



INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2022. november 23.

**A GYÖKÉRGUBACS-FONÁLFÉREG KÁRTÉTEL ÉS A
TALAJ FIZKAI, KÉMIAI ÉS BIOLÓGIAI PARAMÉTEREI
KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉS VIZSGÁLATA**

**Analysis of the relationship between root-knot nematode damage and the
physical, chemical and biological soil parameters**

Készítette: Selmeczi Dóra Sára
Z5RB7U
Növényorvos, MSc
Nappali tagozat
Szent István Campus

Témavezetők: Dr. Szénási Ágnes, egyetemi docens, Növényvédelmi
Intézet, Integrált Növényvédelmi Tanszék, Szent István Campus

Dr. Simon Barbara, egyetemi docens,
Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék, Szent István Campus

Lehetséges OTDK szekció: Agrártudományi szekció

**Gödöllő
2022**

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	4
2. CÉLKITŰZÉS.....	5
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	6
3.1. Az uborkatermesztés jelentősége Magyarországon.....	6
3.2. A hajtatasos uborkatermesztés	6
3.3. A fonálféreg.....	7
3.3.1. Fitofág fonálféreg.....	8
3.3.2. Gyökérgubacs-fonálféreg	8
3.4. A fitofág fonálféreg elleni védekezés	9
3.4.1. Agrotechnikai védekezési lehetőségek.....	9
3.4.2. Fizikai védekezés	11
3.4.3. Biológiai védekezés	11
3.4.4. Kémiai védekezés.....	12
3.5. A földigiliszták	12
3.6. Talajszuppresszivitás	13
3.6.1. A talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak szerepe a szuppresszív talaj kialakulásában.....	14
3.6.2. A talaj biológiai tulajdonságainak szerepe a szuppresszív talaj kialakulásában.....	15
3.6.3. A földigiliszták szerepe a fonálféreg elleni védekezésben és a talajszuppresszivitás kialakulásában	15
3.6.4. A fonálféreg szerepe a talajfolyamatokban, az ökoszisztémában és a szuppresszív talaj kialakulásában	17
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	20
4.1. A vizsgálati helyszín.....	20
4.2. A gyökérgubacs-fonálféreg fertőzőtség és földigilisztá eloszlás feltérképezése.....	21
4.3. Talajminta-vételezés.....	21
4.4. Földigilisztá-mintavételezés	22
4.5. A talaj nedvességtartalmának mérése	22
4.6. A talaj kémhatásának mérése	23
4.7. A talaj kalcium-karbonát tartalmának mérése	23
4.8 A talaj vezetőképességének mérése.....	25
4.9. A talaj szervesanyag-tartalmának mérése.....	25
4.10. A talajminták nitrogén-, foszfor- és káliumtartalmának mérése	26
4.11. Fonálféreg futtatás és meghatározás.....	26
4.12. A táplálékhálózat (food web) indexek kiszámítása	27
4.13. Az adatok kiértékelése.....	28
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	29

5.1. A gyökérgubacs-fonálféreg fertőzöttség és a földigiliszták eloszlásának térképei	29
5.2. Talajnedvesség-tartalom.....	31
5.3. A talaj kémhatása.....	32
5.4. CaCO_3 tartalom.....	33
5.5. Elektromos vezetőképesség.....	34
5.6. Szervesanyag-tartalom.....	34
5.7. Nitrogén-, foszfor- és káliumtartalom	35
5.8. Földigiliszták	38
5.8.1. Eloszlás	38
5.8.2. A mélyebb talajrétegekben elvégzett mintavételezés.....	39
5.8.3. Faj és életforma meghatározás	39
5.9. Fonálféreg.....	40
5.9.1. Egyedszám	40
5.9.2. Populáció összetétel	41
5.9.3. Táplálékhálózat (food web) indexek	42
6. ÖSSZEFOGLALÁS	44
7. IRODALOMJEGYZÉK	46

