SZAKDOLGOZAT

Fábos Veronika

2023

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Vidékfejlesztés és Fenntartható Gazdaság Intézet

Ökológiai gazdálkodó szakmérnök szakirányú továbbképzési szak

A SZOLARIZÁCIÓ HATÁSA A TALAJBAN ÉLŐ MIKROORGANIZMUSOKRA

Belső konzulens: Dr. Gál Izóra
egyetemi docens

Belső konzulens intézete/tanszéke:

Vidékfejlesztési és Fenntartható Gazdaság Intézet/
Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási Tanszék

Külső konzulens: Dr. Kotroczó Zsolt
egyetemi docens

Készítette: **Fábos Veronika**

Budapest

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések 2

2. Szakirodalmi áttekintés 6

2.1. A kezdetek 6

2.2. A szolarizáció hatása a mikrobaszámra 7

2.3. A szolarizáció hatása a mikroorganizmusok diverzitására 8

2.4. „Nyertesek és vesztesek” 10

2.5. A szolarizáció hatása az enzimaktivitásra 12

3. Alkalmazott módszerek 14

3.1. A kísérlet beállítása és a helyszíni mintavételek 14

3.2. A laboratóriumi mérések menete 16

3.2.1. Mikrobaszám meghatározása MPN-módszerrel 16

3.2.2. A dehidrogenáz enzimaktivitás meghatározása 17

3.3. Statisztikai analízis 19

4. Eredmények és értékelésük 20

5. Következtetések és javaslatok 25

6. Összefoglalás 27

Köszönetnyilvánítás 28

Irodalomjegyzék 29

Táblázatok és ábrák jegyzéke 34

Mellékletek 35

Hallgatói nyilatkozat 36

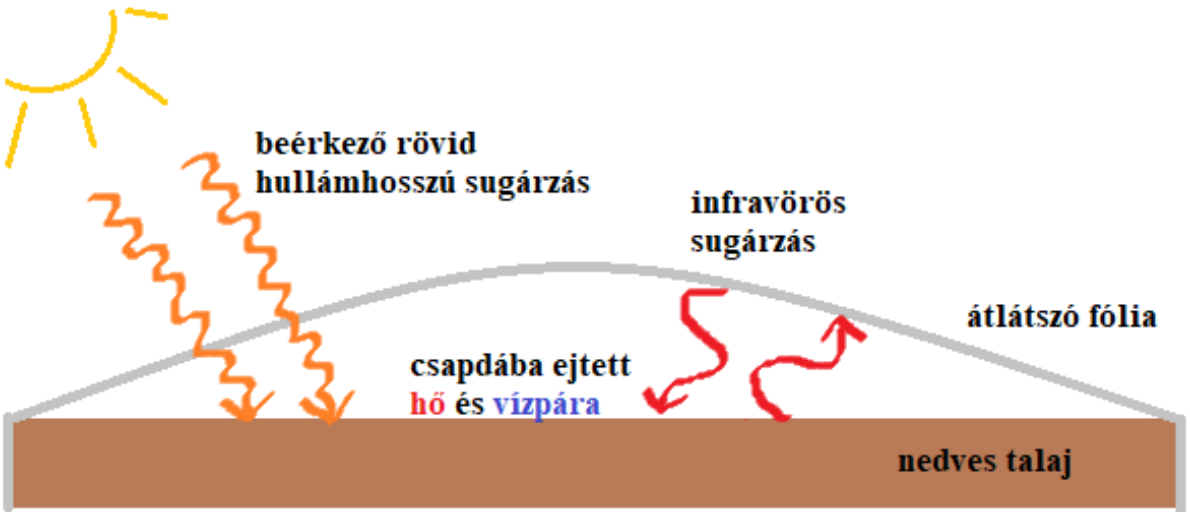
Konzulensi nyilatkozat 37

1. Bevezetés és célkitűzések

Az Európai Parlament és a Tanács 2018/848. számú rendelete, amely az ökológiai termelést szabályozó jelenleg hatályos jogszabály, a szolarizációt, mint hőkezelési eljárást említi, melyre a gazdálkodók a „károsítók és gyomok elleni védekezésben támaszkodhatnak”. Magyarországon is „támaszkodhatnának” rá – hiszen a klimatikus körülmények lehetővé tennék szélesebb körű alkalmazását –, hazánkban azonban kevesen ismerik ezt a világ számos országában elterjedt eljárást. A témával foglalkozó magyar nyelvű szakirodalom teljesen hiányzik, és tudományos kutatási eredmények sem állnak rendelkezésre a hatásairól, eredményességéről.

Dolgozatomban a külföldi szakirodalom alapos áttanulmányozása és egy szabadföldön lefolytatott kísérlet eredményei alapján azt dolgoztam fel, hogy az eljárás hatására hogyan változik a talajlakó mikroorganizmusok (baktériumok és gombák) száma és aktivitása.

A szolarizáció egy termikus gyomszabályozási és kíméletes talajfertőtlenítési módszer, melynek során a kezelni kívánt területet magas víztelítettségig benedvesítik, majd lefedik műanyag fóliával, ügyelve arra, hogy a fólia közvetlenül a csupasz, simára elmunkált talajfelszínre feküdjön fel. A megfelelő talajnedvesség biztosítása nagyban növeli a hőátadás mértékét, így fokozva a technológia hatékonyságát. A takarásra használt fólia pedig benntartja a rendszerben a talajból kisugárzó hőenergiát és elpárolgó vizet (**1. ábra**).



1. ábra: A szolarizáció hatásmechanizmusa (*forrás: saját ábra*)

A szolarizáció tehát tulajdonképpen az üvegházhatás jelenségén alapul: a folyamat során a Napból érkező rövid hullámhosszú elektromágneses sugarak áthatolnak a fólián és közvetlenül felmelegítik az alatta levő talajt. Ugyanakkor a talajból távozó hosszabb hullámhosszú infravörös sugárzás a műanyag rétegen nem hatol át, a fólia csapdába ejti a keletkezett hőt. A legalkalmasabbak erre a célra a vékony, átlátszó, polietilénből készült fóliák. Előfordul, hogy más színű, például fekete fóliát használnak, amely hatásmechanizmusa ugyan eltér az átlátszó fóliáétól, de egyes esetekben a gyomok erőteljesebb visszaszorulását eredményezi (Birthisel et al. 2018). Illetve egyre inkább előtérbe kerülnek – a keletkező műanyag hulladékok kezeléséből eredő problémák miatt – a biológiailag lebomló fóliák (**1. kép**), mint fenntarthatósági szempontból megfelelő alternatívák (Russo et al. 2005).

A takaróanyag széleit szükséges rögzíteni (pl. beásni a földbe), megakadályozva ezzel a hővesztést, azt, hogy a meleg levegő kiszökjön a fólia alól. A kezelés ajánlott időtartama a gyakorlatban 4-6 hét, de ez a körülményektől (vagy kutatás esetében a vizsgálat tárgyától és céljaitól) függően változhat, lehet két hét vagy akár három hónap is.

1. kép: Biológiailag lebomló fólia degradációja szolarizációt követően *(forrás: D'Addabbo et al. 2010)*

Mindehhez az évnek azt az időszakát kell kiválasztani, amikor a napsugárzás a legerősebb és a levegő hőmérséklete a legmagasabb. Ebből látható, hogy az éghajlat és az időjárás kritikus tényezők a szolarizáció eredményességét tekintve. Hűvösebb nyarú vidékeken, és a napsugárzás intenzitásának csökkenésével (felhős, esős időjárás esetén) a kezelés hatékonysága is csökken. Legalkalmasabbak azok a forró nyarú (mediterrán, sivatagi és trópusi éghajlatú) területek, ahol a rendkívül magas hőmérsékletű időszakokban a termőterületek egy részét pihentetik.

A szolarizáció bizonyítottan hatásos egy sor mezőgazdasági károsítóval szemben. Számos talajban élő patogén mikrobát (pl. *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Sclerotium* spp., *Agrobacterium* spp.,) növénykárosító fonálférget (pl. *Meloidogyne* spp.), gyommagot és csíranövényt képes elpusztítani (D'Addabbo et al. 2010), sőt egyes rovarfajok ellen is sikerrel alkalmazható (Shi et al. 2018).

A szolarizáció összetett fizikai, kémiai és biológiai folyamatok kombinációjának eredményeként fejti ki a hatását. A károsítók ártalmatlanításában elsősorban a fólia alatt megemelkedő talajhőmérséklet játszik fontos szerepet.

Ami a mikroorganizmusokat illeti, tartósan 39-40 °C feletti hőmérséklet esetén a mezofil talajlakók (melyek közé a legtöbb patogén szervezet is tartozik) már károsodnak. A megfelelően kivitelezett szolarizáció során a hőmérséklet akár 50 °C fölé is emelkedhet a talaj felső 5 cm-es rétegében, és ez a magas hőmérséklet számos kórokozó és kártevő számára letális, csak a termofil és termotoleráns mikrobák képesek túlélni ilyen környezetben.

A kezelés közben lejátszódó kémiai folyamatok következtében különböző felvehető ásványi tápanyagok, makro- és mikroelemek (pl. nitrát- és ammónium-nitrogén, kalcium, magnézium) koncentrációja is megnő a talajban. Ennek – és az eljárás növényvédelemben mutatott hatékonyságának – köszönhetően a szolarizált talajba vetett növények erőteljesebben és egészségesebben növekednek, és több termést adnak (Porras et al. 2007, Ashrafi et al. 2008).

A talajban lévő szerves anyagok bomlása közben különböző toxikus illékony vegyületek is felszabadulnak, amik szintén a célszervezetek pusztulását okozhatják. Részben azért, hogy ezt a folyamatot felerősítsék, a takarást megelőzően gyakran szerves talajjavító anyagokat (különböző növényi maradványok, komposzt stb.) kevernek a talaj felső rétegébe. A kezelésnek ezt a speciális változatát bioszolarizációnak hívjuk, mely módszer hatékonyságát az is növeli, hogy az anaerob bomlási folyamatoknak köszönhetően még több hő termelődik (Pastrana et al. 2022).

Az előzőekben bemutatott eljárás azonban nem csak a célzott, patogén szervezetekre van hatással, hanem a talaj teljes mikroflóráját érinti. Már egy kanálnyi egészséges talajban is átlagosan 10 milliárd mikroorganizmus él, és ennek a rendkívül sokszínű társaságnak az egyes csoportjai különböző funkciókat töltenek be az élő rendszerek anyag- és energiaforgalmában, egyes kémiai elemek (pl. nitrogén, szén) biogeokémiai ciklusainak fenntartásában.

A baktériumok elvégzik a talaj – szerves anyag – lebontó és építő folyamatainak egy részét, például a talajban élő *Clostridium* fajok biztosítják az anaerob cellulózbontást. A nitrifikáló baktériumok (*Nitrosomonas, Nitrobacter*) szerepe a nitrogén-körfogásban elengedhetetlen, akárcsak a levegő nitrogénjét megkötő egyes cianobaktérium vagy *Rhizobium* fajoké. A sugárgombák aerob baktériumok (melyek szaporodása során a sejtek gyakran együtt maradnak, egyfajta „fonalat” alkotva), nehezen bomló szerves anyagok (pl. cellulóz, kitin) bontásában vesznek részt, néhány csoportjuk (*Streptomycetes*) antibiotikumot is termel. A mikroszkopikus gombák (pl. *Aspergillus* spp.) a cellulózbontás másik kulcsszereplői, egyes fajaik (az úgynevezett fehér rothasztó gombák) a talajba kerülő szerves anyagok közül a

legnehezebben lebomló lignin bontását végzik el. A mikrobák bizonyos csoportjai (mikorrhiza gombák, *Rhizobium* baktériumok) mindkét fél számára előnyös, szimbionta kapcsolatot alakítanak ki növényekkel, mások (pl. *Trichoderma* spp.) növénykórokozók antagonistájaként működnek, és képesek visszaszorítani a patogén szervezeteket.

