

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**A KÉNFORGALOM EGYES ELEMEINEK VÁLTOZÁSA ELTÉRŐ ADAGÚ
TRÁGYÁZÁS ÉS VÍZELLÁTÁS HATÁSÁRA BÚZA (*Triticum aestivum* L.)
KULTÚRÁBAN**

Juhász Evelin Kármén

Témavezető: Balláné Dr. Kovács Andrea
egyetemi docens



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola
Debrecen, 2023

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

A kén (S), mint esszenciális makrotápanyag jellegzetes feladatokat lát el a növények anyagcsere folyamataiban, létfontosságú a kén tartalmú aminosavak, fehérjék, illetve egyéb szerves vegyületek szintézisében.

A S hiányával, pótlásával sokáig nem foglalkoztak a mezőgazdasági gyakorlatban. A S növénytáplálási szerepének ismeretében, a kénhiány elkerülése, illetve a harmonikus tápelemellátás biztosítása érdekében, a talaj tápanyagellátottsága függvényében szükségessé válhat a S célirányos pótlása. Az optimális kénellátás ugyanis elősegíti a növények vegetatív növekedését, növeli a fehérjetartalmat és hatással van a fehérjéket felépítő S-tartalmú aminosavak (metionin, cisztein) mennyiségére, arányára.

A talajok felvehető kén tartalma az utóbbi 3 évtizedben egyre inkább szegényedik. Az 1990-es évektől kezdődően, az akkor még széles körben alkalmazott, 11%-os S-tartalommal rendelkező szuperfoszfát műtrágya felhasználása hazánkban visszaesett, amelynek eredményeként a talajok gazdasági növények által hasznosítható S-tartalmának rendszeres utánpótlásában is jelentős mértékű csökkenés következett be. A szigorúbb környezetvédelmi előírások hatályba helyezésével az ipari S emisszió mértéke is csökkent. Ezáltal a korábbi évtizedekben jelentősebb kénforrás, a csapadékkal a talajba kerülő S mennyisége is mérséklődött. A talajok felvehető kén tartalmának csökkenése napjainkban főként a kén tartalmú trágyaszerek fokozottabb használatával ellensúlyozható. A kéntrágyázás Európa több országában is egyre nagyobb hangsúlyt kap, ahol az alkalmazott agrotechnika egyre fontosabb elemévé válik.

A kénellátás hatásait műtrágyázási tartamkísérletben őszi búzán és tenyészedenyes kísérletekben tavaszi búzán tanulmányoztam. A búza minősége szempontjából fontos a megfelelő kénellátás, mert pozitívan befolyásolja a termés mennyiségét, a fehérje- és sikeértartalmát, a sütőipari értékmérők alakulását, valamint fokozhatja a nitrogéntrágyázás hatékonyságát és hozzájárulhat a biotikus és abiotikus stresszmutatókkal szembeni ellenálló képesség növekedéséhez is.

A kísérleti munkám célkitűzései az eltérő NPK ellátásnak és az öntözésnek a kénforgalom egyes elemeinek változására gyakorolt hatásainak vizsgálatára irányultak. A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem látóképi kísérleti telepén, az 1983 óta fenntartott NPK műtrágyázási kispárcellás tartamkísérlet bikultúrás (őszi búza-kukorica) termesztési rendszerében őszi búza állományban végeztem, 2017-2019 időszakban.

A műtrágyázási tartamkísérletben a növekvő NPK műtrágyaadagokkal kezelt parcellákban, 1983-2009 közötti időszakban a foszfor (P) kijuttatása szuperfoszfáttal történt. A szuperfoszfát melléktermékként CaSO_4 -ot tartalmaz, így az emelkedő P adagok ebben az időszakban növekvő adagú kénkijuttatást is jelentettek. 2010-2018 között a terület kénutánpótlása szünetelt, ugyanis a foszfor tápelem pótlása ekkor monoammónium-dihidrogénfoszfáttal (MAP) történt. 2019-ben a foszfor ismét szuperfoszfát formájában került kijuttatásra, így ettől az évtől ismételt, növekvő dózisu kénutánpótlás is történt a területen.

A bemutatott kísérleti körülményeket figyelembe véve a következő vizsgálati célokat fogalmaztam meg a műtrágyázási tartamkísérletben:

- a növekvő adagú NPK műtrágyázás és az öntözés hogyan hat a kénpótlás nélkül termesztett búza nitrogén-, kén tartalmára, a szerves-S és szulfát-S formák arányára, az N:S arány változására, valamint a búzaszemben mérhető kén tartalmú aminosavak (metionin, cisztein) mennyiségére.
- a növekvő adagú szuperfoszfát CaSO_4 tartalmának hatására hogyan módosul az őszi búza kénfelvétele, a kén beépülése a szerves vegyületekbe, hogyan változik az N:S arány értéke a vegetációs időszak során, valamint milyen mértékű a kénhasznosulás a szuperfoszfát kijuttatás évében.
- a növekvő adagú NPK műtrágyázás és az öntözés hogyan befolyásolja a talaj 1M KCl; 0,01M CaCl_2 és 0,016M KH_2PO_4 kivonószerekben mérhető SO_4^{2-} -S tartalmát a kénpótlás nélküli években és az ismételt kénkijuttatás időszakában.
- a növekvő adagú NPK műtrágyázás (szuperfoszfáttal és a nélkül) hogyan befolyásolja a talaj aril-szulfatáz aktivitását.
- milyen összefüggés van az 1M KCl-os, 0,01M CaCl_2 -os és 0,016M KH_2PO_4 -os talajkivonatokban mérhető SO_4^{2-} -S értékek között.
- az 1M KCl, a 0,01M CaCl_2 és a 0,016M KH_2PO_4 kivonószerek közül melyik mutat legszorosabb összefüggést a növény kénfelvételével.

A műtrágyázási tartamkísérlet talaj-növény rendszerében végzett méréseim mellett az eltérő kénformájú és kénadagú műtrágyakijuttatás, valamint az eltérő vízellátás hatásait is elemeztem tenyészedényes kísérletekben, tavaszi búza jelzőnövényen.

A kontrollált körülmények között folytatott tenyészedényes kísérletekben céлом volt vizsgálni:

- a szulfát (SO_4^{2-}) és a tioszulfát ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) kénformák, valamint az eltérő N:S arányok hogyan befolyásolják a tavaszi búza növekedését, nitrogén- és kéntartalmát, a kén szerves vegyületekbe való beépülésének mértékét, a növény N:S arányát, valamint a talaj oldható szulfát-S tartalmának alakulását.
- a szárazságstressz hogyan befolyásolja a tavaszi búza növekedését, termését, a nitrogén- és kéntartalmát, valamint a növény által felvett szulfát (SO_4^{2-}) szerves vegyületekbe való beépülésének mértékét.

2. Anyag és módszer

2.1. Látóképi Műtrágyázási Tartamkísérlet

A kutatás egyik részében a mészlepedékes csernozjom talajon termesztett őszi búza kénellátottságát elemeztem 2017, 2018, 2019 években, a Debreceni Egyetem, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén. Vizsgálataimat a bikultúrában termesztett GK Csillag fajtájú őszi búza növényen és az őszi búza parcelláinak talaján végeztem. A növény- és talajmintákat a bikultúra vetésváltású, öntözött és nem öntözött parcellák két kiválasztott NPK műtrágyadózisú és a kontroll kezelésű parcellákról gyűjtöttem. A kiválasztott kezeléseket és a műtrágyadózisok hatóanyagmennyiségét az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: A tartamkísérletben kijuttatott műtrágyaadagok a mintázott parcellákban (Debrecen-Látókép 2017, 2018, 2019)

Kezelések		2017-2018			Kezelések		2019			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
		kg/ha/év					kg/ha/év			
öntözött	kontroll	0	0	0	öntözött	kontroll	0	0	0	0
	NPK1	100	70	80		NPKS1	100	70	80	42,4
	NPK2	200	140	160		NPKS2	200	140	160	84,8
nem öntözött	kontroll	0	0	0	nem öntözött	kontroll	0	0	0	0
	NPK1	100	70	80		NPKS1	100	70	80	42,4
	NPK2	200	140	160		NPKS2	200	140	160	84,8

A szuperfoszfátban a kalcium-dihidrogénfoszfát [Ca(H₂PO₄)₂] mellett kalcium-szulfát (CaSO₄) is megtalálható, így a műtrágya 10,9 %-ban ként is tartalmaz. Ennek következtében az 1983-2009 közötti időszakban a műtrágyázott parcellák kénpótlása is folyamatos volt. Ebben az időszakban az NPK1 kezelésben 42,4 kg/ha, míg az NPK2 kezelésben 84,8 kg/ha dózisú ként juttattak ki évente. 2010-2018 között a foszfor hatóanyagot nem szuperfoszfáttal, hanem monoammónium-dihidrogénfoszfáttal (MAP, NH₄H₂PO₄) pótolták, így a terület kénutánpótlása ezen időszakban szünetelt. 2019-ben a foszfort ismét szuperfoszfáttal juttatták ki, ami ettől az évtől ismételt kénutánpótlást is jelentett.

A kísérleti terület öntözött parcelláin az öntözés során figyelembe veszik a tenyészidőszak csapadékellátottságát és szükség szerint öntöznek. Ennek alapján 2017-ben 2 alkalommal volt öntözés: május 27-28-án és június 1-2-án. Mindkét alkalommal 20-20 mm mennyiségű vízzel öntöztek. 2018-ban az elegendő, 2019-ben a kedvező eloszlású természetes csapadékmennyiség következtében nem volt szükséges öntözésre,

így az öntözött és nem öntözött parcellák vízellátása egységes volt. Ennek megfelelően 2017-ben az öntözés tényleges hatását, míg 2018, 2019 években a korábbi öntözési időszak utóhatását tudtam elemezni az öntözött parcellákon.

2.2. Tenyészedényes kísérletek

Vizsgálataim másik részében tenyészedényes kísérletekben kontrollált körülmények között talaj-növény rendszerben elemeztem az eltérő kénellátás hatásait a tavaszi búza növekedésére és beltartalmi paramétereinek változására. A tenyészedényes kísérleteket az Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészedény-kísérleti házában állítottam be 2018 és 2019 tavaszán. A tenyészedényes kísérletekben minden évben STANGA tavaszi búzát vetettem.

A szárazságstressz és a növekvő kénarányú N- és S-tartalmú műtrágyák hatását elemző kísérlet

A kísérletet Debrecen-Látóképről származó mészlepedékes csernozjom talajon állítottam be 2018 tavaszán. A kísérlet megvalósítása során célom volt elemezni, hogy a növekvő kéndózisú és kénarányú (N/S=1:0,2, 1:0,25, 1:0,5), N- és S-tartalmú trágyázás eltérő vízellátottsági viszonyok mellett milyen módon befolyásolja a tavaszi búza mennyiségi és minőségi paramétereinek változását.

A légszáraz talajból 10 kg-ot mértem be a tenyészedényekbe. A talajok nedvességtartalmát a megállapított maximális vízkapacitás, vagyis a légszáraz talaj gravitációval szembeni maximális víztartó képességének 60%-ára állítottam be és minden nap tömegmérés után ioncserélt vízzel pótoltam a szükséges vízmennyiséget. Ez a vízellátás a növények számára kedvező növekedési körülményt jelentett. A továbbiakban ezekre a kezelésekre kedvező vízellátásként hivatkozok.

A kezelések másik felében a szárazságstressz hatásait elemeztem. Ezekben az edényekben a növényeket a hervadási tünetek megjelenéséig nem öntöztem, a tünetek megjelenésekor a fentebb leírt módon megállapított maximális vízkapacitás 40%-ára történt az öntözés (kedvezőtlen vízellátás).

A tavaszi búza tápanyagszükséglete és a kísérleti talaj tápanyagellátottsága alapján, valamint 4 t/ha átlagtermést feltételezve 112 kg/ha N, 88 kg/ha P₂O₅, 84 kg/ha K₂O

tápanyagszükséglettel számoltam. A tápanyagokat 10 kg talajhoz arányosítottan kevertük a talajba (2. táblázat).

2. táblázat: A kísérletben alkalmazott kezelések és műtrágyaadagok (2018)

	Vizellátottság	N/S kezelés	N műtrágyadózis kg/ha	S műtrágyadózis kg/ha
1.	Kedvező	kontroll	0	0
2.		1:0,2	112	22,4
3.		1:0,25	112	28
4.		1:0,5	112	56
5.	Kedvezőtlen	kontroll	0	0
6.		1:0,2	112	22,4
7.		1:0,25	112	28
8.		1:0,5	112	56

A kísérletben mértem a szárbainduláskori, virágzáskori és teljes érskori biomasszatömeget, a szem és szalma tömegéből betakarítási indexet (HI) határoztam meg. Mértem a növény összes N-, S-tartalmát, amiből N/S-t számoltam és meghatároztam a virágzáskori növényi szövetek szulfát-S tartalmát. Mértem a talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmát, valamint vizsgáltam a növényi és talajparaméterek közötti összefüggések szorosságát és az alkalmazott műtrágyák hasznosulását.

Különböző kénformájú és N, S arányú kezelések hatásvizsgálatára irányuló kísérletek

2019-ben a tenyészedenyes kísérletet kétféle talajon, Debrecen-Látóképről származó mészlepedékes csernozjom talajon és Pallagról származó humuszos homok talajon állítottam be. A tenyészedenyes kísérlet beállítása során célom volt elemzeni az eltérő kénformák (szulfát, SO₄²⁻; tioszulfát, S₂O₃²⁻) és e kénformák eltérő nitrogén és kén arányban (N/S = 1:0,2; 1:0,5; 1:1) történő kijuttatásának hatásait a tavaszi búza mennyiségi és minőségi paramétereinek változására homok és csernozjom talajokon.

A kísérlet beállításához 10 kg talajt mértem be a tenyészedenyekbe. A kísérlet során a talajok nedvességtartalmát a megállapított maximális vízkapacitás 60 %-ára állítottam be és naponta tömegmérés alapján ioncserélt vízzel pótoltam a hiányzó nedvességet. A kísérletben kétféle kénforma, a szulfát és a tioszulfát hatását hasonlítottam össze. Mindkét kénforma esetén azonos N-dózis mellett növekvő S dózisu tápanyagkijuttatást alkalmaztam. Az N/S-ok megválasztásánál a 2018-as tenyészedenyes kísérlet eredményeit vettem alapul, ahol a legjobb eredményt a 1:0,5 arány esetében kaptam, így ehhez viszonyítva határoztam meg a további arányokat. A kísérlet kezelési terve a 3.

táblázatban látható. A kísérletben 7 kezelést állítottam be, 3 ismétlésben, randomizált elhelyezésben.

3. táblázat: A tenyészedény kísérletben alkalmazott műtrágyaadagok (2019)

	Alkalmazott kénforma	N/S kezelés	N műtrágyadózis (kg/ha)	S műtrágyadózis (kg/ha)
1.	-	kontroll	0	0
2.	SO ₄ ²⁻	1:0,2	120	24
3.	SO ₄ ²⁻	1:0,5	120	60
4.	SO ₄ ²⁻	1:1	120	120
5.	S ₂ O ₃ ²⁻	1:0,2	120	24
6.	S ₂ O ₃ ²⁻	1:0,5	120	60
7.	S ₂ O ₃ ²⁻	1:1	120	120

A kísérletben mértem a szárbainduláskori, virágzáskori és teljes éréskori biomasszatömeget, a növény összes N-, S-tartalmát, amiből N/S arányt számoltam és a virágzáskori növényi szövetek szulfát-S tartalmát. Vizsgáltam a talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmának a változását is.

2.3. Növénymintavételek, növénymintaelőkészítés

A tartamkísérlet és a tenyészedényes kísérletek esetében is a búza tenyészidőszaka során a BBCH skála alapján, 3 időpontban gyűjtöttem növényi mintákat: szárbainduláskor, virágzáskor és teljes éréskor. Mindhárom mintavétel esetében a teljes föld feletti növényi részt mintáztuk és teljes éréskor a szalmát elkülönítettem a kalásztól. A növénymintákat a DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézet laborjaiban dolgoztam fel és elemeztem. A növénymintákat először tető alatt, szabad levegőn légszárazra, majd MEMMERT UF1060 típusú szárítószekrényben 60 °C-on súlyállandóságig szárítottam. Ezt követően a mintákat FRITSCH PULVERISETTE 14 típusú darálóval ledaráltam és papírzacskóban tároltam az analitikai elemzésig.

2.4. Talajmintavételek, talajmintaelőkészítés

A szabadföldi kisparcellás kísérletben 2017, 2018, 2019 években a növénymintavétellel megegyező időpontokban, szárbainduláskor, virágzáskor és teljes éréskor talajmintákat is gyűjtöttem a talaj 0-30 cm-es mélységéből. 2018-ban a betakarítást követően 0-100 cm-es mélységben 10 cm-enként is vettem talajmintát. A tenyészedényes kísérletek esetében egy alkalommal a betakarítás után történt a mintavétel. A talajmintákat az Agrokémiai és Talajtani Intézet laborjába szállítottam és

légszárazra szárítottam. Ezt követően törtem és 1 mm átmérőjű CISA 018067.10 típusú rozsdamentes acél szitán átszitáltam a talajt és papírzacsokban tároltam az analízisig.

2.5. Az alkalmazott talaj- és növényanalitikai módszerek

A búza N- és S-tartalmának meghatározása

A minták nitrogén- és kéntartalmát ELEMENTAR VARIO EL típusú CNS elemvizsgálóval határoztam meg.

A növényminták szulfáttartalmának (SO_4^{2-}) meghatározása

A növényminták szulfát-S tartalmának meghatározásához desztillált vizes extrakciót alkalmaztam. A vizes oldatok szulfáttartalmát MERCK-HITACHI típusú, egyoszlopos ionkromatográfival mértem meg (BALLÁNÉ, 2000).

A búzaszem aminosav-összetételének meghatározása

A búzaszem metionin- és cisztein-tartalmának meghatározása ioncserés kromatográfia módszerével az MSZ EN ISO 13903:2005 szabvány alapján történt.

A talaj oldható szulfátformáinak mérése

A talaj oldható szulfáttartalmának meghatározásához 1M KCl; 0,01M CaCl_2 és 0,016M KH_2PO_4 kivonószert alkalmaztam. A kivonószerekkel 1:2,5 arányú talajszuszpenziót készítettem. A szűrlet szulfáttartalmát turbidimetriás módszerrel határoztam meg (SINGH et al., 2011).

A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitásának meghatározása

A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitását p-nitrofenil szulfát szubsztrát alkalmazásával határoztam meg fotometrián (TABATABAI és BREMNER, 1970).

2.6. Adatfeldolgozás, az adatok statisztikai értékelése

Az eredmények statisztikai értékelése IBM SPSS v.22 program segítségével történt. A tartamkísérletben a szignifikáns differencia meghatározásához kéttényezős varianciaanalízist, t-próbát és Tukey-féle post-hoc tesztet végeztem. A tenyészedényes kísérletekben a kezelések hatását egytényezős varianciaanalízissel és Tukey-féle post-hoc teszttel értékeltem. A mért növényi és talajparaméterek közötti összefüggés megállapításához Pearson-féle korrelációanalízist és regresszióanalízist végeztem.

3. Eredmények

3.1. A kénforgalom egyes elemeinek változása az NPK műtrágyázási tartamkísérletben

3.1.1. A műtrágyázási tartamkísérlet egyszerűsített nitrogén- és kénmérlege 1983-2016 időszakban

Az eltérő műtrágyakezelésű parcellákon az 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó egyszerűsített N- és S-mérleget a 4. táblázatban mutatom be.

4. táblázat: A különböző trágyakezelésben részesített parcellák 1983-2016 közötti időszakra számított egyszerűsített N- és S-mérlege (Debrecen-Látókép)

Kezelés	Kijuttatott S hatóanyag 1983-2016 között (kg/ha)	Búza és kukorica által kivont S 1983-2016 között (kg/ha)	Összesített S mérleg 1983-2016 között (kg/ha)
kontroll	0	619,7	-619,7
NPK1	1301,7	918,0	383,7
NPK2	2603,4	915,5	1687,9
Kezelés	Kijuttatott N hatóanyag 1983-2016 között (kg/ha)	Búza és kukorica által kivont N 1983-2016 között (kg/ha)	Összesített N mérleg 1983-2016 között (kg/ha)
kontroll	0	5248,8	-5248,8
NPK1	3740	7847,2	-4107,2
NPK2	7480	7873,6	-393,6

A 34 éves időtartamú, 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó összesített nitrogénmérleg a kontroll parcellákon, illetve az NPK1 és az NPK2 kezelésekben is negatív volt, mely hosszú távon a talaj tartalék tápanyagainak kimerüléséhez és a talaj termékenységének romlásához vezet. Az összesített kénmérleg ezzel szemben csak a kontroll kezelésben volt negatív, az NPK1 és NPK2 kezelésekben az 1983-2009 időszakban történő rendszeres szuperfoszfát kijuttatásnak köszönhetően a mérleg pozitívvá vált, annak ellenére, hogy 2010-2016 között nem történt kénutánpótlás a vizsgálati területen.

3.1.2. Talajvizsgálati eredmények

A talaj 1M KCl; 0,01M CaCl₂ és 0,016M KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmának változása az őszi búza teljes érésakor

Vizsgálataink során 3 alkalommal történt talajmintavétel a kísérleti területen, a tézisfüzetben azonban csak a 3. talajmintavétel (teljes érés) mérési eredményeit szemléltetem (5. táblázat).

5. táblázat: A feltalaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalma az őszi búza teljes érésekor (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

Kezelés	KCl-SO ₄ ²⁻ -S (mg/kg)			CaCl ₂ -SO ₄ ²⁻ -S (mg/kg)			KH ₂ PO ₄ -SO ₄ ²⁻ -S (mg/kg)		
	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag
2017									
kontroll	4,79±0,44	2,67±0,62	3,73^a	2,56±0,91	0,98±0,61	1,77^a	13,76±2,49	7,05±0,94	10,41^a
NPK1	4,88±0,44	3,82±0,76	4,35^{ab}	2,94±1,17	1,64±0,41	2,29^{ab}	16,02±1,35	12,63±0,18	14,33^b
NPK2	5,13±0,44	4,54±0,86	4,84^b	2,74±0,39	2,10±0,26	2,42^b	17,18±0,27	13,30±1,24	15,24^b
Átlag	4,93^B	3,68^A	<i>4,31</i>	2,75^B	1,57^A	<i>2,16</i>	15,65^B	10,99^A	<i>14,66</i>
2018									
kontroll	1,95±0,45	0,89±0,55	1,42^a	1,14±1,02	0,46±0,36	0,80^a	8,40±1,85	8,24±1,74	8,32^a
NPK1	1,63±0,64	0,53±0,31	1,08^a	0,57±0,31	0,34±0,19	0,45^a	8,89±1,48	10,26±1,66	9,58^a
NPK2	1,49±0,64	1,56±1,52	1,53^a	0,40±0,35	0,54±0,17	0,47^a	10,14±1,36	10,01±1,29	10,08^a
Átlag	1,69^A	0,99^A	<i>1,34</i>	0,70^A	0,45^A	<i>0,58</i>	9,14^A	9,50^A	<i>9,32</i>
2019									
kontroll	4,86±0,43	5,27±0,52	5,07^a	2,53±0,97	2,98±0,74	2,75^a	9,76±0,46	8,77±0,34	9,27^a
NPKS1	5,22±0,13	5,31±0,56	5,27^a	3,30±0,57	3,44±0,28	3,37^a	14,31±0,50	13,57±0,27	13,94^b
NPKS2	6,16±0,70	6,05±0,58	6,11^b	4,87±0,66	4,33±0,41	4,60^b	15,12±0,70	13,74±1,11	14,43^b
Átlag	5,41^A	5,54^A	<i>5,48</i>	3,56^A	3,58^A	<i>3,57</i>	13,06^B	12,03^A	<i>12,55</i>

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö = öntözött, NÖ = nem öntözött

2017 és 2019 években a búza teljes érésekor a műtrágyázott parcellákon mindhárom kivonószerben megnövekedett oldható szulfát-S tartalmat mértem a kontroll kezeléshez képest. Ezt a hatást 2017-ben feltételezhetően az öntözés hatására bekövetkező változások, míg 2019-ben a szuperfoszfát formájában történő újbóli kénkijuttatás okozhatta. Az öntözés hatására 2017-ben szignifikánsan nagyobb KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmat mértem az öntözött parcellákon. A különböző kivonatokban mért szulfát-S nagysága teljes éréskor is a CaCl₂ < KCl < KH₂PO₄ sorrendet követte.

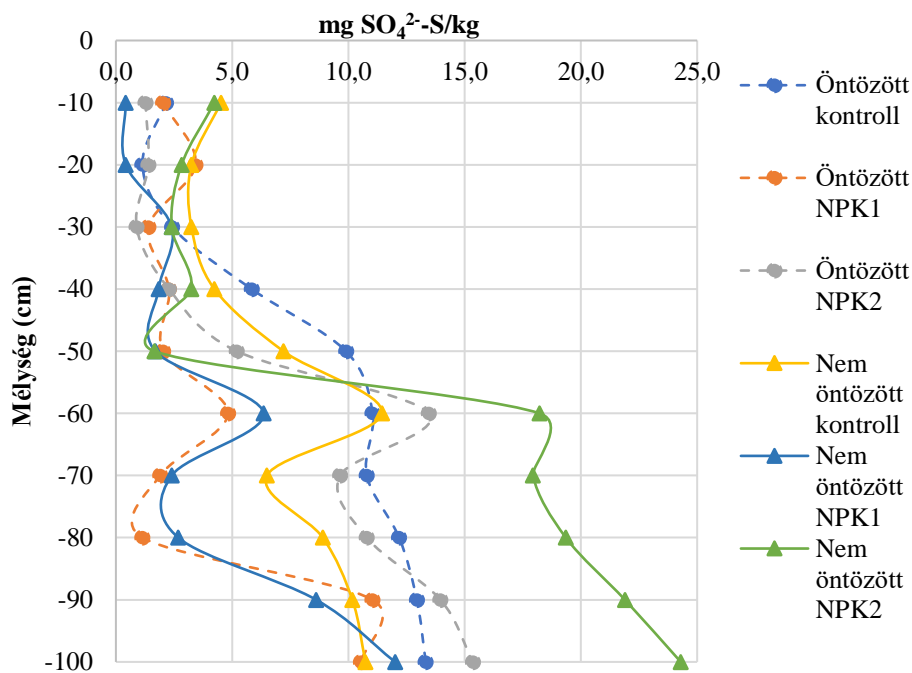
A növények optimális fejlődése szempontjából a gyenge sóoldatok (KCl, CaCl₂) és a P-tartalmú kivonószeres esetében is a 6-13 mg/kg közötti tartományt határozták meg a talajban található szulfát-S kritikus határértékének (BROOK, 1979; HUE et al. 1984; TIWARI et al., 1985; BORNMAN, 1990).

2017-ben és 2018-ban, amikor több éve nem volt kénutánpótlás a területen a KCl és CaCl₂ oldható szulfát-S tartalom nem haladta meg ezt a kritikus tartományt még a pozitív kumulált kénmérlegű, legnagyobb NPK műtrágyaadagú kezeléseknél sem. A KH₂PO₄ kivonószer nagyobb mennyiségű szulfátot von ki a talajból, ugyanis feltételezhetően az adszorbeált szulfátformát is oldja, így ebben a kivonatokban mért értékek több esetben elérték vagy meghaladták a kritikus határértéket. 2019-ben, amikor a foszfor tápanyag pótlására ismételt szuperfoszfát műtrágyát alkalmaztak, ami egyben kénutánpótlást is jelentett, a KCl és CaCl₂ oldható szulfát-S tartalom bár kissé

megnövekedett, de továbbra is a kritikus tartomány alatt maradt. A KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalom nagysága nem változott jelentősen.

A talaj 1M KCl oldható szulfát-S tartalmának változása a 0-100 cm mélységben

2018-ban a vizsgált parcellákon az őszi búza betakarítását követően mélységi talajmintát gyűjtöttem, 0-100 cm-es rétegben, 10 cm-enként. Ez által lehetőségem volt a 1M KCl és 0,016M KH_2PO_4 kivonószerekben mérhető szulfátfrakciók mélységi változását is nyomon követni. A téziszüzetben csak a KCl oldható szulfát-S értékek változását szemléltetem (1. ábra).

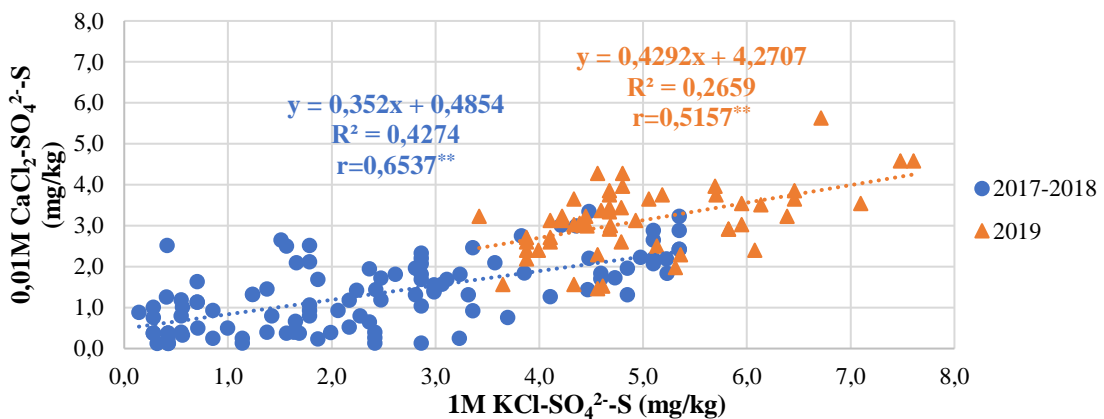


1. ábra: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellák 0-100 cm-es talajrétegében mért 1M KCl oldható $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ tartalom (mg/kg) vertikális eloszlása 2018-ban (Debrecen-Látókép)

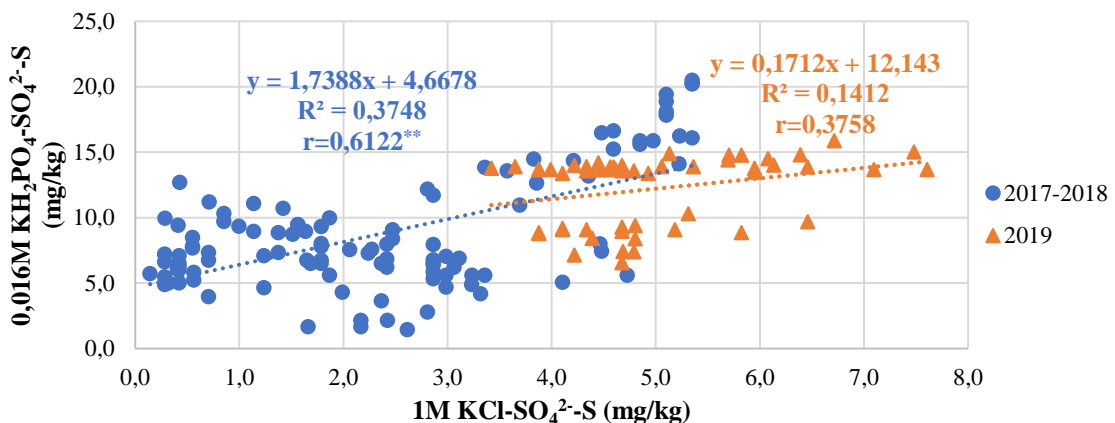
Összefoglalóan megállapítható, hogy 0-100 cm-es talajprofilban a KCl oldható szulfát-S tartalom esetében 50-70 cm között egy szulfátfelhalmozódási zóna volt jellemző. Az NPK1 kezelésben 1983-2009 között évente alkalmazott 42,4 kg S/ha dózis a növény számára elegendő volt, így ebben a kezelésben kisebb szulfát-lemosódás figyelhető meg. Az NPK2 kezelésben a nagyobb dózisban kijuttatott kén (84,8 kg S/ha) a növény már nem tudta hasznosítani, így ez a többlet kimosódott.

A KCl-SO_4^{2-} -S, $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S és a $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S értékek közötti kapcsolat

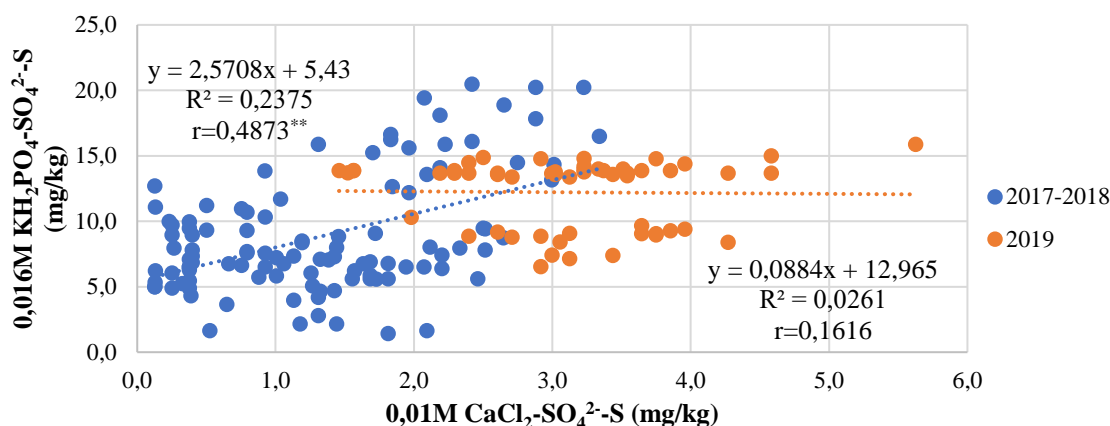
Vizsgálataim során a KCl, a CaCl_2 és a KH_2PO_4 kivonószerek által kivont szulfáttartalmak között összefüggést is elemeztem regresszióanalízis segítségével. Ennek során figyelembe vettem, hogy 2017-ben és 2018-ban a kísérletben nem volt kénkijuttatás, 2019-ben azonban a szuperfoszfáttal ismételt kénkijuttatást is alkalmaztak a műtrágyázott kezelésekben. A fent említett különbségekből adódóan a kivonószerek közötti kapcsolat elemzésekor külön értékeltem a 2017-2018 időszak és a 2019-es év mérési eredményeit. A KCl és a CaCl_2 kivonószerek által kivont szulfát-S tartalom közötti összefüggés regresszióanalízis eredménye a 2. ábrán, a KH_2PO_4 és a KCl kivonószerek által oldott szulfát-S tartalom közötti összefüggés eredménye a 3. ábrán, valamint a KH_2PO_4 és a CaCl_2 által oldott szulfát-S tartalom közötti összefüggés eredménye az 4. ábrán látható.



2. **ábra:** A talaj 1M KCl és a 0,01M CaCl_2 kivonószerekben meghatározott szulfát-tartalma közötti összefüggések alakulása (2017-2018: n=288; 2019: n=144, ** szignifikáns korreláció $P < 0,01$)



3. **ábra:** A talaj 1M KCl és a 0,016M KH_2PO_4 kivonószerekben meghatározott szulfát-tartalma közötti összefüggések alakulása (2017-2018: n=288; 2019: n=144, ** szignifikáns korreláció $P < 0,01$)



4. ábra: A talaj 0,01M CaCl₂ és a 0,016M KH₂PO₄ kivonószerekben meghatározott szulfát-tartalma közötti összefüggések alakulása (2017-2018: n=288; 2019: n=144, ** szignifikáns korreláció P <0,01)

Eredményeimből megállapítható, hogy a legszorosabb kapcsolatot az 1M KCl és a 0,01M CaCl₂ kivonószerek által oldott szulfát-S értékek között igazoltam. Ezek a híg sóoldatok közel hasonló mennyiségű szulfátot vonnak ki a talajból és az általuk oldott szulfát-S jellemzően hasonló mértékben változott a kénpótlás nélküli és az újbóli CaSO₄ kijuttatás időszakában is. A 0,016M KH₂PO₄ kivonószerekben mérhető a legnagyobb mennyiségű szulfátfrakció. Feltételezhető, hogy a vízdoldható mellett a kolloidok felületén adszorbeált szulfátfrakció egy részét is kivonja a talajból, mely utóbbi frakciót a frissen kiadott CaSO₄ kevésbé befolyásol.

A talaj aril-szulfatáz aktivitása

A talaj aril-szulfatáz aktivitását 2018 és 2019 években 3 alkalommal mértem, az őszi búza szárbaindulásakor, virágzásakor és teljes érésakor. Az aril-szulfatáz enzim aktivitásának alakulását 2018-ban a tenyészidőszak során a 6. táblázat, 2019-ben a 7. táblázat mutatja be.

6. táblázat: A talaj aril-szulfatáz aktivitása az őszi búza szárbaindulásakor, virágzásakor és teljes érésakor (Debrecen-Látókép, 2018)

Kezelés	Szárbaingulás (µg p-nitrofenol/g/h)			Virágzás (µg p-nitrofenol/g/h)			Teljes érés (µg p-nitrofenol/g/h)		
	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag
kontroll	68,16±2,59	66,75±3,40	67,45 ^c	56,86±1,54	53,10±3,09	54,98 ^c	45,15±4,22	47,44±1,45	46,30 ^b
NPK1	62,59±2,83	61,36±1,42	61,97 ^b	53,43±3,19	47,06±1,55	50,25 ^b	52,87±2,67	43,32±1,86	48,09 ^b
NPK2	44,08±1,98	42,34±3,74	43,21 ^a	38,33±0,32	32,62±2,81	35,47 ^a	19,44±1,53	32,38±2,14	25,91 ^a
Átlag	58,27 ^A	56,82 ^A	57,55	49,54 ^B	44,26 ^A	46,90	39,15 ^A	41,04 ^A	40,10

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól P <0,05 szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól P <0,05 szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö = öntözött, NÖ = nem öntözött

7. táblázat: A talaj aril-szulfatáz aktivitása az őszi búza szárbaingulásakor, virágzásakor és teljes érésakor (Debrecen-Látókép, 2019)

Kezelés	Szárbaingulás ($\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$)			Virágzás ($\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$)			Teljes érés ($\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$)		
	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag
kontroll	46,74 \pm 0,99	45,75 \pm 2,15	46,24^c	13,01 \pm 0,68	13,29 \pm 0,88	13,15^b	9,84 \pm 0,37	7,92 \pm 0,84	8,88^{ab}
NPKS1	43,16 \pm 3,67	41,52 \pm 1,62	42,34^b	12,56 \pm 2,64	12,46 \pm 0,86	12,51^b	10,15 \pm 0,59	8,47 \pm 0,87	9,31^b
NPKS2	30,36 \pm 2,04	28,75 \pm 1,12	29,56^a	8,51 \pm 0,56	7,73 \pm 0,98	8,12^a	8,87 \pm 0,38	7,16 \pm 0,72	8,02^a
Átlag	40,09^A	38,67^A	<i>39,38</i>	11,36^A	11,16^A	<i>11,26</i>	9,62^B	7,85^A	<i>8,73</i>

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö = öntözött, NÖ = nem öntözött

Eredményeim alapján megállapítható, hogy 2019-ben minden mintavételi időpontban, kisebb enzimaktivitás értéket mértem, mint 2018-ban. Ennek oka lehetett a különböző éjárathatások következtében kialakuló eltérő mértékű mikrobiális aktivitás. Megállapítható továbbá, hogy egy-egy éven belül a mért enzimaktivitás értékek a tenyészidőszak előrehaladtával csökkentek. A műtrágyával kezelt parcellákon minden mérési időpontban kisebb enzimaktivitás volt megfigyelhető, mint a kontroll parcellán.

3.1.3. Növényvizsgálati eredmények

Az őszi búza termésének változása 2017-2019 közötti években

A műtrágyázási és az öntözési kezelések hatását az őszi búza termésének (t/ha) alakulására 2017-2019 közötti időszakban a 8. táblázat szemlélteti.

8. táblázat: Az őszi búza termésátlaga (t/ha) (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

Kezelés	Szemtermés (t/ha)		
	Öntözött	Nem öntözött	Átlag
2017			
kontroll	2,38 \pm 0,56	2,29 \pm 0,28	2,33^a
NPK1	6,52 \pm 0,20	6,31 \pm 0,56	6,42^b
NPK2	9,19 \pm 0,15	8,09 \pm 0,36	8,64^c
Átlag	6,03^B	5,56^A	<i>5,80</i>
2018			
kontroll	1,90 \pm 0,20	1,79 \pm 0,38	1,85^a
NPK1	7,13 \pm 0,71	7,06 \pm 0,78	7,09^b
NPK2	8,54 \pm 0,40	8,12 \pm 0,74	8,33^c
Átlag	5,86^A	5,65^A	<i>5,76</i>
2019			
kontroll	2,97 \pm 0,35	2,92 \pm 0,25	2,94^a
NPKS1	7,47 \pm 0,76	7,38 \pm 0,26	7,43^b
NPKS2	8,52 \pm 0,37	8,76 \pm 0,68	8,64^c
Átlag	6,32^A	6,36^A	<i>6,34</i>

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására

Az őszi búza termése 2017-ben 2,29-9,19 t/ha, 2018-ban 1,79-8,54 t/ha, 2019-ben 2,92-8,76 t/ha tartományban változott. Mindhárom vizsgált évben a legkisebb termést a kontroll kezelésben kaptam. A kisebb dózisú műtrágya kezelés hatására szignifikáns növekedést tapasztaltam a termésátlagokban és a tovább növekvő műtrágyadózis hatására további, jelentős növekedés volt megfigyelhető. A vizsgált években csupán 2017-ben volt öntözés a kísérleti területen, melynek hatására szignifikánsan nagyobb termés volt megfigyelhető az öntözött parcellákon. 2018-ban és 2019-ben nem volt szükség öntözésre, így a természetes vízellátás azonos volt az öntözött és nem öntözött parcellákon. Ezekben az években nem volt különbség az öntözött és nem öntözött kezelések termésátlaga között.

Az őszi búza N-, S-tartalma és N/S értéke teljes éréskor

A növény N- és S-tartalmának változását a búza szárbaindulásától a teljes érés fázisáig nyomon követtem, a téziszüzetben azonban csak a búzaszemben mért eredményeket szemléltetem (9. táblázat).

9. táblázat: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellákon termesztett őszi búza szemtermésének átlagos N-, S-tartalma és N/S értéke teljes éréskor (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

Kezelés	N (%)			S (%)			N/S		
	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag
2017									
kontroll	1,35±0,11	1,41±0,11	1,38^a	0,09±0,01	0,08±0,01	0,09^a	14,8±2,1	17,2±1,7	16,0^a
NPK1	1,86±0,16	1,72±0,23	1,79^b	0,09±0,01	0,09±0,01	0,09^a	21,5±4,9	19,4±4,0	20,4^{ab}
NPK2	2,28±0,07	2,04±0,17	2,16^c	0,10±0,01	0,10±0,01	0,10^a	22,0±3,5	21,1±2,5	21,5^b
Átlag	1,83^A	1,72^A	<i>1,78</i>	0,09^A	0,09^A	<i>0,09</i>	19,4^A	19,2^A	<i>19,3</i>
2018									
kontroll	1,43±0,11	1,47±0,15	1,45^a	0,10±0,01	0,10±0,01	0,10^a	13,9±1,9	15,5±2,4	14,7^a
NPK1	1,81±0,19	1,83±0,18	1,82^b	0,11±0,01	0,09±0,00	0,10^a	16,9±2,2	20,5±3,7	18,7^b
NPK2	2,47±0,13	2,31±0,11	2,39^c	0,11±0,01	0,11±0,00	0,11^a	22,8±2,8	21,8±2,9	22,3^c
Átlag	1,91^A	1,87^A	<i>1,89</i>	0,11^A	0,10^A	<i>0,10</i>	17,8^A	19,2^A	<i>18,5</i>
2019									
kontroll	1,51±0,15	1,53±0,04	1,52^a	0,14±0,01	0,15±0,00	0,15^a	10,1±1,1	10,2±2,2	10,1^a
NPKS1	1,64±0,06	2,10±0,10	1,87^b	0,17±0,00	0,20±0,03	0,18^b	9,6±0,5	10,6±1,7	10,1^a
NPKS2	2,33±0,10	2,63±0,06	2,48^c	0,20±0,02	0,23±0,02	0,22^c	11,7±2,0	11,4±1,6	11,6^b
Átlag	1,83^A	2,08^A	<i>1,96</i>	0,17^A	0,20^A	<i>0,18</i>	10,5^A	10,7^A	<i>10,6</i>

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö=öntözött, NÖ=nem öntözött

2017-ben a N-tartalom a kontroll kezelésben volt a legkisebb, mely az emelkedő NPK adagok hatására szignifikánsan növekedett és maximális értékét (2,16 %) a legnagyobb adagú kezelésben érte el. A búzaszem S-tartalma 0,08-0,10 % között mozgott, mely az eltérő kezeléssel parcellákban nem különbözött a kontrolltól és értékét

az öntözés sem módosította igazolhatóan. A búzaszem N/S-a a kontrollban volt a legkisebb. A műtrágyázott parcellákon növekedett az N/S, viszont szignifikáns változást csak az NPK2 kezelés esetén figyeltem meg a kontrollhoz képest.

2018-ban a szem N-tartalmát (1,43-2,47 %) a N adagok igazolhatóan növelték. A N-értékek szignifikáns növekedése mellett a S-tartalom (0,10-0,11 %) nem változott a kontrollhoz viszonyítva, így ennek hatására az N/S (13,9-22,8) is jelentősen nagyobbá vált a növekvő műtrágyadózisú kezelésekben. Az öntözésnek nem volt szignifikáns hatása a vizsgált paraméterekre.

2019-ben a búzaszem N-tartalma a műtrágyázás hatására szignifikánsan növekedett a kontrollhoz képest. A S-tartalom 0,14-0,23 % között alakult. Legkisebb érték a kontroll kezelésekben mutatkozott és jelentős növekedést figyeltem meg az NPKS műtrágyázás hatására. A N- és S-tartalom kontrollhoz viszonyított jelentős mértékű növekedése mellett az N/S (10,1-11,6) csak kismértékben növekedett, szignifikáns különbséget csak a legnagyobb műtrágyadózisú kezelés esetében kaptam.

RANDALL et al. (1981) és REUSSI et al. (2011) szerint a búzaszem összes kén tartalma mellett annak N/S arányát is célszerű figyelembe venni a kénellátottság megítéléséhez. A szerzők szerint elégtelen a kénellátás, ha a szem S-tartalma nem éri el a 0,12-0,15 %-ot és az N/S aránya nagyobb, mint 13,3-17:1.

Az irodalmi határértékek alapján 2017 és 2018 években a kísérleti területen termesztett búza minden vizsgált kezelésben kénhiányosnak tekinthető, mely hiány a növekvő N-dózisok hatására egyre fokozódott. 2019-ben a műtrágyázott parcellákon termesztett búza S-tartalma meghaladta a kritikus értékeket (0,12-0,15 %) és az N/S arány is kisebb volt, mint a 13,3-17:1 kritikus tartomány. Ennek alapján megállapítható, hogy a szuperfoszfáttal gipszként kijuttatott 42,4 és 84,8 kg S/ha dózis hatására a búza kénellátottsága megfelelő volt.

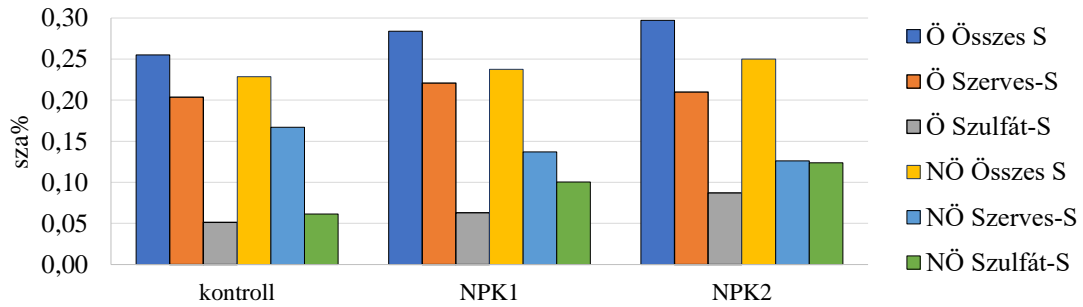
A N-tartalom esetében is megállapítottak egy küszöbértéket, mely alatt a búzaszem N-hiányosnak tekinthető. GOOS et al. (1982) a 2 %-ban határozták meg a búzaszem kritikus N-koncentrációját. Ezen érték alapján a kontroll és az NPK1/NPKS1 kezelésekben minden évben N-hiányt állapítottam meg a búza állományban.

Az őszi búza szerves és szervetlen kénfrakcióinak változása

A kutatómunka során céлом volt annak elemzése is, hogy a műtrágyázási tartamkísérletben 1983-2009 között növekvő dózisban kijuttatott, de azóta nem pótolta,

valamint 2019-ben ismét alkalmazott szuperfoszfát gipsztartalma (CaSO_4) milyen hatással van az őszi búza különböző kénfrakcióinak változására a búza fejlődése során.

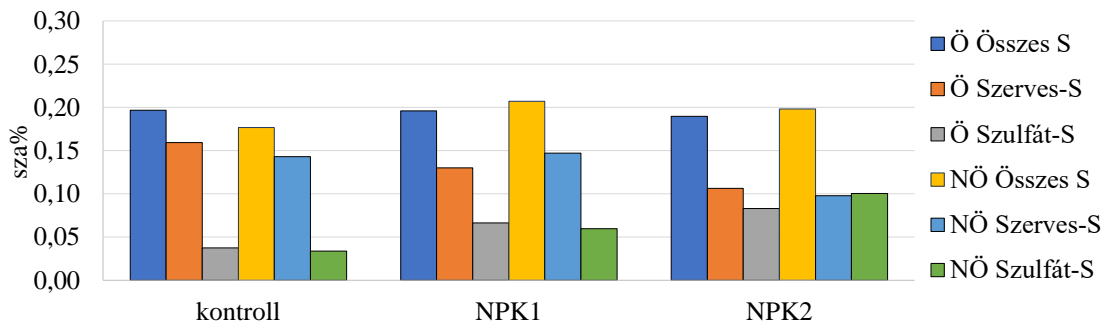
Az őszi búza szerves és szulfát-S frakcióinak változását csak a szárbainduláskori állapotban mutatom be (5., 6., 7. ábra).



	Összes S (%)			Szerves-S (%)			$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (%)		
	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag
kontroll	0,25±0,03	0,23±0,03	0,24 ^a	0,20±0,03	0,17±0,03	0,19 ^a	0,05±0,00	0,06±0,00	0,06 ^a
NPK1	0,28±0,05	0,24±0,03	0,26 ^a	0,22±0,05	0,14±0,03	0,18 ^a	0,06±0,00	0,10±0,01	0,08 ^b
NPK2	0,30±0,03	0,25±0,01	0,27 ^a	0,21±0,03	0,13±0,01	0,17 ^a	0,09±0,00	0,12±0,00	0,11 ^c
Átlag	0,28 ^B	0,24 ^A	0,26	0,21 ^B	0,14 ^A	0,18	0,07 ^A	0,09 ^B	0,08

5. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára szárbainduláskor (Debrecen-Látókép, 2017)

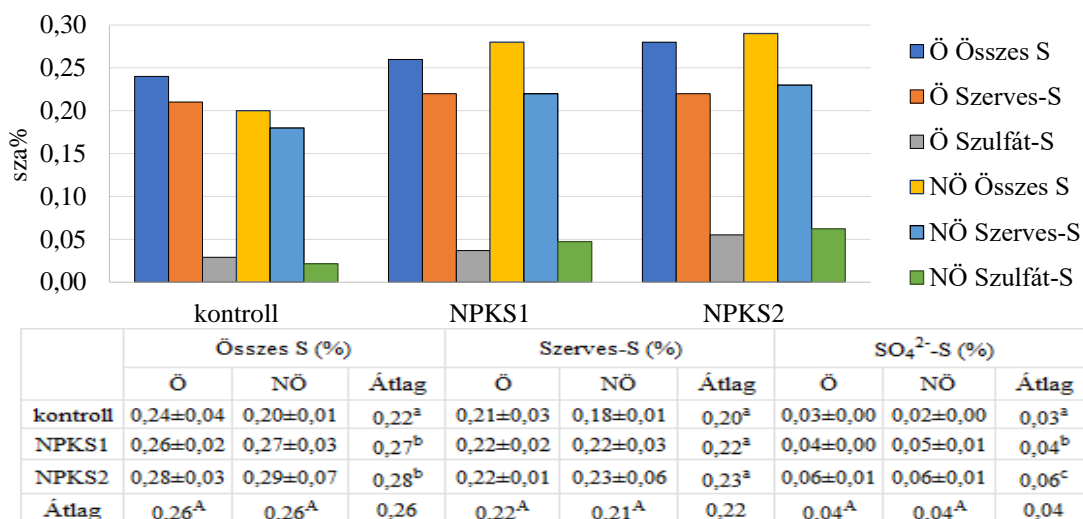
Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö=öntözött, NÖ=nem öntözött, sza%=száraz anyag százalék



	Összes S (%)			Szerves-S (%)			$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (%)		
	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag	Ö	NÖ	Átlag
kontroll	0,20±0,02	0,17±0,02	0,19 ^a	0,16±0,02	0,14±0,02	0,15 ^b	0,04±0,01	0,03±0,00	0,04 ^a
NPK1	0,20±0,03	0,21±0,03	0,20 ^a	0,13±0,03	0,15±0,03	0,14 ^b	0,07±0,01	0,06±0,01	0,06 ^b
NPK2	0,19±0,02	0,20±0,01	0,19 ^a	0,11±0,02	0,10±0,00	0,11 ^a	0,08±0,00	0,10±0,01	0,09 ^c
Átlag	0,19 ^A	0,19 ^A	0,19	0,13 ^A	0,13 ^A	0,13	0,06 ^A	0,06 ^A	0,06

6. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára szárbainduláskor (Debrecen-Látókép, 2018)

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö=öntözött, NÖ=nem öntözött, sza%=száraz anyag százalék



7. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára szárbainduláskor (Debrecen-Látókép, 2019)

Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö=öntözött, NÖ=nem öntözött, sza%=száraz anyag százalék

A kéntrágyázás nélküli években (2017-2018) a szárbainduláskori búza összes S-tartalma nem különbözött a műtrágyázott és a kontroll parcellákon. A szerves-S tartalom 2017-2018-ban a műtrágyázott parcellákon kissé csökkent a kontrollhoz képest és megfigyeltem, hogy ezekben az években a növényi szövetek szulfát-S tartalma az 50%-ot is elérte. 2019-ben az újbóli kénpótlás évében az az őszi búza biomassza összes átlagos S-tartalma a műtrágyázás hatására igazolható mértékben megnövekedett a kontrollhoz viszonyítva. Ebben az évben a műtrágyázott parcellák szerves S-tartalma nem különbözött a kontroll értékétől, a szulfát-S viszont a növekvő dózisok hatására szignifikánsan nagyobbá vált, azonban maximális mennyisége csupán 21% volt, tehát a felvett S jelentős része a szerves vegyületekbe épült be.

3.1.4. A szuperfoszfát CaSO₄-S tartalmának hasznosulása a kijuttatás évében

A Látóképi műtrágyázási tartamkísérletben 2019-ben a P tápelemet szuperfoszfát műtrágyával juttatták ki a műtrágyázott parcellákra. A kijuttatás évében elemeztem, hogy a szuperfoszfát (CaSO₄) kén-tartalma hogyan hasznosult (10. táblázat). A 2019-ben gipsszel kijuttatott kén 42,4 kg/ha adagjának hasznosulási értéke 28,1-42,9% értékek között, a nagyobb 84,8 kg/ha adag értéke 33,4 -36,8% között változott. Eredményeink alapján megállapítható, hogy a szuperfoszfát kén-tartalmának hozzávetőleg egyharmadát hasznosította az őszi búza a kijuttatás évében.

10. táblázat: Szuperfoszfát műtrágya gipsztartalmának hasznosulása

Kezelés	S adag kg/ha		S felvétel kg/ha		Hasznosulási %	
	Öntözött	Nem öntözött	Öntözött	Nem öntözött	Öntözött	Nem öntözött
kontroll	0	0	8,8	9,1	-	-
NPKS1	42,4	42,4	20,7	27,3	28,1	42,9
NPKS2	84,8	84,8	37,1	40,3	33,4	36,8

3.2. A kénforgalom egyes elemeinek változása tenyészedényes kísérletekben

3.2.1. A szárazságstressz és a növekvő kénarányú N- és S-tartalmú műtrágyák hatása a tavaszi búza produktivitására, S-, N-tartalmára, N/S értékére

A tenyészedényes kísérlet során kétféle vízellátás és a növekvő kénarányú N- és S-tartalmú műtrágyakezelések (N/S= 1:0,2; 1:0,25; 1:0,5) hatásait vizsgáltam a tavaszi búza termésének és beltartalmi paramétereinek alakulására.

A biomasszatömeg változása a tavaszi búza egyes fenofázisaiban

A biomasszatömeg változását a kezelések hatására a 11. táblázatban láthatjuk.

11. táblázat: A tavaszi búza biomasszatömegének változása a búza különböző fejlődési fázisaiban

Vzellátás	N/S kezelés	Szárbaingulás	Virágzás	Teljes érés		
				Szalma	Szem	HI
		g/3db növény	g/3db növény	g/edény	g/edény	
Kedvező	kontroll	4,17±0,12a	17,10±0,89ab	20,30±0,82b	8,20±0,29ab	0,288bc
	N/S =1:0,2	4,83±0,06ab	21,00±1,93c	25,43±1,64d	14,76±0,65c	0,368c
	N/S =1:0,25	5,00±0,35b	19,23±1,72bc	23,83±1,80cd	11,25±3,05bc	0,314bc
	N/S =1:0,5	5,03±0,25b	20,43±1,00c	26,37±1,36d	15,84±2,16d	0,374c
Kedvezőtlen	kontroll	4,50±0,36ab	15,50±0,20a	16,73±0,40a	4,80±0,96a	0,222ab
	N/S =1:0,2	4,50±0,26ab	15,83±0,72a	20,87±0,90bc	4,37±1,19a	0,171a
	N/S =1:0,25	4,67±0,40ab	15,63±0,60a	21,40±b1,21c	3,88±1,36a	0,151a
	N/S =1:0,5	4,77±0,21ab	15,83±0,40a	20,43±0,51b	4,69±1,11a	0,186a

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan p <0,05 szignifikancia szinten. HI = betakarítási index (Harvest index)

Összegezve elmondható, hogy a szárazságstressz kedvezőtlen, biomasszacsökkentő hatása a virágzáskor már igazolhatóan jelentkezett és teljes éréskor pedig mind a szalma, mind a szemtermés mennyiségének csökkenésében is megnyilvánult. Kedvezőtlen vízellátás mellett a betakarítási index (HI) is jelentősen csökkent. A növekvő kénarányú műtrágyázás a szárazságstresszes körülmények között termesztett búza kezdeti növekedését nem befolyásolta. A növekvő kénarány kedvező hatását csak a búzaszalma tömegnövekedésében tudtam igazolni, a szemtermés mennyisége nem módosult. A műtrágyázott edényekben csökkent a HI értéke. Kedvező vízellátásnál a növekvő kénarányú N- és S-tartalmú műtrágyák alkalmazása már a szárbainguláskor segítette a

növekedést és a kedvező hatás a termésnövekedésben is igazolható volt. A kísérletben a legnagyobb szemtermést kedvező vízellátásnál és az N/S=1:0,5 kezelésben mértem.

A tavaszi búza N-, S-tartalmának, kénformáinak és N/S arányának változása

A búza N-, S-tartalmának és az N/S-ának alakulását a különböző vízellátású és N, S arányú kezelések hatására a 12. táblázat szemlélteti.

12. táblázat: A tavaszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása a búza különböző fejlődési fázisaiban

Vízellátás	N/S arány	Szárbaindulás	Virágzás	Teljes érés	
				Szalma	Szem
N %					
Kedvező	kontroll	3,19±0,24a	1,11±0,11a	0,34±0,03a	2,05±0,05a
	N/S =1:0,2	4,84±0,11b	1,25±0,03a	0,36±0,08a	1,95±0,07a
	N/S =1:0,25	4,62±0,33b	1,37±0,12ab	0,42±0,16a	2,05±0,16a
	N/S =1:0,5	4,62±0,39b	1,25±0,05a	0,32±0,06a	1,80±0,13a
Kedvezőtlen	kontroll	3,35±0,17a	1,67±0,08b	0,54±0,12a	2,94±0,43b
	N/S =1:0,2	4,94±0,09b	2,59±0,30c	0,96±0,06b	4,21±0,29c
	N/S =1:0,25	4,81±0,15b	2,63±0,10c	0,94±0,06b	4,45±0,33c
	N/S =1:0,5	4,69±0,19b	2,56±0,08c	0,83±0,02b	3,91±0,25c
S %					
Kedvező	kontroll	0,28±0,06a	0,21±0,03abc	0,29±0,04a	0,20±0,01cd
	N/S =1:0,2	0,33±0,03a	0,17±0,00a	0,25±0,02a	0,15±0,01a
	N/S =1:0,25	0,31±0,01a	0,17±0,00a	0,27±0,03a	0,17±0,01ab
	N/S =1:0,5	0,32±0,03a	0,19±0,01ab	0,28±0,02a	0,18±0,01abc
Kedvezőtlen	kontroll	0,31±0,01a	0,18±0,01a	0,24±0,03a	0,15±0,01a
	N/S =1:0,2	0,28±0,02a	0,25±0,02c	0,31±0,02a	0,24±0,02d
	N/S =1:0,25	0,27±0,01a	0,24±0,03bc	0,32±0,06a	0,23±0,01d
	N/S =1:0,5	0,29±0,01a	0,21±0,01ab	0,30±0,03a	0,19±0,01bcd
N/S					
Kedvező	kontroll	11,68±1,97ab	5,18±0,72a	1,17±0,20a	10,08±0,45a
	N/S =1:0,2	14,81±1,52bc	7,32±0,08b	1,39±0,18ab	12,80±0,30a
	N/S =1:0,25	14,87±1,41bc	8,06±0,58bc	1,54±0,40ab	12,38±0,41a
	N/S =1:0,5	14,58±1,53bc	6,61±0,42ab	1,13±0,23a	10,20±1,15a
Kedvezőtlen	kontroll	10,99±0,13a	9,38±0,51cd	2,27±0,53bc	19,34±2,75b
	N/S =1:0,2	17,58±1,01c	10,75±0,35de	3,11±0,05c	19,49±1,15b
	N/S =1:0,25	17,54±0,05c	11,09±1,13de	2,96±0,49c	19,52±0,14b
	N/S =1:0,5	16,33±0,35c	12,04±0,76e	2,74±0,34c	20,14±0,94b

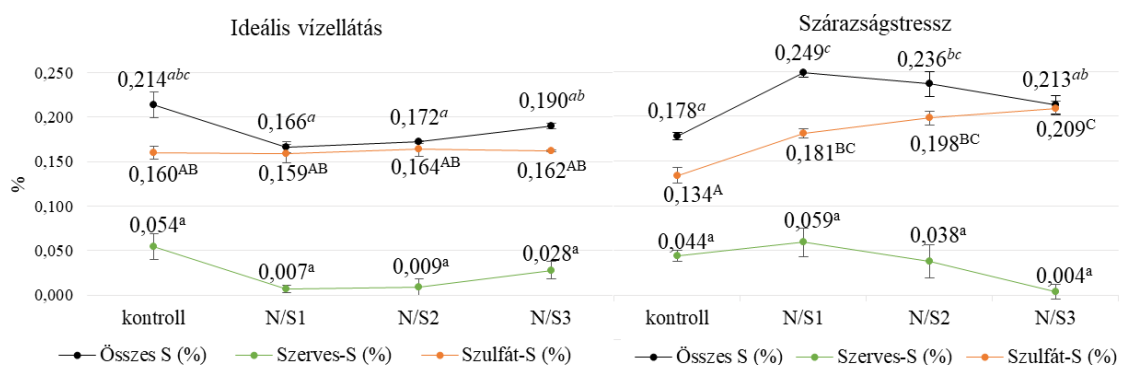
Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan $p < 0,05$ szignifikancia szinten.

Összegezve megállapítottuk, hogy szárbaindulásakor az eltérő vízellátásban nevelt búza N- és S-tartalma nem különbözött, ugyanakkor csökkentett vízellátásnál nagyobb szöveti N/S arányt mértem. Mindkét vízellátásnál megfigyelhető volt, hogy a legkisebb kéndózisú kezelés (N/S=1:0,2) hatására a növény N-tartalma és N/S értéke növekedett a kontrollhoz képest, azonban a S-tartalom nem módosult. A kénarány további növelése nem befolyásolta a mért értékeket.

Virágzáskor kedvező vízellátásnál a hígulási effektus következtében a növény N-, S-tartalma és N/S értéke is kisebb volt, mint kedvezőtlen vízellátásnál. A kontrollhoz képest a N/S=1:0,2 kezelés hatására a N- és S-tartalom csak a kedvezőtlen vízellátású modellben növekedett, az N/S mindkét vízellátásnál nagyobbá vált. A kénarány növelésével szárazságstresszes modellben a S-tartalom kissé csökkent, így az N/S tágabbá vált.

A búzaszem és búzaszalma N-, S-tartalma és N/S-a is a kedvezőtlen vízellátású kezelésekben volt nagyobb. Kedvező vízellátás mellett a N-tartalom és az N/S sem módosult a műtrágyázás hatására, a S-tartalom azonban már az N/S=1:0,2 kezelés hatására kisebbé vált a kontrollhoz képest, mely érték a növekvő kénarány hatására csak tendenciálisan növekedett. Kedvezőtlen vízellátás mellett a legkisebb arányú N/S kezelés növelte a növényi részek N- és S-tartalmát, de a növekvő kénarányú N/S kezelések a szem S-tartalmát inkább csökkentették. A búzaszem N/S-a szárazságstressz hatására meghaladta a kritikus N/S=17:1 értéket, mely fölött nem megfelelő a kénellátás és minőségromlás következhet be. A szem és szalma N/S értékét a műtrágyázás igazolhatóan nem módosította.

Továbbá megállapítottam, hogy csökkentett vízellátásnál a tavaszi búza virágzásakor mérve a szulfát-S felhalmozódása volt jellemző, mely intenzívebbé vált a növekvő kénarányú kezelések hatására (8. ábra).



8. ábra: A tavaszi búza szerves-S és SO_4^{2-} -S formáinak változása virágzáskor
Az azonos betűvel jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan $p < 0,05$ szignifikancia szinten.

3.2.2. Különböző kénformák és különböző N, S arányok hatása a tavaszi búza termésére, S-, N-tartalmára, N/S értékére

Tenyészedényes kísérletben kétféle kénforma, a szulfát (SO_4^{2-}) és a tioszulfát ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) hatását vizsgáltam a tavaszi búza mennyiségi és minőségi paramétereinek változására homok és csernozjom talajokon. A kétféle kénformát kálium-szulfát és ammónium-tioszulfát formájában juttattam a talajba. Mindkét kénforma esetén azonos N dózis (120 kg/ha N) mellett növekvő S adagokat (24, 60, 120 kg/ha S) alkalmaztam.

A biomasszatömeg változása a búza egyes fenofázisaiban

A tavaszi búza biomasszatömegének változását a tenyészidőszak során a 13. táblázat mutatja be.

13. táblázat: Az eltérő kénformájú és különböző N, S arányú kezelések hatása a tavaszi búza biomasszatömegére

Kénforma	N/S arány	Szárbaindulás	Virágzás	Teljes érés	
		g/2 db növény	g /2 db növény	Szalma (g/edény)	Szem (g/edény)
CSERNOZJOM					
-	kontroll	0,24±0,00a	2,57±0,55a	5,87±0,38a	6,31±0,77a
	N/S=1:0,2	0,30±0,06a	4,03±0,86a	9,86±1,26b	12,04±1,23b
	N/S=1:0,5	0,25±0,01a	3,63±1,15a	10,82±1,78b	12,13±1,26b
SO_4^{2-}	N/S=1:1	0,26±0,02a	2,47±0,64a	9,81±1,60b	10,53±1,25ab
	N/S=1:0,2	0,34±0,08a	3,03±0,21a	8,81±0,63ab	10,03±1,70ab
	N/S=1:0,5	0,29±0,06a	3,87±0,47a	9,63±0,80b	10,53±1,61ab
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	N/S=1:1	0,28±0,07a	3,53±1,24a	8,92±0,87ab	10,01±0,81ab
	HOMOK				
	-	kontroll	0,17±0,02a	1,27±0,68a	3,16±0,04a
SO_4^{2-}	N/S=1:0,2	0,54±0,12c	2,73±0,67b	7,70±1,10b	6,10±0,94b
	N/S=1:0,5	0,51±0,10bc	3,00±0,61b	8,04±1,16b	6,24±1,91b
	N/S=1:1	0,40±0,16abc	2,87±0,50b	6,76±0,17b	5,37±1,38ab
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	N/S=1:0,2	0,35±0,01abc	3,30±0,46b	7,36±0,55b	6,45±0,88b
	N/S=1:0,5	0,28±0,01ab	2,80±0,35b	7,23±0,79b	6,62±0,68b
	N/S=1:1	0,22±0,02a	2,70±0,61b	8,54±0,72b	6,31±0,64b

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan $p < 0,05$ szignifikancia szinten.

Csernozjom talajon szárbaindulásakor és virágzaskor a különböző kénformák és a növekvő kénarányú N, S kezelések hatására nem módosult a búza száraz biomasszatömege. A szalma-és a szem tömege a szulfáttal beállított kezelésekben kissé nagyobb volt, de a különbség nem érte el a statisztikailag is igazolható mértéket. Homokon N/S=1:0,2 kezelés már a búza kezdeti fejlődésekor szignifikáns mértékben növelte a biomasszatömeget. A tovább növekvő S arányú N, S kezelések hatására a biomasszatömeg nem változott. Jellemzően a szulfátforma alkalmazásakor mértem kissé nagyobb biomasszprodukción. A virágzaskori biomasszatömeg, valamint a búzaszem és

a búzaszalma esetében is kontrollhoz viszonyított jelentős növekedést figyeltem meg már az N/S=1:0,2 kezelés hatására, azonban a tovább növekvő dózisok nem módosították tovább a tömeget egyik S forma esetében sem.

A tavaszi búza N-, S-tartalmának, kénformáinak és N/S arányának változása

A búza N-, S-tartalmának és az N/S értékének alakulását a különböző kénformájú és N/S arányú kezelések hatására a 14. táblázat szemlélteti.

14. táblázat: Eltérő kénformájú és N, S arányú kezelések hatása a tavaszi búza N-, S tartalmára és az N/S értékére

Kén-forma	N/S arány	Szárbaindulás (teljes növény)			Virágzás (teljes növény)			Teljes érés (szem)		
		N %	S %	N/S	N %	S %	N/S	N %	S %	N/S
CSERNOZJOM										
-	kontroll	4,21± 0,38b	0,54± 0,06d	7,79± 1,47a	1,70± 0,00a	0,37± 0,01cd	4,55± 0,16a	1,82± 0,05ab	0,15± 0,02a	11,94± 1,09a
SO ₄ ²⁻	N/S=1:0,2	4,05± 0,07ab	0,45± 0,02bc	9,03± 0,13ab	2,17± 0,19b	0,30± 0,02bc	7,59± 0,21b	1,73± 0,10a	0,16± 0,03a	10,96± 2,66a
	N/S=1:0,5	4,33± 0,10b	0,49± 0,02cd	8,94± 0,58ab	2,26± 0,09b	0,44± 0,07de	5,39± 0,60a	1,89± 0,01b	0,16± 0,02a	11,46± 1,18a
	N/S=1:1	4,40± 0,03b	0,49± 0,01cd	8,89± 0,30ab	2,22± 0,00b	0,46± 0,01e	4,90± 0,19a	2,02± 0,02c	0,17± 0,02a	12,20± 1,30a
S ₂ O ₃ ²⁻	N/S=1:0,2	3,61± 0,05a	0,36± 0,01a	10,13± 0,38b	2,30± 0,05b	0,20± 0,01a	11,61± 0,53c	1,92± 0,00bc	0,17± 0,01a	11,47± 0,39a
	N/S=1:0,5	3,95± 0,02ab	0,38± 0,00ab	10,52± 0,15b	2,37± 0,14b	0,22± 0,01ab	10,84± 0,25c	1,92± 0,00bc	0,18± 0,01a	10,75± 0,34a
	N/S=1:1	4,01± 0,24ab	0,39± 0,01ab	10,14± 0,14b	2,40± 0,01b	0,30± 0,00bc	8,25± 0,24b	1,94± 0,05bc	0,18± 0,01a	11,12± 0,47a
HOMOK										
-	kontroll	2,14± 0,04a	0,48± 0,00d	4,45± 0,05a	1,21± 0,11a	0,21± 0,01ab	5,74± 0,38ab	2,23± 0,14a	0,20± 0,01ab	10,76± 0,44a
SO ₄ ²⁻	N/S=1:0,2	3,43± 0,01c	0,36± 0,00a	9,52± 0,19b	1,89± 0,14c	0,25± 0,01b	7,87± 0,24bc	2,28± 0,21ab	0,22± 0,00abc	10,20± 1,14a
	N/S=1:0,5	4,08± 0,06d	0,44± 0,02c	9,21± 0,51b	1,68± 0,04bc	0,36± 0,01c	4,74± 0,02a	2,71± 0,17c	0,24± 0,00d	11,15± 0,49a
	N/S=1:1	4,22± 0,02e	0,45± 0,01cd	9,31± 0,08b	1,64± 0,16bc	0,40± 0,02c	4,06± 0,12a	2,65± 0,16bc	0,23± 0,01cd	11,53± 0,37a
S ₂ O ₃ ²⁻	N/S=1:0,2	4,02± 0,01cd	0,34± 0,01a	11,61± 0,18c	1,57± 0,10b	0,18± 0,00a	8,81± 0,37cd	2,13± 0,14a	0,19± 0,02a	10,60± 0,60a
	N/S=1:0,5	3,99± 0,00c	0,37± 0,03a	10,92± 0,04c	1,61± 0,05bc	0,19± 0,03a	10,07± 1,67d	2,21± 0,08a	0,21± 0,00abc	10,34± 0,18a
	N/S=1:1	4,00± 0,01cd	0,39± 0,04b	10,22± 0,15c	1,63± 0,10bc	0,22± 0,03ab	7,71± 1,03bc	2,46± 0,07abc	0,23± 0,01cd	10,71± 0,64a

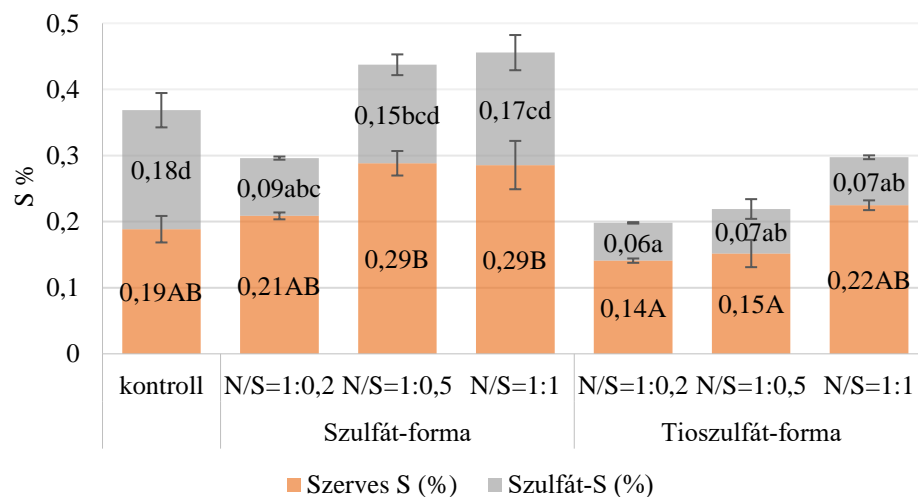
Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan p < 0,05 szignifikancia szinten

Összegezve elmondható, hogy a jobb tápanyagellátottságú csernozjom talajon a javuló kénellátás a szárbainduláskori és virágzáskori növény S-tartalmát növelte, a N-tartalmat egyik kénforma alkalmazása esetén sem befolyásolta. A kéndózis növelése a búzaszem S-tartalmát nem módosította, azonban a szem N-tartalmát javította, de csak szulfát forma alkalmazása esetén. Szárbainduláskor és virágzáskor a szulfátos

kezelésekben mértem nagyobb S-tartalmat, a búzaszem S-tartalma nem különbözött ezekben a kezelésekben. Ennek oka, hogy a tioszulfátban lévő S egy része azonnal elérhető a növény számára, a másik részének azonban baktérium által végzett oxidáció révén szulfáttá kell alakulnia (NOR és TABATABAI, 1977; WAINWRIGHT, 1984).

A nagyobb dózisu kénellátás a szárbainduláskori N/S arányt nem módosította, míg virágzáskor inkább csökkentette. Mindkét szakaszban a tioszulfát kezelésekben számoltam nagyobb N/S arányt. A szem N/S arányát a kezelések nem módosították.

Virágzáskor a szulfát formájú legkisebb S adag hatására a felvett S nagy része a szerves vegyületekbe épült be. A tovább növekvő kénadagokkal a S szerves vegyületekbe való beépülése is fokozódott, de a legnagyobb S dózis hatására inkább a szulfát felhalmozódását tapasztaltam. A tioszulfátos kezelésekben is megfigyelhető volt ez a jelenség, de a szulfát kezelésekhez képest kisebb mértékű volt (9. ábra).

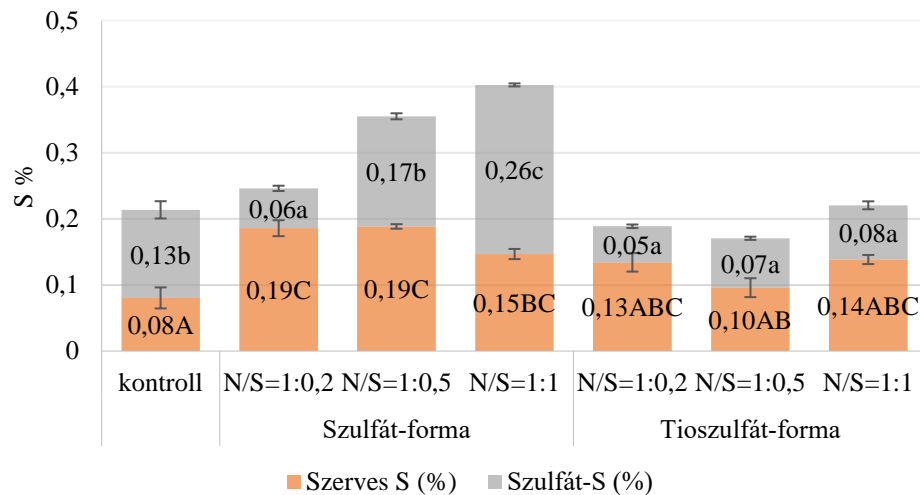


9. ábra: A tavaszi búza szerves-S és SO_4^{2-} -S formáinak változása virágzáskor csernozjom talajon

Megjegyzés: A kisbetűs jelölés a szulfát-S, míg a nagybetűs jelölés a szerves-S frakció változására vonatkozik. Az azonos kisbetűvel (abc) és azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan $p < 0,05$ szignifikancia szinten.

A gyengébb tápanyagellátottságú homokon a kezeléshatások jobban érvényesültek. A javuló kénellátás a szárbainduláskori, a virágzáskori növény és a búzaszem kén tartalmát is növelte, mely hatás a szulfát forma alkalmazásakor volt kifejezettebb. A szulfát formában alkalmazott javuló kénellátás a szárbainduláskori N-tartalmat is növelte, míg a virágzáskori N-tartalmat inkább csökkentette. A javuló kénellátás a búzaszem N-tartalmát is növelte, de csak a szulfát forma alkalmazásakor.

Virágzáskor a szulfát formájú legkisebb S dózis fokozta a felvett S szerves vegyületekbe való beépülését a kontrollhoz képest, azonban a tovább növekvő S adagok a növényi szövetek intenzívebb szulfátfelhalmozását eredményezték. A legkisebb adagú tioszulfátos kezelésben a kontrollhoz képest szintén kedvezően módosult a szerves- és szulfát-S arányának alakulása, a felvett S főleg a szerves vegyületekbe épült be. A javuló kénellátás azonban nem módosította a szerves-S és szulfát-S arányát (10. ábra).



10. ábra: A tavaszi búza szerves-S és SO_4^{2-} -S formáinak változása virágzáskor homokon

Megjegyzés: A kisbetűs jelölés a szulfát-S, míg a nagybetűs jelölés a szerves-S frakció változására vonatkozik. Az azonos kisbetűvel (abc) és azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan $p < 0,05$ szignifikancia szinten.

4. Az értekezés új tudományos eredményei

1. Igazoltam, hogy a műtrágyázási tartamkísérletben az 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó pozitív kumulált kénmérlegű (+1688 kg S/ha) $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésben, a 2017-ben termesztett őszi búza az irodalmi határértékek alapján (S-tartalom: 0,12-0,15%; N/S: 13-17:1) kénhiányos volt. A kénhiányt a búzaszem 0,10% S-tartalma és 21,5 N/S értéke mellett igazoltam.
2. Méréseimmel bizonyítottam, hogy az őszi búza kénhiányát a N-trágyázás tovább fokozza. Az $N_{100}P_{70}K_{80}$ kezelésben a búzaszem S-tartalma 0,09%, N/S értéke 20,4 volt, a nagyobb adagú $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésben a S-tartalom nem változott (0,10 %), ugyanakkor az N/S értéke nagyobbá vált (21,5).
3. Méréseimmel igazoltam, hogy mészlepedékes csernozjom talajon a 823,5 kg/ha adagú szuperfoszfát S-tartalmát (84,8 kg/ha) az őszi búza mintegy 35%-ban hasznosította a kijuttatás évében. Ekkor a búzaszem S-tartalma közel 50%-kal növekedett (0,22%) a kontrollhoz (0,15%) képest.
4. Megállapítottam, hogy a műtrágyázási tartamkísérletben az 1M KCl; a 0,01M $CaCl_2$ és a 0,016M KH_2PO_4 talajkivonószerek által kivont szulfát-S mennyisége a $CaCl_2 < KCl < KH_2PO_4$ sorrendet követte. Az 1M KCl és 0,01M $CaCl_2$ kivonószerek közel hasonló mennyiségű szulfátot vontak ki a talajból ($CaCl_2$:0,29-4,87 mg/kg; KCl:0,33-6,16 mg/kg). A 0,016M KH_2PO_4 által kivont szulfát mennyisége nagyobb volt (4,33-17,18 mg/kg), ami az adszorbeált szulfát nagyobb mértékű jelenlétét igazolja a mészlepedékes csernozjom talajon.
5. A Pearson-féle korrelációanalízis eredményei alapján megállapítottam, hogy a mészlepedékes csernozjom talajon termesztett őszi búza S-felvétele a legszorosabb kapcsolatot a 0,016M $KH_2PO_4-SO_4^{2-}$ -S értékekkel mutatta ($r=0,734^{**}$) a kénkijuttatás évében. Ezt követte az 1M KCl- SO_4^{2-} -S és a növény kénfelvétele ($r=0,643^{**}$) és végül a 0,01M $CaCl_2-SO_4^{2-}$ -S és a növény kénfelvétele közötti kapcsolat ($r=0,191$).
6. A műtrágyázási tartamkísérlet $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésének talajszelvényében, az 50-70 cm közötti mélységben jelentősen megnövekedett KCl- SO_4^{2-} -S tartalmat igazoltam az 1983-2009 időszakban évenként kijuttatott 823,5 kg/ha adagú szuperfoszfát következményeként. Az $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésű parcellák 0-10 cm talajrétegében az 1M KCl- SO_4^{2-} -S értéke 1,27-4,24 mg/kg-ról 13,45-18,22 mg/kg-ra növekedett az 50-70 cm mélységben és értéke a nem öntözött parcellákon volt nagyobb.