1. BEVEZETÉS

A zöldségtermesztés célja, hogy a fogyasztókat mindig friss, egészséges, tápanyagban és vitaminban gazdag ételkészítménnyel lássa el. Az egyik legismertebb zöldségnövény, az uborka termesztése igen régre nyúlik vissza, az élelmezésben betöltött szerepe ma is jelentős. Azonban számos zöldségnövény, köztük az uborka hajtatását is veszélyezteti egy talajban élő, polifág kártevőcsoport, a gyökérgubacs-fonálférgék. Andrassy és Farkas (1988) szerint a hőigényes zöldségféléket hajtató üzemekben a *Meloidogyne* fajok a legjelentősebbek, több mint kétezer növényfajt károsítanak és fertőzésük mértéke elérheti a 100%-ot is, a termésveszteség pedig megközelítheti az 50%-ot. A nemzetség több mint 90 fajt foglal magában (Khoja et al. 2021). Az uborkatermesztés szempontjából a legjelentősebb fajnak a *Meloidogyne incognita* mondható (Pénzes 1997). A gyökérgubacs-fonálférgék ellen számos agrotechnikai védekezési módszer ismert, ám a gyakorlatban mégis a totális kémiai talajfertőtlenítő szerek használata a gyakori. Ezeknek a készítményeknek a rendszeres és ismételt használata számos mellékhatással jár, köztük azzal, hogy a biológiai aktivitás csökkentésével negatívan hatnak a talaj egészségére (Prasad et al. 2020). Ezenkívül a talaj egészségére és az emberi egészségre jelentett kockázatuk miatt folyamatosan új szabályozások vonatkoznak rájuk. A felhasználásuk csökkentésére törekszenek, emiatt jelentős, eddigi tudásunk alapján pótolhatatlan hatóanyagokat vonnak ki a piacról, a csökkenő szervéleszték pedig veszélyezteti a mostani termesztési rendszereket (Westphal 2005), így a gazdák erősen ösztönözve vannak az alternatív megoldások keresésére a gyökérgubacs-fonálférgék elleni védekezés terén (Moosavi 2020). Alternatív módszerekhez nyithat utat a talaj szuppresszivitásának vizsgálata. Egyes talajoknál megfigyelték, hogy fonálféreg elnyomó hatással rendelkeznek (Westphal 2005). Ám az, hogy a talaj ezt milyen tulajdonságának köszönheti, arra egyelőre konkrét választ még nem kaptak a kutatók. A talajszuppresszivitás jelenségének kiaknázása a gyakorlatban még sajnos nagyon messze áll a valóságtól. Ennek ellenére érdemes vizsgálni, hiszen a talaj biodiverzitás és az ökoszisztéma működése és stabilitása közötti kapcsolat megértése elengedhetetlen lenne a fenntartható mezőgazdaságban (Neher 2010). Ezeknek a kapcsolatoknak és folyamatoknak a megértésével talán elkerülhetnénk, vagy csökkenthetnénk a talajfertőtlenítő szerek használatát (Westphal 2005), továbbá a talajszuppresszivitás és az amögött rejlő talajfolyamatok mélyebb megértése segítségünkre lehet a mezőgazdasági talajok értékelésében (Topalovic et al 2022).

2. CÉLKITŰZÉS

Vizsgálatom során a talaj abiotikus és biotikus paramétereire, a biotikus tényezőkön belül pedig az olyan makro- és mikroszervezetekre fókuszáltam, mint például a földigiliszták és a szabadon élő fonálférgek, és ezek tevékenységére fektettem a hangsúlyt. Az abiotikus talajparaméterek közvetlenül befolyásolják a károsító fonálférgeket, hiszen a károsítás a talajon belül zajlik (Crüger et al. 2011). Számos kutatás bizonyította, hogy a földigiliszták közvetve a talaj abiotikus tulajdonságainak megváltoztatásával hatással vannak a mikrobiális közösségekre (Demeterio et al. 2017), amelyeknek bizonyítottan szerepük van a talajszuppresszivitás kialakulásában (Eberlein et al. 2016), illetve még ismeretlen mechanizmusokon keresztül befolyásolják a fitofág fonálférgek populációit is (Domínguez et al. 2003). A fonálféreg-közösség pedig mind a talaj abiotikus paramétereinek befolyásolásával, mind pedig közvetlenül (vegyük például a ragadozó fonálférgeket) hatással vannak a fitofág fonálférgekre (Andrássy és Farkas 1988).

A kijelölt kísérleti terület egy csányi gazdaságban található fóliasátor, amelyben uborkahajtás folyik már több mint húsz éve. Itt megfigyelhető volt a gyökérgubacs-fonálférgek kártételének foltokban történő eloszlása. Vizsgálatom során feltérképeztem az egyes növényi töveken a gyökérkárosodás mértékét Zeck-skála segítségével (Zeck 1971), majd a skála alapján három kategóriát jelöltem ki: a) gyengén fertőzött, b) közepesen fertőzött és c) erősen fertőzött talajfoltokat. Feltételeztem, hogy a fertőzöttségbeli különbségeket valamilyen talajparaméterbeli eltérés okozza. Az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- Több évben is megfigyelhető-e a zónázottság a gyökérgubacs-fonálféreg-fertőzésben, és hogyan alakul a gyökérszónában fellelhető földigiliszták eloszlása a fóliasátoron belül?
- Van-e különbség valamelyik fizikai (nedvességtartalom), kémiai (kémhatás, kalcium-karbonát tartalom, vezetőképesség, szervesanyag-tartalom, nitrogén-, foszfor- és káliumtartalom) talajparaméterben az egyes fertőzöttségi kategóriák között? Van-e összefüggés az említett talajparaméterek és a gyökérgubacsosság mértéke között?
- Fellelhető-e összefüggés a földigiliszták eloszlása és a gyökérgubacsosság mértéke között? Milyen a földigiliszták fajösszetétele a fóliasátoron belül?
- Van-e összefüggés a fonálféreg egyedszám és a gyökérgubacsosság mértéke között? Hogyan alakul a szabadon élő fonálférgek összetétele az egyes fertőzöttségi kategóriákban? Mit árul el a területről a populáció összetétele és mit mutatnak a különböző táplálékhálózat (food web) indexek?