Az ökológiai gazdálkodás nagy hangsúlyt fektet az egészséges talajélet fenntartására. A tápanyaggazdálkodástól kezdve, a növényvédelmen át, a talajművelési rendszerek kialakításáig, minden a talajok hosszú távú termékenységének megőrzését szolgálja, aminek, mint láttuk a talajlakó mikroorganizmusok nélkülözhetetlen elemei. Épp ezért szükséges alaposan megvizsgálni egy-egy olyan „új" eljárást, amely közvetlenül hat a mikrobák élettevékenységére.

Ebben a dolgozatban egy 2023 nyarán, Gödöllőn lefolytatott kísérlet eredményeinek, kontroll és szolarizált parcellák értékeinek összehasonlítása alapján arra keresem a választ, hogy van- e szignifikáns hatása egy hazai körülmények között elvégzett szolariációs kezelésnek a talaj összes gomba- és baktériumszámára és a mikrobák aktivitására. Emellett igyekeztem összegezni mindazt, ami a külföldi szakirodalomban megjelent kutatási eredmények alapján magabiztosan kijelenthető ebben a témában.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A kezdetek

1976-ban adták közre az első szolarizációval foglalkozó tudományos munkát, amit több évnyi kutatómunka előzött meg Izraelben. A „szolarizáció atyja”, Jaacov Katan és munkatársai itt mutatták be a kezeléssel a *Verticillium dahliae* és a *Fusarium oxysporum* növénykórokozó gombák visszaszorításában elért eredményeiket, és egyben a módszer elméleti hatásmechanizmusát és gyakorlati alkalmazásának alapelveit is felvázolták (Katan et al. 1976). A tudományos közösség pedig látott perspektívát a szolarizációban, és belevetette magát a téma kutatásába. 1986-ig közel 180 tanulmányt publikáltak a világ 22 országában, melyek az eljárásnak a kórokozók (elsősorban patogén gombák) és kártevők (pl. fonálférgek) elleni védekezésben, a gyomszabályozásban, és a terméshozam növekedésében játszott szerepét vizsgálták (Katan, 2015).

1990-ben megtartották az első szolarizáció témájú nemzetközi konferenciát Jordánia fővárosában, Ammánban, melyet az Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO) rendezett. Az ezt követő két évtizedben a szolarizációval foglalkozó kutatás és fejlesztés tovább erősödött nemzetközi szinten, 2012-ig már több mint 70 országban foglalkoztak az eljárással a tudósok, és számoltak be eredményeikről tudományos cikkekben (Katan, 2015). A legújabb kutatások a szolarizációt már nem csak önmagában álló eljárásként vizsgálják, hanem egy komplex növényvédelmi stratégia elemeként, mely más védekezési módszerekkel (pl. biofumigáció) is kombinálható (Rubayet et al. 2018, Kiehr et al. 2021).

A legelső olyan tudományos mű, ami a szolarizációt már nemcsak a növénykárosító mikroorganizmusokkal összefüggésben vizsgálta, hanem arra is fókuszált, hogy a kezelés milyen hatást fejt ki a nem patogén – sőt a növénytermesztés szempontjából nézve ráadásul még hasznosnak is tekinthető – talajlakó mikrobákra, 1982-ben jelent meg. Stapleton és DeVay (1982) úttörő munkájában több kaliforniai kísérleti helyszínen vizsgálta 4,5 hetes szolarizáció egyes mikrobacsoportok denzitására gyakorolt hatását. A kezelés következtében erősen visszaesett az *Agrobacterium* és a *Pseudomonas* nemzetségek, a Gram-pozitív baktériumok és összességében a gombák denzitása, míg a sugárgombák (*Actinomycetes*) és a termofil/termotoleráns gombák (pl. *Aspergillus* és *Penicillium* spp.) populációit kevésbé befolyásolta a szolarizáció. A következő 3-12 hónapban vett minták kiértékelésekor megállapították, hogy az *Agrobacterium* spp. és a Gram-pozitív baktériumok denzitása a kontroll parcellákhoz viszonyítva továbbra is szignifikánsan alacsonyabb szinten maradt. A

Pseudomonas nemzetség és a gombák denzitása ellenben gyorsan emelkedett, 3-7 hónap múlva már nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni kezelt és kezeletlen talajok között. A kísérleti időszak végére a termofil/termotoleráns gombák és a sugárgombák populációsűrűsége magasabb értéket ért el a szolarizált talajokban, mint a kontroll egységekben.

2.2. A szolarizáció hatása a mikrobaszámra

A Stapleton és DeVay (1982) munkáját követő évtizedek eredményein végigtekintve megállapítható, hogy számbeli többségben vannak azok a kutatások, melyek mindent egybevetve a szolarizáció negatív hatását mutatták ki, mikor a kezelés hatására az össz-mikrobaszámban bekövetkezett változásokat értékelték.

Gamliel és Stapleton (1993) kísérletében a gombák telepképző egységeinek száma[1] a szolarizált talajokban szignifikánsan alacsonyabb szintet ért el, és 7 hónappal az eljárást követően termesztett saláta (*Lactuca sativa*) gyökérzónájából vett minták is visszafogottabb térfoglalást mutattak, a kontroll mintákhoz viszonyítva.

Pakisztáni tudósok (Khaleeque et al. 1999) a ’90-es évek elején eltérő hosszúságú (1-től 6 hétig tartó) szolarizációs kezelések mikrobapopulációk denzitására gyakorolt hatását hasonlították össze. Az összgomba-populációsűrűség a kontroll, takaratlan parcellákban adta a legnagyobb értéket (61,85), míg a 6 hétig takartban a legkisebbet (4,4).

Indiai tudósok (Sofi et al. 2014) kísérletében a 80 napos kezelés jelentősen redukálta a gomba- és a baktériumpopulációt. A mikrobapopuláció a fólia eltávolítása után szignifikánsan növekedni kezdett, de a szolarizált minták eredményei még az eljárást követő 90. napon végzett méréskor is jóval a kontroll, kezeletlen talajok értékei alatt maradtak.

Japán kutatók (Yokoe et al. 2015) egy paradicsomtermesztésre használt növényházban állítottak be kísérletet, és elemezték a 45 napos kezelés rövid és hosszútávú hatásait. A kísérlet végére a mikrobiális biomassza mennyisége a felére esett vissza a kezelt talajokban, és bár utána fokozatosan emelkedett, de 15 héttel az eljárást követően sem érte el a kezdeti szintet.

Nigériában 6 hétig tartó átlátszó fóliás és fekete fóliás szolarizáció talajlakó baktériumokra és gombákra gyakorolt hatását vizsgálták (Yahaya et al. 2021). A takaratlan ágyásokhoz képest mindkét típusú fólia alkalmazása szignifikánsan alacsonyabb baktérium- és gombaszámhoz (CFU) vezetett. (A két szolarizációs eljárást összehasonlítva megállapítható,

[1] A legtöbb esetben a mennyiségi vizsgálathoz higításos lemezöntéses módszert alkalmaztak, és az összes kitenyészthető csíraszám, a telepképző egységek (Colony Forming Unit, CFU) számát adták meg 1 gramm talajban.

hogy az átlátszó fóliás takarással elért magasabb átlaghőmérséklet (45°C, míg a fekete fólia alatt 35°C, a takaratlan ágyásban 33,5°C) a mikróba populáció nagyobb arányú visszaszorulásához vezetett.)

Shinde és munkatársai (2023) szintén hasonló eredményre jutottak, mikor fekete, ezüst és átlátszó fóliákkal végzett szolarizáció mikróbákra gyakorolt hatását vizsgálták. A kontroll, nem-szolarizált parcellákkal összehasonlítva mindhárom típusú fóliával végzett kezelés szignifikánsan alacsonyabb gomba- és baktériumszámot (CFU) eredményezett.

Kisebb arányban, de jelen vannak a kutatási eredmények között olyan példák is, ahol, ha nem is növelte a mikrobaszámot a szolarizáció, de legalább nem volt szignifikáns negatív hatása a kezelésnek. Közös vonása ezeknek az eseteknek a kezelés rövidebb időtartama, ami alatt feltehetően a magas hőmérsékletre érzékeny mikroorganizmusok pusztulását még teljes mértékben ellensúlyozni tudta a rezisztens, termofil szervezetek szaporodása.

Törökországban 32 napos szolarizáció hatását vizsgálták műanyag fólia borítású növényházban, az ökológiai gazdálkodás előírásait is betartva (Okur et al. 2006). A szolarizációnak ebben az esetben nem volt szignifikáns hatása a talaj mikrobiális biomassza tömegére.

Nepálban (Khumaltar és Rampur) a ’90-es évek második felében végzett kutatások (Culman et al. 2006) rizs-búza vetésváltásban vizsgálták többek között azt is, hogy a gombák szaporítóképleteinek száma hogyan változik szolarizációs kezelés hatására. 28 napig tartó szolarizáció után a telepképző egységek száma a khumaltari szolarizált talajmintákban magasabb volt, mint a nem kezelt, kontroll mintákban; a rampuri mintákban nem találtak szignifikáns eltérést.

Az USA legészakkeletibb államában, Maine-ben 2 és 4 hetes szolarizáció hatását kutatták (Birthisel et al. 2019). A kontroll, kezeletlen parcellák értékeihez viszonyítva az összbaktérium-, és összgomba-populációt nem befolyásolta szignifikánsan a kezelés sem szabadföldön, sem zárt üvegházban.

2.3. A szolarizáció hatása a mikroorganizmusok diverzitására

A fajközösségek számszerű jellemzésére szolgáló mutatók (fajgazdagság, egyenletesség, diverzitás) változását vizsgáló kutatások között is túlsúlyban vannak azok a munkák, melyek a szolarizáció negatív hatását állapították meg, de az eredmények ebben az esetben sem teljesen egyöntetűek.

Olaszországi kísérletben azt próbálták feltárni, hogy agyag- és homoktalajokon a szolarizáció milyen hatással van a baktérium- és gombaközösségek diverzitására[2] (Bonanomi et al. 2008). Mind a biológiailag lebomló, mind a polietilén műanyag fóliákkal végzett kezelések kedvezőtlenül hatottak a baktériumokra és a gombákra, a kutatók egy általános negatív hatást tapasztaltak. A baktériumok és gombák diverzitásának szignifikáns csökkenését mutatták ki homoktalajon mindkét típusú takaróanyagnál, míg agyagtalajon csak a lebomló fóliás takarás okozott szignifikáns visszaesést.

Izraeli kutatók (Kanaan et al. 2018) három egymást követő éven át folytatott kutatásukban arra keresték a választ, hogy egy 4 hetes kezelés eredményeként, és az azt követő 4 hetes „felépülési időszak" alatt, hogyan módosul a talaj baktérium-közösségének összetétele. A szolarizáció a talajlakó baktérium-közösség fajgazdagságát és diverzitását is hátrányosan befolyásolta.

Kaliforniai kutatók (Simmons et al. 2014) eredményei szintén azt támasztják alá, hogy a baktériumközösség diverzitása csökken a szolarizáció hatására, ugyanakkor a fajgazdagságban nem tapasztaltak szignifikáns eltérést. A 22 napig tartó kezelés a talaj felső (0-5,8 cm) rétegében csökkentette szignifikánsan a mikrobák diverzitását, ahol elég magas átlagos maximum hőmérsékletet mértek (48,6 °C). A diverzitás az alsóbb talajrétegekben (5,9-11,6 cm, 11,7-17,4 cm) már szignifikánsan magasabb volt, a legalsó réteg mutatói már alig tértek el a nem kezelt talajok értékeitől. Ebből a kutatók arra következtettek, hogy elsősorban a megemelkedett hőmérsékletet nem tolerálták a felső rétegben a mezofil talajlakók.

Kalifornia mandulaültetvényein elvégzett kísérletben kontroll, szolarizált és bioszolarizált talajok baktériumközösségeinek változását vetették össze (Shea et al. 2022). A 6 hetes kezelés végén csak a bioszolarizált talajokat jellemezte szignifikánsan alacsonyabb fajgazdagság, viszont a fajok egyenletességét és diverzitását tekintve mindkét kezelt talajtípusban a kontroll mintáknál szignifikánsan alacsonyabb értékeket mértek. 58 nappal az eljárás végét követően a kezelt talajok adatai már nem mutattak szignifikáns eltéréseket, mindhárom mutató értékei megközelítették a kontroll talajok mutatóinak szintjét.

Yokoe és munkatársai (2015) kísérletének eredményeképp a baktérium- és gombaközösségek összetétele is jelentősen megváltozott. A diverzitás csökkenését tapasztalták (az egyes ágyásokban eltérő szinten): gombák esetében a kezelés előtti értékekhez képest 0-74% (0-5 cm), 2-69% (5-10 cm) és 13-53%-os (10-15 cm), baktériumoknál 13-31% (0-5 cm),

[2] A közösségek változásának feltérképezéséhez a legtöbb kutatás molekuláris alapú mikrobiológiai vizsgálatokat használt, a leggyakoribb a denaturáló grádiens gélelektroforézissel (DGGE) végzett, a DNS-kimutatásra épülő „ujjlenyomat" módszer volt.

5-48% (5-10 cm) és 5-39%-os (10-15 cm) visszaesést mértek. 15 hét eltelte után csak részben állt vissza a közösségek diverzitása.

Olasz kutatók (Di Mola et al. 2021) 30 napos (biológiailag lebomló és polietilén fóliával párhuzamosan végzett) szolarizációt követően molekuláris vizsgálatokkal mutatták ki, hogy bár a szolarizáció átformálta a mikrobaközösség felépítését, összetételét, de nem redukálta a populációk diverzitását.

2.4. „Nyertesek és vesztesek”

A kutatások egy részében kiemelten foglalkoznak azzal, hogy a növénytermesztés szempontjából hasznos mikroorganizmusok különböző csoportjaira milyen hatással van a szolarizáció. Az eredmények alapján megállapítható, hogy egyes taxonok (pl. rizoszférában élő, növénypatogének antagonistájaként ismert mikrobák) jól reagálnak az eljárásra: vagy egyáltalán nem csökken a populációjuk (pl. termofil gombák), vagy ha vissza is szorul, képesek gyorsan újra benépesíteni a kezelt talajokat (pl. *Pseudomonas* spp.).

Gamliel és Stapleton (1993) 4 hetes szolarizációs kísérlete során a *Pseudomonas* és a *Bacillus* baktériumnemzetségek tagjai intenzíven kolonizálták azoknak a növényeknek a rizoszféráját, melyeket szolarizált talajon neveltek. Például a *Pseudomonas* baktériumok telepképző egységeinek a száma 6-10-szer több volt a szolarizált talajon nevelt növények gyökérzónájában az augusztusi kezelést követő ősszel. És még a következő év tavaszán is megmaradt mind a *Bacillus* spp. mind a *Pseudomonas* spp. baktériumok magasabb száma a kezelt talajokban, mindkét kísérleti helyszínen.

Szintén hasonló eredményre jutottak amerikai kutatók (Stevens et al. 2003), mikor a ’90-es években, Alabamában lefolytatott kísérletük részeként a szolarizációnak a rizobaktériumok (*Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp.) populációdenzitására gyakorolt hatását vizsgálták. Paradicsom és édesburgonya növények rizoszférájában, a gyökerek felszínén (rizoplán), és a gyökerek szövetében is a baktériumok szignifikánsan magasabb denzitását mérték ott, ahol a növényeket szolarizált talajba vetették, nem pedig kontroll, takarás nélküli talajba.

Khaleeque és munkatársai (1999) kísérletében a kezelés hatására a termofil gombák denzitása növekedett. A kontroll egységekben volt a legalacsonyabb (1,65), a 6 hétig takart egységekben a legmagasabb (16,17) a telepképző egységek száma 1 gramm talajban. A sugárgombák (*Actinomycetes*) szintén a leghosszabb kezelésre reagáltak maximális denzitással.

Sharma és Sharma (2002) kísérletében a kezelés során a körülmények kedveztek az *Aspergillus*, *Penicillium* és *Trichoderma* nemzetségekhez tartozó termofil és termotoleráns gombafajoknak, melyek közé több antibiotikumot termelő és/vagy növénykórokozó gombákat parazitáló, természetes antagonista is tartozik. Ezek és még néhány beazonosítatlan gomba-és baktériumfaj kolóniái – a kezeletlen minták értékeivel összevetve – a szolarizált talajokban szignifikáns növekedést produkáltak.

Shea és kollégái (2022) által elvégzett 6 hetes szolarizáció eredményeként a Firmicutes törzsbe tartozó baktériumok relatív abundanciája növekedett a legnagyobb mértékben, valószínűsíthetően azért, mert ebbe a taxonba szaprofita, termotoleráns és/vagy anaerob mikroorganizmusok tartoznak. A kezelt parcellák talajában szignifikánsan alacsonyabb relatív abundancia az Acidobacteria, Chloroflexi, Planctomyces, és a Verrucomicrobia törzseket jellemezte. 58 nappal a fólia eltávolítását követően a baktériumközösség újabb átrendeződését tapasztalták: az ekkor vett mintákban a korábbi szignifikáns különbségek közül egyedül a Firmicutes törzs tagjainak magasabb relatív abundanciája maradt változatlan a szolarizált talajokban, emellett az Actinobacteria törzs bizonyos nemzetségeinek (pl. *Streptomyces*) gyarapodását is kimutatták.

Míg egyes mikroorganizmusokra egyértelműen pozitívan hat a szolarizáció, addig más hasznos mikrobacsoportok (arbuszkuláris mikorrhiza gombák, nitrifikáló baktériumok) populációja jelentősen csökken a kezelés hatására. De, mint látni fogjuk, ez sem jelenti ezeknek a szervezeteknek a teljes kipusztulását, csak erős visszaszorulásukat és többnyire relatíve lassú újra felszaporodásukat.

Izraeli kutatók (Bendavid-Val et al. 1997) kifejezetten a szolarizáció és az arbuszkuláris mikorrhiza (AM) gombák kapcsolatát vizsgálták. A kezelés hatására a takart talajokban már 4 hét alatt közel nullára redukálódott a mikorrhiza populáció. A gombák ilyen nagymértékű visszaszorulása a kezelés során elért magas hőmérséklet (45 °C) következménye lehetett, mivel a fajok többsége számára végzetes a 40 °C feletti hőmérséklet. Emellett a szolarizáció ideiglenesen késleltette azt, hogy a mikorrhizák kellőképpen behálózzák a kezelt talajokba elvetett és ott fejlődő növények gyökereit. Az egyik kísérleti helyszínen 5 héttel a sárgarépa kelését követően a növények 33%-ánál alakult ki a szimbiózis a gombákkal (a kezeletlen parcellák 100%-os értékéhez viszonyítva), majd végül 8 héttel a kelés után érte el a 100%-ot a kolonizáltság.

Dél-Indiában végzett kutatás (Balakrishna et al. 2015) azt vizsgálta, hogy a szolarizáció (20, 40 és 60 napos) hogyan hat a honos AM gombákra. A parcellákba a kezelést követően napraforgót vetettek, és 95 nap elteltével a növények gyökérzónájából vett talajmintákat

értékelték ki. Az AM gombák kolonizációja szignifikánsan kisebb arányú volt a kezelt területeken, mint a kontroll, nem-szolarizált parcellákon.

Amerikai kutatók (Schreiner et al. 2001) a fenti témával kapcsolatban a szolarizáció egy érdekes, indirekt hatását tárták fel. Az Oregon államban beállított kísérletben 8 hónappal a kezelést követően mutattak ki szignifikáns visszaesést a mikorrhizák aktivitásában. A kezelést követő év tavaszán a parcellákba elültetett és ott fejlődő ciroknövényeket vizsgálva megállapították, hogy a gyökerek mikorrhiza-kolonizáltsága szignifikánsan alacsonyabb, mint a kontroll parcellákon nevelteké. Mindezt az okozta, hogy a kezelésnek köszönhetően a takart parcellák gyomdenzitása a kontroll egységek denzitásának tizedrészére csökkent, így nem maradt elég növény, melyekhez kapcsolódva a mikorrhizák nagyobb tömegben fennmaradhattak volna a tél folyamán.

Rao és Tarafdar (1999) *Azotobacter* és más, nitrogénmegkötő és nitrifikáló (elsősorban *Nitrosomonas*) baktériumnemzetségek populációiban bekövetkező változások vizsgálatakor a szolarizáció hatására bekövetkezett szignifikáns csökkenést mutattak ki.

Yokoe és munkatársai (2015) kísérletében az ammónia-oxidáló baktériumok abundanciája a kontroll és a szolarizáció előtti minták értékeihez képest a tizedére csökkent. A kezelést követően a baktériumok abundanciája közel teljes mértékben helyreállt, 3-ból 2 ágyásban elérte a szolarizáció előtti szintet.

2.5. A szolarizáció hatása az enzimaktivitásra

A legegyöntetűbb eredményeket a mikrobaközösségek működését, tevékenységét a különböző talajenzimek aktivitásán keresztül vizsgáló kutatások szolgáltatják, ugyanis egybehangzóan a szolarizáció negatív hatásáról számolnak be.

Indiai tudósok már a ’90-es évek második felében írtak arról, hogy a kezelés hatására a dehidrogenáz és foszfatáz enzimaktivitás szignifikánsan csökkent a talajokban (Rao & Tarafdar 1999). Ugyanerre az eredményre jutottak Törökországban is. Okur és munkatársai (2006) kísérletében a szolarizáció szintén szignifikánsan csökkentette az enzimaktivitást: a proteáz, ureáz és foszfatáz enzimek szintje 26%-kal, a dehidrogenáz szintje 50%-kal lett alacsonyabb az eljárás után.

Dél-Olaszországban hosszabb távon, 3 egymást követő évben, egyszer, kétszer vagy háromszor ismétlődő szolarizáció hatását vizsgálták növényházban (Scopa et al. 2009).

Összességében az FDA[3], az alkalikus és savas foszfatáz-, és β-glükozidáz enzimaktivitás is a kontroll parcellákon volt magasabb.

Szintén Dél-Olaszországban különböző fóliákkal (etilén-vinil-acetát; koextrudált többrétegű; biológiailag lebomló) végzett, 37 nap hosszúságú kezelések hatását hasonlították össze (Scopa et al. 2008). Az eredmények szerint az alkalikus és savas foszfatáz enzimaktivitás szignifikánsan magasabb értéket ért el a kezelés után a kontroll parcellákon, mint a szolarizált egységekben, és a β-glükozidáz aktivitás is alacsonyabb szintre csökkent 2 fólia alatt. Egyedül az arilszulfatáz enzim esetében nem mutattak ki szignifikáns különbséget a minták között.

Spanyol kutatók (Díaz-López et al. 2019) 2013 nyarán azt vizsgálták, hogy a szolarizáció mennyiben segíti elő a peszticidek lebomlását. Az üvegházban elvégzett, 90 napos kezelés végére a növényvédő szerek lebomlásának mértéke ugyan 30%-kal magasabb volt a szolarizált területeken, mint a kontroll mintákban, de a talajéletre kedvezőtlen hatást gyakorolt az eljárás, az enzimaktivitás (β-glükozidáz, foszfatáz, ureáz) a szolarizált mintákban érte el az alacsonyabb értéket.

Kanaan és munkatársai (2018) három egymást követő évben a talajminták teljes mikrobiológiai aktivitását analizálták FDA-módszerrel. Az 1. és 3. évben a szolarizáció eredményeként az aktivitás csökkenését figyelték meg, a 2. évben viszont nem tapasztaltak visszaesést. Ugyanezen kísérleten alapultak egy másik tanulmány (Kanaan et al. 2016) közlései, melyben a dehidrogenáz aktivitás csökkenését mutatták ki, mind a kezelt, mind a kezeletlen talajokban (ez utóbbinál a kiváltott negatív hatást a rendkívül magas nyári hőmérséklettel magyarázták).

[3] Az FDA (fluoreszcein-diacetát) analízis a talajminták összes, működőképes katabolikus, tehát lebontó tevékenységet mutató mikrobiális enzimaktivitásának mérésére szolgál.

3. Alkalmazott módszerek

3.1. A kísérlet beállítása és a helyszíni mintavételek

A szolarizáció helyszínéül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campus-án, a gödöllői kísérleti téren választottunk ki egy táblát. A terület a Gödöllői-dombság északi részén fekszik, éghajlata mérsékelten hűvös, mérsékelten száraz, az évi középhőmérséklet 9,5-9,7 °C, az évi napfénytartam 1950 óra körül alakul, az évi csapadékmennyiség 600 mm (Demény, 2007). Talaja gyengén savanyú kémhatású, kis humusztartalmú, homok fizikai féleségű barna erdőtalaj, ellátottsága nitrogénben gyenge, foszforban igen jó, káliumban jó (**1. táblázat**).

1. táblázat: A kísérleti terület talajának fizikai és kémiai tulajdonságai (*forrás: saját adatok*[4])

A talajvizsgálat eredményei	
pH	6,2
Humusztartalom	0,8%
K_A (Arany-féle kötöttség)	26,2
EC (vezetőképesség)	39,7 µS/cm
Vízoldható összes só	99,65 mg/kg
Nitrit (NO_2^-)	0,05 mg/kg
Nitrát (NO_3^-)	2 mg/kg
Ammónium (NH_4^+)	2 mg/kg
Foszfor (P_2O_5)	284,17 mg/kg
Kálium (K_2O)	167,4 mg/kg

A kijelölt helyszín a gazdaságon belül egy enyhén lejtős rész északkeleti alján fekszik, a másik három oldalról fás-bokros sáv veszi körbe, viszonylag homogén terület (**2. kép**). A tangazdaság felső részein más kísérleti helyszínek találhatók, de közvetlen környezete gyomnövényekkel borított, kevésbé gondozott. A kezelést megelőző években szántóföldi növénytermesztés folyt a területen, 2020-ban kukoricát és szóját, 2021-ben kék csillagfürtöt, homoki babot és facéliát termesztettek, majd 2022-ben ugaron hagyták, és gyomnövények foglalták el a táblát.

A kísérleti helyszínen nyolc parcellát jelöltünk ki: négyet, mint kontroll parcellát, és négyet a takaráshoz. A kijelölt egységek között 70 cm-es puffer területet, közlekedő utat hagytunk. A parcellák mérete 2,7 × 2,7 m, tehát összesen 7,29 m^2 volt.

2. kép: A terület a kísérlet előtt *(forrás: Dr. Tirczka I.)*

[4] A szűkített talajvizsgálathoz a területről 4 pontból vettünk mintát, 0-30 cm-es mélységből, és az Agrárkörnyezettani Tanszék laborjában végeztük el a méréseket.

A takaráshoz 3 × 3 m nagyságú, 0,15 mm vastagságú, jó fényáteresztő képességű, UV-sugárzásnak ellenálló, polietilén fóliát használtunk.

A takarás előtti mintavétel napja 2023. június 27. volt. A talajmikrobiológiai vizsgálatokhoz minden egyes parcellából 6 pontból vettünk mintát (Pürckhauer 100 mintavevővel, nagyjából az átlók mentén), két mélységből egy menetben: 0-5 cm, és 5-10 cm közötti mélységből. A mintavételi pontokból nyert talajt két vödörben – az eltérő mélységből vett mintákat külön-külön – alaposan összekevertük, a nagyobb növényi maradványokat kézzel eltávolítottuk, majd műanyag zacskóba töltöttük a talajmintákat, összesen tehát 16 adagot, egyenként körülbelül 100 grammnyit.

A talajmintavétel előtt csak a szegélyek és a parcellák közötti közlekedő utak lettek megkapálva. A talajmintavétel után a parcellákat is megkapáltuk kétszer, kézi talajművelő kapával, a gyomokat villával összegyűjtöttük a területről és elhordtuk a szélére, majd a talajfelszínt simára gereblyéztük. Ezután minden parcellára műanyag kannából 40 liter vizet öntöztünk, ami megfelel 5,5 mm csapadéknak.

2023. június 29-én mindegyik parcellába kihelyeztünk 1-1 talajhőmérő szondát[5], melyeket körülbelül a parcellák közepére ástunk be. Ezek 5 cm mélyen mérték a talajhőmérsékletet, 15 perces gyakorisággal. 29-én, délután minden parcellát még megöntöztünk 65 liter vízzel, ami 8,9 mm csapadéknak felel meg. A kijelölt parcellák 2023. június 30-án, délelőtt lettek letakarva (**3. kép**). A fóliák széleiből 15 cm-es sáv lett leásva minden oldalon, hogy biztosítsuk a kezeléshez a szükséges körülményeket.

3. kép: A parcellák közvetlenül takarás után *(forrás: Dr. Tirczka I.)*

[5] talajhőmérők típusai: 4 csatornás: EBI 2-T-313 hőmérsékleti adatgyűjtő + 4 db EBI-FUE-T-2,5 teflon vezetékes beszúró szonda (ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2008); 2 csatornás: EBI 2-T-312 hőmérsékleti adatgyűjtő + 4 db EBI-FUE-T-2,5 teflon vezetékes beszúró szonda (ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2009); EBI 20-TE1 beszúró szondás hőmérő (ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2015)

A kísérlet ideje alatt a fóliát sérülés nem érte, a szomszéd területekről idetévedő vadak nem tettek benne kárt (működött a kihelyezett vadriasztó), és az időjárás viszontagságainak is ellenállt. Viszont a növekvő gyomnövények a beásott fólia széleit a kísérlet második felében többször – kisebb-nagyobb mértékben – „kinyomták" a földből (1., 3., 5. parcella), ezeket a részeket amint lehetett, visszaástuk. Két fóliára (1., 3. parcella) a lejtőn lefolyó esővíz a talajt is ráhordta, ezeket lesöpörtük; az egyes parcella takaróanyagán pedig az esővíz is megállt. Tehát egyedül a hetedik parcellán zajlott le a kezelés teljesen problémamentesen.

A kezelés 2023. augusztus 23-án ért véget, tehát összesen 55 napig tartott. Hőmérsékleti adatok 53 teljes napról állnak rendelkezésre. Augusztus 23-án a mikrobiológiai vizsgálatokhoz ugyanúgy mintákat vettünk mind a nyolc parcellából, azzal a különbséggel, hogy most 10 pontból gyűjtöttük össze őket (hozzávetőlegesen az átlók mentén 5-5 helyről), mivel a talajnedvesség és talajélőlény vizsgálatokhoz szükség volt többlet mintákra.

A begyűjtött mintákat június 27-én és augusztus 23-án is 2 órán belül beszállítottuk Budapestre, a Villányi úti kampuszra, az Agrárkörnyezettani Tanszék laborjába, ahol a mérések elvégzéséig (augusztus 1-2., illetve szeptember 25-26.) fagyasztóban tároltuk őket.

3.2. A laboratóriumi mérések menete

3.2.1. Mikrobaszám meghatározása MPN-módszerrel

Az MPN- (Most Probable Number, azaz a legvalószínűbb élő sejtszám) módszer alkalmazásakor a mikroorganizmusokat folyékony tápközegben szaporítjuk fel, és a csíraszámot nem közvetlenül olvassuk le, mint például a lemezöntéses módszernél, hanem statisztikai alapon (ismert valószínűségi eloszlás alapján, Hoskins-féle táblázat segítségével) következtetünk a mikrobák számára. A módszer alkalmazhatóságnak feltétele, hogy a sejtek eloszlása az törzsszuszpenzióban véletlenszerű legyen, és az, hogy a folyékony táptalajban már egy élő sejtet tartalmazó inokulum beoltása esetén is észlelhető legyen a mikrobaszaporodás (Libisch et al. 2010).

A vizsgálat első lépéseként – tekintettel a mikrobák egyenlőtlen eloszlására – a mintákat homogenizálni kellett. Ehhez analitikai mérlegen (Mettler Toledo XS802S) 1-1 g talajt mértünk ki mind a 16 talajmintából üveg kémcsőbe. A mintákra 9 ml hígítófolyadékot, steril fiziológiás sóoldatot (8,5 g NaCl 1000 ml ioncserélt vízben) pipettáztunk, a kémcsöveket alumíniumkupakkal lezártuk, és Vortex keverő-rázógéppel összeráztuk. A minden mintából külön-külön elkészített homogén szuszpenzió adta az alaphígítást (10^{-1}) a decimális hígítási

sorhoz, ebből kellett steril pipettával 1 ml-t 9 ml hígítófolyadékhoz mérni a következő hígítási fok (10^{-2}) elkészítéséhez, és így tovább. Az MPN- módszernél mindezt addig kell folytatni, amíg az utolsó hígítás 1 ml-ében valószínűleg már nincsen élő sejt. (Ezért hívják ezt a technikát határhígításos módszernek is.)

Az elkészített hígítási sorozatokból három párhuzamos leoltást készítettünk, folyékony tápoldatokba. A baktériumokhoz Nutrient táplevest, a gombákhoz Sabouraud táplevest használtunk. A tápleveseket steril mikrotiter lemezek zsebeibe pipettáztuk (180 µL/kút), szigorúan csíramentes környezetben. Majd a hígítási sorozatok tagjaiból 20 µL mintát pipettáztunk a kutakba, értelemszerű sorrendben.

Az inkubációs idő 5-7 nap volt 28°C-os termosztátban. A tenyésztési idő után a pozitív, tehát mikrobaszaporodást mutató zsebek értékelése során megállapított kulcsszám segítségével, a Hoskins-féle táblázat felhasználásával számítottuk ki a milliliterenkénti legvalószínűbb élősejtszámot. A táblázatból kikerestük a kapott kulcsszámhoz tartozó alapértéket, majd ezt megszoroztuk a kulcsszám első tagjához tartozó hígítási fokkal. Az így kapott eredményt feltüntettük normál alakban és megadtuk az értékek tízes alapú logaritmusát is.

3.2.2. A dehidrogenáz enzimaktivitás meghatározása

A talajlakó mikroorganizmusok enzimjeinek fontos szerepe van a talaj anyagcseréjének fenntartásában. A dehidrogenáz is egy ilyen enzim, funkciója szerint a hidrogénátvitelt katalizálja. A dehidrogenáz a sejtek metabolikus reakcióiban alapvető fontosságú, mivel azonban csak az élő sejten belül aktív, ezért csak az élő mikrobiális biomassza aktivitását mutatja. Az enzim aktivitásának változása jól használható mutató a mikroorganizmusok anyagcsere-aktivitásában bekövetkezett változások vizsgálatára (Szili-Kovács et al. 2011).

A dehidrogenáz-enzimaktivitás méréséhez trifenil-tetrazólium-klorid (TTC) mesterséges elektronakceptort használunk (Thalmann (1968) módosított módszere alapján Veres et al. 2013). A mintában jelen levő élő sejtek dehidrogenáz enzimjei a szubsztrátot trifenil-formazánná (TPF) redukálják, a keletkező TPF mennyisége pedig arányos az enzimaktivitással. Tehát a módszer alkalmazásával – optimális körülmények között – jól meghatározható a lebontó folyamatok intenzitása.

A vizsgálatot a méréshez szükséges oldatok előkészítésével kezdtük:

- A Tris-HCl puffer oldathoz 3,0285 g Tris (hidroximetil)-aminometánt feloldottunk 70 ml desztillált vízben, beállítottuk a pH-ját sósavval 7.6-ra (6-7.5 pH-jú semleges talaj esetében így szükséges) végül kiegészítettük az oldatot 250 ml-re desztillált vízzel.

- A TTC oldathoz 80 ml Tris-pufferben feloldottunk 2,25 g TTC-t, majd kiegészítettük 150 ml-re ugyanazzal a pufferrel.
- A TPF standard oldathoz feloldottunk 25 mg TPF-et 40 ml etanolban (500 µg TPF/ml), majd 50 ml-re kiegészítettük etanollal.

Ez utóbbit használtuk a kalibrációs sorozat elkészítéséhez: 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 és 4.0 ml TPF standard oldatot pipettáztunk mérőlombikba (50 ml), hozzáadtunk 8,3 ml Tris-puffert (pH 7,6) és kiegészítettük etanollal 50 ml-re azért, hogy a következő koncentrációkat kapjuk: 0, 5, 10, 20, 30 és 40 µg TPF/ml.

A TTC és a TPF fényérzékenysége miatt az oldatokat végig sötétben tároltuk és az egész vizsgálatot szórt fény alatt végeztük. Minden mintából 2 g nedves talajt mértünk ki a 20 ml-es kémcsövekbe és 2 ml TTC-t adtunk hozzá. A kémcsöveket kupakkal lezártuk majd Vortex keverőgépen összerázattuk. A mintákat 24 órán keresztül inkubáltuk 30 °C-on. A kontroll sorozat mintáihoz csak 2 ml Tris-puffert adtunk (TTC nélkül).

A számítások elvégzéséhez a talaj nedvességtartalmának meghatározására is szükség volt. Ehhez lemértük a bemérőedény (papírkosár) tömegét, majd 4-5 g eredeti nedvességű talajt adagoltunk minden mintából 1-1 papírkosárba, és ennek az együttes tömegét is lemértük analitikai mérlegen. A mintákat 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk szárítószekrényben. Ezt követően a bemérőedény + száraz talaj tömegét mértük meg. A talajnedvességet a bemérőedény tömegének levonása után az alábbiak szerint számoltuk ki:

Nedvességtartalom (%) = {[(g nedves talaj) – (g száraz talaj)] / (g nedves talaj)} × 100

Az inkubációs idő lejárta után minden kémcsőbe 4 ml etanolt mértünk, amivel leállítottuk a biokémiai folyamatokat. A mintákat tovább inkubáltuk szobahőmérsékleten két órán át. Ezután centrifugáltuk a mintákat, hogy leülepedjenek. Az etanollal kioldott formazán (TPF) piros színének intenzitását 546 nm-en spektrofotométerrel (Biochrom Libra S22) mértük. A kapott abszorbanciákat kalibrációs módszerrel értékeltük ki.

Az ismert koncentrációjú trifenil-formazán kalibráló sorozat tagjait ugyanúgy mértük spektrofotométerrel. Az elkészített kalibrációs görbéről olvastuk le a TPF koncentrációkat (µg/ml) a kontrollhoz igazítva, a következő számítást alkalmazva:

Dehidrogenáz aktivitás (TPF µg/száraz talaj g) = TPF (µg/ml) × V/dwt × m

ahol:

dwt: 1g nedves talaj száraz tömege

m: a kimért nedves talaj tömege (g)

V: a vizsgálat során a talajhoz adott oldat térfogata

3.3. Statisztikai analízis

Az eredmények statisztikai kiértékelése az SPSS statisztikai programcsomaggal történt. A kapott adatokat 95%-os szignifikancia szinten statisztikai értékelésnek vetettük alá. Az általános lineáris modellben (GLM) négy függő változót szerepeltettünk, ezek névlegesen a következők voltak: Baktérium szám Log10 (sejt/mL), Gomba szám Log10 (sejt/mL), Nedvességtartalom[6] %, Aktivitás (TPFµg/száraz talaj g). Továbbá megvizsgáltuk a kezelések (kontroll, szolarizált) és időpontok (2023.06.27., 2023.08.23.), illetve ezek interakcióit mind a négy függő változóra.

A GLM normalitást a Shapiro–Wilk teszt alapján fogadtuk el, a hatásméret-mutatójaként pedig a parciális eta négyzet értékeket közöltük, ami lényegében megegyezik a regresszió analízisben használt illesztett R négyzet mutatóval. A parciális eta négyzet (η2) értéke megmutatja, hogy a függő változó varianciáját a független változó hány százaléka befolyásolja. A mutató 0 és 1,00 közötti értéket vehet fel. Az első eset függetlenségre, utóbbi pedig determinisztikus kapcsolatra utal. A parciális eta négyzet értéke minél közelebb van egyhez, annál erősebb a függő és a független változó közötti összefüggés.

[6] A nedvességtartalom ugyan szerepelt a statisztikai analízis függő változói között, de mivel alakulása nem tárgya a dolgozatnak, a továbbiakban csak említés szintjén szerepel.

4. Eredmények és értékelésük

A laboratóriumban elvégzett talajmikrobiológiai vizsgálatok eredményeit az 1. melléklet tartalmazza táblázat formájában. Egymás melletti oszlopokban szerepelnek a szolarizáció kezdete előtt két nappal (2023.06.27.) vett minták, és a takaróanyag felszedésének napján (2023.08.23.) begyűjtött minták értékei. Külön vízszintes tömbökben jelennek meg a kezelt és a kontroll parcellák adatai, és egymástól elválasztva az eltérő mélységből vett minták[7] eredményei. Feltüntettük a baktérium- és gombaszámokat (sejt/mL) normál alakban és megadtuk az értékek tízes alapú logaritmusát, a talaj nedvességtartalmát (%) és a dehidrogenáz-enzimaktivitást.

A statisztikai elemzés eredménye szerint a kezeléseknek szignifikáns hatása volt mind a négy függő változóra ($F_{(4,25)}$= 5.59; P<0.001; Wilk's λ= 0.58; partial η^2 = 0.47). A két időpontnak ($F_{(4,25)}$= 22.38; P<0.01; Wilk's λ= 0.21; partial η^2 = 0.78), valamint a kezelés*időpont interakciónak szintén szignifikáns hatása volt a függő változókra ($F_{(4,25)}$= 4.78; P<0.01; Wilk's λ= 0.56; partial η^2 = 0.43). A legerősebb parciális η^2 értéke az időpontoknak volt, ami azt jelenti, hogy az idő, mint faktor erős hatást gyakorolt mind a négy függő változó értékeire. Ettől kisebb hatása volt a kezeléseknek és a kezelés*idő interakciónak. A faktorok, valamint az interakció hatását a válaszváltozókra a **2. táblázat** szemlélteti.

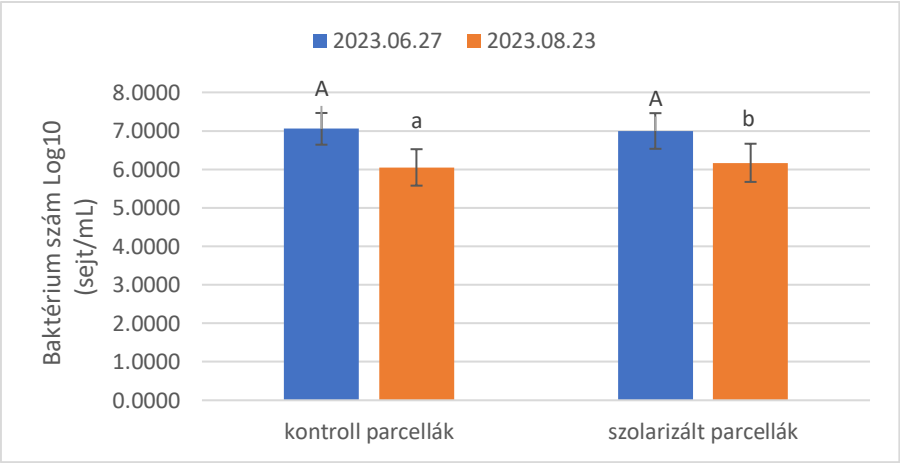
2. Táblázat. Faktorok és az interakció hatása a függő változókra

Faktorok	Függő változók	F-érték	Szig. szint	Parciális (η^2)
Időpont	Baktérium szám Log10 (sejt/mL)	31.3	***	0.52
	Gomba szám Log10 (sejt/mL)	66.2	***	0.70
	Nedvességtartalom %	5.63	*	0.16
	Aktivitás (TPFµg/száraz talaj g)	4.45	*	0.13
Kezelések	Baktérium szám Log10 (sejt/mL)	0.03	ns	0.84
	Gomba szám Log10 (sejt/mL)	0.10	ns	0.75
	Nedvességtartalom %	18.78	***	0.00
	Aktivitás (TPFµg/száraz talaj g)	2.90	ns	0.09
Kezelés * időpont	Baktérium szám Log10 (sejt/mL)	0.28	ns	0.59
	Gomba szám Log10 (sejt/mL)	0.02	ns	0.88
	Nedvességtartalom %	21.19	***	0.00
	Aktivitás (TPFµg/száraz talaj g)	0.90	ns	0.35

(Jelmagyarázat: A csillagok a faktorok szignifikancia szintjét jelzik (*P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001) /GLM model)

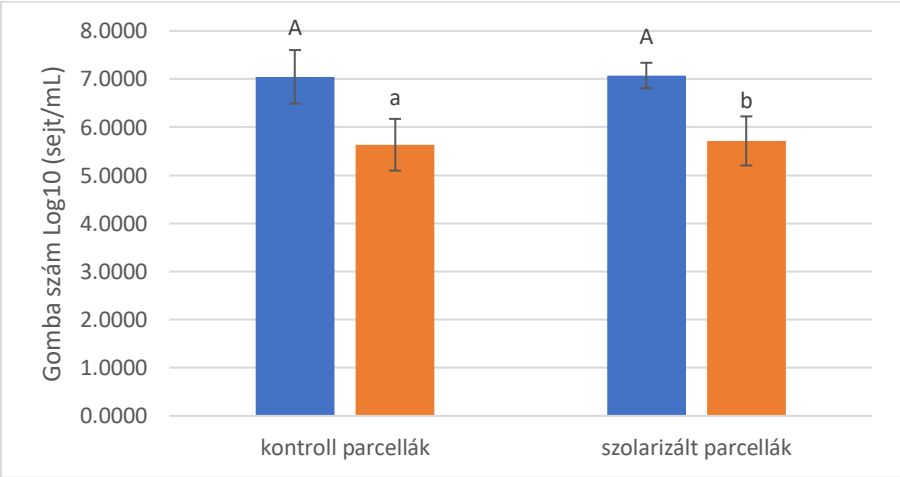
[7] A mérések során a két mélységből vett mintákat külön megvizsgáltuk, de a statisztikai elemzésben az egy parcelláról származó mintákat összevonva értékeltük.

A baktériumszám esetében az első időpontban a kontroll- és a szolarizált parcellák között nem volt kimutatható szignifikáns különbség (*P*>0.05). Ugyanakkor a kezelt és kezeletlen parcellák az augusztusi mintavételkor szignifikánsan különböztek egymástól (*P*<0.05) (**2. ábra**).



2. ábra. A kezelések hatása a baktériumszámra a két időpontban. Az azonos (és megegyező formátumú) betűk statisztikailag homogén csoportokat jelölnek. Az ábrán a baktériumszám átlagait és a hozzájuk tartozó szórásokat (±SD) ábrázoltuk /GLM model, P ≤0,05; Tukey post hoc teszt)

Hasonló trend volt megfigyelhető a gombaszám tekintetében is. Június 27-én a kontroll és a szolarizált parcellák között nem volt szignifikáns különbség (P>0.05), de a második időpontban a parcellák szignifikánsan különböztek egymástól (P<0.05) (**3. ábra**).



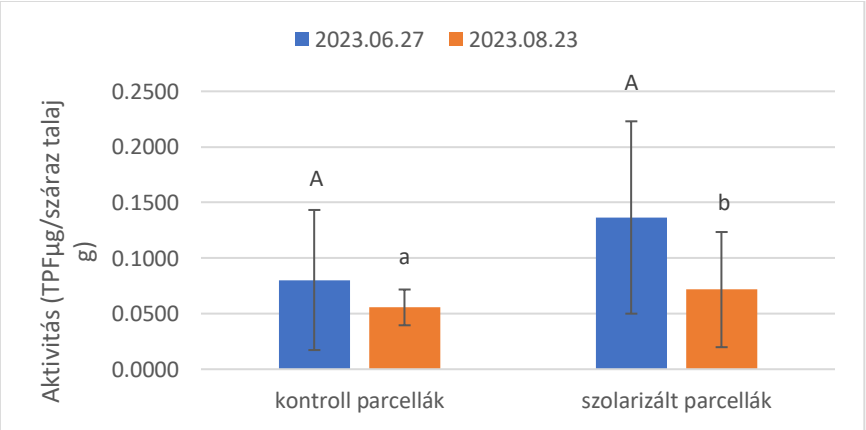
3. ábra. A kezelések hatása a gombaszámra a két időpontban. Az azonos (és megegyező formátumú) betűk statisztikailag homogén csoportokat jelölnek. Az ábrán a gombaszám átlagait és a hozzájuk tartozó szórásokat (±SD) ábrázoltuk /GLM model, P≤0,05; Tukey post hoc teszt)

A baktériumszám és a gombaszám is csökkent a júniusi és az augusztusi mintavétel között, mind a kontroll egységek, mind a kezelt egységek talajában.

Ez a kontroll talajok esetében magyarázható azzal, hogy a kísérlet kezdetén a talajt nagymértékben megbolygattuk, a gyomokat kikapáltuk, és a növénymaradványokat lehordtuk a területről. Ezzel egyrészt nagy mennyiségű szerves anyagot távolítottunk el, másrészt a talaj így takarás nélkül maradt (amíg nem nőttek ki rajta újból a gyomok), és az időjárási elemek (napsugárzás, heves esőzés) közvetlenül a felszínt érték.

A szolarizált talajok esetében a bolygatás, a gyommaradványok eltávolítása és a takarás hatására lezajló fizikai, kémiai és biológiai folyamatok együttesen játszhattak közre a mikrobaszám csökkenésében. Azonban ez a környezet jobb körülményeket teremtett a mikrobáknak, mint a kontroll parcellák talaja, amire abból következtethetünk, hogy a második időpontban a szolarizált talajok értékei szignifikánsan magasabb gomba- és baktériumszámokat mutattak, mint a kontroll talajok értékei.

Az **4. ábra** a kezelések enzimaktivitásra gyakorolt hatását mutatja mindkét időpontban. Ebben az esetben is csak az augusztus 23-ai mintavételkor volt kimutatható szignifikáns eltérés a kezelt és a kontroll parcellák között ($P<0.05$).



4. ábra. A kezelések hatása a dehidrogenáz enzimaktivitásra a két időpontban. Az azonos (és megegyező formátumú) betűk statisztikailag homogén csoportokat jelölnek. Az ábrán a dehidrogenáz enzimaktivitás átlagait és a hozzájuk tartozó szórásokat (±SD) ábrázoltuk /GLM model, $P \leq 0{,}05$; Tukey post hoc teszt)

Az idő, mint faktor a dehidrogenáz enzimaktivitást is negatívan befolyásolta. Az enzimaktivitás a kontroll és a szolarizált parcellákon is csökkent az első és a második időpont között. Az augusztusi mintákban megjelent a kezelések szignifikáns pozitív hatása, a kontroll parcellákkal összehasonlítva a szolarizált talajokban szignifikánsan magasabb enzimaktivitást mértünk.

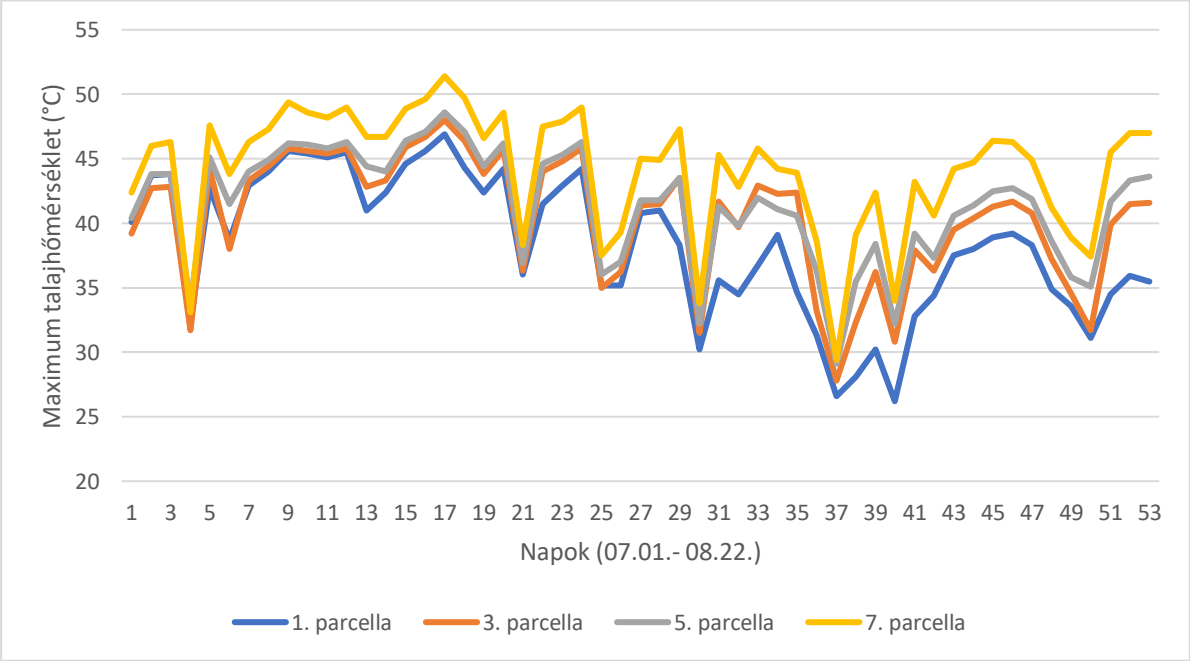
A gödöllői kísérlet eredményeihez hasonlóan többségében a külföldi kutatások is azt mutatták ki, hogy a szolarizáció következtében a mikrobaszám visszaesik a talajokban, viszont a mi eredményeinkkel ellentétben, amikor kontroll talajok értékeivel vetették össze a kezelési idő végén a szolarizált parcellák értékeit, akkor a kontroll talajok mindig szignifikánsan magasabb gomba- és baktériumszámot adtak (Gamliel – Stapleton, 1993; Khaleeque et al. 1999; Yahaya et al. 2021; Shinde et al. 2023). Egyedül nepáli tudósok (Culman et al. 2006) jutottak arra az eredményre az egyik kísérleti területükön, hogy a gombák telepképző egységeinek száma a 28 napig tartó (tehát a miénknél lényegesen rövidebb) szolarizáció után a kezelt talajmintákban magasabb értéket ért el, mint a kontroll mintákban.

A külföldi kutatások rendre az enzimaktivitás csökkenését is megállapították a szolarizált talajokban (Rao & Tarafdar 1999; Okur et al. 2006), viszont a mi eredményeinkkel ellentétben több esetben is azt mutatták ki, hogy az enzimaktivitás a kezelés után szignifikánsan magasabb értéket ért el a kontroll parcellákon, mint a szolarizált talajokban (Scopa et al. 2008; Díaz-López et al. 2019), vagy pedig nem találtak szignifikáns különbséget a két kezelés között (Kanaan et al. 2016).

A szakirodalom eredményitől való eltérés valószínű oka az lehet, hogy a kísérlet kivitelezése során több hibát vétettünk, és – ahogy azt az Alkalmazott módszerek című fejezetben már kifejtettem – a négy ismétlésből három nem sikerült tökéletesen. A kísérlet helyszínét egy enyhén lejtős terület alján jelöltük ki, és a heves esőzések során a lefolyó csapadékvíz saras réteget hordott az 1. és a 3. parcella takaróanyagára, ami akadályozta a napsugarak átjutását a fólián. Továbbá nem kellő körültekintéssel jártunk el a takarás kialakításakor; a fóliákból túl keskeny részt ástunk le, emiatt a növekvő gyomnövények a fóliaszéleket „kinyomták” a földből (**4. kép**), ami a fólia alatt keletkezett hőmennyiség csökkenéséhez vezetett az 1., 3. és 5. parcella esetében. A kezelés kizárólag a hetes számú parcellán folyt le különösebb nehézség nélkül.

4. kép: A 3-as parcella állapota 08.23-án *(forrás: saját kép)*

A fenti problémákból kifolyólag az egyes takart parcellákon eltérő környezeti körülmények alakulhattak ki. A réseken oxigénben gazdag levegő került az 1., 3. és 5. számú egységek takarása alá, ami más feltételeket biztosíthatott a mikrobáknak, mint a 7. parcella zárt rendszere. Emellett nagyobb különbségek fedezhetőek fel a hőmérsékleti adatokban, például a kezelés utolsó három hetében a 7. és a másik három szolarizált parcella maximális hőmérsékleti értékei között gyakran 5-10 °C-os eltérések voltak (**5. ábra**).



5. ábra. Napi maximum talajhőmérséklet alakulása a kezelt parcellákon (*forrás: saját ábra*)

Kérdéses, hogy egy elsődlegesen hőhatáson alapuló eljárás tanulmányozásakor, olyan esetben, mikor a hőelszökés miatt ennyire különböznek egymástól a hőmérsékleti adatok, értékelhetők-e a vizsgált egyégek egy tömbben.

5. Következtetések és javaslatok

A vizsgálatunk eredményei tehát azt mutatják, hogy a kísérlet ideje alatt ugyan csökkent a dehidrogenáz enzimaktivitás, valamint a gombák és a baktériumok száma mind a kezelt, mind a kezeletlen talajokban, de a záró időpontban vett kontroll és szolarizált mintákat összehasonlítva az utóbbiaknál szignifikánsan magasabb értékeket mértünk. A takaróanyag alóli hőelszökés és egyéb problémák miatt (melyek hatásai a hőmérsékleti adatok különbségeiben is megmutatkoztak) azonban javasolt a kísérletet megismételni, hogy a szolarizáció hatását pontosabban megmutató, megbízható eredményeket kapjunk. A kísérlet megismétlésekor ajánlott teljesen vízszintes területen kijelölni a helyszínt, a fóliák széleit legalább 30-30 cm szélességben leásni, és gyakrabban ellenőrizni a takaróanyagok állapotát.

A szakirodalom megállapításaival összhangban a gödöllői kísérlet eredményei is azt mutatják, hogy a szolarizáció hatására csökken a talajlakó mikrobák száma. Mint látjuk, arról szó sincs, hogy a kezelés teljesen kiirtaná a talajban élő mikroorganizmusokat, csak redukálja a jelenlétüket, azáltal, hogy a napsugárzás olyan mértékben (40-50 °C) felmelegíti a letakart talajt, hogy az már meghaladja a mezofil mikroorganizmusok toleranciaszintjét. Bár a legtöbb talajlakó mikroba működéséhez az alacsonyabb hőmérséklet az optimális, a termofil és termotoleráns mikrobák magasabb hőmérsékleten is aktívak, és átveszik a feladatok (pl. lebontás, nitrifikáció) egy részét. Viszont a termofil és termotoleráns szervezetek populációnövekedése sem tudja ellensúlyozni a mezofil mikroorganizmusok pusztulását egy hosszabb időtartamú kezelés során.

A külföldi kutatások (Sharma – Sharma, 2002) kimutatták, hogy a kezelés időtartama és a mikrobaszám között negatív korreláció áll fenn. Ezért, ha szeretnénk a nem patogén, esetleg a növénytermesztés szempontjából hasznos talajlakó mikroorganizmusokat érő negatív hatásokat mérsékelni, érdemes a szolarizáció időtartamát csökkenteni. Ha adottak a megfelelő időjárási körülmények, és júliusban alig takarja felhő az eget nappal, 4 hetes kezelés is elegendő lehet a hazai éghajlati viszonyok között.

