



SZENT ISTVÁN EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Biodízel melléktermékek hatása a talaj-növény rendszerre

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

KOVÁCS ATTILA BALÁZS

Gödöllő

2018

A doktori iskola

Megnevezése: Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola

Tudományága: Környezettudomány

Vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika

Egyetemi tanár, intézet igazgató, tanszékvezető

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

Talajtani és Agrokémiai Tanszék

Témavezető: Dr. Tolner László

Egyetemi docens

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

Talajtani és Agrokémiai Tanszék

Az iskolavezető jóváhagyása

A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	5
Célkitűzések	7
2. Irodalmi áttekintés.....	9
2.1. A biodízel szerepe nemzetközi és hazai viszonylatban	9
2.1.1. A biodízel kémiai technológiája.....	11
2.1.2. A glicerín felhasználási lehetőségei.....	12
2.2. Nitrogén tápelem a talajban és szerepe a talaj tápanyag-gazdálkodásában	14
2.2.1. Ásványi nitrogén immobilizációja és mobilizációja a talajban.....	15
2.3. Repce (Brassica napus), mint biodízel alapanyag	18
2.4. Angolperje (Lolium Perenne) jelzőnövény.....	19
2.5. Biodízel gyártás melléktermékeiben jelenlévő szennyezőanyagok toxikus hatásának vizsgálata	20
2.5.1. Alkoholok talaj-növény rendszere gyakorolt hatása.....	20
2.5.2. Glicerín talaj-növény rendszere gyakorolt hatása.....	21
2.5.3. Melléktermék talaj-növény rendszere gyakorolt hatása.....	25
2.6. A növényi növekedés vizsgálata optikai úton.....	27
3. Anyag és Módszer	31
3.1. Talajinkubációs kísérlet (érlelés) hatása a talaj ásványi nitrogéntartalmának változására	31
3.2. Angolperje csírázására gyakorolt hatás vizsgálata	32
3.3. Repce csírázására gyakorolt hatás vizsgálata.....	34
3.4. A növényi növekedésre gyakorolt hatás vizsgálata	34
3.4.1. A kalibrációs összefüggés meghatározása.....	35
3.4.2. Angolperjével elvégzett növekedési kísérlet bemutatása.....	36
3.4.3. Angolperje növekedésére gyakorolt hatás vizsgálata fényképfelvétel útján.....	37
3.5. A mérési eredmények kiértékeléséhez alkalmazott statisztikai módszerek	37
4. Eredmények.....	39
4.1. Az érlelés hatása a talaj ásványi nitrogén tartalmának változására.....	39
4.2. Angolperje csírázási kísérlet azonnali vetés esetén	43
4.2.1. Glicerín kezelések angolperje csírázásra kifejtett hatása.....	45
4.2.2. Melléktermék kezelések angolperje csírázásra kifejtett hatása.....	46
4.2.3. Metanol kezelések angolperje csírázásra kifejtett hatása.....	47
4.2.4. Glicerín-metanol kezelések angolperje csírázásra kifejtett hatása.....	47
4.3. Angolperje csírázási kísérlet érlelés esetén	49
4.3.1. Glicerín kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	51
4.3.2. Melléktermék kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	52
4.3.3. Metanol kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	53
4.3.4. Glicerín-metanol kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	54
4.4. Repce csírázási kísérlet érlelés esetén	56
4.4.1. Glicerín kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	58
4.4.2. Melléktermék kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	59
4.4.3. Metanol kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	60
4.4.4. Glicerín-metanol kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén.....	61

4.5.	Angolperjével, illetve repcével elvégzett csírázási kísérletek összehasonlítása azonnali vetés és érlelés esetén	63
4.6.	Az angolperje növekedésére gyakorolt hatása a kémia kezeléseknél	66
4.7.	Az angolperje növekedésére gyakorolt hatás vizsgálata fényképfelvétel útján	68
4.8.	Új tudományos eredmények	75
5.	Következtetések és javaslatok	77
5.1.	A talajba juttatott glicerintartalmú kezelések talaj ásványi-N formáinak változására gyakorolt hatása.....	77
5.2.	A talajba adagolt glicerinnel angolperje, illetve repce csírázására gyakorolt hatása	77
5.3.	A melléktermék szennyezéseinek hatása angolperje, illetve repce csírázására	78
5.4.	A talajba juttatott glicerinnel angolperje növekedésére gyakorolt hatása	78
5.5.	A talajba juttatott glicerinnel angolperje növekedésére gyakorolt stresszhatásának vizsgálata Cochran-próbával.....	79
5.6.	Javaslatok további kutatásokhoz	79
6.	Összefoglalás	81
7.	Summary	85
8.	Irodalomjegyzék	89
9.	Mellékletek	101
10.	Köszönetnyilvánítás	111

1. Bevezetés és célkitűzések

Napjainkban az energia iránti igény rohamos léptékben emelkedik. A fenntartható fejlődés fogalomkörében egyre inkább teret nyernek az alternatív energiák hasznosítására irányuló kutatások. Az energiaszükséglet megnövekedése olyan környezetvédelmi problémákat vet fel, amely egyre hangsúlyosabbá kezd válni, ezáltal világszinten is a kutatások középpontjába került az alternatív energiaforrások kutatása, fejlesztése, és hatékonyabbá tétele. A bioenergia, mint feltételesen megújuló energiaforrás számos előnnyel rendelkezik. A klímaváltozás jelenségének egyik legmeghatározóbb okát az emberi tevékenység által jelentősen megnövekedett CO₂ kibocsátásnak tulajdonítják, amelynek közel 15%-t a közlekedés teszi ki (KSH 2015). Ez a tény is rávilágított arra, hogy szükség van alternatív hajtóanyagok - bioüzemanyagok - kutatására. Az elvi alapokat már a 20. század elején lefektették, azonban a növényi alapanyagból készült hajtóanyagok vizsgálatával csak akkor kezdtek el igazán foglalkozni, amikor a fosszilis eredetű energiaforrások már nem fedezték a megnövekedett szükségleteket. Az 1940-es években rendelkezésre álltak már olyan megoldások, amelyek növényi olaj eredetű üzemanyagok hasznosításának lehetőségét leírták. Ezt követően egészen a hetvenes évekig nem foglalkoztak érdemben a biológia eredetű hajtóanyagok vizsgálatával, mivel a kőolaj kitermelését megcélzó technológiák rohamos ütemű fejlődésnek indultak, ezáltal jelentős mértékben megnövekedett a kitermelt mennyiség és az addig elérhetetlen készletek is gazdaságosan kitermelhetővé váltak. Az első olajválságot követően Brazíliában indultak meg a fosszilis hajtóanyagok helyettesítésére irányuló kutatások. Hatalmas területen cukornádat telepítettek, amelyből bioetanolt állítottak elő (Szulmanné 2007).

Európában csak a 2000-es évek elején kezdtek egyre nagyobb figyelmet fordítani a bioüzemanyagok szabályozott keretek közti bevezetésére. A növényi és állati eredetű zsiradékok egyaránt alkalmazhatók motorok meghajtására kémiai átalakítás nélkül is, azonban ez a motorok jelentős átalakításával jár együtt, amely gazdaságilag nem térül meg. Ennek okán kezdték el fejleszteni a növényi olajokból átészterezés útján előállított biodízelt, amely a gázolajhoz hasonló paraméterekkel rendelkezik, így motorhajtóanyagként alternatív megoldást jelent. Napjainkban az így létrehozott zsírsav metil-észtereket biodízelnként a fosszilis eredetű dízel üzemanyaghoz keverik meghatározott arányokban. Az Európai Unió a 2000-es évektől kezdve irányelveket adott ki a tagországok számára, hogy az összes eladott üzemanyag - tagországokra vonatkozó engedélyk mellett - hány százalékát kell kitennie a bioüzemanyagoknak a fosszilis eredetű üzemanyagokban. További előnye a biológia eredetű hajtóanyagoknak, hogy nem jár CO₂ kibocsátás többlettel, mivel a növény fejlődése során a légkörből megkötött CO₂-t bocsátja ki az elégetése során.

Elterjedésük, ennek ellenére számos akadályba ütközött, amely a magyarországi viszonyokat tekintve is megfigyelhető. A biodízel előállításának költsége magasabb a fosszilis eredetű hajtóanyagokénál, amelynek egyik jelentős oka, hogy a biodízel gyártás során jelentős mennyiségben, közel 10 tömegszázalékban keletkezik szennyezett glicerines melléktermék (Chatzifragkou és Papanikolaou 2012). Emiatt a glicerines melléktermék hasznosítása óriási jelentőséggel bír, ugyanis ez a gyártás legjelentősebb költségcsökkentő tétele (Magyar és Draskovits 2008). Megfelelő tisztítási eljárás után a melléktermék glicerinnal fázisra bontható a kozmetikai ipar, illetve a vegyipar felé. Értékesítése tisztítási eljárás nélkül nehézkes, mivel metanol tartalmának köszönhetően veszélyes anyagként kell kezelni, nem említve a glicerines elegyben jelenlévő egyéb szennyező anyagokat. Azonban a biodízel gyártás glicerintartalmú melléktermékének mezőgazdasági hasznosíthatósága megoldást jelenthet erre a problémára, mivel összetételét tekintve alkalmas lehet a talaj tápanyag-utánpótlására.

Az utóbbi években - amióta a kutatásaimat elkezdtem - egyre több tanulmány fókuszpontjába került a biodízel gyártás során keletkezett szennyezett glicerines melléktermék egyéb irányú felhasználási lehetőségeinek vizsgálata. Mivel tápanyagokban gazdag, ezáltal a talaj mikroorganizmusai számára fontos szénforrásnak tekinthető. Emiatt a talaj tápanyag-gazdálkodásában fontos szerepet tölthet be abban az esetben, ha a melléktermékben jelenlévő szennyező anyagok nem fejtenek ki toxikus hatást a talaj mikroorganizmusaira, illetve a növényekre.

A Szent István Egyetem Talajtani és Agrokémiai Tanszékén 2009-ben indult pályázat munkájába kapcsolódtam be. A doktori munkámban azokat a részeket emelem ki, amelyekben részvételem meghatározó volt.

Célkitűzések

Doktori értekezésemben a glicerines melléktermék, és annak esetleges szennyező komponenseinek csírázásra és növényi növekedésre gyakorolt hatásának vizsgálatát tűztem ki célul. Első lépésben eltérő szénforrásként alkalmazott kezelések (glicerin, metanol, glicerin-metanol és biodízel melléktermék) ásványi-nitrogén átalakulására gyakorolt hatását vizsgáltam homokos szövetű talajban. Ezt követően megvizsgáltam az alkalmazott kezelések angolperje (*Lolium perenne L.*), illetve repce (*Brassica napus*) csírázására, valamint angolperje (*Lolium perenne L.*) növekedésére gyakorolt hatásait.

Doktori munkámban a következő kérdésekre kerestem válaszokat:

- Hogyan hat a talajba juttatott glicerin tartalmú kezelés a talaj ásványi-N formáinak változására?
- Milyen hatása lehet a talajba adagolt glicerinnek a növények (angolperje és repce) csírázására?
- Milyen hatása lehet a biodízel során keletkezett melléktermék szennyezéseinek? Tapasztalható-e toxikus hatás?
- Milyen hatást gyakorol a talajba juttatott glicerin a növények növekedésére angolperje jelzőnövény alkalmazásával?
- Gyakorolható-e a növényekre stresszhatást a talajba juttatott glicerin?

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A biodízel szerepe nemzetközi és hazai viszonylatban

A 70-es évek végétől intenzív kutatások irányultak a növényi olajokból előállítható, dízelmotor üzemeltetésére alkalmas bioüzemanyagokra. A biodízel üzemanyag helyettesítő lehetősége a megújuló és természetes forrásául szolgáló növényi olajok, állati eredetű zsiradékok, illetve a használt olajok. Előállításukhoz elvben sokféle növényi olaj (napraforgó, olíva, repce, szója, pálma, stb.) alkalmas. Az Egyesült Államokban a szója és a napraforgó, Kanadában a repce és a fenyőpulp-gyanta (Kovács 2000, Tikász 2014, Puppán 2007). Európában és Magyarországon a növényi olaj előállításának céljából a repce (*Brassica napus*) és a napraforgó (*Helianthus annuus*) termesztése - gazdaságos előállíthatóságának következtében - a két legelterjedtebb forrás (Sinórus et al. 2007). Ellenben számos más növényi származék alkalmas erre a célra, a szójától (*Glycine soya*) elkezdve, a lenmag (*Linum usitatissimum*), a kókuszolaj és a pálmazsír.

A növényekből általában sajtolással kinyert olajok kedvező feltételeket biztosítanak a motorhajtóanyagként való hasznosításra, mivel természetű üzemanyagként a megújuló energiaforrások családját képezik (Kovács 2000, Balogh 2006, Puppán 2007, Magyar és Draskovits 2008, Sinóros-Szabó és Koncz 2012).

A repceből és a napraforgóból kinyert olaj (triglicerid) közvetlenül is felhasználható motorikus üzemanyagként, ám ez bizonyos hátrányokkal is együtt jár: a dízelhez képest magas az üzemanyag viszkozitása és a motor fogyasztása, bonyolult a szabványosítása, az oxidációs katalizátor használata nehézségekbe ütközik, "kellemetlen" szagot bocsát ki "guruló lángossütő" (Vas és Jánosi 2000, Tamás és Blaskó 2008).

Európában biodízelnaként az éghajlati viszonyokból adódóan jellemzően repceből és napraforgóból kinyert, metilalkohollal átészterezett növényi olajokat használnak fel (Kovács 2000). A Magyarországon termesztett növények közül a repce és a napraforgó természetű jelentős mennyiségben, amely ezáltal a biodízel gyártás alapanyagául szolgálhat. A repce termesztéséhez és ez által a repcén alapuló biodízel (RME – repce-metilészter) gyártáshoz adottak a feltételeink (Kovács 2000, Tamás és Blaskó 2008, Tömösi Attila 2011, Tikász 2014).

A biodízel használatának további előnyei a kőolajjal szemben, hogy az évmilliók alatt képződik, míg a biodízel alapanyagait gyors biológiai folyamatok eredményezik. A biodízel üzemanyagnak és a bio-kenőolajnak számos előnye ismert a dízelolajjal és a kőolaj-alapú kenőanyagokkal szemben. A biodízel egyik legnagyobb előnyeként szokták emlegetni, hogy a gázolajnál jelentősen kedvezőbb károsanyag kibocsátási adottságokkal rendelkezik (Markóné 2009). Nettó szén-dioxid kibocsátása közel nulla, hiszen a „biodízelnövények” fejlődése közben éppen annyi szén-dioxidot kötnek meg, mint amennyi a biodízel elégetésekor keletkező emisszió.

Emellett a biodízel nemcsak kevésbé környezetszennyező hajtóanyag, hanem - a bio-kenőolajjal együtt - biológiailag lebontható, tehát fáradtolaj-problémát sem okoz (Kovács 2000, Tamás és Blaskó 2008).

A biodízel előállítási lehetősége a repce, illetve napraforgó olaj mellett az egyébiránt jelentős környezeti problémát okozó, más használatra teljességében alkalmatlan sütőolaj is alternatívát jelent (Hancsók és Kovács 2002, Balogh 2006, Puppán 2007, Magyar és Draskovits 2008).

A biodízel növényi és állati eredetű zsírsavak metil-, vagy etil-észtere. A biodízel tisztább, mint a módosítatlan növényi olaj (SVO), bármilyen dízelüzemű motorhoz használható, a motor átalakítása nélkül, ráadásul a hideg időben mutatott tulajdonságai is kedvezőbbek. Az átalakítás nélküli növényi olajjal (SVO) ellentétben az átészterezett biodízelt hosszú ideje tesztelik, használják a világ számos országában. A biodízel tiszta, biztonságos, használatra kész alternatív üzemanyag, az SVO üzemanyag-rendszerek jó része azonban még mindig csak kísérleti fázisban van. Másrészt a biodízel jóval drágább, mert az átészterezés költsége és energiafelhasználása is terheli (Vas és Jánosi 2000, Tamás és Blaskó 2008).

Tehát olyan átalakításokat kell végezni a motoron, hogy a nagy viszkozitású növényi olaj viszkozitását csökkentve a motor égésterébe befecskendezhető legyen (Hajdú 2009).

Ez a folyamat azért is fontos, mert észterezés nélkül a telítetlen zsírsav alapanyagból csak olyan hajtóanyag állítható elő, amely alacsony hőmérsékleten nagy viszkozitással rendelkezik. Azonban az észterezés segítségével előállított végleges termék már majdnem tökéletes tulajdonságokkal rendelkezik, azaz közel azonos lesz az viszkozitása, a sűrűsége és a cetánszáma, mint a gázolajnak (Kovács 2000).

A biodízel előállítási lehetőségeinek több módja is ismert mind növényi, mind állati eredetű zsiradékok felhasználásával, amelyek alkalmasak dízelmotorok meghajtására. Öt alapvető eljárás van alkalmazásban:

- Felhasználhatjuk a zsiradékot módosítás nélkül – direkt felhasználás/bekeverés – erre használja a szakirodalom az SVO kifejezést,
- mikroemulziók képzésével,
- termikus krakkolás (pirolízis) útján,
- hidrogénezéssel és
- átészterezéssel.

Azonban az ipari mértékben bevett gyakorlat alapján a biodízelt kizárólag olajos magvak sajtolásával nyert növényi olaj katalizátor jelenlétében történő átészterezéssel állítják elő.

Ebből adódóan a biodízel fogalmát egyre inkább csak az észterezéssel átalakított termékre használják (Magyar és Draskovits 2008, Sinóros-Szabó és Koncz 2012).

A biodízelt általában gázolajjal keverik 5-20%-os arányban és majdnem minden típusú dízelmotorral használható (Kovács 2000). Az Európai Bizottság határozata alapján 2020-ra a tagországokban a felhasznált üzemanyag 10%-át bioüzemanyaggal kell helyettesíteni, amely mind a bioetanol, mind pedig a biodízelt előállítás jelentős mértékű növelését teszi szükségessé hazánkban is. Ez azzal is együtt jár, hogy a bioüzemanyag előállítás során keletkező melléktermékek mennyisége nagymértékben meg fog növekedni (AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2003/30/EK IRÁNYELVE 2003).

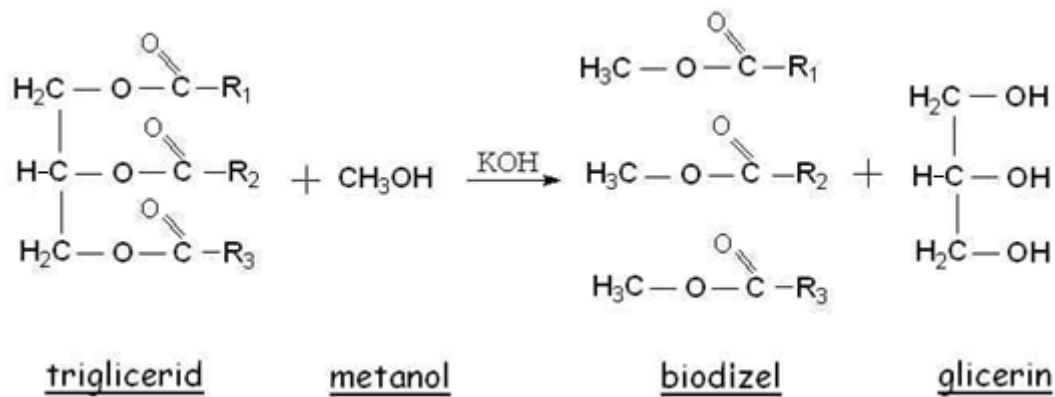
2.1.1. A biodízelt kémiai technológiája

Kémiai szempontból a növényi olajok karbonsav-észterek, amelyekben egy alkoholhoz (a glicerinnel) három zsírsav kapcsolódik (triglicerid). A zsírsavak páros számú szénatomokból állnak. A szénatomok közötti kötések lehetnek telítettek vagy telítetlenek. Motorhajtóanyagként azok a növényi olajok a kedvezőbbek, amelyekben magasabb a telítetlen zsírsavak mennyisége (Kovács 2000).

Az átészterezési folyamat során az olaj több egymást követő, megfordítható lépésben reagál az alkohollal, melynek következtében észterek és glicerinnel keletkezik. Az átészterezés lefolytatható katalizátor jelenlétében és anélkül is. Katalizátorként rendszerint alkáli vegyületeket (NaOH, KOH), savakat (kénsavat, sósavat), vagy enzimeket (lipázokat) használnak. A katalizátor jelenlétében lefolytatott átészterezési reakciót követően a reakcióba nem lépett frakciókat visszanyerik, az észtert tisztítják, majd elválasztják a glicerint és a katalizátorokat a reagensektől és a reakcióterméktől. Emiatt a folyamat igen költséges, és sok energiát igényel. Különösen az okoz nehézséget, hogy az olaj és az alkohol elegyítéséhez intenzív keverés szükséges. Ezen felül problémát jelent a katalizátornak a reakciót követő szeparálása is (Magyar és Draskovits 2008, Tamás és Blaskó 2008).

A biodízelt előállításának egyik lényeges lépése az észterezés során keletkező glicerinnel elválasztása. A művelet jelenleg elérhető leghatékonyabb eszköze az erre a célra kifejlesztett centrifugális szeparátorok alkalmazása (Tamás és Blaskó 2008).

Az átészterezési folyamat lényege, hogy a repce, illetve napraforgó-olajat lúgos közegben metanollal reagáltatják és termékként repce (vagy napraforgó) olaj-metilésztert (RME) és glicerint kapnak (Kovács 2000, 1. ábra).



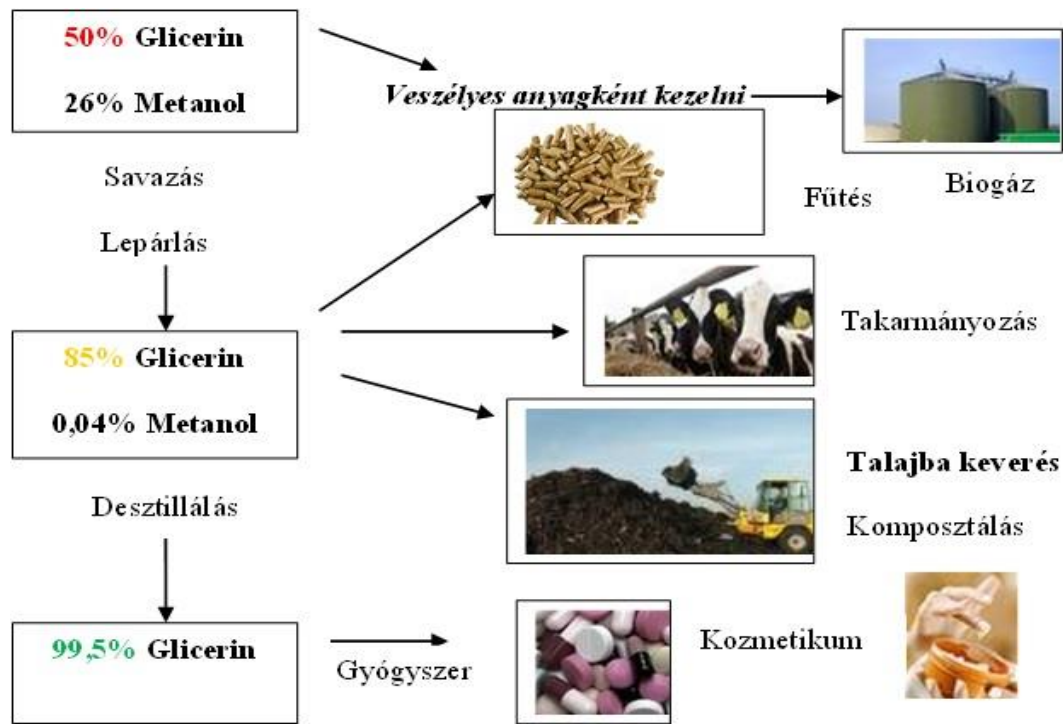
1. ábra A biodízel gyártás kémiai reakciója

Az olajat, a katalizátort (KOH) és a metanolt (CH₃OH) egy reaktorba adagolják, ahol körülbelül egy óra alatt 60°C-on lejártszódik a tranzészterifikáció (Kovács 2000, Schultz 2006)

A glicerint leválasztása után semlegesítik a metil-észter keveréket (biodízel) és eltávolítják belőle a metanolt. A semlegesítés során savat adnak a biodízelnél, hogy az a katalizátormaradványt közömbösítse, illetve az eljárás során keletkezett szappannal reakcióba lépve azt vízoldható sóvá és zsírsavvá alakítsa (Gerpen 2005). Az utolsó lépésként már csak a visszamaradt vizet távolítják el vákuumos préseléssel (Kovács 2000).

2.1.2. A glicerint felhasználási lehetőségei

Az észterezés után leválasztott glicerintartalmú mellékterméknek csak 50%-a glicerint. Ebben a fázisban van a metanol felesleg, valamint a katalizátor és a szappan nagyobb része, így ezt a glicerint veszélyes anyagként kell kezelni. Ezért a glicerint finomításának első lépéseként általában sav hozzáadásával a szappant szabad zsírsavvá és sóvá alakítják. A zsírsavak a glicerintben nem oldódnak, ezért azokat le tudják választani (Kovács 2000). A savas kezelés és a zsírsavak leválasztása után a metanolt lepárlással távolítják el a glicerintből. Itt a glicerint körülbelül 85%-os tisztaságú. Vákuum desztillációval, vagy ioncserélő folyamatban 99,5-99,7% tisztaságú glicerint nyerhető további finomítással (Gerpen 2005, Wilkie 2008). Ezt a folyamatot és a különböző tisztaságú glicerint felhasználási lehetőségeit az alábbi ábra szemlélteti (2. ábra).



2. ábra A glicerín felhasználási lehetőségei

A fenti ábra alapján attól függően, hogy a glicerín a gyártás mely szakaszában kerül ki a rendszerből, különböző tisztaságú és tulajdonságú lehet (Kovács 2010).

Komposztálásban is használják a glicerint, hiszen gyorsítja a biológiai folyamatokat. 4%-ban hígtrágyához keverve segíti annak erjedését és fa-aprítékhoz adagolva fűtenek is vele (Hanzély 1993).

Biogáz üzemekben is hasznosítják a glicerint a szén-nitrogén arány beállítására. A biodízelgyártóktól felvásárolják és az üzembe történő beszállítását követően egy tartályban tárolják, amelyből a technológiai előírásnak megfelelően, a szükséges mennyiségbe közvetlenül adagolják be az egyes fermentorokba (Robra et al. 2010). A glicerint próbálják más területen hasznosítani, így a takarmányozásban is (2. ábra). A repceből készült biodízel melléktermékei közül a repcepegácsa takarmányozási felhasználása már megoldott, viszont a glicerín takarmányozás céljára történő széleskörű felhasználása azonban még további kutatómunkát kíván meg. Südekum és munkatársai (2002) kutatásokat végeztek arra vonatkozóan, hogy hogyan hat a glicerín takarmányba keverése a tejelő tehenekre. Megállapították, hogy a mellékterméknek nem volt negatív hatása a sem a tejhozamra, sem pedig a tej minőségre (Südekum et al. 2002). A kérődzők májában lezajló glükoneogenezis lehetőséget ad arra, hogy a kérődzők a glicerínből glükózt állítsanak elő glükóz szükségletük fedezésére (Szele 2013).

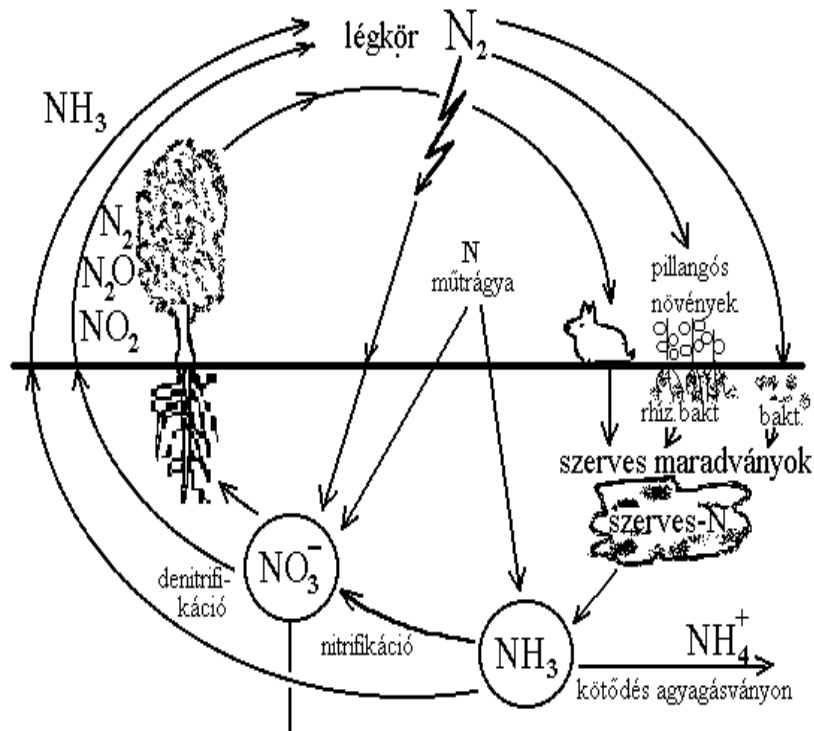
A gyártás során nagyságrendileg a következő anyagáramokkal lehet számolni: 100 kg biodízel üzemanyag előállítás során hozzávetőlegesen 10 kg szennyezett glicerines melléktermék keletkezik (Tickell 2003, Chatzifragkou és Papanikolaou 2012).

Még szennyezettebb glicerint kapnak a használt sütőzsiradékok felhasználásakor (Kovács et al. 2012). Ez a szennyezett glicerint csak költséges tisztítást (Kovács 2011d) követően válhat olyan tisztává, hogy alkalmassá váljon a glicerint hagyományos kozmetikai és vegyipari felhasználása céljára. A biodízelgyártás során keletkező glicerint szennyezettsége növényi eredetű, jellemzően fehérjéket és szénhidrátokat tartalmaz. Ez a “szennyezés” a talajba juttatva hasznos, a talaj termékenységét javító anyagokat jelenti (Czinkota 2007, Tolner et al. 2011).

A biodízelgyártás során keletkezett glicerint a talaj mikroorganizmusai tápanyagként képesek hasznosítani (Papanikolaou et al. 2008, Temudo et al. 2008). A mikroorganizmusok képesek arra, hogy a talajba juttatott glicerint értékes anyagokká alakítsák (Barbirato et al. 1998, Johnson és Taconi 2007, Yazdani és Gonzalez 2007).

2.2. Nitrogén tápelem a talajban és szerepe a talaj tápanyag-gazdálkodásában

A talaj tápelemei közül a nitrogén jelentős szerepet tölt be a talaj szerves anyagainak körforgásában. A nitrogén körforgása a 3. ábrán látható. A körforgalom egyes folyamatai a talajt N-ben gazdagítják, míg más folyamatokban a talajt N-veszteség éri. A műtrágyázás, szervesstrágyázás és a mikroszervezetek N-kötése gazdagítják a talajt.



3. ábra. A talaj nitrogén körforgalma (Stefanovits et al. 1999 alapján Füleky)

A növények N-felvétele, a denitrifikáció és a N-kimosódás elvonja a N-t a talajtól. A denitrifikáció mértéke növekszik a talaj nedvességtartalmának növekedésével, illetve az

oxigénhiány arányában, de függ a nitrát-tartalomtól és a könnyen bontható szerves anyagok mennyiségétől is.

Az ammonifikáció és a nitrifikáció fontos szerepet játszik a növény tápanyagellátásában, amelyek során a szerves vegyületek oldható N-vegyületekké alakulnak át a talajban. Az ammonifikáció folyamatában az ammonifikáló baktériumok hatására az amino-N ammóniává alakul át. Az ammónia, illetve az ammóniumion rosszul szellőző talajokon kis pH érték mellett felhalmozódhat (pl.: láptalajokon, vagy rizsföldeken). Jó szerkezetű talajokon, gyengén savanyú, illetve semleges kémhatás esetén az ammónia a nitrifikáció során előbb nitritté, majd nitráttá alakul (Fülek 1999, Stefanovits et al. 1999).

A talaj nitrogéntökéje elsősorban a talajban lévő szervesanyag mennyiségétől függ, amelyre egy viszonylag állandó C/N arány jellemző. A nagyobb szervesanyag-tartalommal nagyobb szén és ezzel együtt nagyobb nitrogéntartalom jár. Magyarország talajaiban ez az arány 10:1 körül van. A feltalajban lévő nitrogén 95%-a szerves kötésben, a talaj humuszanyagaihoz kapcsolódva található (Stefanovits et al. 1999). A nitrogén a szervesanyag ásványosodása során alakul át a növény számára felvehető nitrát- és ammóniumionná. A talajban élő mikroszervezetek úgy szabályozzák a talajba kerülő szervesanyag bomlását, hogy benne az egyensúlyi C/N arány alakuljon ki (Fülek 1999).

A kialakult egyensúly döntően befolyásolja a talaj felvehető nitrát-és ammónium-nitrogén tartalmát, valamint a szervesanyag bomlásának sebességét is. A talajban lévő friss szervesanyag lebontásához a mikroszervezetek azonnal hozzálátanak. A lebontás során azonban élettevékenységükhöz nitrogénre is szükségük van. A nitrogént a lebontandó szervesanyagból szerzik meg, ha az megfelelő mennyiségben hozzáférhető a talajban. Ha viszont az kevés, akkor a talaj felvehető nitrogéntartalmát hasznosítják. Ezáltal ideiglenes csökkenést okozva a magasabb rendű növények számára rendelkezésre álló nitrát- és ammónium-ionok mennyiségében. Amennyiben nitrogénben gazdag szervesanyag kerül a talajba (pl.: lucerna), akkor annak lebontása nagyon gyorsan végbemegy és jelentős mennyiségű nitrát és ammónium-ion képződik, amely gazdag nitrogénforrást eredményez (Tolner 2005).

2.2.1. Ásványi nitrogén immobilizációja és mobilizációja a talajban

A talaj nitrát-tartalma, rendkívül mozgékony a talajban (Tisdale és Nelson 1966). Jól szellőzött laza talajokban az egyéb nitrogénformák (ammónium-N, szerves-N) is rövid idő alatt nitráttá alakulnak. A nitrát a mélyebb talajrétegekben is felhalmozódhat (Kádár és Németh 1993), illetve tovább mosódva szennyezheti a felszín alatti vizeket (Németh 1995).

Laboratóriumi körülmények között kisméretű talajoszlopokban a nitrát kimosódása különösen gyors (Lásztity et al. 1994, Lásztity et al. 2010). Azonban a talajba juttatott

szervesanyag segítségével csökkenteni lehet a nitrát kimosódását (Grüner et al. 2007). A C/N arány szervesanyag talajba juttatásával jelentősen megváltoztatható. A szénhidrátok és az azokhoz hasonló szervesanyagok jelentős hatást gyakorolnak a talaj tápanyag-szolgáltató képességére (Gulyás és Füleky 1994). A hatás elsősorban a nitrogén mozgékonyságának befolyásolásában jelentkezik. A talajba juttatott glicerin, mint gyorsan lebomló szervesanyag, képes megváltoztatni a talaj szén-nitrogén arányát. Növelése a talaj nitrogéntartalmának átmeneti immobilizálását eredményezi (Tisdale és Nelson 1966).

A növények nitrogéntartalmuk legnagyobb hányadát NH_4^+ és NO_3^+ formában veszik fel a talajból. Ebből a két ionból a gazdasági növények számára rendelkezésre álló mennyiség főként a műtrágya formájában hozzáadott mennyiségtől, illetve a szerves kötésben levő talajnitrogénből felszabaduló mennyiségektől függ. A szerves tartalékokból felszabaduló mennyiségek (és bizonyos mértékig ilyen formában az ammónium, vagy nitrát-műtrágyázás után a talajban visszamaradó mennyiségek) a nitrogén ásványosodásának, megkötődésének, illetve talajból való távozásának mértékét megszabó tényezők között fennálló egyensúly függvénye. Definíció szerint a nitrogén ásványosodása egyszerűen a szerves nitrogén ásványi formába történő (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) átalakulása. A nitrogén megkötése (immobilizációja) a szerves, vagy ásványi nitrogénnek szervessé való átalakulása (Tolner 2005).

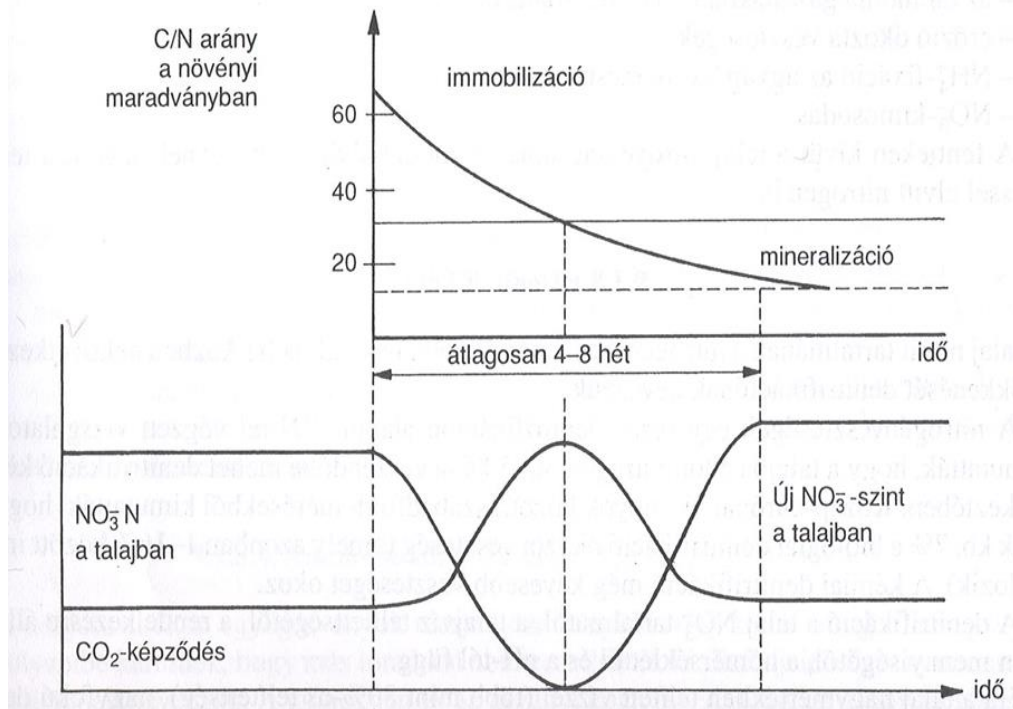
A talaj szervesanyaga nem kielégítően meghatározott kifejezés, amelyet a lebomlás valamennyi állapotában levő szervesanyagra alkalmaznak. A talaj szervesanyaga két kategóriába sorolható. Az egyik a viszonylag állandó humuszanyagok, amelyek bizonyos mértékig ellenállnak a gyors lebomlásnak. A másik csoportba a gyorsan lebomló szervesanyagok tartoznak, amelyeknek sora a friss növénymaradványoktól a lán-, illetve bomlási folyamatok révén bizonyos fokig állandósult anyagokig terjednek.

Megfelelő formában lévő nitrogén szükséges ahhoz, hogy a heterotróf talaj mikroorganizmusok a szervesanyagot lebonthassák. Amennyiben a lebomló szervesanyag széntartalmához képest viszonylag kis mennyiségű nitrogént tartalmaz (búzaszalma, érett kukoricaszár), a mikroorganizmusok a további bomláshoz a talajban levő NH_4^+ , vagy NO_3^- bizonyos részét használják fel. Ehhez a nitrogénhez a mikrobanépesség gyors növekedéséhez van szükség, amely a talajba adott nagy mennyiségű szén tartalmazó anyag következménye.

A talaj ásványi nitrogénszintje rendszerint nem csökken, ha a talajhoz adott anyag széntartalmához képest nagyobb arányban van jelen a nitrogén (lucerna, vagy lóhere aláforgatása).

A szén- és nitrogéntartalom viszonyát nevezik szén-nitrogén aránynak, ami megadja, hogy a két elem mennyisége milyen viszonyban áll egymással a friss szervesanyagokban, a humuszban, vagy akár az egész talaj anyagában. Általánosan alkalmazott szabály, hogy a talajhoz 30-nál nagyobb C/N arányú szervesanyagokat adva a kezdeti bomlási folyamat során a talajnitrogén

megkötődik. 20 és 30-as C/N arányok között az ásványi nitrogén nem kötődik meg, és nem szabadul fel. 20-nál kisebb C/N arányú szervesanyagok hozzáadása esetében, rendszerint már a bomlási folyamat korai szakaszában felszabadul az ásványi nitrogén. Az erre vonatkozó szabályok csak általánosságban igazak, mivel a szervesanyag lebomlását, a nitrogén felszabadulását, vagy megkötődését a C/N arányon kívül még sok más tényező befolyásolja. A talaj C/N arányának változását az alábbi diagram ábrázolja (Fülek 1999, 4. ábra).



4. ábra. A „pentozán hatás” (Fülek 1999)

A fenti ábrán látható, hogy a friss szervesanyag a lebomlás kezdeti állapotaiban gyorsan növekedik a heterotróf szervezetek száma és aktivitása, amit a nagy mennyiségű széndioxid keletkezése is mutat. Megkötődik a nitrogén, ha a friss szervesanyag C/N aránya tág. Ahogy a bomlás előrehalad a C/N arány szűkül és az energiaellátottság (szén) kisebb lesz. A csökkenő tápanyagellátottság miatt a mikrobaközösség egy része elpusztul, aminek következtében új egyensúlyi állapot alakul ki. Az újonnan kialakult egyensúly közelítésével együtt jár az ásványi nitrogén felszabadulása. Ennek eredményeképpen, a talaj ásványi nitrogén formájának szintje nagyobb lehet az eredeti szintnél (Fülek 1999, Tolner 2005). Ezzel egyidejűleg az eredetileg hozzáadott friss szervesanyag mennyiségétől és féleségtől függően növekedhet a talajban a stabil szervesanyag, illetve a humusz szintje is. A bomlási körfolyamat végbemeneteléhez szükséges idő függ az adott szervesanyag mennyiségétől, a felhasználható nitrogénkészlettől, az anyag mikroba hatásokkal szembeni ellenállásától (ez utóbbi a jelen levő lignin, viasz és zsír mennyiségének a függvénye), illetve a talaj hőmérsékletétől és nedvességtartalmától (Tisdale és Nelson 1966.).

A cellulóz és műtrágya nitrogén kölcsönhatása a mikrobiális bontás során keletkező széndioxid kinetikájának vizsgálatával tanulmányozható (Szegei et al. 1988).

A szakirodalomban elterjedt „pentozán hatás” elnevezés tévedés, a hatás valójában a nagy cellulóz tartalmú melléktermékek talajba keverése esetén jelentkezik (4. ábra).

A nagy szervesanyag-tartalmú mezőgazdasági és ipari melléktermékek környezetkímélő ártalmatlanítása gyakran összekapcsolható talajjavító és tápanyag-utánpótlási technológiákkal (Tóth et al. 2011). Tartamkísérletek talajainak vizsgálatával igazolható, hogy a talajok szerves szén- és ásványi nitrogéntartalma egymással összefügg. A különbségek a talajok mikrobiológiai aktivitásában is tükröződnek (Kátai et al. 2005).

Saját kutatásom során vizsgálva a glicerinnel kezelt talaj hatását a talaj ásványi nitrogénforgalmára megfigyeltem, hogy az 1%-os szénforrásként alkalmazott glicerinnel kezelt talaj hatására a műtrágya-N és részben a talaj ásványi-N tartalma gyorsabban immobilizálódik mint glicerinnel kezelt talaj nélkül, így meggátolva azt, hogy az igen mozgékony nitrát-nitrogén kimosódjon, ezzel környezeti és gazdasági kárt okozzon. Glicerinnel kezelt talaj hatására az ásványi nitrogén feltehetően gyorsabban beépül a talaj szervesanyag készletébe, így hosszú időn keresztül képes nitrogénforrásként szolgálni a növények számára (Tolner et al. 2010b).

A Szent István Egyetem Talajtani és Agrokémia Tanszékén 2012-ben elvégzett kutatásainkban talajoszlop kísérletek beállításával tanulmányoztuk a glicerinnel kezelt talaj kimosódásra gyakorolt hatását. Talajmintaként homokos és vályogos szövetű talajt alkalmaztunk. Megállapítottuk, hogy a glicerinnel kezelt talaj szignifikánsan csökkentette a kimosódott nitrogén mennyiségét. A talajmintákhoz adagolt nitrogén kezelések hatására csökkent a kimosódott glicerinnel kezelt talaj mennyisége. Mindkét hatás arra mutatott rá, hogy a kezelések kedvező feltételeket biztosítottak a talaj mikrobiális aktivitására (Tolner et al. 2012, Tolner és Kovács 2012).

2.3. Repce (*Brassica napus*), mint biodízel alapanyag

A *Brassica* nemzetség a legkülönbözőbb felhasználású haszonnövények közé tartozik, ebbe a nemzetségbe sorolhatók pl.: olajnövények (káposztarepce), takarmánynövények (réparepce, karórépa és tarlórépa), fűszernövények (a feketemustár, amelyet olajnövényként is felhasználnak) (Eőri 1986, Selmeczi 1993).



5. ábra Repce (*Brassica napus*) (Czinege 2012)

A repce (5. ábra) fontos és értékes olajnövényünk, területegységként ebből lehet a legnagyobb mennyiségű olajat kinyerni (Láng 1976, Szabó 1993). Jelentősége még, hogy megfelelő viszonyok mellett gazdaságosan termeszthető, emellett a repceolaj felhasználása sokoldalú.

A káposztarecének őszi és tavaszi változatai ismertek, a tavasziak lényegesen kevesebbet teremnek és a szárazságot is kevésbé tűrik, ezért ezeket csak zöldtrágyának termesztik. Napjainkban, számos iparágban jelentős mennyiségben, étkezési olajat is készítenek belőle.

„Korábban a fajták olajában nagy volt az erukasav-tartalom (40-50%), amely különböző zavarokat okozott a szervezetben (sejtnagyobbodás, szaporodásbiológiai zavarok). A mai fajták gyakorlatilag erukasav mentesek. Néhány fajta azonban még tartalmaz 1%-ot, vagy az alatti mennyiséget” (Vajdai és Bujáki 2002).

A bő erukasav-tartalmú olaj viszont jó minőségű kenőolaj, festék-, lakk- és gumiipari alapanyag. A metilészterezett ipari repceolaj alkalmazható motorhajtó üzemanyagnak (biodízel) (Kiss 2006).

2.4. Angolperje (*Lolium Perenne*) jelzőnövény

Az angolperje (*Lolium perenne* L.) eredetileg Európa, Ázsia és Északnyugat-Afrika területén terjedt el. Ausztráliába, Új-Zélandra, valamint Észak- és Dél-Amerikába is betelepítették, ahogy Nyugat-Európa zöldterületeinek is egy jellegzetes növénye. Általánosan elterjedt száraz gyepeken, réteken, nedves legelőkön és az utak mentén. Előfordulását tekintve tápanyagokban gazdag, üde vagy közepesen száraz talajokat kedvel, de ritkábban homoktalajon is nő.

Gyorsan fejlődik, 6-8 napon belül kikel és rövid időn belül díszít. Sokoldalúan használható, mivel tömött gyepet képez, és jól tűri a taposást. Az angolperje kiválóan alkalmas legelő aljfüvének. Laza bokrú, évelő (2 és 3 éves), földalatti részei, illetve nyúlványai 30-70 cm-re nő meg. Földfeletti magassága a 100 cm-t is elérheti. Gyökérzete erős, jól fejlett. Legfőbbképpen a mérsékelt éghajlat nedves talajait kedveli, de tápanyagokban gazdag homokosabb szerkezetű talajokon is előfordul. Az árnyéket nem kedveli. Az ideális talaj pH értéke 6-7 közötti, ellenben az erősen savas és enyhén lúgos kémhatást is elviseli. A szárazságot közepesen tűri. A légszennyezést és a magasabb sótartalmú talajokat azonban jól tolerálja (Duke 1983). Nagy hajtástömeget fejleszt, ezért jól tűri a legelést és a gyakori vágást. Az angolperje szívós és agresszív növény, ennél fogva rendkívül elterjedt. Gazdasági jelentősége a takarmánynövényként való alkalmazáson túl a talajstabilizációban betöltött szerepéig terjed. Csírázási kísérletek elvégzésére is alkalmas, mivel viszonylag nagy magokkal rendelkezik és nem érzékeny a hőmérséklet változására. Megfelelő nedvességtartalma mellett sötétben és megvilágítás mellett is egyaránt csírázik, majd gyors növekedésnek indul a növény (Grime 1979, Thompson és Grime 1979).

Az angolperje sokoldalúan használatos laboratóriumi körülmények között elvégzett toxicitás vizsgálatokra, mivel érzékenyen reagál a talajban megváltozott tápanyag-gazdálkodási és kémiai viszonyokra. Ezek a válaszreakciók a gyökérzet fejlődésén, a növényi hajtások hosszán, nedves, illetve száraz biomassza tömegén és az ásványi anyag felvételén is egyaránt jelentkeznek (Davidson 1969, Sardi és Csathó 2002, M Soumaré et al. 2003, Alburquerque et al. 2007, de la Rosa et al. 2014).

2.5. Biodízel gyártás melléktermékeiben jelenlévő szennyezőanyagok toxikus hatásának vizsgálata

Amióta a kutatásaimat elkezdtem, számos tanulmány foglalkozott a biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermék és az abban jelenlévő szennyező anyagok vizsgálatával. A kutatások kiterjedtek a toxikus hatások megfigyelésére, illetve talajjavító anyagként való alkalmazhatóságra egyaránt. Hazai viszonylatban kevés kutatás terjedt ki e területre, azonban nemzetközi viszonylatban számos hasonló irányú kutatást végeztek. Ezek eredményei változó képet mutatnak, ami alátámasztja azt, hogy további vizsgálatok szükségesek az esetleges káros hatások részletesebb megismerésére.

2.5.1. Alkoholok talaj-növény rendszerre gyakorolt hatása

Több kutatás is kiterjedt a NaCl, metanol, etanol, glicerín és poliglikol-glicerín vegyületek csírázásra gyakorolt hatására. A csírázás korai fázisát a talajban elérhető vízfelvétel befolyásolja leginkább. Ezen anyagok jelenléte a talajban megváltoztatja az ozmotikus hatást, ezáltal a talajból felvehető víz elérhetőségét, ami a csírázás gátlásához vezet. Azonban a különböző növények eltérő

reakciót mutatnak a megváltozott talajviszonyokra (Kaufmann 1969, Hallsworth és Magan 1995, Idu és Omonhinmin 2002, Ramirez et al. 2003).

Zbieć és Karczmarczyk (1999) üvegház kísérletekben tanulmányozták a metanol hatását muskátli, téli repce, búza, repce és dísznövények növekedésének megfigyelésén keresztül. A metanolt 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% térfogatarányban alkalmazták kezelésként, majd megmérték a növények hosszát, a friss és kiszáritott hajtástömeget, valamint a gyökértömeget. Muskátli esetében 20%-os metanol kezelés hatására fejlettebb gyökérszövet alakult ki és 50%-al nőtt a száraz gyökértömeg a kontroll kezeléshez képest. A metanol még nagyobb koncentrációban adagolva is kedvezőbb hatást fejtett ki a szárított tömegre, illetve több virágot is eredményezett. A búzán is megfigyelhető volt ez a kedvező hatás. Megállapították, hogy a metanol oldat stimulálta a muskátli növekedését és virágzását. A búza termése megkétszereződött metanol hatására. A repce leveleinek fejlődése jelentősen javult a kezelések hatására. A téli repce hozama 20%-os metanol kezelés hatására szignifikánsan nagyobb hozamot eredményezett (Zbieć et al. 1999).

Ramírez és társai (2006) a metanol hatását vizsgálták hídfü, dohány és paradicsom növények növekedésére. A kezeléseket oldat formájában permetezték a levelek felületére, illetve öntözés útján alkalmazták a gyökérszónában. A gyökérszónába bejuttatott metanol mindhárom növény esetében toxikus hatást váltott ki. A levelek permetezése megnövelte a hídfü és a dohány nedves és száraz tömegét, de a paradicsomét nem. A metanol megemelt koncentrációja és a hídfü száraz, illetve nedves tömegének növekedése közötti összefüggést nem állapították meg (Ramírez et al. 2006).

Rowe és munkatársai (2010) metanol és etanol kezeléseket vizsgáltak paradicsom palánták növekedésére. Az alkoholokat 5-20%-os térfogatarányú koncentrációban a levelekre permetezték, illetve vizes oldatban a gyökérszónába adagolták. A gyökérszónában való alkalmazás súlyos növénykárosító hatást eredményezett. Ezzel ellentétben a kezeléseket leveleken való alkalmazása szignifikánsan stimulálta a növények növekedését. Megfigyelték, hogy mindkét alkoholos oldat növelte a levelek és a száraz tömegét, illetve száraz tömegét. A legnagyobb mértékű növekedést a legmagasabb koncentráció alkalmazása esetén tapasztalták. A metanol hatása kedvezőbbnek bizonyult az etanolnál a száraz tömegének és tömegének tekintetében. Azonban a két alkohol kezelés hatásai nem okoztak jelentős eltérést a levelek számában és tömegében (Rowe et al. 2010).

2.5.2. Glicerín talaj-növény rendszerre gyakorolt hatása

Manohar (1966) NaCl és glicerín csírázásra gyakorolt hatását vizsgálta borsó tesztnövényen. Kutatása során megállapította, hogy a NaCl oldat toxikus hatást gyakorol a

csírázásra. Azonban a glicerines oldat alkalmazása esetén nem tapasztalt toxikus hatást (Manohar 1966).

Chung és munkatársai (2005) tanulmányukban arról írnak, hogy a biofungicid granulátumhoz hozzáadott glicerint hogyan képes szabályozni a *Rhizoctonia solani* kolonizálódását a talajban, amely a kínai káposzta egyik betegségének kiváltó oka. Megállapították, hogy a káposzta csírázását nem befolyásolta negatívan a glicerint jelenléte a talajban (Chung et al. 2005).

Alotaibi és Schoenau (2008) glicerines talajjavító kezelések borsó növekedésére gyakorolt hatását vizsgálták. Tanulmányuk célja az volt, hogy megállapítsák a három különböző koncentrációban hozzáadott glicerint hatását *Rhizobium leguminosarum* *bv. viciae* jelenlétében, illetve anélkül, a borsó hozamára, továbbá N és P felvételére. A kontroll kezelés nem tartalmazott sem glicerint, sem pedig rhizobiumot. Rhizobium kezelést alkalmaztak glicerint nélkül, háromféle mennyiségben (100, 1000, 10000 kg/ha) glicerint rhizobium nélkül és rhizobium jelenlétében. Nyolc hétig vizsgálták a palánták növekedését, azután levágták a hajtásokat, majd megmérték száraz tömegüket és a N, illetve P felvételüket. A borsó hozamra kifejtett hatása a glicerint (a legkisebb 100 kg/ha koncentrációban) és rhizobium keverékek esetében volt a legnagyobb. Megállapították, hogy a talaj szervesanyag tartalma a glicerint kezelésekre hatására növekedett, továbbá kedvezően hatott a borsó hozamára (Alotaibi és Schoenau 2008).

Qian és társai (2008) ellenőrzött körülmények mellett tenyészedény kísérleteket állítottak be annak céljából, hogy megvizsgálják a glicerint búza termés hozamára és a talaj karakterisztikájára gyakorolt hatását. Négy kezelést alkalmaztak eltérő mennyiségekben (0, 100, 1000, 10000 kg/ha) hozzáadott glicerint formájában, majd megvizsgálták a búza biomassza hozamát, a talaj szervesanyag tartalmát, illetve a felvehető N és P mennyiségét. Azt tapasztalták, hogy a hozzáadott glicerint kis és közepes mennyiségben (100 és 1000 kg/ha) növelte a búza hozamát és a N felvételét. Azonban nagyobb mennyiségben (10000 kg/ha) alkalmazva csökkentette a termés hozamot. Úgy gondolták, hogy a csökkent hozam a N immobilizálódásával magyarázható. Megállapították, hogy a C-forrásként hozzáadott glicerint növelte a talaj szervesanyag tartalmát és csökkentette a növények számára felvehető nitrogén és foszfor mennyiségét (Qian et al. 2008).

Schoenau és társai (2009) számos növényi és állati eredetű, valamint a biodízel gyártás során keletkezett glicerintartalmú melléktermék talajjavításra gyakorolt hatását vizsgálták. Megállapították, hogy a glicerint hatékonyan növelte a talaj szervesanyag tartalmát, azonban kiegészítő műtrágyát igényelt, hogy kompenzálja a tápanyagok, mikroorganizmusok általi megkötődését és talajban történő lebomlását. Sem a glicerint, sem pedig más vizsgált melléktermék használata esetén nem tapasztaltak jelentős eltérést a talajbiológiai hatásokban. A vizsgálat során alkalmazott glicerint koncentrációk nem befolyásolták a talaj kémiai paramétereit, beleértve a talaj

pH-ját, sótartalmát, valamint az oldható fémtartalmát. Kedvező hatást tapasztaltak 10000 kg/ha (1%-os tömegarányban, 10 cm-es talajmélységet feltételezve) mennyiségben alkalmazva, azonban ez az arány túlzott mértékű hozzáadott műtrágyát igényel a tápanyag megkötődés kompenzálásának szempontjából. Javaslatuk alapján megközelítőleg 1000 kg/ha (0,1%-os tömegarányban) alkalmazási arány lenne a megfelelő. Vizsgálataik alátámasztották, hogy a glicerinnel történő hozzáadása járhat a legnagyobb haszonnal a talaj szervesanyag tartalmának növelésében és megkötődésében (Schoenau et al. 2009).

Wee és Obbard (2010) komposzt hatását vizsgálta 0%, 10%, 20%, 30% és 40%-os glicerinnel történő koncentráció jelenlétében. Ezeket a keverékeket ezután 1:2 arányban összekeverték a termőtalajjal. A kísérletben komposzt nélküli termőtalajt is alkalmaztak referenciaként. A talajmintákba búzafüvet termesztettek és nyolc napig mérték a hajtások magasságát. A nyolcadik napon levágták a hajtásokat és megmérték a biomassza mennyiségét a gyökérzettel együtt. Az eredmények azt mutatták, hogy a legnagyobb mértékű növekedést azokban a mintákban figyelték meg, ahol csak komposztot alkalmaztak glicerinnel történő jelenléte nélkül. Az összes komposzt keverék esetében jobb eredményt értek el, mint amikor csak termőtalajt alkalmaztak. Megállapították, hogy közel azonos eredmény volt megfigyelhető azon komposztkeverék esetében, amely 10%-ban glicerint is tartalmazott. Azonban 40%-ban alkalmazva már jelentkezett a glicerinnel történő növényi növekedésre gyakorolt gátló hatása (Wee és Obbard 2010).

Tisserat és Stuff (2011) kutatásaiban rövidtávú üvegházás kísérletek beállításával azt vizsgálták, hogy a glicerinnel milyen hatást fejt ki a növényi növekedésére répa, kukorica és menta leveleinek bepermetezésével. 0, 0,1, 0,3, 0,5, 1, 3, 5, 10, 25, 50 ml/L térfogatarányú koncentrációban alkalmaztak glicerinnel történő kezeléseket, majd megvizsgálták a növények nedves, illetve száraz tömegét és a gyökerek átmérőjét. Azt tapasztalták, hogy a répa hajtástömege száraz, illetve nedves állapotban, valamint a gyökerek átmérője is jelentősen növekedett a kontroll kezeléshez képest. A kukoricával és mentával elvégzett kísérletek során is hasonló javulást tapasztaltak. Megállapították, hogy a glicerinnel történő megfelelő koncentrációban alkalmazva stimulálhatja bizonyos növények növekedését (Tisserat és Stuff 2011).

Qian és társai (2011) Alotaibi és Schoenau (2011) kutatásával szoros kapcsolatban álló vizsgálatokat állítottak be, amely során ellenőrzött körülmények között vizsgálták a vinasz (a bioetanol gyártás mellékterméke) és glicerinnel történő talaj szervesanyag tartalmára gyakorolt hatását. A glicerinnel történő könnyen lebomló tulajdonságának köszönhetően hatékonyan bizonyult a talaj szervesanyag tartalmának növelésében. A tesztek során egyik hozzáadott anyag sem mutatott kémiai jelentős hatást a talaj pH-jára, sótartalmára, illetve oldható fémtartalmára vonatkozásában. A vinasz hatékony talajjavítónak bizonyult, azonban hatása elmaradt a karbamidtól köszönhetően annak a ténynek, hogy a N a vinaszban biológiailag nem volt elérhető

az öthetes tesztperiódus alatt. Azt állapították meg, hogy a glicerinnel szükséges kiegészítő műtrágyát is adagolni, hogy kompenzálja a mikroorganizmusok általi tápanyag megkötődést a talajban a bomlási folyamat alatt (Qian et al. 2011).

A glicerinnel tápanyagát gazdagító módszerét kereső tanulmányban Sadano és munkatársai (2012) komposzt vizsgálatát végezték el ismételt erjesztéssel. A munkacsoport a keverékhez 625 g száraz fűrészport, 25 g mikrobiális oltóanyagot, 50 g glicerinnel mellékterméket és 0,5 g karbamidot használtak fel. A kísérlet során a pH-t, a N és víztartalmat a megfelelő szinten tartották a komposztban lévő mikrobák szaporodásának érdekében. Azonban a komposztban felhalmozódó olajos vegyületek és a glicerinnel jelenléte fokozatosan csökkent. A legfontosabb megállapításuk az volt, hogy még ha figyelembe vesszük a fűrészpor megvásárlásának igen magas költségeit is, a glicerinnel tápanyagátási ára körülbelül 11%-kal csökkent ezáltal. Arra a következtetésre jutottak, hogy gazdaságilag előnyös a biodízel gyártásból keletkezett melléktermék komposztban történő fermentálása (Sadano et al. 2012).

Soerens és Parker (2012) kutatásaik során arra keresték a választ, hogy milyen toxikus hatása lehet a biodízel gyártás során keletkezett metanoltól megtisztított glicerinnel a talaj mikrobiális aktivitására, a növény-talaj rendszerre és a földigiliszták túlélésére. Nyolcféle glicerinnel koncentrációban (0%, 0,01%, 0,03%, 0,1%, 0,3%, 1%, 3%, 10%-os tömegarányban) kezelték a talajokat. A glicerinnel még nagyobb koncentrációban alkalmazva is serkentette a talaj mikrobiális aktivitását. A csírázási kísérletek során azt tapasztalták, hogy a glicerinnel 3% és azt meghaladó koncentrációban csökkentette a kikelt csírák számát. A tenyészedény kísérletek során két hónapig angolperje jelzőnövényt neveltek. A növénykísérletek során azt figyelték meg, hogy a glicerinnel 1% és afeletti aránya a kontroll kezeléshez képest kisebb mértékű csírázást és növekedést eredményezett. A magasabb koncentrációban alkalmazott glicerinnel kiszárította a talajt, annak ellenére, hogy ugyanakkora vízmennyiséget kaptak a talajminták. A glicerinnel higroszkopikus tulajdonsága miatt megkötötte a vizet, ezáltal elérhetetlenné tette a növények számára és kiszárította a talajt. A két hónapos megfigyelés alatt négy alkalommal levágták a növények hajtását és megmérték a kiszárított hajtástömeget, majd elosztották az eltelt napok számával. Ez alapján megállapították, hogy a kontroll kezeléshez képest szignifikánsan kevesebb hajtástömeget eredményezett a 3%, illetve a 10%-ban alkalmazott glicerinnel kezelése. 0,1%-ban alkalmazva a kontrollhoz képest jelentősen nagyobb volt a száraz hajtástömeg. A glicerinnel földigiliszták növekedésére gyakorolt negatív hatása 3%-os koncentráció felett volt megfigyelhető. 10%-os koncentrációban alkalmazva teljes mortalitást eredményezett. Összességében megállapították, hogy a glicerinnel több mint 1% tömegszázalékban alkalmazva károsan hatott a csírázásra és a növények növekedésére. A glicerinnel tartalmú melléktermék erősen lúgos kémhatását ecetsavval ellensúlyozták, azonban ez sem eredményezett javulást a csírázási erélyben. A glicerinnel 1% alatti

tömegszázalékban való alkalmazása során nem tapasztaltak gátló hatást, sőt kedvező hatás volt megfigyelhető a növények növekedésében. Az elvégzett kísérletek alapján azt javasolják, hogy 1000 kg/ha mennyiségben lenne megfelelő kijuttatni a metanoltól megtisztított glicerint, amely már nem fejt ki toxikus hatást a mikroorganizmusokra, a növényekre, illetve a talaj biológiai rendszerére (Soerens és Parker 2012).

Hu és társai (2014) vizsgálatának célja az volt, hogy megállapítsák a glicerín lúdfü gyökérzetének fejlődésére gyakorolt hatását. Azt tapasztalták, hogy a glicerín gátolta gyökérzet növekedését, megváltoztatta az oldalirányú kiterjedését, valamint csökkentette a gyökérzet foszfát tartalmát (Hu et al. 2014).

Tilaki és társai (2014) tanulmányukban a csírázási arányt vizsgálták NaCl és polietilén-glikol hozzáadásával angolperje és rozsnok jelzőnövényekkel. A kísérlet célja az volt, hogy választ találjanak arra a kérdésre, hogy a csírázást gátló hatás a só toxicitásának, vagy a polietilén-glikol kezelés által megnövekedett ozmotikus hatásnak köszönhető-e. Megállapították, hogy mind a só, mind pedig a polietilén-glikol kezelések szignifikáns hatást gyakoroltak a csírázásra és a csírázási erély helyreállítására. Angolperje esetében a polietilén-glikol alkalmazása eredményezett alacsonyabb csírászámot a só kezelésekhez viszonyítva, azonos vízmennyiség jelenlétében. A rozsnok esetében ez a hatás pont fordított volt, a polietilén-glikol hatása kedvezőbbnek bizonyult a sónál. Desztillált vizes kezelés hatására jelentősen javult a csírázási arány, mindkét növény esetében. Ez alapján arra a következtetésre jutottak, hogy csírázást gátló hatást az ozmotikus és ionikus viszonyok is egyaránt befolyásolják, de növényenként eltérő módon (Tilaki et al. 2014).

2.5.3. Melléktermék talaj-növény rendszerre gyakorolt hatása

Cayuela és társai (2010) különböző talajjavító anyagok hatását vizsgálták (fermentált trágya, repce liszt, szárított gabona, nem fermentált lignocellulóz, biodízel melléktermék és faszén) a talaj C és N körforgására. Megállapították, hogy a biodízel melléktermék, mint talajjavító, nagy mennyiségben tartalmaz könnyen lebomló szenet, ami rövidtávon a N immobilizálódásához vezet, ami korlátozhatja műtrágyaként való alkalmazását. Azt javasolták, hogy ezeket az anyagokat olyan módon kellene hasznosítani, hogy lehetővé tegye a talaj mikrobiológiai aktivitásának megőrzését, ezáltal fenntartva a talaj ásványi anyag tartalmának körforgását (Cayuela et al. 2010).

Gell és társai (2010) biogáz, biodízel, bioetanol és pirolízis során visszamaradt anyagok növényi toxicitásra gyakorolt hatását vizsgálták. Homokos szövetű talajba keverték a kezeléseket és megvizsgálták a saláta, retek és búza palánták gyökerének és hajtásának megnyúlását. Azonnali toxikus hatást tapasztaltak a biodízel és bioetanol gyártásból visszamaradt melléktermékek esetében, azonban ez a hatás egy hét elteltével már nem volt szignifikáns (Gell et al. 2010).

Alotaibi és Schoenau (2011) a bioüzemanyagok gyártása során keletkezett melléktermékek alkalmazásának hatásait vizsgálták a talaj enzimatikus aktivitására, illetve a biomassza C és N tartalmának arányára nézve. Nedves gabonát, vinaszt és glicerint alkalmaztak kezelésként. Mindhárom anyagot háromféle mennyiségben adták hozzá a talajhoz. A glicerint 40, 400 és 4000 kg C/ha mennyiségben adagolták önmagában, illetve karbamiddal együtt 100 kg N/ha mennyiségben. Azt találták, hogy a glicerin hozzáadott N jelenlétében javította az alkáli foszfatáz aktivitást. A hozzáadott anyagok mindegyike változatos dehidrogenáz aktivitást mutatott. Megállapították, hogy a bioüzemanyagok során keletkezett ipari melléktermékek növelték az enzimatikus aktivitást és stimulálták a mikrobiális növekedést. Ezáltal támogatva a talajjavító anyagként való felhasználási potenciálját annak érdekében, hogy újrahasznosítsák a növények számára az ásványi anyagokat és javítsák a talaj mikrobiális aktivitását (Alotaibi és Schoenau 2011).

Csontos és Pocsai (2012) a repceből származó biodízel gyártás melléktermékeként keletkezett szappanos olaj herbicid hatását vizsgálták tenyészedényes kísérletben parlagfű csírázására. A talajmintákat háromféle dózisban (2500, 5000 és 10000 l/ha) kezelték, kezeletlen kontroll csoport beállítása mellett. A parlagfű kaszatok csírázását 40 napon keresztül követték nyomon. Eredményeik alapján mind a négy kezelés estében kicsíráztak a parlagfű kaszatok, azonban eltérő arányban. A kontroll csoport esetében tapasztalták a legmagasabb csírászámot. A szappanos olaj a legkisebb és legnagyobb dózisban okozott szignifikánsan kisebb csírázást. 5000 l/ha mennyiségben alkalmazva nem tért el jelentősen a kikelt csírák száma a kontrollhoz képest. Az elvégzett kísérletük alapján megállapították, hogy a szappanos olaj talajba juttatása hatásosnak bizonyult a gyomnövények elterjedésének szabályozásában (Csontos és Pocsai 2012).

Hawrot-Paw és társai (2015) dízel és biodízel üzemanyaggal szennyezett talajok mikroorganizmusokra, növények növekedésére és fejlődésre gyakorolt toxikus hatását vizsgálták. A kutatás kiterjedt a növények csírázásra és a gyökerek megnyúlásának megfigyelésére is. Az üzemanyagokat 10 és 50 g/kg koncentrációban adták a talajhoz. Eredményeik alapján a 19 megvizsgált, 5 különböző növényi családból származó fajták közül csak 4 (szójabab, napraforgó, fehér csillagfűt és cukorborsó) mutatkozott ellenállónak a szennyezések jelenlétében, függetlenül az üzemanyag típusától és dózisától. Megfigyelték, hogy az üzemanyagok hatására csökkent a heterotróf mikroorganizmusok száma, azonban stimulálódott a lebontó baktériumok és a biomassza növekedése. A talajban jelenlévő biodízel jelentős különbséget eredményezett a mikroorganizmusok számában és aktivitásában. A szennyező anyagok negatív hatást fejtettek ki a növényekre, amely a csökkent víztartalom, a rövidebb hajtásokon és a gyökérzetben is jelentkezett (Hawrot-Paw et al. 2015).

Alotaibi és Schoenau (2016) kutatásai során 3 éven keresztül tartó szabadföldi kísérletet állítottak be annak érdekében, hogy megvizsgálják két gyártási melléktermék hatását repce és búza növekedésére. Az egyik melléktermék a pirolízis során keletkezett szénben gazdag faszén, a másik a repceből előállított biodízel glicerines mellékterméke volt. A növényeket vetésforgóban ültették, majd megvizsgálták az egy alkalommal kijuttatott melléktermékek azonnali és visszamaradt hatását a növények hozamára illetve a N és P felvételére. 2000 kg C/ha mennyiségben juttatták ki a faszén és a glicerint. A glicerinhoz 100 kg N/ha, a faszénhez 50 kg N/ha adtak, mivel a faszén 50 kg N/ha önmagában is tartalmazott. Kontroll kezelésként 100 kg N/ha alkalmaztak. Az első évben a faszenes kezelés karbamiddal együtt alkalmazva kétszer akkora repce hozamot eredményezett a kontrollhoz képest. A glicerin karbamid beadagolása mellett jelentősen megnövelte a hozamot a sima glicerines kezeléshez képest, azonban elmaradt a karbamidos kezeléstől. A második évben a visszamaradt kezelések hatása egyértelmű volt. A glicerin karbamiddal együttesen alkalmazva eredményezte a legnagyobb terméshozamot. A N felvétel hasonló tendenciát mutatott, ahogyan a P is. A dehidrogenáz enzim aktivitást jelentősen befolyásolta a glicerin. A legmagasabb aktivitást a glicerin és karbamid kezeléseknél figyelték meg, amelyet a sima glicerin követett. A búza hozama szignifikánsan magasabb volt az összes többi kezeléshez képest. Azonban faszén alkalmazva nem tapasztaltak jelentős hatást. Megállapították, hogy a glicerin alkalmazása csökkentette a hozamot és a N felvételt az első évben, ami a N immobilizálódásának egyértelmű következménye. A következő évben mobilizálódott az ásványi N, ennek eredményeképp magasabb növényi hozamot értek el (Alotaibi és Schoenau 2016).

2.6. A növényi növekedés vizsgálata optikai úton

A biomassa a növényi növekedés megfigyelésének és a növekedési arány meghatározásának fontos jellemzője (Wilson et al. 1999, Poorter és Nagel 2000, Niklas és Enquist 2002, Tackenberg 2007). A biomassa mérésére számos módszert dolgoztak ki (Wheeler 1992).

A száraz növényi tömeg meghatározásának szokásos módszere a kemencében történő szárítás. A növényi szövetet a kísérlet végén levágják, kiszárítják, majd a száraz hajtástömeget megméri (Schwinning és Weiner 1998, Cornelissen et al. 2003). Azonban a biomassa vizsgálatának e módszere idő- és munkaigényes. Továbbá, nem lehetséges ugyanazon növényen különböző időpontokban elvégezni a mérést, mivel ez a módszer a növények károsításával jár. Ennek okán képzelték ki módszereket fejlesztettek ki, amely a növények károsítása nélkül képes a növényi biomassa meghatározására (Golzarian et al. 2011).

A képelemzésen alapuló technikák alkalmazása során számos kutatómunkát végeztek el egy adott növényi egyed földfelszíni biomassa tömegének becsléséhez. Ezekben a kutatásokban

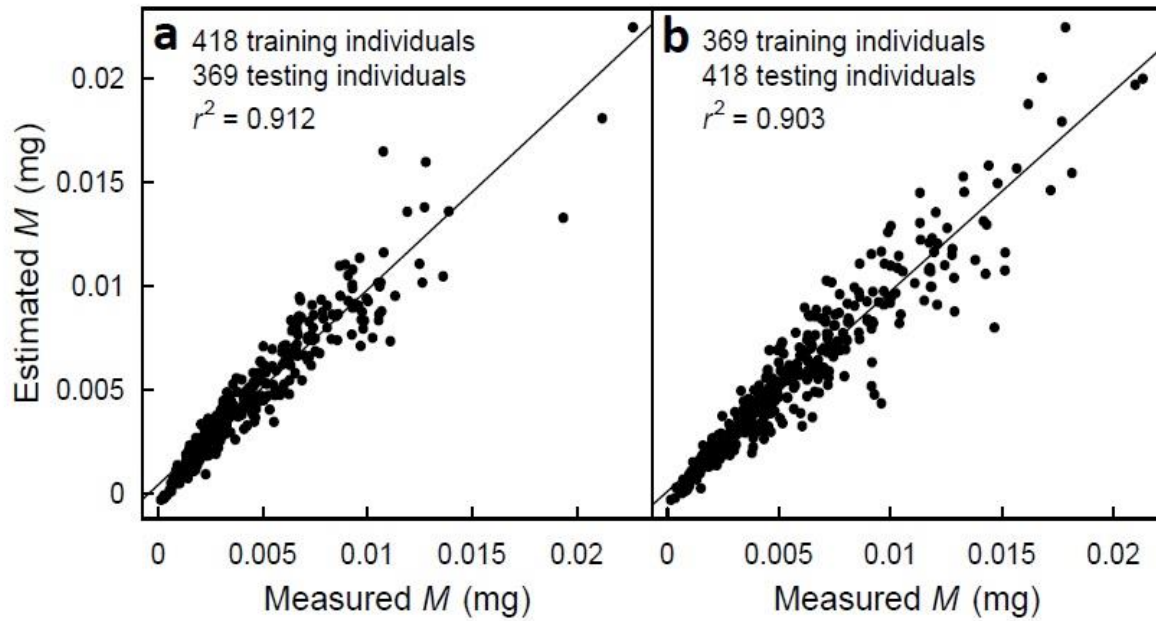
kétdimenziós képeken rögzítették a növényi hajtások felületét és az ezáltal nyert információkat alkalmazták paraméterként a biomassza becsléséhez (Smith et al. 1989, Sher-Kaul et al. 1995, Lukina et al. 1999, Paruelo et al. 2000, Smith et al. 2000, Mizoue és Masutani 2003, Tackenberg 2007).

A növények fejlődéséről készített képek és a növényi hajtástömeg közötti kapcsolat vizsgálatára többféle modellt is felállítottak. Első megközelítésben lineáris illesztést alkalmaztak, majd megvizsgálták a nem-lineáris modellek (másod- és harmadfokú polinomiális), illetve exponenciális illesztések hibáját. Arra a megállapításra jutottak, hogy a lineáris modell jár a legkisebb hibával (Dietz és Steinlein 1996, Leister et al. 1999, Paruelo et al. 2000, Tackenberg 2007).

A Szent István Egyetem Talajtani és Agrokémiai Tanszékén dolgozó kutatócsoport (2010) munkája során a glicerint, glicerint-metanol és a biodízel gyártás glicerines melléktermék angolperje jelzőnövény növekedésére gyakorolt hatását vizsgálták. Megállapították, hogy a glicerint, illetve a glicerinttartalmú melléktermék alkalmazása befolyásolja a növényi növekedés dinamikáját. A metanol kezeléseket esetében nem tapasztaltak kedvezőtlen hatást, ami azzal magyarázták, hogy a metanol képes volt szabályozni a talaj mikroorganizmusainak aktivitását, ezáltal a növények számára felvehető ásványi-N mennyiségét (Tolner et al. 2010a).

Saját kutatásom (2011) során tenyészedény kísérletekben angolperje jelzőnövényvel vizsgáltam a glicerint és a biodízel gyártás glicerinttartalmú melléktermék kezeléseket tápanyag-gazdálkodásra kifejtett hatását azonnali vetés, 1, 2 és 3 hetes talajérlelés esetében. Megállapítottam, hogy a 0,5% vagy azt meghaladó szénforrásként alkalmazott glicerint és glicerines melléktermék talajba keverése rövidtávon csírázásgátlást okoz, késlelteti a kelést, illetve csökkenti a növényi termelést. Ez a hatás kisebb koncentrációban alkalmazva, illetve néhány hét elteltével csökken (Kovács et al. 2011a, Kovács et al. 2011b, Kovács et al. 2011c).

Vasseur és társai (2017) képelemzésen alapuló módszert fejlesztettek ki a lúdfű biomassza terméshozamának becslésére. Hidroponikus környezetben nevelték a növényeket, ezáltal a folyamatos tápanyagellátás biztosítva volt. Három héten keresztül naponta készítettek fényképfelvételeket a növényekről. Kalibrációs célból nevelt növénypopuláción keresztül megállapították, hogy képanalízis során nyert felvételekből kiszámított becslésű növényi tömeg és a levágás után lemerített száraz növényi hajtástömeg között szoros lineáris kapcsolat áll fenn (Vasseur et al. 2017, 6. ábra).



6. ábra A lúdfű kalibrációs modellje (Vasseur et al. 2017)

A kalibrációs összefüggés validálását követően felállítottak egy a növekedés ütemét leíró szigmoid modellt, korábban elvégzett kísérletek tapasztalatai alapján (Chenu et al. 2005, Cookson et al. 2005, Christophe et al. 2008). A lúdfű száraz növényi tömegének időbeni változását az alábbi három paraméteres logisztikus függvényvel (Paine et al. 2012) írták le:

$$M(t) = \frac{A}{1 + e^{-\frac{t_i - t}{B}}}, \text{ ahol}$$

A: a logisztikus görbe asszimptotája, a mérés végén mért száraz hajtástömeg maximuma a [mg],

B: a logisztikus görbe meredeksége,

t_i : a logisztikus görbe inflexiós pontja, az abszolút növekedés maximumának időpontja [nap],

t: a növekedés megfigyelésének időpontja [nap],

M: a lúdfű száraz hajtástömege [mg] (Vasseur et al. 2017).

3. Anyag és Módszer

Doktori értekezésemben laboratóriumi körülmények között homokos szövetű talajon vizsgáltam a glicerinnel tartalmú biodízel melléktermék és abban található szennyező anyagok hatásait. A talajérleléses vizsgálatot csírázási kísérletek követték angolperje (*Lolium perenne* L.), illetve őszi káposztarepce (*Brassica napus*) jelzőnövények alkalmazásával. További kísérleteket állítottunk be angolperje jelzőnövényrel a biodízel melléktermékben jelenlévő szennyezőanyagok növényi növekedésre gyakorolt hatásának feltárása céljából.

A következő anyagokat használtuk fel kezelésként a kísérletek során:

- 99,5%-os tisztaságú laboratóriumi **glicerint**,
- 96%-os tisztaságú laboratóriumi **metanolt**,
- a biodízel gyártás során keletkezett glicerinnel tartalmú **mellékterméket**, amelynek 86%-a glicerinnel, 10%-a metanollal, 2%-a KOH, továbbá fehérje, lipid és foszfát vegyületek, valamint olajos szappan alkotják 2%-ban.

A következő talajt alkalmaztuk a kísérletek során:

- Fótól származó meszes homokos szövetű talajt. A talaj főbb paraméterei: $K_A=27$, $CaCO_3\% = 8\%$, $pH(H_2O) = 8,2$, $H\% = 1,4\%$, $AL-P_2O_5 = 95$ ppm, $AL-K_2O = 120$ ppm.

Azért választottunk homokos szövetű talajt, mert itt vártuk a szennyező anyagok által kiváltott legélesebb hatást. Alacsony humusztartalma miatt ez a talajtípus reagál a legérzékenyebben a melléktermék és az abban található szennyezések által okozott hatásokra. A kísérletekhez felhasznált talajmintákat kiszárítottuk, légszáraz állapotban megdaráltuk, majd ezt követően 2 mm-es szitán átszitáltuk.

3.1. Talajinkubációs kísérlet (érlelés) hatása a talaj ásványi nitrogéntartalmának változására

Az ásványi nitrogéntartalomra gyakorolt hatás vizsgálatának érdekében négy hétig tartó talajinkubációs vizsgálatot végeztünk el a talaj szántóföldi vízkapacitásának megfelelő nedvességtartalomra való beállításával szobahőmérsékleten (a továbbiakban érlelés). Kontroll és nitrogén kezelések mellett az érleléses kísérlet során eltérő glicerinnel és melléktermék koncentrációkat alkalmaztunk, amelyeket kezelésként négy ismétlésben, homokos szövetű talajon hajtottunk végre. A kálium-szulfát, kálium-foszfát és ammónium-nitrát bemérése analitikai mérlegelést igényelt.

200 g légszáraz talajt helyeztünk el minden egyes műanyag edénybe. A kezelésekhez felhasznált anyagokat oldat formájában jutattuk be keverés útján a talajmintákba.

A következő kezeléseket alkalmaztuk a kísérlethez:

- 1. kezelés: 100 ppm P₂O₅ + 100 ppm K₂O (KH₂PO₄ és K₂SO₄ formájában) – **Kontroll (PK)**,
- 2. kezelés: PK + 100 ppm N (NH₄NO₃ formájában) – **Nitrogén (NPK)**,
- 3. kezelés: NPK + 1% C-forrásként glicerín – **1% C glicerín**,
- 4. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként melléktermék – **0,5% C melléktermék**,
- 5. kezelés: NPK + 1% C-forrásként melléktermék – **1% C melléktermék**.

Az edényekből hetente kivett 50-50 g talajmintákból 1%-os KCl-oldattal kivonatot készítettünk. Parnass-Wagner vízgőzdesztilláló berendezés segítségével meghatároztuk a kivonatok NH₄-N és ásványi-N (NH₄-N + NO₃-N) tartalmát (Bacsó et al. 1972). A nitrát tartalmat a két vizsgálat különbségéből határoztuk meg.

3.2. Angolperje csírázására gyakorolt hatás vizsgálata

A csírázási kísérletek első lépésében angolperjét (*Lolium perenne* L.) ültettünk jelzőnövényként, termőközegként homokos szövetű talajt alkalmaztunk. A kezelésekhöz eltérő arányú C-forrásokot adagoltunk glicerín, metanol, glicerín-metanol keverékek és melléktermék formájában.

Két különálló esetet vizsgáltunk meg. Első lépésben a jelzőnövény csírázásának válaszreakcióit figyeltük meg különböző koncentrációjú glicerín, metanol, glicerín-metanol és melléktermék hatására öt napos kelési állapotukban. Ezt követő lépésben megismételtük az előző kísérletet azzal a kiegészítéssel, hogy az ismétlések egyik felében azonnal, míg a másik felében két héten át érlelt talajba vetettük a magokat.

Ezek után megvizsgáltuk, hogy a szemtermésekből a kezelésekre hatására hány mag csírázott ki. Az első kísérlet négy, az érlelési kísérlet két ismétlésben került elvégzésre. A kezelésekhöz felhasznált oldatokat keverés útján jutattuk be a talajmintákba.

A csírázási kísérletben edényként Petri-csészéket alkalmaztunk. Minden egyes edénybe 90 g homokos szövetű talajt és 100 db angolperje szemtermést helyeztünk el. Nem alkalmaztunk előkezelést a nyugalmi állapot megszüntetésének céljából. A szemtermések egyenletesen kerültek elhelyezésre úgy, hogy sem a magok, sem pedig a kifejlődő csíranövények ne érintkezhessenek egymással.

A talaj nedvességtartalmát az Arany-féle a kötöttségnek megfelelő nedvességtartalom 60%-ára állítottuk be desztillált víz alkalmazásával, így biztosítva a laza és egyöntetű nedves közeget a szemtermések számára. Ezt követően fedőréteggel borítottuk be, amit előzőleg kivettünk a talajmintából. A kísérletek időtartama alatt az edények öntözését súlyra történő beméréssel pótoltuk.

A csírázáshoz szükséges állandó és optimális pártartalom biztosítása érdekében a Petri-csészéket egy 150 l-es hűtőládába helyeztük el (7. ábra).



7. ábra A csírázási kísérlet kivitelezése 150 l-es hűtőládában

A vékony talajréteg napi öntözés mellett is másnapra kiszáradhat. Továbbá az újabb és újabb vízadagok jelentős eltérést okozhatnak a csírázásban. Azonban a hűtőláda alkalmazásával mindkét hibaforrás kiküszöbölhető.

Az angolperje csírázása során nem igényel fényt, így a ládás módszer ennek a kritériumnak is eleget tett. A csíráztatás kivitelezése szobahőmérsékleten történt a szakirodalomban olvasottaknak megfelelően (Grime 1979, Thompson és Grime 1979).

A kezelések hatására kikelt csíranövények megszámlálása az első kísérlet estében az ötödik, a talajérlelés esetében a kilencedik napon történt meg. Minden olyan növénykezdeményt kicsírázottként tekintettünk és számításba vettünk, amelyeknél megszűnt a nyugalmi állapot és legalább a koleoptilja kibújta a talajból.

A következő kezeléseket alkalmaztuk a kísérlet során:

- 1. kezelés: 100 ppm P_2O_5 + 100 ppm K_2O (KH_2PO_4 és K_2SO_4 formájában) – **Kontroll (PK)**,
- 2. kezelés: PK + 100 ppm N (NH_4NO_3 formájában) – **Nitrogén (NPK)**,
- 3. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín – **0,5% C glicerín**,
- 4. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként metanol – **0,5% C metanol**,
- 5. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 50%-a glicerín és 50%-a metanol – **0,5% C 50% glicerín + 50% metanol**,
- 6. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 90%-a glicerín és 10%-a metanol – **0,5% C 90% glicerín + 10% metanol**,

- 7. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként melléktermék – **0,5% C melléktermék**,
- 8. kezelés: NPK + 1% C-forrásként glicerín – **1% C glicerín**,
- 9. kezelés: NPK + 1% C-forrásként metanol – **1% C metanol**,
- 10. kezelés: NPK + 1% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 50%-a glicerín és 50%-a metanol – **1% C 50% glicerín + 50% metanol**,
- 11. kezelés: NPK + 1% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 90%-a glicerín és 10%-a metanol – **1% C 90% glicerín + 10% metanol**,
- 12. kezelés: NPK + 1% C-forrásként melléktermék – **1% C melléktermék**,
- 13. kezelés: NPK + 0,25% C-forrásként melléktermék – **0,25% C melléktermék**.

3.3. Repce csírázására gyakorolt hatás vizsgálata

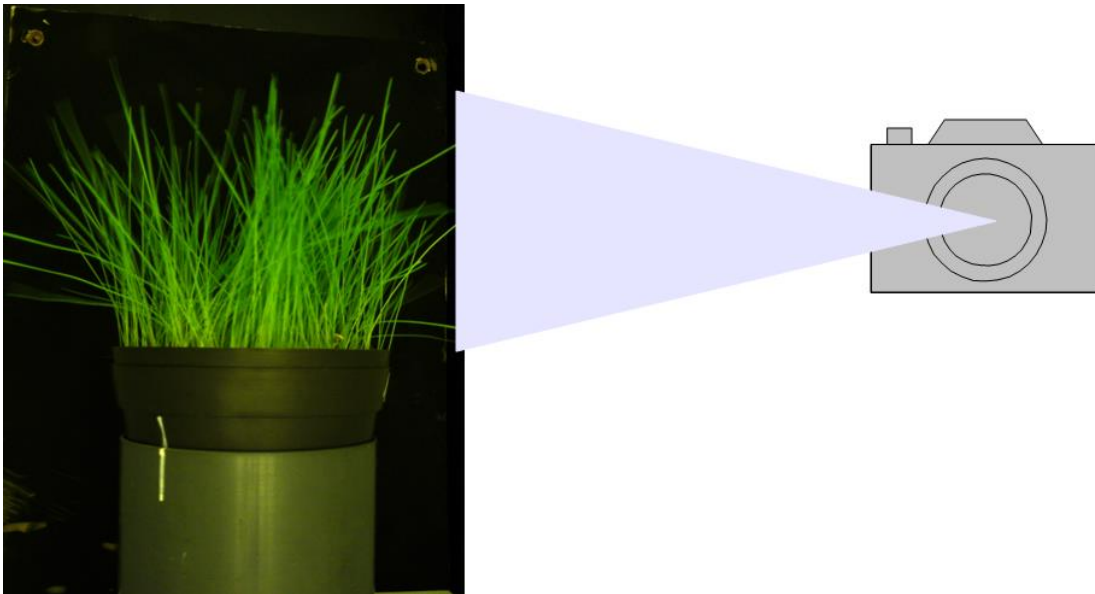
A repcével (*Brassica napus*) elvégzett csírázási kísérletet azonos metodikával hajtottuk végre, az angolperje érleléses kísérletben leírtak alapján. Az alkalmazott kezelések részletei már bemutatásra kerültek az előző fejezetben. A kezelések és az érlelés közötti kölcsönhatást úgy vizsgáltuk meg, hogy két-két ismétlésben, azonnali vetés, illetve két hétig érlelt talajba vetettük a szemterméseket, majd kilenc napos állapotukban vizsgáltuk meg őket.

3.4. A növényi növekedésre gyakorolt hatás vizsgálata

A Talajtani és Agrokémiai Tanszéken kidolgozásra került egy tenyészedény kísérleten és képfeldolgozáson alapuló hardver és szoftver rendszer, mely tetszőleges időközönként és a növények károsítása nélkül teszi lehetővé a növényi növekedés automatizált vizsgálatát.

Az így kialakított berendezés képes biztosítani, hogy hosszabb időn keresztül, folyamatában kapjunk információt a növekedés dinamikájáról és mértékéről, illetőleg a fejlődést biztosító vagy éppen azt gátló tényezőkről.

Optimalizált kísérleti körülmények között a tenyészedényekben fejlődő növényekről meghatározott időközönként színes fényképfelvételt készítettünk különböző szögekből. A feldolgozási eljárás során a felvételek képanalízisét egy erre a célra megírt célszoftverrel végeztük el, mind a növényi tömeg, mind pedig a kialakult szín szempontjából. A kísérlet statisztikai pontosságát a célszoftver azzal javította, hogy a különböző szögekből készült felvételeket és a kezelési ismétléseket statisztikai elemzésnek vetette alá. Az optikai megfigyeléshez felhasznált berendezés sematikus ábrája alább látható (8. ábra).



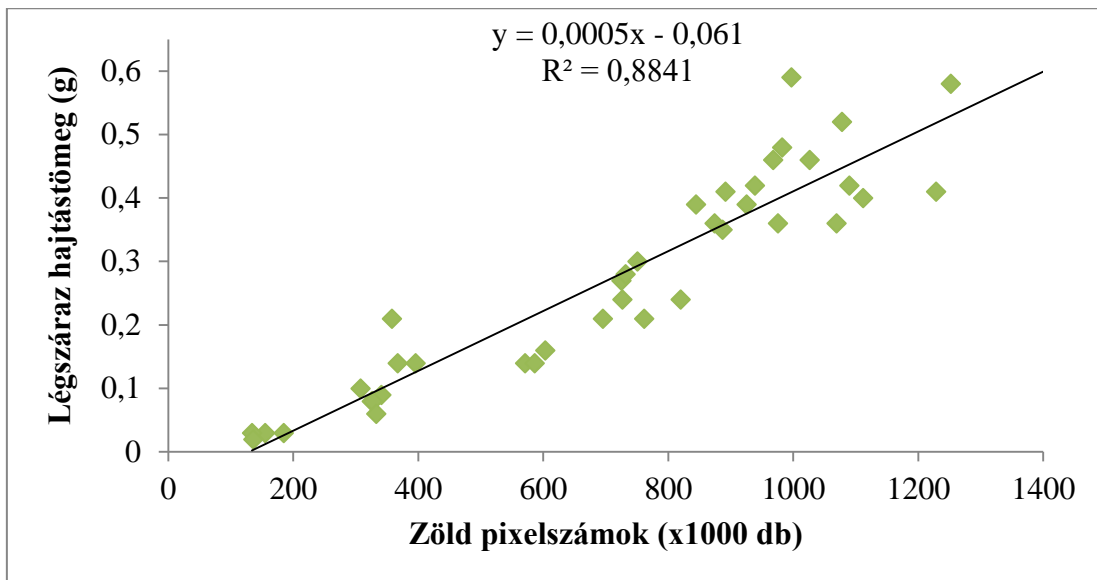
8. ábra Az optikai megfigyelés kísérleti kivitelezése

A módszer kalibrálásának céljából négy ismétlésből álló növénykísérletet állítottunk be. Angolperje jelzőnövényt neveltünk négyszer 10 db 500 cm³-es tenyészedényben, amelyekben 900 g homokos szövetű talajt helyeztünk el. A talajok felső rétegébe 1-1 g angolperje vetőmagot vetettünk. A berendezés a hajtások kikelését követően minden második napon fényképfelvételt készített az edényekben nevelt növényekről. Kétnaponta négy tenyészedény, mint négy ismétlésen nevelt növények hajtásait levágtuk, és szárítást követően lemértük légszáraz állapotban a tömegüket.

Ennek eredményeképp 10 alkalommal (4., 6., 8., 10., 12., 14., 16., 18., 20., 22. nap) nyertünk egyidejűleg hajtástömeg és optikai jellemző adatokat. A rendelkezésünkre álló adatokra kalibrációs görbét illesztettünk.

3.4.1. A kalibrációs összefüggés meghatározása

Az alábbi ábrán látható, hogy a képfeldolgozó eljárás során nyert zöld pixelek száma és a légszáraz növényi hajtástömeg között szoros lineáris összefüggés ($R^2 = 0,8841$) áll fenn. Ez összhangban van a szakirodalomban olvasottakkal (Tolner et al. 2010a, Kovács et al. 2011c, Vasseur et al. 2017). A kapott összefüggés alkalmas arra, hogy a tenyészedények fényképezése során nyert adatok felhasználásával a növényi produkciót napról napra meghatározhassuk a növények károsítása nélkül (9. ábra).



9. ábra A növényi növekedés kalibrációs modellje

3.4.2. Angolperjével elvégzett növekedési kísérlet bemutatása

500 cm³-es műanyag tenyészedényekben 900 g homokos szövetű talajt helyeztünk el az előre elkészített oldatok bekeverésével. Minden kezelést négy ismétlésben végeztünk el. A növekedési kísérlethez az alábbi kezeléseket alkalmaztuk:

- 1. kezelés: 100 ppm P₂O₅ + 100 ppm K₂O (KH₂PO₄ és K₂SO₄ formájában) – **Kontroll (PK)**,
- 2. kezelés: PK + 100 ppm N (NH₄NO₃ formájában) – **Nitrogén (NPK)**,
- 3. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín – **0,5% C glicerín**,
- 4. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként metanol – **0,5% C metanol**,
- 5. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 50%-a glicerín és 50%-a metanol – **0,5% C 50% glicerín + 50% metanol**,
- 6. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 90%-a glicerín és 10%-a metanol – **0,5% C 85% glicerín + 15% metanol**,
- 7. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként melléktermék – **0,5% C melléktermék**.

A kezeléseket követően a talajok felső rétegébe 1-1 g angolperje vetőmagot ültettünk. A magokat egyenletesen szórtuk szét A talaj nedvességtartalmát az Arany-féle kötöttségnek megfelelő nedvességtartalom 60%-ára állítottuk be. A nedvességtartalmat naponta súlyra öntözéssel állandó értéken tartottuk. A tenyészedényekben a növényeket zárt térben, egyenletes, mesterséges megvilágítás alatt neveltük.

Az angolperje jelzőnövények fejlődését a növények optikai megfigyelésével vizsgáltuk. Azonos feltételek között a növények fejlődési ütemétől függően naponta, illetve háromnaponta nagyfelbontású kamerával képeket készítettünk. Minden esetben a tenyészedények

körbeforgatásával a növényekről nyolc különböző szögben (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) készültek felvételek.

3.4.3. Angolperje növekedésére gyakorolt hatás vizsgálata fényképfelvétel útján

További növekedési kísérletet állítottunk be annak érdekében, hogy megvizsgáljuk a kezelések által okozott stressz hatások statisztikai úton is alátámaszthatóak-e a képfeldolgozás során nyert zöld pixelszámok felhasználásával. Ebben az esetben is 500 cm³-es műanyag tenyészedényekben 900 g homokos szövetű talajt helyeztünk el az előre elkészített oldatok bekeverésével. Minden kezelést négy ismétlésben végeztünk el. A növekedési kísérlethez alábbi kezeléseket alkalmaztuk:

- 1. kezelés: (100 ppm P₂O₅ + 100 ppm K₂O (KH₂PO₄ és K₂SO₄ formájában) + 100 ppm N (NH₄NO₃ formájában) – **Nitrogén (NPK)**,
- 2. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín – **0,5% C glicerín**,
- 3. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként metanol – **0,5% C metanol**,
- 4. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 50%-a glicerín és 50%-a metanol – **0,5% C 50% glicerín + 50% metanol**,
- 5. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként glicerín-metanol keverék, aminek 90%-a glicerín és 10%-a metanol – **0,5% C 90% glicerín + 10% metanol**,
- 6. kezelés: NPK + 0,5% C-forrásként melléktermék – **0,5% C melléktermék**.

A kezeléseket követően a talajok felső rétegébe 1-1 g angolperje vetőmagot vetettünk. A magokat egyenletesen szórtuk szét. A talaj nedvességtartalmát az Arany-féle kötöttségnek megfelelő nedvességtartalom 60%-ára állítottuk be. A nedvességtartalmat naponta súlyra öntözéssel állandó értéken tartottuk. A tenyészedényekben a növényeket zárt térben egyenletes, mesterséges megvilágítás alatt neveltük.

Az angolperje jelzőnövények fejlődését a növények optikai megfigyelésével vizsgáltuk. Azonos feltételek között a növények fejlődési ütemétől függően naponta, illetve háromnaponta nagyfelbontású kamerával képeket készítettünk. Minden esetben a tenyészedények körbeforgatásával a növényekről 8 különböző szögben (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) készültek felvételek.

3.5. A mérési eredmények kiértékeléséhez alkalmazott statisztikai módszerek

A talajérleléses kísérlet során nyert adatok statisztikai elemzéséhez Microsoft Office Excel Visual Basic makróban fejlesztett két-tényezős varianciaanalízist elvégző programot használtam fel (Sváb 1981).

A csírázási kísérletek kiértékelése során a kezeléseket, az érlelés és a két növény közötti eltéréseket egy-, két-, illetve három-tényezős varianciaanalízis alkalmazásával értékeltem ki. A talajmintákhoz különböző C-forrásként hozzáadott glicerin, glicerin-metanol és biodízel melléktermék koncentrációk hatására kikelt csíraszámokat lineáris és nem-lineáris modellek illesztésével vizsgáltam meg (Sváb 1981).

A növekedési kísérlet során nyert hajtástömeg adatokra logisztikus görbét illesztettem a témavezetőm által Microsoft Office Excel Visual Basic makróban fejlesztett illesztő program segítségével, amelyet az eredmények fejezetben mutatok be részletesen (Aydinalp et al. 2010, Tolner et al. 2010b, Kovács et al. 2011a, Kovács et al. 2011b, Kovács et al. 2011c).

A képanalízis során nyert nagymennyiségű adathalmaz kiértékelésére, a kiugró szórásnégyzetek ellenőrzésére használatos Cochran-próbát alkalmaztam. Ezen statisztikai módszer alkalmazásával magyarázhatóvá válik az alkalmazott kezelések által okozott stresszhatás. (Sváb 1981).

4. Eredmények

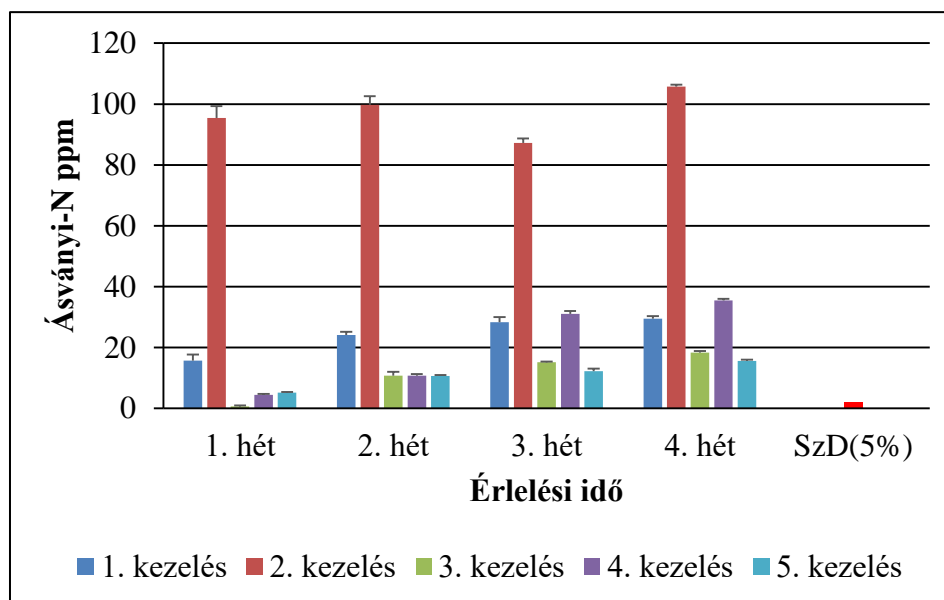
Az adatok statisztikai kiértékeléséhez felhasznált varianciatáblázatokat a mellékletek fejezetben mutatom be. Az értékelések kifejtése során csak hivatkozásként fogok utalni azokra.

4.1. Az érlelés hatása a talaj ásványi nitrogén tartalmának változására

A glicerín és glicerintartalmú melléktermék kezelések ásványi nitrogén tartalomra gyakorolt hatását két-tényezős varianciaanalízis segítségével értékeltem ki.

Az összes kezeléskombinációra (kezelések és az érlelési idő) vonatkozó F-arány (2329,57***) értéke alapján legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel igazolható, hogy a kezeléskombinációk hatására a talaj összes ásványi-N tartalma megváltozott. A glicerín és a glicerintartalmú melléktermék (A tényező) hatása legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett bizonyítható (F-arány = 10464,33***). Az érlelési idő (B tényező) hatása szintén igazolható legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel (F-arány = 475,35***). A kezelések és az érlelési idő (A x B) közötti kölcsönhatás is legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett igazolható (F-arány = 81,54***). A talajminták összes ásványi-N tartalma megváltozott a kezelések és az érlelési idő hatására (Mellékletek 20. és 21. táblázat).

A kezeletlen talajmintákon (1. PK) az érlelési idő előrehaladtával azt tapasztaltam, hogy a kedvező nedvességtartalom hatására folyamatos a szerves nitrogénformák ásványosodása (10. ábra).



10. ábra A talajminták összes ásványi-N tartalma az érlelési idő és a kezelések függvényében

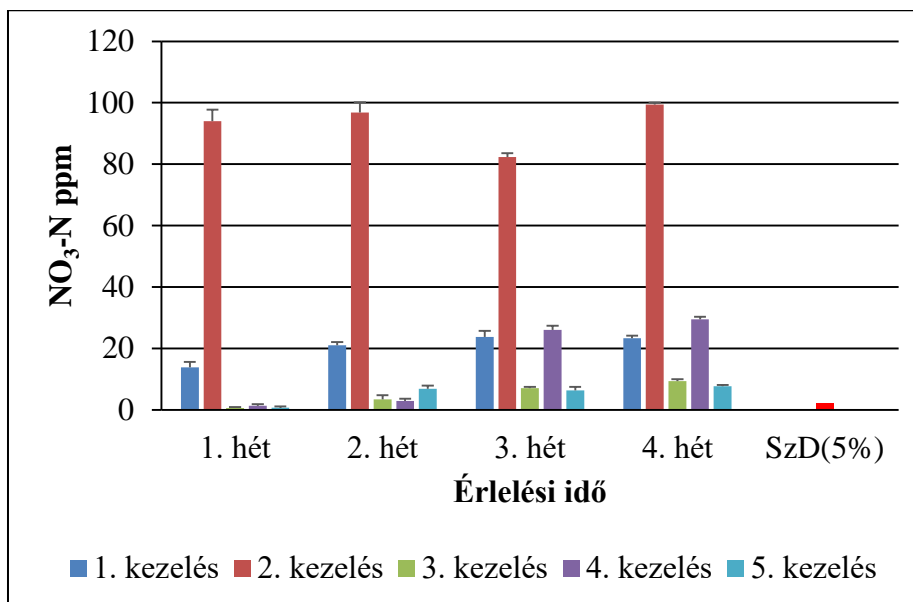
* 1. PK, 2. NPK, 3. 1% C glicerín, 4. 0,5% C melléktermék, 5. 1% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

A 2. kezelésről (NPK) elmondható, hogy a talajmintákhoz hozzáadott nitrogén hatására megemelkedik az ásványi-N tartalom. Koncentrációja a talajban megfelel az ammónium-nitrát kezelésnek értékének (100 ppm). Ez a koncentráció ugyan a négy hét során ingadozik, de időbeli változása nem mutat határozott tendenciát.

Jól látható, hogy ha a nitrogénmentes szénforrást is adagolunk a nitrogéntrágyázás mellett, akkor a műtrágya-N és a talaj ásványi-N tartalma is immobilizálódik a 3. (1% C glicerín), 4. (0,5% C melléktermék) és 5. (1% C melléktermék) kezelések esetében. Az 1%-os szénforrást kapott kezelések esetében megfigyelhető, hogy a laborvegyszer tiszta glicerín hatása gyorsabb (3. 1% C glicerín), mint a biodízel melléktermék hatása (5. 1% C melléktermék). Ez a kezelés egy hét elteltével gyakorlatilag 0-ra csökkenti a minta ásványi-N tartalmát.

Az idő előrehaladtával ennek egy része közel azonos ütemben fokozatosan felszabadul hasonlóképpen, mint ahogy a kezeletlen talajban ásványosodik a nitrogén. Mind az immobilizációnál, mind pedig a mobilizációnál lassabb a biodízel melléktermék glicerín fázisának hatása (4. 0,5% C melléktermék, 5. 1% C melléktermék). A 0,5% C melléktermék (4. kezelés) adagolása esetében a 3. héttől kezdve intenzívebb N mobilizáció figyelhető meg (10. ábra, $SzD(5\%) = 2,01$).

Hasonlóképpen értelmezhetőek a nitrát-N eredmények (11. ábra, $SzD(5\%) = 2,12$), mint azt az összes ásványi-N eredmények esetében is láthattuk. Az összes kezeléskombinációra (kezelések és az érlelési idő) vonatkozó F-arány ($2165,27^{***}$) értéke alapján legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel igazolható, hogy a kezeléskombinációk hatására a talaj nitrát-N tartalma megváltozott. A glicerín és a glicerintartalmú melléktermék (A tényező) hatása legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett bizonyítható ($F\text{-arány} = 9849,20^{***}$). Az érlelési idő (B tényező) hatása szintén igazolható legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel ($F\text{-arány} = 219,19^{***}$). A kezelések és az érlelési idő (A x B) közötti kölcsönhatás is legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett igazolható ($F\text{-arány} = 90,49^{***}$). A talajminták nitrát-N tartalma megváltozott a kezelések és az érlelési idő hatására (Mellékletek 22. és 23. táblázat).

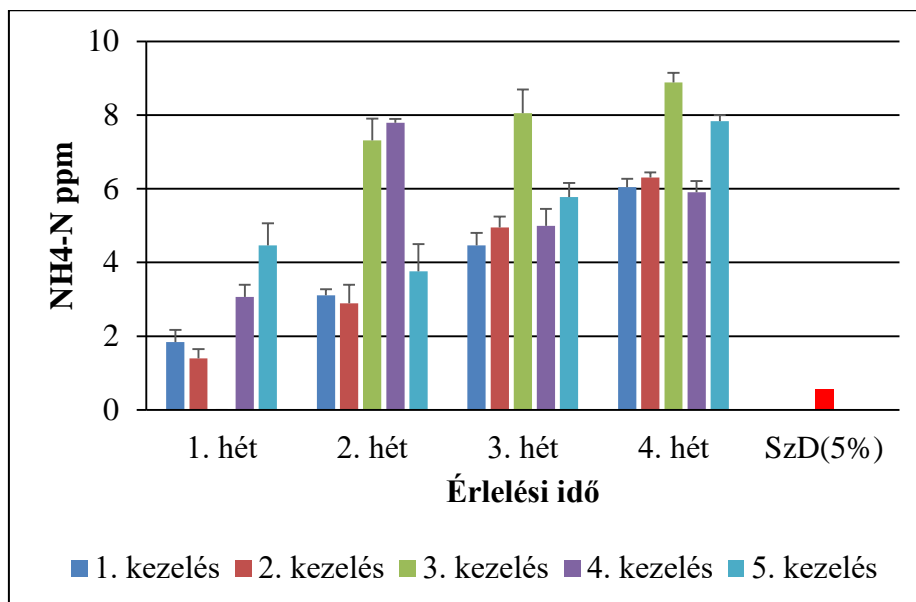


11. ábra A talajminták nitrát-N tartalma az érlelési idő és a kezelések függvényében

* 1. PK, 2. NPK, 3. 1% C glicerin, 4. 0,5% C melléktermék, 5. 1% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

Jól látható a 11. ábrát a 10. ábrával összevetve, hogy 2. kezelés (NPK) esetén az összes ásványi-N tartalom jelentős része nitrát-N formájában van jelen, már az első héttől kezdve annak ellenére, hogy az N kezelés 50%-a ammónium-N formában volt. Az első héten mindhárom szénforrást is tartalmazó kezelés (3. 1% C glicerin, 4. 0,5% C melléktermék, 5. 1% C melléktermék) hatására immobilizálódik a teljes nitrát-N tartalom. A nitrát-N képződése lassú lefolyású marad a megfigyelés végéig. Az összes ásványi-N és nitrát-N közötti különbség az egyre nagyobb arányban jelenlévő ammónium-N formában marad (12. ábra).

Az összes kezeléskombinációra (kezelések és az érlelési idő) vonatkozó F-arány (152,68^{***}) értéke alapján legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel igazolható, hogy a kezeléskombinációk hatására a talaj ammónium-N tartalma megváltozott. A glicerin és a glicerintartalmú melléktermék (A tényező) hatása legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett bizonyítható (F-arány = 105,38^{***}). Az érlelési idő (B tényező) hatása szintén igazolható legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel (F-arány = 541,09^{***}). A kezelések és az érlelési idő (A x B) közötti kölcsönhatás is legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett igazolható (F-arány = 71,35^{***}). A talajminták ammónium-N tartalma megváltozott a kezelések és az érlelési idő hatására (Mellékletek 24. és 25. táblázat).



12. ábra A talajminták ammónium-N tartalma az érlelési idő és a kezelések függvényében

* 1. PK, 2. NPK, 3. 1% C glicerín, 4. 0,5% C melléktermék, 5. 1% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

A kisebb koncentrációjú melléktermék kezelés (4. 0,5% C melléktermék) esetében ez első két hét nagyobb ammónium-N értékei a 3., illetve 4. hétre a szénforrást nem kapott kezelések értékeihez hasonló értékekre áll be. Az 1% glicerín (3. kezelés) hatására az első héten az összes ammónium-N formában levő nitrogén is immobilizálódott. A mobilizáció a második héttől kezdve ammónium-N formáig jelentősebb, mint a többi kezelés esetében. Ez arra utal, hogy ez a kezelés gátolja a nitrifikációt. Az 1% C melléktermék (5. kezelés) kezelés esetén ez a hatás késleltetve a 3. és főleg a 4. hétre alakul ki (12. ábra, SzD(5%) = 0,56).

Összefoglalóan megállapítható, hogy a glicerín és a glicerintartalmú biodízel gyártásból származó melléktermék egy héten belül immobilizálta a talaj és a hozzáadott műtrágya nitrogéntartalmát. Az ezt követő mobilizáció lassú, sebessége függ a glicerínkezelés mértékétől. A mobilizáció gátlása a nitrifikációra nagyobb mértékű. A glicerintartalmú melléktermék szennyezői nem fejtettek ki kedvezőtlen hatást.

Az elvégzett talajérleléses kísérlet alapján megállapítottam, hogy a glicerín tartalmú kezelések esetében ugyanolyan immobilizációs hatás figyelhető meg, mint a szakirodalomból ismert pentozán hatás (Füleky 1999).

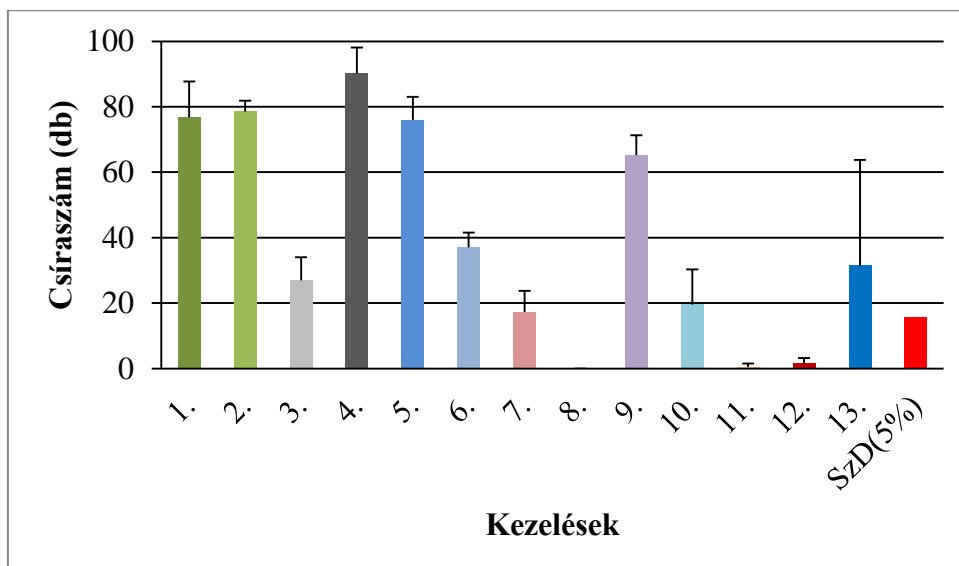
4.2. Angolperje csírázási kísérlet azonnali vetés esetén

A csíráztatási kísérlet mind az 52 mintájában meghatároztam a kicsírázott szemtermések számát, majd kezelésként átlagot számoltam. A számolásnál minden olyan csírárt számításba vettem, amelynek a koleoptilja már kibújta a föld felszínére (1. táblázat, Mellékletek 26. táblázat).

A kezeléskombinációk angolperje csírázására gyakorolt hatását egy-tényezős varianciaanalízis segítségével értékeltem ki. Az F-arány (36,62^{***}) értéke alapján legfeljebb 0,1 %-os hibavalószínűséggel bizonyítható, hogy az alkalmazott kezeléskombinációk hatására jellemző csíraszám átlagértékek eltérései nem véletlenszerűek, hanem az alkalmazott kezelések hatására következtek be (Mellékletek 27. táblázat). A kapott eredményeket oszlopdiagramon is ábrázoltam (13. ábra).

1. táblázat A kezelések hatása az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
3. 0,5% C glicerín	0,5	0,5	-	-	27
4. 0,5% C metanol	0,5	0	0,5	-	90,25
5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	0,5	0,25	0,25	-	76
6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	0,5	0,45	0,05	-	37
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	17,25
8. 1% C glicerín	1	1	-	-	0
9. 1% C metanol	1	-	1	-	65,25
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	1	0,5	0,5	-	19,5
11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol	1	0,9	0,1	-	0,5
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	1,5
13. 0,25% C melléktermék	0,25	-	-	0,25	31,5
SzD(5%)					15,63



13. ábra Az angolperje csírázási kísérlet eredményeinek szemléltetése oszlopdiaagramon

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerin, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerin + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerin + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerin, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerin + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerin + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

A kapott válaszreakciók alapján a kezeléseket három csoportba soroltam be:

- A csíraszámok átlagai között nincs jelentős eltérés az 1. (Kontroll - PK), 2. (Nitrogén - NPK), 4. (0,5% C metanol), 5. (0,5% C 50% glicerin + 50% metanol), 9. (1% C metanol) kezeléseket esetében. A 2. kezelés (NPK) nem befolyásolta szignifikánsan a csírázóképeséget az 1. kezeléshez (PK) képest. Ez az eredmény jól értelmezhető, mivel a csíranövény a csírázáshoz szükséges tápanyagokat, energiát a magban felhalmozott tartalék tápanyagokból nyeri, és nem igényel különösebben tápanyagfelvételt hozzá (2. táblázat).

2. táblázat A kezeléseket hatása nem szignifikáns az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerin	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
4. 0,5% C metanol	0,5	0	0,5	-	90,25
5. 0,5% C 50% glicerin + 50% metanol	0,5	0,25	0,25	-	76
9. 1% C metanol	1	-	1	-	65,25
SzD(5%)					15,63

- A 3. (0,5% C glicerin), 6. (0,5% C 90% glicerin + 10% metanol), 7. (0,5% C melléktermék), 10. (1% C 50% glicerin + 50% metanol), 13. (0,25% C melléktermék) kezeléseket hatására szignifikánsan csökkent a csíraszám az 1. (Kontroll - PK), 2. (Nitrogén - NPK), 4. (0,5% C metanol), 5. (0,5% C 50%

glicerin + 50% metanol), 9. (1% C metanol) kezelések hatásához képest (3. táblázat).

3. táblázat A kezelések hatása szignifikáns az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerin	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
3. 0,5% C glicerin	0,5	0,5	-	-	27
6. 0,5% C 90% glicerin + 10% metanol	0,5	0,45	0,05	-	37
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	17,25
10. 1% C 50% glicerin + 50% metanol	1	0,5	0,5	-	19,5
13. 0,25% C melléktermék	0,25	-	-	0,25	31,5
SzD(5%)					15,63

- A 8. (1% C glicerin), 11. (1% C 90% glicerin + 10% metanol), 12. (1% C melléktermék) kezelések hatása jelentősen eltér az 1. (Kontroll - PK), 2. (Nitrogén - NPK), 4. (0,5% C metanol), 5. (0,5% C 50% glicerin + 50% metanol), 9. (1% C metanol) kezelések hatásához képest. Ezen kezelések esetében közel teljes csírázásgátlás figyelhető meg (4. táblázat).

4. táblázat Teljes csírázásgátlást okozó kezelések

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerin	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
8. 1% C glicerin	1	1	-	-	0
11. 1% C 90% glicerin + 10% metanol	1	0,9	0,1	-	0,5
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	1,5
SzD(5%)					15,63

A csírátatási kísérlet során alkalmazott kezeléskombinációk nagy száma indokoltá tette, hogy a kezelésekhez felhasznált mikrobiális C-források (glicerin, metanol, glicerin-metanol keverékek és glicerines melléktermék) hatásait külön is értékeljem.

4.2.1. Glicerin kezelések angolperje csírázásra kifejtett hatása

A glicerin formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése szignifikánsan csökkentette a csírázóképességet (5. táblázat).

5. táblázat A glicerín kezelések hatása az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
3. 0,5% C glicerín	0,5	0,5	-	-	27
8. 1% C glicerín	1	1	-	-	0
SzD(5%)					15,63

Megfigyelhető továbbá, hogy a 8. (1% C glicerín) kezelés teljes csírázásgátlást okozott. A 3. (0,5% C glicerín) és a 7. (0,5% C melléktermék) kezelések csírázást gátló hatása azonosnak bizonyult. Hasonló egyezés figyelhető meg a 8. (1% C glicerín) és a 12. (1% C melléktermék) kezelések hatásai között. (6. táblázat).

6. táblázat A glicerín és melléktermék kezelések hatása az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
3. 0,5% C glicerín	0,5	0,5	-	-	27
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	17,25
8. 1% C glicerín	1	1	-	-	0
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	1,5
SzD(5%)					15,63

4.2.2. Melléktermék kezelések angolperje csírázásra kifejtett hatása

A melléktermék formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése szignifikánsan csökkentette a csírázóképeséget (7. táblázat).

A 12. (1% C melléktermék) kezelés hatására közel teljes volt a csírázásgátlás. A 13. (0,25% C melléktermék) kezeléshez viszonyítva, a kétszeres mennyiségű 7. (0,5% C melléktermék) kezelés jelentősen csökkentette a csírázóképeséget. Ez a megállapítás azonban csak 10%-os hibavalószínűség mellett igazolható (Mellékletek 46. táblázat).

7. táblázat A melléktermék kezelések hatása az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
13. 0,25% C melléktermék	0,25	-	-	0,25	31,5
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	17,25
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	1,5
SzD(5%)					15,63

A minták szemrevételezése során a következő megállapításokra jutottam: különböző mértékű penészedés következett be a csírázás során azokban a mintákban, amelyeket glicerinnel vagy melléktermékkel kezeltünk (3. 0,5% C glicerinnel, 7. 0,5% C melléktermékkel, 8. 1% C glicerinnel, 10. 1% C 50% glicerinnel + 50% metanollal, 11. 1% C 90% glicerinnel + 10% metanollal, 12. 1% C melléktermékkel). Megállapítható, hogy a melléktermékkel kezelt minták (7. 0,5% C melléktermékkel, 12. 1% C melléktermékkel) penészesedtek a legintenzívebben, nagyobb mértékben, mint a glicerinnel kezelték (3. 0,5% C glicerinnel, 8. 1% C glicerinnel, 10. 1% C 50% glicerinnel + 50% metanollal, 11. 1% C 90% glicerinnel + 10% metanollal). A 8. (1% C glicerinnel) kezeléshez képest nagyobb mértékű penészedést eredményezett a 12. (1% C melléktermékkel) kezelés.

4.2.3. Metanol kezelése angolperje csírázására kifejtett hatása

A 4. (0,5% C metanollal) és a 9. (1% C metanollal) kezelése nem térnek el szignifikánsan az 1. (PK) kezeléshez képest (8. táblázat).

8. táblázat A metanol kezelése angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerinnel	Metanollal	Melléktermékkel	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
4. 0,5% C metanol	0,5	0	0,5	-	90,25
9. 1% C metanol	1	-	1	-	65,25
SzD(5%)					15,63

A metanol formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése nem okozott szignifikáns csökkenést a csírázóképességben.

4.2.4. Glicerinnel-metanol kezelése angolperje csírázására kifejtett hatása

A glicerinnel és metanollal keverék formájában hozzáadott szervesanyag tartalom 50% feletti glicerintartalom esetén szignifikáns csökkenést okozott a csírázóképességben (9. táblázat).

Az 1. (PK) kezeléstől nem tér el jelentősen az 5. (0,5% C 50% glicerinnel + 50% metanollal) kezelés. A 6. (0,5% C 90% glicerinnel + 10% metanollal), 10. (1% C 50% glicerinnel + 50% metanollal) és 11. (1% C 90% glicerinnel + 10% metanollal) kezelése szignifikánsan csökkentették a csírázást.

9. táblázat A glicerín-metanol kezelések hatása az angolperje csírázására

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	76,75
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	78,5
5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	0,5	0,25	0,25	-	76
6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	0,5	0,45	0,05	-	37
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	1	0,5	0,5	-	19,5
11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol	1	0,9	0,1	-	0,5
SzD(5%)					15,63

Összefoglalva az angolperjével elvégzett csírázási kísérlet eredményeit megállapítható, hogy a 0,5% és az azt meghaladó szénforrásként alkalmazott glicerint tartalmazó (glicerín, glicerín-metanol) és glicerintartalmú biodízel gyártásból származó melléktermék kezelések hatására szignifikánsan csökkent a kikelt csírák száma. A metanol formájában hozzáadott szénforrás azonban nem csökkentette jelentősen a csírázóképeséget még 1%-os szénforrásként alkalmazva sem.

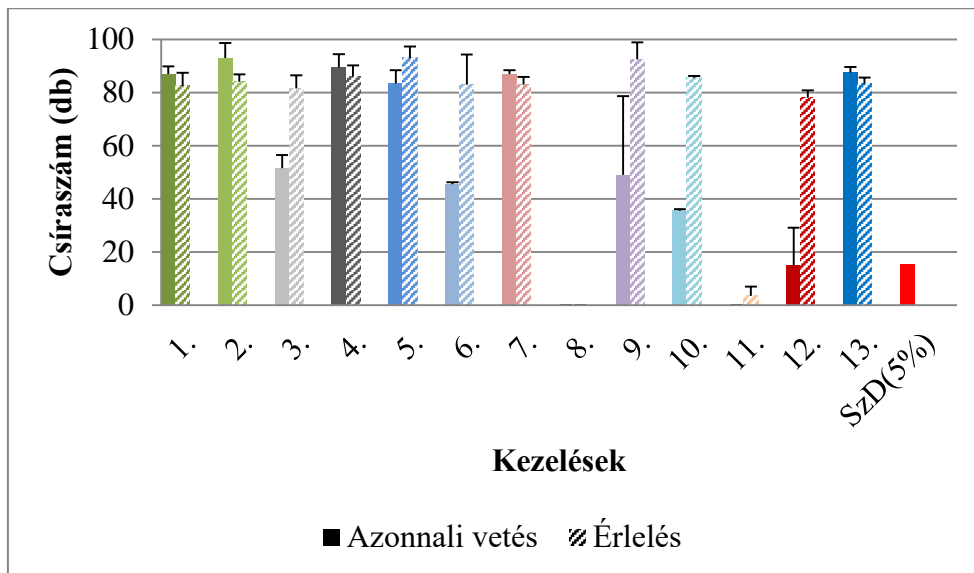
4.3. Angolperje csírázási kísérlet érlelés esetén

Az első csírázási kísérlet metodikáját követve 52 mintát használtam fel azzal a különbséggel, hogy kettéosztottam (26-26 db) azonnali vetésre és érlelt mintákra. Ezáltal információt gyűjthettem a kezelések talajérlelésre kifejtett hatásairól is (10. táblázat, Mellékletek 28. táblázat).

Az eredmények kiértékeléséhez két-tényezős varianciaanalízist alkalmaztam. A kezeléskombinációkra vonatkozó F-arány (40,44***) értéke alapján legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel igazolható, hogy a kezeléskombinációk hatására jellemző csíraszám átlagértékek eltérései nem véletlenszerűek, tehát van kezeléshatás. A kezelések (A tényező) hatása legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett bizonyítható (F-arány = 67,99***). A kéthetes érlelési idő (B tényező) hatása szintén igazolható legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel (F-arány = 61,75***). Az A és B tényezők (A x B) közötti kölcsönhatás is legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett igazolható (F-arány = 11,12***). Ez utóbbi azt mutatja, hogy a kezelések hatása az érlelési idővel megváltozott (Mellékletek 29. és 30. táblázat). Az eredményeket oszlopdiagramon szemléltetem. (14. ábra).

10. táblázat A kezelések hatása az angolperje csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám	
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	Azonnali vetés	Érlelés
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	87	82,5
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	93	84
3. 0,5% C glicerín	0,5	0,5	-	-	51,5	81,5
4. 0,5% C metanol	0,5	0	0,5	-	89,5	86
5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	0,5	0,25	0,25	-	83,5	93
6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	0,5	0,45	0,05	-	45,5	83
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	87	83
8. 1% C glicerín	1	1	-	-	0	0
9. 1% C metanol	1	-	1	-	49	92,5
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	1	0,5	0,5	-	35,5	85,5
11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol	1	0,9	0,1	-	0	3,5
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	15	78
13. 0,25% C melléktermék	0,25	-	-	0,25	87,5	83,5
SzD(5%)					15,4	15,4



14. ábra Az angolperje érleléses csírázási kísérlet eredményeinek szemléltetése oszlopdiagramon

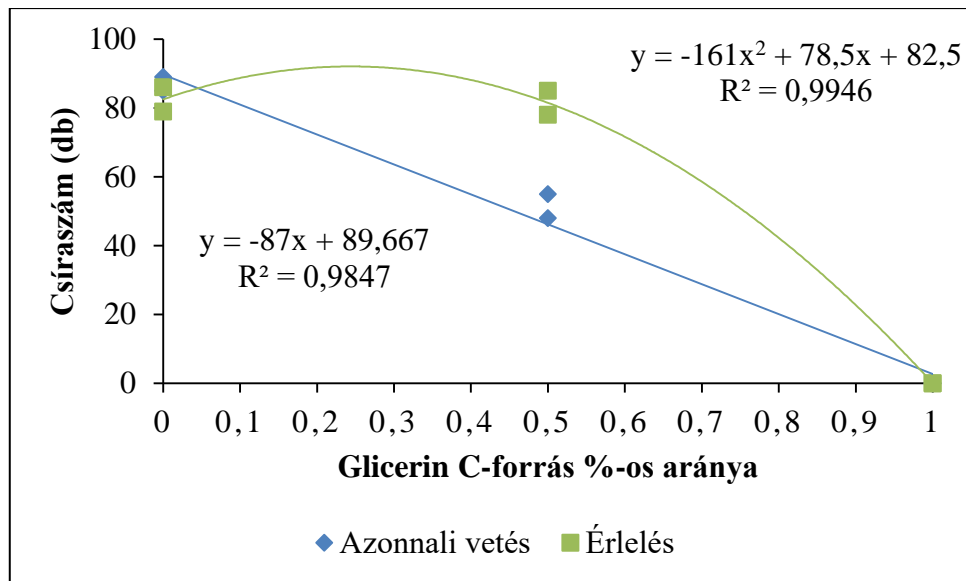
* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék. 13. 0,25% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

Azonnali vetés esetén a glicerín már 0,5%-os C-forrás koncentrációban, míg a metanol és a melléktermék csak 1%-os C-forrás koncentrációban csökkentette jelentősen a csíraszámot a kontrollhoz (PK) képest (14. ábra, SzD(5%) = 15,4).

Jól látható a fenti ábrán a kéthetes talajinkubáció csíraszámra gyakorolt kedvező hatása a 3. (0,5% C glicerín), 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol), 9. (1% C metanol), 10. (1% C 50% glicerín + 50% metanol), 12. (1% C melléktermék) kezelések esetében, amely az érlelést követően kiegyensúlyozódott (14. ábra).

A 8. (1% C glicerín) kezelés teljes, a 11. (1% C 90% glicerín+10% metanol) kezelés közel teljes csírázásgátlást eredményezett, amely két hét érlelést követően sem javult (14. ábra).

4.3.1. Glicerín kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén



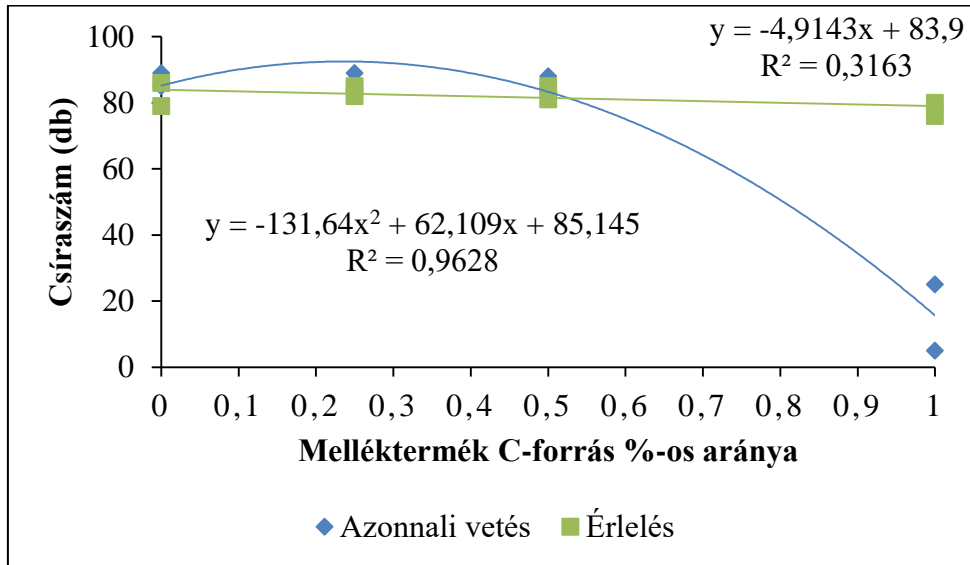
15. ábra Glicerín koncentrációjának hatása az angolperje csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

A glicerín formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése arányosan ($R^2 = 0,9847$) csökkentette a csírázóképeséget azonnali vetés esetén. 1%-os C-forrásként (8. kezelés) alkalmazva teljes csírázásgátlást okozott (15. ábra).

Érlelés hatására a glicerín, még 0,5%-os C-forrásként alkalmazva sem eredményezett jelentős csökkenést az 1. (PK) kezeléshez képest ($SzD(5\%) = 15,4$). A glicerín csírázást gátló hatása csökkent kéthetes inkubációt követően. Megfigyelhető továbbá, hogy a 8. (1% C glicerín) kezelés teljes csírázásgátlást okozott kéthetes érlelést követően is (15. ábra).

4.3.2. Melléktermék kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

Azonnali vetés esetén 0,5%-os széntartalomig nincs hatás, 1%-os széntartalom esetén viszont már jelentős a csírázást gátló hatás (16. ábra).

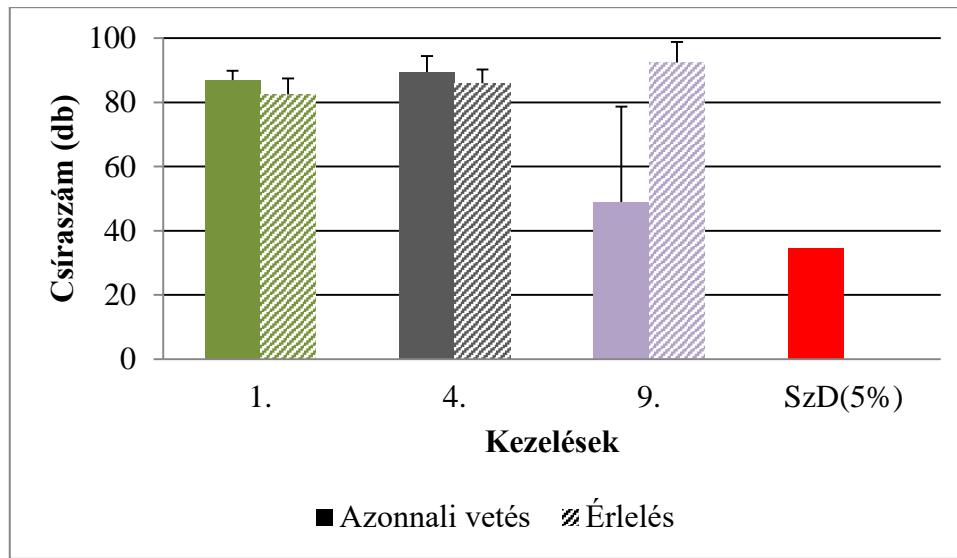


16. ábra Melléktermék koncentrációjának hatása az angolperje csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Érlelést követően a melléktermék csírázásra gyakorolt káros hatása nem igazolható ($R^2 = 0,3163$). Csökken a melléktermék csírázást gátló hatása talajérlelést követően (16. ábra).

4.3.3. Metanol kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

A metanollal kezelt minták csírázási eredményeire két-tényezős varianciaanalízist futtattam le. A metanol kezelésekre vonatkozó F-arány (2,89) értéke alapján nem igazolható, hogy a metanol kezelések hatással voltak a csírászám átlagértékeinek változására. A metanol kezelések és az érlelés (A X B) közötti kölcsönhatás legfeljebb 10%-os hibavalószínűség mellett igazolható (F-arány = 4,2⁺). A metanol hatása az érlelési idővel megváltozott (Mellékletek 31. és 32. táblázat).



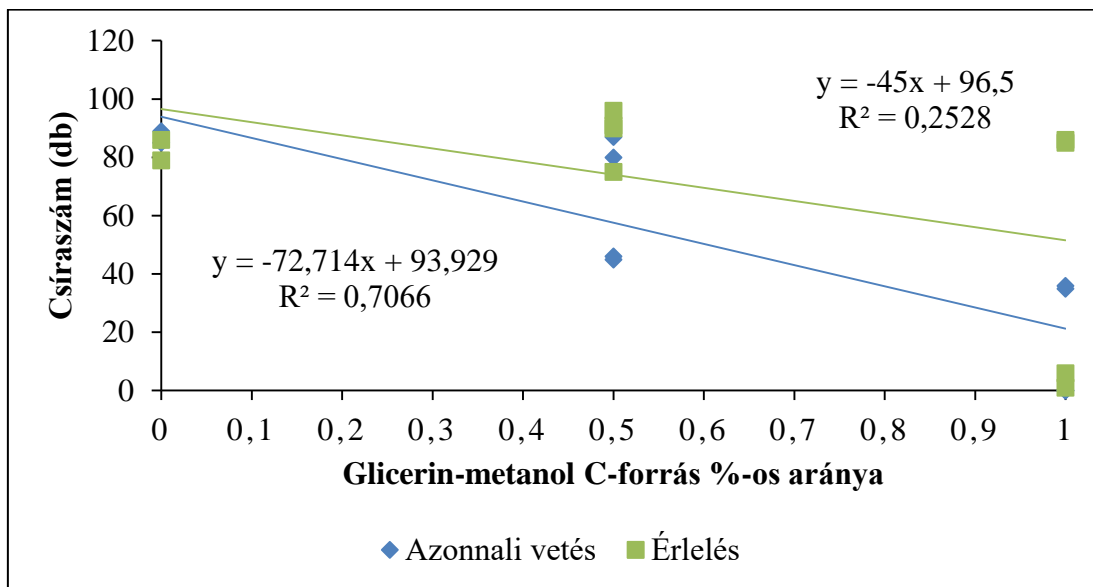
17. ábra A metanol hatása az angolperje csírászám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

* 1. Kontroll (PK), 4. 0,5% C metanol, 9. 1% C metanol, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

Azonnali vetés esetén a 4. (0,5% C metanol) kezelés nem, de a 9. (1% C metanol) kezelés az 1. (PK) kezeléshez képest már szignifikánsan csökkentette az átlag csírászámot. Érlelés esetén egyik metanol kezelés sem tért el szignifikánsan a kontrolltól (17. ábra, SzD(5%) = 34,4).

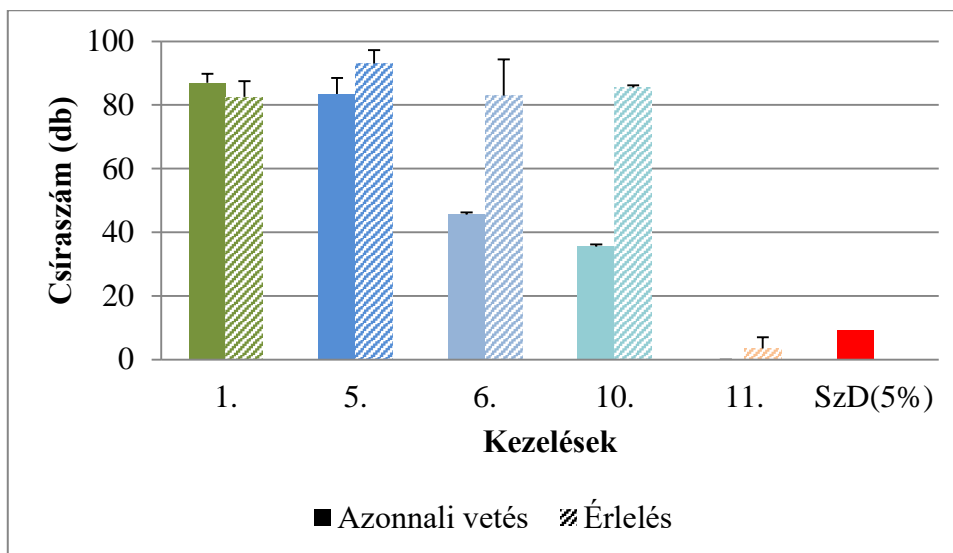
4.3.4. Glicerín-metanol kezelések angolperje csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

Az 1. (PK), 5. (0,5% C 50% glicerín + 50% metanol), 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol), 10. (1% C 50% glicerín + 50% metanol), 11. (1% C 90% glicerín + 10% metanol) kezelések hatásának eredményeképp kapott csírászám átlagok, glicerín-metanol koncentrációira vonatkoztatott értékeit az alábbi ábrán mutatom be. Az azonnali vetésre illesztett egyenes korrelációs koefficiensének ($R^2 = 0,7066$) értéke alátámasztja a kezelések glicerín fázisa és a csírászám átlagok közötti közepes, negatív lineáris kapcsolatot. A koncentráció növekedésével a keverék glicerín fázisa arányosan gátolja a csírázást (18. ábra).



18. ábra Glicerín-metanol keverékek koncentrációjának hatása az angolperje csírászám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

Érlelést követően a glicerín-metanol kezelések csírázásra gyakorolt káros hatása nem igazolható ($R^2 = 0,2528$). Talajérlelés következtében csökken a glicerín csírázást gátló hatása. A talaj kéthetes inkubációját követően a 0,5% széntartalmú glicerín-metanol (10. kezelés) koncentrációig nincs csírázást gátló hatás, míg az 1% széntartalmú glicerín-metanol (11. kezelés) már teljes csírázásgátlást eredményezett (18. ábra).



19. ábra A glicerín-metanol kezelések hatása az angolperje csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

* 1. Kontroll (PK), 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, SzD(5%) az 5%-os hibaválszínűséghez tartozó szignifikáns differencia

A glicerín-metanol kezelések hatását két-tényezős varianciaanalízissel is megvizsgáltam. A glicerín-metanol kezeléskombinációk hatása erős (F-arány = 153,2***), ahogy az érlelés hatása (F-arány = 108,99***) is. A glicerín-metanol kezelések és az érlelés közötti kölcsönhatás, szintén igazolható az F-arány (32,31***) értéke alapján (Mellékletek 33. és 34. táblázat).

Talajérlelés esetén a 11. (1% C 90% glicerín + 10% metanol) kezelés kivételével egyik kezelés sem tért el szignifikánsan az 1. (PK) kezeléstől. A 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol) és 10. (1% C 50% glicerín + 50% metanol) kezelések eredményein a legszembetűnőbb az azonnali vetés és az érlelés közötti eltérés (19. ábra, SzD(5%) = 9,3).

Összefoglalva az angolperjével elvégzett érleléses csírázási kísérlet eredményeit megállapítható, hogy érlelés hatására a glicerint tartalmazó (glicerín, glicerín-metanol) és glicerintartalmú biodízel gyártásból származó melléktermék kezelések hatása 0,5%-os szénforrásként alkalmazva nem okozott csökkenést a csírázásban. 1%-os szénforrásként alkalmazva azonban a glicerín és a 90%-ban glicerint tartalmazó glicerín-metanol kezelések teljes csírázásgátlást okoztak érlelést követően is. Ez alapján kijelenthető, hogy a kéthetes inkubációs periódus nem volt elegendő a talaj mikroorganizmusainak a glicerín lebontására. Ez összhangban van a szakirodalomban leírtakkal (Kovács et al. 2011a). A melléktermék és a metanol hatása érlelést követően csökkent.

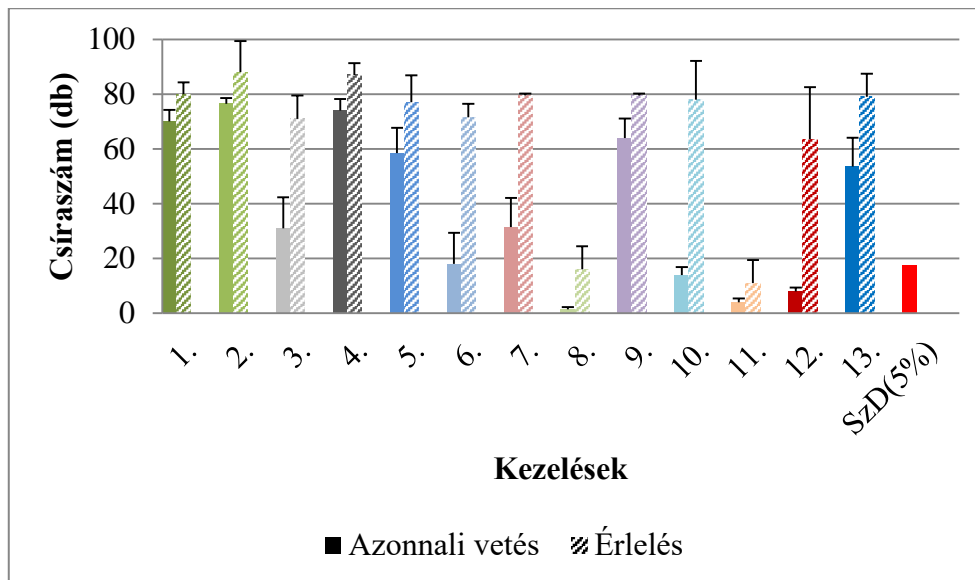
4.4. Repce csírázási kísérlet érlelés esetén

A repcével elvégzett érleléses kísérlet azonos metodikával történt, mint az angolperje esetében (11. táblázat, Mellékletek 35. táblázat).

Az eredmények kiértékeléséhez két-tényezős varianciaanalízist futtattam le. A kezeléskombinációra vonatkozó F-arány (24,91***) értéke alapján legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel igazolható, hogy a kezeléskombinációk hatására jellemző csíraszám átlagértékek eltérései nem véletlenszerűek, tehát van kezeléshatás. A kezelések (A tényező) hatása legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett bizonyítható (F-arány = 33,63***). A kéthetes érlelési idő (B tényező) hatása szintén igazolható legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűséggel (F-arány = 150,86***). A kezelések és az érlelési idő (A x B) közötti kölcsönhatás is legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett igazolható (F-arány = 5,69***). Ez utóbbi azt mutatja, hogy a kezelések hatása az érlelési idővel megváltozott (Mellékletek 36. és 37. táblázat). Az eredményeket oszlopdiagramon szemléltetem (20. ábra).

11. táblázat A kezelések hatása a repce csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám	
	Összes	Glicerín	Metanol	Melléktermék	Azonnali vetés	Érlelés
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	70	80
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	76,5	88
3. 0,5% C glicerín	0,5	0,5	-	-	31	71
4. 0,5% C metanol	0,5	0	0,5	-	74	87
5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	0,5	0,25	0,25	-	58,5	77
6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	0,5	0,45	0,05	-	18	71,5
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	31,5	79,5
8. 1% C glicerín	1	1	-	-	1,5	16
9. 1% C metanol	1	-	1	-	64	79,5
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	1	0,5	0,5	-	14	78
11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol	1	0,9	0,1	-	4	11
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	8	63,5
13. 0,25% C melléktermék	0,25	-	-	0,25	53,5	79
SzD(5%)					17,51	17,51



20. ábra A repce érleléses csírázási kísérlet eredményeinek szemléltetése oszlopdiagramon

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

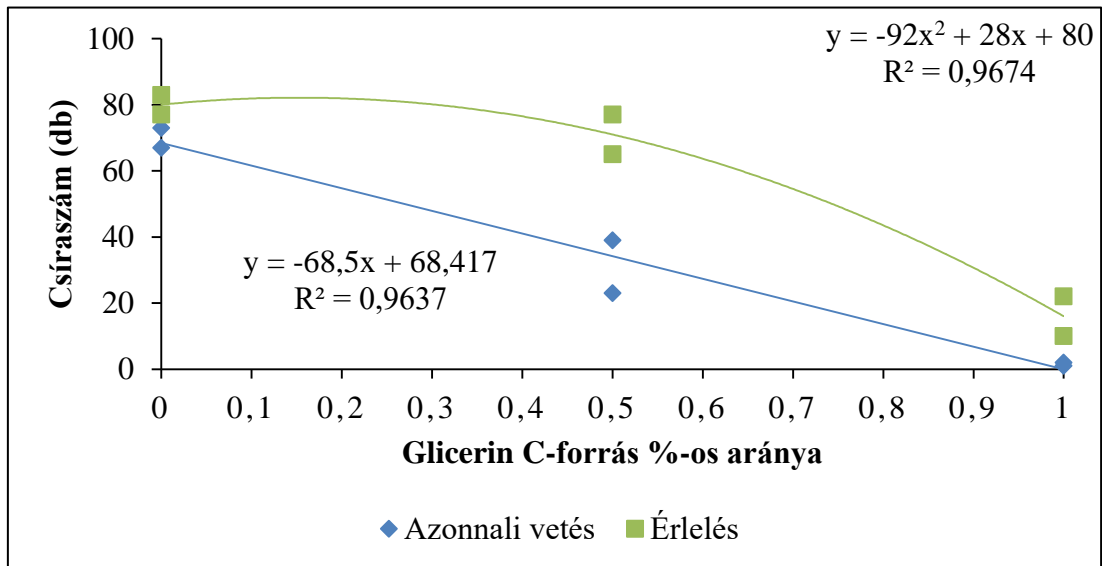
Azonnali vetés esetén a glicerín és a melléktermék már 0,5%-os C-forrás mennyiségben jelentősen csökkentette a csíraszámot a kontrollhoz (PK) képest (20. ábra, SzD(5%) = 17,51).

Jól látható a fenti ábrán a kéthetes talajinkubáció csíraszámra gyakorolt kedvező hatása a 3. (0,5% C glicerín), 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol), 7. (0,5% C melléktermék), 10. (1% C 50% glicerín + 50% metanol), 12. (1% C melléktermék), 13. (0,25% C melléktermék) kezelések esetében, amely az érlelést követően kiegyensúlyozódott (20. ábra, SzD(5%) = 17,51).

A 8. (1% C glicerín) és a 11. (1% C 90% glicerín+10% metanol) kezelések közel teljes csírázásgátlást eredményeztek, amely kéthetes érlelést követően sem javult. Az 1% C-forrásként alkalmazott glicerín és glicerín-metanol kezelések glicerín tartalmának mikrobák általi hasznosításához nem bizonyult elegendőnek a kéthetes inkubációs periódus.

4.4.1. Glicerín kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

A glicerín formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése arányosan ($R^2 = 0,9637$) csökkentette a csírázóképeséget azonnali vetés esetén. 1%-os C-forrásként (8. kezelés) alkalmazva teljes csírázásgátlást okozott (21. ábra).

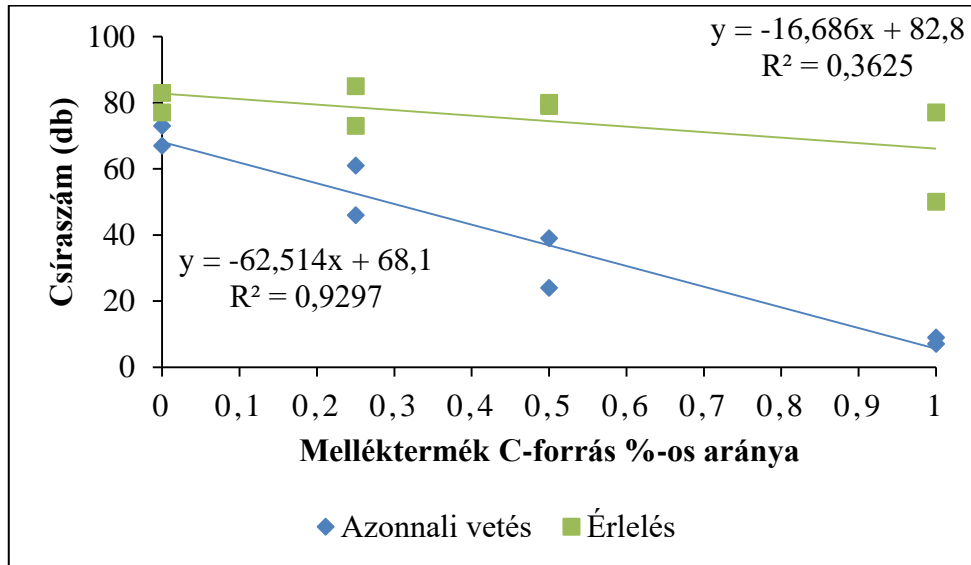


21. ábra Glicerín kezelések koncentrációjának hatása a repce csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Érlelés hatására a glicerín, még 0,5%-os C-forrásként alkalmazva sem eredményezett jelentős csökkenést az 1. (PK) kezeléshez képest. 1%-os C-forrásként alkalmazva azonban jelentősen csökkent a kikelt csírák száma (21. ábra).

4.4.2. Melléktermék kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

Azonnali vetés esetén a melléktermék széntartalmának növelésével arányosan ($R^2 = 0,9297$) csökken a kikelt csírák száma (22. ábra).

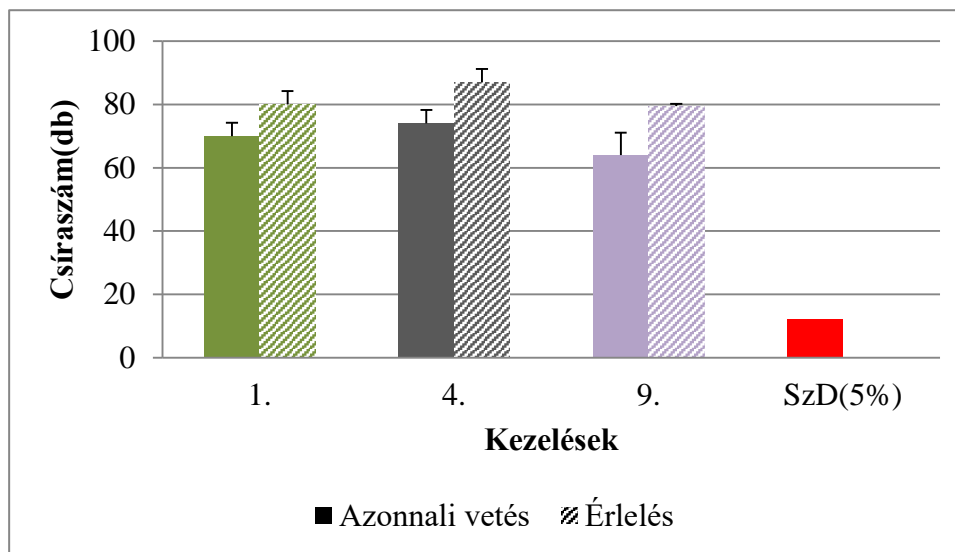


22. ábra Melléktermék koncentrációjának hatása a repce csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Érlelést követően a melléktermék csírázásra gyakorolt káros hatása nem igazolható ($R^2 = 0,3625$). Talajérlelés következtében csökken a melléktermék csírázást gátló hatása (22. ábra).

4.4.3. Metanol kezelések repce csíraszására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

A metanol kezelések hatását két-tényezős varianciaanalízis segítségével értékeltem ki. A glicerín-metanol kezeléskombinációkra vonatkozó F-arány (24,91^{***}) értéke alapján igazolható, hogy a kezeléskombinációk hatással voltak a csíraszám átlagértékeinek változására. Az glicerín-metanol kezelések és az érlelés (A X B) közötti kölcsönhatás is igazolható (F-arány = 5,69^{***}). A glicerín-metanol kezelések hatása az érlelési idővel megváltozott (Mellékletek 38. és 39. táblázat).



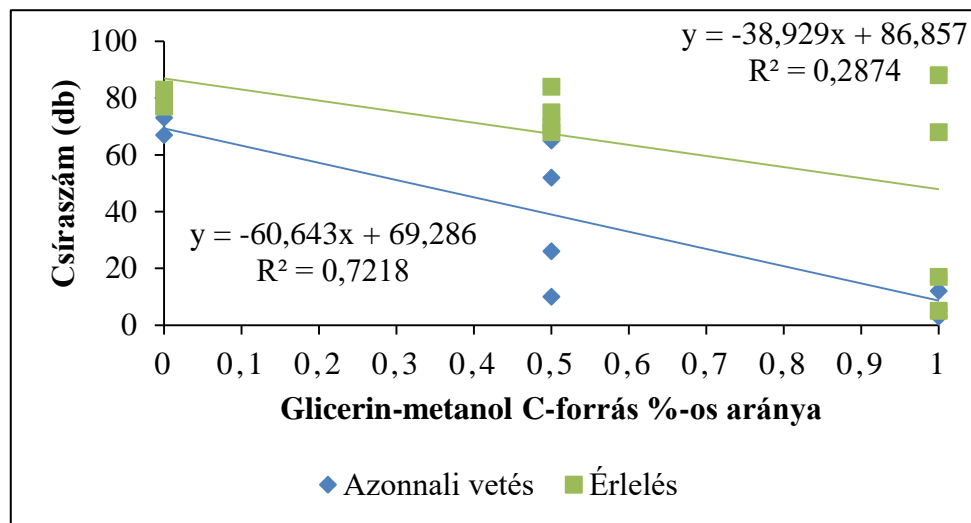
23. ábra A metanol kezelések hatása a repce csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

* 1. Kontroll (PK), 4. 0,5% C glicerín, 9. 1% C metanol, SzD(5%) az 5%-os hibaváloszínűséghez tartozó szignifikáns differencia

Egyik kezelés esetében sem tapasztalható szignifikáns csökkenés az átlag csíraszámokban az 1. (PK) kezeléshez képest (SzD(5%) = 12,19). Érlelést követően szignifikánsan nagyobb csíraszámot eredményezett a 4. (0,5% C metanol) és a 9. (1% C metanol) kezelések (23. ábra).

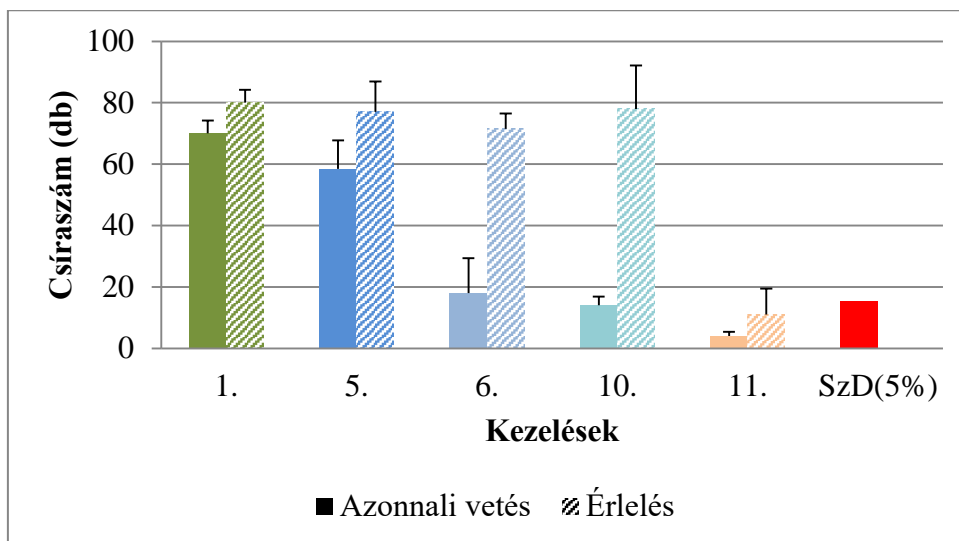
4.4.4. Glicerín-metanol kezelések repce csírázására gyakorolt hatása azonnali vetés és érlelés esetén

Az 1. (PK), 5. (0,5% C 50% glicerín + 50% metanol), 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol), 10. (1% C 50% glicerín + 50% metanol), 11. (1% C 90% glicerín + 10% metanol) kezelések hatásának eredményeképp kapott csíraszám átlagok, glicerín-metanol koncentrációra vonatkoztatott értékeit az alábbi ábrán mutatom be. Az azonnali vetésre illesztett egyenes korrelációs koefficiensének ($R^2 = 0,7218$) értéke alátámasztja a kezelések glicerín fázisa és a csíraszám átlagok közötti közepes, negatív lineáris kapcsolatot. A koncentráció növekedésével a keverék glicerín fázisa arányosan gátolja a csírázást (24. ábra).



24. ábra A glicerín-metanol keverékek koncentrációjának hatása a repce csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

Érlelést követően a glicerín-metanol kezelések csírázásra gyakorolt káros hatása nem igazolható ($R^2 = 0,2874$). A talaj kéthetes inkubációját követően a 0,5% széntartalmú glicerín-metanol (10. kezelés) koncentrációig nincs csírázást gátló hatás, míg az 1% széntartalmú glicerín-metanol (11. kezelés) már közel teljes csírázásgátlást eredményezett (24. ábra).



25. ábra A glicerín-metanol kezelések hatása a repce csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

* 1. Kontroll (PK), 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

A glicerín-metanol kezelések hatását két-tényezős varianciaanalízis segítségével értékeltem ki. A glicerín-metanol kezeléskombinációk hatása erős (F -arány = 43,96***), ahogy az érlelés (F -arány = 99,9***) is. A glicerín-metanol kezelések és az érlelés közötti kölcsönhatás szintén igazolható az F -arány (14,76***) értéke alapján (Mellékletek 40. és 41. táblázat).

Talajérlelés következtében a 11. (1% C 90% glicerín + 10% metanol) kezelés kivételével egyik kezelés sem tért el szignifikánsan az 1. (PK) kezeléstől (36. ábra). A 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol) és 10. (1% C 50% glicerín + 50% metanol) kezelések eredményein a legszembetűnőbb az azonnali vetés és az érlelés közötti eltérés ($SzD(5\%) = 15,49$, 25. ábra).

Összefoglalva repcével elvégzett érleléses csírázási kísérlet eredményeit megállapítható, hogy érlelés hatására a glicerint tartalmazó (glicerín, glicerín-metanol) és glicerintartalmú biodízel gyártásból származó melléktermék kezelések hatása 0,5%-os szénforrásként alkalmazva nem okozott csökkenést a csírázásban. 1%-os szénforrásként alkalmazva azonban a glicerín és a 90%-ban glicerint tartalmazó glicerín-metanol kezelések teljes csírázásgátlást okoztak érlelés követően is. Ez alapján kijelenthető, hogy a kéthetes inkubációs periódus nem volt elegendő a talaj mikroorganizmusainak a glicerín lebontására. Ez összhangban van a szakirodalomban leírtakkal (Kovács et al. 2011a). A melléktermék és a metanol hatása érlelést követően csökken.

4.5. Angolperjével, illetve repcével elvégzett csírázási kísérletek összehasonlítása azonnali vetés és érlelés esetén

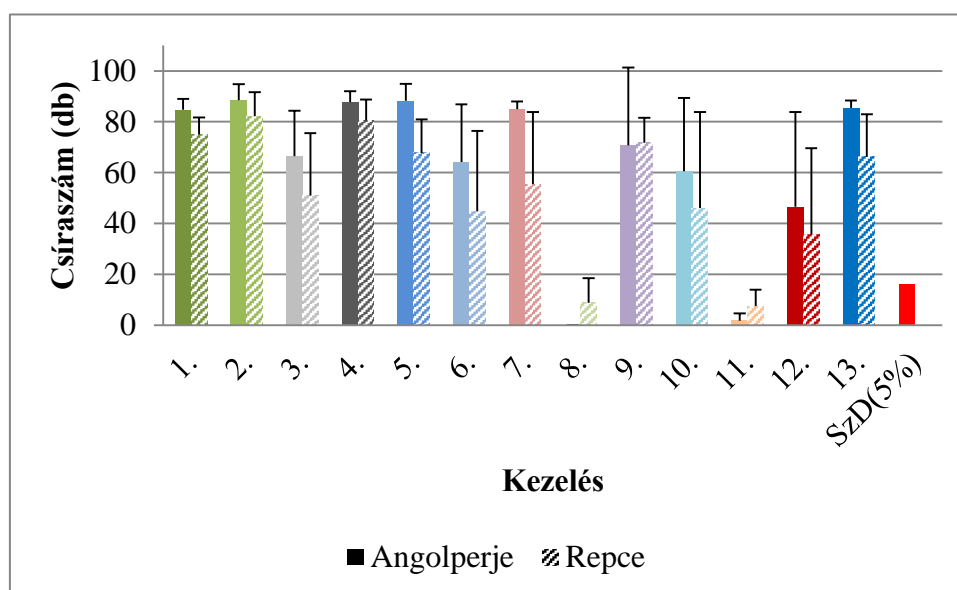
Az érlelés és a kezelések együttes hatását hasonlítottam össze a két vizsgált növény esetében (12. táblázat, Mellékletek 28. és 35. táblázat).

Az angolperje és a repce érleléses csírázási kísérlet eredményeit három-tényezős varianciaanalízis segítségével értékeltem ki. Legfeljebb 0,1%-os hibavalószínűség mellett igazolható a kezeléskombinációk (F-arány = 31,98***), a kezelések (A tényező, 93,58***), az érlelés (B tényező, F-arány: 207,86***) és a növények (C tényező, F-arány = 45,22***) hatása. A kereszthatásokat megvizsgálva 0,1%-os hibavalószínűség mellett bizonyítható, hogy a kezelések és az érlelés (A x B, F-arány = 13,45***), a kezelések és a növények (A x C, F-arány: 45,22***), és az érlelés és a növények (B x C, F-arány = 16,24***) között fennálló kölcsönhatások. A három tényező (A x B x C, F-arány = 2,66**) egymásra gyakorolt hatása legfeljebb 1%-os hibavalószínűség mellett igazolható (Mellékletek 42., 43., 44. és 45. táblázat). Az eredményeket oszlopdiagramokon is szemléltetem. (26. ábra és 27. ábra).

12. táblázat A kezelések hatása angolperje, illetve repce csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Kezelések	Szervesanyag C %-ban				Átlag csíraszám			
	Összes	Glicerin	Metanol	Melléktermék	Azonnali vetés		Érlelés	
					Angolperje	Repce	Angolperje	Repce
1. Kontroll (PK)	-	-	-	-	87	70	82,5	80
2. Nitrogén (NPK)	-	-	-	-	93	77,6	84	88
3. 0,5% C glicerin	0,5	0,5	-	-	51,5	31	81,5	71
4. 0,5% C metanol	0,5	0	0,5	-	89,5	74	86	87
5. 0,5% C 50% glicerin + 50% metanol	0,5	0,25	0,25	-	83,5	58,5	93	77
6. 0,5% C 90% glicerin + 10% metanol	0,5	0,45	0,05	-	45,5	18	83	71,5
7. 0,5% C melléktermék	0,5	-	-	0,5	87	31,5	83	79,5
8. 1% C glicerin	1	1	-	-	0	1,5	0	16
9. 1% C metanol	1	-	1	-	49	64	92,5	79,5

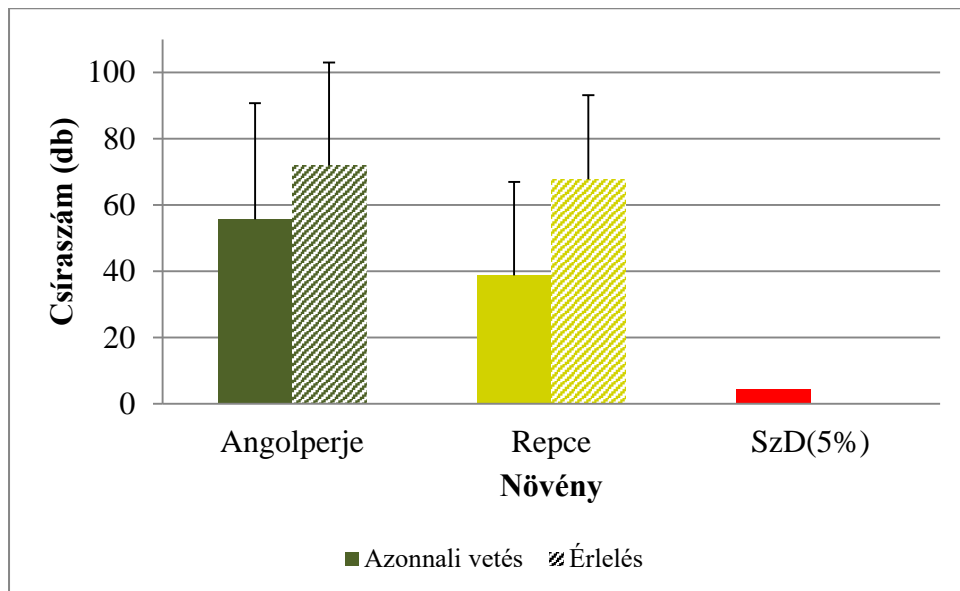
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	1	0,5	0,5	-	35,5	14	85,5	78
11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol	1	0,9	0,1	-	0	4	3,5	11
12. 1% C melléktermék	1	-	-	1	15	8	78	63,5
13. 0,25% C melléktermék	0,25	-	-	0,25	87,5	53,5	83,5	79
SzD(5%)					16,07	16,07	16,07	16,07



26. ábra A kezelések hatása angolperje, illetve repce csírázására

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

A fenti ábrán jól látható, hogy az 5. (0,5% C 50% glicerín + 50% metanol), 6. (0,5% C 90% glicerín + 10% metanol), 7. (0,5% C melléktermék) és 13. (0,25% C melléktermék) kezelések esetében jelentősen érzékenyebbnek bizonyult a repce az angolperjével szemben (26. ábra SzD(5%) = 16,07).



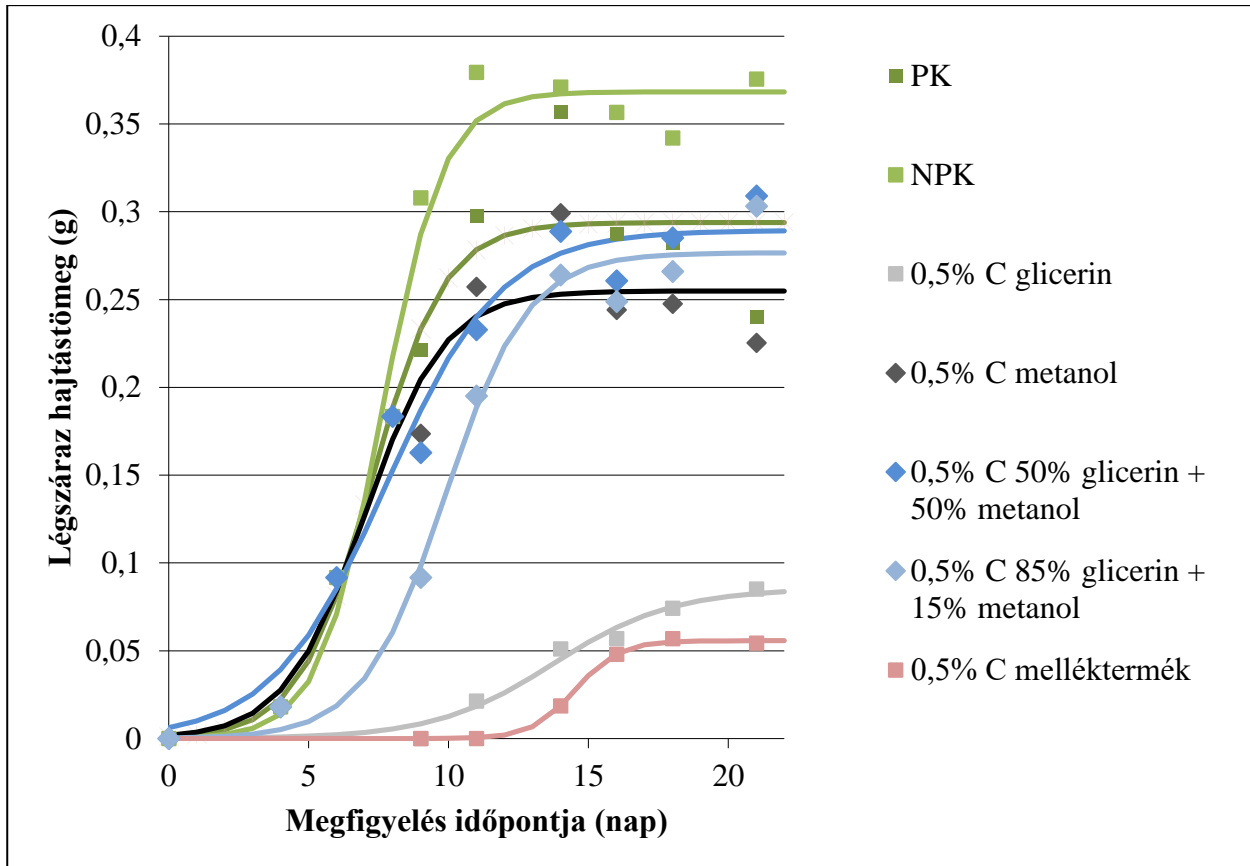
27. ábra Az érlelés hatása angolperje, illetve repce csírázására

Azonnali vetés esetén a repce csírázási erélyére gyakorolt hatás jelentősebb, azonban érlelést követően kiegyenlítődik a növények közötti eltérés (27. ábra, SzD(5%) = 4,45).

Összefoglalva az angolperjével és a repcével elvégzett érleléses csírázási kísérleteket megállapítható, hogy a 0,5%-os szénforrásként alkalmazott glicerintartalmú és melléktermék kezelésekre a repce szignifikánsan érzékenyebben reagált. Érlelést követően a két növény kezelésekre mutatott reakciója közötti eltérések statisztikailag nem igazolhatóak.

4.6. Az angolperje növekedésére gyakorolt hatása a kémia kezeléseknek

A módszertanban bemutatott kalibrációs egyenes alapján meghatározott növényi hajtástömegek értékeire logisztikus függvényeket illeszttem, amelyek jól szemléltetik az alkalmazott kezelések angolperje növekedési ütemére kifejtett hatásait (Tolner et al. 2010a, Kovács et al. 2011a, Kovács et al. 2011b, Kovács et al. 2011c).



28. ábra A kezelések hatása angolperje légszáraz hajtástömegének változására

13. táblázat A kezelések eredményeire illesztett modell paramétereit

Paraméterek	Kezelések						
	PK	NPK	0,5% C glicerine	0,5% C metanol	0,5% C 50% glicerine + 50% metanol	0,5% C 85% glicerine + 15% metanol	0,5% C melléktermék
A	0,29	0,37	0,09	0,25	0,29	0,28	0,06
k	-0,77	-0,90	-0,47	-0,70	-0,49	-0,68	-1,29
t ₀	7,25	7,60	13,75	7,01	7,77	9,88	14,54

Az illesztett logisztikus függvény egyenlete a következő:

$$y = \frac{A}{(1 + e^{k * (t - t_0)})}, \text{ ahol}$$

A: légszáraz hajtástömeg maximuma [g]-ban kifejezve,

k: kinetikai paraméter, amely a növekedés meredekségét jellemzi [1/nap]-ban kifejezve,

t: eltelt idő [nap]-ban kifejezve,

t_0 : maximális növekedési sebesség időpontja [nap]-ban kifejezve.

Jól látható a fenti diagramon, hogy a tiszta és a melléktermékként adagolt glicerín lassítja a növény fejlődését, továbbá azt, hogy a többi kezeléshez képest jelentősen csökkenti a növényi hajtástömeg mennyiségét (28. ábra).

Az illesztett görbék paramétereit megvizsgálva a következő megállapításokra jutottam:

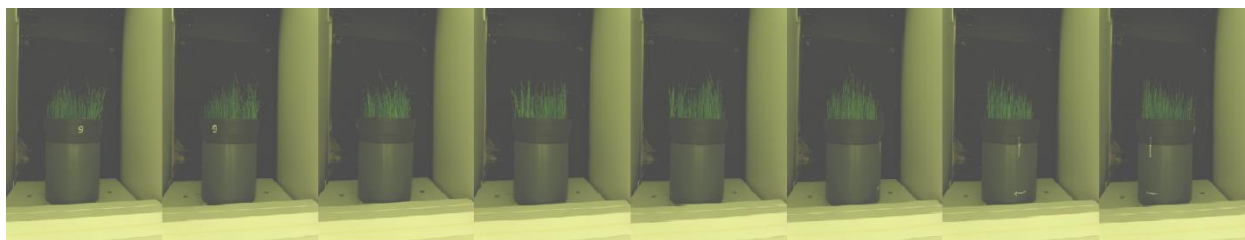
- Az A (légszáraz hajtástömeg maximuma) paraméter esetében látható, hogy a hozzáadott nitrogén hatása (NPK kezelés) eredményezte a legnagyobb hajtástömeget. A 0,5%-os szénforrásként hozzáadott metanol (0,5% C metanol) és glicerín-metanol (0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 0,5% C 85% glicerín + 15% metanol) kezelések a kontrollal (PK) közel megegyező produkciót eredményeztek. A 0,5%-os szénforrásként adagolt tiszta glicerín (0,5% C glicerín) és melléktermék (0,5% C melléktermék) kezelések jelentősen csökkentették a növényi hozamot (13. táblázat, 28. ábra).
- A k (növekedés meredeksége) paraméter értékeit értelmezve megfigyelhető, hogy minél nagyobb a hozzáadott glicerín aránya, annál lassabb a növekedés üteme (13. táblázat, 28. ábra).
- A t_0 (maximális növekedési sebesség időpontja – a görbe inflexiós pontja) paramétert megvizsgálva látható, hogy a kontroll (PK) és a nitrogén (NPK) kezelések közel azonos időben jelentkeztek. A 0,5%-os szénforrásként hozzáadott metanol (0,5% C metanol), illetve glicerín-metanol (0,5% C 50% glicerín + 50% metanol) kezelések nem tértek el jelentősen a kontroll (PK), illetve nitrogén (NPK) kezeléseknél tapasztaltaktól. Megfigyelhető továbbá, hogy a tiszta glicerín (0,5% C glicerín), glicerín-metanol (0,5% C 85% glicerín + 15% metanol) és a melléktermék (0,5% C melléktermék) kezelések glicerín arányának növekedésével jelentősen késik a maximális növekedési sebesség időpontja (13. táblázat, 28. ábra).

Összefoglalva az angolperje jelzőnövényvel elvégzett növekedési kísérlet eredményeit megállapítható, hogy a 0,5% szénforrásként hozzáadott glicerín tartalmú (glicerín és glicerín-metanol), valamint glicerines melléktermék kezelések késleltetést okoztak a kelésben, lassították a növekedés ütemét és csökkenést okoztak a növényi produkcióban. A metanol és az azonos arányban metanolt is tartalmazó glicerín-metanol kezelések csak a növényi produkcióban eredményeztek csökkenést.

4.7. Az angolperje növekedésére gyakorolt hatás vizsgálata fényképfelvétel útján

A növények fejlődéséről nyert nagymennyiségű optikai adat összetett elemzésével további értékes információhoz jutottam. A növények egyedenként különbözőképpen reagáltak az őket ért különböző stresszhatásokra. Ez a különböző időpontban jelentkező csírázásban és a fejlődési ütem eltéréseiben mutatkozott meg.

Az egyes tenyészedényekben azonos körülmények között fejlődő növényi egyedek optikailag is detektálható eltéréseket mutattak. A tenyészedények elforgatásával 8 különböző irányból készültek felvételek. A különböző irányból készített felvételek eltéréseinek elemzésével számszerűsíthető a növényállomány egyenetlensége.



29. ábra Egy tenyészedényben nevelt angolperje növényekről forgatással 8 különböző szögből készített fényképfelvételek

A 29. ábra képsorozatából is látható, hogy a növények 8 különböző szögből más-más képet mutatnak. A 14. táblázatban a nyolc különböző szögből készült felvételek zöld pixelszámainak átlagát (1/1000 részét) szemléltetem, a kezelések és a megfigyelés időpontjának függvényében, négy ismétlésben. A nyolc különböző szögből készült felvétel adatainak átlagolt szórására utal a táblázat színezése. A fehér háttérű a 10 alatti, a világosszürke a 10 és 20 közötti, valamint sötét szürke a 20 feletti CV% értékek felel meg.

14. táblázat Növények fejlődése a megfigyelés első és 23. napja között (pixelszám/1000)

Kezelések	1. nap	2. nap	5. nap	8. nap	11. nap	14. nap	17. nap	20. nap	23. nap
Nitrogén (NPK)	768	956	988	1048	1017	1088	1146	1210	898
	733	880	911	968	828	857	881	1098	973
	721	850	817	905	891	958	1141	1279	1092
	815	981	1117	1241	960	1292	1384	1361	1408
0,5% C glicerín	22	36	108	261	339	469	539	705	815
	26	64	230	428	507	626	763	869	929
	22	25	44	142	215	336	465	539	647
	22	31	40	129	205	320	471	514	614
0,5% C metanol	254	374	533	662	726	913	1025	985	1185
	146	263	457	593	645	823	1113	1094	1107
	200	320	486	619	694	891	1117	1124	967
	233	354	524	649	743	933	1162	1049	1147
0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	284	424	624	776	815	937	1208	1291	1043
	227	353	542	685	694	786	963	1200	1032

	243	376	597	745	795	938	1104	1178	834
	267	409	639	794	810	1018	1275	1132	1160
0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	24	62	216	388	498	596	757	840	949
	47	111	258	413	495	564	700	751	862
	34	69	208	342	404	469	608	636	718
	32	77	257	401	470	567	736	821	826
0,5% C melléktermék	417	530	678	788	833	775	1037	1053	1045
	406	503	605	725	744	764	973	879	773
	385	500	606	688	710	730	925	955	883
	467	595	778	908	876	1035	992	940	801

Statisztikai próbával szükséges igazolni, hogy ezek a szórások valóban kiugróak (igazolhatóan nagyobbak) a többihez képest. A vizsgálatot külön-külön a megfigyelt 9 nap (1., 2., 5., 8., 11., 14., 17., 20., 23. nap) adatain Cochran-próbával 5%-os hibavalószínűségi szinten végeztem el. A számítás menetét az 1. nap adataival mutatom be (15. táblázat). Az azonos sorban levő 8 adat átlaga az utolsó (Átlag fejlécű) oszlopban található.

15. táblázat A tenyészedenyekről 8 különböző (0° - 315°) szögben készült felvételeken mért zöld pixelszámok 1/1000 része az első megfigyelési napon

Kezelések	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	Átlag
Nitrogén (NPK)	770	763	727	759	800	774	760	792	768
	755	738	722	720	700	694	763	772	733
	712	712	686	710	736	752	728	731	721
	835	814	824	787	795	806	834	828	815
0,5% C glicerín	26	24	24	22	18	16	21	23	22
	29	27	24	24	22	21	28	30	26
	26	26	22	20	16	16	20	25	22
	22	26	24	24	23	20	17	17	22
0,5% C metanol	248	251	272	279	262	247	240	236	254
	161	144	134	132	129	141	154	172	146
	189	190	192	193	206	219	211	201	200
	217	218	218	224	236	251	249	250	233
0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	283	294	292	275	282	288	279	278	284
	220	217	223	235	244	238	223	220	227
	248	246	236	236	241	251	248	237	243
	254	280	283	265	268	258	263	263	267
0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	25	25	28	26	24	23	22	19	24
	53	50	47	45	42	38	47	53	47
	33	34	34	35	36	35	30	32	34
	33	33	29	25	30	35	36	35	32
0,5% C melléktermék	417	424	417	418	406	391	428	434	417
	387	403	405	416	392	418	419	412	406
	380	359	376	382	387	397	401	398	385
	432	451	483	471	465	470	488	478	467

Mivel a szórások az alapadatok nagyságától is függnének, ezért az összehasonlítást a standardizált adatok szórásával végeztem. A standardizált adatok (16. táblázat) számításánál a

különböző szögben készült felvételek pixelszámait elosztottam a 8 felvétel pixelszámainak a 15. táblázat Átlag fejlécű oszlopában található átlagával.

16. táblázat Standardizált adatok. A tenyészedényekről 8 különböző szögben készült felvételeken mért pixelszámok a 8 adat átlagával normálva a megfigyelés első napján

Kezelések	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	s	s ²
Nitrogén (NPK)	1,00	0,99	0,95	0,99	1,04	1,01	0,99	1,03	0,029	0,00086
	1,03	1,01	0,98	0,98	0,95	0,95	1,04	1,05	0,039	0,00155
	0,99	0,99	0,95	0,98	1,02	1,04	1,01	1,01	0,028	0,00079
	1,02	1,00	1,01	0,96	0,97	0,99	1,02	1,02	0,022	0,00049
0,5% C glicerín	1,19	1,12	1,09	1,00	0,82	0,73	0,96	1,07	0,157	0,02473
	1,13	1,05	0,95	0,92	0,88	0,81	1,10	1,17	0,130	0,01696
	1,22	1,22	1,01	0,94	0,76	0,75	0,92	1,18	0,193	0,03708
	1,02	1,19	1,12	1,14	1,06	0,94	0,77	0,77	0,162	0,02610
0,5% C metanol	0,97	0,99	1,07	1,10	1,03	0,97	0,94	0,93	0,060	0,00360
	1,10	0,99	0,92	0,90	0,88	0,97	1,06	1,18	0,104	0,01087
	0,94	0,95	0,96	0,96	1,03	1,09	1,06	1,01	0,056	0,00315
	0,93	0,94	0,94	0,96	1,01	1,08	1,07	1,07	0,066	0,00441
0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	1,00	1,03	1,03	0,97	0,99	1,02	0,98	0,98	0,024	0,00059
	0,97	0,95	0,98	1,03	1,07	1,05	0,98	0,97	0,044	0,00194
	1,02	1,01	0,97	0,97	0,99	1,03	1,02	0,98	0,025	0,00061
	0,95	1,05	1,06	0,99	1,00	0,97	0,98	0,99	0,038	0,00141
0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	1,03	1,05	1,16	1,09	1,00	0,95	0,91	0,81	0,111	0,01239
	1,13	1,07	1,00	0,96	0,90	0,81	1,00	1,12	0,111	0,01228
	0,99	1,01	1,00	1,05	1,06	1,04	0,88	0,97	0,058	0,00339
	1,02	1,04	0,90	0,79	0,95	1,08	1,13	1,08	0,112	0,01252
0,5% C melléktermék	1,00	1,02	1,00	1,00	0,97	0,94	1,03	1,04	0,032	0,00105
	0,95	0,99	1,00	1,02	0,96	1,03	1,03	1,01	0,030	0,00088
	0,99	0,93	0,98	0,99	1,01	1,03	1,04	1,03	0,036	0,00132
	0,92	0,97	1,03	1,01	1,00	1,01	1,04	1,02	0,039	0,00153

A tenyészedényekről 8 különböző (0° - 315°) szögben készült felvételeken mért zöld pixelszámok átlagukkal normált értékeinek meghatároztam a szórás és a szórásnégyzet értékeit (16. táblázat s és s² fejlécű oszlopai).

Első lépésben megvizsgáltam, hogy az így kapott 24 szórásnégyzet között van-e kiugró érték, ha volt azt elhagyva a maradék 23 szórásnégyzet közötti kiugró érték vizsgálata következett. Az eljárást addig folytattam, amíg találtam kiugró szórásnégyzet értéket.

A számításhoz a 16. táblázatból a szórásnégyzeteket (s²) a 17. táblázatba másoltam és sorba rendeztem. A táblázat utolsó (24-ik) sorában levő adatok számítása: az ebben a sorban található legnagyobb szórásnégyzet értéket (0,03708) elosztottam az összes (24 db) szórásnégyzet (rendezett s²) összegével. Az így kapott Cochran C értéket (0,2054) összehasonlítottam a Cochran-próba kritikus értékeit tartalmazó táblázat megfelelő (k = 24, FG = 7, p = 5%) értékével (0,1286).

Mivel a számított Cochran C érték meghaladta a kritikus értéket ezért legfeljebb 5% hibavalószínűséggel állítható, hogy a vizsgált szórásnégyzet érték (0,03708) kiugró. Ezért ezt a számértéket, illetve a belőle számított Cochran C értéket (0,2054) vastag betűvel jelöltem meg.

17. táblázat A tenyészedenyekről készült felvételeken mért zöld pixelszámok normált szórásnégyzeteinek vizsgálata Cochran-próbával az első megfigyelési napon (Sváb 1981)

Sorszám	Eredeti sorszám	Rendezett s ²	Cochran C	Kritikus C	k (elemszám)
1.	4.	0,00049			
2.	13.	0,00059	0,5425	0,8332	2
3.	15.	0,00061	0,3606	0,6530	3
4.	3.	0,00079	0,3176	0,5365	4
5.	1.	0,00086	0,2576	0,4564	5
6.	22.	0,00088	0,2092	0,3980	6
7.	21.	0,00105	0,1985	0,3535	7
8.	23.	0,00132	0,2001	0,3185	8
9.	16.	0,00141	0,1764	0,2901	9
10.	24.	0,00153	0,1607	0,2666	10
11.	2.	0,00155	0,1396	0,2440	11
12.	14.	0,00194	0,1494	0,2299	12
13.	11.	0,00315	0,1949	0,2148	13
14.	19.	0,00339	0,1735	0,2030	14
15.	9.	0,00360	0,1556	0,1911	15
16.	12.	0,00441	0,1600	0,1833	16
17.	10.	0,01087	0,2828	0,1750	17
18.	18.	0,01228	0,2422	0,1676	18
19.	17.	0,01239	0,1963	0,1608	19
20.	20.	0,01252	0,1656	0,1501	20
21.	6.	0,01696	0,1832	0,1490	21
22.	5.	0,02473	0,2108	0,1438	22
23.	8.	0,02610	0,1820	0,1390	23
24.	7.	0,03708	0,2054	0,1286	24

A fenti táblázat 24. sorát figyelmen kívül hagyva az eljárást megismétltem az első 23 sor adataival (**0,02610**, **0,1820**, 0,1390, k = 23, FG = 7, p = 5%). Mivel az ebben a sorban levő szórásnégyzet is kiugró a nála kisebb értékekhez képest ezért ez is vastagítással jelöltem. A számítást a második sorig hasonlóképpen elvégezve azt kaptam, hogy a 17. sorban levő **0,01087**-es szórásnégyzet és az azt meghaladó szórásnégyzet értékek mind kiugrónak tekinthetők a náluk kisebb szórásnégyzet értékeknél. Ezeket az értékeket mind vastagított betűvel jelöltem. A kapott nyolc legnagyobb szórásnégyzet értékhez tartozó tenyészedenyek sorait a 17. táblázat eredeti sorszám oszlopa alapján kikeresve kiugró szórás és szórásnégyzet értékeket a 16. táblázatban is vastagított számjegyekkel jelöltem. Leolvasva az ezekhez tartozó kezelés értékeket látható, hogy a kiugró szórásnégyzetek a tiszta glicerín kezelés mind a négy ismétlését, a jelentős mértékben csak glicerint tartalmazó (90% glicerín + 10% metanol) három ismétlését jellemzi.

Ez azt mutatja, hogy a kezdeti fejlődés (vizsgált 1. nap) a legnagyobb glicerintartalmú kezeléseknél a legegyszerűsebb a növényállomány, vagyis itt a legnagyobb a stresszhatás.

A fenti eljárás szerint a többi napon (2., 5., 8., 11., 14., 17., 20., 23. nap) kapott eredményekkel is a Cochran-próbát elvégezve a kapott kiugró szórásnégyzet értékeknek megfelelő pixelszám (1/1000) értékeket jelöltem meg a 14. táblázatban vastagított számjegyekkel.

A különböző szögből készült 8-8 felvétel adatainak szórásait kétféleképpen (CV% szerint szűrítve, Cochran-próba szerint vastagítva) összehasonlítva (14. táblázat) hasonló eredményre jutottam. Ez azt mutatja, hogy a kezdeti fejlődés (1-8. nap) a legnagyobb glicerintartalmú kezeléseknél legegyszerűsebb a növényállomány, vagyis itt a legnagyobb a stresszhatás. A fejlődés későbbi szakaszában (8. napot követően) a stresszhatás megszűnt. A metanol, illetve a nagy metanol tartalmú kezelések kezdetben sem okoztak stresszhatást.

A kezdeti stresszhatást nem mutató kezelések esetén a vizsgálati időszak végén megnövekvő nagyobb szórás mérés technikai problémákra vezethető vissza. A kedvező kezeléshatás miatt kialakult dús növényzet egy része kihajlott az optikailag vizsgált képből, ami véletlenszerű eltéréseket okozott.

A következő elemzés során a nyolc különböző szögből készült felvételek értékelésekor kapott pixelszámok 1/1000 részének átlagaival végeztem.

A kezelések és az időpontok függvényében kapott négy-négy ismétlés szórásainak homogenitását is megvizsgáltam. Cochran-próbával az összes kezelés, összes időpontjában összehasonlítva a szórásokat nem kaptam kiugró értéket. Ezért a teljes kísérletet két-tényezős varianciaanalízissel értékeltem ki (18. táblázat és 19. táblázat).

18. táblázat A növények fejlődése a négy ismétlés átlagában az első és a 23. nap között
(pixelszám/1000)

Megfigyelés időpontja (nap)	Nitrogén (NPK)	0,5% C glicerín	0,5% C metanol	0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	0,5% C 90% glicerín 10% metanol	0,5% C melléktermék	B átlag
1. nap	759	23	208	255	34	419	283
2. nap	917	39	328	391	80	532	381
5. nap	958	106	500	601	235	667	511
8. nap	1041	240	631	750	386	777	638
11. nap	924	317	702	779	467	791	663
14. nap	1049	438	890	920	549	826	779
17. nap	1138	559	1104	1137	700	982	937
20. nap	1237	657	1063	1200	762	957	979
23. nap	1093	751	1102	1017	839	876	946
A átlag	1013	348	725	783	450	758	678

19. táblázat A kezelésekre lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblázata. A növények fejlődése a négy ismétlés átlagában az 1. és a 23. nap között (pixelszám/1000)

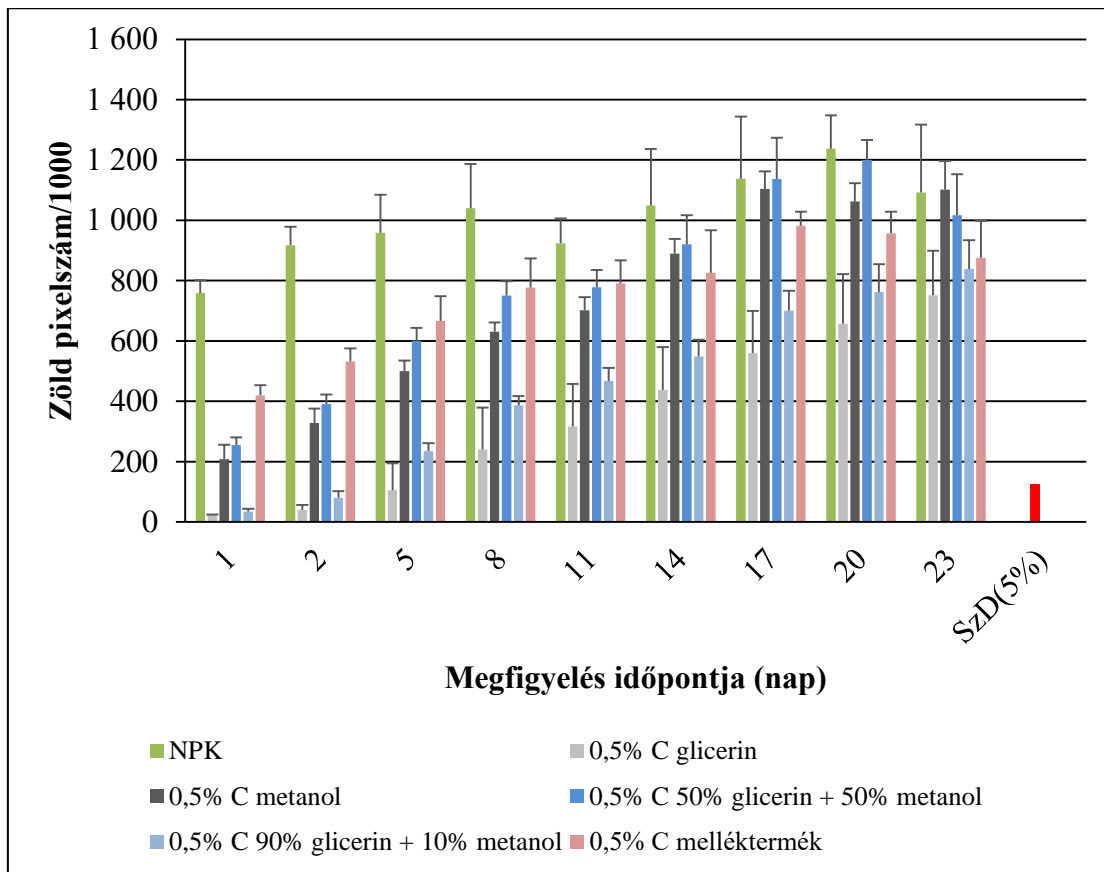
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	25913112877	215			***	**	*	+		
ismétlés	239630859	3	79876953	9,86	5,69	3,91	2,66	2,12		
kezelés	24385634101	53	460106304	56,81	1,92	1,64	1,42	1,31	125,68	97,76
A tényező	10547930391	5	2109586078	260,45	4,34	3,13	2,27	1,88	41,89	32,59
B tényező	12327854088	8	1540981761	190,25	3,48	2,62	2,00	1,71	51,31	39,91
A x B	1509849622	40	37746241	4,66	2,04	1,72	1,47	1,35		
hiba	1287847918	159	8099672					CV%=	13,2	

Látható, hogy a kezeléskombinációk hatása (F-arány = 56,81***), a kezelések hatása (F-arány = 260,45***) és az időbeli változás (F-arány = 190,25***) erősen szignifikáns (19. táblázat).

A kontrollhoz képest mindegyik kezelés stresszhatást idézett elő. Ez kisebb mértékű a metanol (0,5% C metanol), a glicerín-metanol keverék (0,5% C 50% glicerín + 50% metanol), és a glicerintartalmú melléktermék (0,5% C melléktermék) esetében.

A metanol és a melléktermék károsító hatása között nem találtam szignifikáns eltérést. Leginkább a tiszta glicerín károsította a növényeket (30. ábra, SzD(5%) = 125,68).

Az időbeli változást szemlélteti az alábbi ábra (30. ábra). Látható, hogy az idő múlásával a kezelések által okozott kezdeti jelentős különbségek fokozatosan kiegyenlítődnek. Ezt alátámasztja a variancia táblázatból leolvasható erősen szignifikáns (F-arány = 4,66***) kölcsönhatás értéke is (19. táblázat).



30. ábra Kezelések hatása és időbeni változása a növények fejlődésére (zöld pixelszám/1000)

Összefoglalva az angolperje növekedésének képanalízise során nyert információkat megállapítható, hogy a megfigyelés kezdetén a kontrollhoz képest a 0,5%-os szénforrásként alkalmazott glicerín, glicerín-metanol és glicerines melléktermék kezelések stresszhatása érvényesült, ami megmutatkozik a késleltetett kelésben, a növények fejlődésének egyenetlenségeiben és lassulásában. A későbbi időpontokban a fejlődés egyenetlensége csökken.

4.8. Új tudományos eredmények

1. A glicerín és a glicerintartalmú biodízel gyártásból származó melléktermék egy héten belül immobilizálta a talaj és a hozzáadott műtrágya nitrogéntartalmát. Az ezt követő mobilizáció lassú, sebessége függ a glicerinkezelés mértékétől. A mobilizáció gátlása a nitrifikációra nagyobb mértékű. A glicerintartalmú melléktermék szennyezői nem fejtettek ki kedvezőtlen hatást.
2. Az angolperjével és repcével elvégzett csírázási kísérletek során tapasztaltak alapján elmondható, hogy a glicerín késleltette a csírázást. Kéthetes talajinkubációt követően ez a hatás csökkent.
3. A biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermékben a glicerín mellett legnagyobb mennyiségben jelenlévő metanol szennyezés hatását vizsgálva megállapítható, hogy nem okozott csírázásgátlást még azonnali vetés estében sem.
4. A glicerín és a glicerintartalmú melléktermék kezeléseket angolperje növekedésére gyakorolt hatásáról elmondható, hogy a glicerín talajba keverése (a kezelés glicerintartalmától függően) késleltette a kelést és lassította a növény fejlődését.
5. A képanalízis során nyert információk statisztikai elemzése alátámasztja a glicerín által okozott stresszhatást, amely a késleltetett kelésben, a növény fejlődésének egyenetlenségében és lassulásában egyaránt megmutatkozott.

5. Következtetések és javaslatok

Kutatómunkám kezdete óta a biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermék hasznosítási lehetőségével számos külföldi kutatás foglalkozott. Hazai viszonylatban kevés publikáció jelent meg e területen. A melléktermékben jelenlévő glicerín és metanol fázisok hatását már többen is vizsgálták. Azonban az előkezelés nélküli kijuttatásának talaj ásványi N-tartalmának változására, növények csírázására, illetve növények fejlődésére gyakorolt hatására nem tértek ki. Kísérleteimben eltérő C-forrásként alkalmazott glicerín, metanol, glicerín-metanol és biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermék talaj ásványi-N tartalmára, csírázásra és növényi növekedésre gyakorolt hatását vizsgáltam, amely fontos információkkal szolgálhat a melléktermék előkezelés nélküli hasznosítására.

5.1. A talajba juttatott glicerintartalmú kezelések talaj ásványi-N formáinak változására gyakorolt hatása

Glicerín kezelés hatására a talaj összes ásványi-N tartalmának időbeli változását a melléktermékben jelen lévő glicerín fázis mikrobiális aktivitást befolyásoló hatása okozhatta. Azonban megfelelő koncentrációjú glicerín beadagolásával szabályozhatóvá válik a műtrágya nitrogén immobilizációja, illetve az azt követő mobilizálódása. Ez alapján a lassú hatású nitrogéntrágyák alkalmazásához hasonló technológia dolgozható ki. A folyamatosan felszabaduló kontrollált koncentrációjú nitrát-tartalom csökkentheti a nitrátkimosódást és a nitrogén túltrágyázás kedvezőtlen hatásait (pl.: gabona megdőlés).

5.2. A talajba adagolt glicerín angolperje, illetve repce csírázására gyakorolt hatása

Szakirodalmi kutatásaim során találtam arra vonatkozó utalásokat, hogy állati eredetű sejtekben az aquaporinok részt vesznek a glicerín transzportjában is a víz mellett (Hara-Chikuma és Verkman 2006). Ezáltal a sejtek metabolizmusába közvetlenül tud beavatkozni a glicerín. Sejtszabályozási szinten sok hasonlóságot mutatnak a növényi és állati sejtek, ezért feltételezhető, hogy az aquaporinok szerepet vállalnak a glicerín növényi membránokon (plazmamembrán, tonoplast) keresztüli transzportjában. Ez magyarázatot adhat a glicerín által okozott drasztikus csírázásgátlásra.

Azonnali vetés esetén az 1% C-forrásként hozzáadott glicerín feltételezhetőleg a csírázás valamely primer környezeti feltételét korlátozta nagy vízmegkötő képességének köszönhetően. Ezáltal a glicerín a csírázás legelső lépését, a vízfelvételt akadályozhatta, így a csíranövények pusztulását, vagy a kezdeti nyugalmi szakasz fenntartását eredményezhette.

A jelenség oka a vízfelvétel gátlásában, vagy a sejtekbe kerülő exogén glicerinnek a sejtes együttműködést negatív irányba befolyásoló hatásában kereshető. A csírázási erély csökkenésének mértékét egyértelműen a melléktermék glicerin fázisának koncentrációja határozza meg vetési módtól függetlenül.

A talajinkubáció eredményeképp kapott csíraszám átlagok rámutattak arra, hogy az 1% C-forrásként alkalmazott glicerintartalmú kezelések, glicerin tartalmának mikrobák általi hasznosításához nem bizonyult elegendőnek a kéthetes inkubációs periódus.

5.3. A melléktermék szennyezéseinek hatása angolperje, illetve repce csírázására

Biodízel melléktermék: A csírázási kísérletek során tapasztalt penészedés annak tulajdonítható, hogy a glicerines melléktermék fázisában feldúsultak egyéb anyagok (nyomelemek, vitaminok és lipidek), amelyek tovább növelték a glicerin, mint C-forrás érvényesülésének hatását. A melléktermékkel kezelt minták ilyen módon kolonizálódhattak. Ez alátámasztja a talaj penészgombáira gyakorolt serkentő hatást. A penészedéssel együtt jelentkező szaghatás is jellemző volt a melléktermékkel kezelt minták esetében, ami egyértelmű bizonyítéka az élénk mikrobiológiai tevékenységnek.

Metanol: Az elvégzett csírázási kísérletek alapján megállapítható, hogy a metanol egyik növény esetében sem befolyásolta a csírázási erélyt. A kéthetes talajinkubációt követően a csírázóképessegre gyakorolt hatás kedvezőbbnek bizonyult.

Glicerin-metanol: A metanol és a glicerin-metanol keverék kezeléseket összehasonlítva megállapítható, hogy a glicerin-metanol kezeléseket glicerin fázisa okozta csírázási erély csökkenését.

5.4. A talajba juttatott glicerin angolperje növekedésére gyakorolt hatása

A növekedési kísérlet során tapasztaltak alapján megállapítható, hogy a hozzáadott kezelések glicerin fázisa eredményezte a növényi produkcióban, a növekedés ütemében és a maximális növekedési sebesség időpontjában bekövetkezett negatív hatást. A jelenség oka az lehet, hogy a könnyen lebomló glicerin hatására elszaporodó mikroszervezetek elvonják a növények elől a felvehető nitrogént a talajból.

A talajérleléses kísérletben bemutatott eredmények is alátámasztották (Tolner et al. 2010b) a melléktermék és a glicerin nitrogén immobilizáló hatását. Ennek következtében a talajból felvehető nitrogén mennyisége csökkenhet a magasabb rendű növények számára, ami lassulást okozhat a fejlődésükben.

5.5. A talajba juttatott glicerín angolperje növekedésére gyakorolt stresszhatásának vizsgálata Cochran-próbával

A képanalízis során nyert információkból arra lehet következtetni, hogy a stresszhatás növekedésével nemcsak a kelési idő eltolódása, hanem a növények fejlődésének egyenetlenségei és lassulása is egyaránt fokozódott. A hatás főleg a növények fejlődésének korai szakaszában figyelhető meg, amelyet a csírázási kísérletek során tapasztalt penészedés is okozhatott. Azonban idősebb növényeknél az eltérések fokozatosan kiegyenlítődtek.

5.6. Javaslatok további kutatásokhoz

Doktori munkám során elvégzett kísérletek és a szakirodalomban olvasottak alapján a következő javaslatok figyelembevételével lehetne további kutatásokat végezni a biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermékkel:

- más talajtípusokon is elvégezni hasonlóan beállított kísérleteket, más növények bevonásával,
- a glicerín kedvezőtlen hatásának pontosabb megismerésére célszerű lenne szabadföldi kísérleteket is beállítani legalább 3 hetes talajérlelést követően repcével,
- a nitrogénháztartásra gyakorolt kedvezőtlen hatás ellensúlyozására a vetést megelőzően több, mint két héttel kellene kijuttatni a glicerín tartalmú mellékterméket. Ilyen jellegű technológiai ajánlás a jelenlegi műtrágyázási gyakorlatban is létezik (karbamid műtrágya alkalmazása).

6. Összefoglalás

Az egyre nagyobb mennyiségű energiafelhasználás fokozott környezetterhelést eredményez. Ennek egyik legszembetűnőbb hatása a klímaváltozás, amely a légkörbe juttatott nagy mennyiségű CO₂-nak és egyéb üvegházhatású gázoknak tulajdonítható. A megemelkedett károsanyag kibocsátás közel hatodát a közlekedés teszi ki. A biológia eredetű, mint feltételesen megújuló energiaforrások üzemanyagaként való alkalmazása alternatívát jelenthet a légkörbe juttatott káros hatású gázok mértékének csökkentésére. Az Európai Unió szabályozási rendszere is előírja a bioüzemanyagok egyre növekvő részarányának használatát, mely célt a tagországoknak 2020-ig bezárólag kellene teljesíteniük. Amíg Európában Németország áll az élen, az éves szinten megtermelt biodízel előállításában, addig Magyarország a tagországok listáján hátrébb szorul annak ellenére, hogy mezőgazdasági és éghajlati adottságokat tekintve jelentős szabad területekkel rendelkezik a repce és napraforgó termesztésére. A hazai biodízel üzemek kapacitásának emelésére lenne szükség ahhoz, hogy az Unió által előírt keverési arányt elérjük. A biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermék csak tisztítást követően értékesíthető a kozmetikai és a vegyipar felé. A visszamaradt szennyezett melléktermék hasznosítása a gyártás legjelentősebb költségcsökkentő tétele.

Amióta a kutatásomat elkezdtem a szakirodalomban egyre több publikáció kezdett el foglalkozni a gyártási melléktermékek talaj tápanyag-gazdálkodásra gyakorolt hatásával, mellyel a talajba történő szén visszapótlás lehetőségét vizsgálták. A biodízel melléktermékben legnagyobb mennyiségben jelenlévő glicerín és egyéb szennyező anyagok esetleges toxikus hatásait is tanulmányozták. Ezzel szemben olyan publikációval, amely kiterjedt volna a szennyezett glicerines melléktermék és az abban található szennyező komponensek (glicerín és metanol) összetett vizsgálatára nem találkoztam a nemzetközi irodalomban. A hazai irodalomban is kevés ismeret áll rendelkezésre a kutatás e területén.

Doktori értekezésemben a biodízel gyártás során keletkezett glicerines melléktermék és annak szennyező komponenseinek vizsgálatát tűztem ki célul. Kutatásom során ezen anyagok talaj tápanyag-gazdálkodásra, növény csírázására, illetve talaj tápanyag-szolgáltatásra kifejtett hatásait vizsgáltam. Minden kísérlet esetében ültetőközegként homokos szövetű talajt alkalmaztam, mert itt vártam a kezelések által kiváltott legélesebb hatást.

Négy ismétlésben elvégzett talajinkubációs kísérlet beállításával igazoltam a talaj glicerín és a glicerines melléktermék összes ásványi-N tartalmának változására gyakorolt hatását. A glicerín és a melléktermékben jelen lévő glicerín fázis jelentősen befolyásolta a talaj mikrobiális aktivitását. A glicerín gyorsan lebomlott a talajban ezáltal tápanyagforrásként szolgált a mikroorganizmusok számára, ami a N immobilizálódását eredményezte.

Megállapítottam, hogy a glicerín megfelelő koncentrációban a talajba adagolva képes szabályozni a nitrátkimosódást, amely ellensúlyozhatja a nitrogén túltrágyázás kedvezőtlen hatását.

Csírázási kísérleteket állítottam be négy ismétlésben angolperje (*Lolium perenne L.*) jelzőnövényvel, hogy megvizsgáljam a szennyező komponensek angolperje csírázására gyakorolt hatását. Kezelésként meghatározott koncentrációban alkalmazott glicerín, metanol, glicerín-metanol és glicerines mellékterméket alkalmaztam szénforrásként. Megállapítottam, hogy szénforrásként a glicerín, glicerín-metanol és glicerines melléktermék gátolta a csírázást már 0,5%-os koncentrációban alkalmazva. Eredményem a szakirodalomban olvasottakkal is megegyezik, miszerint a glicerín megnöveli a talaj ozmotikus nyomását, amely gátlást okoz a vízfelvételben, ezáltal gátolva a csírázást. A metanol formájában hozzáadott tápanyagforrás azonban még nagyobb koncentrációban sem fejtett ki kedvezőtlen hatást a csírázásra.

További csírázási kísérleteket végeztem el azzal az eltéréssel, hogy a kezelések egyik felét két héten át érlelt talajmintákba ültettem. Minden kezelést két-két ismétlésben alkalmaztam angolperje (*Lolium perenne L.*) és repce (*Brassica napus*) jelzőnövények használatával. A glicerintartalmú kezelések csírázást csökkentő hatása csak nagyobb koncentrációban, 1%-os szénforrásként alkalmazva volt megfigyelhető. Ez arra mutat rá, hogy a kéthetes talajinkubációs periódus nem volt elegendő arra, hogy a talaj mikroorganizmusai lebontsák a glicerint. A metanol kezelések eredményei alapján megállapítható, hogy az érlelés nem változtatott jelentősen a csírázási arányon. A két növény kezelésekkel szemben mutatott válaszreakciói azonnali vetés esetén eltértek és a repce bizonyult érzékenyebbnek. Érlelést követően a növények csírázása közötti eltérés statisztikailag nem volt igazolható.

Tenyészedény kísérleteket állítottam be négy ismétlésben angolperje jelzőnövényvel, hogy megvizsgáljam a kezelések tápanyag-szolgáltatásra kifejtett hatását a növények növekedésén keresztül. A Talajtani és Agrokémiai Tanszéken optikai megfigyelésen alapuló módszer került kifejlesztésre, amely lehetővé tette a hajtástömeg növekedésének meghatározását a növények károsítása nélkül. Kalibrációs kísérlettel igazoltam, hogy a növényekről készített képfelvételekből nyert információ jól modellezi a tényleges száraz hajtástömeg mennyiségét. Ezt követően a kezelések hatásainak vizsgálata során megállapítottam, hogy a 0,5%-os koncentrációban szénforrásként hozzáadott glicerín, glicerín-metanol és glicerines melléktermék késleltetést okozott a kelésben, lassította a növények fejlődésének ütemét, valamint csökkenést eredményezett a növényi produkcióban. Ez hatás a glicerín és a glicerines melléktermék alkalmazása esetében volt a legkedvezőtlenebb. A metanol és glicerín-metanol kezelések csak a növényi produkcióban eredményeztek csökkenést.

Összetett statisztikai módszer segítségével is igazoltam a glicerin, glicerin-metanol, metanol és glicerines melléktermék növényi növekedésre gyakorolt stresszhatását, amely a növényi egyedek egyenetlen kelésében és fejlődésében nyilvánult meg. A képfeldolgozási eljárásból nyert zöld pixelszámok szórásait Cochran-próbával elemeztem. Statisztikailag alátámasztottam, hogy érvényesült a 0,5%-os koncentrációban szénforrásként alkalmazott glicerint tartalmazó kezelések stresszhatása, ami a kelési idő késleltetésében és a növények fejlődési szakaszának lassulásában nyilvánult meg. Az idő múlásával a kezelések által okozott különbségek fokozatosan kiegyenlítődtek.

A biodízel gyártás során keletkezett glicerintartalmú melléktermék tápanyag-utánpótlásra való alkalmazása gazdaságosabbá teheti a gyártást és elősegítheti a biodízel hazai elterjedését. Azonban az alkalmazási technológia kidolgozására további kísérletek elvégzése szükséges.

7. Summary

Increasing energy consumption results in increased environmental exposure. One of the most significant effects is climate change due to the large amounts of CO₂ and other greenhouse gases emitted into the atmosphere. Nearly one sixth of the increase in the emission is due to transportation. The use of biomass stocks as a conditionally renewable energy source could be an alternative in the reduction of gaseous emissions into the atmosphere. The European Union's regulatory system requires the use of an increasing proportion of biofuels, which is the goal to be achieved by the Member States by 2020. While Germany is at the forefront of producing biodiesel in Europe, Hungary is far behind on the list of the Member States, despite the fact that Hungary has very large useable areas for growing rapeseed and sunflowers crops in terms of agricultural and climatic conditions. However, it would also be necessary to increase the growth of domestic biodiesel plants to achieve the EU-required share ratio. During the production of biodiesel a large amount of contaminated glycerol by-product arises, which can only be sold to the cosmetic and chemical industries after purification. Utilizing the residual by-product is the most significant cost-cutting factor in the production chain.

Since I started my research, more and more publications have been concerned with effect of the by-products on the nutrient management of the soil, with the aim of examining the carbon backflow into the soil. The possible toxic effect of impurities and glycerol, which is the largest part of the biodiesel by-product, have been discussed in several publications in the literature. On the other hand, only a few international papers have made a detailed examination of the most significant impurities present (glycerol and methanol) in the contaminated glycerol by-product. The Hungarian literature also lacks information about this topic.

The aim of my doctoral dissertation was to examine the contaminated glycerol by-product and the impurities produced during the process of biodiesel production. In my research, I studied the effects of the above-mentioned materials on the nutrient management of the soil, on the germination of plants and on the nutrient supply of the soil. For each experiment, sandy soil was used as a planting medium because the most acute effects were expected with this type of treatments.

By setting up a soil incubation experiment in four replicates, significant effects of glycerol and contaminated glycerol by-product on the mineral-N content of soil were proven. Glycerol and contaminated glycerol by-product also significantly affected the microbial activity of the soil. Glycerol was rapidly degraded in the soil and provided a source of nutrient for microorganisms, resulting in N immobilization. It was found that glycerol, at the correct concentration, is able to

regulate the nitrate effluent from the soil to compensate the adverse effect of nitrogen over-fertilization.

Germination experiments were set up in four replicates with ryegrass (*Lolium perenne L.*) as an indicator plant to investigate the effect of the contaminated components on ryegrass germination. As treatments, glycerol, methanol, glycerol-methanol and contaminated glycerol by-product were applied as carbon sources at specified concentrations. It was found that the application of glycerol, glycerol-methanol and contaminated glycerol by-product as a carbon source inhibited germination at 0.5% concentration. The reason for this, as discussed in the literature, is that glycerol increases the osmotic pressure in the soil, causing an inhibition of water absorption. However, the nutrient added in the form of methanol did not adversely affect germination, even at higher concentration.

Further germination experiments were carried out with the difference that one half of the seeds were planted into soils pre-incubated with the contaminants for two weeks. All treatments were applied in two replicates using ryegrass (*Lolium perenne L.*) and rapeseed (*Brassica napus*) as indicator plants. The inhibitory effects of glycerol-containing treatments on germination were only observed at a higher, 1% of the concentration carbon source. This suggests that the two-week long soil incubation period was not sufficient for the soil microorganisms to degrade the glycerol. Based on the results of the methanol treatments, it can be concluded that pre-incubation did not significantly change the rate of germination. The responses of the two plants to the treatments were different in the case of immediate sowing, and the rapeseed proved to be the more sensitive. After incubation, the difference in germination between the two plants was not statistically significant.

Pot experiments were set up in four replicates, with ryegrass as the indicator plant, to examine the effects of the treatments on nutrient supply through the observation of plant growth. At the Department of Soil Science and Agrochemistry, a method based on optical observation has been developed, which enables the measurement of biomass growth without damaging the plants. Calibration experiments proved that the actual dry-shoot mass can be modeled accurately by using the information obtained from images of the plants. Subsequently, it was also found that the application of glycerol, glycerol-methanol and contaminated glycerol by-product at 0.5% concentrations as a carbon sources delayed the germination, slowed down the growth rate of the plants and resulted in decreased plant production. These effects were most pronounced when glycerol and contaminated glycerol by-product were applied. Methanol and glycerol-methanol treatments decreased only the plant production.

Data were analyzed using a complex statistical method and it was shown that glycerol, glycerol-methanol, methanol and contaminated glycerol by-product all had a stress effect on plant growth, which was manifest in uneven growth and development of the plants. The standard

deviations of the green pixel numbers obtained from image processing were analyzed using the Cochran test. It was statistically proven that the treatments 0.5% glycerol as a carbon source caused stress, which delayed germination and slowed down the development of the plants. These differences gradually decreased over time.

The contaminated glycerol by-product, generated during the production of biodiesel, as a nutrient source could make the process more productive and could promote the domestic use of biodiesel fuels. Further experiments are needed to develop the appropriate application technology.

8. Irodalomjegyzék

Afroditi Chatzifragkou and Seraphim Papanikolaou (2012): Effect of impurities in biodiesel-derived waste glycerol on the performance and feasibility of biotechnological processes, *Appl Microbiol Biotechnol* (2012) 95:13–27, DOI: 10.1007/s00253-012-4111-3

Alotaibi D, Shcoenau JJ (2011): Enzymatic activity and microbial biomass in soil amended with biofuel production byproducts. *App Soil Ecol* DOI: 10.1016/j.apsoil.2011.03.002

Aydinalp, C., Füleky, Gy., Tolner, L. (2010): The Comparison Study of Some Selected Heavy Metals in the Irrigated and Non-Irrigated Agricultural Soils. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16. 754-768.

Bacsó A., Dezső I., Maul F., Stefanovits P., Tusz Zs. (1972): Talajtani gyakorlatok. Egyetemi jegyzet, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő, p., 197-199.

Barbirato, F., Conte, T., Bories, A. (1998): 1,3-propanediol production by fermentation: An interesting way to valorize glycerole from the ester and ethanol industries – *Industrial Corps and Products*, 7. 281-289, 327.

Brent Tisserat and Amy Stuff (2011): Stimulation of Short-term Plant Growth by Glycerol Applied as Foliar Sprays and Drenches under Greenhouse Conditions, *HORTSCIENCE* 46(12):1650–1654. 2011.

Cayuela ML, Oenema O, Kuikman PJ, Bakker RR (2010): Bioenergy by-products as soil amendments? Implications for carbon sequestration and greenhouse gas emissions. *GCB Bioenerg*, 2: 201-213

Chenu K, Franck N, Dauzat J, Barczy J, Rey H, Lecoeur J. (2005): Integrated responses of rosette organogenesis, morphogenesis and architecture to reduced incident light in *Arabidopsis thaliana* results in higher efficiency of light interception. *Funct. Plant Biol.*, 2005, 32:1123–34.

Christophe A, Letort V, Hummel I, Cournède P, de Reffye P, Lecoeur J. (2008): A model-based analysis of the dynamics of carbon balance at the whole-plant level in *Arabidopsis thaliana*. *Funct. Plant Biol.* 2008,35:1147–62.

- Chung W, Huang J, Huang H (2005): Formulation of a soil biofungicide for control of dampingoff of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) caused by *Rhizoctonia solani*. *Biol Control* 32(2): 287-294
- Cookson SJ, Van Lijsebettens M, Granier C. (2005): Correlation between leaf growth variables suggests intrinsic and early controls of leaf size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Environ.* Blackwell Science Ltd, 2005, 28:1355–66.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, et al. (2003): A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 2003,51:335–380.
- Czinkota I. (2007): Glicerín melléktermék hasznosítása. Szent István Egyetem, Talajtani és Agrokémiai Tanszék, Gödöllő, 2-5.
- Csontos Péter, Pocsai Károly (2012): Biodízel-eredetű melléktermék hatásának vizsgálata a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) csírázására tenyészedényes kísérletben, *Tájökológiai Lapok* 10 (2): 341–349. (2012)
- Dietz H, Steinlein T (1996): Determination of plant species cover by means of image analysis. *Journal of Vegetation Science*. 1996, 7: 131-136. 10.2307/3236426.
- Eőri (1986): A repce termesztése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. p.7, 13.
- Fahad Alotaibi and Jeff J. Schoenau (2008): The Effect of Soil Amendment with Glycerol on the Growth of Pea Plants, Department of Soil Science, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan.
- François Vasseur, George Wang, Justine Bresson, Rebecca Schwab and Detlef Weigel (2017): Image-based methods for phenotyping growth dynamics and fitness in large plant populations, DOI: 10.1101/208512.
- Füleky, Gy. (1999): Tápanyaggazdálkodás. Mezőgazda Kiadó I. Egyetemi jegyzet, Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, p.22-23, 37-44, 91-120, 145-189, 235-238.
- Gell K, van Groenigen JW, Cayuela ML (2010): Residues of bioenergy production chains as soil amendments: Immediate and temporal phytotoxicity. *J Hazard Mater.* doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.105

- Gerpen J (2005): Biodiesel processing and production. *Fuel Process Technology*, pp. 86, 1097-1107.
- Ghasem Ali Dianati Tilaki, Farzaneh Gholami, Kamal Ghasemi Bezdi and Behzad Behtari (2014): Germination percentage and recovery of *lolium perenne* L. and *bromus tomentellus* boiss. (poaceae, liliopsida) seeds at several osmotic potential levels of iso-osmotic solutions, *ПОВОЛЖСКИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ*. 2014. No 2. С. 284 – 292
- Grime J. P. (1979): *Plant strategies & vegetation processes*. Chichester, England: John Wiley&Sons, p. 222
- Grüner, A., Köppen, D., Vágó I. (2007): Lysimeterversuch zum Nitrataustrag mit dem Sickerwasser in unterschiedlichen Bodennutzungssystemen. *Z. Pflanzenbauwissenschaften*, 11. 12-19.
- Gulyás, F. & Füleky, Gy. (1994): C- and N-transformation dynamics in the soil. *Die Bodenkultur Journal für landwirtschaftliche Forschung*, 1994. 313-318.
- Hajdú J. (2009): Bioüzemanyagok előállítása és felhasználása OBEKK Tudományos szakmai kiadványok. (12/12) Gödöllő.
- Hancsók J. és Kovács, F. (2002): *A biodízel. Környezetvédelmi Füzetek. OMIKK Kiadvány. KBME-OMIKK Kiadó. ISBN 963 593 473 4. Azonosító: 2106/1. Budapest.*
- Hanzély Gy. (1993) : *Energia repceből. Magyar Mezőgazdaság. 48évf. 1sz. pp.10-11.*
- Hara-Chikuma, M., Verkman, A. S. (2006): Physiological roles of glycerol-transporting aquaporins: the aquaglyceroporins. *Cell. Mol. Life Sci.* 63. 1386-1392. 1420-682X/06/121386-7 DOI 10. 1007/s00018-006-6028-4 Birkhauser Verlag, Basel.
- Hu J, Zhang Y, Wang J, Zhou Y (2014): Glycerol Affects Root Development through Regulation of Multiple Pathways in *Arabidopsis*. *PLoS ONE* 9(1): e86269. DOI: 10.1371/journal.pone.0086269
- Idu M and A. C. Omonhinmin (2002): Effect of Methanol and Ethanol Pre-Treatments on Seed Germination and Seedling Development of *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight and Arn. (Fabacea), *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 25(1): 35 - 37
- Ingrid Ramírez, Fernando Dorta, Valeria Espinoza, Edra Jiménez, Ana Mercado and Hugo Peña-Cortés (2006): Effects of Foliar and Root Applications of Methanol on the Growth of *Arabidopsis*,

Tobacco, and Tomato Plants, *Journal of Plant Growth Regulation*, March 2006, Volume 25, Issue 1, pp 30–44

J. A. Albuquerque, J. González, D. García, J. Cegarra (2007): Effects of a compost made from the solid by-product (“alperujo”) of the two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass (*Lolium perenne* L.), *Bioresource Technology*, Volume 98, Issue 4, March 2007, Pages 940-945

John E. Hallsworth, Naresh Magan (1995): Manipulation of intracellular glycerol and erythritol enhances germination of conidia at low water availability, *Microbiology* 141: 1109-1115, DOI: 10.1099/13500872-141-5-1109

Johnson, D.T. and Taconi, K. A. (2007): The glycerol glut: Options for the value added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production. *Environmental Progress*, 26. 338-348.

José M. de la Rosa, Ana Z. Miller, Heike Knicker (2014): Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *Lolium perenne* on a Calcic Cambisol during a pot experiment of 79 days, *Science of The Total Environment*, Volume 499, 15 November 2014, Pages 175-184

Kádár, I. & Németh, T. (1993): Study on nitrate leaching in long-term fertilization trial. *Növénytermelés*, 42. 331-338

Kátai, J., Vágó I., Lukácsné Veres E. (2005): Relationships between the carbon content and some microbial characteristics in the different soil types. *Cereal Research Communications*, 33. 389-392.

Khaled D. Alotaibi and Jeff J. Schoenau (2016): Application of Two Bioenergy Byproducts with Contrasting Carbon Availability to a Prairie Soil: Three-Year Crop Response and Changes in Soil Biological and Chemical Properties. *Agronomy* 2016, 6, 13.

Kiss B. (2006): *Olajnövények, növényolajgyártás*. Mezőgazda Kiadó. Budapest 32-33p.

Kovács A., Czinkota I., Kovács A., Tolner L. (2011a): Biodízel melléktermék alkalmazása a talajvédelemben. Erdei Ferenc VI. Tudományos Konferencia, 2011. augusztus 25., Kecskemét.

Kovács A., Czinkota I., Nagy A., Issa I., Tolner L. (2011b): Use of biodiesel byproduct in agriculture. 6th ISMOM, International Symposium of Interactions of Soil Minerals with Organic Components and Microorganisms, 26th June-1st July 2011, Montpellier, France

Kovács A., Czinkota I., Tolner L. (2011c): Növényi növekedés optikai elemzése tenyészedény kísérletben. (.) IX. Magyar Biometriai, Biomatematikai és Bioinformatikai Konferencia, 2011. július 1., Budapest, Előadás és poszterkivonatok 59.

Kovács, A. (2000): Biodízel Technológia. Nadasdy Nyomda és Kiadó Kft., Balatonalmádi, 2000.

Kovács, A. (2011d): Aspects of refining biodiesel byproduct glycerin. *Petroleum & Coal*, 53. 91-97.

Kovács, A., Czinkota, I., Tóth, J. (2012): Improving acid number testing of biodiesel feedstock and Product. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 89. 409-417.

Láng G. (1976): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 251p.

Lásztity, B., Biczók, G., Jáki, I. (2010): Nitrate desorption analysis on pseudomycelial chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*, 59. 249-254.

Lásztity, B., Jáki, I., Biczók, G. (1994): Nitrate desorption studies on calcareous sandy soil. *Növénytermelés*, 43. 327-332.

Leister, D., Varotto, C., Pesaresi, P., Niwergall, A. and Salamini, F. (1999): Large-scale evaluation of plant growth in *Arabidopsis thaliana* by non-invasive image analysis. *Plant Physiol. Biochem.* 37: 671–678.

Lukina EV, Stone ML, Raun WR (1999): Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition*. 1999, 22: 341-350. 10.1080/01904169909365631.

M. Hawrot-Paw, A. Wijatkowski, M. Mikiciuk (2015): Influence of diesel and biodiesel fuel-contaminated soil on microorganisms, growth and development of plants, *Plant Soil Environ.* Vol. 61, 2015, No. 5: 189–194, DOI: 10.17221/974/2014-PSE

M.L. Ramirez, S. N. Chulze & N. Magan (2003): Impact of osmotic and matric water stress on germination, growth, mycelial water potentials and endogenous accumulation of sugars and sugar alcohols in *Fusarium graminearum*, *Mycologia* Volume 96, 2004 - Issue 3, DOI: 10.1080/15572536.2005.11832946

Mahmod R Golzarian, Ross A Frick, karthika Rajendran, Bettina Berger, Stuart Roy, Mark Tester and Desmond S Lun (2011) Accurate inference of shoot biomass from high-throughput images of cereal plants, *Plant Methods* 7(1):2, 2011, DOI: 10.1186/1746-4811-7-2

Man Singh Manohar (1966): Effect of “osmotic” systems on germination of peas (*Pisum sativum*, L.), *Planta*, March 1966, Volume 71, Issue 1, pp 81–86

Markóné dr. Monostory Bernadett (2009): Biodízel-a városi légszennyeződés csökkentésének egyik lehetősége. 2p.,7p., 33p.

Merill R. Kaufmann (1969): Effects of water potential on germination of lettuce, sunflower, and citrus seeds, *Canadian Journal of Botany*, 1969, 47(11): 1761-1764

Mizoue N, Masutani T: (2003) Image analysis measure of crown condition, foliage biomass and stem growth relationships of *Chamaecyparis obtusa*. *Forest Ecology and Management*. 2003, 172: 79-88. 10.1016/S0378-1127(02)00281-5.

Németh T. (1995): Nitrogen in Hungarian soils - nitrogen management relation to groundwater protection. *Journal of Contaminant Hydrology*, 20. 185-208.

Niklas KJ, Enquist BJ (2002): On the Vegetative Biomass Partitioning of Seed Plant Leaves, Stems, and Roots. *The American Naturalist*. 2002, 159: 482-497. 10.1086/339459.

Paine CE, Marthews TR, Vogt DR, Purves D, Rees M, Hector A, et al. (2012): How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods Ecol. Evol.* 2012,3:245–56.

Papanikolaou, S., Fakas, S., Fick, M., Chevalot, I., Galiotou-Panayotou, M., Komaitis, M., Aggelis, I.M., Aggelis, G. (2008): Biotechnological valorisation of raw glycerol discharged after bio-diesel (fatty acid methyl esters) manufacturing process: Production of 1,3-propanediol, citric acid and single cell oil *Biomass and Bioenergy*, 32. 60-71.

Paruelo JM, Lauenroth WK, Roset PA (2000): Estimating Aboveground Plant Biomass Using a Photographic Technique. *Journal of Range Management*. 2000, 53: 190-193. 10.2307/4003281.

Poorter H, Nagel O (2000): The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*. 2000, 27: 595-607. 10.1071/PP99173.

Qian P, Schoenau JJ T. King and C. Fatteicher (2008): Effect of soil amendment with alfalfa pellets and glycerol on nutrition and growth of wheat. *Proceedings of the 2008 Soils and Crops Workshop*, February 28–29, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan.

- Qian P, Schoenau J, Urton R (2011): Effect of soil amendment with thin stillage and glycerol on plant growth and soil properties. *J Plant Nutr* 34:14, 2206-2221
- R. L. Davidson (1969): Effects of Soil Nutrients and Moisture on Root/Shoot Ratios in *Lolium perenne* L. and *Trifolium repens* L, *Annals of Botany*, Volume 33, Issue 3, 1 June 1969, Pages 571–577, DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a084309
- R. N. Rowe, D. J. Farr & B. A. J. Richards (2010): Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill), *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* Volume 22, 1994 - Issue 3, DOI:10.1080/01140671.1994.9513842
- S. Robra, R Serpa de Cruz, A. M. de Oliveira, J. A. Almeida, J. V. Santos (2010): Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry, *Biomass and Bioenergy*, Volume 34, Issue 9, September 2010, Pages 1330-1335, DOI: /10.1016/j.biombioe.2010.04.021
- Sadano Y, Toshimitsu R, Kodha J, Nakano Y, Yano T (2012): Optimization of compost fermentation of glycerol by-product discharged from biodiesel fuel production process. *J Mater Cycl Waste Manag* 12(4):308-313
- Sardi K. and Csathó P. (2002): Studies on the phosphorus adsorption of different soil types and nutrient levels, 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, Symposium no. 14, Paper no. 568
- Schoenau J., Qian P, Alotaibi K., Urton R (2009): Potential for using biofuel, crop and animal processing by-products as soil amendments to increase fertility: effect of soil amendment with dehydrated alfalfa, dry and wet distillers grains, thin stillage and glycerol on growth of canola, soil properties, and microbial activity final report, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Schwinning S, Weiner J. (1998): Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia*. 1998,113:447–455.
- Selmeczi Kovács A. (1993): A magyarországi olajnövény-kultúra. Akadémia Kiadó. Budapest. 21p., 34p.
- Sher-Kaul S, Oertli B, Castella E, Lachavanne JB (1995): Relationship between biomass and surface area of six submerged aquatic plant species. *Aquatic Botany*. 1995, 51: 147-154. 10.1016/0304-3770(95)00460-H.

Sinórus Sz. B.- Megyes, A – Sulyok, D – Rátonyi, T. (2007): A biodízel termelés, mint kitörési pont a növénytermesztésben. Agrárunió 8, pp. 27-30.

Sipos, M., Kincses, I., Berta Szabó, E. (2009): Study of the effect of limiting production factors – hybrid, nutrient-supply level and irrigation – on the yield and starch-content of maize (*Zea mays* L.) Cereal Research Communications, 37. 145-149.

Smith MAL, Spomer LA, Meyer MJ, McClelland MT (1989): Non-invasive image analysis evaluation of growth during plant micropropagation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 1989, 19: 91-102. 10.1007/BF00035809.

Smith SM, Garrett PB, Leeds JA, McCormick PV (2000): Evaluation of digital photography for estimating live and dead aboveground biomass in monospecific macrophyte stands. Aquatic Botany. 2000, 67: 69-77. 10.1016/S0304-3770(99)00085-6.

Soumaré M., Tack, F. M. G., Verloo, M. G. (2003): Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali, Bioresource Technology, Volume 86, Issue 1, January 2003, Pages 15-20, DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00133-5

Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, 46-48.,166-173.,193-194p.,

Südekum, K-H. (2002): Glycerine in der Tierernahrung. UFOP-Schriften Heft 17, Bonn Germany, p. 37-67.

Sváb, J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p.71-76, 83., 535.

Szabó L. (1993): Az olajrepce. Akadémia Kiadó. Budapest. p.15., 48-51.

Szegi, J., Gulyás, F., Füleky, Gy., Tolner, L. (1988): Influence of NPK fertilization and cellulose application on the CO₂ production of soils. Ztbl. Mikrobiol, p.143. 303-308.

Tackenberg O (2007): A new method for non-destructive measurement of biomass, growth rates, vertical biomass distribution and dry matter content based on digital image analysis. Annals of Botany. 2007, 99: 777-783. 10.1093/aob/mcm009

Temudo, M.F., Poldermans, R., Kleerebezem, R., Van Loosdrecht, M.C.M. (2008): Glycerol fermentation by (open) mixed cultures: A chemostat study. *Biotechnology and Bioengineering*, 100. 1088–1098.

Thomas S. Soerens and Solomon W. Parker (2012): *Biodiesel Waste Products as Soil Amendments - Field Study and Runoff Impacts MBTC DOT 3034*, Arkansas.

Thompson K. and J. P. Grime (1979): Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology*. 67, p. 893-921

Tickell, J. (2003): *From the fryer to the fuel tank, The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel*. Joshua Tickell Media Production, 1000 Bourbon St. #354, New Orleans LA 70116, 165. p.

Tisdale, S. and Nelson, W. (1966): *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan Company, New York.

Tolner, L. (2005): *Talajtan és agrokémia alapjai. Egyetemi jegyzet*. Szent István Egyetem, Vadgazda Mérnöki Szak, VadVilág Megőrzési Intézet, Gödöllő. p.49-69.86.

Tolner L., Czinkota I., Sándor G., Tolner K. (2010a): Testing the effect of redirected glycerol by-products on the nutrition providing ability of the soil. In: Gilkes RJ, Prakongkep N, editors. *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, ISBN 978-0-646-53783-2, Published on DVD, <http://www.iuss.org>, Symposium 3.3.1, Integrated nutrient management, 2010 Aug 1-6. Brisbane, Australia: IUSS, 2010, pp.298-301.

Tolner L., Zódi M., Kovács A., Kertész B. (2010b): Biodízelgyártás melléktermékeként keletkező glicerin hatása a talaj ásványi nitrogén tartalmára. (The effect of glycerine, a by-product of biodiesel production, on the mineral nitrogen content of soil.) *Zöldenergia, földhő és napenergia hasznosítása a hőtermelésben Konferencia*, Gyöngyös, 2010.05.20. Konferenciakiadvány 110-114. ISBN: 978-963-9941-12-0.

Tolner L., Kovács A., Kovács A., Vágó I., Czinkota I. (2011): Ellentmondások a biodízelgyártás melléktermék mezőgazdasági hasznosíthatóságában. (Contradictions in agricultural Utilization of biodiesel byproduct.) *Zöldenergia termelés és hasznosítás rendszere c. Tudományos Konferencia*, Gyöngyös, 2011.09.27. Konferenciakiadvány (ISBN: 978-963-9941-24-3) 154-159.)

Tolner L. és Kovács A. (2012): Nitrát kimosódás vizsgálata talajoszlop kísérletben.(.) *Talajtani Vándorgyűlés*, Miskolc, 2012.08.23-24.

Tolner, L., Rétháti, G., Kovács, A. (2012): Examination of an alternative way to prevent nitrate leaching in soil by using glycerol as a biodiesel by-product. XI. Alps-Adria Scientific Workshop Smolenice, Slovakia, *Növénytermelés* 61. Suppl. 267-270.

Tóth, B., Lévai, L., Vágó, i., Veres, S. (2011): Possible use of renewable industrial by-products in environmentally- friendly agricultural production. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 21. 124-128.

Vágó, I., Tolner, L., Eichler-Löbermann, B., Czinkota, I., Kovács, B. (2008): Long-term effects of liming on the dry matter production and chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Cereal Res. Commun.*, 36. 103-106.

Vajdai I., Bujáki G. (2002): *Mezőgazdasági zsebkönyv*. Gazda Kiadó. Budapest. 125p.

Vas A. és Jánosi L. (2000): *Biodízel*. Gödöllő. 4-6p., 14-15p.

Wee MH, Obbard J (2010): Effect of glycerine spiked compost-soil mixture on the growth of wheat grass. Division of Environmental Science and Engineering, National University of Singapore.

Wheeler WRCCJ (1992): Estimating plant biomass: A review of techniques. *Austral Ecology*. 1992, 17: 121-131. 10.1111/j.1442-9993.1992.tb00790.x.

Wilkie, A. C. (2008): Biomethane for Biomass, Biowaste, and Biofuels – In: Wall, J.D.-Harwood, C.S.-Demain, A.: *Bioenergy-ASM Press*, 1752 N St., N.W., Washington, DC 20036-2904, U.S.A 195-205. p.

Wilson PJ, Thompson K, Hodgson JG (1999): Specific Leaf Area and Leaf Dry Matter Content as Alternative Predictors of Plant Strategies. *New Phytologist*. 1999, 143: 155-162. 10.1046/j.1469-8137.1999.00427.x.

Yazdani, S. S. & Gonzalez, R. (2007): Anaerobic fermentation of glycerol: A path to economic viability for the biofuels industry. *Current Opinion in Biotechnology*, 18. 213–219.

Zbieć I.I., Karczmarczyk S., Koszański Z. (1999): Influence of methanol on some cultivated plants. *Folia Univ. Agric. Stetin., Agricultura* 73, 217-220

Internetes hivatkozások

AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2003/30/EK IRÁNYELVE (2003. május 8.) a közlekedési ágazatban a bio-üzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok használatának előmozdításáról, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0030&from=HU>, Keresőprogram: Google,

Kulcsszavak: EU biodízel irányelv, Lekérdezés időpontja: 2018.02.13

Balogh Pál (2006): A biodízel alapanyaga: repce, https://www.szatmar.ro/A_biodizel_alapanyaga_a_repce/hirek/6874, Keresőprogram: Google,

Kulcsszavak: biodízel alapanyag repce, Lekérdezés időpontja: 2018.02.13

Czinege Erik (2012): Repce jövedelmezően Yara technológiával, <https://www.agroinform.hu/szantofold/repce-jovedelmezoen-yara-technologiaval-9900>,

Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: repce termesztés Yara technológia, Lekérdezés időpontja: 2018.02.15

James A. Duke (1983): Handbook of Energy Crops, https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html, Keresőprogram: Google,

Kulcsszavak: lolium perenne energy crops, Lekérdezés időpontja: 2018.02.15

KSH (2015): 5.3.1. Légszennyező anyagok és üvegházhatású gázok kibocsátása (1980-)*: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ua002d.html, Keresőprogram: Google,

Kulcsszavak: KSH ÜHG, Lekérdezés időpontja: 2018.02.15

Magyar Balázs és Draskovits Pál (2008): Biodízel előállítása és felhasználása, <http://www.katolikusradio.hu/kepek/megujulo-mg/4.pdf>, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: biodízel előállítás felhasználás, Lekérdezés időpontja: 2018.02.15

Puppán Dániel (2007): A biodízel és a bioetanol mint alternatív motorikus üzemanyag, <http://www.matud.iif.hu/01nov/puppan.html>, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: biodízel alternatív bioüzemanyagok, Lekérdezés időpontja: 2018.02.15

Schultz György (2006): A biodízel előállítási folyamatai és termelése, BME OMMIKK, http://www.omikk.bme.hu/collections/mgi_fulltext/energia/2006/04/0409.pdf, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: biodízel előállítás folyamata, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

Sinóros-Szabó és Koncz (2012): Biodízelgyártás, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: biodízelgyártás, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

Szele Eszter (2013): Biodízel előállítás alapanyagainak és melléktermékeinek vizsgálata állatkísérletekben, Doktori (PhD) értekezés, <http://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/17005/szele-eszter-phd-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: biodízel állatkísérlet, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

Szulmanné dr. Binet Mariann (2007) FOLYÉKONY BIOÜZEMANYAGOK (BIOETANOL, BIODÍZEL) – A MŰSZAKI ÉS IPARJOGVÉDELMI HÁTTÉR ÁTTEKINTÉSE, <http://www.sztmh.gov.hu/kiadv/ipsz/200710-pdf/710-szem.pdf>, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: bioüzemanyag biodízel műszaki háttér, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

Tamás János és Blaskó Lajos (2008): Biodízel előállítás technológiái, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezettechnologia/ch11s07.html, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: biodízel technológia, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

Tikász Ildikó Edit (2014): Repcepiac és a biodízelgyártás, <https://agrarium7.hu/cikkek/140-repcepiac-es-a-biodizelgyartas>, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: repcepiac biodízelgyártás, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

Tömösi Attila (2011): A repce kereskedelme a világban, <http://agraragazat.hu/cikk/repce-kereskedelme-vilagban>, Keresőprogram: Google, Kulcsszavak: repce kereskedelem világ, Lekérdezés időpontja: 2018.02.17

9. Mellékletek

20. táblázat A talaj ásványi nitrogén tartalmának változására lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis varianciatáblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	89707,03	79			***	**	*	+		
ismétlés	3,25	3	1,08	0,54	6,21	4,15	2,77	2,18		
kezelés	89588,40	19	4715,18	2329,57	2,90	2,24	1,77	1,56	2,01	1,56
A tényező	84721,38	4	21180,35	10464,33	5,35	3,67	2,53	2,05	1,01	0,78
B tényező	2886,43	3	962,14	475,35	6,21	4,15	2,77	2,18	0,90	0,70
A x B	1980,59	12	165,05	81,54	3,35	2,51	1,93	1,66		
hiba	115,37	57	2,02						CV%=	4,3

21. táblázat A talaj ásványi nitrogén tartalmának változására lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat						
Érlelési idő	PK	NPK	1% C glicerín	0,5% C melléktermék	1% C melléktermék	B átlag
1. hét	15,67	95,42	0,66	4,46	5,16	24,28
2. hét	24,12	99,71	10,77	10,72	10,64	31,19
3. hét	28,28	87,24	15,14	31,03	12,17	34,77
4. hét	29,41	105,71	18,30	35,41	15,54	40,87
A átlag	24,37	97,02	11,22	20,41	10,88	32,78

22. táblázat A talaj nitrát-N tartalmának változására lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis varianciatáblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	92029,58	79			***	**	*	+		
ismétlés	5,69	3	1,90	0,85	6,21	4,15	2,77	2,18		
kezelés	91896,56	19	4836,66	2165,27	2,90	2,24	1,77	1,56	2,12	1,64
A tényező	88002,22	4	22000,56	9849,20	5,35	3,67	2,53	2,05	1,06	0,82
B tényező	1468,87	3	489,62	219,19	6,21	4,15	2,77	2,18	0,95	0,73
A x B	2425,47	12	202,12	90,49	3,35	2,51	1,93	1,66		
hiba	127,32	57	2,23						CV%=	5,4

23. táblázat A talaj nitrát-N tartalmának változására lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat						
Érlelési idő	PK	NPK	1% C glicerín	0,5% C melléktermék	1% C melléktermék	B átlag
1. hét	13,83	94,02	0,66	1,40	0,70	22,12
2. hét	21,01	96,82	3,46	2,93	6,87	26,22
3. hét	23,81	82,29	7,09	26,04	6,39	29,13
4. hét	23,37	99,40	9,41	29,50	7,70	33,88
A átlag	20,51	93,13	5,15	14,97	5,42	27,84

24. táblázat A talaj ammónium-N tartalmának változására lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis varianciatáblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	455,46	79			***	**	*	+		
ismétlés	0,41	3	0,14	0,89	6,21	4,15	2,77	2,18		
kezelés	446,28	19	23,49	152,68	2,90	2,24	1,77	1,56	0,56	0,43
A tényező	64,85	4	16,21	105,38	5,35	3,67	2,53	2,05	0,28	0,22
B tényező	249,72	3	83,24	541,09	6,21	4,15	2,77	2,18	0,25	0,19
A x B	131,71	12	10,98	71,35	3,35	2,51	1,93	1,66		
hiba	8,77	57	0,15					CV%=	7,9	

25. táblázat A talaj ammónium-N tartalmának változására lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat						
Érlelési idő	PK	NPK	1% C glicerín	0,5% C melléktermék	1% C melléktermék	B átlag
1. hét	1,84	1,40	0,00	3,06	4,46	2,15
2. hét	3,11	2,89	7,31	7,79	3,76	4,97
3. hét	4,46	4,95	8,05	4,99	5,78	5,65
4. hét	6,04	6,30	8,89	5,91	7,83	6,99
A átlag	3,86	3,88	6,06	5,44	5,46	4,94

26. táblázat Az angolperje csírázási kísérlet csíraszámai és csíraszám átlagai a különböző kezelések hatására

Kezelések	Csíraszám (db)				Átlag
	1. ismétlés	2. ismétlés	3. ismétlés	4. ismétlés	
1. Kontrol (PK)	81	88	76	62	76,75
2. Nitrogén (NPK)	83	78	78	75	78,5
3. 0,5% C glicerín	24	35	30	19	27
4. 0,5% C metanol	99	81	87	94	90,25
5. 0,5% C 50 % glicerín + 50 % metanol	86	71	71	76	76
6. 0,5% C 90 % glicerín + 10 % metanol	36	40	41	31	37
7. 0,5% C melléktermék	13	11	25	20	17,25
8. 1% C glicerín	0	0	0	0	0
9. 1% C metanol	72	68	58	63	65,25
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	17	34	19	8	19,5
11. 1% C 90% glicerín+10% metanol	2	0	0	0	0,5
12. 1% C melléktermék	1	4	0	1	1,5
13. 0,25% C melléktermék	49	68	1	8	31,5

27. táblázat Az angolperje csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott egy-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	57145,69	51			***	**	*	+		
kezelés	52487,69	12	4373,974	36,62	3,67	2,68	2,01	1,72	15,63	13,02
hiba	4658	39	119,4359					CV%=	27,3	

28. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet csíraszámai és csíraszám átlagai a különböző kezelések hatására

Kezelések	Csíraszám (db)				Átlag	
	Azonnali vetés		Érlelés		Azonnali vetés	Érlelés
	1. ismétlés	2. ismétlés	1. ismétlés	2. ismétlés		
1. Kontroll (PK)	89	85	79	86	87	82,5
2. Nitrogén (NPK)	97	89	86	82	93	84
3. 0,5% C glicerín	55	48	78	85	51,5	81,5
4. 0,5% C metanol	93	86	83	89	89,5	86
5. 0,5% C 50 % glicerín + 50 % metanol	80	87	90	96	83,5	93
6. 0,5% C 90 % glicerín+10 % metanol	46	45	75	91	45,5	83
7. 0,5% C melléktermék	86	88	81	85	87	83
8. 1% C glicerín	0	0	0	0	0	0
9. 1% C metanol	28	70	97	88	49	92,5
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	36	35	85	86	35,5	85,5
11. 1% C 90% glicerín+10% metanol	0	0	1	6	0	3,5
12. 1% C melléktermék	5	25	80	76	15	78
13. 0,25% C melléktermék	89	86	85	82	87,5	83,5

29. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	58046,21	51			***	**	*	+		
ismétlés	99,69231	1	99,69	1,78	13,88	7,77	4,242	2,92		
kezelés	56548,21	25	2261,93	40,44	3,63	2,60	1,96	1,68	15,40	11,87
A tényező	45633,4	12	3802,78	67,99	4,31	2,99	2,16	1,82	10,89	8,39
B tényező	3453,97	1	3453,97	61,75	13,88	7,77	4,24	2,92	4,27	3,29
A x B	7460,84	12	621,74	11,12	4,31	2,99	2,16	1,82		
hiba	1398,31	25	55,93					CV%=	11,7	

30. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat														
Kezelések	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	B átlag
Azonnali vetés	87	93	51,5	89,5	83,5	45,5	87	0	49	35,5	0,1	15	87,5	55,71
Érlelés	82,5	84	81,5	86	93	83	83	0	92,5	85,5	3,5	78	83,5	72,01
A átlag	84,75	88,5	66,5	87,75	88,25	64,25	85	0	70,75	60,5	1,8	46,5	85,5	63,86

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék

31. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	3580,92	11			***	**	*	+		
ismétlés	102,08	1	102,08	0,57	47,18	16,26	6,61	4,06		
kezelés	2583,42	5	516,68	2,89	29,75	10,97	5,05	3,45	34,40	25,20
A tényező	658,67	2	329,33	1,84	37,12	13,27	5,79	3,78	24,32	17,82
B tényező	420,08	1	420,08	2,35	47,18	16,26	6,61	4,06	19,86	14,55
A x B	1504,67	2	752,33	4,20	37,12	13,27	5,79	3,78		
hiba	895,42	5	179,08					CV%=	16,5	

32. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat				
Kezelések	PK	0,5% C metanol	1% C metanol	B átlag
Azonnali vetés	87	89,5	49	75,17
Érlelés	82,5	86	92,5	87
A átlag	84,75	87,75	70,75	81,08

33. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet glicerín-metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	23533,80	19			***	**	*	+		
ismétlés	64,80	1	64,80	3,83	22,86	10,56	5,12	3,36		
kezelés	23316,80	9	2590,76	153,20	10,11	5,35	3,18	2,44	9,30	7,02
A tényező	19287,80	4	4821,95	285,14	12,56	6,42	3,63	2,69	6,58	4,96
B tényező	1843,20	1	1843,20	108,99	22,86	10,56	5,12	3,36	4,16	3,14
A x B	2185,80	4	546,45	32,31	12,56	6,42	3,63	2,69		
hiba	152,20	9	16,91					CV%=	6,9	

34. táblázat Az angolperje érleléses csírázási kísérlet glicerín-metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat						
Kezelések	1.	5.	6.	10.	11.	B átlag
Azonnali vetés	87	83,5	45,5	35,5	0	50,30
Érlelés	82,5	93	83	85,5	3,5	70
A átlag	84,75	88,25	64,25	60,5	1,75	59,90

* 1. Kontroll (PK), 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol

35. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet csíraszámái és csíraszám átlagai a különböző kezelések hatására

Kezelések	Csíraszám (db)				Átlag	
	Azonnali vetés		Érlelés		Azonnali vetés	Érlelés
	1. ismétlés	2. ismétlés	1. ismétlés	2. ismétlés		
1. Kontrol (PK)	67	73	77	83	70	80
2. Nitrogén (NPK)	78	75	96	80	76,5	88
3. 0,5% C glicerín	23	39	77	65	31	71
4. 0,5% C metanol	77	71	90	84	74	87
5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol	52	65	70	84	58,5	77
6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol	26	10	68	75	18	71,5
7. 0,5% C melléktermék	39	24	80	79	31,5	79,5
8. 1% C glicerín	2	1	22	10	1,5	16
9. 1% C metanol	59	69	79	80	64	79,5
10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol	12	16	68	88	14	78
11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol	3	5	5	17	4	11
12. 1% C melléktermék	9	7	77	50	8	63,5
13. 0,25% C melléktermék	61	46	73	85	53,5	79

36. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	46814,7	51			***	**	*	+		
ismétlés	1,55769	1	1,55769	0,02	13,88	7,77	4,24	2,92		
kezelés	45006,2	25	1800,25	24,91	3,63	2,60	1,96	1,68	17,51	13,49
A tényező	29170,4	12	2430,87	33,63	4,31	2,99	2,16	1,82	12,38	9,54
B tényező	10904	1	10904	150,86	13,88	7,77	4,24	2,92	4,85	3,74
A x B	4931,73	12	410,978	5,69	4,31	2,99	2,16	1,82		
hiba	1806,94	25	72,2777						CV%=	16,0

37. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A X B táblája

A X B táblázat														
Kezelések	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	B átlag
Azonnali vetés	70	76,5	31	74	58,5	18	31,5	1,5	64	14	4	8	53,5	38,8
Érlelés	80	88	71	87	77	71,50	79,50	16	79,5	78	11	63,5	79	67,8
A átlag	75	82,3	51	81	67,8	44,8	55,5	8,8	71,8	46	8	35,8	66,3	53,3

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék

38. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	788,25	11			***	**	*	+		
ismétlés	10,08	1	10,08	0,45	47,18	16,26	6,61	4,06		
kezelés	665,75	5	133,15	5,92	29,75	10,97	5,05	3,45	12,19	8,93
A tényező	156,50	2	78,25	3,48	37,12	13,27	5,79	3,78	8,62	6,31
B tényező	494,08	1	494,08	21,98	47,18	16,26	6,61	4,06	7,04	5,15
A x B	15,17	2	7,58	0,34	37,12	13,27	5,79	3,78		
hiba	112,42	5	22,48					CV%=	6,3	

39. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat				
Kezelések	PK	0,5% C metanol	1% C metanol	B átlag
Azonnali vetés	70	74	64	69,33
Érlelés	80	87	79,5	82
A átlag	75	80,5	71,75	75,75

40. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet glicerín-metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	19197,20	19			***	**	*	+		
ismétlés	231,20	1	231,20	4,93	22,86	10,56	5,12	3,36		
kezelés	18544,20	9	2060,47	43,96	10,11	5,35	3,18	2,44	15,49	11,68
A tényező	11094,70	4	2773,68	59,18	12,56	6,42	3,63	2,69	10,95	8,26
B tényező	4681,80	1	4681,80	99,90	22,86	10,56	5,12	3,36	6,93	5,23
A x B	2767,70	4	691,93	14,76	12,56	6,42	3,63	2,69		
hiba	421,80	9	46,87					CV%=	14,2	

41. táblázat A repce érleléses csírázási kísérlet glicerín-metanol kezeléseire lefuttatott két-tényezős varianciaanalízis A x B táblája

A X B táblázat						
Kezelések	1.	5.	6.	10.	11.	B átlag
Azonnali vetés	70	58,5	18	14	4	32,90
Érlelés	80	77	71,5	78	11	64
A átlag	75	67,75	44,75	46	7,5	48,20

* 1. Kontroll (PK), 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol

42. táblázat Az angolperje és a repce érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott három-tényezős varianciaanalízis variancia táblája

Variancia táblázat										
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	107835,53	103			***	**	*	+		
ismétlés	38,16	1	38,16	0,60	12,19	7,16	4,03	2,81		
kezelés	104529,03	51	2049,59	31,98	2,42	1,94	1,59	1,44	16,07	12,46
A tényező	71968,40	12	5997,37	93,58	3,43	2,55	1,95	1,68	8,04	6,23
B tényező	13320,47	1	13320,47	207,86	12,19	7,16	4,03	2,81	3,15	2,44
C tényező	2898,09	1	2898,09	45,22	12,19	7,16	4,03	2,81	3,15	2,44
A x B	10344,40	12	862,03	13,45	3,43	2,55	1,95	1,68	11,36	8,81
A x C	2911,29	12	242,61	3,79	3,43	2,55	1,95	1,68	11,36	8,81
B x C	1040,78	1	1040,78	16,24	12,19	7,16	4,03	2,81	4,46	3,45
A x B x C	2045,60	12	170,47	2,66	3,43	2,55	1,95	1,68		
hiba	3268,34	51	64,09						CV%=	13,7

43. táblázat Az angolperje és a repce érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott három-tényezős varianciaanalízis A X B táblája

A X B táblázat														
Vetés	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	B átlag
Azonnali vetés	78,5	84,75	41,25	81,75	71	31,75	59,25	0,75	56,5	24,75	2	11,5	70,5	47,25
Érlelés	81,25	86	76,25	86,5	85	77,25	81,25	8	86	81,75	7,25	70,75	81,25	69,88
A átlag	79,88	85,38	58,75	84,13	78	54,5	70,25	4,375	71,25	53,25	4,625	41,125	75,88	58,57

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék

44. táblázat Az angolperje és a repce érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott három-tényezős varianciaanalízis A X C táblája

A X C táblázat														
Növény	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	B átlag
Angolperje	84,75	88,5	66,5	87,75	88,25	64,25	85	0	70,75	60,5	1,75	46,5	85,5	63,85
Repce	75	82,25	51	80,5	67,75	44,75	55,5	8,75	71,75	46	7,5	35,75	66,25	53,29
A átlag	79,88	85,38	58,75	84,13	78	54,5	70,25	4,375	71,25	53,25	4,625	41,125	75,88	58,57

* 1. Kontroll (PK), 2. Nitrogén (NPK), 3. 0,5% C glicerín, 4. 0,5% C metanol, 5. 0,5% C 50% glicerín + 50% metanol, 6. 0,5% C 90% glicerín + 10% metanol, 7. 0,5% C melléktermék, 8. 1% C glicerín, 9. 1% C metanol, 10. 1% C 50% glicerín + 50% metanol, 11. 1% C 90% glicerín + 10% metanol, 12. 1% C melléktermék, 13. 0,25% C melléktermék

45. táblázat Az angolperje és a repce érleléses csírázási kísérlet eredményeire lefuttatott három-
tényezős varianciaanalízis B X C táblája

B X C táblázat			
Növény	Azonnali vetés	Érlelés	B átlag
Angolperje	55,69	72	63,85
Repce	38,81	67,77	53,29
A átlag	47,25	69,88	58,57

10. Köszönetnyilvánítás

Köszönőnettel tartozom családomnak, hogy átsegítették a nehezebb időszakokon mindennemű segítséget megadva, hogy jelen disszertáció megvalósulhasson. Köszönet illeti témavezetőimet Tolner Lászlót és Czinkota Imrét, akik időt és energiát nem sajnálva végigsegítették eme rögös úton szakmai tudásukkal és baráti megértésükkel. Köszönettel tartozom Gulyás Miklósnak, aki építő jellegű kritikájával nagyban hozzájárult az értekezés tartalmának és szerkezetének kialakításában. A Talajtani És Agrokémia Tanszék labormunkásainak is köszönettel tartozom a kísérletek során nyújtott segítségükért. Továbbá szeretném megköszönni Czinkota Zsuzsa, Tolner Kata, Nagy Alexandra és Zódi Márk diplomamunkásoknak, akik részvételükkel elősegítették a kísérletek kivitelezését. Hálával tartozom Feleségemnek - akivel doktori tanulmányaim során hozott össze a sors – amiért mindvégig kitartott mellettem, megértésével és mérhetetlen szeretetével átsegített a nehéz időszakokon.

Doktori munkámat a TECH-09-A4-2009-0133, BDREVAM2 „Fenntartható biodízel technológia és hozzáadott értékű melléktermékek” pályázat segítette.