7. Tenyészedényes kísérletben igazoltam, hogy az adott kísérleti körülmények között, a közepes nitrogén- és gyenge kénellátottságú mészlepedékes csernozjom talajon a tavaszi búza termesztésekor a legkedvezőbb nitrogénadag 112 kg N/ha, a kénadag 56 kg S/ha, az N:S arány 1:0,5 volt.

5. Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

1. A gyenge kénellátottságú mészlepedékes csernozjom talajon a 411,8 kg/ha adagú szuperfoszfát kén tartalmát az őszi búza 28,1-42,9%-ban hasznosította a kijuttatás évében, míg a 823,5 kg/ha adag közel hasonló mértékben hasznosult (33,4-36,8%). A 411,8 kg/ha adagú szuperfoszfát alkalmazása is elegendő az őszi búza megfelelő kénellátottságának az eléréséhez.
2. A mészlepedékes csernozjom talaj növény által felvehető szulfáttartalmát a 0,016M KH_2PO_4 kivonószer jellemzi a legjobban ($r=0,734^{**}$), amit szorosan követ a KCl-SO_4^{2-} -S és a növény kénfelvétele közötti kapcsolat ($r=0,643^{**}$). Mindkét kivonószer alkalmas a mészlepedékes csernozjom talaj növény által felvehető kén tartalmának mérésére.
3. Tenyészedényes kísérletben tavaszi búza termesztéskor igazoltam, hogy a gyenge kén- és közepes nitrogénellátottságú mészlepedékes csernozjom talajon a nitrogén- és kénutánpótlás (NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) legkedvezőbb adagja és aránya, ami a legnagyobb termést eredményezte: 112 kg N/ha, 56 kg S/ha, N/S=1:0,5 arány.
4. A szulfát-S és tioszulfát-S tartalmú műtrágyák kén szolgáltató képessége a humuszos homok talajon és a mészlepedékes csernozjom talajon jelentősen eltérhet. A tioszulfát kénforma kén szolgáltató képessége az adott kísérleti körülmények között homok talajon kisebb intenzitású volt, mint mészlepedékes csernozjom talajon.

6. Irodalomjegyzék

1. *Balláné, K. A.* 2000. Az ionkromatográfia lehetőségei és alkalmazása talaj- és növénykivonatok aniontartalmának meghatározására, PhD értekezés, Debrecen
2. *Bornman, J. J.* 1990. Fosfaatbemesting van mielies. Voeding van die grond of die plant? (Phosphate fertilization of maize. Feeding the soil or the plant?) Kynoch Customer, Aug. 1,2.
3. *Brook, R. H.* 1979. Sulphur in Agricultural, Abstracts on Tropical Agric. 5(9), 9-20.
4. *Goos, R. J. - Westfall, D. G. - Ludwick, A. E. - Goris, J. E.* 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. *Agronomy Journal*, 74, 130–133.
5. *Hue, N. V. - Adams, F. - Evans, C. E.* 1984. Plant available sulfur as measured by soil-solution sulfate and phosphate extractable sulfate in an ultisoil. *Agron. J.* 76, 726-730.
6. *Nor, Y. M. - Tabatabai M. A.* 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 41, 736-741.
7. *Randall, P. J. - Spencer, K. - Freney, J. R.* 1981. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat. I Concentrations of sulphur and nitrogen and the nitrogen to sulphur ratio in grain in relation to the yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 203-212.
8. *Reussi, N. - Echeverría, H. E. - Rozas, H. S.* 2011. Diagnosing sulphur deficiency in spring red wheat: Plant analysis. *Journal of Plant Nutrition*, 34(4), 573 – 589.
9. *Singh, R. - Bhumbla, D. K. - Keefer, R. F.* 2011. Recommended Soil Sulfate-S Tests, In.: Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States, *Cooperative Bulletin*, 493, 58-60.
10. *Tabatabai, M. A. - Bremner, J. M.* 1970. Arysulfatase activity of soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 34, 225-229.
11. *Tiwari, K. N. - Nigam, V. - Pathak, A. N.* 1985. Evaluation of some soil test methods for diagnosing S deficiency in alluvial soils of U.P. *Bull CSAUA Kanpur* 46.
12. *Wainwright, M.* 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy* 37, 349-396.

7. Publikációk az értekezés témakörében



**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/410/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Juhász Evelin Kármén
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10064266

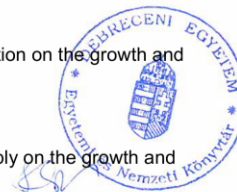
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. Balláné Kovács, A., Béni, Á., **Juhász, E. K.**: Eltérő arányú nitrogén- és kéntrágyázás, valamint az eltérő vízellátás hatása a tavaszi búza termésére és tápelemtartalmára.
In: A talajtan és a kapcsolódó tudományok időszerű kérdései. Szerk.: Balláné Kovács Andrea, Tállai Magdolna, Kocsisné Demjén Ágnes, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 42-52, 2021. ISBN: 9789633189368

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (5)

2. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: Effect of different sources and doses of sulphur on yield, nutrient content and uptake by spring wheat.
Agrártud. Közl. 2021 (1), 109-115, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8499>
3. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: Evaluating changes in nitrogen and sulphur content in a soil-plant system in a long-term fertilization experiment.
Agrártud. Közl. 2020 (2), 77-85, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/2/3753>
4. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: Evaluating of soil sulphur forms changes in long-term field experiments of Látókép.
Agrártud. Közl. 2, 71-76, 2019. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/3681>
5. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: Impact of nitrogen and sulphur fertilization on the growth and micronutrient content of spring wheat (*Triticum aestivum* L.).
Agrártud. Közl. 150, 211-219, 2018. ISSN: 1587-1282.
6. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: The effect of sulphur and nitrogen supply on the growth and nutrient content of spring wheat (*Triticum aestivum* L.).
Agrártud. Közl. 74, 65-70, 2018. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/74/1666>





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

7. **Juhász, E. K.**, Krempner, R., Béni, Á., Balláné Kovács, A.: Residual effect of superphosphate on the sulphur status of soil - and plants in a long-term NPK fertilisation experiment - on a Chernozem in Hungary ?
Plant Soil Environ. 67, 625-632, 2021. ISSN: 1214-1178.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/247/2021-PSE>
IF: 2.328

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

8. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: A talaj oldható kén tartalmának meghatározása különböző kivonószerek alkalmazásával.
Talajvédelem. Kisz., 37-47, 2020. ISSN: 1216-9560.
9. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: Eltérő kénformájú és N:S arányú startertrágyák hatása a tavaszi búza növekedésére, nitrogén- és kén tartalmára.
In: XXVI. Ifjúsági Tudományos Fórum Keszthely : Konferenciakötet. Szerk.: Bene Szabolcs, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 6, 2020. ISBN: 9789633961438

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

10. **Juhász, E. K.**, Béni, Á., Balláné Kovács, A.: Evaluating of changes of Nitrogen-, sulphur content and N/S ratio of winter wheat in long-term fertilization experiment.
In: 2nd Conference on Long-Term Field Experiments on the 90th anniversary of Westsik's experiment : proceedings book. Ed.: Makádi Marianna, Debreceni Egyetem AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet, Nyíregyháza, 125-126, 2019. ISBN: 9789634901495
11. **Juhász, E. K.**, Béni, Á., Orosz-Tóth, M., Balláné Kovács, A.: Impacts of different fertilization methods on the yield and N-, S-uptake of spring wheat (*Triticum aestivum* L.).
In: 17th Alps-Adria Scientific Workshop : Abstract book. Ed.: by Kende Zoltán, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 140-141, 2018. ISBN: 9789632697345





További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

12. Béni, Á., **Juhász, E. K.**, Ragán, P., Rátonyi, T., Fekete, I.: Saját fejlesztésű terepi talaj humusztartalom mérőrendszer kifejlesztése.
In: A talajtan és a kapcsolódó tudományok időszerű kérdései. Szerk.: Balláné Kovács Andrea, Tállai Magdolna, Kocsisné Demjén Ágnes, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 53-58, 2021. ISBN: 9789633189368

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

13. Béni, Á., **Juhász, E. K.**, Ragán, P., Rátonyi, T., Várbíró, G., Fekete, I.: Development of soil organic matter measurement system.
Soil Water Res. 16 (3), 174-179, 2021. ISSN: 1801-5395.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/18/2021-SWR>
IF: 2.685
14. Salifu, M., Dóka, L. F., Balláné Kovács, A., **Juhász, E. K.**: The Impact of Nitrogen and Water Stress on Maize Genotypes at the Vegetative Stage.
Int J Emerg Tech Adv Eng. 10 (5), 141-145, 2020. ISSN: 2250-2459.
15. Balláné Kovács, A., Kátai, J., **Juhász, E. K.**, Nagy, J., Rátonyi, T.: Characteristics of chernozem soil in a long term field experiment in Hungary.
Nat. Res. Sustain. Develop. 9 (2), 130-135, 2019. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v9i2.030>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

16. Gorliczay, E., **Juhász, E. K.**, Mézes, L., Tamás, J.: Különböző szemcsefrakciójú előkezelt baromfitrágya minták elemtartalmának vizsgálata.
In: Tavaszi Szél 2017 : tanulmánykötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 30-43, 2017. ISBN: 9786155586187
17. Orosz-Tóth, M., **Juhász, E. K.**, Kincses, S.: Olasz varasodásra rezisztens almafajták.
In: LIX. Georgikon Napok : kivonat-kötet : programfüzet, valamint az elhangzó és poszter előadások rövid kivonatainak gyűjteménye : [a múlt mérföldkövei és a jövő kihívásai - 220 éves a Georgikon] : [2017. szeptember 28-29., Keszthely]. Szerk.: Nagy Zita Barbara
Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 418-427, 2017. ISBN: 9789639639881





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

18. **Juhász, E. K.**, Balláné Kovács, A.: A talaj oldható kéntartalmának meghatározása különböző kivonószerek alkalmazásával.
In: Talajtani vándorgyűlés 2018. : Program és absztraktfüzet. Szerk.: Bakacsi Zsófia, Kovács Zsófia, Koós Sándor, Magyar Talajtani Társaság, Budapest, 44-45, 2018.
19. Gorliczay, E., **Juhász, E. K.**, Mézes, L., Tamás, J.: Különböző szemcsefrakciójú előkezelt baromfitrágya minták elemtartalmának vizsgálata.
In: Tavaszí szél konferencia 2017 nemzetközi multidiszciplináris konferencia : absztraktkötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Kohus Zsolt, Szabó P. Katalin, Tokody Dániel, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 10, 2017. ISBN: 9786155586149

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 5,013

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
2,328**

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, 2022.08.31.

