

DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Holb Imre
MTA doktora

Témavezető:

Dr. Zsombik László
tudományos tanácsadó

***Zöldítésben alkalmazott növények
produkciónövénytudományának és talajra gyakorolt hatásának
vizsgálata***

Készítette:

Pál Vivien
doktorjelölt

Debrecen
2025

ZÖLDÍTÉSBN ALKALMAZOTT NÖVÉNYEK PRODUKCIÓBIOLÓGIÁJÁNAK ÉS TALAJRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban

Írta: **Pál Vivien** okleveles agrármérnök

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

Témavezető:
Dr. Zsombik László
tudományos tanácsadó

Az értekezés bírálói:

Név	Tudományos fokozat	Aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

Név	Tudományos fokozat	Aláírás
elnök:
tagok:
.....
.....

Az értekezés védésének időpontja: 20... ..

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	4
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	7
2.1.	A zöldtrágya növények alkalmazásához kapcsolódó korai szakirodalmi források áttekintése	7
2.2.	A vetésforgó rendszerek alkalmazásának előnyei.....	9
2.3.	A zöldtrágya növények vetésforgóba illesztésének előnyei.....	10
2.4.	A zöldtrágya növények talaj fizikai és kémiai tulajdonságára gyakorolt hatásának értékelése	13
2.5.	Különböző zöldtrágya növényfajok értékelése	15
2.5.1.	Zöldtrágyaként alkalmazható növényfajok csoportosítása	15
2.5.2.	A csillagfürt, mint zöldtrágya növény	17
2.5.3.	A tavaszi bükköny, mint zöldtrágya növény	19
2.5.4.	Az olajretek, mint zöldtrágya növény	21
2.5.5.	A pohánka, mint zöldtrágya növény.....	24
2.6.	Zöldtrágya növények fővetésben történő, magcélú termesztésének technológiai elemei	27
2.6.1.	A csillagfürt fővetésben történő termesztése.....	27
2.6.2.	A tavaszi bükköny fővetésben történő termesztése	29
2.6.3.	Az olajretek fővetésben történő termesztése	35
2.6.4.	A pohánka fővetésben történő termesztése	36
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	38
3.1.	A kísérleti helyszín bemutatása.....	38
3.1.1.	Földrajzi fekvés	38
3.1.2.	A kísérleti területek talajainak jellemzői	39
3.1.3.	A főbb meteorológiai paraméterek alakulása a kutatási időszak alatt	40
3.2.	A kísérlet elrendezésének és kezeléseinek bemutatása	47
3.2.1.	Zöldtrágyázási modul	47
3.2.2.	Vetőmagtermesztési modul	50
3.3.	A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó kísérletben végzett vizsgálatok módszertana.....	53
3.3.1.	Talajellenállás mérése	53
3.3.2.	Talajmintavételek a kísérleti kezelésekből, a talajtulajdonságok értékelése	53
3.3.3.	Növényfenometriai, illetve hozam vizsgálatok	55
3.4.	A vetőmagtermesztési modulban végzett vizsgálatok	56
3.5.	Az elemzés során alkalmazott statisztikai módszerek	58
4.	EREDMÉNYEK	59
4.1.	Zöldtrágya növények alkalmazására épülő vetésforgórendszerek komplex értékelése	59
4.1.1.	Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának értékelése.....	59

4.1.2.	Vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya növények hatása a talaj nedvességtartalom értékeinek alakulására eltérő évjáratokban	66
4.1.3.	Vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágyanövények hatása a talaj penetrációs ellenállás értékeinek alakulására	75
4.1.4.	A fővetésben termesztett növények maghozamának alakulása zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a vizsgált évjáratokban	82
4.1.5.	A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerek tápanyagtartalmának és szervesanyag tartalmának változása a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében	92
4.2.	Zöldtrágyanövények fővetésben történő, vetőmagcélú termesztésének, illetve elővetemény értékének értékelése	97
4.2.1.	A csillagfűrt termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző állománysűrűségek és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén	97
4.2.2.	A tavaszi bükköny termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző vetésmódok és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén	99
4.2.3.	Az olajretek termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző állománysűrűségek és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén	102
4.2.4.	A pohánka termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző állománysűrűségek és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén	104
4.2.5.	Fővetésben vetett zöldtrágyanövények elővetemény értékének értékelése kukorica növényen	106
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	109
5.1.	Zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerek értékelése	109
5.2.	Fővetésben vetett, magcélú zöldtrágya növények termesztéstechnológiai jellemzői	114
6.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	116
7.	GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK.....	117
8.	ÖSSZEFOGLALÁS (MAGYAR NYELVEN).....	118
9.	ÖSSZEFOGLALÁS (ANGOL NYELVEN)	125
10.	IRODALOM.....	131
11.	PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	151
	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....	156
	NYILATKOZATOK.....	157
	MELLÉKLETEK	158
	ÁBRÁK JEGYZÉKE	180
	TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	183
	KÉPEK JEGYZÉKE	185
	MELLÉKLETEK JEGYZÉKE	186

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben tapasztalható termelékenységi hatékonyságnövelés jelentős terhet ró a mezőgazdasági környezetre. A környezeti potenciál megóvása érdekében a fenntarthatóság fogalma jelentősebbé vált, a regeneratív gazdálkodási módszerek elterjedése egyre széleskörűbb mind nemzetközi, mind hazai szinten. Évről évre folyamatos kihívásként jelentkezik a növénytermesztésben a klímaváltozás okozta eltérő környezeti feltételekhez való alkalmazkodás. Az éves csapadékmennyiség egyre hektikusabb eloszlása, a nyári periódusban jelentkező forró napok számának növekedése egyre sürgetőbbé teszi az új gyakorlatok bevonását. Az éves csapadékos napok számának országos átlaga 17 nappal csökkent az elmúlt 120 évben, míg a hőségnapok száma ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) közel 16 nappal nőtt 1901 óta éves szinten, emellett a fagyos napok száma 19 nappal csökkent (Forrás: HungaroMet). Jellemző a tendencia, miszerint az éves csapadékmennyiség meghatározó hányada a téli periódusban hullik, így a talajaink víztároló képessége döntő fontosságú. 2019-ben az Európai Unió elfogadta az éghajlati veszélyhelyzetet bejelentő állásfoglalást, ebből adódóan a jogalkotási és költségvetési javaslatoknak összhangban kell lenniük a párizsi klímaegyezmény célkitűzéseivel, megalkotva a klímasemleges Európa programtervezetét, mely alapján a cél 2030-ig az üvegházhatású gázkibocsátás csökkentése 55 %-kal, 2050-ig pedig a klímasemlegesség elérése. Az Európai Unióban az üvegházhatású gázkibocsátás több, mint 10 %-áért a mezőgazdasági szektor felelős, azonban a további ágazatokkal ellentétben, a mezőgazdaságban hatalmas potenciál rejlik a légköri CO_2 megkötése szempontjából, tekintettel a talajban, szerves formában történő megkötés lehetőségére.

A fenntartható gazdálkodás egyik alappillére a talaj környezetközpontú kezelése, mely magában foglalja a víz- és tápanyagkészlet ésszerű használatát, valamint a szervesanyag készlet megőrzését, lehetőség szerinti gyarapítását. Ez utóbbi szempontot szolgálják a különböző zöldtrágyázási módszerek. A hazai agrártámogatási rendszer is nagymértékben épít a másodvetésű zöldtrágya növények, illetve a talajtakarás gyakorlatának beépítésére a gazdálkodási rendszerben. A területalapú, fenntarthatóságot elősegítő alapszintű jövedelemtámogatás feltételrendszere szerint kötelező a vetésváltás betartása, amely másodvetéssel törhető meg, továbbá kötelező a szántóterületek minimum 4 %-át parlagoltatni, vagy minimum 7 %-át nem termelési céllal hasznosítani, amelyből 4 %-on másodvetés alkalmazása, vagy N-kötő növényfajok termesztése alkalmazandó. Az önkéntes vállaláson alapuló Agro-ökológiai program 2023-tól része a Közös Agrárpolitika Stratégiai Tervének, melynek választható elemei a talajtakarás, illetve a növénytermesztés diverzifikációja a

támogatásra való jogosultságért. A zöldtrágyanövények alkalmazása nem újkeletű gyakorlat a növénytermesztésben, azonban a hazai növénytermesztésről általánosságban megállapítható, hogy a zöldtrágya növények alkalmazásában rejlő potenciál kihasználtsága alacsony mértékű a nem okszerű alkalmazásból adódóan. A zöldtrágyázás, mint a fenntartható gazdálkodási módok egyik alapvető eleme kockázati tényezőket is tartalmaz, azonban számos kutatás támasztja alá, hogy a vetésforgóban helyesen alkalmazott zöldtrágyázási gyakorlat rövid és hosszú távon is előnyökkel járhat, mind a gazdasági hasznot hozó növény hozamát, mind a talajállapotot tekintve, továbbá a regeneratív gazdálkodási eszközök egyik leghatékonyabb eleme. A zöldtrágyanövények alkalmazásának alapvető céljai a biodiverzitás növelése és a CO₂ kibocsátás csökkentése direkt és indirekt módon. A növényzettel borított talajfelszín széndioxidot köt meg, továbbá a megtermelt szervesanyag talajba forgatása révén a következő kultúra számára a műtrágya igény csökkenthető. A talaj szervesanyag tartalma tekintetében nem csak a föld feletti biomaszatömeg számottevő a különböző zöldtrágyanövény fajok esetében, az úgynevezett gyökértrágya hatás számos pozitív folyamat katalizátora a talajban. A különböző gyökerezési mélységű növények eltérő méretű kapillárisokat alakítanak ki a talajban, mely javítja a talaj vízgazdálkodását, továbbá a megnövelt szervesanyag mennyiség a talajban hozzájárul a megfelelő méretű talaj aggregátumok képződéséhez. A növényzettel borított talajfelszín gátolja az eróziós és deflációs folyamatokat, továbbá a talaj takarása gátolja a nem kívánt gyomfajok felszaporodását.

A hazai zöldtrágyázási gyakorlat nagymértékben külföldi eredményekre és tapasztalatokra támaszkodik. Ugyanakkor hazánk sajátos ökológiai és termelési viszonyai, egyedülálló vetésszerkezete az alkalmazástechnológia validálását teszik szükségessé. Ez egyrészt hazánk edafikus variabilitásából, másrészt klimatikus adottságainkból adódik. A jelenleg alkalmazott zöldtrágyázási stratégiák sok esetben sematikusak, így az alkalmazott zöldtrágyanövények pozitív hatása nem minden esetben érvényesül.

Kutatómunkánk során a zöldítésben alkalmazható növényfajok közül a csillagfürt, tavaszi bükköny, olajretek és pohánka zöldtrágya növények esetében vizsgáltuk azok biomasz hozamát, illetve a talajra, annak tápanyagtartalmára és az utóveteményre gyakorolt hatását. Tekintettel a zöldtrágyanövények vetőmagtermesztéséhez kapcsolódó szakirodalmi és termesztéstechnológiai adatbázis korlátolt mivoltára, ezen növényfajok eltérő ökológiai érzékenységből adódóan a termesztéstechnológiai validálásuk hazai viszonyokra alapozottan okszerű. A kísérlet vetőmagtermesztési moduljában az említett növényfajok vetőmagtermesztési paramétereit (mennyiségi és minőségi) vizsgáltuk különböző

agrotechnikai elemek alkalmazásával és azok változtatásával. A négy éven keresztül, szántóföldi körülmények között végzett vizsgálatokból kapott eredmények lehetőséget adtak arra, hogy hazai ökológiai viszonyaink között hatékony termesztéstechnológiai javaslatokat dolgozzunk ki, melyek alkalmasak a környezetterhelés jelentős mértékű csökkentésére, az ipari eredetű inputfelhasználás csökkentésére.

Kutatómunkánk során az alábbi célkitűzéseink voltak:

- Az elővetemény, illetve az évjáratok hatásának meghatározása a különböző zöldtrágya növényfajok biomassza hozamára
- A zöldtrágya növények rövid és hosszabb távú hatásának meghatározása a talaj nedvességtartalmára, penetrációs ellenállására és tápanyag tartalmára (szervesanyag tartalom, nitrit + nitrát N tartalom, felvehető P és K tartalom)
- A zöldtrágya növények trágyaértékének meghatározása különböző vetésidejű növényfajokon
- A vizsgált zöldtrágya növényfajok reakciójának vizsgálata a különböző termesztéstechnológiai változókra, illetve évjáratokra fővetésben történő, magcélú termesztés esetén
- Fővetésű, magcélú zöldtrágya növények elővetemény értékének meghatározása különböző tápanyagellátási szintek mellett

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A zöldtrágya növények alkalmazásához kapcsolódó korai szakirodalmi források áttekintése

A talajok természetes egyensúlyának és megújuló képességének fenntartásához elengedhetetlen a növényzet folyamatos jelenléte, azonban az intenzív növénytermesztési technológiákból adódóan a talaj számos természetellenes hatásnak van kitéve. Kemenessy már 65 évvel ezelőtt rávilágított a problémára, miszerint a talajok nagymértékű szervesanyag-csökkenése a szervesanyag-bevitel és a talaj biológiai aktivitásának csökkenésével, az elszegényedő vetésforgóval, az eróziós és deflációs veszteségekkel magyarázható (Kemenessy, 1959). A szerkezetromlás a talaj degradációjának igen fontos kísérőjelensége, melynek során a talajok térfogattömege 10-20 év alatt 1,1-1,3 g/cm³ értékről 1,5-1,7 g/cm³ értékre nő (Láng, 1983; Birkás, 1987). A jelenség a talaj szervesanyag-hiányára, biológiai aktivitásának csökkenésére vezethető vissza (Ángyán és Menyhért, 1989). A mélyre hatoló gyökérszerű növények átlazítják az altalajt, a gyökerek korhadásukkal növelik a talaj szervesanyag-tartalmát, az általuk képzett járatokkal javul a talaj kapilláris vízemelő képessége is (Westsik, 1965; Kemenessy, 1959). A zöldtrágyázás fogalma egyáltalán nem újkeletű, az alkalmazásából eredő előnyöket már a múlt évszázadban is leírták. Zöldtrágya növénynek a még el nem halt, zöld, lédús, cukorban, keményítőben, fehérjében és nitrogénben gazdag növényeket tekintjük, amelyeket trágyázási céllal fejlődésük vegetatív szakaszában dolgozunk a talajba (Gyárfás, 1916; Westsik, 1932; Kahnt, 1986; Kismányoky, 2005). A bedolgozás idejének megválasztásában különböző lehetőségek vannak, amelyekről a szerzők eltérően vélekednek. Cserháti (1897) szerint az optimális, ha a zöldtrágya növényt a fagyok után szántják alá, mivel akkor már magától is erősen összeesik, továbbá úgy sem veszít hatásából, ha tavasszal kerül alászántásra. Kreybig (1955) is a tavaszi bedolgozást javasolja a tavaszi vetésű utóvetemények alá. Azonban Gyárfás (1933) eredményei alapján a tavasszal alászántott zöldtrágya után a hatás intenzívebb, de rövidebb ideig tartó lesz, mint az ősszel aláforgatott esetében, ezért homoktalajokon az őszi bedolgozást javasolta.

Kahnt (1986) megállapításai alapján a zöldtrágya növénynek utóveteményre gyakorolt hatása az alábbi tényezőktől függ:

1. a zöldtrágya növény és az utóvetemény fajától,
2. a zöldtrágya növények C/N arányától,
3. a felhasznált, és a zöldtrágya növényben jelen lévő víz mennyiségétől,

4. az oldható tápanyagok mennyiségétől,
5. a jelenlévő növekedésserkentő, -gátló anyagok mennyiségétől,
6. a zöldtrágya növény elfásodottságának mértékétől,
7. a zöldtrágya növények által megtermelt biomassza tömegétől,
8. a zöldtömeg N tartalmától,
9. a vegetációs időszak hosszától,
10. a gyökértömegtől, annak eloszlásától,
11. a zöldtrágya növény nematódákra gyakorolt hatásától,
12. a bedolgozás és a talajművelés minőségétől,
13. a zöldtrágya bedolgozása és a következő növény vetése között eltelt időtől.

A vetéscserékbe illesztett zöldtrágya növények jótékony hatással vannak a talaj fizikai és biológiai állapotára, javítják vízgazdálkodását, növelik szervesanyag tartalmát, csökkentik az eróziós és a deflációs károkat (*Lazányi, 2000*). Gyökereik dúsán átszövik a talómaradványokat, elősegítve azok bomlását. Gyors növekedésükkel jelentős mennyiségű nitrogént vesznek fel a talajból, megakadályozva annak kimosódását, megőrizve ezzel az utónövény számára azt (*Hansen és Djurhuus 1997*). Gyökértrágya növényeknél az elsődleges cél a nagy gyökértömeg fejlesztése. A gyökér képezte járatokkal javul a talaj kapilláris vízemelő-képessége. Az elkorhadó gyökér- és talómaradványok növelik a talaj szervesanyag tartalmát. Gyökértrágya szerepe a napraforgónak, a lucernának, a csillagfürtnek és a fehérvirágú somkórónak van (*Westsik, 1965*). *Ajtay (1957)* véleménye szerint bár zöldtrágyanövények esetenként jelentős mennyiségű vizet használnak fel, hosszútávon kiegyenlítődnek a zöldtrágya növények nagyobb vízfelhasználásából eredő esetleges pillanatnyi hátrányok, a 25 év átlagában a zöldtrágyázott parcellák többet teremtek, az ide vetett növények jobb aszálytűréssel rendelkeztek. *Kobus et al. (1987)* kimutatták, hogy a növényi maradványok a degradált talajon javították a talaj biológiai aktivitását, növelték a cellulózbontó mikrobák számát, így a termésre is pozitív hatást fejtenek ki. *Kreybig (1955)* számításai alapján a pillangós zöldtrágyázás 22-30 t zöldtömeget szolgáltathat hektáronként, amiben 40-80 kg nitrogén van, amely 200-400 kg pécisóval egyenértékű. *Cserhádi* már 1897-ben felismerte az áttelelő zöldtrágya növények köztes védőnövény funkcióját, mely szerint „azok gyökereikkel összegyűjtik a talajban fölvehető alakban lévő nitrogént, s így meggátolják azt, hogy ezen nitrogént a téli nedvesség a mélyebb rétegekbe mossa”.

Természetesen a zöldtrágya növények alkalmazása is rendelkezik rizikófaktorral, kivitelezése körültekintő szakértelmet igényel. Egyes esetekben a zöldtrágyanövények

elvonhatják a tápanyagot és a vizet, akadályozhatják a talajelőkészítést (Roszik, 1993). Gyárfás (1953) hasonló megfigyelései szerint az esetenkénti túl nagy zöldtömeg is okozhat gondot a jelentős vízfelhasználása miatt. Kismányoky (1993) is felhívta a figyelmet arra, hogy a másodvetésnél szélsőséges éghajlati viszonyok között (elsősorban a csapadékhiány miatt) a zöldtömeg mennyisége rendkívül bizonytalan. Kerpely (1895) egyik kísérlete után azt tapasztalta, hogy a másodvetésű csillagfürt után termesztett zab a kontroll területéhez képest kisebb termést adott. A jelenséget azzal magyarázta, hogy a jobb nitrogénellátottság a zab bujább fejlődését vonta magával, így érését hátráltatta, a fellépő hőségben kényszerérés következett be. A zöldtrágyázás gazdasági eredményessége sokszor azért is korlátozott, mert magas járulékos költségeket vonhat maga után a zöldtrágya növények vetése (Posner et al. 1995).

2.2. A vetésforgó rendszerek alkalmazásának előnyei

A vetésforgó rendszerek alkalmazása nagymértékben javítja a növénytermesztés hatékonyságát (Liu et al., 2022; Zotarelli et al., 2012). A növénytermesztési rendszerek diverzifikációja olyan növényfajok vetésforgóba illesztésével, amelyek több szervesanyagot hagynak hátra, hozzájárulnak a fenntartható mezőgazdaság gyakorlatának kialakításához (Constantin et al., 2010; Kumar és Gon, 1999). A talaj tulajdonságainak javulása, például a talaj vízfelvevő- és tárolóképeségének növekedése, valamint a hasznos talajszerkezetek számának növekedése enyhítheti az aszály és más stresszhatások terméshozamra gyakorolt negatív hatásait a különböző vetésforgókban (Shah et al., 2021). A vetésforgón alapuló gazdálkodási rendszerek befolyásolhatják a talajromlás típusát, mértékét és súlyosságát a szerves szénkészletre, a talajszerkezetre, a víz- és tápanyaggazdálkodási tulajdonságokra, valamint a nitrát kimosódására gyakorolt hatásuk révén (Lal, 2015; Lawson et al., 2015; Dinnes et al., 2002; De Baets et al., 2011). A vetésforgókban alkalmazott különböző növényfajok a kedvezőtlen időjárás hatásait is csökkenthetik. A vetésforgóban a terméshozam növekedése a negatív stresszorok mérséklésének köszönhető a monokultúrás termesztési rendszerekhez képest (Zeng et al., 2016). A vetésforgók alkalmazása, mint a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok egyik eszköze, nem újkeletű. A gazdálkodók úgy vélték, hogy a vetésforgó előnyeit az új, gyorsan fejlődő technológia és a monokultúrás termesztési rendszerek váltják fel. A mezőgazdaságban bekövetkezett változások, a környezetvédelmi aggályok a vetésforgó rendszerek új és alapos vizsgálatát teszik szükségessé (Higgs et al., 1990). A főként monokultúrára vagy nagyon kevés növényfajra épülő termelési rendszer vetésforgóinak

diverzifikálása érdekében indokolt a növénytermesztés különböző módosításainak alkalmazása, amelyben a különböző zöldtrágya növények alkalmazása megoldást jelenthet a nyári parlagon hagyott időszak kiváltására. A zöldtrágya alkalmazása az agrárökoszisztémák fenntartható kezelésének alternatív módszere (Cherr et al., 2006). A fenntartható tápanyagutánpótlás alapjai a termelési rendszerek diverzifikációján alapszik, amelyben a köztesnövények a főnövény termésére gyakorolják a legszámottevőbb hatást. A vetésforgó és a zöldtrágya használata a talajművelés nélküli rendszerekben is a legtöbb esetben növeli a kukorica és a szója terméshozamát a téli parlagon hagyott, illetve a talajművelés nélküli rendszerekhez képest. (Forte et al., 2014).

2.3. A zöldtrágya növények vetésforgóba illesztésének előnyei

Problémát jelent, hogy a jelentős degradációs folyamatok, mint például az erózió, a tápanyag kimosódás és a talaj tömörödés döntően azon periódusban megy végbe, amikor a talajt nem borítja növényzet. A 21. századi növénytermesztés fenntarthatóságának kulcskérdése, hogy a mezőgazdaság milyen speciális agronómiai gyakorlatokat dolgoz ki ezen periódus alatt végbemenő negatív hatások mérséklése érdekében. (Lal és Pierce, 1991). Az állatállomány jelentős csökkenéséből adódó szervestrágya hiány, illetve a talajok fizikai, biológiai állapotromlása miatt szükséges a zöldtrágya növények újbóli fő- és másodvetésű termesztésbe vonása (Németh et al., 2003). A felsorolt okok miatt szükséges a szervesanyag-tartalom növelésének más eszközeit is alkalmazni, erre nyújt lehetőséget a zöldtrágyázás. Martens és Frankenberger (1992) szerint a zöldtrágya növeli a talaj szerves széntartalmát, az aggregátumok stabilitását, javítja a beszivárgási együtthatókat és a hidraulikus vezetőképességet, és csökkentheti a talaj tömörödését. A zöldtrágyák gyökérrendszere jelentősen javítja a talaj szerkezetét és biológiai aktivitását (Nyiraneza, 2003). Couëdel et al. (2018) vizsgálatai szerint a zöldtrágya növények bármely típusának alkalmazása esetén hatékonyabb a N újrahasznosítása, a talaj termékenységének fenntartása és a talaj szervesanyag-tartalmának növelése szempontjából, mint a zöldtrágya alkalmazása nélküli vetésforgó rendszerekben. Schipanski et al. (2014) becslései szerint a zöldtrágya 11 ökoszisztéma-szolgáltatásból 8-at javíthat anélkül, hogy a haszonnövények terméshozamokat negatívan befolyásolná. Azonban az ökoszisztéma-szolgáltatások mérésekor a kumulatív értékelések félrevezetőek is lehetnek egyes szolgáltatások in situ jellege és a kezelések időérzékenysége miatt. Például a tápanyag-visszatartási előnyök elsősorban a zöldtrágyák növekedési időszakában jelentkeztek, viszont a gyomszabályozási előnyök a főnövény növekedési

időszakában jutnak érvényre, a talaj szén-dioxid megkötése pedig évtizedek alatt mutatható ki. A zöldtrágya növényeket alkalmazott és a zöldtrágya nélküli termelési költségek közötti különbségek az elmúlt 10 évben háromszorosára nőttek, ami nagyrészt a műtrágyaárak változásának köszönhető, így a zöldtrágya használata a műtrágyaárak növekedésével gazdaságosabbá vált. (Cherr et al., 2006). Behnke és Villamil (2019) különböző zöldtrágya növényeket vizsgáltak kukorica-szója vetésforgóban, és megállapították, hogy egyes zöldtrágya fajok jelentősen csökkenthetik az üvegházhatású gázok kibocsátását, csökkenthetik a talaj NO₃-tartalmát, és nincs negatív hatásuk a termés hozamra. A másodvetésű zöldtrágya növények előnyei, hogy organikus anyagokat juttatnak a talajba, csökkentik az erózió kockázatát és korlátozzák a nitrát kimosódását (Rinnofner et al., 2008). Emellett jó gyomelnyomó képességgel rendelkeznek (Poggio, 2005), csökkentik a kártevők terjedését (Caner és Tuncer, 2001) és néhány faj bizonyos kártevők tekintetében negatív hatást gyakorol azok fejlődésére (Murakami et al., 2000). A talaj szerves alkotóelemei befolyásolják a talaj részecskék aggregációját és javítják víztartó képességét (Franzluebbers, 2002). Nagy és Seiwerth (2005) felhívja a figyelmet, hogy a zöldtrágya növények gyökérzetének már életük során is nagy hatásuk van a talaj szerkezetére, annak biológiai aktivitására. Emellett erózió- és deflációcsökkentő szerepet is ellátnak. A módszerek közül az alá-, a rá- és a keverékvetés ismert. Az alávetés során a tavaszi kalászossal együtt kétmenetben, míg a keverékvetésnél egy menetben történik a vetés. Rávetésnél a már bokrosodott őszi kalászosba tavasszal vetik el a zöldtrágyanövényt (Gyuricza, 2006).

A zöldtrágya növények vetésforgóba illesztésének hatásáról számos tanulmány készült, amely rávilágít a zöldtrágyázás szerepére a következő növény termés hozama szempontjából (I. táblázat). A szerzők többségében pozitív hatásról számoltak be a vizsgált növényfajok esetében, mely pozitív hatások 0,4 és 61 % közötti hozamnövekedést jelentettek a kontrollhoz viszonyítva.

1. táblázat. Zöldtrágya növények előveteményértéke a főnövény hozama tekintetében különböző irodalmi források alapján

Főnövény	Zöldtrágya növény	Növekedés/Csökkenés (%)	Szerző
Tavaszi búza	hereféle, köles, pohánka, repce, mustár	+ 13-68	<i>N'Dayegamiye és Tran (2001)</i>
Tavaszi búza	lóbab, takarmányretek, mustár, repce, olaszperje	+ 5-28	<i>Talgre et al. (2011)</i>
Tavaszi búza	vöröshere, szarvaskerep, lucerna, fehér somkóró	+ 0,4-42	<i>Talgre et al. (2012)</i>
Tavaszi árpa		+ 12-34	
Zab		+ 5-17	
Tavaszi búza	borsó, csillagfűrt, lóbab, tavaszi bükköny	- 15-21	<i>Sarunaite et al. (2010)</i>
Tavaszi árpa	borsó, csillagfűrt, mustár, repce, facélia, napraforgó	+ 3-16	<i>Jaskulski et al. (2000)</i>
Burgonya	mustár, facélia	+ 13-61	<i>Plaza et al. (2009)</i>
Tavaszi árpa	borsó	+ 9	<i>Wilczewski (2014)</i>
Tavaszi árpa	facélia, mustár, napraforgó	nincs hatás	<i>Wrzesinska et al. (2017)</i>

A zöldtrágya növények elterjedésének egyik korlátja a korlátozott vetési időintervallum (*Roesch-McNally et al., 2017*), a zöldtrágyanövények vetésideje szempontjából a nagyobb biomassza, N-felvétel és talajborítottság elérése érdekében másodvetés esetében korai vetésidő (augusztus-szeptember) ajánlott (*Lawson et al., 2015*). A zöldtrágya növények biomasszájának tömegét nagymértékben befolyásolja a vetés időpontja; a nem áttelelő zöldtrágya növények esetében a késői vetés növeli a kifagyás kockázatát, különösen a hüvelyesek esetében (*Brandsaeter et al., 2008*). A korai vetés nem mindig lehetséges, ez a zöldtrágya-kultúrát megelőző növény betakarítási idejétől és a vetési időszakban jellemző időjárástól függ. Szemi-arid körülmények között gyakori, hogy a vetés időpontját a nagyobb mennyiségű őszi csapadékhoz kötik, de ez a csapadék késhet, időpontja nehezen kiszámítható (*Gabriel és Quemada, 2011*). A zöldtrágya növények ökoszisztémára gyakorolt pozitív hatásai helyspecifikusak, és e növények hatékonysága a változó csapadékviszonyokkal rendelkező régiókban nem mindig jut érvényre (*Blanco-Canqui et al., 2015*). *Késmárki és Petróczki (2003)* szerint a zöldtrágyázás során cél – legfeljebb 70-90 nap alatt – a legalább 10 tonna zöldtömeg elérése hektáronként. A zöldtrágya növények után termesztett növények hozamát és minőségét általában a zöldtrágya növények fajtája, faja és biomassza-hozama, a C:N arány, a szerves anyag talajba történő bedolgozásának dátuma, valamint a termőhely, a talaj és az időjárási viszonyok befolyásolják (*Wojciechowski, 2009*). *Brant et al. (2011)* kimutatták, hogy a

zöldtrágya növények vetése előtti csapadékmennyiség és a vegetációs időszak átlaghőmérséklete fontos a növények általi föld feletti biomassza-termelés szempontjából.

2.4. A zöldtrágya növények talaj fizikai és kémiai tulajdonságára gyakorolt hatásának értékelése

A nyári ugaroltatás alapvető célja a talaj nedvességtartalmának megőrzése, amely elengedhetetlen az eredményes növénytermesztéshez, azonban ez az eljárás a természeti erőforrások alacsony kihasználási hatékonyságát eredményezi. A nyári ugaroltatás további hátránya a talajtípustól függő gyenge víztároló kapacitás, illetve a fokozott kitétség a talajerózióknak (*Tanaka és Aase, 1987; Black és Bauer, 1988; Steiner, 1988*), mely a talaj degradációja esetében veszélyezteti a termelés fenntarthatóságát. A zöldtrágya növényként is használt, mélyen gyökerező takarmánynövény fajok és évelő hüvelyes fajok kimeríthetik a talaj víztartalékait, ezáltal csökkentve a későbbi gabonanövények hozamát, ezért *Janzen (1987)* szemiárid területeken nem javasolja természetükbe vonását. *Biederbeck et al. (1993, 1995, 1996)* azonban javasolják használatukat a szemiárid térségekben is abban az esetben, ha rövid tenyészidejű megoldásokat választunk. *Li et al. (2000)* különböző vetésciklusok vizsgálata során megállapították, hogy a különböző zöldtrágyanövények természetük az ugaroltatás periódusában nem volt hatással a talajban tárolt víz mennyiségére. *Brown et al. (1983)* megállapították, hogy a gyökérszónán túl elhelyezkedő vízvezető járatok hatással vannak a sók kimosódására, valamint a talaj felszínére kijuttatott tápanyagok és egyéb növénytermesztés során használt hatóanyagok kimosódására is. Számos szerző nitrogénkötő növényfajokkal történő zöldtrágyázás alkalmazását javasolja ugaroltatás helyett a degradált talajok javításának alternatívájaként (*Biederbeck, 1990; Wright, 1990; Campbell et al., 1991*). A zöldtrágya növények rövid vegetációs periódusából adódóan korlátozott időintervallum áll rendelkezésre a pozitív hatások kifejeződésére, továbbá ellentétben a főnövények természetével, a zöldtrágyanövények vegetációs periódusát rögtön téli időszak követi, amely a biológiai aktivitás csökkenésével jár (*Rücknagel et al., 2016*). *Mikó (2009)* vizsgálataiban a zöldtrágya növények bedolgozása után 2-3 hónappal alakult ki a kedvezőbb talajállapot. *Zhang et al. (2016)* hüvelyes növényekkel történő zöldtrágyázási kísérletük alapján száraz évjáratban a zöldtrágya növények átlagosan 6,3 – 14,0%-kal csökkentették az őszi búza hozamát az ugaroltatáshoz képest, azonban normál és csapadékos évjáratban azonban 19-39%-kal és 4,2-28%-kal növelte a búza hozamát a zöldtrágyázás alkalmazása. *Li et al. (2000)* és *Allen et al. (2011)* tapasztalatai is alátámasztják, hogy normál és csapadékos évjáratban a zöldtrágya növények nem voltak jelentős hatással a talaj víztároló képességére. *O’Dea et al. (2013)*

kísérletei alapján arra az eredményre jutottak, hogy a zöldtrágyanövények nem korlátozták a búza számára elérhető talajnedvességet jó csapadékellátottságú évjárat esetén. A zöldtrágya növények virágzás fenofázisában történő talajba dolgozása pozitív hatással volt a talaj nedvességtartalmára, azonban más megfigyelések azt mutatták, hogy a talaj gravimetrikus víztartalma csökkent a zöldtrágya kezelés hatására (Ma et al., 2021). A zöldtrágya növények alkalmazása megnövekedett vízfogyasztást eredményezhet száraz évben alacsony csapadékmennyiség esetén, illetve abban az esetben, ha a zöldtrágyanövények vetésének időpontja megkésett volt (Allen et al., 2011; Zhang et al., 2007). Arshad és Coen (1992) 6 éven át tartó kísérletének eredményeképpen a búza termesztése után a 0 - 10 cm mélységből vett talajminta elemzése azt mutatta, hogy a vizsgált talaj biokémiai és fizikai tulajdonságainak többsége jelentősen javult (az ugaroltatáshoz képest) a hüvelyes zöldtrágyával kezelt területeken. Általánosságban a zöldtrágya növények alkalmazása csökkentette a deflációnak kitett frakcióméretet a talajban. A zöldtrágya növények termesztése után javult a nedves talaj aggregátumok stabilitása is, amely összefüggésben van a talaj teljes nitrogén készletének növekedésével. Hababi et al. (2013) a különböző zöldtrágya növények között nem tapasztaltak statisztikailag igazolható különbséget a talaj nedvességtartalmára gyakorolt hatás tekintetében, azonban tapasztalataik alapján a zöldtrágya használatával csökkent a talaj tömörödöttsége, illetve nőtt a szervesanyag tartalma, amely elősegítette az aggregátumok képződését, így növelve a talaj porozitását és nedvességtartalmát.

Nem elhanyagolandó szempont, hogy a zöldtrágya növények alkalmazása negatív hatással is lehet a talajnedvesség szolgáltató képességére a zöldtrágyát követő növény számára, tekintettel az extra vízigényre a növények fejlődése során, különösen azokon a szemi-arid, arid területeken, ahol a csapadék mennyisége limitált, eloszlása nem egyenletes (Unger és Vigil, 1998). McGuire et al. (1998) a talajba forgatott zöldtrágya növények után termesztett búza hozamában nem tapasztaltak kimutatható kezeléshatást. Zentner et al. (1996) és Brandt (1999) véleménye szerint a legtöbb zöldtrágyázási tanulmány rövid távú, legfeljebb 6 éves, azonban ezen ezek a termesztési rendszerek tanulmányozása több időt igényel, mire a zöldtrágya növények pozitív hatásai nyilvánvalóvá válnak. Véleményük szerint a zöldtrágya növények korábbi vetésideje, illetve a korábbi talajba forgatási ideje az optimális ősszel a tavaszi vetésű főnövények szempontjából.

A másodvetésű zöldtrágya növények termesztésekor a nitrogén (N) kimosódási veszteségeinek megakadályozása érdekében fontos, hogy képesek legyenek a talaj nitrát-N készletét hatékonyan hasznosítani. Ezért ezen növényeknek elegendő biomasszát kell

fejleszteni a nitrogén hatékony felvételéhez, továbbá megfelelő gyökérrendszert, amely hozzáfér a talaj tápanyagkészletéhez. (Lainé et al., 1993; Thorup-Kristensen, 1993). A gyökérmélység különbségei miatt a N-kimosódás különbségei különös jelentőséggel bírnak a környezetvédelem szempontjából. A mély talajrétegekben a N hajlamosabb a kimosódásra, mint a felső talajrétegekben. Ezért a mély talajrétegekből egy mélyen gyökerező növény által felvett N nagyobb mértékben hozzájárul a N kimosódási veszteség csökkentéséhez, mint azonos mennyiségű, felsőbb talajrétegekből felvett N (Thorup-Kristensen és Nielsen, 1998). Thorup-Kristensen et al. (2003) vizsgálatai szerint a borítatlan talajfelszínhez képest a nem hüvelyes zöldtrágya növény fajok hatékonyan csökkentik a talajban a nitrát kimosódást, míg a hüvelyes növényfajok a legalkalmasabbak a talaj nitrogén készletének utánpótlására. A zöldtrágya növények talajba forgatását a klimatikus viszonyok és a talajtípus alapján ajánlott megválasztani. Homoktalajon tavaszi vetésű növény és csapadékos klíma esetében a szántás időpontja tavasszal javasolt, míg száraz időjárás és kötöttebb talajok esetében ősszel. A zöldtrágya növények 20-80%-kal csökkentik a N kimosódásának mértékét fajtól függően, a keresztesvirágúak és fűfélék átlagosan 70%-kal, a hüvelyesek átlagosan 20 %-kal (Meisinger és Randall, 1991; Dabney et al., 2001, 2010). A talajok tápanyagtartalmával, főként a foszforral történő fenntartható gazdálkodáshoz nagyban hozzájárul a zöldtrágya növények használata (Arcand et al., 2010). A zöldtrágya növények közül a fehérvirágú csillagfürt (*Lupinus albus*), a lóbab (*Vicia faba*) és a pohánka (*Fagopyrum esculentum*) olyan képességekkel rendelkeznek, amely során képesek elérni és akkumulálni a talaj foszfor tartalmát a gyökér által kibocsátott savak illetve enzimek segítségével (Ryan et al., 2001; El Dessougi et al., 2003). Egyes fajok, közöttük a zöldtrágya növényként is alkalmazható csillagfürt nagy mennyiségű karboxilátot szabadít fel a rizoszférába (Gardner et al., 1983; Dinkelaker et al., 1989), amely befolyásolja a gyökérfelszín és a rizoszféra redox viszonyait, elősegítve ezzel a foszfor felvehetőségét (Neumann et al., 2000). Hasonló tulajdonságáról ismert a pohánka, mely gyökérváladékai oldó hatása révén hatékonyan veszi fel és halmozza fel a foszfort, amit elbomláskor könnyen oldható formában ad vissza a talajba (Gondola, 2010).

2.5. Különböző zöldtrágya növényfajok értékelése

2.5.1. Zöldtrágyaként alkalmazható növényfajok csoportosítása

Nemecek et al. (2008) azon a véleményen vannak, hogy azon intenzív művelés alatt álló területek vetésforgóiba, amelyek nagy arányban tartalmazznak gabonaféléket, illetve azon területekre, ahol intenzív nitrogén műtrágyázást alkalmaznak, a hüvelyes növények

termesztésének bevezetése csökkentheti az energiaigényt, a globális felmelegedési potenciált, az ózonképződést és a savasodást, valamint a művelés ökológiai lábnyomát. Mélyre hatoló gyökérzetük javítja a talajok tápanyag- és vízforgalmát, optimális körülményeket biztosítva az utónövény számára (Gan et al., 2015), csökkentve a terméshozam inorganikus nitrogén műtrágyától való függését (Williams et al. 2014), amely még nagyobb előnyként jelentkezik azon körülmények között, ahol eleve kis dózisu ásványi nitrogént juttatnak ki (Preissel et al., 2015). A hüvelyes növények által megkötött nitrogén egy része nem kerül vissza a talajba a növények betakarításából adódóan (Kalembasa et al., 2014), ám a talajban visszamaradó rész elérhető az utónövények számára, ezáltal hozzájárulva azok fejlődéséhez, illetve a termés fehérjetartalmának növeléséhez (Armstrong et al., 1997). A zöldtrágya növényekben lévő nitrogén hozzáférhetőségét az utóvetemény számára Stute és Posner (1995) vizsgálta szösös bükkönnyel és vörösherevel végzett kísérletei során, mely alapján arra az eredményre jutottak, hogy a növények nitrogéntartalmának fele a talajba forgatás után négy héttel már feltáródott, amely a kukorica fejlődéséhez biztosította a nitrogént. Tíz héttel a talajba forgatás után a nitrogén jelentős része (mintegy 80%-a) felszabadult, így a kukorica jelentős nitrogénforráshoz jutott a pillangósok által. Hayden et al. (2014) kísérletében a hüvelyes zöldtrágya növények növelték az utánuk következő gabonanövények hozamát, amely mellett további előnyként jelentkezik, hogy nitrogénben gazdagítják a talajt (Walley et al., 2007), fenntartják a talaj termékenységét és biológiai aktivitását (Larkin, 2008) és alkalmazásukkal csökkenthető a kijuttatandó nitrogén műtrágya mennyisége (Yu et al., 2013). Ma et al. (2021) kedvező elővetemény értékről számoltak be, miszerint a kukorica terméshozamára szignifikáns pozitív hatással volt a hüvelyes zöldtrágya növény alkalmazása, a hozam 11%-kal nőtt, ugyanakkor a zöldtrágyázás hatása a búza terméshozamára nem volt kimutatható. Reckling et al. (2014) úgy gondolják, hogy a hüvelyes elővetemény után termesztett növények a magasabb hozamot alacsonyabb dózisu N műtrágyázás mellett érik el. Alacsony intenzitású gazdálkodás körülményei között, ahol nitrogént nem, vagy csak kis mennyiségben juttatnak ki, a hüvelyes növények utáni gabonatermesztés garantálja az átlagos hozamok elérését, a 60 kg ha⁻¹ nitrogén hatóanyagnál magasabb dózisu műtrágyahasználat nem indokolt. Rinnofer et al. (2008) kísérletet állítottak be homokos vályogtalajon, mely során különböző zöldtrágyák hatását vizsgálták a talaj N tartalmára és az utónövény hozamára. Eredményeik alapján a zöldtrágya növények biomassza hozama, N hozama, biológiai N-fixációja és a felvett N mennyisége a talajból átlagosan négyszer magasabb volt a jobb csapadékellátottságú évben, mint a száraz nyarú és őszi évszázaton. A gazdasági haszonnövények a termésében szignifikáns különbséget nem tapasztaltak a szerzők, a tavaszi árpa kivételével. A hüvelyes és nem hüvelyes

komponenseket tartalmazó zöldtrágya előveteményhatása a tavaszi árpában az alábbiak szerint alakult: +0,6 t ha⁻¹ magtermés, illetve hektáronként +17 kg N a szemtermésben. A zöldtrágyák vízfelhasználása nem befolyásolta negatívan a haszonnövények termését. A kísérletben vizsgált hüvelyes zöldtrágyák (lucerna és szösös bükköny) képesek voltak a következő évben termesztett csemegekukoricában a termesztéshez szükséges N-trágyát teljesen vagy nagyrészt kiváltani; a műtrágya helyettesítő érték 58-156 kg N/ha⁻¹ között változott (*Griffin et al.*, 2000). A hüvelyes zöldtrágyák értéke a leghatékonyabb, mivel C:N arányuk (10-15) gyorsabb mineralizációt tesz lehetővé, és a talajba forgatott növényi maradványok nagyobb mennyiségű, a növény által megkötött N-t tartalmaznak (*Tonitto et al.*, 2006).

Thorup-Kristensen (2001) vizsgálatai alapján a keresztesvirágú fajokat (*Brassica rapa*, *Sinapis alba*, *Raphanus sativus*) találta a leghatékonyabb zöldtrágya növényeknek, köszönhetően a gyors gyökérnövekedésüknek, amelyek nagy sűrűségűek és mélyre hatolóak. *Quemada* és *Cabrera* (1995) megállapították, hogy a zöldtrágya értéke fordítottan arányos a növények C:N arányával. Bizonyos hüvelyesek szintén korlátozhatják a talajban lejátszódó nitrogén kimosódást, azonban nem olyan mértékben, mint a keresztesvirágúak. A talaj ásványi nitrogéntartalmát a talajadottságoktól és fajtól függően közel 60%-ban kötik meg két főnövény közötti termesztés esetén a keresztesvirágú zöldtrágyák (*Tribouillois et al.*, 2016; *Wortman*, 2016). *Justes et al.* (2012) a nem hüvelyes zöldtrágya növény fajokat vizsgálták, megállapításuk szerint a talaj ásványi nitrogén tartalmának több, mint 70%-át képesek megkötni két főnövény közti termesztés esetén. A vastag, mélyreható főgyökérrendszerrel rendelkező, másodvetésű zöldtrágya növényként alkalmazható keresztesvirágú (*Brassicaceae*) növények a fehér mustár (*Sinapis alba* L.), a takarmányrepce (*Brassica napus var. annuus*) és az olajretek (*Raphanus sativus* L. *convar. oleiferus* (Mill.) Metzger). A keresztesvirágú növények előnyei közé tartozik, hogy jelentős fonálféreg gyérítő hatással rendelkeznek, melyet nem csak főnövényként, hanem zöldtrágyanövényként termesztve is kifejtik (*Nagy*, 2005a). A helyes vetésforgó és a zöldtrágyázás együttes alkalmazásával a nematódák száma szignifikánsan csökkenthető, a gazdasági kárkűszöb alá szorítható (*Duddington és Duthoit*, 1960).

2.5.2. A csillagfürt, mint zöldtrágya növény

A csillagfürt (*Lupinus spp.*) a hüvelyesek rendjének (*Fabales*) a pillangósvirágúak (*Fabaceae*) családjába tartozó nemzetség, melybe több száz faj tartozik. Ezek közül, mint szántóföldi kultúra világviszonylatban is csak néhány, hazánkban három faj terjedt el, a fehérvirágú csillagfürt (*Lupinus albus* L.), a sárgavirágú csillagfürt (*Lupinus luteus* L.) és a

kékvirágú csillagfürt (*Lupinus angustifolius* L.). Fontos alkalmazási területe a zöldtrágyaként való használat, mivel hozzájárul a talajszerkezet javításához, a szervesanyag-tartalom növeléséhez, valamint a tápanyagban szegény homokos talajok nitrogén- és foszforakkumulációjához. (Huyghe, 1997). Hazánkban a csillagfürt vetésforgókban való alkalmazása Westsik Vilmos nevéhez fűződik, a Westsik-féle „homokjavító” vetésforgó tartamkísérletet 1929-ben állította be a mai Nyíregyházi Kutatóintézet területén. A csillagfürttel történő zöldtrágyázás más zöldtrágya növényekhez viszonyítva magas, hektáronként akár 120-180 kg N tartalommal gazdagítja a talajt. A csillagfürt kedvező tulajdonságait már a múlt században is számos kísérlettel támasztották alá. Pfeiffer (1909) a fehérvirágú csillagfürtöt találta a legalkalmasabb zöldtrágya növénynek. Bittera (1935) a csillagfürt nagy előnyének tartotta, hogy a talaj nehezen oldható foszfortartalmát is képes hasznosítani. Westsik (1956) 1950-ben barna vályogtalajon 12 parcellás kísérletben hasonlította össze a napraforgó és a csillagfürt zöldtrágyázási paramétereit másodvetésben. Bár a csillagfürt kisebb biomasszát ért el, nagyobb mértékben növelte az utóvetemény termését, mint a különböző sortávra vetett tarlónapraforgó. Ajtay (1959) a csillagfürt után 8 év átlagában háromszoros burgonyatermést mért a kontrollhoz képest. Piekarczyk (2010) megállapította, hogy tápanyagban szegény, könnyű talajokon az őszi búza termésére egyik legnagyobb hatással az elővetemény van. A kedvezőtlen körülmények között fejlődött gyenge állomány termésmennyisége és minősége megnövelt műtrágyaadaggal sem javítható. Száraz évjáratban, a könnyű talajokon az előveteménytől függetlenül 80 kg ha⁻¹-nál magasabb dózisú N műtrágya nem növelte szignifikánsan a terméshozamot, ám a minőségi paraméterekre kedvező hatással volt. Elővetemény tekintetében a legkedvezőbb hatást az őszi búza terméshozamára a kékvirágú csillagfürt gyakorolta tiszta vetésben, amely a tavasszal vetett repcénél, illetve a csillagfürt – tritikálé keveréknél is jobb előveteménynek bizonyult. Prusinski et al. (2016) négy tenyészedőszakot magába foglaló kísérlete során a hüvelyes növények elővetemény értékét (csillagfürt fajok és borsó) vizsgálták, tekintettel az őszi búza hozamára és fehérje tartalmára. A hüvelyes növények által elért legkedvezőbb hatást a tritikálé hozamára (+ 1,55 t ha⁻¹) abban az esetben tapasztalták, amikor nem alkalmaztak N műtrágyázást. A legkisebb mértékű hatást a tritikálé hozamára a 180 kg ha⁻¹ dózisú N műtrágyázás mellett mérték (+ 0,34 t ha⁻¹). Minden évben megvizsgálták a talajprofil 0 – 60 cm-es rétegében a N_{min} értéket. A N műtrágyázás nélküli területeken a hüvelyes növények betakarítása után 84,1 kg N ha⁻¹ értéket tapasztaltak, míg a tavaszi árpa betakarítása után 25,5%-kal alacsonyabb, 67 kg N ha⁻¹ értéket mértek annak ellenére, hogy a tavaszi árpa vetés előtt 60 kg ha⁻¹ N műtrágyadózist kapott. Hollandiában beállított szántóföldi kísérletben csillagfürt elővetemény után a talaj 0-90 cm-es szelvényében

közvetlenül a betakarítás után 40 – 60 kg ha⁻¹ maradék N szintet mértek, amely 15-25 kg ha⁻¹-ral magasabb érték, mint amennyit az őszi búza, illetve árpa betakarítása után detektáltak, amely kultúrák 100 kg N ha⁻¹ dózisu műtrágyát is kaptak (Prins, 2014). Dániában három éves kísérletben őszi árpát termesztettek csillagfürt, illetve zab elővetemény után. Csillagfürt elővetemény esetében a zab előveteményhez viszonyítva az évek átlagában az őszi árpa terméshozama magasabb értéket ért el, 1,31 t ha⁻¹-ral homoktalajon, illetve 0,87 t ha⁻¹-ral vályogtalajon. 120 kg ha⁻¹ dózisu N műtrágyázás esetén a csillagfürt elővetemény hatása a zabhoz képest 0,76 t ha⁻¹ terméshozamot eredményezett az őszi árpa termesztése során. A terméshozam növekedéséért csillagfürt elővetemény esetén nem csak a N transzfer a felelős, hanem a javult talajkondíciók, illetve a P mobilizáció is köszönhető a jól megválasztott előveteménynek. Összességében megállapítható a csillagfürt elővetemény pozitív hatása az őszi árpa hozamára, ám kedvezőbb adottságú talajokon a magasabb dózisu nitrogén műtrágyázás kerülendő csillagfürt elővetemény esetén (Jensen et al., 2004).

2.5.3. A tavaszi bükköny, mint zöldtrágya növény

A tavaszi vagy közönséges bükköny (*Vicia sativa* L.) egyéves hüvelyes növény, amely a Mediterrán régióból terjedt el a XIX. század második felében. Céltudatos nemesítésével az 1890-es években kezdtek foglalkozni német, francia és orosz kutatók. Magyarországon 1921-ben tájfajtákból kezdődött a szelekciós nemesítés. A sima és az enyhén szőrözött levelű változatából nemesített fajtákat a Nyíregyházi Kutatóintézetben tartják fenn (Késmárki, 2005b). A tavaszi bükköny Szabóné Csalló (2010) szerint egyike azon alternatív pillangós takarmánynövényeknek, amelyek kis részarányt képviselnek a hazai vetésszerkezetből és a termékválasztékból. A tavaszi bükköny a légköri N megkötésével csökkenti a N-műtrágya felhasználást, így a környezetkímélő gazdálkodás része lehet. Jannink et al. (1996) megfigyelése szerint az évjáráthatás mellett a tisztán vetett tavaszi bükköny biomassza hozamát a kijuttatott vetőmagdózis nem befolyásolja szignifikánsan, azonban zabbal együttesen történő termesztés esetén az alkalmazott vetőmagdózis szignifikáns hatással van a tavaszi bükköny biomassza hozamára. Hargrove (1986) kísérletében a tavaszi bükköny zöldtrágyanövény 4,3 t ha⁻¹ biomassza hozamot produkált, a főnövényként termesztett cirok hozama tavaszi bükköny zöldtrágyázást követően 3,7 t ha⁻¹ volt, míg rozssal való zöldtrágyázást követően mindösszesen 2,6 t ha⁻¹. A tavaszi bükköny tenyészidőszaka alatt 134 kg N-t kötött meg hektáronként, ezzel szemben a rozs által megkötött nitrogén mennyisége hektáronként 38 kg volt. A szerző számítása alapján a tavaszi bükköny zöldtrágyázás megfelel 61 kg ha⁻¹ mennyiségű N műtrágya értékének. Touchton et al. (1984) kísérletében a tavaszi bükköny 4,9 t ha⁻¹ biomasszahozamot

termelt, és 118 kg ha^{-1} mennyiségű nitrogénnel gazdagította a talajt a talajba forgatást követően. Kísérletében a főnövény hozama 25%-kal volt magasabb, mint a zöldtrágyázás nélküli kezelés esetén. *Sainju és Sing (1997)* szerint a tavaszi bükköny zöldtrágyázás termésmenvelő hatása kukoricában $66\text{-}200 \text{ kg/ha}^{-1}$ N-hatóanyagának felel meg. Jelentős termésmenvekedésről számoltak be a csemegekukorica hozama esetében is, amikor hüvelyes zöldtrágya növényeket, köztük tavaszi bükkönyt alkalmaztak (*Turgut et al., 2005*). Az évelő fűféle zöldtrágya növények nem voltak hatással a kukorica terméshozamára, függetlenül a kijuttatott N-trágya mennyiségétől, azonban a hüvelyes zöldtrágyanövények alkalmazása N-trágya nélkül is növelte a kukorica terméshozamát (*Miguez és Bollero, 2005*). A hüvelyes zöldtrágya-kultúrák a következő kultúrához szükséges N-tartalom egészét vagy nagy részét biztosíthatják, ha a zöldtrágya biomassza tömege megfelelő (*Erismán et al., 2008*). *Pan et al. (2011)* tanulmányukban a tavaszi bükköny (*Vicia sativa* L.), a szösös bükköny (*Vicia villosa* Roth.) és a lednek (*Lathyrus quinquenervius* (Miq.) Litv.) hatását vizsgálták a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira. A szerzők megállapították, hogy a kontroll kezelés talajához képest a szerves széntartalom 1,6%-ról 6,2%-ra nőtt, és az ásványi N mennyisége is jelentősen emelkedett. A 0-20. nap között az ammónium-N volt a domináns forma, de a 30-70. nap között a nitrát-N vált dominánssá. A legmagasabb kálium- és foszfortartalom a tavaszi bükköny kezelésben volt megfigyelhető. *Tigka et al. (2021)* vizsgálatukban hat tavaszi bükköny fajtát vetettek két vetőmagmennyiséggel ($S_1 = 100 \text{ kg ha}^{-1}$ és $S_2 = 180 \text{ kg ha}^{-1}$). Hat hónappal a talajba forgatást követően észlelték a legmagasabb biomassza lebomlási értéket (62,6%), amikor a talaj N-tartalma 50 kg ha^{-1} volt az S_1 esetében. A tavaszi bükköny zöldtrágya növényként való használata és a talajba való beépülése jelentősen befolyásolta a kukorica terméshozamát, a csövenkénti magszámot és a levél klorofilltartalmát. A kontrollhoz képest a tavaszi bükköny 46,30, 21,95 és 8,52%-kal magasabb termést, csövenkénti magszámot és klorofilltartalmat eredményezett. Az optimális eredmények elérése érdekében a zöldtrágyák használatát *Mohammadi és Ghobad (2010)* szerint N-trágyával érdemes kiegészíteni. Közép-Spanyolországban végzett szántóföldi kísérletekben különböző zöldtrágya fajok, köztük a tavaszi bükköny elővetemény értékét vizsgálták öntözött kukorica (*Zea mays* L.) esetén, kontroll kezelésként pedig ugart alkalmaztak. A talajtakarás szempontjából a tavaszi bükköny (*Vicia sativa* L.) volt a legjobban teljesítő faj, a szarvaskerep (*Melilotus officinalis* L.) és az olasz perje (*Lolium multiflorum* L.) mellett. A vizsgált fajok egyike sem csökkentette a kukorica terméshozamát vagy minőségét, emellett csökkentették a N kimosódásának lehetőségét. Az eredmények megerősítik a másodvetésben alkalmazott zöldtrágya növények előnyös hatását a kukorica esetében, valamint a vetésforgóban való alkalmazásuk létjogosultságát (*Alonso-Ayuso et al., 2020*). *Chen et al. (2022)* 47 bükköny

genotípus nitrogén (N), foszfor (P) és kálium (K) felvételét, föld feletti biomassza tömegét és a talaj tápanyagtartalmát vizsgálták a tavaszi bükköny korai virágzási szakaszában szántóföldi körülmények között. A biomassza tömege 21,33 és 47,31 t ha⁻¹ között, a növényi N-tartalom 100,34 és 212,51 kg ha⁻¹ között, a P-tartalom 10,31 és 25,25 kg ha⁻¹ között, a K-tartalom pedig 63,89 és 140,41 kg ha⁻¹ között mozgott, ami alátámasztja a tavaszi bükköny, mint zöldtrágya jelentőségét a talaj tápanyag utánpótlásában. *Vojnov et al. (2022)* tapasztalatai szerint a tenyészidőszak alatti csapadék mennyisége nem csak a zöldtrágya biomasszatermésére volt szignifikáns hatással, hanem a vizsgált években a kukoricatermést is befolyásolta. A tavaszi bükköny zöldtrágyaként történő termesztésével kapcsolatos vizsgálatok kimutatták, hogy a tavaszi bükköny gyökérzete javítja a talaj porozitását a talajban maradó gyökértömeg hatása miatt (*Ambartsumova, 2021*). *Tao et al. (2017)* vizsgálatai szerint a kukorica terméshozamára gyakorolt hatása tekintetében a tavaszi bükköny az általuk vizsgált különböző zöldtrágyázási módszerek közül a leghatékonyabbnak bizonyult, 31,3%-kal növelve a terméshozamot.

2.5.4. Az olajretek, mint zöldtrágya növény

Az olajretek másodvetésű zöldtakarmány és zöldtrágya növény, a talaj kulturállapotának fenntartásában, javításában van szerepe. Gyökérnedvei fonálféreg-ritkító hatásúak és előnyösen befolyásolják a termőréteg biológiai egyensúlyát. Az olajretek nemrégiben felfedezett, ígéretesnek bizonyuló zöldtrágya növényfaj, különösen a kalászosokra épülő intenzív növénytermesztési rendszerekben. Az augusztus első felében zöldtrágyának vetett olajretek rövid tenyészidejű, szeptemberben már virágzásnak indul, magot nem köt, a téli fagyokig zöldell. Zöldhozama termőhelytől függően 10-40 t ha⁻¹ között alakul. (*Késmárki, 2005a*). Zöldtrágya növénynek hektáronként átlagosan 2,5 millió csírával (25 kg) gabona sortávra, 2-3 cm mélyre vetik. Gyorsan csírázik és fejlődik, kiváló gyomelnyomó képességgel rendelkezik (*Kovács Csomor és Nagy, 2003*). Az olajretek mélyreható gyökérzetnek köszönhetően biológiai úton csökkenti a talaj tömörödöttségét, a gyökerek által létrehozott pórusokkal (*Chen és Weil, 2010; Kadziene et al., 2011*). Az olajretek mérsékelten fagyérzékeny növény, - 4°C alatti hőmérsékletet nem viseli jól (*Weil et al., 2009*). Biomasszája alacsony C/N aránnyal rendelkezik, amely a téli fagyok hatására gyorsan bomlik, kevés szármennyiséget maga után hagyva a talajfelszínen. Ennek eredményeként a következő tavaszi vetésű növény számára gyommentes, kevés szármaradvánnyal borított magágyat biztosít. *Gyuricza és Mikó (2008)* számításai alapján egy hektár olajretek vetése, illetve a növényállomány talajba dolgozása nem kerül többbe, mint a tarlóápolás és az utóvetemény többlet műtrágyaköltsége.