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az uborkatermesztés jelentősége Magyarországon

Az uborka (*Cucumis sativus*) a feldolgozóipar, ezen belül is a konzerv- és a hűtőipar szempontjából kiemelkedő növény, azonban közvetlen fogyasztása és exportja is jelentős. Igen nagy részét fogyasztják nyersen, a benne lévő tápanyagok jótékony hatással vannak az egészségre és igen jól tartósítható (Balázs et al. 2000). Az utóbbi évtizedek során a termesztése a kiskertekben megnövekedett. Nagyobb termésmennyiségekkel számolhatunk az új fajtáknak és a modernizált intenzív termesztésnek köszönhetően, így a termőterület csökkenésével nem járt együtt a termésmennyiség csökkenése, hanem még növekedés is megfigyelhető volt (Cselőtei et al. 1993). Elsősorban nem tápanyagtartalma, hanem íze és kedvező élettani hatása miatt termesztjük (Megyeri 2014).

3.2. A hajtatasos uborkatermesztés

Az uborka hőoptimuma Markov-Haev (1953) szerint 25 ± 7 °C, már a 10 °C-os hőmérséklet hatására is sárgulhat, leállhat a fejlődésben, a már kötődött termést eldobhatja. A hajtatos fajták érzékenysége fokozott (Cselőtei et al. 1993). A megfelelő fényellátást meghálálja. A tenyésztő alatt felhasznált vízmennyisége 500-700 liter tövenként (Balázs et al. 2000). A levegő nedvességtartalmára kifejezetten érzékeny (Cselőtei et al. 1993). Rendkívül vízpazarló növény, vékony szálú gyökerének szívóereje is igen csekély (Balázs et al. 2000). A talaj kémhatását tekintve minimum 5,3-as és maximum 7,4-es talaj pH-t visel el. Nagyon tápanyagigényes, gyökerei a sekély talajrétegben helyezkednek el, így a talajfelszín közelében található, felvehető tápanyagok számára a mérvadóak. Főleg a nitrogén ellátás fontos a növény optimális növekedésének szempontjából (Cselőtei et al. 1993), azonban a tápanyagok túladagolásával könnyen perzselést okozhatunk az uborkában (Megyeri 2014). A tápanyaghiány hatására a növény legyengül, fogékonyabbá válik a kórokozók és a kártevők általi fertőzésekre (Megyeri 2014). A magok december végétől áprilisig vethetőek cserepekbe, majd amikor a növény elérte a 4-6 leveles kort, kiültethetőek. A tőtáv megválasztása általában a fajtától függ: 30-50 cm közé tehető. Gondozása a hónaljajtások visszacsípéséből, a támasztórendszer karbantartásából, zsinórozásból (Megyeri 2014), fejtrágyázásból és metszésből áll (Balázs et al. 2000). A gondozás során figyelni kell a magas relatív páratartalom és a megfelelő hőmérséklet fenntartására. A termesztés során célszerű csepegtető öntözést alkalmazni. A szellőztetés során óvakodni kell az állomány megfázásától, az uborka nem kedveli a huzatot (Megyeri 2014).

3.3. A fonálférgék

Nevüket a vékony, megnyúlt, fonálszerű testalkatukról kapták, más alak csak ritkán, inkább a nőtények esetében fordul elő. Kitűnő alkalmazkodási képességeiknek köszönhetően a legkülönbözőbb, akár szélsőséges környezetű élőhelyeken is képesek fennmaradni. Igen változatos táplálkozásúak. Yeates és mtsai. (1993) az alábbi táplálkozási csoportokat különítették el: 1.) növényi nedvszívók, 2.) gombafogyasztók, 3.) baktériumfogyasztók, 4.) ragadozó fonálférgék és 5.) vegyes táplálkozásúak. Azért fontos ismerni a fonálférgék táplálkozását, mert ezáltal jobban megismerhetjük a talajban és a talajfolyamatokban betöltött szerepüket, valamint ez a tudás hozzájárulhat ahhoz, hogy megismerhessük a környezeti hatások befolyását a talajfaunára (Yeates et al. 1993). A fonálférgék nagy diverzitással és egyedsűrűséggel fordulnak elő, gyorsan reagálnak a zavarásokra, könnyen izolálhatóak és azonosíthatóak, fontos szerepet játszanak a táplálékhálózatokban, könnyen társíthatóak táplálkozási csoportokhoz és közvetlen kapcsolatban állnak velük a talajvízben oldott vegyületek, így kitűnő indikátor szervezetek a talaj állapotának, a szennyező anyagok hatásának és stresszhatásoknak (Bongers 1999). A fonálférgék között megkülönböztetünk kolonizálókat (colonisers) és kitartókat (persisters). A kolonizálók száma gyorsan növekszik kedvező körülmények között, úgynevezett r-stratégisták. Rövid életciklus, magas kolonizációs és tolerációs képesség jellemzi őket. Ezzel szemben a kitartók a K-stratégistákhoz hasonlóan alacsony szaporodási rátájúak, hosszú életciklusúak, alacsony kolonizációs képességgel rendelkeznek és érzékenyek a behatásokra (Bongers 1990). