

DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori iskola vezető:

Prof. Dr. Holb Imre
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Balláné Dr. Kovács Andrea
egyetemi docens

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

Készítette:

Juhász Evelin Kármén
doktorjelölt

Debrecen
2023

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

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és kertészeti tudományágban

Írta: Juhász Evelin Kármén okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

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

Témavezető: Balláné Dr. Kovács Andrea, egyetemi docens

Az értekezés bírálói:

| név | fokozat | aláírás |
|-------|---------|---------|
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |

A bírálóbizottság:

| név | fokozat | aláírás |
|---------------|---------|---------|
| elnök: _____ | _____ | _____ |
| tag: _____ | _____ | _____ |
| titkár: _____ | _____ | _____ |

Az értekezés védésének időpontja: 20... ..

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| 1. BEVEZETÉS | 5 |
| 2. CÉLKITŰZÉS | 5 |
| 3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS | 8 |
| 3.1. Kénvegyületek a talajban..... | 8 |
| 3.1.1. Szerves kénvegyületek a talajban | 8 |
| 3.1.2. Szervetlen kénvegyületek a talajban..... | 11 |
| 3.2. A talaj oldható S-tartalmának meghatározása | 13 |
| 3.3. A talajok kén körforgalma | 15 |
| 3.3.1. Szántóföldi ökoszisztémák S-inputjai..... | 16 |
| 3.3.2. A talajok kénveszteségei..... | 19 |
| 3.4. A búza jellemzése, ökológiai igénye | 20 |
| 3.5. A búzaszem minőségi paraméterei | 22 |
| 3.6. A kén növényélettani szerepe, a növények kénforgalma..... | 23 |
| 3.7. A kén szerepe a búzatermesztésben..... | 24 |
| 3.8. A kénhiány tünetei | 27 |
| 4. ANYAG ÉS MÓDSZER | 28 |
| 4.1. Szabadföldi kisparcellás műtrágyázási tartamkísérlet | 28 |
| 4.1.1. A kísérlet jellemzése | 28 |
| 4.1.2. Időjárási körülmények | 31 |
| 4.1.3. Növénymintavételek, növényminta előkészítés..... | 32 |
| 4.1.4. Talajmintavételek, talajminta előkészítés | 33 |
| 4.1.5. Egyszerűsített nitrogén- és kénmérleg számítása | 33 |
| 4.2. Tenyészedényes kísérletek..... | 34 |
| 4.2.1. A szárazságstressz és a növekvő kénarányú N- és S-tartalmú műtrágyák hatását elemző kísérlet bemutatása | 35 |
| 4.2.2. Különböző kénformájú és különböző N, S arányú kezelések hatásvizsgálatára irányuló kísérletek | 37 |
| 4.2.3. Növény- és talajmintavételek módja a tenyészedényes kísérletekben..... | 39 |
| 4.2.4. Műtrágyahasznosulás | 39 |
| 4.3. Az alkalmazott talaj- és növényanalitikai módszerek..... | 40 |
| 4.3.1. A búza N- és S-tartalmának meghatározása | 40 |
| 4.3.2. A növényminták szulfáttartalmának (SO_4^{2-}) meghatározása | 40 |
| 4.3.3. A búzaszemek aminosav-összetételének meghatározása | 41 |
| 4.3.4. A talaj oldható szulfátformáinak mérése | 41 |
| 4.3.5. A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitásának meghatározása | 42 |

| | |
|---|----|
| 4.4. Adatfeldolgozás, az adatok statisztikai értékelése | 43 |
| 5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK | 45 |
| 5.1. A kénforgalom egyes elemeinek változása az NPK műtrágyázási tartamkísérletben..... | 45 |
| 5.1.1. A műtrágyázási tartamkísérlet egyszerűsített nitrogén- és kénmérlege 1983-2016 közötti időszakban | 45 |
| 5.1.2. Talajvizsgálati eredmények | 46 |
| 5.1.2.1. A talaj 1M KCl; 0,01M CaCl ₂ és 0,016M KH ₂ PO ₄ oldható szulfát-S tartalma az őszi búza tenyészideje alatt | 46 |
| 5.1.2.1.1. A trágyázás és az öntözés hatása a feltalaj eltérő módszerekkel meghatározott szulfáttartalmára az őszi búza szárbaindulásának időszakában | 46 |
| 5.1.2.1.2. A trágyázás és az öntözés hatása a feltalaj eltérő módszerekkel meghatározott szulfáttartalmára az őszi búza virágzásának időszakában | 48 |
| 5.1.2.1.3. A trágyázás és az öntözés hatása a feltalaj eltérő módszerekkel meghatározott szulfáttartalmára az őszi búza teljes érésének időszakában | 50 |
| 5.1.2.2. A talaj 1M KCl oldható szulfát-S tartalmának változása az őszi búza tenyészideje alatt..... | 52 |
| 5.1.2.3. A talaj 1M KCl és 0,016M KH ₂ PO ₄ oldható szulfát-S tartalmának változása a 0-100 cm mélységben | 54 |
| 5.1.2.4. A talaj KCl, CaCl ₂ és a KH ₂ PO ₄ oldható SO ₄ ²⁻ -S tartalma közötti kapcsolat vizsgálata Pearson-féle korreláció és regresszióanalízis alapján | 57 |
| 5.1.2.5. A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitása..... | 60 |
| 5.1.3. Növényvizsgálati eredmények | 62 |
| 5.1.3.1. Az őszi búza termésének változása 2017-2019 közötti években | 62 |
| 5.1.3.2. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének alakulása a 2017-2019 időszakban | 63 |
| 5.1.3.2.1. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása szárbainduláskor | 63 |
| 5.1.3.2.2. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása virágzáskor | 65 |
| 5.1.3.2.3. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása teljes éréskor | 67 |
| 5.1.3.3. A búzaszem metionin- és ciszteintartalmának változása | 70 |
| 5.1.4. A talaj KCl, CaCl ₂ és KH ₂ PO ₄ oldható szulfát-S tartalma és a növényi S-tartalom közötti korreláció | 71 |
| 5.1.5. Az őszi búza szerves és szervetlen kénformáinak változása | 73 |
| 5.1.5.1. Az őszi búza szerves-S és szulfát-S tartalmának változása szárbainduláskor | 73 |
| 5.1.5.2. Az őszi búza szerves-S és szulfát-S tartalmának változása virágzáskor ... | 76 |
| 5.1.5.3. A búzaszalma szerves-S és szulfát-S tartalmának változása teljes éréskor | 78 |
| 5.1.6. A szuperfoszfát CaSO ₄ -S tartalmának hasznosulása a kijuttatás évében | 81 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.7. A műtrágyázási tartamkísérlet nitrogén- és kénmérlege a mért adatok alapján 2017, 2018, 2019 években | 81 |
| 5.2. A kénforgalom egyes elemeinek változása tenyészedényes kísérletekben | 83 |
| 5.2.1. A szárazságstressz és a növekvő kénarányú N- és S-tartalmú műtrágyák hatása a tavaszi búza produktivására, S-, N-tartalmára, N/S értékére | 83 |
| 5.2.1.1. A biomaszatömeg változása a tavaszi búza egyes fenofázisaiban | 83 |
| 5.2.1.2. A tavaszi búza N-, S-tartalmának, kénformáinak és N/S értékének változása..... | 85 |
| 5.2.1.3. A növény által kivont nitrogén és kén mennyisége | 89 |
| 5.2.1.4. A talaj 1M KCl-, 0,01M CaCl ₂ - és 0,016M KH ₂ PO ₄ -oldható szulfát-S tartalmának változása..... | 91 |
| 5.2.1.5. Összefüggésvizsgálat a talaj KCl, a CaCl ₂ és a KH ₂ PO ₄ oldható szulfát-S tartalma és a növényi S-felvétel között..... | 91 |
| 5.2.1.6. A N- és S-tartalmú műtrágyák hasznosulása | 92 |
| 5.2.2. Különböző kénformák és különböző N, S arányok hatása a tavaszi búza termésére, S-, N-tartalmára, N/S értékére..... | 94 |
| 5.2.2.1. A biomaszatömeg változása a búza egyes fenofázisaiban | 94 |
| 5.2.2.2. A tavaszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása | 96 |
| 5.2.2.3. A talaj KCl, CaCl ₂ és KH ₂ PO ₄ oldható szulfát-S tartalmának alakulása. | 102 |
| 6. KÖVETKEZTETÉSEK..... | 104 |
| 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK..... | 111 |
| 8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK..... | 113 |
| 9. ÖSSZEFOGLALÁS | 114 |
| 10. SUMMARY..... | 117 |
| 11. IRODALOMJEGYZÉK | 119 |
| 12. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN | 140 |
| 13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 144 |
| 14. NYILATKOZATOK | 145 |

1. BEVEZETÉS

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.

2. CÉLKITŰZÉS

A kísérleti munkám célkitűzései az eltérő NPK ellátás és az öntözés hatásvizsgálatára irányultak a kénforgalom egyes elemeinek változására vonatkozóan.

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem látóképi kísérleti telepén, az 1983 óta fenntartott NPK műtrágyázási kisparcellás 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 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 éveken 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 céloom 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.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Kénvegyületek a talajban

A S a földkéreg ásványai között a 13. leggyakoribb elem és megtalálható a magmás és az üledékes kőzetekben egyaránt (KALE, 2002).

A talajban a kén szerves és szerves formában is jelen van, melyek mineralizációs, immobilizációs, redukciós és oxidációs folyamatok révén alakulnak át egyik formából a másikba. Alapvetően ezek a folyamatok határozzák meg a talaj rövid- és hosszútávú kénellátó képességét (KOVAR és GRANT, 2011; SIWIK-ZIOMEK et al., 2013). A szerves és szerves kénformák egymáshoz viszonyított aránya igen változó, a talajtípus, a talajmélység és a gazdálkodási mód is befolyásolja (KANWAR és MUHADAR, 1986).

A növényi tápelemfelvétel szempontjából a szerves S-forma a jelentősebb, mivel a S-t a növények főleg szulfát-ionként veszik fel a talajoldatból. A szulfát - amely az aerob talajban a szerves S stabil formája - a talaj összes S-tartalmának csak kis részét képezi. A szerves S-vegyületek nagy mennyiségben vannak jelen a talajban és jellemzően immobilisak, a szerves S-formák viszont jóval mozgékonyabbak, így gyakran előfordul, hogy a szulfát mélyebb rétegekbe mosódik (SCHERER, 2001).

3.1.1. Szerves kénvegyületek a talajban

A talaj összes S-tartalmának kb. 95% -a szerves kötésben található, mely többnyire a talaj felső rétegeiben van jelen. Ez a szerves S-tartalék, bár nem áll közvetlenül rendelkezésre a növények számára, potenciálisan fontos S-forrás lehet (KERTÉSZ és MIRLEAU, 2004; WANG et al., 2006; ERIKSEN, 2009).

STEVENSON (1986) szerint a talaj szerves S-tartalmának egy kis része, csupán 1-3%-a mikrobiális biomassza S-nek tekinthető. WU et al. (1993) szerint ez az érték nagyobb, a szerves kén-tartalom 1,5-5%-át teszi ki a mikrobiális biomassza S.

A szerves S-formák közé tartoznak a szulfát-észterek (C-O-SO₃), a szénhez kötött nem aminosav kén (C-S), illetve az aminosavakban levő C-hez kötött kén (C-S) (KANWAR és MUHADAR, 1986).

A C-S kötést tartalmazó vegyületek GHANI et al. (1991) elemzése szerint a mineralizált kén legfontosabb forrásai. Ebbe a csoportba soroljuk a S-tartalmú aminosavakat, tiolokat, diszulfidokat, szulfonokat és szulfonsavakat.

A szulfát-észterek (C-O-SO₃) alkotják a talajok szerves S-tartalmának legkevésbé kutatott csoportját (MCLAREN et al., 1985). Ez a forma csak kötéseik felbomlása után válhat a növények számára felvehetővé, mely folyamatot a szulfatázok, szulfát-észter

hidrolázok katalizálnak (TABATABAI és BREMNER, 1970; ZARDI és BUCHER, 2001). A talajban a szulfát-észterek az összes S-tartalomnak egy jelentős részét képviselik, FITZGERALD (1976) szerint ez a mennyiség 25,3-93,1% között mozog. A szulfát-észterekből könnyebben válik a növény számára felvehetővé a szulfát, mint a szénhez kötött kénformákból (HUTCHINSON, 1979; SCHINDLER et al., 1986), ugyanis a szulfát-észterek könnyebben mineralizálódnak, mint a szénhez kötött kénformák (MCGILL és COLE, 1981).

Ahhoz, hogy a növény számára a szerves kötésben lévő S felvehetővé váljon, először mineralizálnia kell. A talaj szerves kötésben lévő S-formáinak feltáródását, 30-35 °C körüli hőmérsékleten és szabadföldi vízkapacitás közeli értéken ERIKSEN (1994) évente 2%-ra, SANCHEZ (1976) évi 1-10%-ra, SCHOENAU és MALHI (2008) 1-5%-ra becsülik.

MCGILL és COLE (1981) szerint a mineralizáció kétféleképpen játszódik le, biokémiai és biológiai úton.

Biológiai út esetén a mikroorganizmusok felhasználják a C-hez kötött S-forrásokat és ennek melléktermékeként szulfát keletkezik.

Biokémiai mineralizáció során a szulfáttartalom túl kevés a mikrobiológiai S-igény kielégítéséhez. Ekkor a szulfát felszabadulása a szulfát-észter készletből enzimatisz hidrolízis útján történik. Ebben a folyamatban vesznek részt a szulfatázok, melyek osztályozása a hidrolizált szulfát-észterek alapján történik, és e szerint aril-, alkil-, szteroid-, glüko-, condro- és myco-szulfatázokat különböztetünk meg. Ezek közül elsősorban az aril-szulfatáz enzim talajban betöltött szerepét vizsgálták (GERMIDA et al., 1992). Az enzimaktivitás, azon belül is az aril-szulfatáz aktivitás, az egyik leggyakrabban alkalmazott paraméter a talaj mikrobiológiai állapotának értékelésére (ACOSTA-MARTINEZ és TABATABAI, 2000; WYSZKOWSKA et al., 2013).

ELSGAARD et al. (2002) szoros kapcsolatot talált az aril-szulfatáz aktivitása és a talaj szerves C-tartalma között. A talaj aril-szulfatáz aktivitása a szerves S mineralizációjával is kedvező kapcsolatot mutatott, viszont a szerzők hangsúlyozzák, hogy ez az enzimaktivitást általánosságban befolyásoló tényezők miatt is lehet (CASTELLANO és DICK, 1991; LEE és SPEIR, 1979). SIWIK-ZIOMEK és KOPER (2010) megállapították, hogy a talaj nagy szulfát- és nitráttartalma gátolja az aril-szulfatáz aktivitást. A talaj aril-szulfatáz aktivitása a természetű növényfajtól, a talajtípustól, a talajhasználatától és a nehézfémekkel való szennyeződéstől is függ (LI és SARAH, 2003).

A talajban a S átalakulása főként mikrobiális folyamatok révén játszódik le. A szerves S mineralizációját így a hőmérséklet, a talajnedvesség, a pH, a növényborítottság, a talaj levegőzöttsége és a szerves anyag C/S értéke befolyásolja (ERIKSEN et al., 1998; KALOCSAI et al., 2003; HAVLIN et al., 2005; SCHOENAU és MALHI, 2008).

HAVLIN et al. (2005) szerint 10 °C alatti és 40 °C feletti hőmérsékleten a kén mineralizációs rátája alacsony és megállapítja, hogy a mineralizáció számára a 30 °C körüli hőmérséklet az optimális. WILLIAMS (1975) és MACDONALD et al. (1995) rámutatnak arra, hogy a S oxidációja a hőmérséklet emelkedésével növekszik, így nyári időszakban a mineralizáció intenzívebb.

A hőmérséklet mellett a nedvességtartalom is befolyásolja a szerves S ásványosodási folyamatait. CHAUDHRY és CORNFIELD (1967) és HAVLIN et al. (2005) szerint a mineralizációhoz szükséges optimális talajnedvesség a szabadföldi vízkapacitás 60%-a.

A szerves S mineralizációjára a talajok kémhatása is hatással van. CHOPRA és KANWAR (1968) kísérletében rámutatott arra, hogy meszezés során bekövetkező pH emelkedés hatására a szerves S ásványosodása fokozódott.

Az ásványosodás mértékére a növényborítottság is hatást gyakorolhat. Az ásványosodás növényel borított területen intenzívebb, mint növények hiányában, mely a rizoszférában jelen lévő nagyobb mikroorganizmusszámnak köszönhető (rizoszférhatás) (FRENEY és SPENCER, 1960; KANWAR és MUHADAR, 1986).

A S mineralizációja szorosan kapcsolódik a talaj C/S értékének alakulásához (TABATABAI és BREMNER, 1972). BARROW (1960) és STEWART et al. (1966) megállapították, hogy a szerves S mineralizációja akkor következik be, ha a C/S kisebb, mint 200:1. Amennyiben a C/S nagyobb, mint 400:1, illetve, ha a szerves anyag S-tartalma kisebb, mint 0,15%, akkor a S immobilizálódik. 200-400 közötti C/S esetén a folyamat mindkét irányban lejátszódhat (DICK et al., 2008).

A kén mineralizációját a szerves anyag N-tartalma is befolyásolja. ANDERSON (1975) szerint a talajok N/S értéke 8-12:1 között mozog. WHITE (1959) szerint az N/S semleges talajokban átlagosan 7 feletti, de nagyobb C/N és C/S értékekkel rendelkező talajokban, 9-14 között jellemző. JANZEN és BETTANY (1984) szerint a vályog talajok optimális N/S értéke 7:1, és ezen érték felett a termésmennyiség csökkenését figyelték meg, bár ennek a hatásnak az élettani alapjait még nem tisztázták.

3.1.2. Szervetlen kénvegyületek a talajban

A talajban a növények számára elérhető szervetlen S-forma többnyire a szulfát-ion (SO_4^{2-}), mely megtalálható a talajoldatban és adszorbeált formában is (BARBER, 1995). A talajban a szulfát-ion kationokkal összekapcsolódva, Na-, K-, Mg- és Ca-szulfátokat alkothat és az 1:1 típusú agyagásványok, valamint a Fe- és Al-oxidok anionkötő helyein is adszorbeálódhat. A kén redukív viszonyok között szulfidok és egyéb redukált formákban is jelen lehet (KALOCSAI, 2003). Az erősen savas vagy redukált talajokban kis mennyiségben redukált kénvegyületek is találhatóak, mint pl. szulfid (S^{2-}), elemi kén (S^0), tioszulfát ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), tetratiónt ($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$), szulfit (SO_3^{2-}) (KONOPKA et al., 1986). Arid régiókban, a talajokban leginkább a mérsékelt oldódó gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) és a jobban oldódó keserűsó ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) előfordulása jellemző.

A kén szervetlen formája a talajban lévő összes S-tartalom kevesebb, mint 5%-át teszi ki, és a szerves S mineralizációjából, a légköri ülepedésből, a peszticidekből, valamint szerves trágyákból és műtrágyákból származhat (LUCHETA és LAMBAIS, 2012).

A SO_4^{2-} a talajoldatban igen kis koncentrációban van jelen (néhány mg/l). Ez a mennyiség folyamatosan változik a növények kénfelvételétől, a S-tartalmú műtrágyák alkalmazásától, a mineralizáció és az immobilizáció egyensúlyától függően (MCLAREN és CAMERON, 2004). A SO_4^{2-} koncentrációja a talajoldatban általában télen és kora tavasszal kisebb a kimosódás és a lassú mineralizációs folyamatok miatt (CASTELLANO és DICK, 1990).

A szulfát-ionok adszorpciója a talajkolloidok felületéhez igen gyenge (a liotróp sorozatban a foszfát-ion után helyezkedik el), így elsősorban laza talajokon könnyedén kimosódhatnak (KALOCSAI, 2003).

A talajok szulfátadszorpciójára számos tényező hatással van. Az adszorpciót jelentősen befolyásolja a talaj kémhatása. SCHERER (2009) megfigyelte, hogy a pH érték csökkenésével az adszorpció mértéke növekedett, és maximumát pH=3 értéken érte el. ENSMINGER (1954), NELSON (1964) és ZHANG et al. (1996) is megállapították, hogy a pH érték növekedésével a talajok szulfátadszorpciója csökken. 6,5-nél nagyobb pH értéken az adszorpció mértéke elhanyagolható és a szulfát többsége a talajoldatban található (CURTIN és SYERS, 1990). Savas talajban viszont a szulfát gyakran adszorbeálódik Fe- és Al-hidroxidok felületén és Al-szilikát agyagásványok szélein (BOHN et al., 1986).

Egy bizonyos pH-érték mellett az agyagásványok felületén kötött kationok is hatással lehetnek a talajok szulfát-ion adszorpciójára. Legkisebb az adszorbeált mennyiség, ha az agyagásványon kötött kation a kálium (CHAO et al., 1962).

A szulfátadszorpciót egyéb anionok jelenléte is befolyásolja (TISDALE et al., 1985). Az adszorbeált szulfát kevésbé kötődik a kolloidok felületéhez az adszorpció helyeken, mint az ortofoszfát (HPO_4^{2-}), tehát az oldható foszfor műtrágyák alkalmazása növeli a szulfát hozzáférhetőségét, ugyanis a foszfát-ionok lecserélik a szulfát-ionokat a kolloidok felületéről (KOVAR és GRANT, 2011). Ezt a következtetést ELFATTAH et al. (1991), HILAL és ELFATTAH (1987) tenyészedényes kísérletből származó eredményei, valamint BOLAN et al. (1988) talajinkubációs vizsgálatai is alátámasztják.

A talajok szulfátadszorpcióját a talaj szervesanyag-tartalma is befolyásolja, amelynek csökkenésével az adszorpció is mérséklődik (CHAO et al., 1962; KALTRUN, 1996). BIER és SINGH (2018) szerint is hatással van a szervesanyag-tartalom a szulfát adszorpcióra, mivel a szerves anionok és a szulfát versengenek az adszorpció helyekért.

Mivel az adszorpció nem mikrobiológiai, hanem fizikai és kémiai folyamatok által kontrollált folyamat, ezért a talaj hőmérséklete és nedvességtartalma csak igen kismértékben befolyásolja a SO_4^{2-} adszorpcióját (WATWOOD et al., 1988).

Ha a talajban az adszorbeált SO_4^{2-} forma a növények számára nem elérhető, célszerű olyan kezeléseket alkalmazni, melyek a retenció csökkenésével tudják fokozni a SO_4^{2-} növények számára való hozzáférhetőségét (ELKINS és ENSMINGER, 1971). MEHLICH (1964) megállapította, hogy az adszorbeált SO_4^{2-} felszabadulása összefüggésben van a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ alkalmazásával, amely feltételezhetően a megnövekedett pH eredménye. Ezért jellemzően kevés SO_4^{2-} adszorpcióra számíthatunk a megfelelően meszezett felszíni talajokban (EVANS, 1986). Ezenkívül a SO_4^{2-} könnyen deszorbeálódik foszfát által, ezért a meszezés mellett a szuperfoszfát alkalmazása is csökkenti a SO_4^{2-} retencióját (ENSMINGER, 1954).

Feltételezhető továbbá az is, hogy a felsőbb talajrétegekben kevesebb SO_4^{2-} adszorbeálódik, mint az alsóbb rétegekben, ugyanis a felsőbb rétegekben felhalmozódott nagyobb szervesanyag és a foszfát-tartalom blokkolja az adszorpció helyeket (SCHERER, 2001). Azok a kísérletek, amelyek a talaj mélységének hatását vizsgálják a SO_4^{2-} adszorpciójára azonban nem egyeznek. Míg BARTON et al. (1999) megállapították, hogy a mélyebb rétegek adszorpciókapacitása kisebb, addig COUTO et

al. (1979) kísérletükben arra a következtetésre jutottak, hogy a SO_4^{2-} adszorpciójának mértéke növekszik a talaj mélységével.

A kolloidok felületén kötött szulfát dinamikus egyensúlyban van a talajoldatban lévő szulfáttal, ezért képes növelni az oldat szulfátkoncentrációját, ha hiány lépne fel a növények S-felvétele révén. Ezért az adszorbeált szulfát jelentős része a növény által felvehető S-formának tekinthető (SCHOENAU és MALHI, 2008).

A szulfát-ion adszorpciója összességében tehát egy fontos mechanizmus lehet a talajok S-tartalmának visszatartásában, különösen kimosódásra hajlamos területeken (BOHN et al., 1986; SCHERER, 2009).

3.2. A talaj oldható S-tartalmának meghatározása

A növények a S-t a talajból szulfát-ion formájában veszik fel. Fontos ismernünk a növény által aktuálisan felvehető forma mennyiségét, azonban a talajokban a szulfát koncentrációja térben és időben egyaránt nagyon változó, ez pedig megnehezíti a szulfát növények általi hozzáférhetőségének értékelését (SCHNUG és HANEKLAUS, 1998).

A talajvizsgálati módszerek kulcsfontosságú tényezők a tápanyaggazdálkodásban, hiszen a kapott eredmények nagy szerepet játszhatnak a termelők növénytermesztéssel kapcsolatos döntéseiben (JONES et al., 1991). A talajvizsgálatok egyik fő célja a talaj termékenység állapota, tápanyagszolgáltató képességének pontos értékelése, mely összefüggésben van a növényi szükségletekkel (STURGEON, 2000).

A talaj oldható, szervesetlen kénformáinak méréséhez különböző talajextrakciós eljárásokat alkalmaznak világszerte. E módszerek nagymértékben különböznek egymástól, sok esetben eltérő a talajextrahálószer minősége, a koncentrációja, a talaj és a kivonószer aránya és az extrahálás időtartama (ALEWELL, 1993; TAN et al., 1994).

Az elmúlt években számos kivonószert javasoltak a talaj növények számára felvehető szulfáttartalmának meghatározásához. Néhány esetben szoros összefüggést találtak a talaj oldható S-tartalma és a növények S-felvétele között (FOX et al., 1964; WESTERMANN, 1974; KOWALENKO és LOWS, 1975; WARMAN és SAMPSON, 1994). Más esetekben nem találtak összefüggést, vagy csupán gyenge kapcsolat volt jellemző a két paraméter között (TIMMERMANN et al., 1995; KULHÁNEK et al., 2014).

Az eltérő kémiai tulajdonságú és koncentrációjú kivonószerek a szulfát-ként különböző mértékben vonják ki a talajból, mely kivont mennyiségek egyfajta becslést adhatnak a növény által felvehető kén-tartalomról (FOX et al., 1964; GOH és TSUJI,

1979; SPENCER és FRENEY, 1960). Fontos kiemelni, hogy az így meghatározott értékek a talaj pillanatnyi S-szolgáltató képességéről adnak információt és nem a teljes vegetációs időszakra vonatkoznak (WATKINSON és PERROTT, 1990; BLAIR et al., 1991).

A leggyakrabban vizsgált kivonószerek közé a desztillált víz, a híg kalcium-klorid oldat és a foszfát-tartalmú kivonószerek ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4) tartoznak (ANDERSON et al., 1992; TAN et al., 1994; PADHAN et al., 2016).

A desztillált vizet és a gyenge sóoldatokat (kálium-, nátrium-, kalcium- vagy lítium-klorid) elsősorban a könnyen kimosódó szulfát meghatározásához használják (PALOMINO et al., 2005). Magyarországon az 1M KCl kivonószert alkalmazzák a talaj oldható szulfáttartalmának méréséhez (MSZ 20135:1999).

A foszfát-tartalmú kivonószerekkel kivont és a vízdoldható szulfát-ionok mennyiségének különbségéből SANTOSO et al. (1995) az adszorbeált szulfátforma mennyiségét határozta meg. A foszfát-tartalmú kivonószerek azokban a talajokban mérnek több szulfátot, ahol a szulfát adszorpciója dominál, mivel a foszfát kiszorítja a szulfát-ionokat a kolloidok felületéről (FOX et al., 1964).

ESMEL et al. (2010) szerint a vizes extrakció nem lehet megbízható, mert eredményei alapján az nem jól korrelál a növényi paraméterekkel, beleértve a terméshozamot is.

ZHAO és MCGRATH (1994) tavaszi búzával beállított tenyészedényes kísérletben hasonlította össze a desztillált víz, a 0,016M KH_2PO_4 , 0,01M CaCl_2 és a 0,01M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ kivonószerek hatékonyságát a növény általi felvehetőség szempontjából. A szerzők az adszorbeált S növény táplálási jelentőségét hangsúlyozva elsősorban a KH_2PO_4 kivonószert alkalmazását javasolták.

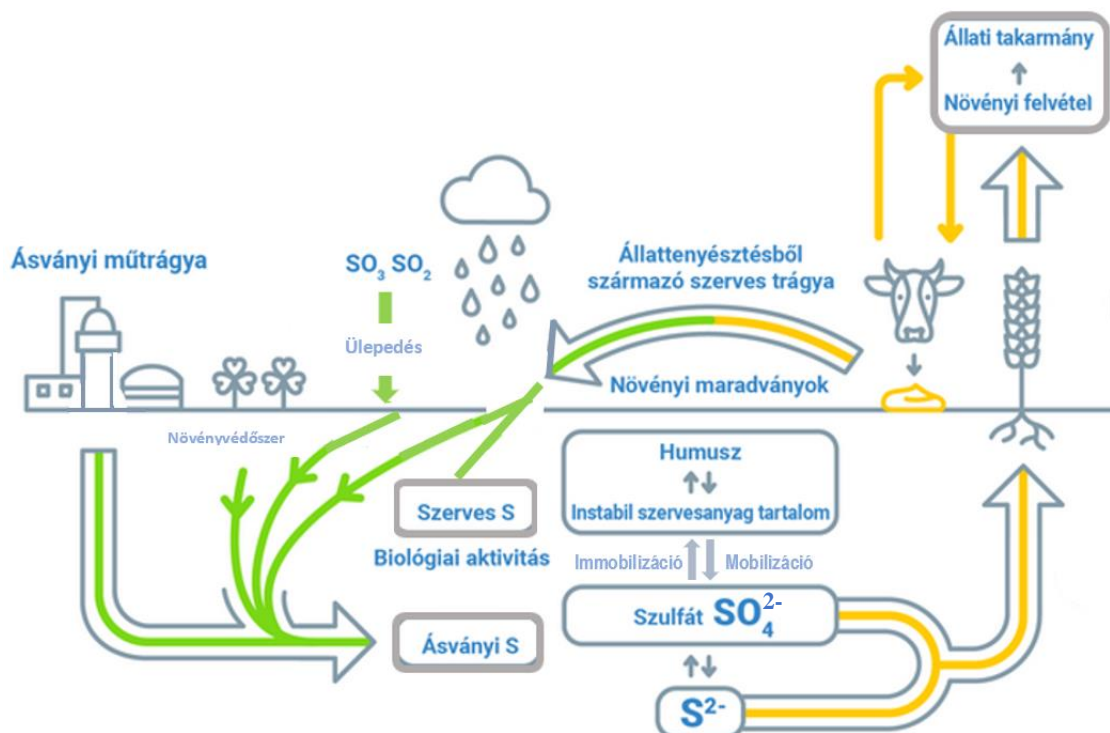
A szerves S-vegyületek mineralizációja, illetve a SO_4^{2-} Fe- és Al-oxidok felületéről történő deszorpciója révén a talajoldat szulfáttal gazdagodhat. Ennek ismeretében az ideális talajvizsgálati módszer nemcsak a szerves vízdoldható szulfátforma meghatározására terjed ki, hanem az adszorbeált szulfát és a könnyen mineralizálható szerves S vizsgálatára is (REISENAUER et al., 1973).

A növény optimális fejlődése szempontjából a gabonafélék által felvehető szulfát kritikus határértékének a CaCl_2 és $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ kivonatokban mérve a 10-13 mg SO_4^{2-} -S/kg értéket határozták meg (PATRA et al., 2012). HUE et al. (1984) arról számolt be, hogy a búza növekedéséhez szükséges $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -tal extrahált minimális SO_4^{2-} -S koncentráció 6 mg/kg volt és ezt az értéket BORNMAN (1990) is megerősítette.

BROOK (1979), TIWARI et al. (1985), BALANAGAUDAR és SATYANLYANA (1990), JAGGI és SHARMA (1999), valamint BANKOLE et al. (2022) szerint a növekedéshez szükséges minimális szulfátkoncentráció CaCl_2 kivonatban mérve 10 mg/kg.

3.3. A talajok kén körforgalma

A talajok kénforgalmát tekintve input kénforrásként természetes és antropogén hatásra a légkörbe kerülő, majd száraz vagy nedves ülepedéssel a talajba jutó S (elsősorban ipari területen), a szerves trágyázás, a műtrágyázás, a talajvíz és az öntözővíz jelölhető meg (KALOCSAI et al., 2003). A talajok kénveszteségeit a növény általi kénfelvétel, a kimosódás és a szerves kénként történő immobilizáció okozzák (1. ábra).



1. ábra: A talaj kénforgalmának egyszerűsített folyamatábrája (INTERNET 1)

PAFF (1963) 1960-as években végzett, németországi vizsgálata azt mutatta, hogy a szántóföldi területek S-mérlegét a nagy kimosódási arány (130 kg S/ha/év) és a viszonylag kisebb mértékű növényi S-igény (~23 kg S/ha/év) jellemzi. Hasonlóan nagymértékű S kimosódási arányt jelentettek Észak-Franciaországból a szántóföldi gabonanövények esetében (BALLIF és MULLER, 1985). Az 1980-as években még úgy tartották, hogy a S-mérleg egyensúlyi fenntartásához szükséges mennyiség körülbelül

2/3-át a műtrágyákban lévő, illetve a nedves ülepedésből származó S-mennyiség biztosítani tudja. SAALBACH, (1984) is úgy gondolta, hogy a S kimosódása következtében kialakuló S-hiány kiegyenlítéséhez elegendő a talajra jutó nedves és száraz S-lerakódás. Az elmúlt 3 évtizedben ez a kénforrás azonban drasztikusan csökkent Európában és így nőtt a növények kénhiányának kialakulásának a veszélye.

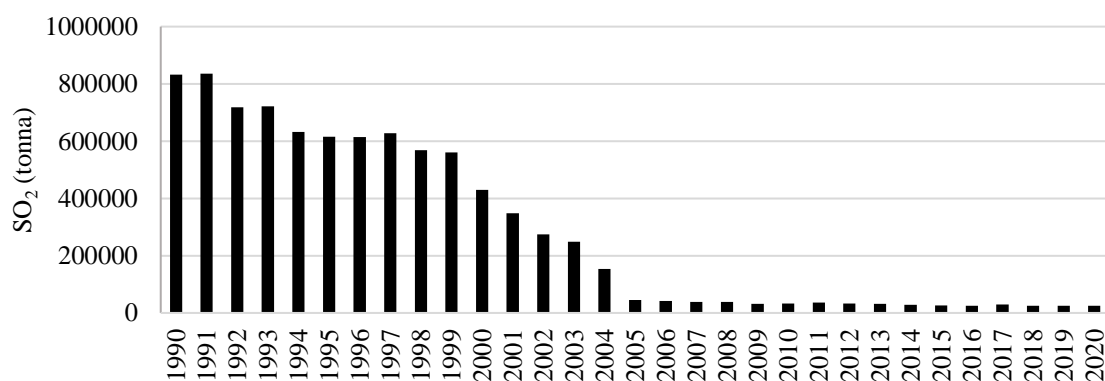
3.3.1. Szántóföldi ökoszisztémák S-inputjai

Légkörből származó kénlerakódás

A légkörben a S elsősorban kén-dioxid (SO_2) formájában van jelen és nedves vagy száraz ülepedés révén juthat a talajokba. A légköri ülepedés mértéke függ a csapadék mennyiségétől és a SO_2 légköri koncentrációjától (UK REVIEW GROUP, 1987).

A SO_2 természetes és antropogén folyamatok révén jut a légkörbe. Természetes folyamatok közé pl. a vulkanikus tevékenység tartozik, míg antropogén eredetként a fosszilis tüzelőanyagok égetése és egyéb ipari folyamatok nevezhetők meg (SEINFELD és PANDIS, 2006).

A kén a főbb tápanyagok között egyedülálló abban a tekintetben, hogy korábban a légköri ülepedés sok esetben elegendőnek bizonyult a növényi szükségletek kielégítéséhez. Ez a jelenség elsősorban a föld északi féltekén volt jellemző, ahol a folyamatos és jelentős, antropogén eredetű kibocsátások nagy atmoszférikus SO_2 koncentrációkat eredményeztek (ERIKSEN et al., 1998). A 2. ábrán azonban megfigyelhető, hogy Magyarországon a környezetvédelmi szabályozásoknak köszönhetően (ipari szűrőberendezések, fejlettebb technológiák) a SO_2 emisszió az 1990-es évek óta folyamatosan csökken, ami a talajok légköri ülepedésből származó S-inputjainak jelentős mértékű csökkenését eredményezi.



2. ábra: Magyarország SO_2 kibocsátása 1990-2020 közötti időszakban (Forrás: KSH/INTERNET 2)

Csehországban a légkörből származó kénlerakódás 1991-ben érte el maximumát (484 kg S/ha), és a szabályozások hatására értéke 2009-ben már csak 10-30 kg S/ha volt (BALIK et al., 2009). Az Egyesült Királyságban RILEY et al. (2002) 6-8 kg S/ha légköri ülepedésről számolt be. SAGOO et al. (2017) szerint Európában a SO₂ kibocsátása 94%-kal csökkent 1970-2010 között és további 50%-os csökkenést jósolt a 2011-2020 közötti időszakra is. Magyarországi viszonylatban az 1990-2010 közötti időszak átlagkibocsátásához képest, napjainkban jelentősen, több mint 90%-kal csökkent a SO₂ kibocsátás mértéke, tehát SAGOO et al. (2017) előrejelzése teljesült.

Európai viszonylatban az éves kénlerakódás jelenleg átlagosan 3-6 kg/ha S, ami a gabonanövények kénfelvételének 25%-át és az olajnövényekének 10%-át teszi ki.

Kéntartalmú trágyaszerek

Európában a kéntrágyázás volumene a 19. század elejétől az 1970-as évek közepéig nagymértékben megnövekedett. Ebben az időszakban főként nitrogén és foszfor műtrágyákkal együtt juttatták ki a ként, szuperfoszfát (11 % S) és ammónium-szulfát (24% S) formájában. A műtrágyafelhasználás szerkezetének megváltozása miatt a műtrágyák alkalmazása mérséklődött és előtérbe kerültek az összetett, illetve a kis kéntartalmú műtrágyák (PEDERSEN et al., 1998). Európában jellemzően a hármas szuperfoszfát (1,3% S) terjedt el, melynek használatával az automatikus kéntrágyázás is csökkent.

A S pótlására a növény táplálási gyakorlat eddig kisebb figyelmet fordított, holott a növények számára hozzáférhető S mennyisége a mezőgazdasági területeken jelentősen csökkent. A S-trágyázás szükségességét erősíti az olyan nagyobb termőképességű hibridek termesztése, melyek makroelemekkel (így a kénnel) szemben támasztott követelményei is nagyobbak (LÁSZTITY, 1991; KALOCSAI, 2003).

A tápanyagutánpótlásra használható kéntrágyák szerves és szervetlen eredetűek lehetnek. Az ásványi S-műtrágyák egyik részében a kén szulfát formában van jelen és a növények számára könnyen hozzáférhető, másrészt vannak az elemi kéntartalmúak, melyek esetében a S szulfáttá történő oxidációja a növények általi felvétel előfeltétele (BLAIR, 2002; MESSICK et al., 2002).

A szulfát-tartalmú műtrágyák tavaszi kijuttatása gabonafélék esetén azzal a kockázattal jár, hogy a szemtelítődési időszakra szánt S kimosódhat, immobilizálódhat

(ERIKSEN, 2009). GYŐRI (1984) is felhívja a figyelmet a kén kimosódásának veszélyére, mely hazánkban elsősorban a csapadékosabb dunántúli területeken jellemző.

A szulfát-tartalmú műtrágyákon túl a szervesen eredetű műtrágyák csoportjába tartozik az elemi kén is. Az elemi kén használata számos előnnyel jár, többek között, hogy a kén lassan szabadul fel és oxidálódik, mely fokozatos szulfátutánpótlást biztosít. Az elemi kén hatékonyságát baktériumok által végzett oxidáció szabályozza, és függ a hőmérséklettől, a nedvességtartalomtól és a részecskemérettől (SOLBERG et al., 1992; WATKINSON, 1993; DICK et al., 2008).

A kénutánpótlás másik fő forrása a gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), amely 23,3% kalciumot és 18,6% ként tartalmaz. Kalciumforrásként használják nagy kalciumigénnyel rendelkező növények számára és talajjavító anyagként a szikes talajok esetén (DICK et al., 2008).

A szuperfoszfát is tartalmaz melléktermékként gipszet, mely évtizedekig biztosította a kén utánpótlását (DICK et al., 2008). A közönséges szuperfoszfát a monokalcium-foszfát $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ és a gipsz (CaSO_4) keveréke. Elsősorban foszforforrásként (17-18% P_2O_5) alkalmazzák, de 10-11% ként is tartalmaz (SCHERER, 2001). A szuperfoszfát széles körben elterjedt és általánosan használt P-műtrágya volt, azonban az elmúlt évtizedekben a felhasználása folyamatosan csökkent (HAGSTROM, 1986).

A szabadföldi és kertészeti kultúrák esetében egyaránt alkalmazható szervesen kénforrás az ammónium-szulfát $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, mely jelentős N-forrás (21,1% N) és emellett 24,2% ként is tartalmaz. Erősen savanyító hatása miatt azonban csak mészben gazdag talajokon javallott a használata (TERBE, 2015).

A kloridérzékeny növények (burgonya, szőlő) termesztése esetén hazánkban is széles körben alkalmazott kálium műtrágya a kálium-szulfát (K_2SO_4). A kálium-szulfát 41,5% káliumtartalommal és 18,4% kéntartalommal rendelkezik (FINCK, 1992).

Szervesen kénforrásként használható még az ammónium-tioszulfát $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$, melynek előnye, hogy ként (26%) és nitrogént (12%) egyaránt szolgáltat. Öntözővízben is alkalmazható, és kompatibilis számos műtrágyaoldattal, pl. ammónium-nitrátot tartalmazó nitrogénoldatokkal, karbamid-oldatokkal és a legtöbb nitrogén-, vagy nitrogén-foszfor-tartalmú műtrágyaoldattal (CECCOTTI, 1994; DICK et al., 2008). A talajban végbemenő tioszulfát-reakciók azonban kevésbé ismertek. JANZEN és BETTANY (1986) tenyészedényes kísérletben megfigyelték, hogy a $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ oxidációja

25 nap alatt majdnem teljesen végbement, de a mikroorganizmusok részvétele miatt az oxidált S egy része immobilizálódott és így rövidtávon kevésbé volt elérhető, mint az ekvivalens mennyiségű szulfát. MITCHELL és MULLINGS (1990) is vizsgálták a tioszulfát hozzáférhetőségét a növények számára és megállapították, hogy az oxidációt követően az egyenlő mennyiségben kijuttatott elemi S és tioszulfát azonos mértékben szolgáltató a növény számára felvehető kénformát.

Európában, így hazánkban is megfigyelhető tendencia, hogy olyan műtrágyák használata terjedt el, melyekben nagy a N-, P- vagy K-tartalom, ez pedig a S-tartalom mennyiségének csökkenését eredményezte. Kiváló példa erre a hármas szuperfoszfát vagy a diammónium-foszfát használata P-forrásként a közönséges szuperfoszfát helyett vagy az ammónium-nitrát (NH_4NO_3) koncentráltabb nitrogénforrásként (34% N) történő alkalmazása ammónium-szulfát helyett. Az NH_4NO_3 nem tartalmaz S-t, és hosszú távú alkalmazása a talaj savanyító hatása mellett kénhiány kialakulásához is vezethet (DICK et al., 2008).

3.3.2. A talajok kénveszteségei

A növények kénfelvétele

A növények által a talajból felvett S mennyisége esetenként jelentős értéket is elérhet. A talajból kivont S mennyiségét a növényfaj, a növényi biomasz tömege és S-koncentrációja határozza meg (LAMOND, 1997; HANEKLAUS és BLOEM, 2000; KOVAR és GRANT, 2011).

A növények kénigénye rendkívül eltérő, vannak viszonylag kisebb kénigényű növények, mint a búza vagy a kukorica (kb. 15 kg S/ha), míg más növények (repce, 70 kg S/ha) nagyobb kénigényűek (BLOEM, 1998).

A különböző növényi részek kén tartalma is jelentősen eltérő lehet. DICK et al. (2008) szerint a búzaállomány által a talajból felvett 25 kg/ha S-ből, 17 kg/ha a szalmában, 8 kg/ha pedig a szemtermésben található.

Napjainkban a megnövekedett terméshozamok következtében, megnövekedett tápanyagigényekkel is számolnunk kell, ennek alapján a terméssel kivont tápanyagok mennyisége is nagyobb lehet.

A kén kimosódása

A talaj kéntartalmának veszteségei között az egyik legjelentősebb tényező a szulfát-kimosódás lehet. A szulfát természete és sóinak oldhatósága miatt a kilugzásos veszteségek nagyok, melyek laza talajokon akár a nitrogénhez hasonló nagyságrendűek is lehetnek (TISDALE és NELSON, 1966).

A kimosódás mértéke a talajoldatban lévő szulfát-ionok koncentrációjától, a talaj típusától és a csapadék mennyiségétől, intenzitásától függ (WALKER és GREGG, 1975; BLOEM, 1998).

Kis adszorpciós kapacitással rendelkező talajok esetében nagyobb lehet a kimosódás mértéke (WALKER és GREGG, 1975). A talajok víztartó képességének növekedésével a kénmegkötő képesség is növekszik és ez a fő oka annak, hogy a kötöttebb talajok esetében ritkábban alakul ki kénhiány, a laza talajokhoz viszonyítva.

HAVLIN et al. (1999) Észak-Karolinában végzett vizsgálatai során rámutatott arra, hogy a veszteségek azokban a talajokban a legnagyobbak, amelyekben az egyértékű kationok dominálnak (K, Na), és a legkisebb az olyan talajokban, amelyekben nagy mennyiségű alumínium található.

A kimosódás mértéke elsősorban a szulfát-tartalmú műtrágyák alkalmazása során jelentősebb, ezért kimosódására hajlamos régiókban az elemi kén alkalmazása ajánlott (NESHEIM et al., 1997).

A kénvesztés a kimosódás következtében télen nagyobb, a jellemzően több csapadék és a növényi felvétel hiánya miatt. HEKSTRA (1996) Hollandiában, valamint PREUSCHOFF (1995) Németországban végzett vizsgálatai szerint a kimosódás átlagos mennyisége évente 30-70 kg S/ha. Hazai körülmények között GYŐRI (1984) szerint 2,8 kg/ha mennyiségű kén kimosódással lehet számolni, leginkább ott, ahol csapadéktöbblet jellemző (Dunántúl, Északi-Középhegység).

3.4. A búza jellemzése, ökológiai igénye

Hazánkban a 2. legnagyobb területen (kb. 1 millió ha) termesztett szántóföldi kultúra a búza. A búza mérsékelt égövi növény, viszont igen szélsőséges éghajlati körülmények között is megél. Rendkívül jó alkalmazkodó képességgel bír, így az ország egész területe alkalmas a búza termesztésére (SZÁNIEL, 1973; NAGY, 1981; SZABÓ et al., 1987). Az ország éghajlati adottságai és a jobb termőképessége miatt hazánkban elsősorban az őszi változatot termesztik. Az évente megtermelt búza mennyisége 4-6 millió tonna (PEPÓ, 2019). Tavaszi változatát akkor vetik, amikor az őszi búza vetését

az időjárási- vagy a talajviszonyok megakadályozzák. A termés mennyisége 25-40%-kal lehet kisebb, mint az őszi változaté, minősége azonban malom- és sütőipari szempontból az őszi búzáéval megegyezik. A tavaszi búza termőterülete évenként kb. 13-16 ezer ha között változik (ANTAL, 2005).

Éghajlatigény tekintetében a búzának igen jó adaptációs képessége van. A növekedés különböző szakaszaiban az időjárással szembeni igénye eltérő, a szemtermés mennyisége és minősége szempontjából alapvetően a csapadék és a hőmérséklet változása a meghatározó (MAGDA, 2006). A klimatikus tényezők nagyban befolyásolják a búza életfolyamatait, fejlődését és ezáltal a termés mennyiségét (ÁGOSTON és PEPÓ, 2006). Az őszi búza tenyészidőszaka 260-300 nap, mely alatt napjainkban előforduló szélsőséges időjárási körülmények miatt, számos kedvezőtlen hatásnak vannak kitéve a búzaállományok.

A búza közepes hő- és csapadékigényű növény, vízigénye a tenyészideje során 480-550 mm, hasznos hőösszegigénye 2000-2200 °C (BOCZ, 1992). A búza kezdeti növekedésének az enyhe ősz kedvez (LÁNG, 1970). Átlagos csapadékú, meleg március-áprilisi időjárás szükséges a bokrosodáshoz (MÁNDY, 1963). A búza a szárbaindulás és a kalászolás időszakában a legérzékenyebb az időjárásra. Az ekkor szükséges optimális hőmérséklet 13-16,5 °C, a szükséges csapadék mennyisége pedig 70-80 mm (HARNOS, 1995). A virágzaskor szükséges hőmérséklet 19-22 °C. A búza vízfelvétele a szárbaindulástól a virágzásig a legnagyobb, ilyenkor veszi fel a teljes vízigény 50-60%-át (PEPÓ, 2019). Éréskor a mérsékelt meleg, csapadékmentes időjárás a kedvező (ANTAL, 1987).

A búza a talaj minőségére kisebb mértékben érzékeny, mint más mezőgazdasági növények, de a legnagyobb terméseket a jó minőségű, mély termőrétegű, nagy humusz-tartalmú (2-3%), kedvező víz- és tápanyaggazdálkodású, semlegeshez közeli kémhatású (6,5-7,5 pH) és aktív talajélettel rendelkező talajokon (csernozjom talajok) érhetjük el.

A búza megfelelő agrotechnikával, sikeresen termeszthető a barna erdőtalajokon, réti-öntés talajokon, jobb minőségű szikeseken és humuszos homok talajokon is (PRETTENHOFFER és GRATZL, 1961; KOLTAY és BALLA, 1982; PEPÓ, 2019).

A búza mennyisége és minősége szempontjából döntő szerepe van az optimális tápanyagellátásnak. LELLEY (1971) szerint az őszi búza termesztésében a legalapvetőbb agrotechnikai faktor a műtrágyázás. A búza tápanyagigényes és a trágyázást kifejezetten megháláló növény. Az egyik legjobb trágyareakcióval rendelkezik a szántóföldi növények közül (SÁRVÁRI és BOROS, 2010).

A sikeres gazdálkodás egyik fontos eleme a helyes műtrágyafelhasználás. Ehhez azonban ismernünk kell a növény igényét és a talaj tulajdonságait, ugyanis ennek ismeretében tudjuk megállapítani a megfelelő kijuttatási formát, módot, kijuttatási időpontot és a mennyiséget (SCHARPF és LIEBIG, 1991; LELLEY, 1971).

A makrotápanyagok közül a nitrogénnek van a legnagyobb hatása a termés mennyiségére és minőségére (CZIMBALMOS et al., 2016). A nitrogén részt vesz az aminosavak, fehérjék, nukleinsavak, nukleotidok és a klorofill felépítésében és számos enzim működésében is. Jelentősen befolyásolja a vegetatív növekedést, a termés mennyiségét és minőségét (BILTENAU et al., 1966; JAGDISH et al., 2005; TANÁCS et al., 2005). A harmonikus tápanyagellátás során azonban figyelembe kell venni, hogy a megfelelő arányú tápanyagkijuttatás is kiemelkedő fontosságú, vagyis a nitrogén mellett egyéb tápanyagok pótlása is elengedhetetlen (HOLLÓ et al., 2009). Az egyoldalú és nagy dóziséű nitrogén alkalmazása termésdepressziót okozhat, ezért célszerű a nitrogén mellett megfelelő mennyiségű kálium és foszfor hatóanyag kijuttatása is (SÁRVÁRI, 2006).

3.5. A búzaszem minőségi paraméterei

A búzaszem 68,5% szénhidrátot, 13,5% fehérjét, 1-2% nyerszsírt, 1-2% rostot, valamint vitaminokat, enzimeket, polifenolokat és színanyagokat is tartalmaz (LÁSZTITY, 1981; BARRON et al., 2007). A kalászosok közül a búzának van a legnagyobb fehérjetartalma. OSBORNE (1907) munkája alapján a fehérjéket oldhatóság szerint csoportosíthatjuk, ugyanis ezek egy része vízoldható, másik részük vízben oldhatatlan. Ez utóbbi csoportot képezik a sikerfehérjék, melyek jelentős duzzadóképeségük révén, nagy mennyiségű vizet kötnek meg. A siker nagyrészt gliadint és glutenint, kis mennyiségben cukrokat, lipideket és keményítőt is tartalmaz. A sikerfehérjék rendkívül fontosak a búza minősége szempontjából, ugyanis sikkervázat alkotva biztosítják a búzából készült termékek minőségét, megfelelő rugalmasságát és szerkezetét (KHAN és NYGARD, 2006; SIPOS, 2006).

A búza fehérjeszerkezete genetikailag kódolt tulajdonság, de környezeti hatások kissé módosíthatják (GYŐRI és GYŐRINÉ, 1998; TRIBOI et al., 2000).

Érdemes megemlítenünk az ásványi anyag tartalmat is, hiszen ezen anyagok jelentős szerepet játszanak a búzafehérjék minőségének kialakításában. Ezek közül elsősorban a S szerepét szükséges kiemelni. Számos tanulmány tárt fel szoros kapcsolatot a búzaszem S-tartalma és a búza sütőipari minősége között (MOSS et al., 1983; SCHNUG et al., 1993). Az őszi búzaszem átlagos elemtartalmát a *1. táblázat* szemlélteti.

1. táblázat: Az őszi búzaszem átlagos elemtartalma (PIIRONEN, 2009)

| Elemtartalom mg/kg | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|----------|-----------|--------|-------|------|--------|
| P | K | Ca | Mg | S | Zn | Mn | Cu | Fe |
| 2200-9100 | 2800-7300 | 100-800 | 200-2200 | 1500-1800 | 15-102 | 40-90 | 1-14 | 16-163 |

3.6. A kén növényélettani szerepe, a növények kénforgalma

A kén az élő szervezetek számára esszenciális tápelem, mely a S-tartalmú aminosavak építőköve (cisztein, metionin), valamint fehérjék és lipidek alkotórésze. A kén megfelelő mennyiségű alkalmazása növeli a biomasszatömeget, fokozza a növények vegetatív növekedését, növeli a klorofilltartalmat. A kén fontos a zsírsavak szintézisében, emellett az illóanyagok vegyületeinek felépítésében is szerepet játszik, pl. a hagymafélék és a mustár sajátos illatának és ízének kialakításában. A kén a ferredoxin alkotójaként a redox-folyamatokban vesz részt, továbbá a növények fagyűrő képességét is befolyásolhatja (LOCH és NOSTICZIUS, 1992; FÜLEKY, 1999; ZHAO et al., 2008; JAMAL et al., 2010).

FÜLEKY (1999) szerint a növények összes S-tartalma átlagosan 0,2-0,7% között változhat a szárazanyagban és az egyes növényi részek közül a levelekben a legnagyobb a S-tartalom. TABATABAI (1986), valamint ERNST (1990) a növényi szövetek összes kéntartalmát 0,3-7,6% közötti értékekre becsülték, ez utóbbi értéket elsősorban a nagy gipsztartalommal rendelkező talajok növényeiben mérték.

PETERSON (1914) a növényi kéntartalmat négy fő kategóriába sorolta: illékony kénvegyületek, szulfátok, összes oldható kén és oldhatatlan kén. MILLER (1931) hasonló kategóriákat állapított meg, a növényi ként fehérje kénre (cisztein), illékony vegyületekre (mustárolaj, allil-, vinil-szulfidok és merkaptánok) és szulfátokra osztja. Megállapította továbbá, hogy egyes növényekben a S mintegy 65%-a szulfát formájában van jelen. KANWAR és MUHADAR (1986) szerint a S-trágyázás nem befolyásolja a növény szulfáttartalmát, ugyanis a szerzők szerint a talaj szulfátion-tartalmának növelése csak a szerves S-tartalmat növeli a növényi szulfáttartalom növelése nélkül.

A kén növényi részekben való eloszlása is változó. Egy érett kukorica növényben a teljes mennyiség 40%-a van a levelekben, 23%-a a szárban, 26%-a a szemben és 11%-a a gyökerekben (PETERSON, 1914).

Ha több szulfát kerül a növénybe, mint amennyit metabolizálni képes, akkor a felvett S szulfátként halmozódhat fel bennük. Ha nincs több felvehető szulfát, a hígulási effektus és az anyagcsere folyamatok révén a szövetekben lévő szulfát koncentrációja

csökken, mely végül kénhiány megjelenését okozza. A kén hiánya miatt a fehérjeszintézis folyamatai zavart szenvednek és a levelek klorózisa figyelhető meg (DIJKSHOORN és WIJK, 1967).

A növények rendszerint szulfát (SO_4^{2-}) formájában, aktív folyamat révén veszik fel a ként a gyökereiken keresztül a talajoldatból. A szulfát gyökér általi felvétele a növekedéshez szükséges növényi kénigénytől és a növény különböző fejlődési szakaszaitól is függ, valamint fajonként is eltérő (FÜLEKY, 1999; HAWKESFORD és De KOK, 2006). BOWEN és ROVIRA (1971) szerint a búza szulfátfelvétele a gyökércsúcstól számított 5 cm-re a legintenzívebb. A gyökér általi felvételt a talaj kémhatása is befolyásolhatja, ugyanis a felvétel intenzitása a pH növekedésével fokozatosan csökken (LEGGETT és EPSTEIN, 1956). Emellett kimutatták, hogy a növények a légköri SO_2 -t is tudják hasznosítani. A levélen és gyökéren keresztül felvett szulfát a növényben redukálódik és a S-tartalmú szerves vegyületek szintézisének hasznosul (FALLER, 1968).

A növényben a felvett kén elsősorban ciszteinné és metioninná alakul, melyek a szerves kénforma 60-90%-át is kitehetik (HEINZ, 1993; STULEN és De KOK, 1993; HAWKESFORD és De KOK, 2006; HANEKLAUS et al., 2007). A metionin a fehérjeláncok szintézisének beindításáért felelős, a cisztein, mint kéndonor a metionin szintézisében vesz részt és számos más kénvegyület (glutathion, koenzim-A, biotin) prekuzora (GIOVANELLI, 1990; NOJI és SAITO, 2003; KLIKOČKA et al., 2016). A cisztein továbbá felelős a fehérjeláncok közötti S-S hidak biztosításáért, melyek a harmadlagos szerkezet kialakításában és az enzimfehérjék működése szempontjából is fontosak (MARSCHNER, 1997).

3.7. A kén szerepe a búzatermesztésben

A kén pótlása a búza termesztése során pozitívan befolyásolhatja a terméshozamot és jelentős hatása lehet a termés minőségére is (SCHERER, 2001). Ezt alátámasztja, hogy a fehérjék alapegységeit képező S-tartalmú aminosavak az enzimekben, koenzimekben és redoxirendszerekben specifikus feladatokat látnak el és ezáltal meghatározzák a liszt minőségét, így a tézta viszkozitását és nyújthatóságát is (WARMAN és SAMPSON, 1994; KALOCSAI et al., 2005; GYŐRI, 2005; MARS, 2009).

RANDALL et al. (1981) mellett JARVAN et al. (2008) is a kén pótlásának fontosságát hangsúlyozza a nagyobb terméshozam elérése érdekében. Beszámoltak arról,

hogy a N alkalmazásához hasonlóan, a S adag növelésével a termés hozam is növekedett. YING-XIN et al. (2017) azonban kiemeli, hogy a maximális termés elérése érdekében a kéntrágyázás dózisa csak egy bizonyos szintig növelhető. RANDALL et al. (1981) maximális dózisként az 50 kg S/ha értéket jelölték meg, ennél nagyobb dózis esetén terméscsökkenésről számoltak be. Ezzel szemben ERCOLI et al. (2012) szerint az inputok és outputok egyensúlyának figyelembevétele mellett 60 és 120 kg S/ha közötti dózis kijuttatása javasolt. DHILLON et al. (2019) őszi búzával beállított kísérletében ugyanakkor a növekvő dózisú kénműtrágya alkalmazása során nem talált szignifikáns hatást a termés szempontjából, amit a talaj szerves anyagának megfelelő mineralizációjából származó kénellátásnak tulajdonított.

ZHAO és MCGRATH (1999) hangsúlyozza, hogy a növény megfelelő kénellátás nélkül nem éri el a termés mennyiségének és minőségének a maximumát. Felhívja a figyelmet arra is, hogy S-trágyázás nélkül a N-trágyázás hatékonysága is csökkenhet. RANDALL et al. (1981), JARVAN et al. (2008) és KLIKOČKA et al. (2017) is erre a következtetésre jutottak, miszerint nagyobb hozamok érhetőek el, ha nitrogént és ként együtt alkalmazzák.

A kén és a nitrogén kombinált hatása több szempontból is fontos a búza esetében, különösen a szemtelítődés időszaka alatt, ugyanis a kén megkönnyíti a nitrogén szemben történő asszimilálódását és együttes hatásuk hozzájárul a nagyobb hozamok és jobb termésminőség kialakulásához (LUO et al., 2000; TEA et al., 2003; TEA et al., 2007).

RUITER és MARTIN (2001), valamint FLAETE et al. (2005) is kiemelik, hogy nagy N-adagok mellett a S-trágyázás jelentős reakciókat váltott ki, mellyel hangsúlyozták a S felhasználásának a szükségességét a búzatermesztésben. A N műtrágya kénkiegészítés nélküli, folyamatos, nagy dózisú adagolása csekély kénellátottságú talajokon csökkentheti a termés mennyiségét és a búzaliszt minőségét. Mindezek alapján tehát az intenzív növénytermesztési rendszerekben a harmonikus tápelemellátottság biztosítása elengedhetetlen.

SHAH et al. (2018) különböző N- és S-dózisok, valamint a műtrágyák kijuttatási időpontjának hatását vizsgálta a termés mennyiségére és minőségére őszi búzával beállított kísérletében. Megállapította, hogy a vizsgált paraméterek szignifikánsan emelkedtek 150 kg N/ha és 45 kg S/ha dózissal beállított kezelés hatására. A legjobb eredményt akkor érték el, amikor a kénműtrágyát megosztva, 50% -ban vetéskor és 50% -ban bokrosodáskor alkalmazták.

A kénhiány gátolhatja a termőrészek kialakulását, ezért a vegetáció kezdeti időszakában, a kalászolás, és az első hiánytünetek megjelenése előtt célszerű kéntrágyázást alkalmazni. HANEKLAUS et al. (1994) vizsgálatai is ezt igazolják, hogy minél hamarabb, még a 2 nóduszos állapot kialakulása előtt érdemes kéntrágyát alkalmazni. ERCOLI et al. (2012) arról számolt be, hogy a kéntrágyázást az első nódusz megjelenésekor kell elvégezni, ugyanis ebben az időszakban, a növény általi S-felvétel akár 50% -kal is növekedhet. ERCOLI et al. (2011) durumbúzával végzett kísérletében a legnagyobb szemtermést abban az esetben kapta, amikor megosztva juttatta ki kéntrágyát, a vetés előtt és a szárbainduláskor 60-60 kg S/ha mennyiségben.

BLOEM et al. (1995) szerint kénhiányos területeken tavaszi gabonánál 30-50 kg/ha ként szükséges kijuttatni főleg S-tartalmú nitrogénműtrágyák formájában, míg őszi gabonánál 10 kg/ha S-t ősszel, szulfát-tartalmú alaptrágyaként. Emellett minimum 30 kg/ha S kijuttatása célszerű a vegetáció kezdeti szakaszában, végül szárbainduláskor további 20-30 kg/ha S szükséges levéltrágya formájában.

SCHNUG et al. (2000) szerint, ha a bokrosodáskori búza S-tartalma nem éri el az 1,2 mg/g értéket, S-hiányról beszélhetünk és a S-pótlás mindenképpen szükséges. A szerző megállapította, hogy a bokrosodáskori növény levelében mért 3,2-4,0 mg/g S-tartalom felett kiegészítő S-trágyázás már nem mutatott értékelhető termésmenővelő hatást.

A növények optimális fejlődéséhez fontos a megfelelő N/S. Általában elmondható, hogy ideális körülmények között ez az arány 30-40:1 között jellemző, míg S-hiányos növényeknél akár a 70-80:1 közötti értéket is elérheti (FÜLEKY, 1999).

A búza esetében ennél szűkebb arányt állapítottak meg. GYŐRI (1998) vizsgálatai során 15-17:1 közötti N/S értéket vélt kedvezőnek. Hasonló megállapításra jutott kutatásai során NAEEM és MACRITCHIE (2003) illetve CAMBERATO és CASTEEL (2010) is. RANDALL et al. (1981) úgy találták, hogy a gabona terméshozama és a minősége szempontjából káros, ha az N/S meghaladja a 17:1 értéket. Számos kutató egyetért abban, hogy a búzaszem N/S értékének mindenképpen kisebbnek kell lennie, mint a 17:1 kritikus érték (ZHAO et al., 1995; SAHOTA, 2006; ESTEFAN et al., 2013). Ellenben KALOCSAI et al. (2006) arra a következtetésre jutottak, hogy a 20-21:1 közötti N/S nem feltétlenül jelent kénhiányt, sőt ezen arány mellett találták a legjobb sütőipari minőséget.

RANDALL et al. (1981) a búza megfelelő kénellátásának megállapításához az összes kén tartalom ismerete mellett az N/S érték figyelembevételét is javasolja és

meghatározott egy küszöbértéket, mely alapján a búza kénhiányosnak tekinthető. A szerző szerint elégtelen a kénellátás, ha a szem kén tartalma nem éri el a 0,12% S-t és az N/S-a nagyobb, mint 17:1. REUSSI et al. (2011) ezeket a küszöbértékeket 0,15% S-tartalomban és 13,3:1 N/S értékben állapították meg.

3.8. A kénhiány tünetei

Az elégtelen S-ellátás legfőképp a növények fehérje-anyagcseréjét károsítja (MENGEL, 1976). S-hiány esetén csökken a fehérje- és a klorofilltartalom, továbbá a növények N-felvétele is. A hiány következménye lehet az akár a 30%-ot is meghaladó termés csökkenés, valamint a rossz minőség (SCHNUG, 1991; KALOCSAI et al., 2002).

Szántóföldi körülmények között a gabonafélék S-hiányra utaló tünetei nehezen azonosíthatók, mivel könnyen összetéveszthetők a N-hiány tüneteivel, illetve termésveszteség fordulhat elő olyan növényekben is, amelyek nem mutatnak vizuális tüneteket (ZHAO et al., 1996). Fontos különbség azonban, hogy a kénhiány elsősorban a fiatal leveleken, míg a N-hiány az idősebb leveleken jelentkezik.

A S-hiányra utaló tünetek a gabonátábla lazább talajú területein jelennek meg szabálytalan foltok formájában (BERGMANN, 1993). Aszálykár szerű tünetek is kialakulhatnak és a csökkent ellenállóképesség miatt gombás fertőzések jelenhetnek meg az állományban, sötétebb színárnyalatot adva a növénynek. A S-hiány következtében csökken a hajtás és a kalászonkénti szemek száma is (HANEKLAUS et al., 1995).

A S-hiányos búza lisztjéből készült tészta nyújthatósága romlik, illetve nyújtási ellenállása nő (WRIGLEY et al., 1984). A csökkenő cisztein-tartalom miatt a sikér diszulfid kötéseinek száma kevesebb, így azok nem elegendőek a megfelelő rugalmasság kialakításához, ennek hatására a tészta szívóssá válik, ami a sütőipari értékmérők romlásához vezethet (MOSS et al., 1983; SCHNUG et al., 1993).

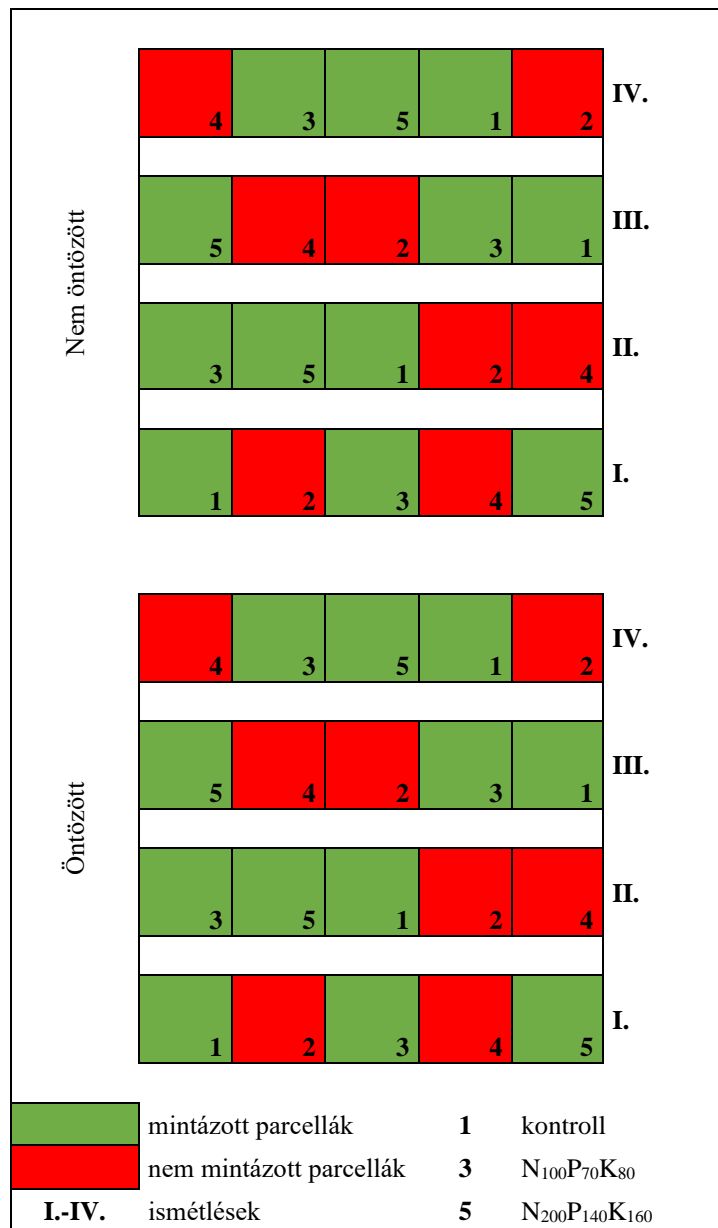
Összességében elmondható, hogy a kén a növények növekedéséhez és fejlődéséhez nélkülözhetetlen elem. Az elmúlt évtizedekben a szigorúbb környezetvédelmi intézkedések bevezetése és ezáltal a légkörbe jutó SO₂-kibocsátás csökkenése mérsékelte a mezőgazdasági szempontból hasznosított területekre a légköri ülepedés révén kerülő kénmennyiséget, így egyre jellemzőbbé válhat a S-hiány kialakulása a termesztett növényekben (BOURANIS et al., 2020).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Szabadföldi kisparcellás műtrágyázási tartamkísérlet

4.1.1. A kísérlet jellemzése

A vizsgálataim egyik részében az őszi búza kénellátottságát elemeztem kisparcellás szabadföldi kísérletben 2017, 2018, 2019 években. A vizsgálataimat a Debreceni Egyetem, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén, 1983-ban Dr. Ruzsányi László által beállított és Dr. Pepó Péter által fenntartott műtrágyázási tartamkísérletben végeztem (3. ábra).



3. ábra: A Látóképi műtrágyázási tartamkísérletben alkalmazott kezelések sematikus ábrája (Forrás: saját szerkesztés)

A vizsgálati terület talaja löszön képződött mészlepedékes csernozjom (Chernozem, WRB), amely talajfizikai szempontból a vályog kategóriába sorolható. A területet jó víztartóképes és közepes vízbefogadóképesség jellemzi. A kísérleti talaj fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait a 2. táblázatban foglaltam össze.

2. táblázat: A kísérleti talaj fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai (0-30cm)

| | |
|--|------|
| pH (KCl) | 5,9 |
| pH (H ₂ O) | 6,7 |
| CaCO ₃ (%) | 0 |
| γ_1 | 6,7 |
| K_A | 43 |
| Li % | 44 |
| Humusz (%) | 2,76 |
| AL-P ₂ O ₅ (mg/kg) | 133 |
| AL-K ₂ O (mg/kg) | 240 |
| AL-Ca (mg/kg) | 4108 |
| AL-Mg (mg/kg) | 351 |
| KCl-SO ₄ ²⁻ -S (mg/kg) | 9,25 |

A MÉM NAK irányelveit követve és a mért talajparaméterek alapján a talaj N-és K-ellátottsága közepes, P-ellátottsága jó volt. A kénellátottság megítélésének szempontjából számos irodalom (BROOK, 1979; TIWARI et al., 1985; BALANAGAUDAR és SATYANLYANA, 1990; JAGGI és SHARMA, 1999) a 10 mg SO₄²⁻-S/kg értéket jelölte meg kritikus határértéknek a növény optimális fejlődése szempontjából, mely alapján a kísérleti terület talaja kénhiányosnak tekinthető.

A kísérleti parcellák területe 46 m². A terület főparcellái talajművelési módok és öntözési változatok szerint ismétlés nélkül vannak felosztva, míg az alparcellákat eltérő műtrágyázási szintek szerint 4 ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben alakították ki.

Vizsgálataimat a bikultúrában termesztett, GK Csillag fajtájú őszi búza állományban végeztem. A GK Csillag egy korai érésű, tar kalászú, malmi I-es minőségű őszi búza fajta. Kiemelkedő termőképesség jellemzi, magassága 75-90 cm, jó állóképességgel rendelkezik, megdőléssel szemben ellenálló és előveteményre sem érzékeny (INTERNET 3).

A növény- és talajmintavételeket és az analitikai méréseket három egymást követő évben, 2017, 2018, 2019 években 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 a 3. táblázat mutatja be.

3. 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 |

Az emelkedő nitrogén adagok mellett a foszfor és a kálium is emelkedő dózisban kerültek kijuttatásra. A P és K műtrágyát ősssel alaptrágyaként, a N-t a környezeti kockázat csökkentése és a búza N-igények biztosítása érdekében, 50-50%-os megosztásban ősssel alaptrágyaként, tavasszal fejtrágyaként juttatták ki.

A kísérleti területen 1983-2009 között a nitrogén, foszfor és kálium hatóanyagokat ammónium-nitrátként, szuperfoszfátként és kálium-kloridként juttatták ki.

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 dózisu 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. Ezen időperiódus végén, 2017-ben és 2018-ban végeztem a méréseimet az őszi búza talaj-növény rendszerében.

2019-ben a foszfort ismét szuperfoszfáttal juttatták ki, ami ettől az évtől ismételt kénutánpótlást is jelentett. Ebben az évben is végeztem méréseket a területen és ennek következtében módomban volt elemezni, hogy a műtrágyával kijuttatott CaSO₄ S-tartalma milyen mértékben volt felvehető a búza számára a kijuttatás évében.

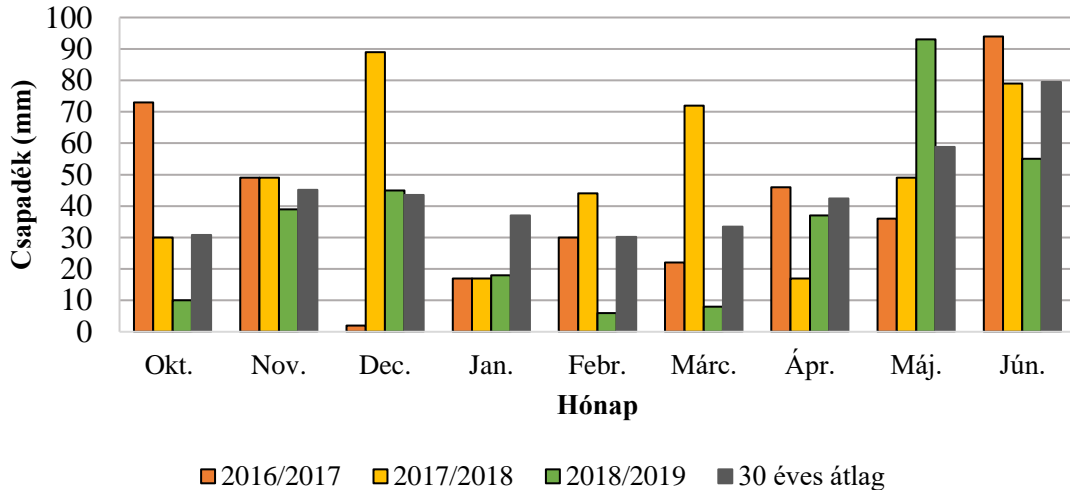
A kísérleti terület öntözött parcelláit a tenyészidőszak csapadékviszonyainak megfelelően öntözik. Ennek alapján 2017-ben 2 alkalommal volt öntözés: május 27-28-án és június 1-2-án. Mindkét alkalommal 20-20 mm mennyiségű vizet juttattak ki. 2018-ban az elegendő, 2019-ben a kedvező eloszlású természetes csapadékmennyiség következtében nem volt szükség öntözésre, így az öntözött és nem öntözött parcellák vízellátása egységes volt. Az említett körülményeket figyelembe véve 2017-ben az öntözés tényleges hatását, míg 2018, 2019 években a korábbi öntözéses időszak

utóhatását tudtam elemezni az öntözött parcellákon. Az eredmények értékelése során az egyszerűség kedvéért az öntözés nélküli években is öntözött és nem öntözött kezeléseket különböztettem meg.

4.1.2. Időjárási körülmények

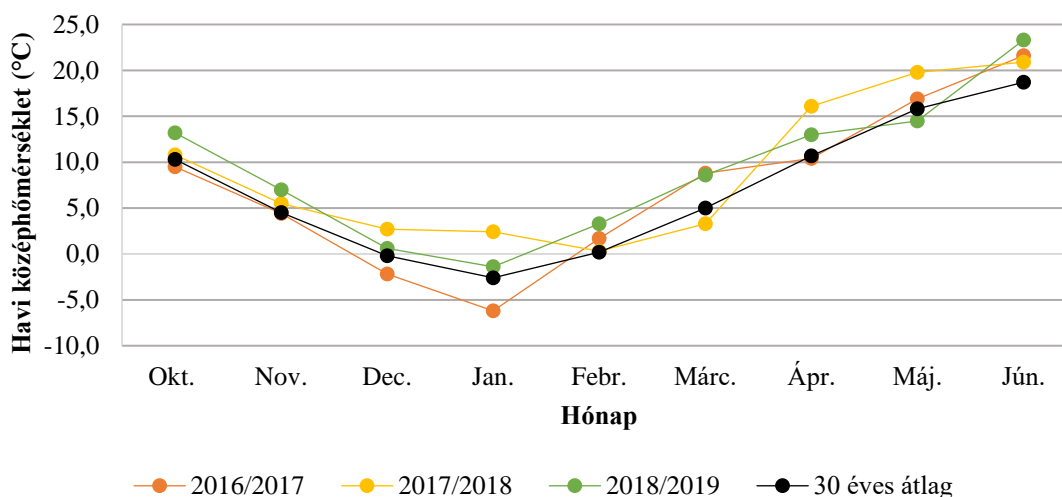
A kísérleti években (2017, 2018, 2019) az évjárat jellemzésekor a lehullott csapadékmennyiséget, a havi középhőmérsékletet és a 30 éves átlagaikat vettem figyelembe. A kísérleti terület körzetében a vegetációs időszakokban mért csapadékmennyiségeket és a havi középhőmérsékleti értékeket a 30 éves átlaggal kiegészítve a 4. és az 5. ábrák mutatják.

2016/2017-es tenyészidőszakban összesen 369 mm csapadék hullott a területen. A vizsgált időszakban a legtöbb csapadékot (446 mm) a 2017/2018-as tenyészidőszakban mérték, mely meghaladta a 30 éves átlagot (411 mm). A legkevesebb csapadék (311 mm) a 2018/2019-es időszakban esett, mely 100 mm-rel kevesebb volt, mint a sok éves átlag, azonban a csapadékmennyiség kedvező eloszlása miatt, ebben az évben nem volt szükség öntözésre.



4. ábra: 2017, 2018, 2019 években hullott csapadék mennyisége a Debreceni megfigyelőállomás adatai alapján (Forrás: KSH/INTERNET 4, saját szerkesztés)

A hőmérsékleti értékek változása mindhárom vizsgált tenyészidőszakban hasonló tendenciát mutatott. A 30 éves átlagos középhőmérséklethez képest viszonyítva minden vizsgált évjárat melegebb volt. A 2016/2017-es tenyészidőszak átlaghőmérséklete 0,3 °C-kal, míg a 2017/2018 és a 2018/2019-es tenyészidőszak átlaghőmérséklete 2,2 °C-kal volt melegebb, mint a sokéves átlag.



5. ábra: 2017-2019 időszakban mért havi középhőmérséklet alakulása a Debreceni megfigyelőállomás adatai alapján (Forrás: KSH/INTERNET 4, saját szerkesztés)

4.1.3. Növénymintavételek, növényminta előkészítés

Az őszi búza tenyészidőszaka során a BBCH (Gabonafélék Fenológiai Fázisainak Nemzetközi Besorolása) skála alapján, 3 időpontban gyűjtöttem növényi mintákat: szárbainduláskor, virágzáskor és teljes éréskor (4. táblázat).

4. táblázat: A mintavételek időpontjai a Látóképi Kísérleti Telepen

| Fejlesztési stádium | | 2017 | 2018 | 2019 |
|---------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| BBCH 30-32 | szárbaindulás | április 24. | április 19. | április 28. |
| BBCH 61-65 | virágzás | május 31. | május 23. | június 2. |
| BBCH 89 | teljesérés | július 5. | július 24. | július 1. |

A mintavétel során a parcellaátlók mentén 10-10 pontban, 5-5 növényt vágtam el ollóval a talaj szintje felett. Az így kapott pontmintákból átlagmintát képeztem. Mindhárom mintavétel esetében a teljes föld feletti növényi részt mintáztam és teljes éréskor a szalmát elkülönítettem a kalásztól. A kalászból a szem cséplése kézi erővel történt.

A növénymintákat a DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézet laboratóriumaiban dolgoztam fel. 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.

Mértem a növényi minták összes N- és S-tartalmát, valamint szulfát-S tartalmát is. Az összes S és szulfát-S különbségéből a szerves kéntartalmat, a búza összes N- és S-

tartalmából pedig N/S értéket számítottam, ezen túlmenően meghatároztam a búzaszemek metionin- és ciszteintartalmát is. A vizsgálati módszerek pontos leírását a tenyészedényes vizsgálatok mérési módszereivel együtt a 4.3. fejezetben mutatom be.

4.1.4. Talajmintavételek, talajminta előkészítés

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.

A talajmintavételek során minden esetben reprezentatív átlagmintát vettem a vizsgálati területről oly módon, hogy az adott parcella képzeletbeli átlói mentén 10-10 pontban mintáztam. Az így kapott pontmintákat összegyűjtöttem, alaposan homogenizáltam, majd szükség esetén felezéssel, negyedeléssel csökkentettem a minta mennyiségét. 2018-ban a betakarítást követően 0-100 cm-es rétegből, 10 cm-enként is vettem talajmintákat talajfúró segítségével. A mélységi talajmintavétel a kontroll, az NPK1 és NPK2 parcellák öntözött és nem öntözött változatairól, egy ismétlésben történt.

A talajmintákat az Agrokémiai és Talajtani Intézet laboratóriumaiba szállítottam és légszárazra szárítottam. Ezt követően törtem a talajt, 1 mm átmérőjű CISA 018067.10 típusú rozsdamentes acél szitán átszitáltam és papírzacskóban tároltam az analízisig. Meghatároztam a talaj 1M KCl; 0,01M CaCl₂ és 0,016M KH₂PO₄ kivonószerekben mérhető szulfát-S tartalmát és aril-szulfatáz aktivitását. Az enzimaktivitás meghatározását a mintavételt követően, a lehető legrövidebb időn belül elvégeztem. A vizsgálati módszerek pontos leírása a tenyészedényes vizsgálatok mérési módszereivel együtt a 4.3. fejezetben található.

4.1.5. Egyszerűsített nitrogén- és kénmérleg számítása

A tartamkísérlet 1983-2016 közötti időszakára a méréseim kezdetéig meghatároztam a vizsgált kísérleti parcellák egyszerűsített kumulált nitrogén- és kénmérlegét. Az egyszerűsített mérlegben, a nedves és száraz ülepedéssel a területre jutó N és S mennyiségeket, valamint a N és S veszteségeket (immobilizáció, denitrifikáció, deszulfurifikáció, lemosódás) azonosaknak tekintjük, így ezekkel a tényezőkkel sem a bevétel, sem a kiadás oldalon nem szükséges számolni (CSATHÓ és RADIMSZKY, 2005).

Az egyszerűsített, kumulált tápelem-mérlegekhez az 1983-2016 közötti időszakban az egyes parcellákra összesen kijuttatott N és S hatóanyagok mennyiségeit összesítettem,

valamint a növények által a vizsgált időszakban a parcellákról összesen kivont nitrogén és kén tápelemek mennyiségeit vettem figyelembe (KÁDÁR, 1997; SÁRDI, 2011).

A kénmérleg beviteli oldalát az 1983-2016 közötti időszakot tekintve az eltérő kénkijuttatás miatt két részre osztva számoltam. Külön vettem figyelembe az 1983-2009 közötti és az azt követő 2010-2016 közötti időszakot, amikor megszűnt a kén tápelem pótlása a szuperfoszfát monoammónium-foszfátra történő cseréje miatt.

A nitrogén kijuttatása változatlan formában történt, így a nitrogénmérleg input oldalának meghatározásánál az 1983-2016 időszakot nem volt szükséges felbontani.

A búza és kukorica terméshozamok megállapításához HORNOK et al. (2007), VÁRI és PEPÓ (2011), BERÉNYI (2013), valamint VÁRI és PEPÓ (2015) által közölt adatokat használtam fel, tekintettel arra, hogy a kísérleti területről a képződött mellékterméket is elszállították, így ezt is figyelembe vettem a mérlegszámítás során.

Az egyszerűsített N- és S-mérlegek kalkulációja az öntözött és az öntözésben nem részesített parcellák átlagtermésének figyelembevételével történt.

A búza és kukorica általi évenkénti kén- és nitrogénfelvételt a növények fajlagos kén- és nitrogén-szükségletének (búza: 2,6 kg/t, kukorica: 3 kg/t), valamint nitrogén-szükségletének (búza: 27 kg/t; kukorica: 25 kg/t) és a parcellánkénti termés mennyiségének figyelembevételével határoztam meg (ANTAL, 1987).

A kísérlet általam vizsgált időszakában, 2017-2019 között évenkénti nitrogén- és kénmérleget számoltam. Ez esetben az őszi búza által kivont nitrogén- és kénmennyiségeket az általam mért tápelemekkoncentrációk figyelembevételével állapítottam meg.

4.2. 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 a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészedény-kísérleti házában állítottam be 2018 és 2019 tavaszán.

A tenyészedényes kísérletekben minden évben STANGA tavaszi búza fajtát vettem. Ez a korai érésű, közepes magasságú fajta jó állóképességgel rendelkezik, és jól tűri a tenyészedényes körülményeket is.

A tenyészedényes kísérletek előnye, hogy konstans vízellátás mellett tudjuk elemezni a tápanyagellátás termés mennyiségre és minőségre gyakorolt hatását. A tápanyagok adagolása mellett az állandó vízellátás lehetővé teszi a szántóföldön folyamatosan változó tényezők kiküszöbölését, így a különböző kezelésekben elért terméseredmények, valamint a mért kémiai paraméterek alapján következtethetünk a talajok tápelemellátottságára és a műtrágyák hasznosulására (LOCH és KISS, 2010).

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

A kísérletet Debrecen-Látóképről származó mészlepedékes csernozjom (Chernozem, WRB) talajon állítottam be 2018 tavaszán. A főbb talajparaméterek az 5. táblázatban láthatók. A mért paraméterek alapján és a MÉM-NAK irányelveket követve a kísérleti talaj N-, P- és K-ellátottsága közepes volt.

5. táblázat: A kísérleti talaj fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai

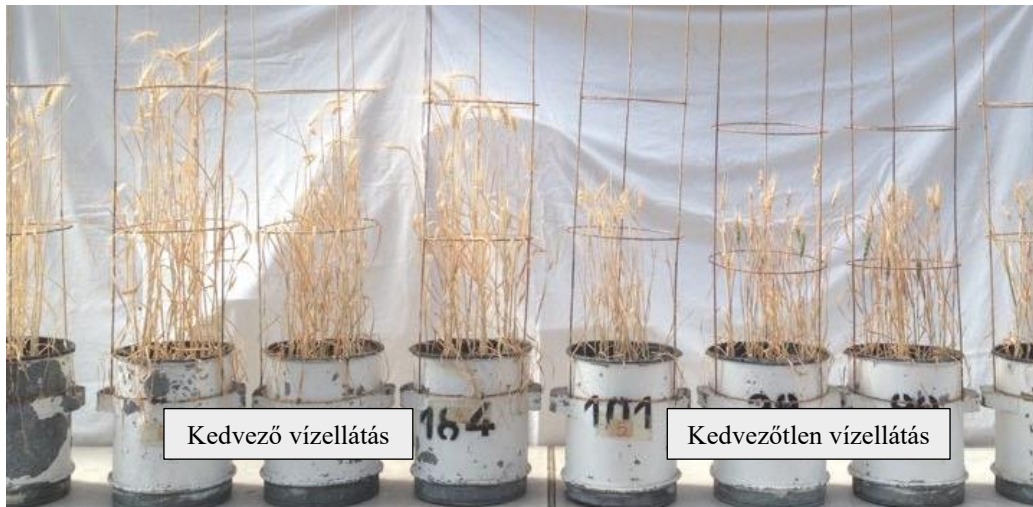
| | |
|--|------|
| pH (H ₂ O) | 6,00 |
| pH (KCl) | 5,16 |
| Hu% | 2,8 |
| K _A | 39 |
| y ₁ | 6,4 |
| Li % | 42 |
| AL-P ₂ O ₅ (mg/kg) | 103 |
| AL-K ₂ O (mg/kg) | 167 |
| KCl-SO ₄ ²⁻ -S (mg/kg) | 8,83 |

A kísérletben azt vizsgáltam, hogy a növekvő kéndózisú (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 alakulását (6. ábra).

