



**SZENT ISTVÁN
EGYETEM**

GÖDÖLLŐ

**SZENT ISTVÁN EGYETEM
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

Biodízel melléktermékek hatása a talaj-növény rendszerre

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

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

A munka előzményei, a kitűzött célok

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 feltételelesen 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.

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?

Anyag és Módszer

Kutatásaim során laboratóriumi körülmények között homokos szövetű talajon vizsgáltam a glicerinnel tartalmú biodízel melléktermék és abban található szennyező anyagok hatásait. A talajérleléses vizsgálatot csirázási kísérletek követték angolperje (*Lolium perenne* L.), illetve őszi káposztarepce (*Brassica napus*) 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**,
- 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:

- Főtről 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 választottam homokos szövetű talajt, mert itt vártam a szennyező anyagok által kiváltott legélesebb hatást. Alacsony humusztartalma miatt ez a talajtípus reagál a legérzékenyebben a melléktermék által okozott hatásokra. A kísérletekhez felhasznált talajminták kiszáradást követően, légszáraz állapotban megdarálásra, majd 2 mm-es szitán átszításhoz kerültek.

Talajinkubációs kísérlet 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 adagokat alkalmaztunk, amelyeket kezeléseként négy ismétlésben, homokos szövetű talajon hajtottunk végre. A kálium-szulfát, kálium-foszfát és ammónium-nitrát bemérése analitikai mérleggel történt.

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 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 + 1% C-forrásként glicerin – **1% C glicerin**
- 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 NH_4 -N és ásványi-N (NH_4 -N + NO_3 -N) tartalmát (Bacsó et al. 1972). A nitrát tartalmat a két vizsgálat különbségéből határoztuk meg.

Angolperje csírázására gyakorolt hatás vizsgálata

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

Két különálló esetet vizsgáltunk meg. Első lépésben a jelzőnövény csírázásának válaszreakcióit figyeltük meg különböző koncentrációjú glicerin, metanol, glicerin-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 kezelések 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 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 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**

Repcé csírázására gyakorolt hatás vizsgálata

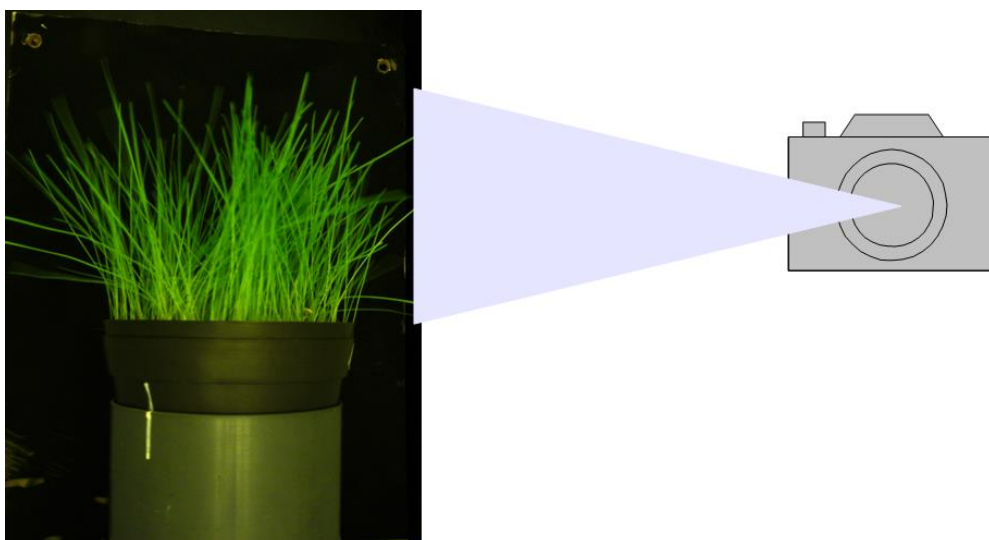
A repcével (*Brassica napus*) elvégzett csírázási kísérlet azonos metodikával hajtottuk végre, az angolperje érleléses kísérletben leírtak alapján. Az alkalmazott kezelések részletei már bemutatásra kerültek az előző fejezetben. A kezelések és az érlelés közötti kölcsönhatást úgy vizsgáltuk meg, hogy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

A növekedési kísérlet kalibrációs modellje

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 (1. ábra).



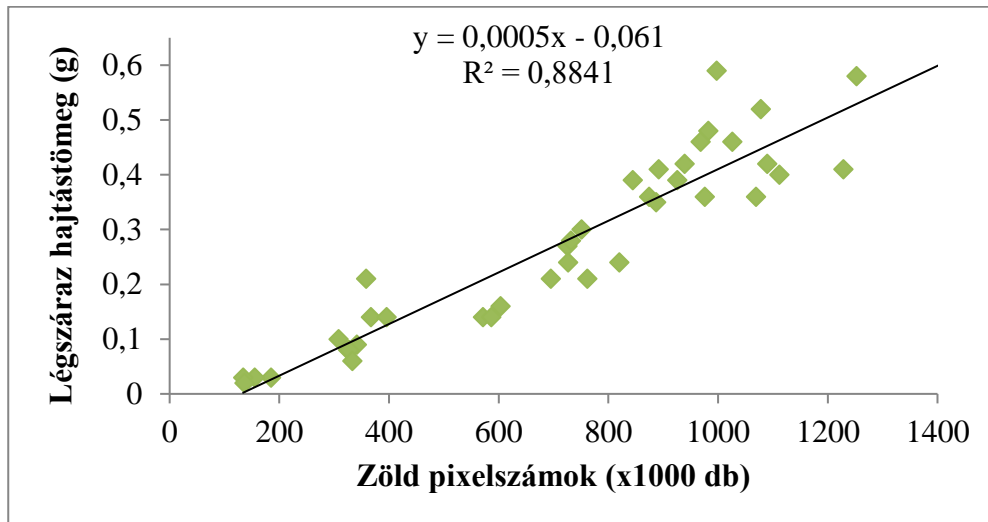
1. ábra Az optikai megfigyelés kísérleti kivitelezése

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.

