

DIPLOMADOLGOZAT

Czijáky Mónika Zsuzsanna

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet

Környezetgazdálkodási agrármérnök mesterképzési szak

**SZOLARIZÁCIÓ HATÁSA A TALAJHŐMÉRSÉKLETRE ÉS A
GYOMOSODÁSRA**

Belső konzulens:

Dr. Tirczka Imre

egyetemi docens

Belső konzulens

intézete/tanszéke:

Agroökológiai és Ökológiai

Gazdálkodási Tanszék

Készítette:

Czijáky Mónika Zsuzsanna

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések.....	5
2.	Szakirodalmi áttekintés	7
2.1.	Szolarizáció	7
2.2.	Szolarizációt befolyásoló tényezők.....	8
2.3.	Szolarizáció hatásai / következményei.....	10
2.3.1.	Talajhőmérséklet	10
2.3.2.	Talajnedvesség	10
2.3.3.	Gyomok	11
2.3.4.	Kórokozók, kártevők.....	12
2.3.5.	Tápanyag	13
2.3.6.	Terméshozam	14
2.4.	Szolarizáció hatását fokozó módszerek.....	14
2.5.	Szolarizáció előnyei és korlátai.....	15
2.5.1.	Előnyök	15
2.5.2.	Korlátok	16
3.	Anyag és módszer.....	18
3.1.	A kísérlet helyszíne	18
3.2.	A kísérlet menete	19
3.3.	Kezelések	19
3.4.	Hőmérsékletmérés	20
3.5.	Talajnedvesség	21
3.6.	Gyomfelvételezés	21
3.7.	Adatok kiértékelése.....	22
4.	Eredmények és értékelésük	23
4.1.	Hőmérséklet alakulása	23
4.1.1.	Napi átlaghőmérséklet	23
4.1.2.	Éjszakai átlaghőmérséklet	24
4.1.3.	Nappali maximum hőmérséklet	26
4.2.	Talajnedvesség alakulása.....	33
4.3.	Gyomborítottság alakulása.....	35
4.3.1.	Összes gyomborítás	35
4.3.2.	Borítás növényfajonként	36
4.3.3.	Gyomborítás életforma csoportonként.....	40

5.	Következtetések és javaslatok.....	49
6.	Összefoglalás	52
7.	Irodalomjegyzék.....	54
8.	Ábrák és táblázatok jegyzéke	57

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A növénytermesztés során jelentkező hátráltató tényezők közül az egyik legjelentősebb a gyomok jelenléte, mely komoly anyagi károkat, termés kiesést okozhat a nem megfelelő szabályozás következtében. A termés mennyiségek csökkenése mellett annak minőségét is negatív irányba befolyásolja a gyomok túlzott elszaporodása, veszélyt jelenthetnek az állatok egészségére, egyes fajok esetében akár mérgezést okozva (Abouziena, Haggag, 2016). A termés kiesés egyik fő oka, hogy a talajban található tápanyagokat és vizet a gyomállomány elvonja a kultúrnövénytől, csírázási és növekedési sebességtől függően pedig a fénytől is potenciálisan el tudja zárni (Candido et al. 2011).

A probléma súlyosságát mi sem bizonyítja jobban, minthogy hazánkban 2022-ben a forgalomba hozott növényvédőszer-hatóanyagok 53%-át tették ki különböző herbicidek, gyom- és mohairtó szerek ([http1.](#)), összesen 4 618 tonnányi készítmény került kereskedelmi forgalomba. A hagyományos gazdálkodásokban rendszerint ezekkel a peszticidekkel védekeznek a termelők. A gyomirtószerek felhasználása a talaj, a felszíni, a felszín alatti vizek, valamint a levegő szennyezéséhez járulhat hozzá. Ezentúl potenciális veszélyt jelenthet a nem célzott élőlényekre, károsítja egyes növény- és állatfajok egészségét, hozzájárulva így a biológiai sokféleség csökkenéséhez ([http2.](#)). Ezentúl a lakosság által elfogyasztott élelmiszerben is lehetnek szermaradványok a herbicidhasználat következtében, mely komoly egészségügyi kockázatot jelent.

Számos növényvédőszer-hatóanyag került betiltásra vagy vonták felülvizsgálat alá az emberre és környezetre gyakorolt káros hatásuk miatt. Ilyen szer volt az Európai Unióban 2010. március 18-tól kivont metil-bromid, mely az ózonrétegre gyakorolt káros hatása miatt került betiltásra. Később, 2015-ben a fejlődő országokban is betiltásra került a hatóanyag (Dai et al. 2016; Pinkerton et al. 2000.). Szintén az Európai Unióban került betiltásra az atrazin 2004-ben, melynek fitotoxikus, lehetséges rákkeltő hatása jelent kiemelkedő veszélyt (Pál – Simon 2005), emellett bizonyos béka- és halfajok szaporodási rendszerében is képes zavart okozni ([http3.](#)). Fontos kiemelni, hogy ezen hatóanyag az Amerikai Egyesült Államokban jelenleg is engedélyezett.

Az európai zöld megállapodás, vagyis „Green Deal” keretein belül a mezőgazdaság fenntarthatóvá tételét célul kitűző stratégia, vagyis a „Farm to Fork Strategy” célkitűzései között szerepel a kémiai növényvédőszeres használatának csökkentése. A Bizottság 2030-ig szeretné 50%-kal csökkenteni a peszticidek használatát, valamint kockázatát. Ennek gyakorlatban való működéséhez több területen is lépéseket terveznek tenni, az integrált növényvédelem népszerűsítésével és alternatív technológiák ösztönzésével, mint a mechanikai gyomszabályozás.

A mechanikai gyomszabályozáson túl azonban más alternatív védekezési módok is elérhetőek a gazdálkodók számára. Ilyen módszer többek között a talajszolarizálás, mulcsozás, hamismagágy készítése, talajgőzölés, gyomelnyomó fajták alkalmazása és az elektromos gyomirtás (Abouziena, Haggag, 2016).

A talajszolarizáció hazánkban kevésbé kutatott terület, pedig itthon is eredményes lehet az alkalmazása. A szolarizáció hatékonyságát a napsugárzás hatására bekövetkező magas talajhőmérséklet fertőtlenítő hatása adja. Ez a hatás már Magyarországon is egyre könnyebben elérhető a globális felmelegedésnek köszönhetően, melynek következtében emelkedő tendencia figyelhető meg a nappali átlagos és maximális hőmérsékleti értékekben ([http4.](#)), valamint a napsütéses órák számában ([http5.](#)) is.

Különösen fontos a szolarizáció hatékonyságának itthoni kutatása, mivel vegyszermentes módszerként hatékonyan léphet fel egyes kórokozók, elsősorban a gyomnövények ellen. Emellett fontos érv mellette, hogy alkalmazható ökológiai gazdálkodásban is, a „Farm to Fork Strategy” pedig célul tűzte ki az ökológiai gazdálkodás alá vont területek növelését, melyet minden tagállamnak teljesítenie kell, így Magyarországnak is. A szolarizáció potenciálisan egy új eszköz lehet a hazai ökológiai gazdálkodók számára a talajban terjedő gyomnövények, egyéb kártevők elszaporodásának megelőzéséhez.

Dolgozatommal szerettem volna hozzájárulni a talajszolarizáció itthoni lehetőségeinek kiaknázáshoz, hatásmechanizmusának teljes körű megismeréséhez. A szolarizáció alkalmazása során annak gyomállományra, talajhőmérsékletre, valamint talajnedvességre gyakorolt hatását vizsgáltam. Az itt gyűjtött adatok esetleg további kutatásokhoz adhatnak kiindulópontot, így a jövőben akár szélesebb körben is elterjedhet a módszer és több hazai gazdálkodó tudja sikeresen alkalmazni.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Szolarizáció

A talajszolarizálás egy olyan speciális mulcsozási technika, mely során a nedves talajt lefedik műanyagfóliával és több héten át melegítik a napsugárzás segítségével a meleg nyári hónapokban. A módszer a talaj termikus fertőtlenítésére szolgál, ami a megemelkedett hőmérséklet és a nedvesség által kiváltott üvegházhatásnak köszönhető (Marenco, Lustosa 2000). A talajszolarizáció tehát egy nem kémiai módszer, amelyet számos országban sikeresen alkalmaznak a talajban előforduló gyomok, atkák és más kártevők visszaszorítására (Abouzienna, Haggag 2016).

A szolarizációt elsődlegesen olyan régiókban alkalmazzák, ahol magas a globális sugárzás értéke, ugyanis itt tud legjobban érvényesülni a talajmelegítő hatás. A mediterrán, sivatagi és trópusi éghajlatú országokban, ahol a levegő hőmérséklete nyáron kifejezetten magas a termőterületek egy részét kénytelenek ezekben a melegebb időszakokban kivonni a termelésből. Ezekben a hónapokban érdemes alkalmazni a talajszolarizációt, így nem jár a technika terméskieséssel sem (Stapleton 2000).

A szolarizáció az ökológiai gazdálkodás EU-s törvényi szabályozásában, mint lehetséges növényvédelmi eljárás szerepel (EU 2018/848 - II.melléklet I. rész 1.10.1.). Ennek ellenére világszinten egyelőre még csak kis mértékben használják a szintetikus anyagok helyettesítésére (Stapleton 2000).

A szolarizáció passzív folyamat, amely során az általában átlátszó műanyag fóliával letakart nedves talajfelszín napenergiával történő felmelegítése történik. A napsugárzás hatására a talaj - főképp a legfelső 5-10 cm-es réteg (Abouzienna, Haggag 2016) - nappal felmelegszik, majd az éjszaka során lehűl (Stapleton 2000). A napközben történő nagymértékű felmelegedés annak köszönhető, hogy az átlátszó fóliának hatására a napenergia könnyebben bejut a talajba, ott pedig hosszabb hullámhosszú infravörös energiává alakul, a fólia alatt ráadásul csapdába kerül és „üvegházhatás” alakul ki (Stapleton 2000).

Ezzel szemben a fekete fólia el tudja nyelni a beérkező napenergiát, melynek során kisebb része kerül a talajba (Stapleton 2000). Azonban fontos megjegyezni, hogy minél jobban

érintkezik a fólia a talajfelszínnel, a fekete talajtakaró anyag által elnyelt energiából annál nagyobb mennyiség képes bekerülni a talajba (Öz, H. 2023), így egyes gazdaságokban használják a fekete fóliát is talajszolarizálásra (Stapleton 2000).

2.2. Szolarizációt befolyásoló tényezők

A talaj szolarizálásának hatékonysága több tényezőtől is függ. Alapvetően azon tényezők befolyásolják leginkább, melyek a fedetlen talaj felmelegedésére is hatással vannak. Így döntő a napsugárzás intenzitása, időtartalma, valamint az erre ható tényezők is, mint a felhők, köd, pára és a légszennyezés. Meghatározó továbbá a terület kitettsége, a szélviszonyok, a csapadék, a területen kialakuló növénytakaró árnyékolása. Maga a talaj is nagymértékben befolyásolja a szolarizáció sikerességét, fontos tényező a színe, szerkezete, víztartalma és ebből adódóan a hőelnyelő képessége, hőkapacitása és a hővezető képessége (Varga-Haszonits 1987, Stapleton 2000).

Az eljárás eredményessége nem kizárólag külső tényezőktől függ, maga a beállítás, a gazdálkodó által választott módszerek és anyagok is döntő szerepet játszanak ebben. Egyik fontos tényező, amit figyelembe kell venni a kivitelezés során, a fólia magassága a talajtól. A talajszolarizálás akkor a leghatékonyabb, ha a talajtakaró anyag és a talaj a lehető legszorosabban érintkeznek egymással (Jagtap et al. 2022). Ahhoz, hogy ez megvalósuljon, a művelt felszínt érdemes talajműveléssel elsimítani (Komariah et al. 2011). Cai-hua Shi et al. (2018) is vizsgálta szolarizáció során a fólia talajfelszíntől való magasságának hatását is. A fólia magasságát a talaj felszínétől 0 cm-ről 30 cm-re növelve nőtt a talaj hőmérséklete az 5 cm-es mélységben, valamint nőtt a 40 °C-ot meghaladó időtartam is. Ezután tovább növelte a fólia magasságát (0,6; 0,9; 1,2; 1,5 m), aminek következtében mindkét érték csökkent.

A fólia típusa, színe, vastagsága, valamint cseppmentessége is befolyásolja a talaj felmelegedésének mértékét a szolarizáció során. Cai-hua Shi et al. (2018) különböző fóliák hatását vizsgálva kimutatta, hogy a legnagyobb talajhőmérséklet növekedés az 5 cm-es talajrétegben volt. Emellett a leghosszabb 40°C-ot meghaladó talajhőmérséklet időtartam a 0,12 mm vastag világoskék cseppmentes fólia és a 0,12 mm vastag fehér cseppmentes fólia esetében volt tapasztalható. Az értékek két fólia közül a 0,12 mm vastag világoskék cseppmentes fóliánál valamivel nagyobbak voltak, de a különbség nem volt szignifikáns. A

talajhőmérséklet a cseppálló fóliákkal nőtt és magasabb volt, mint a többi vizsgált fólia esetében. Egy másik vizsgálat során Brazíliában megállapították (Marenco - Lustosa, 2000), hogy a fóliák vastagsága (100 és 150 μm) nem volt hatással a talaj felső 5 cm-es rétegében történt felmelegedésre.

Több kísérlet során is megállapították, az átlátszó fólia nagyobb a hőmérséklet-emelkedést tud elérni, mint a fekete vagy más színű talajtakaró (Al-Karaghoul et al. 1990; Dai et al. 2016, Oz et al. 2017; Oz 2018; Gullino et al. 2022). Míg a fekete színű fólia hatékonysága általában nagyobb a talaj legfelső 5 cm-es rétegében, addig lefelé haladva, az alsó rétegekben a felmelegedés mértéke csökken az átlátszó fóliákhoz képest. (Öz, H. 2023) A fekete színű mulcs használatakor a bejövő napenergia ugyanis elnyelődik, maga a fólia anyaga melegszik fel, így a napfény nem éri el a talaj felszínét (Dai et al. 2016; Oz 2018; Öz, H. 2023).

Fontos megemlíteni még a felhasznált fólia korát is, ugyanis a régi (azaz korábban már használt) polietilén használata csökkentheti a szolárizálás költségeit. Meglepő módon a régi polietilén felhasználása még az új anyagoknál is hatékonyabb volt. Ez az előregedett talajtakaró fotometriai tulajdonságaiban bekövetkezett változásoknak tulajdonítható (Abouziena, Haggag 2016).

A fólia tartóssága, valamint időjárásálló képessége még nagyban befolyásolhatja a módszer sikerességét. Ha a fólia meggyengül, kilyukad, kihalad, a takart területek hőmérséklete csökken, és a fólia takarás hatékonysága gyengül. Az UV-álló fóliák tartósabbak, míg a nem UV stabilizált műanyag fóliák tartóssága változó (Gill et al. 2009).

Amennyiben a fenntarthatóság is prioritás a gazdálkodónak, érdemes a biológiailag lebomló fóliák lehetőségét is figyelembe venni. Candido et al. (2011) által vizsgált hagyományos és biológiailag lebomló (kukoricakeményítő alapú) fóliák technikailag hatékonyak bizonyultak a talaj szolárizálására. A biológiailag lebomló fólia azonban az üvegházban történő kihelyezés után tizenöt nappal kezdett lebomlani, és ugyanezen időszak után a szántóföldön teljesen elszakadt. A biológiailag lebomló fólia alacsony ellenállása és rövid élettartama azt sugallhatja, hogy elsősorban üvegházban vagy öko-gazdaságokban alkalmazható.

2.3. Szolarizáció hatásai / következményei

2.3.1. Talajhőmérséklet

A szolarizáció elsődlegesen a talaj hőmérsékletét befolyásolja, ezáltal éri el többi közvetett hatását. A vizsgált parcellákon a talaj hőmérsékletét leggyakrabban a legfelső 5 cm-en, valamint a 10-15 cm-ig terjedő talajmélységekben mérik. A hőmérséklet lefelé haladva csökken (0-20 cm-es zónában mérve) (Haidar et al. 1999; Patrício et al. 2006; Lombardo S., et al. 2012; Candido et al. 2011; Jagtap et. al. 2022; Öz, H. 2023). Egy dél-olaszországi kísérlet során szabadföldön 2 cm-es mélységben mért talajhőmérséklet 50-60 °C közötti értékeket is elérte, ezzel szemben 10 cm-en 46-50 °C körüli értékeket mértek. Ugyanezen kísérleten belül üvegházban 2 cm-en a talaj 60 °C feletti hőmérsékleti értékeket ért el, míg 10 cm-en 56-60 °C-ot (Candido et al. 2011).

A szolarizáció a napi átlagos talajhőmérsékletet 6-10 °C-kal, a maximális talajhőmérsékletet pedig 10-16°C-kal növelte 5-20 cm mélységben (Schreiner et. al. 2001). Az átlátszó fóliákkal takart területeken a kontroll területekhez képest 8-10 °C-kal magasabb átlaghőmérsékletet mértek (Öz, H. 2023).

Egy 40 napos szolarizációs kísérlet alatt 14:30-kor mért (ez volt az egyetlen délutáni mérés időpontja) átlagos maximális talajhőmérséklet az 5 és 15 cm-es talajmélységben a fekete polietilén fóliánál volt a legmagasabb 52,43 °C és 45,10 °C, míg az átlátszó fóliánál mért hőmérséklet 48,90 °C és 41,07 °C volt (Jagtap et. al. 2022).

2.3.2. Talajnedvesség

A szolarizáció hatást gyakorol még a talaj nedvességtartalmára is. Egy Indiában végzett kísérlet során a fóliák kihelyezése előtt és az eltávolításuk után mérték 5 cm-es mélységben a talaj nedvességét. Az eredmények azt mutatták, hogy a két mérési időpontban a fóliák (fekete, ezüst, átlátszó fólia) talajnedvesség értékei között nem volt szignifikáns különbség, vagyis a fóliák színe nem volt hatással a nedvességvisszatartó képességre. A fólia felszedése után azonban mindegyik fólia esetében magasabb (1-3%) talajnedvességi értéket mértek, mint ami a fóliák kihelyezése előtt volt tapasztalható a területeken. A fóliák tehát megakadályozzák a víz elpárolgását, miközben a talaj nedvességét is megtartják. Ezzel szembe, ha a szolarizációs

időszakban esik az eső, a fedetlen parcella nedvességtartalma megnövekszik a fóliával takart parcellákhoz képest (Jagtap et. al. 2022).

