

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

TÓTH FLORENCE ALEXANDRA

DEBRECEN 2024

DEBRECENI EGYETEM
TÁPLÁLKOZÁS- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

PROF. DR. SZILVÁSSY ZOLTÁN
egyetemi tanár

Témavezető:

DR. NAGY PÉTER TAMÁS
egyetemi docens

SZERVESANYAG ALAPÚ TÁPANYAGPÓTLÓ
KÉSZÍTMÉNYEK FEJLESZTÉSE ÉS
HATÁSAINAK VIZSGÁLATA MODELL ÉS
SZABADFÖLDI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

Készítette:

TÓTH FLORENCE ALEXANDRA
doktorjelölt

Debrecen 2024

**SZERVESANYAG ALAPÚ TÁPANYAGPÓTLÓ
KÉSZÍTMÉNYEK FEJLESZTÉSE ÉS HATÁSAINAK
VIZSGÁLATA MODELL ÉS SZABADFÖLDI KÖRÜLMÉNYEK
KÖZÖTT**

**Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében az élelmiszer
tudományok tudományágban**

Írta: **TÓTH FLORENCE ALEXANDRA** okleveles biológia tanár

Készült a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola
(élelmiszertudományi doktori programja) keretében

Témavezető: Dr. Nagy Péter Tamás

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

név	fokozat	aláírás
elnök:
tagok:
.....
.....
titkár:

Az értekezés védésének időpontja: 2024.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS TÉMAFELVETÉS	1
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1. Klimatikus tényezők hatása a mezőgazdasági termelésre	5
2.2. Csirketrágya szerepe és jelentősége a mezőgazdaságban	8
2.3. Bentonit szerepe és jelentősége a mezőgazdaságban	12
2.4. Szuperabszorbens polimerek szerepe és jelentősége a mezőgazdaságban	16
2.4.1. Szuperabszorbens polimerek szerkezete, tulajdonságai	17
2.4.2. Szuperabszorbens polimerek mezőgazdasági alkalmazása	22
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	25
3.1. Általános módszertani leírás	25
3.1.1. Kísérletekhez felhasznált anyagok.....	25
3.1.2. A kísérletekhez felhasznált talajok és általános jellemzőik.....	26
3.1.3. Kísérleti és vizsgálati helyszínek	29
3.1.4. A kísérletek során elvégzett talaj-, növény- és termésvizsgálatok	29
3.1.4.1. <i>A DE MÉK Agrárműszerközpontjában elvégzett mérések.....</i>	29
3.1.4.2. <i>A DE MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében elvégzett mérések.....</i>	30
3.1.4.3. <i>A DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézetében elvégzett mérések</i>	31
3.2. Talajinkubációs kísérletek módszertani leírása	32
3.2.1. Kísérleti körülmények bemutatása.....	33
3.2.2. I. Talajinkubációs kísérlet.....	34
3.2.3. II. Talajinkubációs kísérlet	36
3.2.4. III. Talajinkubációs kísérlet	37
3.2.5. A kísérletek során alkalmazott számítások.....	39
3.3. Tenyészedény kísérletek módszertani leírása	41
3.4. Szabadföldi kísérletek módszertani leírása (Pallag)	45
3.5. Statisztikai analízis	50
4. EREDMÉNYEK.....	51
4.1. Termékkialakítási előkísérletek eredményei	51
4.2. Talajinkubációs kísérletek eredményei.....	52
4.2.1. I. Talajinkubációs kísérlet.....	52
4.2.2. II. Talajinkubációs kísérlet	59

4.2.3. III. Talajinkubációs kísérlet	66
4.3. Tenyészedényes kísérletek eredményei	78
4.3.1. Paradicsommal végzett tenyészedény kísérletek eredményei	78
4.3.2. Uborkával végzett tenyészedény kísérletek eredményei	88
4.4. Szabadföldi kísérletek eredményei (Pallag)	96
4.4.1. Előkísérlet	96
4.4.1.2. <i>Előkísérlet talajvizsgálati eredményei</i>	96
4.4.1.3. <i>Előkísérlet levélvizsgálati eredményei</i>	97
4.4.1.4. <i>Előkísérlet gyümölcsvizsgálati eredményei</i>	97
4.4.2. Talajvizsgálatok eredményei (Pallag, 2021-2022)	98
4.4.3. Levélvizsgálatok eredményei (Pallag, 2021-2022)	104
4.4.4. Gyümölcsvizsgálatok eredményei (Pallag, 2021-2022)	107
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	114
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	118
7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	119
8. ÖSSZEFOGLALÁS	120
9. SUMMARY	124
10. IRODALOM	128
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	
12. NYILATKOZAT	
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	
MELLÉKLETEK	

1. BEVEZETÉS ÉS TÉMAFELVETÉS

Az elmúlt évtizedekben a túlnépesedés problémája világviszonylatban egyre inkább központi kérdéssé vált, hiszen ez a probléma szorosan összefügg fenntarthatósági, versenyképességi és gazdasági kérdésekkel is, melyek többek között csökkenő élelmiszer-biztonságot, romló élelmiszerminőségi és mennyiségi mutatókat, de növekvő élelmiszerigényt eredményeznek (DRABAN CZ, 2020; DURO et al., 2020).

A globális népességnövekedés mellett, a jövő mezőgazdasága számára központi kérdés a klímaváltozás által okozott környezeti változások, szélsőségek hatékony kezelésére való felkészülés. Hazai vonatkozásban ez utóbbi hatásaival egyre nagyobb mértékben kell számolnunk. A magyarországi klíma adatok alapján ugyanis folyamatos hőmérséklet emelkedés, csökkenő és kedvezőtlen eloszlású csapadékmennyiség, elhúzódó vegetáció, fokozódó transpiráció valamint az agroökológiai zónák fokozatos eltolódása figyelhető meg az elmúlt években (SOLTÉSZ, 2003; HARNOS és CSETE, 2008; BARTHOLY et al., 2011). A fenológiai fázisok elhúzódása (BINDI és OLESEN, 2011); az időjárási extrémítások növekvő amplitúdója és gyakorisága (SOLTÉSZ et al., 2008; SOLTÉSZ et al., 2010; NAGY, 2018); a tápanyagfelvételi zavarok fokozódó megjelenése (AKINCI és LÖSEL, 2012) valamint a termés minőségromlása (RACSKÓ és SCHRADER, 2012) mind-mind, újabb és újabb kihívások elé állítja az agrárszektor résztvevőit - nemcsak a gazdákat, de az agráriumban oktató, kutató szakembereket és a politikai döntéshozókat egyaránt.

A gazdálkodók világszerte egyre inkább olyan új innovációk és technológiák használatára fognak fókuszálni, amelyek képesek a fenti problémákat orvosolni a fenntarthatóság és a hatékonyság figyelembevételével.

Ráadásul, napjainkban a globális népességnövekedés és klímaváltozás miatt egyre szűkülő termőterület áll rendelkezésre, hogy kielégítsük a növekvő mennyiségű és minőségű élelmiszer termelése iránti igényt. Ezeknek a termőterületeknek a védelme és megőrzése tehát kulcsfontosságú az élelmezés- és élelmiszerbiztonság szempontjából.

A minőségi élelmiszer előállítás kiindulópontja ugyanis a szerves és szervesetlen tápanyagokban egyaránt gazdag, megfelelő vízháztartású, mikrobiológiai aktivitású, egészséges talaj.

2002-ben az Európai Bizottság a talaj csökkenő szervesanyag-tartalmát jelölte meg a talajromlás egyik leg súlyosabb okaként, különösen Dél- és Kelet-Európában. Éppen

ezért az Európai Innovációs Partnerség „Termelékenység és fenntarthatóság a mezőgazdaságban” (EIP-AGRI) programja különösen nagy hangsúlyt fektetett az olyan jellegű kutatásokra, amelyek eredményeképpen a mezőgazdasági termelők olyan intézkedéseket tudnak hozni, melyekkel megakadályozható a talajromlás okozta szén- és nitrogénveszteség, a talajvízzel való kimosódás és az erózió. A cél a talaj széntartalmának növelése (szénmegkötés), akkor a talajban levő szerves anyagok lassú lebomlását segítő gyakorlatok a leghatékonyabbak ("DEMETER" EU LIFE és "Catch-C" (szénfogó) projekt). A lassú lebomlás azonban korlátozhatja a növények tápanyagellátását így olyan innovatív megoldásokra van szükség, amelyek hatékonyan kezelik ezeket a problémákat. Az elmúlt harminc évben hazánkban az állatállomány drasztikus csökkenése miatt viszont csökkent az istállótrágya mennyisége és visszaszorult a szerves trágyázás gyakorlata (SÁRDI, 2011). Továbbá az elmúlt évtizedek nem termőhely orientált, kiegyensúlyozatlan tápanyagpótlási gyakorlata, valamint a fokozódó klimatikus anomáliák és extrémítások a talajok degradációját, szerves anyag és tápanyag tartalmának csökkenését, vízgazdálkodási tulajdonságaiknak romlását okozták. Ezek eredményeként romlik a talajok termékenysége, negatív hatást gyakorolva ezzel a termelt élelmiszer alapanyagok mennyiségére és minőségére nemcsak hazai, de Európai, sőt világviszonylatban is (PANAGOS et al., 2013; YIGINI és PANAGOS, 2016; BAVEYE et al., 2020).

A klímaváltozás a hazai talajok vízgazdálkodási viszonyaira is döntő hatással van. Térségünkben hulló csapadék mennyisége a szántóföldi növények vízigényét mindössze 50-80%-ban fedei le (HEPP, 1989). A precíziós mezőgazdasági technológia kialakítása, a klímaadaptáció egyik fontos eszköze, melynél a víz- és tápanyagmonitoring, valamint a víztakarékos technológiák fejlesztése létfontosságú a jövő gazdálkodói számára (GYÓRFFY, 1999; NAGY et al., 2011 és 2013). Éppen ezért minden olyan agrotechnológiai megoldás, legyen az tápanyaggazdálkodási, növényvédelmi, fajtaválasztási, talajművelési etc. fejlesztés, ami elősegíti a klímaadaptációs (pl: víztakarékos) válaszokat, illetve reagálást - kiemelt prioritást élvez. Ezek a törekvések összhangban vannak az Egyesült Nemzetek Szervezete által 2012-ben kijelölt 17 különböző célnak (SDG-k) [11], amelyek a fenntartható fejlődés felé való elmozdulást segítik elő.

Mindezek alapján napjaink és a jövő egyre nagyobb kihívása a jó minőségű, magas tápértékű, nagy mennyiségű állati eredetű élelmiszer biztosítása és az előállításához szükséges takarmány mennyiségi és minőségi előteremtése. Ennek biztosítására ismét a

szerves trágyázás illetőleg a szerves tápanyagpótló készítmények alkalmazása kerül előtérbe az Európai Unióban, köszönhetően a korábbi programok (EIP-AGRI, DEMETER, CATCH-C) ajánlásainak illetőleg a GREEN DALE irányelveinek. Napjainkban így egyre bővül a szerves alapú talajjavító adalékanyagok köre (komposztok, biochar, komposzt tea, mulcs, különböző trágyaféleségek), ami a gazdálkodók rendelkezésére áll.

Továbbá, globális trendként figyelhető meg az elmúlt évtizedekben az állattartásban mutatkozó eltolódás a baromfitartás javára. A baromfi ágazat jelenleg legjelentősebb problémája éppen az, hogy a felgyorsult, megnövekedett kapacitású élelmiszertermelési ciklus jelentős mennyiségű - átalakítás nélkül használhatatlan trágyát, azaz ilyen értelemben hulladékot termel (KOVÁCS, 2011). Ez megfelelő kezelés nélkül szennyezi a talajt, a felszíni, felszín alatti vizeket és a levegőt (RICHA et al., 2020), valamint az élelmiszerláncba bekerülve veszélyezteti a biztonságos élelmiszertermelést. Átalakítva azonban kiváló tápanyagforrás, amit növekvő mennyiségű keletkezése is indokol.

A bevezetésben foglaltak alapján munkámban kiemelt jelentőséget szentelek olyan – a talajok vízgazdálkodási tulajdonságait javító – termékek fejlesztésére, melyek egyben alkalmasak a talaj mikrobiális életének serkentésére és szervesanyag-gazdálkodásának javítására.

A doktori kutatásom fő célkitűzése, hogy a nagyüzemi baromfitartásból kikerülő trágyából, megfelelő átalakítási, adalékolási eljárással kapott természetes, szervesanyagalapú talaj- és növénykondicionáló készítmények további termékfejlesztését valósítsam meg, melyek a talajélet fokozásán sok esetben reaktiválásán keresztül a talajok szerves anyag gazdálkodásának javítását, a tápanyagszolgáltató képességük fokozását képesek elérni a talaj fizikai, kémiai, vízgazdálkodási és biológiai tulajdonságainak javításával.

Ezen mechanizmusok által kiváltott pozitív hatások, elsősorban a tápanyagfelvétel befolyásolásán keresztül manifesztálódnak a növényi életfolyamatokban, így közvetlenül kihatnak a növény általános állapotára, mennyiségi és minőségi termés hozamára.

Kísérleteimben fermentált, adalékolt és pelletizált csirketrágyát (Bio-Fer Natur Extra a továbbiakban NEX) használtam további kiegészítéssel, hogy tulajdonságai tovább javíthatók legyenek és megfeleljenek a kor kihívásainak [I2].

Bár a csirketrágya kiváló tápanyagforrásnak tekinthető - és tradicionálisan használt mezőgazdaságban - önmagában történő alkalmazása nem biztosít megfelelő

tápanyagellátást, különösen kis tápanyagtőkés talajok esetén (AMANULLAH et al., 2010). Ezért fontos, hogy olyan anyagokkal egészítsük ki a hatását, amelyek megfelelnek a mai kihívásoknak, azaz a talaj csökkenő szervesanyag-tartalma és vízkészlete, az éghajlati változások (aszályok, hektikus csapadékhullás) és a tápanyag kimosódás okozta problémáknak. Ennek elérése érdekében két adalékanyag típust használtam a fermentált csirketrágya tulajdonságainak javítására. Egyrészt szuperadszorbens polimereket (SAP-ok, hidrogélek) melyek alkalmasak nagymennyiségű víz megkötésére, tárolására valamint szolgáltatására. Másrészt agyagásványként bentonitot, amely szintén alkalmas a talaj víz-, és tápanyag-gazdálkodásának javítására.

A fejlesztett termékek hatékonyságát talajkémiai és vízgazdálkodási vizsgálatokkal ellenőriztem, komplex Termék-Talaj és Termék-Talaj-Növény rendszerben. Hatékonyságukat, pedig kezelés – hatás összefüggésvizsgálatok készítésével térképeztem fel.

Ezek alapján fontosabb célkitűzéseim a következők voltak:

1. A termékfejlesztés révén olyan prototípus termék/ek előállítása és tesztelése a cél, amelyek hatékonyan használhatók a biztonságos és minőségi élelmiszer alapanyag termelésben és amelyek alkalmasak lehetnek kereskedelmi forgalomba hozatalra.
2. A fejlesztett prototípus termékek, kompozitok hatásának laboratóriumi (talajinkubációs), tenyészedényes (modell) és szabadföldi kísérletekben történő vizsgálata, üzemi megfigyelések, valamint talaj- és növényanalitikai vizsgálatok révén.

Munkám során céljaimat úgy próbáltam megvalósítani, hogy mindeközben csökkentsem a baromfitartás során képződő veszélyes hulladék (EWC 020106) mennyiségét és átalakítva azt elősegítsem a körforgásos gazdálkodásban történő alkalmazását.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Klimatikus tényezők hatása a mezőgazdasági termelésre

Számos tanulmány rámutatott, hogy az elmúlt két évtizedben az aszályok világszerte több mint 2 milliárd embert érintettek, és hatásuk egyre fokozódik [I3], (IPCC, 2014, 2018; VAN LANEN et al., 2016). A 21. század eleje óta a nagy intenzitású aszályok egyre gyakrabban és intenzívebben érintik Európát és a legtöbb európai ország jelentős társadalmi-gazdasági veszteségeket szenvedett el ezen események következtében [I3], (SPINONI et al., 2020; STAHL et al., 2016).

IONITA és NAGAVCIUC 2021-es tanulmányukban az 1901-2019 közötti időszak aszályjellemzőit elemezték európai szinten három aszályindex segítségével. Eredményeik arra utalnak, hogy Közép-Európa és a mediterrán térség a potenciális evapotranspiráció és a levegő középhőmérsékletének növekedése miatt egyre szárazabbá válik. Rámutattak, hogy a közepes, súlyos és szélsőséges aszályok gyakorisága Közép-Európában és a mediterrán térségben az elmúlt két évtizedben növekedett és valószínűsíthető, hogy az aszályok mind időtartama, mind pedig mértéke a közeljövőben még inkább fokozódik.

A 2018-2022-es időszakban Közép-Európa több mint 50%-át érintette aszály, ami jelentős következményekkel járt a gazdaságra, a társadalomra és a biológiai sokféleségre nézve (BAKKE et al., 2020; HARI et al., 2020; IONITA et al., 2020, 2021; IONITA és NAGAVCIUC, 2020; SCHULDT et al., 2020). Hasonló megállapításokra jutott az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (JRC, Joint Research Centre) [I4], mely szerint az uniós tagállamok fele szenved az aszálytól. Az Európai Aszálymegfigyelő Központ (EDO, European Drought Observatory) legfrissebb adatai pedig azt mutatják, hogy a Központ által használt háromfokozatú skálán az Európai Unió területének 47%-a, a második, figyelmeztetés (Warning) szinten míg 15%-a a legmagasabb, Riasztás (Alert) fokozatban helyezkedik el.

A 2000-2019 közötti időszakban a talaj nedvességtartalma a 38 EGT-tagállam (EGT-38) és az Egyesült Királyság esetében a vegetációs időszakban többszörösen a kritikus szint alatt volt. A 2003-as évtől eltekintve a legnagyobb talajnedvesség-hiány az időszak utolsó 9 évében fordult elő, ami azt jelzi, hogy az aszálynyomás gyakorisága növekszik. A vegetációs időszak talajnedvesség-hiányával érintett terület szintén nőtt

2000 és 2019 között, a legnagyobb mértékben az időszak utolsó 3 évében. A 2017-es becsült 800 000 km²-ről 2019-re 1,45 millió km² -re, azaz 80%-kal nőtt [I5].

PINKE et al. (2022) rámutattak, hogy a mediterrán és a Kárpátok-Balkán régió nagy részén, valamint Kelet-Európában a legszárazabb talajokat regisztrálták az elmúlt évtizedekben, ami azt jelenti, hogy a nyári periódusban az európai szántóföldek 45,5%-án jelentősen csökkent a talaj felső 28 cm-es rétegének rendelkezésre álló víztartalma. Hasonlóan, csökkenő feltalaj-nedvességről számolt be a Magyar Zöldség-Gyümölcs Szövetség és Terméktanács [I6]. A FruitVeb szerint: Az elmúlt néhány év történelmi aszályos időszakának hatása minden magyarországi gyümölcsfajta állapotában megmutatkozott. A talaj mélyebb rétegeiben tavaly nyár óta egyre súlyosbodó vízhiány következtében a gyümölcsök többsége nem érte el az ideális méret- és beltartalmi értéket. Ez azt jelenti, hogy 2022-ben 42 százalékkal kevesebb almát takarítottak be, mint a korábbi években. Mindez azt jelenti, hogy az emelkedő éves átlaghőmérséklet és a szélsőséges csapadékviszonyok miatt a magyar mezőgazdaságban várhatóan egyre nagyobb kockázatot jelent a stabil terméshozam elérése (BAKUCS et al., 2020).

Természetesen más tényezők is fokozzák, fokozhatják a talajnedvesség csökkenését. Ilyen például a nem megfelelő talajállapot esetén végrehajtott szántás (PITTELKOW et al., 2015), a túlzott talajvíz-elvezetés (PINKE et al., 2018) és a talajvíz-kitermelés (HORNBECK és KESKIN, 2014; PEPLIŃSKI, 2021).

Napjaink nemzetközi környezetvédelmi politikájának éppen ezért az egyik legnagyobb kihívása a talajvíz csökkenésének és általában a globális talajvíz-válságnak a megállítása és sikeres enyhítése (FAMIGLIETTI, 2014).

A sokszor krónikussá váló vízhiány ugyanis nemcsak a szántóföldi növényeket, hanem a gyümölcsösöket is érinti, világszerte (ARORA, 2019). Az aszály lelassíthatja a fák növekedését és/vagy csökkentheti a gyümölcsök terméshozamát és minőségét mivel romlik a tápanyagok felvehetősége, nő a talajfelszín közeli rétegek hőmérséklet ingadozása, a fokozódó transzspirációval nő a fák vízigénye, nő az öntözés iránti igény, romolhat az öntözővíz minősége, csökken a termésbiztonság, valamint eltolódik a gyümölcsstermesztési zónák határvonala (SOLTÉSZ, 2003). Aszályos periódusban az intenzíven transzspiráló lombzat még a gyümölcsből is képes vizet és azzal együtt tápelemeket kivonni, és ha később a gyümölcs vissza is nyeri elvesztett víztartalmát, a tápelem-összetétele ilyenkor is magán viseli a stressz hatását, mivel az elemek mobilitása elmarad a víz mobilitásával szemben és az asszimilátumok képződésének üteme meghaladja a tápelemek beépülését (NAGY, 2009).

Természetesen ezek a jelenségek nem újkeletűek, SOLTÉSZ már 2003-ban megfogalmazta, hogy 2050-ig a következő időjárási változásokra számíthatunk:

- nyáron 0,8°C, télen 1-2,5°C hőmérséklet-emelkedés,
- 10%-os napfénytartam-növekedés,
- 20-100 mm közötti csapadékcsökkenés,
- a vegetációs periódus 10 napos meghosszabbodása (SOLTÉSZ, 2003).

Ezért egyre sürgetőbb feladata a szakembereknek, kutatóknak, hogy olyan megközelítéseket találjanak (aszálytűrő fajták és alanyok választása, talajtakarás, deficit öntözés, metszés) amelyekkel megoldhatók ezek a problémák (NAGY, 2009; DEVIN et al., 2023).

Szabadföldi kísérleteim tesztnövényeként éppen ezen megfontolások miatt az almát választottam, amely világ egyik legfontosabb gyümölcse (komoly magyar tradíciókkal), és termelése az elmúlt évtizedben folyamatosan nőtt, 46-ról 94 millió tonnára éves viszonylatban. A fenti változások és hatások eredményeként azonban a világ friss almatermése 2022 és 2023-ban mintegy 4,3 millió tonnával csökkent az USDA legfrissebb (2023-as) jelentése szerint. A csökkenés okai több tényezőre vezethetők vissza: az időjárási anomáliák növekedése, a talaj vízgazdálkodásának romlása, a talaj degradációja és a talaj szervesanyag-tartalmának (Soil Organic Matter, SOM) csökkenése. Magyarországon például a súlyos aszály miatt 2022-ben 30%-kal kevesebb alma termett, mint 2021-ben. Hasonló, de kisebb mértékű csökkenést tapasztaltak Lengyelországban, Németországban és Új-Zélandon is az éghajlati anomáliák következtében [16]. Éppen ezért Európa-szerte kulcsfontosságú a gazdálkodók számára, hogy a csapadékból minél többet visszatartsanak a talajban és a fák számára elérhetővé tegyék ezeket a készleteket.

A fentiek alapján az időjárási anomáliák, valamint a földhasználat intenzívebbé válása okozta hatások mérséklése érdekében ültetvényeinket olyan állapotba kell hoznunk, hogy a talajaik a teljes vegetációs időszak alatt optimális tápanyag-, szervesanyag- és víztartalommal rendelkezzenek, mert csak így biztosítható a fogyasztók növekvő igényének megfelelő minőségű és mennyiségű termés kialakulása.

PAPP (1997) megfogalmazása szerint ahhoz, hogy a gyümölcsstermő növényeink könnyebben tudják áthidalni a kedvezőtlen időjárási vegetációs szakaszokat – amelyekre

rendszerint számítanunk kell – elengedhetetlen az ültetvény jó kondíciója. Nem túlzás állítani, hogy hazánk ökológiai viszonyai között a termésbiztonság egyik legfontosabb tényezője a trágyázással megteremthető kedvező, harmonikus tápanyag-ellátottság. Habár a termesztők az időjárást és az abban fellépő anomáliákat nem képesek befolyásolni, mégis cél- és okszerű, tudatos tápanyag-gazdálkodással számos lehetőségük van ezeknek az effektusoknak a kiküszöbölésére, hatásaik tompítására a megfelelő mennyiségű és minőségű termés kialakítására.

A fentiek alapján összefoglalóan megállapítható, hogy a melegedő éghajlattal együtt járó fokozódó evapotranszpiráció, az aszályok, a hőhullámok, a klimatikus anomáliák gyakoribbá válása miatt gyakorlatilag biztos, hogy a talajnedvesség megőrzése és a tápanyagok folyamatos utánpótlása kulcsfontosságú lesz a megfelelő minőségű és mennyiségű termés eléréséhez, függetlenül a termesztett növényfajtól.

Ennek megvalósítása érdekében a gazdálkodók számára olyan alternatívákat kell kínálni, amelyeket sikerrel alkalmazhatnak gazdálkodásuk elősegítése érdekében.

Ilyen alternatíva lehet a baromfítartás során nagy mennyiségben képződő, potenciálisan veszélyes hulladéknak minősülő trágya átalakítása és kiegészítése nagy víz megtartó képességgel rendelkező adalékanyagokkal.

2.2. Csirketrágya szerepe és jelentősége a mezőgazdaságban

A világ népessége az utóbbi évtizedben jelentős növekedésen ment keresztül, 2020-ra elérte a 7 milliárd főt, és az előrejelzések szerint 2050-re körülbelül 10 milliárdra fog nőni. Következésképpen a világ élelmiszerigénye is folyamatosan és jelentősen növekszik. 2050-re az előrejelzések szerint az egy főre jutó élelmiszerigény megduplázódik (MANOGARAN et al., 2022). Mindezek mellett, az elmúlt néhány évben megfigyelhető volt a fejlődő országokban az ún. táplálkozási hajsza, ami következtében ezek az országok (a megnövekedett jövedelmek, a növekvő népesség és a gyors fejlődés miatt) táplálkozási attitűdökben a fejlett országokkal egyenrangúvá váltak. Ez a gabonafélékhez és más alapanyagokhoz képest rendkívüli keresletet okoz/okozott az állati fehérje iránt is (GODFRAY et al., 2018).

Az állati fehérjék között azonban jelentős eltolódás figyelhető meg a baromfi és azon belül is főképp a csirkehús iránti fokozódó kereslet javára. Erre szuperonálódik még rá a vallási előírások okozta hatás. Például a muszlimok számára tilos a sertéshús, a hinduk számára pedig a marhahús fogyasztása; az ilyen, a vallási meggyőződésekkel

kapcsolatos korlátozások miatt a baromfihús iránt évről-évre egyre nagyobb a kereslet a húsárak között (OTHMAN és RUSLAN, 2020).

Továbbá a gyors ciklusú előállítás (brojler csirkeartás), valamint az egészséges táplálkozás iránti fokozódó érdeklődés (kis koleszterintartalom) tovább növeli a csirkehús iránti keresletet.

A csirkehús iránti nagy kereslet miatt jelentősen megnőtt a tartástechnika egyik leglényegesebb környezetgazdálkodási problémája – a trágyakezelés kérdésének fontossága (LEE et al., 2017; RICHA et al., 2020). Becslések szerint egy csirke naponta 80-100 g trágyát termel, ami a testtömegének körülbelül 3-4%-a (ABDESHAHIAN et al., 2016). Világ és magyarországi viszonylatban is az utóbbi években rendkívüli módon növekedett a csirketrágya mennyisége [17].

Más haszonállatok ürülékéhez hasonlóan a csirketrágya is tápanyagokban gazdag szerves anyag, amely jelentős mennyiségű növényi tápanyagot, hormont, biostimuláns stb. tartalmaz, ami miatt szerves trágyaként használják a mezőgazdasági területeken – gyakran kezeletlenül. A csirketrágya nitrogén- és foszfortartalma legalább kétszer olyan nagy, mint más mezőgazdasági trágyáké, például a marhatrágyáé (SHAJI et al., 2021).

Napjaink egyik leglényegesebb agrokémiai problémája a műtrágyák túlzott használata, amely olyan környezetszennyezésekhez vezet, mint a levegőminőség romlása, az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának növekedése, a káros elemek felhalmozódása, a víztestek eutrofizációja, a talaj savasodása és a talajból történő fokozott tápanyagvesztés (elsősorban nitrogén kimosódás), valamint az erózió (ZHANG et al., 2018). A szerves trágyák használatának előnyei a műtrágyákkal szemben az, hogy a talaj szervesanyag-tartalmának növelésével javítják a talaj tulajdonságait, például a talaj aggregátumstabilitását és szerkezetét, ezáltal fokozzák a talaj víztartó és tápanyagszolgáltató képességét, a talaj levegőzöttségét, a mikrobiális aktivitást és a kationcserélő kapacitást is (ADEYEMO et al., 2019). A kijutatott szervesanyag pozitívan befolyásolja a talajok hidraulikus vezetőképességét, porozitását és a nehéz talajok aggregációját, valamint javítja a víz beszivárgási sebességét a talajban, így lehetővé teszi a víz könnyebb mozgását a talajprofil vízszintes és oldalirányú gradiensében (AMANULLAH et al., 2010). Továbbá, alkalmazásuk elősegíti a talajban élő mikroorganizmusok szaporodását, és így intenzívebbé teszik a lejátszódó biokémiai, mikrobiológiai folyamatokat (KOBIERSKI et al., 2017). Mindezek alapján a szerves trágyázás kifejezetten hasznos lehet főképp kis tápanyagtökéjű, az emberi beavatkozásra (pl.: trágyázás) érzékeny területeken.

Természetesen, mint a szervestrágyák mindegyikének a baromfitrágyának a kémiai és fizikai összetétele eltérő lehet. A trágya összetételét befolyásoló legfontosabb tényezők közé tartozik: a baromfitartás módja, a takarmányozás, a kitrágyázás időpontja, az alomanyag mennyisége és típusa. A trágya tárolása és kezelése szintén befolyásolja a trágya összetételét (KOBIEŃSKI et al., 2017). A baromfitrágya tápanyagértékének maximalizálása érdekében érdemes a trágyát a kijuttatás után minél hamarabb bedolgozni a talajba, hogy a tápanyagveszteségeket minimalizáljuk (pl.: a nitrogén körülbelül 40-70%-a a trágyában a kijuttatást követő első hat hétben áll rendelkezésre míg a nitrogéntartalom többi része ezután lassan szabadul fel, ahogy a szerves maradványok tovább bomlanak (RITZ és MERKA, 2013). A baromfitrágya optimális alkalmazása magában foglalja a baromfitrágya olyan mennyiségben és időzítésben történő kijuttatását, amely megfelel a termesztett növény tápanyagszükségletének és figyelembe veszi az adott terület időjárási viszonyait és talajvizsgálati eredményeit.

A friss baromfitrágya kezelése és alkalmazása azonban nehézkes a bűzhatás, a patogén összetevők és a nagy nedvességtartalma miatt. A baromfitrágya kezelésének másik problémája, hogy a tárolás, a szárítási folyamat és a trágya későbbi mezőgazdasági alkalmazása során nitrogénveszteség keletkezik. A nitrogénveszteség elsősorban denitrifikáció, a kezelés során végbemenő – jórészt elillanási folyamatok és a kijuttatás után, a nitrát kimosódása révén következik be (RICHA et al., 2020). A trágyából származó nitrogénveszteség nemcsak a trágya tápanyagértékének csökkenése miatt okoz gondot, hanem azért is, mert környezetszennyezéshez vezet –, így kijuttatása csak átalakítás után javasolt (BOLAN et al., 2010). Ilyen átalakítás a komposztálás, mely kedvezőtlen körülmények esetén (lúgos pH, nagyfokú levegőztetés és magas hőmérséklet) ammóniaveszteséget eredményezhet, amit agyagásványok (zeolit, bentonit) hozzáadásával csökkenteni lehet (REDDING, 2013). Továbbá a szárított és feldolgozott baromfitrágya-termékek, mint például a pelletek és porok, gyakran sterilizálódnak a gyártás során, így kevésbé jelentenek kockázatot.

Így annak ellenére, hogy a baromfitenyésztés olyan hatalmas előnyökkel jár, mint a hús- és tojástermelés, valamint a munkahelyteremtés, gyakran okoz környezeti kockázatokat, mivel a baromfitenyésztés során levegő- (pl.: szaghatás, ammónia felszabadulás), víz- és talaj-szennyezés következhet be (SHARPLEY et al., 2007; MANOGARAN et al., 2022). Amennyiben a baromfihulladék: toll, ürülék és a keltetőházi hulladékok nem megfelelő formában kerülnek felhasználásra, akkor jelentős környezeti szennyezést okozhatnak (RICHA et al., 2020).

Éppen ezért, a hulladékgazdálkodási stratégiák értékelésénél napjainkban a hulladékból termékké válás koncepciója egyre nagyobb figyelmet kap. E koncepció célja egy olyan fenntartható életmód ösztönzése, amelyben a hulladékok hasznosítását a benne rejlő környezeti előnyök, valamint a megélhetés javítása, a munkalehetőségek növelése és az új technológiák előmozdítása miatt tekintik fontosnak (XU et al., 2019). A hulladékoktól a jólétig terjedő erőfeszítések párhuzamosak a körforgásos gazdasági modellel. A körforgásos gazdasági modell fokozatos elmozdulást jelent a lineáris gazdasági modelltől, amely a bölcsőtől a sárga tartó folyamat alapján működik, amely az egyszer használatos anyagokat tökéskíti fel, hozzájárulva a jelentős és káros környezeti hatásokhoz. A körforgásos gazdasági modell ezzel szemben az erőforrások, például mezőgazdasági melléktermékek újrahasznosítása és regenerálása révén minimalizálja a hulladékot, ami tisztább termeléshez vezet (DIACONO et al., 2019). A körforgásos gazdasági modell elfogadása ideális esetben a hulladékmentességhez vezet, és ezt követően értékláncokat hoz létre, amelyekben megújuló energiát és természeti erőforrásokat használnak fel összekapcsolt körfolyamatokban, ahelyett, hogy az erőforrásokat lineáris áramlásokban fogyasztanak el és ártalmatlanítanak (LACY és RUTQVIST, 2016). A csirketrágya számos kezelési módszere eredményez körforgásos gazdasági kimeneteket; például a trágya tápanyagpótló készítményként történő felhasználása.

Mindezek összegzése alapján megállapítható, hogy az állati trágyák használatának egyik kulcsfontosságú kérdése, hogy a bennük lévő tápanyagok mennyi idő alatt és milyen formákban válnak a növények számára felvehetővé. Ez a szerves trágyák esetén döntően a mineralizációtól függ, amit a talaj hőmérséklete, pH-ja, nedvességtartalma, mikrobiális aktivitása határoz meg elsődlegesen. Éppen ezért munkám során kiemelt figyelmet szenteltem a talajba jutott szerves kompozitok átalakulásának talajinkubációs, tenyészedényes és szabadföldi kísérleteken keresztüli nyomon követésére.

Azonban a csirketrágya önmagában nem biztosít elegendő tápanyagellátást és kedvező körülményeket (AMANULLAH et al., 2010), különösen olyan talajok esetében, amelyeket rossz tápanyag-gazdálkodás és elégtelen vízháztartás jellemez (GAIKWAD et al., 2017).

Ebből kiindulva, annak érdekében, hogy a már kereskedelmi forgalomban kapható Bio-Fer termékcsalád egyik tagjának (Natur-extra - NEX) tulajdonságait tovább javítsam két adalékanyag típust használtam. Egyrészt, agyagásványként bentonitot, másrészt a

vízmegettartás fokozására szuperadszorbens készítményeket alkalmaztam erre a célra. A már meglévő termék tovább fejlesztésével a célom az volt, hogy olyan prototípus terméket/termékeket készítssek, amelyek kereskedelmi forgalomban is megállják a helyüket.

2.3. Bentonit szerepe és jelentősége a mezőgazdaságban

Kísérleteimben bentonitot, mint agyagásványt használtam adalék anyagként annak érdekében, hogy a rendelkezésre álló fermentált és granulált csirketrágya (Bio-Fer termékcsalád, [I2]) tulajdonságait tovább javítsam és segítségével kedvezőbb tápanyagszolgáltatási tulajdonságú és vízháztartású talajkörülményeket alakítsak ki. Választásom azért esett a bentonitra, mert hatását az elmúlt évtizedekben rengetegen vizsgálták és általánosan elfogadott talajjavítószerként használják a mezőgazdasági gyakorlatban (KAZÓ, 1981; LAZÁNYI 2003; LAZÁNYI 2005; TÁLLAI, 2011; MI et al., 2020; BORAH et al., 2022).

A bentonit egy speciális agyagfajta, aminek több változata is létezik, attól függően, hogy milyen domináns elemek találhatóak benne. Ezek az elemek lehetnek alumínium, kálium, kalcium és nátrium. A bentonit fontos tulajdonsága, hogy vízzel keveredve akár saját térfogatánál 15-20-szor nagyobb mennyiségű vizet képes megkötni, vízzel érintkezve gélesedik, továbbá a zeolithoz hasonlóan nagy ioncserélő kapacitással rendelkezik (XU et al., 2014).

Az agyagásványok, így a bentonit is réteges szerkezetű nanorészecskék, amelyek különböző számú oktaédes és tetraédes lapokból, mint építőelemekből állnak. Ezeket a rétegtípus, azaz a tetraédes és oktaédes lapok aránya és szerkezeti elrendeződésük alapján osztályozzák az agyag alapszerkezeti egységében, amelyet a nettó töltés tekintetében öt típusra osztanak tovább (BARTON és KARATHANASIS, 2002). Ezek a kaolin (kaolinit, szerpentin), csillám (csillám, talkum, pirofilit), szmektit (montmorillonit, bentonit, beidellit, nontonit), vermikulit és klorit, amelyek nettó negatív töltése 2-5, 15-40, 80-120, 100-180 és 15-40 cmol/kg között mozog (BRADY, 1990).

A bentonit egy olyan közet, amely főként 2:1 rétegezetségű agyagásványt, a montmorillonitot, a szmektit család egyik tagját tartalmazza. Az utóbbi években számos országban elismerték, hogy az agyagásványok (zeolit, bentonit etc.) nagyon hatékony talajjavító adalékanyagok, főképp kevésbé termékeny homoktalajok tulajdonságainak

javítására (KAZÓ et al., 1982a,b; MI et al., 2020; DATTA et al., 2020; AL-TAEY et al., 2023).

Hatásukat hazánkban is széleskörűen vizsgálták az elmúlt évtizedekben, bizonyítva, hogy használatuk javítja a talajszerkezetét, víz- valamint tápanyag-gazdálkodását (KÖHLER, 2003; LAZÁNYI, 2003; TÁLLAI, 2011; KÁTAI et al., 2011; KÁTAI et al., 2012).

Ezek alapján a bentonit agráriumban történő felhasználásának előnyeit a következőkben lehet összefoglalni:

- Javítja a talaj szerkezetét (elsősorban homoktalajoknak) (AL-TAEY et al., 2023).
- Szabályozza a pH-t, növeli a kationcserélő kapacitást, és kedvezően befolyásolja a tápanyagok visszatartását, valamint hozzáférhetőségét az adott talajrétegben (KAZÓ, 1981; KÁTAI et al., 2010; CROKER et al., 2004).
- Növeli a műtrágya és növényvédőszer használat hatékonyságát, és ezáltal javítja a mezőgazdasági termelékenységet (FAYEK et al., 2020; WYSZKOWSKA et al., 2021).
- Növeli a talaj nedvességtartalmát és javítja vízmegtartó képességét (TÁLLAI, 2011; MI et al., 2020).
- A műtrágyából vagy más forrásokból származó tápanyagokat jobban hozzáférhetővé teszi a növények számára (CZABAN és SIEBIELEC, 2013; HUSSAIN et al., 2022).

Napjaink egyik legjelentősebb tápanyagpótláshoz kapcsolódó problémája, hogy a kijutatott, oldékony, a talajszemcsékhez kevésbé kötődő nitrát-N a gyökérszónából – köszönhetően a hektikus, özönvíz jellegű csapadékhullásnak – könnyen kimosódik, ezzel egyrészt csökkenti a gyökérszóna tápanyagtartalmát, másrészt veszélyezteti a talajvíz készletet. Ez a termékenység csökkenéséhez és a vízszennyezés növekedéséhez vezet. HUSSAIN et al. (2022) a bentonit hatását különböző nitrogén (N) műtrágyákkal keverve elemezték liziméteres vizsgálatokban. Vizsgálatukban három N-forrást (kalcium-nitrát [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$], ammónium-klorid [NH_4Cl] és karbamid [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] 300 kg N/ha^{-1} mennyiségben) használva elemezték a nitrát kimosódást a bentonittal [0, 2 és 4% (m/m)] kezelt homoktalajból. Az eredmények azt mutatták, hogy a bentonit jelentősen csökkentette a nitrát megjelenését a csurgalékvízben. Legjelentősebb hatása a 4%-os bentonit kezelésnek volt. A homoktalajból történő nitrát kilúgozódás a N-források függvényében változott, a következőképpen: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 > \text{NH}_4\text{Cl} > (\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. A

vizsgálat kezdetén az NH_4Cl és a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ esetében is nagyobb nitrát-koncentrációt mutattak ki, míg a karbamidnál a nitrát-kimosódás a későbbi szakaszban vált intenzívé – köszönhetően az eltérő kémiai összetételnek és az időközben bekövetkező nitrifikációnak. Ez a vizsgálat azt jelezte, hogy a bentonittal történő talajkezelés hatékonyan mérsékelheti a nitrát homoktalajból történő kimosódását, és ezáltal megakadályozhatja a N-trágya veszteségeket és a talajvíz szennyezését (HUSSAIN et al., 2022). Hozzá kell azonban tenni, hogy ilyen nagy dózisú kezeléseknél a szántóföldi növénytermesztésben nincs létjogosultsága.

A tápanyag-kimosódás mellett az éghajlati változások okozta klimatikus anomáliák hatásainak enyhítésében is jelentős szerep jut a bentonitnak (ZAYANI et al., 1996). A bentonit alkalmazása a szárazságtól sújtott talajokon kedvezően hatott a talajok biológiai aktivitására és enzimszintjére (ureáz, kataláz, invertáz, foszfátáz etc.) mivel a talajnedvesség növekedése olyan környezetet teremt, amely kedvezőbb a talajban élő szervezetek számára, és ez által a talaj enzintermelésének és aktivitásának növekedését eredményezi (KÁTAI et al., 2010; MI et al., 2020; AL-TAEY et al., 2023). Ezek az enzimek ugyanis alapvető szerepet játszanak a tápanyagok körforgásában és a szerves anyagok lebontásában. Ennek eredményeképpen ez javítja a tápanyagokhoz való hozzáférést, a talaj szerkezetét, a víz beszivárgását és visszatartását, valamint a mikrobák növekedését és sokféleségük fenntartását. Ezáltal a bentonit, mint talajjavító anyag alkalmazása a jövőben elengedhetetlen lesz olyan területeken, ahol az ökoszisztémák ellenálló képességének fokozása és például a szárazsággal kapcsolatos kihívások enyhítése a cél (MI et al., 2017).

Ezen kedvező tulajdonságok mellett igen fontos hangsúlyozni azt, hogy az agyagásványok és így a bentonit is hatással van a talajok C-N-forgalmára, arányára. A talaj C- és N-tartalmának vizsgálata fontos a szárazföldi ökoszisztémákban, hiszen napjainkban kiemelt fontosságú a C- és N-megkötés fokozására irányuló megbízható stratégiák kidolgozása. Számos mezőgazdasági gyakorlat a SOM veszteségét okozza, különösen a homokos talajokon (JOHANNES et al., 2000). A talaj szerves C-tartalma a talajminőség alapvető eleme, így a talaj szerves C-tartalmának növekedése általában a talajművelés és a víztartó képesség javulásával, valamint a növényi tápanyagok tárolásával és hozzáférhetőségével hozható összefüggésbe (MARLAND et al., 2004). Jelenleg jelentős figyelmet fordítanak arra, hogy a talajok C-nyelőként működhetnek (KNICKER, 2011). A C ásványi fázisokhoz való kapcsolódását egyre inkább felismerték,

mint a szerves anyagot a talajban a mikrobiális eredetű lebomlással szemben stabilizáló fő mechanizmust (SPARKS és CHEN, 2013).

A C-felhalmozódás dinamikáját azonban a N-átalakulások dinamikájával együtt kell figyelembe venni. Mivel a N a biológiai termelékenység korlátozó tényezője és fontos SOM-összetevő, a N megkötése szorosan összefügg a humuszos anyag képződésével és felhalmozódásával (KNICKER, 2011), és a C-felhalmozódás ütemét a N-felhalmozódás üteme szabályozza (JOHANNES et al., 2000).

Ezen megfontolások alapján a természetes adalékok, mint például a bentonit és annak trágyával való kombinációja, hasznos eszközök lehetnek a SOM-tartalom fenntartására vagy növelésére a talajban fenntartható módon (DATTA et al., 2020).

További előnye a bentonit alkalmazásának, hogy immobilizálja a toxikus xenobiotikus vegyületeket (herbicidek és antibiotikumok), amelyek jelen vannak a talajban (DAVIES és JABEEN, 2002; GENÇ és DOGAN, 2013) és főképp kis tápanyagtökéjű, az emberi beavatkozásokra érzékeny (pl. homok textúrájú) talajok esetén széles körben használható a szennyezett talajok rekultivációjára (BAKER et al., 2011; LI et al., 2020).

Mindezen előnyös tulajdonságokon túl, számos korábbi tanulmány számolt be arról, hogy a szerves anyag talajba történő kijuttatása növelte a talaj szerves szén tárolását (PAUSTIAN et al., 2020; MI et al., 2020; DATTA et al., 2020) főképp homoktalajok esetén. A homoktalajok víz- és tápanyag-gazdálkodásának javítására hazánkban is rengeteg próbálkozás történt különféle talajjavító anyagok felhasználásával (EGERSZEGI, 1953; KAZÓ et al., 1982a,b; KÖHLER, 1984; BALOGH, 2001; LAZÁNYI, 2003, 2005; MAKÁDI et al., 2007; SZEDER et al., 2008).

A trágya hozzáadása a talajhoz növeli annak szervesanyag tartalmát melynek révén nő a kationcsere kapacitás. A nagyobb kation csere kapacitás érték segíti a tápanyagmegkötést és a tápanyagok elérhetőségét a talajban (BOHÁC et al., 2019; ARANYOS et al., 2023). A bentonit változtathatja térfogatát sűrűségét a talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének függvényében, ezáltal reakcióteret hozva létre a talajban így fokozva az egyidejűleg alkalmazott szerves trágya hatékonyságát (BAKER et al., 2011; CZABAN et al., 2013).

Mindezek alapján, összességében megállapítható, hogy a bentonit trágyával együtt történő használata hatékony és fenntartható módja lehet a talajminőség javításának (TÁLLAI 2011; KÁTAI et al., 2011).

Az ismertetett kedvező hatásokon túl, gyakran használnak különböző agyagásvány anyagokat (kaolin, montmorillonit és attapulgit) a szuperadszorbens polimerek (SAP-ok, hidrogélek) mechanikai szilárdságának, duzzadási arányának és sebességének javítására (GRABOWSKA-POLANOWSKA et al., 2021).

Ezen tapasztalatok alapján dolgozatomban arra törekedtem, hogy megvizsgáljam, hogy az alkalmazott fermentált szerves csirketrágya és a vele kombinált bentonit hatását miként tudom még markánsabbá tenni és a talaj tápanyagmegtartó képességét és vízháztartási tulajdonságait tovább javítani. Ennek érdekében, a termékhez különböző formában (szintetikus és szerves alapú) és dózisban adott szuperabszorbens polimerek hatásait is vizsgáltam. Majd a kapott eredmények tükrében értékeltem a kialakított kompozitok talaj tápanyag-gazdálkodási tulajdonságaira gyakorolt hatásait.

2.4. Szuperabszorbens polimerek szerepe és jelentősége a mezőgazdaságban

Az utóbbi évtizedekben, a mezőgazdasági gyakorlatban, egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik az ún. SAP-ok alkalmazása iránt (BUCHHOLZ, 1994; BUCHHOLZ és GRAHAM, 1998; ABD EL-REHIRN et al., 2004). Ez annak tulajdonítható, hogy a SAP-ok alkalmazása számos előnyös tulajdonsággal jár a talajok szerkezetére, tápanyag- és vízmegtartó képességére, melyek egyre súlyosabb problémát jelentenek napjaink gazdálkodói számára.

A világ száraz és félszáraz éghajlatú területein a vízhiány jelentős környezeti problémát jelent a szabálytalan térbeli és időbeli eloszlású, kis csapadékmennyiség, valamint a növekvő léghőmérséklet miatt, ami komolyan veszélyezteti a mezőgazdaság fenntarthatóságát (RUDZINSKI et al., 2002; YANG et al., 2015; PATRA et al., 2022; [18]).

Ez a megállapítás sajnos ma már Európa déli régióira és hazánkra is egyre inkább érvényes. Nedvesség stressz okozta körülmények között különböző élettani változásokat figyeltek meg, mint például a vízpotenciál csökkenése, a sztómák záródása, a fotoszintetikus aktivitás csökkenése, morfológiai elváltozások. Ezek komoly hatással vannak a növény terméshozamára, minőségére (PATRA et al., 2022). Korlátozott vízellátási körülmények között a vízhatékony technológiák alkalmazása kritikus fontosságú elemnek tekinthető a gyökérszóna kedvező talajnedvesség-egyensúlyának biztosításához (PEREIRA et al., 2002; PANIGRAHI et al., 2011).

Jelenleg a modern mikroöntözési technológiák, például az alacsony nyomású mikroöntöző és csepegtető öntözőberendezések fejlődése optimális öntözési fordulóval és/vagy mulcsozással párosítva megoldhatja a problémákat az öntözővízfogyasztás jelentős csökkentésével és a vízfelhasználás hatékonyságának javításával (BRAHMA et al., 2010; ABD EL-WAHED és ALI, 2013; DESHMUKH és HARDAHA, 2014). Ezeket a csúcstechnológiákat azonban elsősorban kifejezetten a nagy értékű kultúrákban alkalmazzák, és kellően nagy tőkebefektetést, ismétlődő működési kiadásokat és szakértelmet igényelnek a gazdálkodóktól.

Az égető problémák másik, alternatív megoldása, hogy nagymértékben duzzadó polimeranyagok kijuttatásával próbálja meg a talajnedvesség okozta stresszt leküzdeni, az optimális talajvízháztartást biztosítani és megfelelő mennyiségű és minőségű termést kialakítani (PATRA et al., 2022). Alkalmazásuk a vízhiányos körülmények közötti gazdálkodás új megközelítését jelenti, az által, hogy a párolgás, a mélybeszivárgás és a lefolyási veszteségek csökkentése révén megőrzik a talajnedvességet a növények aktív gyökérszónájában. Ugyanis, a SAP-ok olyan szemcsékből állnak, amelyek vízzel érintkezve eredeti méretüket akár több százszorosára duzzasztják (hiperakkumuláció) (GAIKWAD et al., 2017; KALHAPURE et al., 2016; AHMED és FAHMY, 2019). Bőséges esőzések és/vagy öntözés esetén hatalmas mennyiségű nedvességet képesek elnyelni és visszatartani, és visszaadni a talajba a növények vízigényének mérséklésére, amikor a rizoszféra zóna aszályos körülmények között kiszárad. A kísérletek azt mutatják, hogy a SAP-ok használata növeli a víz biológiai hozzáférhetőségét a növények számára (KULIKOWSKI et al., 2018).

2.4.1. Szuperabszorbens polimerek szerkezete, tulajdonságai

A SAP-ok háromdimenziós hálózatok laza keresztkötésű, hidrofil, sokszoros keresztkötésű makromolekulák (ABD EL-WAHED és ALI, 2013; SAINI et al., 2020; SAYYARI és GHANBARI, 2012), amelyek kovalens kötések vagy fizikai kölcsönhatások révén kapcsolódnak egymáshoz és a már említett speciálisan kialakított vízfelvevő képességgel és számos esetben biológiai lebonthatósággal rendelkeznek.

Ezek szerves polimerek, szerkezetükből adódóan egyedülálló képességgel rendelkeznek, hogy rövid időn belül nagy mennyiségű nedvességet legyenek képesek felszívni, amikor szabadon hozzáférhető vízzel érintkeznek. Majd a talaj víztartalmától függően ezek az anyagok a tárolt nedvességet a környező talaj- és rizoszféra-zónákba

deszorbálják, egyenletes módon, hosszabb időn keresztül (SAYYARI és GHANBARI, 2012; GAIKWAD et al., 2017).

A SAP-okban a vízfelvételeért a polimerlánc hidrofil csoportjai, azaz az akrilamid, akrilsav, akrilát, karbonsav etc. felelősek. Amikor ezek a polimerek vízzel érintkeznek, a víz ozmózis útján behatol a szerkezetükbe, ahol a hidrogénatomok ioncsere-reakcióba lépnek és pozitív ionokként távoznak. Ez a folyamat számos negatív iont hagy a polimerlánc hosszában, melyek negatív töltései taszítják egymást, és arra kényszerítik a polimerláncot, hogy kitekeredjen, szétnyíljon és vonzza a vízmolekulákat, majd hidrogénkötéssel megkösse őket (KALHAPURE et al., 2016). A SAP-ok e folyamat során száraz tömegük több mint 400-1500-szorosát képesek felvenni, és miniatűr víztározóként működnek.

A SAP-ok vízfelvevő képessége tehát a szerkezetükkel függ össze. Ez a tulajdonság a polimer vázhoz kapcsolódó hidrofil funkciós csoportok jelenlétéből adódik. A víz molekulákkal érintkező SAP hidrofil funkciós csoportjai solvatáción, majd disszociáción mennek keresztül. Karboxil-csoportok (anionos csoportok) jelenléte esetén negatív töltés halmozódik fel a polimerláncokon, ami a láncok taszítását okozza, és olyan teret hoz létre, amely lehetővé teszi a további vízfelvételt. Ugyanakkor a karboxil-csoportok oxigénje és a dipólus vízmolekulák pozitív része, illetve a hidroxil-csoport hidrogénje és a vízmolekula negatív oxigén felőli része között hidrogénkötések jönnek létre, amelyek stabilizálják a megduzzadt szerkezetet (BASHIR et al., 2020; KUMAR et al., 2018). Így amikor a SAP vizes közegbe kerül a polimer szegmensekben anionos vagy kationos csoportok képződnek, ami a láncok taszítását és a polimer nyújtását okozza. Ennek eredményeképpen a polimer akár egyenletesen töltött régiói közötti elektrosztatikus taszítás hajtja a víz vagy az oldott anyag diffúziós folyamatát a SAP szerkezetébe, hálózatába. A polimerláncok nyújtását rugalmas visszahúzó erők ellensúlyozzák (GUILHERME et al., 2015). Emellett a duzzadási folyamatokat és a vízfelszabadulást ozmotikus folyamatok szabályozzák. A polimer funkciós csoportjainak disszociációs folyamata során nátrium ellenionok keletkeznek. Ezek az ionok biztosítják a hidrogél elektromos semlegességét és növelik az ozmotikus nyomást a szerkezetben. A szerkezeten belüli és kívüli ozmotikus nyomás közötti különbségeket a szerkezeten belüli ellenionok (pl. Na^+) és a külső vizes oldatban lévő ionos vegyület koncentrációja közötti különbség okozza. A víz áthalad a féligáteresztő gél határán, de az áramlás iránya a gélen belüli és kívüli ozmotikus nyomáskülönbségtől függ. A fent leírt folyamatok nagy mennyiségű víz felhalmozódásához vezetnek a polimer szerkezetében, ami jelentősen

meghaladja a SAP molekulatömegét. A SAP kapacitás (duzzadási fok) egy olyan paraméter, amelyet 1 g száraz polimer által felszívott oldat vagy víz grammjában fejeznek ki. A funkciós csoportok típusa és a polimer térhálósodásának mértéke befolyásolja a SAP kapacitást. A SAP duzzadási foka függ a fragmentáltsági fokától és a felszívott oldatban lévő anyagok típusától is (BASHIR et al., 2020; KUMAR et al., 2018). A hidrogél polimer szerkezetében a hidrofil csoportok nagyobb száma segíti a nagyobb vízmennyiség adszorpcióját. A hasonló szemcseméretű kálium-poliakrilát (Aquasorb) és akrilamid-akrilát kopolimer (Aquaterra) összehasonlító vizsgálatai a poliakrilát jobb vízfelvevő képességét mutatták, mivel a poliakrilát esetében a hidrofil csoportok száma nagyobb (DĄBROWSKA és LEJCUŚ, 2012).

A hidrogél által felszívott víz, amelyet interstitialis víznek vagy pórusvíznek neveznek, a szilárd talajrészecskék között található, és a kapilláris erők tartják meg ezekben a terekben; meghatározott pH-értékkel rendelkezik és különböző ionokat tartalmaz. A pórusvízben lévő disszociált sók, köztük a vízkeménységért felelős kalcium- vagy magnézium-karbonátok jelenléte befolyásolja a hidrogél duzzadási fokát. A fémionok (Ca^{2+} , Al^{3+}) jelenléte csökkenti a hidrogélek nedvszívó képességét (LEJCUŚ et al., 2008). Ha a vízben egyértékű kationok (nátrium, ammónium) vannak jelen, az akril hidrogélek nedvszívó képessége körülbelül 65%-kal csökken. Kétértékű (kalcium, magnézium) vagy háromértékű (vas) kationok esetén a vízfelvevő képesség több mint 80%-kal csökken (DĄBROWSKA és LEJCUŚ, 2012; KULIKOWSKI et al., 2018). A nem ionos (poliakrilamid) hidrogélek kevésbé érzékenyek az oldatok ionerősségének növekedésére és a fémionok térhálósító tulajdonságaira (KULIKOWSKI et al., 2018). A hidrogél nedvszívó képessége a talaj pH-értékétől függően is módosítható. A SAP-ok a pH=4-11 közötti tartományban jól felszívják a vizet, míg pH=3 és az alatti értékeknél az abszorpció jelentősen csökken, pH=1,5-nél pedig szinte teljesen megszűnik (LEJCUŚ et al., 2008). Másrészt a módosított pektinnel végzett kutatások a pH növekedésével csökkenő vízfelvételt jeleztek. Így megerősítést nyert, hogy létezik egy olyan pH-tartomány, amely kedvező ahhoz, hogy a hidrogél nagyobb vízmennyiséget tároljon (GUILHERME et al., 2009; 2015). A hidrogélek 1 g szárazanyagra vetítve több mint 1000 g vizet képesek felvenni. A mezőgazdaságban azonban leggyakrabban olyan hidrogéleket használnak, amelyek duzzadási foka 400-600 g/g tartományban van. A túl magas duzzadási fokú hidrogél csökkenti a mechanikai szilárdságát (KULIKOWSKI et al., 2018).

Fontos megemlíteni, hogy a hálózati láncok közötti keresztkötések biztosítják az oldódással szembeni ellenállást, ami fontos tulajdonsága a SAP-oknak (AHMED, 2015). A hidrogélek között megkülönböztethetünk kémiai vagy fizikai térhálós hidrogéleket, mindkét csoport háromdimenziós térhálós szerkezetet alkot. A fizikai térhálós gélek esetében a térbeli szerkezetet molekuláris kölcsönhatások által összetartott polimerláncok alkotják: Van der Waals-erők, ionos kölcsönhatások, hidrogénkötések (GUILHERME et al., 2015; KULIKOWSKI et al., 2018). A kémiai térhálós hidrogélek olyan tartósan térhálósított polimerek, amelyek láncai kovalens kötésekkel kapcsolódnak (AHMED, 2015; GUILHERME et al., 2015; SENNA és BOTARO, 2017).

A SAP-ok mechanikai szilárdságának javítása érdekében cellulózból vagy kitozánból készült nanotöltőanyagokat (RODRIGUES et al., 2014), valamint szervetlen anyagokat – kaolin (WU et al., 2003), montmorillonit (LEE és YANG, 2004), attapulgit agyag (ZHANG et al., 2006) használnak. Ezek az adalékanyagok nemcsak a polimerek szerkezetét erősítik, hanem a duzzadási arányt és a duzzadási sebességet is javíthatják (GUILHERME et al., 2015).

Természetesen a vízfelvétel mellett a vízleadás is kulcsfontosságú, amikor a SAP szemcse környezete a gyökérszónában kezd kiszáradni. Ilyenkor, a SAP hosszabb időn keresztül fokozatosan és egyenletes módon leadja a tárolt nedvességet (akár 95%-át is, ami ezáltal rendelkezésre áll a növényi felvételhez) a környező rizoszférába, ha a talajszáradási folyamat során, egy adott területen csökken a talajnedvesség (PETERSON, 2002; JOHNSON és VELTKAMP, 1985).

A SAP-okba zárt víz növények számára való elérhetőségéről tájékoztat, a szerkezetükben lévő víz ozmotikus potenciálja. Ezt a paramétert a talajvíz ozmotikus potenciáljával analóg módon fejezzük ki $pF = \log F$, ahol F (vízoszlop cm-ben kifejezve) a talaj szívóerejének mértékegysége. Az F -érték a vízoszlop azon magassága, amelyet ez az erő képes fenntartani. A szívóerő értéke a talaj száradásával nő. Vízzel telített talajban $pF=0$, száraz talajban $pF=7$. A növények a víznek csak a $pF=4,2-4,5$ alatti részét képesek felvenni. Ez az érték egybeesik a legtöbb növény hervadási pontjával. A SAP-okkal kapcsolatos kutatások azt mutatják, hogy a SAP-okban megkötött, növények által felvehető víz potenciálja a 2,0-4,2 pF tartományban van (KULIKOWSKI et al., 2018). A víz ozmotikus potenciáljának értékeit a talajanalízisben alkalmazott módszerek segítségével végzett közvetlen mérésekkel, valamint a hervadásponthoz meghatározása alapján mérik. A kísérletek azt mutatják, hogy a hidrogélek használata növeli a víz biológiai hozzáférhetőségét a növények számára (KULIKOWSKI et al., 2018).

A vízleadást ismételt felvétel követi ez az ún. rehidratációs képesség (ismételt vízfelvétel). A talaj újra nedvesedő körülményei között a rehidratáció megkezdődik, és a víz tárolásának folyamata folytatódik, megismétlődik. A SAP duzzadása vagy zsugorodásának folyamata az ozmotikus nyomáskülönbség eredménye (FENNELL és HUYGHE, 2019; KUMAR et al., 2018).

Az ismételt duzzadási és zsugorodási folyamatok révén a hidrogél pozitív hatással van a talaj szerkezetére (SOJKA et al., 2007). Mivel ezek a folyamatok javítják a beszivárgási sebességet, a térfogatsűrűséget és a talaj levegőztetését (AL-HUMAID, 2005; DEMITRI et al., 2013; MONTESANO et al., 2015; SANNINO et al., 2009). A hidrogélek hozzáadása a talajhoz elősegíti a talaj mikrokapillárisok növekedését azáltal, hogy mechanikusan blokkolja a talajban lévő nagyobb tubulusokat. Ez korlátozza a párolgást, a víz gravitációs kiáramlását és a benne oldott tápanyagok elvesztését (DEMITRI et al., 2013; KULIKOWSKI et al., 2018). Ezeknek a folyamatoknak köszönhetően a víz hosszabb ideig megmarad a talajban, és ezáltal nő a talaj nedvességtartalma.

A fentiek alapján a mezőgazdasági felhasználásra szánt SAP-okat három típusba sorolják:

- természetes hidrogél,
- félig mesterséges hidrogél,
- mesterséges hidrogél.

A piacon kapható kőolaj alapú szintetikus vagy mesterséges hidrogélek elsősorban kémiai összetételük és konfigurációjuk alapján az alábbi három típusba sorolhatók (VARAPRASAD et al., 2017):

- keményítő-poliakrilonitril oltványpolimerek (keményítő kopolimerek);
- vinil-alkohol-akrilsav kopolimerek (polivinil-alkoholok);
- akrilamid-nátrium-akrilát kopolimerek (térhálósított poliakrilamidok).

A szintetikus polimerekkel szemben azonban ma már egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a természetes poliszacharid polimerek a környezetbiztonság, a költséghatékonyság, a könnyű hozzáférhetőség és a biológiai lebonthatóság miatt (LI et al., 2009; AHMED és FAHMY, 2019). Ezek a SAP-ok 2-5 éves működés után biológiailag lebomlanak, így nem változtatják meg a talaj fizikai-kémiai tulajdonságait

(MONTESANO et al., 2015; LENTZ, 2020). Így a jelenleg forgalomban kapható SAP-ok egy jelentős része már biológiailag lebomló anyag, melyeknek nincs mérgező hatásuk a talajra, a növényre és a környezetre. Természetes szerves anyagokból, például sok hidroxilcsoporttal rendelkező poliszacharidokból kedvező szerkezetű és tulajdonságú SAP állítható elő. A cellulózból származó polimer SAP-ok nagy nedvszívó képességgel, nagy szilárdsággal, jó sóállósággal, kiváló biológiai lebonthatósággal és biokompatibilitással rendelkeznek a szintetikus polimer SAP-okhoz képest (LI et al., 2009). Ezek a SAP-ok a talajban történő alkalmazásakor a vízfelvétel során amorf, géles masszát képeznek, ami hosszabb ideig képes a víz ciklikus adszorpciójára és deszorpciójára. Ezért hatékony eszköznek tekinthetők a víz gyors megőrzésében a talajban, és a növények számára a víz és az oldott tápanyagok lassú, hosszabb időn keresztül történő biztosításában, amikor a növény gyökérzónája közelében a környező talaj elkezd kiszáradni (YAZDANI, et. al., 2007). Ezért a SAP-ok használata ígéretes és megvalósítható technológiai eszköz lesz a növénytermesztés termelékenységének növelésére nedvességstresszes körülmények között (TÓTH et al., 2024).

A fentiek alapján a SAP-ok fontosabb funkcionális jellemzőit a következőkben lehet összefoglalni:

- nagy vízfelvevő képesség,
- a felszívódási és deszorpciós kapacitás a növény igényeinek megfelelő legyen,
- a lehető legalacsonyabb oldhatóság és maradék monomer-tartalom,
- nagy tartósság és stabilitás a duzzadás és tárolás során,
- nagyfokú biológiai lebonthatóság és biokompatibilitás,
- nagy teljesítmény széles hőmérsékleti tartományban,
- a duzzadás után, a víz pH-értéke semlegessé váljon,
- színtelenség, szagtalanság és ne okozza mérgező anyagok talajba jutását,
- a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak javítása,
- fényállóság, hosszabb ideig tartó rehidratáló képesség,
- alacsony költségű és környezetbarát anyagból történő előállítás.

2.4.2. Szuperabszorbens polimerek mezőgazdasági alkalmazása

A mezőgazdaságban a SAP-ok tehát sokrétű szerepet játszanak, többek között talajvízmegkötő, tápanyag- és növényvédőszer-hordozó, vetőmagbevonó, talajerózió-csökkentő és élelmiszer-adalékanyag.

Tanulmányok bemutatták, hogy az SAP csökkentheti a talaj behatolási ellenállását, növeli a talaj aggregációját, és segíti a talaj szerves anyagának megőrzését (JI et al., 2022). SAP-ok hidrofil tulajdonságúak és 1000-szer több vizet képesek felszívni és megtartani, mint eredeti méretük és tömegük. Így a SAP talajba történő alkalmazása növelheti a vízvisszatartást és a tápanyag-felhasználás hatékonyságát (LENTZ és SOJKA, 1994), miközben csökkenti a vízvesztést (AL-OMRAN és AL-HARBI, 1997).

Az eredmények azt mutatták, hogy az SAP javíthatja a talaj szerkezetét (SOJKA et al., 2007), növeli a vízstabil aggregátumok relatív arányát, javítja a talaj stabilitását és szerkezetét (YANG et al., 2011), valamint növelheti a porozitást (ALKHASHA és AL-OMRAN, 2020; HAN et al., 2010). Következésképpen a párolgási veszteség kontrollálásával növelik a víz- és tápanyag-felhasználás hatékonyságát, valamint a mélybe szivárgó víz és a tápanyag kimosódása ellen védenek főképp a száraz és félszáraz területeken (ABOBATTA 2018; SAINI et al., 2020; PATRA et al., 2022).

A SAP-okat továbbá sikeresen alkalmazták talajjavítóként a kertészeti iparban, a talaj fizikai tulajdonságainak javítására, mivel növelik a víztartó képességét, kapacitását és/vagy a homokos talajok tápanyagmegtartó képességét az iszapos agyaghoz hasonlóvá teszi (NNADI és BRAVE, 2011; MALIK et al., 2023). A SAP-ok potenciálisan befolyásolhatják a talaj áteresztőképességét, sűrűségét, szerkezetét, textúráját, párolgását és a víz talajon keresztüli beszivárgási sebességét. A SAP-ok csökkentik az öntözés gyakoriságát és a tömörítési hajlamot, megállítják az eróziót és a vízlefolyást, és növelik a talaj levegőzöttségét valamint a mikrobiális aktivitást (ABD EL-REHIRN et al., 2004; YAZDANI et al., 2007; BURKE et al., 2010; BAI et al., 2010).

A szuperabszorbens hidrogélek vagy polimerek potenciálisan befolyásolják a talaj áteresztőképességét, sűrűségét, szerkezetét, textúráját, párolgását és a víz beszivárgási sebességét a talajon keresztül. A hidrogélek csökkentik az öntözési gyakoriságot és a tömörítési hajlamot, megállítják az eróziót és a vízlefolyást, valamint növelik a talaj levegőztetését és a mikrobiális aktivitást (FLANNERY és BUSSCHER, 1982; ABD EL-REHIRN et al., 2004; BURKE et al., 2010). A hidrogélek elnyújtott hatású rendszerként is működnek, amivel kedveznek egyes tápelemek felvételének, megtartják azokat, és késleltetik a felvételüket (TÓTH et al., 2023a).

YANG et al. (2015) tanulmányukban a SAP-ok talajgyökérszóna középső rétegében történő alkalmazásával vizsgálták hatásukat a nedvesség eloszlására, valamint a beszivárgásra és a párolgásra, csepegtető öntözés mellett. Az eredmények azt mutatták,

hogy a beszivárgás során a nedvesedési profil vízszintes irányban egy kiszélesedő zónát alakított ki. Az alsó rétegben a vízszintes terjedési sebesség nagyobb volt, mint a függőleges beszivárgási sebesség. Ezáltal talaj víztartalma a középső rétegben jelentősen, mintegy 23,6 tf%-kal nőtt sokkal nagyobb mértékben, mint a felszíni és az alsó rétegben. Megállapították, hogy a feltalaj víztartalma jelentősen megváltozott az erős párolgás miatt. Ezzel szemben a SAP-talajkeverék rétegből a párolgás egyenletesebb és kisebb mértékű volt. Az alsó rétegben csökkent legkevésbé a víztartalom a keverékretegben történő víztárolás miatt. Ezért a SAP alkalmazása a növény gyökérrétegében segít megőrizni a talaj víztartalmát a növény gyökérszónájában, gátolja a talajvíz párolgását az alsó rétegben, és elősegíti a nedvesség megőrzését (YANG et al., 2015).

TIAN et al. (2019) különböző polimer anyagok hatását vizsgálta a talaj aggregátumaira és a talaj szerves szénjére, és azt találták, hogy a módosított polimer javította a talajaggregátumok vízstabilitását és növelte a talaj szerves anyag-tartalmát. Kevés tanulmány vizsgálta azonban a SAP-ok hatásait, a különböző szerves szénfrakciókra, mint például a teljes szerves szén és a labilis szerves szénre különösen hosszú távú alkalmazás esetén.

Mindezek, valamint az éghajlatváltozással kapcsolatos előrejelzések alapján a következő 50 évben elengedhetetlenül fontos lesz olyan intézkedések alkalmazása, amelyek biztosítják a növények számára a vízhez való hozzáférést, még akkor is, ha hosszan tartó aszályos időszakok alakulnak ki (ABOBATTA, 2018; AGEGNEHUA et al., 2016; BAIAMONTE et al., 2015; NEETHU et al., 2018; SENNA és BOTARO, 2017).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az anyag és módszer részt négyfelé bontottam az elvégzett kísérleteknek megfelelően. Az első általános részben bemutatom a kísérletek során felhasznált anyagokat, talajokat, vizsgálati helyszíneket és a meghatározott paramétereket, mivel ezek ugyanazok voltak mindhárom kísérleti szint esetén. A további részekben pedig először a talaj inkubációs kísérletek leírása és bemutatása történik, majd a tenyészedényes kísérletek, végezetül pedig a szabadföldi kísérlet bemutatása és leírása elsősorban azokra a részekre fókuszálva, amelyek eltérést mutatnak egymástól.

3.1. Általános módszertani leírás

3.1.1. Kísérletekhez felhasznált anyagok

Kísérleteimben a következő anyagok kerültek felhasználásra.

Fermentált és adalékolt csirketrágya

Kísérleteimben a Baromfi Coop Kft. (Nyírájkó) által gyártott fermentált csirketrágyát (Natur Extra (NEX)) használtam alapanyagként. A NEX fő összetevőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A Bio-Fer Natur Extra termék fontosabb összetevői és tulajdonságai

Összetevők	Érték	Összetevők	Érték
N (m/m%)	5,50	Fe (mg/kg)	545,00
P (P ₂ O ₅) (m/m%)	3,00	Mn (mg/kg)	374,00
K (K ₂ O) (m/m%)	2,50	Mo (mg/kg)	3,66
Ca (m/m%)	6,00	Zn (mg/kg)	367,00
Mg (m/m%)	0,50	Cu (mg/kg)	53,30
S (m/m%)	1,00	Nedvességtartalom (m/m%)	12,00
B (mg/kg)	31,40	pH	7,20

Forrás: [12]

Bentonit

Agyagásvány, amely túlnyomórészt szmektit és montmorillonitból ásványokból áll. A kísérletekben az Axis Bentonit Kft. (Erdőkövesd) által előállított bentonit port használtam [19]. Részletes leírása az 1. függelékben található.

Szuperabszorbens polimerek

Kísérleteimben két szuperabszorbens polimert használtam, melyek közül az egyik egy szintetikus készítmény volt míg a másik egy szerves, keményítő alapú kopolimer.

Szintetikus készítményként Stockosorb-ot használtam, ami egy térhálósított akrilamid és kálium-poliakrilát kopolimer (EVONIK Nutrition & Care GmbH), [I10].

Szerves készítményként pedig Zeba-t, ami egy ionos keményítő alapú termék (keményítő-g-poli(2-propenamid-ko-propénsav) káliumsó), (UPL Ltd., [I11]).

3.1.2. A kísérletekhez felhasznált talajok és általános jellemzőik

A fejlesztett prototípus kompozit termékek hatásainak vizsgálatára háromféle, egymástól markánsan különböző, de hazánk talajaira jellemző talajtípust választottam.

Kovárványos barna erdőtalaj (Pallag), Lamellic Arenosol

Az erdőtalajok jellegzetesek Magyarországon, hiszen talajaink több mint felét erdőtalaj borítja (STEFANOVITS, 1963). A barna erdőtalaj a mérsékelt övezet lombhullató erdejeinek jellegzetes zonális talajtípusa. Ezeknél a talajoknál a humuszosodás mértékét és mélységét az erdős vegetáció által évente termelt holt biomassza, vagyis elsősorban a felszínre hulló lombanyag mennyisége és minősége határozza meg. A barna erdőtalaj képződésénél a homokon kialakult szelvényeken nem ritka a kovárványképződés. Jellemző, hogy a felhalmozódási szintek kovárványcsíkok alakjában jelentkeznek, amelyek a talajképző folyamatok jellege szerint lehetnek barnás, vörös vagy vörösbarna színűek. A különböző körülmények között kialakult kovárványcsíkok vastagsága és lefutása eltérő, hatásuk mind a talaj tápanyag-szolgáltató, mind a vízmegtartó képességére jelentős.

Mészlepedékes csernozjom talaj (Látókép), Calcic Chernozem

A mészlepedékes csernozjom talaj hazánk egyik jellegzetes talajképződménye. Elnevezését a szelvényükben általában 30-70 cm között jelentkező mészlepedékről kapta, mely a talajmorzsákat vékony, penészhez hasonló hártya alakjában vonja be (STEFANOVITS, 1963). A lepedékes réteg – különösen szárazon – világos színű, szürkés árnyalatú, és igen könnyen esik szét szerkezeti elemeire. A mészlepedék e talajtípus sajátos dinamikájának következménye, melyben váltakozva következnek a kilúgzás, vagyis a szénsavas mész kioldásának és a lepedékképződés, vagyis a szénsavas mésznek

a talajoldatokból való kicsapódásának időszakai. A kilúgzás az ősztől tavaszig tartó átnedvesedéssel esik egybe, a lepedékképződés pedig a nyári kiszáradás és a talajoldatok betöményedésének következménye. Vízgazdálkodása igen jó, mert minden szintjének kiváló a vízáteresztése és víztároló képessége. Kivételt csak a leromlott szerkezetű, elporosodott szántott réteg és a tömődött barázdafenek képez. Ezek megszüntetése különösen fontos. E talajok tápanyag-gazdálkodása szintén jó, a kedvező nitrogénellátottság, foszfátfeltáródás és káliumszolgáltató képesség hatására [I12].

Jellegtelen (futó) homoktalaj (Debrecen), Aeolic Arenosol

A futóhomok olyan, általában kopár felszíneken felhalmozódó homoktalaj, amit a szél rendszeresen mozgat és a rá jellemző eolikus felszínformákban halmoz fel. Szerkezetükben még nem ismerhetők fel határozottan a talajképződés bélyegei, és a gyakori áthalmozás eredményeként szerkezetük különösen laza, fajlagos pórustérfogatuk nagy. Állandó növénytakaró nem tud megtelepedni rajtuk, a gyér növényzet csak kevés szerves anyagot szolgáltat, így igen gyenge a humuszosodás, és a képződött kevés humuszanyag is gyorsan ásványosodik. A vizet gyorsan áteresztik, vízmegtartó képességük kicsi. Jellegzetességük ezért, hogy könnyen kiszáradnak, és ilyenkor a szél a homokszemeket elgörgeti a helyükről vagy felragadva tovább szállítja. Makro- és mikrotápanyag-szolgáltató képességük gyenge (STEFANOVITS, 1963).

A kísérletekhez felhasznált talajokat származási helyük, illetőleg talajtípusuk alapján fogom említeni a dolgozatban. A kísérletekhez kiválasztott különböző talajok legfontosabb paramétereit a 2. táblázat mutatja be.

A talaj pH értéke alapján a látóképi talaj semleges kémhatású míg a pallagi és a debreceni talajok gyengén savanyú kémhatással rendelkeznek. Ezek az értékek növénytáplálási szempontból kedvezőek, optimális feltételeket biztosítanak mind a tápanyagok felvétele, mind a talaj mikrobiális közösségei számára. A talaj kötöttsége alapján a látóképi talaj vályog kategóriába, a pallagi és a debreceni talaj homok, durva homok kategóriába tartozik. Vízoldható sókat lényeges mennyiségben egyik talaj sem tartalmaz.

A látóképi talaj gyengén meszes míg a pallagi és debreceni talajok mérhető mennyiségben karbonátokat nem tartalmaznak. A homok textúrájú talajok humusz tartalma 1 % körüli, ami igen gyenge N-ellátottságot jelez. A látóképi talaj esetén mintegy háromszoros értéket kaptam (2,85%), ami közepes N-ellátottságra utal.

2. táblázat: A kísérletekhez felhasznált talajok fontosabb paraméterei

Talaj paraméter	Kovárványos		Mészlepedékes
	barna erdőtalaj (Pallag)	Futóhomok (Debrecen)	csernozjom (Látókép)
pH (KCl)	6,14	6,07	7,00
K _A	26	<20	39
Vízben oldható összes só (m/m)%	<0,02	<0,02	0,04
Szénsavas mész (m/m)%	<0,10	<0,10	1,73
Humusz-tartalom (m/m)%	1,15	0,894	2,85
P ₂ O ₅ (mg/kg) (AL)	108,30	135,00	317,00
K ₂ O (mg/kg) (AL)	263,00	101,00	656,00
Nitrát (mg/kg) (KCl)	44,50	11,60	115,00
Ammonium (mg/kg) (KCl)	13,12	1,04	16,67
Magnézium (mg/kg) (KCl)	180,00	136,00	376,00
Mangán (mg/kg) (EDTA)	195,00	28,80	136,00
Cink (mg/kg) (EDTA)	4,12	0,718	2,67
Réz (mg/kg) (EDTA)	3,40	0,601	5,59
Szerves Nitrogén (m/m)%	0,096	0,072	0,35

Megjegyzés: Az AL, a KCl és az EDTA a Magyar Szabvány (MSZ 20135:1999) szerinti talajkivonószerrek

Az AL oldható foszfor-tartalom a csernozjom talaj esetében igen jó ellátottságot, míg a másik két talaj esetén jó ellátottságot mutat. A talaj kálium-tartalma a látóképi talaj esetén kiugróan nagy értéket, míg a pallaginál jó, a debreceni talajnál pedig közepes értéket mutat. Az ásványi nitrogén-formák tekintetében mindhárom talajban az oxidált nitrát forma a domináns. A kapott értékekben azonban jelentős különbségek láthatók. A látóképi talaj körülbelül tízszer, a pallagi pedig körülbelül háromszor annyi nitrátot tartalmaz, mint a debreceni talaj. Az ammónium-tartalom tekintetében a pallagi és a csernozjom talaj körülbelül azonos mennyiségű ammónium-iont tartalmaz, míg a debreceni talaj körülbelül a tizedét a másik két talaj esetén mért értékeknek. A látóképi talaj igen jelentős magnézium és mangán tartalommal még kevés cink és réz-tartalommal rendelkezett. A pallagi talaj jelentős magnézium és mikroelem tartalommal rendelkezett,

míg a debreceni talaj esetén ezek az értékek elmaradtak a csernozjom talaj esetében mért értékektől köszönhetően a talaj típusnak.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a talajvizsgálati eredmények jól tükrözték a három talaj közti különbségeket, így ezek a talajok teszt alanyként használhatók a prototípus kompozit termékek tesztelésére, hatékonyságuk ellenőrzésére.

3.1.3. Kísérleti és vizsgálati helyszínek

Laboratóriumi aerob talajinkubációs és tenyészedényes kísérleteimet a Debreceni Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Szerves Anyagok Kutatóközpontjában végeztem modell, ellenőrzött körülmények között. A szabadföldi kísérleteket a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI), Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepen végeztem.

Az egyes kísérletek konkrét mintavételezési módszertanát az aktuális kísérlet típusnál ismertetem az anyag és módszer fejezetben.

3.1.4. A kísérletek során elvégzett talaj-, növény- és termésvizsgálatok

A talajinkubációs, tenyészedényes és szabadföldi kísérletek vizsgálati mintáinak analízise több helyszínen történt.

3.1.4.1. A DE MÉK Agrárműszerközpontjában elvégzett mérések

Talajvizsgálatok

Az inkubációs kísérletek beállítása előtt, valamint a szabadföldi kísérletek során vett talajminták kémiai jellemzőit a Debreceni Egyetem Agrár-műszerközpontjának akkreditált laboratóriumában határozták meg, a vonatkozó magyar szabvány szerint (MSZ 20135:1999). A talajminták mérési eredményeit a fentebbi 2. táblázat mutatja be. A talaj szerves széntartalmát (SOC) Walkley-Black módszerrel (Perkin-Elmer Analyst 300, MSZ-08-0210:1977) mérték. A talaj szerves nitrogénjét (SON) a Kjeldahl-módszerrel (VELP DKL 20, MSZ-08-0458:1980) meghatározott összes nitrogéntartalomról számolták ki. A talaj nitráttartalmát spektrofotometriás módszerrel (FOSS FIASTAR 5000, MSZ 20135:1999) határozták meg. A talaj foszfor (P), kálium (K), nátrium (Na), magnézium (Mg) és mikrotápanyag tartalmát ICP-OES módszerrel (Thermo Fisher iCAP 7400, MSZ 20135:1999) elemezték.

Levélvizsgálatok

A pallagi szabadföldi kísérletből származó alma levelek N-tartalmát Kjeldahl-módszerrel, míg a levél P, K, Ca és Mg-tartalmát ICP-OES módszerrel határozták meg a DE MÉK Agrárműszerközpont akkreditált laboratóriumában.

3.1.4.2. A DE MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében elvégzett mérések

Talajvizsgálatok

A talajinkubációs és tenyészedényes kísérletekből származó talajminták pH-értékét és elektromos vezetőképességét (EC) elektrokémiai módszerrel (WTW pH/cond 3320 SET2 és HANNA HI 83325) mulitméterrel határoztam meg.

A szervesetlen ionos nitrogénformákat (nitrát és ammónium) spektrofotometriai módszerrel (PF 12 spektrofotométer) és Visocolor tesztkittel határoztam meg.

A pallagi kísérletből származó talajminták SOC, SON és NO₃-N mérési eredményeiből SOC/SON, SOC/NO₃-N és SON/ NO₃-N arányokat számítottam az adott értékek osztásával.

Levélvizsgálatok

A tenyészedényes kísérletből származó indikátor növények klorofill- és karotinoid-tartalmát DROPPA et al. (2003) és LICHTENTHALER és WELLBUM (1983) alapján határoztam meg. A vizsgálat elvégzéséhez Hettich ROTOFIX 32A centrifugát és SECOMAN Anthelie Light II spektrofotométert használtam.

Gyümölcsvizsgálatok

A vizsgálatokat közvetlenül a szüret időpontjában a laboratóriumba történő szállítást követően végeztem. A külső paraméterekhez (pl. gyümölcstömeg/alma) 20 almát mértem meg, a belső gyümölcsminősítési paraméterekhez, pedig kezelésenként 1-1 kg volt a minta tömege. Az egyedi tömegmeghatározás VWR LPG-4202i típusú digitális analitikai mérlegen történt. A húskeménység méréshez Force Gauge PCE-FM 200 digitális erőmérőt használtam. A húskeménység adatait N-ban (kg m/s²) adtam meg. Az összes oldható szárazanyag (TSS) és a titrálható savasság (TA) mérése előtt az almákat ledaráltam és homogenizáltam. A méréshez a gyümölcsökből nyert gyümölcslevet használtam fel, minden mérést három ismétlésben végeztem el.

A gyümölcslevek TSS-értékét ATAGO PAL-1 refraktométerrel határoztam meg 20°C-on, és Brix-fokban (°Brix) fejeztem ki (PETŐ et al., 2018).

A gyümölcslevek TA értékét az MSZ EN 12147:1998 alapján végeztem el. A potenciometrikus titráláshoz 0,1 M NaOH-ot használtam, a titrálást 8,1-es pH-ig végeztem (Hanna Instruments HI83352 fotometer). A Titrálható savtartalmat gramm almasav/liter gyümölcslé (g MA/L) mennyiségben fejeztem ki. A minták vizsgálatát minden esetben három ismétlésben végeztem el.

3.1.4.3. A DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézetében elvégzett mérések

Antioxidáns-tartalom meghatározása

A gyümölcs minták antioxidáns-tartalmát: FRAP, összes flavonoid- és polifenol-tartalmának meghatározását a DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézetének laboratóriumában végezték el.

A mintákból 80:20 arányú metanolos oldatokat készítettek (metanol:desztillált víz). A metanolos kivonat felhasználásával megmérték az alma teljes polifenol-tartalmát, teljes flavonoid-tartalmát és FRAP-értékét.

Összes polifenol-tartalom meghatározása

Az összes polifenol-tartalom meghatározása azon alapul, hogy a fenolos anyagok bázikus közegben redukálják a foszfor-molibdén és a foszfor-volframsav keverékét. A redukció során kék molibdén- és volfrám-oxidok keletkeznek. Minél nagyobb a színintenzitás, annál nagyobb a fenolos vegyületek aránya. A metanolos kivonatokhoz Folin-Ciocalteu-reagens és nátrium-karbonát-oldat került hozzáadásra, majd az oldatok abszorbanciáját 760 nm-en spektrofotométerrel (Metertek SP-850) mérték. A minták polifenol-tartalmát mg GAE (galluszsav-egyenérték)/100 g friss gyümölcstömegben fejezték ki (HUANG et al., 2005).

Az összes flavonoid-tartalom meghatározása

A mintákból készített metanolos kivonatokhoz nátrium-nitritet, alumínium-kloridot és nátrium-hidroxidot adtak, majd a színintenzitást 510 nm-en spektrofotométerrel (Metertek SP-850) mérték. Az eredményeket mg CAE (katechin-egyenérték)/100 g friss gyümölcstömegben fejezték ki (KIM et al., 2003).

A FRAP-érték meghatározása

A FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) módszer azon alapul, hogy az antioxidánsok a Fe^{3+} (ferri) ionokat Fe^{2+} (ferro) ionokká redukálják, amelyek alacsony pH-n ferro-tripiridil-triazinnal (kék komplex) tripiridil-triazint (TPTZ = 2.4.6 tripiridil-S-triazin) alkotnak. A mérés elvégzéséhez FRAP reagensre (acetát puffer + FeCl_3 oldat + TPTZ oldat) volt szükség, amelyet a metanolos kivonatokhoz adtak. Az elkészített keverékeket 593 nm-en fotometrikan mértek. Az eredményeket mg ASA (aszcorbinsav-egyenérték)/100 g friss gyümölcstömegben fejezték ki (BENZIE és STRAIN, 1996).

C-vitamin meghatározása α, α' -dipiridiles módszerrel

300 μl mintához centrifuga-csőben 75 μl 85%-os ortofoszforsav oldatot, 750 μl 1%-os α, α' -dipiridilt és 300 μl 1%-os FeCl_3 oldatot adtak. A mintákat 60 percig szobahőmérsékleten inkubálták, majd 5 percig 16500 g-n centrifugálták. Majd a felülúszókból 350 μl -es mennyiségeket kipipettáztak. A minták abszorbanciáját 525 nm hullámhosszúságon spektrofotometriás módszerrel mértek. A mért vak oldatok az aszcorbinsav tartalmú minta helyett ugyanolyan térfogatú 5 %-os ecetsavat tartalmaztak. Minden mintából 3-3 párhuzamos mérést végeztek és minden minta mellé kontrollt is készítettek, hogy a mért értékeket korrigáltassák a mintához tartozó háttér értékével. A kontroll oldatok készítésénél az α, α' - dipiridil helyett oldószereként használt abszolút etanolt adtak a mintákhoz (SZARKA, 2016). Az eredményeket mg/100 g friss gyümölcstömegben adták meg.

3.2. Talajinkubációs kísérletek módszertani leírása

Az elkészített kompozitok hatásait először aerob talajinkubációs kísérletekben teszteltem. Laboratóriumi talajinkubációs kísérleteimet a Debreceni Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Szerves Anyagok Kutatóközpontjában végeztem ellenőrzött körülmények között.

Az inkubációs kísérletek előtt a talajok fontosabb kémiai jellemzőit a Debreceni Egyetem, MÉK, Agrárműszerközpontjának akkreditált laboratóriumában határozták meg, a magyar szabványok szerint (MSZ 20135:1999).

Mivel a termékreceptúra kialakításának, fejlesztésének fő irányvonala a szervesanyagpótlással egybekötött, a talaj vízháztartását javító, a talajéletet támogató

termék kidolgozása volt, így a talajinkubációs kísérletekben a prototípus kompozit keverékeim talajba juttatását cellulóz anyagú kapszulákba csomagolva, porított formában végeztem el.

Kutatásaim során három talajinkubációs kísérletet terveztem és végeztem el a kialakított kompozitok hatásainak ellenőrzésére (3. táblázat). Ezeket a termékeket eltérő talajtípusú talajokon, eltérő vízkapacitás értékek és eltérő összetétel mellett vizsgáltam, az optimális receptúra kidolgozása, illetve a termékek hatékonyságának vizsgálata miatt.

A fejlesztett prototípus kompozit termékek hatásainak vizsgálatára háromféle egymástól markánsan különböző, de hazánk talajaira jellemző, fentebb ismertetett talajtípust választottam (lásd: Anyag és módszer (3.1.2. fejezet)).

3. táblázat: Az elvégzett talajinkubációs kísérletek összefoglaló táblázata

Kísérlet kivitel	Talaj (mennyiség)	VK (%)	Időtartam (hó)	T (°C)	Ismétlés	Edényszám
	Debrecen					
I. poharas	Pallag (200g)	60	1	25	3	40
II. csöves	Pallag, Látókép (100g)	40 és 60	1	25	3	96
III. poharas	Pallag (500g)	40 és 60	4	25	3	144

3.2.1. Kísérleti körülmények bemutatása

Hőmérséklet

Az inkubációs hőmérséklet minden kísérletnél 25°C volt, mivel ez a vizsgált talajok vegetációs időszak alatti átlaghőmérséklete, és a magasabb hőmérséklet elősegítheti a szerves anyag lebomlását a különböző mikrobiális közösségek által, amelyek általában nem aktívak 5-25°C-on, ezáltal hamis becslést adva a potenciálisan rendelkezésre álló N mennyiségéről (SHARIFI et al., 2007).

Talajelőkészítés

Minden esetben szárított, szitált, <2 mm frakciójú talajt használtam a kísérletekhez.

Talajnedvesség-tartalom beállítása

A talajinkubációs és tenyészedényes kísérleteim beállítását megelőzően az előkészített (szárítószekrényben 24 óráig 105°C-on szárított, 2 mm-es szemcsefrakcióra szitált) talajok maximális vízkapacitását (VK_{max}) Filep (1995) alapján meghatároztam. Ehhez 5 cm átmérőjű, 10 cm magasságú PVC hengereket használtam aljukon szitaszövettel és szűrőpapírral. A hengereket az előkészített talajokkal feltöltöttem, táramérlegem három tizedes pontossággal lemértem, majd a talaj felső szintjéig érő szobahőmérsékletű desztillált vízbe állítottam. A telítődést követően megmértem a tömegüket és kiszámítottam a $VK_{max}\%$ -ot.

$$n_{max} = \text{nedves talaj}(g) - \text{száraz talaj}(g) = \text{max. nedvességtartalom}$$

$$VK_{max.s\%} = \frac{n_{max}(g)}{\text{száraz talaj}(g)} * 100$$

A minimális vízkapacitás (VK_{min}) kiszámításához a VK_{max} -ig telített hengereket homokágyra helyeztem, 24 óra leszivárgási idő elteltével lemértem a tömegüket, kiszámítottam a $VK_{min}\%$ -ot.

$$n_{min} = \text{minimális vízkapacitási nedvesség}(g)$$

$$VK_{min.s\%} = \frac{n_{min}(g)}{\text{száraz talaj}(g)} * 100$$

A kísérletekhez szükséges $VK_{min}\%$ szinteket (40 – 60 – 70) az így kapott eredményekből számoltam. A talaj nedvességtartalmát naponta, desztillált vízzel történő öntözéssel állítottam be az adott VK szintre (40, illetve 60%), hogy elkerüljem a további tápanyagok hozzáadását és fenntartsam a talaj nedvességtartalmát.

3.2.2. I. Talajinkubációs kísérlet

Ebben a kísérletben a két korábban bemutatott adalékanyag (SAP, bentonit) mellett egy újabbat is alkalmaztam az Aegis-t a NEX termék tulajdonságainak javítására.

Az Aegis mikorrhiza inokulum (Italpollina SPA) Aegis *Glomus intraradices* (25 spóra/g), *Glomus mosseae* (25 spóra/g), *Rhizosphere Bacteria* (1×10^7 UFC/g) baktériumokat tartalmaz a mikorrhiza szimbiózis fennmaradásának biztosítása érdekében. A mikorrhizza kedvező hatása, hogy növeli a termést és a növények ellenálló képességét az abiotikus stresszel szemben (AGNOLUCCI et al., 2019). Az Aegis

mikorhiza inokulum készítményt minden kezeléshez hozzáadtam a kontroll, és a csak csirketrágyát kapott kezelést kivéve.

A homogenizált keverékeket cellulóz alapú kapszulába (kapszulaméret: "0"; Capsule Connection LLC) töltöttem manuális kapszulázó segítségével. Az inkubációs kísérlethez 200 g szárított, szitált (<2 mm) humuszos homoktalajt (Pallag) műanyag edényekbe helyeztem mintegy 10 cm-es rétegvastagságban. A kapszulákat 2 cm mélyen helyeztem a talajba (10. ábra). Minden edénybe egy kapszulát helyeztem, és minden kezelést három ismétlésben alkalmaztam, összesen 40 edény. A mintákat egy hónapig inkubáltam, VK=60%-os vízkapacitáson.

Ebben az inkubációs kísérletben hat kezelést alkalmaztam, melyekben a fermentált és adalékolt baromfitrágya mennyisége adott volt és nem változott (360 mg), míg a két adalék arányát változtattam az egyes kezeléseknél annak tisztázására, hogy miként hatnak az egyes összetevők arányai a kezelések hatékonyságára. A NEX, SAP (Stockosorb) és bentonit arányát (N:S:B) a 4. táblázat mutatja be.

4. táblázat: Az I. talajinkubációs kísérletben alkalmazott kezelések (pallagi talajon, 1 hónap inkubációs időtartam)

Kezelések	Kompozit kezelések (N:S:B arány)
Kontroll NEX	90,0 : 0,5 : 9,5
Kontroll NEX-Aegis (A)	90,0 : 1,0 : 9,0
	90,0 : 1,5 : 8,5
	90,0 : 2,0 : 8,0

A NEX és az Aegis mennyisége állandó volt (90 és 0,4 (m/m)%), míg az SAP mennyisége 0,5 és 2,0 (m/m)% között, a bentonit pedig 8,0 és 9,5 (m/m)% között változott.

A talajmintákat ellenőrzött nedvességtartalom mellett (VK=60%), 28 napig, 25°C-on inkubáltam. A kísérlet során az egyes edényekben lévő talajréteget kétfelé bontottam és a talajmintákat ebből a két rétegből vettem a 2. és a 4. hét után. A felső réteg a kapszulát közvetlenül körülvevő talaj felső 5 cm-es rétege volt, míg a mélyebb réteg az alsó 5 cm-es talajréteg volt, a kapszula alatt, az edény alsó felében. Az edényekbe helyezett talajt azért bontottam minden esetben két, egy alsó és egy felső rétegre, hogy vizsgálni tudjam

az egyes nitrogén-formák mélységi változását, illetve eloszlását a kísérlet ideje alatt. A kezelési kódokat az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Az I. talajinkubációs kísérletben alkalmazott kezeléskódok

Kezelés	Kezelés
A – Kontroll NEX alsó réteg	B – Kontroll NEX felső réteg
C – Kontroll NEX A alsó réteg	D – Kontroll NEX A felső réteg
E – 90,0 : 0,5 : 9,5 alsó réteg	F – 90,0 : 0,5 : 9,5 felső réteg
G – 90,0 : 1,0 : 9,0 alsó réteg	H – 90,0 : 1,0 : 9,0 felső réteg
I – 90,0 : 1,5 : 8,5 alsó réteg	J – 90,0 : 1,5 : 8,5 felső réteg
K – 90,0 : 2,0 : 8,0 alsó réteg	L – 90,0 : 2,0 : 8,0 felső réteg

Megjegyzés: A táblázatban az egyes számok a N:S:B arányokat jelzik.

3.2.3. II. Talajinkubációs kísérlet

Ebben a kísérletben 75 mg fermentált NEX baromfitrágyát, 7,5 mg bentonitot és 0,0375 mg SAP-ot kevertem 100 g talajminta teljes térfogatába, és egy speciális üvegcsőbe helyeztem (1. ábra), (NAGY, 2010).

Az inkubációs kísérletben két különböző adalékanyagot használtam a komposztált baromfitrágya tulajdonságainak javítására Stockosorb-ot SAP-ként és bentonitot agyagásványként. A kompozitokat két különböző talajtípuson teszteltem: homokos szerkezetű barna erdőtalajon (Pallag) és csernozjom talajon (Látókép).

A talajmintákat ellenőrzött nedvességtartalom mellett (két vízkapacitási szinten (VK=40% és 60%)), 28 napig 25°C-on inkubáltam. Minden kezeléshez három ismétlés tartozott, összesen 96 minta.



1. ábra: Inkubációs csövek használata a kísérletben

Az egyes mintavételek alkalmával az összes edényt átmostam ionmentes vízzel, hogy az időszak alatt képződött nitrogén-formákat eltávolítsam (NAGY, 2010). Az inkubációs kísérletben négy kezelést alkalmaztam, melyeket a következő, 6. táblázat mutat be.

6. táblázat: Az II. talajinkubációs kísérletben alkalmazott kezelések (pallagi és látóképi talajon, 1 hónap inkubációs időtartam)

Kezelés kód	VK (%)	NEX (porított) (mg)	SAP (mg)	Bentonit (mg)
40 C (kontroll)	40	75	-	-
40 NEX	40	75	0,0375	7,5
60 C (kontroll)	60	75	-	-
60 NEX	60	75	0,0375	7,5

3.2.4. III. Talajinkubációs kísérlet

A fejlesztett kompozitok talaj N mineralizációra gyakorolt hatásának vizsgálatára újabb aerob laboratóriumi talajinkubációs kísérletet állítottam be. Ebben a kísérletben alapanyagként szintén a már korábban ismertetett fermentált csirketrágyát használtam (NEX). Ennél az inkubációs kísérletnél azonban már két különböző SAP adalékot használtam a csirketrágya tulajdonságainak fokozására. Ezek a korábban már bemutatott szintetikus (szervetlen) Stockosorb (S) és a szerves alapú Zeba (Z) voltak. A kísérlet révén lehetőség nyílt a két SAP hatásainak összehasonlítására. A másik adalék – a korábban már szintén ismertetett – bentonit volt.

A kompozitok hatásait Észak-kelet Magyarországra jellemző homokos szerkezetű barna erdőtalaj talajtípuson (Pallag) vizsgáltam. A négy hónapig (112 nap) tartó aerob inkubációt ellenőrzött nedvességviszonyok (VK=40% és 60%) mellett végeztem. Ezzel lehetőségem nyílt a fejlesztett termékek hosszan tartó hatásainak vizsgálatára.

A talajinkubációhoz 450 mg fermentált csirketrágyát, 40-45 mg bentonitot és 5-10 mg SAP-ot kevertem össze és cellulózkapszulákba (kapszulaméret: "0"; Capsule Connection LLC) töltöttem manuális kapszulázó segítségével. Minden kapszula 0,5 g keveréket tartalmazott. A kapszulákat 2 cm mélyen az 500 g talajt tartalmazó műanyag inkubációs edényekbe helyeztem. Minden inkubációs edénybe egy kapszulát helyeztem. Minden kezeléshez három ismétlés és négy mintavételi időpont (havonta) és két vízkapacitási szint tartozott, ami kezelésenként 24 edényt, összesen tehát 144 kísérleti

edényt eredményezett. Az egyes mintavételek alkalmával az összes edényt átmostam ionmentes vízzel, hogy az időszak alatt képződött nitrogén-formákat eltávolítsam (NAGY, 2010).

A kijuttatási arányok és dózisok meghatározásához a gyártó ajánlásait és a korábbi tapasztalatokat használtam. Az inkubációs kísérletben hat kezelést alkalmaztam. Az abszolút kontrollon (K) kívül öt kezelést állítottam be és alkalmaztam a kísérletben, amelyek három csoportra oszthatók:

- KT (kizárólag fermentált csirketrágyát tartalmazott),
- S csoport (fermentált csirketrágyát és S-t tartalmazott két különböző dózisban - S1 és S2),
- Z csoport (fermentált csirketrágyát és Z-t tartalmazott két különböző dózisban - Z1 és Z2).

A kezelésekből a NEX:SAP:Bentonit arányok 90:1:9, illetve 90:2:8 voltak, a kísérletben a csirketrágya mennyisége állandó volt, minden kezelésben. A kezelések összetevőit a 7. táblázat mutatja be.

7. táblázat: A III. inkubációs kísérletben alkalmazott kezelések és dózisok (pallagi talajon, 4 hónap inkubációs időtartam)

Kezelések	Dózis (mg/500g talaj)			
	NEX	Bentonit	S	Z
K	-	-	-	-
KT	450	-	-	-
S1	450	45	5	-
S2	450	40	10	-
Z1	450	45	-	5
Z2	450	40	-	10

A kísérlet előtt a Debreceni Egyetem Agrárműszerközpontjának akkreditált laboratóriumában meghatározták a talaj alapvető paramétereit (2. táblázat). A kísérlet során a begyűjtött talajmintákat a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében elemeztem.

A kezelésekből, talaj nitrogén mineralizációra gyakorolt hatásának jobb megértése végett ebben a kísérletben a talaj összes szén- és összes nitrogéntartalma is

meghatározásra került ún. száraz égetéses módszerrel (VarioMax Cube CNS analizátor Elemental Analysensysteme GmbH, Hanau, Németország), (8. táblázat), (NAGY, 2000). Az ásványi nitrogén-tartalmat a nitrát-N és ammónium-N összegeként számoltam ki. A talaj C/N arányát az összes szén- és nitrogén tartalom hányadosából számoltam ki. A kumulatív ásványi nitrogén tartalomból kiszámítottam a potenciálisan mineralizálható nitrogén mennyiségét (PMN) (STANFORD és SMITH, 1972), a nettó mineralizációs arányt (NMR) és a nettó nitrifikációs arányt (NNR) is (MAITLO et al., 2022).

A talajvizsgálat alapján ennek a talajnak a szerves szén-tartalma átlagosan 8,90 g/kg volt, és nem tartalmazott szervesetlen C-formákat, így az összes szén-tartalom 8,94 g/kg-nak adódott.

8. táblázat: A Pallagi talaj fontosabb paraméterei

Fontosabb paraméterek	Pallag
pH (KCl)	6,07
Vízoldható só (m/m)%	<0,02
Karbonát (m/m)%	<0,10
Összes széntartalom (g/kg)	8,94
Szerves széntartalom (g/kg)	8,90
Nitrát (mg/kg) (KCl)	11,6
Ammónium (mg/kg) (KCl)	2,4
Szerves nitrogéntartalom (g/kg)	1,14
Összes nitrogéntartalom (g/kg)	1,154
C/N	7,75

Megjegyzés: KCl talaj extraktumból mérve (MSZ 20135:1999)

A TN-tartalom 1,154 g/kg, a SON-tartalom 1,14 g/kg, a mineralizált N-tartalom (NO₃-N és NH₄-N) 11,6 mg/kg, illetve 2,4 mg/kg volt. A talaj C/N aránya 7,75 volt, ami kedvezőtlen mineralizációs viszonyokra utal. A talaj nem tartalmazott mérhető vízben oldódó sókat, pH-ja a kísérlet kezdetén 6,07 (enyhén savas) volt.

3.2.5. A kísérletek során alkalmazott számítások

A kísérleti eredmények alkalmasak a potenciálisan mineralizálható nitrogén (PMN) mennyiségének meghatározására.

Az 1970-es években STANFORD és munkatársai (STANFORD és SMITH, 1972; STANFORD et al., 1973; STANFORD és EPSTEIN, 1974) kidolgozták a PMN és a kapcsolódó mineralizációs sebességi állandó (k) fogalmát a talajban rendelkezésre álló N jellemzésére. Ez az elmélet feltételezte, hogy a szerves nitrogén mineralizációja optimális hőmérsékleten és nedvességtartalom mellett elsőrendű kinetikát követ. Így az elsőrendű sebességegyenlet:

$$-dN/dt = kN$$

integrálva a 0-tól t -ig terjedő időszakot:

$$\ln N_t - \ln N_0 = -kt$$

vegyük az antilogaritmusokat:

$$N_t = N_0 e^{-kt}$$

ahol: N_t = a t időpontban fennmaradó mineralizálható szerves szubsztrát.

A 0 időpillanatban:

$$PMN = N_0 e^{-k \cdot 0} = N_0$$

A mineralizált szerves N mennyisége (N_{min}) a 0. és a t . időpontban mineralizálható szerves N mennyisége közötti különbség:

$$N_{min} = N_0 - N_t$$

Így:

$$N_{min} = N_0 - N_0 e^{-kt} = N_0(1 - e^{-kt})$$

ahol: t – az inkubációs idő, a többi jelölés a szövegben látható.

E felfogás szerint a mineralizált N (N_{min}) a nitrát- és ammóniumtartalom összegzésével számítható ki (BUZÁS, 1983; BUZÁS, 2020).

Ennek alapján az összesített N_{min} -értékeket a kísérlet teljes időtartama alatt hétről-hétre kiszámítottam. Mivel a mineralizációs sebesség arányos a mineralizálható N aktuális mennyiségével, és a folyamat kinetikailag elsőrendűnek tekinthető, így a mineralizációs folyamatokat és a N-mineralizáció kinetikáját STANFORD (1973) valamint FILEP és TÓTHNÉ (1980a,b) alapján vizsgáltam.

A kumulatív N-mineralizációt a 112 napos inkubációs idő intervallumra számoltam ki. A továbbfejlesztett PMN és mineralizációs sebességi állandó (k) fogalmát a talajban elérhető N jellemzésére használtam. NAGY (2010) és MAITLO et al. (2022) alapján a PMN értékeket elsőrendű kinetikával számítottam ki. A mineralizált N mennyiségét

(N_{\min}) a 0. időpontban és a t. időpontban lévő mineralizálható N mennyisége közötti különbségeként határoztam meg.

Ha a mineralizációt nagyon hosszú (végtelen) időn keresztül ($t \rightarrow \infty$) követjük, az Nt egyenlő lesz a PMN-nel, ami a maximálisan mineralizálható N-t jelenti.

Ha a különböző időpontokban mineralizált teljes N reciprokát ($1/Nt$) az idő reciprokának ($1/t$) függvényében ábrázoljuk, a vonal tengelymetszete az $1/PMN$ közelítő értékét $1/PMN'$ -ként adja meg. A PMN érték mellett a nitrogén mineralizációs rátát (NMR) értékeket is kiszámítottam:

$$NMR = [(Ásványi N)_t - (Ásványi N)_{t_0}]t$$

ahol: $(Ásványi-N)_t$ a t hónapban az edényből származó ásványosodott N (nitrát és ammónium), és $(Ásványi-N)_{t_0}$ az inkubációs edényből származó ásványosodott N a kezdeti időszakban.

A PMN és NMR-értékek mellett a nettó nitrifikációs rátát (NNR) is kiszámítottam (az oxidációs folyamat hatékonyságának megállapítására) a következő összefüggés segítségével. Ebben a megközelítésben az $N_{\text{nitrifikált}}$ mint NNR-t az inkubáció elején és végén mért nitrátkoncentrációkból számítják ki:

$$NNR = N_{\text{nitrifikált}} = (Nitrát T_{112} - Nitrát T_0)/112 \text{ nap}$$

ahol: $Nitrát T_{112}$ = nitrátkoncentráció a 112 napos inkubáció végén; $Nitrát T_0$ = nitrátkoncentráció az inkubáció kezdetén

3.3. Tenyészedény kísérletek módszertani leírása

A kísérleti vizsgálatok második fázisaként tenyészedényes kísérleteket végeztem az elkészített kompozitok hatásainak tanulmányozására. Tenyészedény kísérleteket állítottam be 2021-ben és 2022-ben eltérő jelzőnövényekkel (paradicsom (2-3. ábrák) és uborka (4-5. ábrák) és részben különböző beállítási körülményekkel (lásd: Anyag és módszer (Általános módszertani leírás rész)).

A tenyészedény kísérleteimet a Debreceni Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Szerves Anyagok Kutatóközpontjának üvegházában végeztem. Mindkét kísérlet esetén a kísérletek időtartama négy hónap volt.



2-3. ábrák: Az üvegházban nevelt paradicsom növények



4-5. ábrák: Az üvegházban nevelt uborka növények

A 2021. évi tenyészédes kísérletben jelzőnövényként paradicsomot (*Solanum lycopersicum* L. cv. Manó) használtam, mivel a paradicsom tápanyagigényes növény és érzékenyen reagál mind a tápanyagellátási, mind a vízellátási problémákra (PASSAM et al., 2007; ATKINSON et al., 2011; ÉGEI et al., 2020). Továbbá a paradicsom világszerte a legfontosabb zöldség növények közé tartozik. A világ zöldségpiacának 16,7%-át teszi ki, 2018-ban 182 millió tonna éves termeléssel lehetett számolni, ami azóta tovább növekedett [I13].

A 2022. évi kísérlethez uborka (*Cucumis sativus* cv. Crisan) jelzőnövényt használtam (gyártó: Agrosel, Lot 248531), amely kifejezetten nagy tápanyag és vízigényű zöldségféle, maga is mintegy 97% vizet tartalmaz (ÇAKIR et al., 2017). Napjainkban

Kína a világ legnagyobb termelője (70 Mt/év) de jelentős termelés folyik az Egyesült Államokban, Oroszországban, Spanyolországban és Mexikóban is [I13].

A paradicsom esetén a palántanevelést a Debreceni Egyetem Kertészettudományi Intézet munkatársai végezték úgy, hogy az általam előkészített talajokba történt az ültetés majd a palántákat kiültetésig nevelték számomra. Az uborkát magról vettem egyből az előkészített három kg-os tenyészedeényekbe.

Kísérleteimben az adalékolt és fermentált baromfitrágyát (NEX), mint alapanyagot szuperadszorbens polimerekkel (szintetikus (SAP1-Stockosorb) és szerves (SAP2-Zeba)), valamint agyagásvánnyal (Bentonit) kevertem eltérő dózisokban (az adalékanyagokat a gyártói ajánlásoknak, illetőleg az előkísérletek során szerzett tapasztalataimnak megfelelően alkalmaztam). Az így elkészített saját fejlesztésű talajjavító kompozitok hatását vizsgáltam a termesztett növény biomasszatömegére, növényi pigmenttartalmára (klorofill- és karotinoid-tartalom), valamint vízhasznosítására. A kísérletekben használt edényszám minden növény esetén, kísérletenként 36-36 db volt (paradicsom: 1 jelzőnövény x 6 kezelés x 3 ismétlés x 2 talajtípus x 1VK szint = 36 edény; uborka: 1 jelzőnövény x 6 kezelés x 3 ismétlés x 1 talaj x 2VK szint = 36 edény).

A kontroll kezelések (trágya nélkül, mint abszolút kontroll (K) és a csak csirketrágyát tartalmazó (KT)) mellett négy különböző arányú hidrogél-bentonit kombinációt alkalmaztam. A kísérletekben alkalmazott kezelés kombinációkat a következő, 9. táblázat mutatja be. A csirketrágya és az agyagásvány mennyisége állandó volt a kezelésekből.

9. táblázat: A tenyészedeény kísérletekben alkalmazott kezelések (2021-2022)

Kezelések	Trágya	Bentonit	Stockosorb	Zeba
	(g/3kg talaj)			
K	0	0	0	0
KT	10	0	0	0
S1	10	5	3	0
S2	10	5	6	0
Z1	10	5	0	1,8
Z2	10	5	0	2,7

A paradicsom kísérletben egy vízkapacitási szintet alkalmaztam (VK=60%), míg az uborka kísérletben két vízkapacitási szinten végeztem a vizsgálatokat (VK=60% és VK=70%), azért hogy vizsgálni tudjam a kezelések hatását eltérő talajnedvesség tartalom esetén. A talajok beállított nedvességtartalmát napi öntözéssel biztosítottam. A talaj vízkapacitási szintjének beállítására desztillált vizet használtam, hogy elkerüljem az öntözéssel történő kontrollálatlan tápanyagpótlást.

Kísérletek beállításához három kg-os tenyészedényeket alkalmaztam, amelyek 255 cm²-es talajfelszínt biztosítottak. Az előre elkészített kompozitokat (por forma) edényenként három kg légszáraz, szitált (<2mm) talajhoz adtam és a teljes térfogatban egyenletesen elkevertem.

A kísérletekben homoktalajt (Debrecen, Aeolic Arenosol) és döntően homok textúrájú kovárványos barna erdőtalajt (Pallag, Lamellic Arenosol) használtam, amelyet a Debreceni Egyetem Kertészettudományi Intézet Kísérleti Állomásról (Debrecen-Pallag) hoztam.

A kísérlet felszámolása után megmértem a növények nedves és száraz (105°C-on tömegállandóságig történt szárítás után) biomaszatömegét és a növényi pigmentek (klorofill-, karotinoid) mennyiségét DROPPA et al. (2003) és LICHTENTHALER és WELLBUM (1983) alapján határoztam meg.

Továbbá a napi öntözővíz szükségletből számoltam az egész tenyészidőszak alatt fogyott vízmennyiséget, amelyből vízhasznosulást és fajlagos vízszükségletet határoztam meg. A vízhasznosulás értékét általában a növények betakarításával, a vegetatív rész vagy a szemek száraz tömegének meghatározásával és ennek a csapadékkal vagy az öntözéssel plusz csapadékkal való elosztásával határozzák meg. A fajlagos vízszükséglet értéke pedig azt mutatja meg, hogy egységnyi mennyiségű víz felhasználásával mennyi szerves anyagot állít elő a növény (SINCLAIR et al., 1984; HOWELL 2001; BOUTRAA 2010; WANG et al., 2019; HOOVER et al., 2023).

Ezek alapján a megtermelt száraz biomaszatömeget osztottam a megtermeléshez szükséges teljes vízmennyiséggel. A fajlagos vízszükséglet számításánál egységnyi vízmennyiség (l) által megtermelt biomaszatömeget számoltam.

A levelek pigmenttartalmának meghatározását spektrofotometriás módszerrel végeztem el.

A mintavételek a kísérletek felszámolásakor történtek. A levélmintákat a vizsgálatig 4°C-on hűtve tároltam, minden mintát a mintavétel napján dolgoztam fel. A

mintákat 80%-os acetonnal és 1 g kvarchomokkal roncsoltam, majd az extrakciót követően a kapott szuszpenziókat 3000 fordulat/perc sebességgel 3 percig Hettich ROTOFIX 32A készülékben centrifugáltam és a méréseknél a tiszta oldatot (felülúszót) 2,5 ml-es kvarcküvetébe helyeztem.

Az oldat abszorbanciáját SECOMAN Anthelie Light II készülékkel mértem 470, 644 és 663 nm hullámhosszon.

A minták klorofilltartalmát DROPPA et al. (2003) által közzétett egyenlet alapján határoztam meg:

$$\text{Klorofill - tartalom} \left((a + b) \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ friss tömeg} \right) = (20,2 * A_{644\text{nm}} + 8,02 * A_{663\text{nm}}) * \frac{V}{w}$$

A karotinoid értékeket LICHTENTHALER és WELLBUM (1983) egyenlete alapján határoztam meg:

$$\begin{aligned} \text{Karotinoid - tartalom} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ friss tömeg} \right) \\ = \frac{(1000 * A_{470\text{nm}} - 3,27(12,21 * A_{663\text{nm}} - 2,81 * A_{644\text{nm}}) - 104(20,13 * A_{644\text{nm}} - 5,03 * A_{663\text{nm}}))}{229} \end{aligned}$$

ahol:

V = az extraktum térfogata (ml)

w = a levélszövet friss tömege (g)

A = abszorbancia érték az adott hullámhosszon

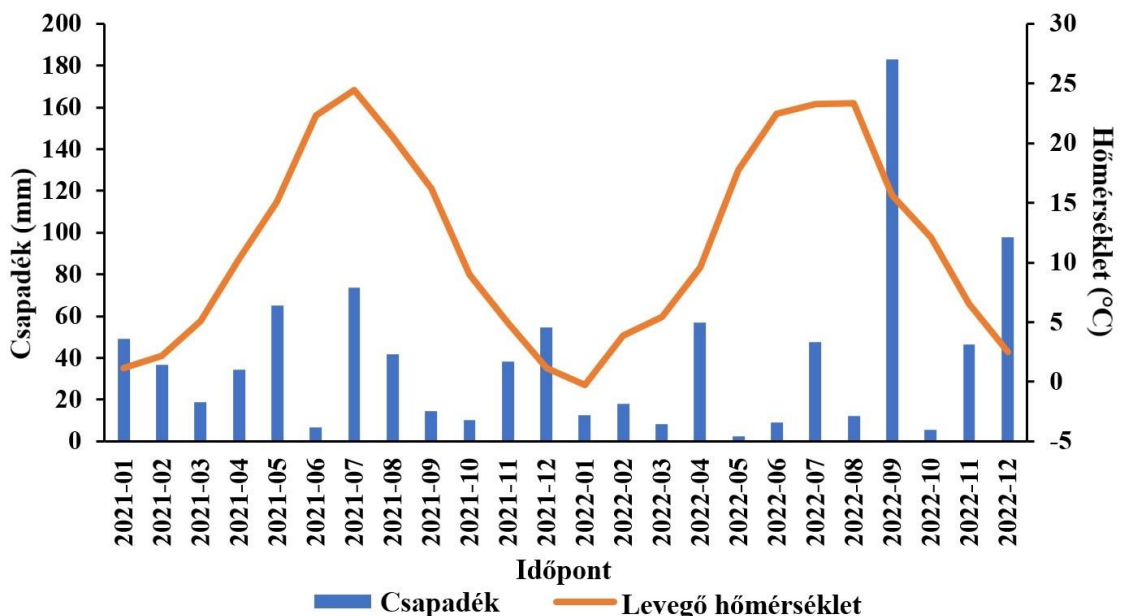
3.4. Szabadföldi kísérletek módszertani leírása (Pallag)

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Kertészettudományi Intézetének Pallagi Kísérleti Állomásán lévő gyümölcsösben végeztem (Debrecen-Pallag (47°25'28 "N 21°38'31 "E)). A gyümölcsösöt 1 m-es sor- és 4 m-es sorköz távolságot alkalmazva 2011-ben telepítették. A fákat 3,5 m magas karcsúorsó formára nevelték (CSIHON et al., 2021). A kísérletekben M9-es alanyú 'Pinova' almafajtát (*Malus domestica* Borkh.) használtam. A "Pinova" német almafajta, a "Clivia" és a "Golden Delicious" hibridje. Ez a fajta magas terméshozamú, alternanciára kevésbé hajlamos. Ellenálló a varasodással szemben, de érzékeny a lisztharmatra. Gyümölcse lédús és ropogós, piros fedőszín-borítottsága 50-70% körüli (FISCHER et al., 2000).

A kísérleti helyszín a meleg nyári kontinentális éghajlati övezetben (Koeppen-osztályozás) található, a tengerszint felett magassága 112 méter. Az átlaghőmérséklet

Debrecenben 10°C, a legnagyobb júliusban (átlagosan: 20,6°C), a legalacsonyabb januárban (átlagosan: -1,7°C), a csapadékmennyiség pedig 686 mm évente [I14].

A gyümölcsösben csepegtető öntözőrendszer működik, melyet időszakosan használnak, a növényvédelmi gyakorlat az integrált növényvédelem elvei alapján történik. A léghőmérsékletet (°C) és a csapadékat (mm) a helyi meteorológiai állomás segítségével automatikusan, 10 percenként rögzítik. A havi átlag (hőmérséklet) és összegzett (csapadék) értékeket ezekből az adatokból számoltam (18. ábra). A vizsgált, 2021-2022-es években a levegő átlaghőmérséklete januárban +1,2 és -0,3°C volt (mindkét évben ez volt a leghidegebb hónap), júliusban és augusztusban pedig +24,4 és +23,3°C (a legmelegebb hónapok). Az éves csapadékmennyiség az adott években ebben az időszakban 444 mm (2021), illetve 500 mm (2022) volt. Ezek az éves csapadékatok azt mutatják, hogy mindkét év rendkívül száraz és aszályos volt. A havi csapadékösszegek többnyire 5 és 80 mm között változtak. A fő vegetációs időszakban (áprilistól szeptemberig) a csapadék 236 mm (2021), illetve 312 mm (2022) volt. Az 6. ábrán látható, hogy mindkét évben a fő vegetációs időszakban hosszú aszályos periódusok voltak, amelyekben csak néhány mm csapadék hullott, ami indokolja a csapadékmegőrző kezelések alkalmazását.



6. ábra: Meteorológiai adatok a vizsgált időszakban (Pallag, 2021-2022)

A kísérleti helyszínen referencia talajszelvény feltárására és leírására is sor került (7. ábra).



7. ábra: Talajszelvény- DE Tangazdaság, Pallag

A szelvény feltárásában és leírásában az MTA TAKI munkatársai vettek részt Prof. Dr. Makó András vezetésével (Szabó Brigitta - Kocsis Mihály - Hernádi Hilda - Barna Gyöngyi).

A talajszelvény egyes genetikai szintjeiből származó talajminták alapvizsgálati adatait a (10. táblázat) mutatja.

10. táblázat: Talajszelvény alapvizsgálati adatai - DE Tangazdaság, Pallag

mélység (cm)	homok (%)	por (%)	agyag (%)	textura	pH _{H2O}	K _A	szerves anyag tart. (%)	EC (mS/cm)	Só (%)	CaCO ₃ (%)
0-30	84,98	9,00	6,02	vályogos homok	6,89	27,80	1,11	0,09	<0,02	0,00
30-50	84,35	8,31	7,33	vályogos homok	6,82	26,00	0,45	0,09	<0,02	0,00
50-120	86,01	7,49	6,51	vályogos homok	6,83	26,00	0,32	0,08	<0,02	0,00
120-150	87,70	6,15	6,15	vályogos homok	7,10	26,80	0,13	0,09	<0,02	0,21

A kísérlet beállítása előtt talajmintát vettem (0-40cm), hogy megállapítsam a kísérletek területének főbb talajfizikai és kémiai paramétereit és meghatározzam a talaj kiindulási tápanyag-készletét (MSZ-08 0202-77). A vizsgálati eredményeket az anyag és módszer fejezet általános része mutatja be.

A kísérletekben saját fejlesztésű talajjavító kompozitokat használtam a talaj szervesanyag-tartalmának és a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak javítására. Az alkalmazott kompozitok összetételét és a kezeléseket a 11. táblázat mutatja.

11. táblázat: Alkalmazott kezelések összetétele Pinova almafajta esetén (Pallag, 2021, 2022)

Kezelések	Dózisok (kg/fa)		
	NEX	Bentonit	SAP
K	-	-	-
KNEX	2	-	-
B1	2	0,5	-
B2	2	1,0	-
S1	2	-	0,1
S2	2	-	0,2
BS1	2	0,5	0,1
BS2	2	1,0	0,2

Az abszolút kontroll (K) mellett hét kezelést alkalmaztam a kísérletben, amelyeket négy csoportra osztottam: KNEX (kizárólag fermentált és adalékolt csirketrágyát (Natur Extra - NEX) tartalmazott), B csoport (fermentált csirketrágyát és bentonitot két különböző dózisban tartalmazott - B1 és B2). Az S csoport, amely fermentált csirketrágyát és SAP-ot két különböző dózisban tartalmazott (S1 és S2) és a BS csoport, amely fermentált csirketrágyát, SAP-ot és bentonitot tartalmazott két-két különböző dózisban (BS1 és BS2). A NEX dózisa minden kezelésben azonos volt. Minden kezelés öt-öt fát tartalmazott. A kísérletet 2021 májusában virágzás után állítottuk be, és a trágyázást a következő év májusában megismételtem.

Az általam kijuttatott kezelések mellett az egész ültetvény a következő, éves dózisu alap trágyázást kapta: 200kg/ha Yara Crop Care N:P:K (11:11:21) két egyenlő dózisban márciusban és júniusban kijuttatva [I15], valamint további N-kiegészítést 100 kg/ha dózisban Péti só formájában (27% N, 7% CaO és 5% MgO, [I16]).

A felhasználás előtt a pelletizált csirketrágyát (Bio Fer NEX) ledaráltam, majd összekevertem az adalékokkal. A keveréket a talajba 20 cm mélységben a fák mindkét oldalán a csepegtetővonalban, a törzsektől 50-50 cm távolságra helyeztem el (8-9. ábra).



8-9 ábrák: Kísérleti beállítások Pallagon (2021- 2022)

Talajmintavétel

Mivel a gyökérzet döntő része a talaj felső rétegében (0-40 cm) helyezkedett el (M9 alany) ezért a talajmintákat ebből a rétegből gyűjtöttem májustól szeptemberig hathetes időközönként, minden kezelés esetében külön-külön. A talajmintákat kézi talajmintavevő berendezéssel, a gyümölcsösökre vonatkozó nemzetközi és magyar talajmintavételi irányelveknek megfelelően (JACKSON, 1958; MSZ-08 0202-77) vettem.

A talajvizsgálatok egy részét a DE MÉK Agrárműszerközpont akkreditált laboratóriuma végezte el a fentebb ismertetett módszerekkel és eszközökkel a vonatkozó szabványnak megfelelően (MSZ 20135:1999).

Levélmintavétel

Augusztus elején minden kezelésparcellában, minden fáról levélmintát szedtünk. A mintavétel időpontjában minden fáról vállmagasságban, minden égtájról, a hajtásvégtől számítva a 4.-6. levelet levélnyéllel együtt levéve, 8-10 jól fejlett, egészséges levelet gyűjtöttem, a gyümölcsösökre vonatkozó nemzetközi és magyar növénymintavételi irányelvek (STILES és REID 1966; MI-08 0468-81) szerint.

A levélmintákat a DE MÉK Agrárműszerközpont akkreditált laboratóriumában mérték.

Gyümölcsmintavétel

A gyümölcsmintákat szeptember végén (DC (EPPO) 85; szedésérettség (betakarítás)) gyűjtöttem a telepvezető szakmai irányítása alapján. Minden kezelésből egy-egy fáról az összes almát leszedtem a fánkenti termésmennyiség megállapításához. A külső paraméterekhez (pl. gyümölcstömeg/alma) 100 almát mértem meg, a belső gyümölcsminősítési paraméterekhez pedig kezelésenként 1-1 kg volt a minta tömege. Az almákat összes oldható szárazanyag (TSS) és a titrálható savasság (TA) mérése előtt ledaráltam és homogenizáltam.

3.5. Statisztikai analízis

A statisztikai elemzéseket R szoftverrel végeztem R Studio felhasználói környezetben (4.1.3. verzió) R studio agricolae csomag alkalmazásával (MENDIBURU, 2019). Az adatok normalitás vizsgálatához Shapiro-Wilk tesztet használtam. A különböző kezelések hatásainak kimutatása egy- és többtényezős varianciaanalízissel (Duncan, Kruskal – Wallis teszt SD=5%) történt. A vizsgált paraméterek (SOC, SON, NO₃-N) szignifikáns különbségeinek megállapítására Statgraphics 18. szoftverrel Spearman Rank-féle korrelációs elemzést használtam (SD=5% és SD=10%).

4. EREDMÉNYEK

4.1. Termékkialakítási előkísérletek eredményei

Vizsgálataimat azzal kezdtem, hogy az alapanyag és az adalékok fizikai tulajdonságai alapján megfelelő arányú kompozit termékek állítsak elő. Ehhez meg kellett határozni a pontos keverési arányokat, amelyeket egyrészt gyártói javaslatok alapján, másrészt az elvégzett tesztkísérletek alapján végeztem el.

Mindhárom talajtípuson előkísérleteket végeztem különböző szuperabszorbens polimerekkel (Stockosorb, Aquaperla, Zeba) és agyagásványokkal (Alginit, Zeolit, Bentonit). Az agyagásványokat 1-2-3-5-7-9-12%-ban, míg a szuperabszorbens polimereket 0,2-0,5-0,7-1,0-1,5-2,0-2,5%-os arányban kevertem adott mennyiségű talajmintákhoz és vizsgáltam a kialakított talajréteg víz áteresztőképességét, az átnedvesedett rétegvastagságot és a rétegen átjutott vízmennyiséget. Az eredmények értékelése során megállapítottam, hogy az optimális szuperabszorbens polimer arány 0,5% és 2% között változott. Megfigyeltem, hogy 2%-nál több szuperabszorbens hozzákeverése a talajhoz már teljesen megakadályozta az adott talajréteg átnedvesedését, a víz átjutását a rétegen.

Az előkísérletek során arra is törekedtem, hogy olyan adalékanyagot találjak, amellyel sikerül a porított alapanyagot (csirketrágya), szuperabszorbens polimert és agyagásványt megfelelő kijuttatási formába hozni. Olyan szemcsék kialakítására törekedtem, amelyek megfelelő kopásállósággal, oldhatósági tulajdonsággal, stabilitással rendelkeznek. Éppen ezért különböző bevonó anyagok, ragasztóanyagok hozzáadásával végeztem kísérleteket.

Vizsgáltam a hatását vinasznak, bentonit pornak, cukoroldatnak, kapszuláknak (cellulóz és zselatin) és ezek kombinációinak.

Az előkísérletek során azt is vizsgáltam hogyan hat a szuperabszorbens polimerek duzzadása a talajrétegek szerkezetére.

Vizsgálatokat folytattam, hogy a fejlesztendő termék hogyan hat a palánták növekedésére talaj nélküli körülmények között.

Az elővizsgálataim eredményeit a következőkben lehet összefoglalni:

- Az egyes összetevők arányát fizikai-kémiai tulajdonságaik, alkalmazási dózisaik és hatékonyságuk határozta meg.

- Kísérleteiben alapanyagként a fermentált csirketrágyát tekintetem, ezért részarányát 90%-ra állítottam be.
- Az előkísérletek eredményei alapján leghatékonyabbnak a következő arányok bizonyultak: a bentonit részaránya 8-9%, a szuperabszorbens polimerek részaránya 1-2%.
- Eredményeiből megállapítottam, hogy a kapszulázott forma tekinthető a legmegfelelőbbnek a talaj inkubációs kísérletekhez.
- A kapott eredményekből megállapítottam, hogy a szuperabszorbens polimereket nem a talajfelszínen, hanem mélyebb rétegbe, legalább 2-20 cm mélyre bejuttatva lehet megfelelően alkalmazni (kísérlet típustól, tesztnövénytől függően). A felszíni vagy felszín közeli alkalmazás a talajréteg kidudorodását, felszínének összetöredeződését, a készítmények hatékonyságának romlását eredményezi.
- Eredményeim rámutattak, hogy az összeállított kompozitok alkalmasak a palánták hosszantartó nevelésére, akár több héten keresztül is.

4.2. Talajinkubációs kísérletek eredményei

4.2.1. I. Talajinkubációs kísérlet

Ebben az egy hónapos talajinkubációs kísérletben talaj mintavételezés kéthetente történt, viszont a kapszulák állapotát heti rendszerességgel vizsgáltam a külön erre a célra beállított edényekben.

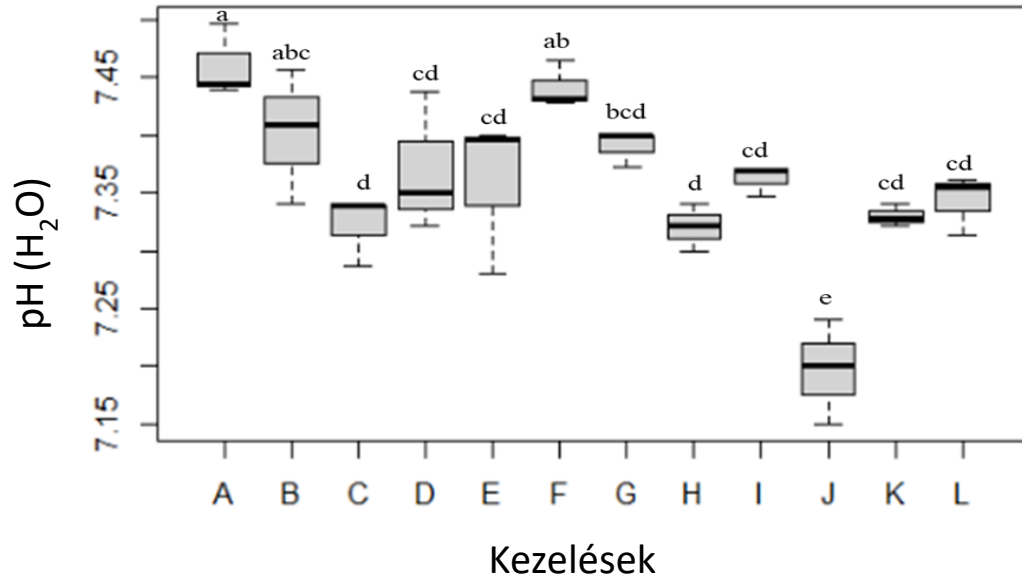
Ezekből hetente felszámoltam egyet-egyed, és fotódokumentációt készítettem a kapszulák állapotáról (10-17. ábrák).

Erre azért volt szükség, hogy a kapszulák állapotában bekövetkezett változásokat nyomon tudjam követni az inkubációs periódus alatt. A képeken jól látható a kapszulák talajban történő átalakulása. Az első hét után a kapszulák anyaga feloldódott, de a kapszulázott termék önálló formát alkotva volt jelen a talajban. A második hét után az összetevők elkezdtek átalakulni, lebomlani, amely folyamat a negyedik hét utánra ment végbe (TÓTH et al., 2022a).

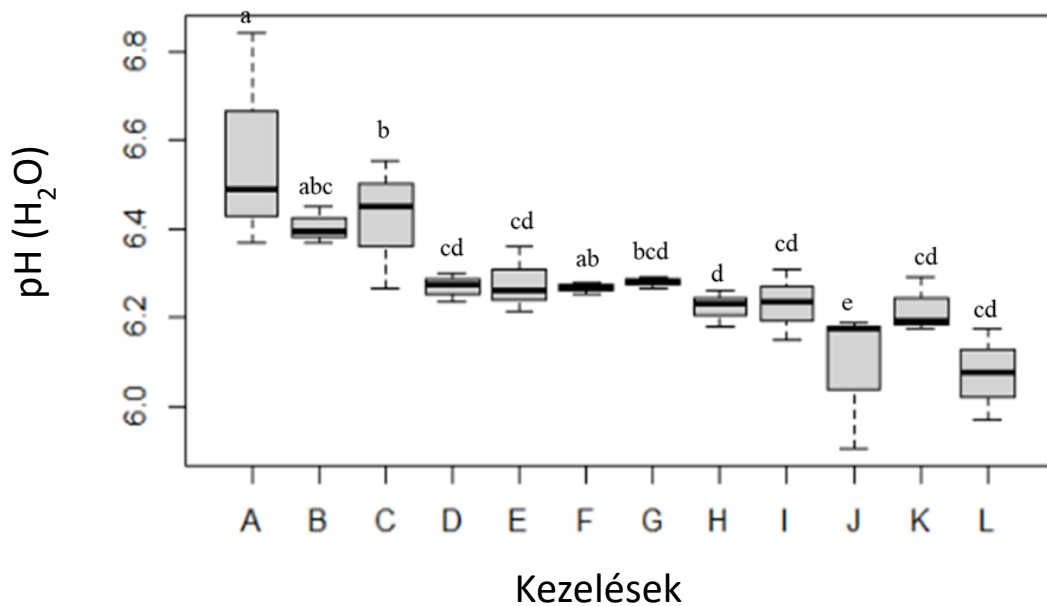


10-17. ábrák: A kísérlet során felszámolt edények és kapszulák

A megfigyelésekkel párhuzamosan vizsgáltam a kezelések hatásait. A kezelések hatása a *talaj kémhatására* a második és negyedik hét után látható a következő ábrákon (18-19. ábrák). A pH értéke 7,20 -7,45 között változott a második hét után, míg 6,10-6,50 között a negyedik hét után. A kísérlet során tehát a talaj kémhatása minden kezelésben enyhén csökkenő tendenciát mutatott. Legnagyobb pH értéket mindkét időpontban a kontroll kezelésben kaptam. Megállapítható, hogy az alkalmazott kezelések már az első hét után enyhén savanyító hatással bírtak, ami az inkubációs kísérlet végére még kifejezettebbé vált. Eredményeimből az is megfigyelhető, hogy a nagyobb dózisu szuperabszorbenst tartalmazó kezelések jobban csökkentették a talaj pH értékét.



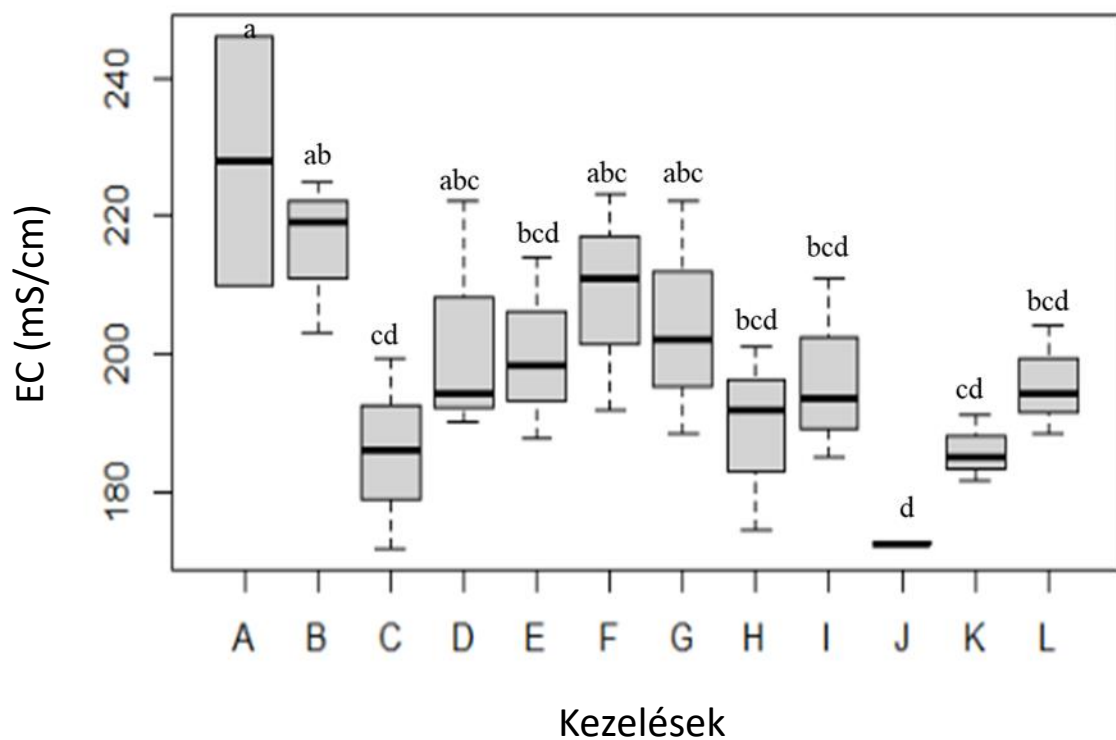
18. ábra: Kezelések hatása a talaj pH-ra a második hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))



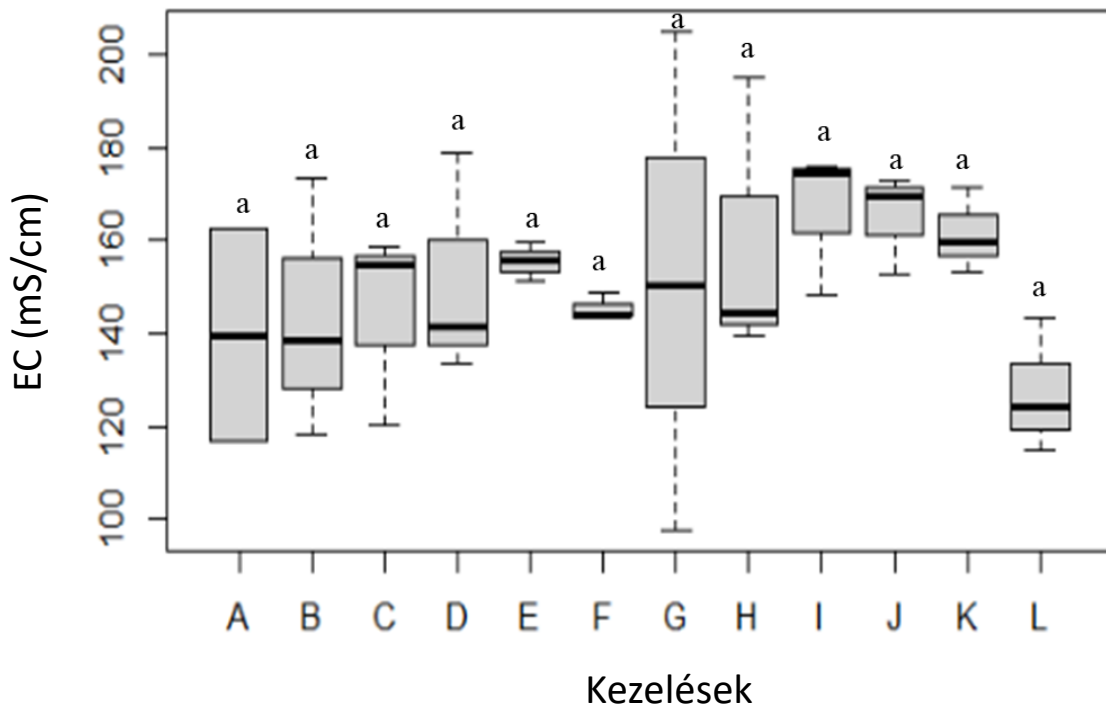
19. ábra: Kezelések hatása a talaj pH-ra a negyedik hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A kezelések hatása a *talaj elektromos vezetőképességére* (EC) a második és negyedik hét után látható a következő, 20. és 21. ábrákon. A talaj elektromos vezetőképessége 180-230 mS/cm között változott a második hét után, míg a kísérlet végén 130-180 mS/cm között alakult, ami enyhén csökkenő tendenciát mutat. Eredményeiből megállapítható, hogy a kezelések a kontrollhoz képest már a második hét után csökkentették a talaj elektromos vezetőképességét. Ez a hatás azonban a kísérlet

végére megszűnt, a kontroll és a kezelt minták között szignifikáns különbség az elektromos vezetőképességben nem volt mérhető egyik rétegben sem. Ez arra utalhat, hogy a szuperabszorbens gélek térfogat növekedése és a velejáró szerkezeti átalakulás, illetve az ionok bediffundálása és reverzibilis megkötése; továbbá felületi adszorpciójuk az agyagásványon az első két hétben végbement. Az EC értékében bekövetkezett kismértékű változások arra utalnak, hogy a kompozit termékek nem jelentenek konkurenciát a növényi tápanyagfelvétel szempontjából, hiszen a talajoldat sótartalmát döntően nem változtatták meg.

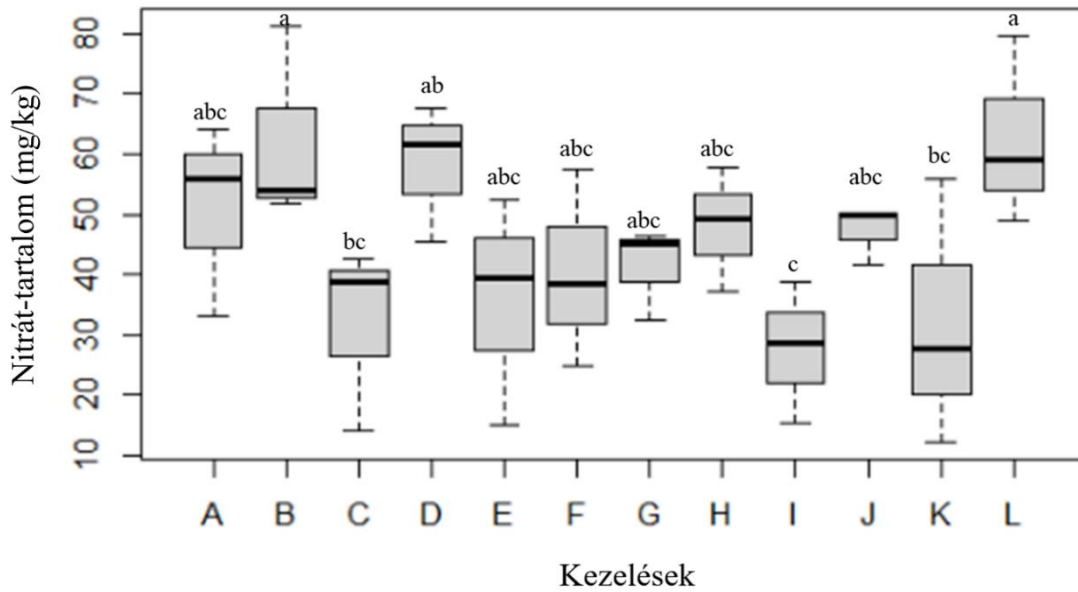


20. ábra: Kezelések hatása a talaj EC-re a második hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

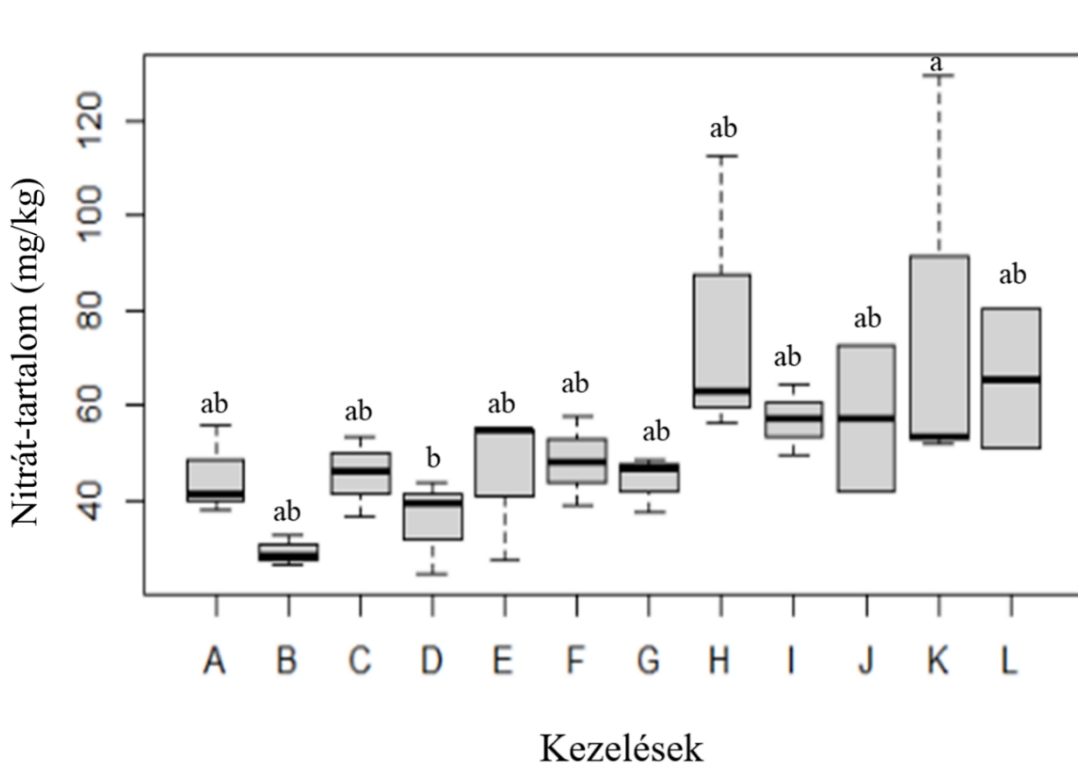


21. ábra: Kezelések hatása a talaj EC-re a negyedik hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A kezelések hatása a *talaj nitrát-tartalmára* a második és negyedik hét után látható a következő, 22. és 23. ábrákon. A kapott eredményekből látható, hogy a talaj nitrát-tartalma két hét után 25-65 mg/kg között, míg a kísérlet végén 20-60 mg/kg között változott. A kísérlet első periódusában a kezelések enyhén, de többnyire nem szignifikánsan csökkentették a talaj nitrát-tartalmát. Míg a második felében a kísérletnek azt tapasztaltam, hogy a kezelések enyhén növelték, de összességében szignifikánsan nem befolyásolták a nitrát-tartalmat a kontrollhoz képest. Ezek az eredmények is megerősítik azt a korábban ismertetett feltételezést, hogy a szuperabszorbens polimer szerkezeti átalakulása – adott nedvesség viszonyok között – viszonylag rövid idő belül (2 hét) bekövetkezik és ezt követően dinamikus viszonyok alakulnak ki a rendszerben. A kapott eredményekből látható, hogy a legnagyobb mértékű nitrát-tartalom csökkenés a kontroll kezelésben figyelhető meg. Megállapítható az is, hogy az alkalmazott kezelések a kísérlet végén sokkal egyenletesebb nitrát-eloszlást mutattak a rétegek között, mint az inkubáció első szakaszában (G-H; I-J; K-L). A kísérlet felénél a kontroll kezelésben kiegyenlített volt a nitrát-tartalom a két réteg között, ez azonban a kísérlet végére megváltozott és az alsó rétegben nagyobb nitrát-tartalom volt mérhető.



22. ábra: Kezelések hatása a talaj nitrát-tartalmára a második hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

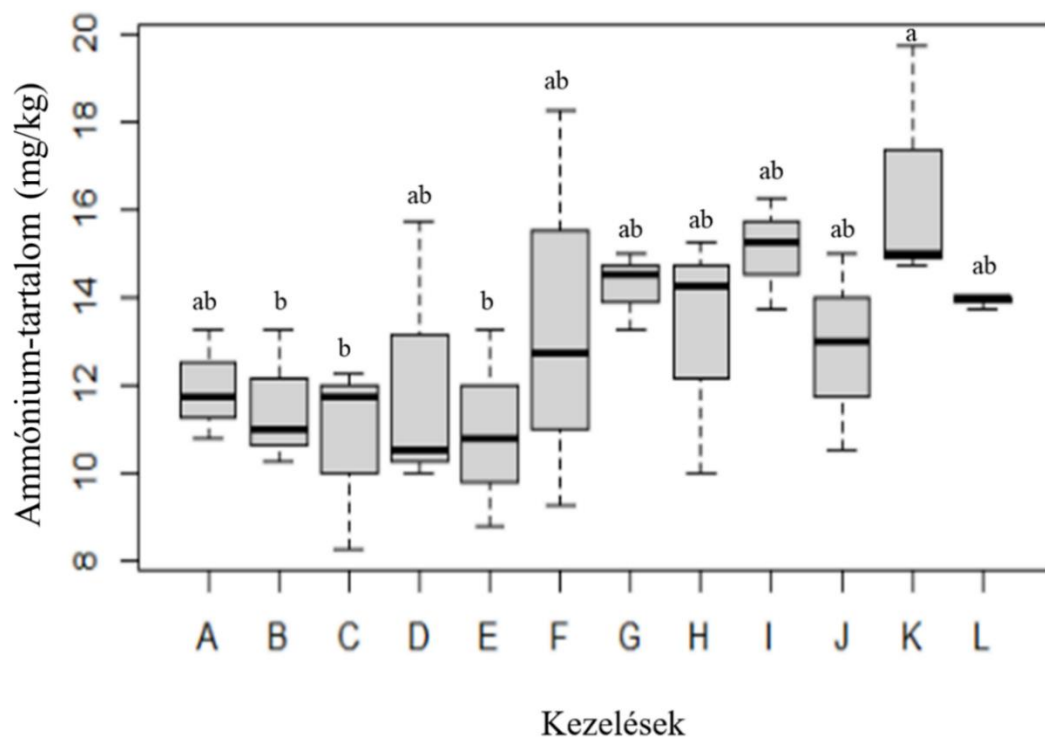


23. ábra: Kezelések hatása a talaj nitrát-tartalmára a negyedik hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

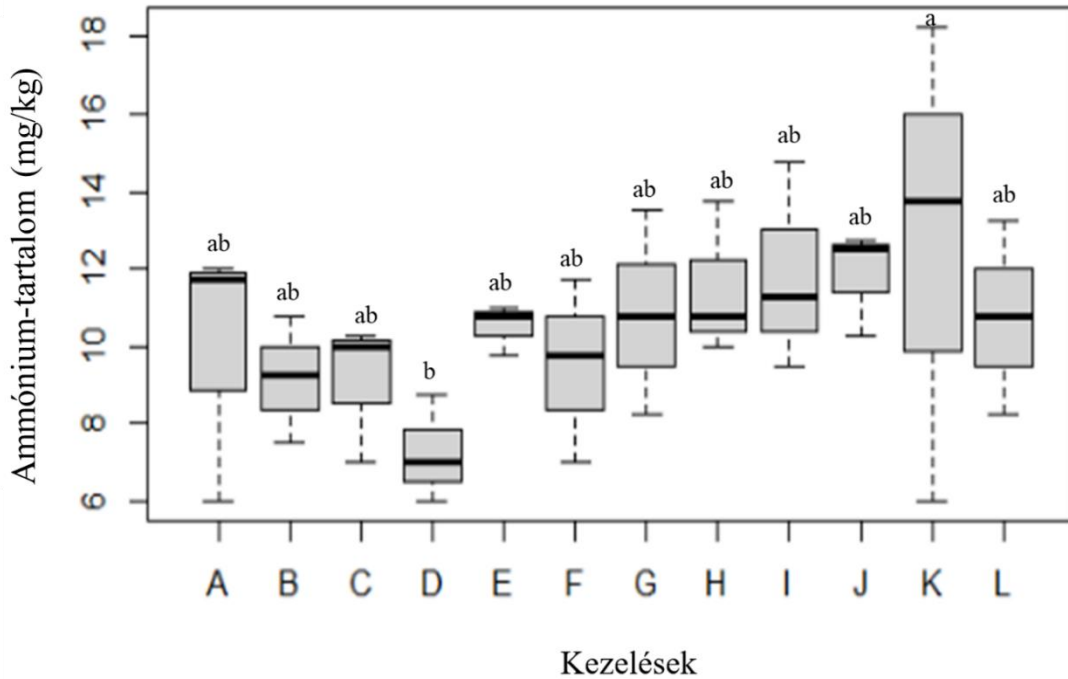
Ezzel szemben a kompozit kezeléseknel a kísérlet végén közel azonos nitrát-tartalmat mértem a két rétegben. Ez arra enged következtetni, hogy az adalékanyagok

kedvezően hatnak a nitrát-ionok mélységi eloszlására, azaz megvédik a nitrát-ionokat a kimosódástól. Ez a hatás homoktextúrájú talajokon, ahol a nitrát-ionok mélységi elmozdulása jelentős, különösen kedvező lehet, hiszen így a gyökérzónában, azaz a fő tápanyagfelvételi zónában nagyobb közvetlenül felvehető nitrát-tartalommal lehet számolni.

A kezelések hatása a *talaj ammónium-tartalmára* a második és negyedik hét után látható a következő, 24. és 25. ábrán. A kapott eredményekből látható, hogy a talaj ammónium-tartalma két hét után 11-15 mg/kg között, míg a kísérlet végén 7-13 mg/kg között változott. A kezelések enyhén növelték a talaj ammónium-tartalmát a kontrollhoz képest, de a hatás nem volt szignifikáns. A talaj ammónium-tartalma döntően nem változott az inkubáció időszaka alatt. Az is megfigyelhető, hogy a kísérlet során a talaj nitrát-tartalma mintegy ötszöröse volt az ammónium-tartalomnak. Ez arra utal, hogy a kísérlet során a domináns forma a nitrát volt és a mineralizációs folyamatok akadálytalanul lejátszódnak adott nedvesség viszonyok között. Látható, hogy az ammónium tartalom sokkal egyenletesebben változik a rétegek között, mint a nitrát-tartalom. Ez a két ion eltérő mozgékonyásával jól magyarázható.



24. ábra: Kezelések hatása a talaj ammónium-tartalmára a második hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))



25. ábra: Kezelések hatása a talaj ammónium-tartalmára a negyedik hét után (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

Eredményeim rámutattak arra, hogy a prototípus termékek hatásmechanizmusának feltárásához további vizsgálatokra van szükség. Éppen ezért újabb kísérleteket állítottam be különböző vízkapacitás szinteken, eltérő talajtípusok használata mellett.

4.2.2. II. Talajinkubációs kísérlet

A fermentált csirketrágyát, bentonitot és szuperabszorbens polimert tartalmazó szerves kompozit hatását a talaj nitrogénmineralizációjára két különböző, de jellemző magyar talajtípuson és két talajnedvesség-tartalom mellett vizsgáltam rövid távú (egy hónap) talajinkubációs kísérletben. A kísérlet beállítása előtt elvégeztem a talajok talajkémiai vizsgálatát azért, hogy megállapítsam tápanyagellátottsági szintjeiket és alapvető tulajdonságaikat (lásd: Anyag és módszer (3.1.2. fejezet)).

A talajvizsgálati eredmények jól tükrözték a két talaj közti különbségeket, így ezek alapján jól használhatóak voltak a mineralizáció vizsgálatára ezen a két markánsan eltérő, de jellegzetesen magyar talajtípuson.

A kezelések hatását a talaj kémhatására mutatja be a következő, 12. táblázat mutatja be.

12. táblázat: A kezelések hatása a talaj pH-ra

Hetek	1.	2.	3.	4.
Látókép				
40 C	6,82 ^a	6,43 ^a	6,54 ^a	6,42 ^b
40 NEX	6,96 ^a	6,49 ^a	6,49 ^a	6,35 ^b
60 C	6,56 ^b	6,50 ^a	6,42 ^a	6,46 ^b
60 NEX	6,61 ^b	6,59 ^a	6,33 ^b	6,62 ^a
Pallag				
40 C	6,94 ^a	6,61 ^a	6,61 ^a	6,84 ^a
40 NEX	6,88 ^a	6,67 ^a	6,55 ^a	6,72 ^a
60 C	6,89 ^a	6,59 ^a	6,61 ^a	6,79 ^a
60 NEX	7,05 ^a	6,54 ^a	6,79 ^a	6,88 ^a

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$)

A talaj pH 6,55 és 7,05 között változott a pallagi talajnál, míg 6,33 és 6,96 között a látóképi talajnál. A vizsgált négy hét alatt a pH-ban enyhe csökkenést tapasztaltam, ami összhangban volt korábbi megfigyeléseimmel, ellentmondásban viszont a SARIFUDDIN és DEWANTARI (2021) által kapott adatokkal. Ez magyarázható azzal, hogy a SAP nemcsak a víz, hanem az oldható tápanyag-ionok megkötésére is képes (SITU et al., 2023) és megkötődésükkor hidrogén-ionok (oxónium-ionok), mint ellen-ionok kerülnek a talajoldatba csökkentve ezáltal annak pH-ját.

Eredményeim rámutattak, hogy a nedvességtartalom szignifikánsan nem befolyásolta a kapott pH értékeket, azaz az ioncsere folyamatok kisebb vízkapacitási szinten is lejátszódnak zavartalanul. Azonban nagyobb nedvességartalom esetén a kezelt talajok eredményezték a nagyobb pH értéket a vizsgálat végén.

Eredményeim rámutatnak arra is, hogy a kompozit használata a talaj pH-értékét a vizsgált időszakban a kontrollhoz képest nem befolyásolta szignifikánsan egyik talajtípus esetén sem, azaz a későbbiekben tárgyalt mineralizációs folyamatok, tendenciák nem az esetlegesen változó pH hatását tükrözik, hanem inkább a termékek hatását.

A talaj nitrát- és ammónium-tartalmát mutatják be a következő táblázatok (13-14. táblázatok) a vizsgált időszakban.

13. táblázat: A kezelések hatása a talajok nitráttartalmára a vizsgált időszakban

NO₃⁻ (mg/kg)				
Hetek	1.	2.	3.	4.
Látókép				
40 C	37,25 ^b	14,67 ^b	66,92 ^{bc}	85,33 ^a
40 NEX	42,75 ^b	21,08 ^a	79,00 ^b	84,92 ^a
60 C	40,33 ^b	16,58 ^b	92,08 ^a	82,08 ^a
60 NEX	58,75 ^a	16,00 ^b	91,67 ^a	77,83 ^a
Pallag				
40 C	3,11 ^b	4,94 ^b	24,40 ^a	24,43 ^a
40 NEX	4,04 ^b	6,07 ^b	21,94 ^a	24,39 ^a
60 C	5,07 ^a	7,01 ^a	21,54 ^a	21,44 ^a
60 NEX	6,09 ^a	8,14 ^a	21,33 ^a	22,75 ^a

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$)

Eredményeimből látható, hogy a talaj nitráttartalmában a két talajtípus között jelentős különbség van. A látóképi talajban mért nitráttartalom mintegy tízszerese a pallagi talajénak, ami a két talajtípus közötti különbséggel magyarázható. Hasonló eredményekről számolt be SISTANI et al. (2008) is. A látóképi talaj esetén a talaj nitráttartalma a kezdeti csökkenés után (2. hét) erőteljes növekedést mutatott, ami a nitrifikációs folyamatok lejátszódásával, beindulásával magyarázható. A pallagi talaj esetén az inkubáció első felében kapott kis értékek később, az inkubáció a második felében szintén jelentősen megnövekedtek. Ezek az értékek elmaradtak a látóképi talaj esetén kapott értékektől, de szintén utaltak a mineralizációs folyamatok beindulására. Kezdetben a csernozjom talaj nitráttartalma tízszer nagyobb volt, mint a barna erdőtalajé, míg a kísérlet végére ez az arány harmadára-negyedére csökkent. Ez arra utal, hogy a kisebb tápanyagtőkéjű talajon kedvezőbb hatást tudtam elérni az alkalmazott kompozit kezelés révén.

Megállapítható, hogy a NEX-kezelések összességében növelő hatást gyakoroltak a talaj nitráttartalmára, bár ez a hatás nem minden esetben volt szignifikáns. ABBASI et al. (2007) hasonló tendenciáról számoltak be, amikor a különböző trágyák N-mineralizációs potenciálját laboratóriumi inkubációs kísérletben vizsgálták.

Az inkubációs időszak alatt képződött ammóniumtartalmat is megmértem. A kapott eredményeket a következő, 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat: A kezelések hatása a talajok ammóniumtartalmára a vizsgált időszakban

NH₄⁺(mg/kg)				
Hetek	1.	2.	3.	4.
Látókép				
40 C	22,67 ^a	54,67 ^a	7,25 ^a	6,58 ^b
40 NEX	14,50 ^b	52,25 ^a	6,50 ^a	8,08 ^a
60 C	15,67 ^b	64,17 ^a	7,08 ^a	6,25 ^b
60 NEX	13,83 ^b	62,50 ^a	6,25 ^a	5,50 ^b
Pallag				
40 C	15,50 ^a	14,83 ^a	11,83 ^a	7,00 ^a
40 NEX	12,92 ^a	13,83 ^a	12,75 ^a	7,00 ^a
60 C	14,58 ^a	13,93 ^a	11,33 ^a	6,00 ^a
60 NEX	9,50 ^b	12,68 ^a	9,58 ^a	5,25 ^a

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05)

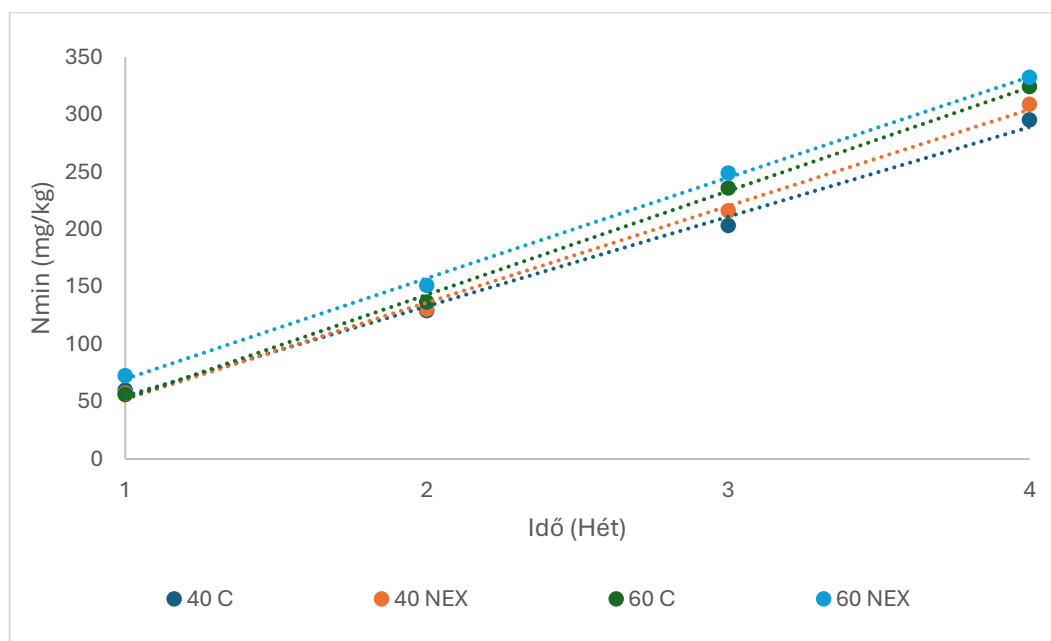
Az előző táblázatok adatainak összehasonlítása során megállapíthatjuk, hogy a látóképi talaj esetén a domináns nitrogénforma a nitrát volt. Kezdetben ennél a talajnál a nitráttartalom másfél, kétszerese volt az ammóniuménak. Ez az arány az inkubáció végére tíz, tizenötszörösére változott, ami szintén a mineralizációs folyamatok előrehaladtával magyarázható. A csernozjom talajban, kezdetben növekedett a talaj ammóniumtartalma, majd jelentősen csökkent. Ez a tendencia összhangban van a nitrátmérések eredményeivel (13. táblázat). Az ammónium koncentráció csökkenése a nitrát koncentráció növekedésével volt koherens. Ez arra utal, hogy a talaj nitrogénjének két formája, az oxidált és a redukált forma, együttesen változott a kísérlet során, amelyet a talaj mineralizációs potenciálja befolyásolt.

A csernozjom talajhoz hasonlóan a barna erdőtalajban is megfigyelhető volt a két nitrogénforma arányának eltolódása az inkubáció során, de az eltolódás mértéke a csernozjom talajhoz képest kisebb volt. A pallagi talajnál a nitrát/ammónium arány a kezdeti ammónium dominanciáról tanúskodik. Később, az inkubáció végére ez az arány megfordul és a nitrát lesz a domináns forma, a nitrát/ammónium arány pedig három és fél, négyre nőtt. Mindkét talaj esetében tehát a mineralizáció fokozódó jelenlétével kell számolni. SISTANI et al. (2008) hasonló tendenciát publikáltak a brojler-alom nitrogén mineralizációra gyakorolt hatásának laboratóriumi értékelése során.

A kapott eredményeim lehetőséget teremtettek arra, hogy segítségével meghatározzam a talajok potenciálisan mineralizálható N mennyiségeit STANFORD és SMITH (1972) alapján.

Ebben a koncepcióban a mineralizált nitrogén (N_{min}) mennyisége a nitrát- és ammóniumtartalom összegzésével számítható ki. Így az összesített N_{min} -értékeket a kísérlet teljes időtartama alatt hétről hétre kiszámítottam. Eredményeim rámutatnak, hogy a N_{min} kumulatív mennyisége a vizsgált időszak alatt folyamatosan nőtt.

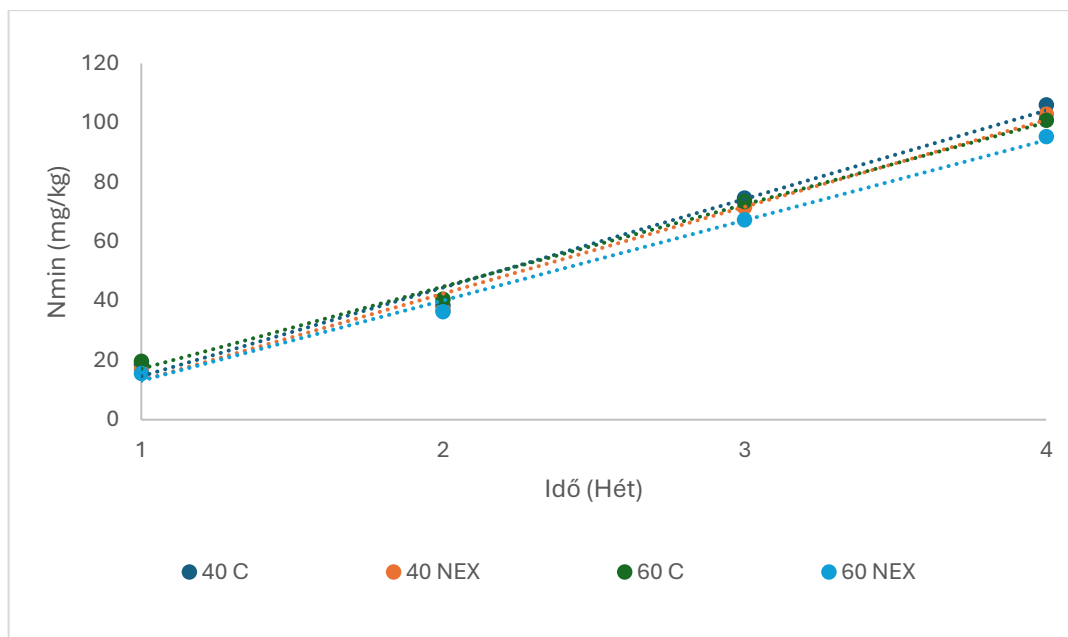
Az ásványi nitrogén heti képződésének ütemét mindkét talajtípus esetében lineáris összefüggéssel lehet leírni a vizsgált időszakban (26-27. ábrák).



26. ábra: N_{min} mennyiségének alakulása az inkubációs időszak alatt a látóképi talaj esetén

Az ábrán látható, hogy nagyobb vízkapacitás érték esetén nagyobb mineralizált nitrogén tartalom volt mérhető a csernozjom talaj esetén. Látóképi talaj esetén a kezelések kismértékben növelték a N_{min} értékét. A pallagi talaj esetén a kisebb vízkapacitás érték mellett kaptam nagyobb N_{min} értékeket. Jelentős különbség azonban ennél a talajnál nem volt a mineralizálódott nitrogén mennyiségében a kezelések között.

Számos szerző mutatott rá, hogy a talaj nedvesség-tartalma nem egyértelműen határozza meg a mineralizáció ütemét (APPEL, 1998; GRIFFIN et al., 2002; HONEYCUTT et al., 2005).



27. ábra: N_{\min} mennyiségének alakulása az inkubációs időszak alatt a pallagi talaj esetén

A kapott eredményekből a következő egyenletek számíthatók (15. táblázat). Ezen összefüggések egyenleteit és R-értékeit a 6. táblázat mutatja be, a kapott R-értékek minden esetben meghaladták a 0,99-et. Ez azt jelzi, hogy a lineáris regressziós modell a talajtípustól függetlenül pontosan leírja az inkubációs időszak alatt keletkező N_{\min} mennyiségét.

15. táblázat: A kezeléseknél kapott mineralizációs egyenletek és R értékek

	Egyenlet	R érték
Látókép		
40 C	$y = 78,042x - 23,125$	0,9978
40 NEX	$y = 84,1x - 32,000$	0,9986
60 C	$y = 90,392x - 37,750$	0,9993
60 NEX	$y = 87,717x - 18,042$	0,9991
Pallag		
40 C	$y = 29,849x - 15,217$	0,9937
40 NEX	$y = 29,264x - 16,087$	0,9943
60 C	$y = 27,662x - 10,503$	0,9966
60 NEX	$y = 27,011x - 13,868$	0,9971

A kapott eredmények lehetőséget teremtenek a PMN mennyiségének meghatározására a vizsgált talajokban.

Ha a mineralizációt nagyon hosszú (végtelen) időn keresztül ($t \rightarrow \infty$) követjük, az Nt egyenlő lesz az PMN-nel, ami a maximálisan mineralizálható N-t jelenti (FILEP és TÓTHNÉ, 1980a).

Ha a különböző időpontokban mineralizálódó teljes N reciprokát ($1/Nt$) az idő reciprokának ($1/t$) függvényében ábrázoljuk, akkor az egyenes tengelymetszete az $1/PMN$ közelítő értékét $1/PMN'$ néven adja meg.

Az PMN értékét és a mineralizációs állandót (k) FILEP és TÓTHNÉ (1980a; b) szerint számítottam (16. táblázat).

16. táblázat: A számított PMN értékei a látóképi és a pallagi talajok esetén

	Látókép	Pallag
Kezelések	PMN (mg/kg)	PMN (mg/kg)
40 C	434,78	114,65
40 NEX	588,24	188,68
60 C	1000,14	140,85
60 NEX	1428,57	256,41

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a csernozjom típusú talaj nagyobb mineralizációs potenciállal rendelkezik, mint a barna erdőtalaj, köszönhetően a nagyobb tápanyag és szervesanyag tartalomnak.

A kontroll esetén a PMN értéke 114,65 és 140,85 mg/kg között változott a barna erdőtalajban, a víztartalomtól függően. A csernozjom talaj esetén pedig a PMN értéke 434,78 és 1000,14 mg/kg volt a kontrollban, a víztartalomtól függvényében.

A kompozit alkalmazása a barna erdőtalajban a víztartalomtól függően 64,5 és 82%-kal, a csernozjom talajban a víztartalomtól függően 35,3 és 42,8%-kal növelte a PMN értékét. Az eredmények azt mutatták, hogy a kompozit alkalmazása mindkét talajtípusban hatékonyan elősegítette a mineralizációs folyamatokat. A kapott eredmények arra utalnak, hogy jelentős nitrogénmineralizáció csak optimális talajnedvesség mellett várható. Ugyanakkor számos szerző mutatott rá, hogy a talaj nedvesség-tartalma nem egyértelműen határozza meg a mineralizáció ütemét (APPEL, 1998; GRIFFIN et al., 2002; HONEYCUTT et al., 2005). Megállapítható, hogy a kompozit termék különösen hatékonynak bizonyult a kis tápanyagszintű és alacsony mineralizációs potenciállal rendelkező talajokon, jellemzően a homokos szerkezetű

talajokon főként abban az esetben, amikor a talaj nedvességtartalma elmarad a mineralizáció szempontjából optimálisnak tekinthető értéktől.

A lineáris regressziós modell alapján az NMR értékeket MAITLO et al. (2022) alapján számoltam ki. A csernozjom talajban a számított NMR értékek 1,14, 1,28, 1,15 és 0,38 mg N/kg talaj/nap voltak a 40 C, 40 NEX, 60 C és 60 NEX kezelések esetében. A barna erdőtalajban a számított NMR-értékek 0,46, 0,52, 0,28 és 0,44 mg N/kg talaj/nap voltak a 40 C, 40 NEX, 60 C és 60 NEX kezelések esetében.

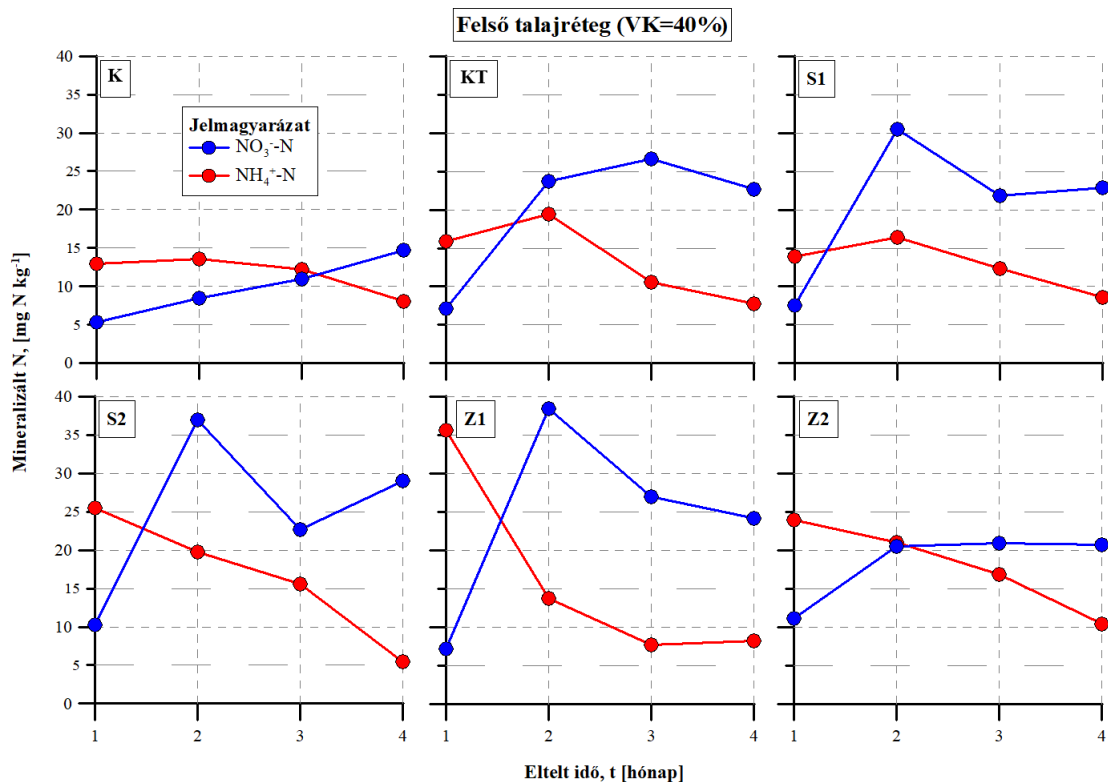
Az NMR-érték a csernozjom talaj esetében 2,5-4-szer magasabb volt, mint a barna erdőtalaj esetében, kivéve a 60 NEX kezelést. A NEX-kezelés általában növekvő hatással volt az NMR-re, kivéve a 60 NEX-kezelést a csernozjom talajban. Az NMR-értékekre vonatkozó eredményeim összhangban vannak a SISTANI et al. (2008) által közölt korábbi kutatások eredményeivel. A csirketrágya pozitív hatása az NMR eredményekre azt mutatja, hogy a csirketrágya hatékonyan és eredményesen hasznosítható potenciális N-forrásként a tápanyagszegény talajok esetén a növénynövekedésben, ahogyan arról ABBASI és KHALIQ (2016) is beszámolt.

A talaj szerves N-tartalmát a kísérlet végén ismét megmértem. Tartalma 2100 mg/kg volt a csernozjom talajban és 370 mg/kg a barna erdőtalajban. Ez azt jelenti, hogy a kezdeti mennyiség 60, illetve 53%-a maradt a csernozjom, illetve a barna erdőtalajban az egy hónapos inkubáció után.

A jelentős tartalék miatt úgy döntöttem, hogy a következő kísérlet időtartamát jelentősen megnövelem és egy hónap helyett négy hónapon át tartó kísérletet hajtottam végre.

4.2.3. III. Talajinkubációs kísérlet

A szerves N-frakció mineralizációját a talajban lévő szerves anyagok alakulása alapján vizsgáltam. Az inkubációs periódus során havi rendszerességgel mértem két talajrétegben, két vízkapacitási szint mellett a talaj $\text{NH}_4\text{-N}$ - és $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmát. A kapott eredményeket a 28-31. ábrák mutatják be. Eredményeim rámutattak arra, hogy a talaj $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalma csökkent, míg a $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalom minden kezelésben nőtt az inkubációs időszak alatt 40%-os vízkapacitásnál a felső talajrétegben a mineralizációs folyamatok következtében. A felső talajrétegben az $\text{NH}_4\text{-N}$ kezdeti túlsúlya a $\text{NO}_3\text{-N}$ -nel szemben az inkubáció során nitrátdominanciává változott mindkét vizsgált vízkapacitási szint esetén (28-30. ábrák).

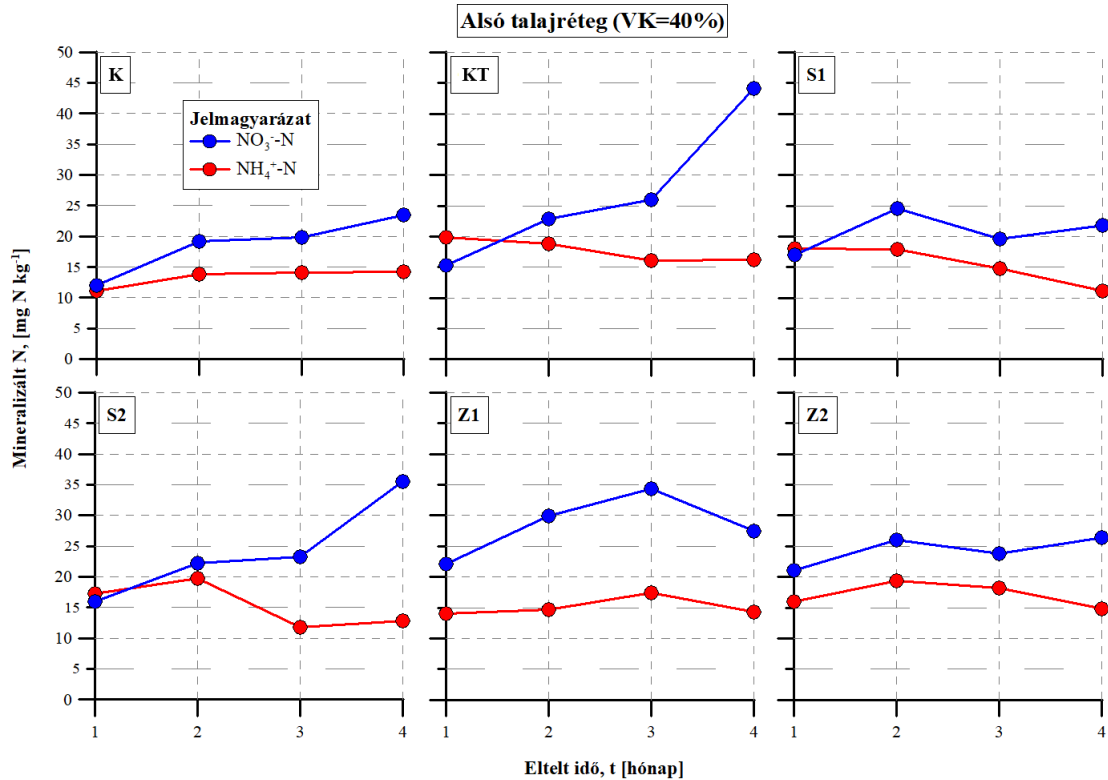


28. ábra: A kezelések hatása a talaj mineralizált N formáira (mg N/kg) a talaj felső rétegében (VK=40%)

Általánosságban elmondható, hogy a NO₃-N és az NH₄-N aránya $\approx 1/3$ -ról $2/1$ -re változott az inkubáció végére. Ez azt jelenti, hogy az inkubáció végére az NO₃-N tartalom vált dominánssá, míg az NH₄-N mennyisége fokozatosan csökkent. Például az NO₃-N-tartalom átlagosan 5 mg/kg-ról 25 mg/kg-ra nőtt, míg az NH₄-N mennyisége a kezeléstől függően 50-70%-kal csökkent a felső talajrétegben, 40%, illetve 60%-os VK mellett (28-29. ábrák). A kontroll kezelés esetén a nitráttartalom egyenletesen és fokozatosan növekedett, míg a csirketrágyát kapott KT kezelésnél és a kompozit kezeléseknél ez a növekedés sokkal jelentősebb és ugrásszerűbb volt. Kivételt csak a Z2 kezelés jelentett. Eredményeimhez hasonló tendenciáról számolt be LI és LI (2014), amikor az állati trágya nitrogénmineralizációját vizsgálták.

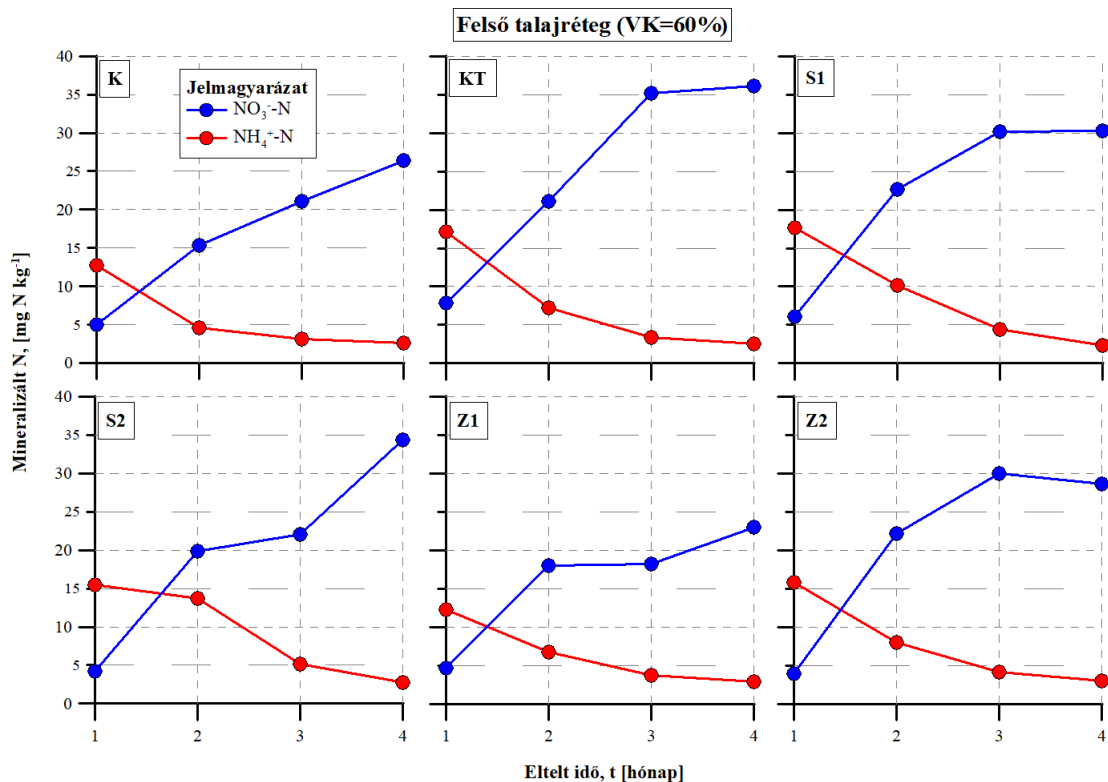
Az alsó talajréteg vizsgálata során azt tapasztaltam, hogy a kontrollkezelésben a talaj NH₄-N-tartalma lényegében nem változott (≈ 15 mg N/kg) az inkubációs időszak során a kisebb vízkapacitású szinten (29. ábra). A többi kezelés enyhén csökkentette a talaj NH₄-N-tartalmát az inkubáció során. Ezzel szemben a NO₃-N-tartalom a legtöbb kezelésben nőtt az inkubációs időszak alatt, kivéve a Z1 kezelést az időszak végén. Jelentős, hogy a KT és S2 kezeléseknél körülbelül kétszer akkora növekedést figyeltem meg, mint a kontrollnál. Ebben a rétegben a talaj NO₃-N-tartalma minden kezelésben

nagyobb volt, mint az $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalom a teljes inkubációs időszak alatt. Ez a nitrát forma nagyobb mozgási képességével magyarázható, azaz mélyebb rétegekben való felhalmozódásra.



29. ábra: A kezelések hatása a talaj mineralizált N formáira (mg N/kg) a talaj alsó rétegében (VK=40%)

Továbbá e két mineralizált forma változási mintázata hasonló tendenciát mutatott. A felső rétegben tapasztaltakhoz hasonlóan az alsó rétegben is a $\text{NO}_3\text{-N}$ vált a domináns N-formává, mennyisége 2-4,5-szerese volt az $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalomnak (29. ábra).



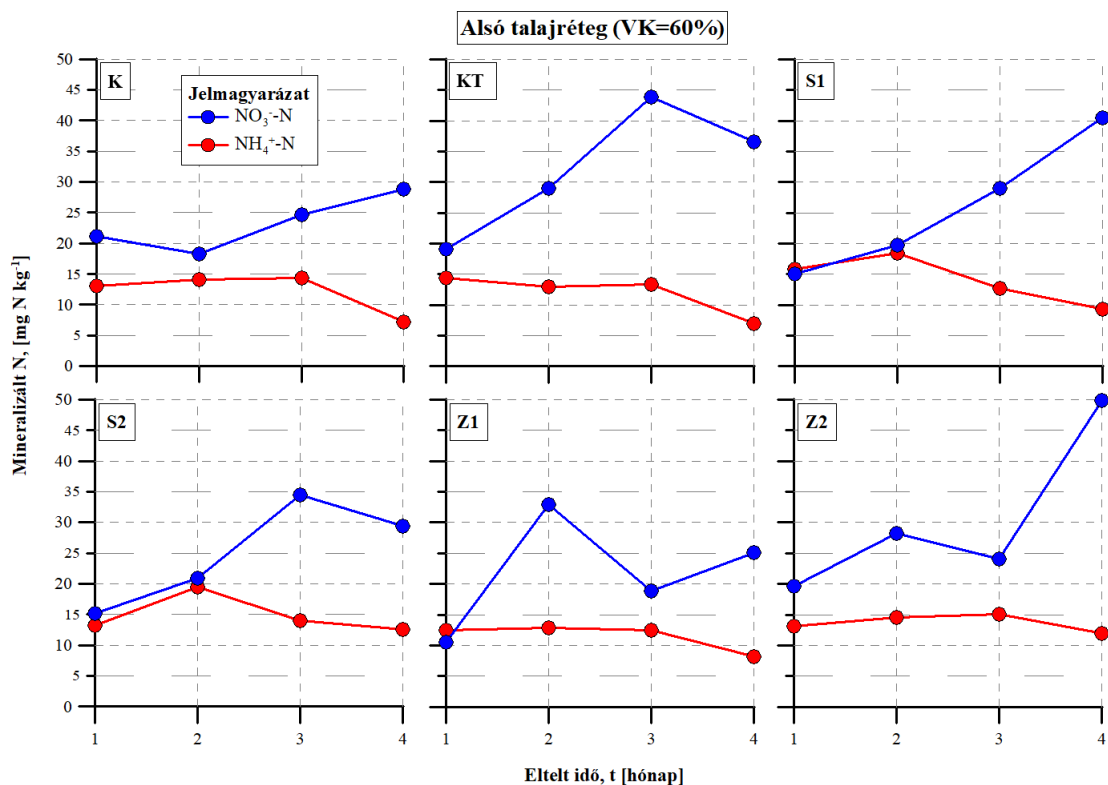
30. ábra: A kezelések hatása a talaj mineralizált N formáira (mg N/kg) a talaj felső rétegében (VK=60%)

Hasonlóan a kisebb vízkapacitású szinthez, a talaj NH₄-N-tartalma folyamatosan csökkent, míg a NO₃-N-tartalom az összes kezelésben nőtt az inkubációs időszakban a nagyobb vízkapacitású szintnél a felső talajrétegben. A CALDERÓN et al. (2004) által kapott eredményekhez hasonlóan a kezelt talajban az inkubáció elején az ammónium volt a domináns forma, míg az inkubáció végén a nitrát vált dominánssá. Mennyisége kezdetben átlagosan harmada, majd a kísérlet végére mintegy hatszorosa volt az NH₄-N-tartalomnak (30. ábra).

Hasonló tendenciát kaptam az alsó talajrétegben is. Itt a nitrát- és ammóniumionok koncentrációja az inkubáció kezdetén közel azonos volt (10-20 mg N/kg), de a kísérlet végére a NO₃-N tartalom a kezeléstől függően kétszer-ötször nagyobb volt, mint az NH₄-N tartalom. Ezek az eredmények is megerősítik, hogy a két vizsgált ásványi nitrogénforma mennyiségében, illetve arányában eltolódás következett be, és az inkubáció végére a magasabb oxidációs állapot (nitrátforma) vált dominánssá (31. ábra). ÁLVAREZ-ALONSO et al. (2022) hasonló tendenciát állapítottak meg, amikor a szerves hulladékok talajok szén- és nitrogénmineralizációjára gyakorolt hatását vizsgálták.

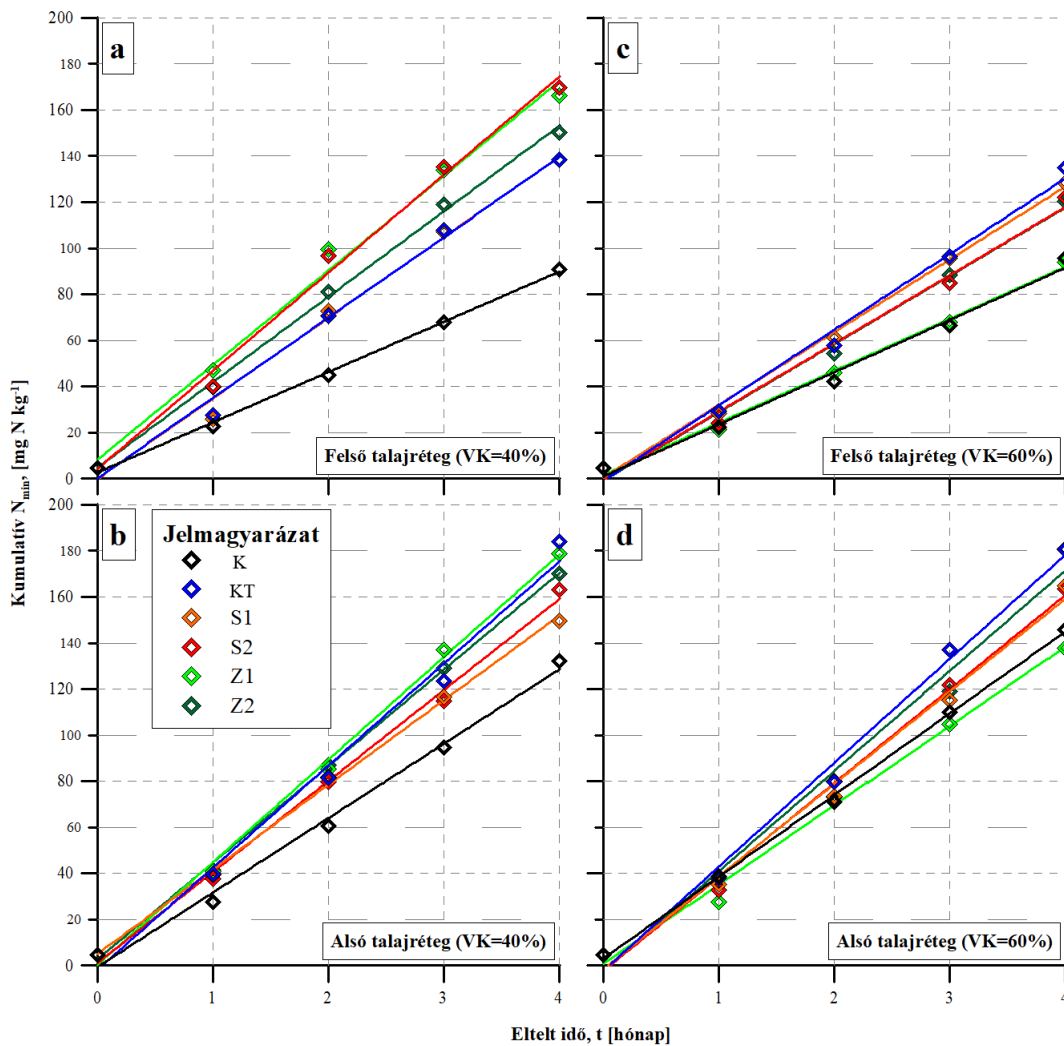
Általánosságban elmondható, hogy az NH₄-N koncentráció csökkenő tendenciája a NO₃-N koncentráció növekedésével korrelált az inkubációs időszak alatt. Ez azt jelzi,

hogy a talaj-N két fő szerves formája az inkubáció során összefüggően változott, valószínűleg az előrehaladott mineralizációs folyamat miatt. Továbbá eredményeim rámutattak arra is, hogy az $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalom változása a két réteg között a nitrát alatt maradt, ami annak köszönhető, hogy a talaj agyagrészecskék és az adalék anyagok kationcserélő helyeiken megkötötték és ideiglenesen visszatartották az ammóniumionokat. Néhány szerző hasonló tendenciát publikált a brojler alom (SISTANI et al., 2008) és szerves kompozitok (TÓTH et al., 2023b) nitrogén mineralizációra gyakorolt hatásának laboratóriumi értékelése során.



31. ábra: A kezelések hatása a talaj mineralizált N formáira (mg N/kg) a talaj alsó rétegében (VK=60%)

Az 32. ábra mutatja be a kezelések hatását a teljes inkubációs időszak alatt mért kumulatív N_{\min} -értékekre. Az N_{\min} kumulatív mennyisége az inkubáció során minden kezelésnél folyamatosan nőtt. A termelt N_{\min} mennyisége lineáris összefüggéssel írható le mindkét talajrétegben és mindkét vízkapacitási szint esetében a teljes vizsgált inkubációs időszak alatt (32. ábra).



Az egyenletek meredekségét és az összefüggések R-értékeit a 17. táblázat mutatja be. Látható, hogy az R-értékek minden esetben meghaladták a 0,99 értéket. Ezek azt jelzik, hogy a lineáris regressziós modell a vízkapacitási szinttől és a rétegektől függetlenül helyesen írja le az N_{\min} képződő mennyiségeit a teljes inkubációs időszak alatt. APPEL (1998), GRIFFIN et al. (2002) és HONEYCUTT et al. (2005) hasonló eredményekről számoltak be, amikor a talaj nedvességtartalmának N-mineralizációra gyakorolt hatását vizsgálták.

MAITLO et al. (2022) egy hosszabb (32 hetes) inkubációs kísérletben logaritmusos összefüggést kaptak a kumulatív N-mineralizáció és az idő között. A mi kísérletünkben kapott lineáris korreláció a kompozitok kapszulázott alkalmazásával függ össze, ami a benne lévő komponensek elhúzódó érvényesülését eredményezte az inkubáció során. Először ugyanis a kapszuláknak kell feloldódniuk, majd a bennük lévő „hatóanyagok” csak ezután fognak a mineralizációs folyamatokban részt venni. Tapasztalataim szerint a

talajba helyezett kapszulák anyaga egy hét alatt lebomlik és a kapszulázott termék szabaddá válik és elkezdni kifejteni hatását.

17. táblázat: A mineralizációs görbék meredekségei (m) és az R értékek a két rétegben és vízkapacitási szinten

Felső réteg					
VK=40%			VK=60%		
Kezelés	m	R	Kezelés	m	R
K	21,784	0,999	K	22,622	0,995
KT	34,825	0,996	KT	32,802	0,995
S1	34,918	0,995	S1	31,515	0,998
S2	42,518	0,996	S2	29,586	0,995
Z1	41,029	0,996	Z1	22,547	0,998
Z2	37,060	0,999	Z2	29,579	0,996
Alsó réteg					
VK=40%			VK=60%		
Kezelés	m	R	Kezelés	m	R
K	32,268	0,997	K	35,414	0,999
KT	44,268	0,995	KT	45,069	0,996
S1	36,674	0,999	S1	40,094	0,996
S2	39,442	0,998	S2	40,717	0,996
Z1	44,484	0,998	Z1	34,355	0,996
Z2	41,868	1,000	Z2	43,451	0,993

Az 32. ábra azt mutatja, hogy az N_{\min} jelentősen nőtt az inkubációs idő alatt, és minden kezelésben nagyobb mineralizációs sebesség volt megfigyelhető, mint a kontroll kezelésben (kivéve a Z1 kezelést 32. c,d ábra), ami a nagyobb mineralizációs potenciálra utal.

Az is megállapítható, hogy alacsonyabb vízkapacitási szintnél szignifikánsabb kezeléshatás volt megfigyelhető, ami arra utal, hogy a SAP-ok kedvezőbb hatást fejtenek ki alacsonyabb talajnedvesség-tartalom mellett (ADJUIK et al., 2022). Például alacsonyabb vízkapacitási szinten, a felső rétegben a kontrollhoz képest 1,5-2-szeres N_{\min} -mennyiséget kaptam, míg nagyobb víztartalom mellett ilyen különbséget nem mértem a kezelésekből a kontrollhoz képest (lásd a 17. táblázatban a lejtés (m) értékeit).

A kumulatív N_{\min} -értékek minden kezelésnél elérték a 140-180 mg/kg értéket a kontrollhoz képest (90-130 mg/kg) az alacsonyabb vízkapacitási szinten (32. a,b ábra).

Magasabb vízkapacitási szintnél kisebb különbség volt megfigyelhető a kezelések és a kontroll között. A kompozit kezelések és a KT azonban a kontrollhoz képest a magasabb vízkapacitási szinten is növelték a kumulatív N_{\min} -értéket (kivéve a Z kezelések), (51. c,d. ábra). A legalacsonyabb N_{\min} -értékeket a felső talajrétegben találtam VK=60%-nál, ami a nitrát erőteljesebb kimosódásával magyarázható (30., 31. és 32. c. ábra).

A mineralizáció egyenleteit a teljes inkubációs időszak alatt a kumulatív N_{\min} -értékek változásai alapján állapítottam meg. A 17. táblázat az egyenletek m és R értékeit mutatja be. Ezen egyenletek m értékei a görbék irányát és meredekségét egyaránt jellemezték. Megállapítható, hogy minden kezelés jelentősen növelte az m értékét a kontrollhoz képest mind a rétegek, mind a vízkapacitás szintjén. Ez arra utal, hogy a mineralizáció sebessége ezekben a kezelésekben nagyobb, mint a kontrollban, függetlenül a nedvességtartalomtól és a rétegtől. A legjelentősebb különbségeket a kezelések között a felső rétegben találtam VK=40%-nál, ahol az S2 és Z1 kezelések m értéke kétszerese a kontrollénak és 20%-kal több, mint a KT kezelésé. Hasonlóan szignifikáns kezelési hatásokat figyeltem meg a többi rétegben és nedvességtartalomban is (17. táblázat). Eredményeim rámutattak, hogy a kompozitok hatékonyabbak voltak alacsonyabb nedvességtartalomnál és a felső talajrétegben a kijuttatási zónában. Ezek az eredmények jó összhangban vannak a 28-31. ábrák értelmezésénél korábban leírtakkal. A kapott korrelációs (R) értékek minden kezelés esetében 0,99-nél nagyobbak voltak, ami arra utal, hogy a mineralizált N mennyisége az időszak alatt jól leírható lineáris összefüggésekkel.

Az eredmények lehetővé tették a talaj teljes mineralizálódott N részarányának becslését a különböző kezelésekben - azaz azt, hogy megállapítsam, hogy a teljes N-tartalom hány százaléka található szerves formában. A 112 napos inkubációs kísérlet során a mineralizálódott N mennyisége 8,14% és 15,63% között mozgott (átlagosan 11,92% volt). A csirketrágya és az adalékanyagok jelenléte a kompozitkezelésekben szignifikánsan növelte a mineralizált N mennyiségét (7,87%-ról 14,4-14,7%-ra) mindkét nedvességtartalom mellett, mindkét vizsgált rétegben a kontrollhoz képest (kivéve a Z1 kezelést). Megállapítható, hogy a kompozitok hatékonyabbak voltak kisebb vízkapacitásnál a kijuttatott rétegben. Az S2, Z1 és Z2 kezelések megnövelték a mineralizált N mennyiségét a KT kezeléshez képest 2,7, 2,4 és 1%-kal, míg az S1 azonos

értéket eredményezett. Az alsó rétegben a KT és az S2, Z1 és Z2 kezelések hatékonysága nem különbözött egymástól. A KT kezelés ugyanolyan hatékonynak bizonyult, mint a kompozit kezelések magasabb nedvességtartalom mellett. Sőt, a kezelések között sem volt szignifikáns különbség, kivéve a Z1-et, amely a legalacsonyabb, 8,14, illetve 11,94 % értékeket okozta (18. táblázat).

18. táblázat: Kezelések hatása a teljes N-tartalom mineralizált részére (%)

A teljes N-tartalom mineralizált része (%)				
Kezelések	VK=40%		VK=60%	
	Felső réteg	Alsó réteg	Felső réteg	Alsó réteg
K	7.87 ^c	9.46 ^b	8.27 ^c	12.64 ^b
KT	11.99 ^b	12.88 ^a	11.70 ^a	15.63 ^a
S1	12.00 ^b	9.91 ^b	11.12 ^a	14.30 ^a
S2	14.70 ^a	11.26 ^a	10.57 ^a	14.18 ^a
Z1	14.41 ^a	12.36 ^a	8.14 ^c	11.94 ^b
Z2	13.01 ^a	11.53 ^a	10.42 ^a	15.67 ^a

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$)

Eredményeim lehetővé tették a talaj PMN- és NMR-értékének becslését a különböző kezelések során. A számított PMN- és NMR-értékeket a 19. táblázat mutatja. A PMN értékek 54 és 232 mg N/kg között mozogtak az alkalmazott kezelések, a vízkapacitási szint és a mélység szerint, amelyek hasonlóak az USA-ban (18 és 358 mg/kg), Kanadában (155 és 246 mg/kg) és Olaszországban (21 és 405 mg/kg) végzett kísérletek esetén közölt értékekhez (MAITLO et al., 2022). LI és LI (2014) is hasonló eredményeket kaptak, amikor a különböző trágyatípusoknak a talaj N-mineralizációjára gyakorolt hatását tanulmányozták.

A legalacsonyabb értékeket a kontroll mintákban kaptam (54-70 mg N/kg). Jelentősebb kezelési hatást figyeltem meg a kijuttatási rétegben VK=40%-nál, mint az alsóbb rétegben, és magasabb vízkapacitási szintnél mindkét rétegben. A kompozitokban (S2 és Z2 kezelések) a magasabb dózisú SAP-kiegészítők 3-4-szeresére növelték a PMN-t a kontroll és a KT kezeléshez képest (19. táblázat). A Z1 kezelés kétszer annyi PMN-t eredményezett az alsó rétegben, mint a kontroll. Az S1 és Z2 kezelések háromszorosára növelték a PMN-t a kontrollhoz képest magasabb vízkapacitási szint mellett az alsó rétegben. Továbbá ezek a kezelések 50 mg/kg-mal növelték a PMN-t a KT kezeléshez

képest. A felső rétegben a magasabb vízkapacitási szintnél azonban a KT kezelés eredményezte a legmagasabb PMN-értéket (227 mg N/kg).

19. táblázat: Kezelések hatása a számolt PMN, NMR és NNR értékekre (N mg/kg)

Felső talajréteg							
VK=40%				VK=60%			
Kezelések	PMN	NMR	NNR	Kezelések	PMN	NMR	NNR
mg N/kg				mg N/kg			
K	54 ^c	2.41 ^c	0.38 ^c	K	70 ^c	2.41 ^c	0.63 ^b
KT	64 ^c	3.64 ^b	0.74 ^b	KT	227 ^a	3.37 ^a	0.92 ^a
S1	68 ^c	3.63 ^b	0.76 ^b	S1	139 ^b	3.31 ^a	0.82 ^a
S2	192 ^a	4.65 ^a	0.91 ^a	S2	71 ^c	3.05 ^b	0.74 ^b
Z1	103 ^b	4.70 ^a	0.87 ^a	Z1	147 ^b	2.44 ^c	0.59 ^b
Z2	232 ^a	4.11 ^b	0.68 ^b	Z2	76 ^c	3.04 ^b	0.78 ^a

Alsó talajréteg							
VK=40%				VK=60%			
Kezelések	PMN	NMR	NNR	Kezelések	PMN	NMR	NNR
mg/kg				mg/kg			
K	55 ^c	3.33 ^c	0.69 ^b	K	61 ^d	3.85 ^c	0.85 ^b
KT	89 ^b	4.51 ^a	0.99 ^a	KT	147 ^b	4.58 ^a	1.17 ^a
S1	54 ^c	4.08 ^b	0.76 ^b	S1	208 ^a	4.10 ^b	0.95 ^a
S2	81 ^b	4.16 ^b	0.89 ^a	S2	101 ^c	4.12 ^b	0.92 ^a
Z1	109 ^a	4.65 ^a	1.04 ^a	Z1	66 ^d	3.62 ^c	0.80 ^b
Z2	73 ^b	4.50 ^a	0.89 ^a	Z2	192 ^a	4.39 ^a	1.11 ^a

Megjegyzés: Az egyes oszlopokban az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$)

Ezek az eredmények azt sugallták, hogy jelentős összefüggés állapítható meg a kompozit kezelések és a mineralizáció között, és hogy az alacsonyabb vízkapacitási szinten a kompozit kezelések hatékonyabbak voltak a maximális mineralizációs potenciál elérésében, mint a többi kezelés.

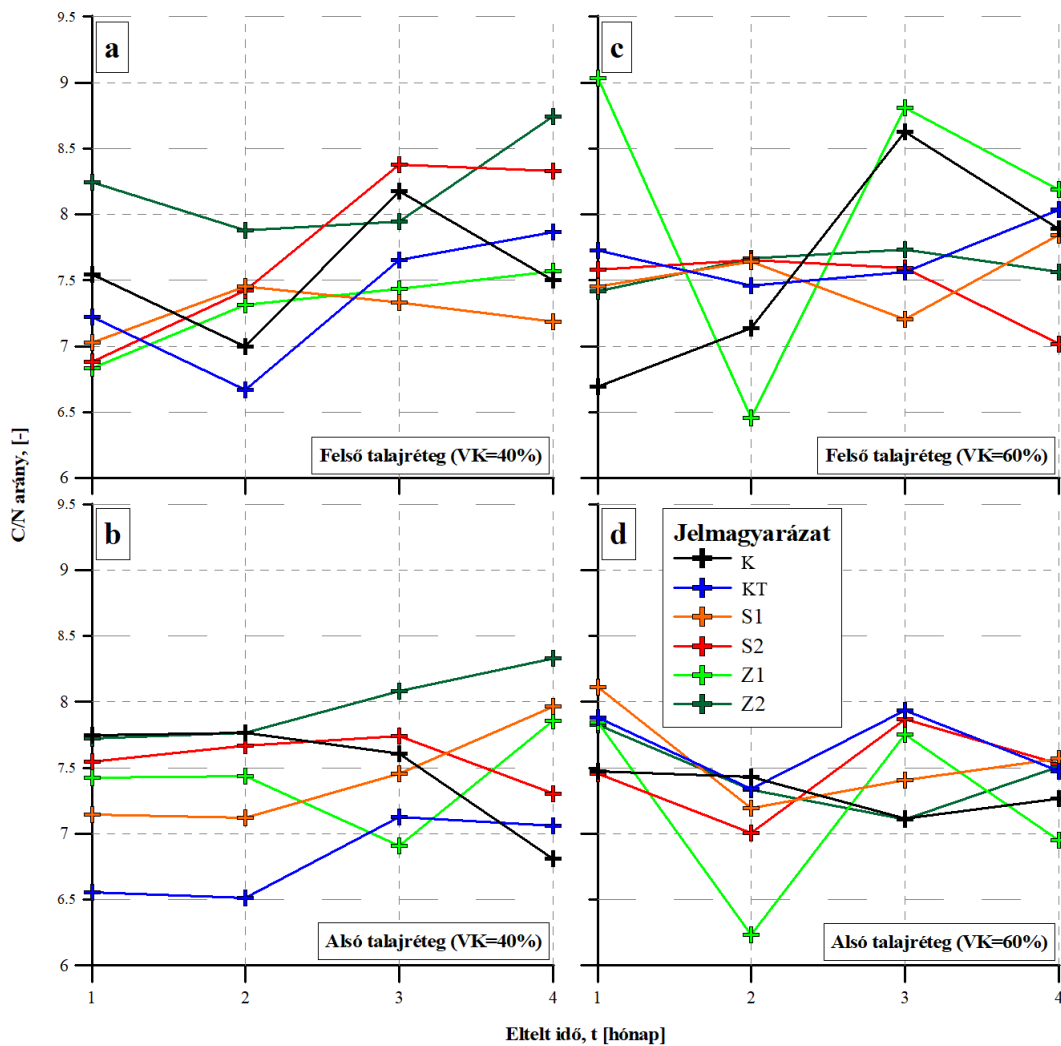
A táblázatból látható, hogy az NMR-értékek 2,4 és 4,7 mg/kg között változtak az alkalmazott kezelések, a vízkapacitási szint és a mélység szerint. A legalacsonyabb értékeket a kontrollban kaptam (2,41-3,85 mg/kg). Megállapítható, hogy az alkalmazott kezelések jelentősen növelték az NMR-értékét a kontrollhoz képest. A KT, Z1 és Z2

kezeléseknek volt a legnagyobb növelő hatása az NMR-re az alsó rétegben kisebb vízkapacitási szinten a kontrollhoz képest. Nagyobb vízkapacitási szinten viszont a KT és a Z2 kezelések okozták a legnagyobb NMR-értéket az alsó rétegben. A felső rétegben a leghatékonyabb kezelések az S2, Z1 kezelések voltak VK=40%-nál, illetve a KT, S1 kezelések VK=60%-nál.

A PMN és NMR értékek mellett vizsgáltam az NNR értékek alakulását is (19. táblázat). Az NNR értékek 0,38 és 1,17 mg/kg között változtak az alkalmazott kezelések, a vízmegtartó képesség szintje és a mélység szerint. A legalacsonyabb értékeket a kontrollban kaptam (0,38-0,85 mg/kg). A kezelések, a kontrollhoz képest kisebb vízkapacitási szint mellett mindkét talajrétegben (az S1 kivételével) szignifikánsan magasabb NNR-értékeket eredményeztek. Az S2 és Z1 kezelések a kontrollhoz képest közel két és félszeres NNR-növekedést eredményeztek, a KT kezeléshez képest pedig 20%-kal növekedett értéke a kijuttatási rétegben kisebb vízkapacitásnál. A kezelések nagyobb vízkapacitási szinten a kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb NNR-értékeket okoztak mindkét talajrétegben (kivéve S2, Z1 a felső rétegben és Z1 az alsó rétegben). A kompozitok azonban nem eredményeztek magasabb NNR értéket ezen az vízkapacitási szinten a KT kezeléshez képest. Ez a megállapítás arra is rámutatott, hogy a kompozitok hatékonyabbak a mineralizációs folyamatban a kisebb vízkapacitási szinten.

Ezek az eredmények megerősítették a korábbi inkubációs vizsgálatokat, amelyek rámutattak arra, hogy egyes trágyák nettó N-szállítóként működnek, míg mások nettó N-immobilizációt eredményezhetnek (HADAS és PORTNOY 1994; SØRENSEN 1998; CALDERÓN et al., 2004; CALDERÓN et al., 2005; ÁLVAREZ-ALONSO et al., 2022).

A talaj C/N arányát a kísérlet során az 33. ábra mutatja be. A talaj C/N-aránya 6,8 és 8,8, illetve 6,6 és 8,2 között változott VK=40%, illetve 6,5 és 9,0, illetve 6,2 és 8,1 között VK=60% mellett. A kezelések enyhén növelték a C/N arányt az inkubáció során. MAITLO et. al. (2022) hasonló időbeli mintázatról számoltak be a C/N arány tekintetében.



33. ábra: Kezelések hatása a talaj C/N arányára a teljes inkubációs periódus alatt

Ez a hatás főként a kísérlet második felében vált jelentősebbé. A változás mértéke az alsó talajrétegben sokkal kevésbé volt kifejezett, mint a felső rétegben mindkét vízkapacitási szintnél. Ez is arra utal, hogy a kompozitok elsősorban az alkalmazási rétegben voltak hatékonyak. A kompozit kezelések a C/N arányt a kontrollhoz és a KT kezeléshez képest a kisebb vízkapacitási szintnél a kedvezőbb érték felé növelték. Nagyobb vízkapacitási szinten nem találtam ilyen összefüggést a kezelések között. A kapott eredmények megerősítették, hogy a talaj C/N-aránya és a nitrogén mobilizációja és mineralizációja közötti összefüggés bizonyítéka nem egyértelmű. Az eredmények összhangban voltak azokkal a korábbi megfigyelésekkel, amelyek szerint a különböző szervesanyag-tartalékok C/N-arányának eltérései is megzavarhatják a talaj C/N-arányának hasznosságát a bruttó nitrogénátalakulási arányok előrejelzésében (BENGTSSON et. al., 2003). Hasonló tendenciákat publikált OSTROWSKA és

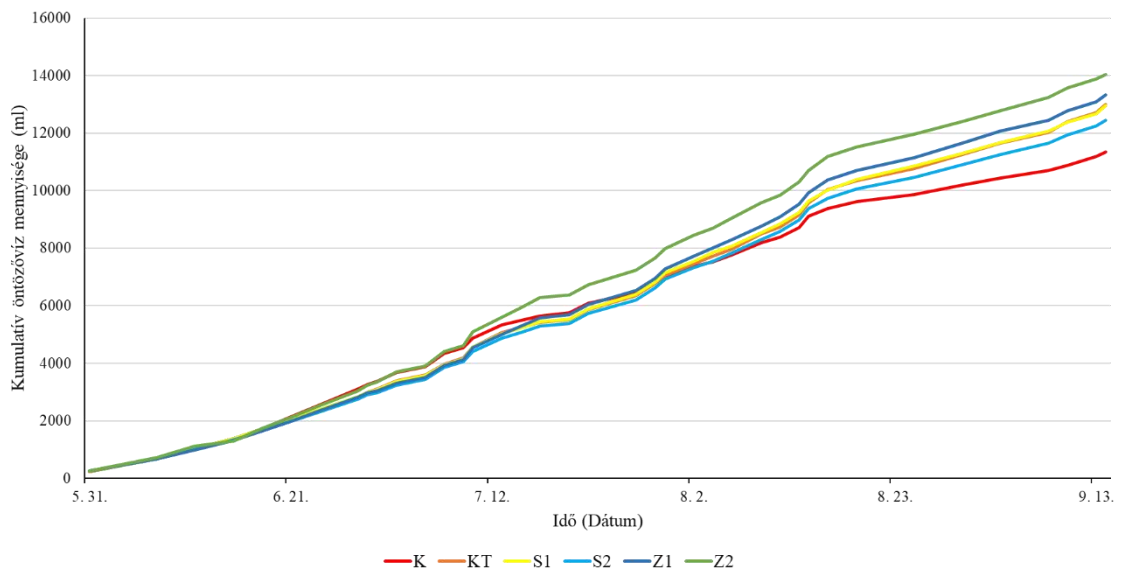
POREBSKA (2015), akik a C/N aránynak a szerves anyag lebonthatóságának indikátoraként való értékelését vizsgálták.

4.3. Tenyészedényes kísérletek eredményei

Munkám során kiemelt figyelmet szenteltem annak, hogy a fejlesztett kompozitok, mint prototípus termékek tesztelését tenyészedényes (modell) kísérletek között is elvégezzem. Az egyes kompozit kezelések hatását kontroll kezeléshez és csak csirketrágyát kapott kezeléshez hasonlítottam és vizsgáltam, hogyan hatnak ezek a kezelések a növényi növekedésre és néhány beltartalmi mutatóra, uborka és paradicsom jelzőnövény esetén.

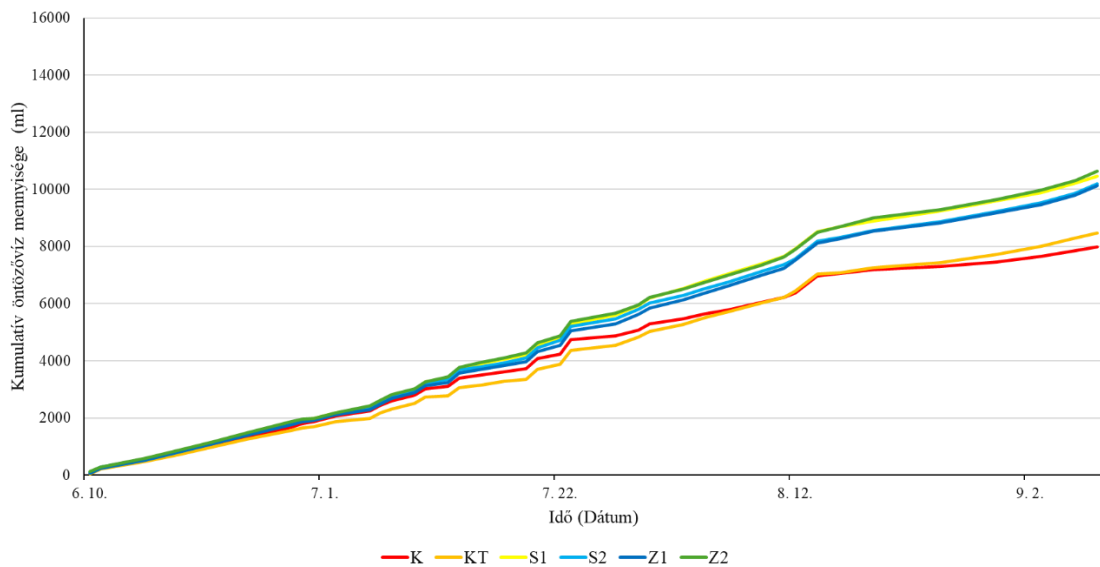
4.3.1. Paradicsommal végzett tenyészedény kísérletek eredményei

A következő ábrák azt mutatják be, hogy az alkalmazott kezelések hogyan hatottak a kijuttatott öntözővíz mennyiségére a kísérlet teljes időtartama alatt. Az 34. ábrán látható, hogy a kontrollhoz képest az összes kezelés esetén több öntöző vízre volt szükség a vizsgált tenyészidőszakban a pallagi talajon. Legnagyobb mennyiség a Z2 jelzésű kezelés esetén fogyott, ami az alaptrágya mellett emelt dózisú szerves SAP-ot és bentonitot tartalmazott. Látható, hogy a kontrollhoz képest már a fermentált csirketrágya önmagában is növelte a vízfogyasztást. Ezek az eredmények magyarázhatók az ezekben a kezelésekben nevelt paradicsom növények nagyobb biomassza tömegével. A fejlettebb egyedek nagyobb vízmennyiséget igényelnek – viszont ahogy majd később bemutatom – , ami a megnövekedett vízfogyasztás egységnyi tömegre vetítve (fajlagos érték) kisebb mennyiséget jelentenek, hiszen a biomassza tömegnövekedés mértéke felülmúlta a vízfogyasztás növekedését.



34. ábra: A kezelések hatása a kijuttatott öntözővíz mennyiségére a pallagi humuszos homoktalajon

A következő, 35. ábrán a kezelések hatása látható a kijuttatott öntözővíz mennyiségére a debreceni homoktalaj esetén.



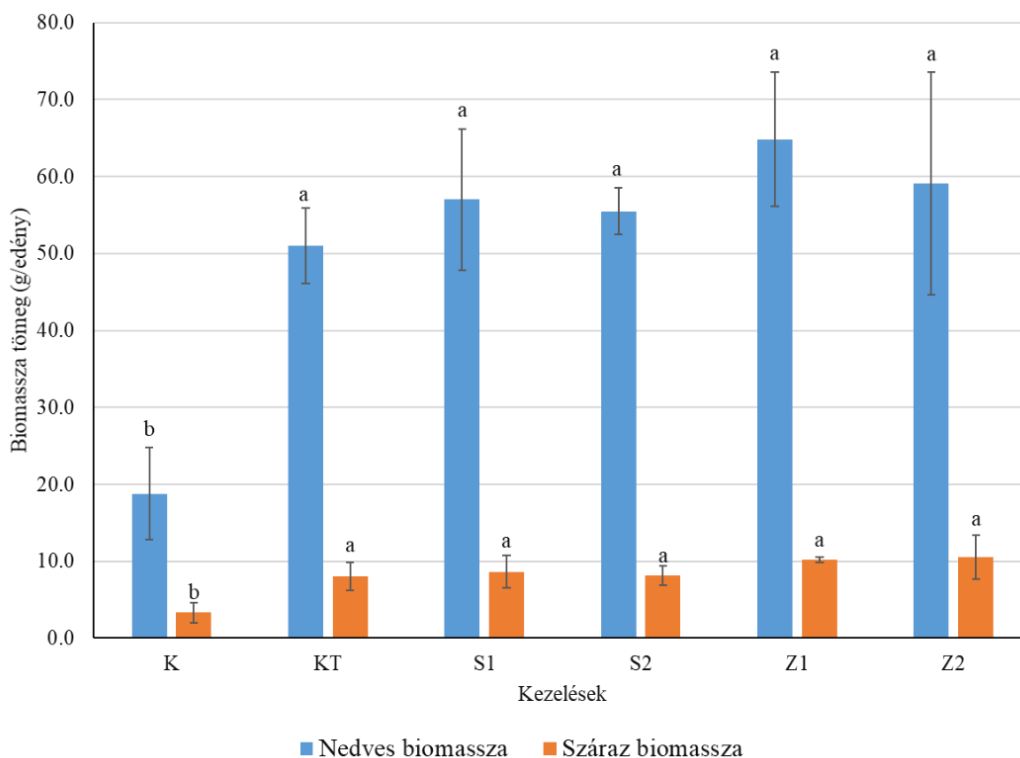
35. ábra: A kezelések hatása a kijuttatott öntözővíz mennyiségére a debreceni homoktalajon

Hasonlóan a pallagi talajhoz ennél a talajnál is a legkisebb kumulált öntözővíz mennyiséget a kontroll kezelésnél kaptam. A csak trágyát kapott kezelés csak kismértékben növelte a kijuttatott öntözővíz mennyiségét. Az ábrán látható, hogy ennél a két kezelésnél kijuttatott öntözővíz mennyisége a kísérlet végére jelentősen eltért a kompozit kezelések esetén kapott értékektől. A SAP és bentonit kiegészítést kapott kompozit kezelések esetén tehát jelentős öntözővíz többletet mértem. Legnagyobb

kumulált vízmennyiséget itt is a Z2 jelzésű kezelés esetén kaptam. Ennél a talajtípusnál még inkább elkülönült a kontroll és csak trágyát kapott kezeléstől a kompozit termékek hatása az öntözővíz mennyiségére. A növekedés mértéke a termékkombinációk esetén átlagosan mintegy 20-25% volt nagyobb a kontrollhoz és a csirketrágyás (KT) kezeléshez képest. A kapott eredmények a fentebb ismertetett magyarázattal jól értelmezhetők. Továbbá látható, hogy a tesztnövényként használt paradicsom jól reagált a kezelésekre és indikatíván jelezte a kísérleti körülmények változását, azaz megfelelő tesztnövénynek bizonyult.

A következő ábrák a kezelések hatását mutatják be a paradicsom jelzőnövény nedves és száraz biomassa tömegére a kísérletben használt két talajtípus esetén (36-37. ábrák). Látható, hogy az alkalmazott kezelések mindkét talajtípus esetén növelték mind a nedves mind a száraz biomasszatömeg értékét a kontrollhoz képest. A pallagi talaj esetén a csirketrágyás kezelés közel duplájára növelte a nedves biomassa tömeget. A kompozit kezelések esetén még jelentősebb tömegnövekedést regisztráltam. Látható, hogy a kompozit kezelések további mintegy 3-16 g/edény zöldtömeg növekedést eredményeztek a csak csirketrágyát kapott kezeléshez képest. Leghatékonyabb kezeléseknak a S2, Z1 és Z2 kezelések bizonyultak. Ezen kezelések között statisztikailag igazolható különbséget nem mértem. Ezek az eredmények alátámasztják az alkalmazott kompozit termékek hatékonyságát. Az adalékanyagok használata esetén kapott eredmények azt mutatták, hogy a kompozitok képesek további zöldtömeg gyarapodást elérni a csirketrágyás kezeléshez képest.

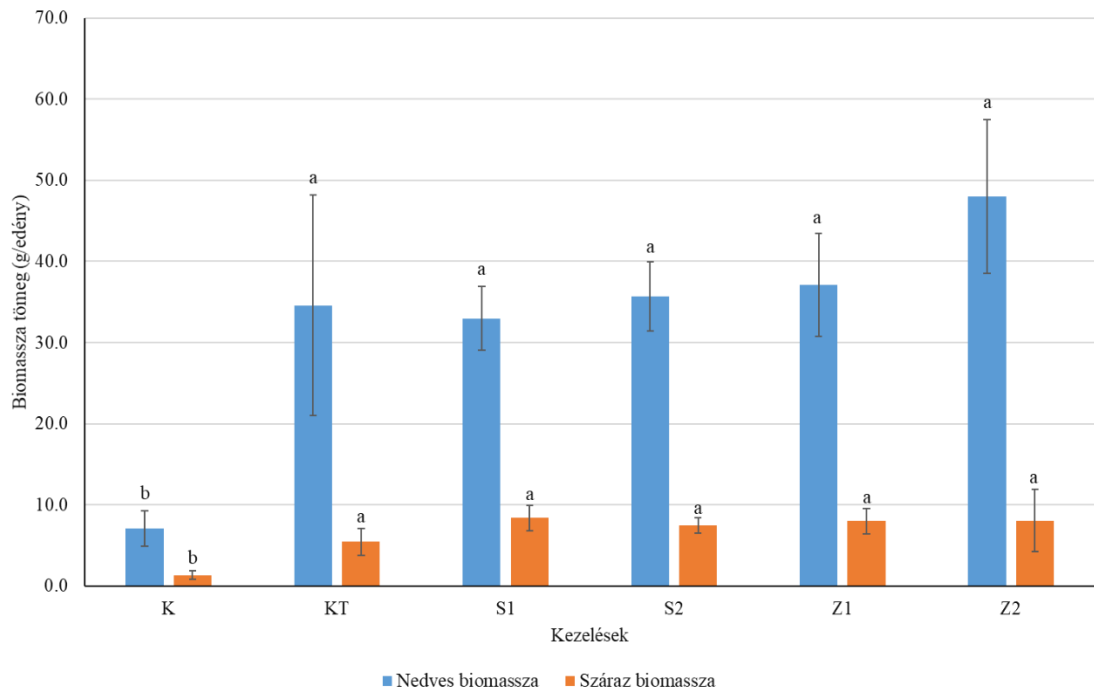
Ugyanilyen megállapítások tehetők a debreceni homoktalaj esetén is (37. ábra). Legkisebb nedves és száraz biomassa tömeget a kontroll kezelés esetén kaptam. Ennél a talajtípusnál még markánsabban jelentkeztek a kezelés hatások, ami a kedvezőtlenebb talajparaméterekkel magyarázható (2. táblázat).



36. ábra: A kezelések hatása a paradicsom zöld és szárazanyag tömegére a pallagi humuszos homoktalajon (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A kontrollhoz képest a csirketrágyás kezelés mind a nedves, mind a száraz biomassza tömeget ötszörösére növelte. A kompozit kezelések még jelentősebb tömeggyarapodást okoztak. Tömegnövelő hatásuk a csak csirketrágyát kapott kezeléshez képest is jelentős volt. Legnagyobb tömeg növekedést az S1 kezelés okozta, de a többi kompozit kezelés is figyelemre méltó eredményt produkált. A kompozit kezelések a kontrollhoz képest hatszoros szárazanyag-tartalom növekedést eredményeztek. Ezek a kezelések a csak csirketrágyás kezeléshez képest is 2-3 g/edény szárazanyag többletet okoztak. Ezek az eredmények összhangban vannak EL-AZIZ et. al, (2022) eredményeivel, akik rámutattak, hogy a hidrogélek alkalmazása különböző szárazsági körülmények között javítják a paradicsom terméshozamát és minőségét.

A két ábrán látható eredmények összehasonlításából az is kiderül, hogy a két talajon beállított kísérletek között igen jelentős biomassza tömegkülönbségek alakultak ki még azonos kezeléseken belül is, köszönhetően a két talaj jelentősen eltérő tápanyag tartalmának.



37. ábra: A kezelések hatása a paradicsom zöld és szárazanyag tömegére a debreceni homoktalajon (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A barna erdőtalajon mért száraz biomassa tömegek mintegy kétszeresei voltak a gyengébb minőségű homoktalajon kapott eredményekhez képest.

A kezelések hatása a paradicsom tesztnövény növekedésére és biomasszatömegére látható a következő fotókon (38-39. ábrák).



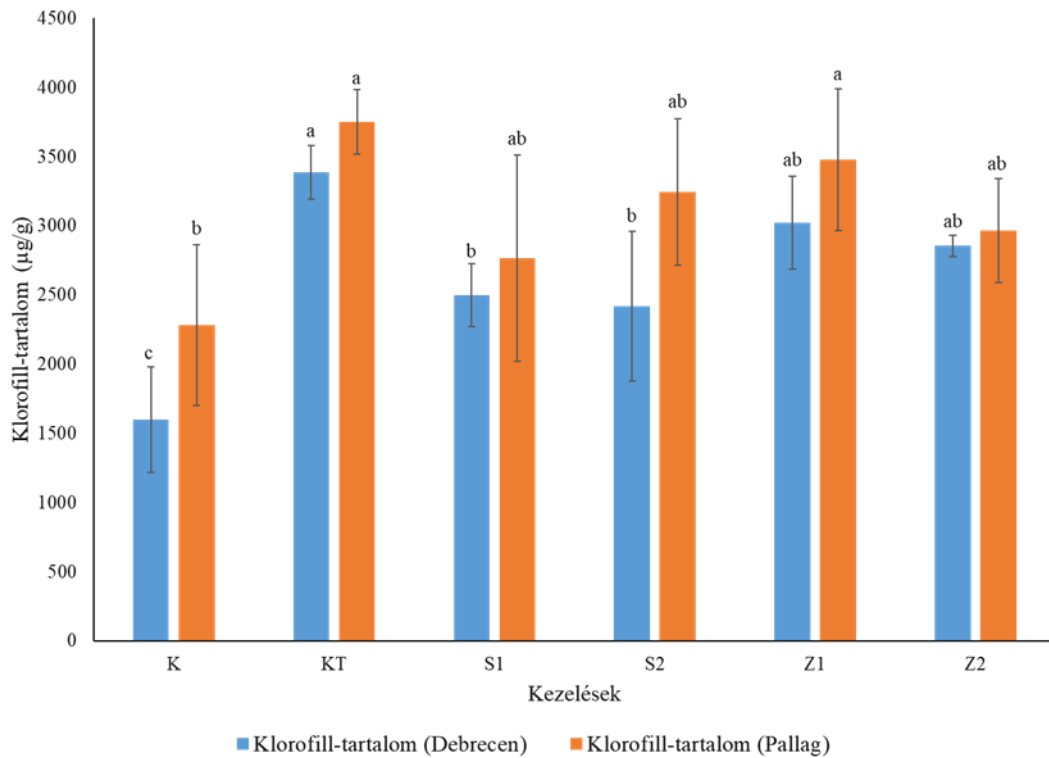
38. ábra: A kezelések hatása a paradicsom növekedésére (pallagi barna erdőtalaj)



39. ábra: A kezelések hatása a paradicsom növekedésére (debreceni homoktalaj)

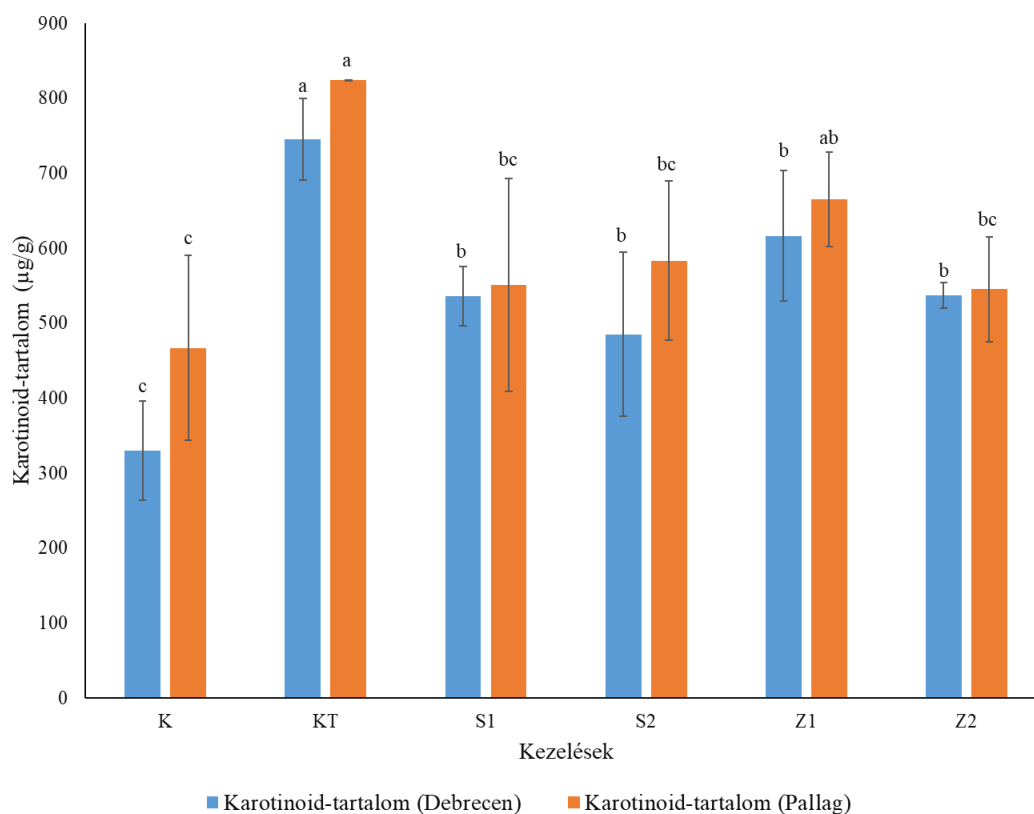
A következő, 40. ábrán a kezelések hatásai láthatók a paradicsom jelzőnövény klorofill-tartalmára a pallagi barna erdő és a debreceni homok talajon. Látható, hogy a kontrollhoz képest az összes kezelés jelentősen megnövelte a levelek klorofill-tartalmát mindkét talajtípus esetén. A legnagyobb értékeket, mindkét talajnál a KT kezelés esetén kaptam. A kompozit kezelések a klorofill-tartalmat ugyan szignifikánsan növelték a kontrollhoz képest, de az itt kapott értékek elmaradtak a csak csirketrágyát kapott kezelés esetén mért értékektől. A kompozit kezelések között szignifikáns különbség nem adódott.

Általánosan megállapítható azonban, hogy a gyengébb minőségű, kisebb tápanyagtőkájú talajon (debreceni) kapott értékek, minden kezelés esetén elmaradnak a pallagi talajon mért értékekhez képest, ami szintén rámutat az eltérő adottságú (pl.: tápanyagszolgáltató-képességű) talajok közötti különbségekre.



40. ábra: A kezelések hatása a paradicsom klorofill-tartalmára pallagi barna erdő és debreceni homoktalajon (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A klorofill-tartalom mellett meghatároztam a másik igen fontos növényi pigment, a karotin mennyiségét is (41. ábra). A következő ábrák a kezelések hatásait mutatják be a paradicsom levelek karotinoid tartalmára a pallagi barna erdőtalajon, illetve a debreceni homoktalajon. A karotinoid-tartalom teljesen analóg módon változott, mint a klorofill tartalom az egyes kezelések esetén. A karotinoid-tartalom esetén is a csak csirketrágyát kapott kezelés volt a leghatékonyabb mindkét talajtípuson. A kompozit kezelések ugyan szignifikánsan növelték a levelek karotinoid tartalmát a kontrollhoz képest, viszont elmaradtak a KT kezelés esetén mért értékekhez képest. A kompozit kezelések értékei között ebben a kísérletben sem tapasztaltam szignifikáns különbségeket.



41. ábra: A kezelések hatása a paradicsom karotinoid-tartalmára pallagi barna erdő és debreceni homoktalajon (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

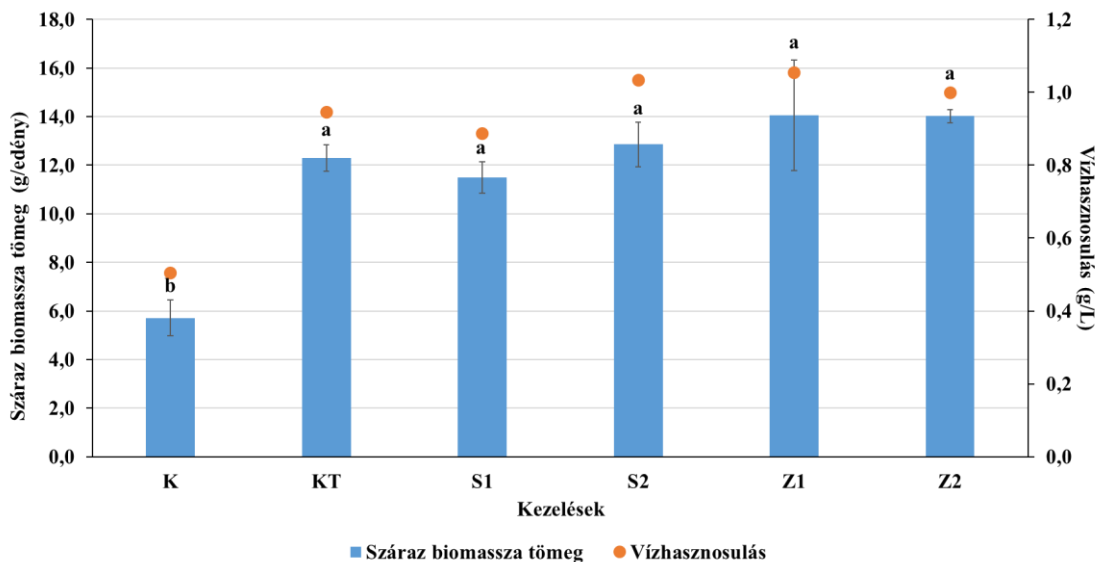
A 42. ábra a kezelések hatását mutatja be a paradicsom szárazanyag tömegére és a vízhasznosulására a pallagi barna erdőtalajon.

Az ábrán látható, hogy a kontroll kezelés esetén kaptam a legkisebb értéket (5,7 g/edény), míg az alkalmazott kezelések több mint kétszeres tömegnövekedést eredményeztek (11,5-14,1 g/edény). Legnagyobb értékeket a Z1 és Z2 jelzésű kezelések esetén kaptam (14,1 és 14,0 g/edény) melyek szignifikánsan nem különböztek egymástól. Ez arra utal, hogy a szerves SAP-ot kapott kezelések voltak a legnagyobb hatással a szárazanyag tömegének a növekedésére.

Az ábrából leolvasható, hogy a vízhasznosulás mértéke jelentősen megnövekedett az alkalmazott kezelések hatására a kontrollhoz képest. Az egységnyi vízmennyiség hatására kapott száraz biomassa tömeg 0,5 grammról 0,9-1,05 grammra növekedett. Ez közel 100 százalékos vízhasznosulás javulást jelent, ami a napjainkra jellemző igen aszályos időjárási körülmények között rendkívül perspektivikusnak tűnik.

A vízhasznosulás mellett számítottam a növények fajlagos vízszükségletét is, ami a jelentős szárazanyag többlettel és a vízfogyasztási adatokkal összevetve jelentős

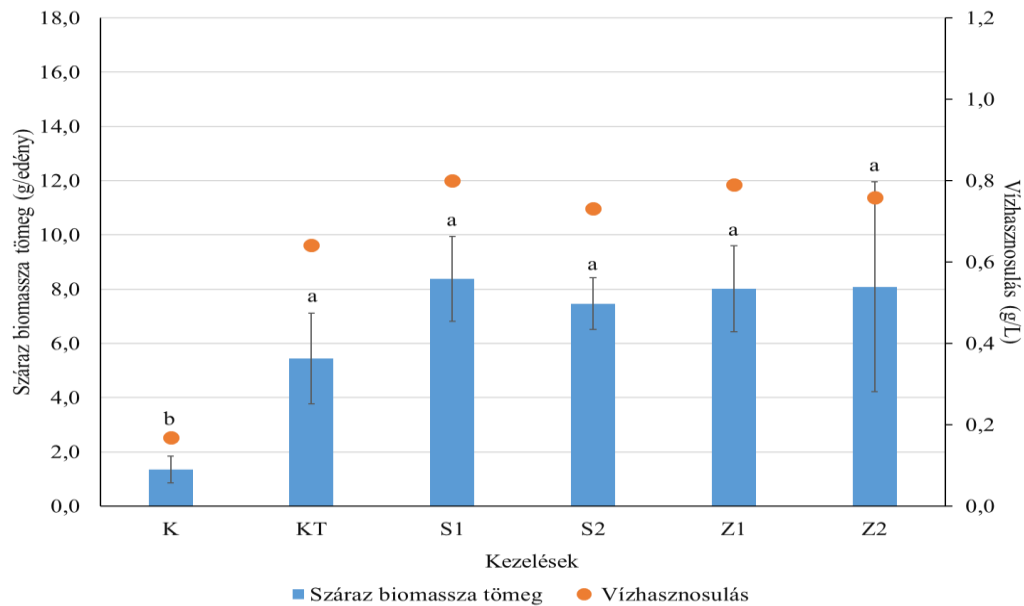
fajlagos vízszükséglet csökkenést és így növekvő vízhasznosulást eredményezett. A fajlagos vízszükséglet értéke 2 g/l-ről megközelítőleg 1 g/l-re csökkent, ami 50%-os vízmegtakarítást jelent. Látható, hogy a kompozit kezelések a csirketrágyás kezeléshez képest is tovább tudták csökkenteni a fajlagos vízszükséglet értékét.



42. ábra: A kezelések hatása a paradicsom szárazanyag tömegére és a vízhasznosítására a pallagi barna erdőtalajon (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A következő, 43. ábra a kezelések hatását mutatja be a paradicsom szárazanyag tömegére és vízhasznosulására a debreceni homoktalajon. Látható, hogy ennél a talajnál a kontroll kezelés eredményezte szintén a legkisebb biomasszatömeget (1,35 g/edény). Az alkalmazott kezelések 3-5-szörös szárazanyag tartalom növekedést eredményeztek (7,46-8,37 g/edény). A kompozit kezelések a csak csirketrágyát kapott kezeléshez képest tovább növelték a paradicsom szárazanyag tömegét mintegy 0,8-1,0 grammal edényenként. A kompozit kezelések között szignifikáns különbség nem adódott, de mind a csirketrágyás, mind a kontroll kezeléshez képest növelték a paradicsom jelzőnövény szárazanyag tömegét. A vízhasznosulás hasonlóan a parlagi humuszos homoktalajon mért adatokhoz, ebben a kísérletben is a kontroll esetén volt a legkisebb (0,2 g/l). A kezelések szignifikánsan növelték a vízhasznosulás mértékét, mintegy három-négyszeresére (0,6-0,8 g/l). Látható, hogy a csirke trágyás kezeléshez képest a kompozit kezelések tovább növelték a vízhasznosulást 0,2 g/l értékkel. Ez azt jelenti, hogy az alkalmazott kezelésekben egységnyi tömegű víz hatására három-négyszer annyi száraz

biomasszatömeg képződött, mint a kontroll mintában. Ezek az eredmények nagyon biztatóak a kompozitok alkalmazását illetően, hiszen segítségével egységnyi tömegű öntözővíz kijuttatásával többszörös termés értékek realizálhatók. Ez szabadföldi körülmények között igen komoly terméstoppletet eredményezhet. Természetesen eredményeinket kiscellás és szabadföldi körülmények (üvegházi) között végzett kísérletekkel kell a jövőben alátámasztani.



43. ábra: A kezelések hatása a paradicsom szárazanyag tömegére és a vízhasznosítására a debreceni homoktalajon (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

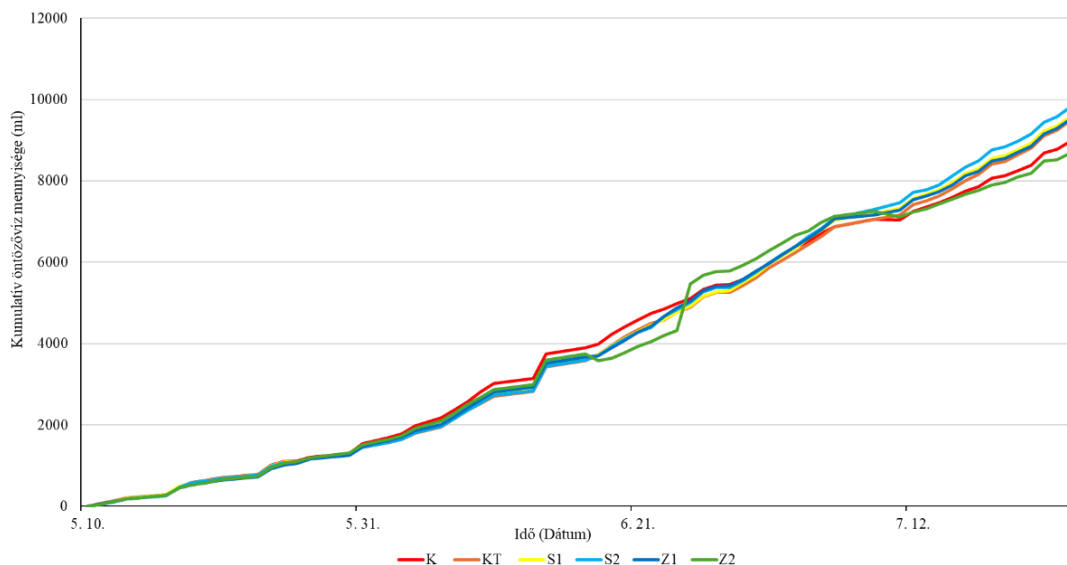
Amennyiben összevetjük a két talajtípusnál a kontroll kezelésben kapott értékeket, akkor láthatjuk, hogy a debreceni homoktalaj esetén közel negyedakkora száraz biomasszatömeget kaptunk. Amennyiben a vízhasznosulás értékét hasonlítjuk össze, ennél a talajtípusnál három-négyszeres növekedést regisztráltam, míg a jobb tulajdonságokkal rendelkező barna erdőtalaj esetén csak kétszeres volt a növekedés mértéke. Ez arra utal, hogy mind a trágyás, mind a kompozit kezelések különösen kis tápanyag tőkájú, rossz vízháztartási talajok esetén eredményeznek jelentős vízhasznosulás javulást.

A többi kezelés esetén a két talajtípus összehasonlításaként hasonló megfontolásokat tehetünk. A debreceni homoktalajnál közel feleakkora szárazanyag produktumot kaptunk, mint a barna erdőtalaj esetén. Ezek az eredmények jól reprezentálják a két talajtípus közötti tápanyagszolgáltatási különbségeket.

A számolt fajlagos vízszükséglet értékek alapján megállapítható, hogy a kontroll estén kapott mintegy 5 g/l-es fajlagos vízszükséglet érték mintegy negyedére csökkent 1,25 g/l-re (43. ábra). Ezt azt jelenti, hogy egységnyi tömegű biomassza előállításához ezekben a kezelésekből negyedannyi vízre van szükség. Napjainkban, amikor a növénytermelés szempontjából az öntözés kardinálissá válik, különösen nagy jelentőséggel bír az úgynevezett vízmegőrző technikák alkalmazása, amelyekkel jelentős mennyiségű víz kijuttatása takarítható meg. A kapott eredmények jelentősége a vízigényes zöldség és gyümölcs kultúráknál még kifejezettebb. Hiszen az utóbbi évek aszályos nyarai és sokszor csapadékszegény tavaszi, illetve őszi időszakai rávilágítanak arra, hogy érdemi (mennyiségi és egyben minőségi) termelés ezeknél a növényeknél megfelelő vízgazdálkodási gyakorlat nélkül nem lehetséges. Megállapítható, hogy a kifejlesztett és ezekben a kísérletben alkalmazott készítmények jelentősen csökkentik a vízszükségletet, növelik a vízhasznosulást, illetőleg nagyobb tömegű, tetszetősebb növényeket eredményeznek, mind a kontrollhoz, mind csak a csirketrágyát kapott kezelésekhöz képest.

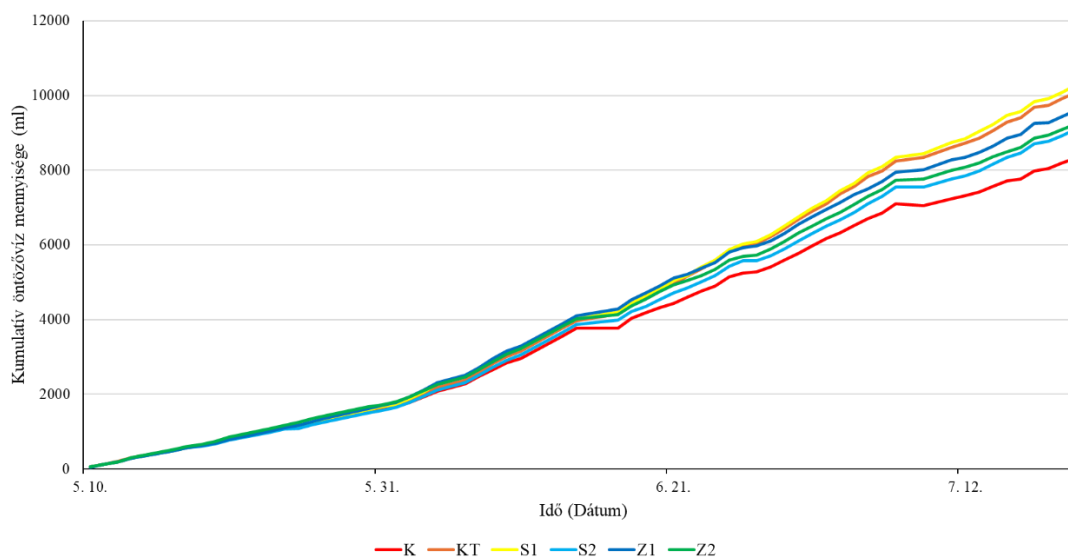
4.3.2. Uborkával végzett tenyészedény kísérletek eredményei

A következő, 44. és 45. ábrák azt mutatják be, hogy az alkalmazott kezelések hogyan hatottak a kijuttatott öntözővíz mennyiségére a kísérlet teljes időtartama alatt az alkalmazott két vízkapacitási szinten. Az 45. ábrán látható, hogy a kontrollhoz képest az összes kezelés esetén több öntözővízre volt szükség a vizsgált tenézszezidőszakban a pallagi humuszos homoktalajon a kisebb vízkapacitási szinten. Legnagyobb mennyiség a S2 és S1 jelzésű kezelés esetén fogyott, ami az alaptrágya mellett két eltérő dózisú szerves SAP-ot, illetőleg bentonitot tartalmazott. Látható, hogy a kontrollhoz képest csak a Z2 kezelés nem növelte a növények vízfogyasztását. Ezek az eredmények magyarázhatók az ezekben a kezelésekből nevelt uborka növények nagyobb biomassza tömegével. A fejlettebb egyedek – csakúgy, mint a paradicsom esetén – nagyobb vízmennyiséget igényelnek – viszont, ahogy majd később bemutatom –, ez a megnövekedett vízfogyasztás egységnyi tömegre vetítve (fajlagos érték) kisebb mennyiséget jelentenek, hiszen a biomassza tömegnövekedés mértéke az uborka jelzőnövény esetén is felülmúlta a vízfogyasztás növekedését.



44. ábra: A kezelések hatása a kijuttatott öntözővíz mennyiségére (VK=60%)

A nagyobb vízkapacitási szinten beállított kísérletnél (45. ábra) szintén a kontroll kezelés esetén kaptam a legkisebb felhasznált öntözővíz mennyiséget (8,2 l/időszak). Látható, hogy az összes kezelés jelentős öntözővíz többletet igényelt (9-10 l/időszak). A legnagyobb vízfogyasztást az S1 kezelés esetén mértem, ezt követte a KT, valamint a többi kompozit kezelés vízfogyasztása, melyek vízfogyasztása mintegy 17-20%kal haladta meg a kontroll kezelését.

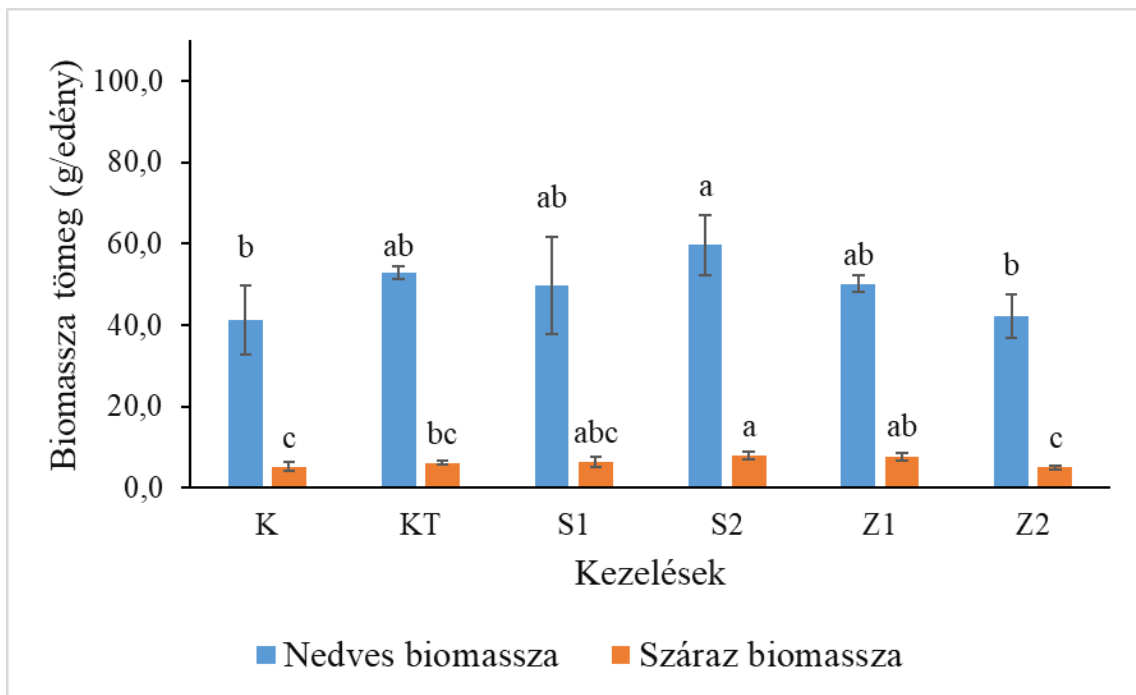


45. ábra: A kezelések hatása a kijuttatott öntözővíz mennyiségére (VK=70%)

Ennek a jelenségnek a magyarázata ugyanaz, mint amit a paradicsomnál, illetőleg az uborkánál kisebb vízkapacitási szint esetén kaptam. A nagyobb száraz és nedves biomasztömeg nagyobb vízigényt eredményez.

A következő, 46. és 47. ábrák a kezelések hatását mutatják be az uborka jelzőnövény nedves és száraz biomasza tömegére a két alkalmazott vízkapacitási szintnél.

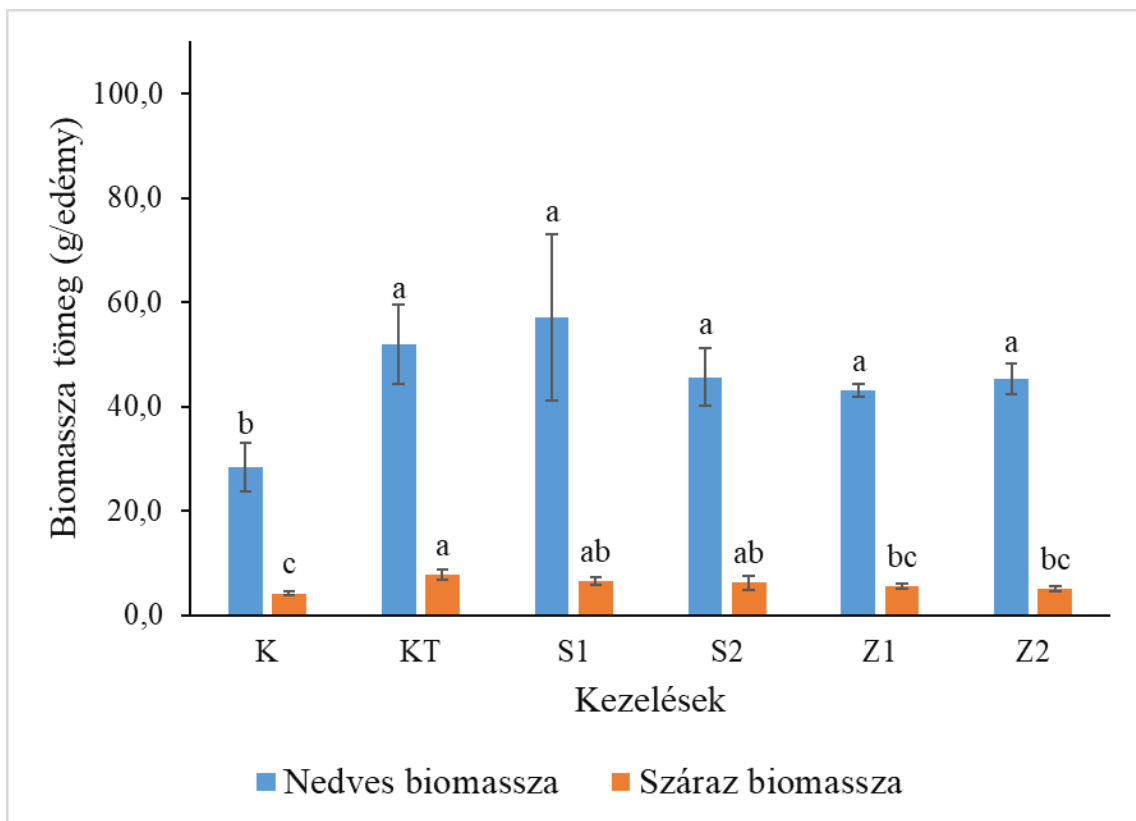
A kapott eredményekből megállapítható, hogy a kisebb nedvességtartalom mellett az S2 kezelés eredményezte a legnagyobb nedves biomasza tömeget (46. ábra). A többi kezelés ugyan növelte a kontrollhoz képest a nedves biomasza tömeget mégis ez a kezeléshatás nem bizonyult szignifikánsnak. Megállapítható továbbá, hogy az alkalmazott összes kezelés növelte az uborka növény száraz biomasza tömegét a kontrollhoz képest. Ez a hatás azonban csak az S2, Z1 kezeléseknél volt szignifikáns mértékű.



46. ábra: Kezelések hatása az uborka növény nedves és száraz biomasz tömegére (VK=60%),
Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$)

A nagyobb nedvességtartalom esetén az S1 kezelés esetén mértem a legnagyobb nedves biomasz tömeget (47. ábra). Ennél a vízkapacitásnál is a kontroll kezelés eredményezte a legkisebb nedves biomasz tömeget. Megállapítható, hogy az összes kezelés szignifikánsan növelte az uborka jelzőnövény nedves biomasz tömegét a

kontrollhoz képest. Ez azzal lehet összefüggésben, hogy ezekben a kezelésekben kedvezőbb tápanyag szolgáltatási és vízháztartási viszonyok alakultak ki (AKHTER et al., 2004). Eredményeim továbbá összhangban vannak a ZHANG et al. (2016) által közöltekkel, mely szerint a hidrogél alkalmazása fokozza a növény növekedését a szárazságstressznek kitett kukoricában. Megállapítható továbbá az is, hogy a csirketrágyás és a kompozit kezelések hatása között szignifikáns különbség nem mérhető.



47. ábra: Kezelések hatása az uborka növény nedves és száraz biomassza tömegére (VK=70%),
Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$)

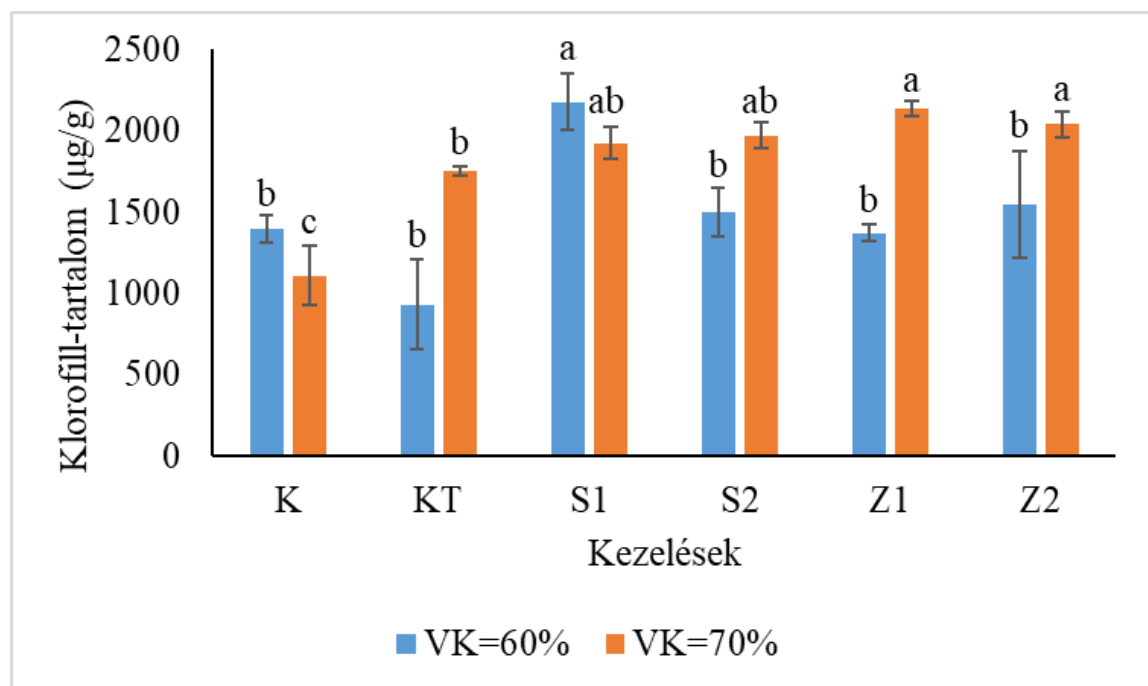
A kisebb dózisú S1 és Z1 kezelések eredményeit összehasonlítva az S2 és Z2 kezelések nagyobb dózisaival megállapítható, hogy a kapott eredmények összhangban vannak ORIKIRIZA et al. (2009) azon megállapításával, amely szerint a nagyobb adagú SAP kezelés nem feltétlenül jelent jobb termőhelyi adottságokat és eredményez nagyobb hatást.

Látható, hogy mindkét vízkapacitási szinten szignifikánsan a legkisebb száraz biomassza tömeget a kontroll kezelés esetén kaptam (4,64 g, illetve 4,18 g). A kisebb vízkapacitási szinten az S2 és Z1 (7,51 g és 7,28 g), míg a nagyobb vízkapacitási szinten

a csirketrágyás (KT) kezelés eredményezte a legnagyobb száraz biomassza tömeget (8,13 g). Az előbbi értékek mintegy 60%-kal az utóbbi közel 100%-kal haladta meg a kontroll értékét az adott vízkapacitási szinten, ami igen jelentős különbségnek mondható. Eredményeim összhangban vannak KESHAVARZ et al. (2013) és FIROUZEH et al. (2007) által végzett kutatásokkal, amelyek szerint a talaj-adalékanyagok (SAP) alkalmazása növelheti a növények száraz biomassza tömegét.

A kezelések hatása a növények pigmenttartalmára (klorofill- és karotinoid-tartalom) a következő, 48. és 49. ábrákon láthatók.

Általánosságban megállapítható, hogy az alkalmazott kezelések mindkét vízkapacitási szint esetén növelték a jelzőnövény klorofill-tartalmát, kivételt csak a csirketrágyás kezelés jelentett a kisebb vízkapacitási szinten (68. ábra).



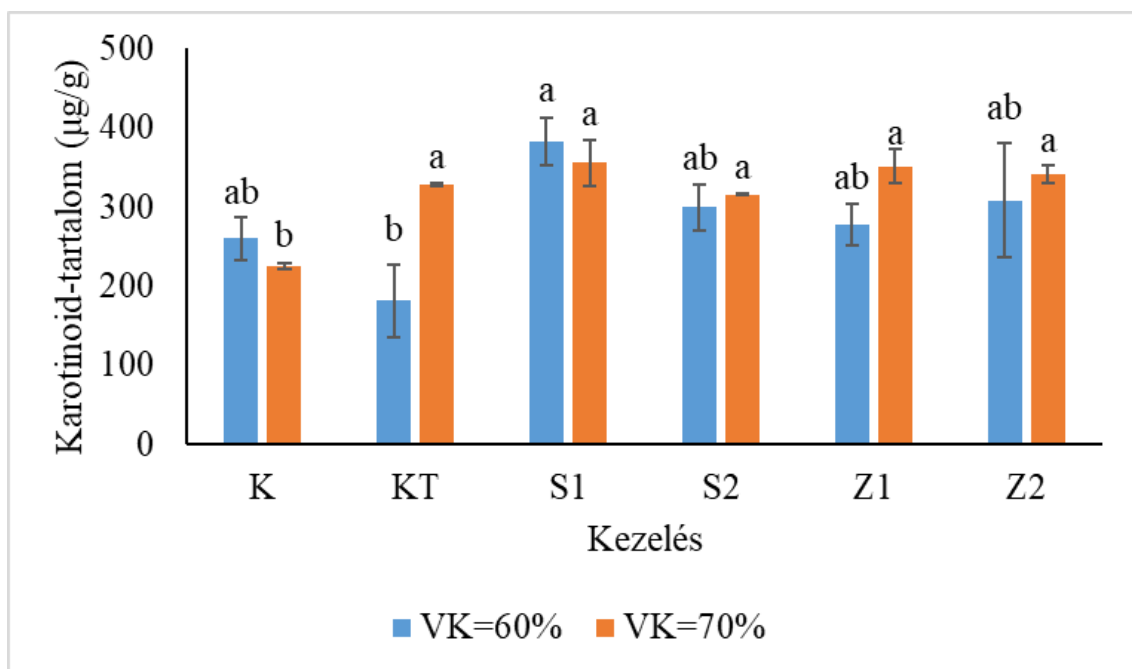
48. ábra: Kezelések hatása az uborka növény klorofill-tartalmára (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A kisebb vízkapacitási szinten a legnagyobb értéket az S1 kezelés eredményezte, amely szignifikánsan különbözött a többi kezelés és a kontroll eredményétől. A többi kezelés esetén azonban szignifikáns kezeléshatást nem kaptam.

A nagyobb vízkapacitási szinten a kompozit kezelések bizonyultak a leghatékonyabbnak különösen az organikus SAP kezelések, de a szintetikus SAP kezelések is a kontrollhoz képest jelentősen növelték a klorofill tartalmát. A klorofill

(a+b) nagyobb értékei a hidrogélt tartalmazó kezelésekben valószínűleg annak tulajdonítható, hogy a talaj kedvezőbb nedvességtartalma gátolja az abiotikus stresszhelyzet okozta sejtfal felszakadását, és ezzel kapcsolatban növeli a fotoszintézisben használt pigmentek termelését (VIVEK et al., 2020). Továbbá, a kedvezőbb vízellátás és hasznosulás hatására a fotoszintetikus aktivitás mértéke megnőtt, ami a klorofillpigmentek szintézisét növelte (PENG et al., 2021). Eredményem alátámasztja EL-TANTAWY et al. (2009) megállapításait, akik felfedezték, hogy a csirketrágya alkalmazása jótékony hatással van a klorofill (a+b)-re, mivel képes csökkenteni a sóstresszt, így részt vesz a sejtek alakjának megőrzésében, valamint a plazmamembránok permeabilitásának növelésében, ami a levelek fotokémiai hatékonyságának növekedését okozza.

A kezelések hatása az uborka jelzőnövény karotinoid-tartalmára a következő, 49. ábrán látható.



49. ábra: Kezelések hatása az uborka növény karotinoid-tartalmára (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

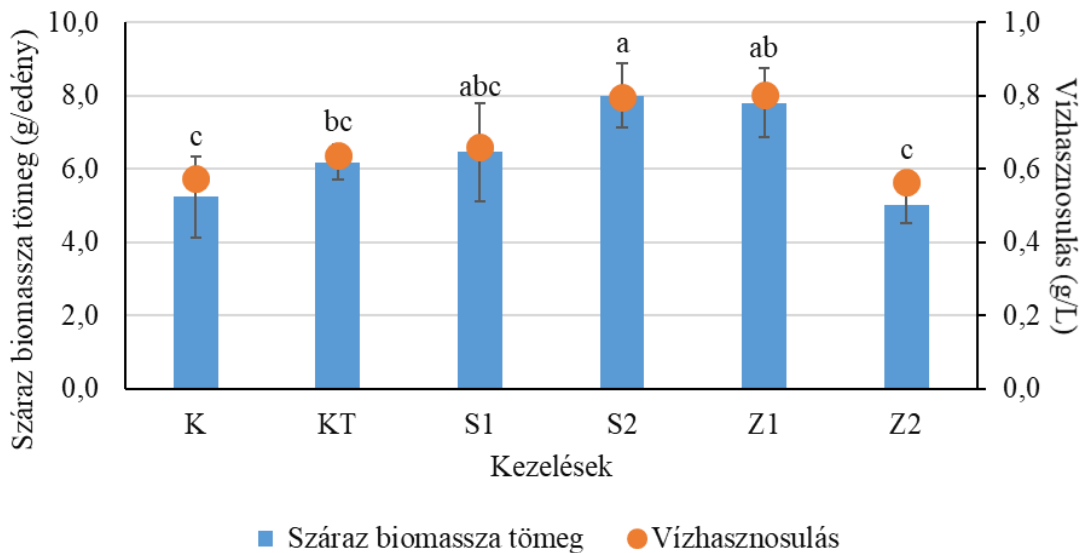
Kisebb nedvességtartalom esetén a legnagyobb karotinoid értéket az S1 kezelés okozta. Látható, hogy a többi kompozit kezelés a kontrollhoz képest, ha nem is szignifikánsan, de növelte az uborka karotinoid-tartalmát. Érdekes módon a legkisebb karotinoid tartalma a csirketrágyás kezelésnek volt ennél a vízkapacitási szintnél.

A nagyobb nedvességtartalom esetén az összes kezelés szignifikánsan növelte az uborka levelek karotinoid tartalmát a kontroll kezeléshez képest. Az egyes kezelések között azonban szignifikáns különbség nem adódott, így mindegyik kezelés hatékonynak tekinthető. A legnagyobb karotinoid értéket itt is az S1 kezelésben mértem.

Eredményeim rámutatnak, hogy a csirketrágya + SAP + bentonit kompozitok az által, hogy kedvezőbb tápanyag- és vízgazdálkodási körülményeket teremtenek, csökkentik a környezeti stressz hatásait, növelik a szervesanyag tömeget, a levélfelületet, ami viszont a fotoszintetikus pigmentek növekedéséhez és a vegetatív fejlődés javulásához vezethet (TAWFIK et al., 2019).

A következő ábrán a kezelések hatásai láthatók a növények szárazanyag tömegére és vízhasznosítására az alkalmazott kisebb vízkapacitási szinten (50. ábra).

A kombinált ábrán az látható, hogy hogyan befolyásolták a kezelések a növények szárazanyag tömegét és hogyan hatottak egyidejűleg a növények vízhasznosítására. Ahogy, azt korábban bemutattam ezen az ábrán az látható, hogy a kisebb vízkapacitás szinten az összes kezelés – kivéve a Z2 kezelést – növelte a termesztett növény száraz anyag tömegét, ugyanakkor ezekben a kezelésekben egységnyi, azaz egy liter víz hozzáadására nagyobb szervesanyag tömeg keletkezett, mint a kontroll kezelés esetén.

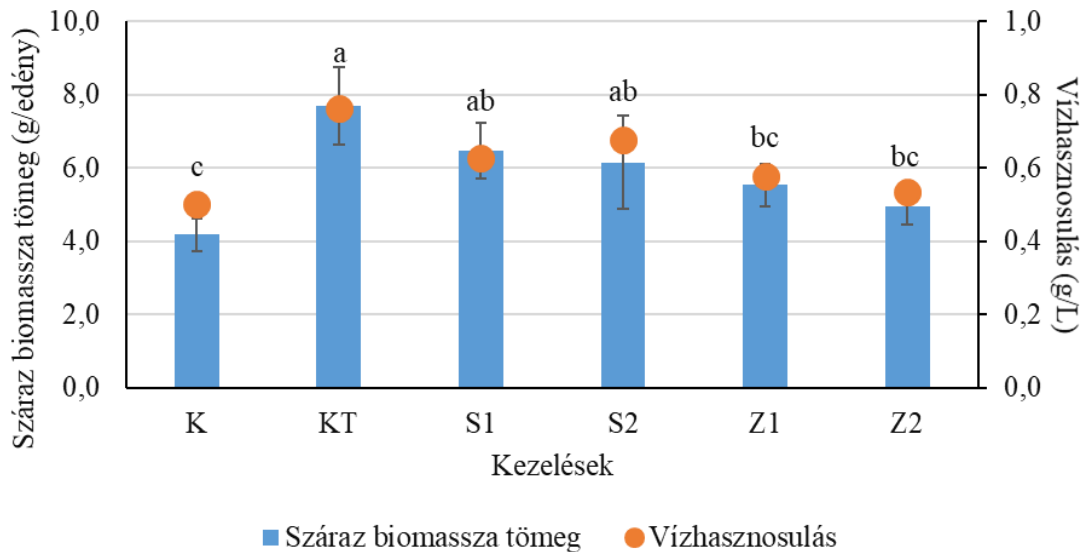


50. ábra: Kezelések hatása az uborka növény szárazanyag tömegére és vízhasznosítására (VK=60%), (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05))

A kontrollhoz képest a két legjobb eredményt szolgáltató S2 és Z1 kezelés a száraz biomassa tömege tekintetében mintegy 34%-kal, a vízhasznosulás tekintetében pedig 28%-kal növelte az értéket.

Az S1, S2 és Z1 kezelések (a négy kompozit kezelésből három esetén) által mutatott jobb vízhasznosulás megerősítette, azt a feltételezést, hogy a hidrogél alkalmazása hatékonyan növelheti a növény vízhasznosítását.

A 51. ábrán a kezelések hatásai láthatók a növények szárazanyag tömegére és vízhasznosítására az alkalmazott nagyobb vízkapacitás szinten.



51. ábra: Kezelések hatása az uborka növény szárazanyag tömegére és vízhasznosítására (VK=70%), (Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

Hasonlóan a kisebb vízkapacitás szinten miert eredményekhez ebben az esetben is az összes kezelés növelte a növényi szárazanyag tömeget és ezzel párhuzamosan kedvezőbb vízhasznosulást eredményeztek. A csak csirketrágyás kezelés eredményezte a legnagyobb biomassa tömeget és a legkedvezőbb vízhasznosulást. A kompozit kezelések ugyan a kontrollhoz képest növelték mind a biomassa tömeget, mind a vízhasznosulást, de értékeik elmaradtak a csirketrágyát kapott kezelés esetén kapott értékektől. Ez arra utal, hogy kedvezőbb nedvesség viszonyok esetén az alkalmazott szuper abszorbensek nem működnek olyan hatékonyan. Jelentősebb hatást csak szárazabb, azaz kisebb az optimálisnak nem megfelelő nedvességtartalom esetén tudnak kifejteni az által, hogy a talaj víztartalmát megőrzik és csökkentik a párolgás okozta vízvesztéséget (FELIPPE et. al, 2021).

4.4. Szabadföldi kísérletek eredményei (Pallag)

4.4.1. Előkísérlet

A fermentált csirketrágya termék szabadföldi kísérletben történő alkalmazhatóságára előkísérleteket végeztem. Ezeknek a kísérleteknek az volt a célja, hogy megvizsgáljam, hogy a kiindulási alapanyagként használt Bio-Fer termék (Natur Extra (KNEX)) miként befolyásolja a tápanyagfelvételi viszonyokat, hogyan hat a talajtulajdonságokra, a levél makrotápanyag tartalmára és a gyümölcs minőségére.

4.4.1.2. Előkísérlet talajvizsgálati eredményei

A KNEX kezelés hatását a különböző talajparaméterekre a 20. táblázat mutatja be. Ebben a táblázatban két mintavételi időpont kerül bemutatásra: az első a kísérlet kezdetén (az első talajmintavétel májusban történt) a második szeptemberben, a betakarítás idején. Látható, hogy a talaj pH-értéke jelentősen megemelkedett a fermentált csirketrágya kijuttatásával. Ezen az alapvetően savanyú kémhatású talajon ez a pH érték növekedés kedvező volt, hiszen a kémhatás növekedése kedvezőbb feltételeket jelent mind a mikroorganizmusok, mind a növények számára.

20. táblázat: A kezelések hatása a talaj tápanyagtartalmára (Pallag, 2019)

2019 Paraméterek	Május		Szeptember	
	Kontroll	KNEX	Kontroll	KNEX
pH (KCl)	5,50 ^a	6,02 ^b	5,47 ^a	6,18 ^b
Szerves szén (Hu) (m/m %)	2,05 ^a	1,91 ^a	1,33 ^a	1,60 ^a
P (P ₂ O ₅) (mg/kg) (AL)	259 ^a	296 ^a	317 ^a	496 ^b
K (K ₂ O) (mg/kg) (AL)	490 ^a	513 ^a	546 ^a	733 ^b
Nitrát (mg/kg) (KCl)	18,2 ^a	41,6 ^b	24,6 ^a	71,6 ^b
Mg (mg/kg) (KCl)	114 ^a	140 ^a	135 ^a	211 ^b
Mn (mg/kg) (EDTA)	173 ^a	262 ^b	230 ^a	301 ^b
Zn (mg/kg) (EDTA)	4,12 ^a	6,45 ^a	4,74 ^a	16,6 ^b
Cu (mg/kg) (EDTA)	3,40 ^a	6,19 ^b	4,38 ^a	9,72 ^c
Szerves Nitrogén (m/m%)	0,109 ^a	0,121 ^a	0,109 ^a	0,133 ^b

Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05)

A talaj szerves széntartalmát a kezelések nem befolyásolták jelentősen. Megfigyelhető azonban, hogy szeptemberben a csirketrágyás kezelés növelte a talaj

szerves szén tartalmát, de ez a növekedés nem volt szignifikáns. A szerves nitrogéntartalmat a kezelés jelentősen megnövelte a szüreti időszakra. A talaj P-tartalmát kezdetben nem, de szeptemberben már szignifikánsan növelte a kontroll kezeléshez képest a KNEX kezelés. A talaj K-tartalma esetében hasonló eredményeket kaptam, mint a P-tartalom esetében. A talaj nitráttartalmát jelentősen viszont már kezdettől fogva jelentősen befolyásolta a trágyakezelés. Májusban mintegy kétszerese, szeptemberben közel háromszoros nitrát-tartalom növekedést figyeltem meg. A talaj Mg-tartalmát egy hónap után nem befolyásolta jelentősen, de szeptemberben a kezelés már jelentős hatást gyakorolt rá. A talaj mikroelem tartalmát (Mn, Zn, Cu) a trágyakezelés májustól szeptemberig jelentősen megnövelte.

4.4.1.3. Előkísérlet levélvizsgálati eredményei

A kezelések hatását a levelek fő tápelemtartalmára a 21. táblázat mutatja be. Megállapítható, hogy az alkalmazott KNEX kezelés nem növelte a levelek N-tartalmát. Az alkalmazott, fermentált csirketrágya kezelésnél a levél P-, és K-tartalmának kismértékű csökkenése volt megfigyelhető a kontrollhoz képest. A levelek Ca és Mg értékét nem befolyásolta a csirketrágya kezelés. Összefoglalva, megállapítottam, hogy a felhasznált csirketrágya kezelés nem befolyásolta szignifikánsan a levelek tápelemszintjét (21. táblázat).

21. táblázat: A kezelések hatása a levelek makro-tápelem tartalmára (Pallag, 2019)

Tápelem (m/m%)	Kontroll	KNEX
N	2,090 ^a	2,090 ^a
P	0,167 ^a	0,153 ^a
K	0,856 ^a	0,817 ^a
Ca	1,810 ^a	1,800 ^a
Mg	0,366 ^a	0,367 ^a

Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05)

4.4.1.4. Előkísérlet gyümölcsvizsgálati eredményei

A kezelések terméshozamra, gyümölcsméretre és cukortartalomra gyakorolt hatását a 22. táblázat mutatja be. Eredményeim rámutattak arra, hogy az alkalmazott KNEX kezelés szignifikánsan növelte a terméshozamot, mivel több, mint kétszeresére növelte a fánkénti termés nagyságát. Látható, hogy a KNEX kezelés jelentősen növelte a

gyümölcsméretet (több mint 4 mm-es növekedés) és megnövelte, ha nem is szignifikáns mértékben a Brix-értékeket a kontrollhoz képest.

22. táblázat: KNEX kezelés hatása a terméshozamra, gyümölcsméretre és cukortartalomra (Pallag, 2020)

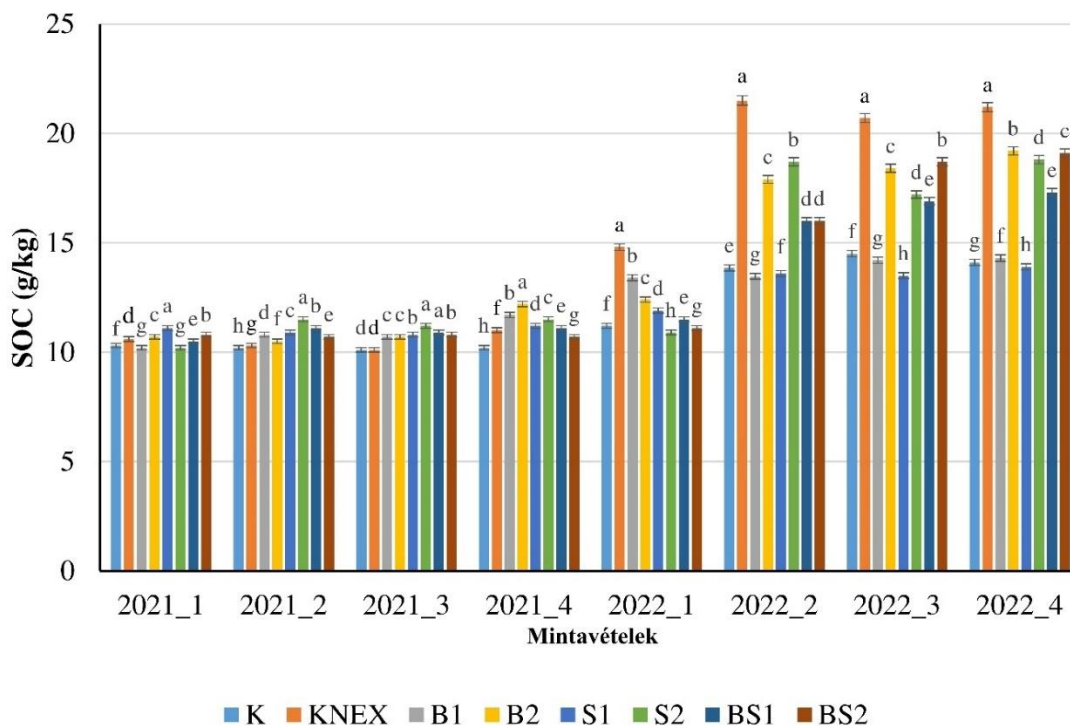
Kezelések	Terméshozam (fa/kg)	Egyedi gyümölcsméret (mm)	TSS (Brix °)
K	14,6 ± 2,21	74,7 ± 4,63	14 ± 0,63
NEX	34,8 ± 2,99	78,5 ± 4,92	14,66 ± 0,56

Az előkísérlet eredményeinek értékelése alapján összefoglalóan megállapítható, hogy a kísérletben alkalmazott fermentált és adalékolt csirketrágya termék hatékonyan növelte a növény számára legfontosabb makro- és mikroelemek mennyiségét a talajban. Továbbá kedvezően hatott a termés nagyságára és cukortartalmára. A kezelés azonban nem befolyásolta a levelek tápanyagtartalmát szignifikáns módon (TÓTH et al., 2022b). Az eredményeim alapján azt terveztem, hogy a talaj inkubációs és tenyészedényes kísérletekben alkalmazott szuper abszorbens polimerekkel és bentonittal kiegészített prototípus kompozit termékeket szabadföldi kísérletben is kipróbálok. Tanulmányozva ezzel hatásukat nagyüzemi körülmények között. Kísérletemet 2021-ben és 2022-ben állítottam be a Debreceni Egyetem Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepén.

A kísérletben alkalmazott kezelések, a kijuttatás módja az Anyag és módszer című fejezetben található. A következőkben a kísérletek során elvégzett talaj-, levél- és gyümölcsvizsgálati eredményeket mutatom be.

4.4.2. Talajvizsgálatok eredményei (Pallag, 2021-2022)

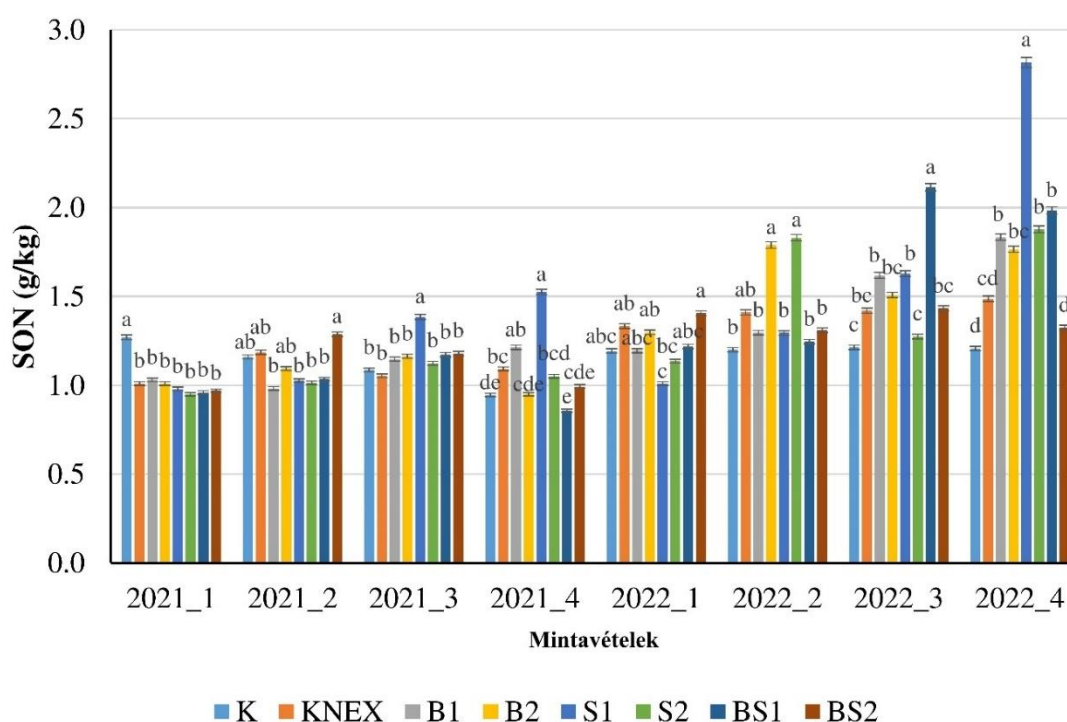
A kezelések hatása a SOC-tartalomra az 52. ábrán látható. Kezdetben a SOC-tartalom 10,2 g/kg és 11,1 g/kg között mozgott, függetlenül a kezelésektől. Ebben az évben a SOC-tartalom egyenletes volt és lényegében értékében jelentős változás nem volt tapasztalható. Azonban megfigyelhető volt, hogy a kísérlet során a kezelések közötti SOC-tartalombeli különbségek fokozatosan növekedtek, és 2021 végére a kezelések szignifikáns hatása volt megfigyelhető a kontrollhoz képest. 2022-ben, az újbóli kijuttatás után ezek a különbségek még nagyobbakká váltak, és minden kezelés jelentősen, mintegy másfél-kétszeresére növelte a SOC-tartalmat a kontrollhoz képest. A KNEX, B2, S2 és BS2 kezelések eredményezték a SOC-tartalom legnagyobb mértékű növekedését ($\approx 4-9$ g/kg) 2022 végére.



52. ábra: A kezelések hatása a SOC-tartalomra a különböző mintavételi időpontokban (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

Ezekben a kezelésekben a SOC-tartalom a kísérlet második évében állandóan 20 mg/kg körül maradt, míg a kontroll, B1 és S1 kezelések esetén nem érte el a 15 mg/kg értéket. Eredményeimhez hasonlóan KOBIERSKI et al. (2017) és ZHANG et al. (2022) is arról számoltak be, hogy a baromfitrágyával történő trágyázás jelentős növekedést eredményezett a SOC-tartalomban és a trágya szénmegkötési hatékonyságában (REN et al., 2024). Eredményeim megerősítették azokat a korábbi eredményeket, miszerint az SAP és a bentonitkezelés emeli a talaj SOC-tartalmát (CZABAN et al., 2013; YANG et al., 2021).

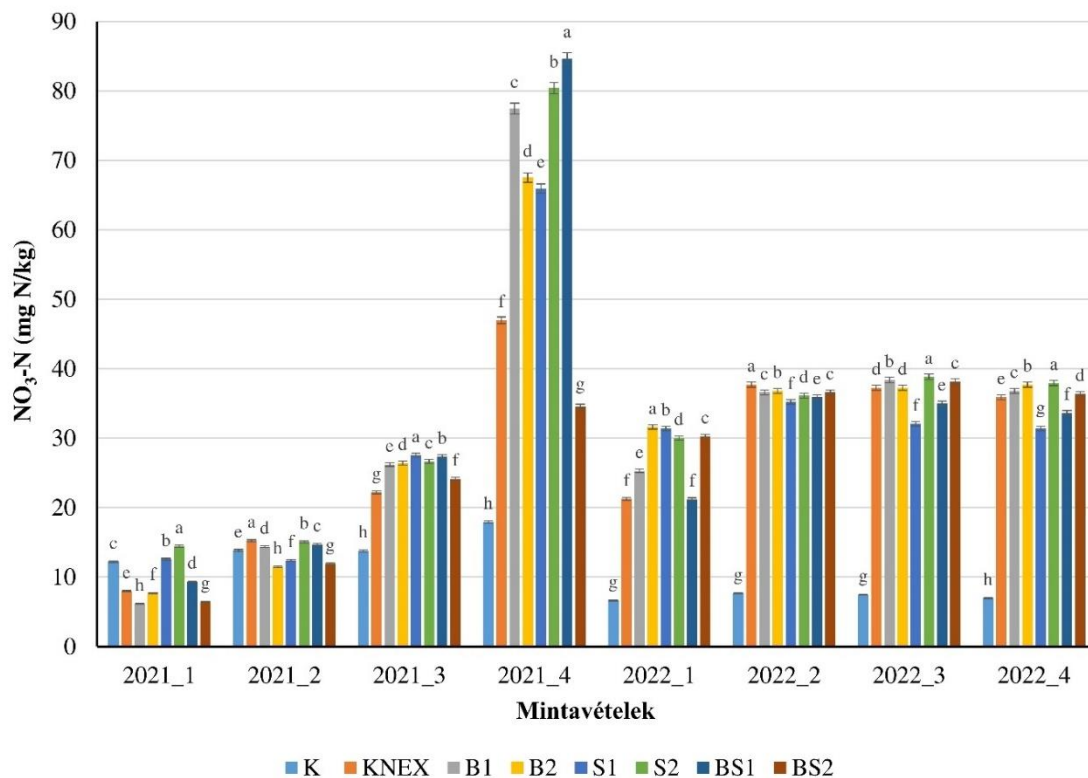
A talaj SON-tartalma 0,95 g/kg és 2,82 g/kg között változott a vizsgált években (53. ábra). Kezdetben a SON-tartalom (≈ 1 g/kg) viszonylag homogén eloszlást mutatott a kezelések között, a legmagasabb érték a kontrollban volt. Később ezek az értékek egyre jobban eltértek egymástól, és a második év végére minden kezelés (a BS2 és a KNEX kivételével) jelentősen megnövelte a talaj SON-tartalmát ($\approx 1,8$ - $2,8$ g/kg) a kontrollhoz képest ($p < 0,05$). A kontrollban a SON-tartalom folyamatos enyhe csökkenést mutatott (1,27 g/kg-ról 1,2 g/kg-ra), ami a talaj kimerülését jelzi az alaptrágyázási szinten. A növekedés mértéke a kezeléstől függően 0,5 és 1,8 g/kg között változott. A legkisebb növekedést a KNEX kezelésnél figyeltem meg (1,0 g/kg-ról 1,5 g/kg-ra) míg legnagyobbat az S1 kezelés esetén (1,0 g/kg-ról 2,8 g/kg-ra).



53. ábra: A kezelések hatása a SON-tartalomra a különböző mintavételi időpontokban (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

Eredményeim összhangban vannak azokkal a korábbi megállapításokkal, miszerint a szerves trágyázás hatékonyan növeli a SON-tartalmat, azonban a szezonális változások is befolyásolták annak mennyiségét (WANG et al., 2013). A BS2 kivételével a kompozitok a második év végére jelentősebb hatást gyakoroltak a SON-tartalomra, mint a KNEX kezelés. A SOC és SON eredményekből kiszámítottam a SOC/SON arányokat. Megállapítható, hogy a SOC/SON arány a kísérlet során végig stabil maradt, az átlagos érték minden kezelésnél 10 körül alakult.

Kezdetben a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma viszonylag kis érték volt, 6-10 mg/kg között változott (54. ábra). A kísérlet során a KNEX és a kompozit kezelések fokozatosan növelték a talaj nitráttartalmát. Az első év végére a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma exponenciálisan nőtt a kezelt parcellákon és bizonyos kezelésekben (B1-BS1) elérte a kontroll 3-4-szeres értékét (54. ábra).



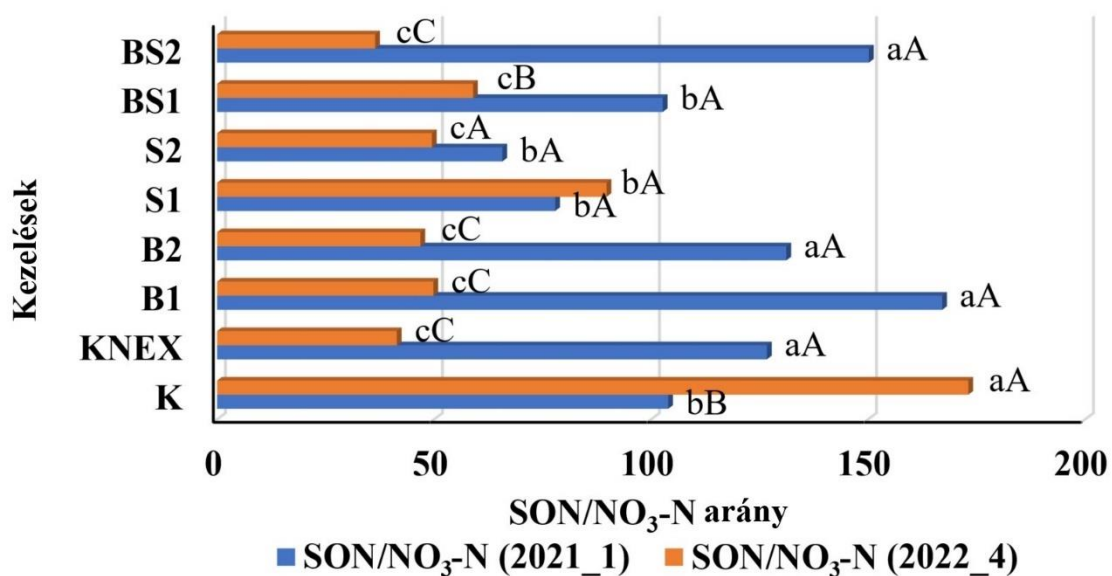
54. ábra: A kezelések hatása a talaj NO₃-N-tartalmára a különböző mintavételi időpontokban (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05))

Ez a hatalmas növekedés a kedvező talajviszonyokkal magyarázható, mivel a hőmérséklet és a nedvesség növekedésével általában nő a N-mineralizáció mértéke. A második év végére a talaj NO₃-N-tartalma folyamatosan emelkedett 8-10 mg/kg-ról 30-38 mg/kg-ra az összes kezelésben, kivéve a kontrollt, amely 8 mg/kg maradt. A leghatékonyabb kezelés-kombinációk a B1, B2, S2 és BS2 voltak.

Ezek azt jelezték, hogy a felhasznált kompozitok hatékonyan segítettek elő a nitrogén felvehetővé válását és javították a talaj tápanyagainak hozzáférhetőségét a növények számára. Hasonló megállapítást tett CANALI et al. (2004) és YAGÜE et al. (2023), akik szerint a szerves trágyázás kedvező változásokat idéz elő a talaj nitrogénmineralizációjában és elősegíti a szervesanyag mennyiségének növekedését.

Eredményeim azonban rávilágítottak a megfelelő C/N arány fenntartásának fontosságára is különösen az alacsony szerves széntartalmú talajok esetén. Ugyanis a nitrogénmobilizáció hatékonyságának – a C/N arány további csökkenése nélküli – biztosítása kulcsfontosságú a talajok fenntartható tápanyaggazdálkodása szempontjából.

A SON és az NO₃-N eredmények összehasonlítása alapján a talaj szerves/szerveetlen nitrogén aránya jelentősen változott a kezelések során a vizsgált időszakban (55. ábra).



55. ábra: A kezelések hatása a talaj SON/NO₃-N arányára a vizsgált időszak kezdetén és végén (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05). A kis betűk egy adott éven belül, míg a nagy betűk az évek közötti szignifikancia szinteket mutatják.)

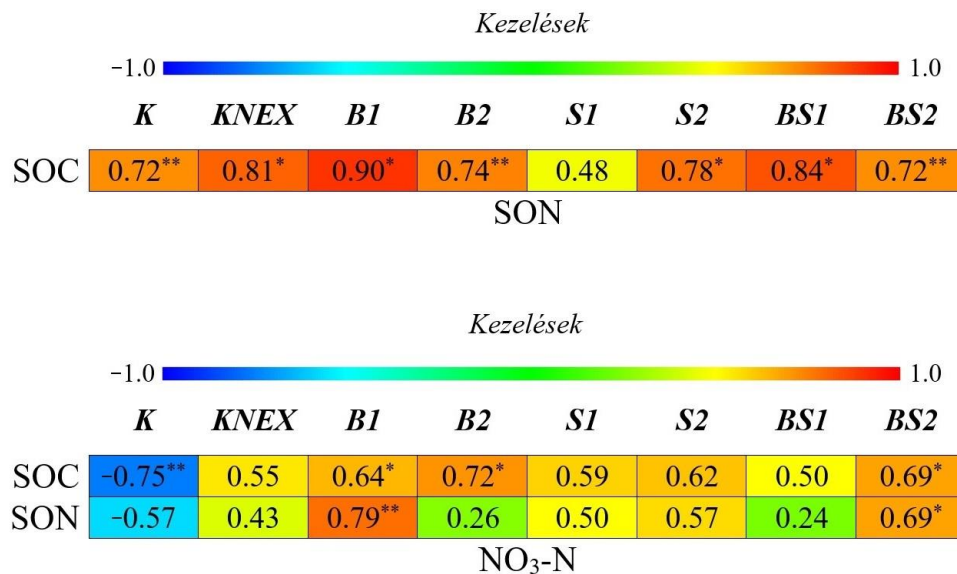
Az első évben a szerves/szerveetlen nitrogén arány 70-140 között változott a kezeléstől függően. Jellemzően szűk arányokat tapasztaltam az S1 és S2, azaz a SAP kiegészítést tartalmazó kezeléseknél. Ez magyarázható azzal, hogy a SAP nemcsak a víz, hanem az oldható tápanyag-ionok megkötésére is képes, ahogy erre SITU et al. (2023) rámutattak. A bentonitot tartalmazó kezelésekből az arány nagyobb volt, míg a mindkét adalékot tartalmazó kezelésekből (BS1, BS2), a kapott eredmény köztes értéket mutatott az említett kezelésekhöz képest. A bentonit ugyanis nemcsak szerkezet stabilizáló hatású, amire korábban utaltam, hanem maga is kationcsere kapacitással rendelkezik, így konkurens a SAP-oknak, és alkalmas a SAP-ok nagymértékű kationvisszatartásának ellensúlyozására.

A következő évben jelentős változásokat tapasztaltam a szerves/szerveetlen N arány értékében. A SON/NO₃-N arány 104-ről 173-ra nőtt a kontroll kezelésben, ami a mineralizáció visszaszorulására, illetve gátolt lejátszódására utal. Ugyanakkor az arány jelentősen csökkent a KNEX és a kompozit kezeléseknél (kivéve az S1-et). A csökkenés mértéke nagymértékben függött az alkalmazott kompozit összetételétől, átlagosan a 2022-ben kapott értékek a harmada voltak az előző évinek. A csökkenő SON/NO₃-N arány a talajban zajló kedvezőbb mineralizációs folyamatok lejátszódására utal, amit a kezelések fokoztak. Megítélésem szerint ezen a viszonylag kis tápanyagtökéjű, komolyabb N-tartalék nélküli, kilúgzásra hajlamos, homoktextúrájú talajon a fák gyorsan

és hamar felélik a rendelkezésre álló nem túl jelentős mennyiségű felvehető N-készletet, ami hosszabb távon a talaj folyamatos kimerülését okozza. Az általam pótlólagosan kijutatott készítmények hatékony segítséget nyújtanak a fák N-igényének kielégítésében, mivel kedvezőbb mineralizációs feltételeket biztosítanak. Ezek az eredmények megerősítik a korábban a talajinkubációs kísérletek során tapasztaltakat és rámutatnak a talajban lejátszódó mineralizációs folyamatok időbeliségének és sebességének fontosságára a megfelelő „aktuális és tényleges” tápanyagszolgáltatás szempontjából.

A csökkenő SON/NO₃-N arány által biztosított kedvezőbb nitrogénfelvételi feltételeket a levélanalitikai adatok is megerősítették (lásd később 23. táblázat).

A SOC, SON és NO₃-N közötti Spearman-féle rangsorbeli korrelációkat az 56. ábra mutatja. Ez az ábra a becsült Spearman-rangkorrelációs együtthatókat mutatja. A színek a korrelációk nagyságát jelölik, amelyek -1 és +1 között változhatnak, és a változók közötti kapcsolat erősségét mérik.



56. ábra: Spearman-féle rangsorbeli korrelációk a SOC, SON és NO₃-N között (Megjegyzés: *Statistikailag szignifikáns korrelációk 95,0%-os megbízhatósági szinten (p<0,05); **Statistikailag szignifikáns korrelációk 90,0%-os megbízhatósági szinten (p<0,10))

Az elterjedtebb Pearson-korrelációkkal ellentétben a Spearman-együtthatókat nem magukból az értékekből, hanem az adatértékek rangsoraiból számítható ki. Következésképpen kevésbé érzékenyek a kiugró értékekre, mint a Pearson-együtthatók.

A SOC és a SON paraméterek között 95,0%-os megbízhatósági szinten (p<0,05) szignifikáns korrelációt találtam a KNEX, B1 és BS1 kezelésekben. Ezek a kezelések fermentált csirketrágyát tartalmaztak a KNEX kezelésben, amelyhez bentonit kiegészítést

a B1 kezelésben, valamint bentonit és SAP kiegészítést a BS1 kezelésben. Gyengébb, de még mindig szignifikáns összefüggést ($p < 0,10$) mutatható ki a SOC és a SON között a K, B2 és BS2 kezelésekben. A B2 kezelésben dupla adag bentonitot alkalmaztam, míg a BS2 kezelésben dupla adag SAP-ot és bentonitot alkalmaztam.

A korrelációs mátrix gyenge pozitív korrelációt (0,48) jelzett a vizsgált paraméterek között az S1 kezelés esetében, ami a csirketrágya mellett kisebb dózisban tartalmazott SAP-ot.

SOC és SON korreláció mellett vizsgáltam a statisztikai összefüggést a $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SOC értékek között. Az eredmények 95,0%-os megbízhatósági szinten ($p < 0,05$) szignifikáns negatív korrelációt mutattak a kontroll kezelés esetén a $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SOC paraméterek között, -0,75 értékkel. Az összes többi kezelés pozitív összefüggést mutatott $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SOC értékek között (56. ábra). 90,0%-os megbízhatósági szinten ($p < 0,10$) a $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SOC értékek között azonban statisztikailag szignifikáns pozitív korrelációt csak a B1 (0,64), B2 (0,72) és BS2 (0,69) kezelések esetében kaptam. Ez arra utal, hogy ezekben a kezelésekben a növekvő szerves anyag tartalom statisztikailag is igazolható módon kedvezően befolyásolta, emelte a nitrát tartalmát a talajoknak. A kontroll esetén kapott negatív összefüggés megerősíti azon feltételezésem, hogy a kísérlet talajában lévő kis szerves anyag tartalom, pótlólagos trágyázás és kiegészítés nélkül nem képes megfelelő ütemű mineralizációt biztosítani (gátolt mineralizáció) és a fákát könnyen felvehető N-készlettel ellátni.

A SOC és a SON és a $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SOC összefüggések mellett vizsgáltam a $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SON értékek közötti korrelációt is (56. ábra). A $\text{NO}_3\text{-N}$ és a SON értékek között szignifikáns korrelációt kaptam 95,0%-os megbízhatósági szinten ($p < 0,05$) a B1 kezelés esetén (0,79). Továbbá 90,0%-os megbízhatósági szinten ($p < 0,10$) a BS2 kezelés esetén (0,69). A többi kezelés nem mutatott erős korrelációt a két érték kapcsolatának tekintetében. A kontrollhoz képest azonban mindegyik kezelés pozitív korrelációt mutatott.

4.4.3. Levélvizsgálatok eredményei (Pallag, 2021-2022)

A vizsgált két év levélelemzés eredményeit a 23. táblázat tartalmazza. A levelek N-tartalma minden kezelés esetén az optimális tartományba esett (2,0-2,6%).

23. táblázat: A kezelések hatása a levelek makrotápanyag-tartalmára

Kezelés	N (m/m%)		P (m/m%)		K (m/m%)		Ca (m/m%)		Mg (m/m%)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
K	2,49 ^b	2,49 ^c	0,25 ^a	0,21 ^a	1,60 ^a	1,37 ^c	2,27 ^a	2,54 ^a	0,52 ^a	0,47 ^{ab}
KNEX	2,51 ^b	2,47 ^d	0,25 ^a	0,21 ^a	1,26 ^b	1,74 ^a	2,18 ^{ab}	2,64 ^a	0,48 ^b	0,50 ^a
B1	2,60 ^a	2,37 ^e	0,25 ^a	0,21 ^a	1,09 ^c	1,30 ^c	2,13 ^b	2,22 ^c	0,54 ^a	0,53 ^a
B2	2,48 ^b	2,44 ^d	0,26 ^a	0,21 ^a	1,33 ^b	1,30 ^c	2,03 ^c	1,99 ^e	0,52 ^a	0,52 ^a
S1	2,58 ^a	2,72 ^a	0,24 ^a	0,21 ^a	1,12 ^c	1,45 ^b	1,96 ^d	2,13 ^d	0,48 ^b	0,45 ^b
S2	2,49 ^b	2,57 ^b	0,23 ^a	0,20 ^a	1,03 ^c	1,28 ^c	2,08 ^c	2,11 ^d	0,50 ^{ab}	0,48 ^a
BS1	2,47 ^b	2,50 ^c	0,27 ^a	0,20 ^a	1,15 ^c	1,65 ^a	2,26 ^a	2,26 ^c	0,58 ^a	0,42 ^b
BS2	2,37 ^d	2,66 ^a	0,26 ^a	0,21 ^a	1,59 ^a	1,51 ^b	2,07 ^c	2,17 ^d	0,53 ^a	0,50 ^a

Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$).

A kontroll minták esetén levelek N-tartalma mindkét évben 2,49%-nak adódott. A két vizsgálati év tekintetében azonban jelentős különbségek adódtak a többi kezelésnél, amit a két év eltérő éghajlati körülményei magyaráznak. A 2022-es évben a hajtásnövekedés fenológiai fázisában, valamint a gyümölcseréskor is rendkívül kevés csapadék esett a fő vegetációs időszakban mindössze 72 mm (6. ábra).

Érdekes tapasztalat volt, hogy a csak baromfitrágyát tartalmazó kezelés nem befolyásolta a levelek N-tartalmát szignifikánsan a kontrollhoz képest. A levelek N-tartalma 2021-ben a B1 és S1 kezelésekben, 2022-ben pedig az S1, S2 és BS2 kezelésekben szignifikánsan ($p < 0,05$) nagyobb volt a kontroll és a KNEX kezelésekhez képest. A BS2 2021-ben és a B kezelések 2022-ben azonban jelentősen csökkentették a levél N-tartalmát. Megállapítható, hogy 2022-ben csak a SAP-ot tartalmazó kezelések tudták a levelek N-tartalmát növelni az előző éves adatokhoz képest.

Eredményeimből megállapítható, hogy a kezeléseknek nem volt jelentős hatása a levelek P-tartalmára. A levelek P-tartalma 2021-ben 0,23 és 0,27% között, míg 2022-ben 0,20 és 0,21% között változott, ami megfelelő ellátottságra utal. A levelek P-koncentrációja 2021-ben minden kezelésnél nagyobb volt, mint 2022-ben, amit a 2022-es szélsőséges, aszályos körülmények magyaráznak.

2021-ben a levelek K-tartalma a kontrollban és a BS2 kezelésben volt a legnagyobb, de 2022-ben több kezelés (KNEX, S1, BS1 és BS2) a kontrollhoz képest megnövekedett K-tartalmat eredményezett. Az SAP-t tartalmazó kezelések a 2022-es szárazság ellenére a levelek K-értékének növekedését eredményezték, hasonlóan a levél N-értékéhez, ami

valószínűleg az SAP K-só alkalmazásának köszönhető. Ugyanis az alkalmazott SAP egy kálium-só (K-poliakrilát), amely képes a talajoldatban lévő kalcium és magnézium ionok megkötésére és ioncsere folyamatban helyettük kálium ionok talajoldatba juttatására, ezáltal növelve felvehetőségüket (SITU et al., 2023).

Eredményeimmel összhangban, ALI et al. (2023) szintén megfigyelték a levelek tápanyagtartalmának növekedését a SAP-ok talajba történő adagolásával szőlőültetvényekben. A SAP-ok hatására utal az a tény is, hogy a csak bentonitot tartalmazó kezelések (B1, B2) nem növelték a levelek K-tartalmát a kontrollhoz képest. Ezekben a kezelésekben inkább a bentonit, mint nagy ioncserélő kapacitással rendelkező agyagásvány hatása érvényesült.

Az almafák levelének K-tartalmához hasonlóan a levelek Ca-tartalma is a kontrollban volt a legnagyobb 2021-ben. A 23. táblázatban látható, hogy a kompozitok, 2021-ben kisebb Ca-tartalmat eredményeztek a levelekben, mint a kontroll esetén.

2022-ben csak a KNEX kezelés növelte, de nem szignifikánsan a levelek Ca-tartalmát a kontrollhoz képest, míg a kompozit kezelések 2022-ben is kisebb Ca-tartalmat eredményeztek, ami szintén magyarázható a korábban ismertetett megkötéssel, illetve ioncsere folyamatokkal. Amennyiben összevetjük a két év K-Ca levél vizsgálati eredményeit, akkor megállapítható, hogy 2022-ben mindkét elem koncentrációja enyhén növekedett a levélben a rendkívül száraz, aszályos tavaszi-nyári időszak ellenére. A K esetén a növekedés a már a korábban ismertetett effektussal magyarázható, míg a Ca esetén az úgynevezett hígulási effektussal, ami az egy- és többértékű kationok eltérő adszorpcióját jelenti hígabb, illetve töményebb talajoldatban. Ennek megfelelően a Ca a K-hoz képest nagyobb mértékben adszorbeálódik hígabb talajoldatban, mint töményebben, azaz a fokozott párolgás kisebb Ca-adszorpciót eredményez (LOCH, 2000). Eredményeim – a csak bentonitot tartalmazó kezelések esetén tapasztalt csökkenő kalcium-tartalom fényében – szintén magyarázhatók az eltérő adszorpció, megkötődési képességekkel (vegyértékhatás). Ez az adalékanyagok kationcsere-kapacitásra és adszorpció tulajdonságokra gyakorolt hatásával magyarázható, ami lassan felszabaduló elhúzódó trágyahatást eredményezett (QIAO et al., 2016). Hasonlóképpen, a levelek Mg-tartalma a KNEX kivételével minden kezelésben enyhén csökkent 2021 és 2022 között, ami a kalcium esetén ismertetett tényezők hatásával magyarázható. Látható, hogy 2021-ben a KNEX és az S1 kezelések a levelek Mg-tartalma szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a kontrollé, míg 2022-ben a kezelések hatása nem volt szignifikáns.

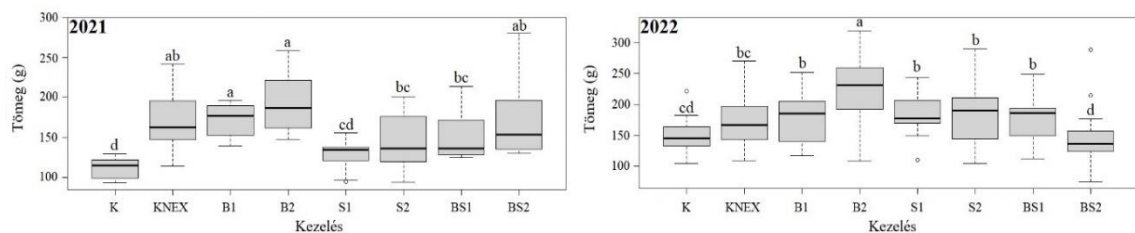
4.4.4. Gyümölcsvizsgálatok eredményei (Pallag, 2021-2022)

Az egyes gyümölcsök egyedi tömege szignifikánsan nagyobb volt ($p < 0,05$) az összes kezelésben a kezeletlen, kontroll fákról származó gyümölcsökhöz képest mind 2021-ben, mind 2022-ben. Egyedüli kivételt a BS2 kezelés jelentett 2022-ben (57. ábra). A növekedés mértéke 2021-ben 10 és 60 g/alma, illetve 2022-ben 10 és 70 g/alma között változott a kezelések függvényében. Látható, hogy mindkét évben a legnagyobb egyedi almatömeget a B2 kezelés eredményezte. A csak bentonit kiegészítést (B1, B2) kapott parcellákról származó almák tömege mindkét évben meghaladta mind a kontroll, mind a csak baromfitrágyát kapó kezelés almatömegeit.

Az egyedi gyümölcstömeg 2022-ben minden kezelésben enyhe növekedést mutatott a 2021-hez értékekhez képest, ami a kedvezőtlen időjárási körülmények ellenére biztató eredmény. Egyetlen kivételt a BS2 kezelés jelentette. A kompozit kezelések közül 2021-ben a B1 és B2, valamint 2022-ben a B1, B2, S1, S2 és BS1 növelte a gyümölcsök tömegét a csak baromfitrágyát kapó KNEX kezeléshez képest.

Hasonló eredményről számoltak be KEIVANFAR et al. (2019), akik rámutattak, hogy a SAP használata növelte a terméshozamot a kezelésük második évében. Az évjárat-hatás torzítása miatt, számoltam a két év átlag értékeit is kezelésenként. Az átlag értékek alapján minden kezelés növelte az egyedi gyümölcstömeget a kontrollhoz képest.

A két vizsgált év átlagértékei alapján azonban csak a B1 és B2 kezelések mutattak 2%-os, illetve 24%-os növekedést a gyümölcstömegben a KNEX kezeléshez képest.



57. ábra: A kezelések hatása az alma tömegére (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A fánkénti terméshozamot a 24. táblázat mutatja. 2021-ben a kontrollkezelés eredményezte a legkisebb termést. Az összes kezelés ebben az évben szignifikánsan növelte a termést, melynek mértéke 3,4 kg/fa és 16,5 kg/fa között változott. Ez igen jelentős terméstöbbletet jelentett ebben az évben. 2022-ben sokkal nagyobb kontroll termést kaptam. Ebben az évben csak a KNEX, illetve a BS1 és BS2 kezelések eredményeztek nagyobb termést, mint a kontroll, ami 2,7 kg/fa és 12,8 kg/fa közötti

növekedést jelentett. Látható, hogy mindkét évben a BS2 kezelés eredményezte a legnagyobb terméshozamot. Mivel az egyes évek terméseredményei között jelentős különbségek adódtak ezért kiszámítottam a két év átlag-terméseredményeit is. Megállapítható, hogy a B1 kezelés kivételével minden kezelés jelentősen növelte a kétéves átlagtermést a kontrollhoz képest. A termés növekedés mértéke átlagosan 14-63% között változott, az alkalmazott kompozit adalékoktól függően.

Eredményeim összevethetők CEN et al. (2020) eredményeivel, akik szintén jelezték, hogy az almaültetvények szervestrágyázása hasznos és hatékonyan növeli az alma terméshozamát.

Azonban megállapítható, hogy bizonyos kezelések esetén az egyes évek közötti terméskülönbség nagyobb volt, mint maga a kezelések hatása. Ez az évjárat hatásaként értelmezhető.

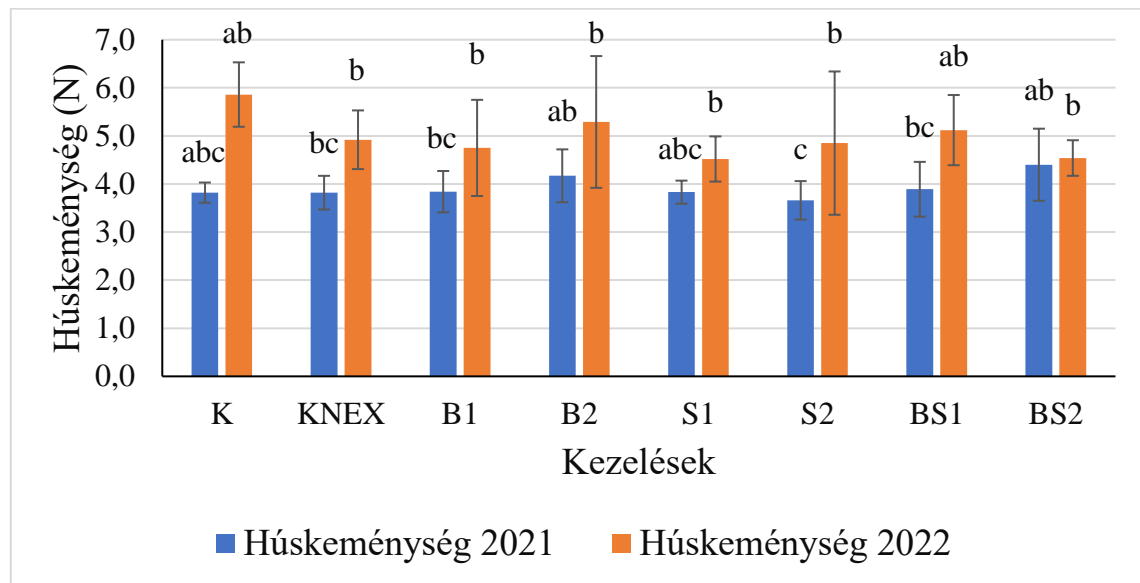
24. táblázat: A kezelések hatása az alma termésére (kg/fa), (Pallag, 2021-2022)

Kezelések	Hozam (kg/fa)		
	2021	2022	Átlag (2021-2022)
K	17.80 ^c	28.70 ^c	23.25 ^d
KNEX	30.90 ^{ab}	33.10 ^b	32.00 ^b
B1	21.20 ^{bc}	20.70 ^d	20.95 ^d
B2	26.60 ^b	26.80 ^c	26.70 ^c
S1	32.10 ^a	25.30 ^c	28.70 ^b
S2	33.30 ^a	26.40 ^c	29.85 ^b
BS1	21.70 ^{bc}	31.40 ^b	26.55 ^c
BS2	34.30 ^a	41.50 ^a	37.90 ^a

Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség (P<0,05)

A kompozit termékek gyümölcsminőségre gyakorolt hatékonyságának vizsgálatához vizsgáltam a minták húskeménységét (58. ábra). A kapott eredményeket mutatja be a következő ábra. A 2021-es eredmények alapján megállapítható, hogy az alkalmazott kezelések szignifikánsan nem befolyásolták a gyümölcsök húskeménységét a kontrollhoz képest. A kapott értékek 3,82 és 4,40 N között szórta. Legnagyobb értéket a B2 és BS2 kezelések esetén kaptam, de ezek sem különböztek szignifikánsan a többi kezelés értékétől. A 2022-es adatok alapján megállapítható, hogy a kezelések kis mértékben csökkentették a gyümölcsök húskeménységét a kontrollhoz képest. Ebben az évben sem kaptam azonban szignifikáns kezeléshatást. Az értékek 4,52 és 5,86 N között

szórtak. Adataimból megfigyelhető, hogy 2022-ben minden kezelés esetén nagyobb húskeménységet mértem, mint 2021-ben. Az évjáráthatás mértéke nagyobb volt, mint a kezeléshatás. Ez arra enged következtetni, hogy az extrém száraz évben a növényi szövetek sejttállománya kompaktabb lett, a méretnövekedés elmaradt az optimálistól, így tömörebb, nagyobb húskeménységű szövetállomány alakult ki a kezelésektől függetlenül.



58. ábra: A kezelések hatása a gyümölcsök húskeménységére (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

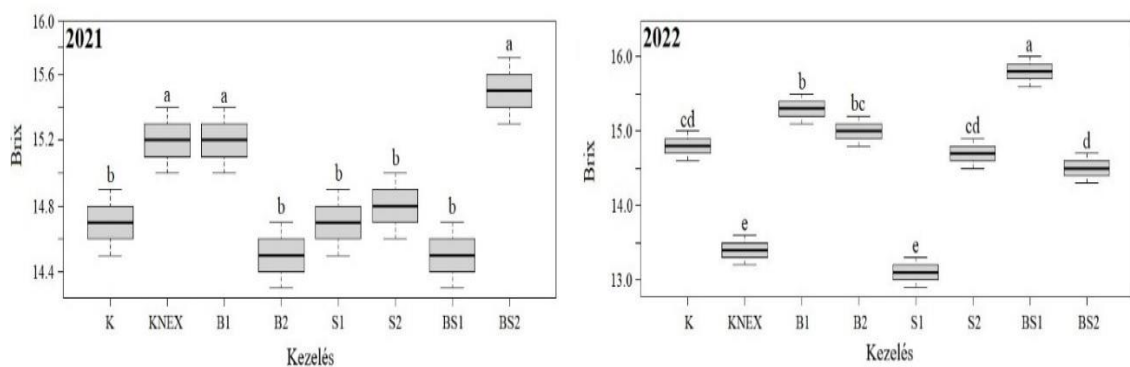
A húskeménység mellett megmértem a gyümölcsök cukor és titrálható savtartalmát is, azért, hogy értékelni tudjam a kompozit termékek hatását a gyümölcsök fontosabb beltartalmi mutatóira.

A cukortartalom esetén a Brix-értékek 2021-ben $14,5^\circ$ és $15,5^\circ$ között, 2022-ben pedig $13,1^\circ$ és $15,8^\circ$ között változtak a kezeléstől függően (59. ábra). Eredményeim megfelelnek a SERPEN (2012) által közölteknek, ami a mérések megbízhatóságát támasztja alá.

Látható, hogy 2021-ben a KNEX, B1 és BS2 kezelések jelentősen növelték a gyümölcsök cukor-tartalmát a kontrollhoz képest. A többi kezelés hatása nem volt szignifikáns, a mért értékek a kontrollal azonos szignifikancia szinten voltak ($p < 0,05$). 2022-ben a B1 és a BS1 kezelések növelték szignifikánsan a cukortartalmat, míg a KNEX és az S1 kezelések szignifikánsan kisebb cukor-értékeket eredményeztek a gyümölcsökben. A legnagyobb értéket ($15,8^\circ$) a BS1 kezeléskor mértük 2022-ben.

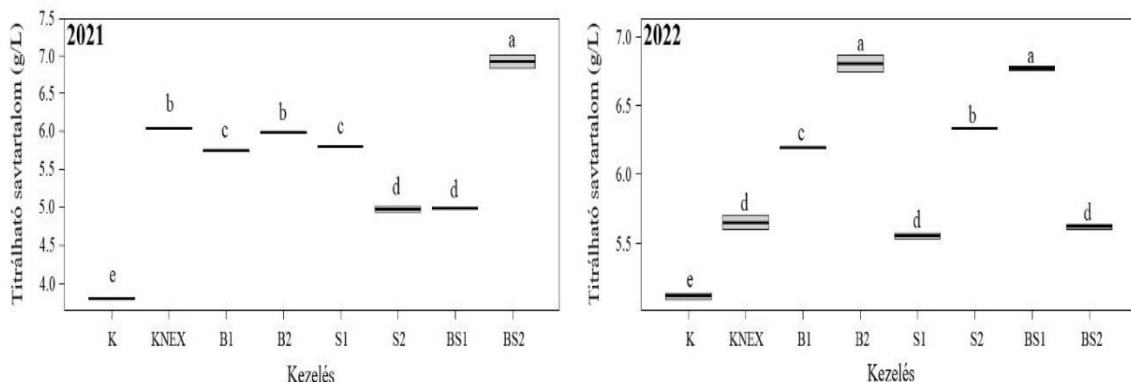
A Brix-értékek eltérései a két év között az éghajlati viszonyok eltéréseinek tulajdoníthatók. A két vizsgált év átlagértékei alapján a B1 kezelés 6,6%-os növekedést mutatott a cukortartalomban, míg a BS1 és BS2 kezelések 5,9%-os, illetve 5%-os növekedést eredményeztek a KNEX kezeléshez képest. Ezek az eredmények alátámasztják a korábbi tanulmányokat, amelyek rámutatnak, hogy a cukortartalom jelentősen javítható SAP termékek alkalmazásával (KEIVANFAR et al., 2019; ZOGHDAN és ABO EL-ENIEN, 2019; SOLANKI et al., 2021)

Eredményeim megerősítik KAI és ADHIKARI (2021) korábbi eredményeit, miszerint a szerves trágyázás hatékonyan képes növelni a gyümölcsök cukortartalmát még a műtrágyázáshoz képest is.



59. ábra: A kezelések hatása a TSS-tartalomra (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A titrálható sav értékek 2021-ben 3,8 mg/l és 6,92 mg/l, 2022-ben pedig 5,12 mg/l és 6,80 mg/l között változtak (60. ábra). A kontroll minták sav értékei mindkét évben következetesen a legalacsonyabbak voltak, mint az alkalmazott kezeléseké.



60. ábra: A kezelések hatása a TA-tartalomra (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

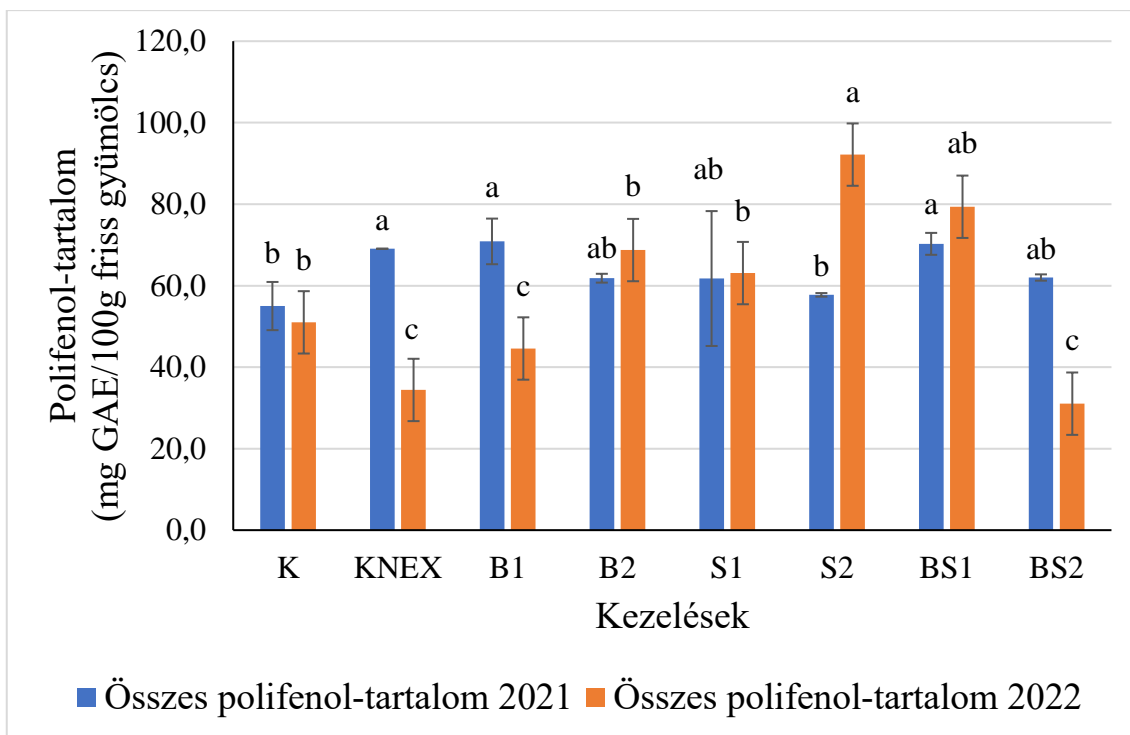
Ennek értelmében, minden kezelési kombináció jelentősen növelte az alma titrálható savasságát a kontrollhoz képest ($p < 0,05$). A legmagasabb értékeket 2021-ben a BS2 kezelésben, 2022-ben pedig a B2 és a BS1 kezelésben kaptam. 2021-ben titrálható savtartalom a kontrollban 4 mg/l alatt, míg a kezelésekből 5-7 mg/l között változott. 2022-ben a kontroll esetén 5 mg/l a kezeléseknél 5,6 -6,9 mg/l közötti értékeket mértem. Ezek az eredmények összhangban vannak KEIVANFAR et al. (2019), ZOGHDAN és ABO EL-ENIEN (2019), valamint SOLANKI et al. (2021) korábbi tanulmányaival.

Az eltérő időjárási, főként csapadékviszonyok miatt azonban egyes kezelések értékei között jelentős különbségek mutatkoztak a két év tekintetében. A két év átlagában a kezelések 26-43%-kal növelték a savtartalmat a kontrollhoz képest, és 0,5-10%-kal a KNEX kezeléshez képest, kivéve az S1 kezelést. Az átlagértékek alapján a B1, BS1 és BS2 kezelések mutatták a sav értékek legnagyobb mértékű növekedését a kontroll és a KNEX kezelésekhöz képest.

Kutatásaim során megvizsgáltam, hogy az alkalmazott kompozit termékek hogyan hatnak a gyümölcs néhány fontosabb (főképp egészségvédelmi szempontból) minőségi paraméterére. Vizsgáltam a kezeléseket különböző antioxidáns vegyületek mennyiségére, így a polifenol- flavonoid- és C-vitamin-tartalomra. A következő ábrák ezeknek az egészségmegőrző komponenseknek a mennyiségeit mutatják az alkalmazott kezeléseket függvényében (61-64. ábrák).

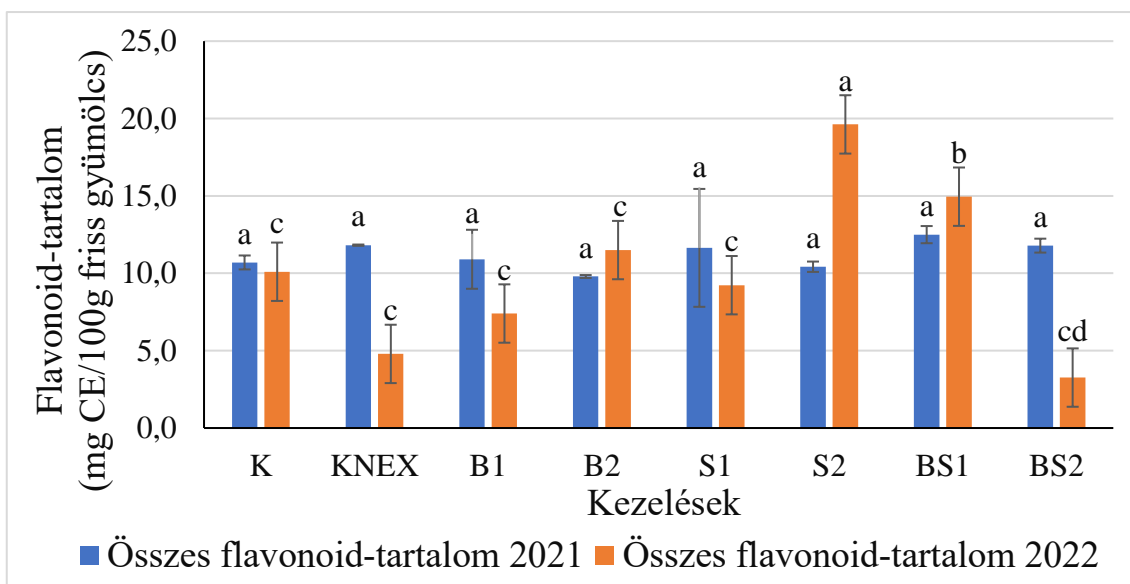
A gyümölcsök polifenol-tartalma alapján megállapítható, hogy 2021-ben az összes kezelés növelte a gyümölcsök polifenol-tartalmát, de szignifikáns hatása csak a KNEX, B1 és BS1 kezelése volt a kontrollhoz képest (61. ábra). A legnagyobb értéket a B1 kezelés szolgáltatta.

A két év viszonylatában viszont megállapítható, hogy az egyes évek között jelentős különbség alakult ki a gyümölcsök polifenol-tartalmában. Fontos, hogy 2022-ben a kompozit kezelésekből mértem nagyobb polifenol-tartalmat. Ez azért jelentős, mert a 2022-es év extrém száraz körülményei a kontroll és a csirketrágyás kezelésekből csökkentették, míg a többi kezelésben (kivéve B1 és BS2) növelték a polifenol tartalmat. A szakirodalom által jól leírt tény, hogy extrém időjárási körülmények között a gyümölcsök beltartalmi, minősítési paraméterei romló értékeket mutatnak, ahogy erre a szakirodalmi áttekintés részben is utaltam. Ennek ellenére kísérleteimben a kompozit kezeléseket kedvező hatásukat lehetett kimutatni. Ez, felhívja a figyelmet arra, hogy extrém időjárási körülmények között ezek a kompozit termékek hatékonyak lehetnek az időjárási anomáliák okozta hatások mérséklésében, kivédésében.



61. ábra: A kezelések hatása a gyümölcsök polifenol-tartalmára (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A flavonoid vizsgálati eredmények alapján hasonló megállapítások tehetők, mint a polifenol-tartalom kapcsán (62. ábra).



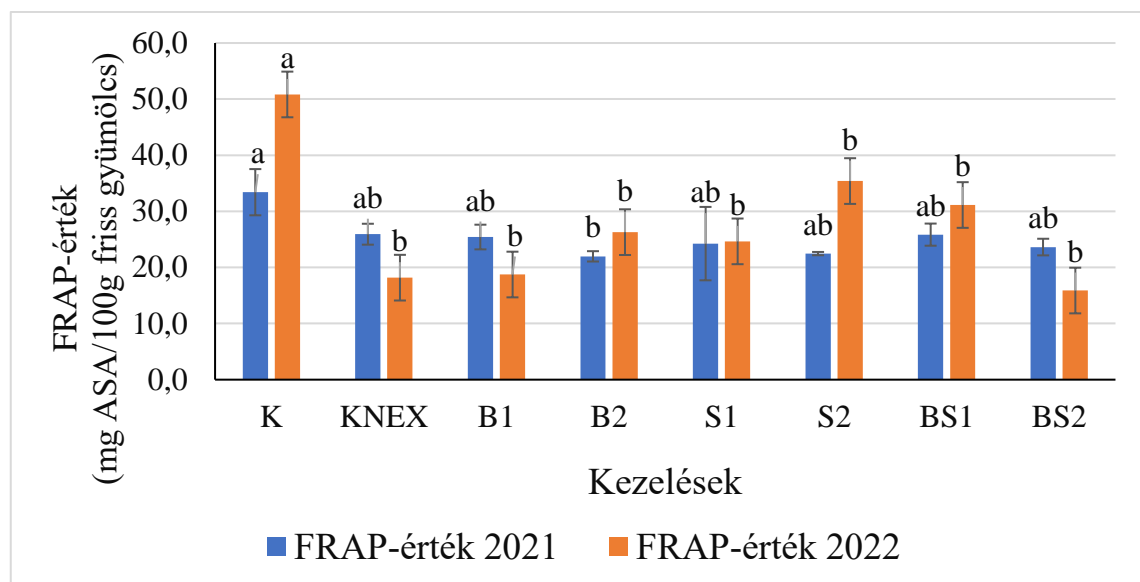
62. ábra: A kezelések hatása a gyümölcsök flavonoid-tartalmára (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

Kontrollhoz képest 2021-ben nem kaptam szignifikáns kezelés hatást. 2022-ben az S2 kezelés jelentősen növelte, míg a KNEX és BS2 kezelések csökkentették a

gyümölcsök flavonoid-tartalmát. 2021-ben a mért értékek 9,5-12,5 mg/100g között szórtak. 2022-ben a KNEX és BS2 kezelésekben kiugróan kis értékeket mértem (3-5 mg/100g) míg az S2 kezelés esetén kiemelkedő értéket (≈ 20 mg/100g).

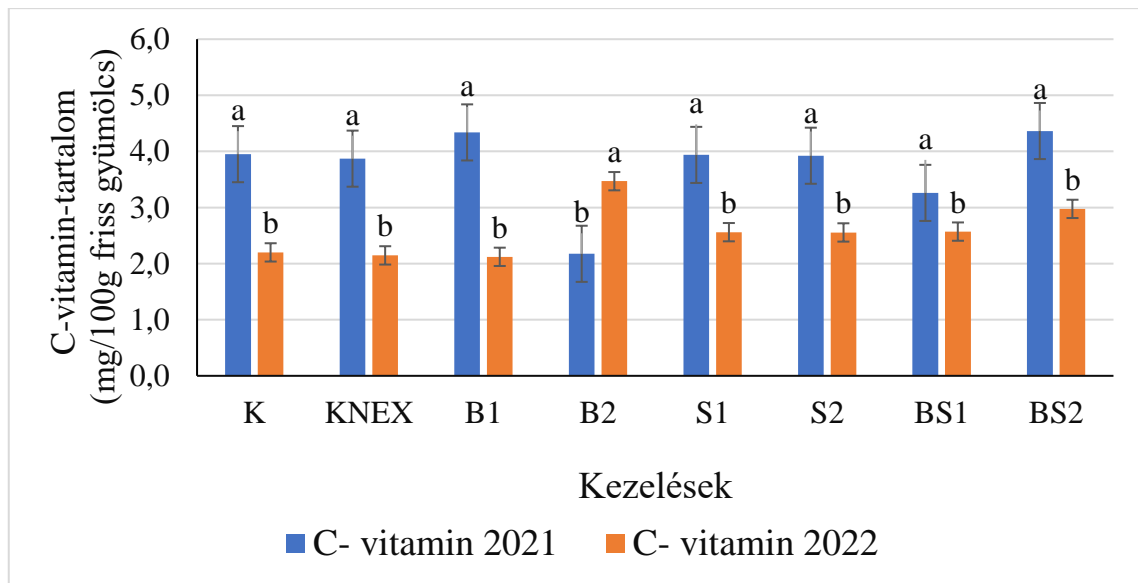
A FRAP-értékek tekintetében megállapítható, hogy 2021-ben az alkalmazott kezelések kis mértékben csökkentették a FRAP-értéket a kontrollhoz képest (63. ábra).

Szignifikáns hatás azonban nem mutatkozott az alkalmazott kezelések között. 2022-ben kiugróan nagy értéket kaptam a kontroll esetén, ehhez képest az összes kezelés szignifikánsan kisebb FRAP-értéket eredményezett. A kezelések között azonban ebben az évben sem kaptam szignifikáns különbségeket. Ez talán arra vezethető vissza, hogy az egyedi gyümölcstömeg értékeit az alkalmazott kezelések kismértékben ugyan, de növelték a kontrollhoz képest. Ebből adódóan hígulási effektussal lehet magyarázni a kapott hatást.



63. ábra: A kezelések hatása a gyümölcsök FRAP-értékére (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

A gyümölcsök C-vitamin-tartalma alapján megállapítható, hogy ennél a paraméternél sem kaptam szignifikáns kezeléshatást (kivételem B2 kezelés), (64. ábra). Mindkét vizsgálati évben a B2 kezelés esetén kaptam szignifikánsan eltérő értékeket a többi kezeléstől



64. ábra: A kezelések hatása a gyümölcsök C-vitamin-tartalmára (2021 és 2022), (Megjegyzés: Az azonos betűvel jelölt értékek között nincs szignifikáns különbség ($P < 0,05$))

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Napjaink gazdálkodói számára kiemelten fontos a talaj szervesanyag tartalmának megőrzése esetlegesen javítása, illetőleg a rossz vízgazdálkodású területek vízkészlet-gazdálkodásának elősegítése. Éppen ezért kutatásaim során olyan kompozit termékek kifejlesztését céloztam meg, amelyek hatékonyan képesek ezeknek a sajátosságoknak a javítására és ezáltal a gazdálkodók számára alternatív megoldásként javasolhatók a tápanyag gazdálkodási gyakorlatukba történő beillesztésre.

Munkám első részében receptúrafejlesztéssel és kompozit termékek előállításával foglalkoztam, amelyek alkalmasak lehetnek ezeknek a problémáknak egyidejű kezelésére. A kifejlesztett kompozit termékek hatásainak vizsgálatára talajinkubációs, tenyészedény és szabadföldi kísérleteket állítottam be különböző talajtípusokon, vízkapacitási szinteken, különböző jelzőnövények esetén.

A talajinkubációs kísérletek eredményei alapján megállapítottam, hogy az alkalmazott kompozitok talajban történő átalakulása időigényes folyamat, mely révén elhúzódó kezeléshatást biztosít. A kapott eredmények rámutatnak, hogy a kompozit kezelések a talajok kémhatását és elektromos vezetőképességét döntően nem befolyásolják. Hatásuk ennek értelmében nem a változó kémhatásnak tulajdonítható. Továbbá megállapítható, hogy az alkalmazott adalékanyagokkal történő termékfejlesztés a talaj oldat sótartalmát, az abban lévő ionok össz mennyiségét döntően nem

befolyásolják, azaz nem jelentenek konkurenciát a növények számára a tápanyagok felvételével kapcsolatban.

A kapott eredmények rámutattak, hogy a kompozitok alkalmazása hatékonyan elősegíti a nitrogén mineralizációs folyamatok lejátszódását és növeli a potenciálisan mineralizálható nitrogén mennyiségét talajtípustól függetlenül. Megjegyezhető azonban, hogy jelentősebb hatás csak kisebb vízkapacitási szinten és kedvezőtlenebb talajadottságok mellett mérhető, ahol a mineralizáció gátolt és így a kompozitok hatékonyabban kifejthetik hatásuk.

Eredményeim alapján megállapítható, hogy a kompozit kezelések csökkentik a nitrát-ionok kimosódási hajlamát, így növelik az ásványi nitrogén-formák (főképp a nitrát) mennyiségét az alkalmazási talajzónában. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált kompozitok pozitív hatása épp ott érhető tetten, hogy a szervesanyag-tartalmuk révén fokozzák a nitrifikációt, ugyanakkor az adalékanyagok miatt csökkentik a képződött ásványi forma (nitrát) kimosódási hajlamát, így teremtve kedvezőbb tápanyagfelvételi viszonyokat a talajrétegben.

Megállapítottam, hogy hatásuk döntően az alkalmazási zónára korlátozódik, de ennek befolyásolása révén hatással vannak az alkalmazási zónájukkal közvetlenül érintkező mélyebb réteg tápanyag-gazdálkodási viszonyaira is.

Eredményeim rámutattak, hogy a kompozitok hatása a kijuttatási zónában, nagyobb dózis (20 mg/kg talaj) és alacsonyabb nedvességtartalomnál (VK=40%) a legjelentősebb.

A két indikátor-növénnyel elvégzett tenyészedény kísérletek eredményei rámutattak, hogy a kompozit termékek használata jelentősen növelte olyan nagy vízigényű jelzőnövények (paradicsom, paprika) zöldtömegét és szárazanyag-tartalmát, amelyek termesztése napjainkban már nem képzelhető el precíziós öntözés vagy a vízutánpótlás megtervezése nélkül.

Megállapítottam, hogy az alkalmazott kompozit kezelések mindegyike jelentősen növelte a paradicsom jelzőnövény vízhasznosítását a kontrollhoz és a csak alaptrágyát tartalmazó kezeléshez képest. Az uborka esetén a kisebb vízkapacitási szinten kaptam jelentősebb kezeléshatást, ami rámutat arra, hogy a kompozit kezeléseknél azokban az esetekben lehet jelentősége, amikor a növény vízfelvétele valamilyen okból gátolt.

A kompozitok alkalmazásával akár 50%-os víz megtakarítást is el lehet érni, ami a napjainkra jellemző igen aszályos időjárási körülmények és korlátozott öntözővíz készletek miatt jelentős. Különösen érvényes ez a megállapítás kis tápanyagtökéjű, nem megfelelő vízgazdálkodással rendelkező, jellemzően homoktalajok esetén, ahol a

termékek használata alternatív megoldást jelenthet a víztakarékosabb termesztéstechnológia kialakításának érdekében.

A szabadföldi kísérletek eredményei rámutatnak, hogy az alkalmazott kezelések jelentősen befolyásolták a talaj szerves széntartalmát főképp az alkalmazás második évétől kezdődően. A csirketrágya és a kompozitok nagyobb dózisai 4-9 g/kg-mal növelték a talaj szerves széntartalmát a kontrollhoz képest. Hasonlóan a talaj szerves széntartalmához, az alkalmazott kompozit kezelések jelentősen növelték a talaj szerves nitrogén-tartalmát mind a kontroll, mind az alaptermékkel történő kezeléshez képest. A növekedés mértéke 0,5 és 1,8 g/kg között változott. Megállapítottam, hogy a csirketrágyás és a kompozit kezelések fokozatosan növelték a talaj nitrát-tartalmát a kontrollhoz képest. Az első év végére néhány kezelésben akár 3-4-szeres értéket is mértem a kontrollhoz képest. A második évben a talaj nitrát-tartalma folyamatosan tovább emelkedett és az év végére 3-4-szerese lett a kontrollénak, ami azt jelzi, hogy a felhasznált kompozitok hatékonyan mobilizálják a nitrogén készleteket és javítják a talaj tápanyagainak a hozzáférhetőségét a növények számára.

Eredményeim rámutattak a megfelelő C/N arány fenntartásának, illetve esetleges javításának a fontosságára, hiszen a nitrogén mobilizáció hatékonyságát csak megfelelő C/N arány mellett lehet növelni.

Megállapítottam, hogy a talaj szerves/szervetlen nitrogén aránya jelentősen változik a kompozit kezelések hatására, ami arra utal, hogy a kompozit kezelések jelentős hatással vannak a nitrogén mineralizációjára, mobilizációjára. Mivel a kis tápanyagtökéjű, kilúgzása hajlamos talajok esetén különösen nagy gondot jelent a megfelelő nitrogén szolgáltatás biztosítása huzamosabb időn keresztül (pl. állókultúráknál), így az általam fejlesztett kompozitok időben elhúzódó hatásuk révén alkalmas lehetnek ilyen körülmények között a megfelelő tápanyag pótlás biztosítására.

Az elvégzett levél vizsgálati eredmények rámutattak, hogy az általam alkalmazott kezelések hatékonyan képesek növelni a levelek N-, K-, Ca- és Mg-tartalmát míg szignifikánsan nem befolyásolták a levelek P-tartalmát.

A gyümölcs vizsgálati eredmények felhívták a figyelmet arra, hogy a kezelések növelhetik az egyedi almatömeget és a kezelések (kivéve B1) kedvezően hatottak a fánkenti hozam növekedésére is. Megállapítható, hogy a B1 kezelés kivételével minden kezelés jelentősen növelte a kétéves átlagtermést a kontrollhoz képest. A termés növekedés mértéke átlagosan 14-63% között változott, az alkalmazott kompozit adalékoktól függően. A vizsgált beltartalmi paraméterek alapján, a két vizsgálati év

átlagában, a B1 kezelés 6,6%-os növekedést mutatott a cukortartalomban, míg a BS1 és BS2 kezelések 5,9%-os, illetve 5%-os növekedést eredményeztek a KNEX kezeléshez képest. Kísérleteim alapján megállapítottam, hogy minden kezelési kombináció jelentősen növelte az alma titrálható savasságát a kontrollhoz képest ($p < 0,05$). A legmagasabb értékeket 2021-ben a BS2 kezelésben, 2022-ben pedig a B2 és a BS1 kezelésben kaptam. Az eltérő időjárási, főként csapadékviszonyok miatt azonban egyes kezelések értékei között jelentős különbségek mutatkoztak a két év tekintetében. A két év átlagában a kezelések 26-43%-kal növelték a savtartalmat a kontrollhoz képest, és 0,5-10%-kal a KNEX kezeléshez képest, kivéve az S1 kezelést. Az átlagértékek alapján a B1, BS1 és BS2 kezelések mutatták a sav értékek legnagyobb mértékű növekedését a kontroll és a KNEX kezelésekhöz képest.

Kutatásaim során tanulmányoztam, hogy az alkalmazott kompozit termékek hogyan hatnak a gyümölcs néhány fontosabb (főképp egészségvédelmi szempontból) minőségi paraméterére.

A két év viszonylatában viszont megállapítható, hogy az egyes évek között jelentős különbség alakult ki a gyümölcsök polifenol-tartalmában. Fontos, hogy 2022-ben a kompozitos kezelésekben mértem nagyobb polifenol-tartalmat. Ez azért jelentős, mert a 2022-es év extrém száraz körülményei a kontroll és a csirke trágyás kezelésekben csökkentették, míg a többi kezelésben (kivéve B1 és BS2) növelték a polifenol tartalmat.

A flavonoid vizsgálati eredmények alapján megállapítottam, hogy a kezeléseknél nem volt jelentős hatása a gyümölcsök flavonoid-tartalmára.

A gyümölcs vizsgálati eredmények alapján az összes kezelés kismértékben csökkentette a gyümölcsök FRAP-értékét mindkét vizsgálati évben.

A gyümölcsök C-vitamin-tartalma alapján megállapítottam, hogy ennél a paraméternél nem kaptam szignifikáns kezeléshatást (kivétel B2 kezelés), azaz a kezelések nem eredményeztek szignifikánsan nagyobb C-vitamin-tartalmat a gyümölcsökben.

Összefoglalva a vizsgálati eredményekből levonható következtetéseket javasolható, az általam fejlesztett kompozit termékek használata – a talajtulajdonságok javítási céljára – olyan termőhelyeken, ahol az adekvát nitrogénpótlás és/vagy mineralizációs folyamatok valamilyen okból gátoltak, valamint a talaj nem rendelkezik megfelelő vízmegtartó képességgel (tipikusan kis tápanyag tőkéjű, homoktextúrájú talajok).

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Termékfejlesztési munkám során, a már kereskedelmi forgalomban kapható fermentált csirketrágya termék összetételének továbbfejlesztésével, új kompozit termékeket fejlesztettem, melyek --alapanyagként fermentált csirketrágyát (90%), adalékanyagként bentonitot (8-9%) és szintetikus, illetőleg szerves alapú szuperabszorbens polimereket (1-2%) tartalmaztak.
2. A talajinkubációs kísérletek eredményei rámutattak, hogy a kifejlesztett kompozit termékek hatékonyan segítik elő a talajban lejátszódó nitrogén mineralizációs folyamatokat, különösképpen a kisebb tápanyagtőkéjű talajok esetén. A kompozit alkalmazása a barna erdőtalajban a víztartalomtól függően 64,5 és 82%-kal, a csernozjom talajban a víztartalomtól függően 35,3 és 42,8%-kal növelte a potenciálisan mineralizálható nitrogén értékét. A csak csirketrágyát kapott kezeléshez képest a kompozitok további 1-3%-kal növelték mineralizált N mennyiségét a négy hónapos inkubáció során.
3. Tenyészedény kísérletek igazolták a kifejlesztett kompozit termékek hatását zöldségvények esetén. Paradicsomnál a kezelések a száraztömeget 2,5-5 szöröserre, míg uborkánál 1,4-1,6 szöröserre növelték. A termékek használatával az egységnyi vízmennyiség hatására kapott száraz biomassza tömeg paradicsomnál 0,5 grammról 0,9-1,05 grammra, míg uborkánál 0,58 grammról 0,8 grammra növekedett. Ennek köszönhetően az öntözött kultúrákban csökkenthető a kijuttatandó öntözővíz mennyisége és/vagy az öntözés gyakorisága.
4. Az elvégzett szabadföldi kísérletek bizonyították, hogy a kifejlesztett kompozit termékek javították a homokos textúrájú barna erdőtalaj tápanyag-szolgáltató képességét. A nagyobb dózisú kompozitok jelentősen (1 g/kg-ról 1,8-2,8 g/kg-ra) növelték a talaj szerves nitrogén tartalmát a kontrollhoz és a csirketrágya-kezeléshez képest ($p < 0,05$) a második év végére. A növényvizsgálatok rámutattak, hogy kedvezően hatnak a makrotápelemek felvehetőségére, mivel szignifikánsan növelték a levél nitrogén-, kálium-, kalcium- és magnéziumtartalmát.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. Az általam kifejlesztett kompozit termékek alkalmasak lehetnek kis tápanyagtökéjű, rossz vízgazdálkodási viszonyal rendelkező talajok hatékony javítására.
2. A kifejlesztett kompozit termékek hatékonysága döntően a kijuttatási mélységre összefüggően így javasolható ezen termékek kijuttatását a gyökérszónához igazítani.
3. A kifejlesztett és tesztelt termékek hatékonysága kedvezőtlenebb vízellátottság viszonyok mellett nagyobb, így javasolható olyan területeken történő alkalmazása, ahol a talajok érzékenyek a vízellátottság problémákra és kevésbé képesek a lehullott csapadékot a gyökérszónában megtartani, illetőleg érzékenyek a kilúgzási, kimosódási folyamatokra.
4. Kísérleteim igazolták, hogy a kifejlesztett kompozit termékek kedvezően befolyásolják a talajban lejátszódó ásványosodási folyamatokat, elősegítik azok lejátszódását és ennek révén jelentősebb ásványi nitrogént tudnak a növények számára biztosítani, különösen olyan talajok esetében ahol a nitrogén mineralizáció valamilyen okból gátolt.
5. Kísérleteim rámutattak, hogy a kifejlesztett kompozit termékek nem jelentenek konkurenciát a növények tápanyagfelvételére nézve.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi évtizedek jelentős változásokat és ennek eredményeképpen óriási kihívásokat hoztak mind a hazai, mind a nemzetközi növénytermesztési ágazatban. A gazdálkodóknak éppen ezért napjainkban egyre szigorodó követelményrendszereknek (gazdasági, környezetvédelmi, piaci) kell megfelelniük és ez nagyon komoly kihívást is jelent számukra.

A globális népesség növekedés okozta élelmiszertermelési nyomás, a piac és fogyasztók növekvő minőségi és mennyiségi igénye, a klímaváltozás okozta környezeti változások, szélsőségek tovább nehezítik a gazdálkodók feladatait. Ráadásul egész Európára, sőt világviszonylatban is érvényes megállapítás, hogy a termelési feltételek (romló vízháztartási viszonyok, csökkenő szervesanyag tartalom, kiapadó vízkészletek, elszabaduló műtrágyaárak, háborús konfliktusok etc.) sokszor nem optimálisak a magas minőségű és nagy mennyiségű termés előállítására.

Európa déli és keleti részén, illetőleg hazánkban is egyre súlyosabb problémává válik a talajok nem megfelelő, sokszor hektikus vízgazdálkodása (aszály, villámárvíz, növekvő léghőmérséklet, fokozódó evapotranspiráció) és a folyamatosan csökkenő szerves anyag tartalom.

Mindezek mellett, éppen a népesség növekedés okozta élelmiszer előállítási nyomás miatt a gyors ciklusú megfelelő fehérje mennyiséget szolgáltató baromfi ipar és azon belül is a boiler csirke ágazat exponenciális növekedést mutat. A felfutó ágazat rendkívül nagy mennyiségű trágyát termel, ami kezeletlenül, potenciálisan veszélyes hulladéknak számít, viszont a trágya kedvező tápelem tartalma miatt potenciálisan termékként is értékesíthető, megfelelő átalakítás után.

A fentiek alapján, munkám során több szintű célt, célokat fogalmaztam meg.

Egyrészt a trágya átalakítása során nyert piaci termék (Bio-Fer termékcsalád: Natur extra) továbbfejlesztése révén a mezőgazdasági hulladékgazdálkodás előmozdítását, a körkörös gazdálkodás elősegítését. Ennek kapcsán termékfejlesztést valósítottam meg, melyhez olyan adalékanyagokat választottam, melyek hatékonyan javítják a talajok vízkészlet gazdálkodását és növelik szervesanyag tartalmát. A termékfejlesztés során olyan kompozit termékeket állítottam elő, amelyek az alapanyagként szolgáló fermentált csirketrágyát, bentonitot és szuper abszorbens polimereket tartalmazott.

A termékfejlesztés révén olyan prototípus termékek előállítására és tesztelésére volt a célom, amelyek hatékonyan használhatók a biztonságos és minőségi élelmiszer alapanyag termelésben és amelyek alkalmasak lehetnek később, kereskedelmi forgalomba hozatalra. Munkám egy része a megfelelő keverék arányok kidolgozására irányult, másik része pedig a kialakított kompozitok hatékonyságának vizsgálatára. Ez utóbbi során a kompozitok hatásait különböző kísérletekben teszteltem. Vizsgáltam a kompozitok hatását talajinkubációs kísérletekben (termék - talaj összefüggésben), továbbá tenyészedényes (modell) kísérletekben és végezetül szabadföldi kísérletekben (termék - talaj - növény összefüggésben) 2020 és 2022 között. Vizsgálataimhoz különböző, hazánkra jellemző talajtípusokat használtam eltérő vízkapacitás szinteken. A tenyészedényes kísérletekhez különböző jelző növényeket (paradicsom, uborka,) talajtípusokon és vízkapacitási szinteken. Valamint a szabadföldi kísérleteimet egy almaültetvényben (Debrecen-Pallag) állítottam be.

A kísérleteim során komplett talaj, levél és gyümölcs vizsgálatokat végeztem azért, hogy a fejlesztett kompozit termékek hatékonyságát minél széles körben tanulmányozni tudjam. Vizsgálataimat a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében, Agrárműszerközpontjában és az Agrokémiai és Talajtani Intézetében végeztem el.

Kutatásom során a kifejlesztett kompozit termékek hatását kontroll és csak alapanyagot (fermentált csirketrágya) tartalmazó kezelésekhez hasonlítottam.

A talaj inkubációs kísérletek során tanulmányoztam a kompozit termékek hatását a talaj kémhatására, elektromos vezetőképességére, ásványi nitrogénformáira, C/N arányára, mineralizációs potenciáljára, nettó mineralizációs rátájára és nettó nitrifikációs rátájára.

A kísérletek felszámolása során nyert tapasztalatokból megállapítottam, hogy az alkalmazott kompozitok lebomlása, átalakulása időigényes folyamat, mely révén elhúzódó kezeléshatást biztosít.

A kapott eredményekből megállapítható, hogy a kompozit kezelések a talajok kémhatását kismértékben csökkentik, köszönhetően az adalékanyagok speciális tulajdonságainak (víz- és tápanyag-megkötés). Megállapítottam, hogy a kompozit kezelések kezdetben kismértékben csökkentik a talajok elektromos vezetőképességét, de ez a hatás négy hét után már nem mutatható ki. Ennek eredményeképpen megállapítható, hogy az alkalmazott adalékanyagokkal történő termékfejlesztés a talajoldat összetételét, az abban lévő ionok mennyiségét döntően nem befolyásolják, azaz nem jelentenek konkurenciát a növények számára a tápanyagok felvételével kapcsolatban. Eredményeim

alapján megállapítható, hogy a kompozit kezelések csökkentik a nitrát-ionok kimosódási hajlamát és növelik az ásványi nitrogén-formák (főképp a nitrát) mennyiségét.

A kapott eredmények rámutattak, hogy a kompozitok alkalmazása hatékonyan elősegíti a mineralizációs folyamatok lejátszódását és növeli a potenciálisan mineralizálható nitrogén mennyiségét talajtípustól függetlenül, természetesen nagyobb hatást eredményezve a gyengébb minőségű talajok esetén. A kompozit kezelések főként kisebb vízkapacitási szinten növelték a nettó mineralizációs rátát és a nettó nitrifikációs rátát.

Eredményeim rámutattak, hogy a kompozitok hatása a kijuttatási zónában és alacsonyabb nedvességtartalomnál (VK=40%) a legjelentősebb.

A kapott eredményekből megállapítható, hogy a kompozit kezelések a kontrollhoz képest jelentős nedves és száraz biomassza tömegnövekedést eredményeztek, mind a paradicsom, mind az uborka jelzőnövények esetén. A csak csirketrágyát kapott kezelésekhez képest szintén regisztráltam tömegnövekedést, de az értékek között szignifikáns különbség nem adódott. A növényi pigment anyagok (klorofill, karotinoid) vizsgálata során megállapítható, hogy a kompozit kezelések a kontrollhoz képest ugyan növelték, viszont a fermentált csirketrágyás kezeléshez képest enyhén csökkentették a növényi pigmentanyagok mennyiségét. Legjelentősebb hatást a vízhasznosulás kapcsán kaptam a tesztelt kompozit termékek vizsgálata során. A kompozit kezelések szignifikánsan növelték a vízhasznosulás mértékét a kontroll kezeléshez képest és további, bár nem szignifikáns mértékben a csak csirketrágyás kezeléshez képest a paradicsom esetén. Hasonló, bár nem ennyire koherens kezeléshatást kaptam az uborka jelzőnövény esetén is. A tenyészedény vizsgálatok is bebizonyították, hogy jelentősebb kezeléshatást csak az optimálistól nagyobb mértékben eltérő vízháztartási viszonyok mellett kapunk a kompozit kezelések esetén.

Kutatásaim során, legmagasabb szintként, a kompozitok hatását szabadföldi körülmények között is teszteltem. Kísérletemet a Debreceni Egyetem Pallagi kísérleti helyszínén állítottam be egy 2011-ben telepített almaültetvényben.

Az ültetvényben két egymást követő évben teszteltem a kompozit készítményeket. A talajvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a kompozitok az első év végére jelentősen növelték a talaj nitrát-tartalmát és befolyásolták a szerves szén- és szerves nitrogén-tartalmát. A csirketrágya és a kompozitok nagyobb dózisaival 4-9 g/kg-mal növelték a talaj szerves széntartalmát. Minden kezelés, kivéve a bentonit és a szuper abszorbens polimer alacsonyabb dózisát jelentősen (1 g/kg-ról 1,8-2,8 g/kg-ra) növelte a

talaj szerves nitrogén tartalmát a kontrollhoz és a csirketrágya kezeléshez képest ($p < 0,05$) a második év végére. A talaj nitrát-tartalma folyamatosan emelkedett a kísérlet során 8-10 mg/kg-ról 30-38 mg/kg-ra minden kezelés esetén kivéve a kontrollt, amelyben végig 8 mg/kg maradt. A levélvizsgálati adatok rámutattak, hogy a kompozitok hatékonyan növelték a levél nitrogén-, kálium-, kalcium- és magnézium-tartalmát, míg a kezeléseknek nem volt jelentősebb hatása a levél foszfor-tartalmára ($p < 0,05$).

Megállapítottam továbbá, hogy minden kezelés (kivéve a bentonit alacsonyabb dózist) jelentősen, átlagosan 14-63%-kal növelte a terméshozamot a vizsgált években az alkalmazott kompozittól függően, a kontrollhoz képest. Az egyedi almatömeget illetően a bentonit kezelések 2%-kal, illetve 24%-kal növelték az egyes almák tömegét a csirketrágyás kezeléshez képest. A két év átlagában a kompozit kezelések (kivéve a szuper abszorbens polimer alacsonyabb dózist) a kontrollhoz képest 26-43%-kal, a csirketrágyás kezeléshez képest pedig 0,5-10%-kal növelték a betakarított gyümölcsök titrálható savasságát.

Eredményeim alapján a kifejlesztett kompozitok alkalmasak a talaj tápanyag-ellátásának javítására, fokozására különösen kis tápanyag-ellátottságú és rossz vízgazdálkodású, a szakszerűtlen emberi beavatkozásra érzékeny homokos talajokon. Ellensúlyozva ezzel a szélsőséges időjárási viszonyok kedvezőtlen hatásait. Mindezt úgy, hogy eközben a nagyüzemi csirketartás során melléktermékként képződő, átalakítás nélkül potenciálisan veszélyes hulladéknak minősülő trágya újra hasznosítását is szem előtt tartva. Ezáltal hozzájárulva a fenntartható mezőgazdaság és fenntartható tápanyag gazdálkodás megvalósításához. A kifejlesztett kompozit termékek különösen hatékonyak lehetnek arid és szemi-arid viszonyok között, ahol a lehullott csapadék mennyiség különösen limitált a különböző kultúrnövények termesztési időszaka alatt.

9. SUMMARY

The last few decades have brought significant changes, and as a result, enormous challenges to both the Hungarian and international crop production sectors. Therefore, the farmers have to cope with more and more stricter requirements (economic, environmental, market) which means a very serious challenge for them.

The pressure on food production caused by global population growth, the increasing qualitative and quantitative demands of the market and consumers, environmental changes, and extremities caused by climate change are further complicating the tasks of farmers.

In addition, it is a statement valid for the whole of Europe, and even globally, that the production conditions (deteriorating water management conditions, decreasing organic matter content, depleting water resources, runaway of fertilizer prices, war conflicts, etc.) are often not optimal to produce high-quality and large-quantity yields.

Inadequate, often hectic soil water management (drought, flash floods, rising air temperatures, increasing evapotranspiration) and steadily decreasing organic matter content of soils are becoming a more serious problem in the south and east part of Europe, and in our country as well. In addition, because of the pressure on food production caused by population growth, the poultry industry, and within it the production of boiler chickens, which provides adequate protein in a fast cycle, is growing exponentially nowadays.

The booming chicken industry produces extreme amounts of manure, which if untreated is considered as potentially hazardous waste. However, due to the favourable nutrient content of the manure, it can potentially be sold as a product after appropriate transformation.

Based on this, I have several objectives and goals in my thesis.

On the one hand, the promotion of agricultural waste management through the further development of the market product obtained from manure transformation (Bio-Fer product: Natur extra) and the recyclization of farming. In this context, I have developed a product with additives that effectively improve the water management of soils and increase their organic matter content. In product development, I produced composite products that contained fermented chicken manure as raw material, bentonite, and super absorbent polymers.

My goal was to develop and test prototype products that could be used effectively in the production of safe and quality food ingredients and that could be suitable for later

commercialization. Part of my work was focused on developing the appropriate mixture proportions, and another part was to test the effectiveness of the composites created.

In connection with this, I tested the effects of the composites in various experiments. I investigated the effect of the composites in soil incubation experiments (product - soil connection), also in small pot experiments, and finally in field experiments (product - soil - plant connection) between 2020 and 2022. For my tests, I used different soil types typical for our country at different water capacity levels. I used different indicator plants (tomato, cucumber) on different Hungarian soil types and water capacity levels in small pot experiments. Finally, I also set up field experiments in an apple orchard (Debrecen-Pallag).

In my experiments, I conducted complete soil, leaf, and fruit tests to study the efficacy of the composite products developed as widely as possible. I carried out my investigations at the Institute of Water and Environmental Management, the Agricultural Laboratory Centre, and the Institute of Agrochemistry and Soil Science of the University of Debrecen.

During my research, I compared the effect of the developed composite products to control and treatments containing only the raw material (fermented chicken manure).

During the soil incubation experiments, I studied the effect of the composite products on soil pH, conductivity, mineral nitrogen forms, C/N ratio, mineralization potential, net mineralization rate, and net nitrification rate.

From the experience of the experiments, it was found that the decomposition and transformation of the applied composites is a time-consuming process, which ensures a prolonged treatment effect. From the results obtained, it can be concluded that the composite treatments slightly reduce the pH of the soils due to the specific properties of the additives (water and nutrient binding). I found that the composite treatments initially slightly reduced the conductivity of the soils, but this effect is no longer detectable after four weeks. As a result, it can be concluded that the product development with the additives used does not affect the composition of the soil solution, or the amount of ions in it, significantly. It means they do not represent a competition for the uptake of nutrients by the plants.

Based on my results, it can be concluded that composite treatments reduce the leaching tendency of nitrate ions and increase the amount of mineral nitrogen forms (mainly nitrate).

The obtained results showed that the usage of composites effectively promotes mineralization processes and increases the amount of potentially mineralizable nitrogen, regardless of soil type, naturally resulting in a greater effect in the case of lower-quality soils. The composite treatments mainly increased the net mineralization rate and the net nitrification rate at lower water capacity levels.

My results showed that the effect of the composites is most significant in the application zone and at a lower moisture content (VK=40%).

From the obtained results, it can be concluded that the composite treatments resulted in significant growth of wet and dry biomass mass compared to the control for both tomato and cucumber indicator plants. Compared to the treatments receiving only chicken manure, an increase in mass was also detected but there was no significant difference between the values.

The analysis of plant pigments (chlorophyll, carotenoids) showed that the composite treatments increased the amount of plant pigments compared to the control, but slightly decreased the amount of plant pigments compared to the fermented chicken manure treatment. The composite products had the most significant effect on water use efficiency.

In the tomato experiment, the composite treatments significantly increased water use efficiency compared to the control and further, although not significantly, compared to the chicken manure treatment. Similar, although less coherent, treatment effects were obtained for the cucumber indicator crop. The small pot experiments also demonstrated that a significant composite effect can only be obtained at lower soil water capacity level. During my research, I also tested the effect of composites under field conditions. I set up my experiment at the Pallagi experimental site of the University of Debrecen in an apple orchard planted in 2011.

I tested the composite formulations in the plantation for two consecutive years. Based on the soil test results, it can be concluded that the composites significantly increased the nitrate content and influenced the content of organic carbon and organic nitrogen in the soil by the end of the first year.

Chicken manure and higher doses of composites increased soil organic carbon content by 4-9 g/kg. All treatments, except the lower doses of bentonite and super absorbent polymer significantly (from 1 g/kg to 1.8-2.8 g/kg) increased soil organic nitrogen content compared to the control and chicken manure treatments ($p < 0.05$) by the end of the second year.

Soil nitrate content increased steadily throughout the experiment, from 8-10 mg/kg to 30-38 mg/kg for all treatments, except the control, which remained at 8 mg/kg. Leaf analysis indicated that the composites effectively increased leaf nitrogen, potassium, calcium, and magnesium content, while the treatments had no significant effect on leaf phosphorus content ($p < 0.05$).

I also found that all treatments (except for the lower dose of bentonite) significantly increased the crop yield by an average of 14-63% in the examined years, depending on the composite used, compared to the control.

Regarding the individual apple weight, the bentonite treatments increased the weight of apples by 2% and 24%, respectively, compared to the chicken manure treatment. In the average of the two years, the composite treatments (except for the lower dose of the super absorbent polymer) increased the titratable acidity of the harvested fruits by 26-43% compared to the control, and by 0.5-10% compared to the chicken manure treatment.

Based on my results, the developed composites are suitable for improving and enhancing soil nutrient supply, especially on sandy soils with low nutrient supply and poor water management, which are sensitive to inappropriate human activities, thus compensating for the adverse effects of extreme weather conditions.

All this, while simultaneously considering the reuse of manure, which is a by-product of large-scale chicken farming and potentially hazardous waste without any transformation.

This will contribute to sustainable agriculture and sustainable nutrient management. The composite products developed can be particularly effective in arid and semi-arid conditions where rainfall is particularly limited during the growing season of different crops.

10. IRODALOM

1. Abbasi, M. K. – Hina, M. – Khalique A. – Khan, S. R.: 2007. Mineralization of three organic manures used as nitrogen source in a soil incubated under laboratory conditions, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38(13–14): 1691–1711, <https://doi.org/10.1080/00103620701435464>
2. Abbasi, M. K. – Khaliq, A.: 2016. Nitrogen mineralization of a loam soil supplemented with organic-inorganic amendments under laboratory incubation. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1–9. ID: 1038. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.01038>
3. Abd El-Rehirn, H. A. – Hegazy, E. S. A. – Abd El-Mohdy, H. L.: 2004. Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 93: 1360–1371. <https://doi.org/10.1002/app.20571>
4. Abd El-Wahed, M. H. – Ali, E. A.: 2013. Effect of irrigation systems, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. *Agricultural Water Management*, 120(31): 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.017>
5. Abdeshahian, P. – Lim, J. S. – Ho, W. S. – Hashim, H. – Lee, C. T.: 2016. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 60: 714–723, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>
6. Abobatta, W.: 2018. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. *Advances in Agriculture and Environmental Science*, 1(2): 59–64. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:139930470>
7. Adeyemo, A. J. – Akingbola, O. O. – Ojeniyi, S.O.: 2019. Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1): 73–80. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0273-7>
8. Adjuik, T. A. – Nokes, S. E. – Montross, M. D. – Wendroth, O.: 2022. The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: A review. *Polymers (Basel)*, 14(21): ID: 4721. <https://doi.org/10.3390%2Fpolym14214721>
9. Agegnehua, G. – Nelsona, P. N. – Bird, M. I.: 2016. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research*, 160: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.003>
10. Agnolucci M. - Avio, L. – Pepe, A. – Turrini, A. – Cristani, C. – Bonini, P. – Cirino, V. – Colosimo, F. – Ruzzi, M. – Giovannetti, M.: 2019. Bacteria Associated With a Commercial Mycorrhizal Inoculum: Community Composition and Multifunctional Activity as Assessed by Illumina Sequencing and Culture-Dependent Tools. *Frontiers in Plant Science* 9: 1–13. ID:1956 <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2018.01956>
11. Ahmed, E. M.: 2015. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advanced Research*, 6(2): 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>
12. Ahmed, S. – Fahmy, A.: 2019. Applications of natural polysaccharide polymers to overcome water scarcity on the yield and quality of tomato fruits. *Journal of*

- Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 10(4): 199–208. <https://dx.doi.org/10.21608/jssae.2019.36727>
13. Akhter, J. – Mahmood, K. – Malik, K. A. – Mardan, A. – Ahmad, M. – Iqbal, M. M.: 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil Environment*, 50(10): 463–469. <https://pse.agriculturejournals.cz/artkey/pse-200410-0006.php>
 14. Akinçi Ş. – Lösel, D. M.: 2012. Plant water-stress response mechanisms, *Water Stress*. 15–42. Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/29578>
 15. Al-Humaid, A. I.: 2005. Effects of hydrophilic polymer on the survival of bottomwood (*Conocarpus erectus*) seedlings grown under drought stress. *European Journal of Horticultural Science*, 70: 283–288.
 16. Ali, M. A. – Farag, S. G. – Sillanpää, M. – Al-Farraj, S. – El-Sayed, M. E. A.: 2023. Efficiency of using superabsorbent polymers in reducing mineral fertilizer rates applied in autumn royal vineyards. *Horticulturae*, 9(4): 1-16. ID: 451. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040451>.
 17. Alkhasha, A. – Al-Omran, A.: 2020. Evaluating the effects of biochar and SAP polymer on soil physical quality indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(8): 1123–1135. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1751193>
 18. Al-Omran, A. M. – Al-Harbi, A. R.: 1997. Improvement of sandy soils with soil conditioners, In: Wallace, A. – Terry, R. E Eds., *Handbook of Soil Conditioners: Substances That Enhance the Physical Properties of Soil*, Marcel Dekker, Inc., New York, 363–384.
 19. Al-Taey, D. K. A. – Hussain, A. J. – Kadhum, H.: 2023. Bentonite impact on soil properties and biological activity in the face of drought: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1262: 1-9. ID: 042058. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1262/4/042058>
 20. Álvarez-Alonso, C. – Clemente, R. – Bernal, M. P.: 2022. Carbon and nitrogen mineralisation in soils and nutrient efficiency of digestates from fruit and vegetable wastes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22: 4473–4486. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01049-7>
 21. Amanullah, M. M. – Sekar, S. – Muthukrishnan, P.: 2010. Prospects and potential of poultry manure. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9: 172–182. <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.172.182>
 22. Appel, T.: 1998. Non-biomass soil organic N – the substrate for N mineralization flushes following soil drying-rewetting and for organic N rendered CaCl₂ extractable upon soil drying. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10–11): 1445–1456. [10.1016/S0038-0717\(97\)00230-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00230-7)
 23. Aranyos, T. – Zulkipli, L. – Makádi, M.: 2023. Field and laboratory evaluation of the long-term effect of various organic fertilizers on sandy soil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12: 15–32. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2023.1981530.1612>
 24. Arora, N. K.: 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability* 2: 95–96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
 25. Atkinson, N. J. – Dew, T. P. – Orfila, C. – Urwin, P. E.: 2011. Influence of combined biotic and abiotic stress on nutritional quality parameters in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17): 9673–9682. <https://doi.org/10.1021/jf202081t>

26. Bai, W. – Zhang, H. – Liu, B. – Wu, Y. – Song, J.: 2010. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. *Soil use and management*, 26(3): 253–260. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00271.x>
27. Baiamonte, G. – De Pasquale, C. – Marsala, V. – Cimò, G. – Alonzo, G. – Crescimanno, G. – Conte, P.: 2015. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments. *Journal of Soils and Sediments*, 15: 816–824. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0960-y>
28. Baker, L. R. – White, P. M. – Pierzynski, G. M.: 2011. Changes in microbial properties after manure, lime, and bentonite application to a heavy metal-contaminated mine waste. *Applied Soil Ecology*, 48(1): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.02.007>
29. Bakke, S. J. – Ionita, M. – Tallaksen, L. M.: 2020. The 2018 northern European hydrological drought and its drivers in a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24: 5621–5653. <https://doi.org/10.5194/hess-24-5621-2020>
30. Bakucs, Z. – Fertő, I. – Vigh, E.: 2020. Crop productivity and climatic conditions: Evidence from Hungary. *Agriculture*, 10(9): 1–12. ID: 421. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090421>
31. Balogh, I.: 2001. A talajjavító anyagok választékbővítésére vonatkozó kutatások főbb eredményei. Habilitációs tézisek. Kézirat, Karcag. 154.
32. Bartholy, J. – Barcza, Z. – Bihari, Z. – Czira, T. – Haszpra, L. – Horányi, A. – Horváth, E. S. – Krüzselyi, I. – Lakatos, M. – Mészáros, R. – Mika, J. – Pálvölgyi, T. – Pieczka, I. – Pongrácz, R. – Práger, T. – Radics, K. – Szentimrey, T. – Szabó, P. – Szépszó, G. – Torma, CS.: 2011. Klímaváltozás. Klímaszenáriók a Kárpát-medence térségére, *Országos Meteorológiai vizsgálat*, Budapest. 145-159.
33. Barton, C. D. – Karathanasis, A. D.: 2002. Clay Minerals. In: Lal, R. -Ed. *Encyclopedia of Soil Science*, Marcel Dekker, New York, USA, 187–192.
34. Bashir, S. – Hina, M. – Iqbal, J. – Rajpar, A. H. – Mujtaba, M. A. – Alghamdi, N. A. – Wageh, S. – Ramesh, K. – Ramesh, S.: 2020. Fundamental concepts of hydrogels: synthesis, properties, and their applications. *Polymers*, 12: 1–60. ID: 2702. <https://doi.org/10.3390/polym12112702>
35. Baveye, P. C. – Schnee, L. S. – Boivin, P. – Laba, M. – Radulovich, R.: 2020. Soil organic matter research and climate change: merely restoring carbon versus restoring soil functions. *Frontiers Environmental Science*, 8:1–8. ID: 579904. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.579904>
36. Bengtsson, G. – Bengtson, P. – Månsson, K. F.: 2003. Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1): 143–154. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00248-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00248-1)
37. Benzie, F. F. – Strain, J. J.: 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of „Antioxidant Power”; The FRAP Assay. *Analytical biochemistry*, 239(1): 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
38. Bindu, M. – Olesen, J. E.: 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change*, 11(1): 151–158.
39. Bohác, P. – Delavernhe, L. – Zervas, E. – Königer, F. – Schuhmann, R. – Emmerich, K.: 2019. Cation exchange capacity of bentonite in a saline environment. *Applied Geochemistry*, 100: 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.019>.

40. Bolan, N. – Szogi, A. – Chuasavathi, T. – Panneerselvam, P.: 2010. Uses and management of poultry litter. *World's Poultry Science Journal*, 66(04): 685–686. <https://doi.org/10.1017/S0043933910000656>
41. Borah, D. – Nath, H. – Saikia, H.: 2022. Modification of bentonite clay & its applications: a review. *Reviews in Inorganic Chemistry*, 42(3): 265–282. <https://doi.org/10.1515/revic-2021-0030>
42. Boutraa, T.: 2010. Improvement of water use efficiency in irrigated agriculture: a review. *Journal of Agronomy*, 9(1): 1-8. <https://doi.org/10.3923/ja.2010.1.8>
43. Brady, N.: 1990. Soil Colloids: Their nature and practical significance. *The Nature and Properties of Soils*. 10th Ed., 177–212., Macmillan Publishing Company, New York, USA,
44. Brahma, S. – Phookan, D. – Kachari, M. – Hazarika, T. K. – Das, K.: 2010. Growth, yield and economics of broccoli under different levels of nitrogen fertigation. *Indian Journal of Horticulture*, 67(4): 279–282.
45. Buchholz, F. L. – Graham, N. B.: 1998. Modern Superabsorbent Polymer Technology. 1st Edition, WileyVCH, New York. 19-69.
46. Buchholz, F. L.: 1994. “Superabsorbent polymers: science and technology,” in Proceedings of the ACS Symposium Series 573, Buchholz, F. L. and N. A. Peppas, N. A., Eds., 27–38, American Chemical Society, Washington, DC, USA.
47. Burke, D. R. – Akay, G. – Bilsborrow, P. E.: 2010. Development of novel polymeric materials for agroprocess intensification. *Journal of Applied Polymer Science*, 118(6): 3292–3299. <https://doi.org/10.1002/app.32640>
48. Buzás I.:1983. A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 232.
49. Çakir, R. – Kanburoglu-Çebi, U. – Altintas, S. – Ozdemir, A.: 2017. Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as a spring-summer cycle crop in solar greenhouse. *Agricultural Water Management*, 180(A): 78–87. ISSN 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.023>
50. Calderón, F. J. – McCarty, G. W. – Reeves, J. B.: 2005. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biology and Fertility of Soils*, 41: 328–336. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0843-x>
51. Calderón, F. J. – McCarty, G. W. – van Kessel J. A. S. – Reeves, J. B.: 2004. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1592–1599. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1592>
52. Canali, S. – Trinchera, A. – Intrigliolo, F. – Pompili, L. – Nisini, L. – Mocali, S. – Torrisi, B.: 2004. Effect of long term addition of composts and poultry manure on soil quality of citrus orchards in Southern Italy. *Biology and Fertility of Soils*, 40: 206–210. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0759-x>.
53. Cen, Y. – Li, L. – Guo, L. – Li, C. – Jiang, G.: 2020. Organic management enhances both ecological and economic profitability of apple orchard: A case study in Shandong Peninsula. *Scientia Horticulturae*, 265: 1–7. ID: 109201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109201>.
54. Croker, J. – Poss, R. – Hortmann, C. – Bhuthorndharaj, S.: 2004. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical sandy soil. *Plant and Soil*, 267: 155–163. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4641-x>
55. Czaban, J. – Siebielec, G. – Niedźwiecki, J.: 2013. Effects of bentonite addition on sandy soil chemistry in a long-term experiment (I); Effect on organic carbon and total nitrogen. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(6): 1661–1667.

- <https://www.pjoes.com/pdf-89133-22992?filename=Effects%20of%20Bentonite.pdf>
56. Czaban, J. – Siebielec, G.: 2013. Effects of bentonite on sandy soil chemistry in a long-term plot experiment (II); Effect on pH, CEC, and Macro- and Micronutrients. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(6): 1669–1676. <https://www.pjoes.com/pdf-89134-22993?filename=Effects%20of%20Bentonite%20on.pdf>
57. Csihon, Á. – Gonda, I. – Holb, I. J.: 2021. Effect of a nanotechnology-based foliar fertiliser on the yield and fruit quality in an apple orchard. *International Journal of Horticultural Science*, 27: 29–32. <https://doi.org/10.31421/ijhs/27/2021/9809>
58. Dąbrowska, J. – Lejcuś, K.: 2012. Characteristics of selected properties of superabsorbents. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 3: 59–68.
59. Datta, R. – Holatko, J. – Latal, O. – Hammerschmiedt, T. – Elbl, J. – Pecina, V. – Kintl, A. – Balakova, L. – Radziemska, M. – Baltazar, T. – Skarpa, P. – Danish, S. – Zafar-ul-Hye, M. – Vyhnanek, T. – Martin Brtnicky M.: 2020. Bentonite-based organic amendment enriches microbial activity in agricultural soils. *Land*, 9: 1–18. ID: 258. <https://www.mdpi.com/786564>
60. Davies, J. E. D. – Jabeen, N.: 2002. The adsorption of herbicides and pesticides on clay minerals and soils. Part 1. Isoproturon. *Journal of Inclusion Phenomena. Macrocyclic Chemistry*, 43: 329–336. <https://doi.org/10.1023/A:1021272603936>
61. Demitri, C. – Scalera, F. – Madaghiele, M. – Sannino, A. – Maffezzoli, A.: 2013. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science*, 1–6. ID: 435073. <https://doi.org/10.1155/2013/435073>
62. Deshmukh, G. – Hardaha, M. K.: 2014. Effects of irrigation and fertigation scheduling under drip irrigation in papaya. *Journal of AgriSearch*, 1(4): 216–220. ISSN: 2348-8867.
63. Devin, S. R. – Prudencio, Á. S. – Mahdavi, S. M. E. – Rubio, M. – Martínez-García, P. J. – Martínez-Gómez, P.: 2023. Orchard management and incorporation of biochemical and molecular strategies for improving drought tolerance in fruit tree crops. *Plants*, 12(4): 1–20. ID: 773. <https://doi.org/10.3390/plants12040773>
64. Diacono, M. – Persiani, A. – Testani, E. – Montemurro, F. – Ciaccia, C.: 2019. Recycling agricultural wastes and by-products in organic farming: biofertilizer production, yield performance and carbon footprint analysis. *Sustainability*. 11: 1–17. ID: 3824. <https://doi.org/10.3390/su11143824>
65. Drabancz, Á.: 2020. A globális népességnövekedés mozgatórugói és a várható jövőbeli folyamatok. *Európai Tükör*. 23(4): 7–23. ISSN 1416-6151. <https://doi.org/10.32559/et.2020.4.2>
66. Droppa, M. – Erdei, S. – Horváth, G. – Kissimom, J. – Mészáros, A. – Szalai, J. – Kosáry, J.: 2003. *Növénybiokémiai és növényélettani gyakorlatok*, Budapest. p. 88.
67. Duro, J. – Lauk, C. – Kastner, T. – Erb, K. H. – Haberl, H.: 2020. Global inequalities in food consumption, cropland demand and land-use efficiency: A decomposition analysis. *Global Environmental Change*, 64: 1–11. ID: 102124. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102124>
68. Égei, M. – Deák, K. J. – Szuvandzsiev, P.: 2020. Effect of water supply and season on the productivity and carotenoid content of cherry type processing tomato. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 7(1): 47–56. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2020.7.1.47>

69. Egerszegi, S.: 1953. Homokterületeink termőképességének megjavítása „altalajtrágyázással”. *Agrokémia és Talajtan* 2: 97–107
70. El-Aziz, G. – Ibrahim, A. – Fahmy, A.: 2022. Using environmentally friendly hydrogels to alleviate the negative impact of drought on plant. *Open Journal of Applied Sciences*, 12(1): 111–133. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.121009>
71. El-Tantawy, I. M. – El-Ghamry, A. M. – Habib, A. H.: 2009. Impact of farmyard manure and manure compost tea on potato yield and soil fertility. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 34(1): 669–678. <https://doi.org/10.21608/jssae.2009.90266>
72. Famiglietti, J.: 2014. The global groundwater crisis. *Nature Climate Change*, 4: 945–948. <https://doi.org/10.1038/nclimate2425>
73. Fayek, M. – Abdel-Mohsen, M. – Laz, S. I. – El-Sayed, S. M.: 2020. Impact of Super Absorbent Polymer and bentonite as soil amendments under irrigation regimes in olive orchard. *Plant Archives*, 20(1): 723–730. e-ISSN:2581-6063. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:227316922>
74. Felipe, D. – Navroski, M. C. – Pereira, M. D. O. – Baptista, K. R. S. D. P.: 2021. Hydrogel in the seedling growth of *Eucalyptus dunnii* Maiden under different irrigation management. *Revista Ambiente & Água*, 16(1): ID: 2582. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2582>
75. Fennell, E. – Huyghe, J. M.: 2019. Chemically responsive hydrogel deformation mechanics: A review. *Molecules*, 24(19): 1–11. ID: 3521. <https://doi.org/10.3390/molecules24193521>
76. Filep, Gy. – Tóthné Biró, Á.: 1980a. Hazai talajok mineralizálható N-készletének és N-szolgáltatásának mérése és számítása. *Agrokémia és Talajtan*, 29: 229–244.
77. Filep, Gy. – Tóthné Biró, Á.: 1980b. A talaj mineralizálható N-tartalmának gyors meghatározása. *Agrokémia és Talajtan*, 29: 245–250.
78. Firouzeh, Y. – Iraj, A. – Gholam, A. A.: 2007. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 4190–4196. <https://scialert.net/abstract/?doi=pjbs.2007.4190.4196>
79. Flannery, R. L. – Busscher, W. J.: 1982. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 13(2): 103–111. <https://doi.org/10.1080/00103628209367249>
80. Gaikwad, G. S. – Vilhekar, S. C. – Mane, P. N. – Vaidya, E. R.: 2017. Impact of organic manures and hydrophilic polymer hydrogel on conservation of moisture and sunflower production under rainfed condition. *Advance Research Journal of Crop Improvement*, 8(1): 31–35. <http://www.researchjournal.co.in/online/ARJCI.htm>
81. Genç, N – Dogan, E. C.: 2015. Adsorption kinetics of the antibiotic ciprofloxacin on bentonite, activated carbon, zeolite, and pumice. *Desalination and Water Treatment*. 53(3): 785–793. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.842504>
82. Godfray, H. C. J. – Aveyard, P. – Garnett, T. – Hall, J. W. – Key, T. J. – Lorimer, J. – Jebb, S. A.: 2018. Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399): 1–8. ID: eaam 5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
83. Grabowska-Polanowska, B – Garbowski, T. – Bar-Michalczyk, D. – Kowalczyk, A.: 2021: The benefits of synthetic or natural hydrogels application in agriculture: An overview article. *Journal of Water and Land Development*, 51(10–12): 208–224. <http://dx.doi.org/10.24425/jwld.2021.139032>

84. Griffin, T. S. – Honeycutt, C. W. – He, Z.: 2002. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. *Biology and Fertility of Soils*, 36: 442–446. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0557-2>
85. Guilherme, M. R. – Aouada, F. A. – Fajardo, A. R. – Martins, A. F. – Paulino, A. T. – Davi, M. F. T. – Rubira, A. F. – Muniz, E. C.: 2015. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. *European Polymer Journal*, 72: 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017>
86. Guilherme, M. R. – Moia, T. A. – Reis, A. V. – Paulino, A. T. – Rubira, A. F. – Mattoso, L. H. – Muniz, E. C. – Tambourgi, E. B.: 2009. Synthesis and water absorption transport mechanism of a pH-sensitive polymer network structured on vinyl-functionalized pectin. *Biomacromolecules*, 10(1): 190–196. <https://doi.org/10.1021/bm801250p>
87. Győrffy, B.: 1999. A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig. III. Nemzetközi Tudományos Szeminárium, Debrecen. 63–69.
88. Hadas, A. – Portnoy, R.: 1994. Nitrogen and carbon mineralization rates of composted manures incubated in soil. *Journal of Environmental Quality*, 23(6): 1184–1189. <https://doi.org/10.2134/jeq1994.00472425002300060008x>
89. Han, Y. G. – Yang, P. L. – Luo, Y. P. – Ren, S. M. – Zhang, L. X. – Xu, L.: 2010. Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. *Environmental Earth Sciences*, 61(6): 1197–1205. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0443-4>
90. Hari, V. – Rakovec, O. – Markonis, Y. – Hanel, M. – Kumar, R.: 2020. Increased future occurrences of the exceptional 2018-2019 Central European drought under global warming. *Scientific Reports*, 10: 1–10. ID: 12207, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68872-9>
91. Harnos, Zs. – Csete, L.: (szerk.): 2008. Klímaváltozás: környezet - kockázat – társadalom. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, p. 380. ISBN: 9789639736870
92. Hatfield, J. L. – Dold, C.: 2019. Water use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1–14. ID: 103. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
93. Hepp, F.: 1989. Az aszály mérséklésének lehetőségei a szántóföldi növénytermesztésben. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár. p. 225.
94. Honeycutt, C. W. – Griffin T. S. – He, Z.: 2005. Manure nitrogen availability: dairy manure in Northeast and central U.S. soils. *Biological Agriculture and Horticulture*, 23: 199–214. [10.1080/01448765.2005.9755320](https://doi.org/10.1080/01448765.2005.9755320)
95. Hoover, D. L. – Abendroth, L. L. – Browning, D. M. – Saha, A. – Snyder, K. – Wagle, P. – Witthaus, L. – Baffaut, C. – Biederman, J. A. – Bosch, D. D. – Bracho, R. – Busch, D. – Clark, P. – Ellsworth, P. – Fay, P. A. – Flerchinger, G. – Kearney, S. – Levers, L. – Saliendra, N. – Schmer, M. – Schomberg, H. – Scott, R. L.: 2023. Indicators of water use efficiency across diverse agroecosystems and spatiotemporal scales. *Science of The Total Environment*, 864: 1–14. ID: 160992. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160992>.
96. Hornbeck, R. – Keskin, P.: 2014. The historically evolving impact of the Ogallala aquifer: agricultural adaptation to groundwater and drought. *American Economic Journal Applied Economics*, 6(1): 190–219. <http://dx.doi.org/10.1257/app.6.1.190>
97. Howell, T. A.: 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, 93: 281–289. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2001.932281x>

98. Huang, D. –Ou, B. X. – Prior, R. L.: 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6): 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
99. Hussain, Z. – Cheng, T. – Irshad, M. – Khattak, R. A. – Yao, C. – Song, D. – Mohiuddin, M.: 2022. Bentonite clay with different nitrogen sources can effectively reduce nitrate leaching from sandy soil. *PLoS ONE*. 17(12): 1–12. ID: e0278824 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278824>
100. Ionita, M. – Nagavciuc, V.: 2021. Changes in drought features at the European level over the last 120 years, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21: 1685–1701. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-21-1685-2021>
101. Ionita, M. – Nagavciuc, V.: 2020. Forecasting low flow conditions months in advance through teleconnection patterns, with a special focus on summer 2018. *Scientific Reports*, 10: 1–12. ID: 13258. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70060-8>
102. Ionita, M., – Dima, M., – Nagavciuc, V., – Scholz, P., – Lohmann, G.: 2021. Past megadroughts in central Europe were longer, more severe and less warm than modern droughts, *Communications Earth & Environment*, 2: 1–9. ID: 61. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00130-w>
103. Ionita, M., – Nagavciuc, V., – Kumar, R., – Rakovec, O.: 2020. On the curious case of the recent decade, mid-spring precipitation deficit in central Europe, *npj Climate and Atmospheric Science*, 3: 1–10. ID: 49. <http://dx.doi.org/10.1038/s41612-020-00153-8>
104. IPCC: 2014. IPCC Climate Change 2014 Synthesis Report, IPCC, Geneva, Switzerland. 8-17.
105. IPCC: 2018. Global warming of 1.5 °C An IPCC Special Report, Geneva, Switzerland. 3-27.
106. Jackson, M. L.: 1958. Soil Chemical Analysis; Prentice Hall Inc.: Englewood Cliffs, UK. p. 546.
107. Ji, B. – Zhao, C. – Wu, Y. – Han, W. – Song, J. – Bai, W.: 2022. Effects of different concentrations of super-absorbent polymers on soil structure and hydro-physical properties following continuous wetting and drying cycles. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(11): 3368–3381. ISSN 2095-3119- <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.065>
108. Johannes, M. – Knops, H. – Tilman, D.: 2000. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. *Ecology*, 81(1): 88–98. <https://doi.org/10.2307/177136>
109. Johnson, M. S. – Veltkamp, C. J.: 1985. Structure and functioning of water-storing agricultural polyacrylamides. *Journal of Science and Food Agriculture*, 36(9): 789–793. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740360905>
110. Kai, T. – Adhikari, D.: 2021. Effect of organic and chemical fertilizer application on apple nutrient content and orchard soil condition. *Agriculture*, 11(4): 1–10. ID: 340. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040340>.
111. Kalhapure, A. – Kumar, R. – Singh, V. P. – D. S. Pandey, D. S.: 2016. Hydrogels: a boon for increasing agricultural productivity in water-stressed environment. *Current Science*, 111(11): 1773–1779. <https://doi.org/10.18520/cs%2Fv111%2Fi11%2F1773-1779>
112. Káta, J. – Tállai, M. – Sándor, ZS. – Zsuposné, Oláh Á.: 2010. Effect of bentonite and zeolite on some characteristics of acidic sandy soil and on the biomass of a test plant. *Agrokémia és Talajtan* 59(1): 165–174. <https://doi.org/10.1556/Agrokem.59.2010.1.20>

113. Kátai, J. – Jakab, A. – Sándor, Zs. – Zsuposné, Oláh Á. – Tállai, M.: 2011. Bentonit és zeolit hatása egy savanyú homoktalajon. *Agrokémia és Talajtan*, 60(1): 203–218. <https://doi.org/10.1556/Agrokem.60.2011.1.15>
114. Kátai, J. – Sándor, Zs. – Jakab, A. – Tállai, M.: 2012. Effect of bentonite and zeolite on the amount of some microbiological parameters of an acidic humic sandy soil. *Analele Universitatii Din Oradea Fascicula Protectia Mediului*, 15: 109–114.
115. Kazó, B.: 1981. Homoktalajok melioratív javítása hígtrágya, barnaszén, zeolit dezaggregátumokkal. *Agrokémia és Talajtan*, 30(1-2): 199–201.
116. Kazó, B. – Karucka, A. – Kocsis I.: 1982a. Homoktalajok termékenységének fokozása zeolit tartalmú talajjavító anyag felhasználásával. *Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása*. Veszprém. 291–296.
117. Kazó B. – Karuczka A. – Kocsis I. – Varró T. – Mádi I.: 1982b. Zeolit-tartalmú talajjavító anyagok hatása a tápanyagok mozgékonyására homoktalajokon. *Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása*. Veszprém. 297–302.
118. Keivanfar, S. – Ghazvini, R. F. – Ghasemnezhad, M. – Mousavi, A. – Khaledian, M. R.: 2019. Effects of regulated deficit irrigation and su-perabsorbent polymer on fruit yield and quality of ‘Granny Smith’ apple. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(4): 383–389. Available online: <https://hrcak.srce.hr/228927> (accessed on).
119. Keshavarz, L. – Farahbakhsh, H. – Golkar, P.: 2013. Effect of hydrogel and irrigation regimes on chlorophyll content, nitrogen and some growth indices and yield of forage millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*. 3(9): 147–161. <http://jcpr.iut.ac.ir/article-1-1942-en.html>
120. Kim, D. O. – Jeong, S. W. – LEE, C. Y.: 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, 81(3): 321–326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
121. Knicker, H.: 2011. Soil organic N – An under-rated player for C sequestration in soils? *Soil Biology and Biochemistry*. 43(6): 1118–1129. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.020>
122. Kobierski, M. – Bartkowiak, A. – Lemanowicz, J. – Piekarczyk, M.: 2017. Impact of poultry manure fertilization on chemical and biochemical properties of soils. *Plant, Soil and Environment*, 63: 558–563. <http://dx.doi.org/10.17221/668/2017-PSE>
123. Kovács, G.: 2011. Az elhullott állatok és a melléktermékek kezelése. In: *Bogenfürst, F. – Horn, P. – Sütő, Z. – Kovácsné Gaál, K. – Kovács, G.: Baromfitenyésztés*. Kaposvári Egyetem; Pannon Egyetem; Nyugat-Magyarországi Egyetem. p. 399.
124. Köhler, M.: 2003. Bentonitos meddő és a riolittufa örlemény felhasználása a növény-, a zöldség-, a gyümölcs- és a szőlőtermesztésben. Tápanyaggazdálkodás. *Őstermelő gazdálkodók lapja*, február – március: 38–39.
125. Köhler, M.: 1984. A homoktalajok termőképességének növelése dúsított agyagos komposztrágyák felhasználásával. *Agrokémia és Talajtan*, 33: 214–216.
126. Kulikowski, Ł. – Kulikowski, E. – Matuszewski, A. – Kiepuski J.: 2018. Hydrogels in the Natural Environment – History and Technologies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 19(6): 205–218. <https://doi.org/10.12912/23920629/99171>

127. Kumar, P. A. – Kumar, G. A. – Vennela, K.: 2018. Role of water absorbing materials in vegetable production. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2): 3639–3644. E-ISSN: 2278-4136
128. Lacy, P. – Rutqvist, J.: 2016. Waste to wealth: The circular economy advantage. 91: 3–24. London: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9781137530707>
129. Lazányi, J.: 2003. The importance of bentonite tuff in the amelioration of sandy soils. In: Conference on Agro-economy, Rural Development and Agro-informatics at the Millennium, Debrecen 1–2 April, 2003. 4–8. Debrecen University, Centre for Agricultural Sciences. Debrecen. 379.
130. Lazányi, J.: 2005. Effects of bentonite on the water budget of sandy soil. In: *Technologii de Cultura Pentru Grau Si Porumb Simpozion International*, 7–8 iulie Oradea-Romania. 293–300. University of Oradea Publishing House.
131. Lee, J. – Choi, D. – Ok, Y. S. – Lee, S. R. – Kwon, E. E.: 2017. Enhancement of energy recovery from chicken manure by pyrolysis in carbon dioxide. *Journal of Cleaner Production*, 164: 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.217>
132. Lee, W. F. – Yang, L. G.: 2004. Superabsorbent polymeric materials. XII. Effect of montmorillonite on water absorbency for poly (sodium acrylate) and montmorillonite nanocomposite superabsorbents. *Journal of Applied Polymer Science*, 92: 3422–3429. <https://doi.org/10.1002/app.20370>
133. Lejcuś, K. – Orzeszyna, H. – Pawłowski A. – Garlikowski D.: 2008. Superabsorbent application in anti-erosion systems. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 9: 189–194.
134. Lentz, R. D. – Sojka, R. E.: 1994. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Science*, 158(4): 274–282.
135. Lentz, R. D.: 2020. Long-term water retention increases in degraded soils amended with cross-linked polyacrylamide. *Agronomy Journal*, 112: 2569–2580. <https://doi.org/10.1002/agj2.20214>
136. Li, J. – Jiang, M. – Wu, H. – Li, Y.: 2009.: Addition of modified bentonites in polymer gel formulation of 2, 4-D for its controlled release in water and soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(7): 2868–2874. <https://doi.org/10.1021/jf803744w>
137. Li, J. – Sun, X. – Li, S.: 2020. Effects of garden waste compost and bentonite on muddy coastal saline soil. *Sustainability*, 12: 1–13. ID: 3602. <https://doi.org/10.3390/su12093602>
138. Li, L. – Li, S.: 2014. Nitrogen mineralization from animal manures and its relation to organic N fractions. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(9): 2040–2048. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60769-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60769-3)
139. Lichtenthaler, H. K. – Wellbum, A. R.: 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochememical Society Transactions*, 11(5): 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
140. Loch, J.: 2000. Agrokémia (egyetemi jegyzet). Debreceni Agrártudományi Egyetem (DATE), Debrecen. 238.
141. Maitlo, A. A. – Zhang, S. – Ahmed, W. – Jangid, K. – Ali, S. – Yang, H. – Bhatti, S. M. – Duan, Y. – Xu, M.: 2022. Potential nitrogen mineralization and its availability in response to long-term fertilization in a chinese fluvo-aquic soil. *Agronomy*, 12(6): 1–15. ID: 1260. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061260>

142. Makádi, M. – Tomócsik, A. – Orosz, V. – Biró, B. – Bogdányi, Z.: 2007. Effect of a biogas-digestate and bentonite on some enzyme activities of the amended soils. *Cereal Research Communications*, 35(2): 741-744. <https://doi.org/10.1556/crc.35.2007.2.144>
143. Malik, S. – Chaudhary, K. – Malik, A. – Punia, H. – Sewhag, M. – Berkesia, N. – Nagora, M. – Kalia, S. – Malik, K. – Kumar, D. – Kumar, P. – Kamboj, E. – Ahlawat, V. – Kumar, A. – Boora, K.: 2023. Superabsorbent polymers as a soil amendment for increasing agriculture production with reducing water losses under water stress condition. *Polymers*, 15(1): ID: 161. <https://doi.org/10.3390/polym15010161>
144. Manogaran, M. D. – Shamsuddin, R. – Yusoff, M. H. M. – Lay, M. – Siyal, A. A.: 2022. A review on treatment processes of chicken manure. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2: ID: 100013, ISSN 2772-8013. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100013>.
145. Marland, G. – Garten, C. T. – Post, W. M. – West, T. O.: 2004. Studies on enhancing carbon sequestration in soils. *Energy*, 29: 1643-1650. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.066>
146. Mendiburu, F.: 2019. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R Package Version 1.3-0. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
147. Mi, J. – Gregorich, E. G. – Xu, S. – McLaughlin, N. B. – Ma, B. – Liu, J.: 2017. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region. *Field Crops Research*, 212: 107-114. ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.009>
148. Mi, J. – Gregorich, E. G. – Xu, S. – McLaughlin, N. B. – Liu, J.: 2020. Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, and millet photosynthesis and grain quality. *Scientific Reports*, 10: ID: 18282. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75350-9>
149. Montesano, F. F. – Parente, A. – Santamaria, P. – Sannino, A. – Serio, F.: 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 451-458. ISSN 2210-7843, <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>
150. Nagy P. T. – Biró, T. – Nyéki, J. – Szabó, Z.: 2013. Groundcover as a useful tool for efficient resource management and sustainable production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44(1-4): 688-695.
151. Nagy, P. T. – Nyéki, J. – Szabó, Z. – Kocsisné, G. M.: 2011. Effect of groundcover on available macronutrient content of soil and plant uptake in non-bearing pear orchard. *Acta Horticultura*. 909: 323-329.
152. Nagy, P. T.: 2009. Gyümölcsösök tápanyaggazdálkodásának időszerű kérdései: almatermésűek és csonthéjasok, Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, p. 248. Debrecen, Magyarország, ISBN: 9789639732858
153. Nagy, P. T.: 2010. Study of the potentially mineralized nitrogen content and nitrogen supply by soil incubation method in a long-term field experiment in east Hungary. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*, 41(11): 1361-1368. <https://doi.org/10.1080/00103621003759361>
154. Nagy, P.T.: 2000. Application of a dry combustion elemental analyser in soil and crop testing. *Agrokémia és Talajtan*, 49(3-4): 521-534. (in Hungarian).

155. Nagy, P.T.: 2018. Challenges - the impact of climate change on the nutritional management of Hungarian orchards. *Acta Agraria Debreceniensis*, 150: 323–334. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1727>
156. Neethu, T. M. – Dubey, P. K. – Kaswala, – A. R.: 2018. Prospects and applications of hydrogel technology in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5): 3155–3162. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.369>
157. Nnadi, F. – Brave, C.: 2011. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2: 206–211.
158. Orikiriza, L. J. B. – Agaba, H. – Tweheyo, M. – Eilu, G. – Kabasa, J. D. – Hüttermann, A.: 2009. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 37(8): 615–620. <https://doi.org/10.1002/clen.200900128>
159. Ostrowska, A. – Porebska, G.: 2015. Assessment of the C/N ratio as an indicator of the decomposability of organic matter in forest soils. *Ecological Indicator*, 49: 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.044>
160. Othman, A. – Ruslan, N.: 2020. Intercultural communication experiences among students and teachers: implication to in-service teacher professional development. *Journal for Multicultural Education*, 14(3/4): 223–238. <https://doi.org/10.1108/JME-04-2020-0024>
161. Panagos, P. – Hiederer, R. – Van Liedekerke, M. – Bampa, F.: 2013. Estimating soil organic carbon in Europe based on data collected through an European network. *Ecological Indicators*, 24: 439–450. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.020>
162. Panigrahi, P. – Sahu, N. N. – Pradhan, S.: 2011. Evaluating partial root-zone irrigation and mulching in okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under a sub-humid tropical climate. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 112(2): 169–175.
163. Papp, J.: 1997. Gyümölcsösök tápanyag-gazdálkodása. In: *Soltész, M.: 1997. Integrált gyümölcsstermesztés. 236–262. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*
164. Passam, H. C. – Karapanos, I. C. – Bebeli, P. J. – Savvas, D.: 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *Global Science Books The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1: 1–21.
165. Patra, S. K. – Poddar, R. – Brestic, M. – Acharjee, P. U. – Bhattacharya, P. – Sengupta, S. – Pal, P. – Bam, N. – Biswas, B. – Barek, V. – Ondrisik, P. – Skalicky, M. – Akbar Hossain, A.: 2022. Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. *International Journal of Polymer Science*, ID 4914836, 15 p <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>
166. Paustian, K. – Larson, E. – Kent, J. – Marx, E. – Swan, A.: 2019. Soil C Sequestration as a Biological Negative Emission Strategy. *Frontiers in Climate*, 1: ID: 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2019.00008>
167. Peng, J. – Feng, Y. – Wang, X. – Li, J. – Xu, G. – Phoenasay, S. – Luo, Q. – Han, Z. – Lu, W.: 2021. Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. *Scientific Reports*. 11(1): ID: 7485. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86858-z>

168. Pepliński, B.: 2021. External costs for agriculture from lignite extraction from the Żłoczew deposit. *Energies*, 14(9): ID: 2660. <https://doi.org/10.3390/en14092660>
169. Pereira, L. S. – Oweis, T. – Zairi, A.: 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 57(3): 175–206. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00075-6)
170. Peterson, D.: 2002. Hydrophilic polymers - effects and uses in the landscape. *Restoration and Reclamation Review*, 75: p. 16.
171. Pető, J. – Hüvely, A. – Vojnich, V. J. – Cserni, I.: 2018. Cukortartalom meghatározási lehetőségek zöldség- és gyümölcsmintákban, különös tekintettel a paradicsom előkészítésére és vizsgálatára. *Gradus*, 5(1), 87–92. ISSN 2064-8014 87: . http://gradus.kefo.hu/archive/2018-1/2018_1_AGR_00...
172. Pinke, Zs. – Decsi, B. – Kardos, M. K. – Kern, Z. – Kozma, Z. – Pásztor, L. – Ács T.: 2022. Changing patterns of soil water content and relationship with national wheat and maize production in Europe. *European Journal of Agronomy*, 140: ID: 126579, ISSN 1161-0301, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126579>
173. Pinke, Zs. – Kiss, M. – Lövei, G. L.: 2018. Developing an integrated land use planning system on reclaimed wetlands of the Hungarian Plain using economic valuation of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 30: 299–308, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.007>
174. Pittelkow, C. M. – Liang, X. – Linqvist, B. A. – van Groenigen, K. J. – Lee, J. – Lundy, M. E. – van Gestel, N. – Six, J. – Venterea, R.T. – C. van Kessel, C.: 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517: 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>
175. Qiao, D. – Liu, H. – Yu, L. – Bao, X. – Simon, G. P. – Petinakis, E. – Chen, L.: 2016. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer. *Carbohydrate Polymers*, 147: 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.010>.
176. Racskó, J. – Schrader, L. E.: 2012. Sunburn of apple fruit: Historical background, recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31(6): 455–504. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.696453>
177. Redding, M. R.: 2013. Bentonite can decrease ammonia volatilisation losses from poultry litter: laboratory studies. *Animal Production Science*, 53(10): 1115–1118. <https://doi.org/10.1071/AN12367>
178. Ren, F. – Zhang, R. – Sun, N. – Li, Y. – Xu, M. – Zhang, F. – Xu, W.: 2024. Patterns and driving factors of soil organic carbon sequestration efficiency under various manure regimes across Chinese croplands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 359: ID: 108723, ISSN 0167-8809. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108723>
179. Richa, – Kumar, V. – Singh, J. – Sharma, N.: 2020. Poultry manure and poultry waste management: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(6): 3483–3495. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.410>
180. Ritz, C. W. – Merka, W. C.: 2013. Maximizing poultry manure use through nutrient management planning. In *Bulletin* 1245: 1–6. UGA Extension-University of Georgia Cooperative Extension. https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/B%201245_3.PDF
181. Rodrigues, F. – Spagnol, C. – Pereira, A. – Martins, A. – Fajardo, A. – Rubira, A. – Muniz, E.: 2014. Superabsorbent hydrogel composites with a focus on hydrogels containing nanofibers or nanowhiskers of cellulose and chitin.

- Journal of Applied Polymer Science*, 131(2): ID: 39725.
<https://doi.org/10.1002/app.39725>
182. Rudzinski, W. E. – Dave, A. M. – Vaishnav, U. H. – Kumbar, S. G. – Kulkarni, A. R. – Aminabhavi, T. M.: 2002. Hydrogels as controlled release devices in agriculture. *Designed Monomers and Polymers*, 5(1): 39–65.
<https://doi.org/10.1163/156855502760151580>
183. Saini, A. K. – Patel, A. M. – Saini, L. H. – Malve, S. H.: 2020. Growth, phenology and yield of summer pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) as affected by varied application of water, nutrients and hydrogel. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 2(3): 248–252. Online ISSN: 2664-7133
184. Sannino, A. – Demitri, C. – Madaghiele, M.: 2009. Biodegradable cellulose-based hydrogels: Design and applications. *Materials*, 2: 353–373.
<https://doi.org/10.3390/ma2020353>
185. Sárdi K.: 2011. Tápanyag-gazdálkodás. Egyetemi jegyzet, Debreceni Egyetem; Nyugat-Magyarországi Egyetem; Pannon Egyetem. p. 2.
186. Sarifuddin, A. R. – Dewantari, Y.: 2021. The application of Hydrogel (Super Absorbent Polymer) and chicken manure fertiliser to increase pH, N-total, C-organic and soil water content in Entisol. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 782: ID: 042024,
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/782/4/042024>
187. Sayyari, M. – Ghanbari, F.: 2012. Effects of super absorbent polymer A200 on the growth, yield and some physiological responses in sweet pepper (*Capsicum annum* L.) under various irrigation regimes. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 1(1): 1–11.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108436181>
188. Schuldt, B. – Buras, A. – Arend, M. – Vitasse, Y. – Beierkuhnlein, C. – Damm, A. – Gharun, M. – Grams, T. E. E. – Hauck, M. – Hajek, P. – Hartmann, H. – Hiltbrunner, E. – Hoch, G. – Holloway-Phillips, M. – Körner, C. – Larysch, E. – Lübbe, T. – Nelson, D. B. – Rammig, A. – Rigling, A. – Rose, L. – Ruehr, N. K. – Schumann, K. – Weiser, F. – Werner, C. – Wohlgemuth, T. – Zang, C. S. – Kahmen, A.: 2020. A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests, *Basic and Applied Ecology*. 45: 86–103. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>
189. Senna, A. M. – Botaro, V. R.: 2017. Biodegradable hydrogel derived from cellulose acetate and EDTA as a reduction substrate of leaching NPK compound fertilizer and water retention in soil. *Journal of Controlled Release*, 260: 194–201.
<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.06.009>
190. Serpen, J. Y.: 2012. Comparison of sugar content in bottled 100% fruit juice versus extracted juice of fresh fruit. *Food and Nutrition Sciences*, 3(11): 1509–1513. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.311196>.
191. Shaji, H. – Chandran, V. – Mathew, L.: 2021. Chapter 13 - Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients, Editor(s): Lewu, F. B. – Volova, T. – Thomas, S. Rakhimol, K.R., *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*, Academic Press, 231–245. ISBN 9780128195550,
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>.
192. Sharifi, M. – Zebarth, B. J. – Burton, D. L. – Grant, C. A. – Cooper, J. M.: 2007. Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 71(4): 1233–1239. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0265>

193. Sharpley, A. N. – Herron, S. – Daniel, T.: 2007. Overcoming the challenges of phosphorus-based management in poultry farming. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62(6): 375–389.
194. Sinclair, T. R. – Tanner, C. B. – Bennett, J. M.: 1984. Water-use efficiency in crop production. *Bioscience*, 34(1): 36-40. <https://doi.org/10.2307/1309424>
195. Sistani, K. R. – Adeli, A. – McGowen, S. L. – Tewolde, T. – Brink, G. E.: 2008. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. *Bioresource Technology*, 99: 2603–2611. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.069>
196. Situ, Y. – Yang, Y. – Huang, C. – Liang, S. – Mao, X. – Chen X.: 2023. Effects of several superabsorbent polymers on soil exchangeable cations and crop growth. *Environmental Technology & Innovation*, 30: ID: 103126, ISSN 2352-1864. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103126>
197. Sojka, R. E. – Bjorneberg, D. L. – Entry, J.A. – Lentz, R. D. – Orts, W. J.: 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy*, 92: 75–162. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)92002-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92002-0)
198. Solanki, R. – Bisen, B. P. – Pandey, S. K.: 2021. Efficacy of super absorbent polymer and irrigation scheduling on quality attributes in acid lime. *Pharma Innovation*, 10(1): 12–15. E-ISSN Number: 2277-7695
199. Soltész M. – Szabó Z. – Nyéki J.: 2010. A gyümölcsstermelés biztonsága. „Klíma 21” Füzetek 61: 56–71.
200. Soltész, M. – Nyéki, J. – Szabó, Z.: 2008. Gyümölcsfajta-nemesítés szerepe a globális éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásban. *XIV. Növénynevelési Tudományos Napok*, Budapest, Összefoglalók: 45–45.
201. Soltész, M.: 2003. Gyümölcsminőség és befolyásoló tényezői. In: Papp, J.: 2003. Gyümölcsstermesztési alapismeretek 1., 210–216. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.
202. Sørensen, P.: 1998. Effects of storage time and straw content of cattle slurry on the mineralization of nitrogen and carbon in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 85–91. <https://doi.org/10.1007/s003740050404>
203. Sparks, D. L. – Chen, C.: 2013. The role of mineral complexation and metal redox coupling in carbon cycling and stabilization. In: Xu, J. – Wu, J. – He, Y. (eds) *Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment*. Springer, Dordrecht. 7–12. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5634-2_2
204. Spinoni, J. – Barbosa, P. – Bucchignani, E. – Cassano, J. – Cavazos, T. – Christensen, J. H. – Christensen, O. B. – Coppola, E. – Evans, J. – Geyer, B. – Giorgi, F. – Hadjinicolaou, P. – Jacob, D. – Katzfey, J. – Koenigk, T. – Laprise, R. – Lennard, C. J. – Kurnaz, M. L. – Li, D. – Llopart, M. – McCormick, N. – Naumann, G. – Nikulin, G. – Ozturk, T. – Panitz, H. J. – da Rocha, R. P. – Rockel, B. – Solman, S. A. – Syktus, J. – Tangang, F. – Teichmann, C. – Vautard, R. – Vogt, J. V. – Winger, K. – Zittis, G. – Dosio, A.: 2020. Future Global Meteorological Drought Hot Spots: A Study Based on CORDEX Data. *Journal of Climate*. 33: 3635–3661. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0084.1>
205. Stahl, K. – Kohn, I. – Blauhut, V. – Urquijo, J. – De Stefano, L. – Acácio, V. – Dias, S. – Stagge, J. H. – Tallaksen, L. M. – Kampragou, E. – Van Loon, A. F. – Barker, L. J. – Melsen, L. A. – Bifulco, C. – Musolino, D. – de Carli, A. – Massarutto, A. – Assimacopoulos, D. – Van Lanen, H. A. J.: 2016. Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based

- reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16: 801–819.
<https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016>
206. Stanford, G. – Epstein, E.: 1974. Nitrogen mineralization-water relations in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 38: 103–107.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1974.03615995003800010032x>
207. Stanford, G. – Frere, M. H. – Schwaninger, D. H.: 1973. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. *Soil Science*, 115(4): 321–323.
208. Stanford, G. – Smith, S. J.: 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36: 465–472.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x>
209. Stefanovits, P.: 1963. Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó, Budapest. 150–170.
210. Stiles, W. C. – Reid, W. S.: 1966. Orchard nutrition management; Cornell Cooperative Extension: Geneva, NY; Information Bull. p. 219.
211. Szarka, A.: 2016. Vízoldható antioxidánsok kéz a kézben: C-vitamin és Glutation. MTA doktori értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. 76-77.
212. Szeder, B. – Makádi, M. – Szegi, T. – Tomocsik, A. – Simon, B.: 2008. Biological and agronomic indicators of the impact of field-scale bentonite application. *Cereal Research Communications* 36: 911-914.
<https://www.jstor.org/stable/90002853>
213. Tállai, M.: 2011. Bentonit és Zeolit hatása savanyú homoktalajok tulajdonságaira és biológiai aktivitásának változására. DE *Doktori Disszertáció*, p. 147.
214. Tawfik, M. M. – Badr, E. A. – Talooth, A. T.: 2019. Smart farming practices to promote growth and productivity of atriplex (*Nummularia*) in saline habitats. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 3(1): 161–170.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>
215. Tian, X. – Fan, H. – Wang, J. – Ippolito, J. – Li, Y. – Feng, S. – An, M. – Zhang, F. – Wang, K.: 2019. Effect of polymer materials on soil structure and organic carbon under drip irrigation. *Geoderma*, 340: 94–103. ISSN 0016-7061,
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.038>
216. Tóth, F. A. – Magyar, T. – Tamás, J. – Nagy, P. T.: 2024. Improving the Nutrient Management of an Apple Orchard by Using Organic-Based Composites Derived from Agricultural Waste. *Horticulturae*, 10(2): ID: 172.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae10020172>
217. Tóth, F. A. – Tamás, J. – Nagy, P. T.: 2022b. Early evaluation of use of fermented chicken manure products in practice of apple nutrient management. *Acta Agraria Debreceniensis*, (1): 195–198.
<https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/8502>
218. Tóth, F. A. – Tamás, J. – Nagy, P. T.: 2022a. Effects of fermented chicken manure products on the N mineralization rate of the soil using the incubation method. *Acta Agraria Debreceniensis*, (1): 199–204.
<https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/10363>
219. Tóth, F. A. – Tamás, J. – Nagy, P. T.: 2023a. Fermentált és adalékolt baromfitrágya hatása paradicsom termeszethetőségére tenyészedeny kísérletben. *Talajvédelem Különkiadás*, Talajvédelmi Alapítvány Magyar Talajtani Társaság, 218–231. ISBN 978-615-01-9177-5

220. Tóth, F. A. – Yuksel, G. – Tamás, J. – Nagy, P. T.: 2023b. Effects of organic composite fertilizer on soil nitrogen status and mineralization. *Ecocycles*, 9: 1–9. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v9i3.329>
221. Van Lanen, H. A. J. – Laaha, G. – Kingston, D. G. – Gauster, T. – Ionita, M. – Vidal, J.-P. – Vlnas, R. – Tallaksen, L. M. – Stahl, K. – Hannaford, J. – Delus, C. – Fendekova, M. – Mediero, L. – Prudhomme, C. – Rets, E. – Romanowicz, R. J. – Gailliez, S. – Wong, W. K. – Adler, M. J. – Blauhut, V. – Caillouet, L. – Chelcea, S. – Frolova, N. – Gudmundsson, L. – Hanel, M. – Haslinger, K. – Kireeva, M. – Osuch, M. – Sauquet, E. – Stagge, J. H. – Van Loon, A. F.: 2016. Hydrology needed to manage droughts: the 2015 European case. *Hydrological Processes*, 30 (17): 3097–3104. <https://doi.org/10.1002/hyp.10838>
222. Varaprasad, K. – Raghavendra, G. M. – Jayaramudu, T. – Yallapu, M. M. – Sadiku, R.: 2017. A mini review on hydrogels classification and recent developments in miscellaneous applications. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 79: 958–971. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.096>
223. Vivek, M. S. – Chandravanshi, P. – Nataraju, S. P. – Salimath, S. – Kumar Naik, A. H.: 2020. Effect of hydrogel on chlorophyll content and chlorophyll stability index of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under rainfed condition. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3): 2211–2215. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3af.9539>
224. Wang, X. L. – Ye, J. – Perez, P. G. – Tang, D. M. – Huang, D. F.: 2013. The impact of organic farming on the soluble organic nitrogen pool in horticultural soil under open field and greenhouse conditions: a case study. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59: 237–248. <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2013.770722>.
225. Wang, X. – Fan, J. – Xing, Y. – Xu, G. – Wang, H. – Deng, J. – Wang, Y. – Zhang, F. – Li, P. – Li Z.: 2019. The effects of mulch and nitrogen fertilizer on the soil environment of crop plants. D.L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, 153: 121–173. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2018.08.003>
226. Wu, J. – Wei, Y. – Lin, J. – Lin, S.: 2003. Study on starch-graft-acrylamide/mineral powder superabsorbent composite. *Polymer*, 44(21): 6513–6520. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(03\)00728-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00728-6)
227. Wyszowska, J. – Tomkiel, M. – Borowik, A. – Baćmaga, M. – Kucharski, J.: 2021. Effect of Bentonite and Barley Straw on the Restoration of the Biological Quality of Agriculture Soil Contaminated with the Herbicide Successor T 550 SE. *Agriculture*, 11(1): p. 27. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010027>
228. Xu, C. – Nasrollahzadeh, M. – Selva, M. – Issaabadi, Z. – Luque, R.: 2019. Waste-to-wealth: biowaste valorization into valuable bio(nano)materials. *Chemical Society Reviews*, 48(18): 4791–4822. <https://doi.org/10.1039/C8CS00543E>
229. Xu, S. – Zhang, L. – McLaughlin, N. B. – Mi, J. – Chen, Q. – Liu, J.: 2014. Evaluation of synthetic and natural water absorbing soil amendments for potato production in a semi-arid region. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16: 24–34. <http://www.cigrjournal.org>
230. Yagüe, M.R. – Lobo, M.C. – García, P.: 2023. Organic fertilisation induces changes in soil nitrogen mineralisation and enzyme activities. *Plant Soil Environment*, 69: 38–43. <https://doi.org/10.17221/274/2022-PSE>.
231. Yang, L. – Han, Y. – Yang, P. – Wang, C. – Yang, S. – Kuang, S. – Yuan, H. – Xiao, C.: 2015. Effects Of Superabsorbent Polymers On Infiltration And

- Evaporation Of Soil Moisture Under Point Source Drip Irrigation. *Irrigation and Drainage*, 64: 275–282. <https://doi.org/10.1002/ird.1883>
232. Yang, L. X. – Li, S. C. – Sun, H. L. – Ye, F. F. – Liu, W. – Luo, S.: 2011. Polyacrylamide molecular formulation effects on erosion control of disturbed soil on steep rocky slopes. *Canadian Journal of Soil Science*, 91: 917–924. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99404862>
233. Yang, Y. – Wu, J. – Zhao, S. – Gao, C. – Pan, X. – Tang, D. W. S. – van der Ploeg, M.: 2021. Effects of long-term super absorbent polymer and organic manure on soil structure and organic carbon distribution in different soil layers. *Soil and Tillage Research*, 206: ID: 104781. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104781>.
234. Yazdani, F. – Allahdadi, I. – Akbari, G. A.: 2007. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max L.*) under drought stress condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(23): 4190–4196. <https://scialert.net/abstract/?doi=pjbs.2007.4190.4196>
235. Yigini, Y. – Panagos, P.: 2016. Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of The Total Environment*, Vol: 557–558, 838–850. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.085>.
236. Zayani, K. – Bousnina, H. – Mhiri, A. – Hartmann, R. – Cherif, H.: 1996. Evaporation in layered soils under different rates of clay amendment. *Agricultural Water Management*, 30(2): 143–154. ISSN 0378-3774 [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01217-6](https://doi.org/10.1016/0378-3774(95)01217-6)
237. Zhang, C. – Zhao, Z. – Li, F. – Zhang, J.: 2022. Effects of Organic and Inorganic Fertilization on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activities. *Agronomy*, 12: ID: 3125. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123125>
238. Zhang, J. – Liu, R. – Li, A. – Wang A.: 2006. Preparation, swelling behaviors and application of polyacrylamide/attapulgit superabsorbent composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 17(1): 12–19. <https://doi.org/10.1002/pat.676>
239. Zhang, L. – Li, L. – Pan, W. – Shi, Z. – Feng, X. – Gong, B. – Li, J. – Wang, L.: 2018. Enhanced growth and activities of the dominant functional microbiota of chicken manure composts in the presence of maize straw. *Frontiers in Microbiology*, 9: ID. 1131. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01131>
240. Zhang, S. – Chen, J. – Liu, L. – Zhao, X. – Lin, L.: 2016. Effects of hydrogel on growth, physiology and water use efficiency of maize under drought stress. *Agricultural Water Management*. 171: 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.011>
241. Zoghdan, M.G. – Abo El-Enien, M. M. S.: 2019. Irrigation regime and soil conditioners impact on characteristics of sandy soil and Washington navel orange trees. *Journal of Soil Sciences Agricultural Engineering*, 10(4): 233–243. <https://doi.org/10.21608/jssae.2019.36739>.

Internetes hivatkozások:

- [I1] https://unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable_development_goals.html
- [I2] <https://bio-fer.hu/bio-fer-natur-extra/>
- [I3] <https://www.cred.be/sites/default/files/PressReleaseReview2018.pdf>
- [I4] <https://fruitveb.hu/aszaly-az-eu-novenyallomanyanak-15-a-van-kritikus-allapotban/>
- [I5] [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/soil-moisture\)](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/soil-moisture)
- [I6] <https://fruitveb.hu/a-2022-evi-hazai-almaszazon-ertekelese-a-vartnal-is-gyengebb-volt-a-termes/>
- [I7] <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- [I8] <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>
- [I9] <https://axisbentonitkft.hu/>
- [I10] <https://www.stockosorb.hu/>
- [I11] <https://www.upl-ltd.com/hu/Term%C3%A9k-jellemz%C5%91k/zeba>
- [I12] <https://portal.nebih.gov.hu/-/magyarország-talajtipusai>
- [I13] <http://faostat3.fao.org>
- [I14] <https://www.weatherbase.com/>
- [I15] <https://www.agro-ferticrop.rs/en/fertilizers/yara/complex-granulated-yaramila/yaramilatm-cropcare-11-11-21>
- [I16] <https://www.genezispartner.com/products/fertilisers/nitrogen-fertilisers/genezis-petiso-can/?lang=en>

Szabadalom:

Fischer, H. M. – Schmadlak, J. – Fischer, C. M.: 2000. Apple Tree Named ‘Pinova’. United States Patent. Pub. No.: US00PP11601P. Patent Number: 11,601.

Szabványok:

- MSZ-08 0202-77: Helyszíni mintavétel mezőgazdasági célú talajvizsgálatokhoz.
- MSZ-08 0205-78: A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.
- MSZ-08-0210:1977: A talaj szerves széntartalmának meghatározása.
- MSZ-08-0458:1980: A talaj összes nitrogéntartalmának meghatározása.
- MSZ 20135:1999: A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása.
- MI-08 0468-81: Növényelemzések. Gyümölcsös ültetvények. Mintavétel, mintaelőkészítés, mintatárolás.
- MSZ EN 12147:1998: Gyümölcs- és zöldséglevék. A titrálható savasság meghatározása.

11. 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/457/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Tóth Florence Alexandra
Doktori Iskola: Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Élelmiszertudományi doktori program
MTMT azonosító: 10075980

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

- Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Effects of fermented and supplemented chicken manure on the nutrient management aspects of an apple orchard.
Agrártud. közl. 1, 117-123, 2023. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/12551>
- Tóth, F. A.**, Yuksel, G., Tamás, J., Nagy, P. T.: Effects of organic composite fertilizer on soil nitrogen status and mineralization.
Ecocycles. 9 (3), 1-9, 2023. EISSN: 2416-2140.
DOI: <http://dx.doi.org/10.19040/ecocycles.v9i3.329>
- Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Early evaluation of use of fermented chicken manure products in practice of apple nutrient management.
Agrártud. közl. 2022 (1), 195-198, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8502>
- Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Effects of fermented chicken manure products on the N mineralization rate of the soil using the incubation method.
Agrártud. közl. 2022 (1), 199-204, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10363>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

- Tóth, F. A.**, Magyar, T., Tamás, J., Nagy, P. T.: Developing soil conditioner composites for enhancing nitrogen mineralization to mitigate the negative effects of climate change in a sandy soil.
Soil Science Annual. 75, 1-13, 2024. EISSN: 2300-4975.
DOI: <http://dx.doi.org/10.37501/soilsa/189547>
IF: 1.4 (2023)





6. **Tóth, F. A.**, Magyar, T., Tamás, J., Nagy, P. T.: Improving the Nutrient Management of an Apple Orchard by Using Organic-Based Composites Derived from Agricultural Waste. *Horticulturae*. 10 (2), 1-14, 2024. EISSN: 2311-7524.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae10020172>
IF: 3.1 (2023)
7. **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Csihon, Á., Nagy, P. T.: Usage of fermented chicken manure as a biofertilizer in an apple orchard. *Nat. Res. Sustain. Develop.* 11 (2), 193-204, 2021. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v11i2.078>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

8. Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**: Fermentált és adalékolt baromfitrágya hatása almaültetvény talajának tápanyagszolgáltató képességére.
In: Talajvédelem Különszám 2023 : Talajtani kutatás és oktatás a digitális mezőgazdaság korában. Szerk.: Makádi Marianna, Tóth Gabriella, Bertóti Réka Diána, Talajvédelmi Alapítvány : Magyar Talajtani Társaság, Miskolc, 166-178, 2023. ISBN: 9786150191775
9. **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Fermentált és adalékolt baromfitrágya hatása paradicsom termeszethetőségére tenyészedény kísérletben.
In: Talajvédelem, Talajtani Kutatás és Oktatás a Digitális Mezőgazdaság korában, Talajtani Vándorgyűlés Hódmezővásárhely, Talajvédelmi Alapítvány, Magyar Talajtani Társaság, SZTE Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 218-231, 2023. ISBN: 9786150191775

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (4)

10. **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Fermentált csirketrágya alapú összetett tápanyagpótló készítmény hatása az uborka növekedésére tenyészedényes kísérletben.
In: Növény és környezet: a debreceni tartamkísérletek 40 éve. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem MÉK Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 66, 2023. ISBN: 9789634905400
11. Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**: Gyümölcsültetvények precíziós tápanyagpótlásának elméleti és gyakorlati összefüggései, különös tekintettel a klimatikus anomáliákra.
In: Növény és környezet: a debreceni tartamkísérletek 40 éve. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem MÉK Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 44, 2023. ISBN: 9789634905400
12. Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**: Fermentált és adalékolt baromfitrágya hatása almaültetvény talajának tápanyagszolgáltató képességére.
In: Talajtani Vándorgyűlés : absztraktfüzet : Szegedi Tudományegyetem - Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 2022. szeptember 1-3, Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 14-15, 2022.





13. **Tóth, F. A.**, Nagy, P. T.: Fermentált és adalékolt baromfitrágya hatása paradicsom termeszthetőségére tenyészedény kísérletben.
In: Talajtani Vándorgyűlés : absztraktfüzet : Szegedi Tudományegyetem - Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 2022. szeptember 1-3, Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 14, 2022.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

14. **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Effect of chicken manure based composite soil conditioner on cucumber growth in small pot experiment.
In: Sustainable and Innovative Solutions in Agriculture and Food Industry (SISAF'23) One Health approach. Szerk.: Veress Szilvia, Kocsisné Papp Mariett, Stündl László, Debrecen, 64, 2023. ISBN: 9789634905356
15. Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**: Study of effect of organic based composites on water and nutrient uptake of tomato in small pot experiment.
In: Sustainable and Innovative Solutions in Agriculture and Food Industry (SISAF'23) One Health approach. Szerk.: Veress Szilvia, Kocsisné Papp Mariett, Stündl László, Debrecen, 51, 2023. ISBN: 9789634905356
16. **Tóth, F. A.**, Kun, S., Kiss, N. É., Nagy, P. T.: Investigation of the effect of a complex substitution soil therapy preparation based on poultry manure in a soil incubation experiment.
In: Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben: Előadások kivonatai és programfüzet. Szerk.: Lukács Gábor, Kormos Éva, Szent István Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 133, 2020. ISBN: 9789632699417

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

17. Magyar, T., Werle Vogel, F., **Tóth, F. A.**, Nagy, A., Tamás, J., Nagy, P. T.: Characterization of the biodegradation of synthetic and organic wastewater in an anaerobic tank reactor using microalgae.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 12 (2), 166-175, 2021. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2021.00217>
18. Gorliczay, E., Szöllösi, N., Kiss, N. É., **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Nagy, P. T.: Examination of the effect of pelleted poultry manure products on a sunflower test plant in a laboratory model experiment.
Agrártud. közl. 1 (1), 83-88, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8477>





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

19. Nagy, A., Kiss, N. É., Gorliczay, E., **Tóth, F. A.**, Szöllősi, N., Tamás, J.: Comparison of the effects of manure-based product and ammonium nitrate on maize (*Zea mays* L.).
Nat. Res. Sustain. Develop. 12 (1), 73-86, 2022. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v12i1.091>
20. Gorliczay, E., Boczonádi, I., Kiss, N. É., **Tóth, F. A.**, Pabar, S., Biró, B., Kovács, R. L., Tamás, J.: Microbiological Effectivity Evaluation of New Poultry Farming Organic Waste Recycling.
Agriculture. 11 (7), 1-21, 2021. EISSN: 2077-0472.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11070683>
IF: 3.408
21. Werle Vogel, F., Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Magyar, T.: Experimental investigation of biodegradation of synthetic wastewater in an anaerobic tank reactor using microalgae.
Nat. Res. Sustain. Develop. 10 (2), 210-222, 2020. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v10i2.056>
22. Nagy, P. T., Magyar, T., Gorliczay, E., Berta, K., **Tóth, F. A.**, Tamás, J.: Evaluation of Parameters in an Aerob Industrial Fermentation System.
Nat. Res. Sustain. Develop. 9 (2), 221-232, 2019. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v9i2.038>

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

23. Werle Vogel, F., Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**, Tamás, J., Magyar, T.: Biodegradation assessment of agricultural wastewater in an anaerobic tank reactor using microalgae.
In: International Symposium on Environment, Health and Safety (ISEHS) 2021: Book of Abstracts, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 9, 2021.
24. Damak, M., Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**, Magyar, T.: Statistical evaluation of composting processes in an automated aerobic fermentation system.
In: International Symposium on Environment, Health and Safety (ISEHS) 2021: Book of Abstracts, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 11, 2021.





25. Kiss, N. É., Nagy, P. T., **Tóth, F. A.**, Gorliczay, E., Madar, L. A., Kun, S., Tamás, J.: Improving the water management properties of different soil type.
In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : előadások kivonatai, Szent István Egyetem, Keszthely, 54, 2020.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 7,908

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
4,5**

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, 2024.08.30.



12. NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2024.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy TÓTH FLORENCE ALEXANDRA doktorjelölt 2020-2024 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányítással végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2024.

.....
a témavezető aláírása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Témavezetőmnek, Dr. Nagy Péter Tamás egyetemi docens Úrnak, aki kiemelkedő szakmai tudásával és erőt adó támogatásával segítette munkámat és dolgozatom elkészítését.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Tamás János Intézetvezető Úrnak, a kísérleti háttér biztosításáért és a kutatás során nyújtott támogatásáért.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. Blaskó Lajos és Dr. Bozán Csaba bírálóknak, akik vállalták az opponensi feladatokat, nagyban segítve ezzel munkámat.

Köszönöm Dr. Magyar Tamás egyetemi adjunktusnak a munkám során nyújtott szakmai segítségét.

Köszönöm Dr. Kiss Nikolett Éva, Dr. Gorliczay Edit, Dr. Szöllősi Nikolett egyetemi adjunktusoknak szakmai tanácsaikat és biztató szavaikat.

Köszönöm Dr. Szabó Andrea egyetemi tanársegédnek munkám során nyújtott segítségét, gyakorlati tanácsait.

Köszönettel tartozom Madar Lili Adrienn laboránsnak és Kun Sándor tanszéki mérnöknek, akik a laboratóriumi és szabadföldi vizsgálataim előkészítésében és elvégzésében fáradhatatlanul segítettek.

Hálás vagyok és köszönettel tartozom a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet valamennyi volt és jelenlegi munkatársának, akik támogattak munkájukkal a kutatómunkám során.

Köszönetemet szeretném kifejezni, a Debreceni Egyetem Agrokémiai és Talajtani Intézetének és az Agrárműszerközpontjának a mérések elvégzésében nyújtott segítségért valamint az Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepének, hogy hozzájárultak ahhoz, hogy a kutatásomat a területükön végezzem el.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm családomnak, gyermekeimnek a támogatását és folyamatos megértését, biztatását.

Kutatásaimban szerepet játszott a GINOP – 2.2.1 – K+F VERSENYKÉPESSÉGI ÉS KIVÁLÓSÁGI EGYÜTTMŰKÖDÉS „Többcélú organikus biofermentum termékcsalád kidolgozása és piaci bevezetése” (PROJEKT AZONOSÍTÓ SZÁMA: GINOP-2.2.1-15-2017-00043) pályázat, amely infrastruktúrális lehetőséget teremtett a vizsgálatokhoz.

MELLÉKLETEK



NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT

LABORATÓRIUMI KÖZPONT

Iktatószám: KÖZ-11996-1/2018

Vizsgált minták iktatószáma: 6535-6537/2018;

Tárgy: Kazár VII Bentonit por
közegészségügyi szempontú értékelése

Témafelelős: Bufa-Dórr Zsuzsanna

AXIS Bentonit Kft.

részére

3252 Erdőkövesd
Külterület 094/3.

ÉRTÉKELÉS, SZAKVÉLEMÉNY

az Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por minősítéséről

Magyarországon a természetes ásványvizek, gyógyvizek és gyógyiszapok kitermelésére, elismerésére vonatkozó előírásokat a 74/1999 (XII.25) EüM. rendelet (továbbiakban: Rendelet) rögzíti. Természetes gyógyiszap és természetes ásványi anyagok felhasználásával készült gyógyiszap gyógyászati célra, gyógyhatásra utalással a Budapest Főváros Kormányhivatala engedélyével használható fel. A Rendelet 3. melléklete alapján:

Természetes iszap (láp föld, tőzeg stb.) az a vízi környezetben természetes úton keletkezett ásványi és növényi eredetű anyag, amely előfordulási formájában vagy őrölt állapotban jellemzően iszapszerű és jelentős vízmegkötő képességgel rendelkezik.

Természetes gyógyiszap (a továbbiakban: gyógyiszap) az a természetes iszap, amelynek összetétele ismert, az emberi egészségre ártalmas anyagot nem tartalmaz, kitermelésének körülményei a közegészségügyi előírásoknak megfelelnek, és eredeti összetételének minden megváltoztatása nélkül az adott felhasználási formában tudományosan elismert gyógyhatással rendelkezik.



NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT

LABORATÓRIUMI KÖZPONT

A külső felhasználásra szánt iszapok esetén, az iszappal érintkező építési/szerkezeti anyagok (pl. tartályokat) és az iszapkezelési technológia megválasztásakor olyan anyagokat és eljárást kell alkalmazni, amelyet az illetékes Megyei Kormányhivatalok engedélyeztek illetve a beoldódó anyagok és az iszapkezelés révén az iszap jellemző összetevőit nem károsítják.

A jelen szakvélemény a Nemzeti Népegészségügyi Központ Környezetegészségügyi Vizsgáló Laboratóriuma által vett és feldolgozott minták kémiai vizsgálati eredményeinek értékelésén alapul.

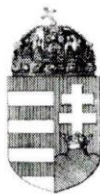
Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por

Fontosabb kémiai paraméterek, biológiailag aktív komponensek

A pormintákból készített 1:10 hígítású desztillált vizes kivonatok vizsgálati eredményeinek alapján az iszap főbb vízkémiai paramétereinek, valamint biológiailag aktív komponenseinek vizsgálati eredményeit, valamint a 3 párhuzamos pontminta átlagértékét az 1. sz. táblázat tartalmazza.

1.sz. táblázat

Paraméter	Mértékegység	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat 6535/18	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat 6536/18	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat 6537/18	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat Átlag
Hidrogénkarbonát	mg/l	18,3	18,3	18,3	18,3
Összes ásványi anyag	mg/l	780	770	770	773
Szulfát	mg/l	<5	<5	<5	<5
Klorid	mg/l	3,2	4,9	4,4	4,2
Ammónium	mg/l	0,18	0,19	0,14	0,17
Nitrát	mg/l	9,4	9,3	2,5	7,1
Nitrit	mg/l	0,72	0,6	0,21	0,51
Foszfát	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Nátrium	mg/l	110	110	73	98
Kálium	mg/l	60	62	120	81
Kalcium	mg/l	180	180	120	160
Magnézium	mg/l	180	190	130	167
Jodid	mg/l	<0,03	<0,030	<0,030	<0,030
Bromid	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metakovasav	mg/l	54	51	49	51
Lítium	µg/l	240	250	120	203



NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT

LABORATÓRIUMI KÖZPONT

Az összes oldott iontartalomra utaló összes ásványi anyag tartalom átlagértéke a három minta alapján közepes (773 mg/l). Az iszap ammónium tartalma a három minta átlaga alapján alacsony. Az iszapkivonatokban nitrit (0,51 mg/l) és nitrát (7,1 mg/l) volt kimutatható.

Az összes szerves anyag tartalomra mutató TOC mennyisége közepes, a számolt átlag 27,6 mg/l volt. Az iszap kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos jellegű.

Egyéb mikroszennyezők

A vizsgált vízmintában lévő különböző eredetű szerves mikroszennyezők koncentrációját a 2. sz. táblázat tartalmazza.

2.sz. táblázat

Paraméter	Mértékegység	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat 6535/18	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat 6536/18	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat 6537/18	Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por 1:10 desztillált vizes kivonat Átlag
Alumínium	mg/l	1400000	1300000	1300000	1330000
Bór	mg/kg sz.a.	<100	<100	<100	<100
Króm	mg/kg sz.a.	<7,5	<7,5	<7,5	<7,5
Nikkel	mg/kg sz.a.	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Réz	mg/kg sz.a.	7,9	8,1	8,9	8,3
Cink	mg/kg sz.a.	72	75	91	79,3
Arzén	mg/kg sz.a.	2,9	3,1	4,3	3,4
Szelén	mg/kg sz.a.	1,5	1,6	1,8	1,6
Kadmium	mg/kg sz.a.	0,15	0,17	0,17	0,2
Antimon	mg/kg sz.a.	1,0	1,1	0,94	1,0
Bárium	mg/kg sz.a.	400	400	420	406,7
Ólom	mg/kg sz.a.	34	35	26	31,7

Az iszapokból kioldódó szerves, ill. toxikus elemek közül 12 komponens vizsgálatára került sor, melyek közül szárazanyag tartalom alapján számítva 11 paraméter mennyisége nem kifogásolt a 6/2009 (IV.14.) KvVM-EüM-FVM rendelet földtani közegekre vonatkozó határértékei alapján, a szelén tartalom meghaladja az 1 mg/kg szárazanyagtartalom értékét. Az iszapból kivonható extrahálható szerves anyag mennyisége (EPH) méréshatár alatti, BTEX, PAH és peszticid vegyületek nem voltak kimutathatók.



NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT

LABORATÓRIUMI KÖZPONT

Az iszap közegészségügyi szempontú értékelése

A vizsgált minták eredményei alapján, az Erdőkövesd Kazár VII Bentonit porból készített kivonatok minősége közegészségügyi szempontból nem kifogásolt.

Az Erdőkövesd Kazár VII Bentonit por felhasználása gyógyiszap előállításához külsőleg történő felhasználás esetén közegészségügyi szempontból támogatható az alábbi feltételekkel:

1) A kitermelés, szállítás és feldolgozás nem eredményezheti a nyers természetes iszap minőségromlását, ezért a kitermelt nyers iszapot mikrobiológiai szempontból akkreditált labor által rendszeresen ellenőrizni kell a következő paraméterekre: fekál coliform, *E. coli*, fekál *Streptococcus*, *Salmonella sp.*, parazita bélféregpete.

2) Kifogásolt mikrobiológiai eredmények esetén az adott gyártmányt (sarzsot) megfelelő hőmérsékleten, megfelelő ideig végzett hőkezelés után, majd megfelelő minőségű kontroll minta esetén lehet emberi felhasználásra csomagolni, illetve alkalmazni.

3) A felhasználásra szánt késztermékeket mikrobiológiai szempontból sarzsónként akkreditált mintavételen alapuló akkreditált laborvizsgálatokkal ellenőrizni kell. A késztermékeknek minden esetben meg kell felelnie a tiszta talajhigiénés kategória következő követelményeinek:

fekál coliform <10 db/g (*E. coli* nem lehet jelen)

fekál *Streptococcus* <10 db/g

Salmonella sp. negatív/2x10 g minta

parazita bélféregpete negatív/100 g minta

4) Az iszap áztatásához kizárólag érvényes természetes ásványvíz vagy gyógyvíz minősítéssel rendelkező víz használható fel.

5) A felhasznált gyógyvíz minőségellenőrzésére a 74/1999 (XII.25.) EüM. Rendeletben rögzített előírásokat kell betartani, továbbá a mikrobiológiai paraméterekre a vizsgálatokat kéthavonta el kell végezni. Az iszap áztatásához felhasznált gyógyvíz nem tartalmazhat *E. coli*-t, *Enterococcus*, *Pseudomonas aeruginosa* coliform baktériumokat 250 ml vízmintában, valamint szulfitredukáló anaerob (*Clostridiumok*) baktériumokat 50 ml vízmintában.



NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT

LABORATÓRIUMI KÖZPONT

6) A gyártósor, az iszappal/gyógyvízzel érintkező felületek, szerkezeti anyagok tisztítására és fertőtlenítésére kizárólag engedélyezett vegyszerek használhatók. A gyógyvíz, illetve az iszap kezelésére fertőtlenítőszer és egyéb vegyszer használata nem megengedett.

A tárgyi ügyben szakvéleményünket a természetes gyógytényezőkre vonatkozó, 74/1999. (XII.25.) EüM. Rendelet alapján adjuk meg. Szakvéleményünk kizárólag közegészségügyi vonatkozású és nem jelent a tárgyi kútvíz egyéb (pl. gazdasági, jogi) szempontból történő minősítését, valamint a gyógyhatás igazolását. A gyógyhatás bizonyítása kapcsán a 74/1999. (XII.25.) EüM. Rendelet 19.§ előírásai a mérvadóak.

Szakvéleményünk alapján a gyógytényező megnevezés engedélyezését – a 74/1999. (XII.25.) EüM. Rendelet alapján – Budapest Főváros Kormányhivatalától kell kérniük. Szakvéleményünk felülvizsgálat nélkül a kiadástól számított egy évig érvényes.

A szakvéleményt kizárólag teljes terjedelmében szabad felhasználni, illetve lemásolni!

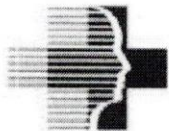
2019. január 4.

Dr. Szabó Zoltán
laboratóriumvezető
szakmai ellenőrzés

Dr. Vargha Márta
szakmai ellenőrzés

Bufa-Dörr Zsuzsanna
témafelelős





ORSZÁGOS KÖZEGÉSZSÉGÜGYI INTÉZET
KÖZEGÉSZSÉGÜGYI IGAZGATÓSÁG
KÖRNYEZET- ÉS TELEPÜLÉSEGÉSZSÉGÜGYI FŐOSZTÁLY

Talajhigiénés osztály

1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6., 1437 Telefon: +36 (1) 476-1132

E-mail: szabo.zoltan@oki.antsz.hu

Budapest, 2018. december 17.

Hivatkozásuk: KÖZ-TAL-11996-2/2018

Ügyintéző: Dr. Szabó Zoltán

SZAKVÉLEMÉNY

Minták származása: AXIS Bentonit Kft. **A minta iktatószáma:**
3252 Erdőkövesd, Külterület 094/3. hrsz. 6535/18 - 6537/18

Minták jele:

6535/18	Kazár VII bentonit por/ I. sz. átlagminta
6536/18	Kazár VII bentonit por/ II. sz. átlagminta
6537/18	Kazár VII bentonit por/ III. sz. átlagminta

Minták jellege: Az AXIS Bentonit Kft. (3252 Erdőkövesd, Külterület 094/3. hrsz.) által gyártott KAZÁR VII bentonit por.

A fertőzőképességi vizsgálati eredmények alapján az AXIS Bentonit Kft. (3252 Erdőkövesd, Külterület 094/3. hrsz.) által gyártott KAZÁR VII bentonit porból származó mindhárom átlagminta kielégíti a forgalombahozatal 36/2006. (V.18.) FVM rendelet szerinti talajhigiénés mikrobiológiai követelményeit.



QL
Dr. Szabó Zoltán
osztályvezető