A szakirodalom adatai (Okur et al. 2006; Birthisel et al. 2019) alapján arra lehet következtetni, hogy nemcsak a rövidebb időtartalmú, hanem az ökológiai gazdálkodás keretei között lefolytatott kezelés is kevésbé negatívan befolyásolja a talajlakó mikroorganizmusokat. Feltételezhető, hogy az egészséges talajéletet fenntartó ökogazdaságok talajaiban élő mikrobaközösségek ellenállóképessége nagyobb a kezelés hatásaival szemben. Ennek

vizsgálatához a jövőben érdemes lenne kísérleti helyszínként egy több éve működő ökológiai gazdaságot is kijelölni.

6. Összefoglalás

A szolarizáció hatékony gyomszabályozási és talajfertőtlenítési módszer, melynek alkalmazását ökológiai gazdálkodásban is engedélyezi a hatályos, 2018/848. számú Európai Uniós rendelet.

A kezelésnek a talajban élő, nem patogén mikroorganizmusokra gyakorolt hatását illetően megoszlik a tudósok véleménye. A kutatók többsége a mikrobaszám és a közösségek diverzitásának csökkenéséről számol be, de az eredmények nem teljesen egyöntetűek. Elsősorban rövidebb időtartamú kezelésnek alávetett, és (feltételezhetően egészségesebb talajélettel rendelkező) ökológiai gazdálkodású területek talajaiban nem tapasztalták a mikrobiális biomassza csökkenését.

A külföldi kutatási eredmények emellett beszámolnak arról, hogy egyes, a növénytermesztés szempontjából hasznos talajlakó mikrobacsoportokra a szolarizáció nem (pl. termofil és termotoleráns gombák) vagy alig (pl. sugárgombák, *Bacillus* spp.) fejt ki negatív hatást. Más taxonok denzitása a kezelés ideje alatt jellemzően lecsökken, de azt követően képesek gyorsan újra benépesíteni a talajt (pl. *Pseudomonas* spp.). Egyes hasznos, a magas hőmérsékletre érzékeny, mezofil mikroorganizmusok (pl. mikorrhiza gombák) esetében viszont jelentős mértékű populációcsökkenésről tudósítanak a kutatók. Továbbá a különböző talajenzimek aktivitásának változását vizsgálva is a szolarizáció kifejezetten negatív hatásáról számolnak be a tanulmányok.

A 2023 nyarán, Gödöllőn lezajlott kísérletünk eredményei ehhez hasonlóan azt mutatták, hogy a szolarizációs eljárás ideje alatt mind a baktériumok, mind a gombák száma, és a dehidrogenáz enzim aktivitása is csökken. Viszont a fenti mutatók a kísérlet lezárásakor, a kontroll talajokkal összehasonlítva, a szolarizált parcellák mintáiban szignifikánsan magasabb értéket értek el. Mivel azonban a kezelt parcellák közül három ismétlésben nem sikerült végig fenntartani a megfelelő körülményeket (pl. a növekvő gyomnövények kinyomták a fóliát a talajból), nehéz megállapítani, hogy mindezen változások és különbségek pontosan milyen okokra vezethetőek vissza, ezért javasolt a kísérletet megismételni.

Összességében úgy vélem, hogy az eljárás egy összetett növényvédelmi és gyomszabályozási stratégia hatékony eleme lehet, és nyilvánvaló hátrányai ellenére (mint amilyen például a nagy mennyiségű műanyag hulladék keletkezése) kiválóan beilleszthető az ökológiai gazdálkodás rendszerébe, főként oly módon, ha a gazdálkodók valóban kiemelt hangsúlyt fektetnek az egészséges talajélet fenntartására, és így a talajban élő mikroorganizmusok nem látják komolyabb kárát a kezelésnek.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, dr. Gál Izóra tanárnőnek (Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási Tanszék) a dolgozat megírása közben adott tanácsait, útmutatását és lelkes közreműködését a kísérlet kivitelezésében.

Szeretnék köszönetet mondani dr. Kotroczó Zsoltnak (Agrárkörnyezettani Tanszék), aki minden elképzelhető segítséget megadott a laboratóriumi mérések során, és azt követően is számíthattam rá, ha valamilyen kérdés vagy probléma felmerült a dolgozattal kapcsolatban.

Köszönöm Kovács Flóriánnak, az Agrárkörnyezettani Tanszék doktorandusz hallgatójának, hogy segített elkészíteni a statisztikai adatelemzést, és hogy azután is fordulhattam hozzá magyarázatért, ha valamit nem értettem.

Köszönöm dr. Tirczka Imre tanár úrnak (Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási Tanszék) és szakdolgozójának, Czijáky Mónikának, hogy csatlakozhattunk hozzájuk, és velük együttműködve lebonyolíthattuk ezt a vizsgálatot. És szeretném megköszönni Tirczka tanár úrnak azt a rengeteg időt és energiát is, amit a kísérlet megvalósítására szánt.

Irodalomjegyzék

Ashrafi, Z. Y. – Alizadeh, H. M. – Sadeghi, S. (2008): Effect of soil solarization on the control of Egyptian broomrape (*Orobanche aegyptiaca*) and yield improvement of cucumber (*Cucumis sativus*) grown in greenhouse. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 14(6), 583-591. Letöltés dátuma: 2023. 10. 12. Forrás:https://www.researchgate.net/publication/268047634_Effect_of_soil_solarization_on_the_control_of_egyptian_broomrape_orobanche_aegyptiaca_and_yield_improvement_of_cucumber_cucumis_sativus_grown_in_greenhouse

Balakrishna, A. N. – Lakshmipathy, R. – Bagyaraj, D. J. – Ashwin, R. (2015): Effect of soil solarization on native AM fungi and microbial biomass. *Agricultural Research*, 4(2), 196-201. DOI: 10.1007/s40003-015-0156-8

Bendavid-Val, R. – Rabinowitch, H. D. – Katan, J. – Kapulnik, Y. (1997): Viability of VA-mycorrhizal fungi following soil solarization and fumigation. *Plant and Soil*, 195, 185-193. DOI: 10.1023/A:1004200316520

Birthisel, S. K. – Gallandt, E. R. – Cuncha, A. E. S. (2018): Solarization and tarping for weed management on organic vegetable farms in the Northeast USA. Letöltés dátuma: 2023. 10. 10. Forrás: https://eorganic.org/node/25440

Birthisel, S. K. – Smith, G. A. – Mallory, G. M. – Hao, J. – Gallandt, E. R. (2019): Effects of field and greenhouse solarization on soil microbiota and weed seeds in the northeast USA. *Organic Farming*, 5(1), 66-78. DOI: 10.12924/of2019.05010066

Bonanomi, G. – Chiurazzi, M. – Caporaso, S. – Del Sorbo, G. – Moschetti, G. – Felice, S. (2008): Soil solarization with biodegradable materials and its impact on soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 1989-1998. DOI:10.1016/j.soilbio.2008.02.009

Culman, S. W. – Duxbury, J. M. – Lauren, J. G. – Thies, J. E. (2006): Microbial community response to soil solarization in Nepal's rice-wheat cropping system. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 3359-3371. DOI:10.1016/j.soilbio.2006.04.053

D'Addabbo, T. – Miccolis, V. – Basile, M. – Candido, V. (2010): Soil solarization and sustainable agriculture. In: Lichtfouse, E. (szerk.): Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science, Sustainable Agriculture Reviews Volume 3. Dijon: Springer, pp. 217-274. DOI: 10.1007/978-90-481-3333-8_9

Demény K. (2007): A Gödöllői-dombság általános bemutatása. *Tájökológiai Lapok*, 5 (2), 213–223. Letöltés dátuma: 2023.10.23. Forrás: http://real.mtak.hu/126191/1/01_Demeny.pdf

Díaz-López, M. – García, C. – Garrido, I. – Navarro, S. – Vela, N. – Nicolás, E. – Fenoll, J. – Bastida, F. (2019): Solarization-based pesticide degradation results in decreased activity and biomass of the soil microbial community. *Geoderma*, 354, Paper 113893, 6 p. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113893

Di Mola, I. – Ventorino, V. – Cozzolino, E. – Ottaiano, L. – Romano, I. – Duri, L. G. – Pepe, O. –Mori, M. (2021): Biodegradable mulching vs traditional polyethylene film for sustainable solarization: Chemical properties and microbial community response to soil management. *Applied Soil Ecology*, 163, Paper 103921, 9 p. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103921

Gamliel, A. – Stapleton, J. J. (1993): Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganism, and lettuce growth. *Plant Disease*, 77(9), 886-891. DOI:10.1094/PD-77-0886

Kanaan, H. – Frenk, S. – Raviv, M. – Medina, S. – Minz, D. (2018): Long and short term effects of solarization on soil microbiome and agricultural production. *Applied Soil Ecology*, 124, 54-61.
DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.10.026

Kanaan, H. – Minz, D. – Medina, S. – Krasnovsky, A. – Raviv, M. (2016): The interdependent effects of solar disinfestation and compost maturity level on soil microbial activity. *Phytoparasitica*, 44, 55-64. DOI: 10.1007/s12600-015-0501-2

Katan, J. (2015): Soil solarization: the idea, the research and its development. *Phytoparasitica*, 43, 1-4. DOI: 10.1007/s12600-014-0419-0

Katan, J. – Greenberger, A. – Alon, H. – Grinstein, A. (1976): Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, 66, 683-688. Letöltés dátuma: 2023, 10. 15. Forrás: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1976Articles/Phyto66n05_683.PDF

Khaleeque, M. I. – Khan, S. M. – Khan, M. A. (1999): Effect os soil solarization on population density of thermophilic fungi, actinomycetes and soil bacteria. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 11(2), 159-162. Letöltés dátuma: 2023. 10. 15. Forrás: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Khan-1184/publication/349310989_EFFECT_OF_SOIL_SOLARIZATION_ON_POPULATION_DENSITY_OF_THERMOPHILIC_FUNGI_ACTINOMYCETES_AND_SOIL_BACTERIA/links/602a1cb74585158939a65ff8/EFFECT-OF-SOIL-SOLARIZATION-ON-POPULATION-DENSITY-OF-THERMOPHILIC-FUNGI-ACTINOMYCETES-AND-SOIL-BACTERIA.pdf

Kiehr, M. – Delhey, V. K. – Ayastuy, M. E. – Rodríguez, R. A. – Zappacosta, D. – Delhey R. (2021): Combined effect of organic amendments, biofumigation and solarization on onion growth and on pink root (*Setophoma terrestris*) severity. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 14(9), 13-19. DOI: 10.9790/2380-1409031319

Libisch B. – Villányi I. – Füzy A. – Horváth N. – Biró B. (2010): Identification and characterization of bacterial strains capable to degrade aircraft deicing fluids at four degrees. *Journal of Biotechnology*, 150, 259-259. DOI:10.1016/j.jbiotec.2010.09.151

Okur, N. – Göcmez, S. – Tüzel, Y. (2006): Effect of organic manure application and solarization on soil microbial biomass and enzyme activities under greenhouse conditions. *Biological Agriculture and Horticulture*, 23(3), 305-320. DOI: 10.1080/01448765.2006.9755331

Pastrana, A. M. – Shea, E. A. – Fernandez-Bayo, J. D. – Allison, B. – Watson, D. C. – Toniato, J. – Gordon, T. R. – Simmons, C. W. (2022): Impact of biosolarization with almond hull and shell amendments for the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* in a lettuce/tomato cropping system. *Crop Potection*, 152, Paper 105856, 9 p. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105856

Porras, M. – Barrau, C. – Romero, F. (2007): Effects of soil solarization and *Trichoderma* on strawberry production. *Crop Protection*, 26, 782-787. DOI: 10.1016/j.cropro.2006.07.005

Rao, A. V. – Tarafdar, J. C. (1999): Soil solarization for mass scale production of arbuscular mycorrhizal fungal inoculum in Indian arid zone. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 69(4), 271-274. Letöltés dátuma: 2023. 10. 15. Forrás: https://www.researchgate.net/publication/262183175_Soil_solarization_for_mass_scale_production_of_arbuscular_mycorrhizal_fungal_inoculum_in_Indian_arid_zone

Rubayet, M. T. – Bhuiyan, M. K. A. – Jannat, R. – Masum, M. M. I. – Hossain, M. M. (2018): Effect of biofumigation and soil solarization on stem canker and black scurf diseases of potato (*Solanum tuberosum* L.) caused by *Rhizoctonia solani* isolate PR2. *Advances in Agricultural Science*, 6(3), 33-48. Letöltés dátuma: 2023. 10. 15. Forrás: https://www.researchgate.net/publication/328042498_Effect_of_biofumigation_and_soil_solarization_on_stem_canker_and_black_scurf_diseases_of_potato_Solanum_tuberosum_L_caused_by_Rhizoctonia_solani_isolate_PR2

Russo, G. – Candura, A. – Scarascia-Mugnozza, G. (2005): Soil solarization with biodegradable plastic film: two years of experimental tests. *Acta Horticulturae*, 691, 717-724. DOI:10.17660/ActaHortic.2005.691.88

Schreiner, R. P. – Ivors, K. L. – Pinkerton, J. N. (2001): Soil solarization reduces arbuscular mycorrhizal fungi as a consequence of weed suppression. *Mycorrhiza*, 11, 273-277. DOI: 10.1007/s005720100131

Scopa, A. – Candido, V. – Dumontet, S. – Miccolis, V. (2008): Greenhouse solarization: effects on soil microbiological parameters and agronomic aspects. *Scientia Horticulturae*, 116, 98-103. DOI:10.1016/j.scienta.2007.11.008

Scopa, A. – Candido, V. – Dumontet, S. – Pasquale, V. – Miccolis, V. (2009): Repeated solarization and long-term effects on soil microbiological parameters and agronomic traits. *Crop Protection,* 28, 818-824. DOI:10.1016/j.cropro.2009.06.014

Sharma, M. – Sharma, S. K. (2002): Effect of soil solarization on soil microflora with special reference to *Dematophora necatrix* in apple nurseries. *Indian Phytopathology*, 55(2), 158-162. Letöltés dátuma: 2023. 10. 15. Forrás: https://epubs.icar.org.in/index.php/IPPJ/article/view/18688/9062

Shea, E. A. – Fernández-Bayo, J. D. – Hodson, A. K. – Parr, A. E. – Lopez, E. – Achmon, Y. – Toniato, J. – Milkereit, J. – Crowley, R. – Stapleton, J. J. – VanderGheynst, J. S. – Simmons, C. W. (2022): Biosolarization restructures soil bacterial communities and decreases parasitic

nematode populations. *Applied Soil Ecology*, 172, Paper 104343, 13 p. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.104343

Shi, C. – Hu, J. – Wei, Q. – Yang, Y. – Cheng, J. – Han, H. - Wu, Q. - Wang, Sh. – Xu, B. – Su, Q. – Li, Ch. – Zhang, Y. (2018): Control of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) by soil solarization. *Crop Protection*, 114, 76-82. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.08.020

Shinde, Y. A. – Jagtap, M. P. – Patil, M. G. – Khatri, N. (2023): Experimental investigation on the effect of soil solarization incorporating black, silver, and transparent polythene, and straw as mulch, on the microbial population and weed growth. *Chemospere*, 336, Paper 139263, 7 p. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139263

Simmons, C. W. – Claypool, J. T. – Marshall, M. N. – Jabusch, L. K. – Reddy, A. P. – Simmons, B. A. – Singer, S. W. – Stapleton, J. J. – VanderGheynst, J. S. (2014): Characterization of bacterial communities in solarized soil amended with lignocellulosic organic matter. *Applied Soil Ecology*, 73, 97-104. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.08.014

Sofi, T. A. – Tewari, A. K. – Razdan, V. K. – Koul, V. K. (2014): Long term effect of soil solarization on soil properties and cauliflower vigor. *Phytoparasitica*, 42, 1-11. DOI: 10.1007/s12600-013-0331-z

Stapleton, J. J. – DeVay, J. E. (1982): Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology*, 72(3), 323-326. Letöltés dátuma: 2023. 10. 15. Forrás: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1982Articles/Phyto72n03_323.PDF

Stevens, C. – Khan, V. A. – Rodriguez-Kabana, R. – Ploper, L. D. – Backman, P. A. – Collins, D. J. – Brown, J. E. – Wilson, M. A. – Igwegbe, E. C. K. (2003): Integration of soil solarization with chemical, biological and cultural control for the management of soilborne diseases of vegetables. *Plant and Soil*, 253, 493-506. DOI: 10.1023/A:1024895131775

Szili-Kovács T. – Kátai J. – Takács T. (2011): Mikrobiológiai indikátorok alkalmazása a talajminőség értékelésében. 1. Módszerek. *Agrokémia és Talajtan*, 60(1), 273-286. DOI: 10.1556/Agrokem.60.2011.1.20

Thalmann, A. (1968): Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid. *Landwirtschaftliche Forschung*, 21, 249–258.

Veres Zs. – Kotroczó Zs. – Magyaros K. – Tóth J.A. – Tóthmérész B. (2013): Dehydrogenase Activity in a Litter Manipulation Experiment in Temperate Forest Soil. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 9, 25–33. DOI: 10.2478/aslh-2013-0002

Yahaya, O. T. – Obadiah, D. C. – Oladele, O. E. – Obi, C. – Edache, O. J. – Haruna, J. A. – Oripelaye, F. D. (2021): Effects of soil solarization on fungal and bacterial populations associated with *Amaranthis viridis* L. (african spinach) in Lagos, Nigeria. *African Journal of Health, Safety and Environment*, 2(2), 133-153. DOI: 10.52417/ajhse.v2i2.168

Yokoe, K. – Maesaka, M. – Murase, J. – Asakawa, S. (2015): Solarization makes a great impact on the abundance and composition of microbial communities in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(4), 641-652. DOI: 10.1080/00380768.2015.1048183

Hivatkozott jogszabály:

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/848 rendelete (2018. május 30.) az ökológiai termelésről és az ökológiai termékek jelöléséről, valamint a 834/2007/EK tanácsi rendelet hatályon kívül helyezéséről

Táblázatok és ábrák jegyzéke

A szakdolgozatban szereplő táblázatok:

1. táblázat: A kísérleti terület talajának fizikai és kémiai tulajdonságai.....14
2. Táblázat. Faktorok és az interakció hatása a függő változókra.....20

A szakdolgozatban szereplő ábrák:

1. ábra: A szolarizáció hatásmechanizmusa.....2
2. ábra. A kezelések hatása a baktériumszámra a két időpontban.....21
3. ábra. A kezelések hatása a gombaszámra a két időpontban.....21
4. ábra. A kezelések hatása a dehidrogenáz enzimaktivitásra a két időpontban 22
5. ábra. Napi maximum talajhőmérséklet alakulása a kezelt parcellákon.....24

A szakdolgozatban szereplő képek:

1. kép: Biológiailag lebomló fólia degradációja szolarizációt követően 3
2. kép: A terület a kísérlet előtt.....14
3. kép: A parcellák közvetlenül takarás után.....15
4. kép: A 3-as parcella állapota 08.23-án.....23

Mellékletek

1. Melléklet. A laboratóriumi mérések eredményei.

		2023.06.27	2023.08.23	2023.06.27	2023.08.23	2023.06.27	2023.08.23	2023.06.27	2023.08.23	2023.06.27	2023.08.23	2023.06.27	2023.08.23
		Baktérium szám (sejt/mL)	**Baktérium szám** (sejt/mL)	**Baktérium szám Log10** (sejt/mL)	**Baktérium szám Log10** (sejt/mL)	**Gomba szám** (sejt/mL)	**Gomba szám** (sejt/mL)	**Gomba szám Log10** (sejt/mL)	**Gomba szám Log10** (sejt/mL)	**Nedvesség-tartalom %**	**Nedvesség-tartalom %**	**Aktivitás** (TPFµg/száraz talaj g)	**Aktivitás** (TPFµg/száraz talaj g)
0-5 cm-es mélység													
szolarizált parcellák	1	$4,3 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	6,633	6,176	$9,3 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	6,968	5,633	4,72	7,89	0,321	0,115
	3	$2,3 \times 10^6$	$7,5 \times 10^6$	6,362	6,875	$9,3 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	6,968	5,633	4,82	6,65	0,192	0,027
	5	$1,5 \times 10^7$	$7,5 \times 10^6$	7,176	6,875	$9,3 \times 10^6$	$4,3 \times 10^6$	6,968	6,633	4,02	8,35	0,116	0,044
	7	$2,3 \times 10^7$	$4,3 \times 10^5$	7,362	5,633	$2,3 \times 10^7$	$9,3 \times 10^5$	7,362	5,968	4,58	6,92	0,052	0,071
kontroll parcellák	2	$4,3 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$	6,633	5,362	$2,3 \times 10^7$	$9,3 \times 10^5$	7,362	5,968	4,95	3,23	0,052	0,074
	4	$9,3 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$	6,968	6,362	$2,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$	6,322	5,362	4,66	3,54	0,052	0,036
	6	$1,5 \times 10^7$	$2,3 \times 10^6$	7,176	6,362	$9,3 \times 10^6$	$4,3 \times 10^6$	6,968	6,633	4,64	3,75	0,223	0,038
	8	$4,3 \times 10^7$	$9,3 \times 10^5$	7,633	5,968	$9,3 \times 10^6$	$9,3 \times 10^5$	6,968	5,968	4,30	4,57	0,044	0,067
5-10 cm-es mélység													
szolarizált parcellák	1	$2,3 \times 10^7$	$7,5 \times 10^5$	7,362	5,875	$2,3 \times 10^7$	$4,3 \times 10^5$	7,362	5,633	5,92	6,78	0,107	0,179
	3	$2,3 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$	6,362	6,322	$4,3 \times 10^6$	$7,5 \times 10^4$	6,633	4,875	5,85	7,37	0,091	0,040
	5	$2,3 \times 10^7$	$9,3 \times 10^5$	7,362	5,968	$9,3 \times 10^6$	$9,3 \times 10^5$	6,968	5,968	6,35	7,17	0,068	0,065
	7	$2,3 \times 10^7$	$4,3 \times 10^5$	7,362	5,633	$2,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^5$	7,362	5,362	5,65	7,06	0,145	0,032
kontroll parcellák	2	$9,3 \times 10^6$	$7,5 \times 10^6$	6,968	6,875	$2,3 \times 10^6$	$9,3 \times 10^4$	6,362	4,968	5,96	5,98	0,039	0,064
	4	$2,3 \times 10^6$	$9,3 \times 10^5$	6,362	5,968	$7,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$	6,875	5,176	5,73	5,02	0,066	0,046
	6	$2,3 \times 10^7$	$4,3 \times 10^5$	7,362	5,633	$4,3 \times 10^7$	$4,3 \times 10^5$	7,633	5,633	6,37	5,83	0,047	0,045
	8	$2,1 \times 10^7$	$7,5 \times 10^5$	7,322	5,875	$7,5 \times 10^7$	$2,3 \times 10^5$	7,875	5,362	5,93	5,42	0,119	0,075

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Fábos Veronika

A Hallgató Neptun kódja: PPC2ZB

A dolgozat címe: A szolarizáció hatása a talajban élő mikroorganizmusokra

A megjelenés éve: 2023

A konzulens intézetének neve: Vidékfejlesztési és Fenntartható Gazdaság Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Agroökológiai és Ökológiai Gazdálkodási Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

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

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év november hó 10 nap

Fábos Veronika

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Fábos Veronika (hallgató Neptun azonosítója: PPC2ZB) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot[1] áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom / nem javaslom**[2].

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*[3]

Kelt: Budapest, 2023. 11. 07.

belső konzulens

[1] A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.
[2] A megfelelő aláhúzandó.
[3] A megfelelő aláhúzandó.