2.3.3. Gyomok

A szolarizáció gyomnövények ellen is hatékonyan alkalmazható. Ezt több módon képes elérni, elsősorban a gyommagvak termikus elpusztításával, valamint a csírázásra készített magvak termikus elpusztításával, vagy a magvak nyugalmi állapotának megszakításával és ennek következtében a csírázó mag elpusztításával (Abouzenia, Haggag, 2016). A kísérletek során megállapították, hogy a gyomok viaszosulása a fóliák felszedése után közvetlenül és később is, a kultúrnövények termesztésekor is kimutatható. A szolarizációt alapvetően az egynyári gyomok irtásában tartják hatékonynak (Marenco - Lustosa, 2000; Candido et al. 2011; Schreiner et. al. 2001).

Haidar et al. (1999) Libanoni kísérletében a szkarifikált nagy aranka (*Cuscuta campestris*) magok esetében a szolarizáció legjelentősebb hatásai az első 10 napban jelentkeztek, ahol a hőmérséklet növekedés a teljes magcsírázást csökkentette. 0-1 cm mélységnél 95,6% volt, de 5 cm mélyen is még 84%-ot elért a csökkenés. Ezzel szemben a nem szkarifikált nagy aranka (*C. campestris*) magok 6 hét szolarizálást igényeltek a teljes magcsírázás jelentős (69%-os) csökkenéséhez 0-1 cm mélységben.

A gyommagok csírázására nem mindig gyakorol negatív hatást a szolarizáció, egyes fajoknál serkenetheti azt. Marenco, Lustosa (2000) ilyen eredményt értek el a *Commelina benghalensis* populációjával. Egy üvegházi kísérlet során pedig a *Melilotus sulcatus* kicsírázását idézte elő a szolarizálás alkalmazása (Candido et al. 2011).

Egyes kutatásoknál a szolarizáció gyommagokra gyakorolt hatást tudták fokozni szerves anyag kiegészítés hozzáadásával. Libanonban kimutatták, hogy a nem szkarifikált nagy aranka (*C. campestris*) magok csírázásának jelentős (69%-os) csökkenéséhez 6 hét szolarizálás volt szükséges 0-1 cm mélységben. A csirketrágya hozzáadása képes volt ezt az időszakot lerövidíteni, 6 hétről 2 hétre csökkentette azt (Haidar et al. 1999). Haidar és Sidahmed (2000) kísérletében vizsgálták az *Orobancha crenata* gyomnövény csírázó képességére gyakorolt hatását a talajszolarizációnak önmagában, valamint csirketrágya kijuttatásával kiegészítve 2, 4 és 6 hetes időszakokban. Míg a szolarizáció egyedül csupán a 0-1 cm mélységben tudott

szignifikáns hajtásszám csökkenést (100%) okozni, addig a csirketrágyával kiegészített kezelés minden talajmélységben szignifikáns volt a csökkenés (0-1, 5 és 10 cm). A vizsgált gyomnövény hajtásszámának jelentős csökkenéséhez a csirketrágyával kiegészített vizsgálatban már 2 hetes szolarizációs időszak is elegendő volt.

2.3.4. Kórokozók, kártevők

A szolarizáció elsődleges hatása a talajban található kórokozók, kártevők és gyommagvak kellően magas hőmérséklet következtében történő kiirtása (Stapleton 2000; Marengo - Lustosa, 2000). A szolarizáció során mezofil mikroorganizmusok elpusztulása következtében kialakul egy időszakos „biológiai űr”. A rendelkezésre álló és ezúttal más élőlények számára is elérhető tápanyagok lehetőséget biztosítanak a szolarizáció után a mikroorganizmusok újratelepüléséhez. Míg számos növényi kórokozó nem tud olyan sikeresen versengeni a rendelkezésre álló erőforrásokért, addig sok növényi kártevő antagonistá mikroorganizmus nagyobb valószínűséggel vészeli túl a szolarizációt, vagy gyorsabban foglalja el a rendelkezésre álló teret (pl. *Bacillus* és a *Pseudomonas* spp. baktériumok, *Trichoderma* gomba, és néhány szabadon élő fonálféreg). Sajnos az erőteljesebb jelenlétük rövid vagy akár hosszú távú eltolódást is okozhat a biológiai egyensúlyban a szolarizált talajban (Stapleton 2000).

Míg egyes populációk felerősödhetnek a szolarizáció hatására, addig más kórokozókkal szemben sikeresen felléphetünk az alkalmazásával. Cai-hua Shi et al. (2018) Kínában a talaj szolarizálásával sikeresen tudott védekezni a *Bradysia odoriphaga* ellen a kínai metélőhagymában (*Allium tuberosum*). Oka et al. (2007) szintén sikeresen csökkentette a szolarizáció segítségével a fonálféreg populációt a talajban, ezzel egyidőben pedig a kártételüket is a paradicsom- és paprikanövényeken. Ezentúl megállapították, hogy a fóliák kihelyezésén túl a szerves anyaggal történő kombinálás hatékonyabb eredményeket tud produkálni, mint a szolarizáció önmagában.

Más kórokozó csoportok ellen is eredményesnek bizonyulhat a szolarizáció, egyes gombafajok, a *Rhizoctonia solani* és a *Sclerotinia minor* ellen sikeresen léptek fel Brazíliában, így csökkentve a salátatermésben okozott károkat (Patrício et al. 2006). Dél Olaszországban üvegházi paradicsomban szorították vissza hatékonyan több gombafaj (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* és f. sp. *radicis lycopersici*, *Pyrenochaeta lycopersici*) elszaporodását, valamint

a *Meloidogyne spp.* fonálférget és a *Phelipanche ramosa*-t (szin. *Orobanche ramosa*) is (Lombardo S., et al. 2012).

2.3.5. Tápanyag

A szolarizáció alkalmazásakor a talajfertőtlenítő hatáson túl, közvetett hatások is bekövetkezhetnek a talajban. Ilyen hatás egyes tápanyagok koncentrációjának megnövekedése. Szolarizációs kísérletek során megfigyelték oldható ásványi tápanyagok, ammónium- és nitrát-nitrogén koncentrációjának növekedését különféle talajtípusokban. Ezentúl bizonyos esetekben a kalcium, a magnézium, a foszfor és a kálium koncentrációja is emelkedett, bár ez a változás kevésbé volt következetes (Stapleton 2000). Ezzel szemben a réz, vas és cink koncentrációjának csökkenése is leírható volt szolarizált területeken, ugyan ez kismértékű volt (Patrício et al. 2006).

Mind a hőmérséklet, mind a talajnedvesség befolyásolja a talaj szerves anyagának mineralizációjának sebességét, ezt a folyamatot szolarizációval fel lehet gyorsítani, például a szerves nitrogénét (Patrício et al. 2006). A talaj egyes ásványi tápanyagainak elérhetősége rövid távon növekszik a forró talajokban (Akhtar és Malik, 2000, Thuriès et al., 2000, Gelsomino et al., 2006) potenciálisan fokozva a növények növekedését (Grünzweig et al., 1999, Chen et al., 2000; Mauromicale et al. 2011). Az ásványi tápanyagok koncentrációjának megnövekedését a kezelés során lebomló talajban található szerves komponensek lebomlása okozhatja. Ezen tápanyagok megnövekedése kedvező hatást gyakorolhat a növények egészségére, a növekedés javulásához is hozzájárulhat, valamint a trágyaigény csökkenését is előidézheti (Stapleton 2000). Feltételezhető azonban, hogy a szolarizáció során bekövetkező hőmérséklet-emelkedés, amelyet a szerves kiegészítés befolyásol, fontos szerepet játszik bizonyos mikrobiológiai aktivitások elősegítésében vagy gátlásában, valamint a szerves anyagok lebontásában (Mauromicale et al. 2011). Ez specifikus illékony vegyületek felhalmozódását eredményezi a gőz- és folyékony talajfázisban (Oka et al., 2007), a fulvo- és huminsav mennyiségének növekedését, valamint az oldható ásványi anyagok felszabadulását a talaj szervesanyagaiból (Chen et al., 1991; Mauromicale et al. 2011).

A biofumigáció a szerves anyagok lebomlása során felszabaduló biocid illékony anyagok mobilitása, amely segíti a növényi kórokozók elleni védekezést. A szolarizáció segít

meghosszabbítani ezt a hatást azáltal, hogy megakadályozza ezen vegyületek elillanását, a műanyag mulcs segítségével csapdába ejti őket a talajban (Pane et al. 2012; Öz, H. 2023).

2.3.6. Terméshozam

A kórokozók viaszorítása mellett (és annak következtében) kimutatták több vizsgálat során, hogy a szolarizált parcellákon a termés hozam megnövekedett sárgarépában (Marenco - Lustosa, 2000), salátában (Candido et al. 2011), paradicsomban (Lombardo S., et al. 2012), paprikában (Oka et al. 2007). Máshol a tenyészidő lerövidítésében játszott szerepet, Patrício et al. (2006) kísérlete során a salátát 10 nappal hamarabb lehetett betakarítani.

A szolarizált parcellák magasabb termés hozama minden bizonnyal összefüggésben áll a tápanyagok fokozott felszabadulásával és körforgásával a talajban, valamint a szolarizáció által kiváltott mikrobiális folyamatokkal, mint például a hasznos vagy növényi növekedést elősegítő mikroorganizmusok populációinak felszaporodása (Katan, 1980; Turner et al., 2001; Patrício et al. 2006).

2.4. Szolarizáció hatását fokozó módszerek

A talaj takarása előtt kijuttatott szerves anyagok fokozhatják a szolarizáció hatékonyságát, további termésnövekedést, talajhőmérséklet emelkedést idézhetnek elő a hagyományos szolarizációval szemben. Ilyen szerves anyagok lehetnek a komposzt, növényi maradványok, zöldtrágya, állati trágya. A többlet szerves anyag jelenléte ezáltal csökkentheti a talajban található kórokozók, kártevők számát azáltal, hogy átalakítja az ott élő mikroorganizmusok összességét, valamint a talaj fizikai környezetére is hatást gyakorol (Stapleton 2000).

A két eljárás együttes alkalmazása elősegítette a termésnövekedést több kutatás során is különböző növénykultúrákban. Kereskedelmi szerves anyag kiadásával sikert értek el paradicsomban, ahol a termésnövekedés mellett a cukortartalom és aszkorbinsavtartalom növekedéséről is beszámoltak (Mauromicale et al. 2011). Bioszén alkalmazásával salátában mértek megnövekedett termésmennyiségeket a hagyományos szolarizációs kezelésekhez képest (Öz, H. 2023).

Haidar és Sidahmed (2000) a 2, 4 és 6 hetes kísérletete során a fóliával fedett területeken a káposztanövény átlagos tömegét 55, 70 és 75%-kal növelte a szolarizáció a csak csirketrágyával kezelt parcellákhoz képest. A legnagyobb friss tömeget a 6 hetes csirketrágyával, valamint szolarizálással kezelt parcellákon sikerült elérni.

Haidar és Sidahmed (2000) Libanonban végzett szolarizációs kísérletei során vizsgálták a szolarizáció hatását önmagában, valamint csirketrágya kijuttatásával kiegészítve. Megállapították, hogy a szerves anyaggal való kombinálás a gyommagvak elpusztítására, valamint a talaj hőmérsékletének emelkedésére sem gyakorolt hatást. Dél-Olaszországban ezzel szemben üvegházi paradicsomban megfigyelték, hogy a szolarizáció és szerves trágya bedolgozás együttesen 5 cm-es mélységekben fokozta a talajhőmérséklet emelkedését 3,9-5,5 °C-kal. Az átlagos maximumhőmérséklet emelkedése a mért mélységekben általában szignifikánsan nagyobb volt a 0,7 kg/m² trágyadózisnál, mint 0,35 kg/m² trágyadózis esetében, ráadásul az utóbbi, kisebb mértékű dózis is szignifikánsan meghaladta a trágyázatlan kezelés hőmérsékleti értékeit (Mauromicale et al. 2011).

Öz, H. (2023) további hőmérséklet emelkedést állapított meg a bioszénrel való kiegészítés következtében. A kísérlet során a csak szolarizált területeket a bioszénrel is kezelt területek átlaghőmérsékleti értékei 3 °C-kal haladták meg, míg a kontroll területekét 10 °C-kal. A bioszén hozzáadása a hőmérsékleti értékeket és a talajszelvény hőmérséklet-megőrzését is hatékonyan növelte.

2.5. Szolarizáció előnyei és korlátai

2.5.1. Előnyök

A szolarizáció elsődleges előnye a vegyszermentes növényvédelem, ugyanis sikeresen fel lehet lépni segítségével a gyomnövények, egyes gombafajok és fonálférgek ellen is. Emellett egyszerűen kivitelezhető, meghatározott feltételek mellett eredményes, nem kockázatos eljárás. Kiegészíthető más eljárásokkal, mint szerves anyagok (csirketrágya, bioszén) kijuttatása, vagy akár kémiai védekezési intézkedésekkel is (Stapleton 2000). Hosszútávú előnye lehet a gyomirtó szerek használatának- és abból eredő környezeti kockázatoknak csökkentése, akár újonnan megjelenő betegségek kitörésének megelőzése, magasabb terméshozam biztosítása (Abouzienna, Haggag, 2016).

Továbbá költséghatékony eljárás is lehet, ugyanis a már korábban felhasznált polietilén fóliák is effektívek lehetnek a talaj szolarizációjához (Abouzenia, Haggag, 2016).

2.5.2. Korlátok

A szolarizáció alkalmazásának előnyei mellett vannak korlátai is. Ahhoz, hogy eredményes legyen a kezelés, magas talajhőmérséklet kialakulása szükséges, emiatt az év legmelegebb időszakában érdemes végezni. Ezentúl a talaj legalább 1 hónapig fedve van a talajtakaróval, ugyanis ekkora időszakra van szükség, hogy melegítő hatás érvényesülni tudjon (Lombardo S., et al. 2012). A meleg nyári időszakban rendszerint termelést folytatnak a területeken, a szolarizáció alkalmazása így potenciálisan bevételkieséshez vezethet, valamint megzavarhatja vetésforgót és a normál termesztési szokásokat (Abouzenia, Haggag, 2016). Ezentúl a szolarizáció a talaj felső rétegében igazán hatékony, lefelé haladva hatása fokozatosan csökken, valamint nem irtja ki a hőtűrő kórokozókat, gyomokat és egyéb kártevőket (Stapleton 2000).

Nagyüzemben való alkalmazás legjelentősebb korlátozó tényezője a nagy mennyiségű és felületű fólia szükségessége. A fóliák rendszerint terjedelmesek, kihelyezésük ennek következtében pedig nagyon körülményes lehet (Abouzenia, Haggag, 2016).

A műanyag fólia alkalmazása felvet környezetvédelmi aggályokat, ugyanis használata után ártalmatlanítani kell. A környezetvédelmi törvények tiltják a műanyag elégetését a talajba temetve pedig túl lassan bomlik le (Abouzenia, Haggag, 2016). Biológiailag lebomló fólia alkalmazásával a környezetre gyakorolt káros hatást csökkenteni lehetne (Candido et al. 2011). Candido et al (2011) kísérleteztek lebomló fólia alkalmazásával, de alacsony ellenállásról és rövid élettartamról tudtak csak beszámolni, emiatt csak üvegházi rendszerek talajszolarizálásához javasolták.

Egyes területeken a termelés több hétig elhúzódó kiesése miatt a szolarizáció alkalmazása gazdaságilag nem megtérülő. Fayed et al. (1997) megállapították, hogy Egyiptomban a szolarizációra fordított időt és költségeket nem ellensúlyozza a földimogyoró terménynövekedéséből származó többletbevétel. Emellett a szolarizációs időszak meghaladja rendszerint az 5 hetet, ami a vetésforgót is zavarhatja. Patricio et al. (2006) külön kiemelte, hogy Brazíliában a műanyag fólia ára viszonylag magas, ellenben használatával a gazdálkodók

elkerülhetik a gyomirtó és gombaölő szerek igénybevételét, így gazdaságos lehet a szolarizáció alkalmazása.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kísérlet helyszíne

A kísérletet 2023 nyarán végeztük a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem (MATE) Szent István Campusán, Gödöllőn (47°35'43"N 19°22'13"E) (1. ábra).



1. ábra: A kísérleti helye a MATE Szent István Campusán (2023) (Forrás: Google maps)

A kísérleti hely talaja barna erdőtalaj, a környező területről erózió útján ráhordott talajréteggel, fizikai félesége homok. A talaj kémhatása gyengén savanyú, nitrogénellátottság gyenge, foszforellátottság igen jó, káliumellátottság jó. (1. táblázat).

1. táblázat: A kísérleti terület talajjellemzői (Gödöllő, 2023)

Jellemző	Érték
pH	6,2
Humusztartalom	0,8%
K _A (Arany-féle kötöttség)	26,2
EC (vezetőképesség)	39,7 μ S/cm
Vízoldható összes só	99,65 mg/kg
Nitrit	0,05 mg/kg
Nitrát	2 mg/kg
Ammónia	2 mg/kg
Foszfor (P ₂ O ₅)	284,17 mg/kg
Kálium (K ₂ O)	167,4 mg/kg

A kísérleti terület 2023 tavaszán és 2022-ben egész évben ugaroltatva volt, 2021-ben facélia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.), 2020-ban szója (*Glycine max* L. Merrill.) volt a területen.

3.2. A kísérlet menete

A nyolc kísérleti parcellát 2023. 06.19-én jelöltük ki. Egy parcella 2,7 m széles és 2,7 m hosszú, területe 7,29 m². A parcellák között 0,7 m távolságot hagytunk.

A parcellákon 06.27-én gyomfelvételezést és talajmintavételezést végeztünk. A területet kézi holland kapával (Push Hoes 20 cm, De Wiltfang, Hollandia, 2013) és tolikapával (Wheelhoe Mod 700 „Pico” + Stirrup hoe with 1 joint 175 mm, Glaser Engineering GmbH, Svájc, 2013) gyomtalanítottuk 06.27 és 06.28-án, majd a kikapált gyomokat a területről eltávolítottuk.

A parcellák talaját 06.29-én beöntöztük 14,4 mm csapadéknak megfelelő mennyiségű öntözővízzel.

A beöntözött parcellák felének műanyag átlátszó fóliával történő takarására 06.30-án került sor. A fólia takarás 54 napon át volt a területen, felszedésükre 08.23-án reggel került sor.