A keresztesvirágú zöldtrágya növények, mint talajtakaró növények csökkentik a $\text{NO}_3\text{-N}$ talajvízzel történő kimosódását, ugyanakkor növelik a tápanyag-koncentrációt a talajban, mivel a nagy biomassza tömeg által megkötött tápanyagok a talajfelszínen, illetve a talajba forgatva csapadék hatására feltáródnak, elérhetővé válnak a következő kultúra számára (Miller et al., 1994). A kalászos állományban alávetéssel, vagy betakarítás után másodvetésben termesztendő, őszi mélyre hatoló gyökérzetet fejleszt (Munkholm és Hansen, 2012; Sapkota et al., 2012; Wahlström et al., 2015). Az olajretek jelentős mennyiségű N-t vesz fel (Nett et al., 2011; Li et al., 2015), és jelentős mértékben csökkenti a talajban a nitrát kimosódásának a veszélyét (Constantin et al., 2010). Munkholm és Hansen (2012) vizsgálataiban a föld feletti részek N felvétele az olajretek esetében volt a legmagasabb (55 kg N ha^{-1}), továbbá megfigyelték, hogy az olajretek nitrogén felvétel dinamikájának csúcsa szeptember közepétől november közepéig volt jellemző. Az olajretek csökkentette a talaj ásványi nitrogén tartalmát a tarlóhoz képest, illetve a következő év tavaszán a szerzők magasabb nitrogéntartalmat mértek, mint a zöldtrágyázatlan terület talaja esetében. Az árpában detektált magasabb hozam olajretek alkalmazása után a növényi részek gyors lebomlásának köszönhető a korai fagyok következtében, ahogyan vizsgálataiban Mutegi et al. (2011) is tapasztalta. Ebből következően több felvehető nitrogén állt rendelkezésre a következő növénykultúra számára, mint a télálló zöldtrágya növényfajok esetében. Mikó és Gyuricza (2012) az általuk beállított zöldtrágyázási kísérletben három növény (mustár, facélia, olajretek) talajállapotra gyakorolt hatását vizsgálta. A növények vetése búza elővetemény után, augusztus közepén történt, a kultúrákban egyaránt vetés előtt 50 kg ha^{-1} N hatóanyagú ammónium-nitrát műtrágya kijuttatása történt. A zöldtrágyanövények vetőmagdózisa (mustár 15 kg ha^{-1} , facélia 10 kg ha^{-1} , olajretek 25 kg ha^{-1}) a szakirodalomban meghatározott normák szerint alakult (Antal, 2000). A vizsgált hat év átlagában megállapították, hogy a kontroll parcellák egyik mélységben sem érték el a károsnak tartott talajtömörödöttséget, ám a zöldtrágyázott parcellák esetében a teljes 0-50 cm-es talajréteg átlagában a facélia 26,3%-kal, a mustár 24,4%-kal, az olajretek 27,3%-kal mutatott magasabb mértékű tömörödöttséget, mint a kontroll parcellák. A talajnedveség értékek a zöldtrágyázott parcellákon kisebbek voltak, mint a kontroll parcellákon, ám a különbségek statisztikailag nem igazolhatók. A talajellenállás értékek a zöldtrágyázott parcellákon szignifikánsan nagyobbak voltak, a gyökerezési mélység alatt is, melynek oka, hogy a gyökérzet oldalirányú növekedésével nyomást gyakorolt a talajra, így nagyobb ellenállás értékeket eredményezve. Feltételezhető, hogy a talaj mélyebb rétegeinek beéredése csak a bedolgozás után következik be, így a zöldtrágya növények bedolgozását a szerzők késő őszi javasolják, melyet lehetőség szerint csak tavaszi vetésű kultúra kövessen. A kisadagú (50 kg

ha⁻¹ N hatóanyag) műtrágyázás a három zöldtrágya növény (facélia, mustár, olajretek) esetében egyaránt többszörösére növelte a biomaszát *Mikó et al. (2011)* kísérletében. A biomaszát mennyisége három év átlagában a facéliánál 3,11-szeresére, mustárnál 3,09-szeresére, olajretekénél 2,78-szorosára növekedett. *Kismányoky és Tóth (2016)* kísérletükben az olajretek másodvetésű zöldtrágyázásban betöltött szerepét vizsgálták őszi búza – őszi árpa – kukorica vetésciklusban. Az olajretek vetése az őszi árpa betakarítása után következett. Az olajretek zöldtömegének alakulását nagyban befolyásolta a kijuttatott N műtrágya mennyisége. A hat év átlagában a zöldhozamok hektáronként 10 és 40 tonna körül alakultak. A legmagasabb zöldhozamot (42,87 t ha⁻¹) a legmagasabb dózisu N kijuttatás mellett érték el, viszont a hat év átlagában a kezeletlen kontrollhoz képest a 80 kg ha⁻¹ dózisu nitrogén műtrágya ugrásszerűen, 48%-kal növelte a zöldhozamot. A nitrogén mérleg számítása alapján bizonyított, hogy a köztes termesztésű zöldtrágya növény beiktatása a növényi sorrendbe fontos szereppel bír, mivel csökkenti a N kimosódásának kockázatát. Még akkor is minimális szinten tartja a kimosódás mértékét, ha a N input értéke magas, mivel a zöldtömeg által felvett N mennyisége visszakerül a talajba, ezáltal a vetésciklus nitrogén forgalma kiegyensúlyozott marad. *Miller et al. (1994)* laboratóriumi körülmények között vizsgálták az olajretek biomaszájából kivonható NH₄-N, NO₃-N és szerves P mennyiségét. Vizsgálataikban az olajretek biomaszát P tartalmának körülbelül 30%-a, NH₄-N és NO₃-N tartalmának több, mint 10%-a oldódott ki. A vizsgált három növényfaj közül a leghatékonyabb felhasználási lehetőséget a tápelemfelvétel és a talajba való visszapótlás tekintetében az olajretek nyújtotta, a legkevésbé alkalmas növénynek a vöröshere bizonyult. A keresztesvirágú zöldtrágya növények föld feletti biomaszája *Thomsen és Hansen (2014)* szerint átlagosan 11-24 kg N-t tartalmaz hektáronként, amely az őszi búza vetése előtti, szeptemberi talajba forgatás esetén az első hónapban 4 kg N-t szolgáltat hektáronként, amelyet a búza a kelési szakaszban hasznosíthat. A novemberben talajba forgatott zöldtrágya növények esetében a tavaszi vetésű növények vetéséig rendelkezésre álló 4 hónap alatt lebomlanak, átlagosan 2 °C-os talajhőmérséklet mellett (*Olesen, 1992*). Ebben az időszakban a maradványokból történő N felszabadulása lassabb, mint ősszel, azonban továbbra is folyamatosan zajlik alacsony C/N arány mellett. 20 feletti C/N arány esetében a nettó N felszabadulás mértéke a téli periódus alatt alacsonyabb, az immobilizációs szakasz előfordulása kora tavasszal várható (*Thorup-Kristensen és Dresbøll, 2010*). *Sapkota et al. (2012)* zöldtrágya növényekkel beállított kísérletükben megállapították, hogy az olajretek fejlesztette a legmélyebbre hatoló gyökérzetet, lehetővé téve a nitrogén felvételét a mélyebb talajrétegekből. Olajretek alkalmazása során 79%-kal csökkent a nitrát kimosódásának mértéke a talajon mérthez képest, amely a tavaszi árpa maghozamát 2%-kal növelte.

A tápelemek kimosódását megelőző hatás mellett az olajretek igen jó gyomelnyomó és nematóda gyérítő képességgel is rendelkeznek. A zöldtrágyanövények gyomelnyomó képessége egyrészt a jelentős árnyékoló hatásukból adódik (Cserhádi és Kosutány, 1887). Budai et al. (2005) vizsgálatában a parlagfű egyedszáma 70-80%-kal alacsonyabb volt a jól beállt olajretek állományban, mint a ritka táblaszéken. Nagy (2005b) szerint a cukorrépa, burgonya és gyökérzöldségek számára a nematóda rezisztens mustár- és olajretekfajták a fonálféreg teljes fejlődési ciklusát blokkolva képesek fonálféregmentes talajt biztosítani. Budai et al. (2004, 2005) vizsgálataiban a keresztesvirágúak közül a mustár és az olajretek, illetve a facélia jelentős mértékű 50-70 % cserebogárpajor mortalitást eredményezett a vetetlen kontrolhoz képest, melynek oka, hogy a növények gyökerei biológiailag aktív vegyületeket választanak ki. A kibocsátott vegyületeket a külföldi szakirodalom biofumigant-oknak nevezi, amely számos vegyületet takar (Gimsing és Kirkegaard, 2006).

2.5.5. A pohánka, mint zöldtrágya növény

A pohánka (*Fagopyrum esculentum* Moench.) zöldtrágyaként történő hasznosításának előnye a kirobbanóan gyors kelés és az erőteljes növekedés, így rövid idő alatt nagy vegetatív tömeget halmoz fel, kevés víz felhasználásával. A száraz biomassza hozam nyolc hét alatt hektáronként 6 tonnát is elérhet. A rövid ideig tartó területfoglalás alkalmassá teszi zöldtrágyaként való hasznosításra két fővetésű kultúra között. A pohánka állománya könnyen bedolgozható a talajba, lágyszárú hajtásai gyorsan elbomlanak. Gyökérváladékai oldó hatása révén hatékonyan veszi fel és halmozza fel a foszfort, amit elbomláskor könnyen oldható formában ad vissza a talajba. Jól beállt állománya elnyomja a kikelt gyomokat, ezáltal csökken a talaj gyommag fertőzöttsége, szemben az istállótrágya gyomosító hatásával (Gondola, 2010). A pohánka zöldtrágya növényként történő talajba forgatása növeli a talaj termékenységét (Xuan és Tsuzuki, 2004). Ezek mellett a pohánka talajba dolgozása, vagy mulcsként a felszínen hagyása védelmet nyújt a patogének ellen, gyomelnyomó hatása is kifejezett. A pohánka előnyeit zöldtrágya növényként fokozza a gyors növekedési rátája és nagy biomassza tömege, illetve a magas tápanyag, főként N tartalma (1,2 % N), jó foszfor mobilizáló képessége és gyors lebomlása (N'Dayegamiye és Tran, 2001; Valenzuela és Smith, 2002; Mikó et al., 2005; Teboh és Franzen, 2011). A pohánka ezek mellett felhasználható a beporzó populációk növelésére is, melynek köszönhetően az intenzív növénytermesztési területeken biztosítja a növények beporzását (Carreck és Williams, 2002). Pervaiz et al. (2009) kimutatták, hogy a pohánka mulcsként történő talajon hagyása a következő évben növelte az utóvetemény biomassza tömegét és hozamát azáltal, hogy növelte a talaj szervesanyag- és nedvességtartalmát, illetve

csökkentette a talaj tömörödöttségét. A szántóföldi kísérletek kimutatták, hogy pohánka termesztése után a talaj felvehető N tartalma szignifikánsan csökkent a parlagoltatott talaj N tartalmához képest (Kumar et al., 2008), azonban a pohánka képes foszfátot felvenni olyan forrásokból is, amelyre más fajok nem képesek. Ez nem feltétlen versenyelőnyt jelent számára, azonban képes olyan helyeken is fejlődni, ahol más fajok nem (Zhu et al., 2002). A N immobilizációt gyakran említik a növényi maradványok gyomelnyomó képességének faktoraként. Ha nagy mennyiségű szerves szén kerül a talajba a mikroorganizmusok számára, a mikrobiális aktivitás fokozódik, amely során a talaj felvehető N tartalmát fogyasztják. Ez a folyamat akkor következik be, amikor a talajba forgatott növényi maradványok tág C:N aránnyal rendelkeznek. A forrástól függően a 20 és 30 közötti C:N arányt tekintik a nettó ásványosodás és a N immobilizáció közötti küszöbértéknek (Kaye és Hart, 1997). Pohánka esetében az immobilizáció által okozott nitrogén kötés nem számottevő, mivel a szakirodalom szerint a pohánka maradványai meglehetősen alacsony C:N arányt mutatnak, 64 napos növény esetében 21, 42 napos növény esetében 8,5 közötti értékekkel (Creamer és Baldwin, 2000). Possinger et al. (2013) nem tapasztaltak szignifikáns különbséget a talaj oldható foszfor tartalmában a két kezelés között sem a tenyészidőszak, sem a talajba forgatás során. Azonban szignifikáns különbségeket tapasztaltak a rhizoszféra tartarát koncentrációjában az alacsony P tartalmú és a műtrágyázott területek között, amely arra enged következtetni, hogy a pohánka válaszütemként bocsátotta ki a vegyületet az alacsony foszfor tartalmú talajban. Egyes növények (pl. *Brassica napus*) a foszfor oldhatóságának és felvehetőségének könnyítése érdekében szerves sav anionokat bocsátanak ki (tartarát, oxalát), amelyek kölcsönhatásba lépve a foszfor tartalmú komplex vegyületekkel, növelik a talajoldat szabad foszfát tartalmát (Ryan et al., 2001). A pohánka biomassza tömegében sem tapasztaltak számottevő különbséget, feltehetően a pohánka a nagyobb P felvétel érdekében, kompenzálásként termelte az aniont. Myers és Meinke (1994) vizsgálatai szerint a talaj megnövelt foszfortartalma a pohánka termesztése során az arbuskuláris mikorrhiza gombáknak (AMF) köszönhető. A fokozott foszfor felvétel az elsődleges előny, amelyet az AMF biztosít a gazdanövény számára (Gosling et al., 2006). Boglaienko et al. (2014) pohánkával végzett szántóföldi kísérletében a talaj felső 5 cm-es rétegének pH értéke szignifikánsan csökkent, a talaj szervesanyag tartalma, összes széntartalma szignifikánsan nőtt 4 héttel a pohánka talajba forgatása után. Az összes nitrogén tartalom szignifikánsan nőtt a talajban a kezdeti állapothoz képest. A C:N arány csökkent, miután a maradványok a talajba lettek forgatva, amely a megnövekedett N tartalomnak köszönhető a talajban. A pohánka N megkötő képessége alacsonyként van számoltartva, a talajba forgatása során kis mértékben járul hozzá a talaj N készletéhez (Clark, 2007).

Lehetséges, hogy a pohánka gyökerei által kiválasztott vegyületek stimulálják a rhizoszférában élő nitrogén megkötő baktériumok tevékenységét (Malceva et al., 1987). A vizsgálatok során szignifikáns különbséget találtak a talaj oldható foszfortartalmában is, amely egyezik a szakirodalmak többségében leírtakkal, miszerint a pohánka szignifikánsan növeli a talaj oldható foszfortartalmát azáltal, hogy oldja az ásványi részekhez kötött foszfort (Teboh és Franzen, 2011). Aase és Pikul (2000) különböző vetésciklusokban végzett vizsgálatainak alapján az egyik legalacsonyabb WUE értékkel jellemezhető zöldtrágyanövény a pohánka volt.

Számos tanulmány bizonyítja, hogy azokon a területeken, ahol pohánka termesztése folyt, jelentősen csökkent a gyomok biomasszatömege a parlagoltatott területekhez képest, illetve a gyomflóra faji összetétele is számottevően különbözött (Tominaga és Uezu, 1995; Kalinova, 2004; Kumar et al., 2008). A pohánka allelopatikus hatása is előnyöket nyújt, tekintettel a gyomelnyomó és parazita csökkentő hatására (Géneau et al., 2011). A pohánka a gyomelnyomó képességét csekély, vagy közepes gyomfertőzés esetén tudja kifejteni (Robinson, 1980). Zöldtrágya növényként allelopatikus hatása miatt eredményesen akadályozza meg a tarackbúza (*Elymus repens*) elterjedését (Cook, 1989). A pohánka erős gyomelnyomó képessége mellett a tanulmányok kimutatták, hogy a talajba forgatott pohánka maradványai szintén gátolják a gyomok növekedését (Tsuzuki és Dong, 2003; Xuan és Tsuzuki, 2004; Kumar et al., 2009). Más zöldtrágya növényeknél, mint a szöszös bükköny (*Vicia villosa*), vagy a rozs (*Secale cereale*), a gyomelnyomó képesség döntően a fizikai gát létrehozásából adódik, amely során megfosztják a gyomnövényt a fénytől, ezzel megváltoztatva a talaj hőháztartását (Liebman és Davis, 2000; Teasdale és Mohler, 2000). Bicksler és Masiunas (2009) azon a véleményen vannak, hogy a pohánka gyomelnyomó képességét döntően az a tény befolyásolja, hogy a fényért való versengés során gyorsan sűrű lombzatot fejleszt, melynek következtében a gyomnövények nem jutnak elég fényhez. Falquet et al. (2014) tenyészedényes kísérletében kimutatta, hogy a pohánka árnyékoló hatása döntő szerepet játszott a szőrös disznóparéj (*Amaranthus retroflexus*) növekedésének gátlásában. Kalinova et al. (2005) kimutatták, hogy a pohánka csírázása és korai fejlődése során számos allelopatikus hatású vegyületet termel. A csírázó pohánka csökkentette a gyökér és hajtásképződését a saláta (*Lactuca sativa*), kerti zsázsa (*Lepidium sativum*), mezei komócsin (*Phleum pratense*) és az olaszperje (*Lolium multiflorum*) esetében. Falquet et al. (2014) megfigyelték, hogy a pohánka allelopatikus gyökér interakciói fontos szerepet játszanak a szőrös disznóparéj növekedésgátlásában. A pohánka növényi maradványainak lebomlása során a levélből kioldódó vegyületek rendelkeznek a leghatékonyabb gátló hatással számos

gyom gyökerének fejlődése esetében (Hayashi, 1998; Ohsawa és Nakatani, 2005), amelyet a hajtás és virágzat kioldható vegyületei követnek.

2.6. Zöldtrágya növények fővetésben történő, magcélú termesztésének technológiai elemei

2.6.1. A csillagfürt fővetésben történő termesztése

A csillagfürt (*Lupinus albus* L.) a Földközi-tenger vidékén őshonos növény, már az ókori Görögországban, Rómában, valamint Egyiptomban zöldtrágyázási, takarmányozási és étkezési célokra is széles körben termesztették. Hazánkban először Klár Sándor és Bodor Zsigmond termelte a Szabolcs megyei Nyírkércsen. Népszerűségében úttörő szerepet játszott Westsik Vilmos, aki a csillagfürtöt kiváló talajjavító növénynek tartotta. A Kisvárdai fehérvirágú édes csillagfürt 1955-ben kapott állami minősítést, mint az első hazai alacsony alkaloidtartalmú fajta. A fehérvirágú csillagfürt magjának fehérjetartalma 33 – 47%-ig változhat, a termesztés helyétől és a genotípustól függően (Pettersson és Mackintosh, 1994). Az átlagos ezermagmag tömeg a termesztés ökológiai adottságaitól függően 70 g-tól 1000 g-ig változhat. A tulajdonság magas heritabilitás értékkel rendelkezik, a tavaszi vetésű indeterminált fajták h^2 értéke 0,76 (Le Sech és Huyghe, 1991), az őszi vetésű determinált fajták esetében a h^2 értéke 0,94 (Julier et al., 1995). A csillagfürt magok nem tartalmaznak sem tripszin inhibitort, sem szaponinokat (Musquiz et al., 1993), a köztermesztésben a fogyasztásra szánt fajták alkaloida mentesek, ám az eredeti populációk magjai 1 – 3% alkaloidát tartalmaznak, legnagyobb arányban lupanint és sparteint, amely kesernyés ízt ad a termésnek, így ezen fajták zöldtrágyaként való termesztése indokolt a gyakorlatban.

A csillagfürt a gyenge termékenységű savanyú talajok növénye, mélyen gyökerezik, a pillangós virágúak közül a gyökérgümőkben élő *Rhizobium* baktériumok a legtöbb légköri N-t kötik meg. Hazánkban a termesztési feltételek Tóth (2010) szerint több mint 2 millió hektáron megfelelőek a csillagfürt számára. A csillagfürt sikerrel termeszthető azokon a savanyú, alacsony termékenységű talajokon is (gyengén humuszos homok, erdőtalaj, réti öntés talaj), ahol más növények fejlődéséhez nem állnak rendelkezésre az optimális feltételek. A csapadékhiányra virágzás-terméskötés idején a legérzékenyebb.

Mazur et al. (2018) a fehérvirágú csillagfürtöt gyors növekedési ütemmel jellemezték, különösen a kezdeti fázisokban. A csillagfürt vegetatív szerveinek kialakulásához az optimális hőmérséklet 14 - 16 °C, virágzás esetén pedig 16 - 20 °C. A modern fajták hőösszeg igénye az érésig 1300 és 1800 °C között mozog. A fehérvirágú csillagfürt hosszú nappalos növény. A

fényhiány a száraz fokozott növekedéséhez, megnyúlásához, a gyökérzet gyenge fejlődéséhez, gyenge virágzáshoz, ennek következtében gyenge terméshez vezet. Habár a csillagfürt vízigénye nem magas, *Polit et al. (2019)* és *Rashad et al. (2018)* arról számoltak be, hogy érzékeny a vízhiányra, optimálisan a nedves, nem vízállásos, 7 vagy annál alacsonyabb pH-jú talajokon fejlődnek. A különböző csillagfürt-fajokról továbbá megállapítható, hogy eltérően reagálnak a tenyészidőszakban előforduló kedvezőtlen időjárási körülményekre (*Dracup et al., 1998; Gresta et al., 2017*). A hüvelyesek magtermését meghatározó egyik legfontosabb tényező a növények tenyészidőszakában lehullott csapadék mennyisége és eloszlása (*Podlesna et al. 2014*). A magas hőmérséklettel párosuló csapadékhiány különösen kedvezőtlen a virágzás és a hüvelyképződés idején, ami a virágok és a hüvelyek abortiójához vezet, és ennek következtében csökkenti a magtermést (*Atkins és Smith, 2004*). A növényenkénti hüvelyszámot és az ezermag tömeget a növények megfelelő vízellátását (*Jeuffroy és Ney 1997, Podlesna et al. 2014*) és tápanyagellátását (*Koukolicek és Stranc, 2013*) biztosító, valamint a levélfelület fotoszintetikus aktivitását minél tovább fenntartó körülmények határozzák meg, míg a hüvelyenkénti magszám genetikailag determinált vagy közvetlenül a beporzás után meghatározott (*Prusinski, 2005*).

Nem csak a csapadék mennyisége és eloszlása, hanem a talajjellemzők, különösen a talaj pH-értéke és mésztartalma is hatással van a fehér csillagfürt termésszövetevőire, mivel befolyásolja a szimbiózis folyamatának hatékonyságát, ami jelentős termésnövekedéshez és alacsonyabb mértékű N₂-fixáláshoz vezethet (*Sulas et al., 2015*). *Kerley (2000)* 30%-os termésnövekedésről számolt be a fehér csillagfürt esetében, amikor a talaj pH értéke meghaladta a 7,2-t, és ezt a növekedést a hajtásnövekedés korlátozásának tulajdonította. *Vlachostergios et al. (2016)* két különböző talajtulajdonságokkal rendelkező helyszínen végzett kísérleteket, az egyik helyszín a csillagfürt számára optimális pH-értékkel (6,5) rendelkezett, a másik helyszín pedig stresszhatást kiváltó pH-értékű (8,1) talaj volt. Eredményeik azt mutatták, hogy az optimális környezetben a termésátlag 1,40 és 4,12 t ha⁻¹ között mozgott, míg a magas pH-jú körülmények között a termésátlag jelentősen alacsonyabb volt (0,2-1,5 t ha⁻¹). A szerzők kimutatták, hogy a kísérletben a növényenkénti magtömeg optimális körülmények között átlagosan 5,2 g volt, míg stresszkörülmények között 1,8-4,6 g között mozgott. A fehérvirágú csillagfürt jól alkalmazkodik a savas és semleges pH-jú, alacsony tápanyagtartalmú talajokhoz, továbbá különösen jól hasznosítja a növények számára nehezen hozzáférhető foszfort, jól alkalmazkodik a talajokban fellelhető alacsony foszfor szinthez (*Longnecker et al., 1998*).

Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy az állománysűrűség befolyásolja a csillagfürt terméshozamát (Withers et al. 1974). A főhajtáson található virágzatok száma nagyobb mértékben befolyásolja a magszám alakulását, mint az oldalágaké (Herbert, 1977). Azonban a túl sűrű állománysűrűség a főhajtás, illetve az oldalágak hüvelyszámára is negatív hatással lehet (Herbert, 1979). A csillagfürt hüvelyei éréskor nem nyílnak fel, és meglehetősen jól rögzülnek a szárhoz, ami minimális veszteséget eredményez a betakarításkor (Khalimullina et al., 2019). Clapham és Elbert-May (1989) megállapították, hogy a főhajtáson termelt magok súlya magasabb, mint az elágazásokon termelt magoké. Kísérletükben az oldalhüvelyek képződése a 11-20 növény m^{-2} állománysűrűségnél következett be, a 100 növény m^{-2} állománysűrűséget meghaladó vetőmagnorma alkalmazása esetén az oldalhüvelyek képződése nem következett be. Noffsinger és Santen (1995) megállapította, hogy a korai vetésidő elengedhetetlen a magas terméshozam eléréséhez, továbbá a szerzők tapasztalatai szerint a gabona sortávolság és a legmagasabb vetőmagnorma eredményezte a legmagasabb szem- és biomassza hozamot. Hamblin et al. (1993) Ausztráliában vizsgálták a csillagfürt fajokat és megállapították, hogy a csillagfürt fajok termesztése esetén azok több nitrogént kötnek meg a talajban, mint amennyit a magterméssel elvonnak belőle. Megállapították, hogy gyenge tápanyagszolgáltató képességű, terméketlen talajokon a *L. albus* faj szolgált a legalacsonyabb hátrahagyott nitrogén értékekkel, a *L. angustifolius* faj közepes eredményt ért el, a vizsgált fajok közül a legjobb eredményt a hátrahagyott nitrogén tekintetében a *L. consentinii* érte el. A különböző termőterületeken és évjáratokban a csillagfürt genotípusok által megkötött N értéke 37-től 165 kg-ig terjedt hektáronként.

2.6.2. A tavaszi bükköny fővetésben történő termesztése

A közönséges- vagy tavaszi bükköny néven is ismert bükkönyfajt a *Vicia angustifolia*-ból, illetve a *V. segetalis*-ból származtatják. Rendszertanilag a *Fabaceae* családba, a *Vicia* nemzetségbe, az *Euvicia* alnemzetségbe és a *Vicia sativa* fajhoz tartozik számos alakkal és változattal együtt. A *Vicia* nemzetséghez tartozó fajok több célú hasznosítást tesznek lehetővé, a nemzetség fajai közül a *Vicia sativa* L. az alternatív növények kategóriájába sorolható (Francis et al., 2000). A legtöbb termesztett bükkönyfaj multifunkcionális növény, felhasználható friss takarmányként, takarmánylisztként, hasznosítható a szemtermése, szalmája, valamint legeltetésre is alkalmas (Mihailović et al., 2006). Mediterrán eredetű, a Földközi-tenger mellékén és Nyugat-Ázsiában honos növény. Bokorszerű hajtásrendszerű, szögletes, kezdetben felálló, majd elfekvő 60-140 cm hosszú szárral rendelkezik. Levélzete párosan szárnyalt, a levélkék lemeze mindkét oldalt finoman szőrös. A virágok 15-30 mm

hosszúak a vitorla kék, lilás, vagy fehér, a csónak fehéres, vagy tiszta fehér. A hüvelyek 4-8 cm hosszúak, 5-8 mm szélesek, 6-10 db magkezdeménnyel. Az érett hüvely színe sárgás barna, 3-9 maggal. Magja 3-6 mm átmérőjű, gömbölyű, lapított, vagy enyhén szögletes. Termesztett fajtáinak ezermagtömege 40-80 g. Gyökérzete fejletlenebb, mint az őszi vetésű bükkönyfajoké, vékony, 90-110 cm mélyre hatoló orsógyökereből gazdagon elágazó oldalgyökereket fejleszt. A hüvelyek törése és idő előtti felnyílása az egyik legfőbb limitáló faktor a hüvelyes növények magtermesztésében, azonban a *Vicia sativa* hüvelyei nem törnek, nem nyílnak fel, emellett kiváló agronómiai tulajdonságokkal rendelkeznek (Abd-El-Moneim és Saxena, 1995). A tavaszi bükköny zöldtrágyanövényként, vagy magtermés és szénatermés céljából is hasznosítható, magtermését széles körben használják koncentrált takarmányként szalmával, vagy gabonamagvakkal keverve állatok számára (Abd El-Moneim et al., 1990). A tavaszi bükköny magas nyersfehérje tartalommal rendelkezik (28-30%) (Abd El-Moneim, 1993), Gutman (1989) 30% körüli nyersfehérjét közölt, melynek 80%-át emészthetőnek találta. A tavaszi bükköny hozamára és a termésének kémiai komponenseire nagy hatással vannak a termesztés körülményei (Milczak et al., 2001). Napjainkban a bükkönyfélét legnagyobb területen Etiópiában (137,5 ezer ha), Oroszországban (70,5 ezer ha) és Ausztráliában (36,9 ezer ha) termesztik (FAOSTAT, 2022). A tavaszi bükköny a jó talajok és a csapadékosabb tájak növénye, azonban vetőmag termesztéséhez az Alföld klímája is megfelel. Maghozamát jobban befolyásolja az áprilisi, júniusi csapadék, mint a termőhely talaja, a középköött, tápanyaggal közepesen ellátott, jó vízgazdálkodású talajokat kedveli. A korai vetésidő (március közepe – április eleje) nagyobb termésbiztonságot eredményez. Vetőmagtermesztése a gyakorlatban támasztónövényvel történik, a legoptimálisabb támasztónövény faj megállapítására, illetve a keverékek arányaira számos kísérletet állítottak be. Gazdasági szempontból értékes növényfaj, relatíve magas magtermése fontos nyersfehérje forrásként szolgál, illetve toleráns a hideggel szemben (Hu et al., 2013). A tavaszi bükköny kifejezetten zöldtakarmány növény, a kora tavaszi keverékvetések magas fehérjetartalmú komponense. A többi egyéves hüvelyes növényvel összehasonlítva, mint a borsó (*Pisum sativum* L.), vagy a lóbab (*Vicia faba*), a tavaszi bükköny nemesítése terén elért haladás meglehetősen szerény. A legtöbb európai országban őszi vagy tavaszi vetésű tájfajtákat használnak, többnyire gabonafélékkel együtt vetve, amelyek alacsony ráfordítás mellett alkalmasak kiváló minőségű növényi fehérjeforrás előállítására, így nem jelentkezik igény a növény nemesítésének fejlesztésére (Mikić et al., 2013). Ezáltal tavaszi bükköny vetőmag termesztésének és forgalmazásának egyik fő problémája a vetőmag termesztés bizonytalansága (Karagić et al., 2009). Mikić et al. (2019) a tavaszi bükköny termesztési terület növelésének egyik legnagyobb gátját abban látják, hogy a

növény vetőmag termesztése nagyon bizonytalan, mivel a növény indeterminált növekedésű, egyenetlen érésű, és az ezen tulajdonságot irányító gének még nem ismertek. Véleményük szerint a magtermesztésben elért pozitív változások egyik kulcsa azon genotípusok nemesítésbe vonása, amelyek nóduszonként több, mint két hüvelyt fejlesztenek.

Aydogdu és *Acikgöz* (1995) kísérletükben a tavaszi bükköny (*Vicia sativa*) maghozamát vizsgálták eltérő vetőmag mennyiségek alkalmazása esetén. Hat vetőmag dózist alkalmaztak (50-300 mag m²⁻¹), melyek szignifikáns hatást gyakoroltak a magtermésre. A tavaszi bükkönnyt tesztelték őszi és tavaszi termesztési formában is tekintettel a mediterrán éghajlatra, eredményeik alapján az őszi vetésű állományok szignifikánsan magasabb mag és szénahozamot produkáltak, a legeredményesebb vetőmag normának a 250 és 300 mag m²⁻¹ bizonyult. A tavaszi vetés esetében a vetőmag norma emelésével 250 mag m²⁻¹-ig a szénahozam növekedett, azonban 150 mag m²⁻¹-nél magasabb arányú vetőmag dózis a maghozamot nem növelte. *Blum* (1966) kísérletében különböző állománysűrűségek hatását vizsgálta a tavaszi bükköny magtermésére. Vizsgálataiban 75 cm-es sortávolságot állított be különböző tőtávolságokkal. A folyóméterre eső magszámok 55-175 mag fm⁻¹ között alakultak. A maghozam tekintetében a magasabb soronkénti tőszám megnövekedett hozamot eredményezett, melynek oka a területegységre eső magasabb egyedszám, virágok és hüvelyek száma, amelyek több érett hüvely kialakulását eredményezték. Az eredmények azt mutatták, hogy a 75 cm-es sortávolság kedvezőbb, mint a gabona sortávolság, mivel a virágzás folyamata rövidebb periódus alatt zajlott le, és a virágzási csúcs hamarabb jelentkezett a nagyobb sortávolságnak köszönhetően. A növények versengése már a kelés után 16 nappal hatással volt a szárelágazódás alakulására.

A bükköny fajok takarmányként vagy zöldtrágya növényként termesztve magas csíraszám esetében gyorsan biztosítanak talajtakarást, kifejtve gyomelnyomó képességüket (*Uzun* et al., 2004), magcélú termesztés esetében azonban a bükköny szárának ezen növekedési tulajdonsága egyáltalán nem kedvező (*Van de Wouw* et al., 2003). A növény döntően a virágzás időszakában dől meg, a hüvelyek száma csökken, a magok kitelítődése lassul, csökken a hozam és a termés minősége (*Iptas*, 2002; *Karagić* et al., 2008). *Andrzejewska* et al. (2006) véleménye alapján a bükkönnyt kizárólag támasztónövényként ajánlatos termesztetni a megdőlés megelőzése érdekében, továbbá számos szerző kismagvú támasztónövényként keverve ajánlja a bükköny termesztését (*Karadag* és *Buyukburc*, 2003; *Jong*, 2006; *Lauk* és *Lauk*, 2006). A megfelelő gabonanövény kiválasztását, illetve azok arányát a keverékben a növények egymással való versengése, a talaj- és klimatikus viszonyok, illetve a termesztés célja határozza meg. Általánosságban a tavaszi bükköny gabonafélékkel való termesztése használatos. A

gabonafélék közül leggyakrabban zabbal (*Avena sativa* L.) keverve vetik (Erol et al., 2009). A keverési arány tág határok között mozoghat, 25% zab és 75% bükköny aránytól (Alemu et al., 2007) a 75% zab és 25% bükköny arányig (Tuna és Orak, 2007). A tendenciák alapján megfigyelhető, hogy minél szárazabb területen termesztik a keveréket, annál magasabb benne a bükköny aránya. A zab mellett a bükkönnyt termesztik búzával és tritikáléval is keverékben (Dhima et al., 2007). A zab előnye támasznövényként a többi gabonafélével szemben, hogy a biometrikai paraméterei alapján a betakarítás után a szeparálása a bükköny magoknak egyszerűbb, mint az árpa, vagy a búza esetében. Zolotarev (2016) kísérletében tavaszi bükkönnyt tisztán, illetve zabbal (*Avena sativa* L.), fehér mustárral (*Sinapis alba* L.) és facéliával (*Phacelia tanacetifolia*) keverékben vetette különböző tőszámok alkalmazásával. A legmagasabb tavaszi bükköny maghozamot fehér mustárral vetve tapasztalta, 1,5 millió hektáronkénti csíraszám mellett. Szintén magas maghozamot tapasztalt zabbal való keverékben termesztve, abban az esetben, ha a támasznövény aránya a keverékben a legalacsonyabb volt. A betakarítás eredményessége és a mag minősége nagyban függött a megdőlés mértékétől. Abban az esetben, amikor a bükköny tiszta vetésben volt termesztve, a megdőlés mértéke 74% volt, keverékben vetve ez az arány 22 – 42%-ra (zab), 37 – 45%-ra (mustár) és 54 – 56%-ra (facélia) csökkent, a támasznövény arányától függően. A kísérletben megfigyelhető volt, hogy a növényi allelopatikus kölcsönhatások a korai ontogenezis során kezdődnek meg. Az állományban a zab magas vetési arányánál a tavaszi bükköny pusztulási aránya 7 – 9%-ra nőtt, szemben a tiszta állomány 3 – 4%-ával. A fehér mustárral alkotott keverékekben a tavaszi bükköny kezdeti növekedése 6 – 7%-ban szintén hátráltatott volt a mustár által. Általánosságban a tavaszi bükköny generatív fejlődése zabbal és mustárral vetve alakult a legkedvezőbbben (zab esetében 1-2 millió csíra ha⁻¹, mustár esetében 1,5-2,25 millió csíra ha⁻¹), a hozamok 1,51-1,57 t ha⁻¹ között alakultak. Tuna és Orak (2007) törökországi ökológiai körülmények között, 1999-2001 között végzett kísérletben különböző bükköny és a zab (25% bükköny + 75% zab, 50% bükköny + 50% zab, 75% bükköny + 25% zab) és tiszta bükköny, tiszta zab arányokat vizsgáltak a hozam és hozamösszetevők tekintetében. A legmagasabb növényenkénti hüvelyszámot a 75%-os bükköny és 25%-os zab keverék esetében mérték (8,6), a legalacsonyabbat a 25% bükköny és 75% zab keverék esetében (8,0) az első vizsgált évjáratban. A második évjáratban a legmagasabb értéket tiszta vetésben tapasztalták (7,2), míg a legalacsonyabb érték ezen évjáratban is a 25% bükköny és 75% zab esetében alakult. Megállapították, hogy a növényenkénti hüvelyszámot erősen befolyásolta a vetőmag mennyisége a keverékekben. A növényenkénti hüvelyszám csökkent a keverékekben való bükköny arányának csökkentésével. Tuna és Orak 2002-es vizsgálataiban az átlagos

növényenkénti hüvelyszámot 8,86 és 6,73 közé detektálták, *Robinson* (1960) hasonló értékeket tapasztalt vizsgálataiban. *Karadag* és *Buyukburc* (2003) vizsgálataikban tavaszi bükköny, szegletes lednek és tavaszi árpa terméseredményeit vizsgálták a maghozamra és zöldhozamra való tekintettel. A kísérletben vizsgálták az említett növényeket tiszta vetésben, illetve különböző arányú keverékekben. Tavaszi bükköny esetében a legmagasabb zöldhozamot ($39,65 \text{ t ha}^{-1}$) a 25% bükköny és 75% tavaszi árpa esetében tapasztalták. A tavaszi bükköny tiszta termesztésben betakarított maghozama a két évjáratban átlagosan $0,65 \text{ t ha}^{-1}$ volt, amely szignifikánsan alacsonyabb eredmény, mint az 50% bükköny, 50% árpa arányú keverékben, illetve a 25% bükköny és 75% tavaszi árpa arányú keverékben termelt maghozam ($1,52 \text{ t ha}^{-1}$ és $2,1 \text{ t ha}^{-1}$).

Karadag és *Yavuz* (2010) szerint a tavaszi bükköny termesztésének helye és az évjárat szignifikánsan befolyásolja a maghozamot. *Abd El-Moneim* (1993) szerint hasonló ökológiai feltételek mellett a maghozam bükköny fajok esetében a csapadék mennyiségétől függ. A hüvelyesek számára víz szempontjából kritikus időszak a virágzás kezdetétől a magképződésig tart (*Barnes et al.*, 2003). Ahogy számos más növényfaj esetében is, a hozamok gyengén alakulnak, ha a vízszükséglet a kritikus periódus után elégül ki. *Cakmakci et al.* (2003) kísérletet állítottak be a tavaszi bükköny agronómiai paramétereit közötti összefüggések meghatározása céljából. Eredményeik alapján a széna hozam ($r=0,81$), a vigor ($r=0,68$), a növényenkénti magszám ($r=0,49$), a Harvest index ($r=0,42$), a növényenkénti hüvelyszám ($r=0,42$) szignifikáns hatást gyakorolnak a maghozamra, azzal pozitív korrelációt mutatva. A szénahozamra a maghozam ($r=0,81$), a vigor ($r=0,78$), a növényenkénti magszám ($r=0,46$), a növényenkénti hüvelyszám ($r=0,45$) és a növénymagasság ($r=0,31$) volt szignifikáns hatással. Ezek alapján elmondható, hogy azok az agronómiai és morfológiai tulajdonságok, amelyek figyelembe veendők a megfelelő törzsek kiválasztásánál a szénahozam, a vigor, a növényenkénti magszám, a Harvest index és a növényenkénti hüvelyszám. *Karagic et al.* (2011) a szöszös bükköny (*Vicia villosa* Roth), pannon bükköny (*Vicia pannonica* Crantz) és tavaszi bükköny (*Vicia sativa* L.) termésparamétereit vizsgálták különböző sortávok alkalmazása esetén (12,5 cm és 50 cm) tekintettel arra, hogy a növények sajátos morfológiai tulajdonságainak köszönhetően kiemelkedően magas veszteségeket tapasztaltak a növények magcélú termesztése során. A vetőmagnorma csökkentése, illetve a sortáv növelése csökkentheti a megdőlésre való hajlamot, amely által magasabb hozam érhető el. A szerzők ezen feltételezést igazolták kísérletükben, amelyben 12,5 cm-es sortávra vetették a három bükköny fajtát 80 kg ha^{-1} -os vetőmagdózissal, illetve 50 cm-es sortávra 17 kg ha^{-1} -os

vetőmagdózissal. Az eredmények alapján szignifikánsan magasabb maghozamot tapasztaltak a szélesebb sortáv alkalmazása esetén. Szöszösbükköny esetében a szélesebb sortáv, illetve az alacsonyabb vetőmagdózis alkalmazása mellett 41%-os, tavaszi bükköny esetében 19%-os, pannon bükköny esetében 30%-os termésnövekedést tapasztaltak. *Mihailovic et al. (2007a)* kísérletében az átlagos növényhossz tavaszi bükköny esetében 86 és 112 cm között alakult. A növényenkénti hüvelyszám *Karagic et al. (2011)* vizsgálatában átlagosan 31,6 darab volt. A széles sortávolság alkalmazása esetén ez az érték 37,3 db növény⁻¹ volt, amely szignifikánsan magasabbnak bizonyult, mint a szűk sortáv alkalmazása esetén (26 db növény⁻¹). A legmagasabb növényenkénti hüvelyszámot a szöszös bükköny esetében tapasztalták (40,9 db növény⁻¹), a legalacsonyabbat a tavaszi bükköny esetében (21,2 db növény⁻¹), amely igen magas értéknek bizonyul, *Orak és Nizam (2004)* vizsgálatában a tavaszi bükköny növényenkénti hüvelyszámát 7,45 és 18,75 között detektálták, genotípustól függően. Tanulmányukban az átlagos hüvelyenkénti magszám 4,16 db növény⁻¹ volt, a szélesebb sortáv alkalmazása e paraméter esetében is kedvezőbb értékeket produkált, az átlagérték ez esetben 4,44 db növény⁻¹ volt, míg az alacsony sortáv esetében mért érték szignifikánsan alacsonyabb értéket mutatott (3,87 db növény⁻¹). A legmagasabb számú hüvelyenkénti magszámot a bükköny fajták közül a tavaszi bükköny esetében tapasztalták (5,1), a legalacsonyabbat a szöszös bükköny eredményezte (3,38 db növény⁻¹). Az ezermagtömeg átlagosan 38,39 g volt, a szélesebb sortáv esetén szignifikánsan magasabb (39,28 g), mint a szűk sortáv alkalmazása esetén (37,5 g). *Mihailovic et al. (2007b)* kísérletében hasonló értékeket tapasztalt a tavaszi bükköny, pannon bükköny és szöszös bükköny ezermag tömege esetében (46,3 g, 39,5 g és 31,8 g). A legmagasabb maghozamot pannon bükköny esetében tapasztalták, míg a legalacsonyabbat a szöszös bükköny eredményezte (1,38 t ha⁻¹ és 0,78 t ha⁻¹). A tavaszi bükköny átlagos maghozama 0,99 t ha⁻¹ volt, amely 26%-kal magasabb a szöszös bükköny, és 39,7%-kal alacsonyabb a pannon bükköny hozamánál. A legmagasabb hozamot a széles sortávú pannon bükköny termesztése esetén tapasztalták (1,56 t ha⁻¹), a legalacsonyabbat a keskeny sortávú szöszös bükköny esetében (0,65 t ha⁻¹). *Orak és Nizam (2004)* kísérletükben tavaszi bükköny esetében 0,91 és 2,79 t ha⁻¹ közötti értékeket mértek genotípustól függően. *Uzun et al. (2004)* vizsgálataikban 17,5 cm-es sortáv alkalmazása esetén 80 kg ha⁻¹-os és 160 kg ha⁻¹-os vetőmagdózis alkalmazása esetén 1,39 t ha⁻¹, illetve 1,40 t ha⁻¹ magtermést takarítottak be. *Aydemir et al. (2019)* vizsgálataiban a növényenkénti hüvelyszám átlagértéke 15,6 darab hüvely volt, míg a hüvelyenkénti magszám értéke 2,97 és 6,77 darab mag között mozgott. A legmagasabb növényenkénti hüvelyszámot és hüvelyenkénti magszámot ott mérték, ahol a növény tenyészidőszakában magasabb hőmérséklet és relatív páratartalom volt a jellemző.

Albayrak et al. (2004) hasonló vizsgálatokat végeztek különböző tavaszi bükköny vonalakkal és fajtákkal különböző termőhelyeken, melyek során az általuk tapasztalt hüvelyenkénti magszám átlagértéke 6,11 és 8,44 között alakult a fajták esetében, míg a vonalak esetében az értékek 5,44 és 7,22 között alakultak. *Gurmani et al. (2006a)* tavaszi bükkönnyel végzett kísérletében 0,64 – 1,62 t ha⁻¹-os hozamokat tapasztalt. *Seydosoglu (2014)* kísérletében 20 különböző tavaszi bükköny genotípust tesztelt két különböző évjáratban. A két év eredménye alapján vizsgálataiban az átlagos növénymagasság 52,0-83,3 cm, növényenkénti hüvelyszám 13,5-21,2 hüvely növény⁻¹, hüvelyenkénti magszám 4,7-5,6 mag növény⁻¹ volt. Kísérletében az átlagos maghozam 0,92 és 2,94 tonna hektár⁻¹ között változott, míg az ezermagtömeg 46,5-84,5 g volt. *Türk és Yildiz (2016)* vizsgálataikban a tavaszi bükköny termésparamétereire és hozamára gyakorolt hatását vizsgálták különböző adagú foszfor műtrágyázásnak (0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹ P). A vetőmagdózis 80 kg volt hektáronként, a műtrágyázást vetéssel egy menetben végezték. A legmagasabb maghozamot a 90 és 120 kg ha⁻¹-os foszfor műtrágyázással kezelt terület eredményezte. A terméseredményekkel párhuzamosan az ezermagtömegek is nőttek az egyre nagyobb dózisú foszfor műtrágyázás hatására. *Gurmani et al. (2006b)*, *Türk és Tawaha (2001)*, *Noulas et al. (2012)* is hasonlóan termésnövekedést tapasztaltak foszfor műtrágyázás hatására tavaszi bükköny esetén.

2.6.3. Az olajretek fővetésben történő termesztése

Az olajretek hazai vetésterülete hazai és külföldi fajták vetőmagszaporítására és olajos magjáért körülbelül 5-8 ezer ha, zöldsakarmánynak 3-5 ezer ha, zöldrügyének 1-2 ezer ha-ra becsülhető (*Pepó, 2005*). Európában a legnagyobb területen olajretek vetőmagot előállító ország Lengyelországot követően Magyarország.

Több szerző is azon a véleményen van (*Liao et al., 2009; Neuffer és Paetsch, 2013; Salisbury et al., 2017*), hogy a generatív részek vizsgálata elengedhetetlen a keresztesvirágúak termőképességének becsléséhez. A betakarítás megfelelő időzítése rendkívül fontos az olajretek esetében a becők sajátos szerkezete miatt. Túl korai betakarítási idő esetén magok sérülékenyek, a betakarítási folyamat okozta mechanikus hatások ronthatják a vetőmag minőségét. A nem megfelelő dobfordulat és dobhézag beállítás a magok sérülését, a becők elégtelen kicséplését, vagy a becők áthaladását eredményezheti a cséplőberendezésben (*Nery, 2014*). *Tsytsiura (2019)* szerint az olajretek reprodukciós rátáját 35,63%-ban az évjárat, 23,06%-ban a sortávolság, 20,41%-ban a vetőmag dózis és 8,0%-ban a műtrágya mennyisége befolyásolja. *Hampton és Young (1988)* 5, 10 és 15 kg/ha-os vetőmagdózissal vetették az

olajretket, 15 és 30 cm-es sortávoslágot alkalmazva. Eredményeik szerint a maghozamot nem befolyásolta a vetőmag norma, azonban 15 cm-es sortávolság alkalmazása esetén 32%-kal magasabb hozamot takarítottak be. A szerzők is alátámasztják, hogy a betakarítás helyes kivitelezése kiemelkedően fontos a vetőmag minősége szempontjából. A vetőmag mennyiségére, minőségére és csírázókéességére legnagyobb hatással a virágzás és a becőkérés ideje, megdőlés, a betegségek, illetve a betakarítás időzítése és minősége van. A betakarított magmennyiség 2,03 – 2,20 t ha⁻¹ között változtak mindhárom vetőmag norma esetében, továbbá nem tapasztaltak különbséget a területegységre eső becőszám, illetve magszám tekintetében. Azonban az állománysűrűség növelésével a növényenkénti magtömeg 11,7 g-ról 6,1 g-ra, a növényenkénti becőszám 117,0-ról 70,3-ra csökkent. A kísérlet szerint a potenciális becőszámból mindösszesen 30-38% az a mennyiség, amely életképes magokat terem, amely megállapítás megegyezik *Dawkins* és *Almond* (1984) megfigyelésével repce kultúrában. A magasabb becőszám nem minden esetben eredményez magasabb hozamot a becőnkénti magszám csökkenése, illetve a magok aborciója következtében (*Scarlsbrick* és *Daniels*, 1984).

2.6.4. A pohánka fővetésben történő termesztése

A közönséges pohánka (*Fagopyrum esculentum* Moench) az egyike a legrégebben honosított növényeknek, Kelet Ázsiában már ősidők óta termesztik. Honosításának kezdete a 4-5 ezer évvel ezelőtti Dél-Kínába nyúlik vissza (*Gondola és Papp*, 2010). Az első, Európában fellelt pohánkához köthető nyomok 3500 évvel ezelőttiek. Az első olyan történelmi dokumentumok, amelyek említik a pohánka termesztését Európában, a XIV – XV. századra utalnak (*Ohnishi*, 1993). Hazánkban a XVI. században kezdték vetni, elsősorban a takarmánynövénynek, de humán táplálkozásra is felhasználható. Az első hazai fajta (*Hajnalka*) 1991-ben került állami elismerésre. A zöldítésnek köszönhetően mintegy 10.000 ha körülire tehető a termesztési területe. Gyökérzete főgyökér-rendszer, mely 30-60 cm mélységig hatol a talajba, 25-30 cm szélességig terjedő gyökérágakkal. Ezermag súlya 14-28 g között változik, potenciális termőképessége 2,6-2,9 t ha⁻¹.

A honosítása óta több száz fajtája alakult ki a pohánkának. Ezen fajták között nagy a különbségek mutatkoznak a ploid szint, a magok mérete és alakja, a magház és a virágok színe, a növény magassága és a termés mennyisége tekintetében (*Campbell*, 1997). A pohánka jól tolerálja a gyenge tápanyagszolgáltató képességű, alacsony pH-jú talajokat (egészen pH 5-ig), a legoptimálisabb számára a jó levegőzöttségű homok vagy vályog talaj. Rosszul tolerálja a

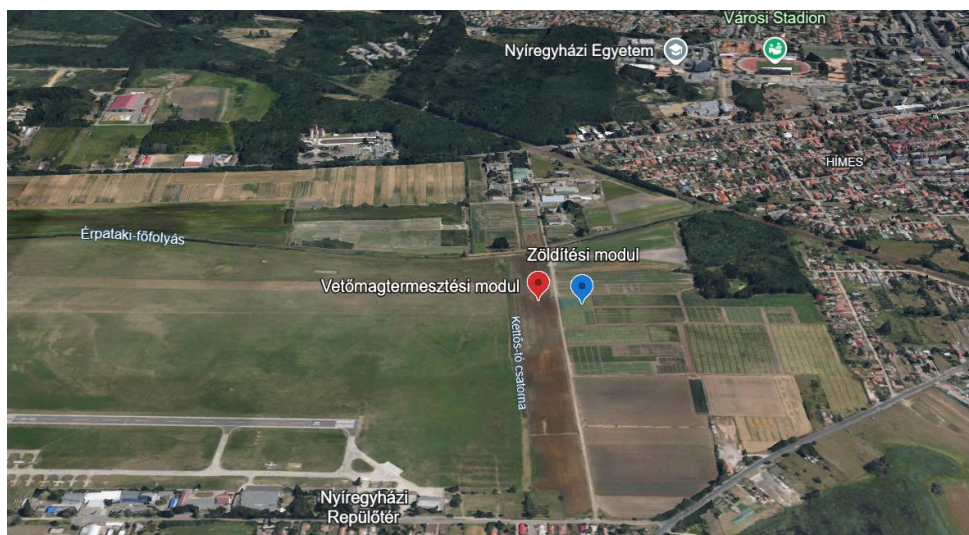
nehéz, kötött, erősen meszes talajokat. Tápanyagigénye mérsékelt, jó műtrágyareakcióval (Marshall és Pomeranz, 1982). Campbell és Gubbels (1978) kísérletükben 47 kg N, 22 kg P₂O₅ és 40 kg K₂O hatóanyag hektáronkénti kijuttatása során 1600 kg-os hektáronkénti magtermést realizáltak. A gyors kelésének eredményeképp (amely általánosságban 4-5 napot vesz igénybe) gyors növekedésű, nagy föld feletti biomasszát fejleszt, a gyomokkal való versengése emiatt nem számottevő (Olson, 2001). A csírázáshoz szükséges optimális hőfok 10 °C. Az egy és kétleveles fejlődési szakaszban a legérzékenyebb a fagyokra. Ebben a fázisban 4-6 órán keresztül tartó -1 - -3 °C-os fagy a növény pusztulását idézheti elő (Kalinova és Moudry, 2003). A hőoptimum 18 és 23 °C között van, a virágzás 15°C alatt gátlódik, a virágzás elhúzódik, a virágok száma csökken. 10 °C-os hőmérséklet a virágok korai hervadását idézi elő (Slawinska és Obendorf, 2001). A pollenek életképessége a hőmérséklet és a relatív páratartalom függvényében alakul. A pollenek 23 °C-os alacsony páratartalmú közegben egy órán belül elveszítik életképességüket. A pohánka vízigénye magas, 1 kg magterméshez 225-315 l vízre van szüksége (Gang és Yu, 1998). A száraz körülmények a növények gyors hervadásához vezethetnek, mivel a pohánka sekély gyökérszettel rendelkezik, azonban a pohánka gyorsan rehidratálja magát, amennyiben elegendő nedvesség áll rendelkezésére, és a fejlődése folytatódik (Campbell, 1997, Delpérée et al. 2003). A megdőlés esélye magas a bőséges csapadékellátottság, és magas nitrogéntartalmú talajok esetében (Sangma és Chrungoo, 2010). A pohánka virágzása különböző naphosszakhoz kötött, még folyamatos megvilágítás mellett is virágzik (Hao et al, 1995), azonban a különböző fajták eltérő fotoperiodikus tulajdonságokkal rendelkeznek (Romanova és Koshkin 2010; Hara et al. 2011). Egyes fajták (pl. nyári japán fajták) fotoperiodikusan semlegesek, virágzásukat nem a fotoperiodizmus szabályozza, más fajták fakultatív rövidnappalos növényként viselkednek (őszi japán fajták) (Quinet et al., 2004). Michiyama et al. (2003) vizsgálata alapján a hosszú nappalok csökkentik a fertilis virágok arányát, azonban nincsenek hatással a magtömegre. A pohánka évjáratbeli terméskülönbségeinek oka a klimatikus faktorokra való érzékenysége. A kiszámíthatatlan meteorológiai körülmények mellett a vetés időpontja is nagyban befolyásolja a pohánka termésmennyiségét. A vetés időpontját úgy kell megválasztani, amikor már nem áll fenn a kockázata a késő tavaszi fagyoknak, amely általában május – június hónapra tehető (Halbrecq et al., 2005). A betakarítást az első őszi fagyok előtt el kell végezni. A magok érése mérsékelt égövi területeken a vetést követően átlagosan három hónap múlva következik be, kedvezőtlenebb klimatikus adottságú területeken a fejlődési folyamat több, mint 5 hónapot is igénybe vehet (Michiyama et al., 1998).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kísérleti helyszín bemutatása

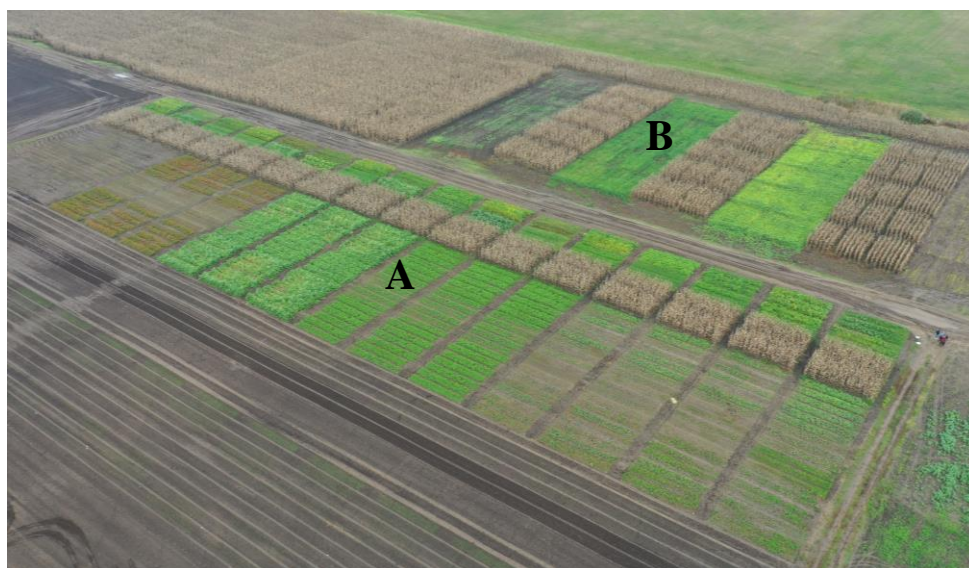
3.1.1. Földrajzi fekvés

A kísérlet mindkét modulja Szabolcs – Szatmár – Bereg vármegyében Nyíregyházán, a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet területén helyezkedik el (*1. kép*).



1. kép. A kísérletek elhelyezkedése a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet területén

A kísérlet elrendezését az *1. ábra* szemlélteti (A jelzés: zöldítési modul, B jelzés: vetőmagtermesztési modul).



1. ábra. A zöldítési modul (A) és vetőmagtermesztési modul (B) látképe október hónapban (Nyíregyháza, 2020)

3.1.2. A kísérleti területek talajainak jellemzői

3.1.2.1. A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerek talajának jellemzői

A kísérletben zöldtrágyázási moduljában résztvevő vetésforgók talajainak tulajdonságait az 2. táblázat szemlélteti a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében. A kísérlet talajtípusa humuszos homok, fizikai félesége az Arany-féle kötöttségi érték alapján homokos vályog kategóriába sorolható. A talajok kémhatása semleges, gyengén lúgos kategóriába tartozik. A vizsgált talajok összes sótartalma csekély mennyiségű. A szervesanyag tartalom az I. vetésforgó talajában közepes mindkét vizsgált mélységben. A II. vetésforgó szervesanyag tartalma a felső 0-25 cm-es rétegben jó, a 25-50 cm-es rétegben közepes, hasonlóan a III. vetésforgó értékeihez. A IV. vetésforgó szervesanyag tartalom értékei alapján a 0-25 cm-es réteg jó, a 25-50 cm-es réteg közepes. Az AL-oldható káliumtartalom esetében a talajok felső rétege egyaránt igen jó ellátottságú, míg a 25-50 cm-es rétegben az I. vetésforgó talaja közepes, a II. és III. vetésforgók talaja jó, a IV. vetésforgó talaja igen jó ellátottságú. AL-oldható foszfortartalom tekintetében a vetésforgók talajainak 0-25 cm-es rétege az I., II. és IV. vetésforgók esetében igen jó, a III. vetésforgó esetében jól ellátottak. A 25-50 cm-es mélységben az I. vetésforgó talaja jó foszfor ellátottságú, a II., III. és IV. vetésforgók talajai közepes ellátottságúak.

2. táblázat. A kísérletben résztvevő vetésforgók talajainak elemzése 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységben (Nyíregyháza, 2020)

Vetésforgó	I. vetésforgó		II. vetésforgó		III. vetésforgó		IV. vetésforgó	
	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
Szint mélysége [cm]	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
pH (KCl 1:2,5) [-]	7,11	7,03	7,15	7,11	7,38	7,22	7,77	7,88
Arany-féle kötöttségi érték [K _A]	30	31	29	29	27	29	33	34
Vízben oldható összes só [m/m %]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Szénsavas mész [m/m %]	0,61	1,15	0,74	2,19	1,10	1,82	7,23	14,45
Szervesanyag tartalom [m/m %]	1,37	1,15	1,31	1,07	1,36	1,10	2,07	1,37
Nitrogén-nitrit+nitrát (KCl old.) [mg/kg légsz.a.]	3,5	3,3	3,3	2,2	2,4	2,7	12,0	2,6
Kálium-oxid (AL old.) [mg/kg légsz.a.]	229,6	152,5	218,8	149,4	230,1	155,0	375,8	224,8
Foszfor-pentoxid (AL old.) [mg/kg légsz.a.]	216,1	179,6	211,0	120,8	209,1	122,7	290,4	86,9

3.1.2.2. A vetőmagtermesztési modul talajának jellemzői

A kísérlet vetőmagtermesztési moduljának talajtulajdonságait a 3. táblázat szemlélteti, a vizsgált növényfajok termesztési területei alapján csoportosítva. A vizsgált talajok pH értéküket tekintve a közömbös-gyengén lúgos kategóriába sorolhatóak, fizikai féleségük az Arany-féle kötöttségi értékek alapján egyaránt homokos vályog, sótartalmuk alacsony. A talajok szénsavas mésztartalmuk alapján közepesen meszes kategóriába tartoznak. A szervesanyag tartalom a csillagfürt és olajretek kísérleti területének talajai mindkét vizsgált rétegben jó, a tavaszi bükköny kísérleti területét a 0-25 cm-es mélységben, illetve a pohánka kísérleti területét mindkét vizsgált mélységben közepes ellátottság jellemzi. A talajok AL-oldható kálium tartalma – a tavaszi bükköny kísérlet talajának 0-25 cm-es rétege kivételével – egyaránt az igen jó ellátottsági kategóriába tartoznak. Az AL-oldható foszfor ellátottság tekintetében a vizsgált talajok, hasonlóan a foszfortartalom értékeknél tapasztaltakhoz, a tavaszi bükköny kísérlet terület talajának 0-25 cm-es rétege kivételével egyaránt az igen jó ellátottsági kategóriába sorolhatók.

3. táblázat. A vetőmagtermesztési kísérlet talajainak elemzése 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységben, a termesztett növényfajok szerint (Nyíregyháza, 2020)

Növényfaj	Csillagfürt		Tavaszi bükköny		Olajretek		Pohánka	
	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
Szint mélysége [cm]	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
pH (KCl 1:2,5) [-]	7,77	7,80	7,58	7,50	7,68	7,71	7,59	7,64
Arany-féle kötöttségi érték [K _A]	33	37	36	34	36	36	32	32
Vízben oldható összes só [m/m %]	0,04	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,02	0,02
Szénsavas mész [m/m %]	5,90	8,82	5,43	4,80	5,90	6,71	6,14	5,66
Szervesanyag tartalom [m/m %]	1,88	1,62	1,39	1,64	1,89	1,85	1,36	1,24
Nitrogén-nitrit+nitrát (KCl old.) [mg/kg légsz.a.]	9,4	3,4	2,0	10,2	2,9	4,9	5,6	7,6
Kálium-oxid (AL old.) [mg/kg légsz.a.]	440,4	305,7	205,7	305,6	277,4	320,8	437,6	336,3
Foszfor-pentoxid (AL old.) [mg/kg légsz.a.]	485,8	318,2	189,3	283,1	273,3	369,2	440,8	349,7

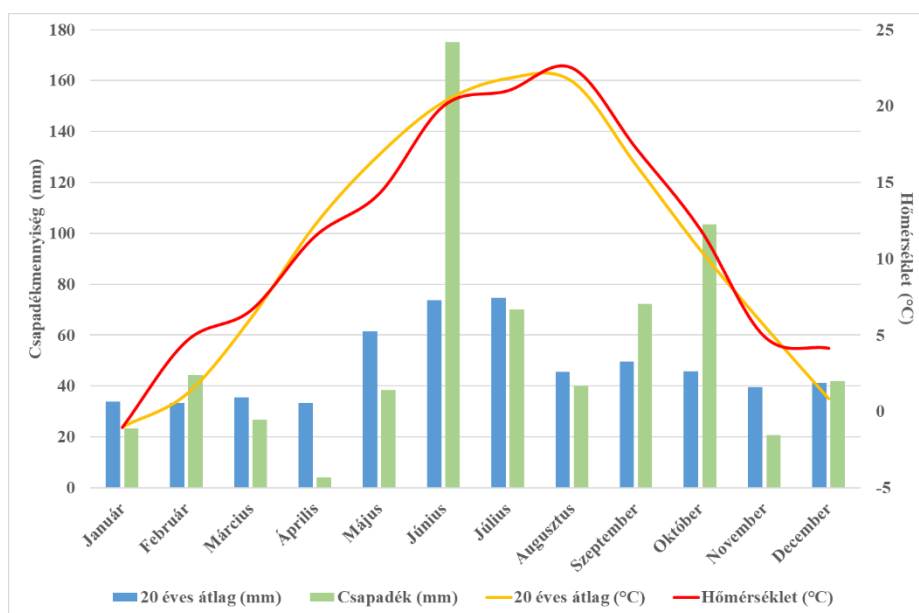
3.1.3. A főbb meteorológiai paraméterek alakulása a kutatási időszak alatt

A kutatómunkánk helyszínéül szolgáló terület Nyíregyháza külterülete, amely Magyarország észak-keleti részén, a Nyírség területén helyezkedik el, éghajlata kontinentális. Az átlagos éves csapadékmennyisége 568 mm, az átlagos évi középhőmérséklete 11,0 °C. A

vizsgált évjáratok során a meteorológiai adatokat (csapadékmennyiség, hőmérséklet, evapotranspiráció) a kutatóintézet területén lévő μ METOS by Pessl típusú meteorológiai állomás biztosította.

3.1.3.1. A 2020-as év időjárási adatainak jellemzése

A 2020. év csapadékmennyisége (661 mm) 93 mm-rel haladta meg a 20 éves átlagértéket (568 mm), azonban a csapadék mennyiségének eloszlása nem volt kiegyenlített. A márciusi, áprilisi és májusi csapadék mennyisége kevesebb volt az átlagértékekhez képest, amely negatívan befolyásolta a tavaszi vetésű növények kelését, kezdeti fejlődését. Júniusban azonban igen nagy mennyiségű, 175,1 mm csapadék hullott. A zöldtrágyanövények tenyészidőszaka folyamán októberben 103,5 mm csapadék hullott, amely kedvező feltételeket biztosított a biomasszahozam fejlődéséhez (2. ábra).

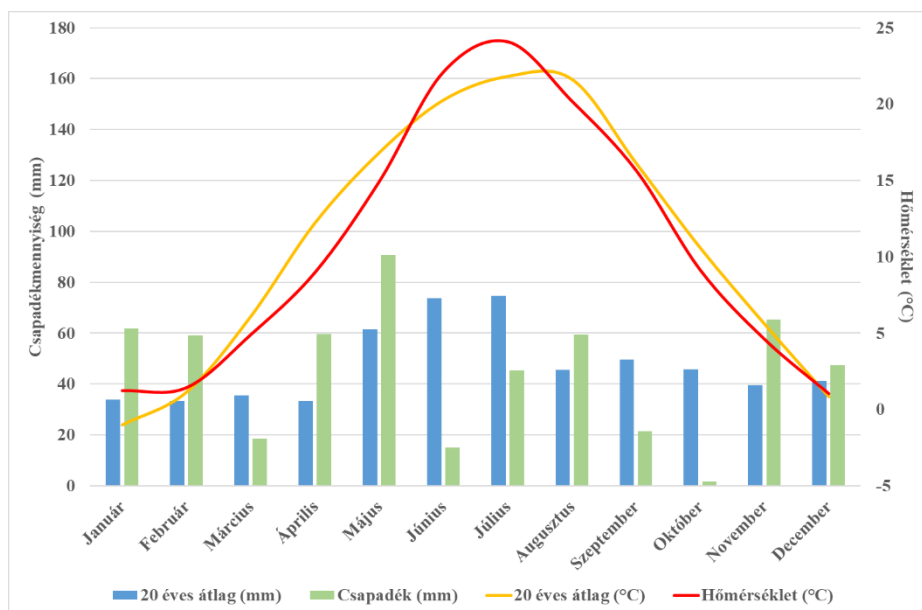


2. ábra. A 2020-as év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2020)

3.1.3.2. A 2021-es év időjárási adatainak jellemzése

2021-ben az éves csapadékmennyiség 22 mm-rel maradt el a 20 éves átlagtól (546 mm). Április és május hónapok jó csapadék ellátottságúnak bizonyultak, amely kedvezett a tavaszi növények fejlődésének. A júniusi és júliusi csapadékmennyiség azonban jóval elmaradt az átlagértéktől, júniusban mindösszesen 14,9 mm csapadék hullott. Szeptemberben 21,5 mm, októberben 1,7 mm hullott, amely kedvezőtlen feltételeket teremtett a zöldtrágyanövények

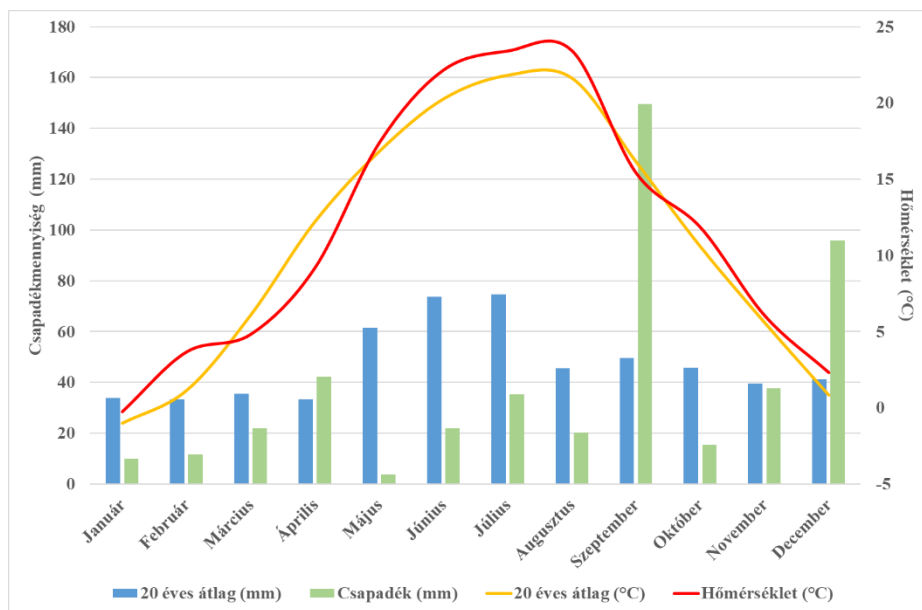
fejlődéséhez. A hőmérsékleti értékeket tekintve június, július hónapok átlagértékei haladták meg a sokéves átlagot, az alacsony csapadékmennyiség mellé társulva (3. ábra).



3. ábra. A 2021-es év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2021)

3.1.3.3. A 2022-es év időjárási adatainak jellemzése

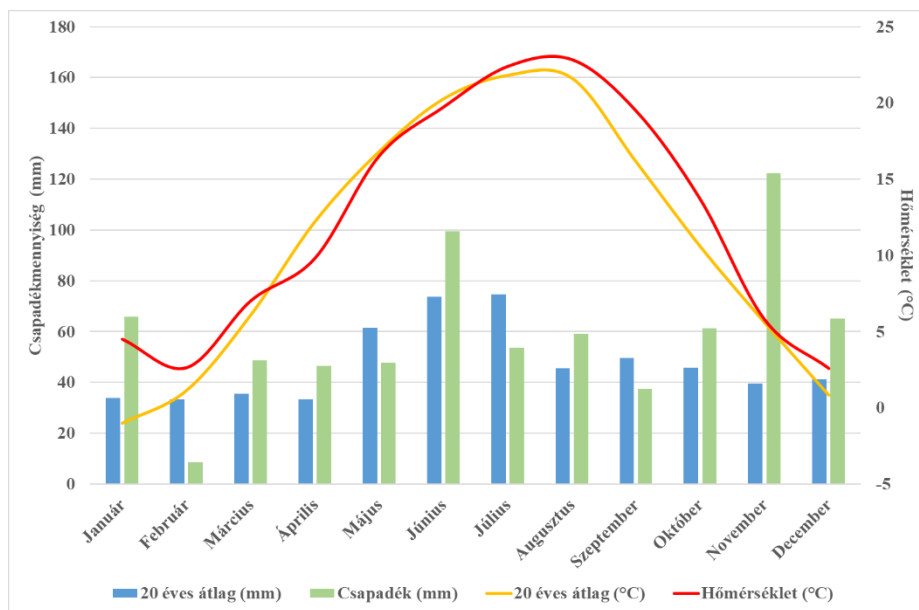
A 2022-es évjárat igen szélsőségesnek volt tekinthető a csapadékelátottság szempontjából. Az éves csapadék mennyisége 102 mm-rel maradt el a 20 éves átlagtól, továbbá eloszlása is nagymértékű kiegyenlítetlenséget mutatott. Januártól augusztusig – április kivételével – egyaránt elmaradt a havi csapadékmennyiség az átlagtól, 233,3 mm vízhiányt eredményezve. Szeptemberben 149,6 mm csapadék hullott, amely 100,1 mm-rel haladja meg az átlagértéket. A zöldtrágyanövények szempontjából a szeptemberben érkezett csapadékmennyiség tette lehetővé a vegetatív fejlődést, azonban az év során felhalmozott csapadékhiány a talajban nem került feltöltésre. A hőmérsékleti értékeket a június, július, augusztusi hónapok 1,6 – 1,9 °C-kal haladták meg az átlagértékeket a csapadékhiány mellé társulva (4. ábra).



4. ábra. A 2022-es év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2022)

3.1.3.4. A 2023-as év időjárási adatainak jellemzése

A 2023-as év csapadékmennyisége 590 mm volt, amely 22 mm-rel haladja meg a 20 éves átlagértéket. A 2022-es aszályos évjáratot követően a csapadék mennyisége és eloszlása kiegyenlített volt, a tavaszi, nyári hónapok csapadékmennyisége az átlagértékek körül mozgott, azonban a lehullott csapadékmennyiség a korábbi hónapokban kialakult vízhiányt pótolta. Az augusztus, szeptember, októberi hőmérsékleti értékek egyaránt magasabban alakultak mint az átlag, amely a megfelelő mennyiségű csapadékkal optimális feltételeket biztosított a zöldtrágyanövények fejlődéséhez (5. ábra).



5. ábra. A 2023-as év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2023)

3.2.3.5. A zöldtrágyázási vetésforgó modulban és a vetőmagtermesztési modulban vizsgált növényfajok tenyészidőszakára jellemző meteorológiai értékek alakulása

A vizsgált négy évjárat során lehetőségünk nyílt igen eltérő csapadékmennyiségű és eloszlású zöldtrágyázási periódusokban vizsgálni a zöldtrágya növényfajokat (4. táblázat). A táblázatban piros színnel jelöltük az átalértékektől nagymértékben elmaradó csapadék mennyiségeket, illetve a 200 mm-t meghaladó vízhiányt az evapotranspirációs értékek alapján. 2020-ban a csapadék mennyisége és eloszlása is kedvező volt, az vizsgált időszakra jellemző átlagértéket 72,7 mm-rel meghaladta, továbbá a lehullott csapadék mennyisége meghaladta a vizsgált periódusra jellemző evapotranspirációs értéket is. 2021-ben a vizsgált periódusban mindösszesen 44,5 mm csapadék hullott, 96,5 mm-rel kevesebb, mint az átlagérték. A lehullott mennyiségből októberben 1,7 mm hullott, így a zöldtrágyanövények vegetatív fejlődése meglehetősen hátráltatott volt, az evapotranspiráció értéke meghaladta a vizsgált időszakban lehullott csapadékmennyiség 3,5-szeresét. A 2022-es aszályhelyzetet követően a zöldtrágyázási periódusban 185,3 mm csapadék hullott, amelyből 149,6 mm szeptember hónapban, lehetővé téve a vegetatív fejlődés intenzív megindulását, azonban az evapotranspiráció értéke így is meghaladta a lehullott csapadék mennyiségét 41,4 mm-rel. 2023-ban, kedvező csapadékkellátottságú évjáratot követően az átlagértéknél 11,3 mm-rel hullott több csapadék

zöldtrágyanövények tenyészidőszakában, azonban az evapotranspiráció mértéke meghaladta a lehullott csapadékmennyiséget (50,1 mm).

A tritikálé tenyészidőszakait tekintve csapadékelátottság szempontjából a 2020-as és 2023-as évjárat bizonyult optimálisnak, a csapadék mennyisége 93,2 mm-rel, illetve 117,2 mm-rel haladta meg az időszakra jellemző átlagértéket. 2021-ben és 2022-ben a lehullott csapadék mennyisége jelentősen kevesebb volt, mint az evapotranspirációs értékek. 2021-ben 131,7 mm, 2022-ben 307,4 mm vízhiányt eredményezve.

Zab esetében a tenyészidőszak folyamán 2020-ban és 2023-ban a csapadék mennyisége kis mértékben meghaladta az átlagértéket, azonban kritikusan alacsony volt a csapadék mennyisége a 2022-es tenyészidőszakban, a jelentkező szárazság csökkentette a tenyészidőszak hosszát is. Az evapotranspirációs értékek mind a négy évjáratban meghaladták a lehullott csapadék mennyiségét, a legnagyobb mértékű különbséget 2021-ben és 2022-ben tapasztaltuk (-267,7 mm és -356 mm).

Kukorica szempontjából a 2020-as év kiemelkedően jónak tekinthető csapadékelátottság szempontjából, a június havi csapadék mennyisége meghaladta a 175 mm-t, a tenyészidőszakban hullott csapadék mennyisége 107 mm-rel haladta meg az átlagértéket. A 2021-es és 2022-es évjáratban azonban a virágzás fenofázisában egyaránt aszályhelyzet volt jellemző, az átlagértékektől elmaradó csapadékmennyiséggel (-63,9 mm és -67,3 mm), és az átlagértékeket meghaladó hőmérsékleti viszonyokkal. Az evapotranspirációs értékek mind a négy évjáratban meghaladták a lehullott csapadék mennyiségét, a legnagyobb mértékű különbséget 2021-ben és 2022-ben tapasztaltuk (-356,1 mm és -456,1 mm).

4. táblázat. A vetésforgóban vizsgált növényfajok vegetációs periódusára jellemző meteorológiai adatok (Nyíregyháza, 2020-2023)

Évjárat / növényfaj	Vegetációs periódus hossza (nap)	Csapadék-mennyiség (mm)	Átlagtól való eltérés (mm)	Átlag-hőmérséklet (°C)	Evapotranspiráció (mm)	Csapadék-Evap. (mm)
Zöldtrágya növények						
2020	97	213,7	72,7	14,9	166,2	47,5
2021	77	44,5	-96,5	14,4	159,6	-115,1
2022	91	185,3	44,3	16,7	226,7	-41,4
2023	91	152,3	11,3	17,9	202,4	-50,1
Tritikálé						
2019-2020	276	520,2	93,2	9,8	569,2	-49
2020-2021	251	396,9	-30,1	9,6	528,6	-131,7
2021-2022	248	223,2	-128,8	8,4	530,6	-307,4
2022-2023	248	469,2	117,2	9,1	446,6	22,6
Zab						
2020	142	301,3	22,3	16	525,4	-224,1
2021	133	211,4	-67,6	16,1	479,1	-267,7
2022	108	83,6	-120,4	16,5	439,6	-356
2023	129	279,7	0,7	16,4	444,7	-165
Kukorica						
2020	172	412	107	18,5	566,3	-154,3
2021	166	241,1	-63,9	18,9	597,2	-356,1
2022	164	237,7	-67,3	19,8	668,8	-431,1
2023	155	297,4	-7,6	20,1	555,3	-257,9

Kiemelve a térségre jellemző átlagértéktől nagymértékben elmaradó csapadékmennyiség értékek, illetve a 200 mm-t meghaladó vízhiány az evapotranspirációs értékek alapján.

A vizsgált növények magcélú termesztése esetében csapadékelátottság szempontjából optimális évjárat a 2020-as és 2023-as év volt, mind a négy növényfaj esetében a lehullott csapadék mennyisége meghaladta az átlagértékeket. 2021-ben a márciusi vetésű növényfajok kelését, kezdeti fejlődését hátráltatta az alacsony mennyiségű csapadék, továbbá a júniusi szárazság a virágzási, termékenyülési folyamatokra hatott negatívan, a lehullott csapadék mennyisége a csillagfürt tenyészidőszakának kivételével elmaradt az átlagértéktől. 2022-ben a teljes tenyészidőszakot tekintve elmaradtak a havi csapadékmennyiségek az átlagértékektől mind a négy növényfaj esetében, az evapotranspirációs értékekben a lehullott csapadék mennyiségéhez viszonyítva a legnagyobb mértékű különbség jelentkezett a vizsgált évjáratok közül (5. táblázat).

5. táblázat. A fővetésben vetett zöldtrágya növényfajok vegetációs periódusára jellemző meteorológiai adatok (Nyíregyháza, 2020-2023)

Évjárat / növényfaj	Vegetációs periódus hossza (nap)	Csapadék-mennyiség (mm)	Átlagtól való eltérés (mm)	Átlag-hőmérséklet (°C)	Evapotranspiráció (mm)	Csapadék-Evap. (mm)
Csillagfűrt						
2020	155	327,9	38,9	17,2	585,2	-257,3
2021	140	249,4	6,4	17,2	578,2	-328,8
2022	118	88,8	-154,2	17	492,9	-404,1
2023	148	320,5	77,5	17	513,7	-193,2
Tavaszi bükköny						
2020	142	300,8	57,8	16,8	541,8	-241
2021	128	211,4	-31,6	16,8	470,5	-259,1
2022	107	93,8	-74,2	16,6	436,4	-342,6
2023	129	279,7	36,7	16,4	444,7	-165
Olajretek						
2020	139	300,8	57,8	16,7	527,6	-226,8
2021	135	233,4	-9,6	17,1	496,8	-263,4
2022	137	119	-124	17,9	595,6	-476,6
2023	148	320,5	77,5	17	513,7	-193,2
Pohánka						
2020	140	336,3	31,3	19,4	507,7	-171,4
2021	131	216,4	-88,6	20,2	508,5	-292,1
2022	161	237,7	-67,3	20	668,3	-430,6
2023	127	274,9	19,9	20,4	490,5	-215,6

Kiemelve a térségre jellemző átlagértéktől nagymértékben elmaradó csapadékmennyiség értékek, illetve a 200 mm-t meghaladó vízhiány az evapotranspirációs értékek alapján.

3.2. A kísérlet elrendezésének és kezeléseinek bemutatása

3.2.1. Zöldtrágyázási modul

3.2.1.1. Vetésforgó rendszerek felépítése, a kezelések bemutatása

A kutatásban szereplő másodvetésben vetett zöldtrágyanövényfajok (csillagfűrt, tavaszi bükköny, olajretek, pohánka) vetésforgóban betöltött szerepének értékelése céljából beállított kísérlet 4 vetésforgót tartalmaz, amelyben komplex rendszerben értékeljük a zöldtrágyanövények előveteményértékét három növényfajon (tritikálé, zab, kukorica). A zöldtrágyakezelések mellett összehasonlítási alapként csak műtrágyázott, illetve kontroll parcellák is szerepelnek, a zöldtrágya növényeket növényfajonként három állománysűrűségben alkalmaztuk. Műtrágya kijuttatása a zöldtrágyázott parcellák esetében a kísérlet teljes időtartama alatt nem történt. Műtrágyát a kísérlet teljes időszaka alatt csak a műtrágyakezelésben részesülő parcellák esetében juttattunk ki, a fővetésben termesztett növények tenyészidőszakában, 80 kg ha⁻¹ N hatóanyag mennyiségben, mészammon-salétrom (Pétisó) formájában. A műtrágyakezeléseket fejtrágyaként, tritikálé és zab állományban

bokrosodáskor, kukorica állományban 4-6 leveles állapotban sorközműveléskor juttattuk ki. A műtrágyával kezelt parcellák a zöldtrágya növények tenyészidőszakában borítatlan tarlóként funkcionáltak. A kontroll kezelések esetében nem történt zöldtrágyázás, betakarítás után a talaj borítatlan tarló formájában maradt a következő növénykultúra vetéséig, továbbá műtrágyázás sem történt a fővetésű növények tenyészidőszakában. A kezeléseket randomizált blokk elrendezésben, négy ismétlésben alkalmaztuk (6. ábra), a kezelt parcellákat szegélyparcellákkal határoltuk. A kísérleti parcellákat a gabonanövények, illetve zöldtrágyanövények esetében *Wintersteiger Plot Spider* parcellavetőgéppel vetettük, a parcellaméret bruttó 10 m x 1,7 m, nettó 9,2 m x 1,7 m. A kukorica vetése *Monosem* szemenként vető géppel történt. A kísérletek betakarítása a gabonanövények esetében *Zürn 130SE* parcellakombájnnal történt, kukorica esetében kézi törést követően parcellakombájnnal történt a cséplés.

I. vetésforgó				II. vetésforgó				III. vetésforgó				IV. vetésforgó			
0011	0002	0013	0004	0011	0002	0013	0004	0011	0002	0013	0004	0011	0002	0013	0004
0001	0012	0003	0014	0001	0012	0003	0014	0001	0012	0003	0014	0001	0012	0003	0014
4301	4102	4203	4304	4301	4102	4203	4304	4301	4102	4203	4304	4301	4102	4203	4304
4201	4302	4103	4204	4201	4302	4103	4204	4201	4302	4103	4204	4201	4302	4103	4204
4101	4202	4303	4104	4101	4202	4303	4104	4101	4202	4303	4104	4101	4202	4303	4104
3301	3102	3203	3304	3301	3102	3203	3304	3301	3102	3203	3304	3301	3102	3203	3304
3201	3302	3103	3204	3201	3302	3103	3204	3201	3302	3103	3204	3201	3302	3103	3204
3101	3202	3303	3104	3101	3202	3303	3104	3101	3202	3303	3104	3101	3202	3303	3104
2301	2102	2203	2304	2301	2102	2203	2304	2301	2102	2203	2304	2301	2102	2203	2304
2201	2302	2103	2204	2201	2302	2103	2204	2201	2302	2103	2204	2201	2302	2103	2204
2101	2202	2303	2104	2101	2202	2303	2104	2101	2202	2303	2104	2101	2202	2303	2104
1301	1102	1203	1304	1301	1102	1203	1304	1301	1102	1203	1304	1301	1102	1203	1304
1201	1302	1103	1204	1201	1302	1103	1204	1201	1302	1103	1204	1201	1302	1103	1204
1101	1202	1303	1104	1101	1202	1303	1104	1101	1202	1303	1104	1101	1202	1303	1104

Kék szín: csillagfürt zöldtrágyázás; Narancssárga szín: tavaszi bükköny zöldtrágyázás; Bordó szín: olajretek zöldtrágyázás; Citromsárga szín: pohánka zöldtrágyázás; Zöld szín: műtrágyázás, zöldtrágyanövény alkalmazása nélkül; Szürke szín: kontroll terület, műtrágya és zöldtrágyanövény alkalmazása nélkül.

6. ábra. A vetésforgó kísérlet parcelláinak elrendezése

A zöldítési modulban célunk a vetésforgórendszerek hatékonyságának értékelése olyan technológiák bevonásával, amely lehetővé teszi a fenntartható gazdálkodást a talajállapot javításával és az inputanyagok optimalizálásával a gazdasági haszonnövények hozamcsökkenése nélkül. A kísérlet felépítéséből adódóan az egyes kezelések hatásai kumulálódnak, tekintettel arra, hogy az egyes kezelések (zöldtrágya, műtrágya, kontroll) minden évben ugyanazon helyen kerültek kialakításra (2. kép). Ebből adódóan lehetőségünk nyílik a zöldtrágyázott parcellák esetében a tápanyagutánpótlás minőségét és mértékét abban a tekintetben értékelni, hogy az elmúlt 4 évben ezen parcellákon egyáltalán nem történt műtrágya kijuttatás. A különböző vetésforgók növényi sorrendjeit a 6. táblázat szemlélteti.

6. táblázat. A zöldítési modulban alkalmazott vetésforgó rendszerek növényi sorrendjei a vizsgált évjáratokban

Év	I. vetésforgó	II. vetésforgó	III. vetésforgó	IV. vetésforgó
2020	Tritikálé	Zab	Tritikálé	Kukorica
	Zöldítés	Zöldítés	Zöldítés	Tarló
2021	Kukorica	Tritikálé	Zab	Tritikálé
	Tarló	Zöldítés	Zöldítés	Zöldítés
2022	Tritikálé	Kukorica	Tritikálé	Zab
	Zöldítés	Tarló	Zöldítés	Zöldítés
2023	Zab	Tritikálé	Kukorica	Tritikálé
	Zöldítés	Zöldítés	Tarló	Zöldítés



2. kép. Tritikálé és zab kísérleti parcellák a vizsgált vetésforgó rendszerekben (Forrás: Pál, 2020)

A kísérleti parcellákon alkalmazott vetőmagdózisokat a 7. táblázat ismerteti. A zöldtrágyanövényeket növényfajonként három állománysűrűségben alkalmaztuk, a fővetésben vetett növényeket mind a négy évjáratban azonos állománysűrűségben vetettük. A kísérlet 2019 őszen került beállításra, az I. és III. vetésforgóban történt meg a tritikálé elvetése. A II. és IV. vetésforgókban 2020 tavaszán került elvetésre a zab, illetve a kukorica. A növények termesztése során a gyakorlatban széleskörűen alkalmazott agrotechnikát követtük.

7. táblázat. A zöldítési modul vetésforgó rendszerű kísérletében alkalmazott vetőmagdózisok

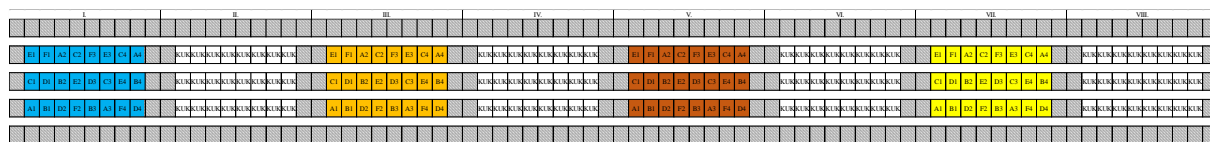
Faj	1. dózis	2. dózis	3. dózis
	millió csíra ha ⁻¹	millió csíra ha ⁻¹	millió csíra ha ⁻¹
Csillagfürt (<i>Lupinus albus</i> cv. <i>Nelly</i>)	0.3	0.5	0.65
Tavaszi bükköny (<i>Vicia sativa</i> cv. <i>Emma</i>)	2	2.5	3
Olajretek (<i>Raphanus sativus</i> cv. <i>Litinia</i>)	0.8	1.5	2
Pohánka (<i>Fagopyrum esculentum</i> cv. <i>Hajnalka</i>)	2.3	3	3.8
Tritikálé (<i>x Triticale</i> cv. <i>Szabolcs</i>)	4		
Zab (<i>Avena sativa</i> cv. <i>Lota</i>)	4		
Kukorica (<i>Zea mays</i> cv. <i>DKC 4943</i>)	0.065		

3.2.2. Vetőmagtermesztési modul

3.2.2.1. Vetésforgó rendszer felépítése, a kezelések bemutatása

A zöldtrágyanövény fajok magcélú termesztése során mind a négy zöldtrágya növényfaj esetében két állománysűrűséget és három tápanyagellátási szintet alkalmaztunk, továbbá vizsgáltuk a fajok előveteményértékét kukorica növényen. A három tápanyagellátási szintet mind a fővetésben vetett zöldtrágya növények tenyészedőszaka során, mind a kukorica tenyészedőszaka során azonosan alkalmaztuk a parcellákon, így azok hatásai az évek folyamán kumulálódtak. Az alkalmazott tápanyagellátási szintek a kontroll, 80 kg ha⁻¹ N, illetve 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK hatóanyagok voltak. A műtrágyakezelések esetében a foszfor és kálium hatóanyagot, illetve a nitrogén 40%-át vetés előtt juttattuk ki a komplex műtrágyával kezelt parcellákra, a nitrogén fennmaradó része tavasszal, fejtrágyaként került kijuttatásra. A 80 kg N ha⁻¹ kezelésben a műtrágya szintén tavasszal, fejtrágyaként került kijuttatásra. A nitrogént, foszfort és káliumot tartalmazó komplex műtrágya 8% ammónium és nitrát nitrogént, 24% P₂O₅-ot és 24% K₂O-ot tartalmaz, amely 400 kg ha⁻¹-os dózisban került kijuttatásra a kezelésben részesülő parcellákra. Ezen parcellák fejtrágyázása 27%-os hatóanyag tartalmú

mészammon-salétrom műtrágyával történt, 180 kg ha⁻¹-os dózisban. A csak N műtrágyával kezelt parcellák fejtrágyaként lettek kezelve 27%-os hatóanyag tartalmú mézszammon-salétrom műtrágyával 300 kg ha⁻¹-os dózisban. A műtrágya kezeléseket vetés előtt parcellavetőgéppel végeztük el, fejtrágyaként kézzel juttattuk ki az érintett parcellákra. A kezeléseket randomizált blokk elrendezésben, négy ismétlésben alkalmaztuk. A kísérlet parcelláinak elhelyezkedését a 7. ábra szemlélteti. A kísérlet 8 blokkot foglal magába, melyen belül vetésváltásban történik a kukorica és a fővetésben vetett, magcélú zöldtrágyanövény fajok termesztése, a kísérleti parcellák szegélyparcellákkal határoltak. Hasonlóan a zöldítési modulhoz, a zöldtrágyanövények parcelláinak vetését *Wintersteiger Plot Spider* parcellavetőgéppel végeztük, a parcellaméret bruttó 10 m x 1,7 m, nettó 9,2 m x 1,7 m. A betakarítást *Zürn 130SE* parcellakombájnnal végeztük a zöldtrágyanövények esetén, a kukorica parcellák esetében a törés kézzel, a cséplés parcellakombájnnal történt.



Kék szín: csillagfürt magtermesztés; Narancssárga szín: tavaszi bükköny magtermesztés; Bordó szín: olajretek magtermesztés; Citromsárga szín: pohánka magtermesztés; Fehér szín: fővetésű kukorica.

7. ábra. A vetőmagtermesztési modul parcellatérképe

A 8. táblázat a vetőmagtermesztési modulban alkalmazott vetéstechnológiai paramétereket tartalmazza.

8. táblázat. A vetőmagtermesztési modulban alkalmazott állománysűrűségek és sortávolságok a különböző zöldtrágyanövényfajok, illetve kukorica termesztése esetén

Faj/Dózis	1	2	Sortávolság cm
	millió csíra ha ⁻¹	millió csíra ha ⁻¹	
Csillagfürt (<i>Lupinus albus</i> cv. <i>Nelly</i>)	0.25	0.4	40
Tavaszi bükköny (<i>Vicia sativa</i> cv. <i>Emma</i>) + Zab (<i>Avena sativa</i> cv. <i>Lota</i>)	1.8	2.3	12
	1.5		
Olajretek (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiferus</i> cv. <i>Litiniá</i>)	0.5	0.8	24
Pohánka (<i>Fagopyrum esculentum</i> cv. <i>Hajnalka</i>)	2	3	12
Kukorica (<i>Zea mays</i> cv. <i>DKC 4943</i>)	0.065		75

3.2.2.2. *A magcélú termesztés agrotechnikai adatai*

A *Nelly* fehérvirágú csillagfürt esetében minden évjáratban kukorica elővetemény, és forgatásos alapművelést követően történt a növény magcélú termesztése. A kísérletben két vetőmagdózist alkalmaztunk, 250 ezer és 400 ezer csíra hektáronként, amely ezermagtömegtől függően átlagosan 80 kg és 120 kg vetőmagnak felel meg hektáronként.

Az *Emma* tavaszi bükköny esetében minden évjáratban kukorica elővetemény, és forgatásos alapművelést követően történt a növény magcélú termesztése. A kísérletben a növényt zab támasztónövénnel és tiszta vetésben termesztettük. Kevert vetés esetében a tavaszi bükköny vetőmagdózisa 1,8 millió csíra ha⁻¹ volt, amely ezermagtömegtől függően átlagosan 80 kg vetőmagnak felel meg hektáronként, a zab hektáronkénti csíraszám 1,5 millió volt, amely átlagosan 50 kg zabnak felel meg hektáronként. Tiszta vetésben a tavaszi bükkönnyt 2,3 millió csíra ha⁻¹-os vetőmagmennyiséggel vetettük, amely átlagosan 100 kg vetőmagnak felel meg hektáronként.

A *Litinia* olajretek esetében az elővetemény szintén kukorica volt, amely betakarítását forgatásos alapművelés követte. Az olajretek vetőmagtermesztési kísérletben alkalmazott vetőmagnorma 500 ezer és 800 ezer csíra hektáronként, amely ezermagtömegtől függően átlagosan 6 kg és 9,5 kg vetőmagnak felel meg hektáronként. Az olajretekben növényvédelmi kezelésként gyomirtást, illetve a károsító repcebolhák ellen rovarölő szeres védekezést alkalmaztunk.

A *Hajnalka* pohánka vetőmagtermesztése során az elővetemény minden évjáratban kukorica volt, amely betakarítását követően forgatásos alapművelést alkalmaztunk. A pohánkát 2, illetve 3 millió csírával vetettük hektáronként, amely átlagosan 50, illetve 80 kg vetőmagnak felel meg, ezermagtömegtől függően.

A kukorica termesztése a csillagfürt, tavaszi bükköny, olajretek és pohánka fővetésben történő termesztését követően történt, a műtrágyakezelések azonos parcellán, azonos dózisban kerültek kijuttatásra. A vetőmagtermesztési modulban a komplex műtrágya kijuttatása vetés előtt történt, a N műtrágya kijuttatása sorközműveléskor a kukorica termesztése során.

3.3. A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó kísérletben végzett vizsgálatok módszertana

3.3.1. Talajellenállás mérése

A talajtömörödöttség megállapítása penetrációs ellenállás mérésével 1 m-es mélységig *PEN 100M500* típusú mechanikus penetrométer műszerrel történt. Az eszköz 1 m-es mélységig centiméterenként rögzíti a talajellenállás értékét kP mértékegységben, amelyet a 60°-os kúpnan végződő szonda talajba juttatásához szükséges erő alapján méri. A méréseket a talajmintavételezésekkel egyidőben végeztük. A talajellenállás méréseit minden kezelés második ismétlésében, parcellánként három ismétlésben végeztük, a kísérlet időtartama alatt azonos parcellákon. Az eszköz által rögzített értékek Excel táblázatba importálhatóak. A mérések időpontjait a 9. táblázat szemlélteti. A kapott eredmények statisztikai értékelését a 0-10 cm-es, 10-20 cm-es, 20-30 cm-es és 30-40 cm-es rétegek átlagértékei alapján végeztük.

9. táblázat. Penetrométeres mérések kivitelezésének rendje

Mérés időpontja	Vetésforgó	Növényállomány
2020.05.19	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2020.11.24	II; IV	tritikálé
2021.05.19	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2021.08.26	II; III; IV	zöldítés
2022.05.16	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2022.11.02	II; IV	tritikálé
2023.08.10	I; II; III; IV	zöldítés, kukorica
2023.11.22	I; III	tritikálé

3.3.2. Talajmintavételek a kísérleti kezelésekből, a talajtulajdonságok értékelése

A talajmintavételezés során a talaj nedvességtartalmának meghatározásához, illetve a talaj tápanyagellátottsági értékeinek laboratóriumi vizsgálatához gyűjtöttünk mintákat. A mintavétel a nedvességtartalom gravimetriás megállapítása céljából a talaj 0-25, 25-50, 50-75 és 75-100 cm-es mélységében 5 cm átmérőjű mintavevő csővel történt, ütőkalapácsos rendszerű gép segítségével. A talajmintavétel a kezelések második ismétléséből történt, a kísérlet időtartama alatt azonos parcellákból. Technikai okokból 2023-ban a mintavétel mélységét 0-25 és 25-50 cm-re csökkentettük, így a nedvességtartalom értékelése csak ezen rétegekben valósult meg. A talaj tápanyagellátottságának vizsgálatához a talaj 0-25 cm-es és 25-50 cm-es rétegeből gyűjtöttünk mintát, amely kivizsgálása akkreditált laboratóriumban történt.

A talaj nedvességtartalmának gravimetriás meghatározása során a különböző mélységekben gyűjtött mintákat alumínium edénybe helyeztük, melyeknek meghatároztuk a nedves tömegét (3. kép). Memmert típusú szárítószekrényben súlyállandóságig történő szárítása után meghatároztuk a talaj száraz tömegét. A talaj tömegszázalékban kifejezett nedvességtartalmának meghatározásához a következő képletet alkalmaztuk:

$$(m_{\text{nedves}} - m_{\text{száraz}}) / m_{\text{száraz}} * 100.$$



3. kép. Talajminták előkészítése gravimetriás nedvességtartalom meghatározáshoz (Forrás: Pál, 2023)

A talaj nedvességtartalmának meghatározása céljából történt mintavételek időpontjait a 10. táblázat szemlélteti.

10. táblázat. Talajmintavételek időpontjai nedvességtartalom meghatározása céljából

Mérés időpontja	Vetésforgó	Növényállomány
2020.05.20	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2020.08.10	I; II; III	tritikálé, zab tarló
2020.10.22	I; II; III	zöldítés
2021.05.19	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2021.07.01	II; III; IV	tritikálé, zab
2021.08.26	II; III; IV	zöldítés
2021.12.08	II; III; IV	tritikálé, tarló
2022.05.16	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2023.08.09	I; II; III; IV	zöldítés
2023.11.22	I; III	tritikálé

A talaj tápanyagtartalmának meghatározása érdekében végzett vizsgálatok kiterjedtek a talaj pH (KCl) tartalmának (MSZ-08-0206-2:1978), K_A értékének (MSZ-08-0205:1978), vízben oldható összes sótartalmának (MSZ-08-0206-2:1978), szénsavas mésztartalmának (MSZ-08-0206-2:1978), szervesanyag tartalmának (MSZ-08-0452: 1980), nitrogén, nitrit és nitrát (KCl-oldható) tartalmának (MSZ 20135:1999), kálium-oxid (AL-oldható) tartalmának (MSZ 20135:1999), és foszfor-pentoxid (AL-oldható) tartalmának (MSZ 20135:1999) meghatározására. A talaj tápanyagtartalmának vizsgálati időpontjait a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat. Talajmintavételezések kivitelezésének időpontjai tápanyagtartalom meghatározása céljából, illetve a mérések területei

Mérés időpontja	Vetésforgó	Növényállomány
2020.05.20	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2020.10.22	I; II; III	zöldítés
2021.05.19	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2021.12.08	I; II; III; IV	tritikálé, tarló
2022.05.16	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2022.11.02	I; II; III; IV	tritikálé, tarló
2023.05.08	I; II; III; IV	tritikálé, zab, kukorica
2023.11.22	I; II; III; IV	tritikálé, tarló

3.3.3. Növényfenometriai, illetve hozam vizsgálatok

3.3.3.1. A zöldtrágya növények biomasszahozamának mérése

A zöldtrágyanövények parcelláiból a föld feletti nyers biomasszahozam meghatározása céljából növénymintát gyűjtöttünk a zöldtrágyanövények talajba forgatását megelőző időpontban. A mintavételi területet a parcellákon belül 50x50 cm-es keret segítségével határoltuk el, majd a talajfelszín közvetlen közelében metszőollóval elvágtuk a növényeket, majd begyűjtöttük a növénymintákat (4. kép). A mintákat a nedves tömeg beméréséig vízhatlan tárolózacskóban tároltuk. A nedves tömeg bemérését követően a mintákat súlyállandóságig kiterítve szárítottuk, melyet követően visszamértük a növényminták súlyát. A kapott értékekből meghatároztuk a hektáronkénti zöld biomasszahozamot, a minták nedvességtartalmát, illetve a szárazanyag tömeget.



4. kép. Zöldtrágya növények mintázása 50x50 cm-es mintaterületen a föld feletti nyers biomassza hozam megállapítása érdekében (Forrás: Pál, 2023)

3.3.3.2. A növények hozamának vizsgálata

A növények parcelláin a *Zürn 130 SE* parcellakombájnnal végzett betakarítást követően meghatároztuk a parcellahozamot, a betakarításkori nedvességtartalmat *Wile 55* nedvességtartalom mérő eszközzel, illetve az ezermagtömeget.

3.4. A vetőmagtermesztési modulban végzett vizsgálatok

3.4.1.1. A fővetésben vetett zöldtrágyanövények növényi paramétereinek vizsgálata

A vetőmagtermesztési modulban a csillagfürt, tavaszi bükköny, olajretek és pohánka termésképző elemeinek alakulását vizsgáltuk eltérő tápanyagellátási szintek és állománysűrűségek alkalmazása mellett. Az említett növényfajok kísérleti parcelláin a betakarítási folyamatokat megelőzően parcellánként 10 növénymintát gyűjtöttünk a paraméterek meghatározása érdekében. A gyűjtött növényminták alapján kezelésenként 40 ismétlésben végeztük el a paraméterek értékelését. A növényminták alapján a felvételezett paramétereket a *12. táblázat* szemlélteti.

12. táblázat. Növényi paraméter vizsgálatok a fővetésben termesztett zöldtrágya növényfajok esetében

Csillagfürt	Tavaszi bükköny	Olajretek	Pohánka
növényenkénti hüvelyszám	növényenkénti hüvelyszám	növényenkénti becőszám	növényenkénti magszám
hüvelyenkénti magszám	hüvelyenkénti magszám	becőnkénti magszám	növényenkénti magtömeg
növényenkénti magszám	növényenkénti magszám	növényenkénti magszám	ezermagtömeg
növényenkénti magtömeg	növényenkénti magtömeg	növényenkénti magtömeg	
ezermagtömeg	ezermagtömeg	ezermagtömeg	

3.4.1.2. *A fővetésben vetett zöldtrágya növények hozamának vizsgálata*

A zöldtrágya növényfajok magcélú betakarítását *Zürn 130 SE* parcellakombájnnal végeztük.

A betakarítást követően a vetőmagtételek tisztítását *Kamas* típusú laborrostával végeztük el. Csillagfürt esetén a tisztítást 12 mm-es felső kör alakú rostával, illetve évjárattól függően 4,25 mm-es és 3,5 mm-es alsó hasíték rostával végeztük. A tavaszi bükköny kevert vetésben történő termesztése esetében a zabot és a bükkönnyt 3 mm-es felső hasíték rögrostával és 1,9 mm-es alsó hasíték szemrostával választottuk szét. Tiszta vetésben 5,25 mm-es felső kör alakú, illetve 1,9 mm-es alsó hasíték rostát alkalmaztunk. Az olajretek tisztítását 4 mm-es kör alakú felső, illetve 1,7 mm-es hasíték alsó rostával végeztük. A pohánka tisztítása 6,25 mm-es felső kör rostával, illetve 2,7 mm-es alsó hasíték rostával történt. A rostálást követően bemértük a parcellánként termett tiszta súlyt a vizsgált növényfajok esetében.

3.4.1.3. *A fővetésben vetett zöldtrágya növények előveteményértékének vizsgálata*

A fővetésben vetett zöldtrágyanövények esetében a következő évjáratban kukorica növényen vizsgáltuk azok előveteményértékét. A kukoricában végzett kezelések a műtrágyaszinteket tekintve azonosak a zöldtrágya növények esetében alkalmazottakkal. A kukorica parcellák betakarítása kézzel történt, a cséplést *Zürn 130SE* parcellakombájnnal végeztük, amelyet követően meghatároztuk a parcellahozamot, a betakarításkori szemnedvesség tartalmat, illetve az ezermagtömeget.

3.5. Az elemzés során alkalmazott statisztikai módszerek

A mérési adatok feldolgozása során Microsoft Excel programban történt az adatok kezelése és rendszerezése, illetve a diagramok készítése. Az adatok statisztikai értékelése IBM SPSS 23.0 verziószámú statisztikai elemző szoftverrel történt. Az eredmények értékelése során egytényezős varianciánalízist alkalmaztam, $P < 0,05$ -ös szignifikancia szint mellett. A varianciaanalízist követően Post-Hoc vizsgálatok közül Tukey-B teszttel képeztem statisztikailag homogén csoportokat. A korrelációs vizsgálatokat Pearson-féle korrelációs tesztek alapján végeztem el.

4. EREDMÉNYEK

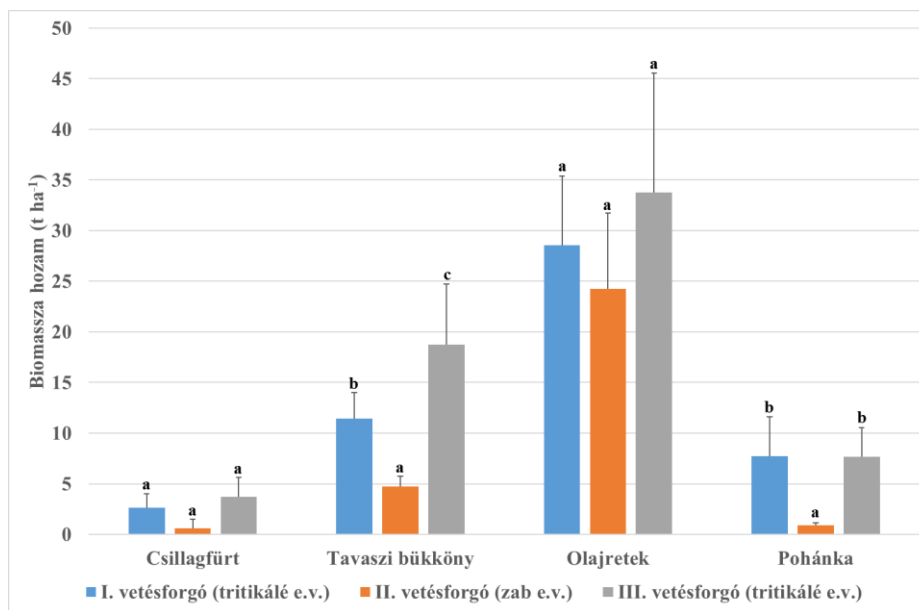
4.1. Zöldtrágya növények alkalmazására épülő vetésforgórendszerek komplex értékelése

4.1.1. Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának értékelése

A zöldtrágya növények esetében a talajba forgatást megelőzően parcellánként értékeltük a föld feletti nyers biomassza hozamot a különböző állománysűrűségek, illetve az eltérő elővetemények esetében, melynek értékeit az *1. melléklet* tartalmazza. Az eredmények statisztikai vizsgálata alapján megállapítható, hogy a különböző állománysűrűségek egyik vizsgált zöldtrágya növény faj esetében sem okoztak szignifikáns különbségeket a föld feletti biomassza hozamban, így a továbbiakban a zöldtrágya növény kezeléseket a különböző állománysűrűségek átlagában fogjuk értékelni, a faktor önálló változóként történő értékelése a szignifikancia hiányában nem releváns.

4.1.1.1. *Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának alakulása a 2020-as évjáratban*

2020-ban a zöldtrágya növények tenyészidőszakában (augusztus 11 – november 16.) 213,7 mm csapadék hullott, amely optimális feltételeket teremtett a növények vegetatív fejlődéséhez. A különböző elővetemények a tavaszi bükköny és pohánka esetében szignifikáns különbségeket eredményeztek a föld feletti biomassza hozamban, míg csillagfürt és olajretek esetében is tendencia jelleggel alacsonyabb biomassza hozam volt a zabot követő alkalmazás esetén (*8. ábra*).

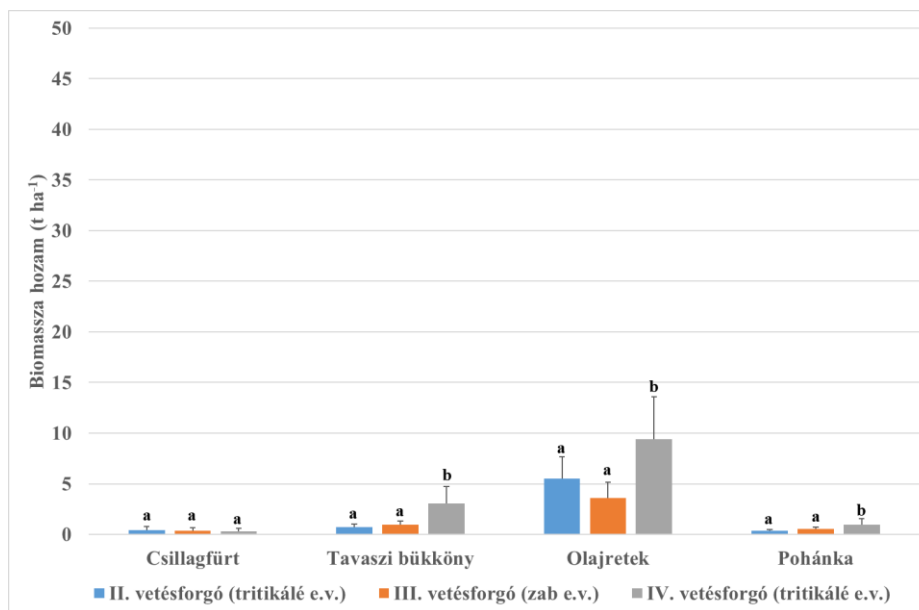


A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajonként értelmezendők.

8. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2020)

4.1.1.2. Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának alakulása a 2021-es évjáratban

A 2021-es évjáratban a zöldtrágya növények tenyészidőszakában (augusztus 12 – október 28.) rendkívül kevés, 44,5 mm csapadék hullott, amelyből októberben mindösszesen 1,7 mm. Az alacsony, és kedvezőtlen eloszlású csapadékmennyiségből adódóan a vegetatív fejlődés kritikusan gyenge volt. A tavaszi bükköny zöldhozama a IV. vetésforgóban szignifikánsan meghaladta a másik két vetésforgó zöldhozam eredményét. Olajretek esetében a IV. vetésforgó zöldhozama szintén szignifikánsan meghaladta a másik két vetésforgó eredményét, ez a tendencia a pohánka zöldhozamára is igaznak bizonyult (9. ábra).

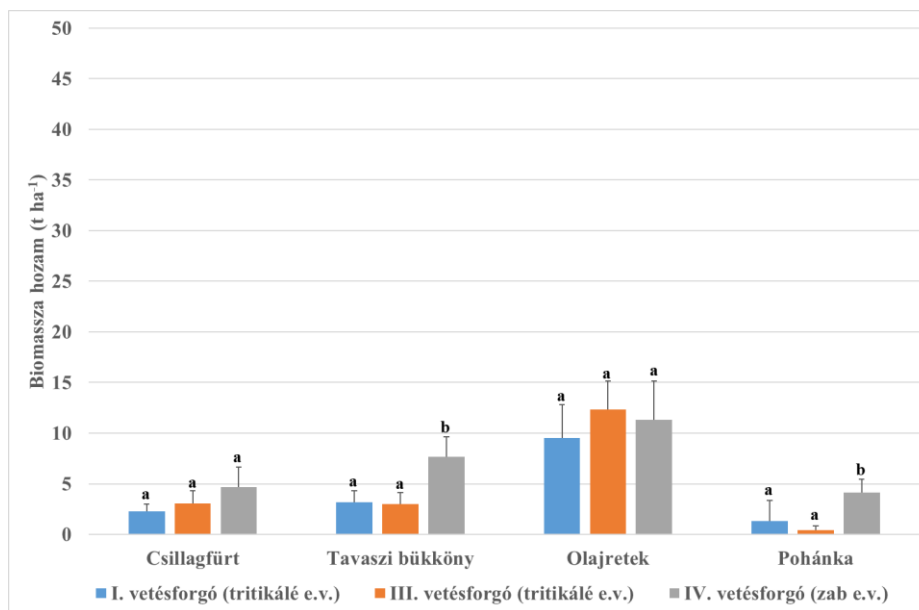


A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajonként értelmezendők.

9. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2021)

4.1.1.3. Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának alakulása a 2022-es évjáratban

2022-ben az aszályos évet követően a zöldtrágya növények tenyészidőszakában (augusztus 3 – november 2.) 185,3 mm csapadék hullott, amelynek 80 %-át a szeptemberi csapadékmennyiség tette ki. Augusztusban 20,3 mm csapadék hullott, amely kedvezőtlenül hatott a növények kelési, kezdeti fejlődési folyamataira. Csillagfürt és olajretek esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket a vizsgált vetésforgókban a zöldhozam tekintetében. Tavaszibükköny és pohánka esetében szignifikánsan a legmagasabb zöldhozamot a IV. vetésforgóban, zabot követően mértük ($11,3 \text{ t ha}^{-1}$, illetve $4,16 \text{ t ha}^{-1}$) (10. ábra).

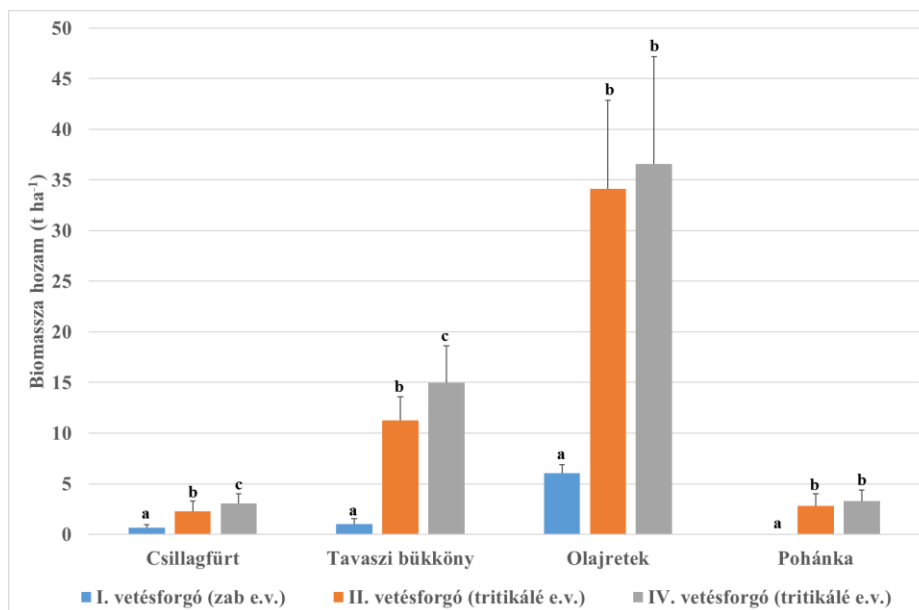


A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajonként értelmezendők.

10. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2022)

4.1.1.4. Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának alakulása a 2023-as évjáratban

2023-ban a zöldtrágya növények tenyészidőszakában (augusztus 9 – november 8.) 152,3 mm csapadék hullott, melynek eloszlása egyenletes volt, így megfelelő feltételeket biztosított a növények vegetatív fejlődéséhez. Mind a négy növényfaj esetében szignifikánsan a legalacsonyabb zöldhozamot az I. vetésforgóban, zab előveteménynél mértük, a legmagasabb zöldhozam értékek a IV. vetésforgóban voltak, amely csillagfűrt és tavaszai bükköny esetében statisztikailag igazolható ($3,07 \text{ t ha}^{-1}$, illetve $14,98 \text{ t ha}^{-1}$). Olajretek esetében a legmagasabb érték $36,56 \text{ t ha}^{-1}$ volt, pohánka esetében zab előveteményt követően kelési problémák adódtak, tritikálé elővetemény utána $2,80 \text{ t ha}^{-1}$, illetve $3,27 \text{ t ha}^{-1}$ -os föld feletti biomassza tömeget mértünk (11. ábra).

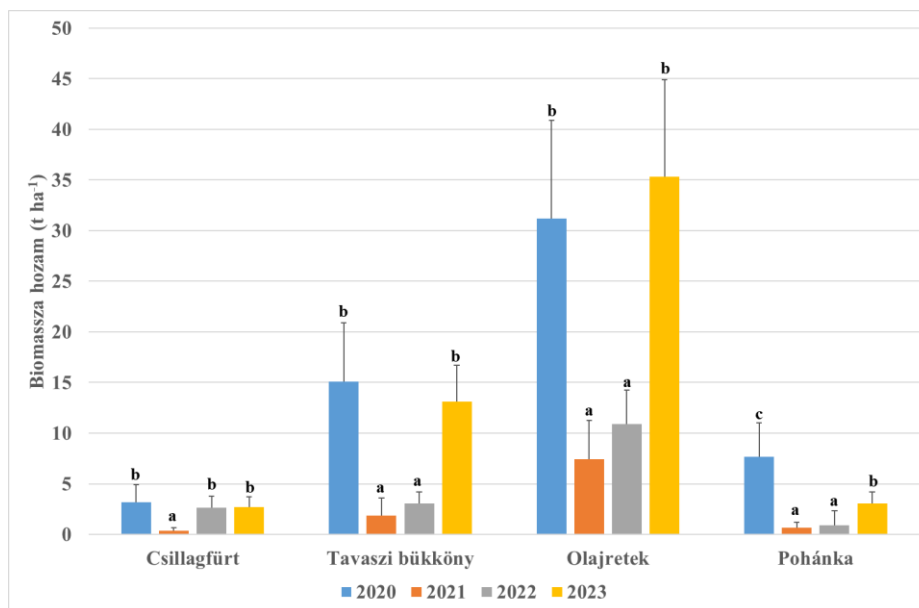


A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajonként értelmezendők.

11. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2023)

4.1.1.5. Az évjárat és a csapadékeloszlás hatása a zöldtrágyanövények biomassza hozamára

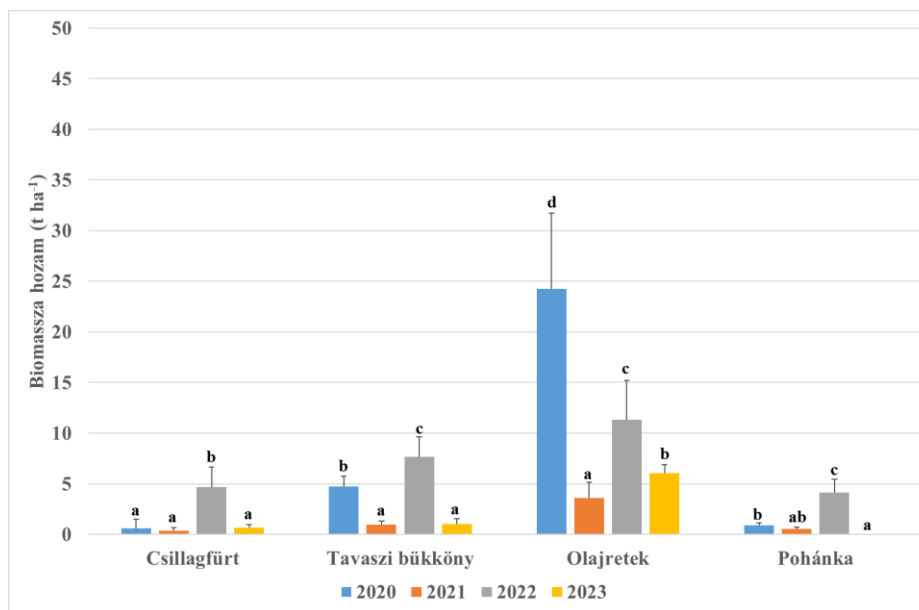
Tritikálét követő zöldtrágyázás esetén a vizsgált négy évjáratban az alkalmazott zöldtrágyanövény fajoknál szignifikánsan legalacsonyabb föld feletti biomasszahozamot a 2021. évjáratban tapasztaltuk, amikor a zöldtrágya növények tenyészidőszakában hullott csapadékmennyiség a legalacsonyabb, 44,5 mm volt, melynek 96,1%-a augusztusban és szeptemberben, míg a fennmaradó 3,9%-a, 1,7 mm októberben hullott. A második legkisebb biomassza hozamot 2022-ben mértük mind a négy zöldtrágyanövény fajnál a vizsgált évek közül, amikor a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség 185,3 mm volt, amelyből 149,6 mm szeptemberben, megkésve érkezett az állományra, az októberi csapadékmennyiség a teljes mennyiség 8,3%-át, 15,4 mm-t tett ki. A legnagyobb biomassza hozam értékeket 2020-ban és 2023-ban tapasztaltuk a vizsgált növényfajoknál. 2020-ban a zöldtrágya növények tenyészidőszakában a csapadék mennyisége 213,7 mm volt, melynek 48,4%-a, 103,5 mm csapadék hullott le október hónapban. Hasonló tendenciát tapasztaltunk 2023-ban, amikor a zöldtrágya növények tenyészidőszakában a csapadék mennyisége 152,3 mm volt, melynek 40,2%-a, 61,3 mm csapadék hullott októberben (12. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajonként értelmezendők.

12. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az eltérő évjáratokban, tritikálé előveteményt követő alkalmazás esetén (Nyíregyháza, 2020-2023)

Zab előveteményt követő csillagfűrt, tavaszai bükköny, illetve pohánka zöldtrágyázás esetében a föld feletti biomassza hozam a 2022-es évben mutatta a legnagyobb értékeket. 2022-ben a szeptember hónapban hullott csapadékmennyiség a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség 80,7%-át tette ki, míg ez az arány 2020-ban 33,8%, 2021-ben 48,3%, 2023-ban 35,1% voltak. Olajretek zöldtrágya vetésekor a legmagasabb biomassza hozam értékeket 2020-ban és 2022-ben tapasztaltuk (13. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajonként értelmezendők.

13. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az eltérő évjáratokban, zab előveteményt követő alkalmazás esetén (Nyíregyháza, 2020-2023)

A Pearson-féle korrelációanalízis során elemeztük a csapadékmennyiség és annak eloszlásának hatását a vizsgált zöldtrágyanövény fajok biomassza hozamára tritikálé, illetve zab előveteményt követően, továbbá értékeltük a kapcsolatot a betakarított főnövény hozama, és az azt követő zöldtrágya növény biomassza hozama között. A négy vizsgált évjárat eredményei alapján, tritikálé előveteménynél a csillagfürt föld feletti biomassza hozamára az októberi, illetve a teljes tenyészidőszakban hullott csapadék mennyisége van legnagyobb hatással. Tavasz bükköny és olajretek esetében az augusztusban, vetést követően lehullott csapadék mennyisége, illetve az októberi csapadék mennyisége a számottevő. Pohánka esetében az októberben hullott csapadék mennyisége korrelál a legnagyobb mértékben a megtermelt biomassza hozammal. Tritikálé esetében nem tapasztaltunk szignifikáns hatást a betakarított magmennyiség, illetve az azt követően, a zöldtrágyanövények által megtermelt biomassza hozam között. Zab előveteménynél csillagfürt, tavasz bükköny és pohánka zöldtrágya növényeknél - a tritikálé előveteménynél tapasztaltakkal ellentétben - a szeptemberi csapadék mennyisége volt meghatározó a zöldhozam szempontjából. Olajretek esetében zab előveteményt követően is az októberi csapadékmennyiség, illetve a teljes tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség volt meghatározó. Negatív, erőteljes korrelációt mutattunk ki a zab termésmennyisége, illetve a zöldtrágyanövények biomassza hozama között csillagfürt, tavasz bükköny és pohánka zöldtrágyázás alkalmazásakor (13. táblázat).

13. táblázat. Pearson-féle korrelációs értékek a zöldtrágyanövények tenyészidőszakában lehullott csapadékmennyiség és a biomasszahozam között, illetve az elővetemények hozama között

	Zöldtrágya-növény	Aug. csap.	Szept. csap.	Okt. csap.	Telj. csap.	Triti. Hozam
Tritikálé elővetemény	Csillagfürt	0,418	0,423	,623*	,805**	-0,133
	T. bükköny	,813**	-0,258	,963**	,577*	0,566
	Olajretek	,902**	-0,24	,860**	0,545	0,387
	Pohánka	0,53	-0,18	,937**	0,56	,671*
		Aug. csap.	Szept. csap.	Okt. csap.	Telj. csap.	Zab hozam
Zab elővetemény	Csillagfürt	-0,448	,848**	-0,346	0,341	-,882**
	T. bükköny	-0,442	,964**	0,041	,674*	-,818**
	Olajretek	0,103	0,365	,780**	,792**	-0,058
	Pohánka	-,625*	,942**	-0,369	0,362	-,911**

* A korreláció $p < 0,05$ szinten szignifikáns.

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

Zöld színnel jelölve az erős pozitív korrelációs értékek, piros színnel jelölve az erős negatív korrelációs értékek.

4.1.2. Vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya növények hatása a talaj nedvességtartalom értékeinek alakulására eltérő évjáratokban

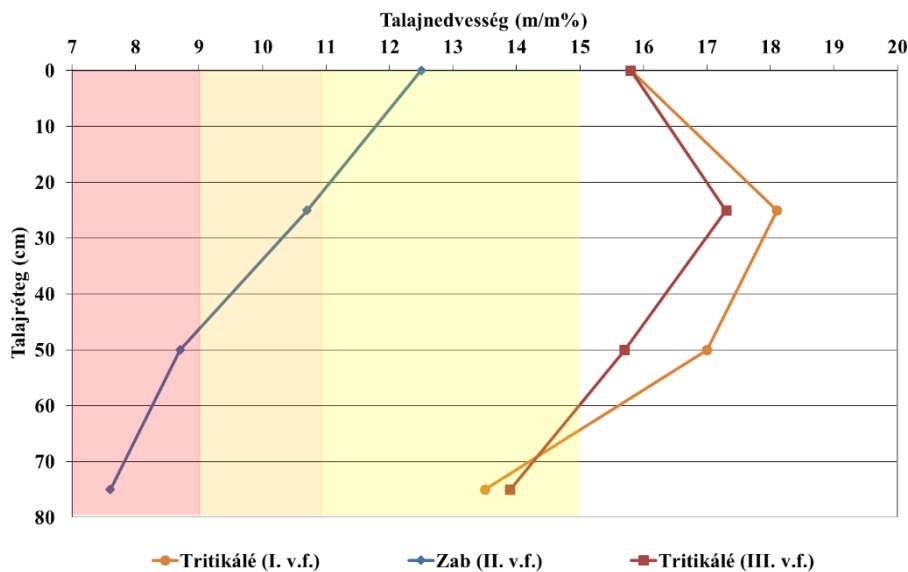
4.1.2.1. A talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a 2020-as évjáratban vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya kezelések esetén

A talaj nedvességtartalmának értékelése során az ábrákon piros színnel jelzett tartomány az elérhető víz százalékának (AW%) 30% alatti értékét jelzi, amely extrém vízhiányra utal. A narancssárga tartomány 30-50 %-os AW% értékre utal, amely esetében fokozott vízhiány áll fent. A citromsárga tartomány 50-80 %-os elérhető vízkészletre utal, estében a vízhiány mérsékelt. Az értéktartományok meghatározása *Ladányi et al. (2021)* alapján történt.

A 2020. május 20-ai mintavétel alkalmával a kalászosok állományaiban a talaj 0-75 cm rétegében nem találtunk szignifikáns különbséget a nedvességtartalomban, a mért értékek 8 (m/m)% körül alakultak. A IV. vetésforgóban, kukorica állományban a mért értékek szignifikánsan magasabbak voltak a kalászos állományokban mértéknél, értékük 14,8-16,5 (m/m)% között alakultak.

A 14. ábra az augusztus 10-ei, a zöldtrágyanövények vetése előtti állapotot szemlélteti a vizsgált vetésforgókban. Mind a négy vizsgált talajrétegben (0-25, 25-50, 50-75, 75-100 cm) a zab betakarítását követő nedvességtartalom értékek szignifikánsan alacsonyabbak voltak, mint a tritikálé állományban mérték, a tritikálé állományban a talaj 0-75 cm-es rétegéig az elérhető

víz tartalma optimálisnak bizonyult, azonban a zab betakarítását követően a talaj 0-25 cm-es rétegében mérsékelt, a mélyebb rétegekben fokozott és extrém vízhiányt tapasztaltunk.



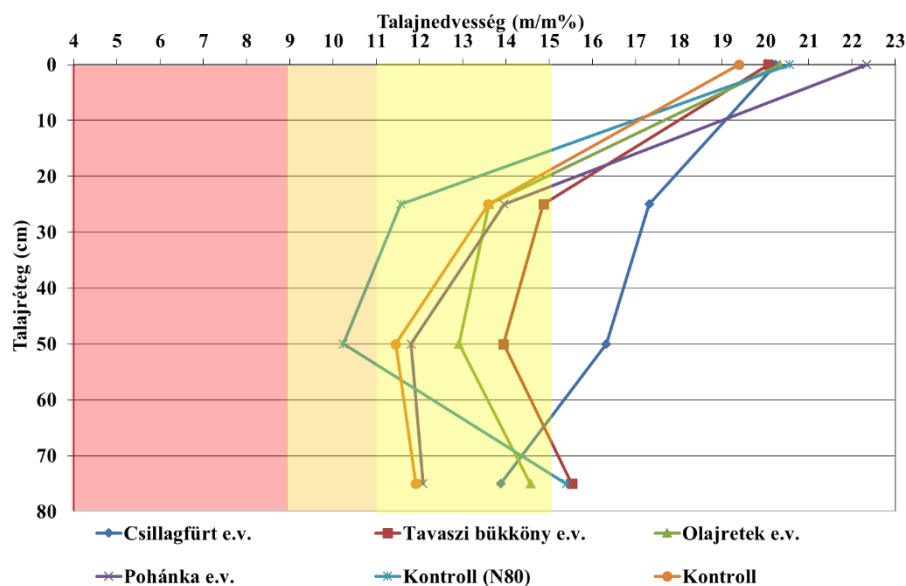
14. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a vizsgált vetésforgókban, tritikálé, illetve zab állományban (Nyíregyháza, 2020.08.10)

2020-ban a zöldtrágyanövények tenyészidőszaka folyamán az október 22-i talajmintavétel időpontjáig 206,4 mm csapadék hullott, lehetőséget biztosítva a talaj nedvességtartalmának feltöltődéséhez. Tritikálé elővetemény esetén az I. és III. vetésforgókban a talaj nedvességtartalma a műtrágyázott kontroll esetében volt a legmagasabb, a különbségek az I. vetésforgóban a felső 50 cm-ig, a III. vetésforgóban csak a felső 25 cm-ig voltak szignifikánsak. A 75-100 cm rétegben azonban a III. vetésforgó esetén a zöldtrágyázott parcellák nedvességtartalma szignifikánsan magasabb értékeket mutatott, mint a kontroll parcelláké. Zab elővetemény esetén a II. vetésforgóban a felső rétegekben számottevő különbségeket nem tapasztaltunk, az 50-75, illetve 75-100 cm mélységben a műtrágyázott kontroll parcellák talajainak nedvességtartalma szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult.

4.1.2.2. *A talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a 2021-es évjáratban vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya kezelések esetén*

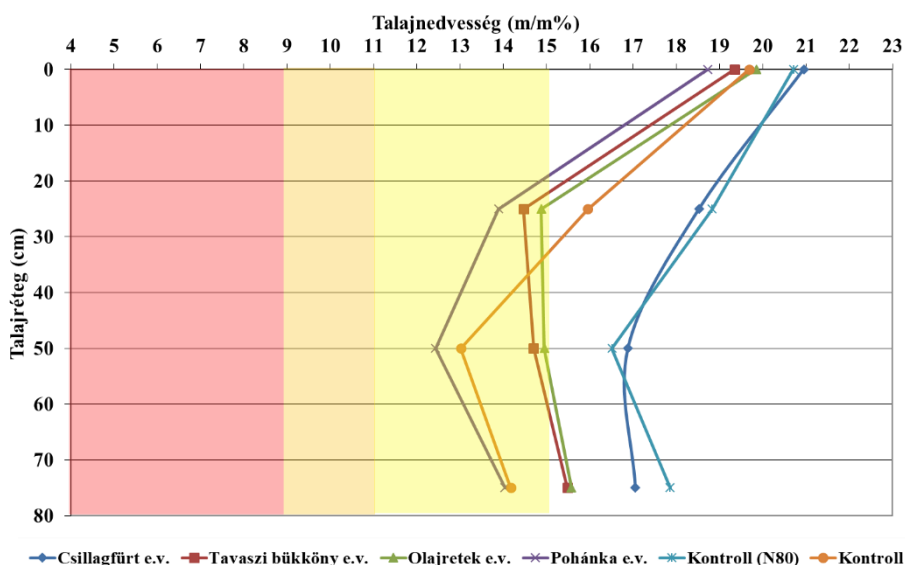
2021 májusában az átlagot meghaladó csapadékmennyiség hullott, a május 19-i talajminta vételi időpontig 68,4 mm esett. Kukorica állományban (I.) a talaj 0-50 cm-es és 75-100 cm-es mélységében nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket a kezelések között, a talaj 50-75 cm-es mélységében a csillagfürttel zöldtrágyázott parcellák talajának nedvességtartalma szignifikánsan magasabbnak bizonyult, mint az olajretikkel, illetve pohánkával zöldtrágyázott

talajok, illetve a kontroll parcellák talajainak nedvességtartalma. Tritikálé állományban (II.) szignifikánsan magasabb talajnedvesség tartalmat mértünk a csillagfürttel zöldtrágyázott talajok esetében a 25-50 cm-es mélységben, mint az olajretekkel zöldtrágyázott, illetve a műtrágyázott kontroll és kezeletlen kontroll parcellák talajain. Az 50-75 cm-es mélységben a csillagfürttel, tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott talajok nedvességtartalma szignifikánsan magasabb volt, mint a műtrágyázott kontroll kezelés esetén, ahol a vízhiány mérsékelt, illetve fokozott mértékű volt (15. ábra).



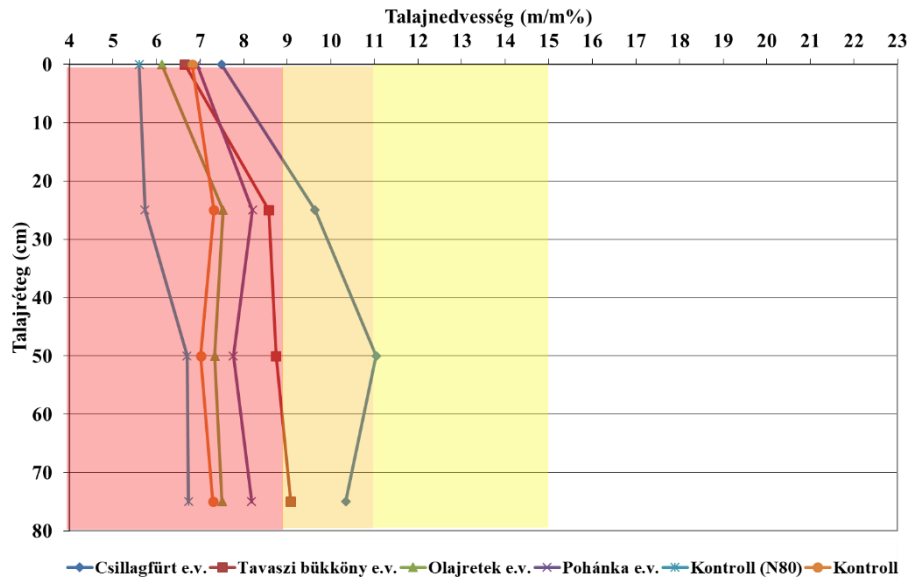
15. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a II. vetésforgóban tritikálé állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.05.19)

A május 19-ei mintavétel során zab állományban (III.) a 0-25, 25-50 és 50-75 cm-es mélységben a legmagasabb nedvességtartalmat a csillagfürttel zöldtrágyázott, illetve a műtrágyázott kontroll területek talajai esetében mértük, ahol a talaj nedvesség viszonyai optimálisak voltak a teljes vizsgált mélységben. A legalacsonyabb nedvességtartalmat mind a négy vizsgált méréstartományban a pohánkával zöldtrágyázott parcellák talajain tapasztaltuk (16. ábra).



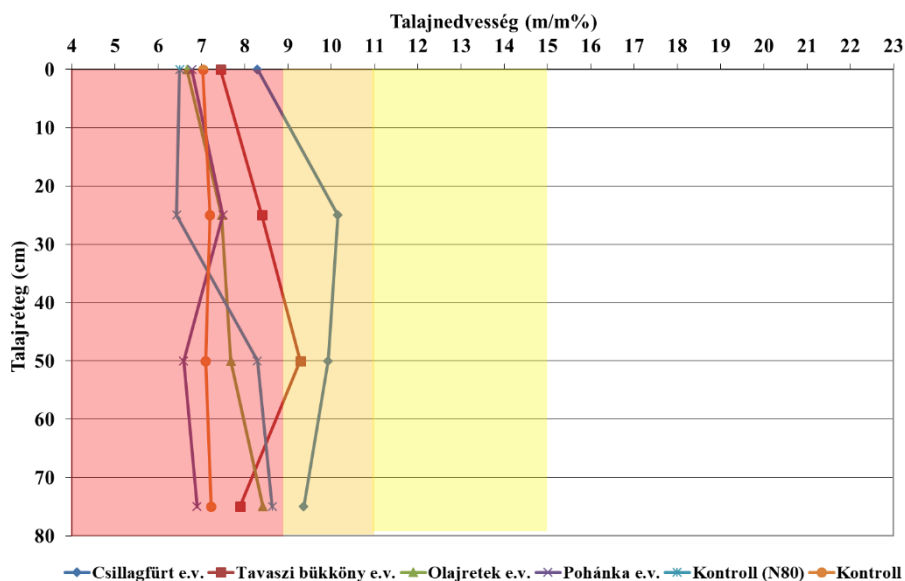
16. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a III. vetésforgóban zab állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.05.19)

2021. nyári periódusa csapadékszegényen indult, a csapadékkal bőségesen ellátott májusi hónapot szárazabb június követett (14,9 mm csapadék hullott), amelyhez az átlagértékeket meghaladó hőmérsékleti értékek társultak. Tritikálé állományban (II.) a július 1-i mintavétel során a teljes vizsgált mélységben a csillagfürttel zöldtrágyázott parcellák talajain mértük a legmagasabb nedvességtartalmat, a 25-100 cm-es rétegekben ezen értékek szignifikánsan magasabbak műtrágyázott kontroll és a kezeletlen kontroll parcellákon mért értékekénél, továbbá mind a négy zöldtrágya növény esetében magasabb nedvességtartalom értékek voltak jellemzőek a 25-100 cm-es tartományban, mint a műtrágyázott kontroll és kezeletlen kontroll parcellák esetében, azonban a csillagfürttel zöldtrágyázott kezelések kivételével extrém vízhiány jellemezte a területek talajait (17. ábra).



17. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a II. vetésforgóban tritikálé állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.07.01)

A júliusi, zab állományban (III.) végzett mintavételezés eredményei alapján csillagfürt zöldtrágyázás alkalmazásakor szignifikánsan a legnagyobb nedvességtartalom értékeket tapasztaltuk a teljes vizsgált mélységtartományban, mely különbségek a 0-50 cm-es mélységben szignifikánsak voltak a többi kezeléshez viszonyítva. A tavaszi bükköny zöldtrágyával kezelt területek talajainak nedvességtartalma a 25-75 cm-es mélységben szignifikánsan magasabbak, mint a kezeletlen kontroll (parlag) területek talajain mért értékek. Legalacsonyabb nedvességtartalom értékekkel a pohánka zöldtrágyával kezelt területek talajai, illetve a kontroll kezelés talajai voltak jellemezhetőek az 50-100 cm-es mélységben (18. ábra).



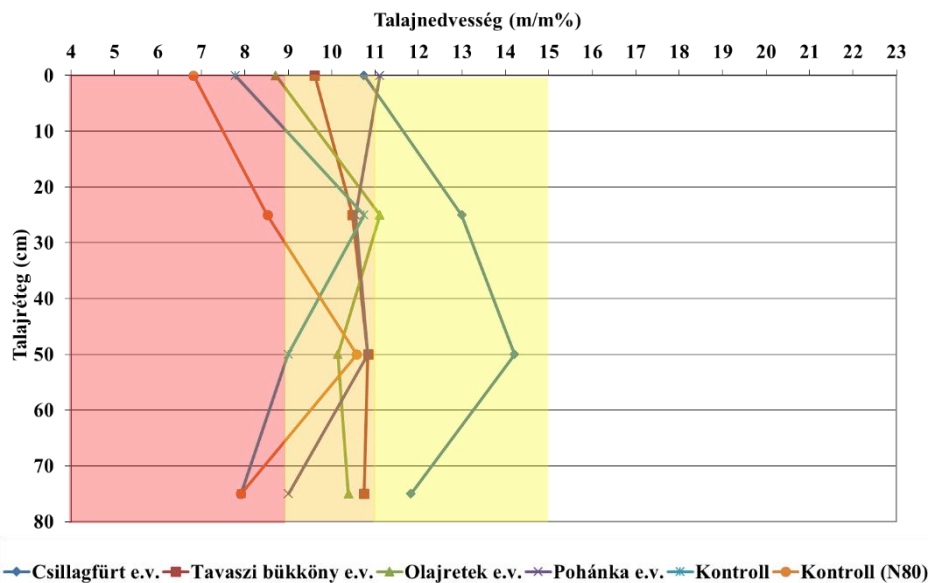
18. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a III. vetésforgóban zab állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.07.01)

A zöldtrágya állományokban, augusztus 26-án végzett vizsgálatok alapján tritikálé előveteményt követően (II.) a talaj nedvességtartalma a 25-100 cm-es rétegben a műtrágyázott kontroll és kezeletlen kontroll parcellák talajain bizonyult a legalacsonyabbnak, a legmagasabb értékeket a csillagfürt és tavaszi bükköny zöldtrágya állományokban mértük. Zab előveteményt követően az 50-100 cm-es mélységben a legkisebb nedvességtartalmat a kezeletlen kontroll parcellákon mértük, míg a 0-50 cm-es rétegben a műtrágyázott kontroll és kezeletlen kontroll parcellákon mért értékek meghaladták a pohánka és olajretek zöldtrágya állományban mért értékeket. A december 8-án végzett mérések alapján az abszolút kontroll kezelések parcelláin szignifikánsan legalacsonyabb nedvességtartalmat mértük tritikálé állományban (III.) a talaj 0-50 cm-es mélységében a zöldtrágyázott, illetve a műtrágyázott kontroll kezelésekhez viszonyítva.

4.1.2.3. *A talaj nedvességtartalmának alakulása 2022-es évjáratban vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya kezelések esetén*

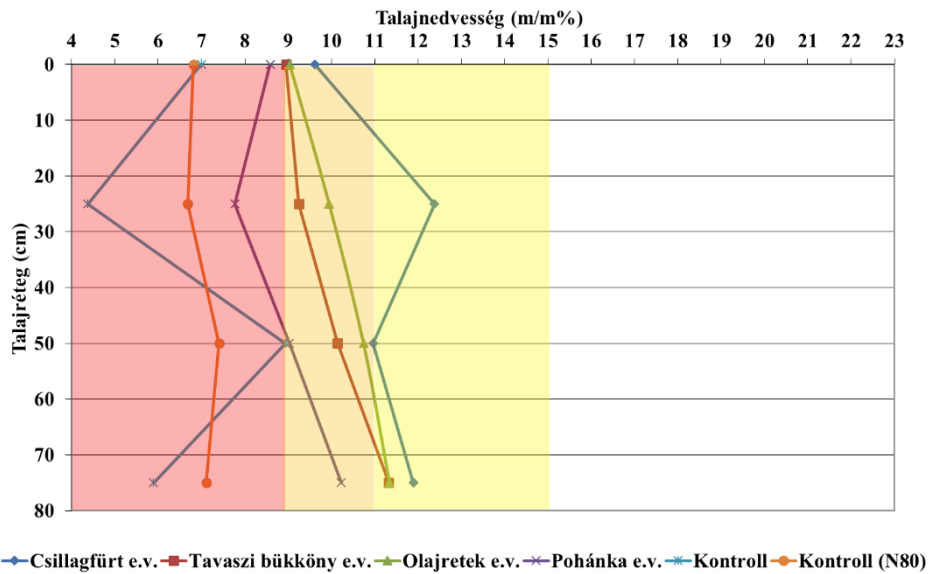
2022 májusában rendkívül alacsony csapadékmennyiség hullott, a talajmintavétel időpontjáig (május 16.) 2 mm. Az I. vetésforgóban a tritikálé előveteménye kukorica volt, zöldtrágyázás 2020-ban történt, azonban szignifikáns különbségeket tapasztaltunk a zöldtrágyázott kezelésekben. A 0-50 cm-es mélységben mind a négy zöldtrágyázott terület esetében szignifikánsan magasabb nedvességtartalom értékek voltak tapasztalhatóak, a kontroll kezeléshez képest. Csillagfürttel történő zöldtrágyázást követően a 0-75 cm-es mélységben

szignifikánsan magasabb nedvességtartalmat tapasztaltunk mind a műtrágyázott kontroll, mind a kezeletlen kontroll parcellák értékeinél (19. ábra).



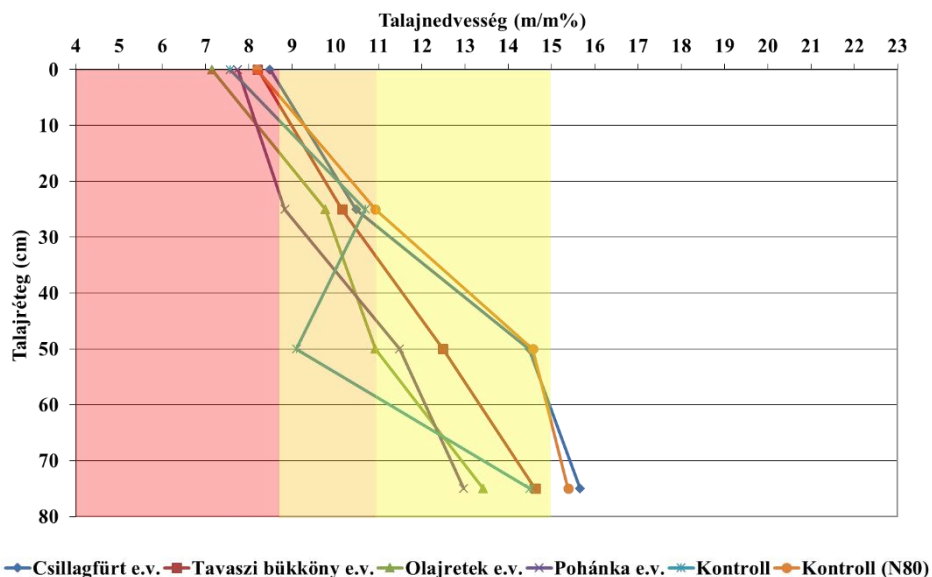
19. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása az I. vetésforgóban tritikálé állományban, 2020-ban történő zöldtrágyázás esetében (Nyíregyháza, 2022.05.16)

A III. vetésforgó parcelláin a tritikálé vetése előtt történt közvetlenül zöldtrágyázás, a talaj 0-25 cm-es rétegében a zöldtrágyázott parcellák nedvességtartalma szignifikánsan meghaladta a két kontroll (műtrágyázott illetve műtrágyázás nélküli) kezelés nedvességtartalom értékeit, továbbá a teljes vizsgált mélységben a legalacsonyabb értékeket a műtrágyázott kontroll és kezeletlen kontroll parcellák esetében mértük (20. ábra).



20. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a III. vetésforgóban tritikálé állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2022.05.16)

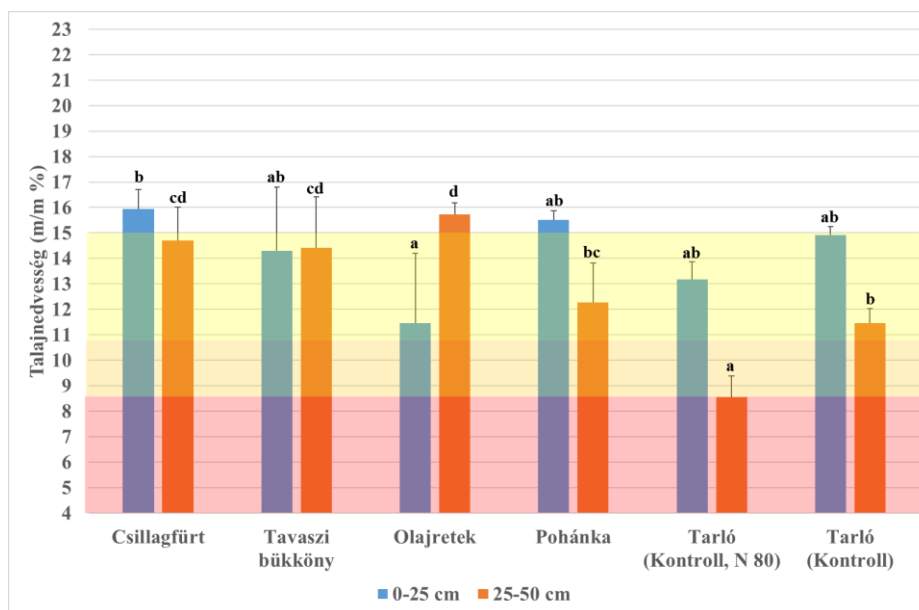
A május 16-i, zab állományban (IV.) végzett mérések alapján a talaj 0-25 cm-es rétegében az olajretek zöldtrágyázott parcellák nedvességtartalma volt a legalacsonyabb, az 50-75 cm-es rétegben a legalacsonyabb értékkel a kontroll parcellák rendelkeztek, az 50-100 cm-es rétegben a legmagasabb értékeket a csillagfürt zöldtrágyával kezelt és a műtrágyázott kontroll parcellák mutatták (21. ábra).



21. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a IV. vetésforgóban zab állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2022.05.16)

4.1.2.4. A talaj nedvességtartalmának alakulása a 2023-as évjáratban vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya kezelések esetén

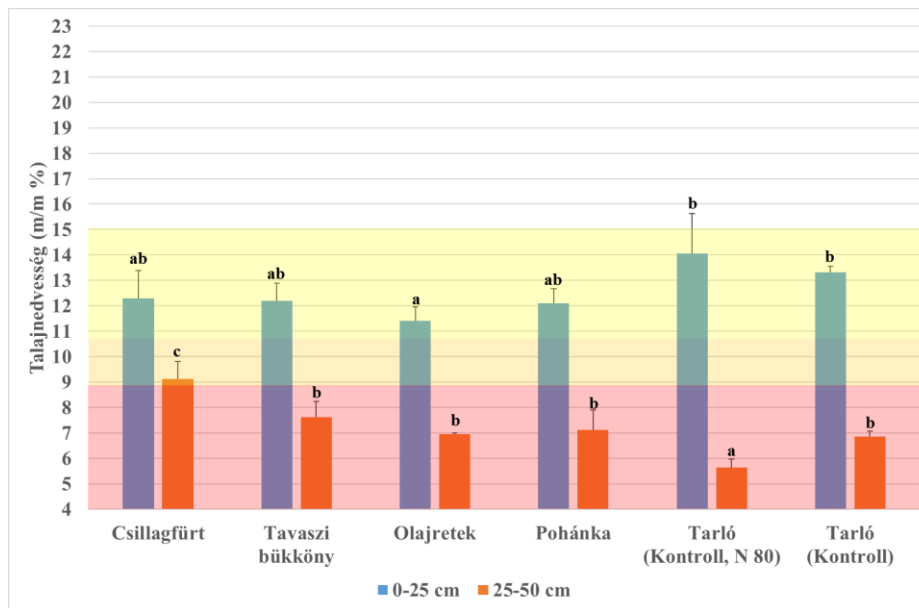
A 2023-as évben a mintavételben metodikai változás történt, a talajmintákat 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységből gyűjtöttük. Az évjáratban optimális mennyiségű csapadék hullott, így a zöldtrágyanövények vetésekor megfelelő mennyiségű nedvességtartalom állt rendelkezésre. Az augusztus 9-ei mérés alkalmával, a zöldtrágyanövények vetését megelőzően, zab előveteményt követően (I.) a talaj nedvességtartalma a 0-50 cm-es mélységben a kezeletlen kontroll parcellák esetében volt a legkisebb. Tritikálé előveteményt követően (II.) a talaj 0-25 cm-es rétegében a legkisebb nedvességtartalmat olajretekkel zöldtrágyázott parcellákon mértük, legmagasabb nedvességtartalom a csillagfürttel zöldtrágyázott parcellákon volt. 25-50 cm-es mélységben a legmagasabb nedvességtartalma az olajretekkel zöldtrágyázott parcellák talajainak volt, szignifikánsan a legalacsonyabb értéket a kezeletlen kontroll parcellák talajain mértük (22. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések vizsgálati mélység szerint értelmezendők.

22. ábra. Talaj nedvességtartalmának alakulása a II. vetésforgóban különböző zöldtrágya kezelések esetében, tritikálé elővetemény után (Nyíregyháza, 2023.08.09)

Augusztus 9-én, kukorica állományban végzett vizsgálatok értékei alapján a talaj nedvességtartalma a 0-25 cm-es mélységben a kezeletlen kontroll parcellákon volt a legmagasabb, azonban a mélyebb rétegben (25-50 cm) a zöldtrágyával kezelt parcellák talajnedvesség értékei szignifikánsan meghaladták a műtrágyázott kontroll parcellákon mért értékeket, illetve csillagfürt kezelés esetén a kezeletlen kontroll parcellák értékeit is (23. ábra).

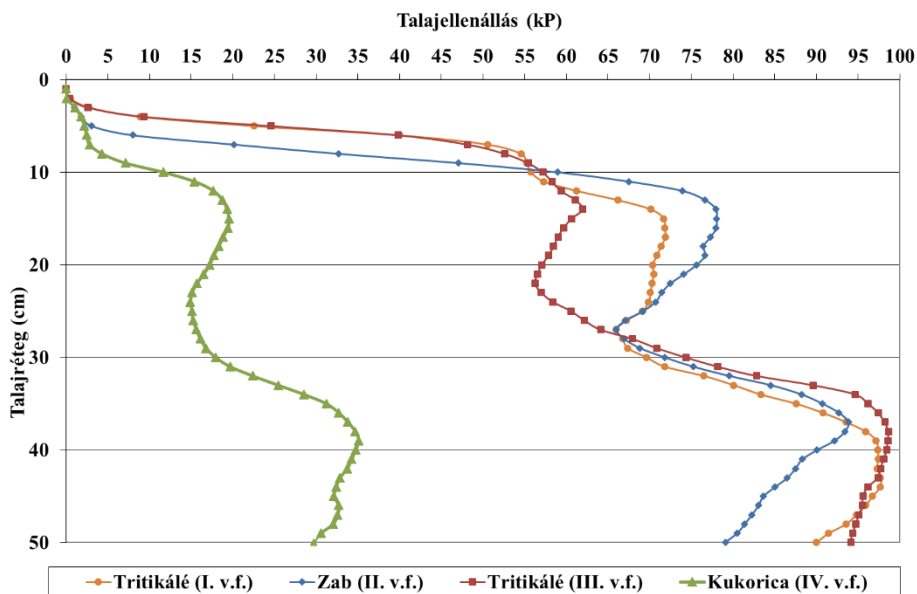


A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések vizsgálati mélység szerint értelmezendők.

23. ábra. Talaj nedvességtartalmának alakulása a III. vetésforgóban különböző zöldtrágya kezelések esetében, kukorica állományban (Nyíregyháza, 2023.08.09)

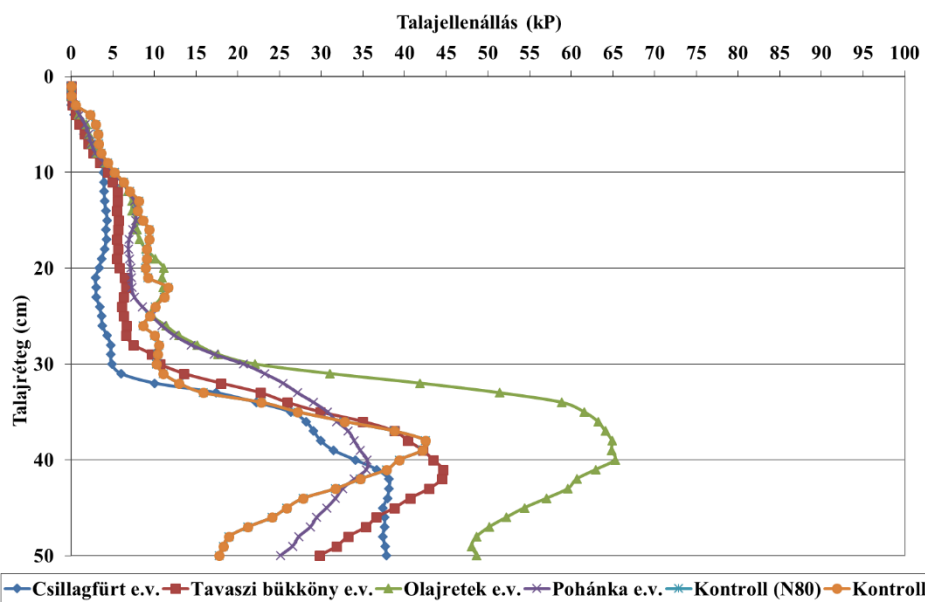
4.1.3. Vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágyanövények hatása a talaj penetrációs ellenállás értékeinek alakulására

2020-ban a különböző vetésforgók talajainak penetrációs ellenállás vizsgálata során szignifikánsan alacsonyabb értékeket tapasztaltunk kukorica állományban (IV.) a május 19-i mérés alkalmával a teljes vizsgált mélységben (0-50 cm), mint zab, illetve tritikálé állományban. A 0-10 cm-es mélységben legmagasabb értékeket tritikálé állományban (I. és III. vf.) mértük, 10-20 cm-es mélységben zab állomány esetében mutattuk ki a legmagasabb ellenállás értékeket. 20-40 cm-ig nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket a kalászosok parcelláin, 40-50 cm-es mélységben a tritikálé állományban végzett mérések mutatták a legmagasabb talajellenállási értékeket (24. ábra).



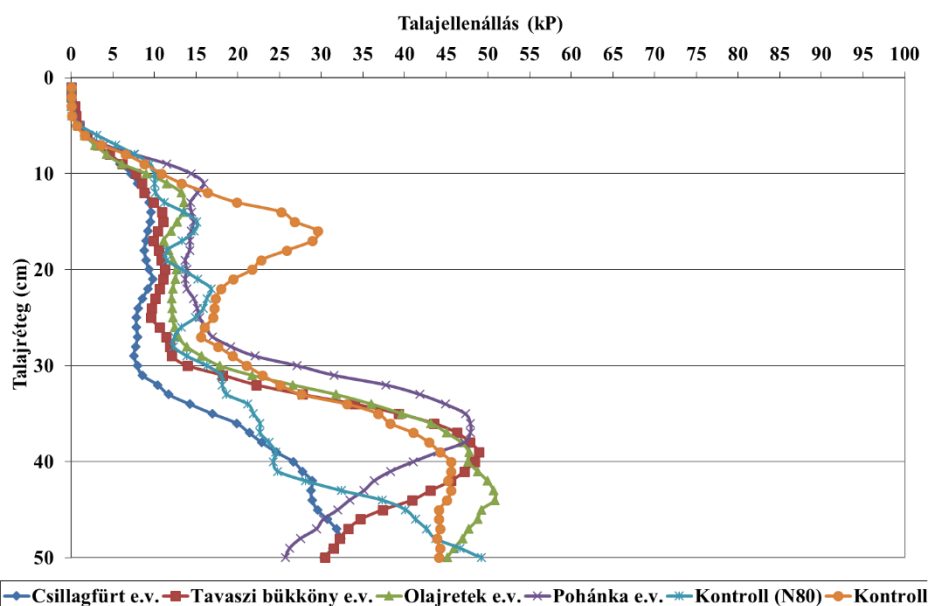
24. ábra. A vizsgált vetésforgók talajellenállás értékeinek alakulása különböző növénykultúrákban (Nyíregyháza, 2020.05.19)

2021-ben közel két és félszeres mennyiségű csapadék hullott a májusi a vizsgálat időpontjáig (2021. január 1 – 2021. május 19., 267,9 mm), mint 2020-ban (2020. január 1 – 2020. május 19., 110,5 mm), így a talajellenállás értékek is alacsonyabbak voltak, mint a korábbi évben. A május 19-ei mérés alkalmával kukorica állományban (I.) nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a 10-50 cm-es rétegben, a 0-10 cm-es mélységben a legmagasabb talajellenállás értéket a tavaszi bükkönnyel, a legalacsonyabb értéket a pohánkával zöldtrágyázott parcellákon mértük. Tritikálé állományban (II.) a talaj felső 20 cm-es rétegében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a kezelések között, 20-40 cm rétegben a legkisebb értéket a csillagfürt zöldtrágyázás esetén, a 20-50 cm rétegben a legnagyobb talajellenállási értéket az olajretekkel történő zöldtrágyázást követően mértük (25. ábra).



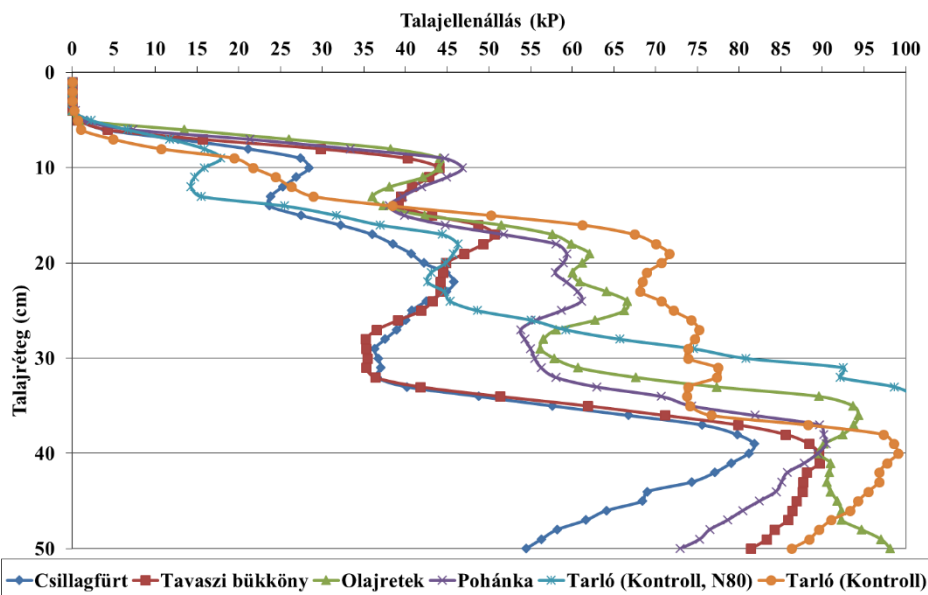
25. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban, tritikálé állományban (Nyíregyháza, 2021.05.19)

Zab állományban (III.) végzett mérések alapján a legmagasabb talajellenállás értéket a talaj 10-30 cm-es mélységében a kezeletlen kontroll parcellák esetében mértük. 20-40 cm-es mélységben a legmagasabb értékeket a pohánkával zöldtrágyázott parcellák mutatták, a legalacsonyabb ellenállási értékeket a teljes vizsgált mélységben a csillagfürt zöldtrágyával kezelt parcellákon mértük (26. ábra).



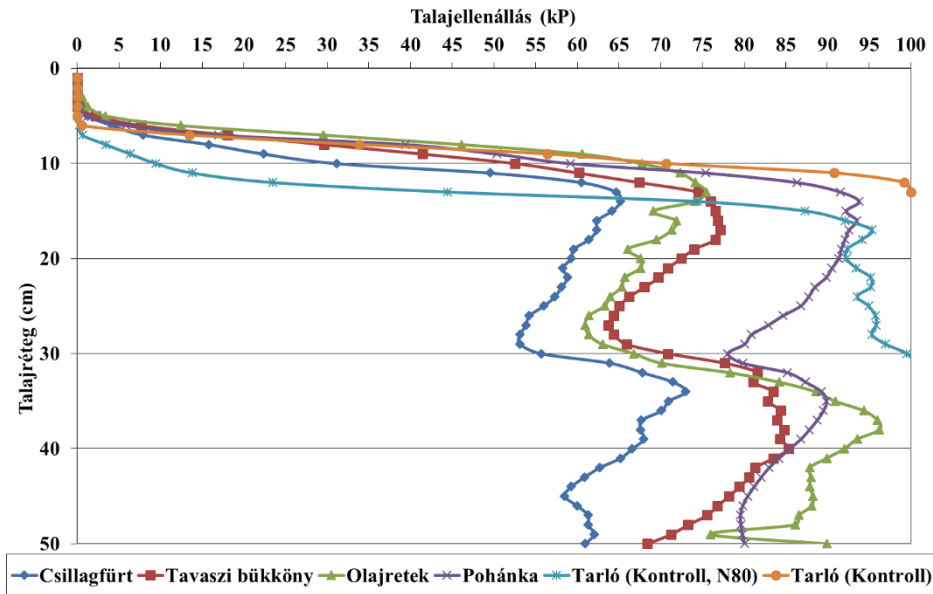
26. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, zab állományban (Nyíregyháza, 2021.05.19)

2021. nyári periódusa kis csapadékmennyiséggel volt jellemezhető, így a zöldtrágyanövények száraz talajba kerültek elvetésre. A zöldtrágya növények állományában, illetve a kontroll területeken, augusztus 26-án történő penetrációs ellenállás mérések alapján tritikálét követően (II.) a legnagyobb értékeket a műtrágyázott kontroll, illetve kezeletlen kontroll területeken mértük a talaj 10-50 cm-es mélységében, legkisebb talajellenállás értékeket a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott parcellák talajain mértük (27. ábra).



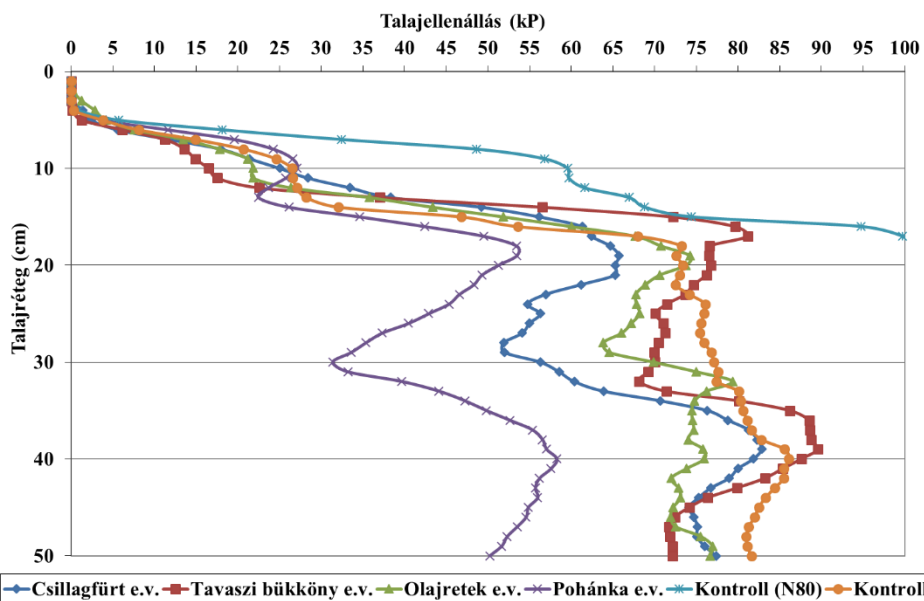
27. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban, tritikálé előveteményt követően (Nyíregyháza, 2021.08.26)

A zab betakarítását (III.) követő augusztusi mérés alapján a legnagyobb talajellenállás értékekkel a mélyebb rétegekben a kontroll parcellák rendelkeztek, amelyek már a kontroll esetében 10-20 cm-es mélységben, a műtrágyázott kontroll esetében 20-30 cm-es mélységben elérték a műszer felső méréshatárát (100 kP). 30 cm-es mélységig a legkisebb talajellenállás értékeket a csillagfürt, tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágya állományok parcelláin mértük, amely tendencia a csillagfürt és tavaszi bükköny esetében a mélyebb rétegekben is megmaradt (28. ábra).



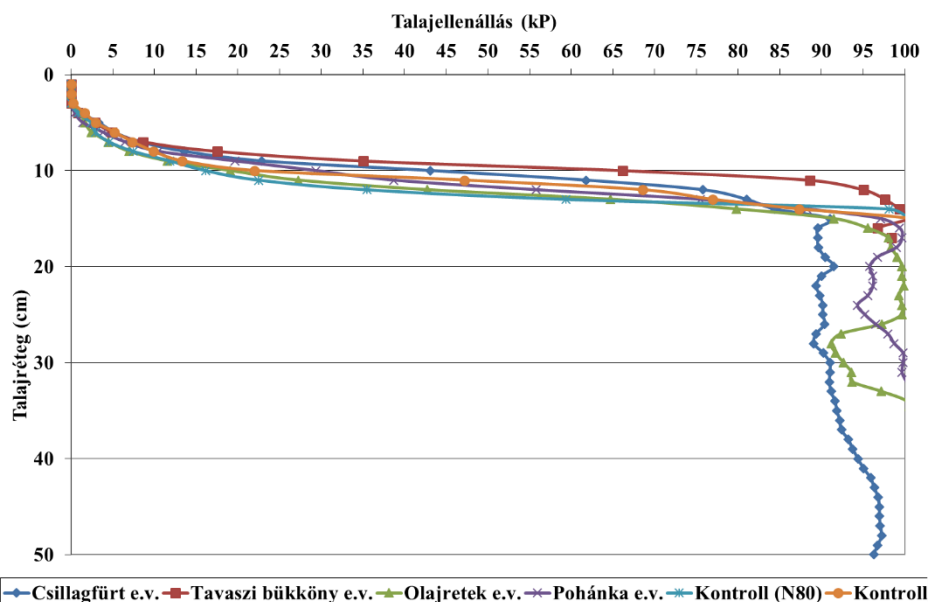
28. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, zab előveteményt követően (Nyíregyháza, 2021.08.26)

2022-ben a májusi mérésig az előző két vizsgált évhez viszonyítva jelentősen kevesebb csapadék hullott (2022. január 1 – 2021. május 16., 87,7 mm). Május 16-án, kukorica állományban (II.) végzett vizsgálatok nem mutattak nagymértékű eltérést a kezelések hatása között, a legnagyobb értékeket a műtrágyázott kontroll parcellák esetében mértük. Tritikálé állományban (III.) végzett vizsgálatok alapján szignifikánsan legnagyobb talajellenállás értékeket mértük a műtrágyázott kontroll parcellák esetében, ahol a talajellenállás értéke a 10-20 cm-es mélységben elérte a felső méréshatárt. Legalacsonyabb talajellenállás értékeket a pohánkával, illetve csillagfürttel zöldtrágyázott parcellákon mértük (29. ábra).



29. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, tritikálé állományban (Nyíregyháza, 2022.05.16)

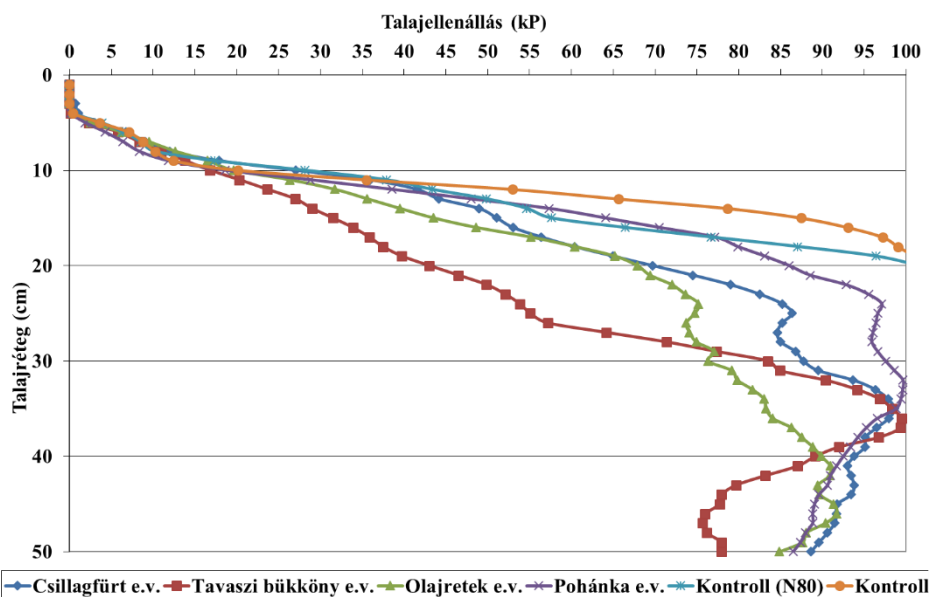
Zab állományban (IV.) a talajt rendkívül tömör réteg jellemezte a 10-20 cm-es rétegben. A felső méréshatárt a csillagfürttel zöldtrágyázott területek kivételével minden kezelés esetében elértük a talaj 20-30 cm-es, illetve 30-40 cm-es mélységében (30. ábra).



30. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a IV. vetésforgóban, zab állományban (Nyíregyháza, 2022.05.16)

A novemberi, tritikálé állományban (IV.) zöldtrágyázást követően végzett mérések alapján a legnagyobb talajellenállás értékeket a csillagfűrttel, illetve tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott parcellák talajain mértük a 10-30 cm-es mélységben, 30-50 cm-ig a tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott parcellákon volt a legnagyobb talajellenállás kimutatható, a legkisebb értékeket a kontroll parcellákon mértük.

2023-ban zab elővetemény után (I.) a zöldtrágyanövények vetésekor végzett mérések alapján a legnagyobb talajellenállás értékeket a 0-20 cm-es mélységben a csillagfűrttel zöldtrágyázott parcellákon mértük, a 20 cm-es mélység alatt a legnagyobb ellenállás értékek a kontroll parcellákon voltak. Tritikálé előveteményt követően (IV.) szignifikánsan legnagyobb talajellenállás értékeket mértük a kezeletlen kontroll parcellákon a 10-40 cm-es mélységben. Kukorica állományban (III.) az augusztusi mérés alkalmával a talaj 10-50 cm-es mélységében a legnagyobb talajellenállás értékeket a műtrágyázott kontroll és kontroll területek mutatták. Legkisebb talajellenállás értékeket az olajretek és tavaszi bükköny zöldtrágyával kezelt parcellákon mértük (31. ábra).

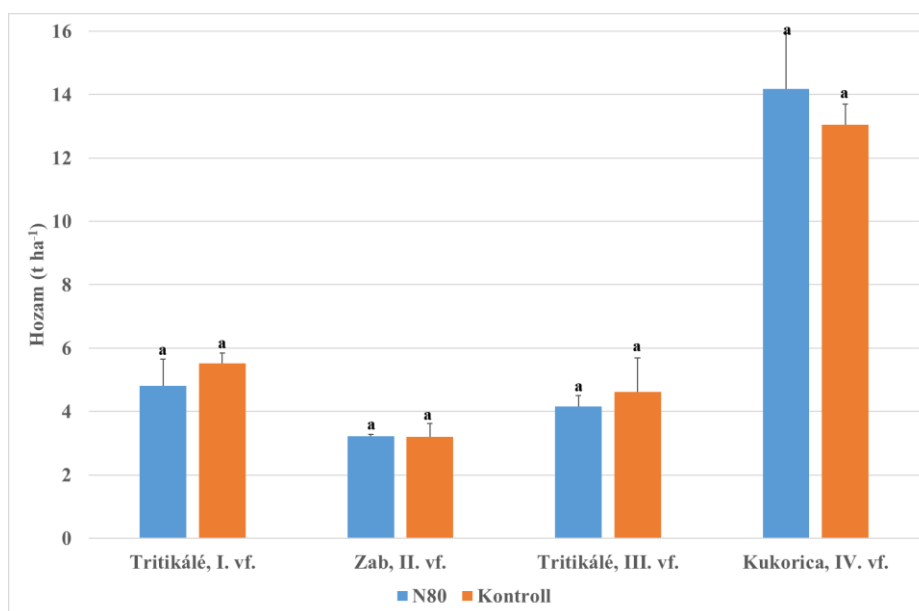


31. ábra. Talajellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágyakezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, kukorica állományban (Nyíregyháza, 2023.08.10)

A novemberi, tritikálé állományban (I.) végzett vizsgálatok a legnagyobb talajellenállás értékeket a 10-30 cm-es mélységben a műtrágyázott kontroll és kontroll parcellák esetében mutatták, a 0-10 cm-es és 30-50 cm-es mélységekben nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket.

4.1.4. A fővetésben termesztett növények maghozamának alakulása zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a vizsgált évjáratokban

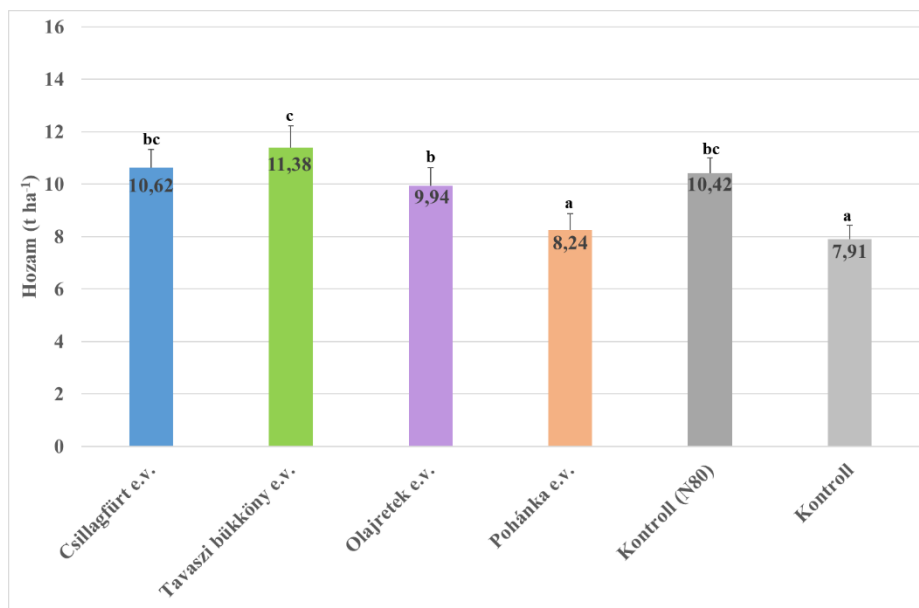
2020-ban, a kísérlet első évjáratában a vizsgált növények tenyészidőszakában lehulló csapadék mennyisége a legnagyobb volt a vizsgált évjáratok közül, a tritikálé esetében 4,2 és 5,5 t ha⁻¹ közötti termést takarítottunk be az I. és III. vetésforgóban, az eredmények között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget. A zab esetében 3,2 t ha⁻¹ átlagtermést takarítottunk be mind a kontroll, mind a műtrágyázott parcellákról. A kukorica esetében a műtrágyázott parcellákon 14,2 t ha⁻¹-os terméseredményt értünk el, a kontroll parcellák eredménye 13,1 t ha⁻¹ volt, a különbség nem szignifikáns (32. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelzések növényfajok szerint értelmezendők.

32. ábra. Tritikálé, zab és kukorica hozamának alakulása a különböző vetésforgókban a kísérlet első évében (Nyíregyháza, 2020)

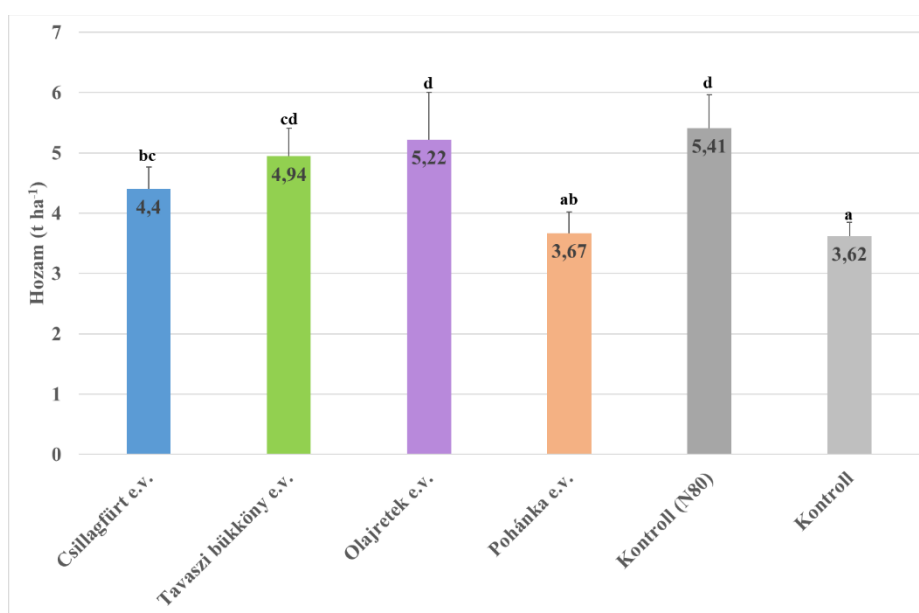
2021-ben a kukorica tenyészidőszaka alatt 241,1 mm csapadék hullott, azonban a júniusi és júliusi csapadékmennyiség elmaradt az átlagértékektől, ami kissé hátráltatta a vegetatív fejlődést. Az I. vetésforgóban tritikálé elővetemény, illetve zöldtrágyázási periódust követően 7,91 és 11,38 t ha⁻¹ közötti hozamokat takarítottunk be. Legnagyobb hozamot (11,38 t ha⁻¹) a tavaszi bükköny zöldtrágyázást követően értük el, illetve a csillagfűrttel és olajretekkel való zöldtrágyázás is egyenértékűnek bizonyult a 80 kg ha⁻¹ N hatóanyaggal történő műtrágyázás hatásával. Legkisebb hozamot pohánka elővetemény, illetve a kontroll parcellák esetében tapasztaltuk (33. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

33. ábra. Kukorica hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén az I. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)

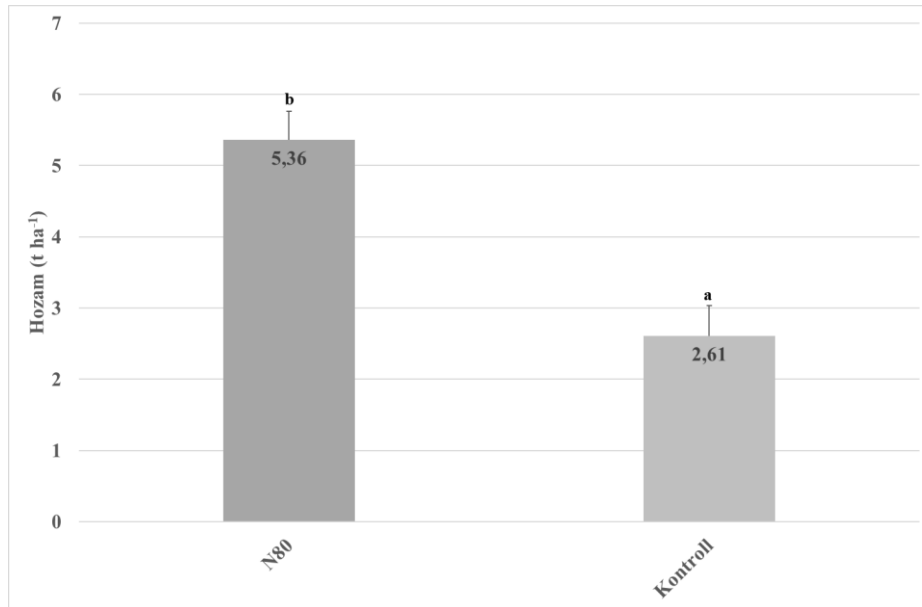
2021-ben a tritikálé tenyészidőszakában 396,9 mm csapadék hullott, amely eloszlását tekintve kedvező volt a növényállomány számára. A II. vetésforgóban zab elővetemény, illetve zöldtrágyázási periódust követően a legnagyobb hozamot a műtrágyázott parcellák esetén értük el, amellyel egyenértékűnek bizonyultak a tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágyával végzett kezelések. Legkisebb hozamot a pohánkával zöldtrágyázott parcellákon, illetve a kontroll területen takarítottuk be (34. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

34. ábra. Tritikálé hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)

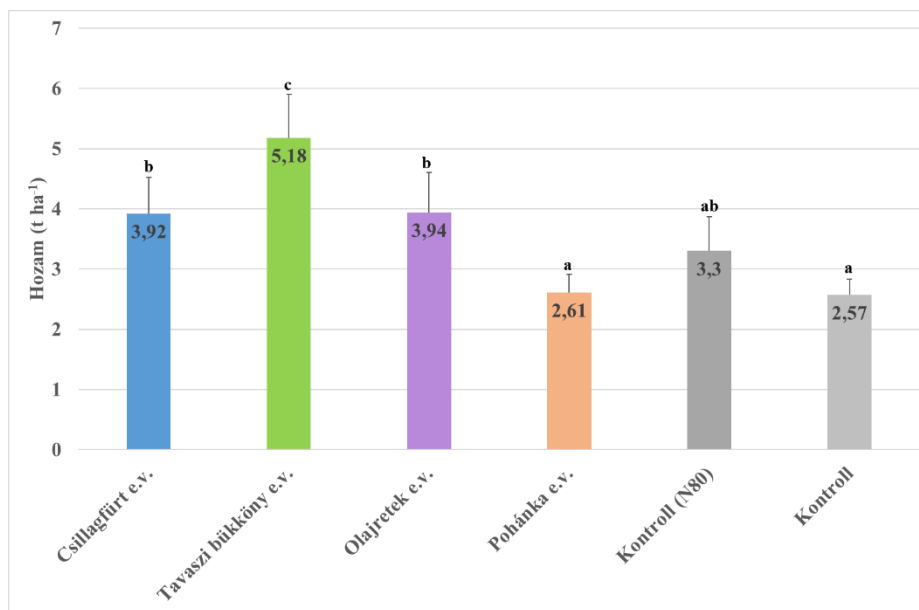
2021-ben a IV. vetésforgóban kukorica előveteményt követően nem történt zöldtrágyázás, a műtrágyakezelésben részesülő parcellák esetében 5,36 t ha⁻¹-os a kontroll parcellák esetében 2,61 t ha⁻¹-os tritikálé hozamot takarítottunk be (35. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

35. ábra. Tritikálé hozamának alakulása kukorica elővetemény esetén a IV. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)

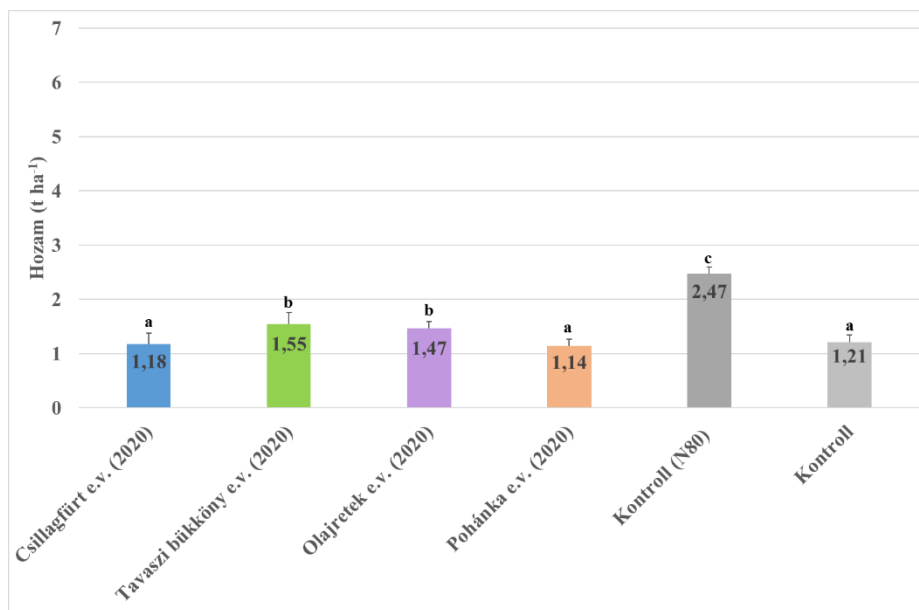
A III. vetésforgóban, 2021-ben tritikálé elővetemény, illetve egy zöldtrágyázási periódust követően 2,57 t ha⁻¹ és 5,18 t ha⁻¹ közötti zab hozamot takarítottunk be, amely tenyészidőszaka során 211,4 mm csapadék hullott, eloszlását tekintve kedvezően alakult, 71 %-a április és május hónapokban volt. Szignifikánsan a legnagyobb hozamot értük el a tavaszi bükkönnyel történő zöldtrágyázás esetén, továbbá a csillagfűrttel és olajretekkel történő zöldtrágyázás hatása sem mutatott szignifikáns eltérést a műtrágyakezelés termésmenővelő értékével. Legkisebb zab hozamot a pohánkával történő zöldtrágyázást követően, illetve a kontroll területekről takarítottuk be (36. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

36. ábra. Zab hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)

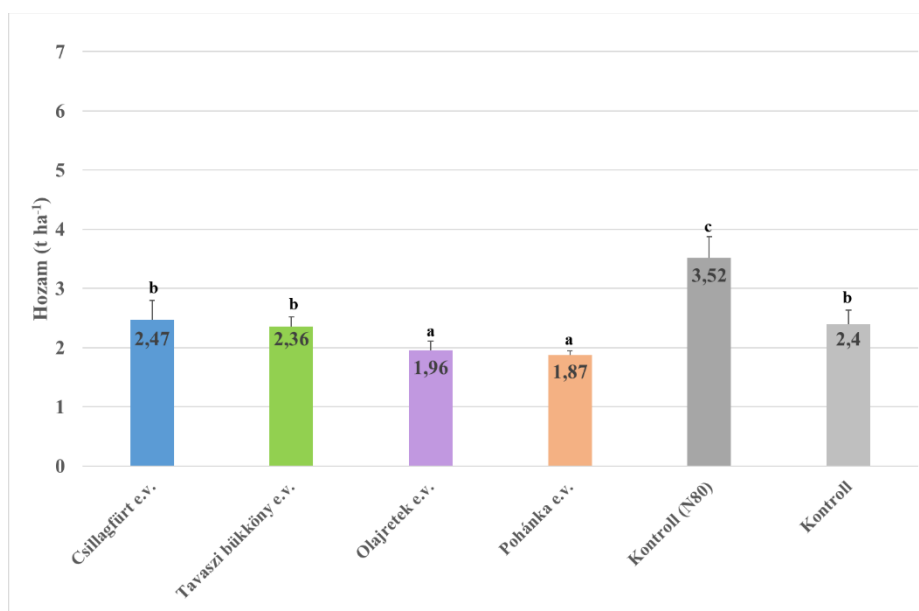
2022-ben a tritikálé tenyészidőszaka folyamán április hónap kivételével a csapadék mennyisége nagymértékben elmaradt a 20 éves átlagértékektől, a teljes tenyészidőszakban 223,2 mm csapadék hullott, amely közel 40%-kal alacsonyabb mennyiség, mint a térségre jellemző 20 éves átlagérték. Az alacsony csapadékmennyiség mellett annak eloszlása is kedvezőtlen volt, májusban, a virágzás fenofázisában 3,9 mm hullott. Az I. vetésforgóban kukorica előveteményt követően 1,14 és 2,47 t ha⁻¹ között alakultak a hozamok, a területen zöldtrágyázás 2020-ban történt. A legnagyobb hozamot a műtrágyakezelésben részesült parcellákon mértük, azonban a 2020-ban tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágyázásban részesült parcellák eredményei szignifikánsan meghaladták a kontroll parcellák eredményét (37. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

37. ábra. Tritikálé hozamának alakulása kukorica elővetemény, illetve 2020-ban alkalmazott különböző zöldtrágya kezelések esetén az I. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)

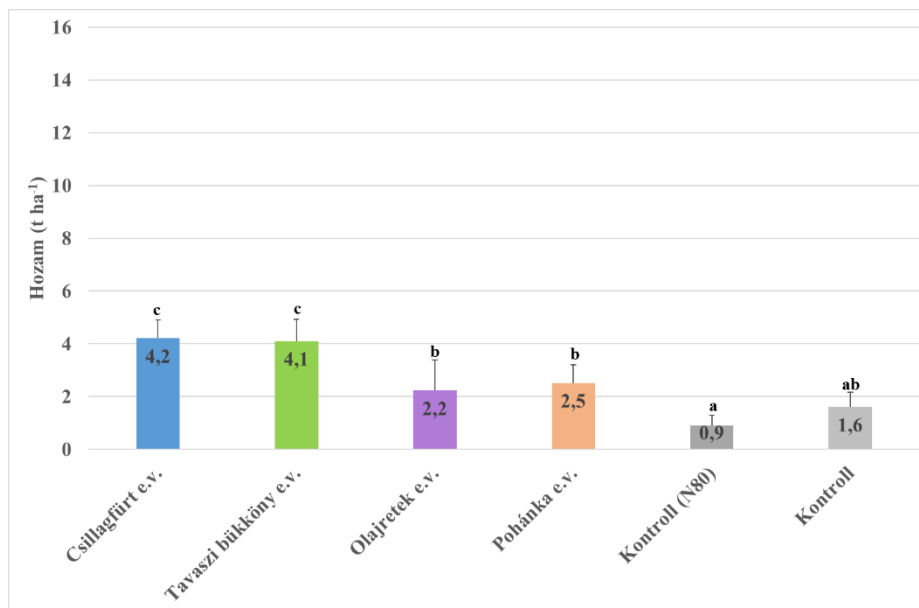
2022-ben a III. vetésforgóban zab előveteményt és zöldtrágyázást követően történt a tritikálé termesztése. A legnagyobb hozamot a műtrágyázott területen tapasztaltuk, a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel való zöldtrágyázás esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a kontroll kezelés értékeitől, az olajretekkel és pohánkával történő zöldtrágyázás hatása szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult a kontroll kezelés parcelláin mért eredményektől (38. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

38. ábra. Tritikálé hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)

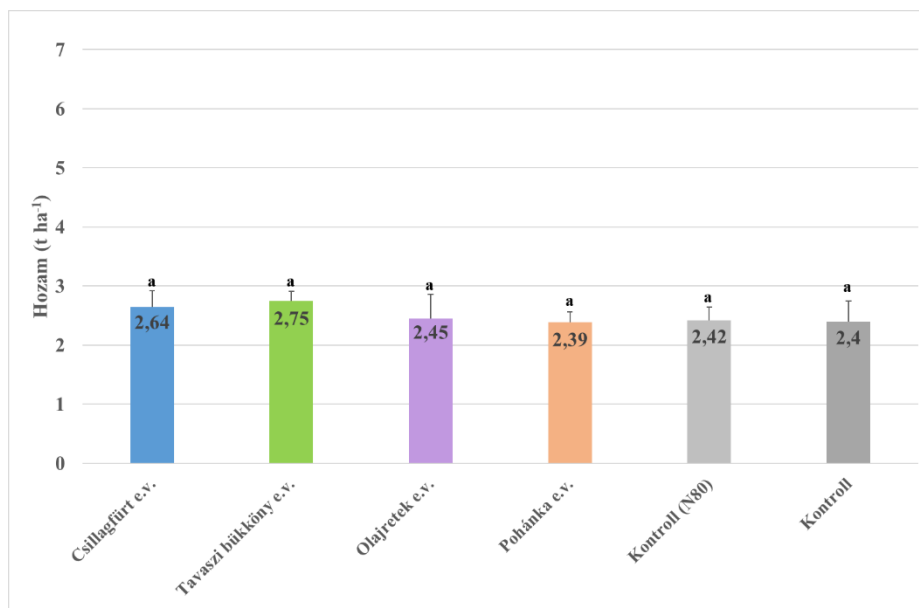
2022-ben a kukorica tenyészidőszakára rendkívüli aszály volt jellemző, májustól augusztusig 81,5 mm csapadék hullott. A II. vetésforgóban a kukoricát tritikálé és zöldtrágyakezeléseket követően termesztettük, 0,9 és 4,2 t ha⁻¹ közötti termés eredménnyel. Csillagfürt és tavaszi bükköny zöldtrágyanövények esetében szignifikánsan a legnagyobb, 4,2 és 4,1 tonna termést takarítottunk be hektáronként, továbbá az olajretek és pohánka zöldtrágyakezelések hatása is szignifikánsan meghaladta a műtrágyakezelésben részesült parcellák eredményét, azonban statisztikailag igazolhatóan nem különböztek a kontroll parcellák eredményétől (39. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

39. ábra. Kukorica hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)

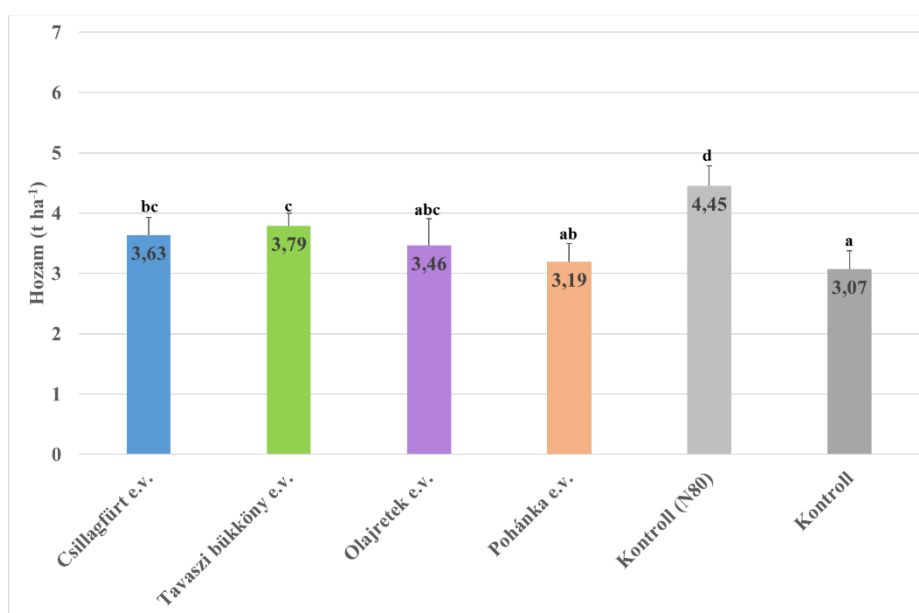
2022-ben zab esetében a tenyészidőszakban 83,6 mm csapadék hullott, amely közel 60%-kal alacsonyabb, mint a 20 éves átlagérték, továbbá az eloszlása is kedvezőtlenül alakult a növényállomány számára. Tritikálé elővetemény és zöldtrágyázást követően 2,39 és 2,75 t ha⁻¹-os termés eredménnyel értünk el, a kezelések között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a hozam tekintetében. Legnagyobb hozamot a tavaszi bükköny és csillagfürt zöldtrágya elővetemények esetében értük el, a legkisebb hozamot pohánka zöldtrágyakezelés, illetve a kontroll parcellák esetében takarítottuk be (40. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

40. ábra. Zab hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a IV. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)

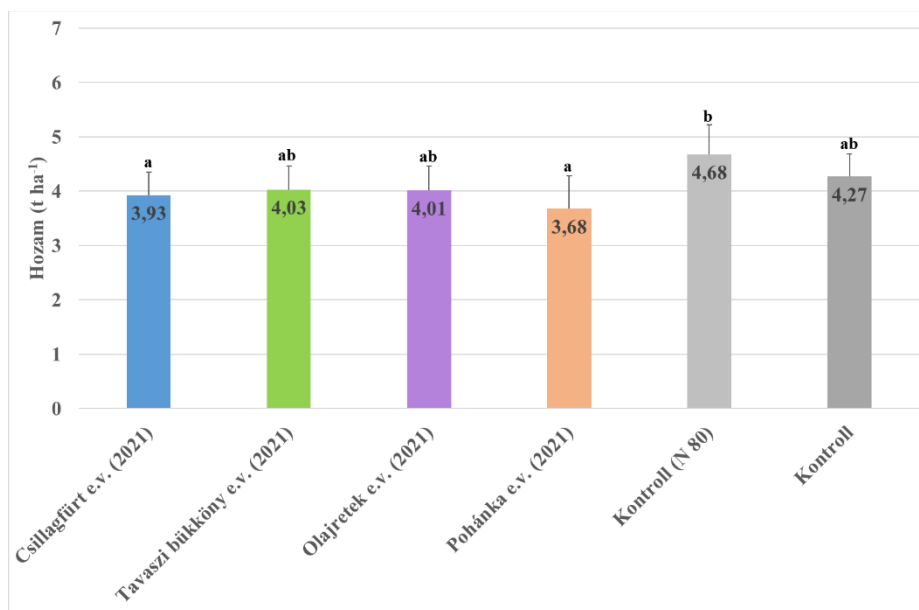
2023-ban a zab esetében az I. vetésforgóban, tritikálé előveteményt, illetve zöldtrágyázást követően szignifikánsan legnagyobb hozamot a műtrágyázott kontroll kezelésben érték el. A csillagfürt és tavaszai bükköny zöldtrágyanövénnyel kezelt parcellák esetében a zab hozama szignifikánsan meghaladta a kontroll kezelés hozamát. Olajretek és pohánka zöldtrágyázás esetében a zab termésereedménye meghaladta a kontroll parcellák eredményét, azonban a különbség nem szignifikáns (41. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

41. ábra. Zab hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén az I. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)

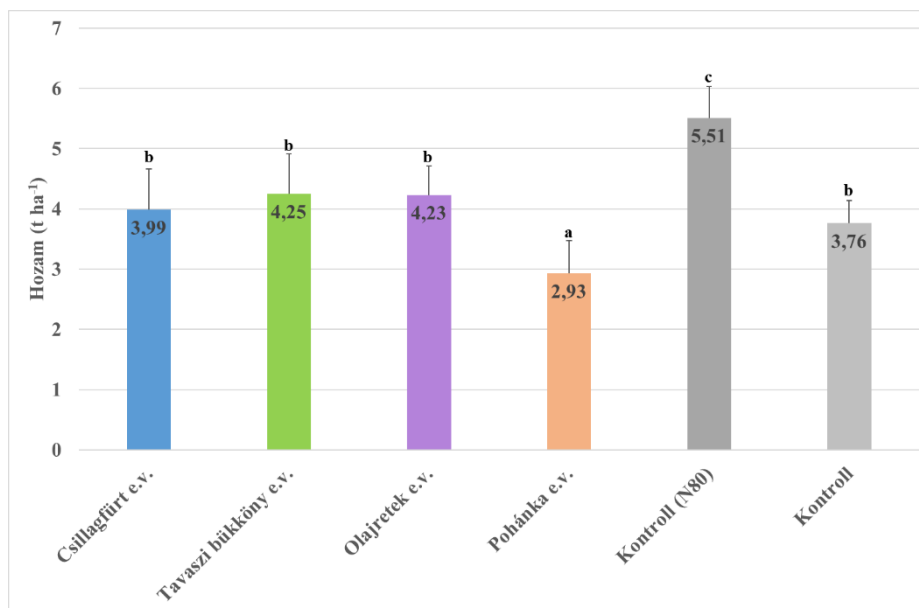
A 2022-2023-as évjáratban a tritikálé tenyészidőszakában optimális mennyiségű csapadék hullott (469,2 mm), kukorica elővetemény, illetve 2021-ben történő zöldtrágyázást követően a terméseredmények 3,68, illetve 4,68 t ha⁻¹ között alakultak a II. vetésciklusban. A hozamok között nem tapasztaltunk jelentős különbségeket a különböző kezelésekben, a tavaszi bükköny, illetve olajretek zöldtrágyák tartamhatása egyenértékűnek bizonyult a minden évben kijuttatott nitrogén műtrágyával, a csillagfürttel és pohánkával zöldtrágyázott parcellák esetében a hozamok szignifikánsan kisebbnek bizonyultak a műtrágyázott kontroll kezelés eredményénél (42. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

42. ábra. Tritikálé hozamának alakulása kukorica elővetemény, illetve két évvel korábban alkalmazott különböző zöldtrágya kezelések esetén a II. vetésciklusban (Nyíregyháza, 2023)

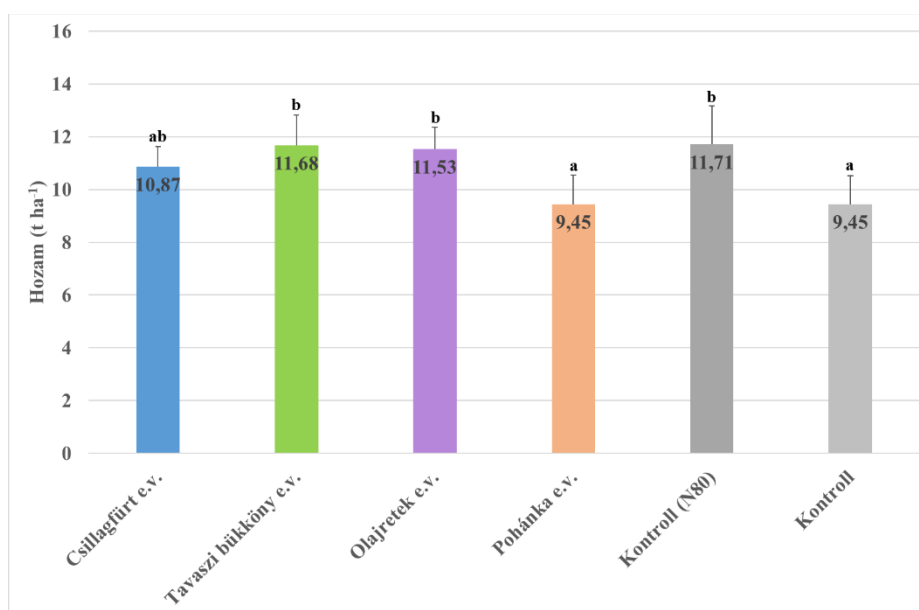
2023-ban, a IV. vetésciklusban, zab elővetemény, illetve zöldtrágyázást követően 2,93, illetve 5,51 t ha⁻¹ közötti tritikálé hozamokat takarítottunk be, a termés széles intervallumban mozgott. Szignifikánsan a legnagyobb hozamot a műtrágyázott kontroll parcellák esetén takarítottuk be. Csillagfürttel, tavaszi bükkönnyel és olajretekkel való zöldtrágyázás esetén a hozameredmények meghaladták a kezeletlen kontroll kezelés eredményét, azonban a különbségek statisztikailag nem igazolhatók. Szignifikánsan legkisebb terméshozamot a pohánka zöldtrágyával kezelt területéről takarítottuk be (43. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

43. ábra. Tritikálé hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a IV. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)

2023-ban a III. vetésforgóban, tritikálé elővetemény, illetve zöldtrágyázást követően 9,45 és 11,71 t ha⁻¹ közötti kukorica hozamokat takarítottunk be. A csillagfürttel, tavaszai búkkönnyel és olajretekkel történő zöldtrágyázás esetében a kukorica hozamértékei egyenértékűnek bizonyultak a műtrágyázott kontroll parcellák hozameredményeivel (44. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

44. ábra. Kukorica hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)

A 14. táblázat a terméshozamok összesítését szemlélteti a különböző fővetésben termesztett növényfajoknak, zöldtrágyakezelések, műtrágya és kontroll kezelés esetén a vizsgált évjáratokban. A táblázatban a növényfajoknál azon vetésforgók terméseredményei vannak feltüntetve, amelyeknél a főnövény termesztését megelőzően közvetlenül történt zöldtrágyázás.

Tritikálé esetében a vizsgálat első évében (2021) a tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágyázás hatása egyenértékűnek bizonyult a műtrágyázás hatásával, azonban a második, illetve harmadik vizsgált évjáratban (2022 és 2023) a műtrágyakezelés hatása szignifikánsan jobbnak bizonyult a hozam tekintetében, mint a zöldtrágyázás. A zöldtrágyanövények közül 2022-ben a csillagfürt, illetve tavaszi bükköny, 2023-ban a csillagfürt, tavaszi bükköny és olajretek bizonyult a legjobbnak, azonban egyik évjáratban sem haladták meg szignifikánsan a kontroll parcellák eredményét.

Zab esetében az első évben (2021) tavaszi bükköny zöldtrágyázás esetén szignifikánsan magasabb hozamot értünk el, mint műtrágyázás esetén. Továbbá csillagfürt és olajretek zöldtrágya növény kezelések esetén is magasabb hozamot takarítottunk be, mint a műtrágyával kezelt parcellákról, azonban a különbség nem szignifikáns. 2022-ben nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a kezelések között, a legnagyobb hozamot továbbra is a tavaszi bükkönnyel, illetve csillagfürttel és olajretekkel zöldtrágyázott területekről takarítottuk be. 2023-ban a műtrágyázott területek hozama volt statisztikailag igazolhatóan a legnagyobb, a zöldtrágya kezelések közül legeredményesebbnek a tavaszi bükköny bizonyult, melyet a csillagfürt, illetve olajretek zöldtrágyanövények követtek a termésre gyakorolt hatás tekintetében.

Kukorica esetében 2021-ben a legmagasabb hozamot a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott parcellákról takarítottuk be, továbbá a csillagfürttel és olajretekkel zöldtrágyázott parcellák terméseredménye is egyenértékűnek bizonyult a műtrágyakezelésben részesült parcellák eredményével, statisztikailag igazolható különbséget nem tapasztaltunk. 2022-ben mind a négy zöldtrágyakezelésben részesült parcella terméseredménye szignifikánsan meghaladta a műtrágyakezelés termését, legnagyobb hozamot a csillagfürttel, illetve tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelésekben takarítottuk be. 2023-ban a csillagfürt, tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágya kezelések esetében a hozamok nem különböztek szignifikánsan a műtrágyázott parcellák eredményétől, és továbbra is szignifikánsan meghaladták a kontroll parcellák eredményeit.

14. táblázat. Tritikálé, zab és kukorica termés hozamainak alakulása a vizsgált évjáratokban különböző zöldtrágya kezelések, illetve műtrágya és kontroll kezelések esetén (Nyíregyháza, 2020-2023)

Tritikálé termés hozam (t ha⁻¹)				
<i>Kezelés / Év</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
<i>Csillagfürt zöldtrágya</i>	-	4,4 ^{bc}	2,47^b	3,99 ^b
<i>Tavaszi bükköny zöldtrágya</i>	-	4,94 ^{ab}	2,36 ^b	4,25^b
<i>Olajretek zöldtrágya</i>	-	5,22^a	1,96 ^a	4,23 ^b
<i>Pohánka zöldtrágya</i>	-	3,67 ^{cd}	1,87 ^a	2,93 ^a
<i>Műtrágya</i>	4,5 ^a	5,41^a	3,52^c	5,51^c
<i>Kontroll</i>	5,1 ^a	3,62 ^d	2,4 ^b	3,77 ^b
Zab termés hozam (t ha⁻¹)				
<i>Kezelés / Év</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
<i>Csillagfürt zöldtrágya</i>	-	3,92 ^b	2,64 ^a	3,63 ^{bc}
<i>Tavaszi bükköny zöldtrágya</i>	-	5,18^c	2,75^a	3,79^c
<i>Olajretek zöldtrágya</i>	-	3,94 ^b	2,45 ^a	3,46 ^{abc}
<i>Pohánka zöldtrágya</i>	-	2,61 ^a	2,39 ^a	3,19 ^{ab}
<i>Műtrágya</i>	3,2 ^a	3,3 ^{ab}	2,42 ^a	4,44^d
<i>Kontroll</i>	3,2 ^a	2,57 ^a	2,4 ^a	3,07 ^a
Kukorica termés hozam (t ha⁻¹)				
<i>Kezelés / Év</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
<i>Csillagfürt zöldtrágya</i>	-	10,62 ^{bc}	4,21^c	10,87 ^{ab}
<i>Tavaszi bükköny zöldtrágya</i>	-	11,38^c	4,11 ^c	11,68^b
<i>Olajretek zöldtrágya</i>	-	9,94 ^b	2,23 ^b	11,53 ^b
<i>Pohánka zöldtrágya</i>	-	8,24 ^a	2,52 ^b	9,45 ^a
<i>Műtrágya</i>	14,2 ^a	10,42 ^{bc}	0,90 ^a	11,71^b
<i>Kontroll</i>	13,1 ^a	7,91 ^a	1,61 ^{ab}	9,45 ^a

A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján p<0,05 szinten. A jelölések egyes növényfajokon belül évjáratonként értelmezendők.

4.1.5. A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerek tápanyagtartalmának és szervesanyag tartalmának változása a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében

A különböző növényi sorrenddel rendelkező négy vetésforgó rendszerben vizsgáltuk a talaj tápanyag (nitrit+nitrát N tartalom, felvehető P és K tartalom (mg/kg sz.a.)) és szervesanyag tartalmát (%) a 0-25 cm-es, illetve 25-50 cm-es mélységben a különböző kezelések hatására (2-17. melléklet). A mintavételek a fővetésű növények (tritikálé, zab, kukorica) tenyészidőszakában, májusban, illetve a zöldtrágyanövények talajba forgatását követően, október végén, illetve novemberben történtek. Az eredmények feldolgozása során a különböző vetésforgó rendszerekben a kísérlet négy éve alatt bekövetkezett változásokat értékeltük a talaj

tápanyag (nitrit+nitrát N tartalom, felvehető P és K tartalom (mg/kg sz.a.)) és szervesanyag tartalmában (%), a zöldtrágyázott, műtrágyázott, illetve kontroll kezelések eredményeképpen.

A talaj szervesanyag tartalma minden kezelés esetében egyaránt növekedést mutatott a vizsgált vetésforgókban a 4 éves vizsgálati periódus végére. A májusi mintavétel alkalmával a talaj 0-25 cm-es rétegében a 4 éves periódust követően, a vetésforgók átlagában a talaj szervesanyag tartalma 0,30-0,50 %-kal növekedett a kezdeti értékekhez képest. A legnagyobb mértékű változást a műtrágyázott (0,50 %), illetve a csillagfürttel zöldtrágyázott (0,46 %) parcellákon tapasztaltuk, legkisebb mértékű változás (0,30 %) a kontroll kezelés esetében volt kimutatható. Hasonló mértékű változást mutattunk ki a talaj 25-50 cm-es mélységében, a talaj szervesanyag tartalma 0,27 – 0,46 %-kal növekedett, legnagyobb mértékben a kontroll kezelés és a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott parcellák esetében (0,45, illetve 0,46 %), legkisebb mértékű változást az olajretekkel és pohánkával zöldtrágyázott kezelés eredményezte (0,27 %).

A zöldtrágyanövények talajba forgatását követő, novemberi mintavétel alapján a talaj 0-25 cm-es rétegében a zöldtrágyanövénnyel kezelt parcellák szervesanyag tartalma kisebb mértékben növekedett (0,11 – 0,23 %), mint a műtrágyázott kontroll, illetve kontroll kezelés eredményei (0,36, illetve 0,25 %). A talaj 25-50 cm-es rétegében azonban a legnagyobb mértékű változást a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések eredményezték (0,36 és 0,35 %), a műtrágyázott kezelés értékét követően (0,37 %) (2-5. melléklet, 15. táblázat).

Eredményeink alapján a talaj szervesanyag tartalmának változásáról elmondható, hogy a talaj 0-25 cm-es rétegében a májusi és a novemberi mintavétel alapján egyaránt a műtrágyázott kezelés eredményezte a legnagyobb mértékű növekedést. A talaj 25-50 cm-es rétegében a májusi mintavétel alapján a kontroll kezelés, illetve a tavaszi bükköny zöldtrágyakezelés eredménye mutatta a legnagyobb mértékű változást. A novemberi mintavétel esetében a legnagyobb mértékű növekedést a talaj szervesanyag tartalmában a műtrágyázott kezelés esetében, illetve a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések eredményeképp mértük.

A nitrit+nitrát nitrogén tartalom változása tekintetében a májusi mintavétel alkalmával a 0-25 cm-es mélységben a változás mértéke a zöldtrágyázott kezelések esetében 1,17 – 1,92 mg/kg között alakult. A kísérlet 4 éve alatt műtrágya kijuttatása nélkül, a zöldtrágya kezelésekkel is egyértelműen tudtuk növelni a talaj nitrit+nitrát N tartalmát, a legnagyobb mértékű változást a tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott kezelésekkben mértük (1,92 és 1,86 mg/kg növekedés). A talaj 25-50 cm-es mélységében a zöldtrágyázott kezelések esetében volt a

legnagyobb mértékű változás kimutatható, a talaj nitrit+nitrát nitrogén tartalma csillagfürt és olajretek zöldtrágyázás esetében 1,67 és 1,31 kg/kg-al nőtt, míg a műtrágyázott és kontroll kezelések esetében 0,86 és 0,81 mg/kg-os emelkedést tapasztaltunk.

A novemberi mintavétel alkalmával a zöldtrágyázott területek értékei elmaradtak a kontroll kezelés értékeitől a nitrit+nitrát nitrogén tartalom változásának tekintetében a talaj 0-25 cm-es rétegében. A talaj 25-50 cm-es rétegében eltérő mértékű változást tapasztaltunk a zöldtrágyázott területeken, a tavaszi bükkönnyel kezelt területeken a nitrit + nitrát nitrogén tartalom növekedésének mértéke meghaladta, a csillagfürttel és pohánkával kezelt területeken a változás mértéke elmaradt a műtrágyázott, illetve kontroll kezelések értékeitől (6-9. melléklet, 15. táblázat).

15. táblázat. A talaj szervesanyag tartalmának változása (%), illetve nitrit + nitrát N tartalom változása (mg/kg) a vizsgált vetésforgók átlagában a kísérlet kezdő értékeihez viszonyítva májusi és novemberi mérés alkalmával zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vizsgált paraméter	Szervesanyag tartalom változás a kezdeti értékhez képest (%)		Nitrit + nitrát N tartalom változás a kezdeti értékhez képest (mg/kg)	
	05. hó	11. hó	05. hó	11. hó
Kezelés / Mélység (cm)	0-25 cm			
Csillagfürt zöldtrágya	+0,46	+0,17	+1,48	+0,58
Tavaszi bükköny zöldtrágya	+0,40	+0,23	+1,92	+1,78
Olajretek zöldtrágya	+0,39	+0,11	+1,86	+1,83
Pohánka zöldtrágya	+0,34	+0,15	+1,17	+0,08
Kontroll (N80)	+0,50	+0,36	+1,46	+1,48
Kontroll	+0,30	+0,25	+1,42	+3,07
Kezelés / Mélység (cm)	25-50 cm			
Csillagfürt zöldtrágya	+0,41	+0,36	+1,67	+0,66
Tavaszi bükköny zöldtrágya	+0,46	+0,35	+1,26	+3,51
Olajretek zöldtrágya	+0,27	+0,18	+1,31	+2,22
Pohánka zöldtrágya	+0,27	+0,22	+1,03	+1,10
Kontroll (N80)	+0,39	+0,37	+0,86	+2,71
Kontroll	+0,45	+0,30	+0,81	+1,85

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve a legmagasabb értékek.

A nitrit + nitrát nitrogén tartalom változásának tendenciája esetében az eredmények alapján az érték akkor bizonyult a legmagasabbnak a májusi vizsgálat alapján a talajban, amennyiben a zöldtrágyázás kukorica termesztését megelőzően történt (I., II., III. vetésforgó eredményei). Abban az esetben, amennyiben a zöldtrágyanövények vegetációs periódusában megfelelő mennyiségű csapadék hullott, és nagyobb biomassza tömeg fejlődött, a következő év májusában a zöldtrágyázott területek nitrit + nitrát nitrogén tartalma meghaladta a műtrágyázott területek értékét (I. és III. vetésforgó, 2021 és 2023). Abban az esetben, amikor a zöldtrágyázást követően őszi kalászos termesztése történt, a zöldtrágyanövényeknek nem állt megfelelő idő rendelkezésre a talajban történő feltáródáshoz. Zöldtrágyázást követő tavaszi kalászos termesztése esetén a talaj nitrit + nitrát nitrogén tartalma közel azonos volt a műtrágyázott kezelés értékeivel, azonban olyan mértékű növekedés nem volt tapasztalható, mint azonos évjáratban, kukorica vetése esetén.

A vetésforgókban sem a zöldtrágyázott, sem a műtrágyázott területeken nem történt P műtrágya kijuttatás a kísérlet 4 éves időtartama alatt. A májusi mintavétel alkalmával a 0-25 cm-es mélységben a talaj felvehető foszfor tartalma a nitrogénnel műtrágyázott kezelés esetében nőtt, a kontroll kezelés esetében csökkent. A zöldtrágya kezelések közül a csillagfürttel, tavaszi bükkönnyel és pohánkával zöldtrágyázott területeken növekedést tapasztaltunk, az olajretekkel zöldtrágyázott talajok esetében csökkenést mértünk. A 25-50 cm-es mélységben a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott és nitrogén műtrágyázott kezelések esetében mutattunk ki kismértékű növekedést a talaj felvehető foszfor tartalmában, legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll területek értékei mutatták.

A novemberi mintavételi időpont eredményei alapján a 0-25 cm-es mélységben egyaránt kis mértékű csökkenést tapasztaltunk a talaj felvehető foszfor tartalmában. A talaj 25-50 cm-es rétegében azonban a zöldtrágyázott kezelések esetében egyaránt növekedés volt kimutatható a felvehető foszfor tartalom tekintetében, amely értékek meghaladják a műtrágyázott és kontroll kezelés esetében tapasztalt változást (10-13. melléklet, 16. táblázat).

A kísérlet 4 éves időtartama folyamán kálium műtrágya kijuttatása sem történt. A májusi mintavétel alkalmával a 0-25 cm-es talajrétegben növekedést tapasztaltunk a felvehető K tartalomban csillagfürt, olajretek és pohánka zöldtrágya kezelés esetén, míg a műtrágyázott és kontroll kezelések csökkenő tendenciát mutattak. A talaj 25-50 cm-es rétegében a legnagyobb mértékű növekedést a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések mutatták, míg a kontroll kezelés esetében csökkenést tapasztaltunk a talaj felvehető kálium tartalmában.

A novemberi mintavétel alkalmával a talaj felső rétegében (0-25 cm) egyaránt csökkenést tapasztaltunk a kezelések esetében a talaj felvehető kálium tartalmában, legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll kezelés eredményezte. A 25-50 cm-es rétegben azonban a zöldtrágyázott kezelések egyaránt növekedést mutattak a talaj felvehető kálium tartalmában, legnagyobb mértékben a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések értékei növekedtek (56,88 és 19,03 mg/kg). A nitrogénnel műtrágyázott és kontroll kezelések esetében csökkenést tapasztaltunk a talaj felvehető kálium tartalmában a kísérlet 4 éve alatt (14-17. melléklet, 16. táblázat).

16. táblázat. A talaj felvehető P és K tartalmának változása (mg/kg) a vizsgált vetésforgók átlagában a kísérlet kezdő értékeihez viszonyítva májusi és novemberi mérés alkalmával zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vizsgált paraméter	Felvehető P tartalom változás a kezdeti értékhez képest (mg/kg)		Felvehető K tartalom változás a kezdeti értékhez képest (mg/kg)	
	05. hó	11. hó	05. hó	11. hó
Kezelés / Mélység (cm)	0-25 cm			
Csillagfürt zöldtrágya	+14,51	-29,40	+23,47	-6,79
Tavaszi bükköny zöldtrágya	+5,52	-18,20	-12,10	-9,16
Olajretek zöldtrágya	-1,41	-9,75	+1,63	-15,00
Pohánka zöldtrágya	+9,52	-2,13	+1,58	-19,80
Kontroll (N80)	+27,60	-13,50	-16,40	-21,00
Kontroll	-29,80	-20,00	-20,30	-37,90
Kezelés / Mélység (cm)	25-50 cm			
Csillagfürt zöldtrágya	-15,40	+22,58	+42,70	+56,88
Tavaszi bükköny zöldtrágya	+9,88	+14,76	+16,74	+19,03
Olajretek zöldtrágya	-11,60	+17,11	-0,86	+15,02
Pohánka zöldtrágya	-3,75	+9,74	+5,20	+10,75
Kontroll (N80)	+24,40	+6,28	+0,79	-12,90
Kontroll	-36,60	-22,80	-22,10	-7,86

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve a legmagasabb, pozitív értékek, piros színnel jelölve a legalacsonyabb, negatív értékek.

4.2. Zöldtrágyanövények fővetésben történő, vetőmagcélú termesztésének, illetve elővetemény értékének értékelése

4.2.1. A csillagfürt termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző állománysűrűségek és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén

A *Nelly* fehérvirágú édes csillagfürt magcélú termesztése során vizsgáltuk a különböző állománysűrűségben vetett, illetve eltérő tápanyagellátásban részesülő növények termésképző elemei közül a növényenkénti hüvelyszámot, a növényenkénti magszámot, növényenkénti magsúlyt, illetve az ezermagtömeget 2020 és 2023 között (17. táblázat).

A növényenkénti hüvelyszám tekintetében mind a négy vizsgált évjáratban az alacsonyabb vetőmagdózissal vetett állományok esetében (0,25 millió csíra ha⁻¹) tapasztaltuk a legnagyobb értékeket, a különbségek 2022-ben és 2023-ban szignifikánsak voltak. Mind a négy évjáratban a 0,25 millió csíra ha⁻¹-ral vetett állományok esetében a 80 kg ha⁻¹ N műtrágyakezelés érte el a legjobb eredményt. A 0,4 millió csíra ha⁻¹-ral állománysűrűség esetén 2021 kivételével a kontroll kezelésben mértük a legnagyobb értékeket.

A növényenkénti magszám tekintetében azonos tendenciát állapíthatunk meg, mint a növényenkénti hüvelyszám esetében. Szignifikánsan a legnagyobb értékeket 2021-ben, 2022-ben és 2023-ban az alacsonyabb csíraszámú, N 80 kg ha⁻¹ kezelés eredményezte.

Növényenkénti magsúly esetében is nagyobb értékeket tapasztaltunk a kisebb tőszám alkalmazásakor, a legnagyobb értékeket a csak nitrogén műtrágya kezelés eredményezte.

Az ezermagtömeg tekintetében a 0,4 millió csíra ha⁻¹ állománysűrűségnél tapasztaltuk a nagyobb értékeket a 2023-as évjárat kivételével. A kisebb állománysűrűség esetén a legmagasabb szintű tápanyagellátás (80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) eredményezte a legnagyobb értékeket (2023 kivételével), nagyobb állománysűrűség esetén a csak 80 kg ha⁻¹ N műtrágya kezelés esetében tapasztaltuk a nagyobb értékeket.

A *Pearson*-féle korrelációs értékek alapján (18. melléklet) a növényenkénti hüvelyszám, illetve magszám értékek erős korrelációt mutatnak a tenyészidőszakban hullott csapadék mennyiségével ($r=0,743^{**}$ és $0,691^{**}$), amelyen belül a júniusi csapadékmennyiség bizonyult a meghatározónak a korrelációs értékek alapján ($r=0,706^{**}$ és $0,728^{**}$) a két vizsgált érték tekintetében. A magsúly értékek alakulására a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség volt a legnagyobb hatással ($r=0,695^{**}$). Az ezermagtömegek tekintetében nem tapasztaltunk erős korrelációs összefüggést a vizsgált paraméterek között, mely a tulajdonság genetikai determináltságára enged következtetni.

17. táblázat. Fővetésben vetett csillagfürt termésképző paramétereinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

Paraméter		Növényenkénti hüvelyszám (db)				Növényenkénti magszám (db)			
Csírászám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
0,25 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	11,1 ^{ab}	7,1 ^{bc}	3,6 ^a	9,4 ^a	34,6 ^{ab}	21,1 ^{ab}	12,6 ^a	31,6 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	14,6 ^c	8,3 ^c	6,0 ^b	11,4 ^b	46,8 ^c	28,2 ^c	22,7 ^b	38,6 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	12,5 ^{abc}	6,3 ^{ab}	4,0 ^a	8,6 ^a	42,4 ^{bc}	22,7 ^b	14,3 ^a	29,6 ^a
0,4 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	13,5 ^{bc}	6,3 ^{ab}	4,6 ^a	8,6 ^a	46,6 ^c	18,5 ^{ab}	16,2 ^a	28,4 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	9,5 ^a	4,7 ^a	3,5 ^a	8,3 ^a	32,8 ^{ab}	15,2 ^a	13,1 ^a	26,7 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	9,5 ^a	6,6 ^{bc}	4,2 ^a	8,0 ^a	31,4 ^a	21,1 ^{ab}	15,4 ^a	25,3 ^a
Paraméter		Növényenkénti mag súly (g)				Ezermagtömeg (g)			
Csírászám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
0,25 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	8,3 ^{ab}	5,6 ^{ab}	3,5 ^a	12,4 ^{ab}	238,5 ^a	268,7 ^a	282,0 ^a	363,9 ^c
	80 kg ha ⁻¹ N	11,9 ^c	7,2 ^c	6,3 ^b	13,0 ^b	256,4 ^a	263,0 ^a	283,2 ^a	246,4 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	11,2 ^{bc}	6,5 ^{bc}	4,0 ^a	12,9 ^b	259,7 ^a	289,6 ^b	283,7 ^a	356,2 ^{bc}
0,4 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	11,9 ^c	4,8 ^a	4,6 ^a	10,0 ^a	255,4 ^a	266,7 ^a	286,5 ^a	272,2 ^{ab}
	80 kg ha ⁻¹ N	8,4 ^{ab}	4,4 ^a	3,7 ^a	12,3 ^{ab}	259,9 ^a	295,4 ^b	289,5 ^a	384,2 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	7,9 ^a	5,3 ^{ab}	4,2 ^a	10,6 ^{ab}	256,0 ^a	264,1 ^a	276,6 ^a	381,6 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve az alacsonyabb csírászám szerinti legmagasabb értékek, sárga színnel jelölve a magasabb csírászám szerinti legmagasabb értékek.

A csillagfürt maghozama tekintetében 2021 kivételével nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kezelések között. Az extrém száraz, 2022-es évjárat kivételével a magasabb csírászámú (0,4 millió csíra ha⁻¹) vetett állomány esetében tapasztaltunk magasabb maghozamot, azonban a különbségek statisztikailag nem igazolhatóak.

2020-ban és 2023-ban a 0,4 millió csíra ha⁻¹ állománysűrűségben vetett, műtrágyakezelésben nem részesülő parcellák esetében takarítottuk be a legnagyobb maghozamot. 2021-ben a nagyobb csírászám, illetve legnagyobb műtrágyaszint eredményezte a legnagyobb hozamot, míg az extrém száraz 2022-es évjáratban az alacsonyabb csírászámú és N műtrágya kezelés esetén értük el a legmagasabb hozamot.

Az alacsonyabb csírászámú kezelések esetében a N műtrágya kiegészítésben részesülő parcellák esetében tapasztaltuk a nagyobb maghozamot (2021-ben az NPK műtrágyázás esetén), a nagyobb csírászámú esetén a kontroll kezelés eredményezte a legjobb magtermést

(2021 kivételével). 2020-ban a hektáronkénti terméseredmények 604,3 – 1207,5 kg között, 2021-ben 252,1 – 797,2 kg között, 2022-ben 206,7 – 496,0 kg között, 2023-ban 1398,7 – 2381,7 kg között változtak (18. táblázat). A terméseredmények pozitív korrelációt mutatnak a tenyészidőszakban hullott csapadék mennyiségével ($r=0,518^{**}$), illetve negatív korrelációt a júniusi átlaghőmérséklettel ($r=-0,560^{**}$) (18. melléklet). 2023-ban a vizsgált évjáratok közül a csapadék mennyisége a csillagfürt tenyészidőszakában a második legnagyobb volt (320,5 mm), azonban eloszlása kedvezőbben alakult, mint az előző évjáratokban, továbbá a júniusi átlaghőmérséklet is a legalacsonyabb volt a vizsgált évjáratok közül.

18. táblázat. Fővetésben vetett csillagfürt terméseredményeinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

Kezelés		Hozam (kg ha ⁻¹)			
Csíraszám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023
0,25 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	630,4 ^a	413,6 ^a	277,2 ^a	1478,6 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	947,3 ^a	252,1 ^a	496,0 ^a	2006,1 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	604,3 ^a	553,6 ^{ab}	206,7 ^a	1398,7 ^a
0,4 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	1207,5 ^a	463,4 ^a	463,0 ^a	2381,7 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	794,0 ^a	329,4 ^a	417,1 ^a	1726,3 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	920,6 ^a	797,2 ^b	382,0 ^a	2301,8 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve az alacsonyabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek, sárga színnel jelölve a magasabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek.

4.2.2. A tavaszi bükköny termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző vetésmódok és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén

A termésképző paraméterek közül a növényenkénti hüvelyszám a jobb csapadékellátottságú években (2020 és 2023) a zab támasztónövényvel együttes termesztés során volt nagyobb, azonban a különbség csak 2020-ban volt szignifikáns. Támasztónövényes vetés esetén a rosszabb csapadékellátottságú években (2021 és 2022) a műtrágyázás nélküli, a jobb csapadékellátottságú években (2020 és 2023) az N₈₀ kezelésben volt nagyobb a növényenkénti hüvelyszám.

Tiszta vetésben csak a 2022-es évjáratban tapasztaltunk szignifikáns különbséget, a legtöbb növényenkénti hüvelyszámot a legmagasabb műtrágyaszint (N₈₀P₉₆K₉₆) alkalmazásakor értük el. 2020-ban és 2021-ben az N₈₀ kezelés, 2023-ban a kontroll kezelés eredményezte a legnagyobb növényenkénti hüvelyszám értékeket.

A növényenkénti magszám értékek zab támasztónövényrel való termesztés esetén a jobb csapadékellátottságú években (2020 és 2023) a kontroll kezelésben, alacsonyabb csapadékellátottságú években (2021 és 2022) 80 kg ha⁻¹ N kezelés alkalmazásakor érte el a legnagyobb eredményt. Csapadékszegény évjáratban a legmagasabb tápanyagellátási szint (N₈₀P₉₆K₉₆) mellett támasztónövényes vetés esetén szignifikánsan csökkent a növényenkénti magszám.

A növényenkénti magsúly értékek alakulásának tendenciája megegyezik a növényenkénti magszám értékek alakulásával.

Az ezermagtömegek tekintetében szignifikánsan magasabb értékeket tapasztaltunk 2020-ban a tiszta vetés esetében. 2021-ben a tisztán vetett, N₈₀ kezelés esetén, 2022-ben és 2023-ban a támasztónövényrel vetett parcellák esetében, N₈₀P₉₆K₉₆, illetve N₈₀ kezelésekben értük el a legnagyobb értékeket (19. táblázat).

A Pearson-féle korrelációs értékek (19. melléklet) alapján zab támasztónövényrel való termesztés esetén erős pozitív korrelációt tapasztaltunk a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség, illetve a növényenkénti hüvelyszám ($r=0,913^{**}$), növényenkénti magszám ($r=0,896^{**}$), növényenkénti magsúly ($r=0,895^{**}$) és az ezermagtömeg ($r=0,932^{**}$) értékek között. Mind a négy vizsgált paraméter esetében a korrelációs értékek alapján a júniusi csapadék mennyisége volt a meghatározó, $r=0,610-0,685^*$ korrelációs értékekkel. A növényenkénti magszám és magsúly értékek esetében negatív korrelációt tapasztaltunk a májusi átlaghőmérséklettel ($r=-0,668^*$ és $-0,646^*$).

Tiszta vetésben, hasonlóan a támasztónövényes vetéshez, erős pozitív korrelációt tapasztaltunk a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség, illetve a növényenkénti hüvelyszám ($r=0,917^{**}$), magszám ($r=0,902^{**}$), magsúly ($r=0,946^{**}$) és ezermagtömeg ($r=0,910^{**}$) értékek alakulása között. Tiszta vetés esetén negatív korrelációt mutattunk ki a májusi átlaghőmérséklet és az ezermagtömeg értékek alakulása között ($r=-0,781^{**}$) (20. melléklet).

19. táblázat. Fővetésben vetett tavaszi bükköny termésképző elemeinek alakulása támasztónövénnyel, illetve tisztán vetett állomány, illetve különböző tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

Paraméter		Növényenkénti hüvelyszám (db)				Növényenkénti magszám (db)			
Vetésmód	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Zabos bükköny	Kontroll	9,4 ^{ab}	6,0 ^a	2,5 ^c	9,3 ^b	57,9 ^b	35,8 ^c	10,7 ^b	50,9 ^b
	80 kg ha ⁻¹ N	11,9 ^c	5,6 ^a	2,4 ^c	9,6 ^b	71,7 ^b	33,3 ^{bc}	8,9 ^b	51,2 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	10,0 ^{bc}	4,7 ^a	0,2 ^a	5,3 ^a	58,0 ^b	24,6 ^{ab}	0,4 ^a	24,3 ^a
Tavaszi bükköny	Kontroll	7,1 ^a	6,0 ^a	1,4 ^b	9,2 ^b	32,2 ^a	31,0 ^{abc}	6,9 ^b	44,1 ^b
	80 kg ha ⁻¹ N	8,6 ^{ab}	6,1 ^a	2,9 ^c	7,5 ^b	40,4 ^a	30,1 ^{abc}	12,2 ^b	38,7 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	7,5 ^a	4,9 ^a	4,3 ^d	8,3 ^b	37,4 ^a	23,6 ^a	22,2 ^c	41,1 ^b
Paraméter		Növényenkénti mag súly (g)				Ezermagtömeg (g)			
Vetésmód	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Zabos bükköny	Kontroll	3,0 ^b	1,6 ^b	0,4 ^b	2,5 ^c	53,1 ^a	44,0 ^{ab}	29,9 ^a	47,8 ^{ab}
	80 kg ha ⁻¹ N	3,8 ^b	1,5 ^b	0,2 ^b	2,7 ^c	53,4 ^a	44,2 ^{ab}	31,6 ^a	50,6 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	3,1 ^b	1,0 ^a	0,0 ^a	1,2 ^a	54,2 ^a	40,8 ^a	41,0 ^a	50,2 ^b
Tavaszi bükköny	Kontroll	1,8 ^a	1,4 ^{ab}	0,3 ^b	2,1 ^{bc}	54,6 ^b	44,4 ^{ab}	37,0 ^a	47,9 ^{ab}
	80 kg ha ⁻¹ N	2,2 ^a	1,4 ^{ab}	0,5 ^b	1,8 ^{ab}	56,3 ^b	48,2 ^b	35,6 ^a	45,8 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	2,1 ^a	1,0 ^a	0,9 ^c	2,0 ^{bc}	57,0 ^b	43,7 ^{ab}	37,4 ^a	47,3 ^{ab}

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve a támasztónövénnyel vetett állomány legmagasabb értékei, sárga színnel jelölve a tisztán vetett állomány legmagasabb értékei.

A tavaszi bükköny maghozama esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket a kezelések terméseredményekre gyakorolt hatása között a 2022-es évjárat kivételével, ahol szignifikánsan nagyobb maghozamot takarítottunk be tiszta vetés esetén, azonban a műtrágyaszintek között itt sem jelentkezett statisztikailag igazolható kezeléshatás.

Támasztónövényes vetés esetén 2020-ban a legmagasabb tápanyagellátási szinten, 2021-ben, 2022-ben és 2023-ban a kontroll kezelésben takarítottuk be a legnagyobb hozamot. Tiszta vetés esetén 2020-ban a legnagyobb tápanyagellátási szint (N₈₀P₉₆K₉₆) mellett, 2021-ben N₈₀ műtrágyázás esetén, 2022-ben és 2023-ban a kontroll kezeléseknél volt legnagyobb a hozam. 2020-ban 447,5 – 802,5 közötti, 2021-ben 305,4 – 628,7 közötti, 2022-ben 16,9 – 467,0 közötti, 2023-ban 784,8 – 1182,9 kg ha⁻¹ közötti hozamokat takarítottunk be. A 2022-es, extrém száraz évjárat szignifikáns eltérést eredményezett a két vetésmód terméseredményei között, zabbal történő együttes termesztés esetén a hozamok jelentősen kisebbek voltak, mint tiszta

vetés alkalmazásakor (20. táblázat). Szoros korrelációt tapasztaltunk a betakarított termésmennyiség és a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség között támasztónövényes vetés esetén $r=0,961^{**}$ értékkel (19. melléklet), azonban tiszta vetés esetén a hozam szempontjából a tenyészidőszakra jellemző átlaghőmérséklet volt a meghatározó ($r=-0,836^{**}$) (20. melléklet).

20. táblázat. Fővetésben vetett tavaszi bükköny terméseredményeinek alakulása támasztónövényvel, illetve tisztán vetett állomány, illetve különböző tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

Kezelés		Hozam (kg ha ⁻¹)			
Termesztési mód	Tápanyag	2020	2021	2022	2023
Zabos bükköny	Kontroll	797,5 ^a	628,7 ^a	64,9 ^a	992,6 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	740,0 ^a	453,7 ^a	56,0 ^a	818,4 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	802,5 ^a	407,7 ^a	16,9 ^a	784,8 ^a
Tavaszi bükköny	Kontroll	525,0 ^a	387,9 ^a	467,0 ^b	1182,9 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	447,5 ^a	401,2 ^a	395,5 ^b	1037,4 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	537,5 ^a	305,4 ^a	462,5 ^b	906,3 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve a támasztónövényvel vetett állomány legmagasabb értékei, sárga színnel jelölve a tisztán vetett állomány legmagasabb értékei.

4.2.3. Az olajretek termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző állománysűrűségek és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén

A növényenkénti becőszám mind a négy vizsgált évjáratban a kisebb állománysűrűség esetén volt nagyobb, a különbség 2021-ben szignifikáns. A kisebb csíraszám (0,5 millió csíra ha⁻¹) esetén a 2020-as, 2021-es és 2022-es évjáratban a legmagasabb tápanyagellátási szint (N₈₀P₉₆K₉₆), 2023-ban az N₈₀ kezelés eredményezte a legnagyobb értéket. A két műtrágyadózis között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget egyik évjáratban sem, azonban az N₈₀P₉₆K₉₆ kezelés eredménye szignifikánsan meghaladja a kontroll kezelés értékeit. A 0,8 millió csíra ha⁻¹-os állománysűrűség esetén 2020-ban, 2021-ben és 2023-ban nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a becőszám tekintetében, 2022-ben mindkét műtrágya kezelés értékei meghaladták a kontroll kezelés értékeit.

A növényenkénti magszám értékek esetében mind a négy évjáratban az alacsonyabb tőszám esetében tapasztaltuk a nagyobb értékeket, amely különbségek 2021-ben és 2022-ben szignifikánsak. A kisebb csíraszám esetében 2021 kivételével az N₈₀P₉₆K₉₆ kezelés eredményezte a legnagyobb növényenkénti magszám értéket. A magasabb csíraszám esetén

2020-ban és 2022-ben az N₈₀P₉₆K₉₆ kezelés, 2021-ben és 2023-ban az N₈₀ kezelés eredményezte a legmagasabb értéket.

A növényenkénti magσύly értékek alakulása az alacsonyabb csíraszámú (0,5 millió csíra ha⁻¹) kezelés esetén megegyezik a növényenkénti magszám értékeknél tapasztaltakkal, továbbá a magσύly értékek mind a négy évben az alacsonyabb csíraszámú parcellák esetében alakultak magasabban, amely különbségek 2022-ben szignifikánsak. Magasabb csíraszám esetén (0,8 millió csíra ha⁻¹) mind a négy évjáratban az N₈₀ kezelés eredményezte a legnagyobb értékeket.

Az ezermagtömeg alakulása tekintetében nem tapasztaltunk egyértelmű kezeléshatást a műtrágyadózisok, illetve a vetőmagmennyiség tekintetében (21. táblázat).

A Pearson-féle korrelációs értékek (21. melléklet) negatív korrelációt mutattak a júliusi csapadékmennyiség, illetve a növényenkénti becőszám ($r=-0,616^{**}$), magszám ($r=-0,657^{**}$), magσύly ($r=-0,796^{**}$) és ezermagtömeg ($r=-0,804^{**}$) értékek között. A magszám, magσύly és ezermagtömeg esetében pozitív korrelációt mutattunk ki a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiséggel ($r=0,460^{*}$; $0,570^{**}$ és $0,715^{**}$), ahol az áprilisi és májusi csapadékmennyiség bizonyult meghatározónak.

21. táblázat. Fővetésben vetett olajretek termésképző paramétereinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

Paraméter		Növényenkénti becőszám (db)				Növényenkénti magszám (db)			
Vetésmód	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
0,5 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	42,1 ^a	57,1 ^a	36,9 ^b	50,4 ^{ab}	102,0 ^a	128,9 ^a	64,8 ^{ab}	156,3 ^{ab}
	80 kg ha ⁻¹ N	65,3 ^{ab}	88,9 ^{bc}	44,5 ^{bc}	54,6 ^b	196,4 ^{ab}	341,4 ^c	114,4 ^{cd}	191,2 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	78,2 ^b	101,4 ^c	49,5 ^c	53,9 ^b	254,4 ^b	280,8 ^{bc}	120,4 ^d	193,4 ^b
0,8 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	52,8 ^{ab}	68,5 ^{ab}	19,0 ^a	50,2 ^{ab}	140,0 ^{ab}	198,6 ^{ab}	33,5 ^a	177,6 ^b
	80 kg ha ⁻¹ N	49,0 ^{ab}	72,7 ^{ab}	32,4 ^b	45,6 ^{ab}	170,6 ^{ab}	244,0 ^b	78,3 ^b	183,6 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	49,5 ^{ab}	71,3 ^{ab}	41,7 ^{bc}	40,8 ^a	172,6 ^{ab}	231,1 ^b	85,3 ^{bc}	116,8 ^a
Paraméter		Növényenkénti magσύly (g)				Ezermagtömeg (g)			
Csíraszám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
0,5 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	1,0 ^a	1,9 ^a	0,6 ^b	2,2 ^{ab}	10,3 ^a	14,7 ^c	9,3 ^b	14,5 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	2,2 ^{ab}	4,0 ^c	1,0 ^{bc}	2,5 ^b	11,5 ^a	12,2 ^{ab}	8,3 ^{ab}	13,3 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	2,7 ^b	3,1 ^{bc}	1,2 ^c	2,7 ^b	10,8 ^a	11,5 ^{ab}	9,7 ^{bc}	14,0 ^a
0,8 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	1,4 ^{ab}	2,6 ^{ab}	0,2 ^a	2,4 ^b	10,4 ^a	13,6 ^{bc}	7,4 ^a	13,7 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	1,9 ^{ab}	3,0 ^{bc}	0,8 ^b	2,6 ^b	11,3 ^a	12,8 ^{ab}	10,4 ^c	14,3 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	1,9 ^{ab}	2,7 ^{ab}	0,7 ^b	1,7 ^a	11,2 ^a	12,2 ^{ab}	8,0 ^{ab}	14,3 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve az alacsonyabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek, sárga színnel jelölve a magasabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek.

Az olajretek maghozama 0,5 millió csíra ha⁻¹-os dózis alkalmazása esetén mind a négy évjáratban a legmagasabb tápanyagellátási szint (N₈₀P₉₆K₉₆) mellett volt a legnagyobb, azonban a tápanyagellátási szintek közötti különbségek statisztikailag nem igazolhatóak. A 0,8 millió csíra ha⁻¹ állománysűrűség esetén a 2021-es évjárat kivételével szintén a legmagasabb tápanyagellátási szint mellett realizáltuk a legnagyobb maghozamokat, a különbségek azonban csak 2020-ban voltak szignifikánsak. Az állománysűrűségeket tekintve mind a négy évjáratban a 0,8 millió csíra ha⁻¹-os vetőmagdózis esetében mértük a nagyobb hozamot, a különbségek azonban statisztikailag nem igazolhatóak. A maghozamok 2020-ban 245,0 és 407,5 kg ha⁻¹ között, 2021-ben 170,0 és 652,0 kg ha⁻¹ között, 2022-ben 32,4 és 79,2 kg ha⁻¹ között, 2023-ban 1031,0 és 1518,5 kg ha⁻¹ között változtak (22. táblázat). A korrelációs értékek alapján (21. melléklet) pozitív korrelációt tapasztaltunk a maghozam és a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség között (r=0,701^{**}). A csapadék eloszlása szempontjából a márciusi és áprilisi csapadékmennyiség esetében tapasztaltunk közepes erősségű, pozitív korrelációt (r=0,582^{**} és 0,401), a júliusi csapadékmennyiség azonban negatív irányú korrelációt mutat a maghozammal (r=-0,605^{**}).

22. táblázat. Fővetésben vetett olajretek termésének alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

Kezelés		Hozam (kg ha ⁻¹)			
Csíraszám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023
0,5 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	282,5 ^{ab}	170,0 ^a	40,4 ^a	1031,0 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	302,5 ^{ab}	466,0 ^{ab}	64,2 ^a	1310,7 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	355,0 ^{ab}	651,8 ^b	70,2 ^a	1374,7 ^a
0,8 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	245,0 ^a	613,0 ^b	32,4 ^a	1342,7 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	337,5 ^{ab}	652,0 ^b	74,3 ^a	1478,6 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	407,5 ^b	574,0 ^b	79,2 ^a	1518,5 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve az alacsonyabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek, sárga színnel jelölve a magasabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek.

4.2.4. A pohánka termésképző elemeinek és maghozamának értékelése különböző állománysűrűségek és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén

A növényenkénti magszám, illetve növényenkénti magsúly a két állománysűrűség esetében egyaránt a kontroll kezelésben volt a legmagasabb 2020-ban, 2021-ben, illetve 2022-ben, 2023-ban mindkét állománysűrűség esetén a legmagasabb tápanyagellátási szint (N₈₀P₉₆K₉₆) eredményezte a legnagyobb értékeket a növényenkénti magszám tekintetében, a növényenkénti magsúly a nagyobb csíraszám esetében a kontroll kezelésben volt a legnagyobb. A

növényenkénti magszám, illetve a magsúly a vizsgált évjáratokban a két állománysűrűség közül az alacsonyabb, 2 millió csíra ha⁻¹-os állománysűrűségnél volt nagyobb, a különbség azonban nem szignifikáns. Az ezermagtömegek tekintetében az állománysűrűségnek és a tápanyagellátásnak nem volt konzekvens hatása (23. táblázat).

A Pearson-féle korrelációs értékek alapján (22. melléklet) a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség pozitív korrelációs értékeket mutatott a növényenkénti magszámmal, magsúllyal és ezermagtömeeggel egyaránt ($r=0,838^{**}$; $0,631^{**}$ és $0,668^{**}$), a korrelációs értékek alapján a júniusi csapadék mennyisége volt a meghatározó. Az ezermagtömeg értékek esetében erős negatív korrelációt tapasztaltunk a tenyészidőszakban mért átlaghőmérséklet alakulásával ($r=-0,800^{**}$).

23. táblázat. Fővetésben vetett pohánka termésképző paramétereinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020, 2022, 2023)

Kezelés		Növényenkénti magszám (db)				Növényenkénti magsúly (g)				Ezermagtömeg (g)			
Csíraszám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
2 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	57,0 ^a	33,4 ^a	23,7 ^a	33,5 ^a	1,0 ^a	0,6 ^a	0,4 ^a	0,6 ^{ab}	23,1 ^a	18,3 ^a	17,7 ^a	19,3 ^b
	80 kg ha ⁻¹ N	55,1 ^a	24,6 ^a	19,6 ^a	47,1 ^{cd}	0,8 ^a	0,5 ^a	0,3 ^a	1,0 ^c	23,7 ^a	19,4 ^a	17,4 ^a	20,5 ^b
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	45,6 ^a	29,2 ^a	22,2 ^a	52,1 ^d	0,6 ^a	0,5 ^a	0,4 ^a	1,0 ^c	23,3 ^a	17,9 ^a	19,3 ^{ab}	19,4 ^b
3 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	56,4 ^a	30,4 ^a	20,6 ^a	41,7 ^{bc}	0,9 ^a	0,6 ^a	0,4 ^a	0,8 ^{bc}	23,5 ^a	19,6 ^a	18,1 ^a	18,1 ^b
	80 kg ha ⁻¹ N	52,2 ^a	23,4 ^a	20,5 ^a	35,6 ^{ab}	0,7 ^a	0,4 ^a	0,4 ^a	0,5 ^a	23,2 ^a	17,2 ^a	18,0 ^a	14,1 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	39,8 ^a	22,6 ^a	19,8 ^a	45,0 ^{cd}	0,6 ^a	0,4 ^a	0,4 ^a	0,7 ^{ab}	22,9 ^a	17,7 ^a	22,5 ^b	14,9 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve az alacsonyabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek, sárga színnel jelölve a magasabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek.

A pohánka termésmennyisége 2020-ban, 2021-ben és 2022-ben az alacsonyabb csíraszám esetében (2 millió csíra ha⁻¹) volt nagyobb, a különbségek azonban statisztikailag nem igazolhatóak. Az alacsonyabb csíraszám esetén 2020-ban a legnagyobb tápanyagellátási szint (N₈₀P₉₆K₉₆) eredményezte a legnagyobb hozamot, a további évjáratokban a kontroll kezelésben volt a termés a legnagyobb, a különbségek azonban statisztikailag nem igazolhatóak. A nagyobb csíraszám esetén a műtrágyahatás nem konzekvens, az eredmények között szignifikáns különbség nem állapítható meg. 2020-ban a terméseredmények 320,0 és 530,0 kg ha⁻¹, 2021-ben 57,2 és 190,9 kg ha⁻¹, 2022-ben 16,2 és 73,7 kg ha⁻¹, 2023-ban 359,7 és 503,5 kg ha⁻¹ között alakultak (24. táblázat).

A *Pearson*-féle korrelációs vizsgálatok eredményei alapján (22. melléklet) a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség ($r=0,786^{**}$), illetve a júniusi csapadékmennyiség ($r=0,709^{**}$) mutatott összefüggést a maghozam alakulásával, azonban a júniusi hőmérséklet alakulásával negatív előjelű korrelációt tapasztaltunk ($r=-0,612^{**}$).

24. táblázat. Fővetésben vetett pohánka terméseredményeinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

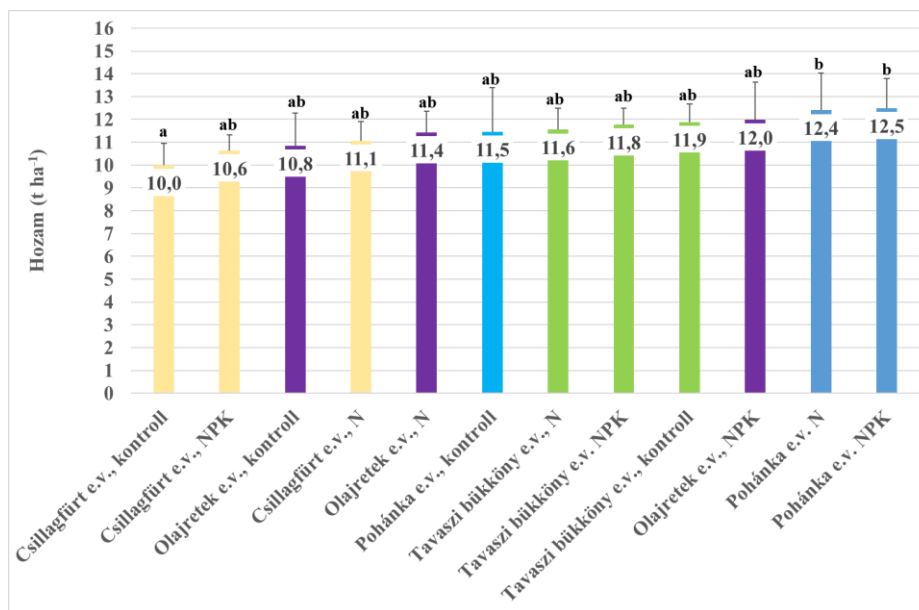
Kezelés		Hozam (kg ha ⁻¹)			
Csíraszám	Tápanyag	2020	2021	2022	2023
2 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	390,0 ^{ab}	190,9 ^a	73,7 ^a	479,5 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	320,0 ^a	96,0 ^a	16,2 ^a	415,6 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	530,0 ^b	109,8 ^a	45,3 ^a	423,6 ^a
3 millió csíra ha ⁻¹	Kontroll	410,0 ^{ab}	123,8 ^a	33,5 ^a	503,5 ^a
	80 kg ha ⁻¹ N	440,0 ^{ab}	76,2 ^a	48,8 ^a	487,5 ^a
	80:96:96 kg ha ⁻¹ NPK	450,0 ^{ab}	57,2 ^a	36,8 ^a	359,7 ^a

Megjegyzés: Zöld színnel jelölve az alacsonyabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek, sárga színnel jelölve a magasabb csíraszám szerinti legmagasabb értékek.

A pohánka magtermése szempontjából nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget az alkalmazott állománysűrűségek között, továbbá az eltérő műtrágyaszinteknek sem volt konzekvens hatása, a magtermés alakulását leginkább a csapadékelátottsági és hőmérsékleti viszonyok befolyásolták a vizsgált évjáratokban.

4.2.5. Fővetésben vetett zöldtrágyanövények elővetemény értékének értékelése kukorica növényen

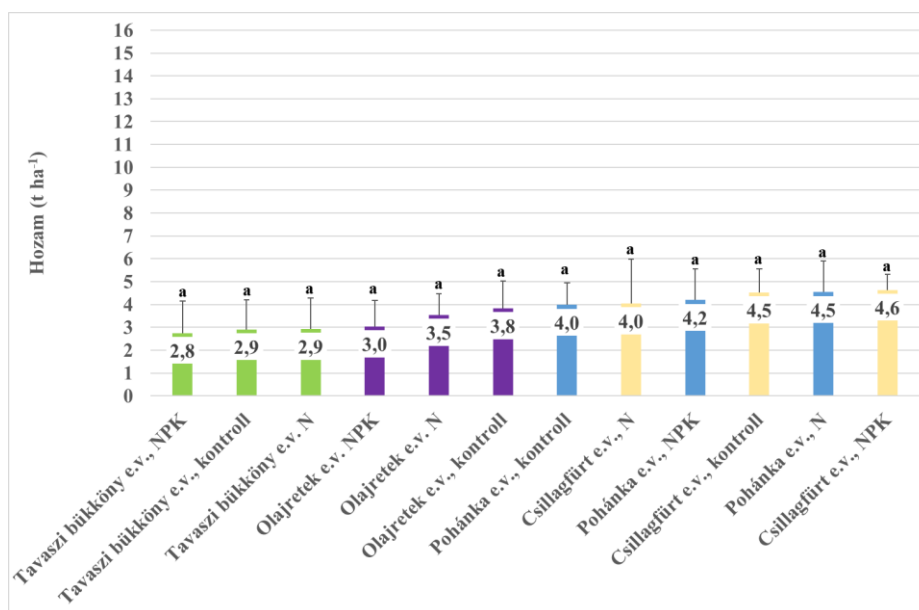
2021-ben a kukorica hozama 10,0 és 12,5 t ha⁻¹ között változott a különböző kezelések esetén. Legmagasabb hozamot pohánka elővetemény, illetve 80 kg ha⁻¹ N és 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK kezelések esetében tapasztaltuk, az eredmények szignifikánsan meghaladták a csillagfűrt előveteményű, kontroll parcellák eredményét. A további kezelések között szignifikáns különbséget nem mutattunk ki a kukorica hozama tekintetében. A négy vizsgált zöldtrágyanövény közül a tavaszi bükköny elővetemény esetében a műtrágyázás nélküli parcellák eredményezték a legmagasabb hozamot, a további zöldtrágyanövények esetében a kontroll parcellák eredménye nem érte el a műtrágyázott parcellák eredményét (45. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

45. ábra. Különböző elővetemények, illetve tápanyagellátási szintek hatása a kukorica hozamára (Nyíregyháza, 2021)

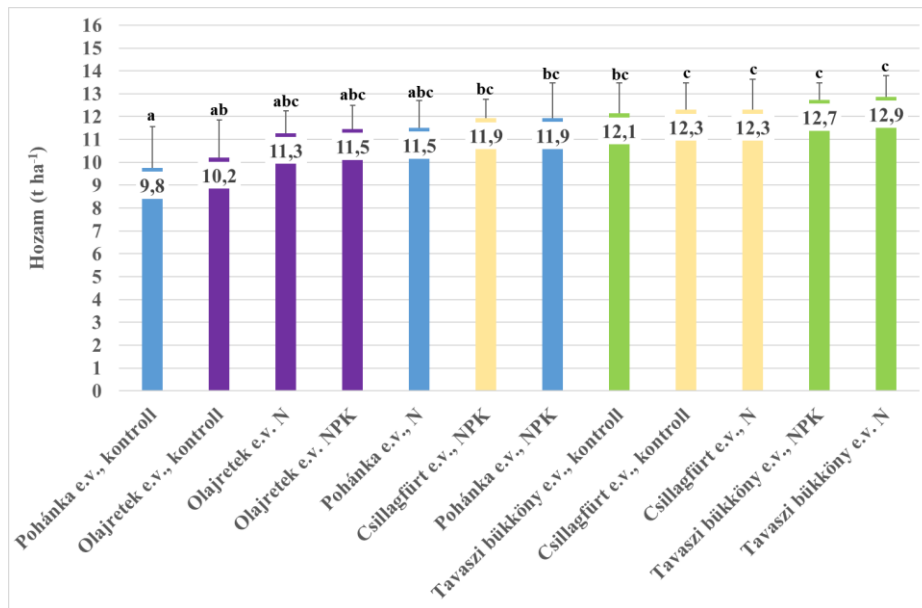
2022-ben a rendkívüli szárazság következtében a hozamok 2,8 és 4,6 t ha⁻¹ között alakultak, az eredmények között nem mutattunk ki szignifikáns különbséget. Legalacsonyabb hozamot a tavaszi búkköny elővetemény esetében tapasztaltuk, melyet az olajretek elővetemény követett. Legmagasabb hozama a csillagfürt, illetve pohánka előveteményű parcelláknak volt, a műtrágyakezeléseknek nem volt szignifikáns hatása (46. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten.

46. ábra. Különböző fővetésben vetett zöldtrágyanövény elővetemények, illetve tápanyagellátási szintek hatása a kukorica hozamára (Nyíregyháza, 2022)

2023-ban a kukorica számára optimális évjárat volt, a hozamok 9,8 és 12,9 t ha⁻¹ között alakultak. A csillagfürt előveteményű kontroll, illetve N műtrágyázásban részesülő parcellák, és a tavaszi bükköny előveteményű N-ben és NPK-ban részesülő parcellák esetében szignifikánsan magasabb hozamot értünk el, mint a pohánka, illetve olajretek előveteményű kontroll parcellákon. A további kezelések esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket (47. ábra).



A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján p<0,05 szinten.

47. ábra. Különböző elővetemények, illetve tápanyagellátási szintek hatása a kukorica hozamára (Nyíregyháza, 2023)

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

5.1. Zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerek értékelése

A fővetésben vetett kultúrák betakarítását követően, másodvetésben vetett zöldtrágya növényekkel feltételezésünk volt, hogy a megtermelt, majd talajba forgatott biomassza tömeg révén tápanyagot biztosít a következő növénykultúra számára, illetve a szerves anyag talajban történő feltáródása során kedvezően hat annak állapotára (Liu et al., 2022; Zotarelli et al., 2012; Constantin et al., 2010; Kumar és Gon, 1999; Sanchez et al., 2001). A kívánt hatások elérése szempontjából döntő fontosságú tényezőnek bizonyult vizsgálatainkban a zöldtrágya növények által megtermelt biomassza tömeg, amelyre szignifikáns hatást gyakorolt az elővetemény, illetve a zöldtrágya növény tenyészidőszakban lehullott csapadékmennyiség (augusztus – október), melyre *Kismányoky* (1993) is felhívta a figyelmet. A zöldtrágya növények által megtermelt föld feletti biomassza mennyiségével a zöldtrágya növények tenyészidőszakában lehullott csapadékmennyiség erőteljes korrelációt mutatott. Tritikálét követő zöldtrágyázás esetében az augusztusi és októberi csapadékmennyiség bizonyult meghatározónak a zöldtrágya növények biomassza hozama tekintetében (tavaszi bükköny, olajretek, pohánka), csillagfürt esetében a teljes tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség mutatta a legnagyobb korrelációs értéket a megtermelt biomassza hozammal. Zabot követő zöldtrágyázás esetében a szeptemberi csapadékmennyiség volt a meghatározó (csillagfürt, tavaszi bükköny, pohánka) a korrelációs eredmények alapján, olajretek esetében az októberi és a teljes tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség. A zöldtrágya növények föld feletti biomassza termelésére az elővetemény betakarítási ideje és a zöldtrágya növény vetése között eltelt idő szignifikáns hatással volt a megtermelt biomassza mennyisége tekintetében. Továbbá erőteljes negatív korrelációt mutattunk ki a zab maghozama, illetve a csillagfürt, tavaszi bükköny és pohánka zöldtrágyák biomassza hozama között, amely a zab átlagosan 40%-os Harvest-indexéből adódóan alátámasztja a nagy mennyiségű szármadaradvány, illetve a kialakult pentozán hatás hátráltató szerepét a zöldtrágyanövények fejlődésében, melyhez hasonló effektust figyelt meg *Mikó* (2009) kísérletében. Tritikálé esetében a maghozam és a zöldtrágyák által megtermelt biomassza között nem tapasztaltunk korrelációt.

A zöldtrágya növények tenyészidőszaka végén (október vége) alacsonyabb nedvességtartalom értékeket tapasztaltunk a talaj felső 0-50 cm-es rétegében, mint a műtrágyázott, illetve kontroll kezelések esetében. Hasonló megfigyeléseket tett *Mitchell* et al. (1999) is. A talaj mélyebb rétegeiben (50-75 és 75-100 cm) a zöldtrágyázott kezelések talajainak nedvességtartalma meghaladta a kontroll kezelések értékét. A zöldtrágya növények

hosszabb távú hatását igazoltuk a májusi mérések alkalmával, 2021-ben kukorica állományban a csillagfürt zöldtrágyával kezelt parcellák talajának nedvességtartalma szignifikánsan magasabbnak bizonyult az 50-75 cm-es mélységben, mint a kontroll parcelláké. Hasonló eredményt tapasztaltunk tritikálé állományban, ahol a zöldtrágyázott kezelések talajának nedvességtartalma a 25-100 cm-es mélységben meghaladta a műtrágyázott, illetve kontroll kezelések talajainak nedvességtartalmát. Ez a tendencia az aszályos, júliusi időszakban is jelentkezett, amikor a hüvelyes zöldtrágya növények esetében a talaj nedvességtartalma szignifikánsan meghaladta a kontroll kezelés értékeit, csillagfürt esetében a teljes vizsgált mélységben, tavaszi bükköny esetében a 25-50 cm-es rétegben. A hüvelyes zöldtrágya növények kedvező hatását *Zhang et al. (2016)* is kimutatta, kísérletük alapján megállapították, hogy a talaj vízforgalmi egyensúlyát tekintve a 0–200 cm-es rétegben a zöldtrágyázott talaj esetében megegyezett, vagy meghaladta az ugar értékét a normál és csapadékos években. A kedvező, hosszú távú hatás zab állományban is kimutatható volt a júliusi mérés alkalmával. Augusztusban, kukorica állományban végzett vizsgálatok alapján is igazoltuk a zöldtrágya növények hosszabb távú hatását, a 25-50 cm-es mélységben a zöldtrágyával kezelt talajok nedvességtartalma meghaladta a műtrágyázott kezelés értékét, szignifikánsan a legnagyobb nedvességtartalom értékeket a csillagfürttel zöldtrágyázott talajok esetében mértük. Az eredmények alapján megállapítható, hogy közvetlenül a zöldtrágyázási periódus végén a talaj felső rétegének nedvességtartalma csökken, azonban a mélyebb rétegekben a kedvezőbb nedvességtartalom értékek már a talajba forgatást megelőzően, illetve azt követően is statisztikailag igazolhatók. Több szerző is megállapította, hogy a zöldtrágyázás befolyásolja a talaj pórusméretének eloszlását és lassítja a felszíni tömör rétegek kialakulását, ezáltal fenntartja az optimális beszívargási tényezőket, növelve a talaj nedvességtartalmát (*Bresson et al., 2001; Edmeades, 2003; Haynes és Naidu, 1998; Hababi et al., 2013*).

A zöldtrágya növények talajba forgatását követően magasabb talaj ellenállás értékeket tapasztaltunk az olajretekkel zöldtrágyázott parcellák talajai esetében a kontroll kezelés értékeihez viszonyítva a 10-50 cm-es mélységben. Hasonló megállapítást tett *Mikó és Gyuricza (2012)* is. A májusban végzett mérések alapján csapadékos évjáratban (2021) tritikálé állományban a 20-40 cm-es mélységben a csillagfürttel zöldtrágyázott talajok mutatták a legkisebb ellenállás értékeket. Száraz évjáratban (2022) kukorica és tritikálé állományban májusban egyaránt a műtrágyázott kontroll kezelések esetében mutattuk ki a legnagyobb talajellenállás értékeket. Zab állományban csapadékos, illetve száraz évjáratban is a teljes vizsgált mélységben a csillagfürttel zöldtrágyázott talajokon mértük a legkisebb értékeket a 20-

50 cm-es mélységben. Kukorica állományban augusztusi mérés alkalmával csapadékos évben (2023) a talaj 10-50 cm-es mélységében a legnagyobb talajellenállás értékeket a műtrágyázott kontroll és abszolút kontroll területek mutatták. Legkisebb talajellenállás értékeket az olajretek és tavaszi bükköny zöldtrágyával kezelt parcellákon mértük a 10-50 cm-es mélységben. *Hababi et al. (2013)* tapasztalatai hasonlóan alakultak, a zöldtrágya használatával csökkent a talaj tömörödöttsége, a kontroll kezelésben tapasztalták a legnagyobb mértékű tömörödöttséget, a legalacsonyabbat bükköny zöldtrágyázás esetében mérték. Eredményeink alapján a talajellenállás értékek szoros korrelációt mutattak ($p < 0,01$ szignifikancia szinten) a talaj nedvességtartalom értékeivel a vizsgált talajmélységekben (0-25 cm-es réteg: $r = -0,835$; 25-50 cm-es réteg: $r = -0,846$). Az eredmények alapján a nedvességtartalom csökkenésével nő a talajellenállás értéke a talajban. A kedvezőbb C:N aránnyal rendelkező zöldtrágya növények (csillagfűrt, tavaszi bükköny) talajba forgatását követően rövid időn belül érvényesül a kedvező hatás a talaj penetrációs ellenállása tekintetében, illetve a kedvező hatások a következő növény tenyészidőszakában is kimutathatók, melyek összefüggésben vannak a talaj kedvezőbb nedvességtartalmú állapotával. Nagyobb biomassza tömeggel rendelkező zöldtrágya növény esetében (olajretek) a kedvező hatások megjelenése hosszabb távon jelentkezik, alkalmazásuk tavaszi vetésű növények elé javasolt. *Justes et al. (2009)* szerint a keresztesvirágúaknak moderáltabb zöldtrágya értékük a szűkebb C:N arányukból (15-25) adódik, amelynek okán a talajba forgatott növényi maradványok mineralizációja lassabban játszódik le.

A tritikálé, zab és kukorica növények esetében eltérő hatásmechanizmust tapasztaltunk a zöldtrágyázás hozamra gyakorolt hatásának tekintetében. Tritikálé esetében száraz zöldtrágyázási periódust követően (2021), extrém száraz évjáratban (2022) a zöldtrágyázott kezelések hozama szignifikánsan alacsonyabb volt a műtrágyakezelés eredményénél, az olajretekkel és pohánkával történő zöldtrágya kezelés hatására termésdepressziót tapasztaltunk a kontroll kezeléshez képest. Jó csapadékelátottságú zöldtrágyázási periódust (2022) követően 2023-ban a tritikálé hozama zöldtrágyázást követően továbbra is elmaradt a műtrágyakezelés eredményétől, habár a csillagfűrttel, tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott kezelések meghaladták a kontroll kezelés eredményét, azonban a különbség statisztikailag nem volt igazolható. Őszi vetésű főnövények esetén *Westsik (1936)* és *Ballenegger et al. (1936)* eredményei alapján a frissen bedolgozott zöldtrágya az utóvetemények hiányos kelését és lassú kezdeti fejlődését okozhatja, ezért javasolják a minimum 4-6 hetes várakozási időt a bedolgozás és a vetés között. A 2022-es és 2023-as évjárat eredményei alapján a zöldtrágya növények alkalmazása közvetlenül a tritikálé vetése előtt nem okozott termésmnövekedést a kontroll

kezeléshez képest, illetve elmaradt a műtrágya kezelés eredményeitől, őszi vetésű kalászos előtt közvetlenül nem ajánlott a zöldtrágya növények alkalmazása. Hasonló megállapítást tettek *Nielsen és Vigil (2005)*, illetve *Zhang et al. (2016)*, kutatásaikban száraz évjáratban a zöldtrágyanövények átlagosan 6,3-14%-kal csökkentették az őszi búza hozamát az ugaroltatáshoz képest, *Ma et al. (2021)* nem tapasztalt kedvező hatást a kalászos növények termése szempontjából zöldtrágyázás esetén.

Tavaszi zab esetében az első vizsgált évjáratban (2021) szignifikánsan a legmagasabb maghozamot a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelés eredményezte, meghaladva a 80 kg ha⁻¹ N műtrágyakezelés eredményét. *Recklin et al. (2014)* véleménye szerint a hüvelyes növények utáni gabonatermesztés garantálja az átlagos hozamok elérését, a 60 kg ha⁻¹ N hatóanyagnál magasabb dózisú műtrágyahasználat nem indokolt. Az eredmények alapján két éven keresztül a zöldtrágyázás (csillagfűrt, tavaszi bükköny, olajreték) elérte, vagy meghaladta a műtrágyakezelés esetén elért eredményeket, azonban a harmadik évben az eredmények elmaradtak a műtrágyakezelés értékeitől. Zab termesztése esetén a csillagfűrt, tavaszi bükköny és olajreték zöldtrágya növények alkalmazása javasolt.

Kukorica termesztése esetén eredményeink alapján a 80 kg ha⁻¹ N műtrágya kiegészítéssel három éven keresztül egyenértékűnek vagy jobbnak bizonyult a csillagfűrt, tavaszi bükköny és olajreték zöldtrágyák alkalmazása a maghozam tekintetében. *Liebman et al. (2011)* tapasztalatai szerint a hüvelyes zöldtrágya növény pozitív hatása a kukorica terméshozamára a hüvelyes növény által megkötött N-nek köszönhető, a N-műtrágya helyettesítési értékekét 70-184 kg/ha⁻¹ N hatóanyag közé becsülték. *Rinnofner et al. (2008)* a hüvelyes zöldtrágya növények N műtrágya helyettesítő értékét 58-156 kg/ha⁻¹ N között határozták meg.

A talaj szervesanyag tartalma minden kezelés esetében egyaránt növekedést mutatott a vizsgált vetésforgókban a 4 éves vizsgálati periódus végére. Az eredmények alapján a zöldtrágya kezelések következtében a talaj szervesanyag tartalma a tavaszi-nyári periódusban hasonló mértékű változást eredményezett, mint a műtrágyázott, illetve kontroll kezelés a talaj 0-25, illetve 25-50 cm-es rétegében. Az őszi-téli periódusban a talaj felső rétegében (0-25 cm) kisebb mértékű növekedést tapasztaltunk a zöldtrágya növények tápanyag felhasználása miatt a zöldtrágyázott kezelésekben, azonban a mélyebb (25-50 cm) rétegekben a hüvelyes növényfajokkal zöldtrágyázott kezelések nagyobb mértékű szervesanyag tartalom növekedést eredményeztek a műtrágyázott, illetve kontroll kezelésben mért értékeknél.

A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása esetében a 0-25 cm-es mélységben nagyobb mértékű változást tapasztaltunk a májusi mérések alkalmával, legnagyobb mértékű változást a

tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott kezelések eredményezték, a zöldtrágyázott kezelésekben N műtrágya kijuttatása nélkül is növekedést tapasztaltunk a talaj nitrit + nitrát N tartalmában. A 25-50 cm-es rétegben a májusi mérések alapján a csillagfürt és olajretek, a novemberi mérések alapján a tavaszi bükköny zöldtrágya kezelések eredményezték a legnagyobb mértékű növekedést. A N tartalom alakulásának tendenciájában egyértelműen látszik, hogy a talaj nitrit + nitrát nitrogéntartalma a 0-25 és 25-50 cm-es rétegekben egyaránt a májusi mérés időpontjában alakult magasabban, abban az esetben, amennyiben a területet a mérés időpontjáig nem borította növényzet. A megfigyelést alátámasztja *Thorup-Kristensen* és *Dresbøll* (2010) megállapítása, miszerint a magasabb C/N arány esetében, keresztesvirágú zöldtrágyák esetén a nettó N felszabadulás mértéke a téli periódus alatt alacsonyabb, az immobilizációs szakasz előfordulása tavasszal várható. Ebből adódóan *Zentner et al.* (1996) és *Brandt* (1999) is zöldtrágya növények minél előbbi őszi vetését és talajba forgatását javasolják a tavaszi vetésű növények előtt. Abban az esetben, ha a zöldtrágya növények termesztési periódusa megfelelő csapadékelátottságú volt, így optimális mennyiségű biomassza képződött (2020 és 2022) a talaj nitrit + nitrát N tartalma a következő év májusában meghaladta a N műtrágyázott és kontroll kezelések talajainak nitrit + nitrát N tartalmát.

A talajok tápanyagtartalmával, főként a foszforral történő fenntartható gazdálkodáshoz nagyban hozzájárul a zöldtrágya növények használata (*Arcand et al.*, 2010). A vetésciklusokban a kísérlet négy éve alatt nem történt P műtrágya kijuttatás, a talajok felvehető P tartalmának változása a legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll kezelések területein mutatta mind a 0-25 cm-es és 25-50 cm-es rétegben. A talaj 0-25 cm-es mélységében nem tapasztaltunk nagymértékű változást a zöldtrágya kezelések hatására, azonban a 25-50 cm-es mélységben a novemberi mérések alkalmával jelentős növekedést tapasztaltunk mind a négy vizsgált zöldtrágya kezelés esetében. Legnagyobb mértékű növekedést az olajretekkel és pohánkával zöldtrágyázott talajokon tapasztaltuk, a növekedés pohánka esetében kis mértékben a 0-25 cm-es rétegben is kimutatható volt, a pohánka különösen hatékony a P körforgás tekintetében, mivel a talajba forgatva növeli a talaj felvehető foszfor készletét a következő növény számára (*Teboh és Franzen*, 2011).

Hasonló tendenciát tapasztaltunk a talaj felvehető K tartalmának a változásában, a talaj 0-25 cm-es mélységében kis mértékű változás volt tapasztalható a májusi mérés alkalmával, a novemberi mérés esetében legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll kezelés esetében mértük. A 25-50 cm-es mélységben azonban jelentős mértékű növekedést tapasztaltunk a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések esetében a talaj felvehető kálium tartalmában

mind a májusi, mind a novemberi mérés eredménye alapján, hasonlóan *Pan et al.* (2011) megfigyeléséhez, ahol a legmagasabb felvehető kálium tartalom a talajban a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelésben volt megfigyelhető. A novemberi mérés alkalmával, az olajretekkel és pohánkával való zöldtrágyázás is növekedést eredményezett a talaj felvehető K tartalmában.

Tapasztalataink alapján a zöldtrágyakezelések kedvező hatása a talaj nitrit + nitrát N tartalmára a talajban történő feltáródásnak köszönhetően a következő évben, a tavaszi-nyári periódusban lép érvénybe, azonban a felvehető P és K tartalom tekintetében a gyökérsavaknak köszönhetően a mélyebb rétegekben, az őszi-téli periódusban biztosít megnövekedett tápanyag tartalmat.

5.2. Fővetésben vetett, magcélú zöldtrágya növények termesztéstechnológiai jellemzői

Csillagfürt esetében az eredmények alapján a különböző tápanyagellátási szinteknek nem volt konzekvens hatása a terméseredményekre, a különbségek tendencia jellegűek, statisztikailag nem igazolhatóak. A megállapítás egybe esik *Ayisi et al.* (1992) eredményeivel, miszerint a fehérvirágú csillagfürt esetében a nagy dózisu N-trágyázás nem volt jelentős hatással a magtermésre, illetve a nagy dózisu ásványi N csökkentette a gümőképződést és a N₂-kötés mértékét, amely hátráltatta a növény növekedését. Eredményeink alapján az eredményes termesztés érdekében célszerű a magasabb csíraszám alkalmazása (0,4 millió csíra ha⁻¹), azonban intenzív tápanyagellátás nem indokolt.

A tavaszi bükköny zab támasztónövénnyel való termesztése során, kedvezőtlen csapadékellátottságú években a N és NPK műtrágyakiegészítés csökkentette a tavaszi bükköny maghozamát, a zab erőteljesebb tápanyagfelvételi és vízhasznosítási habitusa miatt. A tavaszi bükköny keverékben történő vetése több szerző tapasztalatai alapján (*Li et al.*, 2006; *Ma et al.*, 2018; *Ojeda et al.*, 2018, *Wang et al.*, 2020) limitált mennyiségű elérhető talajvíz esetében befolyásolhatja a növényfaj komponensek gyökérzetének növekedését a talajvíz elérése érdekében. Eredményeink alapján támasztónövényes termesztés esetén a csapadékmennyiség, tiszta vetés esetén, tekintettel a növény alacsony vízigényére (*White et al.*, 2005; *Tenopala et al.*, 2012) a tenyészedőszakra jellemző hőmérsékleti viszonyok határozták meg a tavaszi bükköny magtermését, ebből adódóan a tavaszi bükköny alkalmas műtrágyázás nélküli termesztésre.

Az olajretek termesztése esetében eredményeink alapján mindkét állománysűrűség (0,5 millió csíra ha⁻¹; 0,8 millió csíra ha⁻¹) alkalmazásakor a legmagasabb műtrágyaszint (80:96:96

kg ha⁻¹ NPK) bizonyult a legeredményesebbnek a maghozam tekintetében. A kiegészítő ásványi tápanyag-utánpótlás biztosítja az olajretek termésképző képleteinek optimalizálását, különösen az elágazások számát, azok hosszát, illetve az egyes elágazásokon lévő virágok számát (Tsytsiura, 2022). Tekintettel a növény műtrágya reakciójára, az intenzív műtrágyázást alacsonyabb és magasabb csíraszám esetén is meghálálja.

A pohánka magtermése szempontjából – 2020. év kivételével – az alacsonyabb csíraszám (2,0 millió csíra ha⁻¹) alkalmazása esetén tapasztaltuk a legnagyobb hozamot abban az esetben, amennyiben nem történt műtrágya kijuttatás, a különbségek azonban statisztikailag nem igazolhatók. A magtermés alakulásával erős korrelációt mutatott a csapadékellátottság és a hőmérsékleti viszonyok alakulása. A korrelációs értékek alapján a júniusi csapadékmennyiség volt a meghatározó a termésképző elemek és a maghozam alakulása szempontjából, a magtermés szempontjából negatív korrelációt mutattunk ki a júniusi hőmérséklet alakulásával, amely megegyezik *Slawinska* és *Obendorf* (2001) megállapításával, miszerint a virágzás időtartama alatt a hőmérséklet alakulásának van legnagyobb hatása a reproduktív szervek fejlődésére és a termékenység alakulására. Emellett *Gang* és *Yu* (1998) megállapították, hogy a magas hőmérséklet (30 °C) és a száraz szelek szintén károsak, a virágok hervadását, a fejlődő szaporodószervek aborcióját okozhatják. A magtermés szempontjából nem tapasztaltunk műtrágya reakciót, a növény tápanyagellátás nélkül természetű, hasonló megállapítást tett *Marshall* és *Pomeranz* (1982) is, miszerint a pohánka tápanyagigénye mérsékelt. *Halbrech* et al. (2005) szerint a pohánka évjáratbeli terméskülönbségeinek oka a klimatikus faktorokra való érzékenysége, amelyet jól jelez, hogy kísérletünkben a maghozam 16,2 és 530,0 kg ha⁻¹ között változott, a csapadék és hőmérsékleti viszonyok függvényében.

A fővetésben vetett zöldtrágyanövények esetében értékeltük azok elővetemény értékét kukorica növényen. A kukorica megegyező műtrágyakezelésekben részesült, mint a fővetésű zöldtrágya növények (kontroll; 80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK), ebből adódóan a tápanyagellátás hatását, illetve annak hiányát évről évre kumuláltan értékeltük. Négy éves eredményeink alapján a kukorica terméshozamára nem volt szignifikáns hatással a műtrágyakezelés (80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK), a műtrágyázatlan kontroll kezelés eredménye nem különbözött statisztikailag igazolhatóan a műtrágyázott kezelések értékeitől, amennyiben a kukorica előveteménye csillagfürt, tavaszi bükköny, illetve olajretek volt.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. **Csillagfürt és tavaszi bükköny zöldtrágya növények** alkalmazása esetén a következő növénykultúra tenyészidőszakában **szignifikánsan nagyobb nedvességtartalmat** mutattunk ki a kontroll kezeléshez képest májusi (átlagosan +4,38; +2,10 m/m%), júliusi (átlagosan +3,00; +1,60 m/m%) és augusztusi (átlagosan +3,07; +1,93 m/m%) mérés alkalmával.
2. Az **elővetemény szignifikáns hatást gyakorolt** a zöldtrágya növények által megtermelt **biomassza hozamra**. Erős **negatív korrelációs** kapcsolatot mutattunk ki **zab** esetében a **magtermés**, illetve a betakarítását követően alkalmazott **csillagfürt, tavaszi bükköny és pohánka** zöldtrágya növények **biomassza hozama** között.
3. **Száraz évjáratban az őszi kalászos** (tritikálé) előtt alkalmazott zöldtrágyázás **hüvelyes zöldtrágya növények esetében** (csillagfürt 2,47 t ha⁻¹, tavaszi bükköny 2,36 t ha⁻¹) **nem érte el a műtrágyázott kezelés szemtermésre gyakorolt hatását** (3,52 t ha⁻¹), **olajretek és pohánka** zöldtrágyázás esetében **terméscsökkenést** tapasztaltunk (1,96 t ha⁻¹ és 1,87 t ha⁻¹) a kontroll kezelés eredményéhez képest (2,40 t ha⁻¹).
4. **Kukorica** termesztése esetén átlagos csapadékellátottságú évjáratokban a **csillagfürttel, tavaszi bükkönnyel és olajretekkel történő** zöldtrágyázás hatása (8,57 t ha⁻¹; 9,06 t ha⁻¹; 7,90 t ha⁻¹) **egyenértékűnek bizonyult** a 80 kg ha⁻¹ N dózisével **műtrágyázás terméscsökkentő hatásával** (7,68 t ha⁻¹). **Extrém száraz évjáratban a zöldtrágya növények** alkalmazása (2,52-4,21 t ha⁻¹) **szignifikánsan meghaladta a műtrágya** kezelés eredményét (0,90 t ha⁻¹) a szemtermés tekintetében.
5. A vetésforgó rendszerek **szervesanyag tartalmának növekedése a zöldtrágya növények használatától függetlenül** is jellemző volt. A zöldtrágya kezelések talaj **nitrát N tartalmára gyakorolt hatása a zöldtrágyázást követő év májusában volt egyértelmű** abban az esetben, ha a zöldtrágya növények megfelelő mennyiségű biomasszát termeltek. A **hüvelyes zöldtrágyával kezelt talajok nitrát N tartalma** (7,6-10,5 mg/kg) **meghaladta a műtrágyázott és kontroll kezelések talajainak nitrát N tartalmát** (3,1 és 2,5 mg/kg). A **kontroll kezelések** esetében egyaránt **csökkenést** tapasztaltunk a **talaj felvehető P** (-27,3 mg/kg) és **K** (-22,0 mg/kg) tartalmában. A **zöldtrágya növények alkalmazásának** következtében a **talaj felvehető P és K tartalma növekedett**, amely a talaj mélyebb rétegeiben (25-50 cm) az **őszi időszakban volt kimutatható** (16,1 mg/kg, illetve 25,4 mg/kg).
6. Adott ökológiai viszonyok között négy év eredményei alapján a mag célból termesztett **csillagfürt növényenkénti hüvelyszám** értékeit a **virágzáskor jelentkező hőmérsékleti viszonyok**, illetve a **júniusi csapadékviszonyok** határozták meg. **Tavaszi bükköny** magcélú termesztése esetében a **tenyészidőszakban hullott csapadék mennyisége** volt a meghatározó a **növényenkénti hüvelyszám** alakulása szempontjából, azonban a **hozam alakulását tiszta vetés** esetén a tenyészidőszakra jellemző **hőmérsékleti viszonyok** befolyásolták.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A zöldtrágya növények biomassza termelése szempontjából döntően a tenyészidőszak második felében hullott csapadék mennyisége bizonyult meghatározónak, ebből következtethetően korábbi (október előtti) talajba forgatásuk nem javasolt hazai ökológiai körülményeink között.
2. Száraz évjáratban őszi vetésű kalászos előtti zöldtrágyázás esetében nincsenek megfelelő feltételek az optimális magágy kialakítására, alkalmazásuk esetén termésdepresszió várható, ami elsősorban a gyengébb bokrosodás következménye.
3. Tavaszi vetésű kalászos növény esetén a tavaszi bükkönnyel történő zöldtrágyázás egyenértékű lehet $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ adagú műtrágyázás terméscsökkentő hatásával.
4. Csillagfürt magcélú termesztése esetén a magasabb csíraszám ($0,4$ millió csíra ha^{-1}) mellett intenzív tápanyagellátási szint alkalmazása nem indokolt.
5. Tavaszi bükköny magcélú, zab támasztónövénytől történő termesztése esetén kedvezőtlen csapadékelátottságú évben a műtrágyakiegészítés terméscsökkentő hatással bír a tavaszi bükköny maghozama szempontjából a zab intenzívebb habitusából adódóan.
6. Olajretek magcélú termesztése esetében egyértelmű műtrágya reakciót mutattunk ki, intenzív műtrágyahasználat ($80:96:96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ NPK}$) indokolt.
7. A hagyományos és elfogadott szemlélettel szemben vizsgálati eredményeink alapján az eddig extenzív termesztetőségi kategóriába sorolt fajok ökológiai és technológiai érzékenysége alapján intenzívebb fajspecifikus termesztéstechnológiával termesztethetők eredményesen hazánkban.

8. ÖSSZEFOGLALÁS (magyar nyelven)

Hazánkban a fő növények termesztési periódusai között a talajok növényzettel való takarása nem biztosított, amely számos negatív változást idéz elő a talaj szerkezet és talajélet vonatkozásában. A fenntartható, regeneratív gazdálkodási módszerek gyakorlatba való adaptálása hazánkban is elkerülhetetlenné válik a termesztés környezeti terhelésének csökkentése érdekében, tekintettel a zöldtrágyázás gyakorlatában rejlő nagymértékű légköri szén-dioxid megkötő potenciálra, illetve a talaj szerves széntartalmának növelésére. A regeneratív gazdálkodási módszerek egyik leghatékonyabb gyakorlata a zöldtrágya növények több éves vetésforgó rendszerben való alkalmazása, azonban hazánkban zöldtrágya növényekben rejlő potenciál kihasználtsága alacsony mértékű, tekintettel az alkalmazásukhoz szükséges tudásbázis hiányára. A zöldtrágya növények helyes megválasztásával és vetésforgóba való adaptálásukkal kedvezőbb talajállapot érhető el, továbbá a talajban feltárt, illetve a talajba juttatott szerves anyagok révén tápanyagot biztosít a következő növénykultúra számára, ezáltal csökkentve a vetésforgó input igényét. A zöldtrágyázáshoz szükséges vetőmag-alapanyag előállítás érdekében a hazai ökológiai viszonyokra adaptált termesztéstechnológia kidolgozása is indokolt ezen alternatív növényfajok tekintetében.

Kísérleteinket a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet területén állítottuk be humuszos homoktalajon 2019-ben. Kutatómunkánk során a zöldítésben alkalmazható növényfajok közül a csillagfürt, tavaszi bükköny, olajretek és pohánka zöldtrágya növényként történő alkalmazását, illetve vetőmag termesztésének technológiai aspektusait vizsgáltuk. A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerekben vizsgáltuk a másodvetésben vetett zöldtrágya növények biomassa hozamát, illetve a talajra (nedvesség tartalom és penetrációs ellenállás), annak tápanyagtartalmára és az utóveteményre gyakorolt hatását, fővetésben zab, tritikálé és kukorica szerepelt. A kísérletben négy vetésforgót alkalmaztunk, melyekben a fővetésű növények eltérő évjáratokban szerepeltek, ebből adódóan az eredmények párhuzamosan, évjáratonként egyaránt értékelhetőek voltak. A zöldtrágyázott kezelésekben nem alkalmaztunk műtrágya kiegészítést, összehasonlításként kontroll területként műtrágyázott ($80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$), illetve műtrágya nélküli parcellákon is elvégeztük a vizsgálatokat, melyeken zöldtrágya használata nem történt, mellyel célunk a konvencionális, illetve zöldtrágyázásra alapozott tápanyagellátási rendszerek komparatív elemzése volt. A magcélú, fővetésben vetett zöldtrágya növények esetében vizsgáltuk a növényfajok reakcióját a különböző állománysűrűségekre, illetve tápanyag ellátási szintekre (kontroll; $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; $80:96:96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ NPK}$) a maghozam tekintetében, továbbá értékeltük az elővetemény értéküket kukorica növényen. Mind a

zöldtrágyázásra épülő vetésforgó kísérlet, mind a magcélú termesztés technológiai kutatás négy eltérő évjárat (2019-2023) eredményeit foglalja össze.

A vizsgált évjáratok nagymértékű variabilitást mutattak mind a zöldtrágya növények, mind a főnövények tenyészidőszakai tekintetében. A 2020. év csapadékmennyisége 93 mm-rel haladta meg a 20 éves átlagértéket, amelyből a zöldtrágyanövények tenyészidőszaka folyamán októberben 103,5 mm csapadék hullott. 2021-ben az éves csapadékmennyiség 22 mm-rel maradt el a 20 éves átlagtól, a júniusi és júliusi, illetve a szeptemberi és októberi csapadékmennyiség jóval az átlagértékek alatt voltak, szeptemberben 21,5 mm, októberben 1,7 mm hullott, amely kedvezőtlen feltételeket teremtett a zöldtrágyanövények fejlődéséhez. A 2022-es évjárat igen szélsőségesnek volt tekinthető a csapadékelátottság szempontjából, az éves csapadék mennyisége 102 mm-rel maradt el a 20 éves átlagtól, továbbá eloszlása is nagymértékű kiegyenlítetlenséget mutatott. Januártól augusztusig – április kivételével – egyaránt elmaradt a havi csapadékmennyiség az átlagtól, 233,3 mm vízhiányt eredményezve, azonban szeptemberben 149,6 mm csapadék érkezett, amely a zöldtrágyanövények szempontjából lehetővé tette a vegetatív fejlődést. A 2023-as év csapadékmennyisége 22 mm-rel haladta meg a 20 éves átlagértéket, a 2022-es aszályos évjáratot követően a csapadék mennyisége és eloszlása kiegyenlített volt, a tavaszi, nyári hónapok csapadékmennyisége az átlagértékek körül mozgott.

A másodvetésben vetett zöldtrágya növények esetében a kívánt hatások elérése szempontjából döntő fontosságú tényezőnek bizonyult vizsgálatainkban a zöldtrágya növények által megtermelt biomasszatömeg, amelyre szignifikáns hatást gyakorolt az elővetemény, illetve a zöldtrágya növény tenyészidőszakban lehullott csapadékmennyiség (augusztus – október). Tritikálét követő zöldtrágyázás esetében az augusztusi és októberi csapadékmennyiség bizonyult meghatározónak ($r=0,813$ illetve $0,963$) a zöldtrágyanövények biomassza hozama tekintetében (tavaszi bükköny, olajretek, pohánka), csillagfűrt esetében a teljes tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség volt a meghatározó. Zabot követő zöldtrágyázás esetében csillagfűrt, tavaszi bükköny és pohánka zöldtrágya növényeknél a szeptemberi csapadék mennyiség volt meghatározó a korrelációs eredmények alapján ($r=0,848-0,942$), olajretek esetében az októberi és a teljes tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség ($r=0,780$ és $0,792$) volt döntő szerepű a biomassza hozam tekintetében. A zöldtrágya növények föld feletti biomassza termelésére az elővetemény betakarítási ideje és a zöldtrágya növény vetése között eltelt idő is szignifikáns hatással volt, továbbá szoros negatív korrelációt

állapítottunk meg zabot követő zöldtrágyázás esetén a zab maghozama, illetve a csillagfűrt, tavaszi bükköny és pohánka zöldtrágyák biomassza hozama között ($r=-0,882$; $-0,818$; $-0,911$).

A talaj nedvességtartalma tekintetében a zöldtrágya növények tenyészidőszaka végén (október vége) alacsonyabb nedvességtartalom értékeket tapasztaltunk a talaj felső 0-50 cm-es rétegében, mint a műtrágyázott, illetve kontroll kezelések esetében, azonban a talaj mélyebb rétegeiben (50-75 és 75-100 cm) a zöldtrágyázott kezelések talajainak nedvességtartalma meghaladta a kontroll kezelések értékét. A zöldtrágya növények hosszabb távú hatását igazoltuk a májusi és júliusi mérések alkalmával, ahol a legnagyobb nedvességtartalom értékek a hüvelyes zöldtrágya növények (csillagfűrt, tavaszi bükköny) alkalmazását követően voltak kimutathatók a 25 cm-es talajréteg alatt tritikálé, kukorica és zab állományban, továbbá az augusztusban, kukorica állományban végzett mérések esetében a legkedvezőbb talajállapotot 25-50 cm között a csillagfűrttel történő zöldtrágyázás eredményezte.

A talaj penetrációs ellenállás vizsgálata során a zöldtrágya növények talajba forgatását követően magasabb ellenállás értékeket tapasztaltunk az olajretekkel zöldtrágyázott parcellák talajai esetében a kontroll kezelés értékeihez viszonyítva a 10-50 cm-es mélységben. A főnövények tenyészidőszakában, tritikálé és zab állományban a legkisebb talajellenállás értékeket a csillagfűrttel zöldtrágyázott kezelésekben mértük, tritikálé esetében a legnagyobb ellenállást a 20-50 cm-es mélységben az olajretekkel zöldtrágyázott talajok esetében tapasztaltuk, míg zab esetében a kontroll kezelés eredményezte a legnagyobb értékeket. Kukorica állományban augusztusi mérés alkalmával a talaj 10-50 cm-es mélységében a legnagyobb talajellenállás értékeket a műtrágyázott kontroll és kontroll területek mutatták, legkisebb talajellenállás értékeket az olajretek és tavaszi bükköny zöldtrágyával kezelt parcellákon mértük. Eredményeink alapján a kedvezőbb C:N aránnyal rendelkező zöldtrágya növények (csillagfűrt, tavaszi bükköny) talajba forgatását követően rövid időn belül érvényesül a kedvező hatás a talaj penetrációs ellenállása tekintetében, illetve a kedvező hatások a következő növény tenyészidőszakában is kimutathatók, nagyobb biomasszatömeeggel rendelkező zöldtrágya növény esetében (olajretek) a kedvező hatások megjelenése hosszabb távon jelentkezik.

A tritikálé, zab és kukorica növényfajok esetében eltérő hatásmechanizmust tapasztaltunk a zöldtrágyázás hozamra gyakorolt hatásának tekintetében. A tritikálé terméseredményei alapján a zöldtrágyanövények alkalmazása közvetlenül a tritikálé vetése előtt nem okozott terméshozamnövekedést a kontroll kezeléshez képest, illetve elmaradt a műtrágya kezelés eredményeitől 2022-ben és 2023-ban, azonban ha a zöldtrágyázás a vetést megelőző évjáratban

történt, kimutatható kezeléshatást tapasztaltunk a kontroll kezeléshez képest. Eredményeink alapján, őszi vetésű kalászos termesztése előtt közvetlenül nem ajánlott a zöldtrágya növények alkalmazása, tekintettel a kedvező hatások kifejeződéséhez rendelkezésre álló szűk időintervallumra. Tavaszi zab esetében az első vizsgált évjáratban (2021) szignifikánsan a legmagasabb maghozamot a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelés eredményezte, meghaladva a 80 kg ha⁻¹ N műtrágyakezelés eredményét. 2022-ben, száraz zöldtrágyázási periódust követően extrém száraz évben nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a kezelések között, azonban legnagyobb hozamot továbbra is a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelést követően takarítottuk be. 2023-ban szignifikánsan a legnagyobb hozamot a műtrágyázott kezelés eredményezte, a zöldtrágyakezelések közül a csillagfürt és tavaszi bükköny zöldtrágya kezelések eredménye haladta meg a kontroll kezelés eredményét. A kukorica hozama az első vizsgált évjáratban (2021) csillagfürt, tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágyázást követően statisztikailag nem különbözött a 80 kg ha⁻¹ N-nel műtrágyázott kezelés eredményétől, legmagasabb értéket a tavaszi bükköny zöldtrágyázás eredményezte. 2022-ben, extrém száraz évjáratban szignifikánsan a legmagasabb maghozamot a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések eredményezték, továbbá az olajretekkel és pohánkával zöldtrágyázott parcellák hozama is meghaladta a műtrágyázott és kontroll kezelés eredményit. A harmadik vizsgált évjáratban (2023) a csillagfürttel, tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott kezelések eredménye továbbra sem különbözött szignifikánsan a műtrágyázott kontroll eredményétől és szignifikánsan meghaladta a kontroll kezelés eredményét. Kukorica termesztés esetén eredményeink alapján a 80 kg ha⁻¹ N műtrágya kiegészítéssel három éven keresztül egyenértékűnek vagy jobbnak bizonyult a csillagfürt, tavaszi bükköny és olajretek zöldtrágyák alkalmazása a maghozam tekintetében. A különböző növényi sorrendű vetésforgó rendszerek teljesítményének értékelése alapján a zöldtrágya kezelések közül mind a négy esetben a tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések esetén érték el a legnagyobb összes szemtermést a kísérlet négy éve alatt, továbbá három vetésforgóban (I., II., III.) az összesített maghozam meghaladta a műtrágyázott kezelések eredményét. Az I. és II. vetésforgóban a legkisebb értéket a kontroll kezelés esetében mértük, a III. és IV. vetésforgóban a legkisebb összesített maghozamot a pohánkával zöldtrágyázott kezelés eredményezte.

A zöldtrágyázásra épülő vetésforgó rendszerekben megvizsgáltuk a talaj szervesanyag tartalmának, illetve nitrit + nitrát N, felvehető P és K tartalmának a változását a különböző kezelések esetében a 0-25 cm-es, illetve 25-50 cm-es mélységben. A talaj szervesanyag tartalma

minden kezelés esetében egyaránt növekedést mutatott a vizsgált vetésforgókban a 4 éves vizsgálati periódus végére. Az eredmények alapján a zöldtrágya kezelések következtében a talaj szervesanyag tartalma a tavaszi-nyári periódusban hasonló mértékű változást eredményezett, mint a műtrágyázott, illetve kontroll kezelés a talaj 0-25, illetve 25-50 cm-es rétegében. Az őszi-téli periódusban a talaj felső rétegében (0-25 cm) kisebb mértékű növekedést tapasztaltunk a zöldtrágya növények tápanyag felhasználása miatt a zöldtrágyázott kezelésekben, azonban a mélyebb (25-50 cm) rétegekben a hüvelyes növényfajokkal zöldtrágyázott kezelések nagyobb mértékű szervesanyag tartalom növekedést eredményeztek a műtrágyázott, illetve kontroll kezelésben mért értékeknél. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása esetében a 0-25 cm-es mélységben nagyobb mértékű változást tapasztaltunk a májusi mérések alkalmával, legnagyobb mértékű változást a tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott kezelések eredményezték, a zöldtrágyázott kezelésekben. A 25-50 cm-es rétegben a májusi mérések alapján a csillagfürt és olajretek, a novemberi mérések alapján a tavaszi bükköny zöldtrágya kezelések eredményezték a legnagyobb mértékű növekedést. A nitrit + nitrát N tartalom alakulásának tendenciájában egyértelműen látszik, hogy a talaj nitrogéntartalma a 0-25 és 25-50 cm-es rétegekben egyaránt a májusi mérés időpontjában a legmagasabb, amennyiben a területen kukorica termesztése történik. Abban az esetben, ha a zöldtrágya növények termesztési periódusa megfelelő csapadékellátottságú volt, így optimális mennyiségű biomassza képződött (2020 és 2022) a talaj nitrit + nitrát N tartalma a következő év májusában meghaladta a N műtrágyázott és kontroll kezelések talajainak nitrit + nitrát N tartalmát. A vetésforgókban a kísérlet négy éve alatt nem történt P műtrágya kijuttatás, a talajok felvehető P tartalmának változása a legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll kezelések területein mutatta mind a 0-25 cm-es és 25-50 cm-es rétegben. A talaj 0-25 cm-es mélységében nem tapasztaltunk nagymértékű változást a zöldtrágyakezelések hatására, azonban a 25-50 cm-es mélységben a novemberi mérések alkalmával jelentős növekedést tapasztaltunk mind a négy vizsgált zöldtrágya kezelés esetében. Legnagyobb mértékű növekedést az olajretekkel és pohánkával zöldtrágyázott talajokon tapasztaltuk, a növekedés pohánka esetében kis mértékben a 0-25 cm-es rétegben is kimutatható volt. Hasonló tendenciát tapasztaltunk a talaj felvehető K tartalmának a változásában, a talaj 0-25 cm-es mélységében kis mértékű változás volt tapasztalható a májusi mérés alkalmával, a novemberi mérés esetében legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll kezelés esetében mértük. A 25-50 cm-es mélységben azonban jelentős mértékű növekedést tapasztaltunk a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések esetében a talaj felvehető kálium tartalmában mind a májusi, mind a novemberi mérés eredménye alapján.

A csillagfürt, tavaszi bükköny, illetve zabos bükköny, olajretek és pohánka magcélú termesztése során két állománysűrűséget és három tápanyagellátási szintet (kontroll, 80 kg ha⁻¹ N, 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) alkalmaztunk annak érdekében, hogy megállapítsuk a növények optimumát a maghozam tekintetében, a kutatás során a termésképző elemeket és a maghozamot vizsgáltuk a 2020-as, 2021-es, 2022-es és 2023-as évjáratokban.

Csillagfürt esetében az eredmények alapján a különböző tápanyagellátási szinteknek nem volt konzekvens hatása a terméseredményekre, a különbségek tendencia jellegűek, statisztikailag nem igazolhatóak. A vizsgált évjáratok eredményei alapján a csillagfürt növényenkénti hüvelyszám értékeit a virágzáskor, májusban jelentkező hőmérsékleti viszonyok ($r=-0,569$), illetve a júniusi csapadékviszonyok ($r=0,706$) határozták meg. Megfelelő csapadékelátottság mellett (2020 és 2023) a magasabb csíraszám esetén (0,4 millió csíra ha⁻¹) műtrágyakiegészítés nélkül, vagy kisebb csíraszám (0,25 millió csíra ha⁻¹) esetén N₈₀ kezeléssel érhető el a nagyobb terméshozam. Eredményeink alapján az eredményes termesztés érdekében célszerű a magasabb csíraszám alkalmazása, azonban intenzív tápanyagellátás nem indokolt.

A tavaszi bükköny zab támasztónövényvel való termesztése során, kedvezőtlen csapadékelátottságú években a N és NPK műtrágyakiegészítés csökkentette a tavaszi bükköny maghozamát, a zab erőteljesebb tápanyagfelvételi és vízhasznosítási habitusa miatt. Tiszta vetés esetén a N és NPK műtrágyakiegészítésnek nem volt konzekvens hatása a tavaszi bükköny maghozamára. Eredményeink alapján támasztónövényes termesztés esetén a csapadékmennyiség, tiszta vetés esetén a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti viszonyok határozták meg a tavaszi bükköny magtermését, ebből adódóan a tavaszi bükköny alkalmas műtrágya kiegészítés nélküli termesztésre.

Az olajretek termesztése esetében eredményeink alapján mindkét állománysűrűség (0,5 millió csíra ha⁻¹; 0,8 millió csíra ha⁻¹) alkalmazásakor a legmagasabb műtrágyaszint (80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) bizonyult a legeredményesebbnek a maghozam tekintetében. A termésképző elemek tekintetében a kisebb csíraszám (0,5 millió csíra ha⁻¹) esetén tapasztaltuk a nagyobb értékeket, azonban a maghozam esetében a magasabb csíraszám (0,8 millió csíra ha⁻¹) eredményezte a nagyobb hozamot.

A pohánka magtermése szempontjából – 2020. év kivételével – az alacsonyabb csíraszám (2,0 millió csíra ha⁻¹) alkalmazása esetén tapasztaltuk a legnagyobb hozamot abban az esetben, amennyiben nem történt műtrágya kijuttatás, a különbségek azonban statisztikailag nem igazolhatóak. A magtermés alakulásával erős korrelációt mutatott a csapadékelátottság és a hőmérsékleti viszonyok alakulása. A korrelációs értékek alapján a júniusi csapadékmennyiség

volt a meghatározó a termésképző elemek és a maghozam alakulása szempontjából, a magtermés szempontjából negatív korrelációt mutattunk ki a júniusi hőmérséklet alakulásával. A magtermés szempontjából nem tapasztaltunk műtrágya reakciót, a növény tápanyagellátás nélkül is termesztető, az évjáratbeli nagymértékű termés különbségek oka a klimatikus faktorokra való érzékenysége, amelyet jól jelez, hogy kísérletünkben a maghozam 16,2 és 530,0 kg ha⁻¹ között változott a csapadék és hőmérsékleti viszonyok függvényében.

A fővetésben vetett zöldtrágyanövények esetében értékeltük azok elővetemény értékét kukorica növényen. A kukorica megegyező műtrágyakezelésekben részesült, mint a fővetésű zöldtrágya növények (kontroll; 80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK), ebből adódóan a tápanyagellátás hatását, illetve annak hiányát évről évre kumuláltan értékeltük. Négy éves eredményeink alapján a kukorica terméshozamára nem volt szignifikáns hatással a műtrágyakezelés (80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK), a műtrágyázatlan kontroll kezelés eredménye nem különbözött statisztikailag igazolhatóan a műtrágyázott kezelések értékeitől, amennyiben a kukorica előveteménye csillagfürt, tavaszi bükköny, illetve olajretek volt.

9. ÖSSZEFOGLALÁS (angol nyelven)

Hungarian plant cultivation practices are mainly limited to the cultivation of five plant species (corn, wheat, sunflower, rapeseed, barley), the agrotechnical practices used are schematic, which in the long term lead to the degradation of soils and the unsustainability of production. Between the growing periods of the main crops, the soil is not covered with vegetation, which causes many negative changes in terms of soil structure and soil life. The adaptation of sustainable, regenerative farming methods into practice is also inevitable in our country in order to reduce the environmental impact of cultivation, given the high atmospheric carbon dioxide sequestration potential of green manure application, as well as the increase of the organic carbon content of the soil. One of the most effective practices of regenerative farming is the use of green manure crops in a multi-year crop rotation system, but the potential of green manure crops in Hungary is under-utilised due to the lack of knowledge base for their application. With the correct selection of green manure plants and their adaptation to crop rotation, a more favorable soil condition can be achieved, and through the organic matter incorporated and released in the soil, it provides nutrients for the subsequent crops, thereby reducing the need for inputs. In order to produce the seed material required for green fertilization, the development of cultivation technology adapted to Hungarian ecological conditions is also justified with regard to these alternative plant species.

We set up our experiment at the UD IAREF Research Institute of Nyíregyháza on humic sandy soil in 2019. During our research work we investigated the use of lupin, common vetch, oil radish and buckwheat as green manure plants, as well as the technological aspects of seed production. In the crop rotation systems based on green manuring, we examined the biomass yield of green manure plants sown as second crop, their effect on the soil (moisture content and penetration resistance, nutrient content), and the yield of the subsequent crops (triticale, oat and corn). In the experiment, we applied four crop rotations, in which the results of the main crops could be evaluated in parallel, per year. In the green manure treatments, no fertilizer supplementation was applied, and for comparison, tests were also conducted on control plots with fertilizer (80 kg ha⁻¹ N) treatment, and without fertilizer, without green manure application, with the aim of comparatively analysing conventional and green manure-based nutrient supply systems. In the case of seed production of green manure crops, we examined the reaction of the plant species to different seed densities and nutrient supply levels (control; 80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) in terms of seed yield, and we also evaluated their forecrop value on

corn as a subsequent crop. Both the green manure based crop rotation experiment and the seed-production technology study summarize the results of four different crop years (2019-2023).

The years studied showed a high variability in both the growing seasons of the green manure crops and the main crops. Rainfall in 2020 exceeded the 20-year average by 93 mm, of which 103.5 mm fell in October during the growing season of the green manure crops. In 2021, the annual rainfall was 22 mm below the 20-year average, in June, July, September and October well below the average, with 21.5 mm in September and 1.7 mm in October, creating unfavourable conditions for the development of green manure plants. The season of 2022 was very extreme in terms of precipitation, with an annual rainfall of 102 mm below the 20-year average and a highly uneven distribution. From January to August, with the exception of April, monthly rainfall was below average, with a deficit of 233.3 mm, but in September 149.6 mm of rainfall was fallen, which allowed vegetative development of green manure plants. The amount of precipitation in 2023 exceeded the 20-year average value by 22 mm, after the drought year of 2022, the amount and distribution of precipitation was balanced, and the amount of precipitation in the spring and summer months was around the average values.

In the case of the green manure plants sown as second crop, the biomass produced by the green manure plants proved to be a decisive factor in terms of achieving the desired effects in our experiment, which was significantly influenced by the previous crop and the amount of precipitation that fell during the growing period of the green manure plants (August - October). In the case of green manures applied after triticale, the amount of precipitation in August and October proved to be decisive ($r=0.813$ and 0.963 , respectively) in terms of the biomass yield of green manure plants (common vetch, oil radish, buckwheat), in the case of lupins, the amount of precipitation during the entire growing season was the determining factor. In the case of green manures following oats, for lupine, common vetch and buckwheat green manure plants, September rainfall was decisive based on the correlation results ($r=0.848-0.942$), in the case of oil radishes, the rainfall in October and during the entire growing season ($r=0.780$ and 0.792) proved to be decisive in terms of biomass yield. The above-ground biomass production of green manure plants was also significantly affected by the time elapsed between the harvesting time of the pre-crop and the sowing time of the green manure plant, in addition, we established a close negative correlation between the seed yield of oats and the biomass yield of the green manures of lupin, common vetch vetch and buckwheat ($r=-0.882$; -0.818 ; -0.911).

Regarding the moisture content of the soil, at the end of the growing season of the green manure plants (end of October), we experienced lower moisture content values in the upper 0-

50 cm layer of the soil than in the case of the fertilized and control treatments, however, in the deeper layers of the soil (50-75 and 75-100 cm) the moisture content of the soils of the green-manured treatments exceeded the value of the control treatments. The long-term effect of the green manure plants was documented during the measurements in May and July, where the highest moisture content values were detected after the application of the leguminous green manure plants (lupin, common vetch) under the 25 cm soil layer in triticale, corn and oat stands, and in August, in the case of measurements carried out in a corn stand, the most favorable soil condition between 25-50 cm resulted after lupin green manuring.

In case of the soil penetration resistance test, we observed higher resistance values for the soils of the plots green manured with oil radish after termination compared to the control treatment at a depth of 10-50 cm. In the main crop growing season, triticale and oat stands, the lowest soil resistance values were measured in the treatments green-manured with lupin, the highest resistance values for triticale were observed in the oil radish green-manured soils at the depth of 20-50 cm, while for oats the control treatment resulted in the highest values. In corn stands in August, the highest soil resistance values at a depth of 10-50 cm were recorded in the fertilized control and control plots, while the lowest soil resistance values were recorded in plots treated with oil radish and common vetch green manures. Based on our results, green manure plants with a more favorable C:N ratio (lupin, common vetch) have a favorable effect on the penetration resistance of the soil within a short time after incorporating them into the soil, and the favorable effects can also be detected during the growing season of the next crop, in the case of green manure plants with a higher biomass (oil radish) the beneficial effects appear over a longer period of time.

In the case of the cash crops triticale, oats and corn, we experienced a different mechanism of action regarding the effect of green manuring on yield. Based on triticale yield results, the application of green manures immediately prior to triticale sowing did not increase yields compared to the control treatment and was lower than the fertilizer treatment in 2022 and 2023, but when green manures were applied in a year prior to sowing, a detectable treatment effect was observed compared to the control treatment. Based on our results, it is not recommended to apply green manuring immediately before the cultivation of winter cereals, due to the short time interval available for the expression of favorable effects. For spring oats, in the first year studied (2021), the highest seed yield was significantly obtained with the common vetch green manure treatment, exceeding the effect of 80 kg ha⁻¹ N fertilizer treatment. In 2022, after a dry period of green manuring, and in an extremely dry year, we did not experience a significant

difference between the treatments, however, the highest yield was still obtained with the common vetch green manure treatment. In 2023, fertilization resulted significantly the highest yield, among the green manure treatments, the result of the lupine and common vetch green manure treatments exceeded the result of the control treatment. The yield of corn in the first examined year (2021) after green manuring with lupine, common vetch and oil radish was not statistically different from the result of the treatment fertilized with 80 kg ha⁻¹ N, the highest value was obtained by green manuring with common vetch. In 2022, in an extremely dry year, the highest seed yield was significantly achieved by treatments green-manured with lupine and common vetch, and the yield of plots green-manured with oil radish and buckwheat also exceeded the results of the fertilized and control treatments. In the third examined year (2023), the results of the green-manured treatments with lupine, common vetch and oil radish were still not significantly different from the results of the fertilized control and significantly exceeded the results of the control treatment. In the case of corn cultivation, based on our results, the application of lupine, common vetch and oil radish green manures proved to be equivalent or more efficient with the addition of 80 kg ha⁻¹ N fertilizer in terms of seed yield. An evaluation of the performance of the rotation systems in different crop rotations showed that in all four cases of the green manure treatments, the common vetch green manure treatments resulted the highest total grain yields over the four years of the experiment, and in three rotations (I, II, III) the total seed yields exceeded those of the fertilized treatments. In rotations I and II, the control treatment had the lowest value, and in rotations III and IV, the green manure treatment with buckwheat resulted the lowest total seed yield.

In the rotation systems based on green manuring, the changes in soil organic matter content and nitrate-N, available P and K content were investigated for different treatments at depths of 0-25 cm and 25-50 cm, respectively. Soil organic matter content increased for all treatments in the rotations studied at the end of the 4-year study period. The results show that the green manure treatments resulted in a similar change in soil organic matter content in the spring-summer period as the fertilized and control treatments in the 0-25 and 25-50 cm soil layers. In the autumn-winter period, the upper soil layer (0-25 cm) showed a smaller increase in organic matter content due to nutrient use by green manure crops in the green manured treatments, but in the deeper layers (25-50 cm), the green manured treatments with legume species resulted in a larger increase in organic matter content than the fertilized and control treatments. For soil nitrate-N content, greater changes were observed in the 0-25 cm depths in the May measurements, with the greatest changes in case of the common vetch and oil radish green

manure treatments. In the 25-50 cm depth, lupin and oil radish treatments resulted in the greatest increase in the May measurements, and common vetch green manure treatments resulted in the greatest increase in the November measurements. The trend of the change in nitrate-N content clearly shows that the nitrate-nitrogen content of the soil in both the 0-25 and 25-50 cm layers is highest in May, our studies suggest that the peak of N release from green manure plants is in the early summer period. In the case where the growing period of the green manure plants had sufficient rainfall to produce an optimal amount of biomass (2020 and 2022), the soil nitrate-N content in May of the following year exceeded the nitrate-N content of the soils of the N fertilized and control treatments. In the examined crop rotations, no P fertilizer application was applied during the four years of the experiment, and the change in soil available P content showed the greatest decrease in the control treatment areas in both the 0-25 cm and 25-50 cm layers. In the 0-25 cm soil depth, no major changes were observed in response to the green manure treatments, but significant increases were observed in the 25-50 cm depth for all four green manure treatments tested during the November measurements. The highest increase was observed in soils treated with oil radish and buckwheat, also a small increase detected in the 0-25 cm in case of buckwheat treatment. A similar trend was observed in the change in soil available K content, with a small change in the 0-25 cm depth of the soil measured in May, and the largest decrease in the November measurement in the control treatment. Furthermore, at a depth of 25-50 cm, a significant increase in soil available K content was observed for the treatments green-manured with lupin and common vetch in both the May and November measurements.

Two seed densities and three nutrient supply levels (control, 80 kg ha⁻¹ N, 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) were investigated in the seed production of lupin, common vetch (pure stand and mixed with oat), oil radish and buckwheat to determine the optimum technology of the plants. The yield-forming elements and seed yield were investigated in 2020, 2021, 2022 and 2023.

In the case of lupin, the results showed that different nutrient supply levels had no consistent effect on yields, the differences were not statistically verifiable. Based on the results of the years studied, the values of pod number per plant of lupin were determined by temperature conditions at flowering in May ($r=-0.569$) and rainfall conditions in June ($r=0.706$). Under adequate rainfall conditions (year 2020 and 2023), higher yields can be achieved with no fertilizer supplementation with higher germination rates (0.4 million germs ha⁻¹) or with N80 treatment for lower germination rates (0.25 million germs ha⁻¹). Our results suggest that a higher

germination rate is advisable for successful production, but intensive nutrient supply is not justified.

When common vetch were sown in a mixture with oat in years with poor rainfall, N and NPK fertilizer supplementation reduced the seed yield of common vetch due to the higher nutrient uptake and water utilization habits of oats. In case of pure stand of common vetch, N and NPK fertilizer supplementation had no consistent effect on common vetch seed yield. Our results showed that precipitation determined the seed yield of common vetch in the case of support crops with oat, and temperature conditions during the growing season in the case of pure stand, thus common vetch is suitable for cultivation without fertilizer supplementation.

In the case of oil radish production, our results showed that the highest fertilization rate (80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) was the most effective in terms of seed yield at both sowing densities (0.5 million germs ha⁻¹; 0.8 million germs ha⁻¹). For yield-forming elements, the lower germination rate (0.5 million germs ha⁻¹) showed higher values, but for seed yield, the higher germination rate (0.8 million germs ha⁻¹) resulted in the higher yield.

For buckwheat seed yield, except in 2020, the lower germination rate (2.0 million germs ha⁻¹) was found to result the highest yields when no fertilizer was applied, but the differences were not statistically verifiable. Precipitation and temperature conditions showed a strong correlation with seed yield. The correlation values showed that precipitation in June was the most important determinant of the yield components and seed yield, while a negative correlation was observed with the temperature in June. No fertilizer effect was observed in terms of seed yield, the crop can be grown without nutrient supply, and the large differences in yield between years are due to its high sensitivity to climatic factors, as indicated by the variation of seed yield from 16.2 to 530.0 kg ha⁻¹ in our experiment.

In the case of the green manure crops cultivated for their seed as main crops, we evaluated their forecrop effect on corn. During the cultivation of corn, we applied the same fertilizer treatments as the green manure crops (control; 80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK), therefore the effect of nutrient supply and its lack was evaluated cumulatively from year to year. Based on our four-year results, the fertilizer treatment (80 kg ha⁻¹ N; 80:96:96 kg ha⁻¹ NPK) did not have a significant effect on the yield of corn, the result of the unfertilized control treatment did not statistically differ from the values of the fertilized treatments, if the forecrop of corn were lupin, common vetch or oil radish.

10. IRODALOM

- Aase, J. K. – Pikul, Jr. J. L.: 2000. Water use in a modified summer fallow system on semiarid northern Great Plains. *Agricultural Water Management*. 43. 345-357.
- Abd El-Moneim, A. M. – Khair, M. A. – Cocks, P. S.:1990. Growth analysis, herbage and seed yield of certain forage legume species under rainfed conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 164. 34-41.
- Abd El-Moneim, A. M.: 1993. Agronomic potential of three vetches (*Vicia* spp.) under rainfed conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 170. 113-120.
- Abd-El-Moneim, A. M. – Saxena, M. C.: 1995. Demand for meat and milk in WANA increases urgent need for feed from forage legumes. *Diversity*. 11. 1-2. 120-121.
- Ajtay Ö.: 1957. A homok javítása és hasznosítása. *Magyar Mezőgazdaság*. 12. 12-13. 10-11.
- Ajtay Ö.: 1959. A csillagfürt zöldrágyszás agrotechnikája. *Magyar Mezőgazdaság*. 14. 6. 8.
- Albayrak, S. – Töngel, Ö. – Güler, M.: 2004. Stability analysis and determination of seed yield and yield components of candidate vetch (*Vicia sativa* L.) varieties in middle Black Sea Region. *Journal of Faculty of Agriculture*. 20. 1. 50-55.
- Alemu, B. – Melaku, S. – Prasad, N. K.: 2007. Effects of varying seed proportions and harvesting stages on biological compatibility and forage yield of oats (*Avena sativa* L.) and vetch (*Vicia villosa* R.) mixtures. *Livestock Research for Rural Development*. 19. 12-19.
- Allen, B. L. – Pikul, J. L. – Jr. Waddell, J. T. – Cochran, V. L.: 2011. Long-Term lentil green-manure replacement for fallow in the semiarid northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 103, 1292–1298. doi: 10.2134/agronj2010.0410.
- Alonso-Ayuso, M. – Gabriel, J. L. – Pancorbo, J. L. – Quemada, M.: 2020. Interseeding cover crops into maize: Characterization of species performance under Mediterranean conditions. *Field Crop Research*. 249. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107762>
- Ambartsumova, K. A.: 2021. Prospects for the Cultivation of *Vicia Sativa* L. in Mixed Crops on Green Manure in Novgorod Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 852, Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management (ITAFCCEM 2021) 7th October 2021, Veliky Novgorod, Russian Federation. doi: 10.1088/1755-1315/852/1/012004
- Andrzejewska, J. – Dolata, A. – Wiatr, K.: 2006. Variability of length of stem of determinate and indeterminate cultivars of common vetch (*Vicia sativa* L. spp. *sativa*) and its impact on selected cropping features. *Journal of Central European Agriculture*. 7. 2. 251-258.
- Ángyán J. – Menyhért Z.: 1989. Integrált alkalmazkodó növénytermesztés. GATE KSZE együttműködés, Gödöllő-Szekszárd.
- Antal J.: 2000. Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Arcand, M. M. – Lynch, D. H. – Voroney, R. P. – van Straaten, P.: 2010. Residues from a buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) green manure crop grown with phosphate rock influence bioavailability of soil phosphorus. *Canadian Journal of Soil Science*. 90. 257-266.
- Armstrong, E. L. – Heenan, D. P. – Pate, J. S. – Unkovich, M. J.: 1997. Nitrogen benefits of lupins, field pea, and chickpea to wheat production in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48. 39-48.
- Arshad, M. A. – Coen, G. M.: 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*. 7. 25-31.

- Atkins, C. A. – Smith, P. M.: 2004. Regulation of pod set and seed development in lupin. In: van Santen E. – Hill G. D. (eds.): Proceedings of the 10th International Lupin Conference, 19-24. June 2002, New Zealand, 275-278.
- Aydemir, S. K. – Karakoy, T. – Kokten, K. – Nadeem, M. A.: 2019. Evaluation of yield and yield components of common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes grown in different locations of Turkey by GGE biplot analysis. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17. 6. 15203-15217.
- Aydoğdu, L. – Açıkgöz, E.: 1995. Effect of seeding rate on seed and hay yield in common vetch (*Vicia sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 174. 3. 181-187.
- Ayisi, K. K. – Putnam, D. – Vance, C. P. – Graham, P. H.: 1992. *Bradyrhizobium* inoculation and nitrogen fertilizer effects on seed yield and protein of white lupin. *Agronomy Journal*. 84. 857-861.
- Ballenegger R. – Bittera M. – Csiky J. – Dicenty D. – Halács Á. – Villax Ö. – Zucker F.: 1936. A talaj termőerejének fenntartásáról és a műtrágyázásról. Az Országos Mezőgazdasági Kamara Talajtani és Műtrágyázási Osztályának Kiadványai. 8. Budapest.
- Barnes, R. F. – Nelson, C. J. – Collins, M. – Moore, K. J.: 2003. Forages (6th Edition). An Introduction to Grassland Agriculture. The Iowa State University, Pres, Ames, Iowa.
- Behnke, G. D. – Villamil, M. B.: 2019. Cover crop rotations affect greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. *Field Crop Research*. 241. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107580>
- Bicksler, A. J. – Masiunas, J. B.: 2009. Canada thistle (*Cirsium arvense*) suppression with buckwheat or sudangrass cover crops and mowing. *Weed Technology*. 23. 556-563.
- Biederbeck V. O.: 1990. Sustainable crop production in the Canadian Prairies. In Conservation Tillage. Proceedings of Great Plains Conservation Tillage Symposium, Great Plains Agricultural Council Bulletin. 131. 291-305.
- Biederbeck, V. O. – Bouman, O. T. – Campbell, C. A. – Bailey, L. D. – Winkleman, G. E.: 1996. Nitrogen benefits from four green-manure legumes in dryland cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*. 76. 307-315.
- Biederbeck, V. O. – Bouman, O. T. – Looman, J. – Slinkard, A. E. – Bailey, L. D. – Rice, W. A. – Janzen, H. H.: 1993. Productivity of four annual legumes as green manure in dryland cropping systems. *Agronomy Journal*. 85. 1035-1043.
- Biederbeck, V. O. – Campbell, C. A. – Zentner, R. P.: 1995. Effect of legume green manuring on microbial populations and activity in a Brown loam. In: Proceedings of Saskatchewan Soils and Crops. 134-141. University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Birkás M.: 1987. A talajművelés minőségét befolyásoló agronómiai tényezők értékelése. Kandidátusi értekezés. Gödöllő.
- Bittera M.: 1935. A talajerő fenntartása a mezőgazdasági válság idején. Magyaróvár.
- Black, A. L. – Bauer, A.: 1988. Strategies for storing and conserving soil water in the northern Great Plains. In: Unger, P. W., Jordan, W. R., Sneed, T. V. (Eds.): Challenges in Dryland Agriculture: A Global Perspective. Proceedings of the International Conference on Dryland Agriculture, Amarillo, TX, August 1988. Texas Agricultural Experiment Station., College Station. 137-139.
- Blanco-Canqui, H. – Shaver, T. H. – Lindquist, J. L. – Shapiro, C. A. – Elmore, R. W. – Francis, C. A. – Hergert, G. W.: 2015. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies

in Temperate Soils. *Agronomy Journal*. 107. 6. 2449-2474.
<https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>

- Blum, A.*: 1966. The Influence of Plant Density on the Morphological Characters and Seed Production of Common Vetch (*Vicia sativa* L.). *Experimental Agriculture*. 2. 1. 61-67.
- Boglaienko, D. – Soti, P. – Shetty, K. G. – Jayachandran, K.*: 2014. Buckwheat as a Cover Crop in Florida: Mycorrhizal Status and Soil Analysis, *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 38. 9. 1033-1046.
- Brandsæter, L. O. – Heggen, H. – Riley, H. – Stubhaug, E. – Trond, E. – Henriksen, M.*: 2008. Winter survival, biomass accumulation and N mineralization of winter annual and biennial legumes sown at various times of year in Northern Temperate Regions. *European Journal of Agronomy*. 28. 3. 437-448.
- Brandt, S. A.*: 1999. Management practices for black lentil green manure for the semi-arid Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Sciences*. 79. 11-17.
- Brant, V. – Pivec, J. – Fuksa, P. – Neckár, K. – Kocourková, D. – Venclová, V.*: 2011. Biomass and energy production of catch crops in areas with deficiency of precipitation during summer period in central Bohemia. *Biomass Bioenergy*. 35. 1286-1294.
- Bresson, L. M. – Koch, C. – Le Bissonnais, Y. – Barriuso, E. – Lecomte, V.*: 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. *Soil Science Society of American Journal*. 65. 1804-1811.
- Brown, P. L. – Halvorson, A. D. – Siddoway, F. H. – Mayland, H. F. – Miller, M. R.*: 1983. Saline-seep diagnosis, control, and reclamation. USDA Conservation Research 30. US Government. Print. Office, Washington, DC.
- Budai Cs. – Márton L. – Nádassy M.*: 2004. Vizsgálatok zöldtrágyaféleségek növényvédelmi szerepének tisztázására. 50. Növényvédelmi Tudományos Napok. (Szerk.: Kuroli G., Balázs K., Szemessy Á.) Reprint Kft. Budapest. 36.
- Budai Cs. – Márton L. – Nádassy M.*: 2005. Zöldtrágyaféleségek növényvédelmi szerepéről. *Kertészet és Szőlészet*. 45. 8-9.
- Cakmakci, S. – Aydinoglu, B. – Karaca, M.*: 2003. Strains for macro-productivity in common vetch (*Vicia sativa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 73. 5. 296-297.
- Campbell, C. A. – Schnitzer, M. – Lafond, G. P. – Zentner, R. P. and Knipfel, J. E.*: 1991. Thirty-year crop rotations and management practices effects on soil and amino nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 55. 739-745.
- Campbell, C. G. – Gubbels, G. H.*: 1978. *La Culture du Sarrasin*, Service d'information, Ministère de l'agriculture du Canada, Ottawa, Canada
- Campbell, C. G.*: 1997. Buckwheat: *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops (19) Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 95.
- Caner, Y. K. – Tuncer, C.*: 2001. Effects of intercropping of corn with bean, soybean and squash on the damage of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn. Lepidoptera: Pyralidae) and parasitism of egg masses. In: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 16. 3. 55-62.
- Carreck, N. L. – Williams, I. H.*: 2002. Food for insect pollinators on farmland: Insect visits to flowers of annual seed mixtures. *Journal of Insect Conservation*. 6. 13-21.

- Chen, G. – Weil, R. R.: 2010. Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant and Soil*. 331. 31-43.
- Chen, Z. – Chang, D. – Han, M. – Li, Z. – Yan, Q. – Zhang, J. – Zhou, G. – Sun, X. – Cao, W.: 2022. Capability evaluation of 47 Common vetch cultivars (lines) as autumn green manure in Qinghai Province, Northwest China. *Acta Prataculturae Sinica*. 31. 2. 39-51.
- Cherr, C. M. – Scholberg, J. M. S. – McSorley, R.: 2006. Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agronomy Journal*. 98, 302–319, doi: 10.2134/agronj2005.0035.
- Clapham, W. M. – Elbert–May, D.: 1989. Influence of population on white lupin morphology and yield. *Canadian Journal of Plant Science*. 69. 161-170.
- Clark, A.: 2007. Managing cover crops profitably, 3rd ed. (SARE Handbook Series, Book 9). <http://www.sare.org/Learning-Center/Books/Managing-Cover-Crops-Profitably-3rd-Edition>.
- Constantin, J. – Mary, B. – Laurent, F. – Aubrion, G. – Fontaine, A. – Kerveillant, P. – Beaudoin, N.: 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 135. 268-278.
- Cook, J.: 1989. Wiping out witchgrass. *Horticulture*. 67. 34-35.
- Couëdel, A. – Alletto, L. – Tribouillois, H. – Justes, É.: 2018. Cover crop crucifer-legume mixtures provide eddefctive nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 254. 50-59.
- Creamer, N. G. – Baldwin, K. R.: 2000. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. *Hortscience*. 35. 600-603.
- Cserháti S. – Kosutány T.: 1887. A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könykiadó Vállalata. Budapest.
- Cserháti S.: 1897. Újabb tapasztalatok a trágyázás köréből. Czéh Sándor-féle Gazdaság vetésforgóinak 30 éves eredményei. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Dabney, S. M. – Delgado, J. A. – Reeves, D.W.: 2001. Use of winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications of Soil Sciences and Plants*. 7-8. 1221-1250.
- Dabney, S. M. – Meisinger, J. J. – Schomberg, H. H. – Liebig, M. A. – Kaspar, T. C. – Delgado, J. A. – Mitchell, J. – Reeves, D. W.: 2010. Using cover crops and cropping systems for nitrogen management. In: Delgado, J. A. – Follett, R. F. (Eds.), *Advances in Nitrogen Management for Water Quality*. IA, Ankeny, 230-281.
- Dawkins, T. C. K. – Almond, J. A.: 1984. Is there a need for chemical manipulation of oil-seed rape? *Arable Farming*. 4. 34-35.
- De Baets, S. – Poesen, J. – Meersmans, J. – Serlet, L.: 2011. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*. 85. 3. 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>
- Delpérée, C. – Kinet, J. M. – Lutts, S.: 2003. Low irradiance modifies the effect of water stress on survival and growth-related parameters during the early developmental stages of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiologia Plantarum*. 119. 211-220.
- Dhima, K. V. – Lithourgidis, A. S. – Vasilakoglou, I. B. – Dordas, C. A.: 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*. 100. 2. 249-256 .

- Dinkelaker, B. – Römheld, V. – Marschner, H.: 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant, Cell & Environment*. 12. 285-292.
- Dinnes, D. L. – Karlen, D. L. – Jaynes, D. B. – Kaspar, T. C. – Hatfield, J. L. – Colvin, T. S. – Cambardella, C. A.: 2002. Nitrogen Management Strategies to Reduce Nitrate Leaching in Tile-Drained Midwestern Soils. *Agronomy Journal*. 94. 1. 153-171.
- Dracup, M. – Turner, N. C. – Tang, C. – Reader, M. – Palta, J.: 1998. Responses to abiotic stresses. Chapter 8. In: Atkins, J. S., C. A., Hamblin, C. A.(eds.): *Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization*; Gladstones, CABI. Wallingford, UK, 227–262.
- Duddington, C. L. – Duthoit, C. M. G.: 1960. Green manuring and cereal root eelworm. *Plant Pathology*. 9. 1. 7-9.
- Edmeades, D. C.: 2003. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycle of Agroecosystems*. 66. 165-180.
- El Dessougi, H. – zu Dreele, A. – Claassen, N.: 2003. Growth and phosphorus uptake of maize cultivated alone, in mixed culture with other crops or after incorporation of their residues. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 166. 254–261.
- Erismann, J. W. – Sutton, M. A. – Galloway, J. – Klimont, Z. – Winiwarter, W.: 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *National Geosciences*. 1. 636-639. <https://doi.org/10.1038/ngeo325>
- Erol, A. – Kaplan, M. – Kizilsimsek, M.: 2009. Oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Tropical Grasslands*. 43. 3. 191-196.
- Falquet, B. – Roux, D. – Henriot, L. – Tschuy, F. – Wirth, J.: 2014. Simple method to separate resource competition from allelopathic root interactions. *Allelopathy Journal*. 34. 227-240.
- Forte, C. T. – Beutler, A. N. – Galon, L. – Castoldi, C. T. – Winter, F. L. – Holz, C. M. – Bianchessi, F. – Concenço, G. – Chechi, L. – Ferreira, M. M. – Andres, A. – Burg, G. M.: 2014. Soil Physical Properties and Grain Yield Influenced by Cover Crops and Crop Rotation. *American Journal of Plant Sciences*. 9. 4. 10.4236/ajps.2018.94045
- Francis, C. M. – Enneking, D. – Abd El Moneim, A. M.: 2000. When and where will vetches have an impact as grain legumes? In: *Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century: Proceedings of the Third International Food Legumes Research Conference*. Springer Netherlands, 375-384.
- Franzluebbers, A. J.: 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*. 66. 2. 197-205.
- Gabriel, J. L. – Quemada, M.: 2011. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertiliser fate. *European Journal of Agronomy*. 34. 3. 133-143.
- Gan, Y. T. – Hamel, C. T. – O'Donovan, J. T. – Cutforth, H. – Zentner, R. P. – Campbell, C. A. – Niu, Y. N. – Poppy, L.: 2015. Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. *Scientific Reports*. 5. 14-25.
- Gang, Z. – Yu, T.: 1998. A primary study of increasing the production rate of buckwheat. In: Campbell C. – Przybylski, R. (eds) *Current Advances in Buckwheat Research, Proceedings of the 7th International Symposium on Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, Canada, 12-14 August 1998*. 18-23.

- Gardner, W. K. – Barber, D. A. – Parbery, D. G.: 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III. The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. *Plant and Soil*. 70. 107-124.
- Géneau, C. E. – Wäckers, F. L. – Luka, H. – Daniel, C. – Balmer, O.: 2011. Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids. *Basic and Applied Ecology*. 13. 85-93.
- Gimsing, A. L. – Kirkegaard, J. A.: 2006. Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of *Brassica* biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*. 38. 2255-2264.
- Gondola I. – Papp P. P.: 2010. Origin, geographical distribution and phylogenetic relationships of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). In: Dobránszki J. (ed.) Buckwheat 2. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 4. (Special Issue 2.), 17-32.
- Gondola I.: 2010. Pohánka (Hajdina) (*Fagopyrum esculentum* Moench) In: Gondola I. (szerk.) Az alternatív növények szerepe az Észak-alföldi Régióban. Nyíregyháza: DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centrum Kutató központja, 87-89.
- Gosling, P. – Hodge, A. – Goodlass, G. – Bending, G. D.: 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113. 17-35.
- Gresta, F. – Wink, M. – Prins, U. – Abberton, M. – Capraro, J. – Scarafoni, A. – Hill, G.: 2017. Lupins in european cropping system. In Murphy-Bokern, D., Stoddard, F. L., Watson, C. A. (eds.): *Legumes in Cropping System*; CABI Publishing. Wallingford, UK. 88-108.
- Griffin, T. – Liebman, M. – Jemison, J.: 2000. Cover Crops for Sweet Corn Production in a Short-Season Environment. *Agronomy Journal*. 92. 1. 144-151.
- Gurmani, Z. A. – Zahid, M. S. – Bashir, M.: 2006a. Performance of vetch, *Vicia sativa* cultivars for fodder production under rainfed conditions of Pothwar region [Pakistan]. *Journal of Agricultural Research*. (Pakistan), 44. 291-297.
- Gurmani, Z. A. – Qamar, M. – Shafeeq S. – Zahid, M.S.: 2006b. Effect of phosphorus fertilizer application on fodder and grain yield of vetch under rainfed conditions of Pothwar region. *Pakistan Journal of Agricultural Science*. 43. 17-20.
- Gutman, F. N.: 1989. Quality of the seeds in forms of *Vicia sativa* in relation to breeding. *Naucsno-Tehnicoseszkij Bjulleten VIR*. Leningrád, 188. 36-37.
- Gyárfás J.: 1916. A zöldtrágyázás. A „Mosonvármegye” könyvnyomdája Magyaróvárott. Mosonmagyaróvár.
- Gyárfás J.: 1933. Mikor jobb alászántani a tarlóba vetett zöldtrágya-növényt, ősszel-e vagy tavasszal? *Köztelek*. 43. 15-16.
- Gyárfás J.: 1953. A zöldtrágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Gyuricza Cs. – Mikó P.: 2008. Talajjavító másodvetések. Nem csak költsége van! *Haszon Agrár*. 2. 4. 28-30.
- Gyuricza Cs.: 2006. Vetésforgó, vetésváltás. In: Birkás M. Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Hababi, A. – Javanmard, A. – Mosavi, S. B. – Rezaei, M. – Sabaghina, N.: 2013. Effect of green manure on some soil physicochemical characteristics. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4. 11. 3089-3095.

- Halbrecq, B. – Romedenne, P. – Ledent, J. F.:* 2005. Evolution of flowering, ripening and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): Quantitative analysis. *European Journal of Agronomy*. 23. 209-224.
- Hamblin, J. – Delane, R. – Bishop, A. – Adam, G.:* 1993. The yield of wheat following lupins: Effects of different lupin genotypes and management. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44. 4. 645-649.
- Hampton, J. G. – Young, K. A.:* 1988. Sprouting radish (*Raphanus sativus* L.) seed production: effects of crop manipulation. In Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand, 18. 107-113.
- Hansen, E. – Djurhuus, J.:* 1997. Yield and N uptake as affected by soil tillage and catch crop. Soil and Tillage Research. *Elsevier Sciences*. 4. 241-52.
- Hao, X. – Li, G. – Yang, W. – Zhou, N. – Lin, R. – Zhou, M.:* 1995. The difference and classification of light reaction of buckwheat under different treatments of light duration. In: Matano – T. – Ujihara, A. (eds): Current Advances in Buckwheat Research, Proceedings of the 6th International Symposium on Buckwheat, Shinshu, Japan, 24-29 August 1995, 541-549.
- Hara, T. – Iwata, H. – Okuno, K. – Matsui, K. – Ohsawa, R.:* 2011. QTL analysis of photoperiod sensitivity in common buckwheat by using markers for expressed sequence tags and photoperiod-sensitivity candidate genes. *Breeding Science*. 61. 394-404.
- Hargrove, W. L.:* 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal*. 78. 70-74.
- Hayashi, H.:* 1998. Effects of leaf and root exudates of common buckwheat on the early growth of weeds. VII. International Symposium on Buckwheat. Advances in Buckwheat Research. August, Winnipeg, *Fagopyrum*. VII. Insects, disease and weeds. 12.
- Hayden, Z. D. – Ngouajio, M. – Brainard, D. C.:* 2014. Rye–vetch mixture proportion tradeoffs: Cover crop productivity, nitrogen accumulation, and weed suppression. *Agronomy Journal*. 106. 904-914, doi: 10.2134/agronj2013.0467.
- Haynes, R. J. – Naidu, R.:* 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycle of Agroecosystems*. 51. 123-137.
- Herbert, S. J.:* 1977. Growth and grain yield of *Lupinus albus* at different plant populations. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 20. 4. 459-465.
- Herbert, S. J.:* 1979. Density studies on lupins II. Components of seed yield. *Annals of Botany*. 43. 1. 65-73.
- Higgs, R. L. – Peterson, A. E. – Paulson, W. H.:* 1990. Crop rotations sustainable and profitable. *Journal of Soil and Water Conservation*. 45. 1. 68-70.
- Hu, X. W. – Li, T. S. – Wang, J. – Wang, Y. R. – Baskin, C. C. – Baskin, J. M.:* 2013. Seed dormancy in four Tibetan Plateau *Vicia* species and characterization of physiological changes in response of seeds to environmental factors. *Seed Science Research*. 23. 133-140.
- Huyghe, C.:* 1997. White lupin (*Lupinus albus* L.). *Field Crops Research*. 53. 147-160.
- Iptas, S.:* 2002. Effects of row spacing, support plant species and support plant mixture ratio on seed yield and yield characteristics of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 188. 357-362.

- Jannink, J.-L. – Liebman, M. – Merrick, L. C.: 1996. Biomass Production and Nitrogen Accumulation in Pea, Oat, and Vetch Green Manure Mixtures. *Agronomy Journal*. 88. 2. 231-240. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800020019x>
- Janzen, H. H.: 1987. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Canadian Journal of Soil Science*. 67. 4. 845-856. <https://doi.org/10.4141/cjss87-081>
- Jaskulski, D. – Tomalak, S. – Rudnicki, F.: 2000. Regeneration of the stand after winter wheat for spring barley with catch crop plants. *Zeszyty Problemowe Postępow Nauk Rolniczych*. 490. 49-57.
- Jensen, R. J. – Joernsgaard, B. – Andersen, M. N. – Christiansen, J. L. – Mogensen, V. O. – Friis, P. – Petersen, C. T.: 2004. The effect of lupins as compared with peas and oats on the yield of the subsequent winter barley crop. *European Journal of Agronomy*. 20. 405-418.
- Jeuffroy, M. – H., Ney B.: 1997. Crop physiology and productivity. *Field Crops Research*. 53. 3-16.
- Jong, H. S.: 2006. Improvement of hairy vetch seed production by mixture cropping of hairy vetch and triticale. *Korean Journal of Crop Sciences*. 50. 2. 73-78.
- Julier, B. – Huyghe, C. – Papineau, J. – Billot, C. – Deroo, C.: 1995. Genetic and environmental variations for architecture and yield components in determinate autumn-sown white lupin (*Lupinus albus* L.). *Euphytica*. 81. 171-179.
- Justes, E. – Beaudoin, N. – Bertuzzi, P. – Charles, R. – Constantin, J. – Dürr, C. – Hermon, C. – Joannon, A. – Le Bas, C. – Mary, B. – Mignolet, C. – Montfort, F. – Ruiz, L. – Sarthou, J. P. – Souchère, V. – Tournebize, J. – Savini, I. – Rechauchere, O.: 2012. The use of cover crops to reduce nitrate leaching: effect on the water and nitrogen balance and other ecosystem services. Synopsis Study Representatives INRA (France), 68.
- Justes, E. – Mary, B. – Nicolardot, B.: 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. *Plant and Soil*. 325. 171-185.
- Kadziene, G. – Munkholm, L. J. – Mutegi, J.: 2011. Root growth conditions in the topsoil as affected by tillage intensity. *Geoderma*. 166. 66-73.
- Kahnt G.: 1986. Zöldtrágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Kalembasa, S. – Wysokiński, A. – Kalembasa, D.: 2014. Quantitative assessment of the process of biological nitrogen reduction by yellow lupine (*Lupinus luteus* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Seria Agricultura*. 13. 5-20.
- Kalinova, J. – Moudrý, J.: 2003. Evaluation of frost resistance in varieties of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Plant Soil and Environment*. 49. 410-413.
- Kalinova, J. – Triska, J. – Vrchotova, N.: 2005. Biological activity of phenolic compounds present in buckwheat plants. *Allelopathy Journal*. 16. 123-129.
- Kalinova, J.: 2004. Influence of common buckwheat on growth of other plant species. International Symposium on Advances in Buckwheat Research, August, Prague, Proceedings of the 9th International Symposium on Buckwheat. 529.
- Karadag, Y. – Buyukburc, U.: 2003. Effects of seed rates on forage production, seed yield and hay quality of annual legume-barley mixtures. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 27. 169-174.

- Karadag, Y. – Yavuz, M.: 2010. Seed yields and biochemical compounds of common vetch (*Vicia sativa* L.) lines grown in semi-arid regions of Turkey. *African Journal of Biotechnology*. 9. 49. 8334-8338.
- Karagić, D. – Katić, S. – Mihailović, V. – Vasiljević, S. – Mikić, A. – Milić, D.: 2008. What a seed producer needs from a plant breeder – the example of Novi Sad (NS) forage legumes varieties. Book of Abstracts of the Second Grain Legumes Technology Transfer Platform (GL-TTP) Workshop, Novi Sad, Serbia. 56-57.
- Karagić, D. – Katić, S. – Mihailović, V. – Milošević, B.: 2009. Breeding forage legumes for enhanced seed production. *Grain Legumes*. 51. 30.
- Karagic, D. – Mihailovic, V. – Katic, S. – Mikic, A. – Milic, D. – Vasiljevic, S. – Milosevic, B.: 2011. Effect of row spacing on seed yield of hairy, common and hungarian vetches. *Romanian Agricultural Research*. 28. 134-150.
- Kaye, J. P. – Hart, S. C.: 1997. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *Trends Ecology and Evolution*. 12. 139-143.
- Kemenessy E.: 1959. Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Kerley, S. J.: 2000. The effect of soil liming on shoot development, root growth, and cluster root activity in white lupins. *Biology and Fertility of Soils*. 32. 2. 94-101.
- Kerpely K.: 1895. A zöldtrágyázásról. *Köztelek*. 5. 103-104. 2055-2056.
- Késmárki I. – Petróczki F.: 2003. Komposztálás-zöldtrágyázás. *Agro Napló*. 7. 7. 11-13.
- Késmárki I.: 2005a. Takarmánynövények. Másodvetésű olajretek. In: Antal J (Szerk.) Növénytermesztés 2. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 496-499.
- Késmárki I. 2005b. Takarmánynövények. Maghozó tavaszi takarmánybűkköny. In: Antal J (Szerk.) Növénytermesztés 2. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 448-452.
- Khalimullina, A. A. – Sozinov, A. V. – Porsev, I. N. – Subbotin, I. A.: 2019. Productivity of white lupine (*Lupinus albus* L.) in different sowing periods in the conditions of the Southern Trans-Urals. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 341. 1. 012089.
- Kismányoky T.: 1993. A zöldtrágya. In: Nyíri L. Földművelés. 225-229. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Kismányoky T.: 2005. Tápanyagellátás, trágyázás. In: Antal J. Növénytermesztés 1. A növénytermesztés alapjai, gabonafélék. Mezőgazda Kiadó. Budapest
- Kismányoky T. – Tóth B.: 2016. Catch crop (oil radish) functions in long term cereal crop rotation. *Columella - Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 3. 1. 19-28.
- Kobus, J. – Kurek, E. – Czechowska, E. – Słomka, A. – Kulpa, D.: 1987. Effects of organic fertilization on the biological activity of degraded loess soil. *Roczniki Gleboznawcze*. 38. 1. 133-141.
- Koukolicek, J. – Stranc, P.: 2013. Experiment with the cultivation of different varieties of lupin in the area of Dobris. *MendelNet*. 20. 82-88.
- Kovács Csomor Zs. – Nagy Z.: 2003. Komoly kihívás az olajretek termesztése. *Gyakorlati Agroforum*. 14. 1. 47-49.
- Kreybig L.: 1955. Trágyázás. A talajlények és növények okszerű táplálásának irányelvei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

- Kumar, K. – Gon, K. M.: 1999. Crop residues and management practices: effect on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*. 68. 197-319.
- Kumar, V. – Brainard, D. C. – Bellinder, R. R.: 2008. Suppression of powell amaranth (*Amaranthus powellii*), shepherd's-purse (*Capsella bursa-pastoris*), and corn chamomile (*Anthemis arvensis*) by buckwheat residues: Role of nitrogen and fungal pathogens. *Weed Sciences*. 56. 271-280.
- Ladányi, Zs. – Barta, K. – Blanka, V. – Pálffy, B.: 2021. Assessing Available Water Content of Sandy Soils to Support Drought Monitoring and Agricultural Water Management. *Water Resour Manage*. 35. 869-880. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02747-6>
- Lainé, P. – Ourry, A. – Macduff, J. – Boucaud, J. – Salette, J.: 1993. Kinetic parameters of nitrate uptake by different catch crop species: Effects of low temperatures or previous nitrate starvation. *Physical Plant*. 88. 85-92.
- Lal, R. – Pierce, F. J.: 1991. Soil management for sustainability. SWCS and SSS of America. Iowa.
- Lal, R.: 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*. 7. 5. 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Láng I.: 1983. Biológiai erőforrások. Kossuth Kiadó, Budapest, 122.
- Larkin, R. P.: 2008. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and soil borne diseases of potato. *Soil Biological and Biochemistry*. 40. 1341–1351, doi: 10.1016/j.soilbio.2007.03.005.
- Lauk, R. – Lauk, E.: 2006. Yields in vetch-wheat mixed crops and sole crops of wheat. *Agronomy Research*. 4. 1. 37-44.
- Lawson, A. – Cogger, C. – Bary, A. – Fortuna, A-M.: 2015. Influence of Seeding Ratio, Planting Date, and Termination Date on Rye-Hairy Vetch Cover Crop Mixture Performance under Organic Management. *PloS one*. 10. 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129597>
- Lazányi J.: 2000. Sustainable rye production in the Westsik crop rotation experiment. *Acta Agronomica Hungarica*. Akadémiai Kiadó, 48. 3. 271-277.
- Le Sech, L. – Huyghe, C.: 1991. Diallel analysis on white lupin: breeding consequences. *Agronomie*. 11. 719-726.
- Li, F. R. – Zhao, S. L. – Geballe, G. T.: 2000. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 79. 2-3. 129-142.
- Li, L. – Sun, J. – Zhang, F. – Guo, T. – Bao, X. – Smith, F. A. – Smith, S. E.: 2006. Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia*. 147. 280-290.
- Li, X. – Sorensen, P. – Li, F. – Petersen, S. O. – Olesen, J. E.: 2015. Quantifying biological nitrogen fixation of different catch crops, and residual effects of roots and tops on nitrogen uptake in barley using in-situ ¹⁵N labelling. *Plant and Soil*. 395. 273-287.
- Liao, G. – Li, J. – Ou, Z. – Nie, M.: 2009. Visual growth of flower and inflorescence of rapeseed (*Brassica napus* L.) based on parametric L-system. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 25. 4. 150-156.
- Liebman, M. – Davis, A. S.: 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Researches*. 40. 27-47.

- Liebman, M. – Graef, R. L. – Nettleton, D. – Cambardella, A. C.: 2011. Use of legume green manures as nitrogen sources for corn production. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 27. 3. 180-191. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000299>
- Liu, C. – Plaza-Bonilla, D. – Coulter, J. A. – Kutcher, H. R. – Beckie, H. J. – Wang, L. – Floch, J. B. – Hamel, C. – Siddique, K. H. M. – Li, L. – Gan, Y.: 2022. Diversifying crop rotations enhances agroecosystem services and resilience. *Advances in Agronomy*. 173. 299-335. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.02.007>
- Longnecker, N. – Brennan, R. – Robson, A.: 1998. Lupin nutrition. In: Gladstones J. S. – Atkins, C. A. – Hamblin, J. (eds): *Lupins as crop plants: biology, production and utilization*. CAB International, Wallingford, 121-148.
- Ma, D. – Yin, L. – Ju, W. – Li, X. – Liu, X. – Deng, X. – Wang, S.: 2021. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*. 266. 108-146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146>.
- Ma, L. – Li, Y. – Wu, P. – Zhao, X. – Chen, X. – Gao, X.: 2018. Effects of varied water regimes on root development and its relations with soil water under wheat/maize intercropping system. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3800-9>.
- Malceva, N. N. – Nadkernichnaya, E. V. – Lokhova, V. I.: 1987. The buckwheat associative nitrogen fixation. Ukrainian Research Institute of Agricultural Microbiology. Chernigov, USSR. <http://nmcp.mf.uni-lj.si/Fago/SYMPO/1989SympoEach/1989s-2-431.pdf>
- Marshall, H. G. – Pomeranz, Y.: 1982. Buckwheat: description, breeding, production and utilization. In: Pomeranz, Y (ed): *Advances in Cereal Science and Technology (Vol V.)*, American Association of Cereal Chemist Inc., St Paul, Minnesota, USA, 157-210.
- Martens, D. A. – Frankenberger, Jr. W. T.: 1992. Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated soil. *Agronomy Journal*. 84. 707-717.
- Mazur, V. A. – Mazur, K. V. – Pantsyрева, H. V. – Alekseev, O. O.: 2018. Ecological and economic evaluation of varietal resources *Lupinus albus* L. in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 8. 4. 148-153.
- McGuire, A. M. – Bryant, C. D. – Dension, R. F.: 1998. Wheat yields, nitrogen uptake, and soil moisture following winter legume cover crop vs. fallow. *Agronomy Journal*. 90. 3. 404-410.
- Meisinger, J. J. – Randall, G. W.: 1991. Estimating nitrogen budgets for soil–crop systems. In: *Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. Soil Science Society of America. Madison, WI, 85-124.
- Michiyama, H. – Arikuni, M. – Hirano, T. – Hayashi, H.: 2003. Influence of day length before and after the start of anthesis on the growth, flowering and seed-setting in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Plant Production Science*. 6. 235-242.
- Michiyama, H. – Fukui, A. – Hayashi, H.: 1998. Differences in the progression of successive flowering between summer and autumn ecotype cultivars in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Japanese Journal of Crop Science*. 67. 498-504.
- Miguez, F. E. – Bollero, G. A.: 2005. Review of Corn Yield Response under Winter Cover Cropping Systems Using Meta-Analytic Methods. *Crop Science*. 45. 6. 2318-2329.
- Mihailović, V. – Mikić, A. – Čupina, B. – Katić, S. – Karagić, Đ. – Pataki I. – Erić, P.: 2006. Yield and forage yield components in winter vetch cultivars. *Grassland Science in Europa*. 11. 255-257.

- Mihailović, V. – Karagić, Đ. – Mikić, A. – Katić, S. – Milić, D. – Draganović, V.: 2007a. Seed yield and seed yield components in winter cultivars of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Bioforsk Fokus*. 2. 12. 53-56.
- Mihailović, V. – Mikić, A. – Karagić, Đ. – Katić, S. – Pataki, I. – Matić, R.: 2007b. Seed yield and seed yield components in winter cultivars of four vetch (*Vicia* L.) species. Proceedings of XXVI Eucarpia Fodder Crops and Amenity Grasses Section and XVI. Medicago spp. Group Joint Meeting, Perugia, Italy. 130-133.
- Mikić, A. – Mihailović, V. – Čupina, B. – Vasiljević, S. – Milošević, B. – Katanski, S. – Matić, R. – Radojević, V. – Kraljević-Balalić, M.: 2013. Agronomic characteristics related to grain yield and crude protein content in common vetch (*Vicia sativa*) accessions of diverse geographic origin. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 56. 297-308.
- Mikić, A. – Mihailović, V. – Karagić, Đ. – Milošević, B. – Milić, D. – Vasiljević, S. – Katanski, S. – Živanov, D.: 2019. Common vetch (*Vicia sativa*) multi-podded mutants for enhanced commercial seed production. Proceedings on Applied Botany. *Genetics and Breeding*. 180. 1. 78-81.
- Mikó P.: 2009. Examining the effects of green manuring on soil conditions and subsequent crops. Ph.D. thesis. Szent István University, Gödöllő. 1-163.
- Mikó P. – Földesi P. – Bencsik K. – Gyuricza Cs.: 2005. The impact of green manuring on soil fertility. *Cereal Research Communications*. 33. 117-120.
- Mikó P. – Gyuricza Cs.: 2012. Másodvetésű zöldtrágyanövények hatása egyes talajállapot jellemzőkre kedvezőtlen adottságú termőhelyen. *Agrokémia és Talajtan*. 61. 1. 93-106
- Mikó P. – Kovács G. P. – Nagy L. – Gyuricza Cs.: 2011. Másodvetésű zöldtrágyanövények biomassza tömegének és tápanyagtartalmának vizsgálata kedvezőtlen adottságú termőhelyen. *Növénytermelés*. 60. 2. 97-113.
- Milczak, M – Pedzinski, M. – Mnichowska, H. – Szwedurbas, K. – Rybinski, W.: 2001. Creative breeding of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) in Poland. *Lathyrus Lathyrism Newsletter*. 2. 85-88.
- Miller, M. H. – Beauchamp, E. G. – Lauzon, J. D.: 1994. Leaching of Nitrogen and Phosphorus from the Biomass of Three Cover Crop Species. *Journal of Environmental Quality*. 23. 267-272.
- Mitchell, J. P. – Peters, D. W. – Shennan, C.: 1999. Changes in soil water storage in winter fallowed and cover cropped soils. *Journal of Sustainable Agriculture*. 15. 2-3. 19-31.
- Mohammadi, G. R. – Ghobad, M. E.: 2010. The effects of different autumn-seeded cover crops on subsequent irrigated corn response to nitrogen fertilizer. *Scientific Research*. 1. 3. 148-153.
- Munkholm, L. J. – Hansen, E. M.: 2012. Catch crop biomass production, nitrogen uptake and root development under different tillage systems. *Soil Use and Management*. 28. 517-529.
- Murakami, H. – Tsushima, S. – Akimoto, T. – Murakami, K. – Giti, I. – Shishioto, Y.: 2000. Effects of growing leafy daikon (*Raphanus sativus*) on populations of *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). *Plant Pathology*. 49. 5. 584-589.
- Musquiz, M. – Ridout, C. L. – Price, K. R. – Fenwick, G. R.: 1993. The saponin content and composition of sweet and bitter lupin seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 63. 47-52.

- Mutegi, J. K. – Petersen, B. M. – Munkholm, L. J. – Hansen, E. M.: 2011. Belowground carbon input and translocation potential of fodder radish cover-crop. *Plant and Soil*. 344. 159-175. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0737-7>
- Myers, R. L. – Meinke, L. J.: 1994. Buckwheat: a multi-purpose, short-season alternative. MU Guide G4306, University of Missouri Extension, Columbia. Internetes forrás: <http://extension.missouri.edu/xplor/agguides/crops/g04306.htm>
- Nagy Z. – Seiwert G.: 2005. Zöldtrágyázással a talajtermékenység javításáért. *Gyakorlati Agroforum*. 16. 8. 32-34.
- Nagy Z.: 2005a. Zöldtrágyázás. Palatina Nyomda és Kiadó Kft. Győr.
- Nagy Z.: 2005b. A zöldtrágyázás a „Helyes gazdálkodási gyakorlat” része. *MezőHír*. 9. 3. 84-85.
- N'Dayegamiye, A. – Tran, T. S.: 2001. Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Canadian Journal of Soil Science*. 81. 371-382.
- Nemecek, T. – von Richthofen, J. S. – Dubois, G. – Casta, P. – Charles, R. – Pahl, H.: 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*. 28. 380-393.
- Németh I. – Nagy B. – Dorner Z.: 2003. A zöldtrágyanövények hatása a gyomosodásra. *Növénytermelés*. 52. 5. 495-505.
- Nery, M. C. – Carvalho, M. L. M. D. – Oliveira, A. D. S. – Pereira, J. – Nery, F. C.: 2014. Harvesting, processing and quality control of oil radish seeds. *Journal of Seed Science*. 36. 2. 143-153. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v32n2889>
- Nett, L. – Feller, C. – George, E. – Fink, M.: 2011. Effect of winter catch crops on nitrogen surplus in intensive vegetable crop rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 91. 327-337.
- Neuffer, B. – Paetsch, M.: 2013. Flower morphology and pollen germination in the genus *Capsella* (*Brassicaceae*). *Flora*. 208. 626-640.
- Neumann, G. – Massonneau, A. – Anglade, N. L. – Dinkelaker, B. – Hengeler, C. – Römheld, V. – Martinoia, E.: 2000. Physiological aspects of cluster root function and development in phosphorus-deficient white lupin (*Lupinus albus* L.). *Annals of Botany*. 85. 909-919.
- Nielsen, D. C. – Vigil, M. F.: 2005. Legume green fallow effect on soil water content at wheat planting and wheat yield. *Agronomy Journal*. 97. 684-689, doi: 10.2134/agronj2004.0071.
- Noffsinger, S. L. – Santen, van E.: 1995. Yield and Yield Components of Spring–Sown White Lupin in the Southeastern USA. *Agronomy Journal*. 87. 3. 493-497.
- Noulas, C. – Vlachostergios, D. – Tsadilas, C.: 2012. Assessment of Phosphorus Supply Rate to Common Vetch by using Ion Exchange Membranes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44. 1-4. 275-286.
- Nyiraneza, J.: 2003. Nitrogen recovery and nitrogen balance with ¹⁵N in potato systems amended with cover crops and manure. M.S. Thesis. Michigan State University. East Lansing.
- O'Dea, J. K. – Miller, P. R. – Jones, C. A.: 2013. Greening summer fallow with legume green manures: On-farm assessment in north-central Montana. *Journal of Soil and Water Conservation*. 68. 4. 270-282. DOI: 10.2489/jswc.68.4.270

- Ohnishi, O.: 1993. Population genetics of cultivated common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. VIII. Local differentiation of land races in Europe and the silk road. *Japanese Journal of Genetics*. 68. 303-316.
- Ohsawa, R. – Nakatani, C.: 2005. Inter- and intra-cultivar variations in the allelopathic effect of leaf aqueous extract of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) on the growth of lettuce seedling. *Fagopyrum*. 22. 21-24.
- Ojeda, J. J. – Caviglia, O. P. – Agnusdei, M. G.: 2018. Vertical distribution of root biomass and soil carbon stocks in forage cropping systems. *Plant and Soil*. 423. 175-191.
- Olesen, J. E.: 1992. Jordbrugsmeteorologisk arsoversigt 1991 (Agricultural-meteorological Yearbook 1991). Tidsskrift for Planteavl's Specialserie. Beretning nr. S 2202. The Danish Institute for Plant and Soil Science, Tjele, Denmark (dán nyelven, angol összefoglalóval).
- Olson, M.: 2001. Common Buckwheat, Agri-Facts, Agriculture, Food and Rural Management Alberta, Canada. Internetes forrás: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex103/\\$file/118_20-2.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex103/$file/118_20-2.pdf?OpenElement)
- Orak, A. – Nizam, İ.: 2004. Agronomic and morphological characters of some common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes under Trakya region conditions. *Journal of Agronomy*. 3. 2. 72-75.
- Pan, F. – Lu, J. – Liu, W. – Geng, M. – Li, X. – Cao, W.: 2011. Effect of different green manure application on soil fertility. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 17. 6. 1359-1364. doi:10.11674/zwyf.2011.1115
- Pepó P.: 2005. Olajnövények. Olajretek. In: Antal J (Szerk.) Növénytermesztés 2. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 299-305.
- Pervaiz, M. A. – Iqbal, M. – Shahzad, K. – Hassan, A. U.: 2009. Effect of mulch on soil physical properties and N, P, K concentration in maize (*Zea mays*) shoots under two tillage systems. *International Journal of Agricultural Biology*. 11. 119-124.
- Petterson, D. S. – Mackintosh, J. B.: 1994. The chemical composition of the lupin seed grown in Australia. In: Dracup, M. – J. Palta, J. (ed.): Proceedings of the 1st Australian Lupin Technology Symposium, Perth, Australia, 39-48.
- Pfeiffer J.: 1909. A zöldtrágyázás hasznáról, tekintettel különösen a csillagfürtre. *Köztelek*. 19. 40. 1180-1181.
- Piekarczyk, M.: 2010. Effect of forecrops and nitrogen fertilization on the yield and grain technological quality of winter wheat grown on light soil. *Acta Scientiarum Polonorumseries Agricultura*. 9. 2. 2010, 25-33.
- Plaza, A. – Ceglarek, F. – Próchnicka, M.: 2009. The influence of stubble catch crop on the yield and yield structure of potato tubers. *Fragmenta Agronomica*. 26. 3. 137-145.
- Podleśna, A. – Podleśny, J. – Doroszewski, A.: 2014. Usefulness of selected weather indices to evaluation of yellow lupine yielding possibility. *Agricultural Water Management*. 146. 201-207.
- Poggio, S. L.: 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, ecosystems & environment*. 109. 1. 48-58.
- Polit, J. T. – Ciereszko, I. – Dubis, A. T. – Leśniewska, J. – Basa, A. – Winnicki, K. – Żabka, A. – Audzei, M. – Sobiech, Ł. – Faligowska, A. – Skrzypczak, G.: 2019. Irrigation-Induced Changes in Chemical Composition and Quality of Seeds of Yellow Lupine (*Lupinus luteus* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. 20. 22. 5521.

- Posner, J. L. – Casler, M. D. - Baldock, J. O.: 1995. The Wisconsin integrated cropping systems trial: Combining agroecology with production agronomy. *American Journal of Alternative Agriculture*. 10. 98-107.
- Possinger, A. R. – Byrne, L. B. – Breen, N. E.: 2013. Effect of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) on soil phosphorus availability and organic acids. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 176. 16-18.
- Preissel, S. – Reckling, M. – Schläfke, N. – Zander, P.: 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research*. 175. 64-79.
- Prins, U.: 2014. Samenvatting experimenten teeltoptimalisatie Lupine in de Veenkoloniën 2011-2013 (Summary of Field Crop Optimisation Lupins in the Dutch Peat District). Louis Bolk Institute, Driebergen, the Netherlands, 12.
- Prusiński, J.: 2005. Traditional and self-completing white lupin (*Lupinus albus* L.) cultivars yielding depending on foliar plant fertilization and chemical protection. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 8. 41.
- Prusinski, J – Borowska, M – Kaszkowiak, E. – Olszak, G.: 2016. The after-effect of chosen *Fabaceae* forecrops on the yield of grain and protein in winter triticale (*Triticosecale* sp. Wittmack) fertilized with mineral nitrogen. *Plant Soil Environment*. 62. 12. 571-576.
- Quemada, M. – Cabrera, M. L.: 1995. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. *Soil Science Society of America Journal*. 59. 471-477.
- Quinet, M. – Cawoy, V. – Lefèvre, I. – Van Miegroet, F. – Jacquemart, A. L. – Kinet, J. M.: 2004. Inflorescence structure and control of flowering time and duration by light in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Journal of Experimental Botany*. 55. 1509-1517.
- Rashad, R. T. – El-Agyzy, F. H. – Abdel-Azeem, S. M.: 2018. Impact of Irrigation Intervals on the Yield and Quality of Lupine (*Lupinus termis* L.) Grown in Sandy Soil Amended by an Organic Amendment. *Asian Soil Research Journal*. 1-11.
- Reckling, M. – Preissel, S. – Zander, P. – Topp, C. F. E. – Watson, C. A. – Murphy-Bokern, D. – Stoddard, F. L.: 2014. Effects of legume cropping on farming and food systems. *Legume Futures Report*. 1. 6. 2-28.
- Rinnofner, T. – Friedel, J. K. – de Kruijff, R. – Pietsch, G. – Freyer, B.: 2008. Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*. 28. 551-558.
- Robinson, D. H.: 1960. Forage legumes. Ministry of Agricultural Journal, D-9, Guven Press. 99.
- Robinson, R. G.: 1980. The buckwheat crop in Minnesota. Station Bulletin 539. Agricultural Experiment Station University of Minnesota. 14.
- Roesch-McNally, G. E. – Basche, A. D. – Arbuckle, J. G. – Tyndall, J. C. – Miguez, E. F. – Bowman, T. – Clay, R.: 2017. The trouble with cover crops: Farmers' experiences with overcoming barriers to adoption. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 33. 4. 322-333.
- Romanova, O. – Koshkin, V.: 2010. Photoperiod response of landraces and improved varieties of buckwheat from Russia and from the main buckwheat cultivating countries. In: Dobránszki, J. (ed): *Buckwheat 2. The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 4. (Special Issue 1.). 123-127.

- Roszik P.: 1993. Zöldtrágyázás. In: Sárközy P. – Seléndi Sz. Biogazda 1. Az árutermelő biogazdálkodás alapjai. Biokultúra Egyesület. 137-139.
- Rücknagel, J. – Götze, P. – Koblenz, B. – Bachmann, N. – Löbner, S. – Lindner, S. – Bischoff, J. – Christen, O.: 2016. Impact on soil physical properties of using large-grain legumes for catch crop cultivation under different tillage conditions. *European Journal of Agronomy*. 77. 28-37.
- Ryan, P. R. – Delhaize, E. – Jones, D. L.: 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 52. 527-560.
- Sainju, U. M. – Singh, B. P.: 1997. Winter cover crops for sustainable agricultural systems. Influence on soil properties, water quality and crop yields. *Horticultural Science*. 32. 21-28.
- Salisbury, P. A. – Fripp, Y. J. – Gurung, A. M. – Williams, W. M.: 2017. Is floral structure a reliable indicator of breeding system in the *Brassicaceae*? *PLoS ONE*. 12 3. e0174176.
- Sanchez, J. E. – Willson, T. C. – Kizilkaya, K. – Parker, E. – Harwood, R. R.: 2001. Enhancing the mineralizable nitrogen pool through substrate diversity in long term cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*. 65. 1442-1447.
- Sangma, S. C. – Chrungoo, N. K.: 2010. Buckwheat gene pool: Potentialities and drawbacks for use in crop improvement programmes. In: Dobránszki J. (ed): *Buckwheat 2. The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 4. (Special Issue 1.). 45-50.
- Sapkota, T. B. – Askegaard, M. – Laegsdmand, M. – Olesen, J. E.: 2012. Effects of catch crop type and root depth on nitrogen leaching and yield of spring barley. *Field Crop Research*. 125. 129-138.
- Sarunaite, L. – Deveikytė, I. – Kadziulienė, Z.: 2010. Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. *Žemdirbystė-Agriculture*. 97. 3. 51-58.
- Scarisbrick, D. H. – Daniels, R. W.: 1984. Oil-seed rape. *Outlook on Agriculture*. 13. 3. 118-124.
- Schipanski, M. E. – Barbercheck, M. – Douglas, M. R. – Finney, M. D. – Haider, K. – Kaye, J. P. – Kemanian, A. R. – Mortensen, D. A. – Ryan, M. R. – Tooker, J. – White, C.: 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural System*. 125. 12-22.
- Seydosoglu, S.: 2014. Researches on determination yield and yield components of some common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes in ecological conditions of Diyarbakir. *Turkish Journal of Field Crops*. 1. 117-127.
- Shah, K. K. – Modi, B. – Pandey, H. P. – Subedi, A. – Aryal, G. – Pandey, M. – Shrestha, J.: 2021. Diversified Crop Rotation: An Approach for Sustainable Agriculture Production. *Advances in Agriculture*. <https://doi.org/10.1155/2021/8924087>
- Slawinska, J. – Obendorf, R. L.: 2001. Buckwheat seed set in plant and during in vitro inflorescence culture: Evaluation of temperature and water deficit stress. *Seed Science Research*. 11. 223-233.
- Steiner, J. L.: 1988. Simulation of evaporation and water use efficiency of fallow-based cropping systems. In: Unger, P. W., Jordan, W. R., Sneed, T. V. (Eds.): *Challenges in Dryland Agriculture: A Global Perspective*. Proceedings of the International Conference on Dryland Agriculture. Amarillo, TX, August 1988. Texas Agricultural Experimental Station, College Station, 176-178.

- Stute, J. K. – Posner, J. L.: 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. *Agronomy Journal*. 87. 1063-1069.
- Sulas, L. – Canu, S. – Ledda, L. – Carroni, A. M. – Salis, M.: 2015. Yield and nitrogen fixation potential from white lupine grown in rainfed Mediterranean. *Scientia Agricola*. 73. 4. 338-346.
- Szabóné Csalló K.: 2010. Tavaszai bükköny (*Vicia sativa* L.) In: Gondola I. (szerk.) Az alternatív növények szerepe az Észak-alföldi Régióban. Nyíregyháza: DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centrum Kutató központja, 48-49.
- Talgre, L. – Lauringson, E. – Makke, A. – Lauk, R.: 2011. Biomass production and nutrient binding of catch crops. *Zemdirbyste*. 98. 3. 251-258.
- Talgre, L. – Lauringson, E. – Roostalu, H. – Astover, A. – Makke, A.: 2012. Green manure as nutrient source for succeeding crops. *Plant Soil Environment*. 58. 6. 275-281.
- Tanaka, D. L. – Aase, J. K.: 1987. Fallow method influences on soil water and precipitation storage efficiency. *Soil Tillage Researches*. 9. 307-316.
- Tao, J. – Liu, X. – Liang, Y. – Niu, J. – Xiao, Y. – Gu, Y. – Ma, L. – Meng, D. – Zhang, Y. – Huang, W. – Peng, D. – Yin, H.: 2017. Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 101. 1289-1299. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7938-1>
- Teasdale, J. R. – Mohler, C. L.: 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sciences*. 48. 385-392.
- Tebok, J. M. – Franzen, D. W.: 2011. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) potential to contribute solubilized soil phosphorus to subsequent crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42. 1544-1550.
- Tenopala, J. – González, F. J. – De la Barrera, E.: 2012. Physiological responses of the green manure, *Vicia sativa*, to drought. *Botanical Sciences*. 90. 3. 305-311.
- Thomsen, I. K. – Hansen, E. M.: 2014. Cover crop growth and impact on N leaching as affected by pre- and postharvest sowing and time of incorporation. *Soil Use Management*. 30. 48-57.
- Thorup-Kristensen, K.: 1993. Root development of nitrogen catch crops and of a succeeding crop of broccoli. *Acta Agricultural Scandinavian Soil Plant Sciences*. 43. 58-64.
- Thorup-Kristensen, K.: 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant and Soil*. 230. 185-195.
- Thorup-Kristensen, K. – Dresboll, D. B.: 2010. Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. *Soil Use and Management*. 26. 27-35.
- Thorup-Kristensen, K. – Magid, J. – Jensen, L.S.: 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*. 79, 227-302.
- Thorup-Kristensen, K. – Nielsen, N. E.: 1998. Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on nitrogen supply for succeeding crops. *Plant and Soil*. 203. 79-89.
- Tigka, E. – Beslemes, D. – Kakabouki, I. – Pankou, C. – Bilalis, D. – Tokatlidis, I. – Vlachostergios, D. N.: 2021. Seed Rate and Cultivar Effect on Contribution of *Vicia sativa* L. Green Manure to Soil Amendment under Mediterranean Conditions. *Agriculture*. 11. 733. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080733>

- Tominaga, T. – Uezu, T.: 1995. Weed suppression by buckwheat. *Current advances in buckwheat research*. 2. 693-697.
- Tonitto, C. – David, M. B. – Drinkwater, L. E.: 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agricultural Ecosystems and Environment*. 112. 58-72.
- Tóth G.: 2010. Csillagfürt (*Lupinus* spp.) In: Gondola I. (szerk.) Az alternatív növények szerepe az Észak-alföldi Régióban. Nyíregyháza: DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centrum Kutató központja, 182-186.
- Touchton, J. T. – Rickerl, D. H. – Walker, R. H. – Snipes, C. E.: 1984. Winter legumes as a nitrogen source for no-tillage corn. *Soil Tillage Research*. 4. 391-401.
- Tribouillois, H. – Cohan, J.-P. – Justes, E.: 2016. Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring: assessment combining experimentation and modelling. *Plant and Soil*. 401. 347-364.
- Tsuzuki, E. – Dong, Y. J.: 2003. Buckwheat allelopathy: Use in weed management. *Allelopathy Journal*. 12. 1-11.
- Tsytsiura, J. H.: 2019. Evaluation of the efficiency of oil radish agrofitocenosis construction by the factor of reproductive effort. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 25. 6. 1161-1174.
- Tsytsiura, Y.: 2022. The influence of agroecological and agrotechnological factors on the generative development of oilseed radish (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Metzg.) *Research*. 20. 4. 842-880.
- Tuna, C. – Orak, A.: 2002. Yield and yield components of some important common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, National Centre for Agrarian Sciences*. 215-218.
- Tuna, C. – Orak, A.: 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.)/oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*. 2. 2. 14-19.
- Turgut, I. – Bilgili, U. – Duman, A. – Acikgoz, E.: 2005. Effect of green manuring on the yield of sweet corn. *Agronomy for Sustainable Development*. 25. 4. 433-438.
- Turk, M. A. – Tawaha A. M.: 2001. Common vetch (*Vicia sativa* L.) productivity as influenced by rate and method of phosphate fertilization in a Mediterranean environment. *Agricoltura Mediterranea*. 131. 3-4. 108-111.
- Türk, M. – Yildiz, F.: 2016. Effects of fertilization on seed yield and forage quality of common vetch (*Vicia sativa* Roth.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 59. 462-465.
- Unger, P. E. – Vigil, M. F.: 1998. Cover crops effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*. 53. 3. 200-207.
- Uzun, A. – Bilgili, U. – Sinicik, M. – Acikgoz, E.: 2004. Effects of seeding rates on yield and yield components of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 28. 179-182.
- Valenzuela, H. – Smith, J.: 2002. Sustainable Agriculture Green Manure Crops: Buckwheat, Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resource, Hawaii University, Honolulu, 3.
- Van de Wouw, M. – Maxted, N. – Ford-Loyd, B. V.: 2003. Agro-morphological characterisation of common vetch and its close relatives. *Euphytica*. 130. 281-292.

- Vlachostergios, D. N. – Divanes, I. – Fyntanis, A. – Koseoglou, E. – Mavromatis, A. G.: 2016. Selection of white lupine genotypes for yield and tolerance to alkaline soils. In: Kolliker, R. – Boller, B. (eds): Plant Breeding: The Art of Bringing Science to Life. Abstracts of the 20th EUCARPIA General Congress. Zurich, Switzerland. 304.
- Vojnov, B. – Jačimovič, G. – Seremešič, S. – Pezo, L. – Lončar, B. – Krstič', Đ. – Vujič, S. – Čupina, B.: 2022. The Effects of Winter Cover Crops on Maize Yield and Crop Performance in Semiarid Conditions Artificial Neural Network Approach. *Agronomy*. 12. 2670. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112670>
- Wahlström, E. M. – Hansen, E. M. – Mandel, A. – Garbout, A. – Kristensen, H. L. – Munkholm, L. J.: 2015. Root development of fodder radish and winter wheat before winter in relation to uptake of nitrogen. *European Journal of Agronomy*. 71. 1-9.
- Walley, F. L. – Clayton, G. W. – Miller, P. R. – Carr, P. M. – Lafond, G. P.: 2007. Nitrogen economy of pulse crop production in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 99. 1710-1718, doi: 10.2134/agronj2006.0314s.
- Wang, Z. – Jiang, H. – Shen, Y.: 2020. Forage production and soil water balance in oat and common vetch sole crops and intercrops cultivated in the summer-autumn fallow season on the Chinese Loess Plateau. *European Journal of Agronomy*. 115. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126042>.
- Weil, R. – White, C. – Lawley, Y.: 2009. Forage radish: New multi-purpose cover crop for the Mid-Atlantic. *Fact sheet*. 824. 1-8.
- Westsik V.: 1932. A tarlózöldtrágyázás. *Köztelek*. 42. 57-28. 517.
- Westsik V.: 1936. Homoki gazda. „Patria“ Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest.
- Westsik V.: 1956. A napraforgó, mint zöldtrágya. *Agrártudomány*. 8. 7. 295-298.
- Westsik V.: 1965. Vetésforgókísérletek homoktalajon. A Nyíregyházi Homokkísérleti Gazdaság vetésforgóinak 30 éves eredményei. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- White, P. – Harries, M. – Seymour, M. – Burgess, P.: 2005. Producing pulses in the northern agricultural region. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Bulletin 4656. 63-69.
- Wilczewski, E.: 2014. Effect of cultivation intensity and stubble catch crop on spring barley yield. *Fragmenta Agronomica*. 31. 1. 95-112.
- Williams, M. – Roth, B. – Pappa, V. – Rees, R.: 2014. Nitrogen and phosphorus losses from legume-supported agriculture. Legume Futures Report 3. 7. Environmental implications for legume cropping. In: Legume-supported cropping system for Europe, 7-43.
- Withers, N. J. – Baker, C. J. – Lynch, T. J.: 1974. Some effects of date, rate and method of sowing on lupin seed yield. *Proceedings Agronomy Society of New Zealand*. 4. 4-8.
- Wojciechowski, W.: 2009. The importance of catch crops for optimizing nitrogen fertilization of quality spring wheat. *Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*. 76. 7-122.
- Wortman, S. E.: 2016. Weedy fallow as an alternative strategy for reducing nitrogen loss from annual cropping systems. *Agronomy and Sustainable Development*. 36. 1-10.
- Wright, A. T.: 1990. Yield effect of pulses on subsequent cereal crops in the northern prairies. *Canadian Journal of Plant Science*. 70, 1023-1032.

- Wrześnińska, E. – Pużyński, S. – Nurkiewicz, G.: 2017. The impact of stubble crop on yielding of spring barley. *Fragmenta Agronomica*. 34. 2. 115-123.
- Xuan, T. D. – Tsuzuki, E.: 2004. Allelopathic plants: Buckwheat (*Fagopyrum spp.*). *Allelopathy Journal*. 13. 137-148.
- Yu, Y. L. – Xue, L. H. – Yang, L. Z.: 2013. Winter legumes in rice crop rotations reduces nitrogen loss, and improves rice yield and soil nitrogen supply. *Agronomy and Sustainable Development*. 34. 3. 633-640. doi: 10.1007/s13593-013-0173-6.
- Zeng, Z. H. – Lu, Z. H. – Jiang, Y. – Zhang, K. – Yang, Y. D. – Zhao, P. Y.: 2016. Legume-cereal crop rotation systems in China. *Crop rotations*. 51-69.
- Zentner, R. P. – Campbell, C. A. – Biederbeck, V. O. – Selles, F.: 1996. Indianhead black lentil as green manure for wheat rotations in the Brown soil zone. *Canadian Journal of Plant Sciences*. 76. 417-422.
- Zhang, D. – Yao, P. – Na, Z. – Cao, W. – Zhang, S. – Li, Y. – Gao, Y.: 2016. Soil water balance and water use efficiency of dryland wheat in different precipitation years in response to green manure approach. *Scientific Reports*. 6. 26856. DOI: 10.1038/srep26856
- Zhang, S. L. – Simelton, E. – Lövdahl, L. – Grip, H. – Chen, D. L.: 2007. Simulated long-term effects of different soil management regimes on the water balance in the Loess Plateau, China. *Field Crops Research*. 100. 311-319. doi: 10.1016/j.fcr.2006.08.006.
- Zhu, Y. G. – He, Y. Q. – Smith, S. E. – Smith, F. A.: 2002. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) has high capacity to take up phosphorus (P) from a calcium (Ca)-bound Source. *Plant and Soil*. 239. 1-8. <https://doi.org/10.1023/A:1014958029905>
- Zolotarev, V. N.: 2016. Agrobiological bases of vetch (*Vicia sativa* L.) cultivation for seeds in the central Russia using heterogenous agroecosystems. *Agricultural Biology*. 51. 2. 194-203.
- Zotarelli, L. – Zatorre, N. P. – Boddey, R. M. – Urquiaga, S. – Jantalia, C. P. – Franchini, J. C. – Alves, B. J. R.: 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Research*. 132. 14. 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

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

Nyilvántartási szám: DEENK/342/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Pál Vivien
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10074092

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Pál, V.**, Erdős, Z., Henzsel, I., Zsombik, L.: A zöldítés szerepe a talajdegradáció elleni védelemben homoktalajon.
In: A talajok multifunkcionalitásának megőrzéséhez szükséges ismeretek átadása az agrárkörnyezet fenntarthatósága céljából. Szerk.: Ladislav Kovac, Jana Jakubová, Aranyos Tibor József, Makádi Marianna, NPPC-Vyskumny ústav agroekológia Michalovce, Piestany, 220-230, 2021. ISBN: 9788097356521

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

2. **Pál, V.**, Kovács-Csomor, Z., Zsombik, L.: A zöldtrágyázás jelentősége.
Mezőhír. 27 (4), 24-27, 2023. ISSN: 1587-060X.
3. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Különböző zöldtrágyanövények és keverékeik a vetésforgórendszerben.
Mezőhír. 27 (12), 34-36, 2023. ISSN: 1587-060X.
4. **Pál, V.**, Zsombik, L., Tóth, T., Roszkos, R., Csavajda, É., Fébel, H.: A csillagfürt szerepe a kérődző állatok takarmányozásában.
Agro Napló. 25, 53-56, 2021. ISSN: 1417-3255.
5. **Pál, V.**, Kovács-Csomor, Z., Zsombik, L.: Pillangósok és takarónövények szerepe a fenntartható gazdálkodásban.
Agroforum. 32, 10-15, 2021. ISSN: 1788-5884.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

6. Juhász, C., **Pál, V.**, Zsombik, L.: Results of weed surveys in greening plants.
Agrártud. Közl. 1 (1), 53-57, 2023. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/12513>
7. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Evaluation of the role of common vetch (*Vicia sativa* L.) green manure in crop rotations.
Agrártud. Közl. 1 (1), 161-171, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10364>





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

8. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Effect of Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Green Manure on the Yield of Corn in Crop Rotation System.

Agronomy-Basel. 14 (1), 1-17, 2023. EISSN: 2073-4395.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy14010019>

IF: 3.7 (2022)

9. **Pál, V.**, Basal, O., Erdős, Z., Veres, S., Zsombik, L.: Yield and Yield Components of White Lupine Under Different Ecological Conditions.

Journal of Tekirdag Agricultural Faculty. 18 (4), 730-738, 2021. ISSN: 1302-7050.

DOI: <http://dx.doi.org/10.33462/jotaf.899764>

Egyéb folyóiratközlemények (1)

10. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Zöldtrágyázási Kutatások a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézetében.

Agroforum. 4, 74-76, 2021. ISSN: 1788-5884.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (8)

11. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Effect of different green manure strategies on the yield of maize.

In: 59th Croatian and 19th International Symposium on Agriculture : Book of Abstracts / Kladija Carović-Stanko; Kristina Kljak, University of Zagreb Faculty of Agriculture, Zagreb, 44, 2024, (ISSN 2459-5551)

12. Zsombik, L., **Pál, V.**: Evaluation of plant parameters and forecrop effect of common vetch (*Vicia sativa* L.) under different agrotechnical conditions.

In: 59th Croatian and 19th International Symposium on Agriculture : Book of Abstracts / Kladija Carović-Stanko; Kristina Kljak, University of Zagreb Faculty of Agriculture, Zagreb, 144, 2024, (ISSN 2459-5551)

13. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Green manure application, as a tool for sustainable N management in crop rotations.

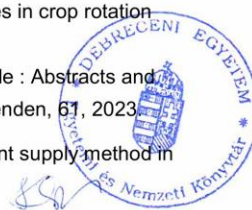
In: Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences Abstract Book / Giuseppe Corti; Edoardo A.C. Costantini; Sara Marinari, International Union of Soil Sciences, Firenze, 1270, 2024.

14. **Pál, V.**, Zsombik, L.: A multi-year evaluation of the effect of green manures in crop rotation systems.

In: Long Term Experiments: Meeting future challenges Event Schedule : Abstracts and Delegate list / Mike Gooding, Association of Applied Biologists, Harpenden, 61, 2023

15. **Pál, V.**, Zsombik, L.: Evaluation of green manures as a sustainable nutrient supply method in corn production.

In: 58th Croatian and 18th International Symposium on Agriculture : Book of Abstracts. Ed.: Kladija Carović-Stanko, Ivan Širić, University of Zagreb Faculty of Agriculture, Zagreb, 138, 2023, (ISSN 2459-5551)





16. **Pál, V.**, Mendlerné Drienyovszki, N., Zsombik, L.: Evaluation of the role of buckwheat as a main crop and as a green manure in crop rotation.
In: The 15th International Symposium on Buckwheat: Buckwheat for health, Institute of Soil Science and Plant Cultivation- State Research Institute, Pulawy, 59, 2023. ISBN: 9788375623987
17. Zsombik, L., **Pál, V.**: Evaluation of yield components of white lupine under different ecological conditions.
In: 58th Croatian and 18th International Symposium on Agriculture : Book of Abstracts. Ed.: Klauđija Carović-Stanko, Ivan Širić, University of Zagreb Faculty of Agriculture, Zagreb, Croatia, Zagreb, 145, 2023, (ISSN 2459-5551)
18. Zsombik, L., **Pál, V.**: Green manuring, a tool for sustainable agriculture.
In: Wellmann International Scientific Conference, University of Szeged, Hódmezővásárhely, 8, 2022. ISBN: 9789633068601

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

19. Henzsel, I., Erdős, Z., **Pál, V.**, Györgyi, G., Tóth, G., Sipos, T., Hadházy, Á.: A talajtömörödés elleni védekezés lehetőségei egy vetésforgó kísérlet eredményei alapján.
In: A talajok multifunkcionalitásának megőrzéséhez szükséges ismeretek átadása az agrárkörnyezet fenntarthatósága céljából. Szerk.: Ladislav Kovac, Jana Jakobová, Aranyos Tibor József, Makádi Marianna, NPPC-Vyskumny ústav agroekológia Michalovce, Piestany, 200-210, 2021. ISBN: 9788097356521

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

20. Tóth, T., **Pál, V.**, Zsombik, L., Roszkos, R., Csavajda, É., Böjthe, B., Fébel, H.: A csillagfürt hasznosítása a kérődző állatok takarmányozásában.
Agroforum. 35 (5), 68-69, 2024. ISSN: 1788-5884.
21. Kovács, G., **Pál, V.**, Tuba, G., Csízi, I., Zsembeli, J.: Extenzív gyepek szemiintenzifikációja növény- és talajkondicionálással.
Gyepgazdálk. Közl. 17 (1), 15-24, 2019. ISSN: 1785-2498.
22. Zsombik, L., Ashish, W., Shaikh, A. M., Roshni, A. K., **Pál, V.**: Indiai köles (*Pennisetum glaucum*) genotípusok termésképző elemeinek vizsgálata savanyú homoktalajon.
Növénytermelés. 68 (3), 91-107, 2019. ISSN: 0546-8191.





Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

23. Kovács, G., **Pál, V.**, Tuba, G., Csízi, I., Zsembeli, J.: Semi-intensification of an extensive grassland by plant and soil conditioning.
Gyepgazdálk. Közl. 19, 25-27, 2021. ISSN: 1785-2498.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

24. Juhász, C., Abido, W. A. E., Hadházy, Á., **Pál, V.**, Radócz, L., Zsombik, L.: Effect of Seeding Rates of the Mixture of Rye (*Secale cereale* L.) and Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth.) on Rye Yield.
J. Plant. Prod. 14 (2), 21-29, 2023. ISSN: 2090-3669.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/jpp.2023.188098.1205>
25. Juhász, C., Hadházy, Á., Abido, W. A. E., **Pál, V.**, Zsombik, L.: Impact of some herbicides on the growth and the yield of common vetch (*Vicia sativa* L.).
Agron. Res. 21 (1), 135-155, 2023. ISSN: 1406-894X.
DOI: <https://doi.org/10.15159/ar.23.028>

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

26. Juhász, C., **Pál, V.**, Zsombik, L.: Zöldítő növényekben végzett gyomfelvételezés eredményei.
In: I. Magyar Agrártudományi Doktoranduszok Szimpóziuma.. Szerk.: Hajdú Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Debrecen, 66, 2023. ISBN: 9786156457189

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

27. Khalfalla, M., Györi, Z., **Pál, V.**, Zsombik, L.: Correlation Between Crude Protein and Trace Elements in Common Buckwheat (*Fagopyrum esculenteum* moencl L.) Varieties.
In: The 15th International Symposium on Buckwheat: Buckwheat for health, Institute of Soil Science and Plant Cultivation- State Research Institute, Pulawy, 80, 2023. ISBN: 9788375623987
28. Zsombik, L., Sipos, T., **Pál, V.**: Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) seed production in clear sowing and double cropping system.
In: Abstract book of the 19th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: by Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 50, 2020. ISBN: 9789632698960





29. Pál, V., Wele, A., Zsombik, L.: The evaluation of agronomical parameters of *Pennisetum glaucum* in Hungarian ecological conditions.

In: 2nd Conference on Long-Term Field Experiments on the 90th anniversary of Westsik's experiment : proceedings book. Ed.: Makádi Marianna, Debreceni Egyetem AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet, Nyíregyháza, 121, 2019. ISBN: 9789634901488

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 3,7

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre):
3,7**

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

Debrecen, 2024.06.06.



KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, **Dr. Zsombik László** tudományos tanácsadónak, aki a kutató munkám során folyamatosan segítette az előremenetelemet mind a széleskörű szakmai, gyakorlati, illetve kutatási tapasztalatával, továbbá javaslataival és iránymutatásával hozzájárult a PhD dolgozatom elkészítéséhez.

Szeretném köszönetemet kifejezni a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézetének, hogy lehetőséget adott a kísérletem kivitelezésére. Szeretnék köszönetet mondani továbbá a Nyíregyházi Kutatóintézet munkatársainak, kiemelten **Zsidai Ibolyának** és **Sziklai Zoltánnak**, akik a szántóföldi kutatómunka során önzetlenül segítették a kísérletek kivitelezését, a mérések elvégzését továbbá szakmai és gyakorlati tanácsaikkal hozzájárultak a kísérlet precíz kivitelezéséhez.

Szeretnék köszönetet mondani opponenseimnek, **Prof. Dr. Csajbók József** egyetemi tanárnak, illetve **Dr. Tóth Zoltán** egyetemi docensnek, hogy dolgozatom bírálata során hasznos észrevételekkel, szakmai javaslatokkal járultak hozzá az értekezés elkészítéséhez. Szeretném köszönetemet kifejezni **Prof. Dr. Jolánkai Márton** professor emeritusnak, hogy észrevételeivel hozzájárult dolgozatom elkészítéséhez.

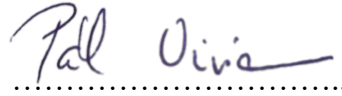
Köszönöm a támogatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által meghirdetett Kooperatív Doktori Program ösztöndíjprogramjának.

Szeretnék köszönetet mondani vállalati szakértőmnek, **Kovács Csomor Zsoltnak**, illetve a Pannon-Mag-Agrár Kft-nek, hogy lehetőséget adtak a kutatási eredményeim piaci viszonyok közötti validálására.

NYILATKOZATOK

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

Debrecen, 2024. május 31.



.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Pál Vivien doktorjelölt 2019-2023 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2024. május 31.



.....
a témavezető aláírása

MELLÉKLETEK

1. melléklet. Különböző állománysűrűségben vetett zöldtrágyanövények föld feletti nyers biomassza hozamának ($t\ ha^{-1}$) alakulása különböző elővetemények, illetve évjáratok esetében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Évjárat	2020			2021			2022			2023		
	I. vf. (tritikálé e.v.)	II. vf. (zab e.v.)	III. vf. (tritikálé e.v.)	II. vf. (tritikálé e.v.)	III. vf. (zab e.v.)	IV. vf. (tritikálé e.v.)	I. vf. (tritikálé e.v.)	III. vf. (tritikálé e.v.)	IV. vf. (zab e.v.)	I. vf. (zab e.v.)	II. vf. (tritikálé e.v.)	IV. vf. (tritikálé e.v.)
Csillagfürt, 0,30 millió csíra ha^{-1}	1,40 ^a	0,00 ^a	2,06 ^a	0,06 ^a	0,16 ^a	0,07 ^a	1,94 ^a	2,02 ^a	3,26 ^a	0,58 ^a	1,51 ^a	2,52 ^a
Csillagfürt, 0,50 millió csíra ha^{-1}	4,04 ^b	1,77 ^b	5,82 ^b	0,41 ^{ab}	0,19 ^a	0,10 ^a	2,22 ^a	3,27 ^a	3,99 ^a	0,60 ^a	2,60 ^a	2,87 ^a
Csillagfürt, 0,65 millió csíra ha^{-1}	2,50 ^{ab}	0,00 ^a	3,34 ^{ab}	0,75 ^b	0,67 ^b	0,66 ^b	2,64 ^a	3,84 ^a	6,73 ^b	0,75 ^a	2,72 ^a	3,83 ^a
Tavaszi bükköny, 2,0 millió csíra ha^{-1}	11,23 ^a	4,30 ^a	18,43 ^a	0,82 ^a	1,07 ^a	3,31 ^a	2,62 ^a	3,28 ^a	7,16 ^a	1,06 ^a	9,78 ^a	13,22 ^a
Tavaszi bükköny, 2,5 millió csíra ha^{-1}	10,30 ^a	4,76 ^a	17,03 ^a	0,62 ^a	0,89 ^a	2,52 ^a	3,48 ^a	2,33 ^a	7,27 ^a	0,98 ^a	12,55 ^a	15,37 ^a
Tavaszi bükköny, 3,0 millió csíra ha^{-1}	12,82 ^a	5,16 ^a	20,73 ^a	0,74 ^a	0,98 ^a	3,28 ^a	3,43 ^a	3,31 ^a	8,54 ^a	1,08 ^a	11,53 ^a	16,37 ^a
Olajretek, 0,8 millió csíra ha^{-1}	26,80 ^a	23,93 ^a	25,67 ^a	5,19 ^a	3,63 ^a	10,72 ^a	11,50 ^a	12,50 ^a	11,00 ^a	5,96 ^a	37,44 ^a	36,92 ^a
Olajretek, 1,5 millió csíra ha^{-1}	29,93 ^a	23,60 ^a	33,47 ^a	5,35 ^a	4,16 ^a	7,75 ^a	8,00 ^a	13,00 ^a	13,00 ^a	6,19 ^a	28,62 ^a	34,76 ^a
Olajretek, 2,0 millió csíra ha^{-1}	28,93 ^a	25,13 ^a	42,20 ^a	5,98 ^a	2,98 ^a	9,66 ^a	9,00 ^a	11,50 ^a	10,00 ^a	5,92 ^a	36,28 ^a	38,01 ^a
Pohánka, 2,0 millió csíra ha^{-1}	4,42 ^a	0,63 ^a	8,47 ^a	0,38 ^a	0,65 ^a	1,30 ^a	0,95 ^a	0,43 ^a	3,76 ^a	0,00	3,21 ^a	3,59 ^a
Pohánka, 3,0 millió csíra ha^{-1}	7,23 ^{ab}	0,96 ^a	5,81 ^a	0,35 ^a	0,41 ^a	0,73 ^a	1,83 ^a	0,39 ^a	4,77 ^a	0,00	2,33 ^a	3,22 ^a
Pohánka, 3,8 millió csíra ha^{-1}	11,50 ^b	1,02 ^a	8,69 ^a	0,38 ^a	0,51 ^a	0,94 ^a	1,18 ^a	0,52 ^a	3,93 ^a	0,00	2,85 ^a	3,01 ^a

A különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek Tukey-B teszt alapján $p < 0,05$ szinten. A jelölések egyes növényfajokon belül évjáratonként értelmezendők.

2. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	I. vetésforgó									
	0-25 cm									
Mélység (cm)	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,50	1,38	1,48	1,49	1,43	1,46	1,91	1,49	0,41	0,11
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,46	1,33	1,37	1,62	1,36	1,40	1,83	1,45	0,37	0,12
Olajretek zöldtrágya	1,30	1,15	1,41	1,67	1,55	1,53	1,81	1,26	0,51	0,11
Pohánka zöldtrágya	1,21	1,07	1,20	1,50	1,28	1,22	1,58	1,22	0,37	0,15
Kontroll (N80)	1,17	0,75	1,20	1,43	1,21	1,22	1,88	1,19	0,70	0,45
Kontroll	1,19	1,10	1,28	1,28	1,35	1,27	1,59	1,21	0,40	0,10
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,36	1,07	1,39	1,39	1,31	1,73	1,89	1,48	0,53	0,41
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,28	1,05	1,22	1,46	1,19	1,66	1,67	1,23	0,39	0,18
Olajretek zöldtrágya	1,31	1,03	1,25	1,41	1,37	1,59	1,68	1,30	0,37	0,27
Pohánka zöldtrágya	1,03	0,82	1,23	1,10	0,98	1,45	1,44	1,07	0,41	0,25
Kontroll (N80)	1,09	0,89	1,18	1,02	1,26	1,41	1,52	1,28	0,44	0,40
Kontroll	1,06	0,85	1,26	1,42	1,29	1,32	1,65	1,09	0,59	0,25

3. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	II. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,43	1,04	1,53	1,52	1,55	1,57	1,86	1,61	0,43	0,57
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,37	1,04	1,47	1,60	1,43	1,56	1,82	1,71	0,45	0,67
Olajretek zöldtrágya	1,44	1,18	1,41	1,60	1,37	1,52	1,83	1,38	0,39	0,20
Pohánka zöldtrágya	1,25	1,10	1,29	1,48	1,30	1,32	1,48	1,44	0,23	0,34
Kontroll (N80)	1,34	1,19	1,37	1,92	1,35	1,59	1,77	1,56	0,43	0,37
Kontroll	1,25	1,30	1,47	1,37	1,35	1,44	1,71	1,54	0,46	0,24
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,31	0,83	1,35	1,43	1,22	1,47	1,67	1,56	0,35	0,73
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,19	0,70	1,29	1,33	1,18	1,48	1,64	1,52	0,46	0,82
Olajretek zöldtrágya	1,21	0,98	1,26	1,48	1,23	1,48	1,50	1,38	0,29	0,40
Pohánka zöldtrágya	1,01	0,93	1,12	1,16	1,03	1,17	1,43	1,22	0,42	0,29
Kontroll (N80)	1,21	0,96	1,05	1,36	1,21	1,36	1,78	1,43	0,57	0,47
Kontroll	1,15	0,98	1,21	1,29	1,18	1,40	1,55	1,31	0,40	0,32

4. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	III. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,39	1,35	1,37	1,68	1,50	1,55	1,68	1,43	0,29	0,07
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,18	1,24	1,37	1,40	1,51	1,62	1,59	1,30	0,41	0,05
Olajretek zöldtrágya	1,38	1,20	1,42	1,60	1,33	1,61	1,59	1,23	0,22	0,02
Pohánka zöldtrágya	1,16	1,17	1,26	1,25	1,24	1,56	1,40	1,26	0,24	0,09
Kontroll (N80)	1,33	1,11	1,30	1,30	1,41	1,68	1,62	1,38	0,30	0,27
Kontroll	1,24	0,98	1,30	1,58	1,27	1,63	1,46	1,47	0,22	0,48
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,10	1,13	1,32	1,39	1,36	1,59	1,48	1,39	0,38	0,26
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,27	0,99	1,21	1,38	1,21	1,42	1,52	1,26	0,25	0,27
Olajretek zöldtrágya	1,44	1,10	1,27	1,40	1,30	1,43	1,54	1,17	0,10	0,07
Pohánka zöldtrágya	1,13	0,92	1,13	0,98	0,98	1,18	1,18	1,22	0,05	0,30
Kontroll (N80)	1,02	0,96	1,30	1,28	1,36	1,42	1,41	1,26	0,39	0,30
Kontroll	1,10	1,05	0,98	1,38	1,15	1,31	1,45	1,39	0,34	0,34

5. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	IV. vetésforgó							
Mélység (cm)	0-25 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,46	1,75	1,44	1,89	2,16	1,70	0,70	-0,06
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,46	1,72	1,41	1,83	1,83	1,81	0,36	0,10
Olajretek zöldtrágya	1,22	1,44	1,28	1,66	1,68	1,55	0,47	0,10
Pohánka zöldtrágya	1,27	1,51	1,26	1,55	1,80	1,52	0,52	0,01
Kontroll (N80)	1,35	1,47	1,35	1,75	1,92	1,83	0,56	0,37
Kontroll	1,51	1,40	1,45	1,62	1,63	1,58	0,12	0,18
Mélység (cm)	25-50 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,39	1,55	1,44	1,54	1,78	1,60	0,39	0,06
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,16	1,44	1,30	1,46	1,92	1,56	0,76	0,12
Olajretek zöldtrágya	1,22	1,42	1,08	1,33	1,55	1,40	0,33	-0,02
Pohánka zöldtrágya	1,01	1,25	0,91	1,14	1,21	1,29	0,20	0,04
Kontroll (N80)	1,36	1,30	1,28	1,57	1,53	1,59	0,17	0,29
Kontroll	1,32	1,45	1,21	1,47	1,80	1,75	0,48	0,29

6. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	I. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,13	2,48	7,60	0,89	1,13	5,78	1,86	1,75	0,72	-0,73
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,17	4,35	10,52	1,08	1,38	3,46	1,75	6,75	0,58	2,40
Olajretek zöldtrágya	0,70	2,32	5,36	1,02	1,25	1,68	1,16	5,92	0,46	3,60
Pohánka zöldtrágya	0,50	1,45	3,62	1,23	1,00	2,40	0,79	3,97	0,29	2,52
Kontroll (N80)	0,50	1,37	3,13	2,12	2,08	2,07	1,18	4,00	0,68	2,63
Kontroll	0,50	1,71	2,53	1,24	2,27	4,47	1,23	9,34	0,73	7,64
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	0,94	2,21	7,08	1,49	1,04	2,15	2,00	2,78	1,06	0,57
Tavaszi bükköny zöldtrágya	0,50	1,49	10,78	2,17	1,30	2,11	1,09	3,12	0,59	1,63
Olajretek zöldtrágya	0,73	1,57	3,92	1,88	1,49	1,59	1,08	3,57	0,34	2,00
Pohánka zöldtrágya	0,50	1,08	3,19	1,43	0,69	1,51	0,73	4,05	0,23	2,97
Kontroll (N80)	0,50	1,07	2,72	1,90	0,50	1,73	1,15	4,15	0,65	3,08
Kontroll	0,50	1,67	4,26	1,19	0,50	1,87	0,50	4,66	0,00	3,00

7. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	II. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,00	2,17	1,46	3,86	6,58	2,42	1,29	4,06	0,29	1,89
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,00	2,20	1,79	2,53	7,31	2,08	1,03	4,12	0,03	1,92
Olajretek zöldtrágya	1,03	2,96	1,73	1,93	6,51	2,38	1,24	2,46	0,21	-0,50
Pohánka zöldtrágya	1,00	1,72	1,19	2,96	6,97	1,65	1,00	2,15	0,00	0,42
Kontroll (N80)	1,00	1,45	1,47	4,87	8,66	8,20	1,29	2,84	0,29	1,38
Kontroll	1,00	1,58	1,31	1,35	6,24	1,07	1,00	2,74	0,00	1,16
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,14	2,20	1,29	2,39	3,78	3,03	1,28	3,90	0,15	1,70
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,00	1,41	1,51	2,84	4,44	2,69	1,11	8,86	0,11	7,45
Olajretek zöldtrágya	1,00	1,24	1,09	2,75	4,09	4,22	1,14	3,38	0,14	2,14
Pohánka zöldtrágya	1,09	1,56	1,03	1,94	3,58	2,14	1,00	2,08	-0,09	0,52
Kontroll (N80)	1,00	1,40	1,00	1,39	3,52	4,00	1,44	3,22	0,44	1,81
Kontroll	1,00	1,32	1,00	1,49	4,84	3,78	1,12	3,54	0,12	2,22

8. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	III. vetésforgó									
	0-25 cm									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,17	1,49	1,55	2,48	1,57	2,59	6,35	2,05	5,19	0,56
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,01	2,45	1,57	5,69	1,40	2,81	8,43	4,12	7,42	1,67
Olajretek zöldtrágya	1,07	1,87	1,34	1,31	1,42	2,04	8,29	3,24	7,22	1,37
Pohánka zöldtrágya	1,00	1,34	1,31	1,18	1,50	1,09	5,72	4,81	4,72	3,47
Kontroll (N80)	1,13	1,52	1,16	6,50	6,11	1,95	6,15	2,45	5,02	0,93
Kontroll	1,00	1,12	1,37	1,12	1,33	1,56	6,09	4,67	5,09	3,55
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	1,09	1,57	1,43	2,56	1,86	4,83	6,66	1,20	5,56	-0,37
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,38	1,44	1,03	4,07	1,03	1,68	5,95	4,45	4,57	3,01
Olajretek zöldtrágya	1,01	1,36	1,04	1,36	1,37	1,28	5,79	3,12	4,79	1,75
Pohánka zöldtrágya	1,02	1,36	1,21	1,46	1,16	1,00	5,45	2,15	4,44	0,80
Kontroll (N80)	1,00	1,91	1,17	2,26	1,14	1,31	4,11	6,03	3,11	4,12
Kontroll	1,00	1,62	1,00	1,39	1,00	1,00	4,00	1,00	3,00	-0,62

9. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	IV. vetésforgó							
	0-25 cm							
Mélység (cm)	0-25 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,45	2,71	1,44	3,49	1,15	3,29	-0,29	0,58
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,46	2,85	1,18	1,98	1,13	4,00	-0,34	1,15
Olajretek zöldtrágya	1,45	2,52	1,03	1,42	1,00	5,36	-0,45	2,84
Pohánka zöldtrágya	1,35	8,70	1,07	1,31	1,00	2,60	-0,35	-6,10
Kontroll (N80)	1,49	2,58	1,38	1,00	1,33	3,58	-0,16	1,00
Kontroll	1,48	2,50	1,55	1,63	1,36	2,45	-0,12	-0,05
Mélység (cm)	25-50 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	1,51	3,63	1,14	1,55	1,40	4,38	-0,11	0,74
Tavaszi bükköny zöldtrágya	1,40	2,62	1,07	1,16	1,16	4,59	-0,24	1,97
Olajretek zöldtrágya	1,24	2,33	1,02	1,13	1,21	5,32	-0,03	2,99
Pohánka zöldtrágya	1,48	2,45	1,00	1,06	1,02	2,56	-0,46	0,10
Kontroll (N80)	1,75	2,50	1,78	3,93	1,00	4,33	-0,75	1,83
Kontroll	1,33	2,54	1,92	2,02	1,47	5,33	0,14	2,80

10. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	I. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	346,3	364,6	328,3	301,3	400,3	314,4	328,7	348,4	-17,64	-16,21
Tavaszi bükköny zöldtrágya	170,8	164,7	259,8	143,3	188,3	126,7	173,5	179,8	2,69	15,04
Olajretek zöldtrágya	219,1	154,6	212,8	167,0	184,5	116,9	180,4	169,3	-38,67	14,67
Pohánka zöldtrágya	199,5	167,3	166,4	162,4	181,8	106,7	174,4	150,7	-25,04	-16,59
Kontroll (N80)	245,6	238,2	237,1	279,7	305,4	343,7	314,8	267,4	69,26	29,18
Kontroll	228,7	210,7	234,1	207,3	251,6	86,5	194,0	199,2	-34,64	-11,53
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	268,0	295,6	376,2	253,8	316,0	372,3	275,9	368,2	7,91	72,60
Tavaszi bükköny zöldtrágya	145,4	118,6	141,5	108,9	129,0	178,0	142,2	161,3	-3,19	42,68
Olajretek zöldtrágya	170,5	123,4	150,0	85,1	122,4	200,5	111,0	119,5	-59,48	-3,92
Pohánka zöldtrágya	109,8	113,6	125,1	78,7	77,1	200,0	103,2	121,0	-6,66	7,47
Kontroll (N80)	266,5	194,7	273,7	107,1	176,8	321,4	354,0	307,5	87,48	112,82
Kontroll	140,2	151,4	153,4	112,9	70,2	188,6	122,4	107,0	-17,77	-44,44

11. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	II. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	353,8	301,8	332,6	366,7	351,8	331,2	336,6	292,2	-17,17	-9,63
Tavaszi bükköny zöldtrágya	198,9	169,8	170,9	179,7	176,1	173,8	166,4	158,6	-32,48	-11,21
Olajretek zöldtrágya	202,0	187,5	211,9	190,4	194,8	224,1	192,9	170,2	-9,04	-17,30
Pohánka zöldtrágya	172,8	160,5	193,6	185,3	192,8	197,4	188,1	158,9	15,34	-1,51
Kontroll (N80)	237,5	228,0	242,1	216,1	265,5	291,7	257,6	235,9	20,09	7,95
Kontroll	258,8	233,3	220,9	234,4	245,5	229,5	230,2	180,4	-28,54	-52,82
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	272,6	204,8	275,4	312,4	288,0	276,2	269,8	281,4	-2,76	76,60
Tavaszi bükköny zöldtrágya	139,8	121,4	135,4	128,3	142,0	137,8	140,6	126,9	0,83	5,54
Olajretek zöldtrágya	126,2	110,5	122,3	142,0	117,8	154,6	159,7	130,4	33,49	19,84
Pohánka zöldtrágya	87,5	92,7	109,3	59,3	90,7	120,0	121,2	100,5	33,76	7,78
Kontroll (N80)	125,8	106,4	86,3	73,6	146,4	152,5	153,3	118,3	27,45	11,86
Kontroll	149,5	143,8	161,1	121,1	166,2	179,6	175,5	108,9	26,01	-34,90

12. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	III. vetésforgó									
	0-25 cm									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	370,9	276,0	325,4	350,9	317,3	366,8	335,1	288,9	-35,78	12,90
Tavaszi bükköny zöldtrágya	213,9	175,5	190,2	195,7	202,6	241,9	211,6	153,3	-2,29	-22,19
Olajretek zöldtrágya	201,2	152,9	197,6	189,2	201,5	184,8	203,6	169,6	2,43	16,70
Pohánka zöldtrágya	157,9	127,7	182,0	141,4	167,0	202,9	198,9	182,5	41,03	54,78
Kontroll (N80)	276,1	254,8	201,0	218,6	239,7	261,8	235,6	215,6	-40,53	-39,17
Kontroll	216,7	198,3	251,4	232,4	221,8	268,2	226,9	218,9	10,17	20,62
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	202,4	211,1	232,2	243,9	219,9	265,5	172,3	211,8	-30,11	0,74
Tavaszi bükköny zöldtrágya	159,1	99,2	125,3	132,0	136,7	137,1	171,5	121,9	12,34	22,74
Olajretek zöldtrágya	147,7	101,4	115,0	151,3	126,4	133,2	117,4	145,2	-30,33	43,86
Pohánka zöldtrágya	108,0	87,3	81,3	97,1	77,7	90,1	62,6	143,4	-45,41	56,05
Kontroll (N80)	106,0	160,6	116,8	231,0	127,9	175,9	83,7	132,6	-22,27	-27,98
Kontroll	182,1	110,3	125,1	162,5	97,4	127,1	113,2	156,3	-68,89	45,96

13. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	IV. vetésforgó							
Mélység (cm)	0-25 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	342,4	438,7	396,3	433,5	471,0	334,1	128,64	-104,68
Tavaszi bükköny zöldtrágya	291,4	278,9	245,8	287,9	345,6	224,4	54,16	-54,53
Olajretek zöldtrágya	236,6	290,6	250,2	270,5	276,2	237,5	39,64	-53,07
Pohánka zöldtrágya	205,4	264,3	220,3	225,9	212,1	219,1	6,75	-45,19
Kontroll (N80)	251,7	328,7	310,6	284,6	313,3	276,7	61,59	-51,95
Kontroll	285,3	287,0	301,3	303,5	218,9	250,9	-66,33	-36,14
Mélység (cm)	25-50 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfűrt zöldtrágya	286,4	333,2	228,3	248,8	249,8	273,5	-36,57	-59,61
Tavaszi bükköny zöldtrágya	150,6	197,4	197,4	169,8	180,1	185,5	29,53	-11,91
Olajretek zöldtrágya	177,9	180,2	122,3	168,7	187,9	188,9	9,91	8,65
Pohánka zöldtrágya	115,9	165,6	94,6	103,8	119,2	133,3	3,30	-32,36
Kontroll (N80)	210,0	256,0	181,4	166,2	214,9	184,4	4,91	-71,59
Kontroll	210,0	267,0	263,5	221,8	124,3	209,2	-85,63	-57,85

14. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	I. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	284,3	370,8	334,6	334,1	357,7	318,6	323,8	316,1	39,57	-54,67
Tavaszi bükköny zöldtrágya	175,2	201,5	242,1	187,3	194,3	138,2	192,0	203,7	16,77	2,26
Olajretek zöldtrágya	190,3	230,3	253,6	200,5	188,5	175,4	196,9	197,0	6,63	-33,30
Pohánka zöldtrágya	170,5	204,7	182,8	186,8	169,6	135,5	170,2	163,8	-0,25	-40,84
Kontroll (N80)	197,3	264,0	229,8	242,2	202,2	153,4	234,3	214,2	37,07	-49,80
Kontroll	181,6	265,4	263,0	265,8	241,3	133,5	220,1	200,2	38,55	-65,15
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	237,7	266,3	311,1	229,6	270,3	372,6	296,2	303,3	58,45	36,95
Tavaszi bükköny zöldtrágya	135,7	144,6	163,6	128,5	145,1	226,9	178,1	144,9	42,41	0,32
Olajretek zöldtrágya	154,5	164,3	181,7	127,5	127,0	221,3	147,0	148,5	-7,50	-15,86
Pohánka zöldtrágya	122,6	143,2	188,4	120,2	111,5	197,4	151,8	146,4	29,18	3,18
Kontroll (N80)	139,4	205,3	280,9	137,0	186,7	252,5	176,1	173,6	36,69	-31,69
Kontroll	135,2	186,5	218,0	172,9	133,4	258,0	165,5	153,8	30,32	-32,71

15. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	II. vetésforgó									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	326,6	334,2	361,3	344,1	335,9	367,5	323,3	380,9	-3,33	46,77
Tavaszi bükköny zöldtrágya	256,8	208,4	209,1	210,1	207,2	222,4	176,8	214,2	-80,08	5,81
Olajretek zöldtrágya	198,3	225,8	229,6	209,0	187,9	226,6	180,4	206,0	-17,84	-19,79
Pohánka zöldtrágya	169,6	212,9	199,5	203,9	180,6	204,9	181,0	201,5	11,39	-11,37
Kontroll (N80)	230,4	271,7	237,4	241,8	225,2	283,5	199,2	269,0	-31,18	-2,76
Kontroll	206,1	243,9	250,2	204,8	219,7	228,1	204,5	176,6	-1,64	-67,34
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	239,8	252,8	298,9	306,5	276,0	313,7	328,6	365,3	88,71	112,55
Tavaszi bükköny zöldtrágya	140,4	160,1	165,6	148,3	159,3	170,4	153,8	197,5	13,46	37,43
Olajretek zöldtrágya	126,2	138,4	146,6	150,7	117,1	172,7	152,7	173,9	26,50	35,49
Pohánka zöldtrágya	124,4	126,5	141,3	114,7	108,5	157,1	144,5	153,2	20,09	26,65
Kontroll (N80)	143,0	131,7	124,4	119,6	134,8	170,3	167,5	160,2	24,42	28,45
Kontroll	149,2	174,6	181,8	139,6	165,2	184,0	160,3	166,0	11,15	-8,62

16. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	III. vetésforgó									
	0-25 cm									
Mélység (cm)	0-25 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	287,7	350,1	415,7	347,6	325,8	420,8	363,8	283,0	76,05	-67,13
Tavaszi bükköny zöldtrágya	192,8	223,1	229,7	217,9	195,1	238,8	228,7	169,1	35,95	-53,98
Olajretek zöldtrágya	181,1	209,6	215,7	218,9	187,6	208,2	205,8	159,2	24,63	-50,40
Pohánka zöldtrágya	139,2	170,9	190,6	179,4	152,7	200,4	182,2	162,8	43,01	-8,12
Kontroll (N80)	217,0	291,4	241,7	217,6	195,6	293,3	237,7	217,2	20,75	-74,20
Kontroll	217,6	254,9	256,8	247,7	200,9	297,0	226,7	218,4	9,07	-36,46
Mélység (cm)	25-50 cm									
Vizsgálat időpontja	2020. 05.20	2020. 10.22	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	232,4	275,1	296,2	284,6	272,6	368,4	262,5	273,0	30,12	-2,15
Tavaszi bükköny zöldtrágya	180,7	165,8	168,7	145,7	165,6	170,8	179,8	169,8	-0,86	3,97
Olajretek zöldtrágya	140,8	135,0	140,8	148,1	119,7	154,9	137,5	147,4	-3,31	12,40
Pohánka zöldtrágya	130,6	133,2	139,4	130,4	99,3	125,4	122,4	157,7	-8,22	24,51
Kontroll (N80)	138,5	181,6	185,5	250,7	133,1	215,6	129,1	162,8	-9,45	-18,76
Kontroll	222,7	180,4	186,8	172,5	153,2	175,2	167,4	195,8	-55,24	15,42

17. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)

Vetésforgó	IV. vetésforgó							
	0-25 cm							
Mélység (cm)	0-25 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	369,6	355,8	345,2	469,4	351,2	403,7	-18,42	47,86
Tavaszi bükköny zöldtrágya	248,0	243,0	228,6	279,4	226,8	252,3	-21,20	9,27
Olajretek zöldtrágya	228,1	207,9	202,4	267,8	221,2	251,2	-6,89	43,32
Pohánka zöldtrágya	223,2	215,6	166,5	216,2	175,4	196,7	-47,85	-18,93
Kontroll (N80)	290,4	260,0	261,5	314,4	198,3	303,0	-92,12	42,99
Kontroll	348,2	258,0	269,8	368,9	220,9	275,3	-127,27	17,31
Mélység (cm)	25-50 cm							
Vizsgálat időpontja	2021. 05.19	2021. 12.08	2022. 05.16	2022. 11.02	2023. 05.08	2023. 11.22	Változás május	Változás november
Csillagfürt zöldtrágya	332,0	317,1	282,0	388,8	325,6	397,3	-6,48	80,16
Tavaszi bükköny zöldtrágya	204,3	205,1	213,6	226,6	216,3	239,5	11,97	34,42
Olajretek zöldtrágya	180,8	152,4	132,8	160,0	161,7	180,4	-19,14	28,04
Pohánka zöldtrágya	165,0	171,7	129,3	124,2	144,8	160,3	-20,25	-11,35
Kontroll (N80)	261,9	261,0	188,3	184,9	213,4	231,3	-48,49	-29,67
Kontroll	244,9	261,9	296,0	271,3	170,3	256,4	-74,51	-5,52

18. melléklet. Magcélú csillagfürt növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyésztidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023)

	márc_ csap	ápr_ csap	máj_ csap	jún_ csap	júl_ csap	teny_ csap	márc_ hőm	ápr_ hőm	máj_ hőm	jún_ hőm	júl_ hőm	teny_ hőm	hüvely- szám	mag- szám	mag- súly	eszt	hozam
márc_ csap	1	,021	-,551**	,245	,168	-,112	,799**	,164	,768**	-,785**	-,340	-,881**	,013	,043	,483*	,612**	,706**
ápr_ csap		1	,789**	-,918**	-,789**	-,026	-,538**	-,755**	,354	,600**	,924**	-,189	-,525**	-,556**	-,246	,372	,059
máj_ csap			1	-,944**	-,588**	-,193	-,939**	-,548**	-,023	,939**	,901**	,243	-,603**	-,633**	-,648**	-,080	-,496*
jún_ csap				1	,600**	,288	,777**	,555**	-,285	-,778**	-,905**	,072	,706**	,728**	,575**	-,144	,310
júl_ csap					1	-,582**	,439*	,998**	,180	-,589**	-,872**	-,270	-,013	,047	-,155	-,257	-,270
teny_ csap						1	,153	-,626**	-,635**	,019	,146	,541**	,743**	,691**	,695**	,049	,518**
márc_ hőm							1	,407*	,300	-,982**	-,758**	-,507*	,473*	,503*	,701**	,319	,679**
ápr_ hőm								1	,213	-,563**	-,845**	-,293	-,063	-,003	-,198	-,252	-,297
máj_ hőm									1	-,365	-,017	-,974**	-,569**	-,530**	-,123	,522**	,229
jún_ hőm										1	,834**	,562**	-,375	-,415*	-,578**	-,266	-,560**
júl_ hőm											1	,198	-,397	-,444*	-,304	,143	-,120
teny_ hőm												1	,403	,361	-,052	-,545**	-,364
hüvely- szám													1	,991**	,827**	-,196	,447*
mag- szám														1	,835**	-,200	,436*
mag- súly															1	,305	,759**
eszt																1	,443*
hozam																	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Sárga színnel jelölve az erős pozitív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek. Piros színnel jelölve az erős negatív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek.

19. melléklet. Magcélú, támasztónövényvel vetett tavaszi bükköny növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023)

	márc_ csap	ápr_ csap	máj_ csap	jún_ csap	júl_ csap	teny_ csap	márc_ hőm	ápr_ hőm	máj_ hőm	jún_ hőm	júl_ hőm	teny_ hőm	hüvely- szám	mag- szám	mag- súly	eszt	hozam
márc_ csap	1	,021	-,551	,245	,168	,047	,799**	,164	,768**	-,785**	-,340	-,968**	,001	-,097	-,057	,036	,186
ápr_ csap		1	,789**	-,918**	-,789**	-,268	-,538	-,755**	,354	,600*	,924**	-,269	-,419	-,454	-,505	-,375	-,141
máj_ csap			1	-,944**	-,588*	-,469	-,939**	-,548	-,023	,939**	,901**	,329	-,533	-,500	-,560	-,525	-,444
jún_ csap				1	,600*	,544	,777**	,555	-,285	-,778**	-,905**	-,001	,633*	,633*	,685*	,610*	,460
júl_ csap					1	-,342	,439	,998**	,180	-,589*	-,872**	,024	-,155	-,132	-,074	-,200	-,409
teny_ csap						1	,409	-,394	-,579*	-,255	-,141	,041	,913**	,896**	,895**	,932**	,961**
márc_ hőm							1	,407	,300	-,982**	-,758**	-,631*	,426	,360	,417	,437	,449
ápr_ hőm								1	,213	-,563	-,845**	,018	-,206	-,183	-,127	-,252	-,457
máj_ hőm									1	-,365	-,017	-,838**	-,594*	-,668*	-,646*	-,569	-,423
jún_ hőm										1	,834**	,605*	-,304	-,246	-,309	-,307	-,288
júl_ hőm											1	,099	-,282	-,282	-,346	-,250	-,075
teny_ hőm												1	,121	,223	,197	,076	-,125
hüvely- szám													1	,992**	,988**	,827**	,881**
mag- szám														1	,996**	,832**	,851**
mag- súly															1	,854**	,843**
eszt																1	,868**
hozam																	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Sárga színnel jelölve az erős pozitív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek. Piros színnel jelölve az erős negatív, $p < 0,05$ szinten szignifikáns korrelációs értékek.

20. melléklet. Magcélú, tisztán vetett tavaszi bükköny növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023)

	márc_ csap	ápr_ csap	máj_ csap	jún_ csap	júl_ csap	teny_ csap	márc_ hőm	ápr_ hőm	máj_ hőm	jún_ hőm	júl_ hőm	teny_ hőm	hüvely- szám	mag- szám	mag- súly	eszt	hozam
márc_ csap	1	,021	-,551	,245	,168	,047	,799**	,164	,768**	-,785**	-,340	-,968**	,208	,221	,156	-,217	,849**
ápr_ csap		1	,789**	-,918**	-,789**	-,268	-,538	-,755**	,354	,600*	,924**	-,269	-,156	-,095	-,290	-,511	,114
máj_ csap			1	-,944**	-,588*	-,469	-,939**	-,548	-,023	,939**	,901**	,329	-,456	-,415	-,533	-,479	-,500
jún_ csap				1	,600*	,544	,777**	,555	-,285	-,778**	-,905**	-,001	,465	,412	,573	,655*	,256
júl_ csap					1	-,342	,439	,998**	,180	-,589*	-,872**	,024	-,364	-,410	-,265	-,112	-,205
teny_ csap						1	,409	-,394	-,579*	-,255	-,141	,041	,917**	,902**	,946**	,910**	,458
márc_ hőm							1	,407	,300	-,982**	-,758**	-,631*	,463	,440	,494	,296	,732**
ápr_ hőm								1	,213	-,563	-,845**	,018	-,410	-,454	-,315	-,165	-,225
máj_ hőm									1	-,365	-,017	-,838**	-,384	-,354	-,466	,781**	,432
jún_ hőm										1	,834**	,605*	-,311	-,284	-,352	-,187	-,632*
júl_ hőm											1	,099	-,103	-,051	-,209	-,291	-,138
teny_ hőm												1	-,143	-,171	-,060	,352	-,836**
hüvely- szám													1	,992**	,982**	,797**	,592*
mag- szám														1	,975**	,767**	,611*
mag- súly															1	,875**	,532
eszt																1	,159
hozam																	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Sárga színnel jelölve az erős pozitív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek. Piros színnel jelölve az erős negatív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek.

21. melléklet. Magcélú olajretek növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészedőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023)

	márc_ csap	ápr_ csap	máj_ csap	jún_ csap	júl_ csap	teny_ csap	márc_ hőm	ápr_ hőm	máj_ hőm	jún_ hőm	júl_ hőm	teny_ hőm	becő- szám	mag- szám	mag- súly	eszt	hozam
márc_ csap	1	,021	-,551**	,245	,168	,174	,799**	,164	,768**	-,785**	-,340	,178	-,574**	-,395	-,243	,175	,582**
ápr_ csap		1	,789**	-,918**	-,789**	-,138	-,538**	-,755**	,354	,600**	,924**	,257	,317	,302	,437*	,484*	,401
máj_ csap			1	-,944**	-,588**	-,440*	-,939**	-,548**	-,023	,939**	,901**	,330	,475*	,326	,323	,105	-,169
jún_ csap				1	,600**	,461*	,777**	,555**	-,285	-,778**	-,905**	-,471*	-,315	-,210	-,263	-,173	-,018
júl_ csap					1	-,430*	,439*	,998**	,180	-,589**	-,872**	,386	-,616**	-,657**	-,796**	-,804**	-,605**
teny_ csap						1	,443*	-,478*	-,445*	-,277	-,063	-,931**	,284	,460*	,570**	,715**	,701**
márc_ hőm							1	,407*	,300	-,982**	-,758**	-,218	-,539**	-,352	-,280	,051	,405*
ápr_ hőm								1	,213	-,563**	-,845**	,436*	-,622**	,671**	,811**	,823**	-,623**
máj_ hőm									1	-,365	-,017	,740**	-,569**	,518**	-,414*	-,124	,212
jún_ hőm										1	,834**	,068	,630**	,469*	,426*	,117	-,254
júl_ hőm											1	,051	,559**	,500*	,585**	,489*	,252
teny_ hőm												1	-,438*	,551**	,590**	,581**	-,437*
becő- szám													1	,920**	,842**	,336	,123
mag- szám														1	,961**	,463*	,335
mag- súly															1	,677**	,530**
eszt																1	,780**
hozam																	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Sárga színnel jelölve az erős pozitív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek. Piros színnel jelölve az erős negatív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek.

22. melléklet. Magcélú pohánka növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023)

	máj_ csap	jún_ csap	júl_ csap	aug_ csap	teny_ csap	máj_ hőm	jún_ hőm	júl_ hőm	aug_ hőm	teny_ hőm	mag- szám	mag- súly	eszt	hozam
máj_ csap	1	-,944**	-,588**	,253	-,892**	-,023	,939**	,901**	-,760**	,481*	-,690**	-,548**	-,455*	-,736**
jún_ csap		1	,600**	-,260	,979**	-,285	-,778**	-,905**	,576**	-,724**	,754**	,550**	,651**	,709**
júl_ csap			1	-,927**	,440*	,180	-,589**	-,872**	,769**	-,644**	,028	-,116	,438*	-,062
aug_ csap				1	-,081	-,303	,316	,626**	-,628**	,475*	,315	,402	-,252	,417*
teny_ csap					1	-,431*	-,683**	-,801**	,414*	-,714**	,838**	,631**	,668**	,786**
máj_ hőm						1	-,365	-,017	,594**	,635**	-,469*	-,289	-,577**	-,255
jún_ hőm							1	,834**	-,904**	,215	-,491*	-,423*	-,217	-,612**
júl_ hőm								1	-,807**	,692**	-,461*	-,283	-,559**	-,419*
aug_ hőm									1	-,163	,123	,086	,116	,243
teny_ hőm										1	-,423*	-,169	-,800**	-,194
mag- szám											1	,912**	,522**	,824**
mag- súly												1	,441*	,724**
eszt													1	,307
hozam														1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Sárga színnel jelölve az erős pozitív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek. Piros színnel jelölve az erős negatív, $p < 0,01$ szinten szignifikáns korrelációs értékek.

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra. A zöldítési modul (A) és vetőmagtermesztési modul (B) látképe október hónapban (Nyíregyháza, 2020)	38
2. ábra. A 2020-as év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2020)	41
3. ábra. A 2021-es év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2021)	42
4. ábra. A 2022-es év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2022)	43
5. ábra. A 2023-as év havi átlaghőmérsékletének és csapadékviszonyának alakulása a 20 éves átlagértékekhez viszonyítva (Nyíregyháza, 2023)	44
6. ábra. A vetésforgó kísérlet parcelláinak elrendezése	48
7. ábra. A vetőmagtermesztési modul parcellatérképe	51
8. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2020)	60
9. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2021)	61
10. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2022)	62
11. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az alkalmazott állománysűrűségek átlagában, eltérő elővetemények esetében (Nyíregyháza, 2023)	63
12. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az eltérő évjáratokban, tritikálé előveteményt követő alkalmazás esetén (Nyíregyháza, 2020-2023)	64
13. ábra. Zöldtrágya növények föld feletti nyers biomassza hozamának alakulása az eltérő évjáratokban, zab előveteményt követő alkalmazás esetén (Nyíregyháza, 2020-2023)	65
14. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a vizsgált vetésforgókban, tritikálé, illetve zab állományban (Nyíregyháza, 2020.08.10)	67
15. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a II. vetésforgóban tritikálé állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.05.19)	68
16. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a III. vetésforgóban zab állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.05.19)	69
17. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a II. vetésforgóban tritikálé állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.07.01)	70
18. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a III. vetésforgóban zab állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2021.07.01)	71
19. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása az I. vetésforgóban tritikálé állományban, 2020-ban történő zöldtrágyázás esetében (Nyíregyháza, 2022.05.16)	72
20. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a III. vetésforgóban tritikálé állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2022.05.16)	73

21. ábra. Talaj nedvességtartalom értékeinek alakulása a IV. vetésforgóban zab állományban különböző zöldtrágya kezelések esetében (Nyíregyháza, 2022.05.16)	73
22. ábra. Talaj nedvességtartalmának alakulása a II. vetésforgóban különböző zöldtrágya kezelések esetében, tritikálé elővetemény után (Nyíregyháza, 2023.08.09)	74
23. ábra. Talaj nedvességtartalmának alakulása a III. vetésforgóban különböző zöldtrágya kezelések esetében, kukorica állományban (Nyíregyháza, 2023.08.09)	75
24. ábra. A vizsgált vetésforgók talajjellenállás értékeinek alakulása különböző növénykultúrákban (Nyíregyháza, 2020.05.19)	76
25. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban, tritikálé állományban (Nyíregyháza, 2021.05.19)	77
26. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, zab állományban (Nyíregyháza, 2021.05.19)	77
27. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban, tritikálé előveteményt követően (Nyíregyháza, 2021.08.26)	78
28. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, zab előveteményt követően (Nyíregyháza, 2021.08.26)	79
29. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, tritikálé állományban (Nyíregyháza, 2022.05.16)	80
30. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a IV. vetésforgóban, zab állományban (Nyíregyháza, 2022.05.16)	80
31. ábra. Talajjellenállás értékek alakulása különböző zöldtrágyakezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban, kukorica állományban (Nyíregyháza, 2023.08.10)	81
32. ábra. Tritikálé, zab és kukorica hozamának alakulása a különböző vetésforgókban a kísérlet első évében (Nyíregyháza, 2020)	82
33. ábra. Kukorica hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén az I. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)	83
34. ábra. Tritikálé hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)	83
35. ábra. Tritikálé hozamának alakulása kukorica elővetemény esetén a IV. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)	84
36. ábra. Zab hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2021)	85
37. ábra. Tritikálé hozamának alakulása kukorica elővetemény, illetve 2020-ban alkalmazott különböző zöldtrágya kezelések esetén az I. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)	86
38. ábra. Tritikálé hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)	86
39. ábra. Kukorica hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a II. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)	87
40. ábra. Zab hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a IV. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2022)	88
41. ábra. Zab hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén az I. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)	88

42. ábra. Tritikálé hozamának alakulása kukorica elővetemény, illetve két évvel korábban alkalmazott különböző zöldtrágya kezelések esetén a II. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)	89
43. ábra. Tritikálé hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a IV. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)	90
44. ábra. Kukorica hozamának alakulása különböző zöldtrágya kezelések alkalmazása esetén a III. vetésforgóban (Nyíregyháza, 2023)	90
45. ábra. Különböző elővetemények, illetve tápanyagellátási szintek hatása a kukorica hozamára (Nyíregyháza, 2021)	107
46. ábra. Különböző fővetésben vetett zöldtrágyanövény elővetemények, illetve tápanyagellátási szintek hatása a kukorica hozamára (Nyíregyháza, 2022)	107
47. ábra. Különböző elővetemények, illetve tápanyagellátási szintek hatása a kukorica hozamára (Nyíregyháza, 2023)	108

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. **táblázat.** Zöldtrágyanövények előveteményértéke a főnövény hozama tekintetében különböző irodalmi források alapján 12
2. **táblázat.** A kísérletben résztvevő vetésforgók talajainak elemzése 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységben (Nyíregyháza, 2020) 39
3. **táblázat.** A vetőmagtermesztési kísérlet talajainak elemzése 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységben, a termesztett növényfajok szerint (Nyíregyháza, 2020) 40
4. **táblázat.** A vetésforgóban vizsgált növényfajok vegetációs periódusára jellemző meteorológiai adatok (Nyíregyháza, 2020-2023) 46
5. **táblázat.** A fővetésben vetett zöldtrágya növényfajok vegetációs periódusára jellemző meteorológiai adatok (Nyíregyháza, 2020-2023) 47
6. **táblázat.** A zöldítési modulban alkalmazott vetésforgó rendszerek növényi sorrendjei a vizsgált évjáratokban 49
7. **táblázat.** A zöldítési modul vetésforgó rendszerű kísérletében alkalmazott vetőmagdózisok 50
8. **táblázat.** A vetőmagtermesztési modulban alkalmazott állománysűrűségek és sortávolságok a különböző zöldtrágyanövényfajok, illetve kukorica termesztése esetén 51
9. **táblázat.** Penetrométeres mérések kivitelezésének rendje 53
10. **táblázat.** Talajmintavételek időpontjai nedvességtartalom meghatározása céljából 54
11. **táblázat.** Talajmintavételezések kivitelezésének időpontjai tápanyagtartalom meghatározása céljából, illetve a mérések területei 55
12. **táblázat.** Növényi paraméter vizsgálatok a fővetésben termesztett zöldtrágya növényfajok esetében 57
13. **táblázat.** Pearson-féle korrelációs értékek a zöldtrágyanövények tenyészidőszakában lehullott csapadékmennyiség és a biomasszahozam között, illetve az elővetemények hozama között 66
14. **táblázat.** Tritikálé, zab és kukorica termés hozamainak alakulása a vizsgált évjáratokban különböző zöldtrágya kezelések, illetve műtrágya és kontroll kezelések esetén (Nyíregyháza, 2020-2023) 92
15. **táblázat.** A talaj szervesanyag tartalmának változása (%), illetve nitrit + nitrát N tartalom változása (mg/kg) a vizsgált vetésforgók átlagában a kísérlet kezdő értékeihez viszonyítva májusi és novemberi mérés alkalmával zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023) 94
16. **táblázat.** A talaj felvehető P és K tartalmának változása (mg/kg) a vizsgált vetésforgók átlagában a kísérlet kezdő értékeihez viszonyítva májusi és novemberi mérés alkalmával zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 cm-es és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023) 96
17. **táblázat.** Fővetésben vetett csillagfürt termésképző paramétereinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 98

- 18. táblázat.** Fővetésben vetett csillagfürt terméseredményeinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 99
- 19. táblázat.** Fővetésben vetett tavaszi bükköny termésképző elemeinek alakulása támasztónövénnyel, illetve tisztán vetett állomány, illetve különböző tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 101
- 20. táblázat.** Fővetésben vetett tavaszi bükköny terméseredményeinek alakulása támasztónövénnyel, illetve tisztán vetett állomány, illetve különböző tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 102
- 21. táblázat.** Fővetésben vetett olajretek termésképző paramétereinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 103
- 22. táblázat.** Fővetésben vetett olajretek termésének alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 104
- 23. táblázat.** Fővetésben vetett pohánka termésképző paramétereinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020, 2022, 2023) 105
- 24. táblázat.** Fővetésben vetett pohánka terméseredményeinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023) 106

KÉPEK JEGYZÉKE

1. **kép.** A kísérletek elhelyezkedése a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet területén 38
2. **kép.** Tritikálé és zab kísérleti parcellák a vizsgált vetésforgó rendszerekben (Forrás: Pál, 2020) 49
3. **kép.** Talajminták előkészítése gravimetriás nedvességtartalom meghatározáshoz (Forrás: Pál, 2023) 54
4. **kép.** Zöldtrágya növények mintázása 50x50 cm-es mintaterületen a föld feletti nyers biomassza hozam megállapítása érdekében (Forrás: Pál, 2023) 56

MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

1. melléklet. Különböző állománysűrűségben vetett zöldtrágyanövények föld feletti nyers biomassza hozamának ($t\ ha^{-1}$) alakulása különböző elővetemények, illetve évjáratok esetében (Nyíregyháza, 2020-2023)	158
2. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	159
3. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	160
4. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	161
5. melléklet. A talaj szervesanyag tartalmának alakulása (m/m %) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	162
6. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	163
7. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	164
8. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	165
9. melléklet. A talaj nitrit + nitrát N tartalmának alakulása (mg/kg) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	166
10. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	167
11. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	168
12. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	169
13. melléklet. A talaj felvehető P tartalmának alakulása (mg/kg) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023)	170

14. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) az I. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023) 171
15. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) a II. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023) 172
16. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) a III. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023) 173
17. melléklet. A talaj felvehető K tartalmának alakulása (mg/kg) a IV. vetésforgóban, illetve a változás mértéke zöldtrágyázott vetésforgó rendszerekben a talaj 0-25 és 25-50 cm-es mélységében (Nyíregyháza, 2020-2023) 174
18. melléklet. Magcélú csillagfürt növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023) 175
19. melléklet. Magcélú, támasztónövényvel vetett tavaszi bükköny növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023) 176
20. melléklet. Magcélú, tisztán vetett tavaszi bükköny növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023) 177
21. melléklet. Magcélú olajretek növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023) 178
22. melléklet. Magcélú pohánka növényparamétereinek és terméseredményeinek *Pearson*-féle korrelációs kapcsolata a tenyészidőszakra jellemző hőmérsékleti és csapadék értékek alakulásával (Nyíregyháza, 2020-2023) 179