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 (2. ábra).



2. ábra A növényi növekedés kalibrációs modellje

Angolperjével elvégzett növekedési kísérlet bemutatása

500 cm³-es műanyag tenyészedényekben 900 g homokos szövetű talajt helyeztünk el az előre elkészített oldatok bekeverésével. Minden kezelést 4 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 vetettünk. A magokat egyenletesen szórtuk szét.

A talaj nedvességtartalmát az Arany-féle kötöttségnek megfelelő nedvességtartalom 60%-ra állítottuk be. A nedvességtartalmat naponta súlyra öntözéssel állandó értéken tartottuk. A tenyészeményekben 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 tenyészemények körbeforgatásával a növényekről 8 különböző szögben (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) készültek felvételek.

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 tenyészeményekben 900 g homokos szövetű talajt helyeztünk el az előre elkészített oldatok bekeverésével. Minden kezelést 4 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%-ra állítottuk be. A nedvességtartalmat naponta súlyra öntözéssel állandó értéken tartottuk. A tenyészeményekben a növényeket zárt térben egyenletes, mesterséges megvilágítás alatt neveltük.

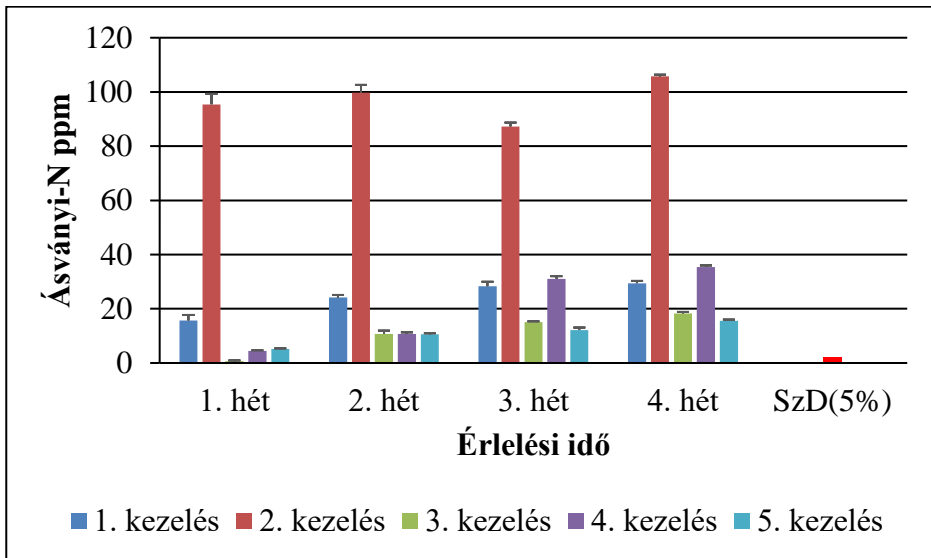
Az angolperje jelzőnövények fejlődését a növények optikai megfigyelésével vizsgáltuk. Azonos feltételek között a növények fejlődési ütemétől függően naponta, illetve háromnaponta nagyfelbontású kamerával

képeket készítettünk. Minden esetben a tenyészedények körbeforgatásával a növényekről 8 különböző szögben (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°) készültek felvételek.

Eredmények és értékelésük

Az érlelés hatása a talaj ásványi nitrogén tartalmának változására

A kezeletlen talajmintákon (1. PK) az érlelési idő előrehaladtával a kedvező nedvességtartalom hatására folyamatos a szerves nitrogénformák ásványosodása (3. ábra).



3. ábra A talajminták összes ásványi-N tartalma az érlelési idő és a kezelések függvényében
* 1. PK, 2. NPK, 3. 1% C glicerint tartalmazó kezelések, 4. 0,5% C melléktermék, 5. 1% C melléktermék, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

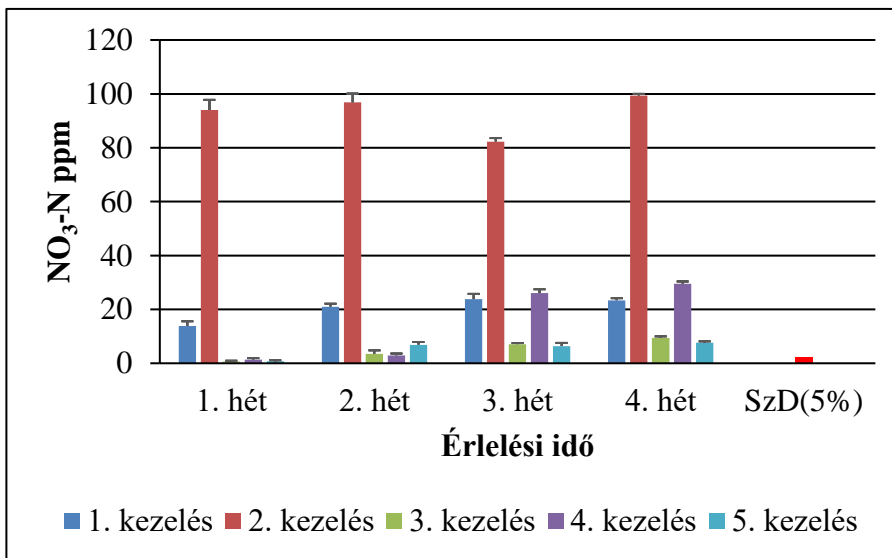
A 2. kezelés (NPK) esetében a talajmintákhoz hozzáadott nitrogén hatására megemelkedik az ásványi-N tartalom. Koncentrációja a talajban megfelel az ammónium-nitrát kezelésnek értékének (100 ppm). Ez a koncentráció ugyan a négy hét során ingadozik, de időbeli változása nem mutat határozott tendenciát (3. ábra).