A fóliák felszedése után (08.23.) gyomfelvételezést végeztünk és talajmintát vettünk a talaj nedvességtartalmának meghatározáshoz, mind a takart, mind a takaratlan parcellákon. Ezt követően a terület kézi kapálással gyomtalanításra került sekélyen, 5 cm mélyen.

A következő gyomfelvételezésre 10.17-én került sor, a fóliák eltávolítását követő 55. napon.

3.3. Kezelések

A kísérletben két kezelés volt: átlátszó műanyag fóliával takart terület és takaratlan terület. A kezeléseket 4 ismétlésben állítottuk be (2. ábra).

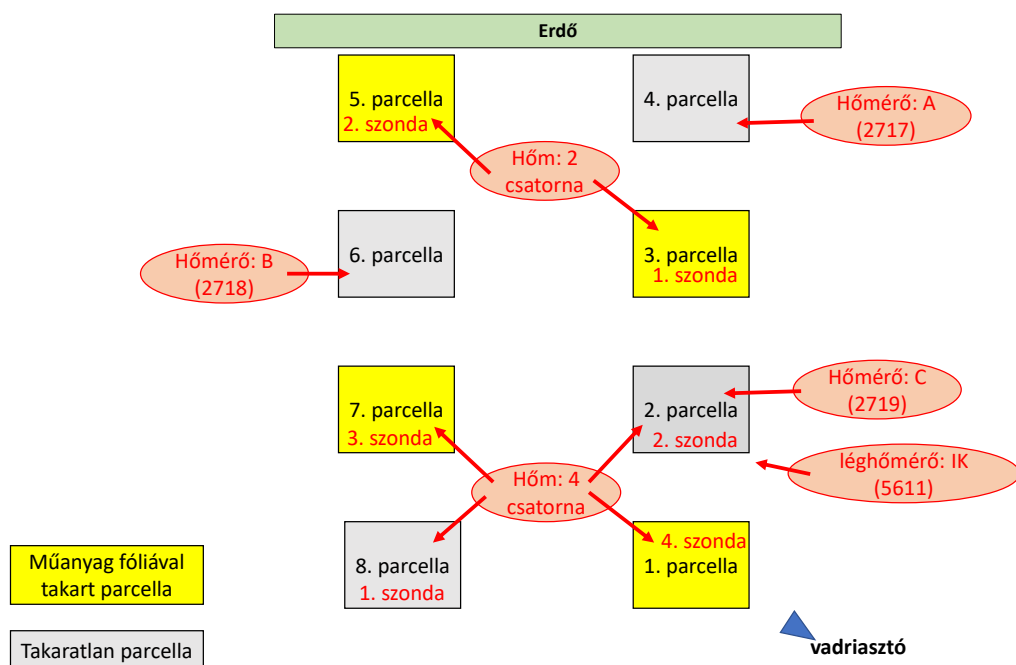
Az alkalmazott átlátszó műanyag fólia 0,15 mm vastag, UV álló, 2 éves élettartamú volt. A fóliát közvetlenül talaj felszínére fektettük, a széleket körben 15 cm mélyen talajba temettük, a hő elillanás megakadályozása érdekében (3. ábra).

3.4. Hőmérsékletmérés

A hőmérők kihelyezésére 06.29-én került sor. A talajhőmérséklet mérését automatikus adatgyűjtővel végeztük (EBI 2-T-313 hőmérsékleti adatgyűjtő + 4 db EBI-FUE-T-2,5 teflon vezetékes beszűrő szonda; ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2008; EBI 2-T-312 hőmérsékleti adatgyűjtő + 2 db EBI-FUE-T-2,5 teflon vezetékes beszűrő szonda, ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2009; EBI 20-TE1 beszűrő szondás hőmérő, ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2015). Minden parcella közepére egy talajhőmérő szonda került kihelyezésre 5 cm talajmélységben. A léghőmérsékletet és a páratartalmat a parcellák mellett, a talajfelszín felett 1 m magasan mértük (EBI 20-TH1 hőmérséklet és légnedvességmérő, ebro Electronic GmbH & Co. KG, Germany, 2015). Az adatok rögzítése 15 percenként történt 2023.06.29. 12:00 – 2023.08.23. 12:00 között.

A csapadék mennyiség, a globálisugárzás és a 2 méter magasan mért léghőmérséklet adatokat a kísérleti területen található automata meteorológiai állomás 10 percenként gyűjtött adatbázisából nyertük.

A kísérlet kiértékeléséhez 53 takart nap adatait használtuk fel (2023. 07.01. 0:00 – 2023. 08. 22. 23:45).



2. ábra A kísérleti kezelések és a hőmérők elhelyezkedése (Gödöllő, 2023)



3. ábra A kísérleti parcellák a kísérlet kezdetén (Gödöllő, 2023.06.30.)

3.5. Talajnedvesség

A talaj nedvességtartalmát gravimetriás módszerrel mértük, egy nedvességmérő elektronikus mérleggel (RADWAG MAX 50/1/NH, Radwag Wagi Elektroniczne, Poland, 2012), a mintákat 105 °C-on súlyállandóságig szárítva.

A talajnedvességet négy mintavételi időben mértük: a parcellák gyomtalanítása előtt (06.27.), a parcellák beöntözése után és a fóliával történő takarás előtt (06.30.) és a fóliák felszedése után közvetlenül (08.23.). A talajmintát parcellánként 6 helyről a parcellák átlói mentén vettük a 0-5, 5-10 és a 10-20 cm-es mélységből (Pürckhauer 100 mintavevő). A parcellánkénti mintákból a nedvességmeghatározást 4 ismétlésben végeztük.

3.6. Gyomfelvételezés

A gyomfelvételezést a teljes parcella területen végeztük (7,29 m²) a BALÁZS-UJVÁROSI módszer segítségével (Reisinger 2000) a gyomfajok területborítási százalékának a

meghatározásával A gyomfajokat bayer kódokkal rögzítettük. A százalékos gyomborítás felmérését az ugaroltatott kiindulási állapotban (06.27.), a talajtakaró fóliák felszedése után közvetlenül (08.23.), majd a fólia felszedése utáni sekély kapálást követően, a takarás utáni 55. napon (10.17.) végeztük el.

3.7. Adatok kiértékelése

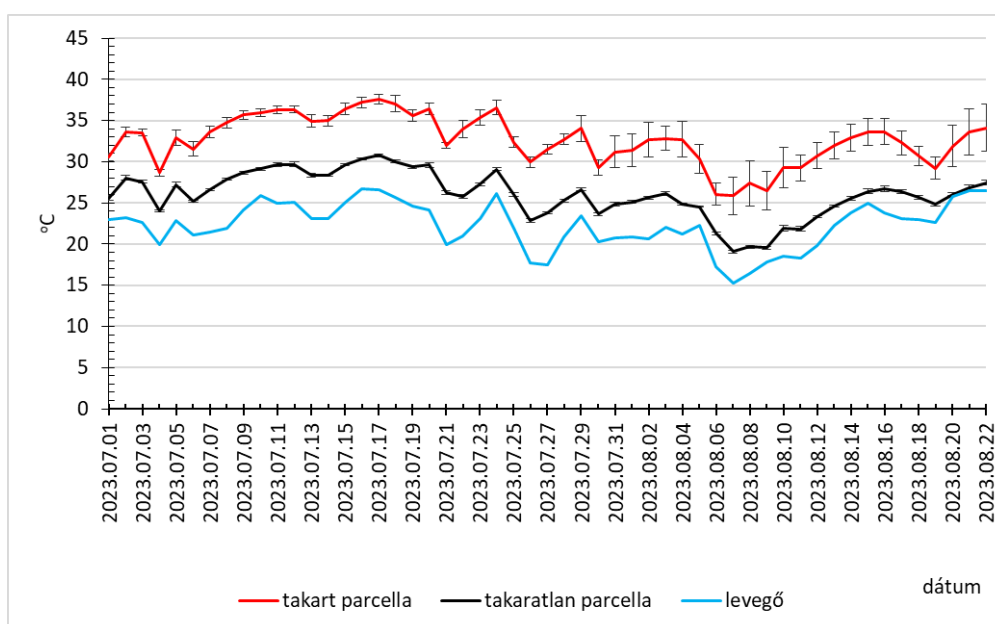
A hőmérsékleti adatok jellemzéséhez az átlag, minimum, maximum, szórás, relatív gyakoriság alapstatisztikák kerültek használatra a Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver segítségével. A talajnedvesség és gyomfelvételezés eredményeit a MANOVA (Multivariate analysis of variance) módszerrel értékeltük, a IBM Spss Statistics 29.0.1.0 programcsomag segítségével. A kezelések között szignifikáns különbség volt $P \leq 0,05$ értéknél.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Hőmérséklet alakulása

4.1.1. Napi átlaghőmérséklet

Az 53 napos szolarizációs időszak alatt a takart és takaratlan parcellák talajhőmérsékletének (5 cm mélység), valamint a léghőmérséklet napi átlagának a lefutása hasonló tendenciát mutatott. Az átlátszó fóliával takart parcellák napi átlaghőmérséklete mindvégig magasabb volt, mint a takaratlan parcelláké (4. ábra).

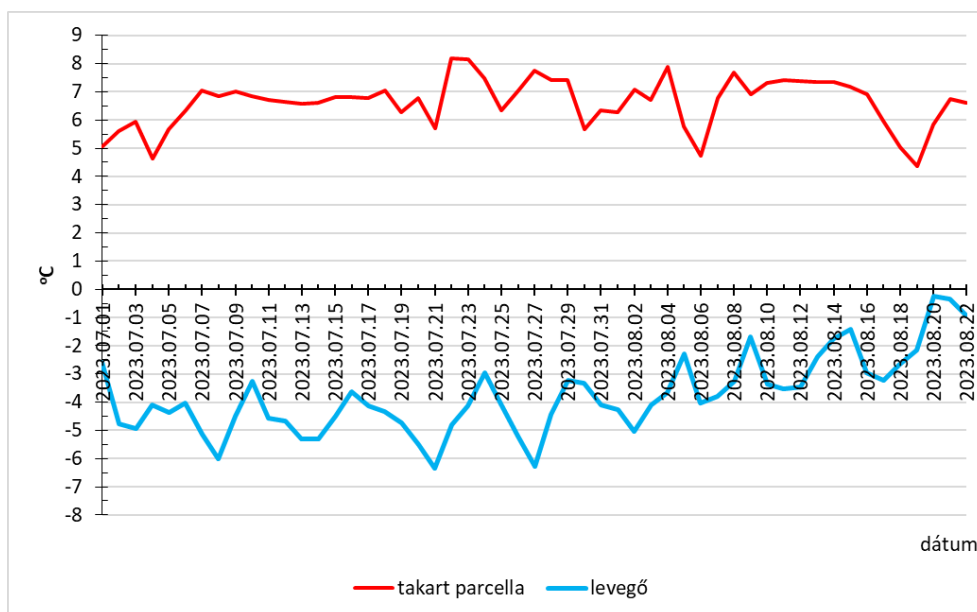


4. ábra: Napi átlagos talaj- és léghőmérséklet (Gödöllő, 2023)

A takart parcellákon a legmagasabb napi átlaghőmérséklet értékek a július 09-24-ig tartó időintervallumban alakultak ki ($>35^{\circ}\text{C}$), ebből is kiemelkedik a július 16-18-ig tartó időszak, ekkor a 37°C -ot is meghaladták az értékek. Ezen időszakban alakultak ki a takaratlan parcellákon is a legmagasabb napi átlagos talajhőmérsékletek, azonban értékük éppen csak átlépte 30°C -ot.

A takart és a takaratlan parcellák napi talajhőmérséklete közötti átlagos eltérés $6,6\pm 0,9^{\circ}\text{C}$ volt. Legnagyobb különbségek július 22-23-án alakultak ki, mindkét nap átlagosan $8,2^{\circ}\text{C}$ -kal voltak magasabbak a kezelt területek talajhőmérsékleti értékei a kontroll területek értékeivel szemben. Legkisebb eltérések 07.04, 08.06 és 08.19-én ($<5^{\circ}\text{C}$) voltak tapasztalhatóak (5. ábra).

A levegő hőmérsékletéhez a takaratlan területeken mért értékek augusztus végére kerültek legközelebb ($\leq 1^\circ\text{C}$), addig a pontig végig meghaladták azt. Augusztus 20-21-én csupán 0,2-0,3 $^\circ\text{C}$ -kal lett magasabb a takaratlan parcellák átlagos talajhőmérséklete (26,1 ill. 26,9 $^\circ\text{C}$). Kiugróan magas eltérések július 8-án (6 $^\circ\text{C}$), 21-én (6,4 $^\circ\text{C}$) és 27-én (6,3 $^\circ\text{C}$) alakultak ki.

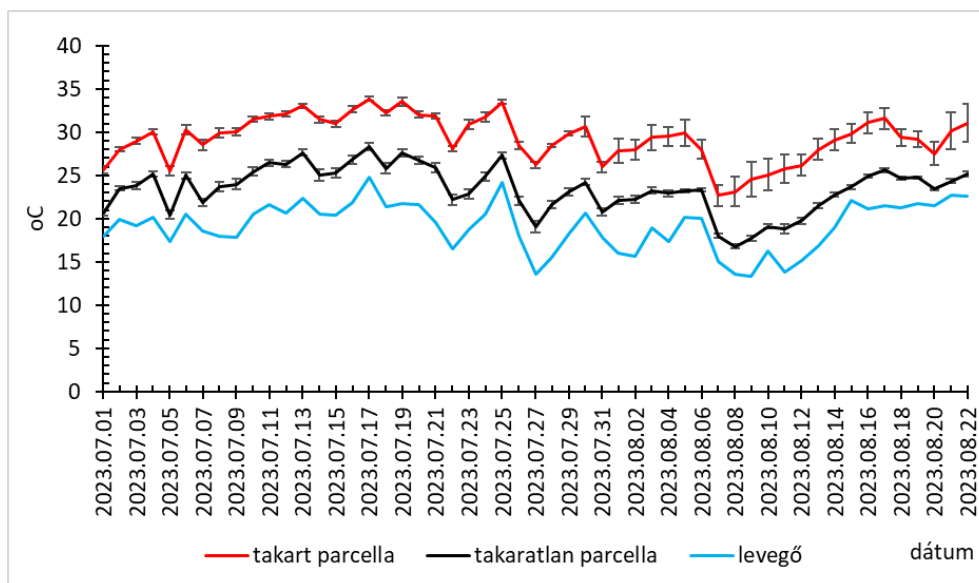


5. ábra A napi átlagos hőmérséklet eltérései a takaratlan parcellák talajhőmérsékletéhez képest (Gödöllő, 2023)

4.1.2. Éjszakai átlaghőmérséklet

A szolarizáció tekintetében a napi átlaghőmérsékletek mellett a legfontosabb a nappali időszak (napkeltétől-napnyugtáig) maximális hőmérsékleti értékeinek alakulása, de érdemes megvizsgálni az éjszakai időszak (napnyugtától-napkeltéig) átlagos hőmérsékleti értékeit is.

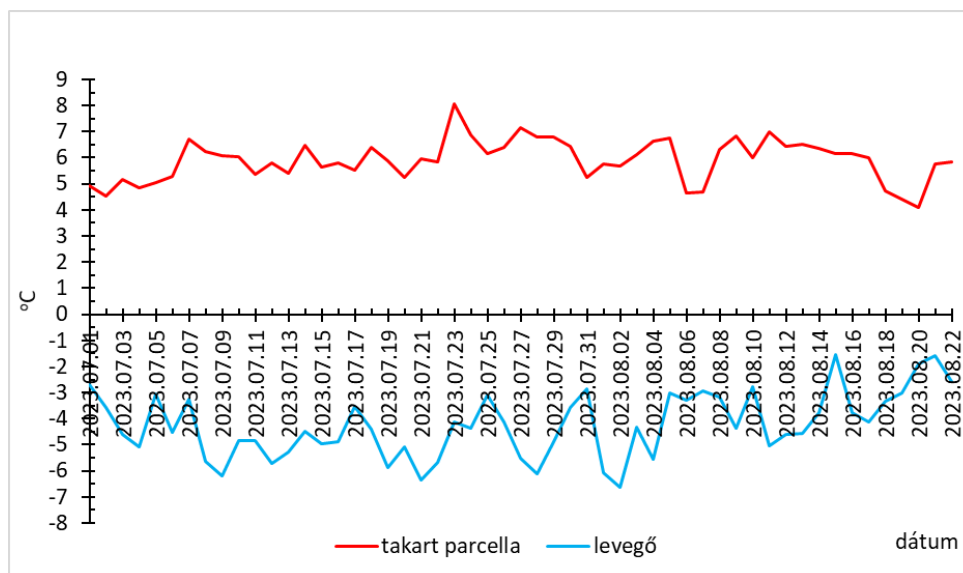
Az éjszakai átlaghőmérséklet a várakozásainknak megfelelően a takart parcellákon volt a legmagasabb, mivel a talaj éjszakai kisugárzásából származó hőt a fólia visszatartotta (6. ábra). A takart parcellákon az éjszakai átlagos talajhőmérséklet többször volt 30 $^\circ\text{C}$ felett elsősorban júliusban, és nem csökkent 22 $^\circ\text{C}$ alá. A takaratlan parcellákon a napi átlag nem volt egyik kísérleti napon sem 30 $^\circ\text{C}$ feletti és a gyakran csökkent 20 $^\circ\text{C}$ alá.



6. ábra: Éjszakai átlagos talaj- és léghőmérséklet (Gödöllő, 2023)

Az átlátszó fóliával takart kezelések átlagosan $5,9 \pm 0,8^\circ\text{C}$ -al mutattak magasabb talajhőmérsékletet a takaratlan parcellákhoz képest. Egyes napokon az eltérések elérték, ill. meghaladták a 7°C -ot (július 23., 27., augusztus 11.), többször a különbségek azonban 5°C alatt voltak (7. ábra).

A takaratlan terület talajhőmérséklete éjszaka átlagosan $4,2 \pm 1,3^\circ\text{C}$ -al volt magasabb a léghőmérsékletnél, nagyobb eltérések júliusban voltak, kisebbek augusztusban.

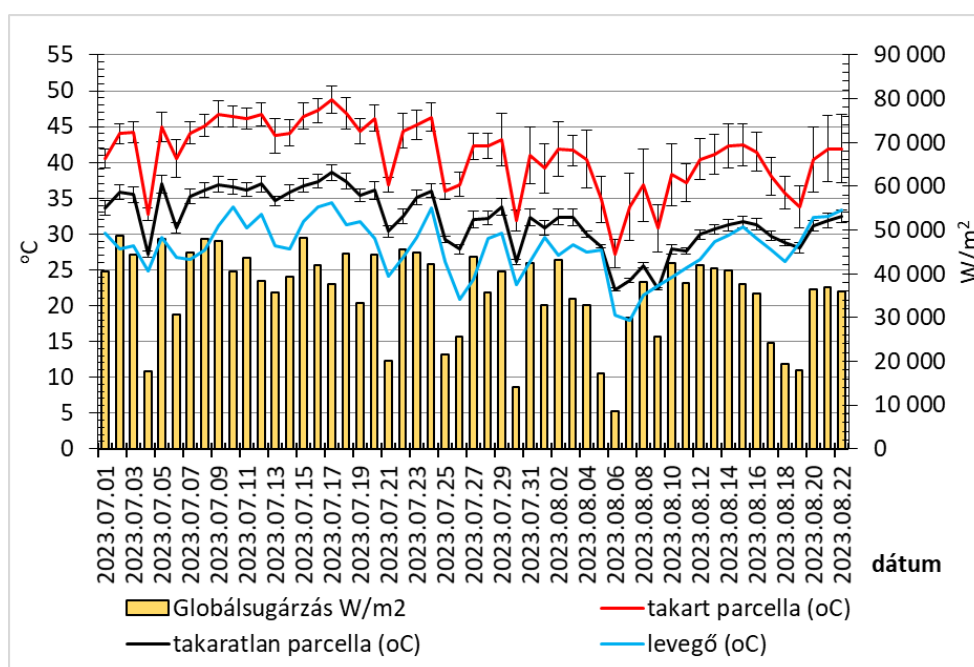


7. ábra: Éjszakai átlaghőmérséklet eltérései a takaratlan parcellák talajhőmérsékletéhez képest (Gödöllő, 2023)

4.1.3. Nappali maximum hőmérséklet

A szolarizáció eredményességét alapvetően a nappali maximum hőmérsékletek nagysága határozza meg.

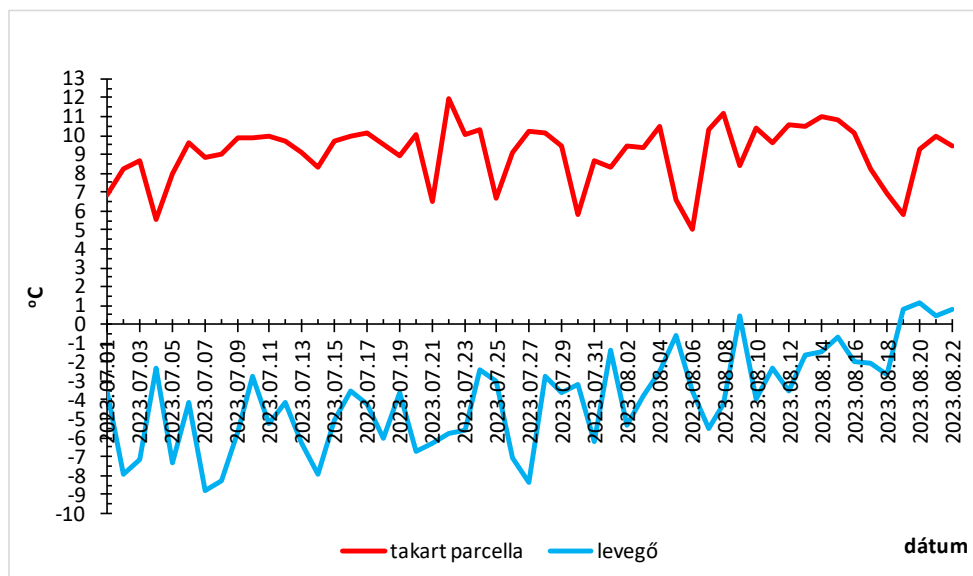
A nappali maximális hőmérsékleti értékek alakulása követi a napi globálsugárzás menetét. A legmagasabb nappali maximális hőmérsékleti értékek az átlátszó fóliával takart területeken alakultak ki az 53 napos szolarizációs időszak minden napján. A takart parcellákon a legmagasabb, 45°C feletti talajhőmérsékleti értékek július 08-24-ig voltak mérhetőek, augusztusban már csupán 40°C körüli értékek fordultak elő. A takaratlan területeken a maximális talajhőmérséklet júliusban sem érte el a 40°C-ot, ráadásul augusztusban mindössze 30°C körüli maximumok voltak jellemzőek (8. ábra).



8. ábra: Nappali maximális talaj- és léghőmérséklet (°C), valamint a napi globálsugárzás (W/m²) alakulása (Gödöllő, 2023)

Az átlátszó fóliával takart és a takaratlan parcellák nappali maximális talajhőmérséklete közötti átlagos eltérés $9,1 \pm 1,6^\circ\text{C}$ volt. Július 22-én, augusztus 08-án és 14-én alakultak ki a legnagyobb különbségek, amikor az értékek elérték, ill. meghaladták a 11°C -ot. A legkisebb eltérések ($\leq 6^\circ\text{C}$) négy napon voltak tapasztalhatók (július 04., 30., és augusztus 06., 19.) (9 ábra).

A takaratlan területek 5 cm mélyen mért talajhőmérséklete jellemzően magasabb volt, mint a léghőmérséklet, átlagosan $3,9 \pm 2,6^\circ\text{C}$ -al. Csak a kísérleti időszak végén, augusztus 19-től haladta meg a léghőmérséklet a takaratlan talajhőmérsékletet $0,5-1,2^\circ\text{C}$ -al.



9. ábra: Nappali maximális hőmérséklet eltérései a takaratlan parcellák talajhőmérsékletéhez képest (Gödöllő, 2023)

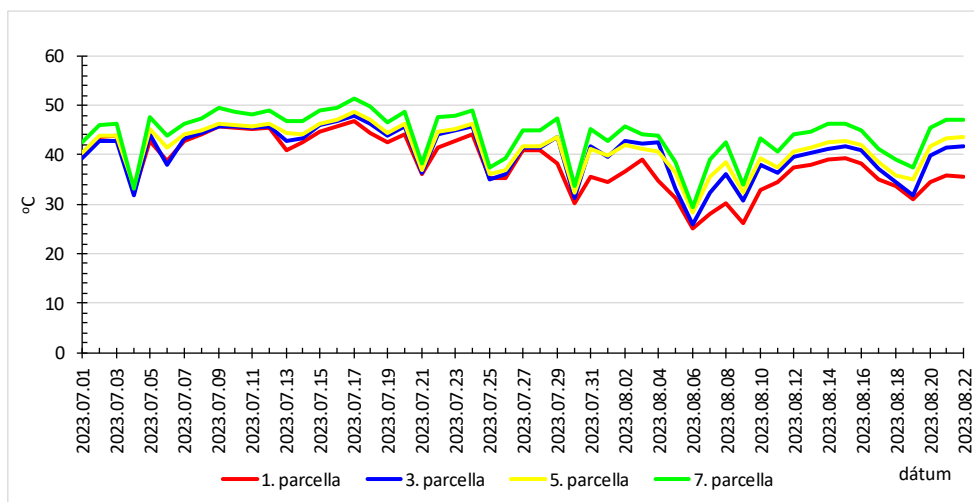
A takaratlan parcellákon a napi maximum értékek szórása kicsi és kiegyenlített volt a szolarizációs időszakban, míg a takart parcelláknál július 31-től a szórás értékek jelentősen megnövekedtek (8. ábra). Ez a tendencia volt megfigyelhető a közölt napi átlaghőmérséklet (4. ábra) és az éjszakai átlaghőmérséklet (6. ábra) esetében is, valamint a nem közölt egyéb adatoknál (éjszakai maximum és minimum, nappali minimum és átlag). A takart területek szórásértékeinek heterogenitása miatt érdemes megvizsgálni a négy fóliával takart parcella adatait és összehasonlítani egymással.

A nappali maximális talajhőmérsékleti értékek esetében a 7. parcella adatai voltak a legmagasabbak majdnem minden alkalommal a vizsgált időszakban (4. ábra). Ez alól a július 4-ei nap volt kivétel, ekkor az 5. parcellán 33,8°C volt a maximum a 7. parcellán mért 33,1°C-al szemben. A 7. parcella területén mért értékek több alkalommal mozogtak az 50°C közelében a júliusi hónapban, 17-én volt a legtöbb ez az érték, aznap 51,4°C-ig is felmelegedett a talaj 5 cm-es mélységben.

A talajhőmérsékleti értékek jellemzően július 31-től válnak szét, és a legkisebb értékek az 1. parcella esetében alakulnak ki. Ebben az időszakban az 1. és a 7. parcella maximális értékei közötti átlagos különbség $8,1 \pm 2,3^\circ\text{C}$. Legnagyobb különbség a két parcella értékei között augusztus 8-án alakult ki, ekkor 12,2°C-al haladta meg az 1. parcella 30,2°C-os értékét a 7. parcella 42,4°C-os maximuma. Ezenkívül volt 4 olyan nap, amikor a különbség elérte, ill. meghaladta a 11°C-ot.

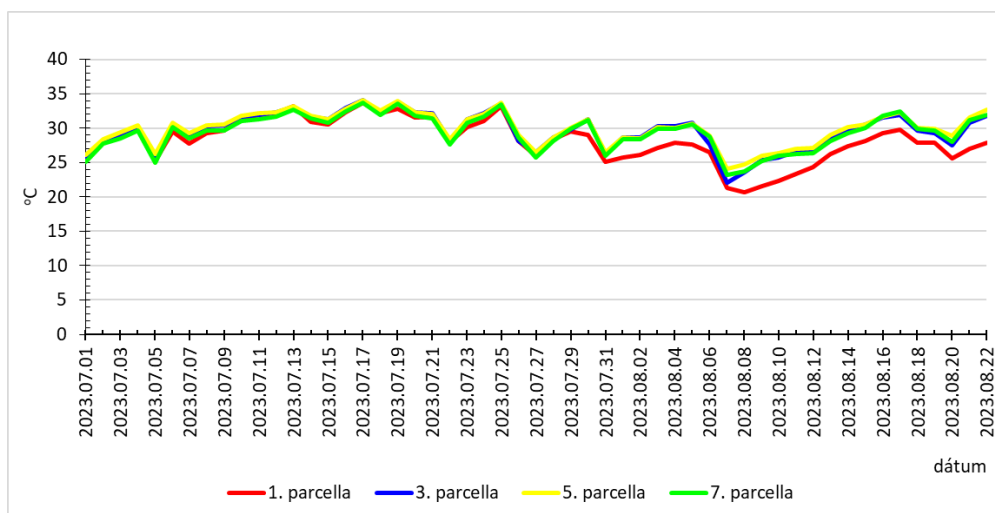
Július 31-től a 3. és 5. parcella adatai közel azonosak, de a 3. parcelláé kissé alacsonyabb. A 3. és 5. parcella maximum értékei csupán néhány nap közelítették meg a 7. parcellán mérteteket, amikor 2°C -nál kisebb különbség volt jelen.

A leírtakhoz hasonló tendencia figyelhető meg a napi átlaghőmérsékletek parcellánkénti adatainál is (nincs közölve adat és ábra).



10. ábra: Nappali maximális talajhőmérsékleti értékek az átlátszó fóliával takart parcella négy ismétlésében (Gödöllő, 2023)

Az éjszakai átlaghőmérséklet esetében a nappali maximumok alakulásához képest eltérés figyelhető meg. A négy fóliával takart parcella talajhőmérsékleti értékei azonosan változnak és július 31-től csak az 1. parcella értékei csökkennek. Az 1. és a 7. parcella értékei között az átlagos eltérés $2,6 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$. (11. ábra).



11. ábra: Éjszakai átlagos talajhőmérsékleti értékek az átlátszó fóliával takart parcella négy ismétlésében (Gödöllő, 2023)

A takart parcellák szórás értékeiben tapasztalható heterogenitás elsősorban a nappali időszak értékeiben bekövetkezett változásokra, valamint az 1. parcella értékeire vezethető vissza, az éjszakai értékek ezt csak kismértékben befolyásolják.

A takart parcellák mért értékeiben tapasztalt különbség több okra vezethető vissza. Az 1. parcella egyik oldalán a fólia a megnövekedett gyomállomány miatt kihúzódott a talajból az elégtelen földbeásás miatt (12. ábra). Ez hőveszteséget eredményezett, a talaj jobban lehűlt az éjszaka során, és nappal kevésbé tudott felmelegedni. A kísérlet helyszínén a terület enyhén lejtett, erózióknak volt kitéve, ennek következtében a lefolyó csapadék ráhordta a talajt a fóliára, megállt rajta a víz is, így kevésbé érte a napfény a parcellát.



07. 27.



08. 22.

12. ábra: A fóliával takart 1. parcella (Gödöllő, 2023)

A 3. és 5. parcellán kisebb mértékben volt tapasztalható a parcellák szélein a fólia kicsúszása a talajból, illetve a 3. parcellán az eróziós talajráhordás (13. ábra). A legjobb fóliás takarás a 7. parcellán sikerült, aminek köszönhetően itt alakultak ki a legmagasabb maximális talajhőmérsékleti értékek. (14. ábra)



3. parcella



5. parcella

13. ábra: A fóliával takart 3. és 5. parcella (Gödöllő, 2023. 08. 22.)

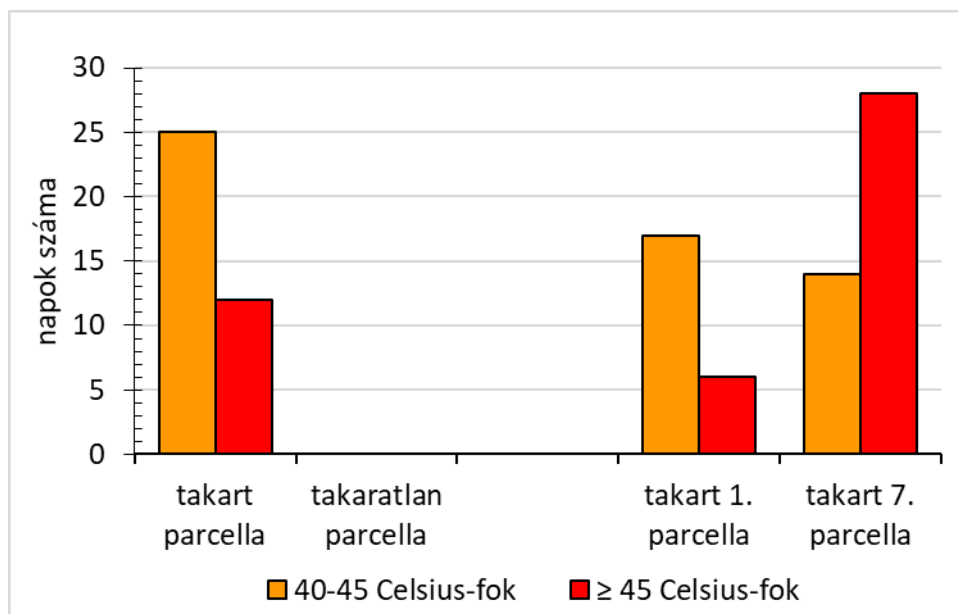


14. ábra: A fóliával takart 7. parcella (Gödöllő, 2023. 08. 22.)

A szolarizáció szempontjából a nappali maximum hőmérsékleti értékek nagysága mellett meghatározó ezek fennmaradásának időtartama is.

Az 53 napos szolarizációs időszak alatt az átlátszó fóliával takart parcellákon az 5 cm mélységben mért maximális talajhőmérséklet a vizsgált időszak 47%-án (25 nap) volt 40-45°C közötti és 23%-án (12 nap) 45°C feletti. Ugyanakkor a takaratlan területeken a maximális talajhőmérséklet nem emelkedett 40°C fölé. (15. ábra)

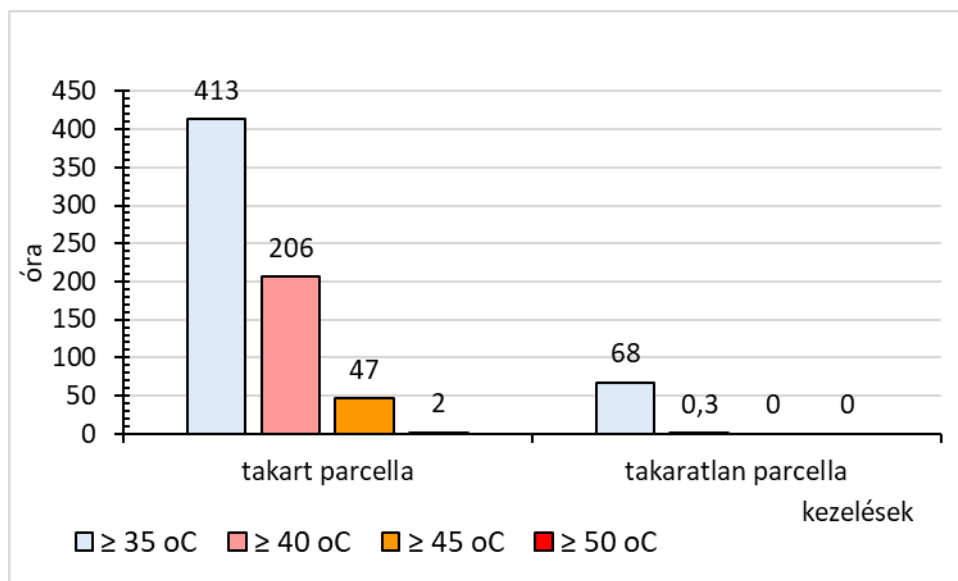
A fóliákkal takart területeken az 1. és a 7. parcella adatai között kialakult különbség az 1. parcella elégtelen fóliatakarására vezethető vissza. Ennek eredményeként a 7. parcellán a szolarizációs időszak több mint felén (53%) volt a nappali maximális talajhőmérséklet 45°C feletti, míg az 1. parcellán a napok csupán 11%-án. (15. ábra)



15. ábra: Azon napok száma, amikor a nappali maximális talajhőmérséklet 40°C feletti (Gödöllő, 2023)

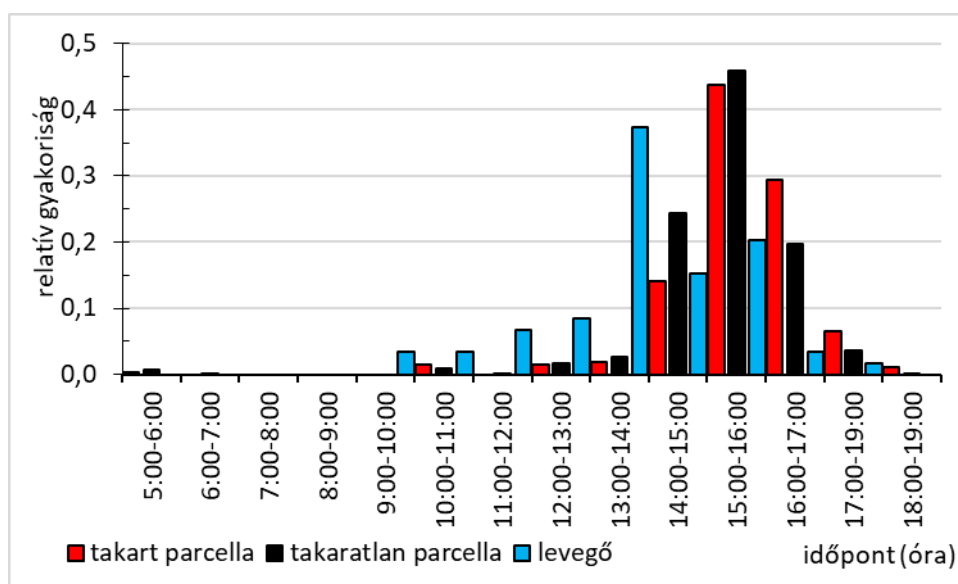
A nappali maximális talajhőmérsékletek fennmaradási idejéről pontosabb képet kapunk, ha ezt az időtartamot órában vizsgáljuk. A vizsgálati időszak (53 nap = 1272 óra) alatt a takaratlan területen csak rövid ideig volt 35°C felett a maximális talajhőmérséklet (az időtartam 5%-a), és 40°C fölé gyakorlatilag nem emelkedett. Az átlátszó fóliával takart területen a napi maximum 206 óráig (az időtartam 16%-a) volt 40°C fölött, 47 óráig (az időtartam 4%-a) 45°C fölött és rövid ideig még 50°C fölé is emelkedett. A takart parcellákon a 35°C-ot meghaladó órák száma 6-szor annyi volt, mint a takaratlan parcellákon (16. ábra).

Az 1. és a 7. parcella adatait összevetve megállapítható, hogy a 7. „legjobban” letakart parcellán a nappali maximális hőmérséklet 110 órával volt hosszabb ideig 45°C fölött, mint az 1. parcellán. Az 50°C fölötti értékek mind a 7. parcellán alakultak ki.



16. ábra: Azon órák száma, amikor a nappali maximális talajhőmérséklet 35°C feletti (Gödöllő, 2023)

A nappali maximum léghőmérsékleti értékek legnagyobb gyakorisággal a vizsgált időszakban a nyári időszámítás szerinti 13-14 óra között alakultak ki, majd néhány óra eltolódással a takart és takaratlan parcellák 5 cm-es talajmélységében 15-16 óra között (17. ábra). A takaratlan parcellákon nagyobb gyakorisággal voltak mérhetőek még a maximumok 14-15 óra között, a takart parcellákon 16-17 óra között.



17. ábra: Nappali hőmérsékleti maximumok kialakulási időpontja (Gödöllő, 2023)

4.2. Talajnedvesség alakulása

A szolarizáció a gyomszabályozási potenciálon túl a talaj nedvességtartalmára is pozitív hatást gyakorolhat. Különböző talajmélységekben ez a hatás más-más hatékonysággal érvényesül.

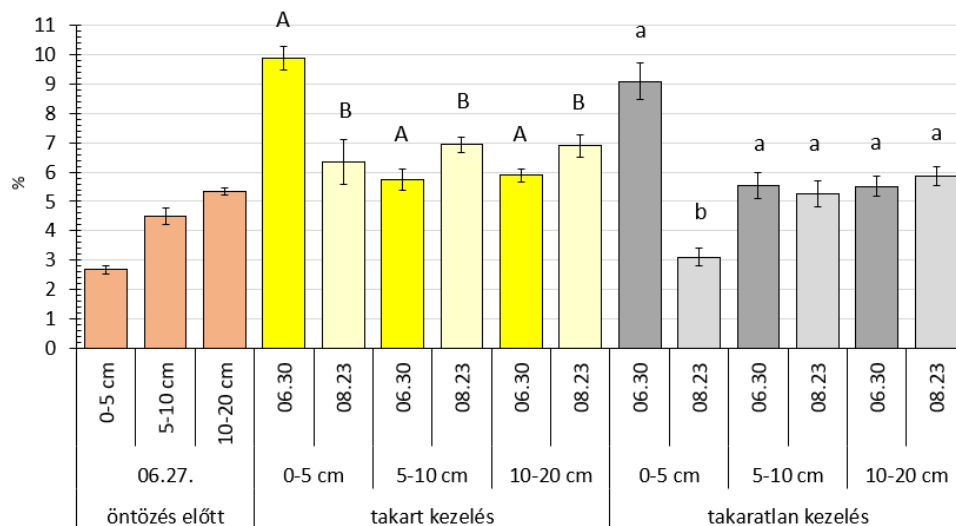
A kísérlet megkezdése előtt a hosszú ideje műveletlen, felgyomosodott parlag területnek a talajnedvesség tartalma a 0-20 cm-es mélységben alacsony volt (06.27.) (18. ábra). A fóliázást megelőző öntözéssel sikerült a kezelt és kontroll parcellák talajnedvességét közel azonos szintre hozni (06.30.).

Az öntözés hatására a legfelső 5 cm-ig nőtt meg legnagyobb mértékben a talajnedvesség a fóliázás napjáig (18. ábra), ahogy arra számítottunk. Ez a növekedés hozzávetőlegesen 3,5-szeres volt, a fóliázásra váró parcellákon $2,7 \pm 0,1\%$ -ról emelkedett $9,9 \pm 0,4\%$ -ra, a kontroll parcellákon pedig $9,1 \pm 0,6\%$ -ra. Az 5-10 cm-ig terjedő talajmélységben ez az érték megközelítőleg csak 25%-kal nőtt a beöntözés következtében, $4,5 \pm 0,3\%$ -ról indult a nedvesség és a takart parcellákon június 30-ára $5,7 \pm 0,4\%$ -ra nőtt, a takaratlanokon $5,6 \pm 0,4\%$ -ra. 10-20 cm-es mélységben ez a növekedés csupán 6% körüli volt. Kiinduláskor, 06.27-én itt volt a legmagasabb a talajnedvesség $5,3 \pm 0,1\%$ -os értékkel, ez a takart parcellákon $5,9 \pm 0,2\%$ -ra növekedett csupán, a takaratlan parcellákon is mindössze $5,5 \pm 0,3\%$ -ra. Beöntözés után (06.30.) nem volt szignifikáns eltérés a vizsgált talajmélységekben a takarásra kerülő és a takaratlan parcellák nedvessége között.

A kísérlet végére (08.23.) a talajnedvesség mind a takart, mind a takaratlan parcellákon szignifikánsan csökkent a felső 0-5 cm-es rétegben (18. ábra). A takart területeken $9,9 \pm 0,4\%$ -ról csökkent $6,4 \pm 0,8\%$ -ra, az eltérés 3,5% volt ($p=0,0002$). A takaratlan területeken $9,1 \pm 0,6\%$ -ról $3,1 \pm 0,3\%$ -ra történt a csökkenés, a különbség 6% volt ($p=0,000002$).

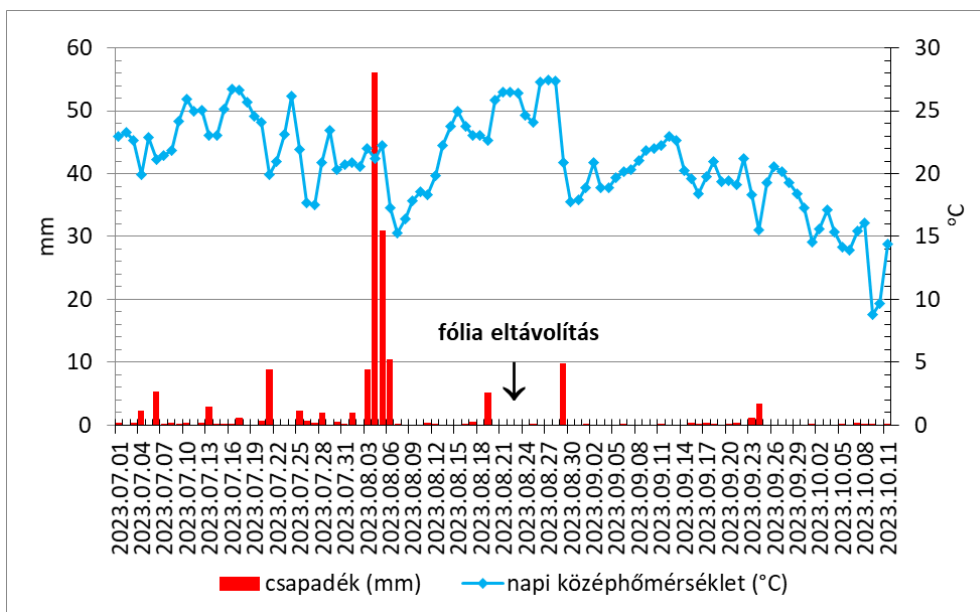
A lejjebb található rétegekben már kedvezőbb eredményeket kaptunk. A fólia felszedéskor 5-10 cm-es mélységben mért talajnedvesség a takart parcellákon ($6,9 \pm 0,3\%$) szignifikánsan több volt a kísérlet kezdetekor mért értéknél ($5,7 \pm 0,4\%$), az eltérés 1,2% volt ($p=0,0017$). Ezzel szemben a kezeletlen parcellákon ugyanezen mélységben mért érték a felszedés napján ($5,3 \pm 0,4\%$) kevesebb volt, mint a 06.30-án mért nedvességi érték ($5,6 \pm 0,4\%$), azonban ez az eltérés nem volt szignifikáns.

A legalsó talajmélységben (10-20 cm) az átlátszó fóliával takart parcellákon a kísérlet végén mért talajnedvesség $6,9 \pm 0,4\%$ volt, mely szintén szignifikánsan meghaladta a kísérlet fóliázás előtti adatot ($5,9 \pm 0,2\%$), a növekedés 1% volt ($p=0,0038$). Ugyanezen mélységben a kontroll területeken mért érték a kísérlet végén ($5,9 \pm 0,3\%$) kismértékben ugyan, de szintén meghaladta a kezdeti értéket ($5,5 \pm 0,3\%$), de ez az eltérés sem tekinthető szignifikánsnak.



18. ábra: Talajnedvesség alakulása különböző talajmélységekben a vizsgálat indulásakor (06.30.) és befejezésekor (08.23.)
(Megjegyzés: Egy kezelésen belül, az azonos talajmélységnél két eltérő időpontban mért nedvesséérték között nincs szignifikáns különbség azonos betűjelölés esetén)

A kísérlet 53 napja alatt összesen 144,1 mm csapadék hullott a vizsgált területen (19. ábra). A vizsgálati időszakban 20 teljesen csapadékmentes nap volt, ebből 9 júliusban, 11 augusztusban. 10 mm-t meghaladó csapadékmennyiség 3 napon alakult ki, mind augusztus elején. 08.06-án 10,5 mm eső hullott, 5-én 30,9 mm, legtöbb csapadék pedig 4-én esett, 56,1 mm. Ezen három nap alatt hullott le az összes csapadékmennyiség közel 68%-a. Július során összesen 29,6 mm csapadék hullott, naponta átlagosan 1 mm. Ezen csapadékmennyiség talajnedvességre gyakorolt hatása (17 nap múlva) a fólia felszedésének időpontjában a takaratlan területen már nem érvényesült, a nedvességtartalom gyakorlatilag az öntözés előtti (06.27.) állapothoz közeli alacsony szinten volt (24. ábra). Ennek oka lehet, az emelkedő napi középhőmérséklet, a talaj homok fizikai félesége és ebből adódó gyenge víztartóképesége, a terület enyhe lejtéséből adódó gyors vízlevezetés, valamint a csapadék intenzitása.



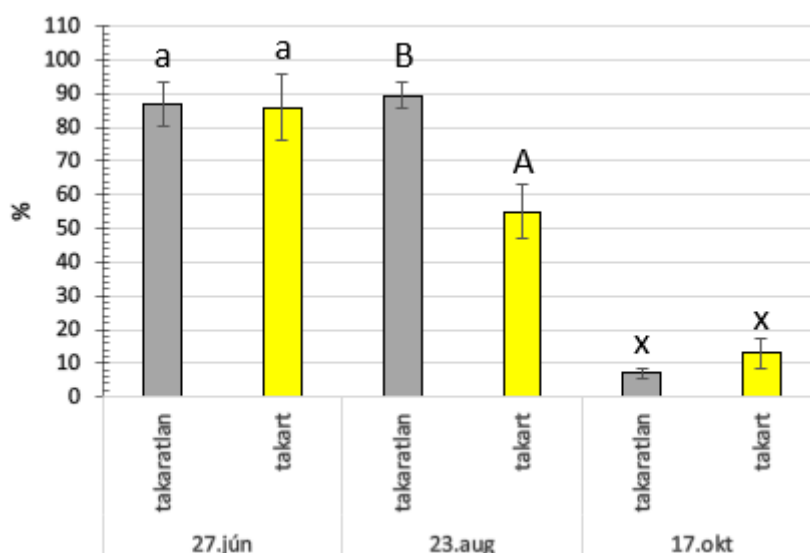
19. ábra: Csapadék napi mennyisége (mm) és a napi középhőmérséklet (°C) (Gödöllő, 2023)

4.3. Gyomborítottság alakulása

4.3.1. Összes gyomborítás

Az első gyomfelvételezés időpontjában (06.27) - mely a kísérlet indulása előtti állapotot tükrözi - az összgyomborítás tekintetében nem volt szignifikáns eltérés a takarásra kerülő és takaratlan parcellákon (20. ábra). Ezzel szemben augusztus 23-án, a fólia felszedését követően egyértelműen tapasztalható volt a különbség. A gyomborítás a takaratlan területeken ($89,6 \pm 3,8\%$) a takart területekhez képest ($55,1 \pm 8,2\%$) szignifikánsan magasabb volt ($p=0,0003$), az eltérés 34,5% volt.

Az augusztus 23-ai felvételezést követő sekély (5 cm) kézikapálás és a gyomok összeszedése után 8 héttel, október 17-én a kezelt és kontroll területek összgyomborítás viszonya a korábbiaknál tapasztaltakhoz képest megváltozott. Ugyan elenyésző volt a különbség, de a korábban takart parcellákon a gyomnövények összborítása magasabb volt 5,9%-kal, bár a különbség statisztikailag nem volt igazolható.



20. ábra: Az összes gyomborítás alakulása a kezelés kezdetekor (06.27), a fólia felszedésekor (08.23), valamint 8 héttel a kísérlet lezárulta után (10.17)

(Megjegyzés: Az azonos időpontban lévő eredmények közötti eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak [$P=0,0003$])

4.3.2. Borítás növényfajonként

A fóliatakarást megelőző kapálás előtt végzett gyomfelvételezés során 24 növényfajt találtunk, melyek 8 különböző életforma csoporthoz tartoztak (2. táblázat). A kapálást és takarást követő felméréskor ez a szám jelentősen lecsökkent, csupán 9 különböző növényfaj volt a kijelölt parcellákon (3. táblázat), kevesebb mint fele az első alkalommal jelenlévőknek. Az október 17-ei felméréskor kissé növekedett a diverzitás a vizsgált területen, 12 faj volt látható (4. táblázat), de az első alkalommal mért fajszám ezt is kétszeresen meghaladta. A júniusi felméréskor talált növények közül számos végleg eltűnt az első felmérést követően.

Az első felméréskor a három, már korábban részletezett, domináns növényfajokat tartalmazó életforma típuson (T_1 , T_4 , G_1) túl megjelentek képviselői a G_3 , H_2 , H_4 , HT és a T_2 -es életforma típusoknak is. Egyes csoportokból csupán 1-1 növényfaj jelent meg a vizsgált területen. Ilyen volt a G_3 -as életforma típushoz tartozó selyemkóró (*Asclepias syriaca*), mely összborítása összesen $0,03 \pm 0,05\%$ -ot ért el. A H_4 -es csoportból a közönséges orbáncfű (*Hypericum perforatum*) jelent meg a parcellákon, szintén 1% alatti borítással, a kísérlet végére ráadásul teljesen eltűnt (3. táblázat), valamint az október 17-ei felméréskor (4. táblázat) sem volt már jelen. Egyedüli HT életforma típusba sorolandó fajként parlagi ligetszépéből (*Oenothera biennis*) is csupán egy példányt találtunk a területen, mely szintén eltűnt az első felvételezést követően (3. táblázat) és nem tért vissza 8 héttel a kísérlet lezárulta után sem (4. táblázat).

A T₂-es életforma típushoz tartozó növényfajok mind 1% alatti borítással bírtak. Ide tartozott a mezei árvácska (*Viola arvensis*), a pipacs (*Papaver rhoeas*) és az apró lucerna (*Medicago minima*). A kísérlet végén történő felvételezéskor már egyik faj sem volt jelen, mely minden bizonnyal az alacsony csírázási hőmérsékletüknek tudható be. Alacsony borítást (<1%) értek el továbbá a H₂-es életformába tartozó gyomnövények, mint a fehér here (*Trifolium repens*) és a madársóska (*Oxalis corniculata*), utóbbi faj a kísérlet végére eltűnt a területről.

Legnagyobb fajszerű csoport a T₄-es volt, melyhez 10féle gyomnövény tartozott a fóliázást megelőző gyomfelvételezéskor (2. táblázat). A domináns fajokon túl megjelent a betyárkóró (*Conyza canadensis*), a fénymag (*Phalaris canariensis*) és a tarlóhere (*Trifolium arvense*), melyek mind eltűntek az összes parcelláról a kísérlet végére (3. táblázat). A szintén T₄-es fehér libatop (*Chenopodium album*) és szőrös disznóparéj (*Amaranthus retroflexus*) ugyan nem tűntek el (3. táblázat), de 1% körüli volt a borításuk, csupán elvétele jelentek meg.

2. táblázat: Gyomborítási értékek a kísérlet kezdete előtt

Bayer kód	Tudományos név	Magyar név	Életforma	kísérlet előtt (2023.06.27)		p érték
				takart	takaratlan	
AMBEL	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Ürömlevelű parlagfű	T4	41,25 ±7,50	37,5 ±8,66	
DIGSA	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pirók ujjasmuhar	T4	13,25 ±9,25	16,25 ±14,10	0,7342
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Közönséges kakaslábű	T4	7,63 ±6,26	11,78 ±10,24	0,5150
CHEAL	<i>Chenopodium album</i>	Fehér libatop	T4	0,23 ±0,19	0,18 ±0,10	
TRIAR	<i>Trifolium arvense</i>	Tarlóhere	T4	0,20 ±0,24	0,05 ±0,06	
POROL	<i>Portulaca oleracea</i>	Kövér porcsin	T4	0,15 ±0,10	0,20 ±0,08	0,4769
CONCA	<i>Conyza canadensis</i>	Betyárkóró	T4	0,03 ±0,05	0,18 ±0,24	
PHACA	<i>Phalaris canariensis</i>	Fénymag	T4	0,03 ±0,05	0,03 ±0,05	
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Szőrös disznóparéj	T4	0,03 ±0,05	0,03 ±0,05	
POLPE	<i>Polygonum persicaria</i>	Baracklevelű keserűfű	T4	0,03 ±0,05	0	
AGRRE	<i>Agropyron repens</i>	Közönséges tarackbúza	G1	20 ±10,8	19 ±14,31	0,9148
POLAV	<i>Polygonum aviculare</i>	Porcsin keserűfű	G1	0	0,03 ±0,05	
CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Pásztortáska	T1	1,58 ±1,18	1,25 ±0,65	0,6457
VERPE	<i>Veronica persica</i>	Perzsa veronika	T1	0,30 ±0,48	0,08 ±0,15	
STEME	<i>Stellaria media</i>	Tyúkhúr	T1	0,08 ±0,05	0,08 ±0,05	
VERAR	<i>Veronica arvensis</i>	Mezei veronika	T1	0,05 ±0,10	0,13 ±0,15	
PAPRH	<i>Papaver rhoeas</i>	Pipacs	T2	0,50 ±0,58	0	
VIOAR	<i>Viola arvensis</i>	Mezei árvácska	T2	0,18 ±0,22	0,08 ±0,10	
MEDMI	<i>Medicago minima</i>	Apró lucerna	T2	0	0,05 ±0,10	
TRIRe	<i>Trifolium repens</i>	Fehér here	H2	0,38 ±0,75	0,08 ±0,15	
OXAsp	<i>Oxalis sp.</i>	Madársóska	H2	0,03 ±0,05	0,05 ±0,06	
HYPPE	<i>Hypericum perforatum</i>	Közönséges orbáncfű	H4	0,05 ±0,06	0	
OENBI	<i>Oenothera biennis</i>	Parlagi ligetszépe	HT	0,03 ±0,05	0	
ASCSY	<i>Asclepias syriaca</i>	Selyemkóró	G3	0	0,03 ±0,05	

A fólia felszedését követő felvételezés során összesen 9 faj volt jelen (3. táblázat), ebből 5 kizárólag a takaratlan parcellákon. Nem volt növényfaj, ami csak a takart parcellákon jelent meg a kísérlet végére. A kísérlet ezen időpontjában csupán 3 életforma típushoz (T₄-es, G₁-es és G₃-as) tartozó gyomnövényt találtunk.

Az átlátszó fóliával takart parcellákon kizárólag 4 faj jelent meg (3. táblázat), mindegyik dominánsnak volt nevezhető a kísérlet valamely szakaszában. Az erősen domináns kövér porcsinon (*P. oleracea*) túl, a közönséges tarackbúza (*A. repens*), a közönséges kakaslábű (*E. crus-galli*) jelentek meg, borításuk azonban 1% alatt maradt. A pirók ujjasmuhar (*D. sanguinalis*) borítása ($1,3 \pm 1,4\%$) is éppen meghaladta az 1%-ot.

A takaratlan parcellákon ezzel szemben 9 növényfaj volt jelen (3. táblázat). Ezeken a területeken a pirók ujjasmuhar (*D. sanguinalis*) uralkodott, de jelentős borítása volt a közönséges kakaslábűnek (*E. crus-galli*) és a kövér porcsinnak (*P. oleracea*) is. Több T₄-es gyomnövény is csak ezeken a parcellákon tudott fennmaradni, mint a szőrös disznóparéj (*A. retroflexus*), a fehér libatop (*C. album*) és az ürömlevelű parlagfű (*A. artemisiifolia*). A takaratlan területeken ráadásul megjelent új növényfaj, mely a 06.27-ei felvételezés során nem volt megtalálható a kísérlet helyszínén, a lapulevelű keserűfű (*Polygonum lapathifolium*), bár mindössze $0,05 \pm 0,1\%$ -os borítással bírt.

Mind a takart, mind a takaratlan parcellákon a T₄-es fajok bírtak messze a legnagyobb borítással (3. táblázat). A G₁-es életforma típusú gyomnövények közül csak a közönséges tarackbúza maradt fent, a G₃-as életforma képviselői közül pedig a selyemkóró (*Asclepias syriaca*). Utóbbi növényfaj csak a takaratlan területeken bukkant fel, de ez a kísérletet megelőző felvételezésnél (2. táblázat) is tapasztalható volt, így ez nem tulajdonítható a szolarizáció eredményének.

3. táblázat: Gyomborítási értékek a fólia felszedése után közvetlenül

Bayer kód	Tudományos név	Magyar név	Élet-forma	takarás leszedése után (2023.08.23)		p érték
				takart	takaratlan	
POROL	<i>Portulaca oleracea</i>	Kövér porcsin	T4	53,25 ±9,25	12,25 ±5,32	0,00025
DIGSA	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pirók ujjasmuhar	T4	1,30 ±1,44	55,00 ±4,08	0,000003
ECHCG	<i>Echinocloa crus-galli</i>	Közönséges kakaslábű	T4	0,25 ±0,50	12,25 ±2,06	0,00003
AMBEL	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Ürömlevelű parlagfű	T4	0	6,25 ±4,72	
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Szőrös disznóparéj	T4	0	1,75 ±2,36	
CHEAL	<i>Chenopodium album</i>	Fehér libatop	T4	0	0,25 ±0,50	
POLLA	<i>Polygonum lapathifolium</i>	Lapulevelű keserűfű	T4	0	0,05 ±0,1	
AGRRE	<i>Agropyron repens</i>	Közönséges tarackbúza	G1	0,28 ± 0,49	1,50 ±1,73	0,2206
ASCSY	<i>Asclepias syriaca</i>	Selyemkóró	G3	0	0,25 ±0,50	

A kísérlet lezárulását követő 8. héten 12 növényfaj volt a kísérleti parcellákon (X. táblázat). A takart parcellákon ebből 9 jelent meg, a takaratlanokon mind a 12 faj.

A területen ismét megjelentek a T₁-es életforma típusú gyomnövények, mint a pásztortáska (*C. bursa-pastoris*), perzsa veronika (*Veronica persica*) és tyúkhúr (*Stellaria media*). Ezen gyomok jellemzően ősszel kelnek ki, így várható volt, hogy ezen csoport tagjai ismét felbukkannak a kísérletet követően. Megjelent újból továbbá mind a takart, mind a takaratlan parcellákon a perzsa veronika (*Veronica persica*), mely az első felvételezést követően tűnt el (3. táblázat).

10.17-éig még további két teljesen új növényfaj bukkant fel (4. táblázat), az apró szulák (*Convolvulus arvensis*), valamint a varjúmák (*Hibiscus trionum*). Mindkét növény kizárólag a takaratlan parcellákon csírázott ki.

Ahogy azt a két korábbi gyomfelvételezésnél is tapasztaltuk, selyemkóróval (*A. syriaca*) csak a takaratlan területeken találkoztunk (4. táblázat), bár ezúttal sem volt jelentősebb borítása (0,05±0,1%).

08.23-ai felmérést követően eltűnt 3 növényfaj (4. táblázat), ebből korábbi felvételezés során (06.27-én) 1 faj volt domináns, az ürömlevelű parlagfű (*A. artemisiifolia*). A további két eltűnt gyomnövény a szőrös disznóparéj (*A. retroflexus*) és a lapulevelű keserűfű (*P. lapathifolium*) volt, utóbbiból csupán 1 példány jelent meg a kísérlet időtartama alatt.

4. táblázat: Gyomborítási értékek a fólia felszedése utáni 53. napon

Bayer kód	Tudományos név	Magyar név	Életforma	takarás leszedése utáni 53. nap (2023.10.17)		p érték
				takart	takaratlan	
POROL	<i>Portulaca oleracea</i>	Kövér porcsin	T4	3,25 ±1,66	0,65 ±0,90	0,033
ECHCG	<i>Echinocloa crus-galli</i>	Közönséges kakaslábfű	T4	2,88 ±0,48	1,98 ±2,75	0,5432
DIGSA	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pirók ujjasmuhar	T4	0,70 ±0,89	0,58 ±0,95	0,8540
CHEAL	<i>Chenopodium album</i>	Fehér libatop	T4	0,23 ±0,19	0,13 ±0,05	
HIBTR	<i>Hibiscus trionum</i>	Varjúmák	T4	0	0,05 ±0,10	
CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Pásztortáska	T1	2,63 ±2,17	1,88 ±0,63	0,5322
VERPE	<i>Veronica persica</i>	perzsa veronika	T1	0,43 ±0,39	0,18 ±0,1	
STEME	<i>Stellaria media</i>	Tyúkhúr	T1	0,05 ±0,06	0,13 ±0,05	
AGRRE	<i>Agropyron repens</i>	Közönséges tarackbúza	G1	2,75 ±0,87	1,40 ±0,99	0,0854
ASCSY	<i>Asclepias syriaca</i>	Selyemkóró	G3	0	0,05 ±0,10	
CONAR	<i>Convolvulus arvensis</i>	Apró szulák	G3	0	0,05 ±0,10	
TRIRE	<i>Trifolium repens</i>	Fehér here	H2	0,03 ±0,05	0,03 ±0,05	

4.3.3. Gyomborítás életforma csoportonként

T₄ gyomok

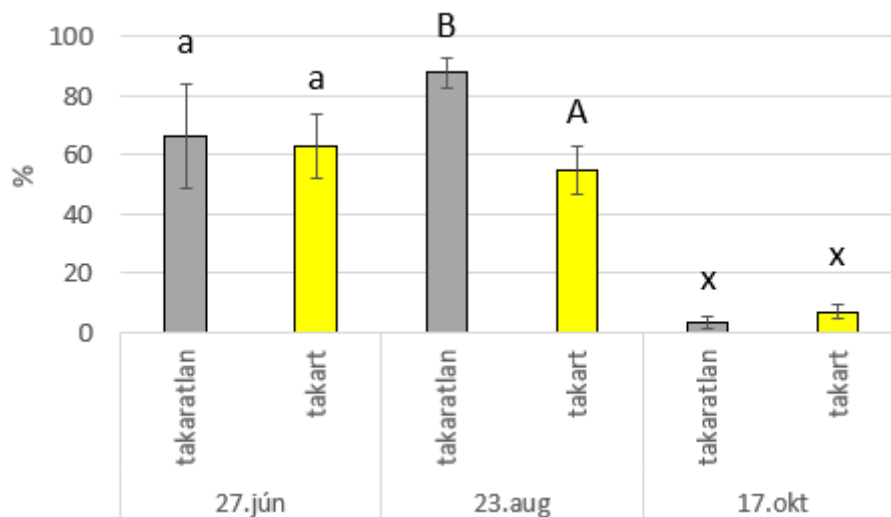
Messze legnagyobb borítása a T₄-es gyomnövényeknek volt a vizsgált időszakban (5. táblázat). Az első gyomfelvételezéskor (06.27.) a takarásra kerülő parcellák és a takaratlan parcelláknál egyaránt a borítási arányuk 60% feletti volt, de a két érték között nem volt szignifikáns különbség. (5. táblázat) Ebben az időszakban a meghatározó T₄-es gyomok mindkét kezelésű parcelláknál az ürömlévelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*), a pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*) és a közönséges kakaslábfű (*Echinocloa crus-galli*) volt. Ez várható volt tekintettel arra, hogy ez a csoport alkalmazkodik legjobban a nyári szárazsághoz.

5. táblázat A gyomok életforma szerinti borítása a vizsgálati időszakban

Élet- foma	kísérlet előtt (06.27.)			takarás leszedése után (08.23.)			takarás leszedése utáni 53. nap (10.17.)		
	takart	takaratlan	p érték	takart	takaratlan	p érték	takart	takaratlan	p érték
T4	62,98 ±10,80	66,28 ±17,67	0,7614	54,80 ±8,22	87,80 ±5,01	0,0005	7,05 ±2,19	3,38 ±2,33	0,0612
G1	20,03 ±10,77	19,05 ±14,27	0,9166	0,28 ±0,49	1,50 ±1,73	0,2206	2,75 ±0,87	1,40 ±0,99	0,0854
T1	2,00 ±1,41	1,53 ±0,51	0,5492				3,10 ±2,49	2,18 ±0,67	0,4998
T2	0,50 ±0,58	0,05 ±0,10							
G3	0	0,03 ±0,05		0	0,25 ±0,50		0	0,10 ±0,12	
H2	0,38 ±0,75	0,08 ±0,15					0,03 ±0,05	0,03 ±0,05	
H4	0,05 ±0,06	0,00							
HT	0,03 ±0,05	0,00							

A fóliák felszedését követően (08.23.) végzett felméréskor a fóliával takart területeken szignifikánsan kisebb ($p= 0,0005$) volt a borítása a T_4 -es életformába tartozó gyomnövényeknek ($55\pm8,2\%$) a kontroll, takaratlan területekhez képest ($88\pm5\%$), méghozzá 33%-kal (1. táblázat) Ekkor a takart területeken a domináns T_4 -es gyom a kövér porcsin (*Portulaca oleracea*) volt, a takaratlan területen viszont a pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*), kisebb, de meghatározó volt a borítása a kövér porcsinnak (*Portulaca oleracea*) és közönséges kakaslábűnek (*Echinocloa crus-galli*).

A kísérleti időszak utáni 8. hétben (10.17.) végzett gyomfelvételezésen a kezelt és kontroll területek közötti különbség nem volt számottevő, mindössze 3,7%-kal volt nagyobb borítása a takart parcellákon található T_4 -es gyomnövényeknek. Mind a takaratlan, mind a takart parcellákról elmondható volt, hogy jelentős mértékben visszaszorult a T_4 -es életformájú gyomnövények jelenléte az októberi felvételezésre, de még mindig meghatározó volt jelenlétük a többi életformához képest (1. táblázat)

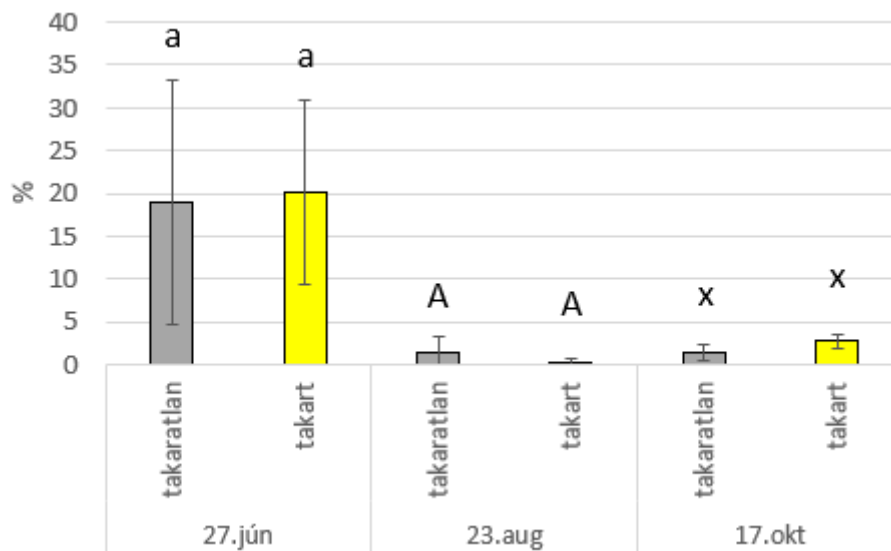


21. ábra: A T₄-es életformához tartozó gyomnövények borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben (Megjegyzés: Az azonos időpontban lévő eredmények közötti eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak ($p = 0,0005$))

G₁ gyomok:

A kezelés előtti felméréskor (06.27.) a T₄-es gyomok után az összborítás jelentős részét tették ki a G₁-es életformába tartozó gyomnövények (5. táblázat). A takarásra kerülő és a takaratlan parcellák között nem volt a borításban szignifikáns eltérés. (22. ábra). A meghatározó növény a közönséges tarackbúza (*Agropyron repens*) volt.

Az átlátszó fólia levétele után (08.23.) a takart parcellákon majdnem teljes mértékben eltűntek a G₁—es gyomok ($0,3 \pm 0,5\%$), de a takaratlan parcellákon is néhány százalékos borítást értek csak el ($1,5 \pm 1,7\%$), így ez valószínűleg nem a takarás hatékonyságának, inkább a fólia takarás előtti kapálás sikerének lehet tulajdonítani. A kezelt és kezeletlen területeken a kísérlet végén (08.23-án) és az azt követő 8. hétben (10.17-én) sem volt szignifikáns különbség tapasztalható a takart és a takaratlan területek borításában. (22. ábra, 5. táblázat)



22. ábra: A G1-es életformához tartozó gyomnövények borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben (Megjegyzés: Az azonos időpontban lévő eredmények közötti azonos betűk esetén nincs szignifikáns eltérés)

T₁ gyomok

A T₁-es életformacsoportba tartozó gyomnövények követték borítási százalékban a T₄ és G₁-es növényeket, de jóval kisebb hányadát tették csak ki a borításnak a vizsgálati időben. (5. táblázat) A csoport meghatározó képviselője a pásztortáska (*Capsella bursa-pastoris*) volt. A kezelés kezdetekor a takaratlan és takart parcellákon átlagosan 1,5-2% -os borítással voltak jelen a T₁-es gyomnövények. A fólia leszedése (08.23.) után T₁-es gyomok nem voltak jelen a területen. A fólia felszedését követő 8. hétben azonban megnőtt a T₁-es csoport borítása, a kontroll területeken $2,2 \pm 0,7\%$ -ra, a takartterületeken pedig $3,1 \pm 2,5\%$ -ra. Szignifikáns különbség a kísérlet ideje alatt azonban nem volt tapasztalható a kezelt és kezeletlen területek között. Ez leginkább a kiválasztott vizsgálati időszaknak volt köszönhető, mely nyár végén lezárult, mikor a T₁-es gyomnövények rendszerint csírázni kezdenek.

Ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) (T₄)

Jelentősebb gyomnövények közül a kezelést megelőző felvételezéskor (06.27) legmagasabb arányban az ürömlevelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) képviseltette magát mind a takarásra szánt területen ($41,3 \pm 7,5\%$), mind a takaratlanon ($37,5 \pm 8,7\%$). (2. táblázat) A két terület borítása között nem volt szignifikáns eltérés. A fólia felszedése után (08.23) a takart területeken nem jelent meg, viszont a takaratlan parcellákon $6,3 \pm 4,7\%$ -os borítással újra megjelent (3. és 4. táblázat). A változás tendenciáját tekintve elmondható, hogy a takarás előtti

kapálás és a szolarizáció együttes hatásaként a parlagfű csírázása nagyobb mértékben akadályozott volt takart parcellákon, mint a takaratlan parcellákon.

Tarackbúza (*Agropyron repens*) (G1)

Hasonló eredmény volt megfigyelhető a kezelés kezdetekor dominánsnak nevezhető tarackbúzánál (*Agropyron repens*) is. A takarásra kerülő területen és a takaratlanon azonos borítással fordult elő ($20 \pm 10,8\%$ és $19 \pm 14,3\%$) (2. táblázat). A fólia felszedését követően (08.23) összborítása nagymértékben csökkent, mind a takart ($0,3 \pm 0,5\%$), mind a takaratlan ($1,5 \pm 1,7\%$) parcellákon, látszólag szinte teljesen eltűnt (3. táblázat). A két kezelés közötti a különbség nem nevezhető szignifikánsnak, de tendenciaként elmondható, hogy a kapálás mellett alkalmazott szolarizáció jobban visszavetette a tarackbúza kihajtási hajlamát, mint a kapált, de takaratlan parcellákon. 8 héttel a fólia eltávolítása és az újabb kapálás után azonban újra kihajtásnak indult mindkét kezelés parcelláin, a takart parcellákon $2,8 \pm 0,9\%$ volt a tarackbúza területborítása, míg a takaratlan parcellákon csak $1,4 \pm 1\%$ (4. táblázat) Ez a különbség azonban nem tekinthető szignifikánsnak.

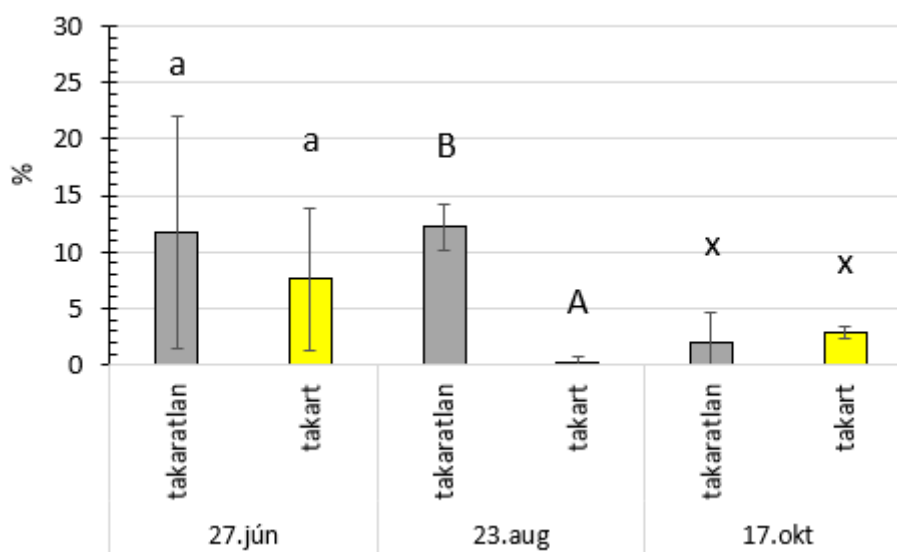
Ennél a vegetatívan szaporodni képes növényfajnál aligha lehet a visszaszorulást a fóliatakarás eredményének betudni, hiszen a tarackok összességét a fólia alatt mérhető nagyobb hőmérséklet valószínűleg nem pusztította el. Bár a kezdeti visszaszorulás, majd a 8 hét múlva történő újabb előretörés a takart parcellákon utalhat arra, hogy a talajfelszín közelében húzódó tarackdarabok kihajtását a magasabb hőmérséklet késleltette és a takarás eltávolítása után az újabb kapálás és a konkurencia csökkenése ismét jó pozícióba hozta a tarackbúzákat a nagyobb mértékű kihajtáshoz. A szakirodalom (Hunyadi et al., 2000) sem tud még biztosat mondani a hőmérséklet hatásáról a tarackbúza tarackjainak kihajtására, így ez a kérdés mindenképpen további vizsgálatokat igényelne

Kakaslábű (*Echinocloa crus-galli*) (T4)

Jelentős borítási értéke volt a közönséges kakaslábűnek (*Echinocloa crus-galli*) is, a kísérlet kezdetekor a parcellákon (23. ábra). A takart és a takaratlan területek között nem volt szignifikáns különbség.

Az átlátszó fóliák eltávolítása után azonban szignifikáns különbség ($p < 0,0001$) volt a takart ($0,3 \pm 0,5\%$) és takaratlan területek ($12,3 \pm 2,1\%$) között. Ez minden bizonnyal abból fakadt, hogy a takart területen a kövér porcsin (*Portulaca oleracea*) magjainak csírázása felerősödött, mely

elnyomta a csírázó kakaslábfű egyedeket. A takaratlan területen nagyobb élettere volt és a pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*) után a második legnagyobb gyomborítást adta a kövér porcsinnal (*Portulaca oleracea*) együtt. Ezt alátámasztja, hogy a kísérlet lezárulását követő 8. hétben történt felvételezéskor (10.17-én) a közönséges kakaslábfű már a kezelt parcellákon is megjelent, ráadásul ugyan kis és nem szignifikáns mértékben, de meghaladta a kezeletlen parcellák borítási értékeit 0,9%-kal (23. ábra).



23. ábra: A közönséges kakaslábfű borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben
(Megjegyzés: Az azonos időpontban lévő eredmények közötti eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak ($p < 0,0001$))

Pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*) (T4)

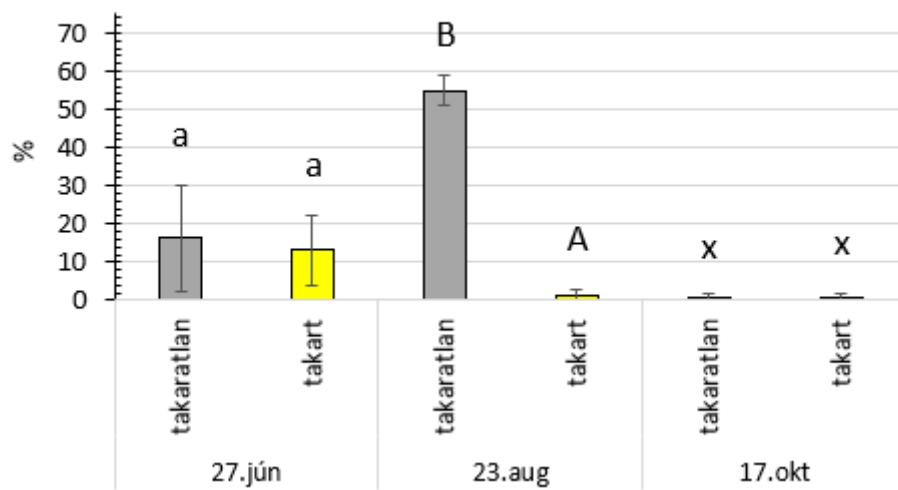
A pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*) a 06.27-én történő felvételezéskor jelentős mértékben borította a takarásra kerülő ($13,3 \pm 9,3\%$) és a takaratlan ($16,3 \pm 14,1\%$) a parcellákat. A különbség nem szignifikáns. (25. ábra)

A fólia leszedése után (08.23.) a kontroll területeken a borítása, $55\% \pm 4,1\%$ -os lett, ezzel szemben a takart területeken alig jelent meg $1,3 \pm 1,4\%$ -os borítással, ami különbség szignifikáns volt ($p < 0,0001$) (25. ábra).



24. ábra (fotó): Takaratlan parcella gyomborítása a fólia felszedése után (2023.08.23.), uralkodó borítást adó pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*)

Ez a szignifikáns különbség a kísérletet követő 8. hétben, 10.17-én kiegyenlítődött, a takart területeken kismértékben magasabb borítási értékekkel, de nem szignifikáns eltéréssel (25. ábra) Minden bizonnyal a pirók ujjasmuhar is a kövér porcsin nagymértékű jelenléte miatt szorult vissza a kezelt parcellákon. A porcsin ugyanis gyors előretörésével akadályozta a megfelelő mennyiségű fény lejutását a talajfelszínre, a pirók ujjasmuhar csírázása pedig fényigényes folyamat (Y.H. Wang et. al. 2018).



25. ábra: A pirók ujjasmuhar borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben
(Megjegyzés: Az azonos időpontban lévő eredmények közötti eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak ($p < 0,0001$))

Kövér porcsin (*Portulaca oleracea*) (T4)

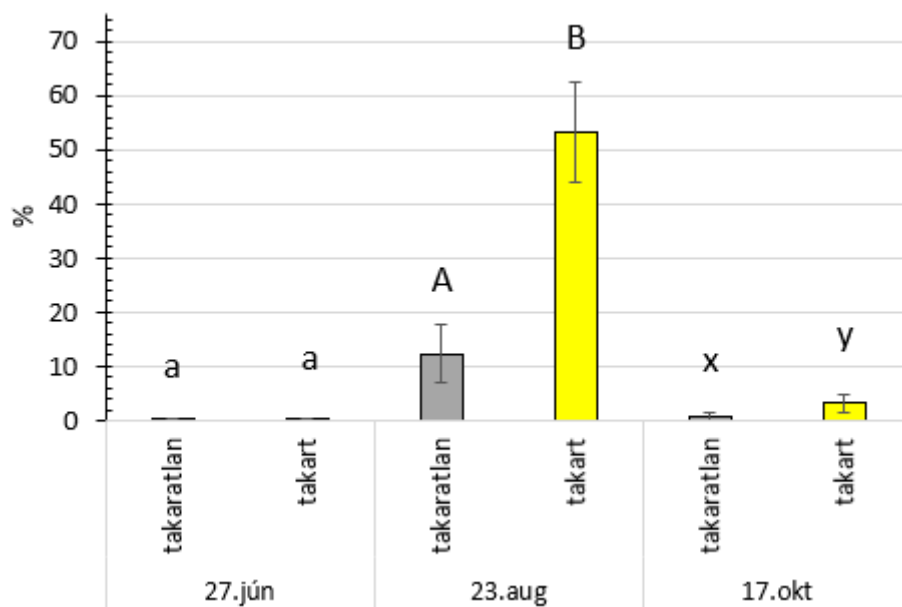
A kövér porcsin (*Portulaca oleracea*) az első gyomfelvételezés időpontjában (06.27-én) alig volt látható a tarkart ($0,15 \pm 0,10$) és a takaratlan parcellák ($0,20 \pm 0,1\%$) helyén., (26. ábra).

Ezen gyomfaj esetében látványos és nem várt eredményt kaptunk. A fólia leszedése után (08.23.) a kezelt területek $53,3 \pm 9,3\%$ -os borítása mellett (27. ábra) a kezeletlen területeken csupán $12,3 \pm 5,3\%$ -os volt a borítás, ami szignifikáns különbség volt ($p=0,0003$). Ennek valószínűsíthető oka, hogy közvetlenül a talajfelszínen elhelyezkedő magok csírázási aránya a legmagasabb. Lefelé haladva exponenciálisan csökken ez az arány, 2 cm alatti mélységből már egyáltalán nem csírázik ki egyetlen egyed sem (Chauhan 2009). Tehát a megnövekedett borítás valószínűleg a kapálásnak is köszönhető, mely a felsőbb talajrétegbe juttatta a magokat, így azok ki tudtak csírázni. A tarkart és takaratlan parcellák közötti szignifikáns különbség minden bizonnyal annak köszönhető, hogy a kövér porcsin csírázása nappali $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a legmagasabb (Chauhan 2009), a tarkart parcellákon pedig számottevően gyakoribb volt azon napok száma, mikor a napi átlaghőmérséklet $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül mozgott (4. ábra).



26. ábra (fotó): Tarkart parcella gyomborítása a fólia felszedése után (2023.08.23.), uralkodó borítást adó kövér porcsin (*Portulaca oleracea*)

A 10.17-ei felvételezéskor a takaratlan parcellákon szinte teljesen eltűnt ($0,7 \pm 0,9\%$), a takart parcellákon is alacsony borítása volt ($3,3 \pm 1,7\%$), de szignifikánsan több volt, mint a takaratlan parcelláké ($p=0,033$) (27. ábra).



27. ábra: A kövér porcsin borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben
(Megjegyzés: Az azonos időpontban lévő eredmények közötti eltérő betűk szignifikáns különbséget mutatnak (08.23.: $p=0,0003$, 10.17.: $p=0,033$))

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szolarizáció során az átlátszó fóliával történő takarás hatására a talaj 5 cm-es mélységében a kutatások magasabb hőmérsékletet mérnek a takaratlan területekhez képest. Kísérletünk során ez a megállapítás beigazolódott, ugyanis az 53 napos szolarizáció alatt a takart és a takaratlan parcellák napi átlagos talajhőmérséklete közötti eltérés átlagosan $6,6 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$, a nappali maximális talajhőmérsékleti értékek közötti átlagos eltérés pedig $9,1 \pm 1,6^{\circ}\text{C}$ volt. Ez a különbség közel megegyezik az irodalomban közölt szabadföldön mért adatokkal. Indiában $4-8^{\circ}\text{C}$ -os különbséget mértek a nappali átlaghőmérsékleti adatokban (Jagtap et. al. 2022), az USA-ban (Oregon) a szolarizáció a napi átlagos talajhőmérsékletet $6-8^{\circ}\text{C}$ -kal növelte meg a szolarizáció, a maximális talajhőmérsékletet pedig $15-16^{\circ}\text{C}$ -kal (Schreiner et. al. 2001).

Kísérletünkben a takart parcella 5 cm-es mélységében az elért legmagasabb hőmérséklet $48,7^{\circ}\text{C}$ volt, csak azon a parcellán tudott 50°C fölé emelkedni a hőmérséklet, ahol a fóliatakarás teljesen fedett az egész vizsgálati időszakban. Maximális hőmérsékleti értékeink általában elmaradnak a melegebb régiókban végzett szabadföldi szolarizációs vizsgálatok eredményeitől, ahol a takart területen gyakori az 50°C feletti maximális hőmérséklet, de ott a takaratlan területek is jobban felmelegszenek. Brazíliában 5 cm-es talajmélységben a maximális hőmérséklet 52°C volt a takart területeken, 42°C pedig a takaratlan területeken (Marenco - Lustosa, 2000), az USA-ban ugyanezen értékek $49-53^{\circ}\text{C}$ és $34-37^{\circ}\text{C}$ körül mozogtak (Schreiner et. al. 2001).

A gyomok és egyéb célszervezetek elpusztítását a maximális hőmérsékleti értékek mértéke mellett azok fennmaradásának időtartalma befolyásolja leginkább (Öz, H. 2023). 53 napos kísérletünk során a maximumhőmérséklet 5 cm-es mélységben 206 óráig haladta meg a 40°C -ot, ezen belül 47 óráig volt 45°C fölötti és csupán két órán keresztül 50°C -nál magasabb. Ugyanezen talajmélységben Floridában ezzel szemben 10 hetes szolarizációs időszakban több, mint 10 napon volt 50°C feletti a talajhőmérséklet (Gill et al. 2009). Magyarországon, a mérsékelt égövben tehát még a legmelegebb időszakban is elmaradtak a hőtartási időtartamok a meleg éghajlatú régiókban vizsgált eredményektől. A kísérleti eredményeink ezentúl rávilágítanak a gondos fóliatakarás fontosságára, ugyanis elégtelen takarás jelentős hőveszteséget tud okozni. Ezt jól tükrözik a takart parcellák ismétlésenkénti eredményei, mely szerint a „legjobban” takart parcellán sikerült egyedül a maximális hőmérsékletnek 50°C fölé

emelkednie, valamint itt 110 órával volt hosszabb ideig 45°C fölött a maximum érték, mint a nem tökéletes talajtakarásnál.

A hőmérsékleti értékek mellett a szolarizáció talajnedvességre gyakorolt hatását vizsgáltuk kísérletünk során. A fólia felszedésének időpontjában szignifikánsan alacsonyabb volt a nedvességtartalom, mint a fólia lerakásának idején a felső 5 cm-en. Ezzel szemben a mélyebb talajrétegekben 5-10 cm-en és 10-20 cm-en szignifikáns emelkedés volt tapasztalható (1,2% és 1%). Ez eltér a szakirodalomban olvasható tapasztalatoktól, Jagtap et. al. (2022) India trópusi régiójában a 0-5 cm-es talajrétegben is 1-2%-nyi növekedést tapasztaltak a fólia felszedésének időpontjában. Ennek oka a talaj fizikai félesége lehet, az általunk végzett kísérlet ugyanis homok fizikai féleségű talajon, Indiában pedig agyagos szerkezetű talajon történt. A mi kísérletünknel ráadásul egy csapadéokban szegény időszak előzte meg a fólia felszedését, emiatt is tapasztalhattuk a különbséget a felső talajrétegben.

A szolarizáció gyomállományra gyakorolt hatását a gyomnövények borításának felmérésével vizsgáltuk. Az 53 napos talajtakarás után, a fólia felszedését követően az összgyomborítás a szolarizált parcellákon (55,1%) szignifikánsan kisebb volt, mint a takaratlan parcellákon (89,6%). Ez pozitív eredménynek tekinthető. Ugyan a fóliák eltávolítását követő 55. napon mindkét kezelésnél még nagyon alacsony borítási százalékok alakultak ki, a mért különbség nem volt szignifikáns.

Fajszám tekintetében a fólia felszedését követően nagy csökkenést tapasztaltunk, a kiinduló 24 növényfajjal szemben csupán 9 csírázott ki a parcellákon, a takart parcellákon csupán 4 faj. Ez a szolarizáció utáni 8. hétben 12-re nőtt. A diverzitás nagymértékű csökkenése valószínűleg nem csupán a magas talajhőmérsékleti értékek kialakulásának, hanem a szolarizációs időszak előtt közvetlenül elvégzett kapálás következménye is.

