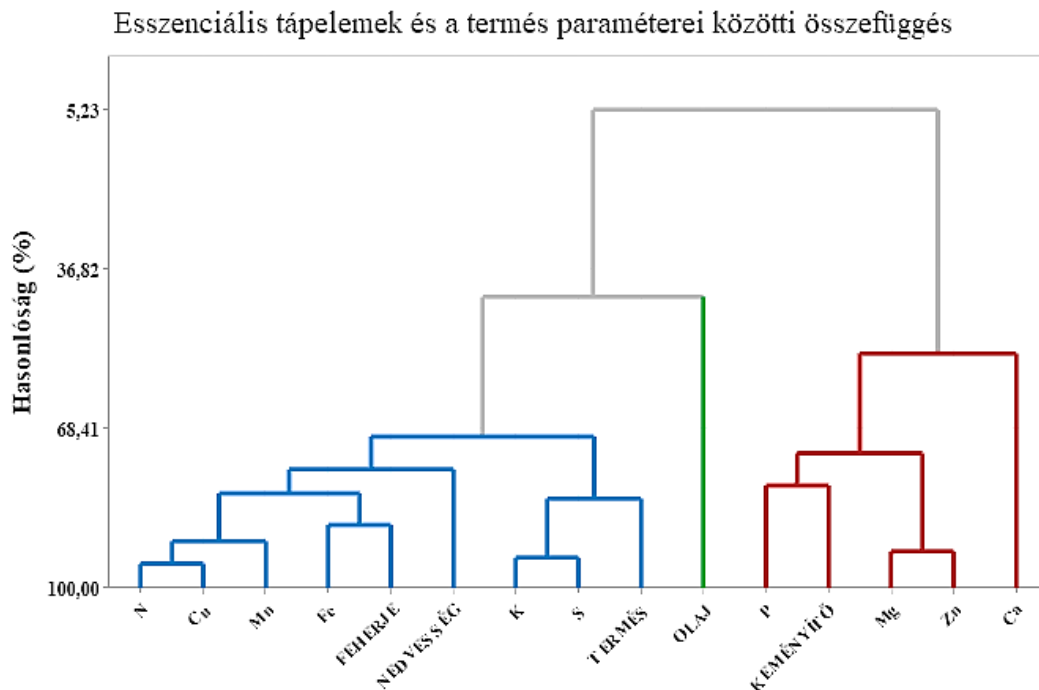
	Fehérjetartalom		Olajtartalom		Keményítőtartalom		Szemnedvesség	
	%							
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
N <sub>0</sub>	7,65 <sup>b</sup>	5,56 <sup>d</sup>	3,97 <sup>a</sup>	3,07 <sup>a</sup>	62,45 <sup>a</sup>	64,80 <sup>ab</sup>	14,30 <sup>a</sup>	14,05 <sup>b</sup>
N <sub>1</sub>	8,52 <sup>ab</sup>	5,68 <sup>d</sup>	4,05 <sup>a</sup>	3,04 <sup>a</sup>	62,30 <sup>a</sup>	65,07 <sup>a</sup>	14,42 <sup>a</sup>	14,00 <sup>b</sup>
N <sub>2</sub>	8,77 <sup>a*</sup>	6,52 <sup>c**</sup>	4,15 <sup>a</sup>	2,96 <sup>a</sup>	61,25 <sup>b**</sup>	64,91 <sup>ab</sup>	14,35 <sup>a</sup>	14,71 <sup>ab</sup>
N <sub>3</sub>	8,55 <sup>a*</sup>	6,81 <sup>bc***</sup>	4,10 <sup>a</sup>	2,90 <sup>a</sup>	61,67 <sup>ab</sup>	64,41 <sup>b</sup>	14,42 <sup>a</sup>	14,90 <sup>ab</sup>
N <sub>4</sub>	9,15 <sup>a**</sup>	7,22 <sup>ab***</sup>	4,15 <sup>a</sup>	2,96 <sup>a</sup>	61,01 <sup>b**</sup>	63,85 <sup>c**</sup>	14,40 <sup>a</sup>	15,59 <sup>a**</sup>
N <sub>5</sub>	9,00 <sup>a**</sup>	7,51 <sup>a***</sup>	4,15 <sup>a</sup>	2,99 <sup>a</sup>	61,27 <sup>b**</sup>	63,61 <sup>c***</sup>	14,40 <sup>a</sup>	15,52 <sup>a**</sup>

29. Táblázat: Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésminőségét jellemző paraméterekre (fehérje-, olaj-, keményítő- és szemnedvességtartalom, %). n=4. Az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. A csillaggal jelölt értékek a kontrolltól statisztikailag különböznek, \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $P < 0.001$ .

#### 4.6. A tápelem-akkumulációnak a termés kvantitatív és kvalitatív jellemzőire kifejtett hatásainak értékelése

A kutatásom során klaszteranalízis segítségével vizsgáltam és értékeltem a kukorica növényi részeinek átlagos akkumulált tápelemtartalma, valamint a termés mennyiségi és minőségi paraméterei közötti kapcsolatot. A termés mennyiség maximalizálása a termelők elsődleges célja, a minőségi szempontok pedig a kukorica széleskörű feldolgozása során kerülnek előtérbe. Az optimális tápelemellátottság fontos tényezője a nagy mennyiségű, jó minőségű termés elérésének (Bojtor et al., 2021b).

Az összefüggésvizsgálatok komplex értékelése során megállapítottam, hogy a termésmennyiség, fehérje- és nedvességtartalom egymással, valamint a kukorica nitrogén, réz, mangán, vas, kálium és kén tartalmával szoros összefüggésben volt, 70,04 %-os hasonlósági index értéken belül. A keményítőtartalom a foszfor, magnézium, cink és kalcium tartalommal volt szoros összefüggésben, míg az olajtartalom nem mutatott kiemelten szoros összefüggést a vizsgált tápelemekkel (13. ábra).

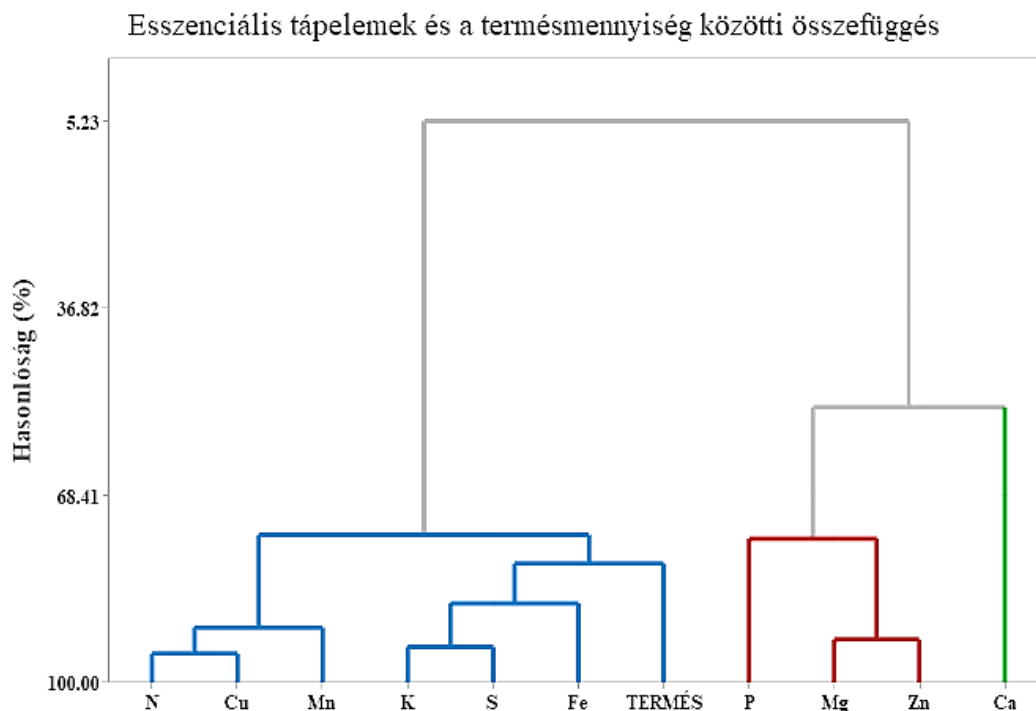


13. ábra: Klaszteranalízis az esszenciális makro – mezo és mikroelemek, valamint a termésmennyiség, fehérje-, keményítő-, olaj- és nedvességtartalom összefüggésének meghatározására. Teljes kapcsolat értékelése, korrelációs koefficiens távolság alapján. Debrecen-Látókép

#### 4.6.1. Esszenciális tápelemek és a termésmennyiség összefüggésvizsgálata

A termésmennyiség és a kukorica növényi részeinek esszenciális tápelemekkoncentrációi közötti kapcsolat vizsgálata során a klaszteranalízisben három kategóriába kerültek a tápelemek. Az első klaszterben a nitrogén, kén, kálium, vas, réz és mangán, valamint a termésmennyiség került, amely csoporton belül a termés mennyiségi változásával legszorosabb összefüggésben a kukorica vas, kálium és kén tartalma volt, 79,94 %-os hasonlósági index alapján döntően meghatározva az elérhető termésmennyiséget. Eredményeim részben ellentmondanak Bänziger és Long (2000) kutatási eredményeivel, amelyben nem szignifikáns korrelációt mutattak ki a kukorica termésének vas és cink koncentrációja és a termésmennyiség között.

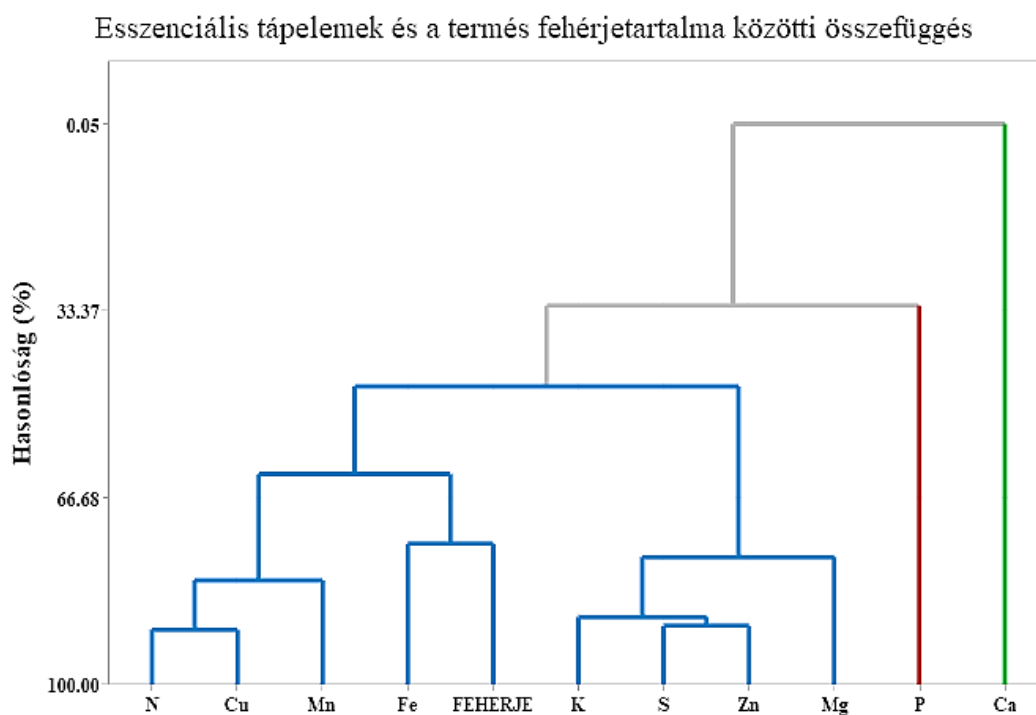
Szoros kapcsolatot mutattam ki ezen felül a nitrogén, réz és mangán koncentráció értékeivel, 75,1 % hasonlósági index értékkel. Ezzel szemben a második klasztert alkotó foszfor, magnézium, cink, valamint a teljes mértékben különböző kalcium növényekben mért értékei nem mutattak szignifikáns kapcsolatot a kísérletben mért termés mennyiséggel, a hasonlósági index mindösszesen 5,23 % volt (14. ábra).



14. ábra: Klaszteranalízis az esszenciális makro – mezo és mikroelemek, valamint a termésmennyiség összefüggésének meghatározására. Teljes kapcsolat értékelése, korrelációs koefficiens távolság alapján. Debrecen-Látókép

#### 4.6.2. Esszenciális tápelemek és a fehérjetartalom összefüggésvizsgálata

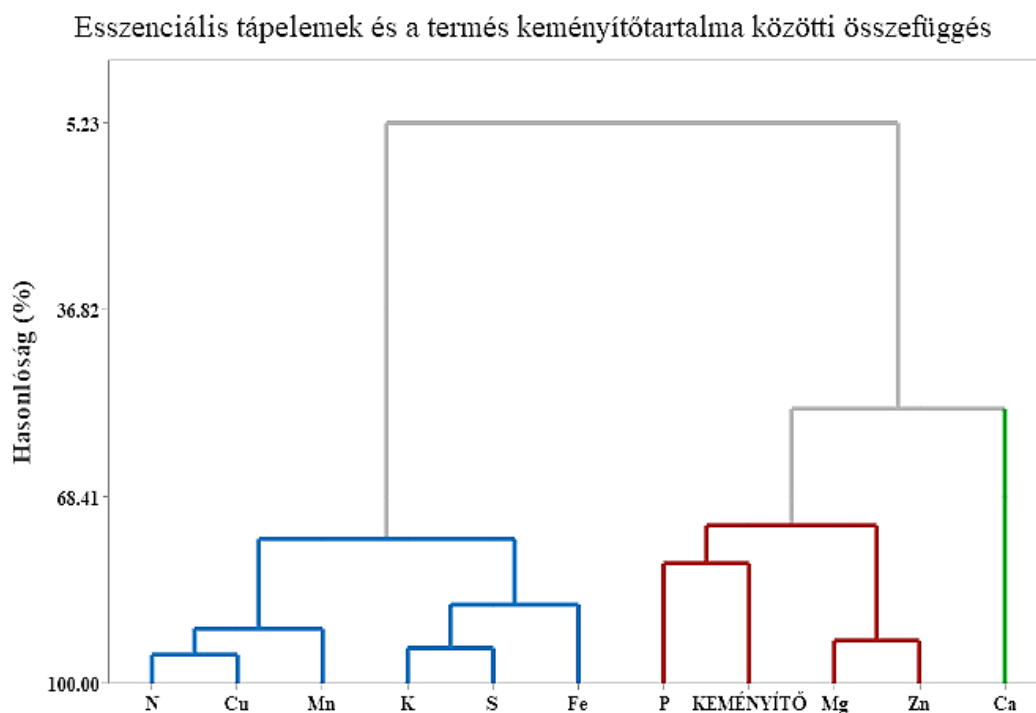
A kukorica növényi részeinek tápelemfelvételi jellemzői a termés fehérjetartalmára szintén jelentős hatást gyakoroltak. Legszorosabb statisztikailag igazolt kapcsolatot az akkumulált vas koncentrációja és a fehérjetartalom között mértem, 74,95 %-os mértékű hasonlósági index alapján, ezt a nitrogén, réz és mangán tápelemcsoportja 62,45 % hasonlósági index-szel, majd pedig a kálium, kén, cink és magnézium tápelemek felvett értékei követték, már gyengébb kölcsönhatással, 46,88 %-os hasonlósági index értékekkel. A termés fehérjetartalmára a vizsgálataim alapján a kukorica foszfor és kalciumtartalma nem volt szignifikáns hatással, előbbi 32,48 %-os, utóbbi pedig 0,05 %-os hasonlóságot eredményezett (15. ábra).



15. ábra: Klaszteranalízis az esszenciális makro – mezo és mikroelemek, valamint a termés fehérjetartalma közötti összefüggés meghatározására. Teljes kapcsolat értékelése, korrelációs koefficiens távolság alapján. Debrecen-Látókép

#### 4.6.3. Esszenciális tápelemek és a keményítőtartalom összefüggésvizsgálata

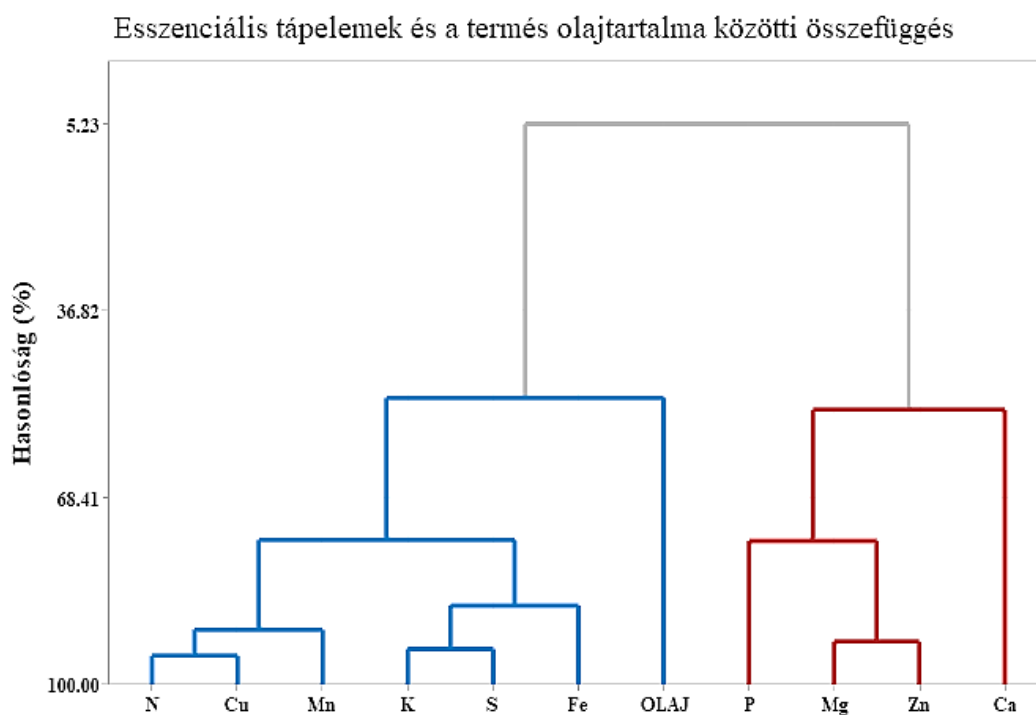
A kukorica termésének keményítőtartalma, amely a feldolgozóipar szempontjából kiemelt jelentőségű, hiszen a szemtermés túlnyomó többségét, 65 – 73 % -át jelenti, más jellemzőket mutatott az esszenciális tápelemekkel történő összefüggésvizsgálat során. A klaszteranalízis során a legszorosabb, statisztikailag igazolt összefüggést a kukorica foszfortartalma eredményezte, 79,68 % hasonlósági index értékkel, amelyet a magnézium és cinktartalom követett, hasonlóan szoros, 73,31 % hasonlósági index kapcsolattal, valamint jelentős kapcsolat (53,53 %) alakult ki a kukorica növényi részeinek kalciumtartalma, valamint a szemtermés keményítőtartalma között. Ezzel szemben a többi akkumulált tápelemnek statisztikailag nem igazolható, mindösszesen 5,23 % hasonlósági index-szel jellemezhető hatása volt a termés keményítőtartalmának kialakulására (16. ábra).



16. ábra: Klaszteranalízis az esszenciális makro – mezo és mikroelemek, valamint a termés keményítőtartalma közötti összefüggés meghatározására. Teljes kapcsolat értékelése, korrelációs koefficiens távolság alapján. Debrecen-Látókép

#### 4.6.4. Esszenciális tápelemek és az olajtartalom összefüggésvizsgálata

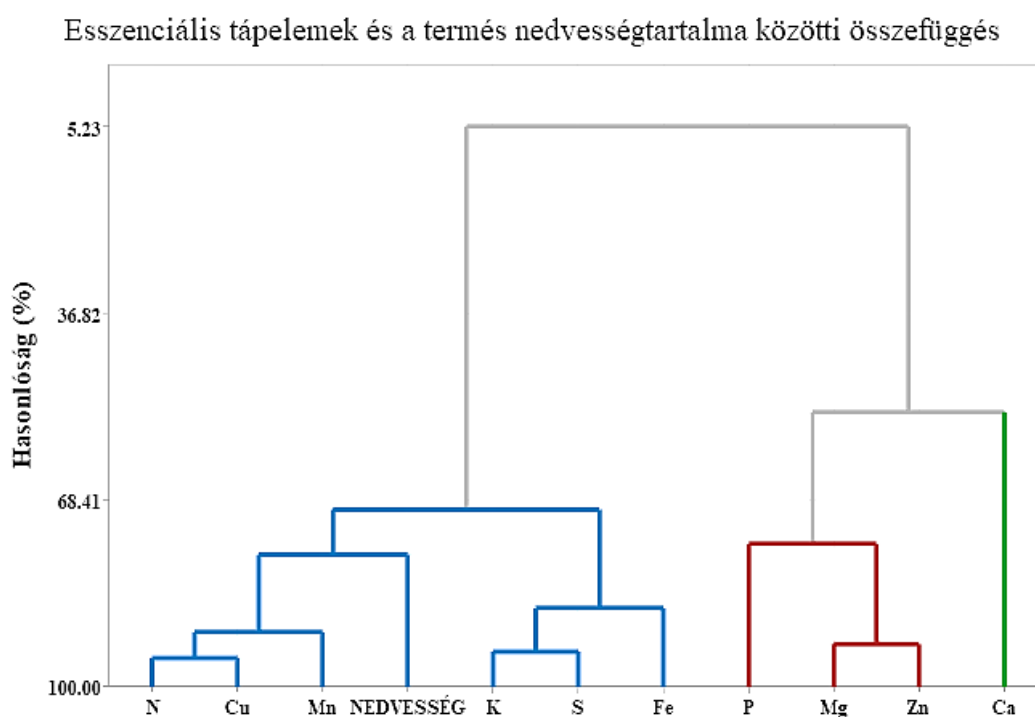
A kukorica termésének olajtartalma, amely mennyiségét tekintve 3-5 % közötti mértéket képvisel, enyhébb összefüggést mutatott a növények felvett tápelemtartalmával. A legnagyobb mértékű kapcsolatot a nitrogén és kálium makroelemekkel, a kénnel, valamint a réz, mangán és vas mikroelemekkel eredményezte, ugyanakkor a hasonlósági index ezen kapcsolatok esetében is mindösszesen 51,54 % volt. Statisztikailag igazolt kapcsolat nem volt kimutatható a foszfor, magnézium, cink és kalcium koncentráció, valamint az olajtartalom között, ezen tápelemek a koncentráció értékek alapján egymással szoros kapcsolatban állnak, azonban az olajtartalomra nem gyakorolnak statisztikailag igazolható mértékű hatást (17. ábra).



17. ábra: Klaszteranalízis az esszenciális makro – mezo és mikroelemek, valamint a termés olajtartalma közötti összefüggés meghatározására. Teljes kapcsolat értékelése, korrelációs koefficiens távolság alapján. Debrecen-Látókép

#### 4.6.5. Esszenciális tápelemek és a szemnedvesség összefüggésvizsgálata

A betakarításkori szemnedvesség, mint a termés minőségének szárítási költséget alapvetően meghatározó tényezője a vizsgálataim alapján a tápelemek közül a nitrogén, réz és mangán felvett mennyiségével volt legszorosabb kapcsolatban, 77,58 %-os hasonlósági index értékkel, amelyet a kálium, kén és vas által képzett tápelemcsoport követett (70,04 % hasonlósági index). A többi vizsgált tápelemmel (foszfor, magnézium, cink), valamint a külön önálló klasztert alkotó kalciummal nem volt kimutatható szignifikáns kölcsönhatás (18. ábra).



18. ábra: Klaszteranalízis az esszenciális makro – mezo és mikroelemek, valamint a termés nedvességtartalma közötti összefüggés meghatározására. Teljes kapcsolat értékelése, korrelációs koefficiens távolság alapján. Debrecen-Látókép

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kukorica termesztéstechnológiája során az optimális tápanyagellátottság elengedhetetlen a termés paramétereinek maximalizálása érdekében. A kutatásom során a nitrogéntrágyázás szárazanyagbeépülést, tápelem-akkumulációt és termés jellemzőket meghatározó hatásait értékeltem. Az eredményeket két eltérő agrometeorológiai sajátosságokkal jellemezhető évjárat adatai alapján elemeztem. A műtrágyázás hatásainak megbízhatóságát a szántóföldi trágyázási tartamkísérlet 1983 óta fennálló nem műtrágyázott kontroll parcelláinak az adataival történő összevetése biztosította.

A szárazanyagakkumuláció eredményei alapján megállapítottam, hogy a szár és a levél szárazanyag felhalmozódását a fő vizsgált tényezők (nitrogéntrágyázás, évjárat, fenofázis) egyaránt  $P < 0,001$  mértékben befolyásolták, ez alól kivételt jelentett az évjárat levél szárazanyagfelhalmozódására gyakorolt nem szignifikáns hatása. A szemtermés és a csutka esetében a nitrogéntrágyázás és az évjárat tényezők egyaránt statisztikailag igazolható hatást eredményeztek,  $P < 0,001$  mértékben.

Megállapítottam, hogy a kezdeti V<sub>4</sub> fenofázisban minden kezelés szignifikánsan növelte kukorica levelének szárazanyagtartalmát, 39 – 64 % közötti mértékben, ellenben V<sub>T</sub> fenofázisban statisztikailag igazolt növekedést mindösszesen a magas, N<sub>4</sub> és N<sub>5</sub> műtrágyadózis okozott, 33,1 és 33,7 % mértékben. R<sub>6</sub> fázisban mindegyik kezelés növelte a levél szárazanyagtartalmát, szignifikáns hatást eredményezve az N<sub>3</sub> (+36,7 %), N<sub>4</sub> (+61,4 %) és N<sub>5</sub> (+46,3 %) kezelésekben. Eredményeim megerősítik Ma et al. (2021) kutatásukban foglaltakat, amely szerint a szárazanyag-felhalmozódás mértéke és a terméshozam is akkor volt a legmagasabb, amikor a nitrogén kijuttatásának mértéke 306,5 kg\*ha<sup>-1</sup> volt. A kutatásom során az N<sub>5</sub> kezelés (300 kg\*ha<sup>-1</sup>) nitrogéntrágyázás mellett mértem a maximumot. Ezzel ellentétben megcáfoltam Kosgey et al. (2013) kísérleti eredményeit, amely szerint korábbi évek megfelelő nitrogéntrágyázását követően további N-trágya hozzáadása nem volt statisztikailag igazolható hatással ( $P = 0,601$ ) a fiziológiai éréskor felhalmozott összes szárazanyagra.

Megállapítottam, hogy az évjárat hatása eltérően befolyásolta az egyes növényi részek szárazanyagbeépülését. A szár a 2019-es vizsgált évben egy alacsonyabb kiinduló kezdeti értékről magasabb, 64,86 g/növény mértékig emelkedett a szárazanyagtömeg. Ezzel szemben a 2021-es vizsgált év során magasabb, 0,5 g/növény kiindulási értékről

mindösszesen 49,15 g/növény maximum értéket ért el. A levelek szárazanyagbeépülési jellemzőiben nem állapítottam meg ilyen évjáratoktól függő változást, hasonló  $V_4$  fenofázisban mért értékekről (0,3 és 0,48 g/növény) mindkét évjáratban hasonló, 35,99 g/növény és 27,29 g/növény, valamint 32,84 g/növény és 31,2 g/növény értékig növekedtek  $V_T$  és  $R_6$  fenofázisokban, amely eredményeim azonosak Johnson et al. (1966) és Golzardi et al. (2017) kutatási eredményeivel.

A makroelemek (nitrogén, foszfor, kálium) akkumulációs folyamatainak értékelése során eltérő hatásokat állapítottam meg az egyes növényi részek elemfelvételében. A szárban a növekedés legkisebb mértékben az  $N_1$  tápanyagszint esetén 4 %, míg legnagyobb mértékben az  $N_4$  kezelésben 28 % volt, levélben ugyanezen pozitív változások 6 és 31 % mértékűek voltak, legnagyobb mértékben az  $N_5$  kezelés hatására. A levél N koncentráció értékeinek változásai megegyeznek Izsáki (2012), Boomsma et al. (2009) és Zhang et al. (2014) korábbi eredményeivel, amelyekben a növekvő nitrogéntrágyázás megemelkedett növényi nitrogéntartalmat eredményezett, azonban ellentétesek Kincses et al. (2002) megállapításával, amely szerint a növények kezdeti fejlődése során  $V_{3-4}$  és  $V_{6-7}$  stádiumban a legnagyobb N koncentráció a kontroll, legkisebb nitrogéndózissal rendelkező növények esetében volt mérhető. A generatív részekben a szemtermés nitrogéntartalma az  $N_1$  kezelés hatására növekedett legkisebb mértékben (+3 %), míg az  $N_4$  műtrágyadózis 56 % (+0,55 m/m % N) növekedést eredményezett. Kísérleteimben a kezelések hatására minden fenofázisban megnövekedett nitrogénakkumulációt mértem, legnagyobb mértékben az  $N_4$  kezelés ( $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ ) esetében, amely ellentétes Jakab (2003) eredményeivel, amely szerint a nitrogénakkumuláció maximuma  $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  nitrogéndózis kijuttatásával érhető el.

A foszforkoncentrációt érintő eredményeim megegyeznek Jakab (2003) kutatásában mért adataival, amely szerint a műtrágyázás nélküli kezeléseknél volt a legnagyobb a kukorica foszfortartalma. Ezzel szemben a kísérletemben mért csökkenő foszfor koncentráció értékek ellentétesek Kincses et al. (2002) eredményeivel, amely szerint a növekvő nitrogéntrágyázás nincs hatással a növények egészének foszforfelvételére. A szár fajlagos foszfortartalmára a közepes,  $N_3$  kezelés volt legnagyobb hatással, 16 %-os, mintegy 572 mg/kg P értékű csökkenést okozva. A szemtermésben a növekvő nitrogéndózis enyhén csökkenő foszforkoncentrációt eredményezett, a legnagyobb mértékben az  $N_4$  kezelésben (-10 %).

Az egyes nitrogéndózisok eltérő mértékben voltak hatással a szár káliumtartalmára, legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelés növelte a kontrollhoz képest 45 %-kal (12392 mg/kg K). A levél kálium koncentrációját a nitrogéntrágyázás kisebb mértékben befolyásolta, 19 és 31 % közötti növekménnyel, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelésben (+ 6706 mg/kg K). Ezzel szemben a szemtermésben a koncentráció változása nem szignifikáns módon ugyan, de csökkenő tendenciát eredményezett az egyes kezelések hatására, 2 és 10 % közötti mértékben. A generatív részek káliumkoncentrációjának változásai összhangban vannak Jakab (2003) eredményeivel. A vizsgálatok eredményei megerősítették továbbá Thiraporn et al. (1992) eredményeit, amelyben a növekvő nitrogéntrágyázás okozta termésnövekedés nem okozott szignifikáns koncentráció hígulást a szemtermés káliumtartalmában.

A mezeoelemfelvétel (magnézium, kalcium, kén) értékelése során megállapítottam, hogy a kijuttatott nitrogéntrágyázás csökkent magnéziumkoncentrációt eredményezett a szárban (17 – 27 % csökkenés) és a levélben (8 – 17 % csökkenés) is. A legnagyobb mértékben a N<sub>5</sub> kezelés csökkentette 809 mg/kg fajlagos értékkel a szár koncentrációját. A levélben pedig az N<sub>4</sub> kezelés okozta a legnagyobb mértékű, 478 mg/kg csökkenést. A generatív részekben a szemtermésben a magnéziumkoncentráció az N<sub>4</sub> kezelés kivételével (-7 % csökkenés) nem szignifikáns mértékben különbözött a kontroll értéktől. Az eredményeim így ellentétesek Izsáki (2011) megállapításával, amely szerint a növekvő nitrogéntrágyázás a kukorica leveleinek magnéziumtartalmát pozitívan befolyásolja.

A kalcium vegetatív növényi részekben mért koncentrációjára statisztikailag igazolt hatást nem fejtett ki a növekvő nitrogéntrágyázás. Ezen eredményem összhangban van Riedell (2010) kutatásával, amely szerint a kukorica szárának N-koncentrációjával ellentétben a szár kalcium koncentrációját a V<sub>6</sub> és V<sub>12</sub> szakaszban nem befolyásolták a nitrogéntrágyázási kezelések. A kalcium és magnéziumtartalom mért változásai azonban ellentétesek Kincses et al. (2002) eredményeivel, amelyben növekvő nitrogéntrágyázás hatására növekvő kalcium és magnéziumtartalmat figyeltek meg. A generatív növényi részeknél a szemtermés kalciumkoncentrációját jelentős mértékben befolyásolta a növekvő nitrogéndózis, legnagyobb mértékben az N<sub>2</sub> kezelés 23 %-os, 385 mg/kg mértékű csökkenést eredményezve. Ezen eredményem ellentmond Jakab (2003) kutatási megállapításainak, amelyben hasonló, 120 kg\*ha<sup>-1</sup> N műtrágyadózis alkalmazásával szignifikánsan megemelkedett kalciumkoncentráció volt mérhető.

A kén tartalomban azonban a növekvő nitrogéndózis hatására szignifikáns koncentráció növekedést mértem, a szár (20 – 27 %), levél (38 – 54 %), valamint a szemtermés esetében egyaránt (N<sub>3</sub> és N<sub>5</sub> kezelések +157,8 és 125,7 mg/kg felvett S) Ezen megállapításom megegyezik Győri és Boros (2013) kutatási eredményeivel, amelyben a növekvő NPK műtrágyázás a talaj és a kukorica növény kén tartalmának fokozatos növekedését eredményezte.

A mikroelemfelvétel értékelése során megállapítottam, hogy a növekvő nitrogénellátottság minden növényi részben szignifikánsan cink koncentráció csökkenést eredményezett. Ezen hatások közül a vegetatív növényi részekben a szárban mért csökkenés volt meghatározó, amely mindegyik kezelés esetén legalább 40 %-os mértékű, a legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésben 18,71 mg/kg koncentrációcsökkenést jelentett. A mért tendenciák ellentétesek Izsáki (2011) kutatási eredményeivel, amelyben több évben is döntően megbízható növekedésről számolt be a nitrogéntrágyázás hatására. A szemtermés cinktartalma mindegyik kezelés hatására statisztikailag igazolhatóan csökkent, a legnagyobb mértékű negatív változást ebben az esetben is az N<sub>4</sub> kezelés eredményezte, 40 %-os (9,04 mg/kg) koncentráció csökkenéssel. A szemtermésben mért folyamatok megegyeznek Jakab (2003) eredményeivel, amelyben hasonló csökkenést igazolt a szemtermés cinktartalmában növekvő nitrogéntrágyázás mellett. A kukorica növényi részeiben a cinkkoncentráció nagyságrendje megegyezett a korábbi kutatásokban mért értékekkel (Grzebisz et al., 2008; Jakab, 2003).

Statisztikailag igazolt megnövekedett vas akkumulációt állapítottam meg minden trágyakezelés hatására a kukorica levélanalízise során, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelés hatására, 48 %-kal megnövelt értékben. A réztartalom és a nitrogénellátottság növényi részekben vizsgált összefüggései alapján megállapítottam, hogy a növekvő nitrogén trágyakezelés statisztikailag igazolt megemelkedett koncentrációt eredményezett a kukorica levelében és csutkájában egyaránt, 5 – 57 %, valamint 8 – 39 % közötti mértékben. A levélminták mangánkoncentrációban a legnagyobb növekedést az N<sub>4</sub> és N<sub>5</sub> kezelések eredményezték (31 – 33 %). A vas-, réz- és mangánfelvételt jellemző eredményeim alátámasztják Izsáki (2011) kutatási eredményeit.

Megállapítottam, hogy a kutatásomban az N<sub>3</sub>, vagyis a 180 kg\*ha<sup>-1</sup> nitrogéndózis eredményezte a legnagyobb mértékű termésnövekedést, 2019-es évjáratban 81 %, 2021-ben pedig 84 % mértékben a kontrollhoz képest. Ezen eredményeim nem egyeztek meg Karancsi et al. (2012) kutatási megállapításaival, amely szerint 120 kg\*ha<sup>-1</sup> N + PK

kijuttatása mellett érhető el a termésmaximum. Az eredmények megerősítik a nitrogén túlzott alkalmazása esetén jelentkező termésdepressziót okozó hatásokat megállapító eredményeket (Pakurár et al., 2004; Pepó, 2001; Nagy, 2012; Nagy, 2017; Ragán, 2014; Szalókiné – Szalóki, 2002; Széles et al., 2015; Széles et al., 2018).

A fehérjetartalom vizsgálata során megállapítottam a növekvő nitrogéntrágyázás fehérjetartalom növelő hatását, 2019-es évben 11 – 20 % közötti, 2021-ben pedig 2 és 25 % közötti fehérjetartalom növekedést a kontroll értékekhez képest. Az eredményeim megerősítik több kutató korábbi vizsgálatainak megállapítását (Rehman et al., 2011; Szabó et al., 2021; Széles et al., 2018; Széles et al., 2019; Vad et al., 2007). Olajtartalomban eltérő évjárat hatást mértem, 2019-ben 2 – 5 % közötti növekedést, 2021-ben pedig 1 – 6 % közötti csökkentést a kontrollhoz viszonyítva, amellyel igazoltam korábbi vizsgálatok eredményét az olajtartalom nitrogéntrágyázás és évjárat általi eltérő dinamikájú befolyásoltságáról (Széles et al., 2020; Horváth et al., 2021). A növekvő nitrogéntrágyázás minimális hatással volt a keményítőtartalomra, mindkét vizsgált évben enyhe, 0 – 2 % közötti csökkenést mértem. A nedvességtartalom vizsgálata során pedig szintén eltérő évjárat hatásokat, 2019-ben 0 – 1 % közötti változásokat, 2021-ben viszont 5 – 11 % közötti növekedést mértem a növekvő nitrogéntrágyázás hatására a kontroll értékekhez viszonyítva.

Megállapítottam, hogy az elérhető termésmennyiségre a legszorosabb összefüggésben a kukorica szövetekben akkumulált vas, kálium és kén tartalom volt, 79,94 %-os hasonlósági index alapján meghatározva az elérhető termésmennyiséget. Eredményeim részben ellentmondanak Bänziger és Long (2000) kutatási eredményeivel, amelyben nem szignifikáns korrelációt mutattak ki a kukorica termésének vaskoncentrációja és a termésmennyiség között. A fehérjetartalom kialakulásában a legszorosabb statisztikailag igazolt kapcsolatot az akkumulált vas koncentrációja jelentette, 74,95 %-os mértékben. A keményítőtartalommal a klaszteranalízis során a legszorosabb, statisztikailag igazolt összefüggést a kukorica foszfortartalma eredményezte, 79,68 % mértékben. A kukorica termésének olajtartalma enyhébb összefüggést mutatott a növények felvett tápelemtartalmával. A legnagyobb mértékű kapcsolatot a nitrogén és kálium makroelemekkel, a kénnel, valamint a réz, mangán és vas mikroelemekkel eredményezte, ugyanakkor a hasonlósági index ezen kapcsolatok esetében is mindösszesen 51,54 % volt. A betakarításkori szemnedvesség a tápelemek közül a nitrogén, réz és mangán felvett mennyiségével volt legszorosabb kapcsolatban, 77,58 %-os hasonlósági index értékekkel.

## 6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a generatív fejlődési szakasz kezdetén ( $V_T$  fenofázis) statisztikailag igazoltan nagyobb mértékű szárazanyagakkumuláció csak magas,  $240 - 300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  nitrogén műtrágya kijuttatása mellett érhető el (+33,1 és +33,7 %). A növekedés a 2019-es, jobb csapadékellátottságú évben +51,8 és +57,5 % volt, amely jelentősen meghaladja a 2021-es vizsgált év növekményét.
2. Bizonyítottam, hogy a növekvő N-trágyázás hatására a kukorica szárában, valamint generatív növényi részeiben egyaránt szignifikánsan csökkent a foszforkoncentráció. A csökkenés legnagyobb mértéke a szárban 16 %, a szemtermésben 10 %, a csutkában pedig 52 % volt. Ezzel szemben a növekvő N-trágyázás a levél foszforkoncentrációjára nincs statisztikailag igazolható hatással.
3. Igazoltam a növekvő N-trágyázás káliumfelvételt növelő hatását. A legnagyobb mértékben az  $N_4$  ( $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ ) kezelés növelte 45 %-kal (12392 mg/kg K) a kontrollhoz képest a vizsgált évek átlagában, azonban mindegyik kezelés legalább 20 %-os koncentrációnövekedést eredményezett. A növekedés a 2019-es, jobb csapadékellátottságú évjáratban volt nagyobb mértékű, +4082 mg/kg többlet felvett káliumot eredményezve.
4. Megállapítottam a növekvő N-trágyázásnak a kén akkumulációt fokozó hatását a vegetatív növényi részekben és a termésben egyaránt. A szár és a levél kén tartalmának változásában a növekvő nitrogénellátottság átlagosan 20 – 27 %, valamint 38 – 54 % közötti növekedést eredményezett, a legnagyobb mértékben az  $N_4$  kezelés esetében (+328 mg/kg és +800 mg/kg). A szemtermés kén tartalmára kiemelten pozitív hatást a magas nitrogéndózisok ( $N_3$  és  $N_5$  kezelések) gyakoroltak, 18 % és 15 %, vagyis 157,8 és 125,7 mg/kg felvett többlet kén tartalmat eredményezve.

5. Megállapítottam, hogy minden vizsgált növényi részben a növekvő N-trágyázás hatására csökkent a cinkkoncentráció. A csökkenés a szemtermésben és a vegetatív növényi részekben volt meghatározó, a legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésben érvényesült, a 2019-es vizsgált évben a szárban 50,4 %, levélben 35,2 %, szemtermésben 39,8 %, míg a 2021-es évben a szárban 58,2 %, levélben 10,3 %, szemtermésben pedig 40,2 % mértékben csökkentve a növényi részek cinkkoncentrációját.
  
6. Igazoltam a növényi szövetek vastartalmának termésmennyiséget és fehérjetartalmat meghatározó hatását, 79,94 % és 74,95 %-os hasonlósági index értékekkel jelezve a vaskoncentráció és a termésmennyiség, valamint a termés fehérjetartalma között.

## 7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A kutatási eredményeim alapján a 180 kg/ha dózisú nitrogéntrágyázás a kedvező a termés mennyiségi és minőségi maximumának eléréséhez, középérésű, FAO 400-450 közötti éréscsoportú kukoricahibrid termesztése esetén.
2. Az eredményeim alapján a növekvő nitrogéntrágyázás makro-, mezo- és mikroelem akkumulációra gyakorolt hatásai segítséget nyújtanak a termelőknek a nitrogéntrágyázás melletti kiegészítő műtrágyakezelések mértékének és szükségességének, valamint a műtrágya összetételének meghatározásában.
3. A vegetatív és generatív növényi részek szárazanyagtömeg mértékének meghatározása a  $V_T$  és  $R_6$  fenofázisokban a termesztéstechnológia egyéb paramétereinek ismerete mellett alkalmas az adott terület terméshozamának meghatározására, segítve ezzel a betakarítás megfelelő ütemezését.
4. A termés és a zöld növényi részek esszenciális tápelemtartalmának ismerete, valamint az ennek megfelelően kialakított nitrogéntrágyázási gyakorlat elősegíti a kiváló minőségű takarmány- és feldolgozóipari alapanyag előállítását
5. A növény fejlődése szempontjából meghatározó fejlődési stádiumokban végzett mintavételezés, valamint az abból nyert adatok az értékelést követően a kukorica üzemi tápanyagellátását segítő döntéstámogató rendszerek alapadatbázisaként hasznosíthatók, hozzájárulva a precíziós tápanyagutánpótlás hatékony, rendszerszintű fejlesztéséhez és kivitelezéséhez.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

A növénytermesztés célja a növények részére az optimális termesztési rendszer megteremtése. A talajtulajdonságok, tápanyagellátási-, vízellátottsági és a klimatikus viszonyok együttesen hatnak a növények fejlődésére. A tudatos trágyázási, tápanyagutánpótlási gyakorlat kialakítása kiemelkedő jelentőségű az ökonómiailag és környezetileg egyaránt fenntartható növénytermesztés megvalósítása érdekében. Az új kukorica genotípusok tápanyagfelvételi dinamikájának megismerése, a hatékony műtrágyadózisok meghatározása alapot biztosít ennek megvalósításához.

A disszertációm alapját képező kutatás főbb célkitűzései: (1) A kukorica tápanyagreakcióinak komplex vizsgálata, optimális tápanyagutánpótlási dózis meghatározása. (2) A kukorica tápanyagfelvételi, tápanyaghasznosítási jellemzőinek értékelése, elsődleges fókusszal a nitrogénre (3) A szárazanyagakkumuláció értékelése, nitrogénellátottság szárazanyagbeépülést módosító hatásának elemzése (4) A kukorica komplex makro – mezo és mikroelemfelvételi jellemzőinek meghatározása az egyes vegetatív és generatív növényi részekben, a nitrogéntrágyázás tápelemfelvételre gyakorolt hatásának komplex értékeléséhez (5) A kukorica makro–, mezo– és mikroelemellátottságának a termés mennyiségi és minőségi paramétereire gyakorolt hatásvizsgálata.

A kísérlet helyszínét a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep biztosította. A terület hajdúsági löszháton kialakult mészlepedékes csernozjom talaja a kukoricatermesztés szempontjából kedvező talajfizikai és talajkémiai tulajdonságokkal rendelkezik. A kísérleti terület jellemzően kontinentális éghajlatú, gyakran előfordulnak különböző időjárási szélsőségek, mint például a csapadék mennyiségének és eloszlásának változása, valamint a hőmérsékleti értékek ingadozása a vegetációs időszakon belül és kívül. 2019-es évben 04. 01. és 10. 31. között mindössze 311,8 mm csapadék hullott a tenyészidőszak alatt. Ezzel szemben 2021 évben a kukorica vetésének idején meglévő megfelelő csapadék általi vízellátottságot a vegetatív és generatív fejlődés későbbi szakaszaiban jelentős deficit követett, június és szeptember közötti 4 hónap alatt mindösszesen 90,7 mm csapadék hullott, amely az kísérleti területen is megalapozta az országosan is tapasztalható alacsonyabb termésmennyiségeket.

A Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepen található komplex multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben közel negyven év azonos tápanyagutánpótlási technológiájának tartamhatását van lehetőség vizsgálni és értékelni. A kísérlet elrendezését tekintve sávos, négy ismétlésben beállított kisparcellás tartamkísérlet, amelyben a főparcellákat a genotípusok, az osztóparcellákat pedig a műtrágyadózisok jelentik. A kísérletben értékelt genotípus FAO 420 érésidővel jellemzett, középérésű, lófogú kukorica hibrid, amely kiváló termőhelyi alkalmazkodóképességgel rendelkezik.

A kukorica szárazanyagbeépülésének és tápelemfelvételének komplex értékeléséhez az egyes mintavételek során a fenológiai fázisoknak megfelelően vizsgáltam a különböző vegetatív és generatív növényi részeket. A kukorica vegetatív fejlődési fázisaiban, 4 leveles ( $V_4$ ), 8 leveles ( $V_8$ ) és a hímvirágzás ( $V_T$ ) fenofázisokban az egyes vizsgálatokat a levélen és száron végeztem, később termés megjelenésével szemtermés és a csutka beltartalmi vizsgálatával egészítettem ki a fiziológiai érettség, ( $R_6$ ) fenofázisban történt mintavételeket. A növényi részek szárazanyagtartalmának meghatározása termometriás módszerrel történt. A kukorica teljeskörű, vegetatív és generatív növényi részeinek makro-, mezo- és mikroelemtartalmának kvantitatív meghatározása akkreditált laboratóriumban történt. Az alábbi tápelem összetevők meghatározására került sor: Kjeldahl-módszerrel történő nitrogéntartalom meghatározás, illetve ICP-OES mérőeszköz által mért foszfor, kálium, kalcium, magnézium, cink, réz, vas, kén és mangán. A fiziológiai érést követően a kísérleti parcellák betakarítása SR2010 parcellakombájnnal történt. A betakarítógép beépített tömegmérője által történt a parcella termésmennyiségének meghatározása, amelyet a parcella területének és tőszámának ismeretében üzemi méretre számoltam át. A betakarítás során valamennyi kísérleti parcella szemterméséből egyedi 1 kg össztömegű átlagmintát különítettem el, amelynek a főbb beltartalmi minőségi paramétereit (fehérje-, keményítő-, olajtartalom, szemnedvesség) ezt követően Perten DA7250 NIR készülékkel értékeltem.

A kísérleti eredmények statisztikai értékelését R 3.2.4. statisztikai környezetben, valamint GenStat és Minitab statisztikai szoftverekkel végeztem. A mért adatok statisztikai megfelelőségét Kolmogorov-Smirnov normalitás teszttel vizsgáltam. Az eltérő nitrogéntrágyázás és évjárat önálló és együttes hatásait egy- és többtényezős varianciaanalízissel végeztem. Az egyes értékek közötti szignifikáns különbségek meghatározásához Fisher-féle legkisebb szignifikáns különbség (LSD) tesztet alkalmaztam. A tápelemanalitikai adatok és a termés mennyiségi, minőségi paramétereit

közötti összefüggésvizsgálatot klaszteranalízis segítségével végeztem el, a grafikus elemzéshez pedig GGE biplot analízist alkalmaztam. A grafikonokat Ms Excel 365 és Datawrapper programokkal készítettem.

A szárazanyagbeépülési dinamika vizsgálati eredmények alapján megállapítottam, hogy a vegetatív növényi részek esetében a szár szárazanyagbeépülési dinamikáját a nitrogéntrágyázás, az évjárat, a fenofázis, valamint a fenofázis x évjárat együttes hatása szignifikánsan befolyásolta ( $P < 0,001$ ). Ezzel szemben a kukorica levelének szárazanyagnövekedését a nitrogéntrágyázás, fenofázis, fenofázis x évjárat hatások befolyásolták a legnagyobb mértékben ( $P < 0,001$ ), továbbá a nitrogéntrágyázás x évjárat és a fenofázis x évjárat ( $P < 0,01$ ), valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x évjárat együttes hatása is statisztikailag igazolható mértékű volt ( $P < 0,05$ ). A generatív növényi részek szárazanyagbeépülésének vizsgálata során megállapítottam, hogy a mind a szemtermés mind pedig a csutka esetében a nitrogéntrágyázás, az évjárat és a nitrogéntrágyázás x évjárat kölcsönhatás egyaránt statisztikailag igazolható hatást eredményezett, előbbieket  $P < 0,001$ , míg az együttes kölcsönhatása kisebb,  $P < 0,05$  mértékben.

Az eltérő fenológiai fázisokban mért dinamikai folyamatok az egyes növényi részekben eltérőek voltak. A vegetatív növényi részek közül a szár szárazanyagbeépülésére  $V_4$  fenofázisban az  $N_1$  kezelés kivételével mindegyik kezelés szignifikáns hatást gyakorolt, 60 – 80 % mértékben növelve a felhalmozott szárazanyagtartalmat. A levél szárazanyagtömege meghatározó mértékben függött a növekvő nitrogéntrágyázástól. A kezdeti  $V_4$  fenofázisban minden kezelés szignifikánsan növelte a szárazanyagtartalmat, 39 – 64 % közötti mértékben. A vegetatív fejlődési szakasz előrehaladtával a  $V_8$  stádiumban mért értékek mindegyike jelentősen növekedett a kezelésekre hatására, legkisebb mértékben az  $N_1$  kezelésben 33,9 %-kal, legnagyobb mértékben pedig az  $N_3$  és  $N_5$  kezeléseknél, 96,4 és 98,3 %-kal.

A vizsgálataim során a makroelemek felvételi dinamikájának elemzése során kiemelten vizsgáltam a kukorica növényi részeinek akkumulációs jellemzőit és az eltérő nitrogéntrágyázás hatásait. A vegetatív növényi részekben a három makroelem közül a szár és a levél esetében egyaránt a kálium volt a legnagyobb jelentőségű. A nitrogéntrágyázási szintek közül pedig a magas,  $N_4$  –  $N_5$  kezelésekre eredményezték a legkiemelkedőbb makroelem akkumulációt.

Az egyes vizsgált kísérleti paraméterek, mint a nitrogéntrágyázási dózisok, az évjárat és a mintavételi fenológiai stádiumok önálló és együttes hatásvizsgálatai alapján megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás, az évjárat, a fenofázis ( $P < 0,001$ ), valamint a fenofázis x évjárat együttes hatása ( $P < 0,01$ ) volt szignifikáns a kukoricaszár nitrogén akkumulációra. A foszforfelvételre mindegyik vizsgált faktor önálló és együttes hatása statisztikailag igazolható hatást fejtett ki ( $P < 0,001$ ). A kálium felvételi sajátosságait értékelve megállapítottam, hogy a nitrogéntrágyázás, fenofázis, fenofázis x év tényezők, valamint a nitrogéntrágyázás x fenofázis x év szignifikáns hatással voltak, előbbiek  $P < 0,001$ , utóbbi pedig  $P < 0,05$  mértékben. A levelek makroelemfelvételének értékelése alapján megállapítottam, hogy a nitrogén akkumulációt a fenofázis, a nitrogéntrágyázás, a fenofázis x év, valamint a nitrogéntrágyázás x év szignifikánsan befolyásolta,  $P < 0,001$ , valamint  $P < 0,05$  mértékben. A levél foszfortartalmában a nitrogéntrágyázás kivételével mindegyik vizsgált faktor önálló és együttes hatása statisztikailag igazolt mértékű volt ( $P < 0,001$ ). A káliumfelhalmozódásban pedig a nitrogéntrágyázás x év kivételével mértünk minden esetben szignifikáns hatásokat.

A makroelem felvétel generatív növényi részekben történő vizsgálata során megállapítottam, hogy a csutka foszfor és a káliumfelvételi jellemzőket a nitrogéntrágyázás, az évjárat, valamint a nitrogéntrágyázás x évjárat egyaránt szignifikánsan befolyásolta ( $P < 0,001$ ), ezzel szemben a szemtermésben mindkét tápelem koncentrációjában egyedül a nitrogéntrágyázás x évjárat hatása volt statisztikailag igazolható.

A generatív részekben a szemtermés nitrogéntartalma az  $N_1$  kezelés hatására növekedett legkisebb mértékben (+3 %), míg az  $N_4$  műtrágyadózis 56 % (+0,55 m/m % N) növekedést eredményezett. A csutka fajlagos nitrogéntartalmában mindegyik kezelés jelentősen, 10 % fölötti mértékben eredményezett növekedést. A foszforkoncentráció vizsgálata során megállapítottam, hogy a növekvő nitrogéndózis a szárban, valamint a generatív részekben eredményezett statisztikailag igazolt csökkenő értékeket, a levél foszforellátottságát érdemben nem befolyásolta. A szár fajlagos foszfortartalmára az  $N_3$  kezelés volt legnagyobb hatással, 16 %-os, mintegy 572 mg/kg értékű csökkenést okozva. A szár értékeihez képest a levél kálium koncentrációjában kiegyensúlyozottabb hatást mértem, 19 és 31 % közötti növekménnyel, legnagyobb mértékben az  $N_5$  kezelésben (+ 6706 mg/kg K). Ezzel szemben a szemtermésben a koncentráció változása nem

szignifikáns módon ugyan, de csökkenő tendenciát eredményezett az egyes kezelések hatására, 2 és 10 % közötti mértékben.

A levélben lezajló magnézium akkumulációra kisebb hatást gyakorolt a növekvő nitrogéntrágyázás, 8 és 17 % közötti mértékű csökkenést eredményezve. A magas, N<sub>4</sub> kezelés okozta a legnagyobb mértékű, 478 mg/kg magnéziumkoncentráció csökkenést. A generatív részekben a szemtermésben a magnéziumkoncentráció az N<sub>4</sub> kezelés kivételével (-7 % csökkenés) nem szignifikáns mértékben különbözött a kontroll értéktől. A kalcium vegetatív növényi részekben mért koncentrációjára statisztikailag igazolt hatást nem fejtett ki a növekvő nitrogéntrágyázás. A vegetatív növényi részekenél a szár és a levél kéntartalmának változásában a növekvő nitrogénellátottság átlagosan 20 – 27 %, valamint 38 – 54 % közötti növekedést eredményezett, amely a legnagyobb mértékben az N<sub>4</sub> kezelésnél valósult meg, a szemtermés kéntartalmára szignifikánsan pozitív hatást a magas nitrogéndózisok (N<sub>3</sub> és N<sub>5</sub> kezelések) gyakoroltak, 18 és 15 %, 157,8 és 125,7 mg/kg felvett többlet kéntartalmat eredményezve.

A vegetatív és generatív növényi részek különálló értékelése során megállapítottam, hogy a kukorica szárának mikroelem felvételében a mangán bizonyult elsődleges fontosságúnak, amelyet a cink, illetve a réz követett. A kezelések közül a kontroll bizonyult a mikroelemfelvétel szempontjából ideálisnak.

A levelek cinktartalmára kevésbé befolyásolta a növekvő nitrogénellátottság, a csökkenés mértéke 5 és 18 % között volt. A generatív növényi részek közül a szemtermés cinktartalma mindegyik kezelés hatására statisztikailag igazolhatóan csökkent, a legnagyobb mértékű negatív változást ebben az esetben is az N<sub>4</sub> kezelés eredményezte, 40 %-os (9,04 mg/kg) koncentráció csökkenéssel. A vastartalom a nitrogéntrágyázás növelésére pozitívan reagált. Mindegyik növényi rész esetében növekvő tendenciát mértem, amely számos esetben volt szignifikáns. Statisztikailag igazolt megnövekedett vas akkumulációt állapítottam meg minden trágyakezelés hatására a kukorica levélanalízise során, legnagyobb mértékben az N<sub>5</sub> kezelés hatására, 48 %-kal megnövelt értékben. A réztartalom és a nitrogénellátottság növényi részekben vizsgált összefüggései alapján megállapítottam, hogy a növekvő nitrogén trágyakezelés statisztikailag igazolt magasabb koncentrációt eredményezett a kukorica levelében és csutkájában egyaránt, 5 – 57 %, valamint 8 – 39 % közötti mértékben. A nitrogéntrágyázás kukorica mangánkoncentrációjára gyakorolt hatásvizsgálata során megállapítottam, hogy a

legnagyobb mértékben a levél mangántartalma változott, statisztikailag igazolt pozitív módon. A legnagyobb növekedést az N<sub>4</sub> és N<sub>5</sub> kezelések eredményezték (31 – 33 %).

A termés mennyiségi és minőségi paramétereinek vizsgálata során megállapítottam, hogy az adott hibridnél az N<sub>3</sub> kezelés bizonyult a termés mennyiségi és minőségi jellemzőit tekintve a termesztési optimumnak, a vizsgált években 10,52 és 8,98 t\*ha<sup>-1</sup> maximális termésmennyiséggel. Ezt követte az N<sub>2</sub> és N<sub>4</sub> tápanyagszint, majd az N<sub>5</sub>, amely alapján kijelenthető, hogy az N<sub>3</sub>, vagyis 180 kg\*ha<sup>-1</sup> nitrogéntrágyázási szint fölött kijuttatott műtrágyát a hibrid nem képes hasznosítani.

A termés minőségi jellemzőinek részletes vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a növekvő nitrogéntrágyázás legnagyobb mértékben a fehérjetartalomban eredményezett változást, 2019-es évben 11 – 20 % közötti, 2021-ben pedig 2 és 25 % közötti fehérjetartalom növekedést a kontroll értékekhez képest. Olajtartalomban eltérő évjáráti hatást mértem, 2019-ben 2 – 5 % közötti növekedést, 2021-ben pedig 1 – 6 % közötti csökkentést a kontrollhoz viszonyítva. A növekvő nitrogéntrágyázás minimális hatással volt a keményítőtartalomra, mindkét vizsgált évben enyhe, 0 – 2 % közötti csökkenést mértem. A nedvességtartalom vizsgálata során eltérő évjáráti hatásokat, 2019-ben 0 – 1 % közötti változásokat, 2021-ben viszont 5 – 11 % közötti növekedést mértem a növekvő nitrogéntrágyázás hatására a kontroll értékekhez viszonyítva

A kutatásom során klaszteranalízis segítségével vizsgáltam és értékeltem a kukorica növényi részeinek átlagos akkumulált esszenciális makro-, mezo- és mikroelemtartalma, valamint a termés mennyiségi és minőségi paramétereinek közötti kapcsolatot. A termésmennyiség és a kukorica növényi részeinek esszenciális tápelemkoncentrációi közötti kapcsolatban az első klaszterben a nitrogén, kén, kálium, vas, réz és mangán, valamint a termésmennyiség került, amely csoporton belül a termés mennyiségi változásával legszorosabb összefüggésben a kukorica vas, kálium és kén tartalma volt, 79,94 %-os hasonlósági index alapján meghatározva az elérhető termésmennyiséget. Szoros kapcsolatot mutattam ki továbbá a nitrogén, réz és mangán koncentráció értékeivel, 75,1 % hasonlósági index értékkel.

A kukorica növényi részeinek tápelemfelvételi jellemzői a termés fehérjetartalmára szintén jelentős hatást gyakoroltak. Legszorosabb statisztikailag igazolt kapcsolatot az akkumulált vas koncentrációja és a fehérjetartalom között mértem, 74,95 %-os mértékű hasonlósági index alapján, ezt a nitrogén, réz és mangán tápelemcsoportja 62,45 %

hasonlósági index-szel, majd pedig a kálium, kén, cink és magnézium tápelemek felvett értékei követték, már gyengébb kölcsönhatással, 46,88 %-os hasonlósági index értékekkel. A klaszteranalízis során a legszorosabb, statisztikailag igazolt összefüggést a kukorica foszfortartalma eredményezte, 79,68 % hasonlósági index értékkel, amelyet a magnézium és cinktartalom követett, hasonlóan szoros, 73,31 % hasonlósági index kapcsolattal, valamint jelentős kapcsolat (53,53 %) alakult ki a kukorica növényi részeinek kalciumtartalma, valamint a szemtermés keményítőtartalma között. A kukorica termésének olajtartalma, amely mennyiségét tekintve 3-5 % közötti mértéket képvisel, gyengébb mértékű összefüggést mutatott a növények felvett tápelemtartalmával. A betakarításkori szemnedvesség a tápelemek közül a nitrogén, réz és mangán felvett mennyiségével volt legszorosabb kapcsolatban, 77,58 %-os hasonlósági index értékkel, amelyet a kálium, kén és vas által képzett tápelemcsoport követett (70,04 % hasonlósági index).

## 9. SUMMARY

The different soil, nutritional, water, and other climatic conditions have a combined effect on plant development. The aim of crop production is to provide the best growing environment for plants throughout their development. The development of conscious fertilisation and nutrient replenishment practices is of paramount importance for crop production to be sustainable economically and environmentally. Determining fertiliser doses and understanding the nutrient uptake dynamics of new maize genotypes provide the basis for this aim.

The main objectives of the research on which my dissertation is based are: (1) Complex study of nutrient responses in maize, determining the optimal dose of nutrient replenishment. (2) Evaluation of the nutrient uptake and conversion characteristics of maize, with a primary focus on nitrogen (3) Evaluation of dry matter accumulation, analysis of the effect of nitrogen supply on dry matter accumulation (4) Determination of complex macro-, meso- and micronutrient uptake characteristics of maize in each vegetative and generative part of the plant, to evaluate the complex effects of fertiliser supply on nutrient uptake (5) Evaluation of the effects of macro-, secondary- and micro-nutrient supply of maize on yield and yield quality.

The experiment was performed on the Látókép Crop Production Experimental Site, Institutes for Agricultural Research and Educational Farm (IAREF), Farm and Regional Research Institutes of Debrecen (RID), University of Debrecen. The experimental site is located 13 km west of Debrecen, at latitude 47°33' N and longitude 21°26' E, at an altitude of 111 m above sea level. The calcareous chernozem soils of the area, formed on a loess ridge in the Hajdúság region, have soil physico-chemical properties provide favourable conditions for maize production.

The experimental area has a typical continental climate, characterised by frequent weather extremes such as changes in rainfall and distribution, and temperature fluctuations both during and outside the growing season. In the growing season from 01/04 to 31/10 in 2019, only 311.8 mm of rain fell. In contrast, the year 2021, saw an adequate water supply from rainfall at the time of maize sowing followed by a significant deficit in the later stages of vegetative and generative development, with a total of 90.7 mm of rainfall in

the 4 months from June to September, which also contributed to the nationally observed decrease in yield in the experimental area.

The complex multifactorial long-term fertilisation experiment of the Látókép Crop Production Experimental Site makes it possible to examine and evaluate the effects of applying the same nutrient supply technology for nearly forty years. The experimental design was a small plot field experiment with four replications, in which the main plots were the examined genotypes, and the split plots were the applied fertiliser doses. The genotype evaluated in the experiment was a medium maturity (FAO 420), dent type maize hybrid.

In accordance with the different phenological stages, vegetative and generative parts of the plant were analysed in each sampling for a complex evaluation of dry matter accumulation and nutrient uptake of maize. In the vegetative stages of maize, individual tests were performed on the leaf and stem, and later, with the appearance of the cobs, at the 4-leaf- ( $V_4$ ), 8-leaf- ( $V_8$ ) and tasselling ( $V_T$ ) phenophases. The performed sampling method was supplemented with grain yield and cob tests at the physiological maturity ( $R_6$ ) phenophase. The dry matter content of the vegetative parts was determined with a thermometric method.

An accredited laboratory performed the complex determination of the essential nutrient content of the samples. The following nutrient components were determined: nitrogen content determined by the Kjeldahl method, and phosphorus, potassium, calcium, magnesium, zinc, copper, iron, sulphur, manganese, measured using ICP-OES. After physiological maturity, the experimental plots were harvested with a SR2010 plot harvester. The harvester's built-in weight meter was used to determine the yield of the plot, which was converted to the operational size based on the plot area and plant number. During harvesting, an individual 1 kg mean sample of grain yield from each experimental plot was isolated and the main nutritional quality parameters (protein, starch, oil, grain moisture) were subsequently evaluated using a Perten DA7250 NIR instrument.

Statistical evaluation of the experimental results was performed in the statistical environment R 3.2.4, using the graphical interface RStudio, and the statistical software GenStat (VSN International, Rothamsted, England) and Minitab (Minitab LLC., Pennsylvania, USA). The goodness of fit of the measured data was tested using the Kolmogorov - Smirnov normality test. Individual and combined effects of different

nitrogen fertilisation and crop years were tested using single and multi-factor analysis of variance. Fisher's least significant difference (LSD) test was used to determine significant differences between individual values. Cluster analysis was performed to examine the interrelationship between nutrient analysis data, as well as quantitative and qualitative parameters of yield. GGE biplot analysis was used for graphical analysis. Graphs were generated using Ms Excel 365.

Based on the results of the dry matter accumulation analysis, I found that the combined effect of nitrogen fertilisation, crop year, phenophase and phenophase x crop year significantly influenced dry matter uptake of the vegetative parts of the plant ( $P < 0.001$ ). In contrast, maize leaf dry matter growth was most significantly affected by nitrogen fertilisation, phenophase and phenophase x crop year ( $P < 0.001$ ). In addition, the combined effects of nitrogen fertilisation x crop year and phenophase x crop year ( $P < 0.01$ ) and nitrogen fertilisation x phenophase x crop year were also statistically significant ( $P < 0.05$ ).

During the analysis of the dry matter uptake of generative plant parts, I found that, for both grain and cob, the interaction of nitrogen fertilisation, crop year and nitrogen fertilisation x crop year produced significant effects, the former at  $P < 0.001$ , while the combined interaction produced a weaker effect at  $P < 0.05$ . The dynamic processes of dry matter accumulation measured at the various phenological stages were different for each plant part. As regards the vegetative plant parts, stem dry matter accumulation at the V<sub>4</sub> phenophase was significantly affected by all treatments except N<sub>1</sub>, resulting in a 60-80% increase in the accumulated dry matter content. The amount of leaf dry matter, as the primary provider of the assimilation surface for organic matter formation, significantly depended on increasing the amount of nitrogen fertilisation. In the initial V<sub>4</sub> phenophase, all treatments significantly increased dry matter content, ranging from 39 to 64 %. As the vegetative development progressed, the values measured at the V<sub>8</sub> stage increased significantly with the performed treatments. The smallest increase was observed in the N<sub>1</sub> treatment by 33.9 % and the largest increase in the N<sub>3</sub> and N<sub>5</sub> treatments by 96.4 % and 98.3 %, respectively.

My research also focused on the nutrient accumulation characteristics of maize vegetative parts and the effects of different nitrogen fertilisation on macronutrient uptake dynamics. Of the three macronutrients in the vegetative parts of the plant, potassium was of primary importance for both the stalk and leaves. Nitrogen was used as a supplement, whereas

phosphorus was not dominant. Of the different nitrogen fertilisation levels, the high-dose nitrogen treatments N<sub>4</sub> - N<sub>5</sub> resulted in the highest macronutrient accumulation.

Based on the individual and combined effects of each examined experimental parameter, such as nitrogen fertilisation rates, crop year and phenological stages, I found that nitrogen fertilisation, crop year, phenophase ( $P < 0.001$ ) and phenophase x crop year ( $P < 0.01$ ) had a significant combined effect on maize stalk nitrogen accumulation. As regards phosphorus uptake, the individual and combined effects of each of the examined factors had a significant effect ( $P < 0.001$ ). During the evaluation of the specificity of potassium uptake, I found that nitrogen fertilisation, phenophase, phenophase x crop year, and nitrogen fertilisation x phenophase x crop year had significant effects, the former at  $P < 0.001$  and the latter at  $P < 0.05$ .

During the analysis of leaf macronutrient uptake, I found that nitrogen accumulation was significantly affected by phenophase, nitrogen fertilisation, phenophase x crop year and nitrogen fertilisation x crop year at  $P < 0.001$  and  $P < 0.05$ , respectively. The individual and combined effect of each examined factor, except nitrogen fertilisation, resulted in a significant ( $P < 0.001$ ) change in leaf phosphorus content. Significant effects on potassium accumulation were measured in all cases except for nitrogen fertilisation x crop year. During the examination of macronutrient uptake in generative plant parts, I found that nitrogen fertilisation, year and nitrogen fertilisation x crop year significantly affected both the phosphorus and potassium uptake characteristics of the stover ( $P < 0.001$ ). In the grain yield, only the effect of nitrogen fertilisation x crop year resulted in a significant change in the concentration of both nutrients. In the generative parts, the grain yield nitrogen content increased the least (+3 %) with the N<sub>1</sub> treatment, while the N<sub>4</sub> fertiliser dose resulted in a 56 % increase (+0.55 m/m % N). Each treatment resulted in a significant increase in the specific nitrogen content of cobs of more than 10 %, but the changes were not significant in any of the cases due to sample variability.

During the examination of the phosphorus concentration, I observed that increasing nitrogen doses resulted in significantly decreasing values in the stem and the generative parts, without significantly affecting the phosphorus supply to the leaves. The specific phosphorus content of the stem was most affected by the medium N<sub>3</sub> treatment, causing 16 % reduction of about 572 mg/kg. Compared to the respective stem values, a more balanced effect on leaf potassium concentration was measured, with an increase between 19 and 31 %, with the greatest effect observed in the N<sub>5</sub> treatment (+ 6706 mg/kg K). In

contrast, the change in grain yield concentration, although not significant, showed a decreasing trend between 2 and 10 % with each treatment.

The examination of secondary nutrient uptake revealed that magnesium accumulation in the leaves was less affected by increasing nitrogen fertilisation, resulting in a decrease between 8 and 17 %. The high-dose N<sub>4</sub> treatment caused the largest decrease (478 mg/kg) in magnesium concentration. In the generative parts of the plant, magnesium concentrations were not significantly different from the control values, except for the N<sub>4</sub> treatment (7% decrease). There was no significant effect of increasing nitrogen fertilisation on the concentration of calcium in the vegetative parts of the plant. In the vegetative parts of the plant, the sulphur content of stems and leaves was increased by 20 - 27 % and 38 - 54 %, respectively, with the highest increase observed in the N<sub>4</sub> treatment, i.e., 328 mg/kg in the stem and 800 mg/kg in the leaves. It was shown that high nitrogen doses (N<sub>3</sub> and N<sub>5</sub> treatments) had a significant positive effect on grain sulphur content in the generative plant parts, with excess sulphur uptake of 18 and 15 %, i.e., 157.8 and 125.7 mg/kg, respectively.

In the separate evaluation of the vegetative and generative parts of the plant, I found that manganese was of primary importance in the micronutrient uptake of maize stalk, followed by zinc and copper, respectively. Of the different treatments, the control, N<sub>0</sub>, was found to be ideal for micronutrient uptake. The leaf zinc content was slightly negatively affected by increasing nitrogen supply. Again, the decrease ranged from 5 to 18 %. For the generative parts of the plant, grain zinc content decreased significantly in all treatments. Again, the greatest negative change was observed in the N<sub>4</sub> treatment, resulting in a 40 % (9.04 mg/kg) decrease in concentration. The iron content responded positively to the increase in nitrogen fertilisation. An increasing, and, in several cases, significant trend was observed for all plant parts. Significantly increased iron accumulation was found during maize leaf analysis under all fertiliser treatments, with the highest increase of 48 % under the N<sub>5</sub> treatment. Based on the relationships between copper content and nitrogen supply in the vegetative parts, I found that increasing nitrogen fertiliser treatments resulted in significantly increased concentrations both in maize leaves and ears, ranging from 5 to 57 % and 8 to 39 %, respectively. During the examination of nitrogen fertilisation effects on manganese concentration in maize, the most notable change in manganese content was found in the leaf, which was a significant

positive effect. The largest increases were obtained as a result of the N<sub>4</sub> and N<sub>5</sub> treatments (31 – 33 %).

I also evaluated quantitative and qualitative yield parameters of yield. I found that the N<sub>3</sub> treatment proved to be the ideal treatment in terms of quantitative and qualitative yield characteristics for the given hybrid concerning nitrogen supply, achieving 15.52 and 8.98 tons/ha yield in the two examined years, respectively. This value was followed by the N<sub>2</sub> and N<sub>4</sub> nutrient levels, and then N<sub>5</sub>, indicating that fertiliser applied above N<sub>3</sub>, i.e., 180 kg\*ha<sup>-1</sup> nitrogen fertilisation level, could not be utilised by the hybrid.

A detailed analysis of yield quality characteristics showed that increasing nitrogen fertilisation resulted in the greatest change in protein content, with increases of 11 – 20 % in 2019 and 2 – 25 % in 2021, compared to the control. Different crop year effects were shown in oil content, with increases of between 2 and 5 % in 2019 and decreases of between 1 and 6 % in 2021, compared to the control. Increasing nitrogen fertilisation had a minimal effect on starch content, with a slight decrease of between 0 and 2 % in both examined years. The moisture content also showed different seasonal effects, with changes of 0 – 1 % in 2019 and increases of 5 – 11 % in 2021, due to increasing nitrogen fertilisation compared to the control.

Cluster analysis was used to examine and evaluate the relationship between the average accumulated essential macro-, meso- and microelement content of the vegetative parts of maize, as well as the quantitative and qualitative parameters of yield. While maximising yield is the primary objective of the farmers, quality is the main concern during extensive maize processing. Optimum nutrient supply is an important factor in achieving high yield of high-quality maize.

During the analysis of the relationship between yield and essential nutrient concentrations in the vegetative parts, the performed cluster analysis classified nutrients into three categories. The first cluster included nitrogen, sulphur, potassium, iron, copper and manganese, as well as yield. The iron, potassium, and sulphur content of maize were the most closely related to yield variation, with a similarity index of 79.94 %, i.e., a decisive determinant of potential available yield. A close correlation was also found with the values of nitrogen, copper, and manganese concentrations, with a similarity index of 75.1 %.

The nutrient uptake characteristics of the vegetative parts of maize also had a significant effect on yield protein content. The closest significant correlation was measured between accumulated iron concentration and protein content, with a similarity index of 74.95 %, followed by the nutrient group of nitrogen, copper and manganese, with a similarity index of 62.45 %. Uptake values of potassium, sulphur, zinc and magnesium showed weaker interaction, with a similarity index of 46.88 %.

The values of starch content showed different characteristics when tested for correlation with essential nutrients. In the cluster analysis, the closest significant relationship was found for the phosphorus content of maize, with a similarity index of 79.68 %, followed by magnesium and zinc content, with a similar close similarity index of 73.31 %, and a significant relationship (53.53 %) between the calcium content of vegetative parts and the starch content of grain yield.

The oil content of maize grain ranged between 3 and 5 %, showing a weaker correlation with the nutrient content of maize. Grain moisture at harvest was found to be most closely related to the uptake of nitrogen, copper and manganese, with a similarity index of 77.58 %, followed by the group of nutrients including potassium, sulphur and iron (70.04 % similarity index).

## 10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abbasi, M.K. – Tahir, M.M. – Sadiq, A. – Iqbal, M. – Zafar, M.: 2012. Yield and nitrogen use efficiency of rainfed maize response to splitting and nitrogen rates in Kashmir, Pakistan. *Agronomy Journal*, 104(2), pp. 448-457.
2. Achari, G.A. – Kowshik, M.: 2018. Recent developments on nanotechnology in agriculture: plant mineral nutrition, health, and interactions with soil microflora. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(33), pp. 8647-8661.
3. Allison, J. C. S. – Watson, D. J.: 1966. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. *Annals of Botany*, 30(3), pp. 365-381.
4. Árendás, T. – Berzsenyi, Z. – Szundy, T. – Marton, L. Cs. – Bónis, P.: 2000. Fél évszázad tapasztalatával. Kukorica a termesztőknek. *Gyakorlati Agroforum*. II. évf. 3. pp. 44-47.
5. Árendás, T. – Berzsenyi, Z. – Bónis, P. – Micskey, Gy. – Marton, L. Cs.: 2013. A kukoricatermesztés agrotechnikai elemei: lehetőségek a fejlődési stresszek csökkentésére és növelésére, *Agroforum Extra* 52. pp. 50-55.
6. Árendás, T. – Bónis, P. – Sugar, E. – Fodor, N. – Spitkó, T. – Marton, L. Cs.: 2018. Művészetek zöldje, Kukorica N-műtrágyázási kísérletek eredményei Martonvásárról. *Agroforum Extra* 77. pp. 32-34.
7. Árendás, T. – Sarkadi, J. – Bónis, P. – Molnár, D.: 2003. A kukorica P- és K-reakciójának vizsgálata erdőmaradványos csernozjom talajon. *50 éves a magyar hibrid kukorica*. Martonvásár. pp. 55–60.
8. Bąk, K. – Gaj, R. – Budka, A.: 2016. Accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in mature maize under variable rates of mineral fertilization. *Fragmenta Agronomica*, 33(1), pp. 7-19.
9. Barber, S.A.: 1984. Liming materials and practices. *Soil Acidity and Liming*, 12, pp. 171-209.
10. Bänziger, M. – Long, J.: 2000. The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant-breeding. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), pp. 397-400.
11. Berzsenyi, Z.: 1992. A N-műtrágyázás és a növényszám hatása a kukorica (*Zea mays* L.) harvest indexének, biomassza produkciójának és szemtermésének változására az 1986-1990. években. *Növénytermelés*. 41(1), pp. 43-56.

12. Berzsényi, Z.: 1996. Studies on the effect of N fertilization on maize (*Zea mays* L.) growth using the Hunt-Pawrsons model. *Növénytermelés*. 45(1), pp. 35-52.
13. Berzsényi, Z. – Győrffy, B.: 1995. Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. *Növénytermelés*. 44(5-6), pp. 507-517.
14. Berzsényi, Z. – Győrffy, B. – Lap, D.: 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *European Journal of Agronomy*, 13(2-3), pp. 225-244.
15. Berzsényi, Z. – Lap, D.Q.: 2005. Responses of maize (*Zea mays* L.) hybrids to sowing date, N fertiliser and plant density in different years. *Acta Agronomica Hungarica*, 53(2), pp. 119-131.
16. Berzsényi, Z. – Árendás, T. – Bónis, P. – Marton, L. Cs.: 2013. A kukorica termésreakcióinak vizsgálata Győrffy Bélától napjainkig. *60 éves a magyar hibridkukorica 1953-2013*. pp. 45-52.
17. Bhatia, C.R. – Rabson, R.: 1987. Relationship of grain yield and nutritional quality. *Nutritional quality of cereal grains: genetic and agronomic improvement*, 28, pp. 11-43.
18. Bocz E.: 1974. A szántóföldi növények hazai trágyázásának irányelvei. Debrecen. pp. 65-77.
19. Bocz E.: 1976. Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. pp. 257.
20. Bocz, E. – Nagy, J.: 1981. A kukorica víz-és tápanyagellátásának optimalizálása és hatása a termés tömegére. *Növénytermelés*, 30(6), pp. 539-549.
21. Bocz, E. – Nagy, J.: 2003. A kukorica nagy termésének feltételei. *Agrofórum*. 14. pp. 2–4.
22. Bognár S. – Jenser G. – Péntes B. – Vörös G.: 2003. A kártevők elleni védekezés integrált termesztésben. [In: Jenser G. (szerk.) *Integrált növényvédelem a kártevők ellen.*] Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
23. Bojtor, C. – Mousavi, S.M.N. – Illés, Á. – Széles, A. – Nagy, J. – Marton, C.L.: 2021a. Stability and adaptability of maize hybrids for precision crop production in a long-term field experiment in Hungary. *Agronomy*, 11(11)
24. Bojtor, C. – Illés, Á. – Horváth, É. – Nagy, J. – Marton, L.C.: 2021b. Hybridspecific nutrient interactions and their role in maize yield quality. *Agronomy Research* 19(4), pp. 1698-1710.

25. Bojtor, C. – Mousavi, S.M.N. – Illés, Á. – Golzardi, F. – Széles, A. – Szabó, A., Nagy, J. – Marton, C.L.: 2022. Nutrient composition analysis of maize hybrids affected by different nitrogen fertilisation systems. *Plants*, 11(12)
26. Boomsma, C.R. – Santini, J.B. – Tollenaar, M. – Vyn, T.J.: 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*, 101(6), pp. 1426-1452.
27. Borges, I. D. – Von Pinho, R. G., – Pereira, J. L. D. A. R.: 2009. Micronutrients accumulation at different maize development stages. *Ciência e agrotecnologia*, 33(4), pp. 1018-1025.
28. Brady, N.C. – Weil, R.R.: 2002. The nature and properties of soil. 13<sup>th</sup> edition. *Agroforestry Systems*, 54(3), pp. 249.
29. Brasil, E. C. – Alves, V. M. C. – Marriel, I. E. – Pitta, G. V. E. – Carvalho, J. G. D.: 2007. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(3), pp. 704-712.
30. Byrnes, B.H.: 1990. Environmental effects of N fertilizer use — an overview. *Fertilization Research* 26, pp. 209–215.
31. Cakmak, I.: 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil*, 247(1), pp. 3-24.
32. Cao, Y.J. – Wang, L.C. – Gu, W.R. – Wang, Y.J. – Zhang, J.H.: 2021. Increasing photosynthetic performance and post-silking N uptake by moderate decreasing leaf source of maize under high planting density. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), pp. 494-510.
33. Carciochi, W.D. – Sadras, V.O. – Pagani, A. – Ciampitti, I.A.: 2020. Co-limitation and stoichiometry capture the interacting effects of nitrogen and sulfur on maize yield and nutrient use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 113.
34. Carrow, R.N. – Waddington, D.V. – Rieke, P.E.: 2002. Turfgrass soil fertility & chemical problems: Assessment and management. John Wiley & Sons.
35. Chen, Q. – Mu, X. – Chen, F. – Yuan, L. – Mi, G.: 2016. Dynamic change of mineral nutrient content in different plant organs during the grain filling stage in maize grown under contrasting nitrogen supply. *European Journal of Agronomy*, 80, pp. 137-153.
36. Chen, Y. – Xiao, C. – Wu, D. – Xia, T. – Chen, Q. – Chen, F. – Yuan, L. – Mi, G.: 2015. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *European Journal of Agronomy*, 62, pp. 79-89.

37. Chen, Y. – Stagg, C.L. – Cai, Y. – Lü, X. – Wang, X. – Shen, R. – Lan, Z.: 2020. Scaling responses of leaf nutrient stoichiometry to the lakeshore flooding duration gradient across different organizational levels. *Science of the Total Environment*, 740.
38. Chen, F. – Liu, J. – Liu, Z. – Chen, Z. – Ren, W. – Gong, X. – Wang, L. – Cai, H., Pan, Q. – Yuan, L. – Zhang, F.: 2021. Breeding for high-yield and nitrogen use efficiency in maize: Lessons from comparison between Chinese and US cultivars. *Advances in Agronomy*, 166, pp. 251-275.
39. Ciampitti, I. A. – Camberato, J. J. – Murrell, S. T. – Vyn, T. J.: 2013. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. *Agronomy journal*, 105(3), pp. 783-795.
40. Cirilo, A. G. – Andrade, F. H.: 1994. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*, 34(4), pp. 1039-1043.
41. Cox, W.J. – Kalonge, S. – Cherney, D.J.R. – Reid, W.S.: 1993. Growth, yield, and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agronomy Journal*, 85(2), pp. 341-347.
42. Csajbók, J.: 2004. A növénytermesztési tér vízgazdálkodása. Egyetemi jegyzet. DE ATC Debrecen, pp. 161.
43. Csathó P.: 2004. A hazai agrokémiai iskolák kutatói által beállított NPK trágyázási szabadföldi kísérletek adatbázisának értékelése. Kézirat MTA TAKI
44. De Mendiburu, F.: 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
45. Debreczeni, K. – Berecz, K.: 2000. Effect of nutrient supply and site characteristics on NPK yield of different maize hybrids. *Acta Agronomica Hungarica*. 48(1), pp. 51-63.
46. Deuner, S. – Nascimento, R. D. – Ferreira, L. S. – Badinelli, P. G. – Kerber, R. S.: 2008. Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), pp. 1359-1365.
47. Duke, S.H. – Reisenauer, H.M.: 1986. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. *Sulfur in Agriculture*, 27, pp. 123-168.
48. Eckhoff, S. R. – M. R. Paulsen.: 1996. "Maize." In *Cereal Grain Quality*, pp. 77-112. Springer, Dordrecht,
49. Eker, S. – Cömertpay, G. – Konuşkan, Ö. – Ülger, A. C. – Öztürk, L. – Çakmak, İ.: 2006. Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in

- hybrid maize varieties. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), pp. 365-373.
50. Erenstein, O. – Jaleta, M. – Sonder, K. – Mottaleb, K. – Prasanna, B.M.: 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*, pp.1-25.
  51. FAO. 2019. World Food and Agriculture – Statistical pocketbook 2019. Rome.
  52. FAO. 2021. FAO Stat. FAO, Rome. <http://www.fao.org/faostat>
  53. Feil, B. – Moser, S.B. – Jampatong, S. – Stamp, P.: 2005. Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science*, 45(2), pp. 516-523.
  54. Fischer, R.A. – Connor, D.J.: 2018. Issues for cropping and agricultural science in the next 20 years. *Field Crops Research*, 222, pp. 121-142.
  55. Fox, J. – Weisberg, S.: 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
  56. Gabriel, K.R.: 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58, pp. 453–467.
  57. Gallais, A. – Coque, M. – Le Gouis, J. – Prioul, J.L. – Hirel, B. – Quillere, I.: 2007. Estimating the Proportion of Nitrogen Remobilization and of Postsilking Nitrogen Uptake Allocated to Maize Kernels by Nitrogen-15 Labeling. *Crop Science*, 47(2), pp. 685-691.
  58. Glits M. – Horváth J. – Kuroli G. – Petróczi I. (szerk.) 1997: *Növényvédelem*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
  59. Golzardi, F. – Baghdadi, A. – Afshar, R.K.: 2017. Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. *Crop and Pasture Science*, 68(8), pp. 726-734.
  60. Good, A.G. – Beatty, P.H.: 2011. Fertilizing nature: a tragedy of excess in the commons. *PLoS Biology* 9(8).
  61. Grant, C.A. – Flaten, D.N. – Tomasiewicz, D.J. – Sheppard, S.C, – Johnston, A.M.: 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Soil Research* 81. pp. 211-224.
  62. Grzebisz, W. – Wronska, M. – Diatta, J.B. – Dullin, P.: 2008. Effect of zinc foliar application at an early stage of maize growth on patterns of nutrients and dry matter

- accumulation by the canopy. Part I. Zinc uptake patterns and its redistribution among maize organs. *Journal of Elementology*, 13(1).
63. Guo, J. – Fan, J. – Xiang, Y. – Zhang, F. – Zheng, J. – Yan, S. – Yan, F. – Hou, X. – Li, Y. – Yang, L.: 2021. Effects of nitrogen type on rainfed maize nutrient uptake and grain yield. *Agronomy Journal*, 113(6), pp. 5454-5471.
  64. Győrffy, B.: 1965. A kukorica tápanyagfelvétele. [In: Győrffy B. et al. (szerk.) *Kukoricatermesztés*]. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. pp. 64–70.
  65. Győrffy, B.: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények*. 35. pp. 239-266.
  66. Győri, Z. – Boros, N.: 2013. A kukorica kén tartalmának vizsgálata agrotechnikai kísérletekben. *60 éves a magyar hibridkukorica*, p. 57.
  67. Hafeez, A. – Ali, S. – Ma, X. – Tung, S.A. – Shah, A.N. – Ahmad, S. – Chattha, M.S. – Souliyanonh, B. – Zhang, Z. – Yang, G.: 2019. Photosynthetic characteristics of boll subtending leaves are substantially influenced by applied K to N ratio under the new planting model for cotton in the Yangtze River Valley. *Field Crops Research*, 237, pp. 43-52.
  68. Hallberg, G. R., – Follett, R. F.: 1989. Nitrogen management and ground water protection. Ed: *RF Follett*. pp. 35-74.
  69. Halvorson, A.D. – Mosier, A.R. – Reule, C.A. – Bausch, W.C.: 2006. Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agronomy Journal*, 98(1), pp. 63-71.
  70. Havlin, J.L. – Tisdale, S.L. – Beaton, J.D. – Nelson, W.L.: 2014. Soil fertility and fertilisers: an introduction to nutrient management, 8<sup>th</sup> edition. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Pearson Inc.
  71. Haygarth, P.M. – Bardgett, R.D. – Condon, L.M.: 2013. Nitrogen and phosphorus cycles and their management. In: Gregory PJ, Nortcliff, S (eds). *Soil conditions and plant growth*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
  72. He, P. – Jin, J.Y. – Lin, B. – Wang, X.F. – Zhang, K.: 1998. Dynamics of biomass and its components and models of nutrients absorption by spring maize under different nitrogen, phosphorous and potassium application rates. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 4(2), pp. 123-130.
  73. Hirel, B. – Le Gouis, J. – Ney, B. – Gallais, A.: 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic

- variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58(9), pp. 2369-2387.
74. Horváth, É. – Tamás, A. – Fejér, P. – Széles, A.: 2021. Effect of different N doses on maize yield and quality. *Acta Agraria Debreceniensis*, 1, pp. 97-101.
  75. Hou, P. – Gao, Q. – Xie, R. – Li, S. – Meng, Q. – Kirkby, E.A. – Römheld, V. – Müller, T. – Zhang, F. – Cui, Z. – Chen, X.: 2012. Grain yields in relation to N requirement: Optimizing nitrogen management for spring maize grown in China. *Field Crops Research*, 129, pp. 1-6.
  76. Huq, S. M.: 1987. Yield and protein quality of maize grain as affected by fertilizer application. *Bangladesh Journal of Agriculture*. 12(3), pp. 169-179.
  77. Huzsvai, L. – Nagy, J.: 2003. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélküli és öntözéses termesztésben. *Növénytermelés*. 52(5). pp. 533-541.
  78. Izsáki, Z.: 2004. Evaluation of grain quality of maize at different nutrient supply levels. [In: Jacobsen, S. E.–Jensen, C. R.–Portier, J. R. (eds.) *Proceedings of the VIII ESA Congress: European Agriculture in a global context.*] Copenhagen. Denmark. KVL. pp. 521–522.
  79. Izsáki, Z.: 2009. Effect of nitrogen supply on nutritional status of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(1-6), pp. 960-973
  80. Izsáki, Z.: 2010. Nutritional status of maize (*Zea mays* L.) in early development stage. *Növénytermelés*. 59(Suppl), pp. 445–448
  81. Izsáki, Z.: 2011. A N-trágyázás hatása a kukorica levél tápelem-koncentrációjára és a tápelemek közötti kölcsönhatásokra. *Növénytermelés*, 60(4), pp. 43-68.
  82. Izsáki, Z.: 2012. Using crop analysis in the precision nutrient supply system of maize. *Acta Agraria Debreceniensis*, (49), pp. 183-186.
  83. Jakab, P.: 2003. A kukoricahibridek makro-, mezo-és mikroelemtartalmának változása a tápanyagellátás függvényében. *Acta Agraria Debreceniensis*, Debrecen, 10, pp. 126-130.
  84. Jarrell, W. M. – Beverly, R. B.: 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*, 34(1), pp. 197-224.
  85. Johnson, R. R. – McClure, K. E. – Johnson, L. J. – Klosterman, E. W. – Triplett, G. B.: 1966. Corn Plant Maturity. I. Changes in Dry Matter and Protein Distribution in Corn Plants 1. *Agronomy Journal*, 58(2), pp. 151-153.

86. Jurgens, S. K. – Johnson, R. R. – Boyer, J. S.: 1978. Dry Matter Production and Translocation in Maize Subjected to Drought during Grain Fill 1. *Agronomy Journal*, 70(4), pp. 678-682.
87. Kádár I.: 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszere. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
88. Kádár, I. – Elek, É.: 1980. Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. MÉM NAK. Budapest.
89. Kádár, I. – Lásztity, B.: 1981. Az őszi búza tápelemarányainak változása a tenyészidő folyamán. *Agrokémia és Talajtan*. 30. pp. 291-306.
90. Karancsi, L.G. – Dóka, L.F. – Pepó, P.: 2012. Examination of hybrid-specific nutrient supply at corn on chernozem soil. *Acta Agraria Debreceniensis*, 48, pp. 91-95.
91. Kincses, S. – Filep, T. – Loch, J.: 2002. Az NPK-trágyázás hatása a kukorica tápelemfelvételének dinamikájára, öntözött és nem öntözött viszonyok között. *Acta Agraria Debreceniensis*, pp. 23-27.
92. Kinnunen, P. – Guillaume, J.H. – Taka, M. – D'odorico, P. – Siebert, S. – Puma, M.J. – Jalava, M. – Kummu, M.: 2020. Local food crop production can fulfil demand for less than one-third of the population. *Nature Food*, 1(4), pp. 229-237.
93. Kolpakov V. V.: 1966. Effektivnoszt' orosenija i udobrenij v razlicsnüh zonah Evropejszkoj csaszti SzSzsZR. Biologicseszkiye osznovü orosaemogo zemledelija. Izd. Nauki. Moszkva. 69-77. p. CIT: Debreczeni B. – Debreczeni B.né (1983): A tápanyag- és a vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
94. Kosgey, J.R. – Moot, D.J. – Fletcher, A.L. – McKenzie, B.A.: 2013. Dry matter accumulation and post-silking N economy of 'stay-green' maize (*Zea mays* L.) hybrids. *European Journal of Agronomy*, 51, pp. 43-52.
95. Kovács, A.J. – Nyéki, A. – Milics, G. – Neményi, M.: 2014. July. Climate change and sustainable precision crop production with regard to maize (*Zea mays* L.). In *Proceeding of International Conference on Precision Agriculture*. Sacramento (pp. 20-23).
96. KSH 2019.: Központi Statisztikai Hivatal: Főbb növénykultúrák terméseredményei, 2019
97. KSH 2021.: Központi Statisztikai Hivatal: Főbb növénykultúrák terméseredményei, 2021

98. Láng, I. – Csete, L.: 1992. A tápanyag-gazdálkodás. [In: Láng I.–Csete L. (szerk.) *Az alkalmazkodó mezőgazdaság.*] Agricola Kiadói és Kereskedelmi Kft. Budapest. pp. 83–84.
99. Lauzon, J.D. – Miller, M.H.: 1997. Comparative response of corn and soybean to seed-placed phosphorus over a range of soil test phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28(3-5), pp. 205-215.
100. Leite, Á.R. – Silva, A.F.D. – Araujo, J.A.D. – Seixas, G.U.: 2016. Pobreza multidimensional no estado da Bahia com enfoque no meio rural utilizando a abordagem de Bourguignon e Chakravarty. *Revista Nexos Econômicos*.
101. Liu, G. – Hou, P. – Xie, R. – Ming, B. – Wang, K. – Xu, W. – Liu, W. – Yang, Y. – Li, S.: 2017. Canopy characteristics of high-yield maize with yield potential of 22,5 Mg\*ha<sup>-1</sup>. *Field Crops Research*, 213, pp. 221-230.
102. Liu, H. – Wang, Z. – Yu, R. – Li, F. – Li, K. – Cao, H. – Yang, N. – Li, M. – Dai, J. – Zan, Y. – Li, Q.: 2016. Optimal nitrogen input for higher efficiency and lower environmental impacts of winter wheat production in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 224, pp. 1-11.
103. Liu, W. – Hou, P. – Liu, G. – Yang, Y. – Guo, X. – Ming, B. – Xie, R. – Wang, K. – Liu, Y. – Li, S.: 2020. Contribution of total dry matter and harvest index to maize grain yield - A multisource data analysis. *Food and Energy Security*, 9(4), p.e. 256.
104. Liu, Z. – Gao, J. – Gao, F. – Liu, P. – Zhao, B. – Zhang, J.: 2019. Late harvest improves yield and nitrogen utilization efficiency of summer maize. *Field Crops Research*, 232, pp. 88-94.
105. Losak, T. – Hlusek, J. – Martinec, J. – Jandak, J. – Szostkova, M. – Filipcik, R. – Manasek, J. – Prokes, K. – Peterka, J. – Varga, L. – Ducsay, L. – Orosz, F. – Martensson, A.: 2011. Nitrogen fertilization does not affect micronutrient uptake in grain maize (*Zea mays* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(6), pp. 543-550.
106. Ma, L. – Zhang, X. – Lei, Q. – Liu, F.: 2021. Effects of drip irrigation nitrogen coupling on dry matter accumulation and yield of summer maize in arid areas of China. *Field Crops Research*, 274.
107. Maathuis, F.J.M.: 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*. 12, pp. 250–258.

108. Mackay A. D. – Barber S. A.: 1984. Soil temperature effects on root growth and phosphorous uptake by corn. *Soil Science Society of America Journal*, 48. pp. 818-823.
109. Maene, L.M.: 2001. Global Potassium Fertilizer Situation, Current Use and Perspectives. 3–5 December. International Potash Institute, New Delhi, India, pp. 1–10
110. Malhi, S.S. – Grant, C.A. – Johnston, A.M. – Gill, K.S.: 2001. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. *Soil and Tillage Research*, 60(3-4), pp. 101-122.
111. Mardamootoo, T. – Du Preez, C.C. – Barnard, J.H.: 2021. Phosphorus management issues for crop production: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 17(7), pp. 939-952.
112. Marschner, H.: 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> edition. Academic, Great Britain.
113. Martin B.: 1983. A Látóképi kísérleti terület talajtani jellemzése. Agrártudományi Egyetem. pp. 1–10.
114. Martins, K.V. – Dourado-Neto, D. – Reichardt, K. – Favarin, J.L. – Sartori, F.F. – Felisberto, G. – Mello, S.C.: 2017. Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, pp. 705-716.
115. Marton, L.Cs. – Szundy, T. – Nagy, E.: 1997. A kukorica (*Zea mays* L.) fiatalkori hidegtűrésének értékelése hőmérsékleti gradiens kamrában. *Növénytermelés*, 46(6), pp. 549-557.
116. Marton, L.Cs. – Árendás, T. – Berzsenyi, Z.: 2012. Martonvásári kukorica hibridek a szárazságban. *Martonvásár*, 24(2), pp. 4-7.
117. Masclaux-Daubresse, C. – Daniel-Vedele, F. – Dechorgnat, J. – Chardon, F. – Gaufichon, L. – Suzuki, A.: 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105(7), pp. 1141-1157.
118. Masclaux-Daubresse, C. – Reisdorf-Cren, M. – Orsel, M.: 2008. Leaf nitrogen remobilisation for plant development and grain filling. *Plant Biology*, 10, pp. 23-36.
119. Mason, S.C. – D'croz-Mason, N.E.: 2002. Agronomic practices influence maize grain quality. *Journal of Crop Production*, 5(1-2), pp. 75-91.

120. McCullough, D. E. – Mihajlovic, M. – Aguilera, A. – Tollenaar, M. – Girardin, P. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. *Canadian Journal of Plant Science*, 74(3), pp. 471-477.
121. Melillo, E.D.: 2012. The first green revolution: debt peonage and the making of the nitrogen fertilizer trade 1840–1930. *The American Historical Review*. 117, pp. 1028–1060.
122. Meng, Q. – Cui, Z. – Yang, H. – Zhang, F. – Chen, X.: 2018. Establishing high-yielding maize system for sustainable intensification in China. *Advances in Agronomy*, 148, pp. 85-109.
123. Mengel, K. – Kirkby, E.A. – Kosegarten, H. – Appel, T.: 2001. Nitrogen. In *Principles of Plant Nutrition*. pp. 397-434. Springer, Dordrecht.
124. Mullins, G.L. – Burmester, C.H. – Reeves, D.W.: 1997. Cotton response to in-row subsoiling and potassium fertilizer placement in Alabama. *Soil and Tillage Research* 40, pp. 145–154.
125. Nagy, J.: 1989. A műtrágyázás és az öntözés hatása a kukoricahibridek termésére. *DATE Tudományos Közlemények*, 28, pp. 437-452.
126. Nagy, J.: 1995. A talajművelés, a műtrágyázás, a növényszám és az öntözés hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Növénytermelés*. 44(3), pp. 251-260.
127. Nagy, J.: 1997. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélkül és öntözéssel termesztésben. *Agrokémia és Talajtan*, 46(1-4), pp. 275-288.
128. Nagy J. (szerk.) 2005: Kukorica hibridek adaptációs képessége és termés-biztonsága: *A kukoricakutatás és fejlesztés 30 éve*. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 268.
129. Nagy, J.: 2007a. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest. 42–276.
130. Nagy, J.: 2007b: Evaluating the effect of year and fertilisation on the yield of mid ripening (FAO 400-499) maize hybrids. *Cereal Research Communications*. 35(3), pp. 1497–1507.
131. Nagy, J.: 2012. The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in long-term experiment. *Időjárás*, 116(1), pp. 39-52.
132. Nagy, J.: 2017. Klímaváltozás és a műtrágyázás hatása a kukorica termésére debreceni tartamkísérletben. *Növénytermelés*, 66(3), pp. 11–32
133. Nagy, J. – Széles, A.: 2018. The scientific background of competitive maize production. *Acta Agraria Debreceniensis*, pp. 33-46.

134. Nagy, J. – Hadászi, L. – Illés, Á. – Bojtor, C. – Zelenák, A. – Nyéki, A.: 2020. Fornad (FAO 420) kiváló Smart” kukorica hibrid termesztési eredményei. *Növénytermelés*, 69, pp. 1–19.
135. Németh, T.: 2001. A tápanyag-gazdálkodás szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, pp. 106-132.
136. Ning, P. – Li, S. – Yu, P. – Zhang, Y. – Li, C.: 2013. Post-silking accumulation and partitioning of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium in maize varieties differing in leaf longevity. *Field Crops Research*, 144, pp. 19-27.
137. Nyéki, A. – Kerepesi, C. – Daróczy, B. – Benczúr, A. – Milics, G. – Kovács, A.J. – Neményi, M.: 2019. Maize Yield Prediction Based on Artificial Intelligence Using Spatio-Temporal Data. In *Proceedings of the Precision Agriculture '19*, Wageningen, The Netherlands, 8 July 2019; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands.
138. Nyéki, A. – Kerepesi, C. – Daróczy, B. – Benczúr, A. – Milics, G. – Nagy, J. – Harsányi, E. – Kovács, A.J. – Neményi, M.: 2021. Application of spatio-temporal data in site-specific maize yield prediction with machine learning methods. *Precision Agriculture*, 22(5), pp. 1397-1415.
139. Obersteiner, M. – Peñuelas, J. – Ciais, P. – Van Der Velde, M. – Janssens, I.A.: 2013. The phosphorus trilemma. *Nature Geoscience* 6. pp. 897-898.
140. Oosterhuis, D.M. – Loka, D.A. – Kawakami, E.M. – Pettigrew, W.T.: 2014. The physiology of potassium in crop production. *Advances in Agronomy*, 126, pp. 203-233.
141. Pakurár M. – Nagy J. – Jagendorf S.: 2004. Fertilisation and irrigation effects on maize (*Zea mays* L.) grain production. *Cereal Research Communications*, 32(1), pp. 151–158.
142. Pan, W.L. – Camberato, J.J. – Moll, R.H. – Kamprath, E.J. – Jackson, W.A.: 1995. Altering source-sink relationships in prolific maize hybrids: Consequences for nitrogen uptake and remobilization. *Crop Science*, 35(3), pp. 836-845.
143. Peng, Y. – Niu, J. – Peng, Z. – Zhang, F. – Li, C.: 2010. Shoot growth potential drives N uptake in maize plants and correlates with root growth in the soil. *Field Crops Research*, 115(1), pp. 85-93.
144. Pepó, P.: 2001. A genotípus és a vetésváltás szerepe a kukorica tápanyagellátásában csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 50(2-3), pp. 189-202.

145. Pepó, P.: 2017. Tartamkísérletek mint a klímaváltozás indikátorai. *Növénytermelés* 66(3), pp. 33-45.
146. Pepó, P. – Karancsi, L. G. – Novák A.: 2016: Kukorica genotípusok tápanyag-reakciója és vízhasznosítása eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*: 65(4), pp. 71-84.
147. Pepó, P. – Vad, A. – Berényi, S.: 2005. Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére monokultúrás termesztésben. *Növénytermelés*. 54(4), pp. 317-326.
148. Pepó, P. – Vad, A. – Berényi, S.: 2006. Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. *Cereal Research Communications*. 34(1), pp. 621-624.
149. Pollak, L.M.: 2003. The history and success of the public-private project on germplasm enhancement of maize (GEM). *Advances in Agronomy*, 78, pp. 46-89.
150. Qi, W. Z. – Chen, X. L. – Liu, P. – Liu, H. H. – Li, G. – Shao, L. J. – Wang, F. F. – Dong, S. T. – Zhang, J. W. – Zhao, B.: 2013. Characteristics of dry matter accumulation and distribution of N, P and K of super-high-yield summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 19(1), pp. 26-36.
151. Ragán, P.: 2014. The impacts of spring basal and side dressing on maize yield. *Acta Agraria Debreceniensis*, 59, pp. 83-86.
152. Raun, W.R. – Johnson, G.V.: 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy journal*, 91(3), pp. 357-363.
153. Rehman, A. – Saleem, M.F. – Safdar, E.M. – Hussain, S. – Akhtar, N.: 2011. Grain quality, nutrient use efficiency, and bioeconomics of maize under different sowing methods and NPK levels. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71, pp. 586–593.
154. Reid, R. J.: 2001. Mechanisms of micronutrient uptake in plants. *Functional Plant Biology*, 28(7), pp. 661-668.
155. Rengel, Z. – Batten, G. D. – Crowley, D. D.: 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research*, 60(1-2), pp. 27-40.
156. Rengel, Z. – Damon, P.M.: 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiologia Plantarum*, 133, pp. 624–636.
157. Riedell, W.E.: 2010. Mineral-nutrient synergism and dilution responses to nitrogen fertilizer in field-grown maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(6), pp. 869-874.

158. Riedell, W. E. – Pikul, J. L. – Jaradat, A. A. – Schumacher, T. E.: 2009. Crop rotation and nitrogen input effects on soil fertility, maize mineral nutrition, yield, and seed composition. *Agronomy Journal*, 101(4), pp. 870-879.
159. Rivera-Amado, C. – Trujillo-Negrellos, E. – Molero, G. – Reynolds, M.P. – Sylvester-Bradley, R. – Foulkes, M.J.: 2019. Optimizing dry-matter partitioning for increased spike growth, grain number and harvest index in spring wheat. *Field Crops Research*, 240, pp. 154-167.
160. Robertson, G.P. – Vitousek, P.M.: 2009. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources*. 34, pp. 97–125.
161. Romheld, V. – Kirkby, E.A.: 2010. Research in potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil*. 335, pp. 155–180.
162. Russelle, M. P. – Hauck, R. D. – Olson, R. A.: 1983. Nitrogen accumulation rates of irrigated maize. *Agronomy Journal*, 75(4), pp. 593-598.
163. Sinclair, T.R. – Rufty, T.W.: 2012. Nitrogen and water resources commonly limit crop yield increases, not necessarily plant genetics. *Global Food Security*, 1, pp. 94–98.
164. Souri, M.K. – Hatamian, M.: 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(1), pp. 67-78.
165. St. John, R.A. – Christians, N.E. – Liu, H. – Menchyk, N.A.: 2013. Secondary nutrients and micronutrient fertilization. *Turfgrass: Biology, Use, and Management*, 56, pp. 521-541.
166. Stevens W. B. – Hoeft R. G. – Mulvaney R. L.: 2005. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study: II. Nitrogen uptake efficiency. *Agronomy Journal*. 97. pp. 1046-1053.
167. Subedi, K.D. – Ma, B.L.: 2005. Nitrogen uptake and partitioning in stay-green and leafy maize hybrids. *Crop Science*, 45(2), pp. 740-747.
168. Sun, H. – Zhou, S. – Zhang, J. – Zhang, X. – Wang, C.: 2020. Effects of controlled-release fertilizer on rice grain yield, nitrogen use efficiency, and greenhouse gas emissions in a paddy field with straw incorporation. *Field Crops Research*, 253.
169. Szabó, A. – Illés, Á. – Bojtor, C. – Bakos, Z. – Nagy, J.: 2021. Effect of the different nitrogen supply on the leaf area index and yield parameters of maize. *Növénytermelés*. 70(3), pp. 117-120.

- 170.Szalka, É.: 1996. Az NP-műtrágyázás hatása a kukorica szemtermésére Duna öntéstalajon. *Növénytermelés*, 45(4), pp. 553-560.
- 171.Szalókiné, Z.I. – Szalóki, S.: 2002. A víz-és a tápanyagellátás hatása a kukorica természeteszetevőinek mennyiségére és NPK-tartalmára. *Növénytermelés*, 51, pp. 5-6.
- 172.Széles, A. – Ragán, P. – Nagy, J.: 2015. The impact of low and high dose NPK on maize (*Zea mays* L.) yield in different crop years. *Növénytermelés*. 64 (Suppl.2), pp. 201-208.
- 173.Széles, A. – Horváth, É.– Vad, A. – Harsányi, E.: 2018. The impact of enviromental factors on the protein content and yield of maize grain at different nutrient supply levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(9), pp. 764-777.
- 174.Széles, A. – Nagy, J. – Rátonyi, T. – Harsányi, E.: 2019. Effect of differential fertilization treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress condition in Hungary. *Maydica*, 64(2), pp. 14.
- 175.Széles, A. – Horváth, É. – Huzsvai, L.: 2020. A vetésidő, az időjárás és a kukoricaszem fehérje- és olajtartalma közötti kapcsolat eltérő genotípusú kukorica hibrideknél. *Növénytermelés*. 69(3), pp. 115-137.
- 176.Team, R. 2016a. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org/>
- 177.Team, R. 2016b. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. URL: <http://www.rstudio.com/>
- 178.Thiraporn, R. – Feil, B. – Stamp, P.: 1992. Effect of nitrogen fertilization on grain yield and accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in the grains of tropical maize. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 169(1-2), pp. 9-16.
- 179.Tilman, D.: 1998. The greening of the green revolution. *Nature* 396, pp. 211–212.
- 180.Tilman, D. – Cassman, K.G. – Matson, P.A. – Naylor, R. – Polasky, S.: 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, pp. 671–677.
- 181.Tollenaar, M.: 1989. Response of dry matter accumulation in maize to temperature: I. Dry matter partitioning. *Crop Science*, 29(5), pp. 1239-1246.
- 182.Tollenaar, M. – Lee, E.A.: 2011. 2 strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews*, 34(4), pp. 37-82.

183. Tsai, C.Y. – Warren, H.L. – Huber, D.M. – Bressan, R.A.: 1983. Interactions between the kernel N sink, grain yield and protein nutritional quality of maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(3), pp. 255-263.
184. Tsai, C.Y. – Dweikat, I. – Huber, D.M. – Warren, H.L.: 1992. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays* L.) grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 58(1), pp. 1-8.
185. Tucker, T.C.: 1984. Diagnosis of nitrogen deficiency in plants. *Nitrogen in Crop Production*, pp. 247-262.
186. Tsai, C.Y. – Warren, H.L. – Huber, D.M. – Bressan, R.A.: 1983. Interaction between the kernel N sink, grain yield and protein nutritional quality of maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, pp. 255–263.
187. Vad, A. – Zsombik, L. – Szabó, A. – Pepó, P.: 2007. Critical crop management factors in sustainable maize (*Zea mays* L.) production. *Cereal Research Communications*, 35(2), pp. 1253-1256.
188. Ványiné Széles, A.: 2010. Evaluation of the level of N supply in maize hybrids at different nutritional levels. *Acta Agronomica Hungarica*. 58. pp. 89–94.
189. Várallyay, Gy. – Németh, T. 1996: A fenntartható mezőgazdaság talajtani-agrokémiai alapjai. *MTA Agrártudományok Osztályának tájékoztatója*. Akadémiai Kiadó. Budapest. pp. 80–92.
190. Wang, J. – Niu, W. – Guo, L. – Liu, L. – Li, Y. – Dyck, M.: 2018. Drip irrigation with film mulch improves soil alkaline phosphatase and phosphorus uptake. *Agricultural Water Management*, 201, pp. 258-267.
191. Wang, Y. – Li, C. – Tan, J. – Zhang, X. – Liu, T.: 2011. Effect of postponing N application on yield, nitrogen absorption and utilization in super-high-yield summer maize. *Acta Agronomica Sinica*, 37(2), pp. 339-347.
192. Wang, Y. – Zhao, C. – Fan, Z.L. – Gou, Z.W. – Hu, F.L. – Yin, W. – Chai, Q.: 2020. Characteristics of dry matter accumulation and yield formation of dense planting maize in different row spacings. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 28, pp. 652–661.
193. Wang, Y. Q. – Liu, H. L. – Wang, Y. Q. – Wang, X. Z. – Li, C. J. – Peng, Z. P.: 2013. Effects of potassium on plant growth, potassium cycle and distribution in different maize genotypes. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 19(4), pp. 773-780.
194. 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.: 2015. Gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data. R package version 2.17.0. <http://CRAN.R-project.org/package=gplots>
195. Wei, T. – Hu, F. – Zhao, C. – Feng, F. – Yu, A. – Liu, C. – Chai, Q.: 2017. Response of dry matter accumulation and yield components of maize under N-fertilizer postponing application in oasis irrigation areas. *Scientia Agricultura Sinica*, 50(15), pp. 2916-2927.
196. Welch, L. F.: 1969. Effect of N, P, and K on the Percent and Yield of Oil in Corn 1. *Agronomy Journal*, 61, no. 6: pp. 890-891.
197. Wu, F. – Guclu, H.: 2013. Global maize trade and food security: Implications from a social network model. *Risk Analysis*, 33(12), pp. 2168-2178.
198. Wullschlegel, S.D.: 1993. Biochemical limitations to carbon assimilation in C<sub>3</sub> plants - a retrospective analysis of the A/Ci curves from 109 species. *Journal of Experimental Botany*, 44(5), pp. 907-920.
199. Xin, X. – Zhang, J. – Zhu, A. – Zhang, C.: 2016. Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the north china plain. *Soil and Tillage Research*, 156, pp. 166–172.
200. Xue, Y. – Yue, S. – Zhang, W. – Liu, D. – Cui, Z. – Chen, X. – Ye, Y. – Zou, C.: 2014. Zinc, iron, manganese and copper uptake requirement in response to nitrogen supply and the increased grain yield of summer maize. *PLoS One*, 9(4).
201. Yan, D. – Zhu, Y. – Wang, S. – Cao, W.: 2006. A quantitative knowledge-based model for designing suitable growth dynamics in rice. *Plant Production Science*, 9(2), pp. 93-105.
202. Yan, W. – Hunt, L.A.: 2002. 19 Biplot Analysis of Multi-environment Trial Data. In *Quantitative Genetics, Genomics, and Plant Breeding*; CABI: Wallingford, UK, pp. 289.
203. Yan, Z. – Wang, Q. – Li, Y. – Wu, L. – Wang, J. – Xing, B. – Yu, D. – Wang, L. – Liu, C.: 2021. Combined effects of warming and nutrient enrichment on water properties, growth, reproductive strategies and nutrient stoichiometry of *Potamogeton crispus*. *Environmental and Experimental Botany*, pp. 190.
204. Yang, H. – Zhang, Y. – Xu, S. – Li, G. – Gao, J. – Wang, Z.: 2012. Characteristics of dry matter and nutrient accumulation and transportation of super-high yield spring maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 18(2), pp. 315-323.
205. Yang, L. – Guo, S. – Chen, F. – Yuan, L. – Mi, G.: 2017. Effects of pollination-prevention on leaf senescence and post-silking nitrogen accumulation and