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 glicerint tartalmazó kezelések esetében. Az 1%-os szénforrást kapott kezelések esetében megfigyelhető, hogy a laborvegyszer tiszta glicerint tartalmazó hatása gyorsabb (3. 1% C glicerint tartalmazó), 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 glicerint tartalmazó hatásának hatása (4.

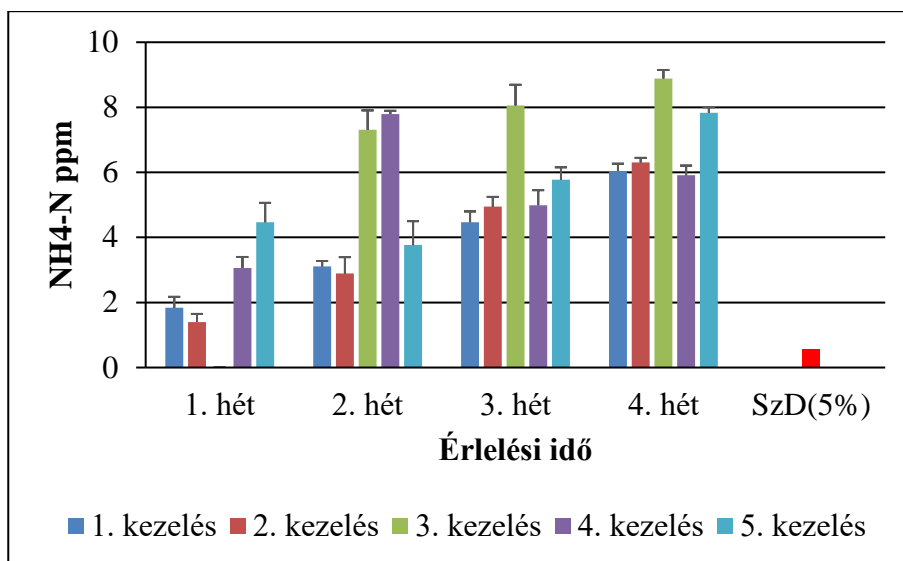
és 5. kezelés). A 0,5% C melléktermék (4. kezelés) adagolás esetében a 3. héttől kezdve intenzívebb N mobilizáció figyelhető meg (3. ábra).

Hasonlóképpen értelmezhetőek a nitrát-N eredmények (4. ábra), mint azt az összes ásványi-N eredmények esetében is láthattuk.



4. 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 4. ábrát az 3. 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., 4. és 5.) 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 (4. ábra).



5. 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

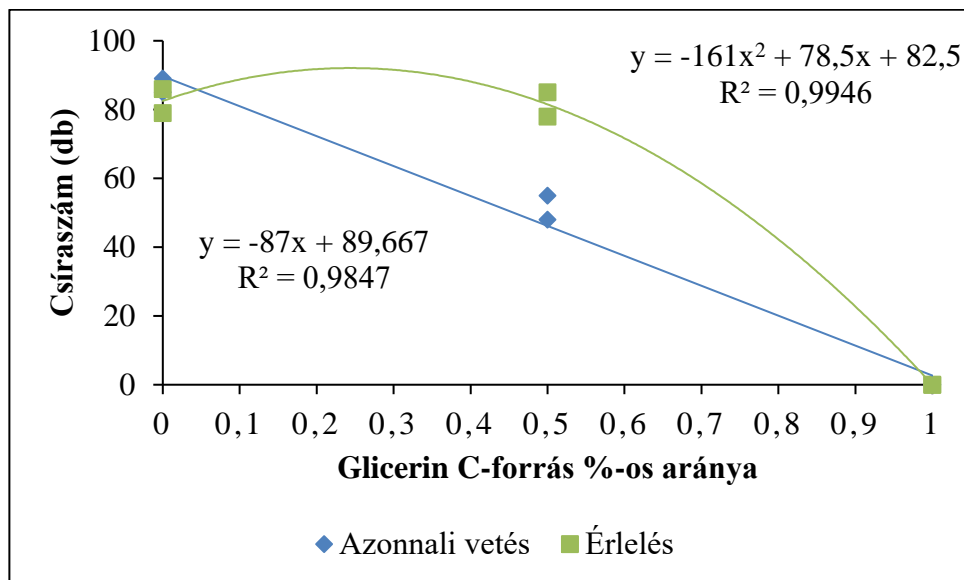
A kisebb koncentrációjú melléktermék kezelés (4.) esetében ez első két hét nagyobb ammónium-N értékei a 3., illetve 4. hétre a szénforrást nem kapott kezelések értékeihez hasonló értékekre áll be. Az 1% glicerín (3.) kezelés hatására az első héten az összes ammónium-N formában levő nitrogén is immobilizálódott. 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 esetén ez a hatás késleltetve a 3. és főleg a 4. hétre alakul ki (5. ábra).

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).

Glicerín kezelések hatása az angolperje és a repce csírázására

A glicerín formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése arányosan ($R^2 = 0,9847$) csökkentette az angolperje csírázókéességét azonnali vetés esetén. 1%-os C-forrásként (8. kezelés) alkalmazva teljes csírázásgátlást okozott (6. ábra).



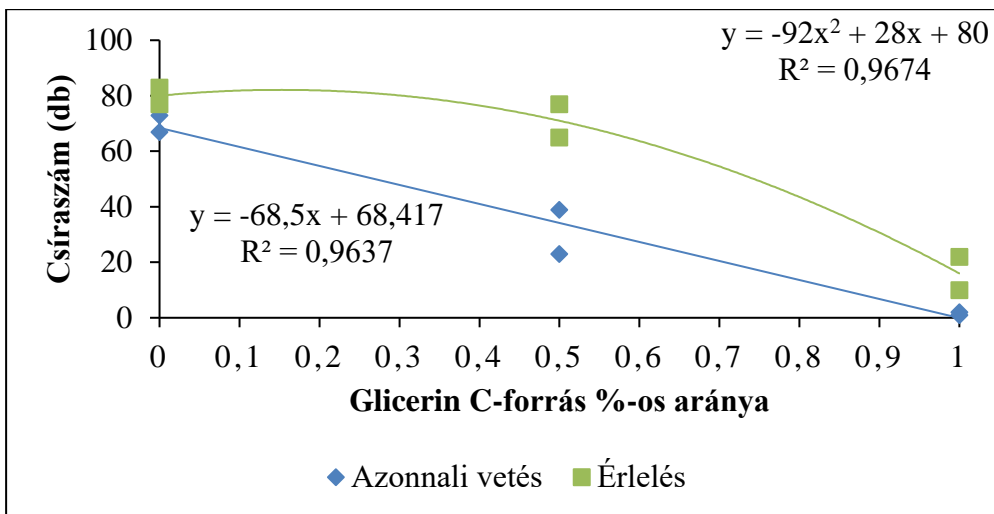
6. ábra Glicerín koncentrációjának hatása az angolperje csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Érlelés hatására a glicerín, még 0,5%-os C-forrásként alkalmazva sem eredményezett jelentős csökkenést az 1. (PK) kezeléshez képest. Csökkent a glicerín csírázást gátló hatása két hetes inkubációt követően (6. ábra).

Megfigyelhető továbbá, hogy a 8. (1% C glicerín) kezelés teljes csírázásgátlást okozott két hetes érlelést követően is (6. ábra).

A glicerín formájában hozzáadott szervesanyag tartalom növelése arányosan ($R^2 = 0,9637$) csökkentette a repce csírázókéességét azonnali vetés esetén. 1%-os C-forrásként (8. kezelés) alkalmazva teljes csírázásgátlást okozott (7. ábra).

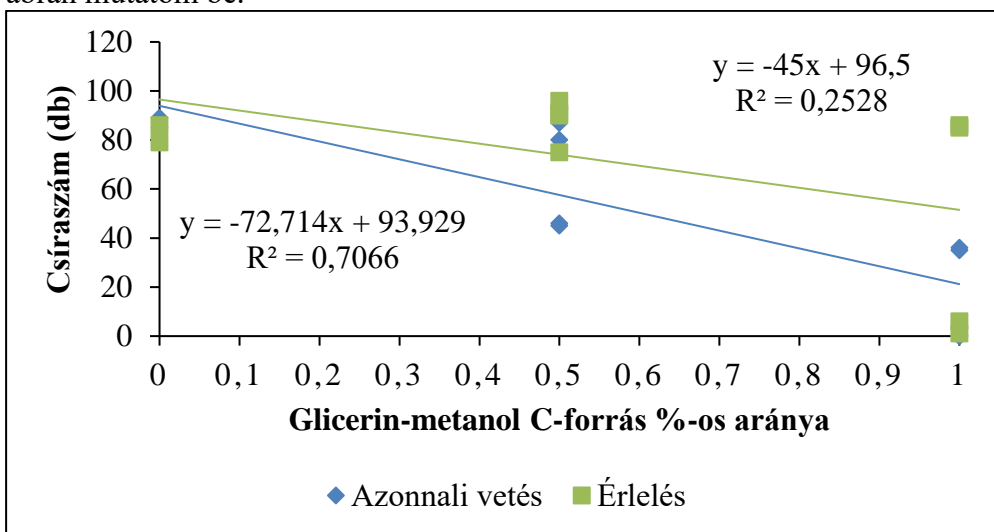
Érlelés hatására a glicerín, még 0,5%-os C-forrásként alkalmazva sem eredményezett jelentős csökkenést az 1. (PK) kezeléshez képest. 1%-os C-forrásként alkalmazva azonban jelentősen csökkent a kikelt csírák száma (7. ábra).



7. ábra Glicerín kezelések mennyiségének hatása a repce csírázására azonnali vetés és érlelés esetén

Glicerín-metanol kezelések hatása az angolperje és a repce csírázására

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 mennyiségeire vonatkoztatott értékeit a 8. ábrán mutatom be.



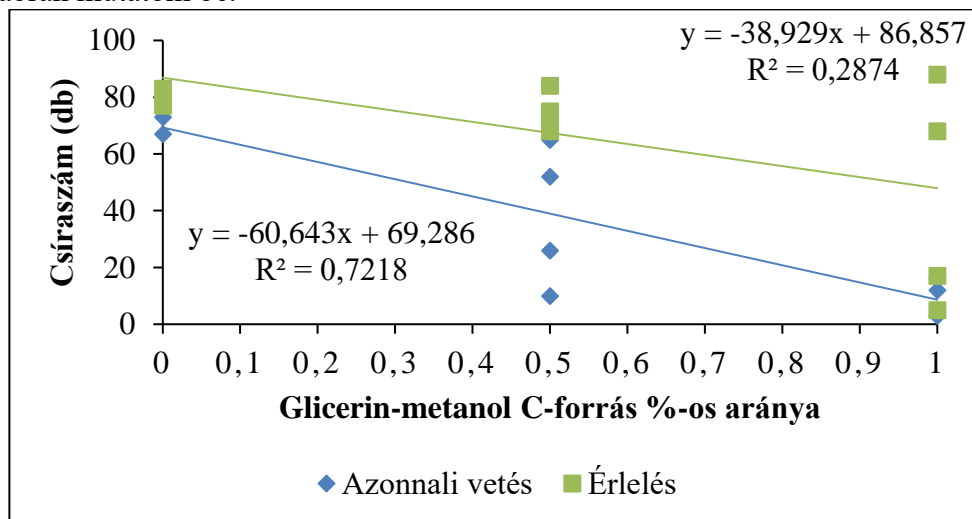
8. ábra Glicerín-metanol keverékek koncentrációjának hatása az angolperje csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

Az azonnali vetésre illesztett egyenes korrelációs koefficiensének ($R^2 = 0,7066$) 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 (8. ábra).

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 két hetes inkubációját követően a 0,5% széntartalmú glicerín-metanol (10. kezelés) mennyiségig nincs csírázást gátló hatás, míg az 1% széntartalmú glicerín-metanol (11. kezelés) már teljes csírázásgátlást eredményezett (8. ábra).

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 mennyiségeire vonatkoztatott értékeit a 9. ábrán mutatom be.



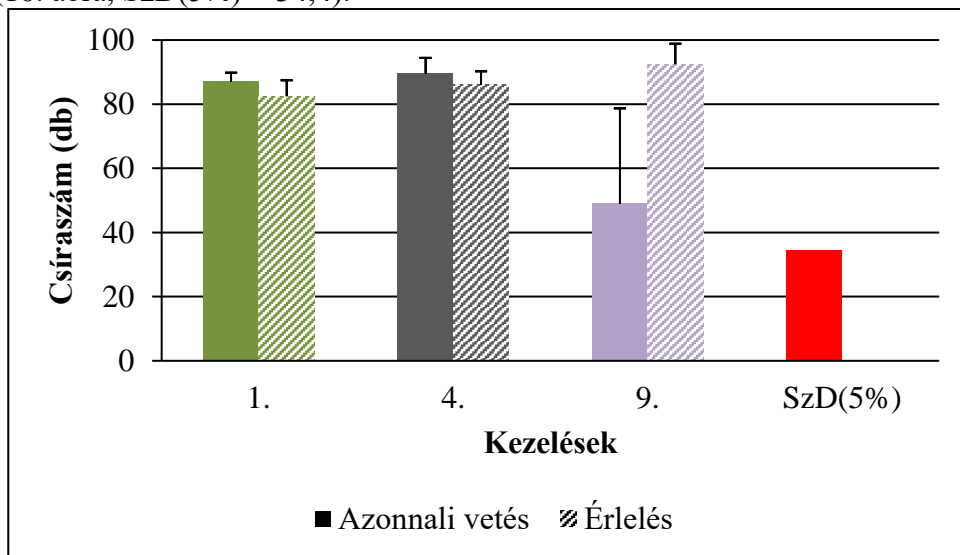
9. ábra A glicerín-metanol keverékek koncentrációjának hatása a repce csírászám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

Az azonnali vetésre illesztett egyenes korrelációs koefficiensének ($R^2 = 0,7218$) 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 (8. ábra).

Érlelést követően a glicerín-metanol kezelések csírázásra gyakorolt káros hatása nem igazolható ($R^2 = 0,2874$). A talaj két hetes 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 (9. ábra).

Metanol kezelések hatása az angolperje és a repce csírázására

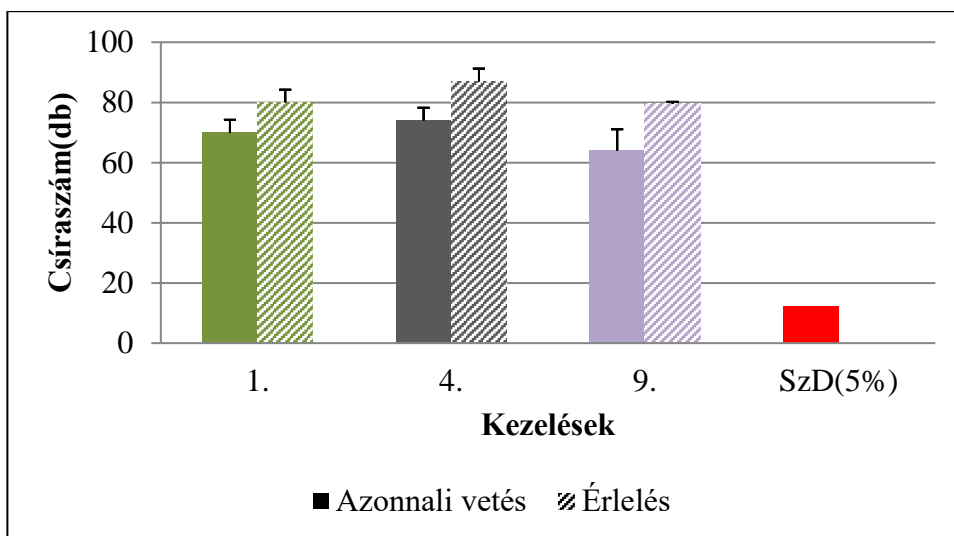
Variancia-analízissel vizsgálva angolperje esetén az azonnali vetés a 4. (0,5% C metanol) kezelés nem, de a 9. (1% C metanol) kezelés az 1. (PK) kezeléshez képest már szignifikánsan csökkentette az átlag csíraszámot. Érlelés esetén egyik metanol kezelés sem tért el szignifikánsan a kontrolltól (10. ábra, $SzD(5\%) = 34,4$).



10. ábra A metanol hatása az angolperje csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

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

Repce esetében egyik kezelésnél sem tapasztalható szignifikáns csökkenés az átlag csíraszámokban az 1. (PK) kezeléshez képest. Érlelést követően szignifikánsan nagyobb csíraszámot eredményezett a 4. (0,5% C metanol) és a 9. (1% C metanol) kezelések (11. ábra, $SzD(5\%) = 12,19$).



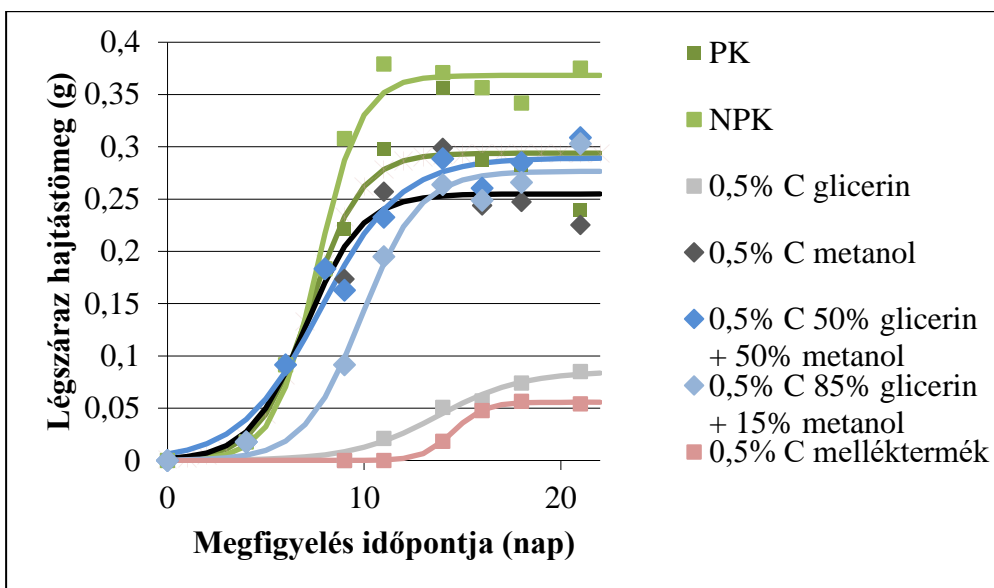
11. ábra A metanol kezelések hatása a repce csíraszám változásra azonnali vetés és érlelés esetén

* 1. Kontroll (PK), 3. 0,5% C glicerín, 9. 1% C metanol, SzD(5%) az 5%-os hibavalószínűséghez tartozó szignifikáns differencia

Összefoglalva az angolperjével és 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.

Az angolperje növekedésére gyakorolt hatás

A módszertanban bemutatott kalibrációs egyenes alapján meghatározott növényi zöldtömegek értékeire logisztikus függvényeket illesztettem, 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) (11. ábra).



12. ábra A kezelések hatása angolperje légszáraz hajtástömegének változására

Az illesztett logisztikus függvény egyenlete a következő:

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

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,

t₀: maximális növekedési sebesség időpontja [nap]-ban kifejezve.

Jól látható a fenti diagramon, hogy a tiszta és a melléktermékként adagolt glicerinnel lassítja a növény fejlődését, továbbá azt, hogy a többi kezeléshez képest jelentősen csökkenti a növényi hajtástömeg mennyiségét (12. ábra).

Az illesztett görbék paramétereit (1. táblázat) megvizsgálva a következő megállapításokra jutottam:

1. táblázat A kezelések eredményeire illesztett modell paramétereit

Paraméterek	Kezelések						
	PK	NPK	0,5% C glicerinnel	0,5% C metanol	0,5% C 50% glicerinnel + 50% metanol	0,5% C 85% glicerinnel + 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

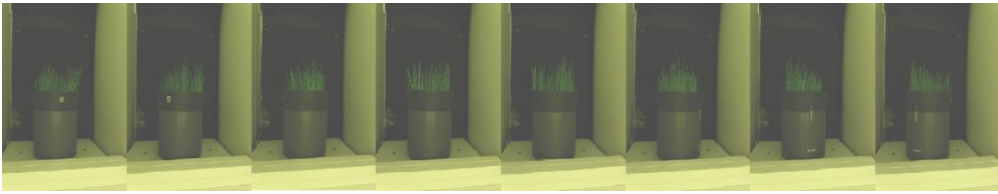
- Az A (légszáraz hajtástömeg maximuma) paraméter esetében látható, hogy a hozzáadott nitrogén hatása (NPK kezelés) eredményezte a legnagyobb hajtástömeget. A 0,5%-os szénforrásként hozzáadott metanol (4.) és glicerín-metanol (5. és 6.) kezelések a kontrollal (PK) közel megegyező produkciót eredményeztek. A 0,5%-os szénforrásként adagolt tisztaglicerín (3.) és melléktermék (7.) kezelések jelentősen csökkentették a növényi hozamot (1. táblázat, 12. ábra).
- A k (növekedés meredeksége) paraméter értékeit értelmezve látható, hogy minél nagyobb a hozzáadott glicerín aránya, annál lassabb a növekedés üteme (1. táblázat, 12. 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 (4.), illetve glicerín-metanol (5.) kezelések nem tértek el jelentősen a kontroll (PK), illetve nitrogén (NPK) kezeléseknél tapasztaltaktól. Megfigyelhető továbbá, hogy a tiszta glicerín (3.), glicerín-metanol (6.) és a melléktermék (7.) kezelések glicerín arányának növekedésével jelentősen késik a maximális növekedési sebesség időpontja (1. táblázat, 12. 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.

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.



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

A 13. ábra képsorozatából is látható, hogy a növények 8 különböző szögből más-más képet mutatnak. A 2. 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% értéknek felel meg.

2. 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

Statistikai 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 (3. táblázat). Mivel a szórások az alapadatok nagyságától is függenek, ezért az összehasonlítást a standardizált adatok szórásával végeztem. A standardizált adatok (3. táblázat) számításánál a különböző szögben készült felvételek pixelszámait elosztottam a 8 felvétel pixelszámainak átlagával.

3. táblázat Standardizált adatok. A tenyészedényekről 8 különböző szögben készült felvételeken mért pixelszámok a 8 adat átlagával normalva 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 meghatározottam a szórás és a szórásnégyzet értékeit (3. 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 3. táblázatból a szórásnégyzeteket (s^2) az 4. táblázatba másoltam és sorba rendeztem.

4. táblázat A tenyészedényekről 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 táblázat utolsó (24-ik) sorában levő adatokat úgy számoltam ki, hogy az ebben a sorban található legnagyobb szórásnégyzet értéket (0,03708) elosztottam az összes (24 db) szórásnégyzet (4. táblázat rendezett s^2) 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.

A fenti táblázat 24. sorát figyelmen kívül hagyva az eljárást megismételtem 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 tenyészedények sorait a 4. táblázat eredeti sorszám oszlopa alapján kikeresve kiugró szórás és szórásnégyzet értékeket a 2. táblázatban is vastagított számjegyekkel jelöltem. Leolvasva az ezekhez tartozó kezelés értékeket látható, hogy a kiugró szórásnégyzetek a tiszta glicerinnel való kezelés mind a négy ismétlését, a jelentős mértékben csak glicerint tartalmazó (90% glicerinnel + 10% metanollal) három ismétlést 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 2. táblázatban vastagított számjegyekkel.

A különböző szögből készült 8-8 felvétel adatainak szórásait kétféleképpen (CV% szerint szűrítve, Cochran-próba szerint vastagítva) összehasonlítva (2. 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 metanollal, illetve a nagy metanol tartalmú kezeléseknél kezdetben sem okoztak stresszhatást.

A kezdeti stresszhatást nem mutató kezeléseknél 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 kezeléseknél 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 (5. táblázat és 6. táblázat).

5. 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

6. 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)

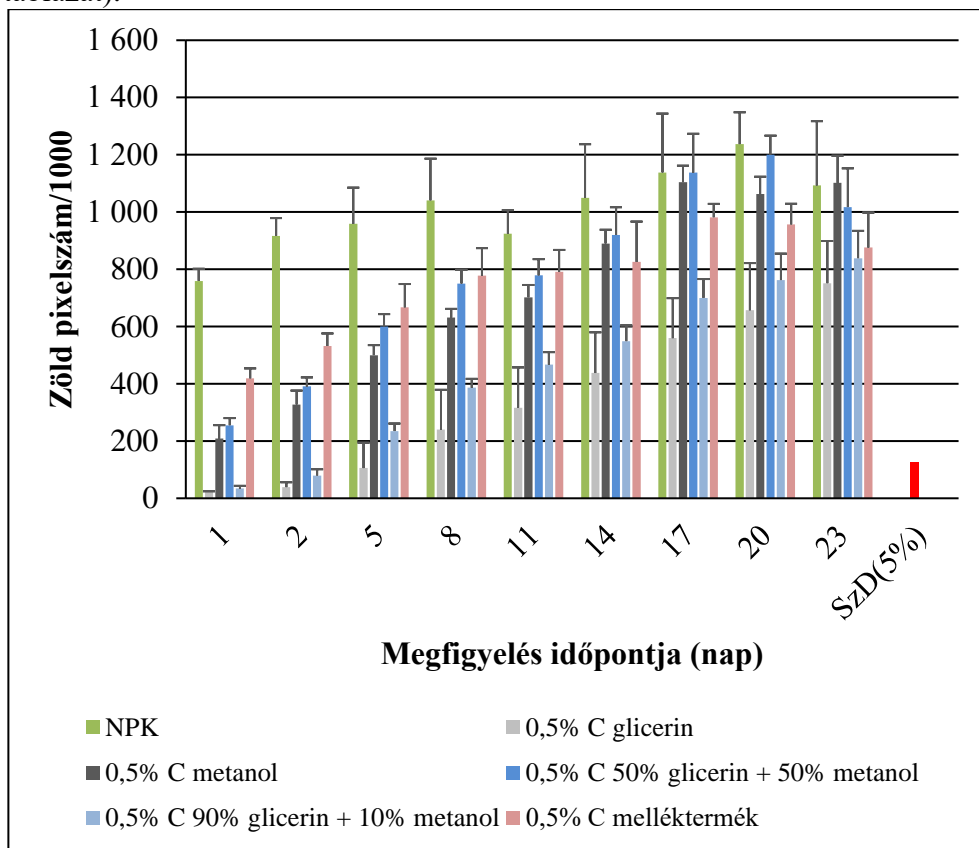
Tényező	SQ	FG	MQ	F-arány	F-0.1%	F-1%	F-5%	F-10%	SzD(5%)	SzD(10%)
összes	25913112877	215			***	**	*	+		
ismétlés	239630859	3	79876953	9,86	5,69	3,91	2,66	2,12		
kezelés	24385634101	53	460106304	56,81	1,92	1,64	1,42	1,31	125,68	97,76
A tényező	10547930391	5	2109586078	260,45	4,34	3,13	2,27	1,88	41,89	32,59
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 kezelése hatása (F-arány = 260,45***) és az időbeli változás (F-arány = 190,25***) erősen szignifikáns (6. 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 (SzD(5%) = 125,68).

Az időbeli változást szemlélteti az alábbi ábra (14. 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 (6. táblázat).



14. ábra Kezelések hatása és időbeli 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.

Új tudományos eredmények

- 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.
- Az angolperjével és repcével elvégzett csírázási kísérletek során tapasztaltak alapján elmondható, hogy a glicerín késleltette a csírázást. Kéthetes talajinkubációt követően ez hatás csökkent.
- 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.
- A glicerín és a glicerintartalmú melléktermék kezelése angolperje növekedésére gyakorolt hatásáról elmondható, hogy a glicerín talajba keverése (a kezelés glicerintartalmától függően) késlelteti a kelést és lassítja a növény fejlődését.
- 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.

Következtetések, 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.

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).

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, tonoplaszt) 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 glicerinnel a sejtes együttműködést negatív irányba befolyásoló hatásában kereshető. A csírázási erély csökkenésének mértékét egyértelműen a melléktermék glicerín fázisának koncentrációja határozza meg vetési módtól függetlenül.

A talajinkubáció eredményeképp kapott csíraszám átlagok rámutattak arra, hogy az 1% C-forrásként alkalmazott glicerintartalmú kezelések, glicerín

tartalmának mikrobák általi hasznosításához nem bizonyult elegendőnek a kététhetes inkubációs periódus.

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 glicerint, 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 kététhetes talajinkubációt követően a csírázóképesre gyakorolt hatás kedvezőbbnek bizonyult.

Glicerín-metanol: A metanol és a glicerín-metanol keverék kezeléseinek hatásait összevetve megállapítható, hogy a glicerín-metanol kezelése glicerín fázisa okozta csírázási erély csökkenését.

A növekedési kísérlet során tapasztaltak alapján megállapítható, hogy a hozzáadott kezelése glicerín 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 glicerín 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 glicerín nitrogén immobilizáló hatását. Ennek következtében a talajból felvehető nitrogén mennyisége csökkenhet a magasabb rendű növények számára, ami lassulást okozhat a fejlődésükben.

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.

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 glicerin 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 glicerin tartalmú mellékterméket. Ilyen jellegű technológiai ajánlás a jelenlegi műtrágyázási gyakorlatban is létezik (karbamid műtrágya alkalmazása).

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

1.1.1. Hazai kiadású

Kovács A., Tóth, M., Somogyi, F., Tolner, L., Czinkota, I., Béres, A., Wilk, T., Aleksza, L.: Comprehensive investigation of biodiesel by-product on germination and plant growth Experiments, APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 13(4): 1171-1181. (2015) **(18 pont)**
(IF=0,5)

1.1.2. Külföldi kiadású

1.2. Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

1.2.1. Hazai kiadású

1.2.2. Külföldi kiadású

1.3. Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

2. Szakmai folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), teljes szövegű szakmai, népszerűsítő közlemény, tanulmány

2.1. Szakmai folyóiratban megjelent közlemény

4. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan)

4.1. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

Tolner L., Bondor B., Czinkota I., Vadkerti Zs., Kovács A.: Investigation of soil fertility affected by biodiesel by-product in microcosm experiment. XII. Alps-Adria Scientific Workshop Opatija, Croatia, Növénytermelés **62** Suppl. 433-436. (2013) **(5 pont)**

Kovács A., Czinkota I., Vágó I., Kovács A.: Regulation of soil nitrogen supply by using glycerol as a biodiesel by-product, 2011 Növénytermelés Volume 60. Supplement p. 247-250. (2011) **(5 pont)**

Tolner L., Rétháti G., Kovács A.: 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. (2012) **(5 pont)**

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

Tolner L., Vágó I., Kovács A., Tolner I., Füleky Gy.: Energiaerdővel a környezetkímélő tápanyaggazdálkodásért. (Energy forests for the environmentally compatible nutrient management.) Zöldenergia, földhő és napenergia hasznosítása a hőtermelésben Konferencia, Gyöngyös 2010.05.20., Konferenciakiadvány 106-109. ISBN: 978-963-9941-12-0 (2010) **(3 pont)**

Tolner L., Zódi M., Kovács A., Kertész B.: Biodízelgyártás melléktermékeként keletkező glicerín 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 (2010) **(3 pont)**

Tolner L., Kovács A., Kovács A., Vágó I., Czionkóta I.: 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. (2011) **(3 pont)**

Kovács A., Czinkóta I., Kovács A., Tolner L.: Biodízel melléktermék alkalmazása a talajvédelemben. Erdei Ferenc VI. Tudományos Konferencia, 2011. augusztus 25., Kecskemét, Konferencia kiadvány III. kötet (ISBN 978-615-5192-01-2) 375-380. (2011) **(3 pont)**

5. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – nem hitelesített kiadványokra vonatkozóan)

5.1. Teljes szövegű közlemény idegen nyelven

5.2. Teljes szövegű közlemény magyar nyelven

5.3. Egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló

Tolner L., Kovács A.: Nitrát kimosódás vizsgálata talajoszlop kísérletben. Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában. Talajtani vándorgyűlés, Miskolc, 2012. Talajvédelem (Különszám) 513-521. (2013) **(2 pont)**

Tolner L., Czinkota I., Vadkerti Zs., Kovács A., Réháti G.: Glicerín hatása az angolperje csírázására és kezdeti növekedésére. Magyar Epidemiológiai Társaság VII. és a Közép-európai Kemoprevenációs Társaság I. közös Nemzetközi Kongresszusa 2013.04.05-06., Pécs. Magyar Epidemiológia (Hungarian Epidemiology) **10** Suppl. S.46. (2013) **(2 pont)**

Kovács A., Czinkota I., Nagy A., Issa I., Tolner L. : 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 (2011) **(2pont)**

Felhasznált irodalom

- Bacsó A., Dezső I., Maul F., Stefanovits P., Tusz Zs. (1972): Talajtani gyakorlatok. Egyetemi jegyzet, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő, p., 197-199.
- 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.
- Fülekgy, Gy. (1999): Tápanyaggazdálkodás. Mezőgazda Kiadó I. Egyetemi jegyzet, Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, p.91-120
- 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.
- 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.
- 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.