

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Zöldítésben alkalmazott növények produkcióbiológiájának és talajra gyakorolt hatásának vizsgálata

Pál Vivien
doktorjelölt

Témavezető:

Dr. Zsombik László
tudományos tanácsadó



DEBRECENI EGYETEM

**Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori
Iskola**

Debrecen
2025

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

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. 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. 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 CO₂ 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 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 szén-

dioxidot köt meg, továbbá a megtermelt szervesanyag talajba forgatása révén a következő kultúra számára a műtrágya igény csökkenthető. A hazai zöldtrágyázási gyakorlat nagymértékben külföldi eredményekre és tapasztalatokra támaszkodik. Ugyanakkor hazánk sajátos ökológiai és termelési viszonyai, egyedülálló vetésszerkezete az alkalmazástechnológia validálását teszik szükségessé. A jelenleg alkalmazott zöldtrágyázási stratégiák sok esetben sematikusak, így az alkalmazott zöldtrágyanövények pozitív hatása nem minden esetben érvényesül.

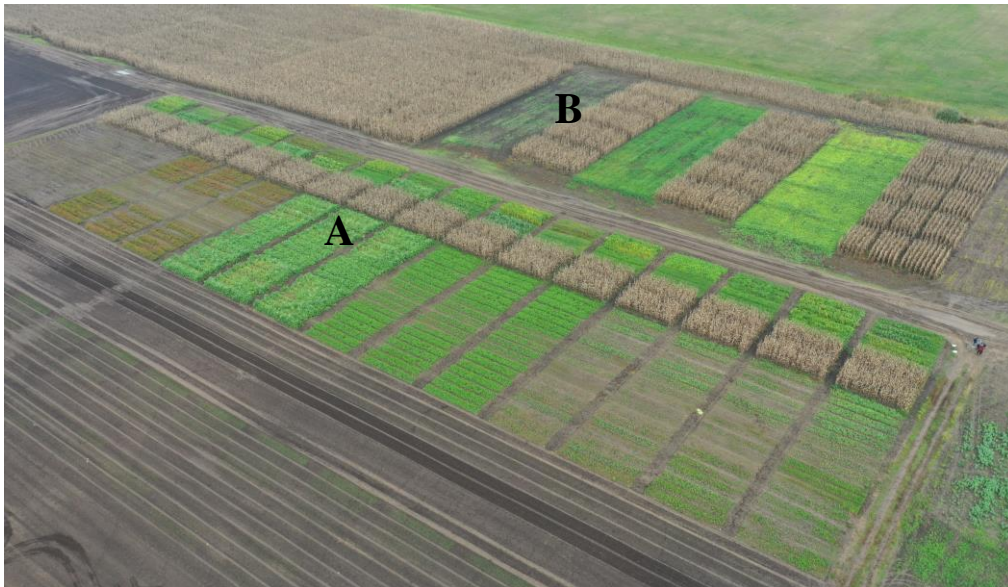
Kutatómunkánk során a zöldítésben alkalmazható növényfajok közül a csillagfürt, tavaszi bükköny, olajretek és pohánka zöldtrágya növények esetében vizsgáltuk azok biomassza hozamát, illetve a talajra, annak tápanyagtartalmára és az utóveteményre gyakorolt hatását. Tekintettel a zöldtrágyanövények vetőmagtermesztéséhez 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. ANYAG ÉS MÓDSZER

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

A zöldítési modul kísérletének 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 a 0-25 cm-es rétegben 1,37 és 2,07 között, a 25-50 cm-es rétegben 1,07 és 1,37 % között alakul. Az AL-oldható káliumtartalom esetében a talajok igen jó ellátottságúak. AL-oldható foszfortartalom tekintetében a vetésforgók talajai a 0-25 cm-es rétegben igen jól ellátottak. A 25-50 cm-es mélységben az I. vetésforgó talaja jó foszfor ellátottságú, a II., III. és IV. vetésforgók talajai közepes ellátottságúak.

A kísérlet vetőmagtermesztési moduljában 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 0-25 cm-es mélységben 1,36 – 1,89 %, a 25-50 cm-es mélységben 1,24 – 1,85 %. A talajok AL-oldható kálium tartalma, illetve foszfor tartalma az igen jó ellátottsági kategóriába tartozik.

A kutatómunkánk helyszínéül szolgáló terület Nyíregyháza külterülete, 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 µMETOS by Pessl típusú meteorológiai állomás biztosította.

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 zöldtrágyanövények tenyészidőszaka folyamán októberben 103,5 mm csapadék hullott, amely kedvező feltételeket biztosított a biomasszahozam fejlődéséhez.

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, ami negatívan befolyásolta a kukorica optimális fejlődését. A szeptemberi és októberi csapadékmennyiség is elmaradt az átlagértékektől. 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.

A 2022-es évjárat igen szélsőségesnek volt a csapadékellátottság 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 érkezett, 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 tekintve a június, július, augusztusi hónapok 1,6 – 1,9 °C-kal haladták meg az átlagértékeket a csapadékhiány mellé társulva.

A 2023-as év csapadékmennyisége 590 mm volt, amely 22 mm-rel haladja meg a 20 éves átlagértéket. 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.

A kutatásban szereplő másodvetésben vetett zöldtrágyanövényfajok (csillagfürt, 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) (1. táblázat). A zöldtrágyakezelések mellett összehasonlítási alapként csak műtrágyázott, illetve kontroll parcellák is szerepelnek, a zöldtrágya növényeket növényfajonként három állománysűrűségben alkalmaztuk (2. táblázat). 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, mészzammon-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, 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.

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

Év	I.	II.	III.	IV.
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. 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		

A zöldtrágya növényfajok magcélú termesztése során mind a négy zöldtrágya növényfaj esetében két állománysűrűséget (3. táblázat) és három tápanyagellátási szintet alkalmaztunk, továbbá vizsgáltuk a fajok előveteményértékét kukorica növényen. A három tápanyagellátási szintet mind a fővetésben vetett zöldtrágya növények tenyészidőszaka során, mind a kukorica tenyészidőszaka 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 műtrágya kezeléseket vetés előtt parcellavetőgéppel végeztük el, fejtrágyaként kézzel juttattuk ki az érintett parcellákra. A kezeléseket randomizált blokk elrendezésben, négy ismétlésben alkalmaztuk. A kísérlet 8 blokkot foglal magába, melyen belül vetésváltásban történik a kukorica és a fővetésben vetett, magcélú zöldtrágyanövény fajok termesztése.

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

Faj/Dózis	1	2	Sortávolság
	millió csíra ha ⁻¹	millió csíra ha ⁻¹	cm
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 1.5	2.3	12
Olajretek (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiferus</i> cv. <i>Litinia</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

A zöldítési modulban 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. A

talajellenállás méréseit minden kezelés második ismétlésében, parcellánként három ismétlésben végeztük, a kísérlet időtartama alatt azonos parcellákon. 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.

A zöldítési modulban 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 kísérlet időtartama alatt azonos parcellákból történt. A talaj tápanyagellátottságának vizsgálatához a talaj 0-25 cm-es és 25-50 cm-es rétegéből gyűjtöttünk mintát, amely értékelése akkreditált laboratóriumban történt.

A zöldtrágyanövények parcelláiból a föld feletti nyers biomasszahozam meghatározása céljából növénymintát gyűjtöttünk a zöldtrágyanövények talajba forgatását megelőző időpontban 50x50 cm-es keret segítségével. 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.

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 (növényenkénti hüvely/becő szám; hüvelyenkénti/becőnkénti magszám; növényenkénti magtömeg; ezermagtömeg) meghatározása érdekében. A gyűjtött növényminták alapján kezelésenként 40 növényen végeztük el a paraméterek értékelését. A betakarítást követően a vetőmagtétel tisztítását *Kamas* típusú laborrostával végeztük el.

Az 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 varianciánálizist 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.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Zöldtrágya növények alkalmazására épülő vetésforgórendszerek komplex értékelése

3.1.1. Zöldtrágya növények föld feletti biomassza hozamának értékelése

A zöldtrágya növények esetében a talajba forgatást megelőzően parcellánként értékeltük a föld feletti biomassza hozamot a különböző állománysűrűségek, illetve az eltérő elővetemények esetében. 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.

2020-ban a zöldtrágya növények tenyészidőszakában (augusztus 11. - november 16.) 213,7 mm csapadék hullott, amely optimális feltételeket teremtett a növények vegetatív fejlődéséhez. A zöldtrágya növények az I. és III. vetésforgóban tritikálé betakarítását követően, illetve a II. vetésforgóban zab betakarítását követően kerültek elvetésre. 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.

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 zöldtrágya növények a II. vetésforgóban tritikálét követően, a III. vetésforgóban zabot követően a vizsgált időszakban második alkalommal, a IV. vetésforgóban tritikálét követően a vizsgált időszakban első alkalommal kerültek elvetésre. Tavaszi bükköny, olajretek és pohánka esetében a megtermelt biomassza mennyisége a IV. vetésforgóban szignifikánsan meghaladta a másik két vetésforgó eredményét.

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. Csillagfürt esetében a legmagasabb zöldhozamot a IV. vetésforgóban, zabot követően, olajretek

esetében a III. vetésforgóban, tritikálét követően mértük. Tavaszi bükköny és pohánka esetében szignifikánsan a legmagasabb zöldhozamot a IV. vetésforgóban, zabot követően mértük.

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.

Tritikálét követő zöldtrágyázás esetén a vizsgált négy évjáratban a vetésforgók átlagában az alkalmazott zöldtrágyanövény fajoknál szignifikánsan legalacsonyabb föld feletti biomasszahozamot a 2021-ben és 2022-ben mértük mind a négy zöldtrágyanövény fajnál. A legnagyobb biomassza hozam értékeket 2020-ban és 2023-ban tapasztaltuk.

Zab előveteményt követő csillagfürt, tavaszi 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.

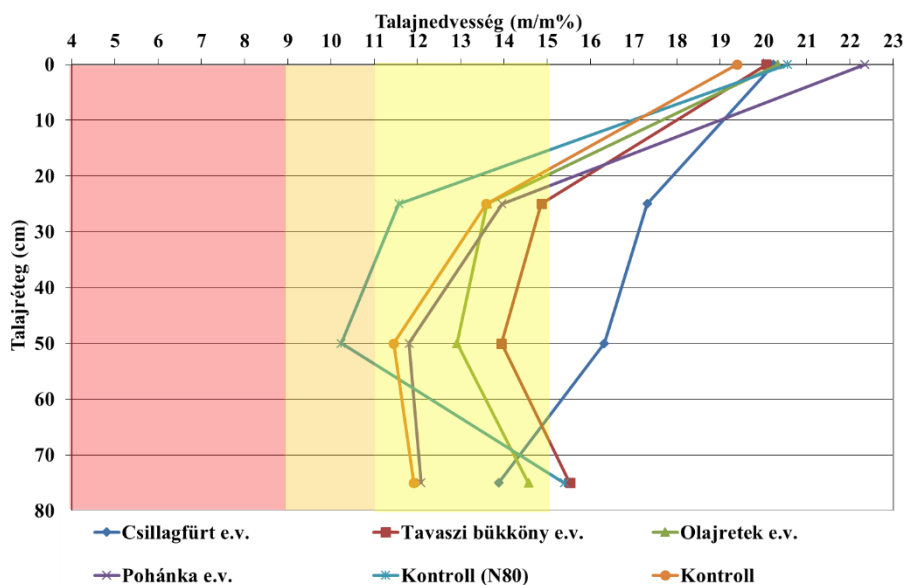
A *Pearson*-féle korrelációanalízis során elemeztük a csapadékmennyiség és annak eloszlásának hatását a vizsgált zöldtrágyanövény fajok biomassza hozamára tritikálé, illetve zab előveteményt követően, továbbá értékeltük a kapcsolatot a betakarított főnövény hozama, és az azt követő zöldtrágya növény biomassza hozama között. A négy vizsgált évjárat eredményei alapján, tritikálé előveteménynél az augusztusi, vetést követően lehullott csapadék mennyisége, illetve az októberi csapadék mennyisége volt meghatározó ($r=0,813^{**}$ - $0,937^{**}$). Tritikálé esetében nem tapasztaltunk szignifikáns hatást a betakarított magmennyiség, illetve az azt követően, a zöldtrágyanövények által megtermelt biomassza hozam között. Zab előveteménynél - a tritikálé előveteménynél tapasztaltakkal ellentétben - a szeptemberi csapadék mennyisége volt meghatározó a zöldhozam szempontjából ($r=0,848^{**}$ - $0,964^{**}$). Negatív, erőteljes korrelációt mutattunk ki a zab termésmennyisége, illetve a zöldtrágyanövények biomassza hozama között csillagfürt, tavaszi bükköny és pohánka zöldtrágyázás alkalmazásakor ($r=-0,818^{**}$ - $-0,911^{**}$).

3.1.2. Vetésforgó rendszerben alkalmazott zöldtrágya növények hatása a talaj nedvességtartalom érétkeinek alakulására eltérő évjáratokban

A 2020 augusztus 10-ei, a zöldtrágyanövények vetése előtt 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 mértek, 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.

2020-ban a zöldtrágyanövények tenyészidőszaka folyamán 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.

2021 májusában kukorica állományban (I.) a talaj 50-75 cm-es mélységében a csillagfürttel zöldtrágyázott parcellák talajának nedvességtartalma szignifikánsan magasabbnak bizonyult, mint az olajretekkel, 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 (2. ábra).



2. 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.

2021. nyári periódusa csapadékszegényen indult, 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 értékeknél, 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.

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.

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.

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. 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. 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, azonban a mélyebb rétegekben számottevő különbségeket nem tapasztaltunk a talaj nedvességtartalmában, 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.

A 2023-as 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. 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.

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

A 2020. november 24-én végzett vizsgálatokat egy zöldítési periódust követően, tritikálé állományban (II.) végeztük el. A legmagasabb talajellenállási értéket az olajretek zöldtrágyával kezelt parcellák talajain, a műtrágyázott kontroll talaja esetében a 0-10 cm-es mélységben, illetve az olajretek zöldtrágyakezelés esetén a 20-30 cm-es mélységben mértük.

2021-ben 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. 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. 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. 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.

2022. 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. 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. A novemberi, tritikálé állományban (IV.) zöldtrágyázást követően végzett mérések alapján a legnagyobb talajellenállás értékeket a csillagfürttel, 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 csillagfürttel 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. 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.

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

A 4. 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 búkköny 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 búkköny, 2023-ban a csillagfürt, tavaszi búkköny és olajretek bizonyult a legjobbnak, azonban egyik évjáratban sem haladták meg szignifikánsan a kontroll parcellák eredményét.

Zab esetében az első évben (2021) tavaszi búkköny 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 búkkönnyel, 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 búkköny bizonyult, melyet a csillagfürt, illetve olajretek zöldtrágyanövények követtek a termésre gyakorolt hatás tekintetében.

Kukorica esetében 2021-ben a legmagasabb hozamot a tavaszi búkkönnyel 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 búkkönnyel zöldtrágyázott kezelésekben takarítottuk be. 2023-ban a csillagfürt, tavaszi búkköny és olajretek zöldtrágya kezelések esetében a hozamok nem különböztek szignifikánsan a műtrágyázott parcellák eredményétől, és továbbra is szignifikánsan meghaladták a kontroll parcellák eredményeit.

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

Tritikálé terméshozam (t ha⁻¹)				
<i>Kezelés / Év</i>	2020	2021	2022	2023
<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 terméshozam (t ha⁻¹)				
<i>Kezelés / Év</i>	2020	2021	2022	2023
<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 terméshozam (t ha⁻¹)				
<i>Kezelés / Év</i>	2020	2021	2022	2023
<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.

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

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 %) (5. táblázat).

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 kezelésekkkel is egyértelműen tudtuk növelni a talaj nitrit+nitrát N tartalmát, a legnagyobb mértékű változást a tavaszi bükkönnyel és olajretekkel zöldtrágyázott kezelésekben 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 mg/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 (0,08 – 1,83 mg/kg növekedés) elmaradtak a kontroll kezelés (3,07 mg/kg növekedés) 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 és olajretekkel kezelt területeken a nitrit + nitrát nitrogén tartalom 3,51 és 2,22 mg/kg-al nőtt, a csillagfürttel és pohánkával kezelt területek a változás mértéke 0,66 illetve 1,10 mg/kg volt, amelyek nem érték el a műtrágyázott (2,71 mg/kg), illetve kontroll (1,85 mg/kg) kezelések értékeit (5. táblázat).

5. 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.

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 nitrit+nitrát nitrogén tartalmát (I. és III. vetésforgó, 2021 és 2023), amennyiben a területen kukorica termesztése történt. 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 27,6 mg/kg-al nőtt, a kontroll kezelés esetében 29,80 mg/kg-al csökkent. A zöldtrágya kezelések közül a csillagfürttel, tavaszi bükkönnyel és pohánkával zöldtrágyázott területeken 14,51, 5,52 és 9,52 mg/kg-os növekedést tapasztaltunk, az olajretekkel zöldtrágyázott talajok esetében 1,41 mg/kg-os 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 (9,88 és 24,4 mg/kg), legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll területek értékei mutatták (-36,60 mg/kg). 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 (9,74 – 22,58 mg/kg) a felvehető foszfor tartalom tekintetében, amely értékek meghaladják a műtrágyázott (6,28 mg/kg) és kontroll kezelés (-22,80 mg/kg) esetében tapasztalt változást (6. 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 (23,47, 1,63 és 1,58 mg/kg), míg a műtrágyázott és kontroll kezelések csökkenő tendenciát mutattak (-16,40 és -20,30 mg/kg). A talaj 25-50 cm-es rétegében a legnagyobb mértékű növekedést a csillagfürttel és tavaszi bükkönnyel zöldtrágyázott kezelések mutatták (42,70 és 16,74 mg/kg), míg a kontroll kezelés esetében (-22,1 mg/kg) 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 (-37,9 mg/kg). 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 (-12,90 és -7,85 mg/kg) a talaj felvehető kálium tartalmában a kísérlet 4 éve alatt (6. táblázat).

6. 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.

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

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

A *Nelly* fehérvirágú édes csillagfürt magcélú termesztése során 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 mag súly 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 állománysűrűségénél tapasztaltuk a nagyobb értékeket a 2023-as évjárat kivételével. A kisebb állománysűrűség esetén a legmagasabb szintű tápanyagellátás (N₈₀P₉₆K₉₆) 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 a növényenkénti hüvelyszám, illetve magszám értékek erős korrelációt mutatnak a tenyésztési időszakban 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 mag súly értékek alakulására a tenyésztési időszakban 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.

A csillagfürt maghozama tekintetében 2021 kivételével nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kezelések között. Az extrém száraz, 2022-es évjárat kivételével a magasabb csíraszámú (0,4 millió csíra ha⁻¹) vetett állomány esetében tapasztaltunk magasabb maghozamot, azonban a különbségek statisztikailag nem igazolhatóak (7. táblázat). A terméseredmények pozitív korrelációt mutatnak a tenyésztési időszakban hullott csapadék mennyiségével ($r=0,518^{**}$), illetve negatív korrelációt a júniusi átlaghőmérséklettel ($r=-0,560^{**}$).

7. 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	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	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.

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

Az *Emma* tavaszi bükköny fajta magcélú termesztése során a termésképző paraméterek közül a növényenkénti hüvelyszám a jobb csapadékellátottságú években (2020 és 2023) a zab támasztónövénnyel 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 érték 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 támasztónövénnyel 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 mag súly 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 támasztónövénnyel vetett parcellák esetében, N₈₀P₉₆K₉₆, illetve N₈₀ kezelésekben érték el a legnagyobb értékeket. A *Pearson*-féle korrelációs értékek alapján zab támasztónövénnyel való termesztés esetén erős pozitív korrelációt tapasztaltunk a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség, illetve a növényenkénti hüvelyszám ($r=0,913^{**}$), növényenkénti magszám ($r=0,896^{**}$), növényenkénti mag súly ($r=0,895^{**}$) 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 mag súly 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 ($r=0,902^{**}$), mag súly ($r=0,946^{**}$) és ezermagtömeg ($r=0,910^{**}$) értékek alakulása között. Tiszta vetés esetén negatív korrelációt mutattunk ki a májusi átlaghőmérséklet és az ezermagtömeg értékek alakulása között ($r=-0,781^{**}$).

A tavaszi búkköny 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 (8. táblázat). Szoros korrelációt tapasztaltunk a betakarított termésmennyiség és a tenyészidőszakban hullott csapadékmennyiség között támasztónövényes vetés esetén $r=0,961^{**}$ értékkel, azonban tiszta vetés esetén a hozam szempontjából a tenyészidőszakra jellemző átlaghőmérséklet volt a meghatározó ($r=-0,836^{**}$).

8. táblázat. Fővetésben vetett tavaszi búkköny 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 búkköny	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 búkköny	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.

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

A *Litinia* olajretek fajta magcélú termesztése során 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

tószám esetében tapasztaltuk a nagyobb értékeket, amely különbségek 2021-ben és 2022-ben szignifikánsak. A növényenkénti magσύly értékek mind a négy évben az alacsonyabb csíraszámú parcellák esetében alakultak magasabban. Az ezermagtömeg alakulása tekintetében nem tapasztaltunk egyértelmű kezeléshatást. A *Pearson*-féle korrelációs értékek 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.

Az olajretek maghozama $0,5$ millió csíra ha^{-1} -os dózis alkalmazása esetén mind a négy évjáratban a legmagasabb tápanyagellátási szint ($N_{80}P_{96}K_{96}$) mellett volt a legnagyobb, azonban a tápanyagellátási szintek közötti különbségek statisztikailag nem igazolhatóak. 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 (9. táblázat). A korrelációs értékek alapján 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 ($r=-0,605^{**}$).

9. 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.

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

A *Hajnalka* pohánka fajta mag célú termesztése esetében a növényenkénti magszám, illetve növényenkénti magsúly a két állománysűrűség esetében egyaránt a kontroll kezelésben volt a legmagasabb 2020-ban, 2021-ben, illetve 2022-ben. 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. A *Pearson*-féle korrelációs értékek alapján 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 ($r=-0,800^{**}$). 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, különbségek azonban statisztikailag nem igazolhatóak (10. táblázat). A *Pearson*-féle korrelációs vizsgálatok eredményei alapján 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 ($r=-0,612^{**}$).

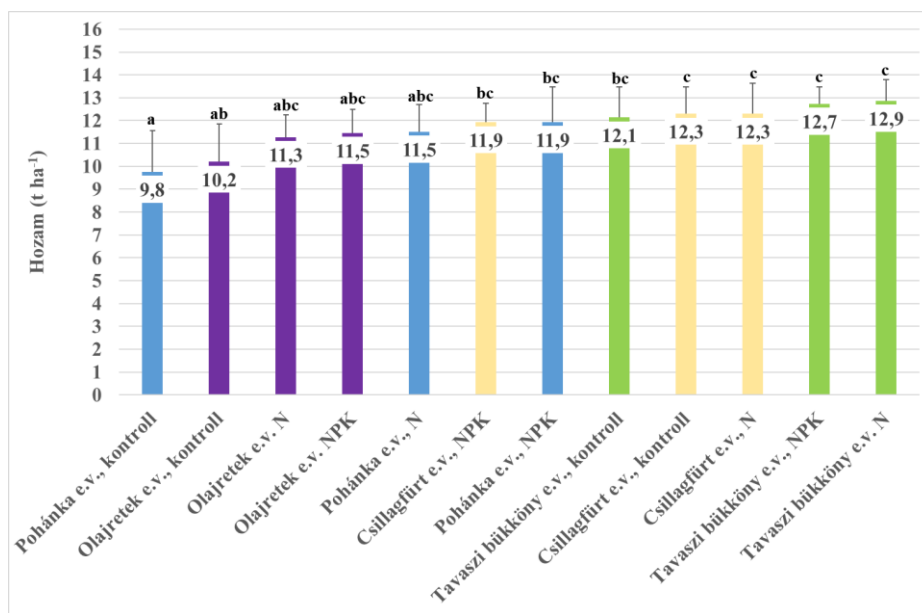
10. táblázat. Fővetésben vetett pohánka terméseredményeinek alakulása különböző állománysűrűség és tápanyagellátási szintek alkalmazása esetén, eltérő évjáratokban (Nyíregyháza, 2020-2023)

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	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	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.

3.2.5. Fővetésben vetett zöldtrágyanövények elővetemény értékének értékelése kukorica növényen

A fővetésben vetett zöldtrágyanövények esetében értékeltük azok elővetemény értékét a kukorica termése tekintetében, ahol a tápanyagellátás hatását, illetve annak hiányát évről évre kumuláltan értékeltük. Négy éves eredményeink alapján a kukorica terméshozamára nem volt szignifikáns hatással a műtrágyakezelés ($80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; $80:96:96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ NPK}$), a műtrágyázatlan kontroll kezelés eredménye nem különbözött statisztikailag igazolhatóan a műtrágyázott kezelések értékeitől, amennyiben a kukorica előveteménye csillagfürt, tavaszi bükköny, illetve olajretek volt (3. ábra).



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

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

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

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 dózisé **műtrágyázás terménynövelő 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** (-22,01 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.

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

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. Tavaszti vetésű kalászos növény esetén a tavaszi bükkönnyel történő zöldtrágyázás egyenértékű lehet $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ adagú műtrágyázás termésmnövelő hatásával.
4. Csillagfürt magcélú termesztése esetén a magasabb csíraszám ($0,4$ millió csíra ha^{-1}) mellett intenzív tápanyagellátási szint alkalmazása nem indokolt.
5. Tavaszti bükköny magcélú, zab támasztónövényvel 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 termesztetők eredményesen hazánkban.

6. 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 csillagfűt 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.

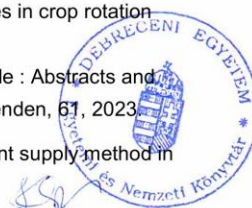
In: Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences Abstract Book / Giuseppe Corti; Edoardo A.C. Costantini; Sara Marinari, International Union of Soil Sciences, Firenze, 1270, 2024.

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 vetésciklus 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., Csizi, 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.