Várakozásinknak megfelelően a szárazságtűrő T₄-es gyomfajok váltak nyár végére dominánssá. A kezelt parcellákon a T₄-es kövér porcsin (*P. oleracea*) adta az összgyomborítás túlnyomó részét, teljesen szembe menve az irodalomban közölt adatokkal. Candido et al. (2011) által végzett szolarizációs kísérlet során a *P. oleracea* teljesen eltűnt a kezelt területekről, ugyanerről számolt be Patricio et al. (2006). A mi parcelláinkon mért hőmérséklet nem érte el a *P. oleracea* ártalmatlanításához szükséges értéket, Candido et al. (2011) kísérlete során 10 cm-es mélységben mértek hasonló, illetve magasabb értékeket a mi 5 cm-en mért

értékeinkhez képest, leggyakrabban 40-45°C-ot. Patricio et al. (2006) kísérlete során is meghaladta a 40°C-ot az átlaghőmérséklet ebben a mélységben. Más növényfajok visszaszorításához elegendő lehetett a mi parcelláinkon kialakuló hőmérséklet, kiirthatott egy vagy több kompetens növényfajt is, akár a takaratlan parcellákon domináns más T₄-es fajokat, mint a pirók ujjasmuhar (*D. sanguinalis*) vagy a közönséges kakaslábfű (*E. crus-galli*). Mindenesetre a *P. oleracea* magjai nyugalmi állapotának szolarizáció általi megszakításával és ennek következtében ezen csírázó magok elpusztításával hatékony védekezési mód lehet, melyre Abouziena, Haggag (2016) tanulmányában felhívta a figyelmet.

A szolarizáció hatásait hosszabb távon is érdemes vizsgálni a gyomállomány szempontjából, akár az általunk is vizsgált szempontok szerint, mennyire befolyásolja a gyomok összetételét és az összborítást. A területen megjelenő gyomok biomassa tömegének mérésével is célszerű a gyomszabályozási potenciálját kutatni. Hosszútávú hatását vizsgálva érdemes a szolarizációs időszakot követő kultúrnövény termésmennyiségében bekövetkező változást is vizsgálni hazai szinten.

Az Alföld déli részén a legtöbb a napsütéses órák száma (MET 2023), itt kedvezőbb eredmények születhetnek, minden bizonnyal magasabb talajhőmérsékleti értékek tudnak kialakulni, mely fokozott fertőtlenítő hatást jelent.

A melegebb égövi tapasztalatok során a szolarizáció után arra törekednek, hogy a kezelt területen minél kisebb mértékű talajbolygatás után történjen a kultúrnövények vetése. Ezt a kísérletben nem tudtuk megvalósítani, mivel a takart területen kialakult gyomtömeg eltávolítása csak kapálással volt életszerű, és a sekély kapálás ellenére is a felső talajrétegbe kerülhet csíráképes gyommag a mélyebb rétegekből, ami a szolarizáció esetleges pozitív hatását mérsékelheti, esetlen csökkentheti.

Hazai körülmények között a szolarizáció alkalmazásának eredményességét ezen kísérlet alapján nem lehet eldönteni, egyes kedvező eredmények ellenére sem. A szolarizáció utóhatásának megítéléséhez az idej, de leginkább a jövő évi tavaszi felvételezési eredmények szolgálhatnak még értékes információkkal.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyomszabályozás mind a hagyományos gazdálkodók, mind az ökológiai gazdálkodók számára kritikus kérdés. A peszticidek túlzott mértékű felhasználásának azonban komoly környezeti és egészségi kockázatai vannak. Hogy ezen vegyszerek használatának mennyiségét csökkentsük, számba kell vennünk egyéb védekezési módokat.

A szolarizáció nemzetközileg egyre ismertebb eljárás, melyet leginkább a melegebb éghajlatú országokban használnak. Kutatásom célja volt, hogy hazai keretek között is vizsgáljam a talaj szolarizációjában rejlő lehetőségeket, mely reményeim szerint a jövőben alternatívaként fog szolgálni a gyomok visszaszorításában itthon is.

Az 53 napos felmérés során a szolarizáció talajhőmérsékletre gyakorolt hatását vizsgáltuk, parcellánként egy szondával 5 cm-es mélységben, melyek 15 percenként rögzítettek hőmérsékleti adatot. Ezentúl a talajnedvesség változását is vizsgáltuk gravimetriás módszerrel, valamint a szolarizáció gyomborítottságra gyakorolt hatását, melyhez a gyomfelvételt BALÁZS-UJVÁROSI módszer segítségével végeztük.

A nappali átlaghőmérséklet emelkedése a szolarizált parcellákon elért közel olyan értékeket a kontroll parcellákhoz képest, melyeket a magasabb globális sugárzású régiókban mértek. A maximális hőmérsékleti értékekben szintén sikerült hasonló mértékű különbséget elérni, mint a nemzetközi kutatások során. Bár itt megemlítendő, hogy ezen melegebb régiókban a kontroll területeken is nagyobb mértékben fel tudott melegedni a talaj, így a különbségek ugyan számottevőek voltak a kezelt és kezeletlen területek között, az talaj átlagos és maximális hőmérséklete elmaradt az irodalomban közölt adatoktól.

A szolarizáció talajnedvességre gyakorolt hatását is vizsgáltuk, mely során megállapítottuk, hogy a legfelső 0-5 cm-es talajrétegben csökkent egyedül a nedvesség, a mélyebb talajrétegekben szignifikánsan emelkedett a fóliázást megelőző állapothoz képest.

A gyomborítottság változását vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a fólia felszedését követően az összborítottság szignifikánsan kisebb volt a takart parcellákon a takaratlanokkal szemben, míg a kísérlet lezárulta utáni 8. hétben ez a különbség már nem volt jelen. A takart parcellákon a kísérlet végén nagymértékben elszaporodott a kövér porcsin (*P. oleracea*), mely

tapasztalatunk az irodalomban talált adatokkal ellentmondásos volt. Olyannyira dominánssá vált a *P. oleracea*, hogy a csupán a pirók ujjasmuhar (*D. sanguinalis*) tudott 1% fölötti borítást elérni ezeken a parcellákon. Az októberi gyomfelvételezéskor a *P. oleracea* szintén nagyobb borítást ért el a szolarizált területeken, de aránya már kisebb volt a többi növényfajhoz képest. A takart parcellákon kevesebb növényfaj jelent meg a kísérlet hatására, akár csak 1-1 egyedszámmal is, ugyan ez a különbség sem volt már számottevő a kísérlet utáni 55. napon.

A kísérlet során gyűjtött adataink, tapasztalataink segítségként szolgálhatnak a későbbiekben a szolarizáció további hazai kutatásaiban, bővítve a herbicidmentes gyombaszályozási módszerek lehetőségeit.

7. IRODALOMJEGYZÉK

EU 2018/848: 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.

Akhtar, M., Malik, A. (2000): Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review, *Bioresource Technology*. Volume 74, p. 35–47.

Al-Karaghoul A, Al-Kayssi AW, Hasson AM (1990) The photometric properties of different colored plastic mulches used for soil solarization. *Solar Wind Technology*, Volume 7, p. 119–123.
[https://doi.org/10.1016/0741-983X\(90\)90078-G](https://doi.org/10.1016/0741-983X(90)90078-G)

Abouziena, H.F., Haggag, W.M. (2016): Weed Control in Clean Agriculture: A Review. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 34 (2) p. 377-392. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200019>

B.S. Chauhan & D.E. Johnson (2009): Seed germination ecology of *Portulaca oleracea* L.: an important weed of rice and upland crops, *Annals of Applied Biology*, Volume 155, p. 61-69. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00320>

Cai-hua Shi, Jing-rong Hu, Qi-wen Wei, Yu-ting Yang, Jia-xu Cheng, Hao-lin Han, Qing-jun Wu, Shao-li Wang, Bao-yun Xu, Qi Su, Chuan-ren Li, You-jun Zhang (2018): *Control of Bradysia odoriphaga (Diptera: Sciaridae) by soil solarization*, *Crop Protection*, Volume 114, p. 76-82, ISSN 0261-2194.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.020>

Candido V., D'Addabbo T., Miccolis V., Castronuovo D. (2011): Weed control and yield response of soil solarization with different plastic films in lettuce, *Scientia Horticulturae*, Volume 130, Issue 3, p. 491-497.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.002>

Di Mola I, Ventorine V, Cozzolino E, Ottaino L, Romano I, Duri LG, Pepe O, Mori M (2021): Biodegradable mulching vs traditional polyethylene film for sustainable solarization: Chemical properties and microbial community response to soil management. *Apply Soil Ecology*, Volume 163, p. 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103921>

Gelsomino, A., Cacco, G. (2006): Compositional shifts of bacterial groups in a solarized and amended soil as determined by denaturing gradient gel electrophoresis. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 38, p. 91–102.

Gill, H. K., McSorley, R., Treadwell, D. D. (2009). Comparative Performance of Different Plastic Films for Soil Solarization and Weed Suppression. *HortTechnology*, 19(4), p. 769-774.
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.4.769>

Grünzweig, J.M., Katan, J., Ben-Tal, Y., Rabinowitch, H.D. (1999): The role of mineral nutrients in the increased growth response of tomato plants in solarized soil. *Plant Soil*, Volume 206, p. 21–27.

Haidar M. A., Iskandarani N., Sidahmed M., Baalbaki R. (1999): Response of field dodder (*Cuscuta campestris*) seeds to soil solarization and chicken manure, *Crop Protection*, Volume 18, Issue 4, p. 253-258, ISSN 0261-2194. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00023-X)

Haidar M.A., Sidahmed M.M. (2000): Soil solarization and chicken manure for the control of *Orobanche crenata* and other weeds in Lebanon, *Crop Protection*, Volume 19, Issue 3, p. 169-173, ISSN 0261-2194,
[https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00083-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00083-6)

Hunyadi K., Béres I., Kazinczi G. (Szerk.) (2000): *Gyomnövények, gyomirtás, gyombiológia*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 630 p.

- Katan, J. (1980): Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. *Plant Disease*. Volume 64, p. 450–454.
- Komariah K, Ito K, Onishi T, Senge M (2011) Soil properties affected by combinations of soil solarization and organic amendment, *Paddy and Water Environment*, Volume 9, p. 357–366, <https://doi.org/10.1007/s10333-011-0253-7>
- Lombardo S., Longo A.M.G., Lo Monaco A., Mauromicale G. (2012): The effect of soil solarization and fumigation on pests and yields in greenhouse tomatoes. *Crop Protection*, Volume 37, p. 59-64, ISSN 0261-2194. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.02.010>.
- Marenco R. A., Lustosa D. C. (2000): Soil Solarization for Weed Control in Carrot (Talaj szolarizáció a sárgarépa gyomirtásában) *Horticultural Science Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (10). <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000014>
- Mauromicale G., Longo A.M.G, Lo Monaco A., (2011): The effect of organic supplementation of solarized soil on the quality of tomato fruit. *Scientia Horticulturae*, Volume 129, Issue 2, p. 189-196, ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.024>.
- MET (2023): Magyarország napsugárzás, napfénytartam és felhőzet viszonyai. Letöltés dátuma: 2023.10.19. forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/
- Oka Y., Shapira N., Fine P. (2007): Control of root-knot nematodes in organic farming systems by organic amendments and soil, *Crop Protection*, Volume 26, Issue 10, p. 1556-1565, ISSN 0261-2194. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.01.003>
- Öz, H. (2023): Improvement of Soil Solarization Efficiency and Lettuce Yield by Using Different Mulching Materials and Biochar. *Gesunde Pflanzen* 75, 1347–1354. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00749-5>
- Pane C, Villecco D, Pentangelo A, Lahoz E, Zaccardelli M (2012): Integration of soil solarization with Brassica carinata seed meals amendment in a greenhouse lettuce production system. *Acta Agriculturae Scandinavica, B Soil Plant Sci*, Volume 62, p. 291–299. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.613850>
- Patrício F.R.A., Sinigaglia C., Barros B.C., Freitas S.S., Tessarioli Neto J., Cantarella H., Ghini R. (2006): Solarization and fungicides for the control of drop, bottom rot and weeds in lettuce, *Crop Protection*, Volume 25, Issue 1, p. 31-38, ISSN 0261-2194. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.002>.
- Reisinger P. (2000): Gyomfelvételezési módszerek In: Hunyadi K. – Béres I. – Kazinczi G. (Szerk.): *Gyomnövények, gyomirtás, gyombiológia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 28-34.
- Schreiner, P.R., Ivors, K.L. & Pinkerton, J.N. (2001): Soil solarization reduces arbuscular mycorrhizal fungi as a consequence of weed suppression, *Mycorrhiza* 11, p. 273–277. <https://doi.org/10.1007/s005720100131>
- Stapleton, J.J. (2000): Soil solarization in various agricultural production systems, *Crop Protection*, Volume 19, Issues 8–10, p. 837-841, ISSN 0261-2194. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00111-3).
- Thuriès, L., Larreé-Larrouy, M.C., Feller, C. (2000): Influence of organic fertilization and solarization in a greenhouse on particle-size fraction of a Mediterranean sandy soil. *Biology and Fertility of Soils*, Volume 32, p. 449–457.
- Turner, B.L., Bristow, A.W., Haygarth, P.M. (2001): Rapid estimation of microbial biomass in grassland soils by ultra-violet absorbance. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 31, p. 913–919.
- Varga-Haszonits Z. (1987): Az agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 248 pp.
- Y.H. Wang, Y.L. Ma, G.J. Feng, H.H. Li (2018): Abiotic Factors Affecting Seed Germination and Early Seedling Emergence of Large Crabgrass (*Digitaria sanguinalis*), *Planta Daninha*, Volume: 36, ISSN: 2675-9462, <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100068>

Elektronikus hivatkozások

http1: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0045.html

http2: <https://www.euoparc.org/european-policy/farm-to-fork-protectes-areas/>

http3: <https://www.biokontroll.hu/veszelyeztetett-fajokat-karosithatnak-a-herbicidek/>

http4: https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0037.html

http5: https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_met002cc.html?down=150

ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

Sorszám	Cím	Oldalszám
1. táblázat	A kísérleti terület talajjelemezői (Gödöllő, 2023)	18
2. táblázat	Gyomborítási értékek a kísérlet kezdete előtt	38
3. táblázat	Gyomborítási értékek a fólia felszedése után közvetlenül	39
4. táblázat	Gyomborítási értékek a fólia felszedése utáni 53. napon	39-40
5. táblázat	A gyomok életforma szerinti borítása a vizsgálati időszakban	41

Sorszám	Cím	Oldalszám
1. ábra	A kísérleti helye a MATE Szent István Campusán (2023)	18
2. ábra	A kísérleti kezelések és a hőmérők elhelyezkedése (Gödöllő, 2023)	20
3. ábra	A kísérleti parcellák a kísérlet kezdetén (Gödöllő, 2023.06.30.)	21
4. ábra	Napi átlagos talaj- és léghőmérséklet (Gödöllő, 2023)	23
5. ábra	A napi átlagos hőmérséklet eltérései a takaratlan parcellák talajhőmérsékletéhez képest (Gödöllő, 2023)	24
6. ábra	Éjszakai átlagos talaj- és léghőmérséklet (Gödöllő, 2023)	25
7. ábra	Éjszakai átlaghőmérséklet eltérései a takaratlan parcellák talajhőmérsékletéhez képest (Gödöllő, 2023)	25
8. ábra	Nappali maximális talaj- és léghőmérséklet (°C), valamint a napi globálisugárzás (W/m ²) alakulása (Gödöllő, 2023)	26
9. ábra	Nappali maximális hőmérséklet eltérései a takaratlan parcellák talajhőmérsékletéhez képest (Gödöllő, 2023)	27
10. ábra	Nappali maximális talajhőmérsékleti értékek az átlátszó fóliával takart parcella négy ismétlésében (Gödöllő, 2023)	28
11. ábra	Éjszakai átlagos talajhőmérsékleti értékek az átlátszó fóliával takart parcella négy ismétlésében (Gödöllő, 2023)	28
12. ábra	A fóliával takart 1. parcella (Gödöllő, 2023)	29
13. ábra	A fóliával takart 3. és 5. parcella (Gödöllő, 2023. 08. 22.)	30
14. ábra	A fóliával takart 7. parcella (Gödöllő, 2023. 08. 22.)	30
15. ábra	Azon napok száma, amikor a nappali maximális talajhőmérséklet 40°C feletti (Gödöllő, 2023)	31
16. ábra	Azon órák száma, amikor a nappali maximális talajhőmérséklet 35°C feletti (Gödöllő, 2023)	32
17. ábra	Nappali hőmérsékleti maximumok kialakulási időpontja (Gödöllő, 2023)	32
18. ábra	Talajnedvesség alakulása különböző talajmélységekben a vizsgálat indulásakor (06.30.) és befejezésekor (08.23.)	34
19. ábra	Csapadék napi mennyisége (mm) és a napi középhőmérséklet (°C) (Gödöllő, 2023)	35
20. ábra	Az összes gyomborítás alakulása a kezelés kezdetekor (06.27), a fólia felszedésekor (08.23), valamint 8 héttel a kísérlet lezárulta után (10.17)	36
21. ábra	A T4-es életformához tartozó gyomnövények borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben	42
22. ábra	A G1-es életformához tartozó gyomnövények borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben	43
23. ábra	A közönséges kakaslábű borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben	45

24. ábra	Takaratlan parcella gyomborítása a fólia felszedése után (2023.08.23.), uralkodó borítást adó pirók ujjasmuhar (<i>Digitaria sanguinalis</i>)	46
25. ábra	A pirók ujjasmuhar borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben	46
26. ábra	Takart parcella gyomborítása a fólia felszedése után (2023.08.23.), uralkodó borítást adó kövér porcsin	47
27. ábra	A kövér porcsin borításának változása a kísérlet ideje alatt és az azt követő hetekben	48

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről

A hallgató neve:

CZIFÁKY MÓNICA ZSUZSANNA

A Hallgató Neptun kódja:

MC6EQ1

A dolgozat címe:

SZOLARIZÁCIÓ HATÁSA A TALAJHŐMÉRSÉKLETRE ÉS
A GYOMOSODÁSRA

A megjelenés éve:

2023

A konzulens intézetének neve:

VIDÉKFEJLESZTÉS ÉS TENNYEZHATÓ GAZDASÁG INTÉZET

A konzulens tanszékének a neve:

AGROÖKOLÓGIAI ÉS ÖKOLÓGIAI GAZDÁLKODÁS TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott
záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi
alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen
megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan 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 könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 11 hó 12 nap

Czifáky Mónica

Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Czijáky Mónika Zsuzsanna (Neptun azonosítója: **MC6EQI**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2023.11.12.



belső konzulens
(Tirczka Imre)

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.