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 (VÖMEL és VAN DER PAAUW, 1972). Ez a vízellátás a növények számára kedvező növekedési körülményt jelentett. A továbbiakban ezekre a kezelésekre kedvező vízellátásként hivatkozok.

A kezeléseik 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).



6. ábra: 2018-ban beállított tenyészedényes kísérletet bemutató fénykép (Forrás: saját, 2018)

Az edényekbe 4-6 cm mélységben 50 szem STANGA fajtájú tavaszi búzát vettem. A kelést követően ritkítottam az állományt és 30 növényt hagytam további növekedésre.

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 kevertem a talajba (6. táblázat).

6. táblázat: A 2018-ban beállított tenyészedényes kísérletben alkalmazott kezelések és a kijuttatott műtrágyaadagok (DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészedényháza)

| | Vízellátottság | 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 |

Az állandó N adag mellett növekvő arányú kénadagokat alkalmaztam (1:0,2, 1:0,25, 1:0,5). A lehetséges nitrogén-, kénarányok meghatározásánál NAD et al. (2001);

GIRMA et al. (2005) és CARVER (2005) által javasolt kéndózisokat vettem figyelembe. A növekvő N, S arányú kezeléseket mindkét vízellátás esetében megvalósítottam.

A nitrogén és kén hatóanyagokat ammónium-nitrátként (NH_4NO_3) és ammónium-szulfátként $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, oldat formájában juttattam a talajba. A búza foszfor- és káliumszükségletének kielégítéséhez kálium-dihidrogénfoszfát (KH_2PO_4) és kálium-klorid (KCl) műtrágyák oldatait kevertem a talajba.

A talaj természetes tápanyagszolgáltató képességének elemzése céljából kontroll kezelést is beállítottam, ahol nem alkalmaztam műtrágyát. A célok megvalósítása érdekében 8 kezelést állítottam be, három ismétlésben, randomizált elhelyezésben.

A kísérletben mértem a szárbainduláskori, virágzáskori és teljes éréskori biomasszatömeget, a szem és szalma tömegéből betakarítási indexet (HI) határoztam meg. Mértem a növények összes N-, S-tartalmát, amiből N/S értéket számoltam és meghatároztam a virágzáskori növényi biomassza szulfát-S tartalmát. Mértem a talaj KCl, CaCl_2 és KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalmát, valamint vizsgáltam a növényi és talajparaméterek közötti összefüggéseket és az alkalmazott műtrágyák hasznosulását.

4.2.2. Különböző kénformájú és különböző N, S arányú kezelések hatásvizsgálatára irányuló kísérletek

2019-ben a tenyészedényes kísérletet kétféle talajon, Debrecen-Látóképről származó mészlepedékes csernozjom (Chernozem, WRB) talajon és Pallagról származó humuszos homok (Arenosol, WRB) talajon állítottam be. Az alkalmazott talajok főbb tulajdonságait a 7. táblázatban összesítettem.

7. táblázat: A kísérleti talajok fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai

| | Mészlepedékes csernozjom (Debrecen-Látókép) | Humuszos homok (Pallag) |
|------------------------------------|--|----------------------------|
| pH (KCl) | 5,68 | 5,38 |
| Hu% | 3,1 | 1,0 |
| K_A | 39 | 30 |
| y_1 | 6,5 | 7,8 |
| Li % | 44 | 15 |
| AL- P_2O_5 (mg/kg) | 264 | 248 |
| AL- K_2O (mg/kg) | 180 | 278 |
| KCl- SO_4^{2-} -S (mg/kg) | 4,98 | 6,43 |

A talajok tápanyag-ellátottsági kategóriába sorolásakor a MÉM NAK irányelveket vettem alapul. E szerint a csernozjom talaj N-ellátottsága jó, K-ellátottsága közepes, P-

ellátottsága igen jó volt, a homok talaj N-ellátottsága közepes, K-ellátottsága igen jó, P-ellátottsága szintén igen jó volt.

A tenyészedényes kísérlet beállítása során céлом volt elemezni az eltérő kénformák (szulfát, SO_4^{2-} ; tioszulfát, $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) és e kénformák eltérő nitrogén, 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 tenyészedényekbe. A kísérlet során a talajok nedvességtartalmát a megállapított maximális vízkapacitás (a légszáraz talaj gravitációval szembeni maximális víztartóképesége) 60%-ára állítottam be és naponta tömegmérés alapján ioncserélt vízzel pótoltam a hiányzó nedvességet.

A kísérletben a szulfát és a tioszulfát hatását hasonlítottam össze. Mindkét S-forma esetén azonos N-dózis mellett növekvő S adagú tápanyagkijuttatást alkalmaztam. A N, S arányok megválasztásánál a 2018-as tenyészedényes kísérlet eredményeit vettem alapul, ahol a legjobb eredményt az 1:0,5 arány esetében kaptam, így ehhez viszonyítva határoztam meg a további arányokat. A kísérlet kezelési terve a 8. táblázatban látható. A kísérletben 7 kezelést állítottam be, 3 ismétlésben, randomizált elhelyezésben.

8. táblázat: A 2019-ban beállított tenyészedényes kísérletben alkalmazott kezelések és a kijuttatott műtrágyaadagok (DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészedényháza)

| | 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. | $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ | 1:0,2 | 120 | 24 |
| 6. | $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ | 1:0,5 | 120 | 60 |
| 7. | $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ | 1:1 | 120 | 120 |

A nitrogén tápanyagot egységes mennyiségben 120 N kg/ha adagban, 10 kg talajhoz arányosítottan juttattam ki. A kén tápanyagot a nitrogén dózishoz viszonyítva, 1:0,2; 1:0,5 és 1:1 arányban adagoltam.

A nitrogént monoammónium-foszfát ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), ammónium-nitrát (NH_4NO_3) és ammónium-tioszulfát [$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$] oldatok, a S tápanyagot kálium-szulfát (K_2SO_4) és ammónium-tioszulfát [$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$] oldatok formájában kevertem a talajba. A foszfort 100 kg/ha, a káliumot 146 kg/ha (10 kg talajhoz arányosítva) mennyiségben,

monoammónium-foszfát ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), kálium-szulfát (K_2SO_4) és kálium-klorid (KCl) formájában juttattam ki.

A kísérletben mértem a szárbainduláskori, virágzáskori és teljes érés kori biomasszatömeget, a növény összes N-, S-tartalmát, amiből N/S-t számoltam és a virágzáskori növényi biomassza szulfát-S tartalmát. Vizsgáltam a talaj KCl, CaCl_2 és KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalmának a változását is.

4.2.3. Növény- és talajmintavételek módja a tenyészedényes kísérletekben

A növényi mintavétel a tavaszi búza szárbaindulásakor, virágzásakor és teljes érésakor történt a 9. táblázatban feltüntetett időpontokban.

9. táblázat: A növénymintavételek időpontjai a tenyészedényes kísérletekben 2018, 2019 években

| Fejlődési stádium | | 2018 | 2019 |
|-------------------|---------------|------------|------------|
| BBCH 30-32 | szárbaindulás | május 22. | május 22. |
| BBCH 61-65 | virágzás | június 14. | június 19 |
| BBCH 89 | teljes érés | július 25. | július 22. |

A mintavételezés során a teljes föld feletti növényi részt mintáztam. A teljes érés kor vett minták esetében a szalmát elkülönítettem a kalásztól. A növénymintákat először tető alatt, szabad levegőn légszárazra, majd MEMMERT UF1060 típusú szárítószekrényben $60\text{ }^\circ\text{C}$ -on súlyállandóságig szárítottam. A szárított növénymintákat további analízis céljából FRITSCH PULVERISETTE 14 típusú darálóval ledaráltam és papírzacskóban tároltam az analitikai elemzésig.

A tenyészedényes kísérleteknél a talajmintavételre egy alkalommal, a betakarítást követően került sor, oly módon, hogy a talajt kiborítottam az edényből és alapos homogenizálás után vettem mintát. A talajmintákat légszárazra szárítottam, majd 1 mm átmérőjű CISA 018067.10 típusú rozsdamentes acél szitán átszitáltam és papírzacskóban tároltam az elemzésig.

4.2.4. Műtrágyahasznosulás

A kijuttatott tápelemek hasznosulását az alkalmazott műtrágyahatóanyag dózis és a növény általi tápanyagfelvétel függvényében határoztam meg. A kijuttatott műtrágyák hasznosulását az alábbi képlet segítségével számoltam (SÁRDI, 2011):

$$\text{Hasznosulási \%} = \frac{(\text{kezelt növény tápanyagfelvétele} - \text{kontroll növény tápanyagfelvétele})}{\text{kijuttatott műtrágyahatóanyag dózis}} * 100$$

4.3. Az alkalmazott talaj- és növényanalitikai módszerek

A szabadföldi műtrágyázási tartamkísérletből származó őszi búza és a tenyészedényes kísérletekben termesztett tavaszi búza beltartalmi tulajdonságait és a talajminták kémiai, mikrobiológiai paramétereit az alábbi módszerekkel határoztam meg.

4.3.1. A búza N- és S-tartalmának meghatározása

Az őszi és tavaszi búza minták nitrogén- és kéntartalmát ELEMENTAR VARIO EL típusú CNS elemanalizátorral határoztam meg. Az analizátor a Dumas-féle égetéses eljárás elvén működik, melynek során az óncsónakokba csomagolt homogenizált minta, 1150 °C-os kemencében nagy tisztaságú oxigénáramban ég el. A keletkezett gázhalmazállapotú égéstermékeket hélium gáz továbbítja egy redukáló közegen keresztül. A létrejött gázelegy adszorbens oszlopokon halad át, melyen bizonyos összetevők ideiglenesen adszorbeálódnak és elválnak egymástól. Ezt követően az összetevők mennyiségét hővezetőképesség mérésével határozza meg a műszer (NAGY, 2000). Az elemanalizátor kalibrálása során a műszer saját, belső kalibrációját használtam, melyet a napi faktor segítségével korrigáltam. Ehhez analitikai tisztaságú szulfanilsavat alkalmaztam, mely 41,6% C-t, 8,1% N-t és 18,5% S-t tartalmaz. A rendszer stabilizálásához 15 db szulfanilsav minta C-, N-, S-tartalmát mértem meg. A növényminták nitrogén- és kéntartalmát a szárazanyag százalékában adtam meg.

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

A mérés előkészítéséhez a szárított, homogenizált és ledarált növénymintákból 0,500 g mennyiséget mértem be analitikai mérlegen. A mintához 25 cm³ nagytisztaságú desztillált vizet adtam, majd 30 percig síkrázógépen rázattam az elegyet. Ezt követően 5 percre 70 °C-os vízfürdőbe helyeztem a mintákat. A vízfürdő után 30 percig szobahőmérsékleten hűtöttem a kivonatokat, majd újabb 25 cm³ desztillált víz hozzáadása után a mintákat szűrtem. A szűrletet a felhasználás előtt 0,45 µm-es membránszűrőn szűrtem és kétszeresére hígítottam.

A vizes oldatok szulfáttartalmát MERCK-HITACHI típusú, egyoszlopos ionkromatográfjal mértem. A meghatározáshoz POLYSPHER IC AN-1 oszlopot, valamint 4 mM koncentrációjú és 4,5 pH-jú ftálsav eluent alkalmaztam. Az eluens elkészítéséhez 0,6646 g ftálsavat mértem be analitikai mérlegen, majd 1000 cm³ desztillált vízben oldottam fel. A pH beállításához 0,1M nátrium-borát ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

oldatot használtam. Az eluens áramlási sebességét 1,5 cm³/percre állítottam be. Méréskor az oszlopon kialakuló nyomás 70 bar, a hőmérséklet 40 °C volt.

A szulfát mennyiségi meghatározásához analitikai tisztaságú MERCK vegyszereket alkalmaztam. A standard oldat elkészítéséhez 0,1823 g K₂SO₄-ot oldottam fel 100 cm³ desztillált vízben. A törzsoldat koncentrációja 1 g SO₄²⁻/l volt. A törzsoldatot is 0,45 µm-es membránszűrőn szűrtem és hígítással 0, 10, 15, 20 mg/l koncentrációjú kalibrációs oldatokat készítettem (BALLÁNÉ, 2000).

A mérés során a teljes éréskor vett minták esetében a búzaszem SO₄²⁻ tartalma kimutatási határérték alatt volt, így a szulfáttartalmat csak a szárbainduláskori, a virágzáskori növény és a teljes érés kori szalma esetében határoztam meg.

4.3.3. A búzaszemek aminosav-összetételének meghatározása

A búzaszemek aminosavtartalmának (metionin, cisztein) meghatározása ioncserés kromatográfia módszerével az MSZ EN ISO 13903:2005 szabvány 2.2., 4., 5.3. szakasza alapján történt. Az aminosavak mennyiségét tömegszázalékban (m/m %) adtam meg.

4.3.4. A talaj oldható szulfátformáinak mérése

A talaj oldható szulfátformáinak meghatározásához háromféle kivonószer és talajextrakciós módszert alkalmaztam.

4.3.4.1. A talaj 1M KCl oldható SO₄²⁻-S tartalmának meghatározása

Magyarországon a talaj oldható szulfáttartalmának mérése az MSZ 20135:1999 szabvány szerint az 1M KCl kivonószerben történik. Ennek alapján 1000 cm³ kivonószer elkészítéséhez 74,56 g szilárd KCl-ot oldottam fel desztillált vízben. Az 1M KCl kivonószerrel 1:2,5 arányú talajszuszpenziót készítettem, melyet 1 órán keresztül rázattam körforgó rázógépb. Rázás után a talajszuszpenziót szűrtem. A szűrletben turbidimetriás módszerrel mértem a szulfát mennyiségét (4.3.4.4. fejezet).

4.3.4.2. A talaj 0,01M CaCl₂ oldható SO₄²⁻-S tartalmának meghatározása

A talaj oldható szulfáttartalmát 0,01M CaCl₂ kivonószer alkalmazásával is mértem (YLI-HALLA, 1987). 1000 cm³ kivonószer elkészítéséhez 1,11 g szilárd CaCl₂*2H₂O vízben való oldására volt szükség. A kivonószerrel 1:2,5 arányú talajszuszpenziót készítettem, melyet 1 órán át körrázógépen rázattam, majd szűrtem a szuszpenziót. A szűrletben turbidimetriás módszerrel mértem a szulfát mennyiségét (4.3.4.4. fejezet).

4.3.4.3. A talaj 0,016M KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalmának meghatározása

A talaj szulfáttartalmának a meghatározásához a 0,016M KH₂PO₄ kivonószert is alkalmaztam (BANSAL et al., 1983). A 0,016M KH₂PO₄ kivonószert elkészítéséhez 1000 cm³ desztillált vízben 2,18 g KH₂PO₄ vegyszert oldottam fel, mellyel szintén 1:2,5 arányú talajszuszpenziót kaptam, amit 1 órán keresztül rázattam körrázógépen. A szuszpenziót szűrtem és turbidimetriás módszerrel mértem a szulfát mennyiségét (4.3.4.4. fejezet).

4.3.4.4. A SO₄²⁻-S mérése KCl, CaCl₂, és KH₂PO₄ talajkivonatokban

A talajkivonatok szulfát-S tartalmát turbidimetriás módszerrel határoztam meg. A módszer azon alapszik, hogy a SO₄²⁻ - ionokból BaCl₂ jelenlétében kolloidállapotú BaSO₄ csapadék képződik, aminek a mennyiségét turbidimetriásan METERTEK SP-850 típusú spektrofotométeren, 420 nm-en mértem meg (SINGH et al., 2011).

Szükséges reagensek:

1. Standard törzsoldat: 0,2715 g szilárd K₂SO₄-t 500 cm³ aktuálisan használt kivonószertben (KCl, CaCl₂, KH₂PO₄) oldottam fel. A kapott oldat koncentrációja 100 mg SO₄²⁻-S/l. A standard törzsoldatból hígítással készítettem el a 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40 mg SO₄²⁻-S/l koncentrációjú standard sorozatot.
2. Savas reagens: A reagens előállításához 50 cm³ 40 mg SO₄²⁻-S/l standard oldathoz 50 cm³ 37%-os sósavat adtam.

A mérés menete:

10 cm³ szűrt talajkivonathoz 1 cm³ savas reagenst és 0,5 g szilárd BaCl₂*2H₂O vegyszert adtam. A szűrlet szulfáttartalmát egy perc állás után, 3-8 percen belül turbidimetriás módszerrel mértem meg. A meghatározás relatív szórása (RSD) 3,47 volt.

A talaj szulfát-S tartalmának (mg/kg) kiszámítása 10 g talajminta, 25 cm³ kivonószert és 10 cm³ szűrlet alkalmazása esetén az alábbi képlet segítségével történt:

$$\text{mg SO}_4^{2-} - \text{S/kg} = \frac{\text{mg SO}_4^{2-} \text{S/l} \times 0,025\text{L}}{0,010 \text{ kg talaj}} = \text{mg S/L} \times 2,5$$

4.3.5. A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitásának meghatározása

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

A méréshez az alábbi reagenseket készítettem el:

1. Az acetát puffer (0,5M; pH=5,8) elkészítéséhez 68 g $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -t oldottam fel 700 cm^3 desztillált vízben, majd hozzáadtam 1,70 cm^3 99%-os ecetsavat, és 1000 cm^3 -re hígítottam desztillált vízzel.
2. A 0,025M kálium-p-nitrofenil szulfát oldat előállításához 0,312 g kálium-p-nitrofenil szulfátot 50 cm^3 acetát pufferben oldottam fel.
3. A 0,5M CaCl_2 oldat elkészítéséhez 73,5 g $\text{CaCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ -t 700 cm^3 desztillált vízben oldottam, majd az oldatot 1000 cm^3 -re hígítottam.
4. A 0,5M NaOH oldat elkészítéséhez feloldottam 20 g NaOH-t 700 cm^3 desztillált vízben, majd az oldatot 1000 cm^3 -re hígítottam.
5. A standard p-nitrofenol oldathoz feloldottam 1 g p-nitrofenolt 70 cm^3 desztillált vízben, majd szintén 1000 cm^3 -re hígítottam az oldatot.

A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitásának vizsgálatához 1 g nedves talajt, 50 cm^3 -es Erlenmeyer-lombikba helyeztem, majd 1 cm^3 0,025M p-nitrofenil szulfát oldat, 4 cm^3 0,5M acetát puffer és 0,25 cm^3 toluol jelenlétében 1 órán keresztül, 37 °C-on inkubáltam. Az inkubálást követően 1 cm^3 0,5M CaCl_2 -t és 4 cm^3 0,5M NaOH-t adtam a keverékhez, majd néhány perc után szűrtem a szuszpenziót. A szűrt sárga színű oldatot 420 nm-en METERTEK SP-850 típusú spektrofotométeren mértem meg fotometriásan. A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitását μg p-nitrofenol/g/h egységben adtam meg. A talaj aril-szulfatáz enzim aktivitásának kiszámítása 1 g nedves talaj esetén az alábbi képlet segítségével történt:

$$\mu\text{g p – nitrofenol/g/h} = (S - C) * 10,25$$

ahol S = a kezelt minták átlagértékei, C = a kontroll minták átlagértékei, 10,25 a kivonat térfogata (cm^3).

4.4. Adatfeldolgozás, az adatok statisztikai értékelése

Az adatok feldolgozása, a diagramok és táblázatok elkészítése Microsoft Office Excel 2016 program segítségével történt.

Az eredmények statisztikai értékeléséhez IBM SPSS v.22 programot alkalmaztam. A szabadföldi kisparcellás kísérletben a kezeléshatások elemzésére kéttényezős varianciaanalízist használtam. Két változó esetén t-próbát, kettőnél több független változónál összehasonlító Tukey-féle post-hoc tesztet végeztem 95%-os szignifikancia szint mellett. A két tényező a tartamkísérlet során alapesetben a műtrágyázás (kontroll, NPK1, NPK2) és az öntözés (öntözött, nem öntözött) volt. Ez alól kivétel volt, mikor a

talaj szulfát-S tartalmának szezonális változását elemeztem, ahol a két tényező a mintavételi időpontok (szárbaindulás, virágzás, teljes érés) és a mintavételi évek voltak.

A tenyészedényes kísérletek esetében a kezelések hatását a vizsgált paraméterekre egytényezős varianciaanalízissel és Tukey-féle post-hoc teszttel értékeltem.

A KCl, CaCl₂, és KH₂PO₄ talajkivonatokban mért szulfáttartalom közötti kapcsolatok, illetve a KCl, CaCl₂, és KH₂PO₄ talajkivonatokban mért szulfáttartalom és a növény által felvett kén közötti korreláció megállapításához Pearson-féle korrelációanalízist és regresszióanalízist végeztem.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. A kénforgalom egyes elemeinek változása az NPK műtrágyázási tartamkísérletben

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

Az eltérő műtrágyakezelésű parcellákon az 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó egyszerűsített kumulált N- és S-mérleget a 10. táblázatban mutatom be.

A kontroll parcellákban 34 éven keresztül nem alkalmaztak tápanyagutánpótlást, így a vizsgálati időszak végére jelentős negatív N mérleg (-5248,8 kg N/ha) alakult ki. A műtrágyadózisok növekedésével a hiány csökkent, de a búza és a kukorica nagyarányú N-felvétele miatt az 1983-2016 közötti időszak végére még a legnagyobb N dóziszú kezelésben is negatív volt az összesített nitrogénmérleg egyenlege (-393,6 kg N/ha).

10. 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 |

Az őszi búza és kukorica S-felvétele a N-felvételhez viszonyítva kisebb mértékű volt, így ez esetben csupán a kontroll kezelésben alakult ki jelentősen negatív összesített kénmérleg (-619,7 kg S/ha). A kénmérleg értéke a kisebb műtrágyaadagú NPK1 kezelésben pozitívvá vált (383,7 kg S/ha), az 1983-2009 között ként tartalmazó szuperfoszfát rendszeres kijuttatásának köszönhetően (42,4 kg S/ha/év). A legnagyobb dóziszú NPK2 kezelésben, ahol 1983-2010 között évente 84,8 kg S/ha/év hatóanyagot juttattak ki, a kumulált S-mérleg még pozitívabbá vált és értéke 1687,9 kg S/ha-ra nőtt.

Összességében elmondható, hogy a 34 éves időtartamú, 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó összesített N-mérleg a kontroll parcellákon, illetve az NPK1 és az NPK2 kezeléseknél is negatív volt, mely hosszú távon a talaj tartalék tápanyagainak

kimerüléséhez és a talaj termékenységének romlásához vezet. Az összesített S-mérleg ezzel szemben csak a kontroll kezelésben volt negatív, az NPK1 és NPK2 kezeléseknél 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.

5.1.2. Talajvizsgálati eredmények

5.1.2.1. A talaj 1M KCl; 0,01M CaCl₂ és 0,016M KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalma az őszi búza tenyészideje alatt

A talajmintavétel a növényi mintavétellel azonos időpontban történt. Az őszi búza fejlődése során 3 alkalommal, szárbainduláskor, virágzáskor és teljes éréskor mértem a talaj oldható szulfát-S mennyiségét a KCl, a CaCl₂ és a KH₂PO₄ kivonószerekben. Az eredményeket először azonos mintavételi időpontként elemeztem a vizsgált kísérleti években (2017, 2018, 2019), majd ezt követően a talaj szulfáttartalmának időbeli (a búza tenyészideje alatti) és térbeli (0-100 cm-es talajprofilon belüli) változásait is vizsgáltam.

5.1.2.1.1. A trágyázás és az öntözés hatása a feltalaj eltérő módszerekkel meghatározott szulfáttartalmára az őszi búza szárbaindulásának időszakában

A feltalaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ kivonószerekben mért szulfáttartalmát az őszi búza szárbaindulásakor, kísérleti évenként a 11. táblázat mutatja be.

11. táblázat: A feltalaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalma az őszi búza szárbaindulásakor (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 | 2,39±0,39 | 2,89±0,41 | 2,64^a | 1,13±0,72 | 1,78±0,36 | 1,46^a | 4,33±2,30 | 4,62±2,61 | 4,47^a |
| NPK1 | 2,58±0,57 | 3,14±0,33 | 2,86^a | 0,97±0,68 | 1,72±0,44 | 1,34^a | 6,41±1,71 | 7,32±1,40 | 6,86^a |
| NPK2 | 2,86±0,30 | 3,64±0,69 | 3,25^b | 1,10±0,85 | 2,04±0,44 | 1,57^a | 6,25±0,93 | 6,54±0,75 | 6,39^a |
| Átlag | 2,61^A | 3,22^B | 2,92 | 1,07^A | 1,85^B | 1,46 | 5,66^A | 6,16^A | 5,91 |
| 2018 | | | | | | | | | |
| kontroll | 0,33±0,08 | 0,70±0,57 | 0,51^a | 0,42±0,32 | 0,36±0,03 | 0,39^a | 6,34±0,94 | 6,08±0,88 | 6,21^a |
| NPK1 | 0,33±0,16 | 0,74±0,64 | 0,53^a | 0,63±0,55 | 0,29±0,15 | 0,46^a | 6,31±0,38 | 5,12±1,02 | 5,72^a |
| NPK2 | 0,42±0,24 | 1,19±1,38 | 0,81^a | 1,05±0,07 | 1,01±0,70 | 1,03^b | 6,95±0,76 | 5,09±1,18 | 6,02^a |
| Átlag | 0,36^A | 0,88^A | 0,62 | 0,70^A | 0,55^A | 0,63 | 6,53^A | 5,43^A | 5,98 |
| 2019 | | | | | | | | | |
| kontroll | 4,29±0,09 | 4,68±0,01 | 4,49^a | 2,78±0,30 | 3,11±0,05 | 2,95^a | 8,17±0,93 | 7,11±0,49 | 7,64^a |
| NPKS1 | 4,59±0,17 | 4,57±0,04 | 4,58^a | 1,51±0,05 | 2,87±0,23 | 2,19^a | 13,59±0,04 | 13,81±0,11 | 13,70^b |
| NPKS2 | 4,63±0,04 | 5,89±0,35 | 5,26^b | 3,60±0,13 | 3,34±0,02 | 3,47^b | 13,94±0,06 | 14,52±0,46 | 14,23^b |
| Átlag | 4,51^A | 5,05^B | 4,78 | 2,63^A | 3,11^B | 2,87 | 11,90^A | 11,81^A | 11,85 |

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

2017-ben kétszer volt öntözés az öntözött parcellákon. Az első öntözés május 27-28-án a virágzáskori mintavételezés előtt, a második június 1-2-án történt (2x20mm). A szárbainduláskori mintavételezés előtt még nem volt öntözés a területen.

Az 1M KCl-SO₄²⁻-S a kontroll kezelésben volt a legkisebb (2,64 mg/kg), melytől a NPK1 kezelésben mért SO₄²⁻-S érték nem különbözött. A legnagyobb adagú NPK2 kezelésben szignifikáns növekedést tapasztaltam a feltalaj szulfát-S tartalmában. A nem öntözött parcellákon a KCl-SO₄²⁻-S értéke minden műtrágyaszinten nagyobb volt, melynek oka lehet a korábbi évek öntözésének hatására bekövetkező nagyobb mértékű szulfát-kimosódás, illetve az is, hogy az öntözés kedvezőbb növekedési feltételeket biztosított az öntözött parcellákon, melyen a növényi kénfelvétel is intenzívebbé vált. WANG et al. (2014) tanulmányában szintén rámutat arra, hogy az öntözés javíthatja a talaj tápanyagainak hozzáférhetőségét.

A 0,01M CaCl₂ kivonatban kisebb szulfát-S mennyiséget mértem (0,97-2,04 mg/kg), mint a nagyobb koncentrációjú és ionerősségű 1M KCl kivonószerben (2,39-3,64 mg/kg). E kivonószer alkalmazása esetén nem tapasztaltam statisztikailag igazolható különbséget az eltérő dózisu trágyázásban részesített parcellák feltalajának szulfáttartalmában. A CaCl₂ oldható szulfát-S mennyisége szintén a nem öntözött parcellákon volt nagyobb.

A 0,016M KH₂PO₄-SO₄²⁻-S volt a legnagyobb a kivonószer által kivont mennyiségek között (4,33-7,32 mg/kg). SANTOSO et al. (1995) szerint ez az extrahálószer a vízoldható szerves formán kívül a talajkolloidokon adszorbeált szulfátformát is oldhatja, ami magyarázhatja ebben a kivonószerben mért nagyobb értékeket. A növekvő NPK műtrágyázott parcellák feltalajában nem változott igazolhatóan e kivonószer által oldott szulfát-S mennyisége. Az öntözött, nem öntözött parcellák értékei sem különböztek egymástól.

2018-ban mért talajkivonatokban szintén a KH₂PO₄-oldható szulfát-S mennyisége volt a legnagyobb (5,09-6,95 mg/kg), ehhez viszonyítva a KCl (0,33-1,19 mg/kg) és CaCl₂ (0,29-1,01 mg/kg) kivonatokban mért értékek kisebbek voltak. A növekvő adagú NPK műtrágyázás, így a korábbi években kijuttatott gipsz, csak a CaCl₂-oldható szulfát-S tartalomra volt jelentős hatással. Ebben az esetben a kontrollhoz viszonyított szignifikáns növekedést figyeltem meg az NPK2 kezelés hatására. A KCl és KH₂PO₄ kivonószer kivonataiban a műtrágyázott parcellákon nem mértem megnövekedett szulfáttartalmat. Az öntözött és nem öntözött parcellák szulfát értékei között nem volt különbség.

2019-ben, 10 év után ismételten szuperfoszfátként juttatták ki a P tápanyagot a műtrágyázott parcellákon, így ebben az évben ismét volt kénutánpótlás.

A KCl-oldható szulfát-S tartalom 4,29-5,89 mg/kg értékek között változott a szárbainduláskor. Szignifikáns különbséget a kontroll és az NPKS1 kezelés között nem tudtam kimutatni, azonban a NPKS2 kezelés hatására igazolhatóan növekedett a feltalaj szulfát-S tartalma a kontrollhoz viszonyítva. Az öntözött parcellákon 2019-ben is kisebb szulfát-S tartalmat mértem, ami a korábbi időszakban végzett öntözési tevékenységek hatására vezethető vissza.

A $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S tartalom 1,51-3,60 mg/kg értékek között változott, értéke csak a legnagyobb műtrágyadózisú parcellán növekedett meg a kontrollhoz képest.

A KH_2PO_4 -oldható szulfát-S mennyisége (7,11-14,52 mg/kg) ebben az évben is nagyobb volt, mint a KCl és a CaCl_2 kivonószerben mért értékek. A KH_2PO_4 oldható szulfát-S értékét mindkét műtrágyadózis igazolhatóan növelte.

A mérési eredményekből megállapítható, hogy az újbóli gipszkijuttatás hatására a búza szárbaindulásakor igazolhatóan növekedett a feltalaj szulfát-S tartalma mindhárom kivonószerben.

Összegezve elmondható, hogy a búza szárbaindulásakor a különböző talajkivonatokban mért szulfát-S értékek nagysága a $\text{CaCl}_2 < \text{KCl} < \text{KH}_2\text{PO}_4$ sorrendet követte. A S-pótlás nélküli évekből a KCl, CaCl_2 és KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalom nem különbözött a kontroll és az NPK1 kezeléseknél. Az NPK2 kezelésben a KCl és CaCl_2 kivonatokban mért szulfát-S több esetben is igazolhatóan meghaladta a kontroll értékét, mely az 1983-2016 között kialakult pozitív S-mérleggel magyarázható. Az újbóli S-kijuttatás évében szárbainduláskor mindhárom kivonószerben nagyobb szulfáttartalmat mértem a kezelt parcellákon. Az öntözött és nem öntözött területeken a KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalom egyik évben sem különbözött. 2017-ben és 2019-ben a KCl- és CaCl_2 -oldható szulfát-S tartalom a nem öntözött területen volt nagyobb.

5.1.2.1.2. A trágyázás és az öntözés hatása a feltalaj eltérő módszerekkel meghatározott szulfáttartalmára az őszi búza virágzásának időszakában

Az őszi búza virágzásakor a KCl, CaCl_2 és KH_2PO_4 oldható szulfáttartalmakat évenként feltüntetve a 12. táblázatban láthatjuk.

2017-ben virágzáskor a KCl- SO_4^{2-} -S 2,26-5,23 mg/kg, a $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S 1,18-2,42 mg/kg és a $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S 4,82-16,47 mg/kg között változott.

A műtrágyázott parcellákon csak a KH_2PO_4 kivonatban mértem megnövekedett SO_4^{2-} -S tartalmat, ebben az esetben az NPK2 kezelésben igazolhatóan nagyobb szulfát-tartalom volt megfigyelhető a kontroll kezeléshez képest. A növekvő műtrágyadózisok a KCl és CaCl_2 kivonatokban mért szulfát-S tartalomra nem voltak szignifikáns hatással.

Ebben az évben a virágzás kori mintavételezés előtt néhány nappal volt öntözés. Mindhárom kivonat esetében az öntözött parcellákon mértem szignifikánsan nagyobb szulfát-S tartalmat.

12. táblázat: A feltalaj KCl, CaCl_2 és KH_2PO_4 oldható SO_4^{2-} -S tartalma az őszi búza virágzásakor (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

| Kezelés | KCl-SO_4^{2-} -S (mg/kg) | | | $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S (mg/kg) | | | $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S (mg/kg) | | |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|-------------------------|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| 2017 | | | | | | | | | |
| kontroll | 5,04±0,86 | 2,26±0,58 | 3,65^a | 2,42±0,96 | 1,18±0,67 | 1,80^a | 15,51±0,82 | 4,82±0,94 | 10,17^a |
| NPK1 | 4,59±1,27 | 3,00±0,24 | 3,79^a | 2,39±0,60 | 1,18±0,45 | 1,78^a | 14,97±1,29 | 6,21±0,18 | 10,59^a |
| NPK2 | 5,23±0,65 | 3,06±0,95 | 4,15^a | 1,90±0,23 | 1,31±0,66 | 1,60^a | 16,47±0,54 | 12,18±1,24 | 14,33^b |
| Átlag | 4,95^B | 2,77^A | 3,86 | 2,24^B | 1,22^A | 1,73 | 15,65^B | 7,74^A | 11,69 |
| 2018 | | | | | | | | | |
| kontroll | 0,93±0,44 | 0,50±0,08 | 0,72^a | 0,84±0,46 | 1,37±1,07 | 1,10^a | 6,89±1,51 | 8,05±1,22 | 7,47^a |
| NPK1 | 1,44±0,33 | 1,79±0,00 | 1,61^a | 0,97±0,33 | 1,90±0,75 | 1,43^a | 6,83±0,26 | 7,79±0,78 | 7,31^a |
| NPK2 | 1,65±0,34 | 2,15±0,56 | 1,90^a | 1,06±0,35 | 1,85±0,74 | 1,46^a | 8,05±1,26 | 8,26±0,97 | 8,16^b |
| Átlag | 1,34^A | 1,48^A | 1,41 | 0,96^A | 1,70^B | 1,33 | 7,26^A | 8,03^B | 7,65 |
| 2019 | | | | | | | | | |
| kontroll | 4,11±0,02 | 3,81±0,12 | 3,96^a | 2,46±0,29 | 2,65±0,23 | 2,55^a | 9,10±0,06 | 8,97±0,26 | 9,04^a |
| NPKS1 | 4,48±0,45 | 4,22±0,41 | 4,35^a | 2,29±0,10 | 3,25±0,58 | 2,77^a | 13,67±0,00 | 13,53±1,15 | 13,60^b |
| NPKS2 | 5,08±0,60 | 5,11±0,48 | 5,10^b | 3,10±0,48 | 3,93±0,61 | 3,51^b | 14,31±0,51 | 13,78±0,10 | 14,05^b |
| Átlag | 4,56^A | 4,38^A | 4,47 | 2,62^A | 3,28^B | 2,95 | 12,36^A | 12,09^A | 12,23 |

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

2018-ban a KCl-SO_4^{2-} -S 0,50-2,15 mg/kg értékek között változott. Ekkor sem a műtrágyázott parcellákon, sem az öntözött és nem öntözött parcellákon nem különbözött a KCl oldható szulfát mennyisége.

A CaCl_2 oldható SO_4^{2-} -S 0,84-1,90 mg/kg értékek között alakult. A CaCl_2 kivonatban mért értékekre a műtrágyázás nem volt szignifikáns hatással, ugyanakkor a nem öntözött parcellákon szignifikánsan nagyobb szulfát-S tartalom volt mérhető.

A $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S tartalom (6,83-8,26 mg/kg) virágzásakor is a legnagyobb értékű volt. A kontroll és az NPK1 kezelés értékei között nem volt különbség, azonban az NPK2 kezelés hatására jelentősen nagyobb értékek voltak jellemzőek. A $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S esetében is igazolhatóan nagyobb szulfáttartalmat mértem a nem öntözött területeken.

2019-ben az újból kijuttatott gipszadagok jelentős hatással voltak mind a három kivonatban mért SO_4^{2-} -S tartalomra a virágzásakor is. A KCl oldható szulfáttartalom (3,81-5,11 mg/kg) nem különbözött a kontroll és az NPKS1 kezelésekben, azonban a NPKS2 kezelés hatására 14,3%-kal növekedett a talaj oldható szulfáttartalma a kontrollhoz viszonyítva, mely növekedés már szignifikánsnak bizonyult.

A $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S (2,29-3,93 mg/kg) kisebb volt, mint a KCl kivonatban mért érték. A műtrágyázás hatására ugyanaz a tendencia figyelhető meg, mint a KCl kivonatban mért értékeknél, az NPKS2 kezelés hatására 12,7%-os növekedés volt jellemző a kontrollhoz képest. Az öntözött parcellákon szignifikánsan kisebb $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S tartalmat mértem.

A legnagyobb szulfát-S tartalmat virágzásakor is a KH_2PO_4 kivonatban mértem (8,97-14,31 mg/kg). Ekkor a kisebb műtrágyadózisú kezelés hatására már szignifikáns szulfátnövekedést figyeltem meg, de a nagyobb adag további, igazolható növekedést nem okozott.

Összefoglalva megállapítható, hogy a búza virágzásakor a műtrágyázott parcellákon a korábbi években alkalmazott szuperfoszfát utóhatása 2017 és 2018 években csak a KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalom esetében érvényesült, ahol az NPK2 kezelésben szignifikánsan nagyobb értéket mértem a kontrollhoz képest. 2019-ben mindhárom kivonatban mért szulfát-S tartalomban megjelent az újból kijuttatott szuperfoszfát kéntartalmának hatása. Az öntözés hatására 2017-ben mindhárom kivonatban jelentősen nagyobb szulfát-S tartalom volt mérhető az öntözött parcellákon. A 2018 és 2019 években, több esetben a nem öntözött parcellákon mért szulfát-S értékek voltak nagyobbak. A különböző talajkivonószerek által kivont szulfát-S értékek nagysága virágzásakor is a $\text{CaCl}_2 < \text{KCl} < \text{KH}_2\text{PO}_4$ sorrendet követte.

5.1.2.1.3. A trágyázás és az öntözés hatása a feltalaj eltérő módszerekkel meghatározott szulfáttartalmára az őszi búza teljes érésének időszakában

Vizsgálataink során a 3. talajmintavétel az őszi búza teljes érésakor történt, melynek mérési eredményeit a *13. táblázatban* foglaltam össze.

2017-ben a KCl (2,67-5,13 mg/kg) és a CaCl_2 (0,98-2,94 mg/kg) kivonatokban mért szulfát-S értékeknél hasonló tendencia volt megfigyelhető. A kontrollban mértem a legkisebb szulfát-S tartalmat. A növekvő műtrágyadózisú kezelések kissé növelték a szulfát-S értékeket, viszont a kontrollhoz viszonyított szignifikáns növekedés csak az NPK2 kezelésnél mutatkozott. A $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S (7,05-17,18 mg/kg) tartalmat már az NPK1 kezelés is szignifikáns mértékben növelte, azonban a nagyobb műtrágyadózis nem

okozott további szignifikáns változást. Öntözés hatására, mely egy hónappal megelőzte a mintavételi időpontot, az oldhatósági viszonyok javultak, így minden kivonatban szignifikánsan nagyobb szulfát-S értékeket mértem az öntözött parcellákon.

2018-ban a SO_4^{2-} -S tartalmat sem az öntözés, sem a műtrágyázás nem befolyásolta igazolható módon. A KCl-SO_4^{2-} -S 0,53-1,95 mg/kg között változott, míg a CaCl_2 kivonatban mért értékek 0,34-1,14 mg/kg között alakultak. A $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S volt a legnagyobb, mely 8,24-10,26 mg/kg között volt jellemző.

13. táblázat: A feltalaj KCl , CaCl_2 és KH_2PO_4 oldható SO_4^{2-} -S tartalma az őszi búza teljes érésekor (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

| Kezelés | KCl-SO_4^{2-} -S (mg/kg) | | | $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}$ -S (mg/kg) | | | $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -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 évenként nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban kivonászerenként nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö = öntözött, NÖ = nem öntözött.

2019-ben az újbóli szuperfoszfát kijuttatás évében a S-tartalmú kezelések hatására a KCl (4,86-6,16 mg/kg) és CaCl_2 oldható szulfát-S tartalom (2,53-4,87 mg/kg) esetében hasonló tendenciát figyeltem meg. A kontroll és az NPKS1 kezelések értékei között nem volt eltérés, csak a legnagyobb dózisz NPKS2 kezelés eredményezett szignifikáns növekedést a kontrollhoz képest. Az öntözött és nem öntözött parcellák értékei között nem volt szignifikáns különbség.

A teljes éréskor is a $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S (8,77-15,12 mg/kg) volt a legnagyobb a vizsgált kivonásokban mért értékek között. Legkisebb értéket a kontroll kezelésekben kaptam, mely a kisebb adagú NPKS1 dózis hatására jelentősen növekedett, azonban a nagyobb adagú szuperfoszfát (NPKS2) hatására nem volt további értéknövekedés. Az öntözött parcellákon jelentősen nagyobb szulfát-S tartalom volt mérhető.

Összefoglalóan megállapítható, hogy 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; BALANAGAUDAR és SATYANLYANA, 1990; JAGGI és SHARMA, 1999; PATRA et al., 2012; BANKOLE et al., 2022).

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 kezelésekben sem. A KH₂PO₄ kivonószer nagyobb mennyiségű szulfátot von ki a talajból, ugyanis feltételezhetően az adszorbeált szulfátformát is oldja, így ebben a kivonatban mért értékek több esetben elérték vagy meghaladták a kritikus határértéket.

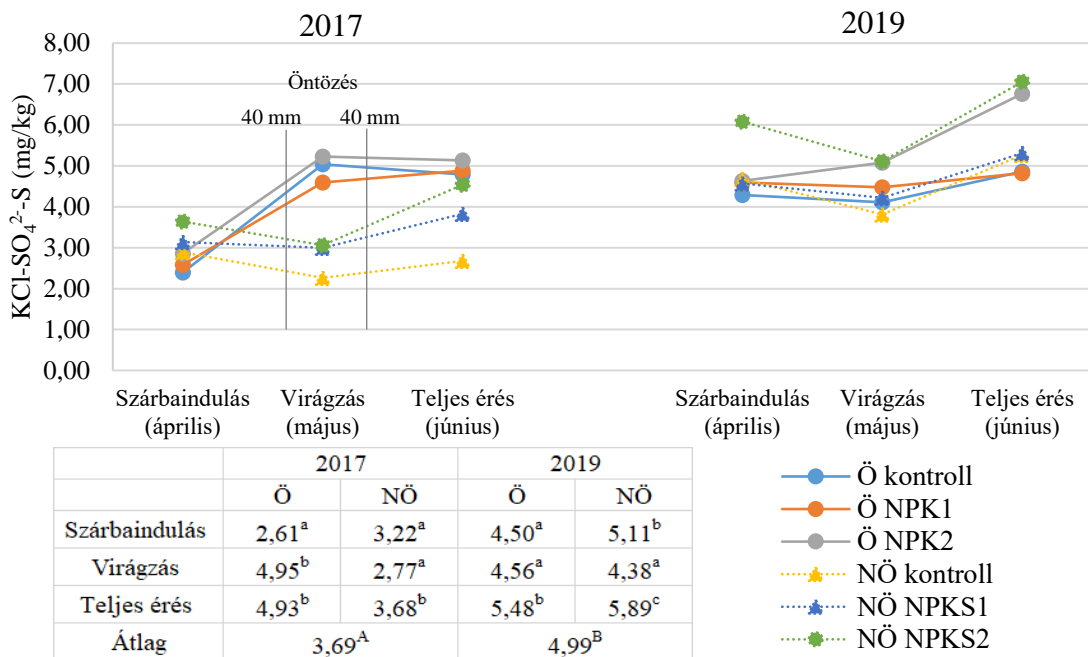
2019-ben, amikor a foszfor tápanyag pótlására ismételten szuperfoszfát műtrágyát alkalmaztak, a KCl és CaCl₂ oldható szulfát-S tartalom bár kissé megnövekedett, de továbbra is a kritikus tartomány alatt maradt. A KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalom nagysága nem változott jelentősen.

5.1.2.2. A talaj 1M KCl oldható szulfát-S tartalmának változása az őszi búza tenyészideje alatt

Összehasonlítottam a három eltérő talajkivonószerben mérhető szulfáttartalom szezonális változását 2017 és 2019 években. 2017-ben az 1983-2009 közötti időszakban kijuttatott CaSO₄ utóhatását, 2019-ben az újbóli CaSO₄ kijuttatás hatását elemeztem.

A vizsgált kivonószeresekben mért szulfát-S tartalmak változása nagyon hasonló tendenciát mutatott a tenyészidőszak előrehaladtával, így csak a Magyarországon a szulfát-S meghatározására elfogadott, 1M KCl kivonatban mért értékek időbeli változását ismertetem részletesen. A különböző trágyakezelésekben részesített parcellák

feltalajának az őszi búza szárbaindulásakor, virágzásakor, illetve teljes érésekor meghatározott átlagos KCl-oldható szulfát-S tartalmát a 7. ábrán mutatom be.



7. ábra: A feltalaj 1M KCl oldható szulfát-S tartalmának szezonális változása 2017 és 2019 években (Debrecen-Látókép)

Megjegyzés: Az „abc” jelölés a mintavételi időpontok, míg a „ABC” jelölés az évek közötti eltérést mutatják és az azonos betűvel jelölt értékek nem különböznek egymástól p < 0,05 szignifikancia szinten

2017-ben a búza szárbaindulásakor a talaj KCl oldható szulfát-S tartalma minden műtrágyaszinten 4 mg/kg alatt volt. Virágzáskor az öntözést követően az öntözött parcellákon az előző időszakhoz képest szignifikánsan nagyobb értékeket mértem, míg a nem öntözött kezelésekben mért szulfát-S tartalom nem különbözött jelentősen a szárbaindulás során mért értékektől. Teljes éréskor, amikor növényi tápanyagfelvétel már nem jellemző, az öntözött parcellákon mért értékek nem módosultak az előző mérési időpont értékeihez képest, a nem öntözött területeken viszont szignifikánsan nagyobb szulfát-S tartalom volt mérhető.

2019-ben az újbóli kénutánpótlás évében szignifikánsan nagyobb szulfát-S tartalmat mértem, mint 2017-ben. Ebben az évben, amikor nem volt öntözés a kísérleti területen, az öntözött parcellákon a szárbaindulástól a virágzásig nem változott jelentősen az oldható szulfát-S tartalom, ezt követően az idő előrehaladtával szignifikáns növekedést mértem. A nem öntözött területeken a szárbaindulást követően jelentősen csökkent a szulfáttartalom, majd az öntözött parcellákhoz hasonlóan növekedtek az értékek.

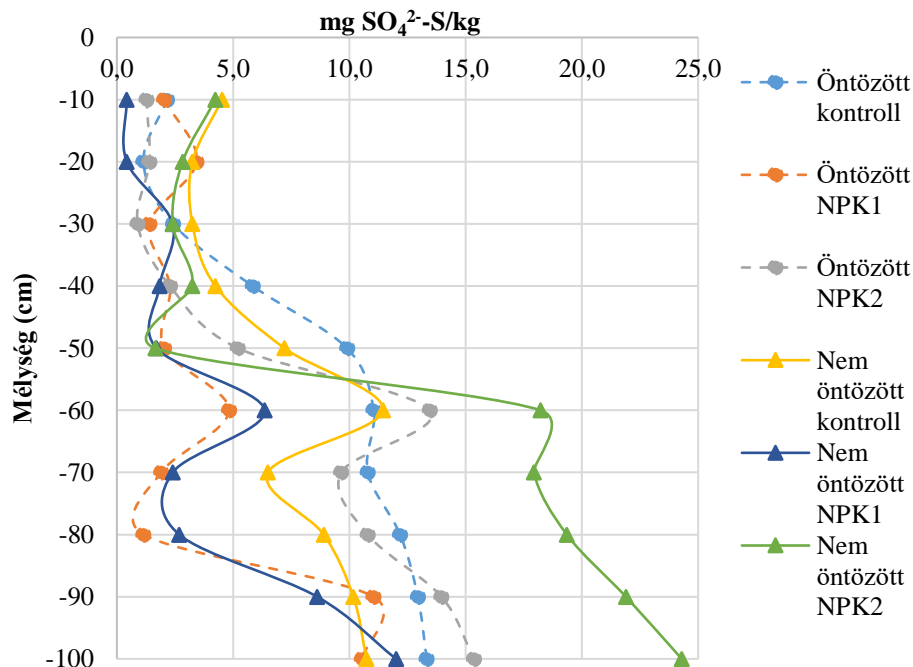
Megállapítható, hogy a tavaszi hónapokban kisebb oldható SO_4^{2-} -S értékek voltak jellemzők, amelyek a teljes érés idejére megnövekedtek. CASTELLANO és DICK (1990), FÖRSTER (2012) és REICH et al. (2016) szintén kisebb értékeket mértek a talajban tavasszal, melyet a szulfát kimosódásával és a kén alacsonyabb mineralizációs rátájával magyaráztak.

5.1.2.3. A talaj 1M KCl és 0,016M KH_2PO_4 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 szulfát-S tartalom mélységi változását is nyomon követni. A KCl és CaCl_2 kivonatokban mért szulfát-S tartalom vertikális eloszlása nagyon hasonló tendenciát mutatott, így csak a KCl és a KH_2PO_4 kivonószerek által oldott szulfát-S tartalom változását mutatom be.

A KCl-SO_4^{2-} -S változása a talaj 0-100 cm-es mélységben

A talaj 0-100 cm-es zónájában a KCl-SO_4^{2-} -S változását a 8. ábra mutatja.



8. ábra: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellák 0-100 cm-es talajrétegében mért 1M KCl oldható SO_4^{2-} -S tartalom (mg/kg) vertikális eloszlása 2018-ban (Debrecen-Látókép)

A felső 0-40 cm-es rétegben a KCl oldható szulfáttartalom egy viszonylag szűk tartományban (0,5-6 mg/kg) változott. A mélység további növekedésével a szulfát-S tartalom egyre növekedett. Az 50-100 cm-es rétegben, egy szulfátban gazdagabb zónát találtam, mely esetben egy tágabb értéktartomány volt jellemző (1,5-24 mg/kg). A kísérleti területen a legtöbb kezelés esetében egy szulfátfelhalmozódási zóna figyelhető meg az 50-70 cm mélységben. CASTELLANO és DICK (1990) 20 év kénutánpótlás nélküli időszak után vizsgálták a kéntrágyázás hatását a talaj szulfáttartalmának időbeli és térbeli változására. Kutatásukban a szerzők arról számoltak be, hogy ez a szulfátban gazdag zóna 60 cm környékén volt jellemző.

Az öntözött és a nem öntözött parcellákon egyaránt megfigyelhető, hogy a felső rétegekben a növekvő NPK dózisú kezelésekből a kontrollhoz viszonyítva kisebb értékeket mértem, mely a nagyobb termés miatt bekövetkező, nagyobb mértékű tápanyagfelvétel következménye lehet. A legegyszerűsebb mélységi profil az NPK1 kezelés öntözött parcelláin mutatkozott. Ezen a parcellán a szulfátkoncentráció növekedése csak 70 cm mélység után jelentkezett és nem volt nagymértékű. Ez feltételezhetően annak tulajdonítható, hogy a talajban lévő ásványi S-t a növény felvette, és nem volt felesleg, ami kimosódhatott volna. Ebben a kezelésben a nem öntözött parcellán található egy kisebb mértékű szulfátfelhalmozódás az 50 cm-es mélység alatt.

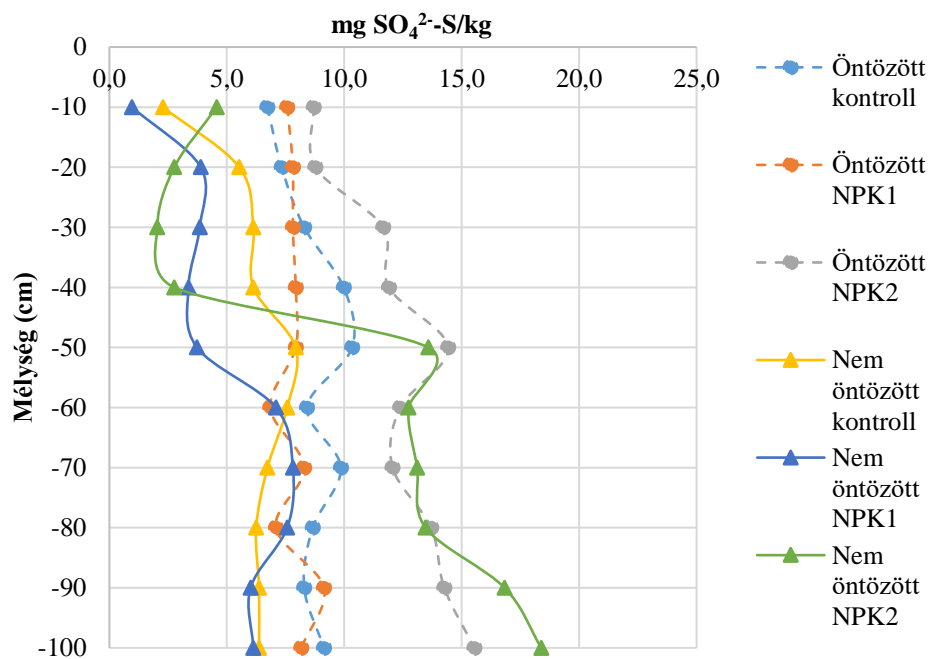
A legnagyobb mértékű szulfátfelhalmozódás a legnagyobb műtrágyadózisú (NPK2) kezelésekből figyelhető meg. Érdekes, hogy a nem öntözött parcellákon nagyobb felhalmozott szulfát réteg található az 50-100 cm-es mélységben, mint az öntözött változatban. A különbség a nem öntözött parcellák kisebb termőképességének és a búza kisebb tápanyagkivonásának lehet a következménye.

A $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S változása a talaj 0-100 cm-es mélységében

A talaj $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}$ -S tartalmának alakulását a talaj 0-100 cm-es mélységében a 9. ábrán mutatom be. Az egész talajprofil elemzése megfigyelhető, hogy a mélység növekedésével csak kis mértékben nőnek a szulfát-S értékek, kivételt képez ez alól a nem öntözött NPK2 kezelés, amely esetében a KCl oldható szulfát értékekhez hasonló profil volt megfigyelhető. Nagyobb mértékű felhalmozódás csupán a legnagyobb műtrágyadózisú kezelésekből van jelen, melynek mélysége 40-60 cm-en figyelhető meg. Ez alatt az értékek csak nagyon kis mértékben növekednek.

Emellett látható, hogy a 0-40 cm-es mélységig jól elkülöníthetők egymástól az öntözött és nem öntözött kezelések. Az öntözött parcellákon a felső 0-20 cm-es zónában

a növekvő NPK dózisú kezeléseknél nagyobb szulfáttartalom volt jellemző a kontrollhoz viszonyítva, azonban a mélység növekedésével a kontroll és az NPK1 kezelésben mért értékek együtt mozogtak és nem növekedtek jelentősen. Az NPK2 kezelés esetében viszont a mélység növekedésével a szulfáttartalom is növekszik. A nem öntözött változatoknál a kontroll és az NPK1 kezelésben a szulfáttartalom kismértékben és viszonylag egyenletesen növekszik a mélység növekedésével, az NPK2 kezelésnél a szulfát mennyisége 40 cm-es mélység után nő meg jelentősebben.



9. ábra: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellák 0-100 cm-es talajrétegében mért 0,016M KH_2PO_4 oldható SO_4^{2-} -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, míg a KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalomnál 40-60 cm-en volt jellemző egy szulfátfelhalmozódási zóna, mely utóbbinál jelentősebb felhalmozódást csak a legnagyobb műtrágyadózisú kezeléseknél figyeltem meg. A szulfát mélységi növekedése a KCl oldható szulfát-S tartalom tekintetében nagyobb mértékű volt, mint a KH_2PO_4 oldható szulfát-S tartalomnál. 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,

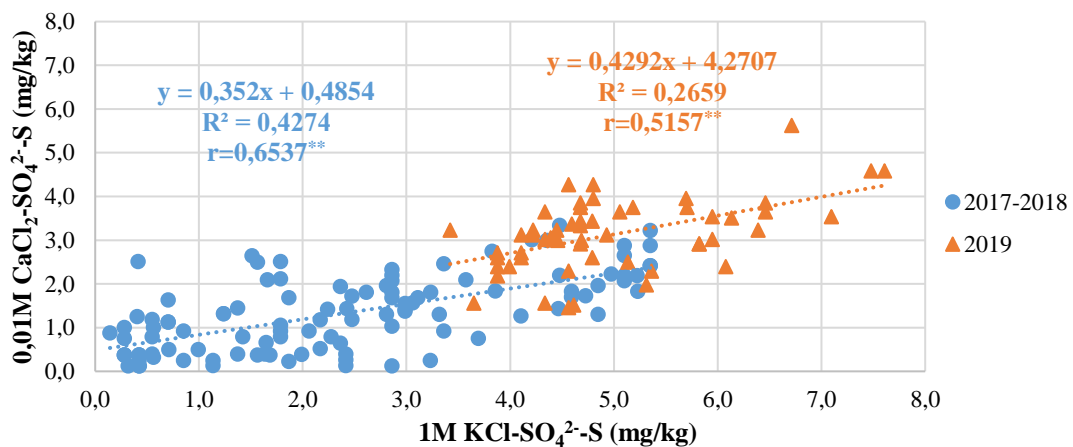
így ez a többlet kimosódott. Mindkét kivonószer esetében látható ez a jelenség, de a KCl oldható szulfát jobban mutatja a kimosódást.

5.1.2.4. A talaj KCl, CaCl₂ és a KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalma közötti kapcsolat vizsgálata Pearson-féle korreláció és regresszióanalízis alapján

A vizsgálataim során a KCl, a CaCl₂ és a KH₂PO₄ kivonószer által kivont szulfáttartalmak közötti összefüggéseket elemeztem regresszióanalízist segítségével. A regresszióanalízis végzése során mindhárom vizsgált év, minden mintavételi időpontban mért eredményét bevontam az elemzésbe.

A kivonószerekben mért szulfát-S tartalmak közötti összefüggések vizsgálata 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 CaCl₂ kivonószerek által kivont szulfát-S tartalom közötti összefüggés regresszióanalízis eredménye a 10. ábrán látható.

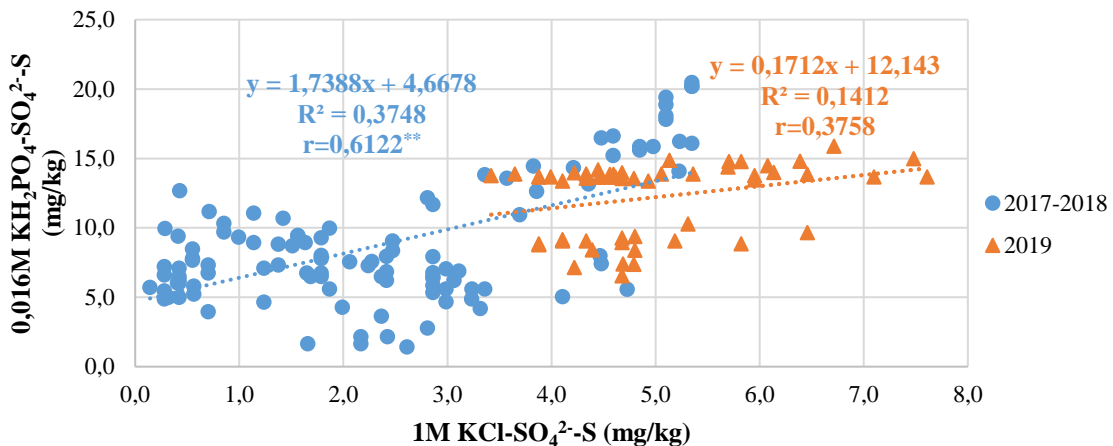


10. ábra: A talaj 1M KCl és a 0,01M CaCl₂ kivonószerekben meghatározott szulfát-tartalma közötti összefüggések alakulása (2017-2018: n=288; 2019: n=144, ** szignifikáns korreláció P <0,01)

A KCl és a CaCl₂ kivonószerekben mért szulfátértékek között a 2017-2018-as időszakban, amikor már 8-9 éve nem juttattak ki S-tartalmú műtrágyát, egy közepesen erős összefüggés állapítható meg ($r=0,65^{**}$). 2019-ben, a gipszadagok újbóli kijuttatását követően hasonló r értéket ($0,52^{**}$) kaptam, ami ebben az esetben is egy közepes erősségű

kapcsolatra utal. Az analízis során kapott egyenes egyenletéből leolvasható az egyenes meredeksége is, mely a két időszak esetében nagyon hasonló volt, ami azt jelenti, hogy a paraméterek közötti összefüggés közel azonos mértékben változott a kénkijuttatás nélküli és az újbóli kénkijuttatás időszakában is.

A 11. ábrán a KCl és a KH_2PO_4 által oldott szulfáttartalom közötti összefüggés regresszióanalízis eredményét szemléltetem.



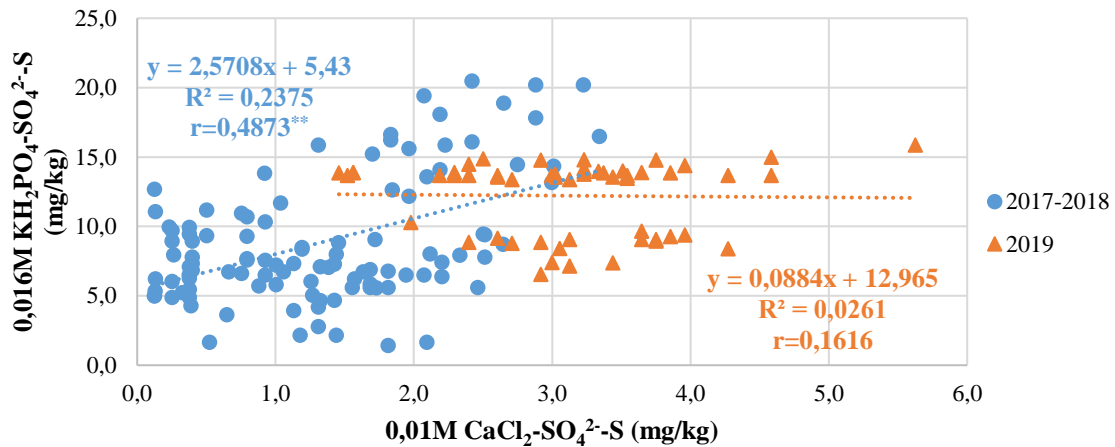
11. ábra: A talaj 1M KCl és a 0,016M KH_2PO_4 kivonószerekben meghatározott szulfát-tartalma közötti összefüggések alakulása (2017-2018: n=288; 2019: n=144, ** szignifikáns korreláció $P < 0,01$)

Az 1M KCl és a 0,016M KH_2PO_4 kivonószerek különbözőségéből és az eltérő koncentrációkból adódhat, hogy az általuk kivont szulfáttartalmak mennyisége eltér egymástól. Jelentős különbség figyelhető meg a 2017-2018 és 2019 évek értékeinek korreláció értékei között.

A 2017-2018-as időszakra vonatkozó korrelációs koefficiens értéke ($r=0,61^{**}$) és a regresszió alapján jelentős kapcsolat állapítható meg a $\text{KCl-SO}_4^{2-}\text{-S}$ és a $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$ értékek között. 2019-es évben, mikor ismételt S-tartalmú szuperfoszfát került kijuttatásra, jelentősen kisebb volt a korrelációs koefficiens értéke ($r=0,38$), mely csupán gyenge kapcsolatot feltételez a vizsgált paraméterek között. Ebben az évben az összefüggés azt mutatja, hogy a KCl oldatban mért szulfáttartalom növekedésével, a KH_2PO_4 oldatban mért értékek nem emelkedtek konzekvensen. A kénkijuttatás nélküli időszakban (2017-2018) az egyenes meredeksége körülbelül tízszer nagyobb, mint a friss kijuttatás időszakában, melyből arra következtethetünk, hogy a növekvő dózisban ismételt kijuttatott S hatására a talaj adszorbeált szulfát értéke kevésbé nő a vízoldható

szulfátformához viszonyítva. Ez azt is jelentheti továbbá, hogy a KH_2PO_4 kivonószerek főként az adszorbeált szulfátformát viszi oldatba.

A CaCl_2 és a KH_2PO_4 kivonószerekben mért szulfát-S tartalom közötti összefüggésvizsgálat eredményét a 12. ábra mutatja.



12. ábra: A talaj 0,01M CaCl_2 és a 0,016M KH_2PO_4 kivonószerekben meghatározott szulfát-tartalma közötti összefüggések alakulása (2017-2018: $n=288$; 2019: $n=144$, ** szignifikáns korreláció $P < 0,01$)

Hasonló tendencia figyelhető meg, mint az 1M KCl és a 0,016M KH_2PO_4 kivonószerek összehasonlítása során, azonban e kivonatokban mért értékek között még gyengébb kapcsolat állapítható meg. 2017-2018-as időszakban a korrelációs koefficiens ($r=0,49^{**}$) alapján egy jelentős kapcsolat, míg 2019-ben egy gyenge, elhanyagolható összefüggést találtam ($r=0,17$). A kénpótlás nélküli időszakban jóval meredekebb egyenes figyelhető meg, mint az újbóli kénkijuttatás évében, így ebben az esetben is levonható az a következtetés, miszerint a CaSO_4 emelkedő dózisu alkalmazása a talaj adszorbeált szulfáttartalmát kisebb mértékben módosítja, mint a könnyen oldható forma mennyiségét.

Eredményeimből **összefoglalóan** megállapítható, hogy a legszorosabb kapcsolatot az 1M KCl és a 0,01M CaCl_2 kivonószerek által oldott szulfát-S értékek között találtam. Ezek a híg sóoldatok közel hasonló mennyiségű szulfátot vonnak ki a talajból és az általuk oldott szulfát-S mennyisége jellemzően hasonló mértékben változott a kénpótlás nélküli és az újbóli CaSO_4 kijuttatás időszakában is. A 0,016M KH_2PO_4 kivonószerekben mérhető a legnagyobb mennyiségű szulfát-S tartalom. Feltételezhető, hogy a vízoldható mellett a kolloidok felületén adszorbeált szulfátforma egy részét is kivonja a talajból, mely utóbbi formát a frissen kiadott CaSO_4 kevésbé befolyásolja.

5.1.2.5. A talaj aril-szulfatáz enzim 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 14. táblázat mutatja be.

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

| 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 | 68,16 \pm 2,59 | 66,75 \pm 3,40 | 67,45^c | 56,86 \pm 1,54 | 53,10 \pm 3,09 | 54,98^c | 45,15 \pm 4,22 | 47,44 \pm 1,45 | 46,30^b |
| NPK1 | 62,59 \pm 2,83 | 61,36 \pm 1,42 | 61,97^b | 53,43 \pm 3,19 | 47,06 \pm 1,55 | 50,25^b | 52,87 \pm 2,67 | 43,32 \pm 1,86 | 48,09^b |
| NPK2 | 44,08 \pm 1,98 | 42,34 \pm 3,74 | 43,21^a | 38,33 \pm 0,32 | 32,62 \pm 2,81 | 35,47^a | 19,44 \pm 1,53 | 32,38 \pm 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

Az őszi búza szárbaindulásakor gyűjtött talajminták esetében az enzimaktivitás 42,48-68,94 $\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$ értékek között változott. A műtrágyázott parcellákban szignifikánsan csökkent az enzimaktivitás értéke, a legnagyobb aktivitást a kontroll parcellákon mértem. A csökkenés oka lehet a műtrágyázott parcellákon előforduló nagyobb nitrát- és szulfátkoncentráció, mely gátolhatja az enzim működését. Egyes ionok (NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) negatív hatását a talaj aril-szulfatáz enzim aktivitására DICK et al. (1988); GERMIDA et al. (1992) és SIWIK-ZIOMEK et al. (2013) is megfigyelték. Az öntözött és nem öntözött területek között az enzimaktivitás jelentősen nem különbözött.

Az őszi búza virágzásakor (32,62-56,86 $\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$) az enzimaktivitás értékei kissé csökkentek az előző időszak értékeihez képest. Az aktivitás szignifikánsan különbözött az öntözött és nem öntözött területeken. Az öntözött parcellákon jellemzően nagyobb aktivitás figyelhető meg, melynek oka lehet egyrészt a kisebb szulfáttartalom ezeken a területeken (12. táblázat), másrészt a korábbi évek öntözésének hatása is megmutatkozhat az öntözött parcellákon, melynek hatására kialakuló nagyobb termés nagyobb gyökértömeeggel párosul, mely növelheti az enzim aktivitását (TABATABAI és BREMNER, 1970). A műtrágyázott parcellákon ebben az időpontban mérve is igazolhatóan csökkent az aril-szulfatáz enzim aktivitása a kontrollhoz képest.

Az őszi búza teljes érésakor mérve az enzimaktivitás tovább csökkent a korábbi időpontokban mért értékhez képest (19,44-52,87 $\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$). A legkisebb aktivitást ekkor is a legnagyobb műtrágyadózisú kezelésnél (NPK2) mértem. A kontroll

és a NPK1 kezelés között nem volt szignifikáns különbség. Ebben az időszakban nem mutatkozott eltérés az öntözött és nem öntözött parcellák értékei között.

2019-ben a CaSO₄ ismételt kijuttatásának évében az aril-szulfatáz aktivitásának változását az őszi búza tenyészideje során a 15. táblázat szemlélteti.

15. táblázat: A talaj aril-szulfatáz aktivitásának alakulása az őszi búza szárbaindulásakor, 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 | 39,38 | 11,36^A | 11,16^A | 11,26 | 9,62^B | 7,85^A | 8,73 |

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

A búza szárbaindulásakor az aktivitás 28,75-46,74 $\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$ értékek között változtak. A legnagyobb aktivitást ekkor is a kontroll kezelés parcellájában mértem és műtrágyázás hatására ebben az évben is szignifikánsan csökkentek az értékek. Az öntözött és nem öntözött területek között nem mutatkozott szignifikáns különbség.

A búza virágzásakor mérve jelentősen csökkent az aktivitás (7,73-13,29 $\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$) az előző időszak értékeihez képest. Legnagyobb értéket a kontroll kezelésben mértem, melyhez viszonyítva az NPKS1 kezelés további változást nem okozott az enzimaktivásban, viszont a legnagyobb műtrágyadózis hatására szignifikánsan kisebb értékeket kaptam. Az öntözött és nem öntözött parcellákon ebben az esetben sem tudtam különbséget kimutatni az enzimaktivásban.

Az őszi búza teljes érésakor az aktivitás tovább csökkent a virágzás időszakában mért értékekhez képest, értéke 7,16-10,15 $\mu\text{g p-nitrofenol/g/h}$ között alakult. Az öntözött területeken szignifikánsan nagyobb aktivitást mértem. Az NPKS1 kezelésben mért értékek nem különböztek jelentősen a kontroll kezeléstől és továbbra is a legnagyobb műtrágyadózisú kezelés hatására figyeltem meg a legkisebb aktivitást. Az öntözött területeken ekkor szignifikánsan nagyobb aktivitást mértem.

Összefoglalóan megállapítható, hogy 2019-ben minden mintavételi időpontban, kisebb enzimaktivitás értéket mértem, mint 2018-ban. Ennek oka lehetett a különböző évjáráhatások következtében kialakuló eltérő mértékű mikrobiális aktivitás. Megállapítható továbbá, hogy egy-egy éven belül a mért enzimaktivitás értékek a

tenyészedőszak előrehaladtával csökkentek. A műtrágyával kezelt parcellákon minden mérési időpontban kisebb enzimaktivitás volt megfigyelhető, mint a kontroll parcellán.

5.1.3. Növényvizsgálati eredmények

5.1.3.1. 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 16. táblázat szemlélteti.

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

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

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.

5.1.3.2. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének alakulása a 2017-2019 időszakban

Az őszi búza nitrogén-, kéntartalmának és N/S értékének alakulását mintavételi időpontként elemeztem a 2017-2019 közötti időszakban.

5.1.3.2.1. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása szárbainduláskor

Az első mintavétel az őszi búza szárbaindulásakor (BBCH 30-32) történt és az egyes kezelések átlagértékeit a 17. táblázat mutatja.

17. táblázat: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellákon termesztett őszi búza átlagos N-, S-tartalmának és N/S értékének változása szárbainduláskor (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

| Kezelés | N (%) | | | S (%) | | | N/S | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| 2017 | | | | | | | | | |
| kontroll | 2,95±0,38 | 3,28±0,09 | 3,11^a | 0,25±0,03 | 0,23±0,03 | 0,24^a | 11,6±2,0 | 14,3±1,6 | 12,9^a |
| NPK1 | 4,12±0,21 | 4,36±0,05 | 4,24^b | 0,28±0,05 | 0,24±0,03 | 0,26^a | 14,5±2,9 | 18,3±2,3 | 16,4^b |
| NPK2 | 4,72±0,01 | 4,85±0,22 | 4,78^c | 0,30±0,03 | 0,25±0,01 | 0,27^a | 15,9±1,9 | 19,4±0,7 | 17,6^b |
| Átlag | 3,93^A | 4,16^A | <i>4,04</i> | 0,28^B | 0,24^A | <i>0,26</i> | 14,0^A | 17,4^B | <i>15,7</i> |
| 2018 | | | | | | | | | |
| kontroll | 2,04±0,05 | 1,91±0,15 | 1,97^a | 0,20±0,02 | 0,17±0,02 | 0,19^a | 10,4±1,3 | 10,8±1,7 | 10,6^a |
| NPK1 | 3,62±0,15 | 3,55±0,66 | 3,58^b | 0,20±0,03 | 0,21±0,03 | 0,20^a | 18,5±0,8 | 17,1±1,5 | 17,8^b |
| NPK2 | 4,12±0,21 | 4,41±0,25 | 4,27^c | 0,19±0,02 | 0,20±0,01 | 0,19^a | 21,7±2,3 | 22,2±2,6 | 22,0^b |
| Átlag | 3,26^A | 3,29^A | <i>3,27</i> | 0,19^A | 0,19^A | <i>0,19</i> | 16,9^A | 16,7^A | <i>16,8</i> |
| 2019 | | | | | | | | | |
| kontroll | 2,17±0,09 | 1,89±0,52 | 2,03^a | 0,24±0,04 | 0,20±0,01 | 0,22^a | 9,2±1,1 | 9,4±0,7 | 9,3^a |
| NPKS1 | 2,35±0,21 | 2,92±0,35 | 2,63^b | 0,26±0,02 | 0,28±0,03 | 0,27^b | 9,1±0,9 | 10,4±1,5 | 9,8^a |
| NPKS2 | 2,89±0,86 | 2,96±0,22 | 2,93^b | 0,28±0,03 | 0,29±0,07 | 0,28^b | 10,5±2,2 | 10,3±1,4 | 10,4^a |
| Átlag | 2,47^A | 2,59^A | <i>2,53</i> | 0,26^A | 0,26^A | <i>0,26</i> | 9,6^A | 10,0^A | <i>9,8</i> |

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

2017-ben a búza szárbaindulásakor a N-tartalom 2,95-4,85%, a S-tartalom 0,23-0,30% között változott. A legkisebb N-tartalmat a kontroll kezelésekben mértem. Az NPK1 kezelés hatására a N-tartalom szignifikáns mértékben növekedett a kontrollhoz képest, mely érték az NPK2 kezelés hatására még nagyobbá vált. A S-tartalmat az emelkedő NPK dózisok nem módosították. Az öntözött változatokban minden műtrágyaszinten nagyobb S-tartalmat kaptam. Fontos megjegyezni, hogy a mintavételi időpontot megelőzően még nem volt öntözés az öntözött parcellákon. A S-tartalomhoz viszonyított nagyobb mértékű N-tartalom növekedés hatására a búza N/S értéke (11,6-19,4) szignifikáns mértékben növekedett a műtrágyázott kezelésekben a kontrollhoz

viszonyítva. Szignifikáns különbség mutatkozott az öntözött és nem öntözött parcellákon is, a nem öntözött területeken számoltam nagyobb szöveti N/S-t.

2018-ban a szárbainduláskori búza N-tartalma 1,91-4,41%, S-tartalma 0,18-0,21% között változott. Az emelkedő dózisú műtrágya kezelések hatására a N-, S-tartalom és N/S (10,4-22,2) is hasonlóképpen alakult, mint 2017-ben. Az NPK műtrágyázott parcellákon a növényi N-tartalom és a N/S is jelentősen növekedett a kontrollhoz viszonyítva, a S-tartalom azonban nem változott igazolható mértékben. Az öntözött és nem öntözött parcellákon 2018-ban nem volt szignifikáns különbség a vizsgált paraméterekben.

2019-ben az őszi búza szárbaindulásakor a N-tartalom 1,89-2,96%, a S-tartalom 0,20-0,29% között változott. A N-tartalom a kontroll kezelésben volt a legkisebb mindkét vízellátási modellben. Az NPKS1 kezelés hatására a kontrollhoz képest szignifikánsan nagyobb N-tartalmat mértem, azonban az NPKS2 kezelés nem okozott további, jelentős különbséget. Ebben az évben a műtrágyázás hatására bekövetkező, a kontrollhoz viszonyított növekedés mértéke kisebb volt, mint az előző években.

A növény S-tartalma is a kontroll kezelésben volt a legkisebb. A műtrágyázás, azaz a szuperfoszfáttal kijuttatott CaSO_4 már e fenológiai fázis bekövetkezésére is szignifikáns mértékben növelte a növényi S-tartalmat a kontrollhoz viszonyítva, azonban műtrágyalépcsők között nem alakult ki statisztikailag is igazolható mértékű különbség.

Az N/S 9,2-10,5 között változott az újbóli gipszkijuttatás hatására, mely érték a kontroll és a műtrágyázott parcellákon nem különbözött igazolható mértékben, ami feltételezi, hogy a növényi N-tartalom növekedésével a S-tartalom arányos mértékben nőtt az egyes kezeléseknél. A növény kezdeti fejlődése során az öntözött és nem öntözött parcellák N-, S-tartalma és N/S értéke között nem volt különbség.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a búza szárbainduláskori N-tartalmát a műtrágya kezelések minden évben igazolhatóan növelték a kontrollhoz képest. Az öntözött és nem öntözött parcellák értékei között nem volt különbség. REUTER et al. (1997) szerint az őszi búza kritikus N-koncentrációja szárbainduláskor 2,6%, mely alatt kiegészítő N-trágyázás szükséges. Amíg az általam mért N-tartalom 2017-ben minden kezelésben meghaladta ezt a kritikus értéket, addig 2018 és 2019 években a kontroll kezeléseknél alatta maradt annak.

Az NPK műtrágyázott parcellákon a kénutánpótlás nélküli időszakban (2017, 2018) a búza szárbainduláskori S-tartalma nem különbözött a kontroll kezelés értékétől. 2019-ben a kénkijuttatás (CaSO_4) 42,4 kg S/ha és a 84,8 kg S/ha dózisainak hatása ugyanakkor

már e fenofázisban kimutatható volt. A trágyázott parcellák növényzetének átlagos S-tartalma jelentősen meghaladta a kontroll kezelés értékét. A szárbaindulás időszakára vonatkozóan is meghatároztak egy kritikus S-értéket (0,17%), mely alatt akut S-hiányról beszélünk (PLANK, 1988). Vizsgálataim során a búza S-tartalma minden esetben meghaladta e kritikus értéket. Szárbainduláskor a növényi S-tartalom csak 2017-ben módosult és az öntözött parcellákon vált nagyobbá.

Amíg a szárbainduláskori N/S a növényi N-tartalom jelentős növekedése miatt 2017 és 2018 években is szignifikánsan nőtt az NPK1 és NPK2 kezelésekben, a kontrollhoz képest, addig 2019-ben a N-és S-tartalom egymáshoz viszonyított arányosabb változása miatt az nem következett be. SPENCER és FRENEY (1980) szerint a búza szárbainduláskor 19:1 értéknél kisebb N/S a megfelelő. A kísérletünkben 2018-ban, csak az NPK2 kezelésben részesített parcellák őszi búza biomasszájában tapasztaltam ezt meghaladó értéket (22,2).

5.1.3.2.2. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása virágzásakor

Az őszi búza virágzásakor (BBCH 61-65) szintén a teljes föld feletti növényi biomasszát mintáztam. Az egyes kezelések átlagos mérési eredményeit a 18. táblázatban foglaltam össze.

18. táblázat: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellákon termesztett őszi búza átlagos N-, S-tartalmának és N/S értékének változása virágzásakor (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

| Kezelés | N (%) | | | S (%) | | | N/S | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| 2017 | | | | | | | | | |
| kontroll | 1,09±0,16 | 0,99±0,11 | 1,04^a | 0,11±0,01 | 0,11±0,01 | 0,11^a | 9,9±2,1 | 9,1±1,8 | 9,5^a |
| NPK1 | 1,58±0,15 | 1,39±0,14 | 1,48^b | 0,13±0,02 | 0,10±0,01 | 0,11^a | 12,6±2,0 | 13,5±2,7 | 13,1^b |
| NPK2 | 1,86±0,10 | 1,81±0,10 | 1,83^c | 0,15±0,04 | 0,13±0,01 | 0,14^a | 12,7±2,9 | 14,1±2,2 | 13,4^b |
| Átlag | 1,51^A | 1,40^A | <i>1,45</i> | 0,13^A | 0,11^A | <i>0,12</i> | 11,7^A | 12,2^A | <i>12,0</i> |
| 2018 | | | | | | | | | |
| kontroll | 1,07±0,10 | 0,87±0,09 | 0,97^a | 0,11±0,01 | 0,10±0,01 | 0,11^a | 9,7±1,2 | 8,7±0,7 | 9,2^a |
| NPK1 | 1,33±0,32 | 1,43±0,19 | 1,38^{ab} | 0,11±0,03 | 0,10±0,01 | 0,11^a | 11,8±1,6 | 14,0±0,4 | 12,9^{ab} |
| NPK2 | 1,87±0,12 | 1,43±0,60 | 1,65^b | 0,13±0,04 | 0,10±0,01 | 0,12^a | 14,0±0,9 | 14,1±1,1 | 14,0^b |
| Átlag | 1,42^A | 1,24^A | <i>1,33</i> | 0,12^A | 0,10^A | <i>0,11</i> | 11,8^A | 12,2^A | <i>12,0</i> |
| 2019 | | | | | | | | | |
| kontroll | 0,96±0,15 | 0,94±0,05 | 0,95^a | 0,15±0,03 | 0,17±0,01 | 0,16^a | 6,4±0,4 | 5,5±0,6 | 6,0^a |
| NPKS1 | 1,64±0,25 | 1,62±0,36 | 1,63^b | 0,17±0,06 | 0,19±0,09 | 0,18^a | 9,7±0,9 | 8,5±0,3 | 9,1^b |
| NPKS2 | 1,67±0,15 | 1,64±0,28 | 1,66^b | 0,19±0,01 | 0,22±0,05 | 0,21^a | 8,8±1,3 | 7,5±0,8 | 8,2^b |
| Átlag | 1,43^A | 1,40^A | <i>1,41</i> | 0,17^A | 0,19^A | <i>0,18</i> | 8,4^A | 7,2^A | <i>7,8</i> |

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

2017-ben az átlagos N-tartalom 0,99-1,86%, míg a S-tartalom 0,10-0,15% tartományban változott. A legkisebb N-tartalmat a kontroll parcellán, míg a legnagyobb értéket az NPK2 kezelésben mértem. A S-tartalom a műtrágyázott parcellákon nem különbözött a kontroll kezeléstől. Az őszi búza N/S-a (9,1-14,1) az NPK műtrágyázott parcellákon virágzáskor is igazolhatóan növekedett, a kontrollhoz viszonyítva szignifikánsan nagyobb értéket számoltam az NPK1 kezelés hatására, de az NPK2 kezelés nem módosította tovább az értékeket. Az öntözés nem befolyásolta a mért értékeket.

2018-ban a virágzáskori N-tartalmat (0,87-1,87%) csak a legnagyobb műtrágyadózisú kezelés növelte igazolható mértékben a kontrollhoz viszonyítva. Az őszi búza S-tartalma (0,10-0,13%) az NPK műtrágyázott parcellákon nem módosult a kontrollhoz képest. Az N/S (8,7-14,1) szintén a kontroll kezelésben volt a legkisebb, melyhez képest csak a legnagyobb dózisú kezelés esetében mutatkozott szignifikáns növekedés.

2019-ben a N-tartalom 0,96-1,67%, míg a S-tartalom 0,15-0,22% között változott. A legkisebb N-tartalmat a kontroll kezelésben mértem. Az NPKS1 kezelés igazolható mértékben növelte a növényi N-tartalmat, viszont a nagyobb műtrágyadózis nem okozott további változást. A foszfortrágyaként kijuttatott szuperfoszfát gipsztartalma a virágzáskor nem módosította a S-tartalmat a kontrollhoz képest. Az N/S (5,5-9,7) a kontroll kezelésben volt a legkisebb. A műtrágyázott parcellákon az elemhányados igazolhatóan növekedett a kontrollhoz viszonyítva, de a növekvő dózisok között nem volt jelentős különbség.

Összegezve megállapítható, hogy virágzáskor a növényi N-tartalmat a műtrágyázás igazolható mértékben növelte a kontroll kezeléshez képest. A virágzáskori búza kritikus N-koncentrációjának CHAPMAN (1967), valamint REUTER et al. (1997) is a 2,1%-ot jelölték meg. A kritikus értéket összehasonlítva a mérési eredményeimmel, arra lehet következtetni, hogy a búza virágzáskori N-koncentrációja egyik vizsgált évben és egyik kezelésben sem volt elegendő az optimális fejlődéshez. A virágzáskori S-tartalom a műtrágyázott parcellákon a kénpótlás nélküli években, 2017-2018-ban nem különbözött a kontroll értékétől. 2019-ben az újbóli kénkijuttatás (CaSO₄) ellenére sem tudtam különbséget kimutatni a műtrágyázott és a kontroll kezelése között. TAUREAU et al. (1987) kutatásaik eredményeként 0,2%-ban állapították meg a búza virágzáskori kritikus S-koncentrációját. A kísérleteinkben az őszi búza S-tartalma csak az újbóli kénkijuttatás évében (2019), a legnagyobb műtrágyadózisú kezelésben érte el ezt az értéket. A virágzáskori búza N/S értéke WITHERS et al. (1995) szerint 17:1 fölött nem

ideális, méréseink során az N/S minden esetben a kritikus érték alatt maradt. A virágzáskori N-, S-tartalom és N/S az öntözött és nem öntözött kezelésekben egyik évben sem különbözött egymástól.

5.1.3.2.3. Az őszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása teljes éréskor

A 3. mintavétel a búza teljes éréskor (BBCH 89) történt, melynek során külön mintáztam és elemeztem a búzaszalmát (19. táblázat) és a búzaszemet (20. táblázat).

A búzaszalma N-, S-tartalma és N/S értéke

2017-ben a búzaszalma átlagos N-tartalma 0,17-0,37% között változott. A N-tartalom mindkét öntözési változatban a kontroll kezelésben volt a legkisebb, mely érték a növekvő műtrágyadózisok hatására igazolható mértékben növekedett. A legnagyobb N-tartalmat az NPK2 kezelésű parcellákon mértem.

19. táblázat: A különböző trágyakezelésekben részesített parcellákon termesztett őszi búza szalmájának 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 | 0,17±0,01 | 0,17±0,01 | 0,17^a | 0,10±0,01 | 0,17±0,02 | 0,13^a | 1,8±0,2 | 1,0±0,2 | 1,4^a |
| NPK1 | 0,26±0,05 | 0,22±0,03 | 0,24^b | 0,11±0,02 | 0,16±0,01 | 0,14^a | 2,3±0,7 | 1,4±0,2 | 1,8^a |
| NPK2 | 0,37±0,01 | 0,28±0,07 | 0,32^c | 0,11±0,01 | 0,16±0,02 | 0,13^a | 3,4±0,2 | 1,8±0,2 | 2,6^b |
| Átlag | 0,26^A | 0,22^A | 0,24 | 0,11^A | 0,16^B | 0,13 | 2,5^B | 1,4^A | 1,9 |
| 2018 | | | | | | | | | |
| kontroll | 0,33±0,04 | 0,24±0,01 | 0,28^a | 0,12±0,01 | 0,16±0,02 | 0,14^a | 2,7±0,3 | 1,5±0,1 | 2,1^a |
| NPK1 | 0,37±0,05 | 0,32±0,03 | 0,34^a | 0,11±0,02 | 0,18±0,07 | 0,14^a | 3,5±0,2 | 1,8±0,2 | 2,7^a |
| NPK2 | 0,67±0,05 | 0,56±0,13 | 0,62^b | 0,11±0,01 | 0,20±0,03 | 0,16^a | 5,9±0,6 | 2,8±0,2 | 4,3^b |
| Átlag | 0,46^A | 0,37^A | 0,42 | 0,11^A | 0,18^B | 0,15 | 4,0^B | 2,0^A | 3,0 |
| 2019 | | | | | | | | | |
| kontroll | 0,53±0,08 | 0,46±0,01 | 0,50^a | 0,16±0,03 | 0,19±0,01 | 0,18^a | 3,3±0,0 | 2,4±0,4 | 2,9^a |
| NPKS1 | 0,62±0,09 | 0,75±0,03 | 0,68^b | 0,15±0,01 | 0,20±0,01 | 0,18^a | 4,1±0,1 | 3,7±0,2 | 3,9^b |
| NPKS2 | 1,18±0,02 | 1,09±0,08 | 1,14^c | 0,27±0,03 | 0,27±0,01 | 0,27^b | 4,4±0,3 | 4,1±0,5 | 4,2^b |
| Átlag | 0,77^A | 0,77^A | 0,77 | 0,19^A | 0,22^A | 0,21 | 3,9^A | 3,4^A | 3,7 |

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

A búzaszalma S-tartalma 0,10-0,17% között alakult, mely értékek a kontroll és a műtrágyázott kezelésekben nem különböztek, azonban igazolhatóan nagyobb értéket mértem a nem öntözött parcellákon. A nem öntözött parcellákon kisebb volt a növényi biomassa, ami tápelemkoncentrációt, így S-tartalom növekedést okozhatott.

A szalma N/S értéke (1,0-3,4) az öntözött területeken volt nagyobb. Legkisebb értéket a kontroll parcellában számoltam és szignifikáns növekedést figyeltem meg a legnagyobb műtrágyadózisú kezelés esetében.

2018-ban a N-tartalom 0,24-0,64%, míg a S-tartalom 0,11-0,20% között alakult. A legkisebb N-tartalmat a kontroll kezelésében mértem és ehhez viszonyítva csak a legnagyobb műtrágyadózisú kezelésben növekedett szignifikánsan a N-tartalom. A szalma S-tartalmát a műtrágyázási kezelések nem módosították, azonban a nem öntözött területeken nagyobb növényi S-tartalom volt mérhető. Ebben az évben a szalma N/S-a 1,5-5,9 között változott. A legkisebb N/S-t szintén a kontroll parcellában számoltam és a legnagyobb NPK dózisú kezelésnél figyeltem meg a legnagyobb értéket (4,2). Az öntözött területeken jelentősen nagyobb N/S-t kaptam.

2019-ben a szalma N-tartalma (0,46-1,18%) a kontrollban volt a legkisebb és szignifikáns növekedést mértem a növekvő műtrágyadózisok hatására. A búzaszalma S-tartalma (0,16-0,27%) a legnagyobb dózisú NPKS2 kezelésben igazolhatóan növekedett, ami a CaSO_4 újbóli kijuttatásával magyarázható. A kontroll és az NPKS1 kezelés értékei között nem volt különbség. A szalma N/S értéke (2,4-4,4) szintén a kontroll kezelésben volt a legkisebb, de a növekvő dózisú kezelések értékei között nem volt szignifikáns differencia.

A búzaszem N, S tartalmának és N/S értékének változása

2017-ben a búzaszem N-tartalma 1,35-2,28% között változott (20. táblázat). A N-tartalom a kontroll kezelésben volt a legkisebb, mely az emelkedő NPK adagok hatására szignifikánsan növekedett és maximális értékét a legnagyobb adagú kezelésben érte el. A búzaszem S-tartalma 0,08-0,10% között mozgott, mely az eltérő kezelésű parcellákban nem különbözött a kontrolltól és értékét az öntözés sem módosította igazolhatóan. A búzaszem N/S-a 14,8-22,0 között változott és a legkisebb értéket a kontrollban számoltam. A műtrágyázott parcellákon növekedett az N/S, viszont szignifikáns növekedést 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-tartalom szignifikáns növekedése mellett a S-tartalom (0,10-0,11%) stagnált, nem változott a kontrollhoz viszonyítva, így ennek hatására az N/S (13,9-22,8) is jelentősen nagyobbá vált a növekvő műtrágyadózisú kezeléseknél. Az öntözésnek nem volt szignifikáns hatása a vizsgált paraméterekre.

20. 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 évenként nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban kivonószereként nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö = öntözött, NÖ = nem öntözött.

2019-ben a búzaszem N-tartalma 1,51-2,63% között változott, mely érték 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. Legnagyobb S-tartalmat a NPKS2 kezelésben mértem. 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 S-tartalma mellett annak N/S-át is célszerű figyelembe venni a S-ellátottság 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-a nagyobb, mint 13,3-17:1.

Az irodalmi határértékek alapján 2017 és 2018 években a kísérleti területen termesztett búza minden vizsgált kezelésében kénhiányosnak tekinthető, mely hiány a növekvő N-dózisok hatására egyre fokozódott. 2019-ben, amikor ismét szuperfoszfát műtrágyát alkalmaztak a P pótlására, a műtrágyázott parcellákon termesztett búza S-tartalma és N/S-a is kedvező irányba módosult. Ennek alapján megállapítható, hogy a szuperfoszfáttal gipszként kijuttatott 42,4 és 84,8 kg S/ha dózis hatására a búza S-ellátottsága megfelelő volt. A kontroll esetében a búzaszem S-tartalma nem érte el a kritikus értéktartományt, N/S értéke viszont a kritikus tartomány alatt 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. Kísérletünkben a vizsgált években a szemek N-tartalma csak a legnagyobb műtrágyadózisú kezelés parcelláin volt nagyobb ennél az értéknél. Ezek alapján a kontroll és az NPK1/NPKS1 kezelésekből minden évben N-hiányt állapítottam meg az őszi búza állományban.

5.1.3.3. A búzaszem metionin- és ciszteintartalmának változása

Az aminosav tartalom meghatározása a kontroll és a legnagyobb műtrágyadózisú kezelésben történt. Vizsgáltam, hogy az 1983-2010 között a 84,8 kg S/ha dózisban évről évre kijuttatott, de 2010 óta nem pótolta CaSO₄ utóhatása a búzaszem metionin- és ciszteintartalmában kimutatható-e 2017-2018-ban. Emellett elemeztem, hogy a 2019-ben kijuttatott szuperfoszfát gipsztartalma (84,8 kg S/ha) hogyan befolyásolta a kijuttatás évében a búzaszem metionin- és ciszteintartalmát (21. táblázat).

21. táblázat: A búzaszem cisztein- és metionin-tartalmának változása (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

| Kezelés | Cisztein (m/m%) | | | Metionin (m/m%) | | |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| 2017 | | | | | | |
| kontroll | 0,10±0,02 | 0,07±0,02 | 0,09^a | 0,06±0,02 | 0,10±0,02 | 0,08^a |
| NPK2 | 0,12±0,01 | 0,10±0,02 | 0,11^b | 0,13±0,03 | 0,14±0,03 | 0,14^b |
| Átlag | 0,11^B | 0,09^A | 0,10 | 0,10^A | 0,12^B | 0,11 |
| 2018 | | | | | | |
| kontroll | 0,09±0,01 | 0,07±0,01 | 0,08^a | 0,10±0,01 | 0,08±0,01 | 0,09^a |
| NPK2 | 0,11±0,01 | 0,09±0,01 | 0,10^b | 0,16±0,02 | 0,12±0,01 | 0,14^b |
| Átlag | 0,10^B | 0,08^A | 0,09 | 0,13^B | 0,10^A | 0,12 |
| 2019 | | | | | | |
| kontroll | 0,12±0,03 | 0,11±0,01 | 0,12^a | 0,09±0,01 | 0,10±0,01 | 0,10^a |
| NPKS2 | 0,15±0,04 | 0,15±0,01 | 0,15^b | 0,12±0,02 | 0,15±0,03 | 0,14^b |
| Átlag | 0,14^A | 0,13^A | 0,13 | 0,11^A | 0,12^A | 0,12 |

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 és 2018-ban a metionin és cisztein mennyisége nagyobb volt a kontrollhoz képest a nagyobb NPK műtrágya adaggal trágyázott parcellákon. A megnövekedett értékek a nitrogénműtrágya hatását és a korábbi évek felhalmozott szulfátkészletének jelenlétét igazolhatják a nagyobb műtrágyadózisú parcellákon.

2019-ben az újbóli kénpótlás évében szintén igazolható aminosav tartalom emelkedést mértem az NPKS2 kezelésű parcellán a kontroll értékéhez képest. A

búzaszem cisztein tartalma enyhén megemelkedett a korábbi két év értékéhez képest, a metionin-tartalomban nem tapasztaltam eltérést.

Az öntözés és annak utóhatása évenként eltérő módon, kis mértékben befolyásolta a vizsgált aminosavak mennyiségét.

Az őszi búza cisztein- és metionin-tartalmának vizsgálata során, ZHAO és MCGRATH (1999), GRANVOGL et al. (2008), ZÖRB et al. (2010) megállapításaival összhangban jelentős trágyahatásokat tapasztaltam. 2017 és 2018 években a cisztein- és metionin-koncentráció növekedése az NPK2 kezelésben az 1983-2016 között kialakuló pozitív S-mérlegnek és az évente kijuttatott nagy N-dózisnak tudható be, míg 2019-ben a fentebb említett okokon túl az aminosav-tartalom növekedéséhez a frissen kijuttatott gipsz is hozzájárulhatott.

5.1.4. A talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalma és a növényi S-tartalom közötti korreláció

A talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalma, valamint a növény szárbainduláskori, virágzáskori, teljes éréskori S-tartalma és a termés által kivont S mennyisége közötti kapcsolatokat Pearson-féle korrelációanalízis segítségével vizsgáltam. A tapasztalt összefüggések mutatóit a 22. táblázatban foglaltam össze.

22. táblázat: Összefüggés a növény S-tartalma és a talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalma (mg/kg) között (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

| | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | | |
|----------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|---|
| | KCl - SO ₄ ²⁻ -S | CaCl ₂ - SO ₄ ²⁻ -S | KH ₂ PO ₄ -SO ₄ ²⁻ -S | KCl - SO ₄ ²⁻ -S | CaCl ₂ - SO ₄ ²⁻ -S | KH ₂ PO ₄ -SO ₄ ²⁻ -S | KCl - SO ₄ ²⁻ -S | CaCl ₂ - SO ₄ ²⁻ -S | KH ₂ PO ₄ -SO ₄ ²⁻ -S |
| Szárbaindulás | | | | | | | | | |
| növény S % | -0,335 | -0,591* | -0,019 | 0,012 | -0,111 | 0,145 | 0,370 | -0,190 | 0,718** |
| Virágzás | | | | | | | | | |
| növény S % | 0,470* | -0,063 | 0,394 | 0,284 | -0,319 | 0,096 | 0,283 | 0,383 | 0,375 |
| Teljesérés | | | | | | | | | |
| szem S % | 0,461 | 0,442 | 0,373 | -0,082 | -0,437 | 0,433 | 0,624** | 0,192 | 0,786** |
| kivont S (kg/ha) | 0,485 | 0,229 | 0,243 | 0,102 | -0,267 | 0,428 | 0,643** | 0,191 | 0,734** |

Megjegyzés: * a korreláció $P=0,05$ szinten szignifikáns, ** a korreláció $P=0,01$ szinten szignifikáns (n=48)

2017-ben az őszi búza szárbainduláskor a növényi S-koncentráció és a talaj különböző kivonószerekben mért szulfát-S tartalma között nem értelmezhető, negatív korrelációt kaptam. Virágzáskor szorosabb összefüggést ($r=0,470^*$) találtam a talaj KCl

oldható szulfát-tartalma és a növény S-tartalma között. Ehhez képest gyengébb volt az összefüggés a KH_2PO_4 oldható szulfát-S és a növényi S értékek között. A CaCl_2 kivonószerben mérhető szulfát-S és a növényi S-koncentráció között nem találtam értelmezhető kapcsolatot. Teljes éréskor a legszorosabb, bár nem szignifikáns összefüggés, csak úgy, mint virágzáskor a KCl kivonatban mért szulfát és a búzaszem S-tartalma között mutatkozott ($r=0,461$). Ezt az összefüggést a talaj S-tartalma és a termés által kivont S-tartalom közötti kapcsolat ($r=0,485$) is megerősítette.

2018-ban az őszi búza szárbainduláskor és a virágzáskor a korrelációs koefficiens értékek minden esetben gyenge, elhanyagolható kapcsolatra utaltak a vizsgált paraméterek között. Teljes éréskor az őszi búzaszem S-tartalma és a termés által kivont S mennyisége is a talaj KH_2PO_4 oldható szulfáttartalmával mutatta a legszorosabb ($r=0,433$; $r=0,428$) kapcsolatot.

2019-ben az ismételt gipsz és így az újbóli kénkijuttatás évében szorosabb összefüggéseket találtam a növényi kén és a talaj oldható szulfáttartalma között. Szárbainduláskor a KH_2PO_4 kivonatban mérhető szulfáttartalom mutatta a legszorosabb összefüggést a növény kéntartalmával ($r=0,718^{**}$). Virágzáskor egyik kivonószer esetén sem volt érdemi kapcsolat kimutatható a talaj oldható szulfát-S tartalma és a búza S-tartalma között. A búzaszem átlagos kéntartalma és az egyes talajkivonószer által oldható szulfát-S mennyisége közötti kapcsolatok elemzése során igen szoros összefüggést tapasztaltam a KH_2PO_4 ($r=0,786^{**}$) és a KCl ($r=0,624^{**}$) oldószeres esetében. A termés által kivont S mennyisége és a talaj oldható szulfát-S tartalma között is ezzel megegyező szorosságú kapcsolatok voltak megfigyelhetők.

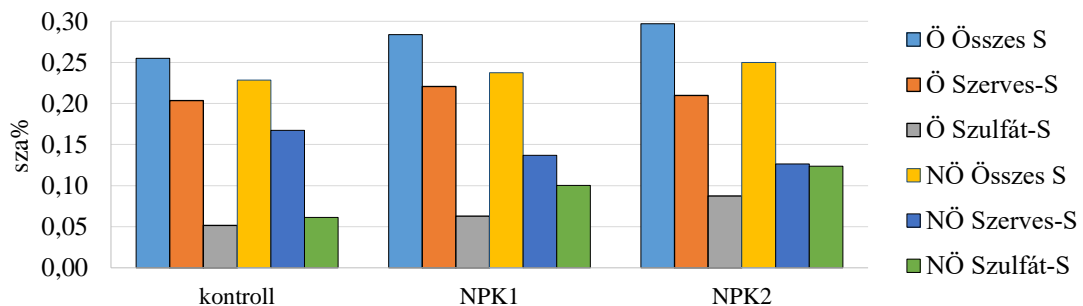
Összefoglalóan megállapítható, hogy 2017-2018 években, mikor már több éve nem volt kénutánpótlás a kísérleti területen, a növényi S-tartalom és a különböző talajkivonatokban mért szulfáttartalmak közötti korrelációs koefficiens értéke a legtöbb esetben 0,5 alatti volt, mely alapján nem tudtam szoros összefüggést igazolni a vizsgált paraméterek között. A talajkivonatok szulfáttartalma és a növényi S-tartalom közötti szoros korreláció hiánya a talajoldatban lévő kis szulfátkoncentrációnak és a szulfát mennyiségi változékonyságának tudható be. 2019-ben, az újbóli kénkijuttatás évében növekedett a talaj oldható szulfáttartalma és több esetben is 0,5 fölötti korrelációs koefficiens értékeket kaptam a vizsgált talaj-növény rendszerben. Ez alapján ZHAO és MCGRATH (1994) eredményével összhangban megállapítottam, hogy a búza által felvehető szulfát mennyiségét a KH_2PO_4 kivonatban mért szulfáttartalom jellemzi a legjobban, ezt követi a KCl és végül a CaCl_2 kivonatban mérhető szulfát-S tartalom.

5.1.5. Az őszi búza szerves és szervetlen kénformáinak változása

A kutatómunka során célom 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 (CaSO₄) milyen hatással van az őszi búza különböző kénformáinak (szerves-S, szulfát-S) változására a búza fejlődése során.

5.1.5.1. Az őszi búza szerves-S és szulfát-S tartalmának változása szárbainduláskor

2017-ben az őszi búza szárbainduláskor a növény összes átlagos S-tartalma 0,23-0,30 szá% között változott kezelésként. Ezen belül a szerves-S tartalom nagyobb volt (0,13-0,22 szá%), mint a szulfát-S mennyisége (0,05-0,12 szá%) (13. ábra).



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -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 |

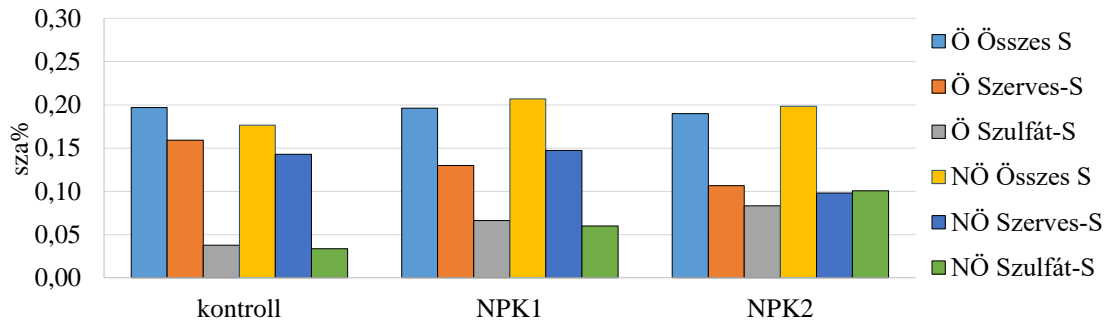
13. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára szárbainduláskor (Debrecen-Látókép, 2017)

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, szá%=száraz anyag százalék

Az összes S-tartalom 52,0-80,0%-a szerves-S, míg 20,0-48,0%-a szulfát-S formájában volt jelen a szövetekben. Az összes S és a szerves S értéke nem különbözött a kontroll és az NPK műtrágya kezelésként parcellákon, azonban az öntözött kezelésekben értéke nagyobb volt. Ebből következik, hogy az öntözött parcellákon a felvett kén szerves vegyületekbe való beépülése intenzívebb volt és a szulfát kevésbé halmozódott a szövetekben. A nem öntözött parcellákon a S beépülése a szerves vegyületekbe az NPK

műtrágyakezelésű parcellákon kissé csökkent a kontrollhoz képest. A műtrágyázott parcellákon a szulfát-S mennyisége is egyre növekedett.

2018-ban az őszi búza szárbaindulásakor az összes S-tartalom 0,17-0,21 sza%, a szerves-S 0,10-0,16 sza%, a szulfát-S 0,03-0,10 sza% között alakult (14. ábra).



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -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 |

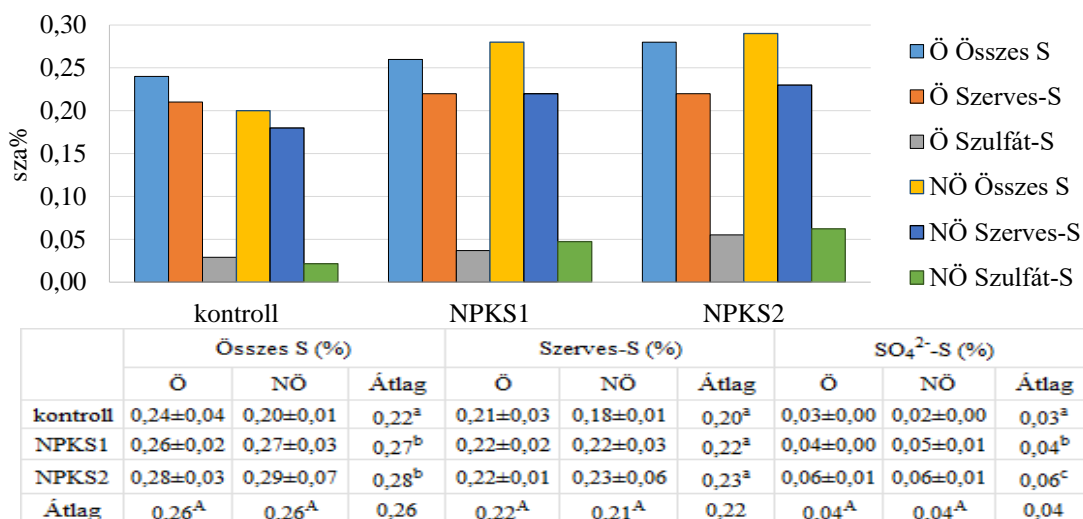
14. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára szárbainduláskor (Debrecen-Látókép, 2018)

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

Az összes S-tartalom jelentős része (50,0-82,4%) szerves formában, míg 17,6-50,0%-a szervetlen formában volt jelen a növényi szövetekben. Az összes S a műtrágyázott parcellákon nem emelkedett a kontroll kezeléshez képest és az öntözött és nem öntözött parcellákon sem volt különbség az értékében. Az öntözött és nem öntözött parcellákon a kénformák változásában sem mutatkozott különbség. A felvett S beépülése a szerves vegyületekbe a növekvő dózisu NPK műtrágyakezelésű parcellákon csökkent a kontrollhoz képest és inkább szulfátként maradt jelen a növényi szövetekben. A legnagyobb műtrágyadózisu, NPK2 kezeléseknél a szulfát-S felhalmozódása már a szerves-S mennyiségével volt egyenértékű.

2019-ben az összes S-tartalom 0,20-0,29 sza%, a szerves-S 0,18-0,23 sza%, míg a szulfát-S 0,02-0,06 sza% között alakult (15. ábra).

Az ismételt kénjuttatás évében a szárbainduláskori növény összes S-tartalmának 78,6-90,0%-a szerves-S és 10,0-21,4%-a szulfát-S formájában volt jelent.



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

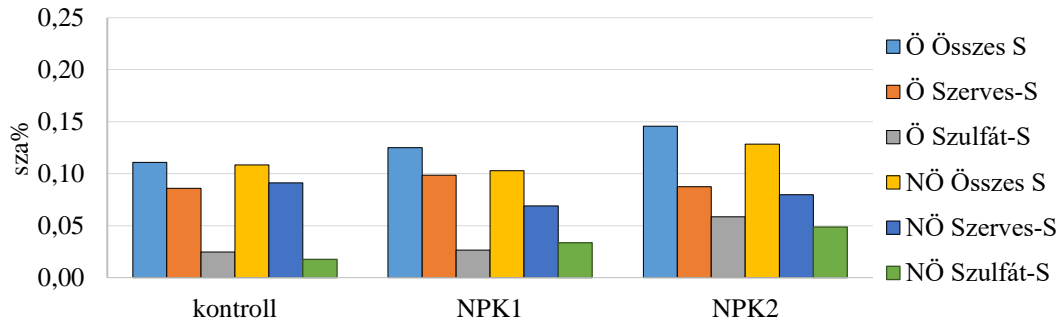
Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö=öntözött, NÖ=nem öntözött,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

Az összes S-tartalom az újbóli kénkijuttatás hatására a műtrágyázott parcellákon szignifikánsan nagyobbá vált a kontroll kezeléshez képest, azonban az öntözött és nem öntözött parcellák értékei között nem volt különbség. Megfigyelhető, hogy a felvett S beépülése a szerves vegyületekbe nem igazolhatóan, de kismértékben növekedett a kontroll kezeléshez képest, míg a szulfát-S mennyisége szignifikánsan nagyobbá vált. Az öntözött és a nem öntözött parcellákon ugyanaz a tendencia figyelhető meg.

Összefoglalva elmondható, hogy 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.

5.1.5.2. Az őszi búza szerves-S és szulfát-S tartalmának változása virágzáskor

2017-ben a szerves-S és szulfát-S formák mennyisége közötti különbség kisebb volt virágzáskor, mint a szárbainduláskor (16. ábra).



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -S (%) | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| kontroll | 0,11±0,01 | 0,11±0,01 | 0,11 ^a | 0,09±0,01 | 0,09±0,01 | 0,09 ^a | 0,02±0,00 | 0,02±0,00 | 0,02 ^a |
| NPK1 | 0,13±0,02 | 0,10±0,01 | 0,11 ^a | 0,10±0,02 | 0,07±0,02 | 0,08 ^a | 0,03±0,00 | 0,03±0,01 | 0,03 ^b |
| NPK2 | 0,15±0,04 | 0,13±0,01 | 0,14 ^a | 0,09±0,05 | 0,08±0,01 | 0,08 ^a | 0,06±0,00 | 0,05±0,00 | 0,05 ^c |
| Átlag | 0,13 ^A | 0,11 ^A | 0,12 | 0,09 ^A | 0,08 ^A | 0,09 | 0,04 ^A | 0,03 ^A | 0,03 |

16. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza

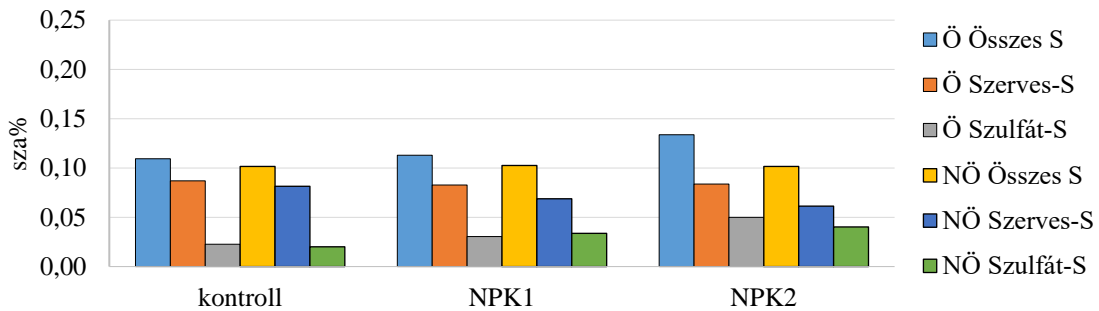
összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára virágzáskor (Debrecen-Látókép, 2017)
Megjegyzés: Azonos kisbetűvel (abc) jelölt értékek az oszlopokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten a trágyázás hatására, azonos nagybetűvel (ABC) jelölt értékek a sorokban nem különböznek egymástól $P < 0,05$ szignifikancia szinten az öntözés hatására, Ö=öntözött, NÖ=nem öntözött, sza%=száraz anyag százalék

Az összes S-tartalom 0,10-0,15 sza%, a szerves-S 0,07-0,10 sza% és a szulfát-S 0,02-0,06 sza% között változott. A műtrágyázott parcellákon, ahol évek óta negatív kénmérleg figyelhető meg, a szuperfoszfát utóhatása nem érvényesült, az összes S és a szerves-S mennyisége sem nőtt a kontrollhoz képest, azonban a szulfát-S mennyisége igazolhatóan nagyobbá vált, tehát a növekvő NPK dózisok inkább a szulfát felhalmozódását fokozták. A virágzáskori mintavételt néhány nappal megelőző öntözésnek egyik kénformára sem volt hatása.

A szerves-S és a szulfát-S formák változását az őszi búza virágzásakor **2018-ben** a 17. ábra szemlélteti. Az összes S-tartalom 0,10-0,13 sza%, a szerves-S 0,06-0,09 sza%, és a szulfát-S 0,02-0,05 sza% között változott.

2018-ban a kezelések hatására a mért paraméterek változása ugyanazt a tendenciát követte, mint 2017-ben. Az összes S-tartalom 2018-ban sem növekedett a műtrágyázott parcellákon és az öntözött és nem öntözött kezelésekben sem különbözött az értéke. Az NPK dózis növelésével a szulfát felhalmozódása fokozódott, azaz a felvett S inkább

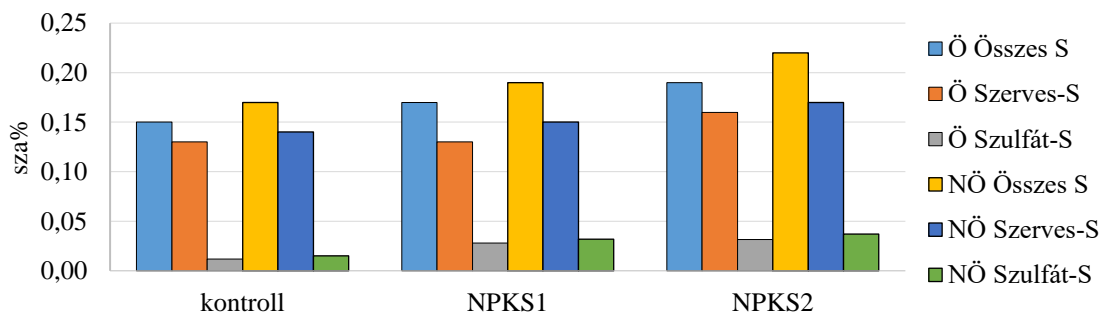
szulfát formájában maradt a növényi szövetekben. A szerves-S mennyisége nem változott igazolhatóan a kontrollhoz képest.



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -S (%) | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| kontroll | 0,11±0,01 | 0,10±0,01 | 0,11 ^a | 0,09±0,02 | 0,08±0,01 | 0,08 ^a | 0,02±0,00 | 0,02±0,00 | 0,02 ^a |
| NPK1 | 0,11±0,03 | 0,10±0,01 | 0,11 ^a | 0,08±0,03 | 0,07±0,01 | 0,08 ^a | 0,03±0,01 | 0,03±0,00 | 0,03 ^b |
| NPK2 | 0,13±0,04 | 0,10±0,01 | 0,12 ^a | 0,08±0,03 | 0,06±0,01 | 0,07 ^a | 0,05±0,01 | 0,04±0,00 | 0,05 ^c |
| Átlag | 0,12 ^A | 0,10 ^A | 0,11 | 0,08 ^A | 0,07 ^A | 0,08 | 0,03 ^A | 0,03 ^A | 0,03 |

17. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára virágzáskor (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

2019-ben a virágzáskori búza összes S-tartalma 0,15-0,22 sza%, a szerves-S 0,13-0,16 sza% és a szulfát-S 0,01-0,04 sza% között változott (18. ábra).



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -S (%) | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| kontroll | 0,15±0,03 | 0,17±0,01 | 0,16 ^a | 0,13±0,02 | 0,15±0,01 | 0,14 ^a | 0,01±0,00 | 0,02±0,00 | 0,01 ^a |
| NPKS1 | 0,17±0,06 | 0,19±0,09 | 0,18 ^a | 0,13±0,04 | 0,16±0,07 | 0,15 ^a | 0,03±0,00 | 0,03±0,00 | 0,03 ^b |
| NPKS2 | 0,19±0,01 | 0,22±0,05 | 0,21 ^a | 0,16±0,01 | 0,17±0,04 | 0,17 ^b | 0,03±0,00 | 0,04±0,00 | 0,03 ^b |
| Átlag | 0,17 ^A | 0,19 ^A | 0,18 | 0,14 ^A | 0,16 ^A | 0,15 | 0,02 ^A | 0,03 ^A | 0,03 |

18. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára virágzáskor (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

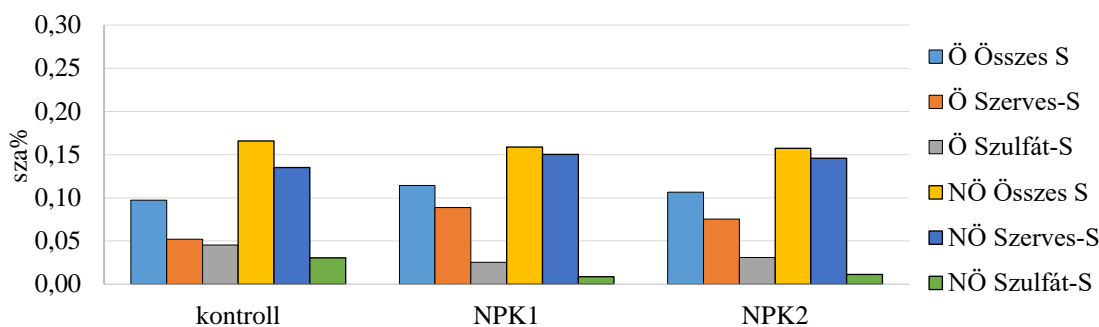
A virágzáskori búza összes S-tartalma az NPKS műtrágyázott parcellákon kissé növekedett a kontrollhoz képest, bár ez a növekedés nem volt szignifikáns. A szerves S mennyisége nem különbözött a kontroll és az NPKS1 kezelésekben, azonban jelentős mértékben növekedett az NPKS2 kezelés hatására. A szerves formához viszonyítva a szulfát-S mennyisége kisebb volt, vagyis a műtrágyázott parcellákon a felvett kén szerves vegyületekbe való beépülése volt jellemző, a szulfát felhalmozódása kisebb mértékű volt. Legkisebb szulfát-S mennyiséget a kontroll kezelésben mértem, mely a műtrágyázás hatására szignifikáns mértékben növekedett, de a növekvő dózisok között nem volt további igazolható különbség. Az öntözött és nem öntözött parcellákon egyik forma esetében sem volt különbség.

Összegezve megállapítható, hogy a kénutánpótlás nélküli években (2017-2018) a műtrágyázott parcellákon az összes kén mennyisége nem változott a kontroll értékéhez képest. Ezen belül a szerves S-tartalom nem nőtt, inkább a szöveti szulfátfelhalmozódás volt jellemző. Ezekben az években a felvett S 60-82%-a szerves formában, míg 18-40%-a szulfát formájában volt jelen a szövetekben. 2019-ben a szerves és szulfát-S mennyisége is nagyobbá vált a műtrágyázás hatására. A két forma aránya az ismételt gipszkijuttatás hatására az előző évekhez képest eltolódott és inkább a felvett S szerves vegyületekbe történő beépülését figyeltem meg (81-93%).

5.1.5.3. A búzaszalma szerves-S és szulfát-S tartalmának változása teljes éréskor

A búza teljes éréskor külön mintáztam a szemet és a szalmát, azonban a szemben a szulfátfrakció mennyisége a kimutatási határérték alatt volt, így teljes éréskor csak a szalmában mért kénformákat szemléltettem. 2017-ben a búzaszalma kénformáinak változását a *19. ábra* mutatja be.

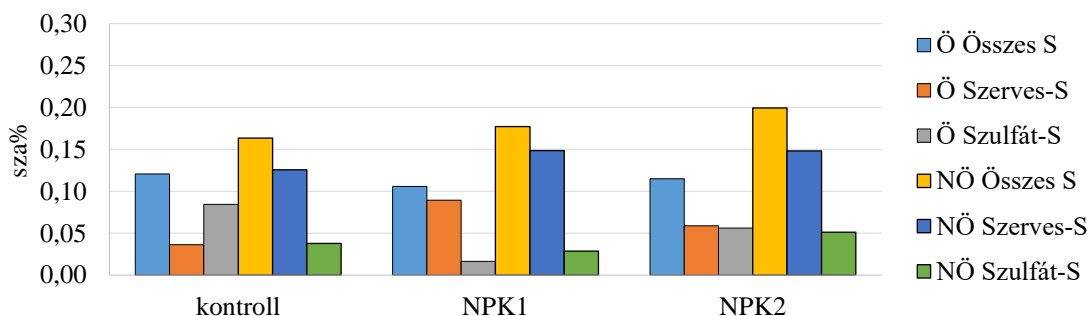
2017-ben a búzaszalma összes S-tartalma (0,10-0,17 sza%) a műtrágyázott kezelésekben nem különbözött a kontroll kezeléstől, vagyis a korábbi években alkalmazott szuperfoszfát utóhatása nem érvényesült. A nem öntözött parcellákon azonban szignifikánsan nagyobb kén tartalmat mértem, mely az öntözés hatására bekövetkező nagyobb termés következménye (*16. táblázat*). A nem öntözött parcellákon a szerves-S tartalom is nagyobb volt. Megfigyelhető, hogy a műtrágyázott parcellák öntözött változataiban a felvett S szerves vegyületekbe való beépülése nagyobb mértékű, mint a nem öntözött kezelésekben. A szulfát-S forma a szerves-S formától eltérően nem módosult az öntözési kezelések hatására, a műtrágyázott parcellákon azonban értéke csökkent a kontroll kezeléshez képest.



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -S (%) | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| kontroll | 0,10±0,01 | 0,17±0,02 | 0,13 ^a | 0,05±0,01 | 0,14±0,05 | 0,10 ^a | 0,05±0,02 | 0,03±0,00 | 0,04 ^b |
| NPK1 | 0,11±0,02 | 0,16±0,01 | 0,14 ^a | 0,09±0,04 | 0,15±0,02 | 0,12 ^a | 0,03±0,02 | 0,01±0,00 | 0,02 ^a |
| NPK2 | 0,11±0,01 | 0,16±0,02 | 0,13 ^a | 0,08±0,01 | 0,15±0,05 | 0,11 ^a | 0,03±0,01 | 0,01±0,01 | 0,02 ^a |
| Átlag | 0,11 ^A | 0,16 ^B | 0,13 | 0,07 ^A | 0,15 ^B | 0,11 | 0,04 ^A | 0,02 ^A | 0,03 |

19. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára teljes éréskor (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

2018-ban a búzaszalma összes S-tartalma 0,11-0,20 sza%, a szerves-S mennyisége 0,04-0,15 sza% és a szulfát-S mennyisége 0,02-0,08 sza% között volt (20. ábra).



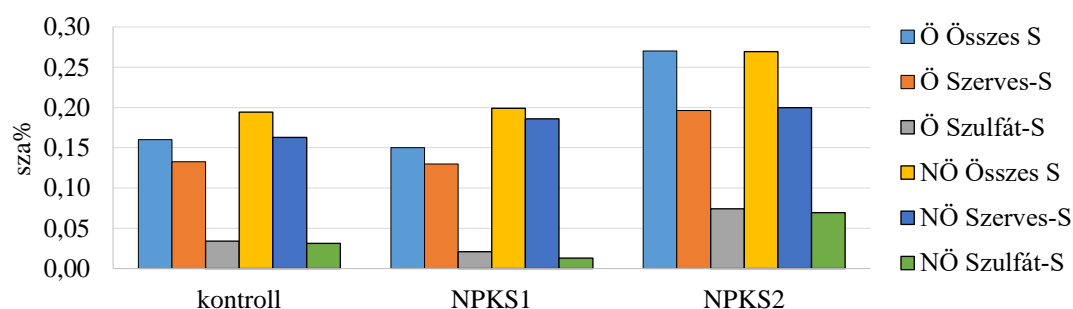
| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -S (%) | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| kontroll | 0,12±0,01 | 0,16±0,02 | 0,14 ^a | 0,04±0,01 | 0,13±0,03 | 0,08 ^a | 0,08±0,01 | 0,04±0,00 | 0,06 ^b |
| NPK1 | 0,11±0,02 | 0,18±0,07 | 0,14 ^a | 0,09±0,02 | 0,15±0,07 | 0,12 ^a | 0,02±0,00 | 0,03±0,00 | 0,02 ^a |
| NPK2 | 0,11±0,01 | 0,20±0,03 | 0,16 ^a | 0,06±0,01 | 0,15±0,13 | 0,10 ^a | 0,05±0,01 | 0,05±0,01 | 0,05 ^b |
| Átlag | 0,11 ^A | 0,18 ^B | 0,15 | 0,06 ^A | 0,14 ^B | 0,10 | 0,05 ^A | 0,04 ^A | 0,05 |

20. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassza összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára teljes éréskor (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

Az összes S-tartalom a műtrágyázott parcellákon továbbra sem változott a kontroll kezelés értékéhez képest, azonban a nem öntözött parcellákon szignifikánsan nagyobbá

vált az értéke. A kontroll kezelés öntözött parcelláin a felvett S jellemzően szulfát formájában volt jelen a növényi szövetekben, azonban a növekvő műtrágyadózisú parcellákon inkább a szulfát szerves vegyületekbe való beépülése figyelhető meg. A nem öntözött parcellákon a szerves S-tartalom igazolhatóan nagyobbá vált.

A búzaszalma szerves-S és szulfát-S formáinak változását **2019-ben** a 21. ábra szemlélteti, ahol az összes S-tartalom 0,16-0,27 sza%, a szerves-S tartalom 0,13-0,20 sza% között, míg a szulfát-S 0,02-0,07 sza% között változott.



| | Összes S (%) | | | Szerves-S (%) | | | SO ₄ ²⁻ -S (%) | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag | Ö | NÖ | Átlag |
| kontroll | 0,16±0,03 | 0,19±0,01 | 0,18 ^a | 0,13±0,02 | 0,16±0,01 | 0,14 ^a | 0,03±0,00 | 0,03±0,01 | 0,03 ^a |
| NPKS1 | 0,15±0,01 | 0,20±0,01 | 0,18 ^a | 0,13±0,01 | 0,19±0,01 | 0,16 ^a | 0,02±0,00 | 0,01±0,00 | 0,02 ^a |
| NPKS2 | 0,27±0,03 | 0,27±0,01 | 0,27 ^b | 0,20±0,02 | 0,20±0,01 | 0,20 ^b | 0,07±0,02 | 0,07±0,01 | 0,07 ^b |
| Átlag | 0,19 ^A | 0,22 ^A | 0,21 | 0,15 ^A | 0,18 ^B | 0,17 | 0,04 ^A | 0,04 ^A | 0,04 |

21. ábra: Az eltérő adagú műtrágyázás és az öntözés hatása őszi búza biomassa összes-, szerves- illetve szulfát-S tartalmára teljes éréskor (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

Az összes S-tartalom az újból alkalmazott szuperfoszfát nagyobb adagjának hatására (NPKS2) igazolhatóan növekedett a kontroll kezelés értékéhez képest. Ebben az évben az előző évektől eltérően a szerves- és szulfát-S formák görbéinek lefutása hasonló tendenciát mutat. A búzaszalma szerves-S vegyületeinek átlagos mennyisége a szuperfoszfát gipsztartalmának hatására, az NPKS2 kezelésben igazolhatóan meghaladta a kontroll kezelés értékét. A legnagyobb S adag alkalmazása esetén (NPKS2) azonban a szulfát-S felhalmozódása is megfigyelhető volt.

Összegezve elmondható, hogy a búzaszalma esetében 2017-2018 években a műtrágyázott parcellákon mért összes S-tartalom nem különbözött a kontroll parcellák értékétől. A szerves-S mennyisége szintén nem változott, míg a szulfát-S a növekvő NPK műtrágyadózisú kezelések hatására csökkenő tendenciát mutatott. 2019-ben csak a

legnagyobb dózisú NPKS2 kezelés növelte az összes kén mennyiségét a kontrollhoz képest, melynek hatására a szerves- és a szulfát-S mennyisége is szignifikánsan nagyobbá vált. Az összes kéntartalom belül a felvett S jelentős része 74-95%-a szerves vegyületekbe épült be és csupán 5-26%-a maradt szulfát-S formájában a szövetekben.

5.1.6. 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 szuperfoszfátban lévő CaSO₄ kéntartalma hogyan hasznosult (23. táblázat).

23. táblázat: Szuperfoszfát műtrágya gipsztartalmának hasznosulása

| Kezelés | S adag kg/ha | | Átlagos 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 |

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 kéntartalmának hozzávetőleg egyharmadát hasznosította az őszi búza a kijuttatás évében.

5.1.7. A műtrágyázási tartamkísérlet nitrogén- és kénmérlege a mért adatok alapján 2017, 2018, 2019 években

2016 után, a 2017-2019 időszakban a növényanalitikai eredményeim és a termésadatok alapján éves egyszerűsített N- és S-mérlegeket számoltam (24. táblázat).

A mérleg beviteli oldalát a műtrágyával kijuttatott hatóanyagok, a kiadási oldalát a teljes növény által (szem + szalma) felvett tápelemek átlagos mennyisége képezte.

2017-ben a kijuttatott és felvett N függvényében jellemzően negatív N-mérleg alakult ki mindkét öntözési változatban. Az öntözött parcellákon a növekvő műtrágyadózisú kezelésekben a nagyobb biomasszaprodukció eredményeképpen negatívabb mérleget számoltam. A nem öntözött parcellákon azonban az NPK1 kezelés hatására mérséklődött a mérleg negativitása, az NPK2 kezelés eredményeképpen a mérleg pozitívvá vált. Ebben az évben nem volt kénutánpótlás a területen, így minden kezelésben negatív kénmérleg volt jellemző, mely a növekvő NPK dózisú kezelésekben egyre negatívabbá vált a kontrollhoz viszonyítva.

24. táblázat: A Látóképi tartamkísérlet egyszerűsített éves N- és S-mérlege 2017, 2018, 2019 években (Debrecen-Látókép)

| Kezelés | Kijuttatott N hatóanyag kg/ha/év | Búzával kivont N kg/ha/év | Egyszerűsített N mérleg | Kijuttatott S hatóanyag kg/ha/év | Búzával kivont S kg/ha | Egyszerűsített S mérleg | |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------|
| 2017 | | | | | | | |
| Ö | kontroll | 0 | 32,1 | -32,1 | 0 | 5,0 | -5,0 |
| | NPK1 | 100 | 134,6 | -34,6 | 0 | 14,0 | -14,0 |
| | NPK2 | 200 | 237,1 | -37,1 | 0 | 18,8 | -18,8 |
| NÖ | kontroll | 0 | 34,9 | -34,9 | 0 | 3,9 | -3,9 |
| | NPK1 | 100 | 117,1 | -17,1 | 0 | 11,9 | -11,9 |
| | NPK2 | 200 | 187,6 | 12,4 | 0 | 17,8 | -17,8 |
| 2018 | | | | | | | |
| Ö | kontroll | 0 | 32,0 | -32,0 | 0 | 3,8 | -3,8 |
| | NPK1 | 100 | 158,7 | -58,7 | 0 | 14,6 | -14,6 |
| | NPK2 | 200 | 257,4 | -57,4 | 0 | 17,4 | -17,4 |
| NÖ | kontroll | 0 | 33,1 | -33,1 | 0 | 4,6 | -4,6 |
| | NPK1 | 100 | 153,2 | -53,2 | 0 | 17,3 | -17,3 |
| | NPK2 | 200 | 236,2 | -36,2 | 0 | 23,2 | -23,2 |
| 2019 | | | | | | | |
| Ö | kontroll | 0 | 60,1 | -60,1 | 0 | 8,8 | -8,8 |
| | NPKS1 | 100 | 153,3 | -53,3 | 42,4 | 20,7 | 21,7 |
| | NPKS2 | 200 | 286,1 | -86,1 | 84,8 | 37,1 | 47,7 |
| NÖ | kontroll | 0 | 54,8 | -54,8 | 0 | 9,1 | -9,1 |
| | NPKS1 | 100 | 201,9 | -101,9 | 42,4 | 27,3 | 15,1 |
| | NPKS2 | 200 | 312,3 | -112,3 | 84,8 | 40,3 | 44,5 |

Megjegyzés: Ö = öntözött, NÖ = nem öntözött

2018-ban a N-mérleg a kontroll parcellákon negatív volt és a műtrágyázott kezelésekben a mérleg még negatívabbá vált. A kénpótlás hiánya miatt a S-mérleg minden kezelésben negatív volt. A műtrágyázott parcellákon a nagyobb biomaszatömeg fejlődése miatt a S-mérleg még negatívabbá vált a kontrollhoz képest.

2019-ben a N-mérleg minden kezelésben negatív volt és a növekvő dózisu műtrágyakezelésekkel a nagyobb biomasszaprodukció miatt a mérleg negativitása fokozódott. Ekkor a P tápanyagot ismét szuperfoszfát műtrágyával juttatták ki a kísérleti területre, mely egyidejűleg kénutánpótlást is jelentett. A kijuttatott műtrágyadózisok és a növény által felvett tápanyagmennyiségek tükrében a kontroll kezelésekben negatív S-mérleget figyeltem meg, mely mérleg a 42,4 kg S/ha adag hatására pozitívvá vált, a 84,8 kg S/ha kéntrágyázás következtében még pozitívabb lett.

A 2017-2019 időszakra vonatkozó éves N-mérlegek jellemzően negatívak voltak. Ez azt jelenti, hogy a 100 és 200 kg N/ha dózisban kijuttatott N mennyisége nem fedezte a növény N-felvételét. A S-mérleg 2017 és 2018 években a S-pótlás hiánya miatt minden kezelésben negatív volt. 2019-ben az ismételt S-kijuttatás évében a mérleg a műtrágyázott parcellákon pozitívvá vált, tehát a kijuttatott tápanyag mennyisége az NPKS1 (42,4 kg S/ha) és az NPKS2 (84,8 kg S/ha) kezelésekben is nagyobb volt, mint a növény általi S-felvétel.

5.2. A kénforgalom egyes elemeinek változása tenyészedényes kísérletekben

5.2.1. 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.

5.2.1.1. A biomasszatömeg változása a tavaszi búza egyes fenofázisaiban

A 25. táblázat eredményei alapján megállapítható, hogy szárbainduláskor (BBCH 30-32) a szárazságstresszes körülmények között növekedett búza biomasszatömege még nem különbözött a kedvező vízellátás mellett nevelt búza tömegétől.

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

| Vízellátás | N/S kezelés | Szárbaindulás | Virágzás | Teljes érés | | HI |
|-------------|--------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| | | | | Szalma | Szem | |
| | | 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)

Szárbainduláskor a növekvő S-dózisú kezelések biomasszanövelő hatása elsősorban a kedvező vízellátású kezelésekben volt statisztikailag igazolható. Kedvező vízellátás mellett már a legkisebb S-dózisú, N/S=1:0,2 arányú kezelés tendenciaszerűen növelte a tavaszi búza biomasszatömegét a kontrollhoz képest, és a S-dózis további növelése igazolható növekedést eredményezett. Kedvezőtlen vízellátás esetén a növekvő S-dózisú kezelések nem módosították a száraz biomassza termelést.

IMADI et al. (2016) szerint a szárazságstressz kedvezőtlen metabolikus változásokat okoz a növényekben, ami a növekedés és a fotoszintézis intenzitásának csökkenését eredményezi. Kísérletemben a szárazságstressz jelentős biomassza-csökkenítő hatását először a virágzáskori mérésnél igazoltam, amikor kedvezőtlen vízellátásnál szignifikánsan kisebb biomasszát mértem. GUPTA et al. (2001) is vizsgálták

a szárazságstressz hatását a búza növekedésére és esetükben is virágzáskor jelentkezett a biomasszatermelés csökkenése szárazságstresszes körülmények között.

Virágzáskor, kedvező vízellátás mellett a legkisebb S-dózisú (N/S =1:0,2) trágyázás kedvező biomassza növelő hatását figyeltem meg a kontroll kezeléshez képest, azonban a tovább növekvő S-arány már nem okozott további változást. Kedvezőtlen vízellátásnál a műtrágyázás hatását nem tudtam igazolni.

A búza érésekor (BBCH 89) külön mértem a szem és szalma tömegét, mely értékek a kedvező vízellátás mellett szignifikánsan nagyobbak voltak.

FAROOQ et al. (2009), ALQUDAH et al. (2011) és VARGA et al. (2013) is arról számoltak be, hogy a szárazságstressz, mint az egyik legerőteljesebb abiotikus stresszfaktor, a búzatermesztés egyik alapvető hozamkorlátozó tényezője lehet, mivel visszaveti a növények növekedését, fejlődését és a szemtelítődés időtartamának hosszát is, ami a szemtermés mennyiségének csökkenéséhez vezet. A szárazságstressz hazánkban is egyre nagyobb problémákat okozhat, hiszen a nyáron jelentkező aszályos periódusok a klímaváltozás következtében egyre gyakoribbak lehetnek (GAÁL et al., 2021).

Kedvező vízellátás mellett a szemtermés 8,20-15,84 g/edény között változott és értéke több esetben két-háromszor nagyobb volt, mint az azonos műtrágyakezelésű, de kedvezőtlen vízellátású kezelésekben mért értékek. A legkisebb S-dózisú, N/S=1:0,2 kezelés a kontrollhoz képest már szignifikánsan nagyobb termést eredményezett és a tovább növekvő S-dózis is kedvezően hatott a termés mennyiségére. A legnagyobb kénarányú N/S=1:0,5 (56 kg S/ha) kezelésben mértem a legnagyobb termést. PODLESNA (2013) őszi búzával beállított kísérletében hasonló dózisú S-trágyázással ért el maximális termésnövekedést.

A kedvezőtlen vízellátású kezelésekben a szárazságstressz limitáló tényező volt, és ezekben az edényekben a trágyázás kedvező hatása nem érvényesült a szemtermés esetében. Ezen körülmények között a szemtermés 41,5-70,4%-kal volt kevesebb, mint az kedvező vízellátottságú kezelésekben mért szemtermés és az értékek a növekvő kénarányú trágyázott edényekben sem módosultak.

Kísérletünkben a szárazságstressz és a kisebb S-dózisok kombinációjával beállított kezelések (N/S=1:0,2; N/S=1:0,25) eredményeként figyeltem meg a legkisebb terméshozamot.

Kedvező vízellátás mellett a búzaszalma tömege 20,30-26,37 g/edény között változott. A legnagyobb szalmahozamot a legnagyobb S-dózisú kezelések esetében (56 kg S/ha N/S=1:0,5) mértem. A szárazságstressz eredményeként a szalma tömege is

mérséklődött, számszerű értéke 16,73-21,40 g/edény intervallumon belül alakult. A műtrágyázott edényekben rendre nagyobb szalmatömeget kaptam, de a kénarány változásával az érték nem módosult.

A kedvező vízellátás esetén a betakarítási index (HI) nagyobb volt (0,288-0,374), mint a kedvezőtlen vízellátású kezelésekben (0,151-0,222) és értékét a növekvő kénarányú műtrágyaadagok nem módosították. VARGA et al. (2013) tenyészházban végzett kísérletben vizsgálták a búzafajták szárazságtűrését, ahol a HI érték szintén kisebb volt korlátozott vízellátás mellett. Kedvezőtlen vízellátásnál a N-, S-műtrágyázás hatására a HI érték még tovább csökkent a kontroll kezeléshez viszonyítva.

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 szárbainduláskor 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.

5.2.1.2. A tavaszi búza N-, S-tartalmának, kénformáinak és N/S értékének változása

A búza N-, S-tartalmának és az N/S értékének alakulását a különböző vízellátású és növekvő S-dózisú kezelések hatására a 26. táblázat szemlélteti.

A szárbainduláskor mért N-tartalom 3,19-4,94% között változott, értéke az eltérő vízellátású modellekben nem különbözött. A N-trágyázás növelte a búza N-tartalmát a kontrollhoz képest, de a kéndózis növelése nem okozott további, igazolható változást ebben a paraméterben.

A hajtás S-tartalma szárbainduláskor 0,27-0,33% között alakult. Hasonlóan a N-tartalomnál tapasztaltakhoz a növény S-tartalma sem különbözött az eltérő vízellátású modellekben. A szárbainduláskori S-tartalmat a műtrágya kezelések sem módosították.

Kedvező vízellátás mellett az N/S értéke 11,68-14,87 között változott, míg a vízhiányos kezeléseknél az arány többnyire nagyobbá vált (17,58). Mindkét vízellátás

esetén a legkisebb N/S-t a kontrollban mértem és az arány a N/S =1:0,2 kezelés hatására igazolhatóan nőtt, de a kéndózis további növelése nem módosította az értékeket.

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

| Vízellátás | N/S kezelés | 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.

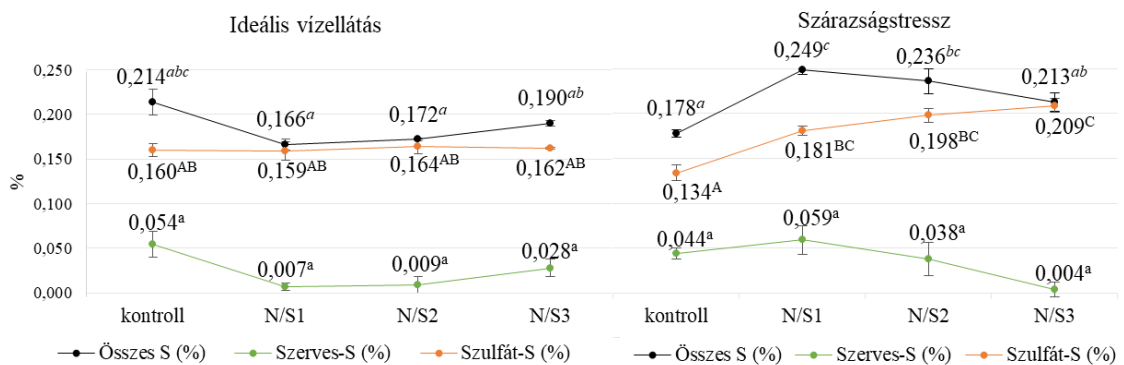
SPENCER és FRENEY (1980) az őszi búza esetében megállapította, hogy szárbaindulás kezdetén 16:19:1 értékeknél kisebb N/S a megfelelő. Kísérletünkben kedvező vízellátás mellett az N/S ennek alapján megfelelő volt, de a kedvezőtlen vízellátású, műtrágyázott edényekben az N/S értéke a kritikus tartományba került.

A tavaszi búza N-tartalma virágzáskor a várakozásoknak megfelelően kisebb volt, mint szárbainduláskor, értéke 1,11-2,63% között változott. A kedvezőbb vízellátású kezeléseknél szignifikánsan kisebb N-tartalmat mértem, mint elégtelen vízellátás esetén. Ez a kedvező vízellátás következtében képződő nagyobb biomasszatömeg által kiváltott hígulási effektussal volt magyarázható. Mindkét vízellátási modellben a legkisebb N-értéket a kontrollban kaptam. Kedvezőtlen vízellátás mellett a kontrollhoz képest valamennyi trágyakezelés növelte a búza N-tartalmát, azonban a kénadag változása már nem befolyásolta azt.

A S-tartalom is csökkent a tenyészidőszak során, értéke 0,17-0,25% között változott virágzáskor. A kedvező vízellátású, műtrágyázott kezelésekben a S-tartalom kisebb volt, mint kedvezőtlen vízellátás esetén. A S-trágyázás hatására csak ez utóbbi vízellátásnál mértem nagyobb növényi S-tartalmat a kontrollhoz képest és ebben az esetben megfigyeltem, hogy a tovább növekvő S-dózisok mérsékeltek a búza S-tartalmát.

A növényi N/S virágzáskor 5,18-12,04 között változott és értéke a növény életkorával csökkent. A N- és S-trágyázás eredményeként az N/S mindkét vízellátási modellben nőtt a kontrollhoz képest. A növekvő S-dózisok hatására az N/S többnyire csökkent kedvező vízellátás mellett, és enyhén növekedett szárazságstressz esetén.

Virágzáskor az összes S-tartalom mellett a tavaszi búza szerves-S és szulfát-S mennyiségét és változásait is vizsgáltam az eltérő kezelésekben (22. ábra).



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

Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan $p < 0,05$ szignifikancia szinten.

Virágzáskor a növény által felvett S jelentős része (74,7-98,0%) szulfát-S formájában volt jelen a szövetekben mindkét vízellátottság esetén.

Kedvező vízellátásnál a szerves S mennyisége a növekvő kénarányal enyhén nőtt. A SO_4^{2-} -S mennyisége nem változott jelentősen a S-dózisok növelésével. A növény által felvett S a szerves vegyületekbe épült be, a szulfát felhalmozódása nem növekedett.

Elégtelen vízellátás mellett az emelkedő S-dózisok hatására a szerves S-tartalom kismértékű csökkentését figyeltem meg. A búza szulfát-S tartalma már a legkisebb S-dózis hatására is jelentősen emelkedett a kontrollhoz viszonyítva. A növekvő S-dózisok pedig további, tendenciaszerű növekedést eredményeztek. Ebben a modellben tehát a kéntrágyázás hatására a felvett kén inkább szulfát-kénként halmozódott fel.

DIJKSHOORN és WIJK (1967) szerint, ha nagyobb mennyiségű szulfát kerül a növénybe, mint amennyi metabolizálható, akkor az szulfát formájában felhalmozódhat.

Kísérletünkben megállapítottam, hogy csökkentett vízellátás mellett az egyre növekvő S-dózisok hatására SO_4^{2-} -S halmozódott fel.

A szem és a szalma N- és S-tartalmát, valamint a N/S-át a 26. táblázatban mutatom be. A kedvező vízellátású kezelésekben a búzaszem N-tartalma (1,80-2,05%) szignifikánsan kisebb volt, mint elégtelen vízellátás esetén (2,94-4,45%). Kedvező vízellátás mellett a búzaszem N-tartalma a kontroll és a műtrágyázott kezelésekben nem különbözött, azonban vízhiányos körülmények között a N-műtrágyával kezelt edényekben nagyobb növényi N-tartalmat mértem. A szemek N-tartalmát a növekvő S-dózisok egyik vízellátási változatban sem befolyásolták. A vártnak megfelelően a szalma N-tartalma kisebb volt, mint a szemben mért N-tartalom. A szalma N-tartalma kedvező vízellátás mellett 0,32-0,42% között alakult, míg kedvezőtlen vízellátás mellett értéke 0,54-0,96% között változott. A kezelések hatását tekintve hasonló tendencia volt megfigyelhető, mint a szemek esetében.

A búzaszem S-tartalma 0,15-0,24% között változott. A kedvező vízellátású, műtrágyázott edényekben a búzaszem S-tartalma a kontrollhoz képest a legkisebb kéndózisú (N/S=1:0,2) kezelésben kissé csökkent, azonban a S-dózisok emelésével kisebb mértékű növekedést figyeltem meg. A kedvezőtlen vízellátású modellben az N/S=1:0,2 kezelésben szignifikánsan nagyobb S-tartalmat mértem a kontrollhoz képest, azonban a növekvő kénarányval a szem S-tartalma nem nőtt tovább, inkább kismértékben csökkent. RANDALL et al. (1981) kísérletükben hasonló eredményeket kaptak, ahol a növekvő S-adagok a búzaszem S-tartalmát inkább csökkentették.

A búzaszalma S-tartalma (0,24-0,32%) nagyobb volt, mint a szemben mért érték. A szalma kén-tartalmát a különböző kezelések nem módosították igazolhatóan.

Kísérletünkben a búzaszemekben számolt N/S egy nagyságrenddel nagyobb volt, mint a szalma N/S-a. GYŐRI (1998) és MECHTEL (1999) megállapítása szerint az őszi búza N/S értéke többnyire állandó, kedvező körülmények között általában 15:1, de szárazságstressz hatására ez az érték nagyobb, akár 16-17,5:1 is lehet. Kísérletünkben mindkét növényi rész N/S értéke szignifikánsan kisebb volt kedvező vízellátás esetén. A szalma N/S értéke a növekvő kénarányú műtrágyázott kezelésekben kissé növekedett, a szemben azonban nem volt arányszám változás.

Összegezve megállapítottuk, hogy szárbainduláskor 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. Megállapítottam, hogy kedvezőtlen vízellátásnál a szulfát-S felhalmozódása volt jellemző, mely intenzívebbé vált a növekvő kénarányú kezelések hatására.

A búzaszem és búzaszalma N-, S-tartalma és N/S-a is a kedvező vízellátású kezeléseknél volt kisebb. 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.

5.2.1.3. A növény által kivont nitrogén és kén mennyisége

A termés mennyiségéből és a növény elemtartalmából edényenként kivont N- és S-mennyiséget számoltam (27. táblázat).

27. táblázat: A különböző vízellátású és N, S arányú kezelések hatása a szemterméssel és szalmával kivont N és S mennyiségére (mg/edény)

| Vzellátás | N/S kezelés | Felvett N (mg/edény) | | Felvett S (mg/edény) | |
|-------------|--------------------|----------------------|-------------|----------------------|--------------|
| | | Szem | Szalma | Szem | Szalma |
| Kedvező | kontroll | 168,3±1,4a | 69,8±4,3a | 16,69±0,68abc | 59,32±3,83ab |
| | N/S =1:0,2 | 288,7±9,9b | 88,5±12,8a | 22,56±2,05cd | 63,19±5,02ab |
| | N/S =1:0,25 | 227,5±33,9ab | 100,2±19,2a | 18,50±6,01bc | 65,24±4,83ab |
| | N/S =1:0,5 | 286,7±27,5b | 83,4±5,9a | 28,135,52±d | 74,424,09±b |
| Kedvezőtlen | kontroll | 138,6±5,7a | 90,0±8,9a | 7,30±1,48a | 39,83±3,03a |
| | N/S =1:0,2 | 181,6±19,6ab | 199,9±9,8b | 9,36±2,38ab | 64,32±3,69ab |
| | N/S =1:0,25 | 169,7±25,1a | 201,6±5,3b | 8,71±2,61a | 68,27±6,68ab |
| | N/S =1:0,5 | 182,2±19,3ab | 169,9±4,1b | 9,11±2,26ab | 62,09±3,92ab |

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

A szemterméssel kivont N mennyisége (138,6-288,7 mg/edény) meghaladta a szalmával kivont N mennyiségét (69,8-201,6 mg/edény). Kedvező vízellátásnál a szem által kivont N értéke nagyobb volt, mint kedvezőtlen vízellátás mellett. Kedvező vízellátásnál a N/S=1:0,2 kezelés jelentősen növelte a szem által kivont N-t a kontrollhoz képest, míg kedvezőtlen vízellátásnál a növekedés csak tendenciaszerű volt. A növekvő S-dózisok nem módosították a szemtermés által kivont N mennyiségét.

A szalmával kivont N mennyiségét a vízellátás jelentősen módosította. Vízziány esetén nagyobb értékeket tapasztaltam, mint kedvező vízellátás mellett. Ez utóbbi esetében a kénarány növelése nem módosította a szalma által kivont N mennyiségét, azonban csökkentett vízellátásnál a legkisebb arányú N, S kezelés jelentősen növelte a szalma által kivont N mennyiségét a kontrollhoz képest, de a tovább növekvő S-dózis hatására nem módosult az érték.

A szemtermés által kivont S mennyisége 7,30-22,56 mg/edény között változott és értéke jelentősen nagyobb volt a kedvező vízellátottságú kezelésekben. Ennél a vízellátottságnál már a legkisebb műtrágyaadag is szignifikánsan növelte a S-felvételt a kontrollhoz képest. A legnagyobb S-felvételt a legnagyobb S dózisú N/S=1:0,5 kezelésben mértem.

A kivont S mennyisége a N-felvétellel ellentétben, a szalma esetében volt nagyobb mértékű, és értéke 39,83-74,2 mg/edény között alakult. Az eredményeink jól egyeztek DASH et al. (2015) és ASSEFA et al. (2021) által közölt megállapításokkal, ami szerint a búza által a talajból felvett S mennyiség nagyobb hányada található meg a szalmában, mint a szemtermésben. A szalma által kivont S-t az eltérő vízellátás és a műtrágyázási kezelések nem módosították.

Összegezve megállapítható, hogy a kivont N mennyisége a szemben, míg a kivont S mennyisége a szalma esetén volt nagyobb mértékű. Az eltérő vízellátás is módosította a növényi részek által kivont tápanyagok mennyiségét. A szem által kivont N és S mennyisége kedvező vízellátás mellett volt nagyobb, míg a szalmánál a kedvezőtlen vízellátású kezelésekben mértem nagyobb N-felvételt, a S-felvétel nem különbözött. A búzaszem által kivont N és S mennyiségét kedvező vízellátás mellett már a legkisebb arányú N, S kezelés növelte, de a tovább növekvő S dózisok csak a S-felvételt növelték tovább igazolható módon.

5.2.1.4. A talaj 1M KCl-, 0,01M CaCl₂- és 0,016M KH₂PO₄-oldható szulfát-S tartalmának változása

Az eltérő vízellátás, illetve a különböző N, S arányú műtrágyás kezelések hatását vizsgáltam a talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalmának változására. A talajvizsgálati eredmények a 28. táblázatban láthatók.

28. táblázat: A talaj KCl-, CaCl₂-, KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalmának alakulása a különböző vízellátású és N, S arányú kezelések hatására (mg/kg)

| Vízellátás | N/S kezelés | KCl-SO ₄ ²⁻ -S | CaCl ₂ -SO ₄ ²⁻ -S | KH ₂ PO ₄ -SO ₄ ²⁻ -S |
|-------------|-------------|--------------------------------------|---|---|
| Kedvező | kontroll | 3,47±1,38ab | 6,80±2,29a | 20,85±2,72ab |
| | N/S =1:0,2 | 4,43±1,30ab | 9,32±1,64ab | 24,92±3,73ab |
| | N/S =1:0,25 | 6,74±1,18ab | 11,40±1,71ab | 26,33±2,93ab |
| | N/S =1:0,5 | 12,96±3,00b | 24,73±5,04b | 35,06±4,65b |
| Kedvezőtlen | kontroll | 2,94±1,21a | 6,80±2,12a | 18,24±2,99a |
| | N/S =1:0,2 | 5,44±1,31ab | 11,13±a2,94b | 22,87±2,93ab |
| | N/S =1:0,25 | 7,37±3,11ab | 12,93±2,85ab | 24,88±3,63ab |
| | N/S =1:0,5 | 13,54±3,67b | 25,00±5,92b | 36,11±4,33b |

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

A KCl-oldható szulfát-S tartalom 2,94-13,54 mg/kg értékek között alakult. A CaCl₂ kivonatban (6,80-25,0 mg/kg) ennél megközelítőleg kétszer nagyobb értékeket kaptam. A legnagyobb mennyiségű szulfátot a KH₂PO₄ kivonószerben mértem (18,2-36,1 mg/kg).

A kétféle vízellátású modellben a talajban mérhető oldható szulfáttartalom nem különbözött. A kéntrágyázás hatására mindhárom kivonószerben megnövekedett a szulfát mennyisége, de a kontrollhoz képest igazolhatóan nagyobbá a búza tápanyagfelvételét követően csak a legnagyobb arányú N, S kezelés (N/S=1:0,5) esetében vált. Az alkalmazott kivonószeres által kivont szulfát mennyisége növekvő sorrendben az alábbi volt: KCl <CaCl₂ <KH₂PO₄.

5.2.1.5. Összefüggésvizsgálat a talaj KCl, a CaCl₂ és a KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalma és a növényi S-felvétel között

A különböző talajkivonószeres által kivont szulfát-S és a növényi S-felvétel közötti kapcsolat statisztikai eredménye a Pearson-féle korreláció alapján a 29. táblázatban, regresszióanalízis alapján a 30. táblázatban látható.

A tenyészedényes kísérletben kontrollált körülmények között a különböző erősségű és töménységű kivonószeresben mért szulfátértékek jól korreláltak egymással a Pearson-féle korreláció (r = 0,934-0,968) és a lineáris regresszió (R² = 0,872-0,937) alapján. A legszorosabb kapcsolatot (r = 0,968^{**}) a KCl és a CaCl₂ kivonószeres által kivont szulfát-

S tartalmak között figyeltem meg. Emellett a kapott regressziós egyenesek azt is mutatják, hogy a 0,016M KH_2PO_4 egy erélyesebb kivonószer, amely jelentősen több szulfát-S-t von ki a talajból, mint az 1M KCl és 0,01M CaCl_2 .

Az adott kísérleti feltételek között, a kapott r értékek (0,229-0,343) alapján egyik esetben sem találtam szoros összefüggést a mért növényi és talaj paraméterek között, így ekkor regressziót nem vizsgáltam. A legszorosabb, bár nem szignifikáns összefüggést a növényi kénfelvétel és a $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$ között kaptam ($r=0,343$). A talaj $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ tartalma és a növényi S-felvétel közötti szoros összefüggés hiánya a talajoldatban lévő szulfát-S mennyiségének változásával magyarázható.

29. táblázat: A $\text{KCl-SO}_4^{2-}\text{-S}$, $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$, $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$ és a növényi S-felvétel közötti összefüggés Pearson-féle korreláció alapján (n=48)

| | KCl- $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (mg/kg) | CaCl₂- $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (mg/kg) | $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-}$ $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (mg/kg) | Szem + szalma által kivont S (mg/edény) |
|--|--|---|---|--|
| KCl-$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (mg/kg) | 1 | - | - | - |
| CaCl₂-$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ (mg/kg) | 0,968** | 1 | - | - |
| $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$ (mg/kg) | 0,940** | 0,934** | 1 | - |
| Szem + szalma által kivont S (mg/edény) | 0,264 | 0,229 | 0,343 | 1 |

Megjegyzés: ** A korreláció $p < 0,01$ szinten szignifikáns.

30. táblázat: A $\text{KCl-SO}_4^{2-}\text{-S}$, $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$, $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$ közötti összefüggés eredménye regresszióanalízis alapján (n=48)

| Regressziós egyenlet | Determinációs együttható (R^2) |
|--|--|
| $y (\text{KCl-SO}_4^{2-}\text{-S}) = 0,5487 (\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}) - 0,3045$ | 0,937 |
| $y (\text{KCl-SO}_4^{2-}\text{-S}) = 0,6014 (\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}) - 8,6194$ | 0,884 |
| $y (\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}) = 1,0534 (\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}) - 14,042$ | 0,872 |

Összegezve elmondható, hogy a vizsgált kivonószerekben mért szulfát-S tartalmak között minden esetben szignifikáns kapcsolatot találtam. A legszorosabb összefüggés a KCl és a CaCl_2 extrahálószerrel oldott szulfát-S tartalom között volt. A tenyészedényes kísérletben a növényi S-felvétel és a $\text{KCl-SO}_4^{2-}\text{-S}$, a $\text{CaCl}_2\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$, valamint a $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-SO}_4^{2-}\text{-S}$ értékek között is igen gyenge kapcsolat mutatkozott.

5.2.1.6. A N- és S-tartalmú műtrágyák hasznosulása

A tenyészedényes kísérlet során meghatároztam a kijuttatott műtrágyák %-ban kifejezett hasznosulását az alkalmazott műtrágyadózis (mg/edény) és a növényi tápanyagfelvétel (mg/edény) függvényében (31. táblázat).

31. táblázat: A nitrogén- és kén tartalmú műtrágyák %-os hasznosulása tenyészedenyes körülmények között

| Kezelés | | Kijuttatott S mg/edény | Kijuttatott N mg/edény | Növény S felvétele mg/edény | Növény N felvétele mg/edény | S hasznosulás (%) | N hasznosulás (%) |
|-------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Kedvező | kontroll | 0 | 0 | 76,01 | 238,1 | - | - |
| | N/S =1:0,2 | 74,6 | 373,3 | 85,75 | 377,2 | 13,1a | 37,3a |
| | N/S =1:0,25 | 93,3 | 373,3 | 83,74 | 327,7 | 8,3a | 24,0a |
| | N/S =1:0,5 | 186,6 | 373,3 | 102,55 | 370,1 | 14,2a | 35,4a |
| Kedvezőtlen | kontroll | 0 | 0 | 47,13 | 228,6 | - | - |
| | N/S =1:0,2 | 74,6 | 373,3 | 73,68 | 381,5 | 35,6a | 41,0a |
| | N/S =1:0,25 | 93,3 | 373,3 | 76,98 | 371,3 | 32,0a | 38,2a |
| | N/S =1:0,5 | 186,6 | 373,3 | 71,2 | 352,1 | 12,9a | 33,1a |

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

Kedvező vízellátásnál a kisebb S dózisú kezelésekben (N/S=1:0,2; N/S=1:0,25) a N és S műtrágya hasznosulása is kisebb volt, mint kedvezőtlen vízellátás esetén. Ennek oka lehet, hogy a kedvező vízellátású kezelésekben a rendszeres és nagyobb adagú öntözés hatására a szulfát az edény mélyebb rétegeibe mosódhatott és így kevésbé tudott hasznosulni. Emellett a kísérlet felszámolása során az is megfigyelhető volt, hogy a gyökérzet nem hatolt le teljes mértékben az edény mélyebb rétegeibe, így az ott esetlegesen felhalmozódott tápanyagot sem tudta hasznosítani. Kedvező vízellátásnál a növekvő kénadagok hasznosulása nem különbözött jelentősen egymástól, ugyanakkor kedvezőtlen vízellátás esetén a nagyobb kénadag (N/S=1:0,5, 56 kg/ha) kevésbé hasznosult.

SINGH SHIVAY et al. (2014) a kísérletükben a maximális hasznosulási hatékonyságot a S kisebb dózisánál (15 kg/ha) észlelték, és megfigyelték, hogy a hasznosítási hatékonyság csökkent, ahogy a S-dózist 15 kg/ha-ról 45 kg S/ha-ra növelték. Ezt a megállapítást KOUR et al. (2014) vizsgálatai is megerősítik. Kísérletünkben a kénhasznosulás romlását a növekvő kéndózisú kezelések hatására, csökkentett vízellátás mellett figyeltem meg.

Összefoglalva megállapítható, hogy kedvezőtlen vízellátás esetén a műtrágya hasznosulása kissé nagyobb mértékű volt, mint kedvező vízellátás mellett és megfigyeltem, hogy kedvezőtlen vízellátás mellett a növekvő kénarányú kezelések hatására a S és N hasznosulása is egyre kisebb mértékű volt.

5.2.2. 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.

5.2.2.1. A biomasszatömeg változása a búza egyes fenofázisaiban

A tavaszi búza szárbaindulásakor a különböző kénformájú és a növekvő N, S arányú kezelések nem befolyásolták a csernozjom talajon termesztett búza száraz biomasszatömegét (32. táblázat).

Homok talajon a legkisebb biomasszatömeget a kontroll kezelésben mértem. Mindkét kénforma alkalmazása esetén, már a legkisebb kéndózisú N, S kezelés (N/S=1:0,2) hatására igazolhatóan nagyobbá vált a biomasszatömeg a kontrollhoz képest, azonban a S dózis növelésével a biomasszahozam nem változott. A szulfáttal kezelt növények biomasszatömege kissé nagyobb volt, mint a tioszulfáttal kezelt növényeké.

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

| Kénforma | N/S kezelés | Szárbaindulás g/2 db növény | Virágzás g /2 db növény | Teljes érés | |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|----------------|
| | | | | Szalma (g/edény) | Szem (g/edény) |
| Csernozjom | | | | | |
| - | kontroll | 0,24±0,00a | 2,57±0,55a | 5,87±0,38a | 6,31±0,77a |
| SO_4^{2-} | 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 |
| | N/S=1:1 | 0,26±0,02a | 2,47±0,64a | 9,81±1,60b | 10,53±1,25ab |
| $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ | 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 |
| | 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 | 2,53±0,11a |
| 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.

A búza virágzásakor csernozjom talajon a növekvő S arányú N, S kezelések és az alkalmazott kénformák továbbra sem módosították a búza száraz biomasszatömegét.

Homok talajon a N/S=1:0,2 kezelés hatására növekedett ugyan a száraz biomasszaprodukció a kontrollhoz képest, azonban a tovább növekvő kénadagok nem módosították tovább a biomasszatömeget egyik kénforma esetében sem.

Éréskor a búzaszalma tömege csernozjom talajon nagyobb értékek, 5,87-10,82 g/edény között, míg homokon 3,16-8,54 g/edény között változott. Mindkét talajon a legkisebb tömeget a kontroll kezelésben mértem, mely érték a legkisebb kénarányú műtrágyázás hatására szignifikánsan növekedett. A különböző kénformával beállított tovább növekvő S arányú N, S kezelések nem módosították tovább a szalma tömegét.

A szemtermés csernozjom talajon 6,31-12,13 g/edény között mozgott. A legkisebb termést a kontrollban, a legnagyobb terméshozamot a N/S=1:0,2 és az N/S=1:0,5 arányú szulfátos kezelésekben, 120 kg N/ha, valamint 24 és 60 kg S/ha dózisokkal arányos műtrágyák kijuttatása esetén kaptam. PODLESNA (2013) tanulmányában 60 kg S/ha dózissal ért el maximális termésnövekedést őszi búzával végzett kísérletében. FOTYMA (1990) tavaszi búza S-trágyázásáról szóló közleménye szintén azt mutatta, hogy 60 kg/ha dózisu S trágya kijuttatása növelte a szemtermést legnagyobb mértékben.

A kénformák hatását összehasonlítva elmondható, hogy a szulfátforma kijuttatásakor nagyobb terméshozamot figyeltem meg. SANGWAN et al. (2018) hasonló következtetésre jutottak, vizsgálatukban a K_2SO_4 termésnövelő hatását igazolták egyéb kénforrásokkal összehasonlítva. Általánosan elmondható, hogy a különböző N/S-ú kezelések statisztikailag nem módosították a szemtermést.

Csernozjom talajon a szulfát formában alkalmazott legnagyobb kéndózis (120 kg S/ha) kismértékű szemtermés-csökkentő hatása volt megfigyelhető.

Homokon a szemtermés kisebb volt, mint csernozjomon, értéke 2,53-6,62 g/edény között változott. A trágyázott kezelések jelentősen növelték a terméshozamot a kontrollhoz képest, azonban a különböző N, S arányú kezelések és a kénformák nem módosították tovább a szemtermést.

Összegezve megállapítható, hogy csernozjom talajon szárbainduláskor és virágzáskor 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 biomasszaprodukciót. A virágzáskori

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.

5.2.2.2. A tavaszi búza N-, S-tartalmának és N/S értékének változása

Csernozjom talajon a tavaszi búza N-tartalma szárbainduláskor 3,61-4,40% között változott (33. táblázat).

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

| Kén-forma | N/S kezelés | 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

REUSSI et al. (2011) a növekvő dózisú kéntrágyázás hatását tavaszi búzával beállított kísérletben vizsgálták és szintén hasonló értékeket (3,72-4,61%) kaptak. A legkisebb kénarányú N, S kezelés (N/S=1:0,2) kissé csökkentette a búza N-tartalmát a kontrollhoz képest, azonban a S-dózis növelésével értéke nagyobbá vált. A szulfátforma

alkalmazásakor a növény N-koncentrációja kissé nagyobb volt, mint a tioszulfátos kezelésekben.

A tavaszi búza S-tartalma csernozjomon szárbainduláskor 0,36-0,54% között mozgott. A legnagyobb S-tartalmat a kontroll kezelésben mértem, melyhez képest a legkisebb kénarányú N, S kezelés hatására csökkent a növény S-koncentrációja. Ez a N-kijuttatás biomasszanövelő hatásával és ennek következtében fellépő tápelemhígulással magyarázható. A S-adagok további növelésével a búza S-tartalma tendenciálisan növekedett. A szulfát tartalmú kezelések igazolhatóan nagyobb S-tartalmat eredményeztek a tioszulfátos kezelés értékeihez képest.

A tavaszi búza N/S értéke csernozjomon 7,79-10,52 között változott szárbainduláskor, mely érték az N/S=1:0,2 kezelés hatására nőtt a kontrollhoz képest, de a növekvő S dózisú műtrágyázás nem módosította tovább az értékeket. A tioszulfátos kezelésekben az N/S nagyobb volt, mint a szulfátos kezelésekben mért érték.

A szárbainduláskori tavaszi búza N-tartalma **homokon** kisebb volt, mint csernozjomon, értéke 2,14-4,22% között mozgott. A kontroll kezelésben mértem a legkisebb N-tartalmat, mely érték már a legkisebb kénarányú N, S kezelés (N/S=1:0,2) hatására igazolhatóan nagyobbá vált. A kénarány további növelésével szignifikánsan még nagyobb N-tartalmat kaptam, de ez a növekedés csak a szulfátforma kijuttatása mellett volt igazolható. Ez azt jelenti, hogy a búza kezdeti növekedési fázisában a szulfát formában alkalmazott javuló kénellátás homokon a N hasznosulását is fokozta.

A tavaszi búza kén tartalma 0,34-0,48% között változott. A növekvő kénarányal, mindkét kénforma adagolása esetén, a növényi kén tartalom is nőtt, de a növekedés a szulfát hatására volt kifejezettebb. Az N/S (4,45-11,61) változásai homokon ugyanazokat a tendenciákat mutatta, mint a csernozjomon, vagyis értéke a kontrollban volt a legkisebb, és a kéntrágyázás hatására jelentős mértékben növekedett. A növekvő S arányú N, S kezelések között nem volt jelentős különbség. A tioszulfát tartalmú kezelésekben szignifikánsan nagyobb N/S-t számoltam.

A virágzáskori búza N-tartalma csernozjomon 1,70-2,40% között volt. Az N/S=1:0,2 kezelés igazolhatóan növelte a növényi N-tartalmat a kontrollhoz viszonyítva, azonban a növekvő kénarány nem módosította az értékeket sem a szulfát, sem a tioszulfát kijuttatásakor.

A búza S-tartalma virágzáskor 0,20-0,46% között változott. A tioszulfátos kezelésekben kisebb növényi S-tartalmat mértem, mint a kontrollban. A tovább növekvő kéndózis hatására azonban növekedett a növényi S-tartalom, de csak a szulfátforma

alkalmazása esetén haladta meg a kontroll értékét. A szulfátos kezelések nagyobb S-tartalmat eredményeztek, mint a tioszulfátos kezelések.

A búza N/S értéke csernozjomon 4,55-11,61 között változott virágzáskor. A legkisebb értéket a kontrollban mértem, mely az N/S=1:0,2 kezelés hatására igazolhatóan nőtt, azonban a tovább növekvő S-dózisok inkább csökkentették az értékét. Az N/S a tioszulfátos kezelésekben nagyobb volt, mint a szulfátos kezelésekben számolt arány.

Homok talajon a búza N-tartalma kisebb volt, mint csernozjomon, értéke 1,21-1,89% között mozgott virágzáskor. Már a legkisebb kénarányú N, S kezelés (N/S=1:0,2) szignifikáns mértékben növelte a növény N-tartalmát, de a szulfát és a tioszulfát dózisának további növelésével a N-tartalom igazolhatóan nem változott.

A növényi S-tartalom homokon 0,18-0,40% között változott virágzáskor. A S-tartalom kontrollhoz viszonyított szignifikáns növekedése volt megfigyelhető a legkisebb kénarányú, szulfáttal beállított kezelés hatására, mely érték a szulfátos kéndózis növelésével még tovább nőtt. A tioszulfátos kezelésekben mért S-tartalom nem különbözött a kontroll kezeléstől.

Homok talajon a tavaszi búza N/S értéke 4,06-10,07 között alakult. Elsősorban a tioszulfáttal beállított kezelések növelték a növény N/S-át a kontrollhoz viszonyítva. Ennél a formánál a tovább növekvő kénarányú N, S kezelések nem módosították jelentősen az N/S-t, szulfát formánál azonban inkább csökkenést figyeltem meg az értékében, a növényi kéntartalom növekedése miatt.

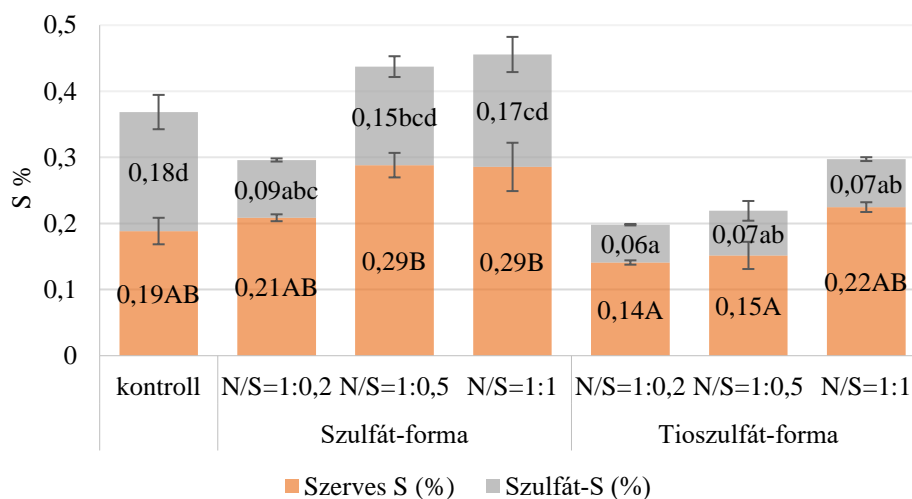
Virágzáskor a növény összes S-tartalma mellett vizsgáltam a kezelések hatását a felvett S beépülésére, vagyis a tavaszi búza szerves-S és a SO_4^{2-} -S formáinak alakulására csernozjom (23. ábra) és homok talajon (24. ábra).

Csernozjom talajon termesztett búzában az összes S-tartalom jelentős része, 51,2-75,6%-a szerves, míg 24,4-48,8%-a szulfát-S formájában volt jelen a virágzáskori növényben.

A kontroll kezelésben a két forma közel azonos mennyiségben volt jelen a növényben, mely arány a növekvő kénadagok hatására eltolódott és elsősorban a felvett S szerves formába történő beépülését figyeltem meg.

A S szulfát formában történő kijuttatásakor a növény összes S-tartalma nagyobb volt, mint a tioszulfátos tápláláskor és a növekvő S dózisok hatására a szulfát-S mennyisége tendenciaszerűen, a szerves-S tartalom pedig kisebb mértékben növekedett és a legnagyobb S dózis hatására már nem módosult tovább. Ez arra utal, hogy a

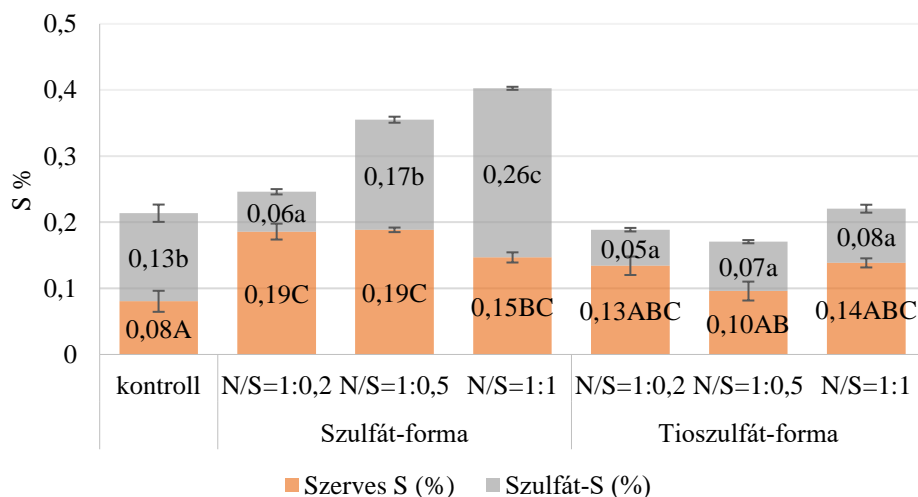
legnagyobb kénadagnál inkább szulfátként halmozódott tovább a felvett S. Tioszulfát alkalmazásakor a növény kevesebb S-t vett fel a szulfáttal táplálthoz képest és a felvett S főként a szerves vegyületekbe épült be, a szulfát felhalmozódás kevésbé volt megfigyelhető.



23. 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.

Homokon az összes S-tartalom 36,5-75,5%-a szerves-S, míg 24,5-63,5%-a szulfát-S formájában volt jelen a búzában virágzáskor (24. ábra).



24. ábra: A tavaszi búza szerves-S és SO_4^{2-} -S formáinak változása virágzáskor homok 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 szulfát kijuttatásakor a legkisebb kénadag hatására a felvett S nagy része szerves vegyületekbe épült be és csak kis része maradt szulfát formában a szövetekben. A kénarány további növelésével azonban a szerves S mennyisége nem növekedett tovább, inkább a szöveti szulfátfelhalmozódás volt jellemző. Tioszulfát kijuttatásakor a legkisebb kénadag hatására a szerves S mennyisége nőtt, a szulfát-S csökkent a kontrollhoz képest, de a növekvő kénadagokkal sem a szerves-S, sem a szulfát-S mennyisége és aránya nem változott tovább.

A csernozjom talajon a búzaszem N-tartalma 1,73-2,02% között változott (32. táblázat). REUSSI et al. (2011) és KLIKOČKA et al. (2017) a kénhiány vizsgálatára irányuló műtrágyázási kísérletükben, szintén tavaszi búza esetében kissé nagyobb értékeket (2,33-2,88%) mértek, mint az általam kapott eredmények.

A kontroll kezeléshez képest a szulfáttal beállított N/S=1:0,2 kezelés hatására kissé csökkent, míg a tioszulfáttal kezelt azonos adagú kezelés hatására inkább kissé nőtt a N-tartalom. A tovább növekvő kénarányú szulfátos kezelések igazolhatóan növelték a szem N-tartalmát, míg tioszulfátos kezelések hatására nem volt további különbség. MARTIN (1997) és REUSSI et al. (2011) vizsgálataiban is bizonyították, hogy a növekvő mennyiségben alkalmazott kéntrágyázás növelte a búzaszemek N-tartalmát.

A búzaszem S-tartalma csernozjomon 0,15-0,18% között mozgott, mely érték a növekvő kéndózisok hatására nem növekedett. Ugyanakkor különböző kultúrákon, őszi búzán, kukoricán, árpán végzett kísérletben a szemek S-koncentrációjának növekedését figyelték meg a S-trágyázás hatására (MOSS et al., 1983, PRYSTUPA et al., 2006).

A búzaszem N/S értéke (10,75-12,20) a S-tartalomhoz hasonlóan szintén nem változott a kezelések hatására.

Homok talajon a búzaszem N-tartalma a (2,13-2,71%) nagyobb volt, mint csernozjomon. A búzaszem N-tartalma a N-trágyázás hatására kissé növekedett és a növekvő szulfátadagok hatására igazolhatóan még tovább nőtt. A tioszulfáttal kezelt edényekben a N-trágya hatására a szem N-tartalma nem változott, de a legnagyobb kéndózisú N, S kezelésben igazolható növekedést mértem.

A búzaszem S-tartalma (0,19-0,24%) is nagyobb volt homokon és igazolható kezeléshatások is megfigyelhetők, mely hatások hasonlóan alakultak a N-tartalom változásához. A búzaszem S-tartalma kissé növekedett az N/S=1:0,2 kezelés hatására és a nagyobb szulfátdózisok további kismértékű növekedést okoztak. A tioszulfátos kezelésekben csak a legnagyobb dózis mellett mértem igazolhatóan nagyobb S-tartalmat. Homokon a búzaszem N/S értéke (10,2-11,53) a kezelések hatására nem módosult.

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 a 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 baktériumok által végzett oxidáció révén szulfáttá kell alakulnia (NOR és TABATABAI, 1977; WAINWRIGHT, 1984).

A nagyobb dózisú kénellátás a szárbainduláskori N/S-t nem módosította, míg virágzáskor inkább csökkentette. Mindkét szakaszban a tioszulfát kezelésekben számoltam nagyobb N/S-t. A szem N/S-át a kezelések nem módosították.

Virágzáskor megfigyeltem, hogy 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.

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.

Az N/S a legkisebb S-dózis hatására szárbainduláskor és virágzáskor is nagyobbá vált, mint a kontroll. A javuló kénellátás a szárbainduláskori N/S-t nem módosította, míg virágzáskor csökkentette. A szem N/S értékét a kezelések nem módosították.

5.2.2.3. A talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmának alakulása

A szulfátként és tioszulfátként alkalmazott kénforrások, illetve a növekvő dózisban kijuttatott S trágyák hatását a talaj KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható SO₄²⁻-S tartalmának alakulására is elemeztem, melynek eredménye a 34. táblázatban látható.

34. táblázat: A talaj KCl-, CaCl₂-, KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmának alakulása (mg/kg)

| Kezelés | | KCl- SO ₄ ²⁻ -S | CaCl ₂ - SO ₄ ²⁻ -S | KH ₂ PO ₄ - SO ₄ ²⁻ -S |
|---|-------------|--|---|---|
| Kénforma | N/S kezelés | | | |
| Csernozjom | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | kontroll | 8,25±2,98a | 12,02±1,57a | 32,60±3,20a |
| | N/S=1:0.2 | 34,46±3,09b | 40,07±9,30b | 35,08±7,58a |
| | N/S=1:0.5 | 36,45±3,00b | 44,07±5,14b | 47,19±11,6a |
| | N/S=1:1 | 61,49±2,44bc | 69,53±3,33bc | 92,14±10,3bc |
| S ₂ O ₃ ²⁻ | N/S=1:0.2 | 20,42±0,99ab | 26,04±2,93ab | 32,63±7,24a |
| | N/S=1:0.5 | 39,19±1,75b | 48,08±9,64b | 47,67±3,14a |
| | N/S=1:1 | 72,84±1,58c | 78,81±9,96c | 109,16±9,95c |
| Homok | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | kontroll | 10,76±0,55a | 11,56±0,78a | 6,47±0,31a |
| | N/S=1:0.2 | 13,85±1,04a | 14,71±1,47ab | 6,91±0,18a |
| | N/S=1:0.5 | 19,76±4,04ab | 22,91±4,74abc | 33,27±7,83ab |
| | N/S=1:1 | 26,00±3,64b | 32,03±6,90cd | 38,79±1,19ab |
| S ₂ O ₃ ²⁻ | N/S=1:0.2 | 16,28±1,48b | 14,03±0,69ab | 11,18±6,87a |
| | N/S=1:0.5 | 20,19±4,34ab | 27,24±5,48bc | 35,02±5,29ab |
| | N/S=1:1 | 38,14±6,57c | 44,10±8,39d | 53,46±7,06b |

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

Csernozjom talajon a KCl-SO₄²⁻-S tartalom 8,25-72,84 mg/kg értékek között változott az eltérő kezelésekben. Hasonló nagyságrendű szulfát-ként vont ki a CaCl₂ kivonószer is a talajból (12,02-78,81 mg/kg). A legnagyobb mennyiségű szulfát-ként a KH₂PO₄ kivonószerben mértem (32,60-109,16 mg/kg), mely feltételezhetően a talajkolloidok felületén adszorbeált szulfátformát is oldatba viszi (SANTOSO et al., 1995).

A KCl és CaCl₂ oldható szulfát már az N/S=1:0,2 kezelés hatására meghaladta a kontroll értékét és a növekvő kénadagokkal még tovább növekedett mindkét kénforma alkalmazása esetén. A szulfát és tioszulfát azonos adagjainak hatására a talajban mérhető szulfát mennyiségek között a tenyészidőszak végén nem volt különbség. A KH₂PO₄ oldható szulfát-S azonban nem különbözött a kontroll és az N/S=1:0,2 és N/S=1:0,5 kezelésekben, csupán a legnagyobb S dózisú kezelés (N/S=1:1) okozott szignifikáns növekedést a szulfát-S tartalomban.

Homok talajon kisebb értékeket mértem, mint csernozjom talajon, de a különböző kivonószerekben mért szulfát-S tartalom nagyságrendjének alakulása hasonló sorrendet követ, mint csernozjomon. A kontroll edényekben homokon és csernozjomon a KCl és

CaCl₂ kivonószerekben hasonló mennyiségű szulfátot mértem, azonban a KH₂PO₄ kivonószerben a csernozjomon jóval nagyobbak voltak az értékek. Ennek oka lehet a homok talajok általában kisebb kolloidtartalma és így kevesebb az adszorbeált S mennyisége is a kolloidok felületén.

A S-formák elemzése során minden kivonószer esetében kissé nagyobb szulfát-S értéket mértem a tioszulfátos kezelések nagyobb S-adagjainál. Ezekben az edényekben a növény kevesebb S-t vehetett fel, így több maradhatott a talajban. A növekvő S-adagok a növény S-felvételén túl is növelték a talaj oldható szulfát-S tartalmát, azonban igazolható növekedés csak a legnagyobb S dózisu kezelésben mutatkozott.

Összefoglalva megállapítható, hogy a tenyészidőszak végén, csernozjomon minden kivonószer esetében nagyobb oldható szulfáttartalmat mértem, mint homokon. A szulfát-S tartalom nagysága mindkét talaj esetében a KCl < CaCl₂ < KH₂PO₄ kivonószer sorrendet követte. Az N/S=1:0,2 kezelés a legtöbb esetben jelentősen növelte a talaj oldható szulfát-S tartalmát, és a tovább növekvő S dózisok további jelentős növekedést eredményeztek még a növényi S-felvételt követően is. A kisebb S dózisu kezeléseknél (N/S=1:0,2; N/S=1:0,5) a szulfát és tioszulfát formában alkalmazott S hatására az oldható szulfát-S tartalom nem különbözött, azonban a legnagyobb kéndózisu N/S=1:1 kezelésben a tioszulfát formájú S hatására mértem nagyobb oldható szulfát-S tartalmat.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Látóképi műtrágyázási kisparcellás tartamkísérlet

Az 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó egyszerűsített N-mérleg a kontroll parcellákon és az $N_{100}P_{70}K_{80}$, $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésekben a rendszeres N-trágyázás ellenére is negatív volt, mely azt jelenti, hogy ebben az időszakban összesen kevesebb N műtrágyahatóanyag lett kijuttatva, mint amennyit a búza és kukorica felvett a talajból. Az 1983-2016 közötti időszakra vonatkozó egyszerűsített S-mérleg a kontrollban negatív, az $N_{100}P_{70}K_{80}$ és $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésekben pozitív volt. Ebből arra következtethetünk, hogy az 1983-2009 időszakban a szuperfoszfáttal rendszeresen kijuttatott gipszadagok (42,4 kg S/ha, 84,8 kg S/ha) összes kén tartalma nagyobb volt, mint az 1983-2016 között termesztett kukorica és búza által összesen felvett kén mennyisége.

2017-2019 időszakban az éves N-mérleg minden kezelésben negatív volt, vagyis még a legnagyobb, 200 kg N/ha dózis sem fedezte az őszi búza által felvett N mennyiségét. A S-mérleg 2017 és 2018 években a S-utánpótlás hiánya miatt minden kezelésben negatív volt, 2019-ben a szuperfoszfáttal történő gipsz-kijuttatás évében a műtrágyázott parcellákon pozitívvá vált, vagyis már a kisebb 42,4 kg S/ha adagú gipsz is több S-t tartalmazott, mint amit az őszi búza az adott évben kivont a talajból.

A különböző talajextraháló szerekben mért szulfát-S értékek nagysága a búza szárbaindulásakor, virágzásakor és teljes érésakor is a $0,01M CaCl_2 < 1M KCl < 0,016M KH_2PO_4$ sorrendet követte.

Az általam vizsgált kénutánpótlás nélküli időszakban (2017-2018) a korábbi évtizedek kumulált S-mérlegének az utóhatása nem volt egyöntetű a búza egyes fejlődési szakaszaiban elemzett talajminták esetében. Az $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésű parcellákon az őszi búza fejlődése során a KCl, a $CaCl_2$ és KH_2PO_4 talajkivonatokban mért szulfát-S tartalom több esetben is meghaladta a kontroll értékét, aminek az oka a 23 éven keresztül alkalmazott szuperfoszfát gipsztartalmának hatására kialakult jelentős pozitív S-mérleg volt (+1688 kg S/ha). Ugyanakkor 2017-ben és 2018-ban a talaj $1M KCl$ és a $0,01M CaCl_2$ oldható szulfát-S tartalma még ebben a legnagyobb, $N_{200}P_{140}K_{160}$ kezelésben is kisebb volt, mint a kritikus $10 \text{ mg/kg } SO_4^{2-}$ -S érték.

A $0,016M KH_2PO_4$ kivonószert nagyobb mennyiségű szulfát-S-t vont ki a talajból, így ebben a talajkivonatban a mért SO_4^{2-} -S értékek (4,33-17,18 mg/kg) elérték vagy meghaladták a kritikus értéktartományt.

2019-ben a gipszkijuttatás hatására minden mintavételi időpontban és mindhárom talajkivonatban igazolhatóan nagyobb szulfát-S tartalmat mértem a kontrollhoz képest.

2019-ben szuperfoszfát gipsztartalma (42,4 kg S/ha, és 84,8kgS/ha) megnövelte a talaj KCl és CaCl₂ oldható szulfát-S tartalmát, azonban a legtöbb esetben a megnövekedett értékek sem érték el a kritikus határértéket (10 mg/kg SO₄²⁻-S). A KCl-os és CaCl₂-os talajkivonatok értékeihez képest nagyobb értékeket mérő (az adszorbeált szulfát mennyiségét is meghatározó) KH₂PO₄ extrahálószerben mért szulfát-S érték nem változott jelentősen még a 84,8 kg S/ha adagú gipszkijuttatás hatására sem.

A kísérleti területen a vizsgált évek közül 2017-ben volt öntözés az öntözött parcellákon, melynek hatása mindhárom kivonószerben (KCl, CaCl₂, KH₂PO₄) megmutatkozott a talajkivonatokban mérhető megnövekedett szulfát-tartalomban.

A talaj oldható szulfát-S tartalmának változását a búza teljes tenyészidőszaka alatt nyomon követtem és megállapítottam, hogy a tavaszi mintavételek (szárbaindulás, virágzás) során kisebb oldható szulfát-S tartalom mérhető a talajban, mint nyáron (teljes érés), melynek oka a tavasszal fellépő fokozottabb növényi S-felvétel és a kén alacsonyabb mineralizációs rátája lehet.

A talaj KCl oldható és KH₂PO₄ oldható szulfáttartalmának vertikális eloszlásának (0-100 cm) vizsgálata során a KCl-SO₄²⁻-S értékénél 50-70 cm között, a KH₂PO₄-SO₄²⁻-S esetében 40-60 cm mélységben felhalmozódási zónát határoztam meg. A KCl-SO₄²⁻-S értéke a talajmélységgel intenzívebben növekedett, mint a KH₂PO₄-SO₄²⁻-S értéke. Mindkét kivonószerben mérve a nagyobb adagú, N₂₀₀P₁₄₀K₁₆₀ műtrágyakezelésben volt a legnagyobb a kimosódás mértéke, amiből arra következtethetünk, hogy a 84,8 kg S/ha dózisban kijuttatott S-t az őszi búza kevésbé hasznosította.

A KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ oldható szulfát-S tartalmak között a kénpótlás nélküli években mindhárom kivonószerben mért szulfát értékek között minden vizsgált összefüggésben jelentős kapcsolatot igazoltunk ($r > 0,5^{**}$).

A KCl és a CaCl₂ kivonószer által kivont szulfát-S közötti összefüggés nem változott a kénpótlás nélküli és az újbóli kénkijuttatás időszakában.

A KCl és KH₂PO₄, valamint a CaCl₂ és KH₂PO₄ között igazolt regressziós egyenes meredeksége a gipsz kijuttatás évében mérve megváltozott a korábbi, kénkijuttatás nélküli időszakot jellemző regressziós egyenes értékéhez képest. A KH₂PO₄ kivonószer a vízoldható szulfát mellett a kolloidok felületén adszorbeált formát is méri, így a nagyobb értéktartományt a kijuttatott gipsz szulfát-tartalma csak kis mértékben befolyásolta.

2018-ban és 2019-ben a talaj szerves S-tartalmának mobilizálásában meghatározó szerepet játszó aril-szulfatáz aktivitásának alakulását is vizsgáltam. 2019-ben kisebb

enzimaktivitást mértem (7,16-46,74 µg p-nitrofenol/g/h), mint 2018-ban (19,44-68,16 µg p-nitrofenol/g/h), melynek oka az évjáratok eltérő csapadékviszonyainak következtében kialakuló eltérő mikrobiális aktivitás lehetett. Megfigyeltem, hogy egy éven belül az enzim aktivitása a búza fejlődésének előrehaladtával csökkent. Igazoltam, hogy az enzimaktivitás a növekvő NPK dózisok hatására csökkent, melynek oka a műtrágyázott parcellák nagyobb nitrát- és szulfátkoncentrációja lehet.

A vizsgálati eredmények alapján megállapítottam, hogy a növekvő adagú NPK műtrágyázás 2017-ben, 2018-ban és 2019-ben szignifikáns növelte az őszi búzaszem N-tartalmát, azonban megfelelő N-ellátottságot csak a legnagyobb, NPK2 kezelésben állapítottam meg. Az őszi búza N-tartalmát az öntözés nem módosította.

2017-ben és 2018-ban az előző évek pozitív S-mérlegű műtrágyázott parcelláin (NPK1, NPK2) a növényi S-tartalom szárbainduláskor, virágzáskor és teljes éréskor sem különbözött kontroll értékétől, emellett a búzaszemben sem mértünk a kontrollhoz képest megnövekedett kéntartalmat.

2019-ben a gipszkijuttatás évében már a növény kezdeti fejlődésekor kimutatható volt a kisebb (NPKS1:42,4 kg S/ha) és nagyobb (NPKS2:84,8 kg S/ha) adag hatása. Szárbainduláskor az NPKS1 és az NPKS2 kezeléseknél a növények S-tartalma jelentősen meghaladta a kontroll kezelés értékét. A búzaszalma és a búzaszem esetében szintén igazolni tudtam a gipszkijuttatás kedvező hatását. A szemben a kontrollhoz képest már az NPKS1 kezelés szignifikánsan nagyobb S-tartalmat eredményezett, amit az NPKS2 kezelés tovább fokozott. A szalmában csak az NPKS2 kezelésben mértem igazolhatóan nagyobb S-tartalmat. Az öntözés jellemzően nem befolyásolta az őszi búza kéntartalmát.

A növény N/S értéke a S-pótlás nélküli években (2017, 2018) a növény szárbaindulásakor 10-22:1, virágzáskor 9-14:1, a búzaszemben 14-23:1 értékek között változott és a kontroll kezeléshez viszonyítva a műtrágyázás hatására igazolhatóan nagyobbá vált. A gipszkijuttatás évében, 2019-ben a növény N-tartalmának növekedésével a S-tartalom is növekedett, melynek hatására jelentősen szűkebb N/S értéket igazoltam minden vizsgált fejlődési szakaszban (szárbaindulás: N/S=9-11:1; virágzás: N/S=5-10:1; szem: N/S=9-12:1).

A búza kénellátottságának megítéléséhez a S-tartalom mellett az N/S figyelembevétele is szükséges. Irodalmi adatok alapján a búzaszem kritikus S-koncentrációja 0,12-0,15%, kritikus N/S-a pedig nagyobb, mint 13,3-17:1. E határértékek alapján megállapítottam, hogy 2017 és 2018 években a kísérleti területen termesztett búza minden vizsgált kezelésben S-hiányos volt, mely hiány a növekvő N-dózisok hatására

egyre fokozódott. 2019-ben a gipszkijuttatás évében a műtrágyázott parcellákon termesztett búza S-tartalma növekedett, N/S-a csökkent és ennek következtében a búza már a 42,4 kg/ha S-adag hatására is megfelelő kénellátottságot mutatott.

Az összes S-tartalom változása mellett azt is elemeztem, hogy a búza által felvett szulfát milyen mértékben épül be a szerves vegyületekbe az egyes kezelésekben.

A kénpótlás nélküli években (2017-2018) a növekvő NPK műtrágyaadagokkal a növény összes S-tartalma nem változott sem szárbainduláskor, sem virágzáskor a kontrollhoz képest. Az NPK műtrágyázott parcellákon inkább a szulfát aránya növekedett a növényi szövetekben a szerves S mennyiségéhez viszonyítva.

2019-ben a gipszkijuttatás hatására a búza összes S-tartalmának növekedése mellett a szulfát-S és szerves-S frakciók aránya is megváltozott és a felvett S szerves vegyületekbe való nagyobb arányú beépülése volt megfigyelhető.

Az őszi búzaszem cisztein- és metionin-tartalmának változását is vizsgáltam az NPK műtrágyázás hatására. Mindhárom vizsgálati évben igazoltam, hogy a búzaszem cisztein- és metionin mennyiségét a növekvő NPK műtrágyaadagok növelik. 2019-ben az aminosav-tartalom növekedéséhez a nagyobb dózisu N műtrágyázáson túl, a kijuttatott gipsz S-tartalma is hozzájárulhatott.

A kutatómunka során a növényi S-tartalom és a talaj oldható szulfát-S tartalma közötti kapcsolatot is elemeztem. A kénutánpótlás nélküli években (2017-2018) a növényi S-tartalom és a talaj 1M KCl; 0,01M CaCl₂ és 0,016M KH₂PO₄ kivonataiban mért szulfát-S tartalom között nem volt szoros összefüggés (ekkor az r értékek jellemzően 0,5 alatt voltak). 2019-ben, a gipszkijuttatás hatására, amikor a talajban az oldható szulfát mennyisége, és a növény kén-tartalma is növekedett, a 0,016M KH₂PO₄-SO₄²⁻-S és a növényi kén-tartalom között igazoltam a legszorosabb összefüggést (r=0,718-0,786).

A kutatómunka során azt is vizsgáltam, hogy a szuperfoszfát műtrágya gipsztartalmának S-tartalma (42,4 kgS/ha) hogyan hasznosul a kijuttatás évében. Eredményeim alapján megállapítottam, hogy az őszi búza a szuperfoszfátban lévő CaSO₄ kén-tartalmának hozzávetőleg 1/3-át hasznosította.

Tenyészedényes kísérletek

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

A terméseredmények alapján igazoltam a szárazságstressz biomasszacsökkentő hatását, mely először a búza virágzásakor jelentkezett. Ezt a hatást a szalma- és

szemtermés csökkenésével is alátámasztottam, ugyanis 41,5-70,4%-kal kevesebb szem és 10,2-22,6%-kal kevesebb szalma termett a vízhiányos kezelésekben. Ennek megfelelően a kedvezőtlen vízellátásnál a betakarítási index is jelentősen mértékben csökkent (0,288-0,374 → 0,151-0,222). A műtrágyahatást csak kedvező vízellátás mellett igazoltam, ahol a N, S műtrágyák már a szárbainduláskor segítették a búza növekedését. E kedvező hatás a szemtermés mennyiségének növekedésében is megnyilvánult. A legnagyobb hozam a kedvező vízellátású, N/S=1:0,5 arányú kezelés (112 kg N, 56 kg S/ha) mellett volt elérhető.

Szárbainduláskor a növények tápelemtartalmát (N, S) az eltérő vízellátás nem módosította, ugyanakkor a szöveti N/S szárazságstressz hatására a kritikus 17:1 értéket is meghaladta. A N/S=1:0,2 kezelés csak a N-tartalmat növelte, a S-tartalom nem módosult a kontrollhoz képest. Ennek következtében a műtrágyázott kezelésekben a szöveti N/S is növekedett. A S-dózis további emelése már nem módosította mért paramétereket.

Virágzáskor a növényi N- és S-tartalom, valamint a szöveti N/S kedvező vízellátás mellett igazolhatóan kisebb volt, mint kedvezőtlen vízellátásnál. A kontrollhoz képest az N/S=1:0,2 kezelés hatására a N- és S-tartalom a kedvezőtlen vízellátású rendszerben, az N/S mindkét vízellátás esetén nagyobbá vált, azonban a S-dózis növelésével értékük nem módosult. Virágzáskor megállapítottam, hogy szárazságstressz mellett, a növekvő S-dózisú kezelések hatására a felvett S nagyobb része nem épült be a szerves vegyületekbe, hanem szulfát formájában halmozódott fel.

A szárazságstressz a termés elemtartalmára is szignifikáns hatással volt. Ekkor a búzaszem N-, S-tartalma is jelentősen nagyobb volt, mint kedvező vízellátás mellett, melynek hatására a szem N/S aránya is eltolódott és a kritikus N/S=17:1 értéket is meghaladta, mely fölött elégtelen a kénellátás. A műtrágyahatást kedvezőtlen vízellátás mellett igazoltam, csak az N/S=1:0,2 kezelés növelte a szem N-tartalmát, a növekvő S-dózisú kezelések nem. A búzaszem S-tartalma esetében a műtrágyahatás eltérő volt a kétféle vízellátási rendszerben. Kedvező vízellátásnál a kontrollhoz képest csökkent, míg szárazságstressz hatására növekedett a S-tartalom a legkisebb S-adagú műtrágya hatására. A növekvő S-dózisok kedvezőtlen vízellátás mellett csökkentették a szem S-tartalmát.

Megállapítottam, hogy a kivont N mennyisége a szemben, míg a kivont S mennyisége a szalma esetén volt nagyobb. A vízellátás is módosította a növényi részek tápanyagfelvételét, kedvező vízellátásnál a szem N- és S-felvétele, míg szárazságstressz hatására a szalma N-felvétele volt nagyobb. A búzaszem által kivont N és S mennyiségét

kedvező vízellátás mellett már az N/S=1:0,2 kezelés növelte, de a növekvő S dózisok csak a kivont S mennyiségét növelték.

A kétféle vízellátás a talaj SO_4^{2-} -S tartalmát nem módosította. A növényi S-felvételt követően a KCl, CaCl₂ és KH₂PO₄ kivonószemben mért szulfát-S mennyisége csak a legnagyobb S-dózisú N/S=1:0,5 kezelésben volt nagyobb, mint a kontroll. A szulfát-S tartalom nagysága a vizsgált kivonószerekben a KCl<CaCl₂<KH₂PO₄ sorrendet követte.

Vizsgáltam a kijuttatott műtrágyák hatóanyagtartalmának %-os hasznosulását. Kedvező vízellátásnál a növekvő S-adagokkal párhuzamosan a N és S műtrágya hasznosulása nem változott, míg a csökkentett vízellátású kezeléseknél, ha a S-adagot 22,4 kg S/ha-ról 58,0 kg S/ha-ra növeltük a S hatóanyag hasznosulása 35,6%-ról 12,9%-ra, a N hatóanyag hasznosulása 41,0%-ról 33,1%-ra csökkent.

Különböző kénformák és különböző N, S arányok hatását elemző tenyészedényes kísérlet homok és csernozjom talajon

Csernozjom talajon a növekvő S-arányú kezelések hatását a biomasszaprodukciónak változására csak a búza teljes érésekor igazoltam, ahol már a legkisebb S-dózisú (120 kg N, 24 kg S/ha) kezelés javította a termés mennyiségét, de a növekvő S-dózisok hatása között nem volt szignifikáns különbség. Homok talajon viszont már a búza kezdeti fejlődésekor és virágzásakor is igazolható kezeléshatást mutattam ki a biomasszatömeg változásában, már az N/S=1:0,2 kezelés biomasszatömegnövelő hatása igazolható volt, de a növekvő S-dózisú kezelések itt sem növelték tovább a száraz tömeget. A termés szempontjából a kétféle kénforma hatása között szignifikáns különbséget nem tudtam igazolni egyik talajon sem.

A jobb tápanyagszolgáltató képességgel rendelkező csernozjom talajon a javuló S-ellátás, S-formától függetlenül csak a szárbainduláskori és virágzáskori növény S-tartalmát növelte. A növekvő S-dózisok virágzáskor a S szerves vegyületekbe való beépülését is fokozták, de a legnagyobb S dózis hatására már a szulfát forma felhalmozódását tapasztaltam. A szemtermésnél csak a N-tartalom növekedését figyeltem meg a növekvő S-dózisú kezelések hatására, de csak szulfát forma alkalmazása esetén. A kénformák hatása között csak a szárbainduláskori és virágzáskori S-tartalomban tudtam különbséget kimutatni, ahol a szulfátos kezelések voltak eredményesebbek. A termés tápanyagtartalmában már nem mutatkozott különbség az eltérő kénformájú kezeléseknél.

A gyengébb tápanyagszolgáltató képességű homok talajon a kezeléshatások kifejezettebbek voltak. A javuló S-ellátás a szárbainduláskori, a virágzáskori növény és a

szem S-tartalmát növelte, mely hatás a szulfát forma esetén volt jelentősebb. Virágzáskor a legkisebb S dózis fokozta a felvett S szerves vegyületekbe való beépülését a kontrollhoz képest mindkét kénforma esetén, azonban a szulfát formájú növekvő S adagok a növényi szövetek intenzívebb szulfátfelhalmozását eredményezték, míg tioszulfát esetén nem változott a szerves-S és szulfát-S aránya. A S-dózis növelésével a szárbainduláskori növény és a búzaszem N-tartalma is nőtt, de csak a szulfát forma alkalmazásakor.

A szulfát-S tartalom nagysága homokon és csernozjomon is a $KCl < CaCl_2 < KH_2PO_4$ kivonószer sorrendet követte. Az N/S=1:0,2 kezelés (120 kg N, 24 kg S/ha) többségében javította a talaj szulfát-S tartalmát a kontrollhoz képest és a növekvő S adagok további növekedést eredményeztek a növényi S-felvétel ellenére is. A S-formákat nézve csak az N/S=1:1 kezelésben (120 kg N, 120 kg S/ha) volt különbség, ahol a tioszulfát kezelésben mértem nagyobb szulfát-S tartalmat, ahol a növényi S-felvétel kisebb volt, így több szulfát maradt a talajban.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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.

8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

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.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a növények kénellátottságának vizsgálata nagyobb figyelmet érdemelne, hiszen a környezetvédelmi szabályozások és a műtrágyafelhasználási trendek változása miatt talajaink hasznosítható S-tartalma egyre inkább csökken, aminek hatására, különösen az intenzív növénytermesztési rendszerekben kénhiánnyal számolhatunk. Emellett aggodalomra adhat okot az is, hogy a hagyományos tápanyagutánpótlás gyakran egyoldalú és nem kiegyensúlyozott, valamint a fellépő kénhiány korlátozhatja más tápanyagok, különösen a N növények általi hasznosítását is.

A kénellátás hatásait a kénforgalom egyes elemeinek változására talaj-növény rendszerben egy műtrágyázási tartamkísérletben őszi búzán és tenyészedényes kísérletekben tavaszi búzán tanulmányoztam.

A kutatásom során célom volt, hogy a Debreceni Egyetem látóképi kísérleti telepén, 1983 óta fenntartott NPK műtrágyázási kisparcellás tartamkísérletben az őszi búza termesztése során elemezzem az NPK műtrágyázás és az öntözés hatásait a kénforgalom bizonyos elemeinek változására, figyelembe véve, hogy a tartamkísérletben 1983-2009 között a foszfor pótlása szuperfoszfáttal történt, így az emelkedő foszforadagok a gipsztartalom miatt egyúttal növekvő dózisu kénpótlást is jelentettek. 2010-2018 közötti időszakban a foszfor monoammónium-dihidrogénfoszfáttal lett kijuttatva, így a terület kénutánpótlása ekkor szünetelt. Ennek ismeretében 2017 és 2018 években az emelkedő NPK műtrágyázás és az öntözés hatásait vizsgáltam a S-pótlás nélkül termesztett őszi búza N- és S-tartalmára, az N/S változására és a talaj növény által felvehető S-tartalmának alakulására. 2019-ben a foszfor ismét szuperfoszfátként került kijuttatásra, így lehetőségem volt azt is elemezni, hogy a melléktermékként jelenlévő CaSO_4 , mint kénforrás milyen mértékben hasznosul a kijuttatás évében és hogyan módosulnak ennek hatására a vizsgált növény- és talajparaméterek.

A látóképi tartamkísérletben a 2010-2016 közötti kénpótlás nélküli időszakot követően, 2017 és 2018 években a kontroll és a NPK kezelésű parcellákon is kénhiányt igazoltam a búzaszem S-tartalma és N:S aránya alapján. Méréseimmel bizonyítottam, hogy a növény által felvett S jelentős része szulfát formájában halmozódott fel a növényi szövetekben. 2019-ben, a 411,8 kg/ha adagú szuperfoszfát gipsztartalma már a kijuttatás évében igazolhatóan növelte a búza S-tartalmát, csökkentette az N:S arány értékét, módosította a szerves-S és szulfát-S frakciók egymáshoz viszonyított arányát is a szerves-S javára. A szuperfoszfát gipsztartalmának hatására szignifikáns növekedés volt igazolható a talaj 1M KCl; 0,01M CaCl_2 és 0,016M KH_2PO_4 oldható szulfát-S

tartalmában is. A legnagyobb szulfáttartalmat a 0,016M KH_2PO_4 talajkivonatban mértem, ami az adszorbeált szulfát nagyobb mértékű jelenlétét igazolja a mészlepedékes csernozjom talajon.

A műtrágyázási tartamkísérlet kénpótlás nélküli időszakában (2017, 2018) és az újbóli kénkijuttatás évében (2019) is szignifikáns, közepesen erős korrelációt állapítottam meg az 1M KCl-os, a 0,01M CaCl_2 -os és a 0,016M KH_2PO_4 -os talajkivonatokban mérhető szulfát-S értékek között.

A szuperfoszfáttal történő CaSO_4 kijuttatás évében gyenge korreláció volt megfigyelhető a 0,016M KH_2PO_4 oldható szulfát-S és az 1M KCl oldható szulfát-S értékek között, valamint a 0,016M KH_2PO_4 oldható szulfát-S és a 0,01M CaCl_2 oldható szulfát-S értékek között.

Eredményeim alapján megállapítottam, hogy a növény által felvehető szulfát-S tartalmat mészlepedékes csernozjom talajon a 0,016M KH_2PO_4 kivonószer jellemzi a legjobban, amit szorosán követ a KCl-SO_4^{2-} -S és a növény kénfelvétele közötti kapcsolat.

A tartamkísérlet talajszelvényeiben, a 0-100 cm-es mélységet elemezve több esetben szulfátfelhalmozódási zónát állapítottam meg a 40-70 cm közötti mélységben, amelyet mind az 1M KCl talajkivonat, mind a 0,016M KH_2PO_4 talajkivonat szulfáteredményei igazoltak. A szulfát koncentrációjának mélységi növekedése a nagyobb műtrágyaadagú, $\text{N}_{200}\text{P}_{140}\text{K}_{160}$ kezelésben volt nagyobb mértékű.

Megállapítottam, hogy a talaj szerves S-tartalmának mobilizálásában nagy szerepet játszó aril-szulfatáz aktivitása 2018 és 2019 években a búza tenyészidőszakát követve áprilistól júniusig fokozatosan csökken és az aktivitás fordítottan arányos volt a növekvő adagú NPK műtrágya kezelésekkkel.

Tenyészedenyes kísérletben mészlepedékes csernozjom talajon tavaszi búza jelzőnövényt alkalmazva vizsgáltam az eltérő adagú és eltérő N:S arányú (N:S=1:0,2; 1:0,25; 1:0,5) N- és S-tartalmú műtrágyák hatásait kedvező és kedvezőtlen vízellátás mellett. A kísérlet eredményei alapján megállapítható volt, hogy kedvezőtlen vízellátás mellett termesztett búza a szárazságstressz hatására már virágzás idején visszamaradt a növekedésben, aminek következtében jelentősen, akár 70%-al csökkenhet a termés mennyisége. Ekkor a növekvő kénellátás hatására a növény által felvett S mennyisége többnyire csökkent, a felvett kén kisebb része épült be a szerves vegyületekbe és inkább a szulfát mennyiségének a növekedése volt a jellemző. A növekvő N, S arányú kezelések közül a legnagyobb szemtermést az adott kísérleti körülmények között a legnagyobb kénarányú (N/S=1:0,5) kezelés alkalmazása mellett kaptam.

Tenyészedényes kísérletben mészlepedékes csernozjom és humuszos homoktalajon elemeztem, hogy a szulfát (SO_4^{2-} -S) és tioszulfát ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ -S) tartalmú műtrágyák, és az eltérő N:S arányban (N:S=1:0,2; 1:0,5; 1:1) alkalmazott nitrogén- és kéntartalmú kezelések hogyan befolyásolják a tavaszi búza növekedését, termését, tápanyagfelvételét. Bizonyítottam, hogy a vizsgált humuszos homok és mészlepedékes csernozjom talajokon termesztett tavaszi búza termésmennyisége a szulfát és tioszulfát formájú kénkezelésekben nem különbözött. Humuszos homoktalajon a tavaszi búza fejlődése során és a szemtermésben is a szulfát kénforma alkalmazása mellett igazoltam nagyobb S-tartalmat, ami bizonyítja, hogy a tioszulfát kénszolgáltató képessége a homokon kisebb intenzitású. A mészlepedékes csernozjom talajon termesztett tavaszi búza kéntartalma a kezdeti növekedési fázisban és virágzáskor is a szulfát kénformájú kezelésekben volt nagyobb, azonban a szemtermés S-tartalma már nem különbözött az eltérő kénformájú kezelésekben.

10. SUMMARY

Nowadays, more attention should be paid to the sulphur supply of plants. Due to the changes in environmental regulations and fertiliser use trends, the plant-available sulphur content of soils is decreasing, leading to sulphur deficiency, especially in intensive crop production systems. In addition, there is cause for concern that conventional fertilisation is often unbalanced, while a sulphur deficiency can limit the use of other nutrients by plants especially, N.

Our research aimed to evaluate the effect of NPK fertilization and irrigation on the variation of certain elements of sulphur turnover in winter wheat production in a long-term fertilization experiment established in 1983 at the University of Debrecen, Hungary, taking into account that between 1983 and 2009, phosphorus was supplemented with superphosphate, so increasing phosphorus rates also meant increasing doses of sulphur supplementation. From 2010 to 2018, phosphorus was supplemented with monoammonium dihydrogen phosphate, so the sulphur supply of the experimental area was discontinued. With this information, in 2017-2018 the effect of increasing doses of NPK fertilization and irrigation was studied on the growing parameters, nutrient content and soil sulphur forms in a wheat production system without sulphur supply. In 2019, phosphorus was again applied as superphosphate, so we could analyse how the applied CaSO_4 is utilised in the year of application and how the studied parameters are modified as a result of this.

In the long-term fertilization experiment, after the 2010-2016 period without sulphur supply, in 2017-2018 sulphur deficiency was confirmed in control and the treatments with NPK fertilization, based on the S-content and N/S ratio of wheat grain. It was also established that a significant part of the absorbed S was not incorporated into organic compounds but accumulated as sulphate in plant tissues. In 2019, in the year of superphosphate application, the S content of wheat was verifiably increased, the N/S ratio and the ratio of organic and sulfate-S fractions were improved and the 1M KCl; 0.01M CaCl_2 and 0.016M KH_2PO_4 soluble sulfate-S content of the soil was significantly increased.

A significant, moderately strong correlation was found between KCl and CaCl_2 soluble sulfate-S contents in calcareous chernozem soil in the period without sulphur supplementation and in the year of sulphur application as well. However, in the year of sulphur application, KH_2PO_4 soluble sulphate-S content showed a weak correlation with

KCl and CaCl₂ soluble sulphate-S content. The plant-available sulphate-S content in calcareous chernozem soils was best characterized by the 0.016M KH₂PO₄ extractant. Based on our experiments, at depths of 0-100 cm a sulphate accumulation zone was found between 40 and 70 cm in the case of 1 M KCl and 0,016 M KH₂PO₄ soluble sulfate-S content.

The activity of the aryl-sulphatase enzyme, which plays a major role in the release of sulphur from the organic bond gradually decreased from April to June. An inversely proportional correlation was observed between the activity of the enzyme and increasing fertilizer application rates.

The effect of N and S fertilizers at different rates and different N:S ratios (N:S = 1:0.2; 1:0.25; 1:0.5) under favourable and unfavourable water supply conditions were investigated in a pot experiment with spring wheat on calcareous chernozem soil.

Under pot experiment conditions drought stress caused a significant biomass depression at the flowering stage of spring wheat, which can reduce yields by up to 70%. The adverse effect is confirmed by the significant reduction in harvest index and by the accumulation of absorbed S as sulphate instead of incorporation into organic compounds. On calcareous chernozem soil, the best grain yield was obtained using the N/S=1:0.5 ratio.

The effect of sulphate and thiosulphate fertilizers and nitrogen and sulphur treatments applied in different N:S ratios (N:S=1:0.2; 1:0.5; 1:1) on the growth, yield and nutrient uptake of spring wheat was analysed in a pot experiment on calcareous chernozem and humus sandy soils.

There was no difference in yield between the effect of the two S-forms. In chernozem soil, the S-content of wheat grain also did not differ under the effect of different sulphur forms. On sandy soil, significantly higher S-content was found during spring wheat development and in grain when sulphate form was applied, which proves that the sulphur supply capacity of thiosulphate is less intense on sandy soil.

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. *Acosta-Martinez, V. - Tabatabai, M. A.* 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biol. Fert. Soils* 31, 85.
2. *Ágoston, T. - Pepó, P.* 2006. Az őszi búza-fajták termőképességének és minőségi paramétereinek vizsgálata a Hajdúságban. *Növénytermelés*, 55(5-6), 371-382.
3. *Alewell, C.* 1993. Effects of organic sulfur compounds on extraction and determination of inorganic sulfate, *Plant Soil*, 149, 141–144.
4. *Alqudah, A. M. - Samarah, N. H. - Mullen, R. E.* 2011. Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality. *Sustainable Agric.* 6, 193-213.
5. *Anderson, G.* 1975. Sulphur in soil organic substances. In: Gieseking, J.E., ed. *Soil components I. Organic components.* Springer-Verlag, New York, 333-341.
6. *Anderson, G. C. - Blair, G. J. - Lefroy, R. D. B.* 1992. Soil-extractable sulfur and pasture response to applied sulfur. 1. Studies under glasshouse conditions. *Austral. J. Expt. Ag.* 38, 567–574.
7. *Antal, J.* 1987. *Növénytermesztők zsebkönyve.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
8. *Antal, J.* 2005. *Növénytermesztés alapjai*, In.: *Növénytermesztés tan 1.*, Szerk.: Antal József, Mezőgazda Kiadó, Budapest.
9. *Assefa, S. - Haile, W. - Tena, W.* 2021. Effects of phosphorus and sulphur on yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) on Vertisols, North Central, Ethiopia. *Heliyon*, 7: e06614.
10. *Balanagaudar, S. R. - Satyanlyana, T.* 1990. Depth distribution of different forms of sulphur in Vertisol and Alfisols. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 38, 634-640.
11. *Balik, J. - Kulhánek, M. - Černý, J. - Szakova, J. - Pavlikova, D. - Čermak, P.* 2009. Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant Soil Environ.* 55, 344–352.
12. *Balláné, K. A.* 2000. *Az ionkromatográfia lehetőségei és alkalmazása talaj- és növénykivonatok aniontartalmának meghatározására*, PhD értekezés, Debrecen.
13. *Ballif, J. L. - Muller, J. C.* 1985. Contribution a l'etude de la dynamique des sulfates en sol de craie; dix années des mesures en lysimetre. *C.R. AgricFrance* 71, 1385-1397.
14. *Bankole, G. O. - Sakariyawo, O. S. - Odelana, T. B. - Aghorunse, A. C. - Adejuyigbe C. O. - Azeez, J. O.* 2022. Sulfur fractions, distribution and sorption characteristics in some soils of ogun state, southwestern Nigeria, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(15), 1887-1902.

15. *Bansal, K. N. - Motiramani, D. P. - Pal, A. R.* 1983. Studies on sulfur in vertisols. I. Soil and plant tests for diagnosing sulfur deficiency in soybean [*Glycinemax* (L.) Merr.] *Plant Soil*. 70, 133–140.
16. *Barber, S. A.* 1995. *Soil Nutrient Bioavailability*. John Wiley Sons, New York.
17. *Barron, C. - Surget, A. - Rouau, X.* 2007. Relative amounts of tissues in mature wheat (*triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *Journal of Cereal Science*, 45(1), 88-96.
18. *Barrow, N. J.* 1960. A comparison of mineralization of nitrogen and of sulfur from decomposing organic materials. *Aust. J. Agric. Res.* 11, 960–969.
19. *Barton, D. - Gammack, S. M. - Billett, M. F. - Cresser, M. S.* 1999. Sulphate adsorption and acidification of *Calluna* heathland and Scot pine forest podzol soils in north-east Scotland. *Forest Ecol. Manag.* 114, 151–164.
20. *Berényi, S.* 2013. Tápanyagforgalmi vizsgálatok a Hajdúsági löszhát mészlepedékes csernozjom talaján, a termőhelyspecifikus tápanyag-gazdálkodás megalapozására, PhD értekezés, Debrecen.
21. *Bergmann, W.* 1993. *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Gustav Fischer Verlag Jena-Stuttgart, 759.
22. *Bier, K. - Singh, P. K.* 2018. Sulphate Releasing Pattern of Soils under Acidic Conditions of Forest Soils of Nagaland. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP1: 441-443.
23. *Biltenau, G. - Radoi, A. - Nica, O.* 1966. Influence of the nitrogen, Phosphorus and Potassium content of the soil an seed germination of leguminous plants, *Lucr. scunt. Inst. agron. N. Balescu, Bucuresti, Ser. A.*, 631.
24. *Blair, G. J. - Chinoim, N. - Lefroy, R. D. G. - Anderson, G. C. - Crocker, G. J.* 1991. A soil sulfur test for pastures and crops. *Aust. J. Soil Res.* 29, 619–626.
25. *Blair, G. J.* 2002. Sulphur fertilisers: A global perspective. *Proceedings No. 498. International Fertiliser Society, York, UK.*
26. *Bloem, E. - Paulsen, H.M. - Schnug, E.* 1995. Schwefelmangel nun auch in Getreide. *DLG-Mitteilungen*, 8, 18-19.
27. *Bloem, E.* 1998. Schwefel- Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. *Sonderheft Landbauforschung Voelkenrode* 192.
28. *Bocz, E. (Szerk.)* 1992. *Szántóföldi növénytermesztés*, Mezőgazda Kiadó. Budapest.

29. *Bohn, H. L. - Barrow, N. J. - Rajan, S. S. S. - Parfi, R. L.* 1986. Reactions of inorganic sulfur in soils. p. 233–249. In M.A. Tabatabai (ed.) Sulfur in agriculture. Agron. Monogr. 27. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
30. *Bolan, N. S. - Syers, J. K. - Tillmann, R. W. - Scotter, D. R.* 1988. Effect of liming and phosphate additions on sulphate leaching in soils. *J. of Soil. Sci.* 39(4), 493-504.
31. *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.
32. *Bouranis, D. L. - Malagoli, M. - Avice, J. C. - Bloem, E.* 2020. Advances in Plant Sulfur Research, *Plants*, 9, 256.
33. *Bowen, G. D. - Rovira, A. D.* 1971. Relationship between root morphology and nutrient uptake. *Recent Adv. Plant Nutr.*, 1, 250–260.
34. *Brook, R. H.* 1979. Sulphur in Agricultural, *Abstracts on Tropical Agric.* 5(9), 9-20.
35. *Camberato, J. - Castell, S.* 2010. Keep an eye open for sulfur deficiency in wheat, Purdue University Department of Agronomy, Soil Fertility Update. April 2010, 13.
36. *Carver, M. F. F.* 2005. Monitoring winter barley, wheat, oilseedrape and spring barley for sulphur in England and Wales to predict fertiliser need. HGCA Project Report No. 374, September 2005, 34.
37. *Castellano, S. D. - Dick, R. P.* 1990. Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 114–121.
38. *Castellano, S. D. - Dick, R. P.* 1991. Modified calibration procedure for the measurement of microbial sulfur in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 283–285.
39. *Ceccotti, S. P.* 1994. Sulphur fertilizers: an overview of commercial developments and technological advances. *Sulphur Agric.* 18, 58–64.
40. *Chao, T. T. - Harward, M. E. - Fang, S. C.* 1962. Adsorption and desorption phenomena of sulphate ions in soils. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 234-237.
41. *Chapman, H. D.* 1967. Plant analysis values suggestive of nutrient status of selected crops. In: Hardy G. W. (ed): *Soil Testing and Plant Analysis. Part II: Plant Analysis.* Madison, Wisconsin Soil Science Society of America Special Publication, 2, 77–92.
42. *Chaudhry, I. A. - Cornfield, A. H.* 1967. Effect of temperature on sulphate levels in aerobic and sulphide levels in anaerobic soil, *J. Sci. Food Agri.*, 18, 82.

43. *Chopra, S. L. - Kanwar, J. S.* 1968. Effect of Some Factors on the Transformation of Elemental Sulphur in Soils, *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 16 (1), 83-88.
44. *Couto, W. - Lathwell, D. J. - Bouldin, D. R.* 1979. Sulfate sorption by two oxisols and an alfisol of the tropics. *Soil Sci.* 127, 108–116.
45. *Curtin, D. - Syers, J. K.* 1990. Extractability and adsorption of sulphate in soils. *J. Soil Sci.* 41, 295–304.
46. *Czimbalmos, Á. - Szűcs, L. - Zsembeli, J.* 2016. Nutrition reaction of different varieties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) bred in Karcag. *Agrártudományi Közlemények*, 69, 63-68.
47. *Csathó, P. - Radimszky, L.* 2005. A magyar mezőgazdaság környezetvédelmi és agronómiai megközelítésű NPK tápelem-mérlege 1901-2000 között. *Agrokémia és Talajtan*, 54, 217-234.
48. *Dash, A. K. - Singh, H. K. - Mahakud, T. - Pradhan, K. C. - Jena, D.* 2015. Interaction effect of nitrogen, phosphorus, potassium with sulphur, boron and zinc on yield and nutrient uptake by rice under rice – rice cropping system in inceptisol of coastal Odisha. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.* 5(1), 14–21.
49. *Dhillon, J. S. - Dhital, S. - Lynch, T. - Figueiredo, B. - Omara, P. - Raun, W. R.* 2019. In season application of nitrogen and sulfur in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agro. Geosci. Env.* 2, 18004.
50. *Dick, R. P. - Myrol, D. D. - Kerle, E. A.* 1988. Microbial biomass and soil enzymes activities in compacted and rehabilitated skid trail soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 512–516.
51. *Dick, W. A. - Kost, D. - Chen, L.* 2008. Availability of Sulfur to Crops from Soil and Other Sources. In *Sulphur: A Missing Link between SOils, Crops and Nutrition*, ed. J. Jez. 59-82. Madison. WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
52. *Dijkshoorn, W. - van Wijk, A. L.* 1967. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter a review of published data. *Plant and Soil.* 26, 129–157.
53. *Elfattah, A. - Saber, M. S. M. - Hilal, M. H.* 1991. The use of *Thiobacillus* in regulating the metabolism in clay loam soil supplemented with elemental sulphur. *Egypt. J. of Soil. Sci.* 31(3), 333-341.

54. *Elkins, D. M. - Ensminger, L. E.* 1971. Effect of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35, 931–943.
55. *Elsgaard, L. - Andersen, H. G. - Eriksen, J.* 2002. Measurement of arylsulphatase activity in agricultural soils using a simplified assay. *Soil Biol. Biochem.* 34, 79–82.
56. *Ensminger, L. E.* 1954. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.* 18, 328–333.
57. *Ercoli, L. - Arduini, I. - Mariotti, M. - Lulli, L. - Masoni, A.* 2012. Management of sulphur fertiliser to improve durum wheat production and minimise S leaching. *European Journal of Agronomy*, 38, 74– 82.
58. *Ercoli, L. - Lulli, L. - Arduini, I. - Mariotti, M. - Masoni, A.* 2011. Durum wheat grain yield and quality as affected by S rate under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 35, 63–70.
59. *Eriksen, J. - Murphy, M. D. - Schnug, E.* 1998. The soil sulphur cycle. In: Schnug, E., ed. *Sulphur in agroecosystems*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 39-74.
60. *Eriksen, J.* 1994. Soil organic matter as a source of plant available sulfur. *Norwegian J. Agric. Sci.* 15, 28-149.
61. *Eriksen, J.* 2009. Soil Sulfur Cycling in Temperate Agricultural Systems. *Advances in Agronomy*, 102, 56-83.
62. *Ernst, W.* 1990. Ecological aspects of sulfur metabolism. In: Rennenberg H, Brunold C, De Kok LJ and Stulen I (eds) *Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants: Fundamental, Environmental, and Agricultural Aspects*, 131–144, SPB Academic, The Hague.
63. *Esmel, C. E. - Santos, B. M. - Rechcigl, J. E. - Toor, G. - Simonne, E. H. - Noling, J. W.* 2010. Searching for an Ideal Soil Extractant for Determining Sulfur in Sandy Soils, *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 123, 169–174.
64. *Estefan, G. - Sommer, R. - Ryan, J.* 2013. *Methods of soil, plant, and water analysis: A manual for the west, Asia and North Africa region.* (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), 3rd edition, Beirut, Lebanon.
65. *Evans, A. Jr.* 1986. Effects of dissolved organic carbon and sulfate on aluminum mobilization in forest soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1576–1578.
66. *Faller, N. N.* 1968. Der Schwefeloxidgehalt der Luft als Komponente der Schwefelversorgung der Pflanze. *Diss. d. Landw. Fakultat d. Justus Liebig-Universität, Giessen*, 10-98.

67. *Farooq, M. - Wahid, A. - Kobayashi, N. - Fujita, D. - Basra, S. M. A.* 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185–212.
68. *Finck, A.* 1992. *Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen.* VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, BRD, 461.
69. *Fitzgerald, J. W.* 1976. Sulfate ester formation and hydrolysis: a potentially important and often ignored aspect on the sulfur cycles of aerobic soils. *Bacteriol. Rev.*, 40, 698-721.
70. *Flaete, N. E. S. - Hollung, K. - Ruud, L. - Sogn, T. - Faergestad, E. M. - Skarpeid, H. J. - Magnus, E. M. - Uhlen, A. K.* 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. *Journal of Cereal Science*, 41, 357–369.
71. *Fotyma, E.* 1990. Identify needs fertiliser plants in relation to the N on the example of spring barley. *Fragm. Agron.*, 4(28), 4. [In Polish]
72. *Fox, R. L. - Olsen, R. A. - Rhoades, H. F.* 1964. Evaluating the sulphur status of soils by plant and soil tests. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28, 243-246.
73. *Förster, S. - Welp, G. - Scherer, H. W.* 2012. Sulphur specification in bulk soil as influenced by long-term application of mineral and organic fertilizers. *Plant, Soil and Environment*, 58(7), 316–321.
74. *Freney, J. R. - Spencer, K.* 1960. Studies on mineralization of sulphur from soil organic matter. *Australian Journal of Agricultural Research* 12(2), 306-319.
75. *Füleky, Gy.* 1999. *Tápanyagzáradékosítás, Mezőgazdalkodás*, Budapest, 61-63.
76. *Gaál, M. - Becsákné Tornay, E. - Molnár, P.* 2021. A 2018–2019-es magyarországi aszályhelyzet értékelése. *Gazdálkodás*, 65 (3), 224-236.
77. *Germida, J. J. - Wainwright, M. - Gupta, V. V. S. R.* 1992. Biochemistry of sulfur cycling in soil. In “Soil Biochemistry” (G. Stotzky and J.-M. Bollag, Eds.), 7. 1–53. Marcel Dekker, New York.
78. *Ghani, A. - McLaren, R. G. - McLaren, R. G.* 1991. Sulfur mineralization in some New-Zealand soil. *Biol. Fertil. Soils* 11, 68-74.
79. *Giovanelli, J.* 1990. Regulatory aspects of cysteine, methionine synthesis. In: *Rennenberg H, Brunold C, De Kok LJ and Stulen I (eds) Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants: Fundamental, Environmental and Agricultural Aspects*, 33–48, SPB Academic, The Hague.

80. *Girma, K. - Mosali, J. - Freeman, K. W. - Raun, W. R. - Martin, K. L.* 2005. Thomason WE, Forage and Grain Yield Response to Applied Sulfur in Winter Wheat as Influenced by Source and Rate. *Journal of Plant Nutrition*, 28, 1541–1553.
81. *Goh, K. M. - Tsuji, T.* 1979. Changes in soil sulphur fractions during incubation with and without added sulphur. *New Zealand J. Agric. Res.* 22, 585–594.
82. *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.
83. *Granvogl, M. - Wieser, H. - Koehler, P. - Von Tucher, S. - Schieberle, P.* 2008. Influence of sulphur fertilization on the amounts of free amino acids in wheat. Correlation with baking properties as well as with 3-aminopropionamide and acrylamide generation during baking. *J. Agricult. and Food Chem.*, 55, 4271–4277.
84. *Gupta, N. K. - Gupta, S. - Kumar, A.* 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186 (1), 55–62.
85. *Győri Z. - Győriné M. I.* 1998. A búza minősége és minősítése, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
86. *Győri, D.* 1984. Makro- és mikroelemek a talaj növény rendszerben, In: A talaj termékenysége, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 119-212.
87. *Győri, Z.* 1998. A termesztési tényezők hatása egyes gabonafélék és maghüvelyesek minőségére. Akadémiai Doktori Értekezés. Agrártudományi Egyetem. Debrecen. 198.
88. *Győri, Z.* 2005. Sulphur content of winter wheat grain in long term field experiments. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 36, 1-3: The 8th International Symposium on Soil and Plant Analysis: Part One. 372 – 382.
89. *Hagstrom, G. R.* 1986. Fertilizer sources of sulfur and their use. In: Tabatabai, M.A. (Ed.) Sulfur in agriculture. Agron. Monogr. 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 567–581.
90. *Haneklaus S. - Fleckenstein, J. - Schnug, E.* 1995. Comparative studies of plant and soil analysis for the sulfur status of oilseed rape and winter wheat. *Z. Pflanzenemaehr. Bodenkd.* 158, 109-111.
91. *Haneklaus, S. - Bloem, E. - Schnug, E. - De Kok, L. J. - Stulen, I.* 2007. Sulfur. In: Barker AV and Pilbeam DJ (eds) *Handbook of Plant Nutrition*, 183–238, CRC Press, Boca Raton.

92. *Haneklaus, S. - Bloem, E.* 2000. Sulphur in Agroecosystems. *Fol. Univ. tetin.* 204. *Agricultura* 81, 17-23.
93. *Haneklaus, S. - Messick, D. L., Schnug, E.* 1994. Schwefel und Raps. *Raps* 12. Jg. 2, 56-57.
94. *Harnos, A.* 1995. Az időjárás és a növénytermesztés kapcsolatának modellezése. *AGRO 21 füzetek*, 10, 5-25.
95. *Havlin, J. L. - Tisdale, S. L. - Nelson, W. L. - Havlin, J. - Beaton, J. D.* 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 6th. ed, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 503.
96. *Havlin, J. L. - Beaton, J. D. - Tisdale, S. L. - Nelson, W. L.* 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 7.ed. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 528.
97. *Hawkesford, M. J. - De Kok, L. J.* 2006. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant. Cell. Environ.* 29, 382–395.
98. *Heinz, E.* 1993. Recent investigations on the biosynthesis of the plant sulfolipid. In: De Kok LJ, Stulen I, Rennenberg H, Brunold C and Rauser WE (eds) *Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants: Regulatory Agricultural, Environmental Aspects*, 163–178, SPB Academic, The Hague
99. *Hekstra, A.* 1996. Sustainable Nutrient Management in Agricultural. *Nutrient Limited Yield*. Handicom, Netherland, 104-109.
100. *Hilal, M. H. - Elfattah, A.* 1987. Effect of CaCO₃ and clay content of alkaline soils on their response to added sulphur. *Sulphur in Agric.* 11, 15-19.
101. *Holló, S. - Bélteki, I. – Pethes - J.* 2009. A műtrágyázás szerepe és hatásai a fenntartható búzatermesztésben. 434-441. In: (Szerk. nélkül): *LI. Georgikon Napok*. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2009. október 1-2.
102. *Hornok, M. - Balogh, Á. - Pepó, P.* 2007. Critical Elements of Sustainable Winter Wheat (*Triticum aestivum*) Management in Biculture and Triculture Crop Rotation. *Cereal Research Communications* 35, 481–484.
103. *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.
104. *Hutchinson, T. C.* 1979. Sulphur in soil and vegetation. In: *International symposium sulphur emissions and the environment*. 1979 May 8-10; London, UK: 428- 442.

105. *Imadi, R. S. - Gul, A. - Dikilitas, M. - Karakas, S. - Sharma, I. - Ahmad, P.* 2016. Water stress: Types, causes, and impact on plant growth and development, In.: Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach, Volume 2, First Edition. Edited by Parvaiz Ahmad. John Wiley & Sons, Ltd.
106. *Jagdish, K. L. - Pathak, H. - Timothy, J. - Krupnik, J. - Van Kessel, C.* 2005. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*, 87, 85-156.
107. *Jaggi, R. C. - Sharma, R. K.* 1999. Evaluation of extractant for available sulphur in soils of Kangra valley. *Indian J. Agric. Sci.* 69(6), 465-467.
108. *Jamal, A. - Moon, J. S. - Abdin, M. Z.* 2010. Sulphur - a general overview and interaction with nitrogen, *AJCS*, 4(7), 523-529.
109. *Janzen, H. H. - Bettany, J. R.* 1984. Sulfur nutrition of rapeseed. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 100-107.
110. *Janzen, H. H. - Bettany, J. R.* 1986. Release of available S from fertilizers. *Canadian Journal of Soil Science*, 66, 91-103.
111. *Jarvan, M. - Edesi, L. - Adamson, A. - Lukme, L. - Akk, A.* 2008. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. *Agron. Res.* 6, 459-469.
112. *Jones, J. B. Jr. - Wolf, B. - Mills, H. A.* 1991. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publ., Athens, GA.
113. *Kádár, I.* 1997. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. Budapest, 60-63.
114. *Kale, S. D.* 2002. Critical level of available sulphur for sunflower in inceptisol, 2002-12-30, MSC Thesis, Mahatma Phule Krishi Vidyapeeth, Rahuri - 413 722, Dist. Ahmednagar, Maharashtra, India
115. *Kalocsai, R. - Giczi, Z. - Schmidt, R. - Szakál, P. - Barkóczy, M.* 2006. Effect of sulphate fertilization on the quality of winter wheat. *Cereal Research Communications*, 34(1), 529-532.
116. *Kalocsai, R. - Schmidt, R. - Földes, T. - Szakál, P.* 2002. Az elemi kén talajbeli oxidációjának vizsgálata. *Acta Agronom. Óváriensis*, 44(1), 19-28.
117. *Kalocsai, R. - Schmidt, R. - Földes, T. - Szakál, P.* 2003. A műtrágyázás és elemi kén adagolás hatása a talaj kémhatására és felvehető SO_4^{2-} tartalmára, *Agrokémia és Talajtan*, 52(1-2), 121-132.

118. *Kalocsai, R. - Schmidt, R. - Szakál, P. - Giczi, Zs.* 2005. Minden, amit a kén mezőgazdasági jelentőségéről tudni kell... *Agro Napló*, 9, 11-12.
119. *Kalocsai, R.* 2003. A szulfátrágyázás hatása az őszi búza kémiai összetételére és beltartalmi értékmérő tulajdonságaira, PhD disszertáció, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mosonmagyaróvár.
120. *Kaltrun, E.* 1996. The role of sulfur in soil maintenance. *Kungl. Skogs och Lantbrunksakademies Tidskrift* 135(6), 23-28.
121. *Kanwar, J. S. - Muhadar, M. S.* 1986. Fertilizer sulfur and food production. *Martinus Nijhoff Publ. Dordrecht.* 20-58.
122. *Kertész, M. A - Mirleau, P.* 2004. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. *J. Exper. Bot.*, 55, 1939-1945.
123. *Khan, K. - Nygard, G.* 2006. Gluten. [In: Hui, y. H. (ed.) *Bakrey Products.*] *Science and technology.* Blackwell Publishing. 97–123.
124. *Klikocka, H. - Cybulska, M. - Barczak, B. - Narolski, B. - Szostak, B. - Kobialka, A. - Nowak, A. - Wójcik, E.* 2016. The effect of sulphur and nitrogen on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant Soil Environ.*, 62(5), 230.
125. *Klikocka, H. - Cybulska, M. - Nowak, A.* 2017. Efficiency of fertilization and utilization of nitrogen and sulphur by spring wheat. *Pol. J. Environ. Stud.* 26, 2029–2036.
126. *Koltay, Á. - Balla, L.* 1982. Búzatermesztés és nemesítés. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest,* 20-49.
127. *Konopka, A. E. - Miller, R. H. - Sommers, L. E.* 1986. Microbiology of the sulfur cycle. 23–55. In: M.A. Tabatabai (ed.) *Sulfur in agriculture.* *Agron. Monogr. 27.* ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
128. *Kour, S. - Arora, S. - Jalali, V. K. - Bali, A. S. - Gupta, M.* 2014. Direct and Residual Effect of Sulphur Fertilization on Yield, Uptake and Use Efficiency in Indian Mustard and Succeeding Rice Crop, *Journal of Plant Nutrition*, 37(14), 2291-2301.
129. *Kovar, J. L. - Grant, C. A.* 2011. *Nutrient Cycling in Soils: Sulfur,* American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 5585 Guilford Road, Madison, WI 53711, USA. *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture.* Jerry L. Hatfi eld and Thomas J. Sauer (ed.)
130. *Kowalenko, C. G. - Lows, L. E.* 1975. Mineralization of sulfur from four soils and its relationship to soil carbon, nitrogen and phosphorus. *Can. J. Soil Sci.* 55:9-14.

131. *Kulhánek, M. - Balík, J. - Černý, J. - Peklová, L. - Sedlár, O.* 2014. Winter wheat fertilizing using nitrogen–sulphur fertilizer, Archives of Agronomy and Soil Science, 67-74.
132. *Lamond, R. E.* 1997. Sulphur in Kansas: Plant, soil and fertilizer considerations (MF-2264). Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
133. *Láng, G.* 1970. A növénytermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
134. *Lásztity, B.* 1981. Gabonafehérjék. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 194.
135. *Lásztity, B.* 1991. A NPK tápanyagellátás hatása az őszi búza kén tartalmának és felhalmozásának dinamikájára. Agrokémia és Talajtan, 40, 131–139.
136. *Lee, R. - Speir, T. W.* 1979. Sulphur uptake by ryegrass and its relationship to inorganic and organic sulphur levels and sulphatase activity in soil. Plant Soil 53, 407–425.
137. *Leggett, J. E. - Epstein, E.* 1956. Kinetics of sulfate adsorption by barley roots. Plant Physiol. 31, 222–226.
138. *Lelley, J.* 1971. A gabonatermesztési és nemesítési kutatás eredményei és a gyakorlat. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 58.
139. *Li, X. - Sarah, P.* 2003. Arylsulfatase activity of soil microbial biomass along a Mediterranean-arid transect. Soil Biol. Biochem. 35(7), 925.
140. *Loch, J. - Kiss, Sz.* 2010. Agrokémia, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 185.
141. *Loch, J. - Nosticzius, Á.* 1992. Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest
142. *Lucheta, A. R. - Lambais, M. R.* 2012. Sulfur in agriculture, Bras. Ci. Solo, 36, 1369-1379.
143. *Luo, C. - Branlard, G. - Griffen, W. B. - Mcneil, D. L.* 2000. The effect of nitrogen and sulfur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. J. Cereal Sci. 31, 185-194.
144. *Macdonald, N. W. - Zak, D. R. - Pregitzer, K. S.* 1995. Temperature Effects on Kinetics of Microbial Respiration and Net Nitrogen and Sulfur Mineralization. Soil Science Society of America Journal, 59(1), 233.
145. *Magda, A.* 2006. Az őszi búza termesztéstechnológiája és fejlesztési lehetőségek a mezőkövesdi Matyó Szövetkezetben. Gyakorlati Agrofórum Extra 14. 2006. március, 56-60.

146. *Mándy, Gy.* 1963. A búza fejlődés- és növekedés élettana. In: A búza. 1963. Szerk. *Lelley, J., Mándy Gy.* Bp. Akadémia Kiadó. 341.
147. *Mars, É. Cs.* 2009. A kéntápanyag hatására az őszi búza minőségi és mennyiségi paramétereinek alakulására. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen.
148. *Marschner, H.* 1997. Sulphur supply, plant growth, and plant composition. In: Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, Cambridge, 261–265.
149. *Martin, R. J.* 1997. Uptake and distribution of N and S in two Otane wheat crops. Proceedings Agron. Society N.Z., 27, 19.
150. *Mcgill, W. B. - Cole, C. V.* 1981. Comparative aspects of cycling organic C, N, S and soil organic matter. Geoderma 26, 267-286.
151. *Mclaren, R. G. - Cameron, K. C.* 2004. Soil Science. 2nd edn., Oxford University Press, Victoria, Australia.
152. *Mclaren, R. G. - Keer, J. J. - Swift, R. W.* 1985. Sulphur transformations in soils using sulphur-35 labelling. Soil Biology and Biochemistry. 17, 73-79.
153. *Mechteld, M. A. - Blake-Kalff, M. M. A. - Young, M. E. - Zhao, F. J. - Hawkesford, M. J. - Mcgrath, S. P.* 1999. Patterns of sulphur allocation in rape and wheat. Meeting of Working Groups I. and III. Sulfur and Crop Quality: Molecular and agronomical strategies for crop improvement. Napoli, Italia, January 8-10. 220-225.
154. *Mehlich, A.* 1964. Muence of sorbed hydroxyl and sulfate on liming efficiency, pH and conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, 496–499.
155. *Mengel, K.* 1976. A növények táplálkozása és anyagcseréje, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 68.
156. *Messick, D. L. - De Brey, C. - Fan, M. X.* 2002. Sources of sulphur, their processing and use in fertiliser manufacture. Proceedings No. 502. International Fertiliser Society, York, UK.
157. *Miller, E. C.* 1931. Plant physiology. 257-259. McGraw-Hill Book Co., New York.
158. *Mitchell, L. C. - Mullings G. L.* 1990. Sources, rates and time of sulphur application to Wheat, Sulphur in Agriculture 14, 20-24.
159. *Moss, H. J. -Randall, P. J. - Wrigley, C. W.* 1983. Alteration to grain, flour and dough quality in three wheat types with variation in soil sulfur supply. Journal of Cereal Science, 1, 255-264.

160. *Nad, B. K. - Purakayasthat, J. - Singh, D. V.* 2001. Nitrogen and Sulphur Relations in Effecting Yield and Quality of Cereals and Oilseed Crops, *The Scientific World* 1(2), 30–34.
161. *Naeem, H. A. - Macritchie, F.* 2003. Effect of Sulphur Nutrition on Agronomic and Quality Attributes of Wheat, *Sulphur in Plants*, 305-322.
162. *Nagy, L.* 1981. A búza termesztés területi elhelyezése Magyarországon természeti tényezők alapján. Akadémia Kiadó. Budapest.
163. *Nagy, P. T.* 2000. Égetéses elven működő elemvizsgáló alkalmazhatósága talaj- és növényvizsgálatokban. *Agrokémia és talajtan*, 49(3-4), 521-534.
164. *Nelson, L. E.* 1964. The effect of pH on the acetate-soluble sulphur content of a Mayhew soil in Mississippi before and after incubation. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 28, 290-291.
165. *Nesheim, L. - Gautneb, H. - Myhr, K.* 1997. Plant uptake of sulphur and trace elements from pyrite applied on grassland. *Acta Agri. Scand. Section B, Soil Plant Sci.* 47, 135–141.
166. *Noji, M. - Saito, K.* 2003. Sulfur amino acids: biosynthesis of cysteine and methionine. In: Abrol YP and Ahmad A (eds) *Sulphur in Plants*, 135–144, Kluwer Academic, Dordrecht
167. *Nor, Y. M. - Tabatabai M. A.* 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 41, 736-741.
168. *Osborne, T. B.* 1907. *The Proteins of the Wheat Kernel.* Carnegie Institution of Washington: Washington D.C.
169. *Padhan, D. - Sen, A. - Rout, P. P.* 2016. Extractability and availability index of sulphur in selected soils of Odisha, *Journal of Applied and Natural Science*, 8(4), 1981-1986.
170. *Palomino, L. M. - Siebe, C. - Herre, A.* 2005. Air drying affects extract-able sulfate in soils of variable charge: Test of two extraction and two quantification methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36, 2513–2528.
171. *Patra, P. - Mondal, S. - Ghosh, G. K.* 2012. Status of available sulphur in surface and sub-surface soils of red and lateritic soils of West Bengal. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, Vol. 2. Issue 2. 276-281.
172. *Pedersen, C. A. - Knudsen, L. - Schnug, E.* 1998. Sulphur fertilization. In “*Sulphur in Agroecosystems*” (Ed. Schnug, E.), 115–134. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

173. *Pepó, P.* 2019. Integrált növénytermesztés 2. Alapnövények. Szerk. Dr. Pepó Péter, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó.
174. *Peterson, W. H.* 1914. Forms of sulfur in plant materials and their variation with the soil supply. *Jour. Am. Chem. Soc.* 36, 1290-1300.
175. *Pfaff, C.* 1963. Über die Auswaschung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat aus dem Boden (Lysimeterversuch). *Z. Acker u. pflanzenbau* 117: 117-128.
176. *Piironen, V.* 2009. Wheat: characteristics and quality requirements. In: Wrigly CW, et al. editors. *Cereal Grains Assessing and Managing Quality*. Oxford, Cambridge, UK: Woodhead Publishing; 59–103.
177. *Plank, C. O.* 1988. Plant analysis handbook for Georgia. Coop. Ext. Servo Univ. of Georgia, Athens.
178. *Podlesna, A.* 2013. Studies on the role of sulfur at forming of mineral management and height and quality of chosen crops yield. Habilitation thesis. (In Polish)
179. *Prettenhoffer, I. - Gratzl, D.* 1961. A szikjavítás hatása a búza termésére a tiszántúli mésztelen szikeseken. In: Bajai J. (Szerk.): *Búzatermesztési kísérletek 1952-1959*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 296-320.
180. *Preuschoff, M.* 1995. Untersuchungen zur Schwefelversorgung von Weißkohl an zwei Lößstandorten. Dissertation, Universität Hannover, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.
181. *Prystupa, P. - Boem, F. H. - Salvagiotti, F. - Ferraris, G. - Couretot, L.* 2006. Measuring corn response to fertilisation in the northern pampas. *Better Crops* 90, 25–27.
182. *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.
183. *Reich, M. - Shahbaz, M. - Prajapatri, D. H. - Parmar, S. - Hawkesford, M. J. - De Kok, L. J.* 2016. Interactions of sulphate with other nutrients as revealed by H₂S fumigation of Chinese cabbage, *Plant Science*, 7, 541-548.
184. *Reisenauer, H. M. - Walsh, L.M. - Hoefl, R. G.* 1973. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum, and chlorine, p. 173-200. In L.M. Walsh and J.D. Beaton (ed.). *Soil testing and plant analysis*. 2nd ed. SSSA. Madison, WI
185. *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.

186. *Reuter, D. J. - Robinson J. B. - Dutkiewicz, C.* 1997. Plant Analysis: An Interpretation Manual. 2nd Edition. Melbourne, CSIRO Publishing, 349–882.
187. *Riley, N. G. - Zhao, F. J. - Mcgrath, S. P.* 2002. Leaching losses of sulphur from different forms of sulphur fertilizers: A field lysimeter study. *Soil Use Manag.* 2002, 18, 120–126.
188. *Ruiter, J. M. - Martin, R. J.* 2001. Management of nitrogen and sulphur fertilizer for improvement bread wheat (*Triticum aestivum*) quality. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 29, 287–299.
189. *Saalbach, B.* 1984. Die Bedeutung der in der Atmosphäre enthaltenen Schwefelverbindungen für die Schwefelversorgung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. *Angew. Botanik*, 58, 147-156.
190. *Sagoo, E. - Munro, D. - Smith, K. - Mcgrath, S. P. - Berry, P.* 2017. Sulfur availability from organic materials applied to winter wheat and winter oilseed rape crops, 25th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers Significance of Sulfur in High-Input Cropping Systems Groningen (The Netherlands), September 5-8, 2017.
191. *Sahota, T. S.* 2006. Importance of Sulphur in Crop Production. Northwest Link, September, 10–12.
192. *Sanchez, P. A.* 1976. Properties and Management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York, New York, USA, 373-375.
193. *Sangwan, A. - Duhan, B. S. - Sangwan, P. S.* 2018. Effect of different sources of sulphur on yield and nutrient uptake by wheat. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 2686–2691.
194. *Santoso, D. - Lefroy, R. D. B. - Blair, G. J.* 1995. A comparison of sulfur extractants for weathered acid soils. *Austral. J. Soil Res.* 33, 125–133.
195. *Sárdi, K.* 2011. Tápanyag-gazdálkodás, Az Agrármérnöki MSc szak tananyagfejlesztése, 17-18.
196. *Sárvári M.* 2006. A vetésforgó és a tápanyagellátás szerepe az őszi búza termesztésében. In: Pepó P. (Szerk.): Búzavertikum aktuális kérdései. Szaktanácsadási Füzetek 2. Debrecen. 64-72.
197. *Sárvári, M. - Boros, B.* 2010. Az őszi kalászosok alaptrágyázása. *Agrofórum*, 14 (8), 61-62.
198. *Scharpf, H. - Liebig, C.* 1991. Ernährung und Düngung, In: Krug, H. (ed.) *Gamüseproduktion*. Parey, Berlin, Hamburg, 150-177.

199. *Scherer, H. W.* 2001. Sulphur in crop production – invited paper. *European Journal of Agronomy*. 14, 81-111.
200. *Scherer, H. W.* 2009. Sulfur in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 326–335.
201. *Schindler, S. C. - Mitchell, M. J. - Scott, T. J. - Fuller, R. D. - Driscoll, C. T.* 1986. Incorporation of ³⁵S-sulfate Into Inorganic and Organic Constituents of Two Forest Soils¹. *Soil Science Society of America Journal*, 50(2), 457.
202. *Schnug, E. - Bloem, E. - Haneklaus, S.* 2000. Schwefelmangel in Getreide. *Getreide* 6. 1, 60-61.
203. *Schnug, E. - Haneklaus, S. - Murphy, D.* 1993. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. *Sulphur in Agriculture*. 16. Sulphur Institute, Washington DC. 31-34.
204. *Schnug, E. - Haneklaus, S.* 1998. Diagnosis of sulphur nutrition. In: *Sulphur in Agroecosystems* (Ed. E. Schnug) part of the series 'Nutrients in Ecosystems', Vol. 2, Kluwer Academic Publ., Dordrecht.
205. *Schnug, E.* 1991. Sulphur nutritional status of European crops and consequences for agriculture. *Sulphur in Agriculture* 15, 7-12.
206. *Schoenau, J. J. - Malhi, S. S.* 2008. Sulfur forms and cycling processes in soil and their relationship to sulfur fertility. In: JEZ. J., ed. *Sulfur: A missing link between soils, crops and nutrition*. Madison, American Society of Agronomy, 2008. 1-10.
207. *Seinfeld, J. H. - Pandis, S. N.* 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. J. Wiley, Hoboken, N.J.
208. *Shah, S. - Hussain, M. - Jalal, A. - Khan, M. S. - Shah, T. - Ilyas, M. - Uzair, M.* 2018. Nitrogen and sulfur rates and timing effects on phenology, biomass yield and economics of wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*, 34(3), 671-679.
209. *Singh Shivay, Y. - Rajendra, P. - Madan, P.* 2014. Effect of levels and sources of sulfur on yield, sulfur and nitrogen concentration and uptake and S-use efficiency in basmati rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 45(18), 2468–2479.
210. *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.
211. *Sipos, P.* 2006. Az őszi búza minőségére ható tényezők számszerűsítése. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen.

212. *Siwik-Ziomek, A. – Koper, J.* 2010. Changes in the content of sulphate sulphur and arylsulphatase activity in soil under potato caused by fertilization. *J. Elem.* 15(1), 171.
213. *Siwik-Ziomek, A. - Lemanowicz, J. - Koper, J.* 2013. Arylsulphatase activity and the content of total sulphur and its forms under the influence of fertilisation with nitrogen and other macroelements. *Journal of Elementology*, 18(3), 437-447.
214. *Solberg, E. D. - Penny, D. C. - Nyborg, M. N.* 1992. Factors affecting the effective use of elemental sulphur fertilisers in Westem Canada. In: *Proceedings of the intemational symposium on the role of sulphur, magnesium and micronutrients in balanced plant nutrition.* Ed. S J Partch. The Sulphur Institute Washington, U.S.A.
215. *Spencer, K. - Freney, J. R.* 1960. A comparison of several procedures for estimating the sulphur status of soils. *Aust. J. Agric. Res.* 11, 948–959.
216. *Spencer, K. - Freney, J. R.* 1980. Assessing the sulfur status of field-grown wheat by plant analysis. *Agronomy Journal*, 72, 469–472.
217. *Stevenson, F. J. - Cole, M. A.* 1999. *Cycles of soil – Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
218. *Stevenson, F. J.* 1986. *Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients.* John Wiley & Sons, New York.
219. *Stewart, B. A. - Porter, L. K. - Viets, F. G.* 1966. Sulfur requirements for decomposition of cellulose and glucose in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30, 453–456.
220. *Stulen, I. - De Kok, L. J.* 1993. Whole plant regulation of sulfur metabolism. In: *De Kok LJ, Stulen I, Rennenberg H, Brunold C and Rauser WE (eds) Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants: Regulatory, Agricultural and Environmental Aspects*, 77–91, SPB Academic, The Hague
221. *Sturgeon, R. E.* 2000. Current practice and recent developments in analytical methodology for trace element analysis of soils, plants, and water. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 1479–1512.
222. *Szabó, M. - Ángyán, J. - Forgács, M. - Tirczka, J.* 1987. Magyarország klimatikus adottságainak biometriai elemzése az őszi búza termésátlaga és minősége szempontjából. *Növénytermelés.* 36(1), 17-30.
223. *Szániel, I.* 1973. A mezőgazdasági termelés területi elhelyezésének néhány kérdése napjainkban. *Tudomány és mezőgazdaság*, 11, 4.
224. *Tabatabai, M. A. - Bremner, J. M.* 1970. Arysulfatase activity of soils. *Soil Science Society of America Proceedings.* 34, 225-229.

225. *Tabatabai, M. A. - Bremner, J. M.* 1972. Forms of sulfur, and carbon, nitrogen and sulfur relationships, in Iowa soils. *Soil Sci.* 114, 380–386.
226. *Tabatabai, M. A.* (ed) 1986. *Sulfur in Agriculture.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
227. *Tan, Z. - McLaren, R. G. - Cameron, K. C.* 1994. Forms of sulfur extracted from soils after different methods of sample preparation. *Aus. J. Soil Res.* 32, 823–834.
228. *Tanács, L. - Matuz, J. - Gerő, L. - Petróczi, I.* 2005. Effects of NPK fertilizers and fungicides on the quality of bread wheat in different years. *Cereal research Communications*, 33(2-3), 627–634.
229. *Taureau, J. C. - Thevenet, G. - Bordeaux, J. L. - De Froberville, G.* 1987. Reponse des cultures a la fertilisation soufrees. *Perspectives Agricoles*, 111, 22-44.
230. *Tea, I. - Genter, T. - Naulet, N. - Lummerzheim, M. - Kleiber, D.* 2007. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effect on flour bread-making quality. *J. Sci. Food Agric.* 87, 2853-2859.
231. *Tea, I. - Genter, T. - Naulet, N. - Morvan, E. - Kleiber, D.* 2003. Isotopic study of post-anthesis foliar incorporation of sulphur and nitrogen in wheat. *Isot. Environ. Health Stud.* 39, 289-300.
232. *Terbe, I.* 2015. Kén, mint tápanyag, BCE Kertészettudományi kar, Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék, Agrárfórum Online.
233. *Timmermann, F. - Kluge, R. - Pflieghinger, A.* 1995. Sulphur fertilizer requirements using N: S (minimum) ratio in soils. *Association of German Agricultural Analytic and Research Institutes Series* 40, 303–306.
234. *Tisdale, S. L. - Nelson, W. L. - Beaton, J. D.* 1985. *Soil fertility and fertilizers.* 4th ed. Macmillan Publishing Co., New York.
235. *Tisdale, S. L. - Nelson, W. L.* 1966. A talaj termékenysége és a trágyázás. Akadémiai kiadó, Budapest, 209-242.
236. *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.
237. *Triboi, E. - Abad, A. - Michelena, A. - Lloveras, L. - Ollier, J. L. - Daniel, C.* 2000. Environmental effect on the quality of two wheat genotypes: I. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy*, 13, 47-64.
238. *United Kingdom Review Group On Acid Rain.* 1987. *Acid deposition in the United Kingdom. First report.* Warren Springs Laboratory, Stevenage, England.

239. *Varga, B. E. - Varga, L. - Bencze, S. - Balla, K. - Veisz, O.* 2013. Water use of winter cereals under well-watered and drought-stressed conditions, *Plant Soil Environ.* 59(4), 150–155.
240. *Vári, E. - Pepó, P.* 2011. The effect of crop rotation and mineral fertilization on the yield of winter wheat in a long-term field experiment, *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului*, 12, 191-195.
241. *Vári, E. - Pepó, P.* 2015. Impact of agrotechnical and ecological risk factors in yield of cereals, *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului*, 25, 89-98.
242. *Vömel, A., Van Der Paauw, F.* 1972. Zur Methodik der Wasserversorgung in Gefäßversuchen. *Plant and Soil*, 37, 497–510.
243. *Wainwright, M.* 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy*, 37, 349-396.
244. *Walker, T. W. - Gregg, P. E. H.* 1975. The occurrence of sulphur deficiency in New Zealand. In: *Sulphur in Australasian Agriculture*. (Ed. K D McLachlan), 145-153, Sydney University Press.
245. *Wang, C.Y. - Liu, W.X. - Li, Q.X. - Ma, D.Y. - Lu, H.F. - Feng, W. - Xie, Y.X. - Zhu, Y.J. - Guo, T.C.* 2014. Effects of different irrigation and nitrogen regimes on root growth and its correlation with above-ground plant parts in high-yielding wheat under field conditions. *Field Crops Research*, 165, 138–149.
246. *Wang, J. - Solomon, D. - Lehmann, J. - Zhang, X. - Amelung, W.* 2006. Soil organic sulphur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by long-term cultivation and climate. *Geoderma*, 130, 160-172.
247. *Warman, P. R. - Sampson, H. G.* 1994. Effect of sulfur additions on the yield and elemental composition of canola and spring wheat, *Journal of plant nutrition*, 17, 1817-1825.
248. *Watkinson, J. H. - Perrott, K. W.* 1990. A new soil test for sulphate and mineralisable organic sulphur. *Proc. New Zealand Fert. Manuf. Res. Assoc. Conf.* 189–198. Auckland, New Zealand.
249. *Watkinson, J. H.* 1993. Oxidation rate of elemental sulphur particles with a wide range of sizes. *Aust. J. Soil Res.* 31, 67-72.
250. *Watwood, M. E. - Fitzgerald, J. W. - Swank, W. T.* 1988. Effects of moisture content on sulfate generation and retention in hardwood forest upper soil horizons. *Canadian Journal of Forest Research*, 18, 820-824.

251. *Westermann, D. T.* 1974. Indexes of sulfur deficiency in alfalfa. I. Extractable soil SO_4^{2-} -S. *Agron. J.* 66, 578-81.
252. *White, J. G.* 1959. Mineralisation of nitrogen and sulphur in sulphurdeficient soils, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2:2, 255-258.
253. *Williams, C. H.* 1975. 'The Chemical Nature of Sulphur Compounds in Soils,' In *Sulphur in Australasian Agriculture*, K. D. Mclachlan (Ed.), 21-30, Sydney University Press, Sydney, Australia
254. *Withers, P. J. A. - Tytherleigh, A. R. J. - O'donnell, F. M.* 1995. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *Journal of Agricultural Science*, 125, 317-324.
255. *Wrigley, C. W. - Du Cros, D. L. - Fullington, J. G. - Kasarda, D. D.* 1984. Changes in polypeptide composition and grain quality due to sulfur deficiency in wheat. *Journal of Cereal Science*, 2 (1), 15-24.
256. *Wu, J. - O'donnell, A. G. - Syers, J. K.* 1993. Influences of glucose, nitrogen and plant residues on the immobilisation of sulphate-S in soil. *Soil Biol Biochem* 27, 1363-1370.
257. *Wyszkowska, J. - Borowik, A. - Kucharski, M. - Kucharski, J.* 2013. Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes. *J. Elem.* 18 (4), 769.
258. *Ying-Xin, X. - Hui, Z. - Yun-Ji, Z. - Li, Z. - Jia-Heng, Y. - Fei-Na, C. - Cao, L. - Chen-Yang, W. - Tian-Cai, G.* 2017. Grain yield and water use of winter wheat as affected by water and sulfur supply in the North China Plain. *J. Integr. Agric.* 16, 614–625.
259. *Yli-Halla, M.* 1987. Assessment of extraction and analysis methods in estimating the amount of plant available sulfur in the soil. *Acta Agr. Scand.* 37, 419–425.
260. *Zardi, G. - Bucher, M.* 2001. Is it possible to increase S availability in the rhizosphere by genetic engineering of plant roots? COST Action 829: Plant sulfur metabolism at the beginning of the 21th. Century. Combined meeting of Working groups I. and II. February 2-3.
261. *Zhang, G. Y. - Brummer, G. M. - Zhang, X. N.* 1996. Effect of perchlorate, nitrate, chloride and pH on sulfate adsorption by variable-charge soils. *Geoderma*, 73(3-4), 217-229.

262. Zhao, F. - Tausz, M. - De Kok, L. J. 2008. Role of Sulfur for Plant Production in Agricultural and Natural Ecosystems. *Advances in Photosynthesis and Respiration*, 417–435.
263. Zhao, F. J. - Mcgrath, S. P. - Crosland, A. R. - Salmon, S. E. 1995. Changes in sulphur status of British wheat grain in the last decade, and its geographical distribution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(4), 507–514.
264. Zhao, F. J. - Mcgrath, S. P. 1994. Extractable sulphate and organic sulphur in soils and their availability to plants, *Plant and Soil*, 164, 243-250.
265. Zhao, F. J. - Mcgrath, S. P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 30(1), 1-17.
266. Zhao, F. T. - Hawkesford, M. T. - Warrilow, A. G. S. - Mcgrath, S. P. - Clarkson, D.T. 1996. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. *Plant Soil*, 181, 317–327.
267. Zörb, C. - Grover, C. - Steinfurth, D. - Mühling, K. H. 2010. Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. *Plant and Soil*, 3271, 225-234.

INTERNETES HIVATKOZÁSOK:

INTERNET 1:

<https://www.borealis-lat.com/hu/hu/nutrients/sulphur-%28s%29-6>

INTERNET 2:

https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ua030d.html

INTERNET 3:

<https://www.gabonakutato.hu/uploads/brochure/5ed64ac335d90712707399.pdf>

INTERNET 4:

https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_met002.html

MSZ SZABVÁNYOK:

1. MSZ 20135:1999: A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása
2. MSZ EN ISO 13903:2005: Takarmányok. Az aminosav-tartalom meghatározása

12. 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/actaagr/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/ACTAAGR/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/actaagr/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/actaagr/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.



13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném legmélyebb hálámat kifejezni témavezetőmnek, **Balláné Dr. Kovács Andrea** egyetemi docensnek, hogy értékes szakmai tudásával, iránymutatásával és biztató szavaival hozzájárult a disszertáció elkészüléséhez.

Köszönöm opponenseimnek, **Prof. Dr. Kovács Béla**, egyetemi tanárnak és **Dr. Zsigray György**, tudományos főmunkatárs Úrnak, hogy rendkívüli alaposágukkal és szakértelmükkel hozzájárultak a dolgozat jobbá tételéhez.

Köszönöm **Prof. Dr. Pepó Péter** egyetemi tanárnak, hogy a Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepen a kutatáshoz szükséges feltételeket biztosította számomra.

Köszönettel tartozom továbbá az **Agrokémiai és Talajtani Intézet** valamennyi dolgozójának, hogy a tenyészedényes kísérletek kivitelezésében és a minták elemanalitikai mérésében segítséget nyújtottak.

Nem utolsó sorban köszönöm **Családomnak**, hogy az elmúlt évek során sok szeretettel és kitartással támogattak a céljaim elérésében.

14. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2023.....

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy *Juhász Evelin Kármén* doktorjelölt 2017-2021 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 2023.....

.....

a témavezető(k) aláírása