- remobilization in maize hybrids released in the past four decades in China. *Field Crops Research*, 203, pp. 106-113.
206. Zelenák, A. – Szabó, A. – Nagy, J. – Nyéki, A.: 2022. Using the CERES-Maize Model to Simulate Crop Yield in a Long-Term Field Experiment in Hungary. *Agronomy*, 12(4), pp. 785.
207. Zhai, J. – Zhang, G. – Zhang, Y. – Xu, W. – Xie, R. – Ming, B. – Hou, P. – Wang, K. – Xue, J. – Li, S.: 2022. Effect of the Rate of Nitrogen Application on Dry Matter Accumulation and Yield Formation of Densely Planted Maize. *Sustainability*, 14(22).
208. Zhang, J. T. – Peng, Z. P. – Li, T. – Yuan, S. – Wang, Y. Q. – Xue, S. C.: 2009. Effects of different N application rates on the dynamic accumulation and distribution of assimilate and N content in maize. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2.
209. Zhang, R. – Guo, D. – Zhang, X. – Lu, H. – Liu, J. – Li, F. – Hao, Y. – Xue, J.: 2012. Effects of drought stress on physiological characteristics and dry matter production in maize silking stage. *Acta Agronomica Sinica*, 38(10), pp. 1884-1890.
210. Zhang, H. – Guo, W. – Yu, M. – Wang, G.G. – Wu, T.: 2018. Latitudinal patterns of leaf N, P stoichiometry and nutrient resorption of *Metasequoia glyptostroboides* along the eastern coastline of China. *Science of the Total Environment*, 618, pp. 1-6.
211. Zhang, X. – Huang, G. – Zhao, Q.: 2014. Differences in maize physiological characteristics, nitrogen accumulation, and yield under different cropping patterns and nitrogen levels. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(3), pp. 326-332.
212. Zhou, B. – Yue, Y. – Sun, X. – Wang, X. – Wang, Z. – Ma, W. – Zhao, M.: 2016. Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. *Agronomy Journal*, 108(1), pp. 196-204.
213. Zhou, H. – Jiang, Z. S. – Yu, W. T. – Ma, Q. – Zhang, L.: 2008. Effect of nitrogen application rates on the concentration and distribution of nutrients in maize [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 4.
214. Zhou, B. – Yue, Y. – Sun, X. – Wang, X. – Wang, Z. – Ma, W. – Zhao, M.: 2016. Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. *Agronomy Journal*, 108(1), pp. 196-204.

## 11. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

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

Nyilvántartási szám: DEENK/498/2022.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Bojtor Csaba  
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10060085

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

1. Horváth, D., Illés, Á., **Bojtor, C.**, Széles, A., Nagy, J.: Eltérő kukorica (*Zea mays* L.) genotípusok relatív klorofilltartalma és termésparaméterei közötti összefüggésvizsgálat multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben.  
*Növénytermelés*. 70 (3), 7-23, 2021. ISSN: 0546-8191.
2. 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.
3. **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.
4. **Bojtor, C.**, Duzs, L., Illés, Á.: Precíziós növényi vegetációvizsgálat.  
*In Green*. 5 (2), 68-69, 2020. ISSN: 2498-7433.

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (7)

5. **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)
6. Shojaei, S. H., Mostafavi, K., Bihanta, 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)





7. **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>
8. 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
9. **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/10.1515/ar.21.148>
10. **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
11. 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

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

12. **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.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

13. **Bojtor, C.**, Illés, Á., Horváth, É., Duzs, L., Nagy, J., Marton, L. C.: Eltérő nitrogénellátottság hatása a kukoricahibridek kezdeti fejlődésének mikroelemfelvételi dinamikájára.  
In: XXIII. Tavasz 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





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (5)

14. Csatári, N., **Bojtor, C.**: Analysing salty chernozem soil by soil scanning in consecutive years.  
In: Abstract book of the 19th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: by Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 32, 2020. ISBN: 9789632698960
15. **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
16. 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
17. **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.
18. **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.

**További közlemények**

Magyar nyelvű könyvrészletek (2)

19. **Bojtor, C.**: A mangán-toxicitás mérséklésének lehetősége baktériumtrágyákkal.  
In: Interdiszciplináris tudományos konferencia : tanulmánykötet. Szerk.: Dajnoki Krisztina, Szöllősi László, Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar és a Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 99-104, 2015. ISBN: 9789634737698
20. **Bojtor, C.**: Néhány ipari melléktermék vizsgálata talaj-növény rendszerben.  
In: Interdiszciplináris tudományos konferencia : tanulmánykötet. Szerk.: Dajnoki Krisztina, Szöllősi László, Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar és a Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 95-98, 2015. ISBN: 9789634737698





Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

21. 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 (14)

22. Illés, Á., **Bojtor, C.**, Szabó, A., Nagy, J.: Eltérő agrotechnikai paraméterek hatása a különböző kukorica hibridek kelésdinamikai és termésparamétereire szántóföldi tartamkísérletben.  
*Növénytermelés*. 71 (1), 21-32, 2022. ISSN: 0546-8191.
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. Bojtó, C., Helenkár, A., Nagy, N. E., Tóth, B., Hajósné Novák, M., Micsinai, A., Parádi, I., Szemán-Nagy, G., Tálás, L., **Bojtor, C.**, Nagy, J.: Búza (*Triticum aestivum* L.) vetőmagok minősítése MALDI-TOF MS módszerrel.  
*Növénytermelés*. 70 (1), 45-57, 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. saccharata Koern) hibridek beltartalmi értékeinek összehasonlító elemzése.  
*Növénytermelés*. 70 (2), 5-20, 2021. ISSN: 0546-8191.
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. Illés, Á., **Bojtor, C.**, Nagy, J.: Eltérő NPK-ellátottság hatása a kukorica hibridek lipidperoxidációjának mértékére.  
*Növénytermelés*. 69 (3), 53-65, 2020. ISSN: 0546-8191.





30. Zsigrai, G., **Bojtor, C.**, Horváth, É., Juhász, C.: Különböző ökológiai K- és Mn-lombtrágya készítmények hatásának összehasonlító vizsgálata a Tokaji Borvidéken: - klorofill fluoreszcencia és NDVI vizsgálatok eredményei.  
*Szőlő-levél 10* (4), 40-60, 2020.
31. 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.
32. **Bojtor, C.**, Radócz, L., Tóth, B.: A babrozsda (*Uromyces appendiculatus*) fertőzés hatása a bab klorofilltartalmára, a fotoszintézis fényszakaszának hatékonyságára, a szuperoxid-dizmutáz aktivitására és a lipidperoxidáció mértékére.  
*Növénytermelés. 68* (3), 29-50, 2019. ISSN: 0546-8191.
33. 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.
34. 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.
35. **Bojtor, C.**, Tóth, B.: Mangán-ellátottság és baktériumtrágya közötti kölcsönhatás vizsgálata hidropóniásan nevelt kukoricánál.  
*Növénytermelés. 66* (2), 7-24, 2017. ISSN: 0546-8191.
- Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (8)
36. 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>
37. 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
38. 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.
39. 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.





40. 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>
41. 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
42. **Bojtor, C.**, Győri, Z., Sipos, P., Radócz, L., Tóth, B.: Effect of bean rust (*Uromyces appendiculatus* (pers.) strauss) on photosynthetic characteristics, superoxide-dismutase activity and lipid peroxidation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Aliment.* 48 (2), 253-259, 2019. ISSN: 0139-3006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/066.2019.48.2.13> IF: 0.458
43. Kaczur, D., **Bojtor, C.**, Hankovszky, G., Veres, S., Tóth, B.: Effect of aluminum and bacteria fertilizer treatment on the *Vigna radiata* root growth and photosynthetic activity on early growth stage. *Columella*. 4 (1), 101-106, 2017. ISSN: 2064-7816. DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>

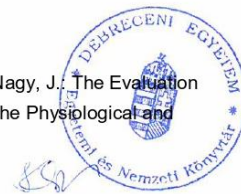
Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (16)

44. 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)
45. 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)





46. 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](http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12020284)  
IF: 3.949 (2021)
47. 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)
48. 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>
49. Csajbók, J., Bódi, E., Nagy, A., Fehér, Z. Z., Tamás, A., Virág, I. C., **Bojtor, C.**, Forgács, F., Vad, A., Kutasy, E.: Multispectral Analysis of Small Plots Based on Field and Remote Sensing Surveys-A Comparative Evaluation.  
*Sustainability*. 14 (6), 1-22, 2022. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/su14063339>  
IF: 3.889 (2021)
50. 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>
51. 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)
52. Tóth, B., Moloi, M. J., Mousavi, S. M. N., Illés, Á., **Bojtor, C.**, Szóke, 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)





53. 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)
54. 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>
55. Széles, A., Horváth, É., Rácz, D., Duzs, L., **Bojtor, C.**, Huzsvai, L.: Development of stomatal conductance of maize under moderately hot, dry production conditions.  
*Agron. Res.* 19 (4), 2013-2025, 2021. ISSN: 1406-894X.  
DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.21.151>
56. 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
57. Ördög, V., Stirk, W. A., Takács, G., Pöthe, 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
58. 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
59. 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 (11)

60. 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.
61. 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.
62. 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
63. 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
64. 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
65. **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
66. **Bojtor, C.**, Gombás, D., Nagy, L. G., Hankovszky, G., Tóth, B.: A mangán-toxicitás mérséklése  
baktérium tartalmú trágyákkal.  
In: 56. Georgikon Napok, PE Georgikon Kar, Keszthely, 64-71, 2015.
67. **Bojtor, C.**, Tóth, B.: Egy mangánbánya iszapjának növényfiziológiai vizsgálata.  
In: LVII. Georgikon Napok : kivonat-kötet : programfüzet, valamint az elhangzó és poszter  
előadások rövid kivonatainak gyűjteménye : [agrárgazdaság a növekedéskor után] : [2015.  
október 1-2., Keszthely], PE Georgikon Kar, [Keszthely], 65-71, cop. 2015. ISBN:  
9789639639812
68. Tóth, B., Gombás, D., **Bojtor, C.**, Hankovszky, G., Lehoczky, É.: Ipari melléktermékek vizsgálata  
a növények tápanyag-utánpótlásában.  
In: 56. Georgikon Napok, PE Georgikon Kar, Keszthely, 457-464, 2015.





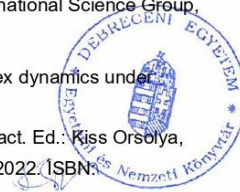
69. Hankovszky, G., **Bojtor, C.**, Nagy, L., Gombás, D., Tóth, B.: Komplementációs vizsgálatok a biogáz üzemi présvíznél.  
In: 56. Georgikon Napok, PE Georgikon Kar, Keszthely, 144-152, 2015.
70. **Bojtor, C.**, Tóth, B.: Mangán toxicitás hatásának vizsgálata kukoricánál.  
In: XXI. Növénynevelési Tudományos Napok : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont, Martonvásár, 65, 2015.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

71. Horváth, É., Illés, Á., Duzs, L., **Bojtor, C.**, Széles, A.: A N ellátottság hatása különböző genotípusú kukoricahibridek klorofilltartalmára eltérő évszabványban.  
In: XXIII. Tavasz 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
72. Illés, Á., Horváth, É., Duzs, L., **Bojtor, C.**, Nagy, J.: Cianobaktréium lombtrágyakezelés hatása a kukorica szemtermésének mennyiségére, makro és mikroelem tartalmára.  
In: XXIII. Tavasz 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
73. Bojtó, 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: Hungalimenteria 2019 : "Ésszel a kosárba" : konferencia és kiállítás, Wessling Hungary Kft., Budapest, 24-25, 2019.
74. **Bojtor, C.**: Mangán toxicitás enyhítési lehetőségeinek vizsgálata kukoricánál.  
In: "VI. Kerpely Kálmán Szakmai Napok a Gyakorlatorientált Oktatásért" konferencia kiadvány. Szerk.: Diósi Gerda, DE Kerpely K. Szakkollégium, Debrecen, 18, 2016.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (6)

75. 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
76. 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





77. 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.
78. 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
79. **Bojtor, C.**, Győri, Z., Sipos, P., Radócz, L., Tóth, B.: Effect of bean rust (*Uromyces appendiculatus* (Pers.) Strauss) on physiological characteristics, superoxide-dismutase and lipidperoxidase activities of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.).  
In: Abstract book 17th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Kende Zoltán, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 50-51, 2018. ISBN: 9789632697345
80. **Bojtor, C.**: Examination for the reduction of Manganese toxicity in case of maize.  
In: "VI. Kerpely Kálmán Szakmai Napok a Gyakorlatorientált Oktatásért" konferencia kiadvány. Szerk.: Diósi Gerda, DE Kerpely K. Szakkollégium, Debrecen, 19, 2016. ISBN: 9789634733713

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 64,393**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 18,255**

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

Debrecen, 2022.12.13.



## 12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom elsőként témavezetőmnek, **Prof. Dr. Marton L. Csaba** professzor úrnak, aki állandó irányításával és szakmai tanácsaival, meglátásaival segítette kutatómunkámat, hozzájárulva a disszertációm sikeres elkészüléséhez.

Köszönetem fejezem ki opponenseimnek, **Dr. Zsombik László** tudományos főmunkatárs úrnak és **Prof. Dr. Jolánkai Márton** professzor úrnak, a munkahelyi, valamint a nyilvános vitára elkészült doktori disszertációm lelkiismeretes és körültekintő bírálatáért.

Külön kiemelten köszönöm **Prof. Dr. Nagy János** professzor úrnak és **Prof. Dr. Kakuszi – Széles Adrienn** professzorasszonynak a dolgozat elkészítéséhez a doktori képzés ideje alatt biztosított szakmai segítségüket.

A kísérlet feltételeinek biztosításáért köszönettel tartozom **Prof. Dr. Harsányi Endrének**, a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság főigazgatójának, **Dr. Vad Attila Miklósnak**, a Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet igazgatójának, **Török Tamásnak**, a Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep vezetőjének, valamint a kísérleti telep valamennyi munkatársának.

Köszönetemet fejezem ki továbbá a **DE MÉK Agrárműszerközpont**, a **Wessling Hungary Kft.**, valamint a **HL-LAB Környezetvédelmi és Talajvizsgáló Laboratórium** számára, a kutatásom során a talaj- és növényminták analitikai vizsgálatában való közreműködésükért.

Köszönettel tartozom **Baginé dr. Hunyadi Ágnesnek**, **Dorogi Zsuzsannának** és **Elek Erzsébetnek**, akik elengedhetetlen segítséget nyújtottak a doktori képzés alatt annak technikai megvalósításában, az adminisztrációs feladatok elvégzésében.

Köszönetemet fejezem ki **Illés Árpád** és **Dr. Seyed Mohammad Nasir Mousavi** kollegáimnak, valamint a **Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet** dolgozóinak és PhD hallgatóinak a doktori képzés sikeres elvégzéséhez elengedhetetlen napi szintű munkavégzés kooperatív megvalósításáért.

Végül, de nem utolsósorban köszönöm **feleségemnek** és **családomnak** az értekezés elkészítéséhez nyújtott teljes körű támogatásukat és türelmüket.

### 13. 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 **Bojtor Csaba** doktorjelölt 2019. február 01. – 2023. január 31. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányítással 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

## MELLÉKLETEK

Az esszenciális tápelemek meghatározásához használt Magyar Szabványok listája:

1. MSZ-08-1783-6:1983: Nagy teljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok nitrogéntartalmának mennyiségi meghatározása. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
2. MSZ-08-1783-26:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok kalciumtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
3. MSZ-08-1783-27:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok magnéziumtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
4. MSZ-08-1783-28:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok foszfortartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
5. MSZ-08-1783-29:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok káliumtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
6. MSZ-08-1783-31:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok vastartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
7. MSZ-08-1783-32:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok mangántartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
8. MSZ-08-1783-33:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok cinktartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
9. MSZ-08-1783-34:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok réztartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
10. MSZ-08-1783-38:1985: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok kéntartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest