

SZAKDOLGOZAT

Bór Dávid

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Vidékfejlesztés és Fenntartható Gazdaság Intézet

Vidékfejlesztési agrármérnöki alapképzési szak

**BIOLÓGIAI TÁPANYAGUTÁNPÓTLÁS A DRÓNOK
SEGÍTSÉGÉVEL KUKORICA KULTÚRÁBAN**

Belső konzulens: Péli László

**Intézete/tanszéke: VFGL, Vidék-és
Területfejlesztési Tanszék**

Készítette: Bór Dávid

Gödöllő

2025

Tartalom

1. Bevezetés	2
2.Szakirodalmi áttekintés	5
2.1 A modern biológiai tápanyagok kialakulása	5
2.2 Használatuk elterjedése és fejlődési trendjei	5
2.3 Nemzetközi adatok és piaci elemzések	6
2.4 Növényi tápelemek és szükségletük	6
2.5 A tőzeg, huminsavak és fulvosavak szerepe a talajban és a növények fejlődésében.....	10
2.6 Növényi stresszhatás megelőzése biológiai tápanyaggal	11
2.7 Hagyományos npk és egyéb mikroelemű tápanyag igények kukorica esetében	13
2.8 A dróntechnológia bemutatása és szerepe a modern mezőgazdaságban és az iparban ..	14
2.9 A Monitoring Drónok Alkalmazási Területei	16
2.10 Permetező Drónok használata és a releváns jogi szabályozás.....	17
2.10.1 Jogszabályi háttér (kötelező a mezőgazdasági drónnal való permetezéshez).....	18
2.10.2 Egyéb releváns feltételek	18
2.10.3 A dróntechnológiával történő permetezés előnyei a szántóföldi géphez viszonyít	19
3. A kutatás célja és a kutatási kérdések.....	21
4 Alkalmazott módszerek	23
4.1 Kutatás típusa és módszertani megközelítés	23
4.2 <i>Vizsgálati terület és kísérleti körülmények</i>	24
4.3 <i>Alkalmazott biológiai tápanyag</i>	25
4.4 <i>Adatgyűjtés és mérési paraméterek</i>	26
4.4.1 Terméshozam mérése	26
4.4.2 Nedvességtartalom vizsgálat.....	26
4.4.3 Talajmintavétel és elemzés.....	26
4.5 <i>Alkalmazott statisztikai módszerek</i>	27
4.6 <i>Vizualizációk és térképes elemzés</i>	27
4.6.1 Műszerek és szoftverek.....	27

4.7 Adatfeldolgozás és eredmények értékelése	28
4.7.1 Statisztikai elemzés	28
4.7.2 Eredmények prezentálása.....	28
4.8 Jogszabályi keretek és javaslatok	28
4.8.1 Jogszabályi elemzés	28
4.8.2 Javaslatok.....	28
5. Eredmények és értékelésük	29
5.1 „Nyiresi” kukorica lombtrágyakezelés	29
5.1.1 Mepar adatok	29
5.2 Talajtani adatok:.....	30
5.2.1 Foszfor, kálium és ph-érték eloszlás:	30
5.2.2 Talking field alaptérkép:	31
5.3 Kutatási terület vizsgálata gazdálkodási és permetezési napló alapján	32
5.3.1 Mútrágya Kijuttatás (Egységesen (nem differenciáltan))	32
5.3.2 Talaj-munkaműveletek	33
5.4.3 Vetés, vetéstérkép.....	34
5.4.4 Növényvédelem és kijuttatás	36
5.4.5 Betakarítás.....	37
5.5 Kijuttatás ideje módja, műszaki leírása	37
5.6 Eredmények értékelése	38

5.6.1 Növénymagasság és levélzöld-szint, ndvi dróntechnológiával történő felvétele, elemzése	39
5.6.3 Gazdasági és környezeti értékelés	41
5.7 Összefoglaló értékelés	41
6. Következtetések és javaslatok	42
7. Összefoglalás	45
Köszönetnyilvánítás	48
Ábrajegyzék	49
Irodalomjegyzék	50

1. Bevezetés

Az 1950-es évektől világszerte jelentős változások történtek a növénytermesztésben, mind növényvédelmi és talajművelési, mind agrártechnológiai szempontból.

Az agrárinnováció, beleértve a növényvédelmi és talajművelési technológiákat, kulcsfontosságú szerepet játszik a hatékonyabb és fenntarthatóbb mezőgazdasági termelés elérésében. (Antal és Jolánkai, 2005).

A „Zöld Gazdaság egy egyre növekvő fontossággal bíró fogalom az Európai Unióban. Ezen kívül a 2030-tól hatályba lépő „Green Deal-t”, (vagyis az Európai Zöld Megállapodás) alapját képezi, amely a mezőgazdaságban 50 %-os vegyszer, 20 %-os műtrágyafelhasználás csökkentést, valamint a hektáronkénti szén-dioxid kibocsájtás csökkentését írja elő. Ezeknek a szabályozásoknak való megfelelés támogatására, az Európai Unió 2024-2027-es időszakra Közös Agrár Politikai célokat határozott meg, amelyben a mezőgazdasági vállalkozások, cégek technológiai fejlődését, átállását segítik. Az Európai Unió közös agrárpolitikájának (KAP) egyik alapvető célja, hogy támogassa az agrártermelőket és növelje a mezőgazdaság termelékenységét, ezzel biztosítva a fogyasztók számára a folyamatos és megfizethető élelmiszer-ellátást. Emellett a KAP törekszik arra is, hogy a gazdálkodók számára tisztességes megélhetést nyújtson, elősegítse az éghajlatváltozás elleni küzdelmet, támogassa a fenntartható erőforrás-gazdálkodást, valamint hozzájáruljon a vidéki területek gazdaságának és életképességének megőrzéséhez az új munkahelyek megteremtésével a mezőgazdasági és élelmiszeripari szektorban (Európai Bizottság, 2021d).

Az utóbbi időszakban egyre több magyarországi mezőgazdasággal foglalkozó cégnél fogalmazódott meg a biológiai növényvédelem, tápanyag utánpótlás és termesztés technológia használata. A műtrágya nélküli technológiának több tényezője is lehet, lombtrágyák és talaj kondicionálók, valamint baktérium trágyák, megelőzőképpen való használata a betegségek ellen, magas egészségügyi szint elérése a növénynél, termés optimalizálás és maximalizálás, bel tartalmi és ezáltal minőségi termés javulás.

A biológiai tápanyagok, különösen a huminsav-, fulvosav- és aminosav-alapú készítmények megjelenése új irányt nyitott a növénytermesztésben. Ezek az anyagok nemcsak a növényi tápanyag-felvételt segítik elő, hanem javítják a talajéletet, elősegítik a stressztűrést, és mérséklik a környezeti terhelést is (Rose et al., 2014).

A biostimulánsok alkalmazása így a fenntartható mezőgazdaság egyik kulcseleme lett, különösen a modern precíziós technológiákkal, például a drónokkal, kombinálva.

A huminsavak szintén nélkülözhetetlen, de nem kellően kutatottelemei a növényeknek, ugyanúgy, mint az nitrogén, foszfor, és a kálium. Jelenlegi tápanyag utánpótlásunkat, mind lombtrágya mind műtrágya formában a fent említett 3 makró elemre építjük, ezáltal a termékek bel tartalmának legjavát a nitrogén, foszfor és a kálium teszi ki.

A dróntechnológia az elmúlt néhány évben robbanásszerű fejlődésen ment keresztül. A precíziós permetezés, a tápanyag-utánpótlás és a növényállapot-felmérés új szintre emelkedett, lehetővé téve a pontosabb, célzott beavatkozásokat. A légi járművek alkalmazása nemcsak hatékonysági előnyökkel jár, hanem a környezetkímélő gazdálkodást is elősegíti (DJI Agriculture Report, 2024).

A termesztés sikerességét azonban nemcsak a drón technológia, biostimulánsok, időjárás és a talajadottságok befolyásolják, hanem az alkalmazott gazdálkodási technológia is. Ezért különösen időszerű olyan vizsgálatokat végezni, amelyek a biológiai tápanyagok dróntechnológiával történő kijuttatásának hatékonyságát növelhetik.

Ökonómiai növényeink közül a kukorica (*Zea mays* L.), prioritást tölt be a Föld lakosságának élelmiszer-ellátásában. Hazánkban évek óta a legnagyobb területen termesztett növényünk, 2022-ben összesen 983 ezer hektáron termesztették (KSH, 2022).

A jelenlegi szakdolgozat célja, hogy bemutassa és értékelje a biológiai tápanyagok dróntechnológiával történő kijuttatásának lehetőségeit a kukoricatermesztésben, különös tekintettel a technológiai, agronómiai és környezeti szempontokra támaszkodva. A dróntechnológiával történő biológiai, huminsavas tápanyagok alkalmazása napjaink egyik leginnovatívabb irányát képviselheti a precíziós mezőgazdaságban. A témaválasztást személyes szakmai tapasztalataim is indokolták, mivel a saját cégemben szintén drónos kijuttatással és huminsavas készítmények forgalmazásával és kutatásával foglalkozunk. E vállalati háttér lehetőséget biztosított arra, hogy valós üzemi körülmények között vizsgáljam a technológia hatékonyságát és gyakorlati alkalmazhatóságát.

A kutatás célja és annak tudományos értékelése, hogy a huminsavas és fulvosavas biostimulánsok dróntechnológiával történő kijuttatása miként befolyásolja a kukorica fejlődését, hozamát és stressztűrését. A jelenlegi aszályos és változó csapadékmentes időjárási

viszonyokban a kukorica, mint hazánk egyik legnagyobb hektárszámban termesztett növényét viselték meg legjobban a fent említett tényezők, amely jelentős terméseszkkenést és a vetésforgóból való lassú kiszorulását eredményezi. Továbbá be szeretném bizonyítani azt, hogy egy kis odafigyeléssel és a megfelelő technológia használatával Magyarország egyes részein, adott esetben Somogy vármegyében továbbra is lehet sikeres és gazdaságos a kukorica termesztése. A téma választása így nemcsak szakmai érdeklődésemből, hanem a fenntartható, környezetkímélő és precíziós mezőgazdaság fejlesztése iránti elkötelezettségemből is fakad.

2.Szakirodalmi áttekintés

2.1 A modern biológiai tápanyagok kialakulása

A biológiai tápanyagok megjelenése a 20. század végére tehető, amikor a talajromlás, az intenzív műtrágyázás és a termőföldek kémiai terhelése miatt a kutatók új, természetesebb megoldásokat kerestek a növénytermesztés fenntarthatóbbá tételére. A huminsavak és fulvosavak, melyek természetes módon is jelen vannak a talajban, fokozatosan kerültek a tudományos figyelem középpontjába. Ezek a nagy molekulájú szerves anyagok képesek javítani a talaj szerkezetét, fokozni a tápanyagok felvehetőségét és stabilizálni a mikrobiológiai egyensúlyt (Rose et al., 2014).

A korai kutatások már a 2000-es évek elején kimutatták, hogy a huminsavak elősegítik a növényi gyökérfejlődést és a fotoszintézist. Azóta több ezer kísérlet bizonyította, hogy a biostimulánsok alkalmazása nemcsak a hozamot, hanem a növények stressztűrését is növeli, különösen aszályos időszakokban (Martins et al., 2024).

A Fulvosavak különösen hatékonyak a tápanyagok sejtszintű transzportjában. Mivel molekuláik kisebbek, mint a huminsavaké, könnyebben jutnak be a növényi szövetekbe. A modern biostimuláns termékek nagy része ezért kombinált – huminsav és fulvosav együttesen vannak jelen bennük.

2.2 Használatuk elterjedése és fejlődési trendjei

Az utóbbi években a biostimulánsok alkalmazása globális méreteket öltött. A 2023–2025 közötti piaci elemzések szerint a biostimulánsok világpiaca meghaladta a 4 milliárd USD-t, és várhatóan 2030-ra akár 7–8 milliárd USD-ra is nőhet (Fortune Business Insights, 2024; GMInsights, 2025).

A növekedés fő mozgatórugói:

- a környezetkímélő mezőgazdasági gyakorlatok terjedése,
- az Európai Unió „Közös Agrár Politikai” stratégiája,
- a kémiai műtrágyák árának növekedése és felhasználásuk korlátozása,
- valamint a precíziós és regeneratív gazdálkodási technológiai fejlődése.

A biológiai tápanyagok használata ma már nemcsak a biogazdálkodók körében jellemző, hanem a konvencionális termelők is egyre inkább beépítik a tápanyag-gazdálkodási stratégiájukba.

A biostimulánsokat gyakran kombinálják mikroelemekkel, aminosavakkal és algakivonatokkal, hogy fokozzák a hatékonyságukat (IMARC, 2025).

2.3 Nemzetközi adatok és piaci elemzések

Az EU 2019/1009-es rendelete jelentős mérföldkő volt, mivel először szabályozta egységesen a biostimulánsokat mint külön kategóriát. Ez a lépés növelte a termékek iránti bizalmat és elősegítette a nemzetközi forgalmat (Eur-Lex, 2020).

Európa jelenleg a világ legnagyobb biostimuláns-piaca, részesedése meghaladja a 35%-ot (GMInsights, 2024). A legnagyobb felhasználók Olaszország, Spanyolország, Franciaország és Lengyelország, ahol a mezőgazdasági területek több mint harmadán már valamilyen biológiai tápanyag alkalmazásra került.

Világpiaci szinten, különösen Latin-Amerikában és Délkelet-Ázsiában, a növekedés még dinamikusabb. Brazíliában például a biostimulánsok forgalma 2023-ban több mint 20%-kal nőtt, részben a szójatermesztés és a kukorica intenzív technológiai miatt (Reuters, 2024).

A nemzetközi kutatások azt is kimutatták, hogy a biológiai tápanyagok alkalmazása akár 10–15%-os terméshozam-növekedést is eredményezhet kukoricában, megfelelő dózis és időzítés mellett (Martins et al., 2024).

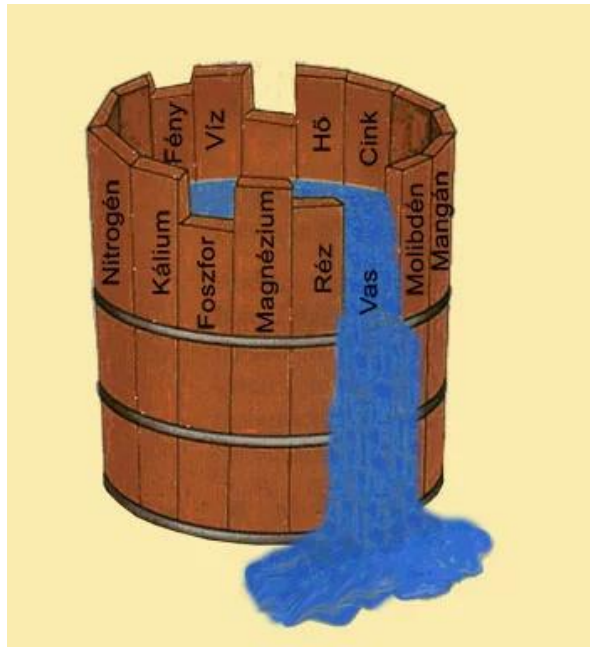
2.4 Növényi tápelemek és szükségletük

Termesztett növényeink optimális fejlődéséhez kielégítő mennyiségű alapvető tápelemre (mikro és makro) van szükség. A magyarországi tápanyagellátási gyakorlat ezzel párhuzamosan relatíve kis figyelmet fordít termesztett növényeink jó mikroelem és makroelem-összetételére, nagyjából a makroelemek (nitrogén, foszfor, kálium) pótlására korlátozódik. Liebig minimum-törvénye és a tápanyagelemek egyensúlyának fontossága kiemelkedik a szakirodalom áttekintése során. A makro- és mikroelemek megfelelő arányban történő biztosítása elengedhetetlen a növények optimális fejlődéséhez (Whitcomb et al., 2014).

A minimum törvényt vizuálisan is szemlélteti az úgy nevezett „Liebighordó” (1. ábra), amelyet Justus von Liebig alkalmazott a talaj tápanyagtartalmának megértésére és bemutatására. Liebig az egyik első volt, aki a növények táplálkozását és a talajban lévő tápanyagok szerepét részletesen tanulmányozta. A Liebig hordó egy egyszerű eszköz, de hatékonyan illusztrálja a talajban lévő tápanyagok fontosságát.

A Liebig hordó az ún. "korlátozó tényező" elvét hangsúlyozza, azaz a növény növekedése a legkevésbé rendelkezésre álló tápanyaghoz van kötve. Ez az elv ma is alapvető fontosságú a mezőgazdasági gyakorlatban, talajkezelés és a tápanyag utánpótlás területén.

1.ábra: Liebig hordó
(vitaflora.hu 2024)



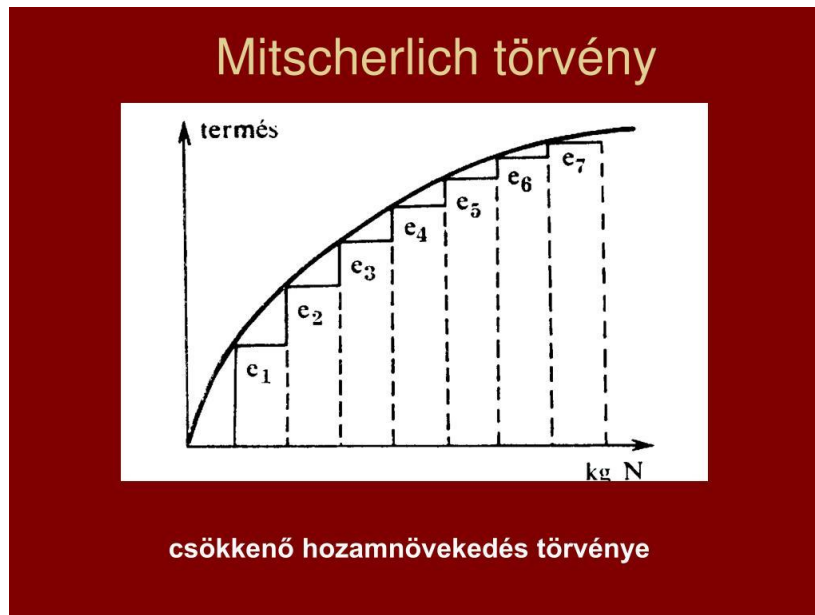
Az ábrán szereplő és egyéb elemeket, mennyiségük alapján, makro- és mikroelemekre oszthatjuk, Szabó és munkatársai (Szabó et al., 1987) által végzett csoportosítás alapján. A makroelemek közé tartoznak a C (szén), H (hidrogén), O (oxigén), N (nitrogén), P (foszfor), K (kálium), S (kén), Ca (kálcium) és Mg (magnézium). A mikroelemek közé sorolhatók a Fe (vas), Mn (mangán), B (bor), Cu (réz), Mo (molibdén) és Zn (cink) (Buzás, 1983).

Tisdale és munkatársai (Tisdale et al., 1985) szerint a növények szempontjából összesen 20 esszenciális elem különböztethető meg. Ezek közül a mikroelemek kis mennyiségben találhatók meg a növényi szervezetben, ugyanakkor az egyik fontos szerepet töltik be egy növény élet folyamatában (Marschner, 1995; Kalocsai et al., 2006).

Megfigyelhető Mitscherlich-féle törvény alapján, hogy egy adott területen hiába juttatunk ki több tápanyagot, a terméshozam egy bizonyos pontig növekszik, viszont egy adott mennyiség után ez a növekedés egy görbét tekintve ellaposodik és jelentősen a továbbiakban nem változik. Ezen törvényt Arthur Mitscherlich, a XX. század elején, 1909-ben kísérleteket végzett, amelyekben a tápanyagellátás hatását vizsgálta a termés mennyiségére Mitscherlich (1909).

A kutatásaiban matematikai összefüggéseket azonosított a tápanyagok mennyiségben való kijuttatása és a termés mennyisége között. Mitscherlich eredményei fontos szerepet játszottak az agronómia területén, hozzájárulva a tápanyagok és növényi növekedés közötti kapcsolatok jobb megértéséhez és az agronómiai gyakorlatok fejlődéséhez.

2.ábra: Mitscherlich-törvénye: A növekvő tápanyag mennyiségek miatt egy bizonyos mennyiség után a terméshozam csökken
(Loch és Nosticzius, 2004)



Bár a mikroelemek csak csekély mennyiségben fordulnak elő a növényi szervezetben, esszenciális jelentőségű szerepük van a növényi életfolyamatok alakulásában és működésében (Marschner, 1995; Kalocsai et al., 2006). A talajban a mikroelemek többféle formában jelennek meg, beleértve a vízoldható formát (mint szabad kationok, szerves és szervetlen komplex ligandumok), az agyagásványok cserélődési helyein és specifikusan adszorbeált állapotban és oldhatatlan formában. Általában a talajban csak kis mennyiségű mikroelem található meg olyan formában, amelyet a növények képesek hasznosítani.

Azonban, ha ezeket a mikroelemeket folyékony tápoldat formájában adagoljuk a talajhoz csökkentett mennyiségben, ez elősegítheti az átalakulást az eredetileg oldhatatlan (kötött) állapotból olyan formába, amely könnyen felvehető és hasznosítható a növények számára (Mortvedt és Shuman, 1991).

Szabó és munkatársai (Szabó et al., 1987) a mikroelemeket 5 csoportba osztották, biológiai-életteni szerepük alapján: - esszenciális, - valószínűleg esszenciális, - stimulatív, - toxikus, - biológiai szereppel nem rendelkező. A mikroelemek növényi felvehetőségét legmarkánsabban a talaj pH-értéke szabályozza. Minden olyan tevékenység, behatás, mely közvetetten, vagy közvetlenül módosítja a pH-t, a mikroelem felvételre is hat (Kádár 2008). Az egyes elemek felvételét, valamint, más elemek hiánya vagy jelenléte is erősen befolyásolhatja a különféle antagonizmusok, illetve szinergizmusok által (Havlin et al., 2005). A magas pH értékű erősen meszes, illetve esetlegesen túlmeszesített talajokon felmerülhet a cuprum, vas, mangán, és a cink hiánya, ezeken a területeken kiemelt fontosságúnak tartják a levéltrágyák használatát. (Szentpéteri et al., 2005). Emellett fontos megemlítenünk a nyomelemeket is, amelyekről a fentiekben is szó esett. Ezek a nyomelemek pl.: cuprum, cink, vas. Ezeknek az nyomelemeknek a vizsgálatát Phipps is végezte 1981-ben, miszerint a nyomelemek olyan elemek, amelyek általában csak kis mennyiségben találhatók meg a legtöbb talajban, növényben vagy élő szervezetben (Phipps, 1981). Ezeknek a nyomelemeknek és a fent említett tápanyagok alkalmazásával csökkenthető a növényekre gyakorolt stresszhatás. Viszont, amennyiben egy vagy több létfontosságú nyomelemből nincs jelen a növény számára kellő mennyiség, mind egészségügyi állapotban, mind terméshozamban veszteséget realizálhatunk. Az ember által okozott különféle stresszhatások egyre növekvő fenyegetést jelentenek, és ezek egy nehezen visszafordítható, viszont lassan, tudatosan visszaépíthető. Ilyen stresszhatást az összetett gépsorok, továbbá a nehéz erőgépek használata, a nagy mennyiségű műtrágya és növényvédőszer alkalmazása, az állattartótelepek koncentrált és kezeletlen hígtrágyája, az ipar, közlekedés, településfejlesztés, ezen kívül városiasodás szennyező hatásai, továbbá a keletkező hulladékok, és a szennyvizek kezelése válthatja ki (Kádár, 2005).

Arnold (2005) szerint a talajt érő káros hatások, valamint ezek következtében bekövetkező negatív mechanizmusok egyre kiterjedtebbek, egyre erőteljesebbek, valamint egyre nagyobb veszélyt jelentenek talajban lévő tápanyag és víz készleteinkre. A szél, ezen kívül a víz által okozott talajpusztulás, hasonló módon a tömörödéshez, széleskörű méretekben jelentkező degradációs mechanizmus, mely érinti a mezőgazdasági területeket.

2.5 A tőzeg, huminsavak és fulvosavak szerepe a talajban és a növények fejlődésében

A tőzeg olyan természetes eredetű anyag, amely rendkívül magas szervesanyag-tartalommal rendelkezik, és ennek jelentős részét a huminsavak és fulvosavak alkotják. Ezek az anyagok a növényi maradványok bomlása során jönnek létre, és meghatározó szerepet játszanak a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak alakításában (Nardi et al., 2009). A tőzeg huminsav-tartalma különösen fontos, mivel hozzájárul a talaj tápanyagraktározó képességéhez és vízháztartásához. A huminsavak kationcserélő képességük révén képesek megkötni és tárolni a tápanyagokat, így a növények számára könnyebben hozzáférhető formában tartják azokat. Ennek köszönhetően a tőzezből származó huminsavak elősegítik a talaj tápanyagellátását és javítják annak termékenységét (Kelleher & Simpson, 2006). Emellett a huminsavak pozitívan hatnak a talaj vízmegtartó képességére is, képesek a talaj pórusaiban a víz visszatartására (ami különösen fontos száraz, aszályos időszakokban).

A huminsavak és más szerves anyagok a talaj szerkezetére is hatással vannak. Javítják a talaj porozitását, ezáltal növelik a levegő- és vízforgalmat, ami kedvez a gyökérfejlődésnek és a mikrobiális aktivitásnak. A tőzeg általában laza szerkezetű, így elősegíti a gyökerek mélyebb behatolását és a víz egyenletesebb eloszlását. Emellett a huminsavak képesek bizonyos mértékben stabilizálni a talaj pH-értékét, így hozzájárulnak a növények számára kedvező kémiai környezet fenntartásához (Rose et al., 2014).

A humuszanyagok oldhatósága alapján három fő csoport különíthető el: a humin, a huminsavak és a fulvosavak. A humin vízben semmilyen pH-tartományban nem oldható, míg a huminsavak csak savas közeg felett, a fulvosavak pedig minden pH-értéken oldhatóak. A huminsavak általában nagyobb molekulatömegűek és stabilabb szerkezetűek, ezzel szemben a fulvosavak kisebb molekulájú, mozgékonyabb vegyületek, amelyek könnyen eljutnak a növények gyökérszónájába (Nardi et al., 2009).

A fulvosavak a humuszanyagok egyik legértékesebb összetevői, amelyek a talajban és a vízben a növényi és állati eredetű szerves anyagok részleges lebomlása során keletkeznek. Ezek jellemzően sárgásbarna színű, vízben jól oldódó vegyületek, ami lehetővé teszi, hogy könnyen mozogjanak a talajoldatban és a növényi szövetek között. A fulvosavak képesek az ásványi anyagokkal komplexitást képezni, ezáltal növelik a tápanyagok elérhetőségét a növények számára, és elősegítik azok szállítását és áramlását a gyökérből a hajtásokba (Kelleher & Simpson, 2006).

A fulvosavak fontos szerepet játszanak a tápanyagok megkötésében és felvehetővé tételében is. A talajban képesek ideiglenesen megkötni a kationokat, például a vasat, cinket vagy mangánt, majd azokat a növények szükségleteihez igazodva felvehetővé tenni. Ez a folyamat a tápanyag-hasznosulás optimalizálásának egyik kulcsa, amely hozzájárul a kiegyensúlyozott növényfejlődéshez (Kumar M., Babel A.L., 2011).

A fulvosavak továbbá aktív szereplői a humuszképződésnek, amely a talaj termékenységének alapja. A humusz növeli a talaj vízmegtartó képességét, stabilizálja a szerkezetét, és hozzájárul a talaj biológiai aktivitásának fenntartásához (Tomkó 1973).

A huminsavakhoz hasonlóan a fulvosavak is rendelkeznek biostimulációs hatással: elősegítik a növények gyökérfejlődését, serkentik a sejtek osztódását, és növelik a növények stressztűrését abiotikus tényezőkkel szemben (Martins et al., 2024).

Kelleher és Simpson (2006) kutatásai rámutatnak, hogy a talajból kivont humuszanyagok – köztük a huminsavak és fulvosavak – számos biopolimert, például fehérjéket, szénhidrátokat, lignint és alifás vegyületeket tartalmaznak. Ezek a komponensek a növények és mikroorganizmusok számára alapvető tápanyagforrásként szolgálnak, és hozzájárulnak a talaj biológiai aktivitásának fenntartásához. Emiatt a huminsavakat és fulvosavakat a legértékesebb természetes biostimulánsok közé sorolhatjuk.

A humuszanyagok közvetlenül alkalmazhatók a mezőgazdasági gyakorlatban, akár talajkezelés, akár lombtrágyázás formájában. A huminsav-tartalmú készítmények javítják a talaj fizikai szerkezetét, fokozzák a tápanyagok megkötését és hozzáférhetőségét, valamint serkentik a mikrobiális aktivitást. A kutatások szerint a huminsavak rendszeres alkalmazása jelentősen hozzájárul a növények növekedéséhez, fejlődéséhez és a talaj hosszú távú termékenységének megőrzéséhez (Rose et al., 2014; Martins et al., 2024).

2.6 Növényi stresszhatás megelőzése biológiai tápanyaggal

A növényi stressz minden olyan környezeti vagy biológiai hatást jelent, amely eltér a normális növekedési feltételektől, és a növény számára megterhelő állapotot idéz elő. Tischler (1984) meghatározása szerint a stressz egy olyan állapot, amely a növényt közvetlenül nem veszélyezteti, viszont közvetetten kihatással van a növény növekedésére, ellenálló képességére és élettani hatásaira.

Ez a megfogalmazás jól tükrözi, hogy a növények nemcsak külső kórokozók vagy mechanikai sérülések esetén kerülhetnek stressz alá, hanem bármilyen abiotikus tényező – például a hőmérséklet, a vízellátottság vagy a tápanyag-egyensúly – is kiválthatja a védekezési mechanizmusokat (Janda 2007).

A stressz különböző mértékben befolyásolhatja a növények növekedését, virágzását, terméshozamát és általános vitalitását. A növények ilyen helyzetekben védekező reakciókat indítanak be, amelyek célja az életfunkciók fenntartása és a károsodás minimalizálása. A stresszreakciók közé tartozik a stresszfehérjék termelése, valamint a különböző növekedési faktorok és hormonok (pl. auxin, gibberellin, citokinin) működésének átszabályozása (Jakab Gábor: Stresszben élve című előadás anyag).

Az oxidatív stressz enyhítésében kulcsszerepet játszanak az antioxidáns vegyületek, mint például a C-vitamin, az E-vitamin, valamint számos más növényi eredetű szerves anyag. Ezek segítik a sejtek regenerálódását és hozzájárulnak a növény ellenálló képességének növeléséhez. Az ilyen antioxidánsokat tartalmazó természetes kivonatokat nevezzük biostimulátoroknak, amelyek célzottan alkalmazhatók a növényi állomány védelmére és regenerálására. A biostimulátorok permetezéssel juttathatók ki, akár szántóföldi, akár ültetvényes kultúrákban, és alkalmazásuk különösen hasznos stresszhelyzetek megelőzésére vagy mérséklésére (Martins et al., 2024).

A növényi stressznek több típusa különböztethető meg. A hőstressz extrém hőmérsékletek hatására alakul ki, amelyek rontják az enzimek aktivitását és csökkentik a fotoszintézis hatékonyságát. A vízhiány, vagyis az aszály, gátolja a vízfelvételt és a tápanyagok mozgását, ami a növény elszáradásához vezethet. A túlzott vízellátás szintén stresszt okoz, mivel a pangó víz gátolja az oxigénáramlást a gyökérszónában, így gyökérrothadás és más másodlagos fertőzések jelenhetnek meg (Janda 2023).

A tápanyaghiány vagy éppen a tápanyag-túladagolás szintén zavarhatja a növény élettani folyamatait, ami deformált növekedést, terméseszkökenést és minőségi romlást eredményezhet (FAO, 2024).

A stressz elleni védekezést két szempontból lehet megközelíteni: megelőzésként és helyreállításként. A megelőző jellegű beavatkozások célja, hogy a növény ellenállóbbá váljon a külső tényezőkkel szemben. Saját megfigyeléseim és kísérleteim során a huminsavas készítmények különösen hatékonynak bizonyultak e téren. Amikor a huminsavat növényvédő szerekkel kombinálva juttattam ki, a növények stresszterhelése csökkent, és a fejlődési időszak is rövidült.

A növényállományban így 1–2 napos növekedési előny volt megfigyelhető a kontrollhoz képest, ami bizonyította a biostimulánsok stresszcsökkentő hatását (Janda 2023).

A második eset a már meglévő stresszhelyzetek enyhítése, például jégverés vagy erős UV-sugárzás után. Ilyenkor a huminsavas biostimulátorok a regenerációs folyamatokban játszanak fontos szerepet. Tapasztalataim alapján a kezelt növények gyorsabban zöldültek vissza, erőteljesebb új hajtásokat hoztak, és bár kisebb mértékű terméseszkökenés mérhető volt, az állomány általános regenerációja lényegesen gyorsabb volt, mint a nem kezelt növények esetében (Kubina Lajos et al., 2023).

2.7 Hagyományos nitrogén, foszfor, kálium és egyéb mikroelemű tápanyag igények kukorica esetében

A kukorica, talajminőség szempontjából a legigényesebb növény, különösen a talaj humusztartalmát és minőségét tekintve. A legjobb terméshozam a jó minőségű, közepesen kötött csernozjom talajokon érhető el. A kukoricát azonban hazánk teljes területén különféle talajtípusokon is termesztik. Balás (1876) véleménye szerint minden termőképess talaj, amely nem túlszáraz vagy nem túl vizes alkalmas a szemes kukorica termesztésére. Ámde legjobban a közép-kötött, tápanyagban gazdag már kiszáradt, régi vizes területeken terem igazán jól.

A szemes kukorica fajlagos tápanyagigénye, vagyis az egységnyi termés előállításához szükséges tápanyagok mennyisége az átlag adatok alapján megegyezik Antal 2000-ben írt fajta kutatások irányelveinek, amelyet államilag is elismertek. (Antal 2000). A fajlagos tápanyagigény termésegységként a következő: 100 kg szem és a hozzá tartozó szártermés 2,5 kg N, 1,1 kg P₂O₅ és 2,2 kg K₂O, összesen 5,8 kg vegyes NPK műtrágyát igényel.

A teljes növényt nézve, csutkával, betakarított szárral és szemterméssel együtt, az alábbi tápanyagokat veszi fel a talajból: (Antal 2000)

- nitrogén 28 kg/t
- foszfor 11 kg/t
- kálium 30 kg/t
- mész 8 kg/t
- magnézium 3 kg/t

A nitrogén döntő szerepet játszik a kukorica tápanyag ellátásában, jelentősen befolyásolva a hozamát. A megfelelő nitrogénellátás nemcsak növeli a kukorica termését, hanem elősegíti az erőteljes vegetatív növekedést is. A túlzott nitrogén azonban káros lehet, mert késlelteti a kukorica fejlődését, valamint érését (Sárdi:2011). A foszfor is lényeges makró elem a kukorica tápanyagellátásában.

A termésre gyakorolt hatása többek között az, hogy növeli a csövön lévő szemek számát, továbbá nagyságát (Sárdi 2011).

A kálium nemcsak a termésmenőveléshez járul hozzá, hanem felgyorsítja az érést és fokozza a szár szilárdságát is. A nitrogén, foszfor és kálium speciális tápanyagszükséglete több tényezőtől függ. Ide tartozik a kukorica fajlagos és időszerinti tápanyag igénye, a talaj tápanyag (NPK) állapota és az elérhető terméspotenciál (Sárdi 2011).

A korszerű tápanyag ellátási gyakorlatok jelentős szerepet játszanak a kukorica sikeres termesztésében. A kukorica fajlagos műtrágyaigénye az egy tonnára vetítve, megfelelő vagy közepes NPK státuszú talajok esetén a következő: 20-30 kg nitrogén, 12-20 kg foszfor és 18-30 kg kálium. Ezek a mennyiségek 50-80 kg kevert nitrogén-foszfor-kálium műtrágyának felelnek meg ahol a hatóanyagok hozzávetőlegesen 1:0,65:0,95 arányban vannak jelen.

A kukorica tápanyagellátásánál egy általános irányelv a foszfor- és káliumműtrágyák kijuttatása alpműtrágyaként a legtöbb talajtípuson. Jellemzően nyári talajműveléssel vagy egyes esetekben őszi mélyszántással kerülnek a talajba. Gyengébb minőségű, laza és sekély termőtalaj esetén a foszfor- és káliumműtrágyák kijuttatását célszerű megosztani, fele ősszel, másik felét ősszel. A nitrogén-műtrágyákat általában felosztják, egy részét ősszel, a többit tavasszal alkalmazzák. Az őszi kijuttatású nitrogén műtrágyákat a többi alpműtrágyához hasonlóan kell a talajba bedolgozni. Ez lehetővé teszi a lassan felszabaduló nitrogén műtrágyák hasznosítását az őszi műtrágyázás során (Nagy 2023).

A növény által felvett nitrogén 33-34 %-a, a foszfor 80 %-a és a kálium 25-30 százaléka kerül a szemtermésbe. A kálium 70-75 százaléka a vegetatív részbe vándorol, így a szármaradványok talajba való bedolgozásával ez a mennyiség nem vész el. A magnézium felvétel az egész tenyészidőszakot tekintve permanens. A kalcium legnagyobb szegmense a levelekben marad (Epstein és Bloom 2005).

2.8 A dróntechnológia bemutatása és szerepe a modern mezőgazdaságban és az iparban

A drónok (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) az elmúlt évtized egyik legfontosabb technológiai újítása a mezőgazdaságban. Alkalmazásuk három fő területen vált meghatározóvá:

1. Térképezés és felmérés – RGB (hagyományos képalkotás) és multispektrális kamerák segítségével a drónok pontos képet adnak a növényállományról, a tápanyaghiányról, stresszgócponokról, kártételekről.

2. Permetezés és tápanyag-kijuttatás – precíziós permetező drónok képesek egyenletesen és célzottan kijuttatni biológiai lombtrágyákat, engedélyezett növényvédő szereket, minimális anyagveszteség mellett nagy hatékonysággal.

3. Monitoring és dokumentáció – a drónfelvételek lehetővé teszik a hozam- és területi adatok gyűjtését, majd ezeket feldolgozva segítik az adat alapú gazdálkodást.

A 2024-es iparági jelentések szerint az európai mezőgazdasági drónpiac éves szinten több mint 20%-kal nőtt. Magyarországon a dróntechnológiával történő kijuttatások száma is gyorsan emelkedik, de a technológia elterjedését jelenleg még korlátozza a bonyolult engedélyezési rendszer és a kezelői képzések kötelezettsége (DJI Agriculture Report, 2024).

Az „UAV” rövidítés az angol Unmanned Aerial Vehicle kifejezést jelenti, magyarul pilóta nélküli légitáncművet. Ez olyan repülőeszköz, amelyet nem egy fedélzeti pilóta irányít, hanem távolról vezérlik, vagy előre meghatározott repülési program alapján működik. Az UAV-k alkalmazása napjainkra rendkívül széles körben elterjedt, hiszen a katonai, ipari, mezőgazdasági, tudományos és szórakoztató célú felhasználások egyaránt fontos szerepet kaptak. A pilóta nélküli légitáncművek méretük és teljesítményük alapján rendkívül változatosak lehetnek – a néhány száz grammos, hobbicélra tervezett mini drónoktól kezdve egészen a nagy teherbírású, akár 100 kilogrammot is felemelni képes ipari rendszerekig.

A dróntechnológia rohamos elterjedése annak sokoldalúságával magyarázható, hiszen egyszerre alkalmas precíziós mezőgazdasági munkákra, térképezésre, megfigyelésre, illetve adatgyűjtésre is (DJI Agriculture Report, 2024).

A drónokat többféle szempont alapján is lehet csoportosítani. Az egyik leggyakoribb besorolási mód a méret és súly szerint történik. A mikrodrónok 250 grammnál kisebb tömegű, könnyű szerkezetű eszközök, amelyeket jellemzően beltéri vagy szórakoztató célokra fejlesztenek és használnak. A minidrónok 250 gramm és 2 kilogramm közötti tömegűek, és már képesek kisebb kamerák vagy érzékelők hordozására. A közepes drónok, amelyek 2 és 25 kilogramm közötti súlyúak, inkább professzionális felhasználásra, például légi fényképezésre, mezőgazdasági térképezésre vagy monitoringra alkalmasak. A nagy drónok tömege meghaladja a 25 kilogrammot, ezek a nagyobb teljesítményű, ipari és katonai célokra tervezett modellek.

A második fő kategorizálási szempont a felhasználási terület. A szórakoztató vagy hobby drónok, és általában egyszerűbb irányítási rendszerrel rendelkeznek. A professzionális drónokat célzottabb feladatokra, például filmforgatásra, építészeti felmérésekre vagy precíziós mezőgazdasági munkákra fejlesztik, ezek már nagyobb teljesítménnyel és többfunkciós szenzorral rendelkeznek. A katonai drónok pedig a haditechnika részét képezik, és különböző

feladatokra, például felderítésre, megfigyelésre, logisztikai támogatásra vagy akár támadó műveletekre is bevethetők (FAO, 2024).

A drónokat továbbá repülési idő és teljesítmény alapján is meg lehet különböztetni. A rövid repülési idejű drónok kis akkumulátor-kapacitással rendelkeznek, ezért csupán néhány perces repülésekre alkalmasak, jellemzően szórakoztató célokra. A közepes repülési idejű modellek már akár egy–két órát is képesek a levegőben tölteni, és ezek leginkább térképezési, felmérési vagy kisebb agrárfeladatok ellátására alkalmasak. A hosszú repülési idejű drónok, amelyek repülési ideje meghaladja a két órát, már professzionális alkalmazásokra, például mezőgazdasági permetezésre, nagyobb területek felmérésére vagy kutatási célokra használhatók.

A szárnytípus szerinti felosztás is elterjedt. A multikopterek, mint például a quadkopterek vagy hexakopterek kiváló stabilitással rendelkeznek, képesek lebegni és pontosan manőverezni, ezért népszerűek a mezőgazdasági permetezés és monitoring területén. Hátrányuk, hogy repülési idejük viszonylag korlátozott. Ezzel szemben a fixszárnyas drónok gyorsabbak, hatékonyabbak és alkalmasabbak nagyobb távolságok bejárására, azonban alacsony sebességnél nehezebben kezelhetők, és lebegésre nem képesek (GMInsights, 2024).

A drónok működését számos technológiai megoldás támogatja. A GPS-alapú vezérlés lehetővé teszi a stabil repülést, a pozíciótartást és az automatikus útvonalrepülést. Az automatizált rendszerek előre beprogramozott útvonalak mentén képesek önálló repülések végrehajtására, míg az FPV (First Person View) technológia valós idejű képet közvetít a kezelő számára, aki így a drón szemszögéből követheti a repülést (IMARC, 2025).

A használati célok alapján a drónok számos területen bizonyították sokoldalúságukat. A fotó- és videódrónok a médiában és a szórakoztatóiparban elterjedtek, de az utóbbi években egyre nagyobb szerepet kaptak a mezőgazdasági és ipari alkalmazásokban is. A drónok ma már nélkülözhetetlenek a geodéziai felmérések, a termőterületek monitorozása, az agrárpermetezés, a mentési műveletek, illetve a belvíz és árvízborítottság feltérképezésében is, tehát az agrárium és az ipar fejlődésében.

2.9 A monitoring drónok alkalmazási területei

A monitoring drónok széleskörű alkalmazási lehetőségeket kínálnak a különböző területeken. Ezek a drónok olyan speciális felszerelésekkel vannak ellátva, amelyek lehetővé teszik a környezet, objektumok vagy területek részletes és távoli megfigyelését.

A monitoring drónok felhasználása számos területen lehetséges:

1. Távoli Területek Monitorozása: Monitoring drónok használhatók nehezen megközelíthető vagy veszélyes területek megfigyelésére, például erdőtüzek, árvizek vagy hegyvidéki területek esetén.
2. Katasztrófaellenőrzés: Természeti katasztrófák vagy balesetek utáni helyszínek gyors és hatékony ellenőrzésére, mérésére és dokumentálására alkalmazzák.
3. Agrárgazdálkodás: Mezőgazdasági területek, termőföldek, ültetvények monitorozása, beleértve a növények egészségének, víz- és tápanyagellátásának figyelését is.

Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) méri a növények fotoszintetikus aktivitásának és zöld növényzet mennyiségének változásait a látható és az infravörös tartományban. Ezek az adatok segítenek a mezőgazdasági területek monitorozásában, vízgazdálkodásban, környezeti vizsgálatokban és más területeken. A növények stresszszintjének, tápanyaghiányának vagy betegségeinek korai felismerése és az időbeni beavatkozás lehetővé teszi a hatékonyabb és fenntarthatóbb mezőgazdasági gyakorlatokat.

Az NDVI értéke -1 és +1 közötti skálán mozog, ahol:

- Negatív értékek: Általában vízfelületeket, kőzeteket, vagy más nem-növényzetes felületeket jelölnek.
- Közeli vagy éppen 0 értékek: Jellemzőek a mezőgazdasági területeken lévő száraz, vagy alacsony fotoszintetikus aktivitású növényekre.
- Pozitív értékek: Jelzik a jól fejlődő és egészséges növényzetet, ahol a fotoszintetikus aktivitás magas.

2.10 Permetező drónok használata és a releváns jogi szabályozás

Az elmúlt években a permetező drónok jelentős mértékű fejlődésen mentek keresztül, és ezáltal kulcsfontosságú szerepet játszanak a mezőgazdasági ágazatban, különféle feladatok automatizált elvégzésével, ami elősegíti az agrár-digitalizációt. A permetező drónok alkalmazásának története nemrégiben kezdődött, körülbelül 5 éve.

Azonban az alapokat tekintve egészen 2014-ig vezethető vissza, amikor létrejött az első permetező drón. Az innováció ebben a területen a mezőgazdasági folyamatok hatékonyabbá és gazdaságosabbá tételét célozza, és lehetővé teszi a mezőgazdasági szektor számára, hogy lépést tartson a modern technológiai fejlesztésekkel. A permetező drónok automatizáltan, hatékonyan, költséghatékonyan, gyorsan és biztonságosan végeznek számos feladatot.

Különbféle növényvédelmi kezeléseken keresztül, például permetezésen keresztül segítik a mezőgazdasági termelőket. Ezek a drónok különösen hasznosak lehetnek olyan veszélyes munkakörökben, ahol a növényvédelmi kezelések hagyományos módszerei magas kockázattal járnak. Ugyanakkor a technológiai fejlődés és az innováció szembenéz bizonyos kihívásokkal. Az egyik ilyen kihívás a jogi és szabályozási környezet alakulása. Az elfogadás és alkalmazás terén még vannak kihívások, és a jogi keretek kialakítása is folyamatban van a drónok mezőgazdasági alkalmazásainak támogatása érdekében (4/2022. (II. 8.) AM rendelet, (43/2010. (IV.23.) FVM rendelet).

2.10.1 Jogszabályi háttér (kötelező a mezőgazdasági drónnal való permetezéshez)

- U.n. „Zöld Könyv” vizsga
- A1/A2/A3 Nyílt kategória (UAS OPEN)
- Növényvédelmi Drónpilóta (NÉBIH által akkreditált képzőközpontban)
- Speciális Drónpilóta

2.10.2 Egyéb releváns feltételek

- LUC vagy Műveleti engedély megléte
- Kijuttatási tervet, a tervezett első légi permetezés megkezdése előtt legalább harminc nappal a megyei kormányhivatalnak kell benyújtani, amely tartalmazza a kezelő nevét, permetezés helyét (Helyrajzi szám), idejét.
- A tevékenységet legkésőbb az azt megelőző munkanap délelőtt 9 óráig be kell jelenteni az illetékes kormányhivatalnak.
- Kizárólag pilóta nélküli légitárművel való kijuttatásra engedélyezett növényvédő szerész növényvédő szernek nem minősülő növényvédő hatású termék juttatható ki, itt gondolok a lomb-és baktériumtrágya kijuttatására.

3.ábra: DJI Agras T30 Permetező Drón

(Saját fénykép 2023)



2.10.3 A dróntechnológiával történő permetezés előnyei a szántóföldi géphez viszonyítva

A mezőgazdasági drónok alkalmazása az elmúlt években egyre szélesebb körben terjedt el, mivel számos olyan előnyt kínálnak, amelyekkel a hagyományos szántóföldi permetezők nem tudnak versenyezni. Ugyanakkor a technológia használatának vannak még jelentős korlátai és kihívásai is, amelyeket figyelembe kell venni az alkalmazás során.

Személyes tapasztalatom és kutatásaim szerint a dróntechnológiával történő kijuttatás egyik legjelentősebb előnye, hogy nem okoz taposási kárt a növényállományban, ami a hagyományos gépi művelés esetében akár 10%-os hozamvesztést is eredményezhet. A drónok a levegőből dolgoznak, így a növények és a talaj fizikai sérülése elkerülhető.

Emellett a dróntechnológiával történő permetezés során a kijuttatott dózis koncentráltabb, ami csökkenti a felhasznált vegyszer mennyiségét, ezáltal környezetkímélőbb és gazdaságosabb megoldást kínál (DJI Agriculture Report, 2024). További előnye, hogy a drónok időjárási viszonyoktól függetlenebbül is bevethetők. Míg a nehézgépek csapadékos időszak után nem tudnak a területen jelentős taposási kár nélkül sikeres munkát végezni, a drónok ekkor is képesek permetezést végezni, ami különösen fontos a jelenlegi klimatikus viszonyok miatt kialakult rövid kezelési időablakokra tekintve. A technológia jelentős vízmegtakarítást is eredményez, hiszen a permetlé mennyisége a precíz kijuttatásnak köszönhetően akár 30–80%-kal kevesebb lehet, mint a hagyományos eljárásoknál (FAO, 2024).

A dróntechnológiával történő permetezés a lombtrágyák kijuttatásánál is kiemelkedően hatékony. A tapasztalatok szerint az így kezelt növényeknél magasabb termés hozam érhető el a szántóföldi technológiákhoz viszonyítva, ami a tápanyagok egyenletesebb eloszlásának és jobb levélfedettségeknek köszönhető. Ezen felül a dróntechnológiával történő műveletek költséghatékonyak, hiszen kisebb energiafelhasználással és kevesebb munkaerővel járnak, miközben a CO₂-kibocsátás is jelentősen csökken, mivel a drónok elektromos hajtásúak, és nem igényelnek fosszilis üzemanyagot (Vlaskality et al., 2025).

Ugyanakkor a dróntechnológia alkalmazásának több hátránya és korlátja is van, amelyeket nem szabad figyelmen kívül hagyni. Az egyik legfontosabb kihívás a szakmai felkészültség: a drónok kezeléséhez hosszabb képzési idő és speciális engedélyek szükségesek. A technológia szélérzékenysége szintén problémát jelenthet, mivel a nagyobb szellőkések torzíthatják a permetezés pontosságát, és anyagvesztést okozhatnak.

A drónok működését irányító szoftveres támogatás bár folyamatosan javul, viszont bármikor adódhatnak előre nem jelezhető problémák. Egy-egy programhiba, kommunikációs zavar vagy GPS-probléma a repülés megszakadását vagy adatvesztést eredményezhet. Emellett a hektáronkénti teljesítmény is korlátozott: egy közepes méretű mezőgazdasági drón átlagosan 2-3 hektárt képes lefedni egy repülés során, ami óránként reálisan 12 hektár/óra teljesítményt jelent, így nagyüzemi területeken több repülés vagy több drón egyidejű használata szükséges (IMARC, 2025). A technológia fizikai korlátai közé tartozik, hogy a nagyobb növényállományokban, például 5–6 méternél magasabb kukorica vagy dióültetvény esetén a drón jele időnként megszakadhat, ami megnehezíti a pontos irányítást és a munkavégzést. A mezőgazdasági drónok a jövő innovációs és digitalizációs irányát képviselik.

A jelenlegi gazdasági környezetben a költséghatékonyság, mobilitás és precizitás hármasa teszi a pilóta nélküli légi járműveket különösen értékessé. A helikopteres permetezés visszaszorulása után a dróntechnológia gyakorlatilag újjáélesztette a légi növényvédelmet, és mára még hatékonyabban, pontosabban és a környezetet kevésbé terhelő módon képes ellátni azt a szerepet, amely korábban szinte teljesen eltűnt a hazai agráriumból.

3. A kutatás célja és a kutatási kérdések

A biológiai tápanyagok fejlődésének és használatának áttekintése

A kutatás során azonosításra került a dróntechnológiával támogatott biológiai huminsavas és fulvosavas készítményekkel történő tápanyagpótlás helye és szerepe a modern mezőgazdaságban a fenntartható és környezetkímélő termesztési technológiák vonatkozásában.

Nemzetközi és hazai trendek bemutatása a biostimulánsok alkalmazásában

Megvizsgáltuk, hogy a különböző országok miként integrálják ezeket a technológiákat a gyakorlatba, és hogyan reagálnak a mezőgazdasági szereplők a szigorodó uniós előírásokra, környezetvédelmi elvárásokra és az állami szabályozásokra.

A dróntechnológia mezőgazdasági alkalmazási lehetőségeinek bemutatása

A kutatás során feltártuk a drónok segítségével történő tápanyagkijuttatás integrációjának lehetőségeit a precíziós mezőgazdaság rendszerébe, illetve a lombtrágyázási művelet biztonságosabbá és pontosabbá tételének lehetőségeit a jogi szabályozás figyelembevételével.

A dróntechnológiával történő biológiai lombtrágyázás hatásainak vizsgálata egy kísérleti ültetvényen.

A kutatás során összehasonlításra került két kísérleti parcella, amely egyikén a dróntechnológia segítségével lombtrágya kezelést hajtottunk végre, a kontrol parcellán pedig egy másik konkurens lombtrágyát szántóföldi gép juttatott ki. Összehasonlításra került a tápanyaghasznosulás, a növények egészségi állapota és a termés hozam. Kiemelt figyelmet fordítottunk a növényt stresszhatásokra (aszály, hőmérsékleti ingadozás, jégverés) történő reakciójára amennyiben azok humin- és fulvosav tartalmú biológiai készítményeket kaptak. A kutatás túlmutat a kijuttatási hatékonyság vizsgálatán, feltérképeztük a növények regenerációjának és vitalitásának változását is a lombtrágyázás hatására.

A vizsgálati eredmények feldolgozása és értékelése statisztikai módszerekkel (átlag, szórás, ANOVA, regresszió)

Az adatok feldolgozása során megvizsgáltuk a mért paramétereket, például a talaj tápanyagszintjét, a nedvességtartalmat, a növényi biomassza és a terméshozamát. A statisztikai vizsgálatok segítségével kimutattuk a dróntechnológia segítségével történő és hagyományos kijuttatás közötti eltéréseket, valamint azonosítottuk azokat a tényezőket, amelyek leginkább befolyásolják a technológia hatékonyságát.

Következtetések és gyakorlati javaslatok megfogalmazása a fenntartható tápanyag-gazdálkodás támogatására.

A kutatás során olyan javaslatokat fogalmaztunk meg, amelyek elősegítik a környezetbarát tápanyag-gazdálkodás terjedését, valamint a dróntechnológia biztonságos és hatékony alkalmazását a gyakorlatban. Külön fókuszot helyeztünk a gazdák számára is gyakorlati értékkel bíró tapasztalatok megfogalmazására. A dolgozatban bemutatásra kerül egy olyan adaptálható, költséghatékony és fenntartható technológiai modell, amely illeszkedik a magyar agrárium jövőbeni fejlődési irányaihoz és az Európai Unió zöld átállási célkitűzéseibe.

4 Alkalmazott módszerek

4.1 Kutatás típusa és módszertani megközelítés

A kutatásom során primer és szekunder kutatási módszereket egyaránt alkalmaztam, hogy átfogó képet kapjak a biológiai tápanyag-utánpótlás és a dróntechnológiával történő kijuttatási technológia gyakorlati és elméleti összefüggéseiről. A két kutatási irány egymást kiegészítette lehetővé, hogy a vizsgálat tudományosan megalapozott, ugyanakkor gyakorlatorientált legyen.

A **szekunder kutatás** során a célom az volt, hogy a témához kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalmat, kutatási eredményeket és technológiai fejlesztéseket rendszerezetten feldolgozzam. Ennek keretében áttekintettem a biológiai tápanyagpótlás, különösen a humin- és fulvosavas biostimulánsok alkalmazásának eredményeit, a növényélettani hatásokat, valamint a precíziós mezőgazdaság és a dróntechnológia területén megjelent tanulmányokat, jogszabályokat és iparági elemzéseket.

A feldolgozott források között szerepeltek szakfolyóiratok, könyvek, konferenciakiadványok, EU-s és hazai agrárpolitikai dokumentumok, valamint az Európai Bizottság és a NÉBIH által közzétett irányelvek.

A szekunder kutatás célja az volt, hogy a meglévő ismeretanyagot rendszerezve megalapozzam a saját, primer kutatás elméleti háttérét, és azonosítsam azokat a tudáshiányokat, amelyek gyakorlati vizsgálatot igényelnek. A szakirodalmi feldolgozás során külön figyelmet fordítottam a fenntarthatósági aspektusokra, a Zöld Megállapodás (Green Deal) előírásaira, valamint a dróntechnológiával történő permetezés és lombtrágya kijuttatás jogi szabályozására. Ez a módszertani alapozás segített a kutatási célok pontos meghatározásában, valamint a vizsgálati kérdések és hipotézisek megfogalmazásában.

A **primer kutatás** során saját kísérleti adatgyűjtést végeztem a Somogy vármegyében található Felsőmocsolád településen, ahol a dróntechnológiával történő lombtrágya kijuttatás gyakorlati hatásait vizsgáltam kukorica kultúrában. A kísérletet két részre osztott területen végeztem: az egyik részen drónnal kijuttatott biológiai lombtrágyát alkalmaztam, míg a másik, kontrollterületen hagyományos szántóföldi géppel végzett kijuttatási módszert.

A vizsgálat során talaj- és növénymintákat gyűjtöttem, valamint termés hozam- és nedvességtartalom-méréseket végeztem. A primer adatgyűjtés célja a technológia gyakorlati eredményességének objektív mérése volt, különös tekintettel:

- a növények tápanyag-hasznosítási hatékonyságára,
- a stresszreakciók mérséklésére,
- a termés hozam és minőség alakulására, valamint
- a kijuttatási módszerek gazdasági és ökológiai hatásaira.

A kísérleti adatokat kombájn hozammérő rendszerrel, laboratóriumi vizsgálatokkal és szoftveres elemzéssel (Pix4D, TalkingField) dolgoztam fel. A statisztikai feldolgozáshoz átlag-, szórás-, ANOVA- és regresszió-elemzést alkalmaztam, hogy a dróntechnológiával és a hagyományos módszerek közötti eltérések kvantitatív módon is kimutathatók legyenek.

A primer kutatás további része egy helyszíni megfigyelés és gazdálkodási naplóelemzés volt, melynek során dokumentáltam a növényállomány fejlődését, a kijuttatási időpontokat, az időjárási körülményeket, valamint a növényvédelmi beavatkozások részleteit. Ez lehetővé tette, hogy a kísérletet komplexen értékeljem, nemcsak termés hozam, hanem növényélettani és agronómiai szempontból is.

A primer és a szekunder kutatás, mint két megközelítés egymást kiegészítve biztosította, hogy a dolgozatban bemutatott eredmények valós, mérhető és tudományosan alátámasztott következtetéseket nyújtsanak a biológiai tápanyag-utánpótlás dróntechnológiával történő alkalmazásáról kukorica kultúrában.

4.2 Vizsgálati terület és kísérleti körülmények

A vizsgálat Somogy vármegyében, Felsőmocsolád térségében zajlott, egy több éve kukoricatermesztéssel foglalkozó mezőgazdasági üzemben. A kísérleti parcellák azonos agrotechnikai kezelést kaptak, az eltérés kizárólag a kijuttatott tápanyag típusában és módjában volt.

A kísérlet során két kezelést végeztem:

1. Kezelés A (kontroll) – hagyományos talajon keresztüli tápanyag-utánpótlás, műtrágyázással.
2. Kezelés B (biológiai) – huminsavas/fulvosavas készítmény dróntechnológiával történő lombtrágyázással kijuttatva.

A dróntechnológiával történő kijuttatás időpontja: 2023. június 15., amely 6–8 leveles fejlettségi állapotban történt.

A kijuttatott anyag mennyisége 5 liter/ha volt, 15 liter vízhez hígítva.

Az alkalmazott drón típus: DJI Agras T30, 30 literes tartállyal, 7 m munkaszélességgel.

A repülési magasság 3,5 m, sebesség 4,5 m/s volt.

A repülési útvonalat a DJI Terra szoftver segítségével terveztem meg.

4.3 Alkalmazott biológiai tápanyag

A kísérlet során alkalmazott biológiai tápanyag egy olyan huminsav- és fulvosav-tartalmú folyékony biostimuláns volt, amelyet kifejezetten lombtrágyázási célra fejlesztettek. A termék fő hatóanyagai közé tartozott a 6%-os huminsav, a 3%-os fulvosav, valamint az 1,5%-os aminosav-tartalom. Emellett mikroelemeket – például vasat (Fe), cinket (Zn) és mangánt (Mn) – is tartalmazott nyomelem-formában. A készítmény célja a gyökér- és lombfejlődés serkentése, valamint a fotoszintézis és tápanyagfelvétel fokozása volt, ezáltal elősegítve a növények egészséges és kiegyensúlyozott növekedését.

A vizsgálatban alkalmazott biostimuláns bio minősítésű, szerves eredetű tápanyag, amely nem okoz perzselést, még magas hőmérséklet mellett történő dróntechnológiával történő kijuttatás esetén sem. A készítmény többkomponensű, NPK-makroelemeket és mikroelemeket (Cu, Zn, B, S, Mn, Mo), továbbá huminsavakat és 18 különböző aminosavat tartalmaz, ezáltal komplex hatást biztosít a növényállomány számára. Összetétele alapján 13,5% makroelemet, 0,7% mikroelemet, 5% huminsavat és 9% aminosavat tartalmaz, ami a tápanyagellátás szempontjából kiegyensúlyozott és hatékony formulát eredményez.

A termék környezetkímélő és alacsony kockázatú készítményként került engedélyezésre az EU 2019/1009/EK rendelet alapján. Előállításánál mindössze 1 kilogramm szén-dioxid-kibocsátás történik 1 tonna termékre vetítve, ami kiemelkedően alacsony ökológiai lábnyomot jelent. Emellett a termék a talajban és a növényállományban közvetett módon is hozzájárul a szén-dioxid megkötéséhez, így szerepet játszik a mezőgazdasági szén-dioxid kibocsátás csökkentésében és a fenntartható gazdálkodási gyakorlatok erősítésében.

4.4 Adatgyűjtés és mérési paraméterek

A mérések a kijuttatás után 10, 20 és 30 nappal történtek.

A következő adatokat rögzítettem:

- növénymagasság (cm),
- levélzöld-szint (SPAD érték),
- NDVI vegetációs index (dróntechnológiával történő felvétel alapján),
- betakarításkori hozam (kg/ha).

A dróntechnológiával történő NDVI-felvételek feldolgozását Pix4Dfields szoftverrel végeztem.

A hozamadatokat GPS-koordinátákhoz rendeltén gyűjtöttem, így az adatok térben is összehasonlíthatók voltak.

4.4.1 Terméshozam mérése

A terméshozam mérése a 2023. október 2-án elvégzett betakarítás során történt. Az adatgyűjtés során kombájnba épített hozammérő rendszer segítségével rögzítettem az egyes parcellák terméseredményeit, amelyeket ezt követően statisztikai feldolgozásnak vettem alá. Az adatok értékelése lehetővé tette a dróntechnológia és a hagyományos kezelések közötti különbségek meghatározását.

4.4.2 Nedvességtartalom vizsgálat

A betakarított terményből vett minták nedvességtartalmát szintén laboratóriumi módszerekkel mértem meg. A vizsgálat célja az volt, hogy összehasonlítsam a kezelt és kontroll területek terményeinek víztartalmát, mivel ez a mutató szoros kapcsolatban áll a növények tápanyagellátottságával és a hozam minőségével, valamint a hozam becslésével is.

4.4.3 Talajmintavétel és elemzés

A talajmintavételt a kísérleti időszak alatt rendszeres időközönként végeztem, azonos mélységből és azonos pontokon, hogy az eredmények összehasonlíthatóak legyenek. A begyűjtött minták laboratóriumi elemzése során elsősorban a foszfor-, kálium- és pH-értékeket vizsgáltam, mivel ezek a tényezők kulcsszerepet játszanak a növények tápanyagfelvételében és fejlődésében.

4.5 Alkalmazott statisztikai módszerek

Az adatok feldolgozását Microsoft Excel és Pix4D szoftverrel végeztem.

A következő statisztikai módszereket alkalmaztam:

1. Leíró statisztika (átlag, medián, szórás)
cél: az adatok eloszlásának és középértékeinek vizsgálata
2. Varianciaanalízis (ANOVA)
cél: a kezelések közötti különbségek szignifikanciájának meghatározása
3. Korreláció- és regresszióanalízis
cél: a hozam, az NDVI és a SPAD-értékek közti összefüggések feltárása
4. Trendanalízis
cél: a több időpontban felvett adatok alakulásának bemutatása
5. Térbeli elemzés
NDVI és hozamtérkép összevetése a kezelési zónák szerint.

A statisztikai szignifikanciaszintet $p < 0,05$ értéknél határoztam meg.

4.6 Vizualizációk és térképes elemzés

A drónfelvételek alapján készült NDVI-térképeket és hozameloszlás-diagramokat a dolgozatban szereplő grafikonokkal mutattam be.

A térképek segítségével láthatóvá váltak a kezelési zónák közti különbségek, valamint a biológiai kezelés pozitív hatásai a növényállomány egységességére.

4.6.1 Műszerek és szoftverek

A kutatás során többféle eszközt és szoftvert alkalmaztam a pontos adatgyűjtés és elemzés érdekében. A talajmintavételhez használt főbb eszközök közé tartozott a talajfúró, a mintavételi zacskók és a megfelelően jelölt címkék, amelyek a minták azonosítását segítették. A laboratóriumi elemzéseket korszerű berendezésekkel, például spektrofotométerrel, pH-mérővel és ioncserélő oszlopokkal végeztem. Az adatgyűjtés és térinformatikai feldolgozás során Pix4D Fields és TalkingField szoftvereket használtam, amelyek lehetővé tették a parcellák digitális térképezését, az adatok vizuális megjelenítését és a térbeli elemzéseket.

4.7 Adatfeldolgozás és eredmények értékelése

4.7.1 Statisztikai elemzés

Az adatfeldolgozás során az egyes parcellák átlagos termés hozamát és szórását számítottam ki, valamint a talajminőségi paramétereket és a nedvességtartalom értékeit is statisztikailag értékeltem. Az eredmények feldolgozásához kombájn hozammérő adatait és laboratóriumi méréseket használtam. Ezt követően összehasonlítottam a kezelt és a kontroll területek adatait, hogy megállapítsam a dróntechnológia és hagyományos lombtrágyázási módszerek közötti hatékonyság béli különbségeket.

4.7.2 Eredmények prezentálása

Az eredményeket grafikonok, diagramok és táblázatok formájában mutattam be, hogy a kezelések közötti eltérések vizuálisan is értelmezhetőek legyenek. Az adatok alapján levontam a következtetéseket a dróntechnológiával történő lombtrágyázás hatékonyságáról, valamint annak gyakorlati alkalmazhatóságáról a magyar mezőgazdaságban. Az elemzés során külön figyelmet fordítottam arra, hogy a technológia milyen mértékben növeli a hozamot, és milyen hatással van a növények stressztűrő képességére.

4.8 Jogszabályi keretek és javaslatok

4.8.1 Jogszabályi elemzés

A vizsgálat során áttekintettem a dróntechnológiával történő permetezésre vonatkozó hazai és európai uniós jogszabályokat, különös tekintettel a légitözlekedésre, adatvédelemre és növényvédelmi előírásokra. Ellenőriztem, hogy a kutatás minden ponton megfelel-e ezeknek a jogi előírásoknak, ezáltal biztosítva a vizsgálat jogszerűségét és etikai megfelelőségét.

4.8.2 Javaslatok

A vizsgálati eredmények alapján technológiai javaslatokat fogalmaztam meg a dróntechnológiával történő lombtrágyázás gyakorlati alkalmazásának fejlesztésére, különös tekintettel a kezelési pontosságra, az időzítésre és az adatfeldolgozás automatizálására. Ezen túlmenően jogszabályi ajánlásokat is megfogalmaztam, amelyek a dróntechnológiával történő növényvédelem szabályozási környezetének egyszerűsítését és a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok előmozdítását szolgálják.

5. Eredmények és értékelésük

5.1 „Nyiresi” kukorica lombtrágyakezelés

5.1.1 Mepar adatok(<https://mepar.mvh.allamkincstar.gov.hu/#/viewer> 2025.10.13)

Az RA3VFP21 azonosítójú földblokk Felsőmocsolád településén található, amely Somogy vármegyéhez tartozik. Az adott földblokkra vonatkozó érvényességi időszak kezdete 2024. március 1-je. A terület földrajzi és mezőgazdasági jellemzőinek részletes leírása a következő:

A fizikai blokk teljes nagysága 28.9148 hektár, amelyből a támogatásra jogosult terület 28.7073 hektárt tesz ki, míg a nem támogatható rész 0.2075 hektár. A terület lejtésének vizsgálata alapján kiderült, hogy nincsenek 12%-nál nagyobb lejtésű részek. Azonban 0.0581 hektárnyi terület rendelkezik 17%-nál nagyobb lejtéssel.

A területen nincs olyan rész, amely az EMVA-MGTE (Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alap - Mezőgazdasági Területek Európai Tanácsa) besorolásnak megfelelne, sem a jelenlegi, sem a 2008 utáni kategóriák szerint.

A blokk nem minősül kedvezőtlen adottságú területnek, továbbá nem található rajta érzékeny természeti terület sem. Ezzel szemben nitrátérzékeny területként van nyilvántartva, amely az eutróf nitrátérzékeny területek kategóriájába tartozik. A vízbázis védelmi terület pontszáma alapján nem minősítették különleges védelemre szoruló területnek, és a blokk nem tartozik a magas természeti értékű területek közé.

A terület gyenge minőségű és mennyiségű felszín közeli, valamint felszín alatti víztesttel érintett. Emellett gyenge ökológiai és kémiai állapotú felszíni víztest vízgyűjtő területével is kapcsolatban áll.

A Magas Természeti Értékű Területek (MTÉT) zónái között az RA3VFP21 blokk nem tartozik egyetlen zónába sem, legyen szó tűzokvédelmi, kék vércse-védelmi, alföldi madárvédelmi, hegy- és dombvidéki madárvédelmi vagy nappali lepkevédelmi területekről. Ezen kívül a terület sem szántó, sem gyepterület vonatkozásában nem része ezen védett zónáknak.

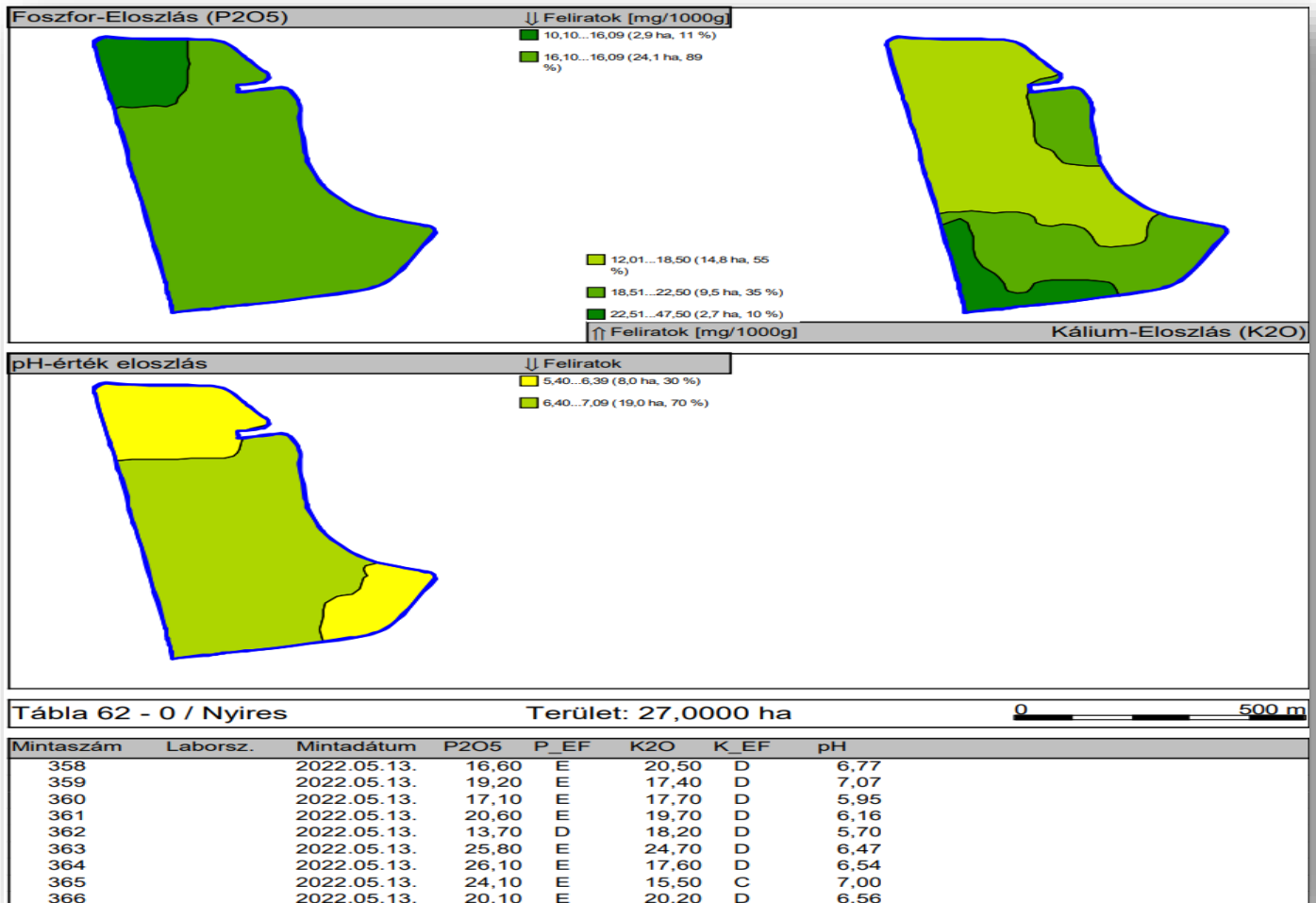
Továbbá, a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztési területei közé sem tartozik, és a blokk nem árvíz veszélyeztetett, szélerózióval veszélyeztetett vagy aszály érzékeny terület veszélyeztetett, szélerózióval veszélyeztetett vagy aszály érzékeny terület.

5.2 Talajtani adatok:

5.2.1 Foszfor, kálium és ph-érték eloszlás:

4.ábra: Foszfor, Magnézium, Ph-érték eloszlási térkép

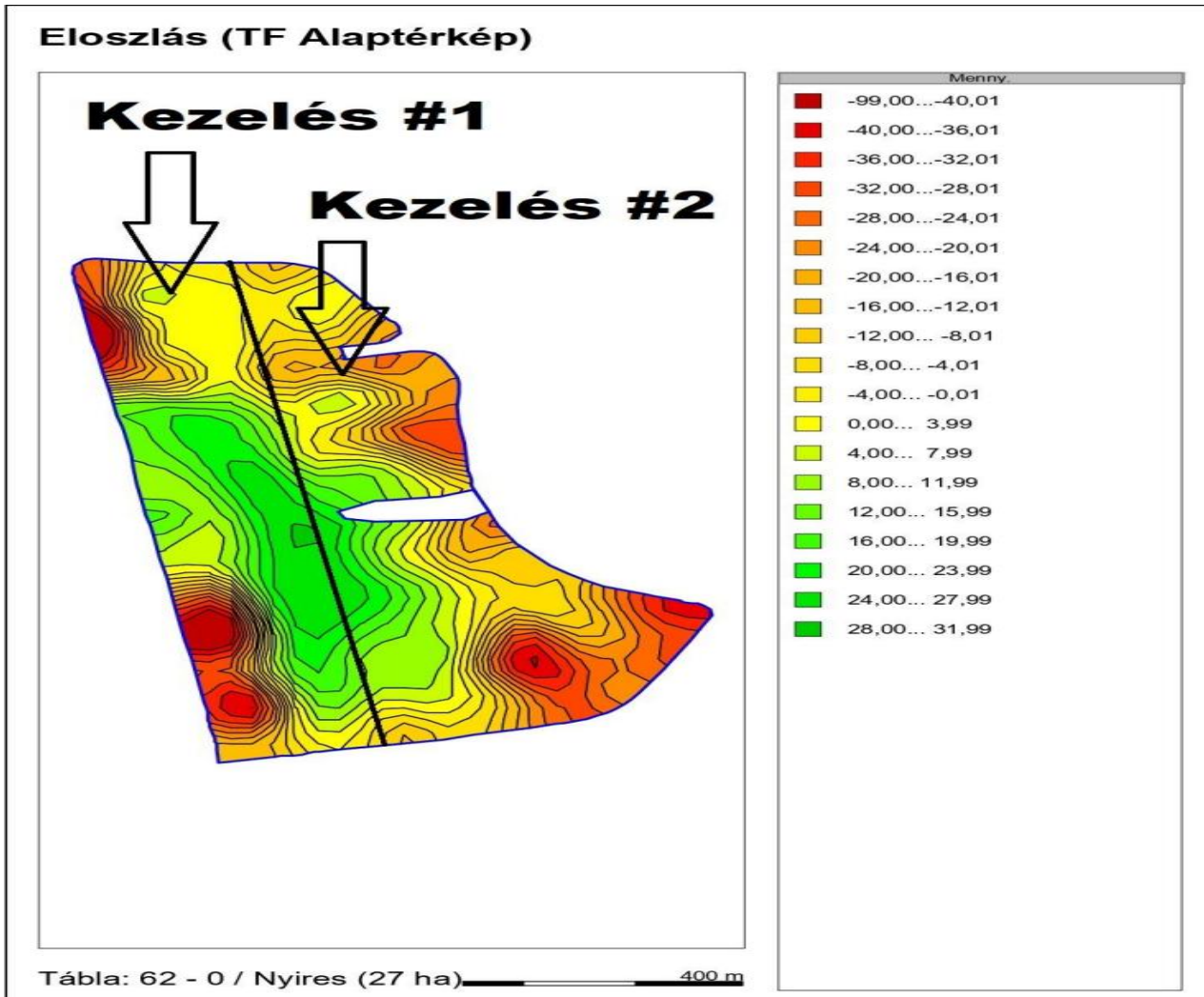
(saját készítés 2023)



Ahogy a fenti eloszlási térképen is látható, a Somogy megyei talajokhoz viszonyítva és a megfelelő műtrágya, valamint a szerves tápanyag vissza dolgozásával a talaj Foszfor, Kálium és Ph értéke is valamivel átlag felettinek mondható. Nem jelentkezik drasztikusan a műtrágya által okozott Ph csökkenés.

5.2.2 Talking field alaptérkép:

5.ábra: Talaj minőség térkép (saját készítés)
(saját készítés 2024)



A fent mellékelt 5.ábra (TalkingField-TF alaptérkép, Talaj Foszfor és Kálium ellátottsági térkép, Precíziós vetési térkép) alapján megállapítható, hogy a vizsgálatban lévő „Nyires” tábla #1-es és #2-es táblarészei között olyan trendszerű eltérés nem tapasztalható, ami a táblarészeken eltérő módon elvégzett növénykondicionálási kezelések hatását torzítaná. Mindemellett megjegyzendő, hogy a tábla nagy heterogenitást mutat, így az eredmények értékelésénél javasolt mindkét táblarész esetében nagyszámú eredmény minta vétele, ezek táblarészenként külön-külön történő átlagolása, és az így kapott átlagok használata későbbi technológiai tervek kidolgozására.

5.3 Kutatási terület vizsgálata gazdálkodási és permetezési napló alapján

A vizsgálat helyszínén a termesztett növény a kukorica volt, amely FAO 370-es éréscsoportba tartozó, középkorai hibrid vetőmagból került elvetésre. Ez a típus jól alkalmazkodik a déldunántúli éghajlathoz, és kiegyensúlyozott termőképessége, valamint jó aszálytűrése miatt alkalmas a vizsgálat céljára.

A FAO-szám (FAO-számcsoport) a kukorica éréscsoportját jelöli, amit a FAO (Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet) által bevezetett nemzetközi érésidő-besorolási rendszer alapján határoznak meg.

Ez a szám azt mutatja meg, hogy a hibrid milyen hosszú tenyészidővel rendelkezik – vagyis hány nap szükséges a vetéstől a betakarításig.

A termesztéstechnológia során az összes agrotechnikai műveletet a gazdálkodási napló alapján mutatom be. A műveletek célja az volt, hogy a talaj fizikai és kémiai tulajdonságait a lehető legkedvezőbb állapotba hozzuk a vetéshez, valamint biztosítsuk a növények számára az optimális tápanyagot és vízellátást a vegetációs időszak során.

5.3.1 Műtrágya Kijuttatás (Egységesen (nem differenciáltan))

A kísérleti területen a tápanyagutánpótlás egységesen, nem differenciáltan történt, a következő sorrendben és célokkal:

2023. április 26. – Folyékony nitrosol (260 l/ha):

A nitrosol alkalmazása a vetés előtti alap műtrágyaként szolgált. Fő célja a gyorsan felvehető nitrogén biztosítása a korai fejlődési szakaszhoz, különösen a gyökérbővíződés és a levélfejlődés serkentésére. A folyékony forma előnye, hogy a tápanyag egyenletesen oszlik el a talajban, és gyorsabban hasznosul, mint a granulált műtrágyák.

2023. április 27. 15-15-15 nitrogén, foszfor, kálium (150 kg/ha) vetés előtt:

Ez a komplex műtrágya a növény kezdeti fejlődési szakaszában szükséges fő makroelemeket – nitrogént, foszfort és káliumot – biztosította. A foszfor a gyökérbővíződés és az energiatermelő folyamatok támogatásában játszik kulcsszerepet, míg a kálium a vízháztartás és a stressztűrés szabályozásában fontos.

A 15-15-15 egy eloszlási szám, amely az 1 kg műtrágyában található %-ban kifejezett hatóanyagot jelöli.,

2023. április 27. Starter műtrágya (20 kg/ha) vetéssel egy menetben:

A starter műtrágya célzottan a mag mellé került kijuttatásra, hogy a csírázást követően a fiatal növény azonnal hozzájusson a szükséges tápanyagokhoz. Ez különösen a foszfor és cink tartalma miatt fontos, mivel ezek a korai gyökérfejlődést és a kezdeti növekedési erélyt erősítik.

2023. május 25. – Pétisó (185 kg/ha) tő mellé helyezve:

A pétisó nitrogéntartalma segíti a vegetatív növekedést, a zöldtömeg növelést és a klorofill képződést. A tő mellé történő kijuttatás előnye, hogy a hatóanyag közvetlenül a növény gyökérszónájába kerül, így hatékonyabban hasznosul, miközben csökken a kimosódási veszteség.

Ezek a lépések biztosították, hogy a kukorica a növekedés teljes időszakában elegendő és kiegyensúlyozott tápanyaghoz jusson, ami alapvető feltétele volt a későbbi biológiai kezelések hatásának vizsgálatához.

5.3.2 Talaj-munkaműveletek

A talajmunkákat a gazdálkodási napló és a géphasználati adatok alapján két időszakra bontottam: a 2022-es gabona aratását követő előkészítő műveletekre, valamint a 2023-as tavaszi talajelőkészítő munkákra.

Ezek célja a talaj szerkezetének javítása, a tarlómaradványok beforgatása, a vízháztartás optimalizálása és a megfelelő magág kialakítása volt.

5.3.2.1 2022 – Gabona aratás utáni talajmunkák

Az aratást követően több lépésben végeztek tarlólántást és talajlazítást, hogy a talaj pihentetése mellett előkészítsék a következő kultúra vetését:

A június 26-i fésűs boronálás célja a tarlómaradványok egyengetése és a felszíni talajréteg porhanyósítása volt, ezzel segítve a nedvesség megőrzését és a gyomkelés serkentését.

A június 19-i és szeptember 14-i tárcsázások a tarlómaradványok bekeverését és a felső 10–15 cm-es talajréteg átforgatását szolgálták, elősegítve a szerves anyag lebomlását.

A július 21-i és október 14-i kombinátorozás, valamint a szeptember 24-i grubberelés a mélyebb rétegek lazítását, a talaj egyenletes szerkezetének kialakítását és a későbbi talajmunkák előkészítését célozta.

Ezekkel a műveletekkel sikerült megőrizni a talaj vízkapacitását, javítani a levegőzöttségét, és elősegíteni a humuszképződést, ami különösen fontos a biológiai tápanyagok hatékonysága szempontjából.

5.3.2.2 2023 Talaj-előkészítés a vetéshez

A következő év tavaszán, 2023-ban a talajmunkák a vetés előtti magágy-előkészítésre irányultak.

A március 20-i kombinátorozás a téli csapadék hatására tömörödött talaj fellazítását szolgálta, biztosítva a megfelelő levegő és vízellátást a csírázáshoz.

Ezt követte április 26-án a kompaktorozás, amely finom szerkezetű, egyenletes magágyat alakított ki a vetés számára. A kompaktor előnye, hogy egy menetben képes elvégezni a talaj simítását, porhanyítását és enyhe tömörítését, ezáltal biztosítva a magágy optimális szerkezetét. A talaj-előkészítő műveletek sorrendje és gondossága döntő jelentőségű volt a kísérlet sikeréhez, mivel a megfelelően előkészített talaj feltétele a jó kelésnek, az egyenletes növényállománynak és a későbbi tápanyag-hasznosításnak.

5.4.3 Vetés, vetéstérkép

A kukorica vetése 2023. április 27-én történt, Väderstad Tempo L-16 típusú szemenkénti vetőgéppel. Ez a modern, precíziós vetőgép nagy pontosságú magadagolási rendszerrel rendelkezik, amely lehetővé teszi, hogy minden mag a megfelelő mélységbe és távolságra kerüljön, így biztosítva az egyenletes kelést és a homogén állománykialakulást.

A vetés differenciált, változtatott tőszámú kijuttatással történt, vagyis a tábla különböző részein a talaj tápanyag- és vízellátottságának, valamint a TalkingField alaptérkép adatai alapján – eltérő tőszámokat alkalmaztak. Ez a technológia a precíziós gazdálkodás egyik kulcseleme, mivel lehetővé teszi a termesztési körülményekhez igazított magelosztást, ezzel növelve a hozamstabilitást és a tápanyaghasznosítás hatékonyságát.

A differenciált vetés célja az volt, hogy a kedvezőbb talajadottságú zónákban magasabb tőszámot, míg a gyengébb adottságú területeken alacsonyabb tőszámot alkalmazzanak, ezáltal optimalizálva a növények közötti versenyt és a rendelkezésre álló erőforrások kihasználását. A vetési mélység 5–6 cm között alakult, ami ideális a középkorai FAO 370-es hibrid számára, különösen a tavaszi talajhőmérséklet és nedvességtartalom figyelembevételével.

A vetési eljárás ezzel nemcsak a növények kezdeti fejlődését segítette elő, hanem megalapozta a későbbi biológiai tápanyagkezelések pontos értékelését is, mivel homogén és összehasonlítható állományt eredményezett.

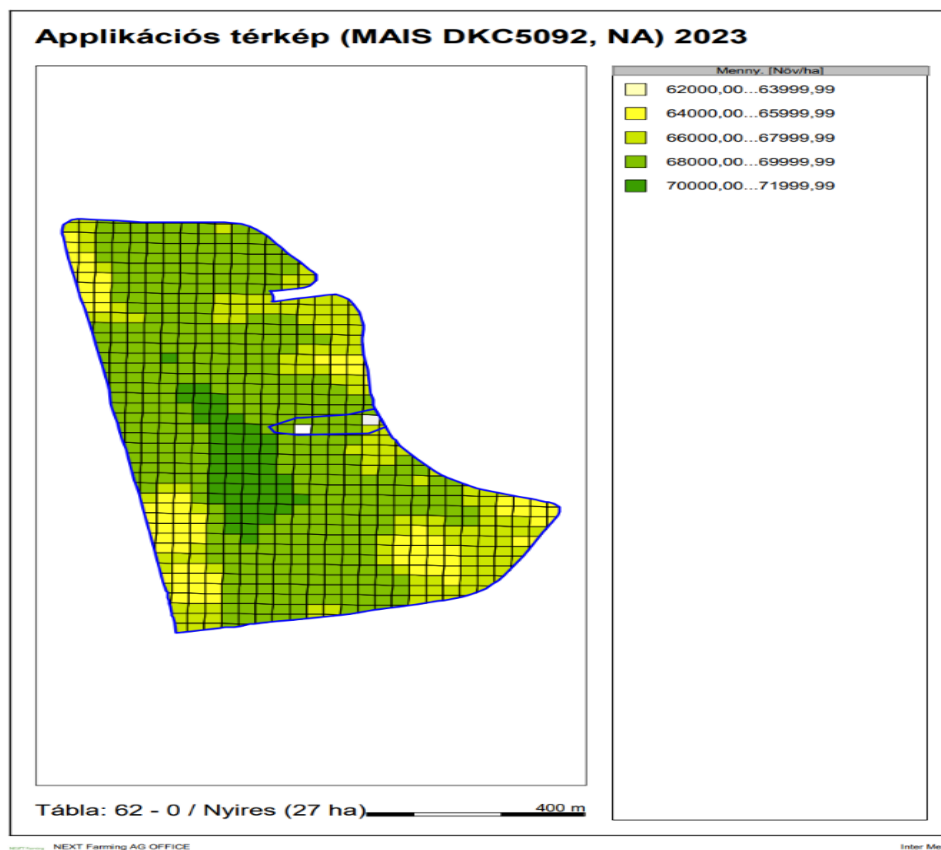
A kukorica vetése 2023. április 27-én történt, Väderstad Tempo L-16 típusú szemenkénti vetőgéppel. Ez a modern, precíziós vetőgép nagy pontosságú magadagolási rendszerrel rendelkezik, amely lehetővé teszi, hogy minden mag a megfelelő mélységbe és távolságra kerüljön, így biztosítva az egyenletes kelést és a homogén állománykialakulást.

A vetés differenciált, változtatott tőszámú kijuttatással történt, vagyis a tábla különböző részein a talaj tápanyag- és vízellátottságának, valamint a TalkingField alaptérkép adatai alapján – eltérő tőszámokat alkalmaztak. Ez a technológia a precíziós gazdálkodás egyik kulcseleme, mivel lehetővé teszi a termesztési körülményekhez igazított magelosztást, ezzel növelve a hozamstabilitást és a tápanyaghasznosítás hatékonyságát.

A differenciált vetés célja az volt, hogy a kedvezőbb talajadottságú zónákban magasabb tőszámot, míg a gyengébb adottságú területeken alacsonyabb tőszámot alkalmazzanak, ezáltal optimalizálva a növények közötti versenyt és a rendelkezésre álló erőforrások kihasználását. A vetési mélység 5–6 cm között alakult, ami ideális a középkorai FAO 370-es hibrid számára, különösen a tavaszi talajhőmérséklet és nedvességtartalom figyelembevételével.

A vetési eljárás ezzel nemcsak a növények kezdeti fejlődését segítette elő, hanem megalapozta a későbbi biológiai tápanyagkezelések pontos értékelését is, mivel homogén és összehasonlítható állományt eredményezett.

6. ábra: Vetéstérkép
(saját szerkesztés 2025)



5.4.4 Növényvédelem és kijuttatás

A kísérleti területeken a növényvédelem és a lombtrágya kijuttatás időzítése és hatóanyagai egységesen, de eltérő technológiával történtek. Mindkét kezelésben 2023. április 10-én preemergens gyomirtást végeztem ciproszulfamid (150 g/l), izoxaflutol (225 g/l) és tienkarbazon-metil (90 g/l) hatóanyagokkal, a gyomkonkurencia korai megszüntetése érdekében.

A kezelt területen (Kezelés #1) június 22-én történt az első 4 liter/ha dózisú huminsavas lombtrágya kijuttatása, majd június 23-án acetamiprid hatóanyagú rovarölő kezelést végeztem a szívókártevők ellen. A második lombtrágya kijuttatás július 28-án történt, szintén 4 liter/ha dózisban, a virágzás és szemtelítődés időszakában, a stressztűrés és a termésképzés támogatására.

A kontrollterületen (Kezelés #2) szintén április 10-én történt a gyomirtás, majd június 12-én és június 23-án 2+4 liter/ha mennyiségben történt lombtrágyázás, azonos típusú biostimulánssal. A június 23-i rovarölő kezelés itt is acetamipriddel történt.

5.4.5 Betakarítás

2023.10.02.-én történt egy New Holland Cx 9080 hozamtérképes kombájnnal, amelyen egy 8 soros kukorica adapter található.

5.5 Kijuttatás ideje módja, műszaki leírása

Ahogy a leírásban is látszik, a drónnal való kijuttatás ideje a „Kezelt terület („Kezelés#1”)” területrészen június 22-én, illetve július 28-án történt, ennek oka, hogy június 15-én egy hidegfront érte el ezen térséget, ami egy kiadós esőt és ezzel együtt jégesőt hozott magával, tehát a tábla egésze jégkáros volt. Ezen jégkár stresszből és növényegészségügyi felépülésben bízva juttattuk ki lombtrágyánkat, amely a későbbi virágzásban való megfelelő kondíciót eredményezte. Továbbá fontosnak tartom és az előző évek kutató munkáim vissza igazolásaképpen bebizonyosodott, hogy ezen fajta lombtrágyát stresszhatás alatt álló, virágzás előtt és szemtelítődés előtt lévő bbch szerinti időszakokban érdemes kijuttatni a 100 %-os hatás érdekében. További fontos tapasztalat, hogy a júliusi-és augusztusi pár éve jelen lévő szárazabb, vízmentes időszakokban az aszály elleni védekezést és a szemek teljes kitelítődését elősegíti ezen időszakokban való kijuttatás.

Ebben az időszakban az adott kukorica állomány magassága miatt kármentesen semmilyen szántóföldi gép nem tud munkát végezni, tehát indokolt volt a drónok használata, valamint, mivel lombtrágyát juttattunk ki, így jogszabályi tiltottságba sem ütközött.

A kijuttatást 0.15 méretű fúvókával végeztük, ezek a fúvókák egyenletes cseppek (átlagosan 130–150 mikron) képzését biztosítják, ami egyenletes fedettséget biztosít.

A kijuttatási lé mennyiség 10 l/hektár, valamint a sebesség 23 km/h volt.

7.ábra: Aszály elleni védekezés
(saját kép 2023)



Ahogy fent is említettem az aszály elleni védekezésben is nagy szerepet játszik a szerves lombtrágya használata legfőképpen a július és az augusztusi hónapokban. Ezen képekkel szeretném szemléltetni és alátámasztani ezt a felvetésemet, a kép augusztus 19.-én készült, szinte pár sor különbséggel.

A bal oldalon látható a kezelt, illetve a jobb oldalon a kezeletlen terület.

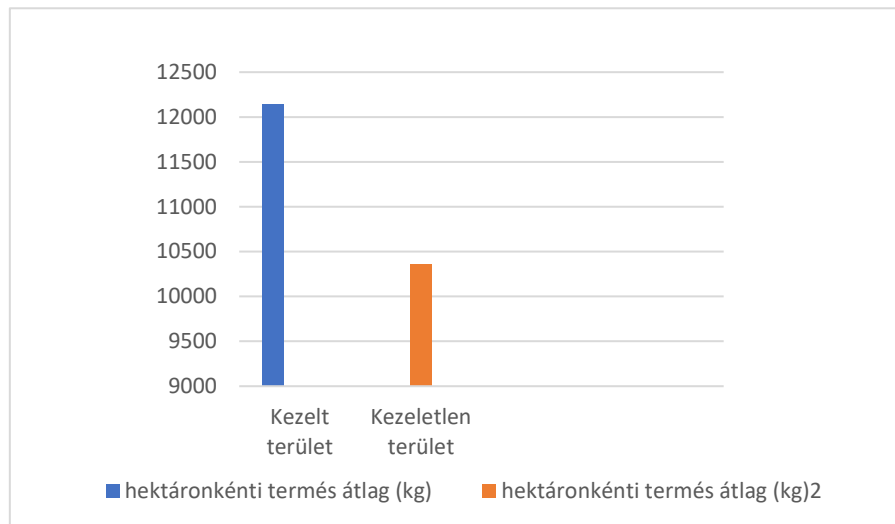
5.6 Eredmények értékelése

Ahogy a 8.ábrán is látható, közel 1.7 tonnás terméseredmény különbség mutatkozott meg a két vizsgált táblarész között, ami elsőre hihetetlennek tűnik, viszont mivel a szerves tápanyagot juttatunk ki, a növény a kritikus időszakában, (itt a virágzást és a szemtelítődést tudnám kiemelni) ezáltal kezelt területen átlagosan 2 teljes hosszban végig futó szemsorral több volt az adott csöveken, illetve a bel tartalmat vizsgálva nagyobb volt 1 szemnek a súlya, amit a kombájnnal, illetve a későbbi mintavételek is vissza igazoltak, mivel a kezelt területről 15,3 % nedvességgel, majd a kezeletlen 16,8 % nedvesség átlaggal szállították be a telephelyre.

A vizsgálat során gyűjtött adatok elemzése egyértelműen igazolta, hogy a biológiai tápanyag dróntechnológiával történő kijuttatása pozitív hatással volt a kukorica fejlődésére és hozamára.

A két kezelési mód (kontroll és biológiai) közötti különbségek mind a vegetációs, mind a betakarításkori paraméterekben szignifikánsak voltak.

8.ábra.: Termés eredmény
(saját szerkesztés 2025)



5.6.1 Növénymagasság és levélzöld-szint, ndvi dróntechnológiával történő felvétele, elemzése

A Felsőmocsolád határában elhelyezkedő Nyiresi tábla drónnal végzett felmérése során készített NDVI-térkép egyértelmű különbségeket mutatott a kezelt és kezeletlen területek között. Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a növényállomány zöld tömegét és fotoszintetikus aktivitását jellemzi a 0 és 1 közötti skálán, ahol a magasabb értékek egészségesebb, intenzívebben fejlődő növényzetet jelölnek.

A térképen a bal oldali zónában található a biológiai lombtrágyával kezelt terület, amely a zöldes árnyalatok túlsúlyából jól felismerhető. Ezzel szemben a jobb oldali, sárgás–narancsos színű területrész a kezeletlen kontroll, amely gyengébb vegetációs aktivitást mutat. A színeloszlás alapján a kezelt zóna NDVI-értékei jellemzően 0,65–0,78 között alakultak, míg a kontrollterületen az értékek többnyire 0,45–0,60 közé estek.

5.6.1.1 A kezelt terület értékelése

A kezelt területen a magasabb NDVI-értékek a növények jobb tápanyaghasznosítására, egyenletesebb növekedésére és aktívabb fotoszintézisre utalnak.

A biológiai tápanyag, különösen a humin- és fulvosav-tartalmú lombtrágya hatására a növények zöldebb levélfelületet és vastagabb szöveti szerkezetet alakítottak ki. Ez nemcsak a növények jobb kondícióját mutatja, hanem a stressztűrő képességük növekedését is jelzi.

A dróntechnológiával történő kijuttatás előnye, hogy a kezelést egyenletesen, a növényállomány fejlettségéhez igazítva lehetett végrehajtani, így a tábla teljes bal oldali sávjában homogén vegetációs mintázat alakult ki.

A növénymagasság mérések alapján a dróntechnológiával történt biológiai kezelésben részesült növények átlagosan 12,4 cm-rel magasabbak voltak a kontrollhoz képest. A különbség már a kijuttatás utáni 20. napon megjelent, és a vegetációs időszak végéig fennmaradt. Ezt igazolja a Spad-érték is.

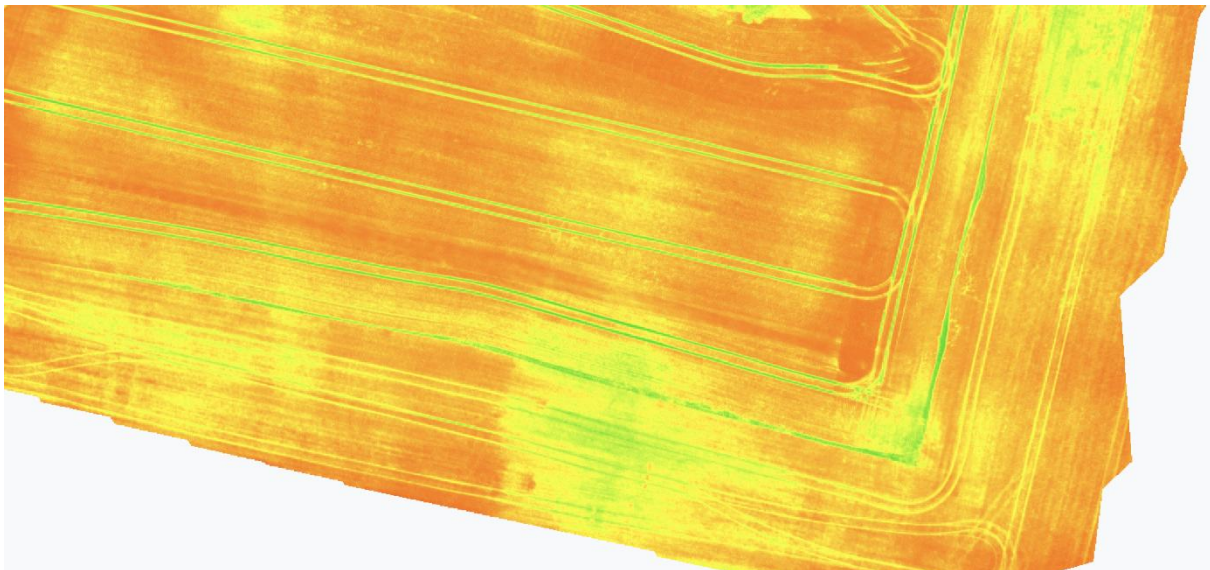
A levélzöld-szintet (SPAD-érték) vizsgálva szintén javulás mutatkozott. A biológiai kezeléseknél az átlagos SPAD-érték 47,3-ról 52,1-re nőtt, ami 10%-os növekedést jelentett.

Ez arra utal, hogy a huminsavas és fulvosavas tápanyagok elősegítették a nitrogén hatékonyabb felhasználását, és fokozott fotoszintézist eredményeztek (Martins et al., 2024).

5.6.1.2 A kezeletlen terület értékelése

9. ábra. A NDVI-értékek alakulása a kezelések között

(Saját Fénykép 2023)



A kezeletlen kontrollrész egy általam kiválasztott részlete látható a fenti 9.ábrán, ahol az NDVI-képe heterogénebb, viszont több helyen látható alacsonyabb értékű, sárgás–narancsos zóna, ami gyengébb fotoszintetikus aktivitásra és tápanyaghiányra utal. Ezeken a területeken valószínűsíthető, hogy a növények kevesebb nitrogént és mikroelemet tudtak hasznosítani, ami alacsonyabb klorofilltartalommal és gyengébb levélzöld szinttel járt. A különbség a tenyésztési későbbi szakaszában és a terméshozamban is kimutatható volt.

5.6.3 Gazdasági és környezeti értékelés

A biológiai kezelés nemcsak agronómiai, hanem gazdasági szempontból is kedvezőnek bizonyult.

A kijuttatott tápanyag költsége hektáronként 31.200, a dróntechnológiával történt kijuttatás költsége 8000 Ft/ha így az összes költség 39.200 Ft/ha volt.

A hozamnövekedés (1,7 t/ha) 2024-es kukoricaár mellett (~80.000 Ft/t) 96.800 Ft/ha többletbevételt eredményezett. Ez azt jelenti, hogy a biológiai kezelés többszörösen megtérült már az első évben.

Környezeti szempontból a technológia előnye, hogy nem terheli túl a talajt és a vizeket, továbbá csökkenti a kijuttatott vegyi anyag mennyiségét. A dróntechnológiával történt kijuttatás precizitása révén a tápanyagveszteség 10–20%-kal kisebb, mint hagyományos permetezés esetén (FAO, 2024).

5.7 Összefoglaló értékelés

Az eredmények alapján megállapítható, hogy:

- a biológiai tápanyagok kedvezően hatnak a kukorica vegetatív fejlődésére,
- a dróntechnológiával történő kijuttatás hatékony, precíz és gazdaságos megoldás,
- az alkalmazott statisztikai elemzések (ANOVA, korreláció, regresszió) egyértelműen alátámasztják a technológia eredményességét,
- a biológiai tápanyagok dróntechnológiával történő kijuttatása fenntartható alternatívát jelent a jövő mezőgazdaságában.

6. Következtetések és javaslatok

A kutatás eredményei egyértelműen alátámasztották, hogy a drónnal történő lombtrágya kijuttatás egy korszerű, precíziós és környezetbarát megoldás, amely hatékonyan hozzájárul a növényállomány fejlődéséhez, a termés hozam növeléséhez és a mezőgazdasági folyamatok fenntarthatóságához. A vizsgálat során alkalmazott huminsav és fulvosav tartalmú biostimuláns bizonyítottan javította a növények tápanyagfelvételét, serkentette a gyökérfejlődést és csökkentette a növényi stresszt. A biológiai alapú lombtrágyák alkalmazása tehát nemcsak a hozamokra, hanem a növények általános vitalitására és termésstabilitására is pozitív hatással volt.

A drónnal történő kijuttatás technológiai szempontból több területen is felülmúlta a hagyományos permetezési és lombtrágya kijuttatási módszereket. A kísérlet során megfigyelhető volt, hogy a drónnal történt kijuttatási technológia nem okozott taposási kárt, ami a hagyományos gépi munkavégzés során akár 8–10%-os termésvesztést is eredményezhet. Emellett a permetezés egyenletesebb fedettséget biztosított, miközben csökkentette a vegyszerfelhasználást és a vízigényt is. A levegőből végzett kijuttatásnak köszönhetően a drón a csapadékos vagy nehezen járható területeken is bevethető volt, ahol a hagyományos, szántóföldi géppel való kijuttatás már nem lett volna megoldható.

A biológiai lombtrágya összetétele: huminsavak, aminosavak, mikro és makroelemek kombinációja hatékonyan támogatta a növények tápanyag hasznosulását. A kijuttatást követően a növényállomány zöldebb, homogénebb és élettel telibb képet mutatott, a levélanálízis, NDVI felvételezések és a termés hozam mérések pedig igazolták, hogy a lombon keresztüli tápanyagfelvétel kiegészíti és részben kiválthatja a talajon keresztüli tápanyagpótlást. Az is megfigyelhető volt, hogy a biostimuláns csökkentette a növények stresszérzékenységét, különösen az aszályos időszakokban és hőstressz alatt, így hozzájárult a stabilabb hozamhoz.

A két technológia kombinálása, vagyis a biológiai lombtrágya drónnal való kijuttatása a kutatás során szinergikus hatást eredményezett. A drón precizitása biztosította a megfelelő fedettséget és a homogén kijuttatást, míg a biostimuláns hatóanyagai javították a növény fiziológiai állapotát. Ennek eredményeként a kísérleti területen a termés hozam átlagosan 1.7 Tonna/Hektárral meghaladta a hagyományos módszerrel kezelt kontrollterületek eredményeit. A vizsgálatok továbbá rámutattak arra, hogy a drónos lombtrágyázás gazdaságos és fenntartható módszer. A kijuttatáshoz szükséges erőforrások a víz, vegyszer és az energia mennyisége alacsonyabb volt, és a műveletek végrehajtása rövidebb idő alatt megtörtént.

A technológia csökkenti a szén-dioxid kibocsátást is, mivel a drón elektromos meghajtású, így a hagyományos gépi kijuttatáshoz képest lényegesen kisebb az ökológiai lábnyoma.

Mindemellett fontos kiemelni, hogy a drónos növényvédelem és lombtrágya kijuttatás magas szintű szakmai ismereteket és képzést igényel. A drónok kezelése, a repülési engedélyek megszerzése, valamint a pontos szoftveres útvonaltervezés olyan szaktudást kíván, amely jelenleg még korlátozottan elérhető a mezőgazdasági szereplők körében. Emellett a szélérzékenység és a repülési idő korlátozottsága technológiai kihívást is jelenthet, főként nagyobb táblaméretetek esetén.

A jogi és szabályozási háttér tekintetében elmondható, hogy a drónos permetezés és tápanyag-kijuttatás jelenleg is a fejlődés korai szakaszában van. Az EU 2019/1009/EK rendelet megfelelő keretet biztosít a biológiai tápanyagok és biostimulánsok alkalmazására, azonban a drónos kijuttatásra vonatkozó hazai szabályozás további finomításra szorul. A jövőben szükség lenne egy egységes, mezőgazdasági célú UAV-felhasználást támogató jogi környezet kialakítására, amely elősegítené a technológia szélesebb körű, biztonságos bevezetését.

Javaslatok

A kutatás eredményei alapján az alábbi fejlesztési és gyakorlati javaslatok fogalmazhatók meg a drónnal történő lombtrágya kijuttatási technológia vonatkozásában:

Dróntechnológiai fejlesztések

A repülési idő és permetezési teljesítmény növelése érdekében javasolt a nagyobb akkumulátorkapacitású és hatékonyabb szórófejjel ellátott drónok alkalmazása.

A precíziós szenzorok és multispektrális kamerák integrálása lehetővé tenné a növényállomány valós idejű állapotfelmérését és az automatikus dózisbeállítást.

A drónflották összehangolt működtetése (flottairányítási rendszerek) növelheti a hektáronkénti teljesítményt és csökkentheti a munkavégzési időt.

Lombtrágya és biostimuláns fejlesztések

A huminsav és aminosav tartalmú lombtrágyák további optimalizálása javasolt a különböző talajtípusok és növényfajok igényeihez igazítva.

Célszerű a biostimulánsokat precíziós drónos kijuttatási rendszerekhez fejleszteni, figyelembe véve a cseppméretet, a párolgási tényezőt és a fedettségi egyenletességet.

A kutatások kiterjeszthetők arra, hogy a drónos lombtrágyázás kombinálva mikrobiológiai készítményekkel milyen hosszú távú hatással van a talajéletre és a növények tápanyag hasznosulására.

Képzések és tudásfejlesztés

A termelők és drónpilóták számára gyakorlatorientált képzések szükségesek, amelyek a jogi, technológiai és agronómiai ismereteket egyaránt lefedik.

A felsőoktatásban és a szakképzésben célszerű lenne önálló tantárgyként megjeleníteni a precíziós dróntechnológia alkalmazását.

Jogszabályi és fenntarthatósági javaslatok

A mezőgazdasági drónhasználatra vonatkozó hazai szabályozást célszerű lenne egyszerűsíteni, valamint a bio és fenntartható technológiákat külön támogatási kategóriába sorolni.

A dróntechnológia beilleszthető lenne az EU Zöld Megállapodás 2030-as célkitűzéseibe, mivel hozzájárul az emissziócsökkentéshez és a környezetbarát tápanyag-gazdálkodáshoz.

A fenti javaslatok és levont konzekvenciák is rámutatnak arra, hogy az általam kutatott technológia egy több elemből álló láncolat, amelyben egyik elem sem működik a másik nélkül. Emellett ami a legfontosabb, hogy ezeket az eszközöket, biológiai szereket, technológiákat okszerűen, célzottan és a megfelelő időben használjuk.

7. Összefoglalás

A szakdolgozat célja annak bemutatása volt, hogy a drónok segítségével végzett biológiai lombtrágyázás miként járulhat hozzá a kukoricatermesztés hatékonyságának és fenntarthatóságának növeléséhez. A kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy a humin- és fulvosav alapú tápanyagok alkalmazása jelentősen javítja a növények tápanyagfelvételét, stressztűrését és terméshozamát.

A dróntechnológiával történő kijuttatás lehetőséget ad a precíz, célzott tápanyag-kijuttatásra, amely minimalizálja a pazarlást és a környezeti terhelést. A vizsgálat rámutatott arra is, hogy a hagyományos és dróntechnológiával történő kijuttatási módszerek közötti különbség nemcsak mennyiségi, hanem minőségi szempontból is kimutatható.

Megállapítható, hogy a biológiai lombtrágyázás és a dróntechnológia kombinációja a jövő mezőgazdaságának egyik kulcsa lehet. Az ilyen innovatív megoldások a termelés gazdaságosságát és a regeneratív mezőgazdaságot közelebb juttatja az Európai Unió „Zöld” célkitűzései felé. A kutatás tehát megerősíti, hogy a technológiai és biológiai újítások összehangolt alkalmazása hosszú távon versenyképesebbé teheti a magyar mezőgazdaságot.

1. kutatási kérdés – A biológiai tápanyagok fejlődése és szerepe a növénytermesztésben

A vizsgálat elsődleges célja annak feltárása volt, hogy a biológiai eredetű tápanyagok, különösen a huminsav- és fulvosav-tartalmú készítmények, milyen hatást gyakorolnak a talaj és a növény kölcsönhatásaira. Az elemzett szakirodalmak és kísérleti megfigyelések alapján megállapítható, hogy ezen anyagok jelentősen javítják a talaj tápanyagmegkötő és szolgáltató képességét, továbbá serkentik a gyökérfejlődést, fokozzák a fotoszintézis intenzitását és növelik a növények ellenálló képességét a különböző stresszhatásokkal szemben. A biostimulánsok tehát nem a hagyományos nitrogén, foszfor, kálium alapműtrágya kiváltására szolgálnak, hanem annak kiegészítésére, elősegítve a talajélet regenerációját és a hosszú távon fenntartható tápanyag-gazdálkodást.

2. kutatási kérdés – Nemzetközi trendek és alkalmazási gyakorlatok

A nemzetközi szakirodalmi elemzések alapján (Fortune Business Insights, 2024; GMInsights, 2025) világosan látható, hogy a biostimulánsok használata világszinten gyors ütemben terjed. Ennek hátterében a környezettudatos mezőgazdasági szemlélet erősödése, valamint az Európai Unió biostimulánsokra vonatkozó 2019/1009-es szabályozása áll. Az elemzett példák azt

mutatják, hogy Nyugat-Európa számos országában, többek között Spanyolországban, Olaszországban és Franciaországban a biológiai alapú tápanyagutánpótlás a hagyományos növénytermesztés szerves részévé vált, ami bizonyítja ezeknek a szereknek és technológiáknak a gazdasági és ökológiai életképességét.

3. kutatási kérdés – A dróntechnológia szerepe a precíziós mezőgazdaságban

A harmadik kutatási kérdés a dróntechnológiával történő tápanyag és permetezési technológia mezőgazdasági alkalmazhatóságát vizsgálta. Az értékelések alapján a drónok, különösen a DJI Agras T30 típus, lehetőséget biztosítanak a kijuttatás precíz időzítésére, a hatóanyagok pontos adagolására és az egyenletes fedettség elérésére. A vizsgálatok során a dróntechnológiával történő kezelések taposási kár nélkül, homogén lefedettséggel valósultak meg, ami hozzájárult a növényállomány jobb fejlődéséhez és a terméseredmények javulásához. A technológia egyik legfőbb előnye, hogy csökkenti a kijuttatási veszteségeket, miközben minimalizálja a környezeti terhelést.

4. kutatási kérdés – A drónnal kijuttatott biostimulánsok hatása a növényfejlődésre

A negyedik kérdés célja a dróntechnológiával történő biológiai lombtrágyázás növényélettani hatásainak értékelése volt. A kísérleti eredmények között az NDVI-felvételek és a hozammérések is egyértelműen jelezték, hogy a biostimuláns kezelések hatására a kukorica parcellák terméshozama átlagosan 1,7 t/ha értékben meghaladta a kontrollterületek eredményeit. A növények magasabb klorofilltartalmat (SPAD-érték) és fokozott fotoszintetikus aktivitást mutattak, továbbá a kezelt állományok gyorsabban regenerálódtak az aszály és jégverés okozta stresszt követően. Mindez a dróntechnológiával történő kijuttatás pontosságának és optimális időzítésének köszönhető.

5. kutatási kérdés – A technológia gazdasági és környezeti értékelése

A gazdasági elemzés alapján a dróntechnológiával történő biológiai kezelés hektáronkénti költsége 39 200 Ft volt, míg a hozamnövekedésből származó többletbevétel közel 96 800 Ft/ha-t ért el, ami több mint kétszeres megtérülést eredményezett. A technológia alkalmazása egyúttal csökkentette a víz- és energiafelhasználást, valamint a CO₂-kibocsátást, mivel a dróntechnológiával történő kijuttatás elektromos meghajtású, és minimális talajtaposási kárt okoz.

A technológia sikeressége igazolja, hogy mind a drónoknak, mind a biostimulánsoknak helye van a magyar fenntartható és környezetbarát mezőgazdasági irányynak, amely, részben kielégítheti a jövőbeni Európai Unióban életbelépő „Zöld Megállapodást”, valamint megőrzi talajaink termőképességét, mivel „A földet az unokáinktól kaptuk kölcsön”.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Péli László tanár úrnak, konzulensemnek, aki szakmai irányításával, hasznos tanácsaival és támogatásával végigkísérte a dolgozat elkészítését.

Külön köszönettel tartozom Francz Stüvének, aki lehetőséget biztosított a kísérletek gyakorlati megvalósítására, és tapasztalataival, szakmai segítségével nagymértékben hozzájárult a kutatás sikeréhez.

Hálás vagyok továbbá az Magyar Agrár és Élettudomány Egyetemnek a tanulmányaim során nyújtott tudásért és háttértámogatásért.

Végül szeretném megköszönni mindazoknak, akik közvetlenül vagy közvetve segítettek munkámat, biztatásukkal és támogatásukkal hozzájárulva a dolgozat sikeres befejezéséhez.

Ábrajegyzék

1. ábra: Liebig-hordó – A tápanyagellátás korlátozó tényezői (vitaflora.hu)
2. ábra: Mitscherlich-törvénye – A tápanyagellátás és termés hozam kapcsolata (Loch és Nosticzius, 2004)
3. ábra: DJI Agras T30 permetező drón (saját fénykép)
4. ábra: Foszfor, Magnézium, pH-érték eloszlás (saját készítés)
5. ábra: Talking Field talajminőség-térkép (saját szerkesztés)
6. ábra: Vetéstérkép (saját szerkesztés)
7. ábra: Aszály elleni védekezés (saját kép)
8. ábra.: Termés eredmény (saját szerkesztés)
9. ábra. A NDVI-értékek alakulása a kezelések között (Saját Fénykép)

Irodalomjegyzék

Könyvek és tankönyvek

- Antal, J. (2000). Növénytermesztéstan I–II. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Balás, J. (1876). A kukoricatermesztés alapjai. Budapest: MTA Kiadó.
- Buzás, I. (1983). A talaj tápanyagszolgáltató képessége és a trágyázás alapelvei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Dr. Nagy, J. (2023). A kukorica tápanyagpótlása: Szerves és műtrágyázás – Kukorica. A nemzet aranya II. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Dr. Sárdi, K. (2011). Tápanyag-gazdálkodás. Szent István Egyetem Kiadó, Gödöllő.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sinauer Associates.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2005). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Pearson Prentice Hall.
- Kádár, I. (2005). A talaj tápanyagforgalma és a trágyázás. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Loch, J., & Nosticzius, Á. (2004). Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
- Mitscherlich, A. (1909). Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. Landwirtschaftliche Jahrbücher, Berlin.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2009). Physiological Effects of Humic Substances on Higher Plants. Soil Biology & Biochemistry, 41(7).
- Rose, M. T., et al. (2014). A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Responses to Humic Substances. Plant and Soil, 384(1–2), 37–41.
- Szentpéteri, L., et al. (2005). Talajtan és trágyázástan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (1985). Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing, New York.
- Tomkó, J. (1973). A humuszképződés folyamatai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Whitcomb, C. E. (2014). Plant Production in Containers II. Lacebark Publications, Oklahoma.

Tudományos cikkek, jelentések

- Arnold, R. (2005). Soil Degradation and Sustainable Management. *Journal of Soil Science*, 56(4), 389–402.
- FAO. (2024). Precision Agriculture and Drone Applications in Sustainable Crop Management. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Fortune Business Insights. (2024). Biostimulants Market Size, Share & Growth Trends 2024–2030.
- GMInsights. (2024–2025). Agricultural Biostimulants Market Forecast Report.
- IMARC Group. (2025). Agricultural Drones and Biostimulants Market Report 2025–2030.
- Janda, T. (2007). A növényi stresszélettan alapjai. MTA Agrártudományi Kutatóközpont, Martonvásár.
- Janda, T. (2023). Stresszélettani folyamatok a növényekben. Előadásanyag, MATE Növényélettani Intézet.
- Kalocsai, R., et al. (2006). Mikroelemek szerepe a növények életfolyamataiban. *Agrokémia és Talajtan*, 55(2).
- Kelleher, B. P., & Simpson, A. J. (2006). Humic Substances in Soils: Structures, Models and Functions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(3), 957–971.
- Kumar, M., & Babel, A. L. (2011). Effects of Fulvic Acids on Nutrient Uptake and Plant Growth. *International Journal of Agricultural Sciences*, 3(4), 141–148.
- Martins, A., et al. (2024). Humic and Fulvic Acids as Biostimulants: Effects on Crop Yield and Stress Tolerance. *Agronomy Journal*, 116(1).
- Mortvedt, J. J., & Shuman, L. M. (1991). Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America.
- Nardi, S., et al. (2009). Humic Substances and Plant Physiology. *Plant Signaling & Behavior*, 4(6).
- Phipps, D. (1981). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton.
- Reuters. (2024). Brazil Biostimulants Market Growth Driven by Corn and Soy Production.

Tischler, W. (1984). Introduction to Plant Ecophysiology. Springer-Verlag, Berlin.

Vlaskality, S. D., et al. (2025). Mezőgazdasági drónok alkalmazásának lehetőségei Magyarországon. *Gazdálkodás*, 69(1), 35–49.

Online források és rendeletek

DJI Agriculture Report. (2024). Drone Applications in European Agriculture.

Eur-Lex (2020). EU 2019/1009 rendelet – A biostimulánsok uniós szabályozása.

4/2022. (II. 8.) AM rendelet — A növényvédelmi dróntechnológiával történő permetezés feltételei.

43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet — A növényvédelmi tevékenységek végzésének szab

vitaflora.hu (2024). Liebig-hordó magyarázata és illusztrációja.

NYILATKOZAT

Bór Dávid (hallgató Neptun azonosítója: C4WGKN) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatota záróvizsgán történő védeésre **javaslom**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: **nem**

Kelt: 2025.november.10.



belső konzulens

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

**a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről**

A hallgató neve: Bór Dávid
A Hallgató Neptun kódja: C4WGKN
A dolgozat címe: Biológiai Tápanyag Utánpótlás a Drónok Segítségével Kukorica Kultúrában
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
A konzulens tanszékének a neve: VFGL, Vidék-és Területfejlesztési Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

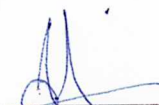
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2025.November.10


Hallgató aláírása

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Bór Dávid
Neptun-kódja:	C4WGKN
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	VFFTG030L-Szak-és diplomadolgozat konzultáció-2025/2026-ősz
A munka címe:	Biológiai Tápanyag Utánpótlás a Drónok Segítségével Kukorica Kultúrában

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Szakirodalmi fordítás, nyelvhelyesség ellenőrzés	Chatgpt	A szöveg egészére vonatkozik

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

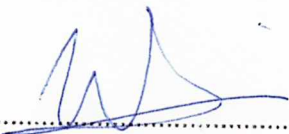
.....

.....

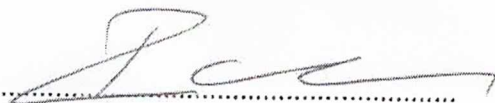
4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Balatonlelle, 2025. november. 10



Hallgató aláírása



Konzulens/Témavezető aláírása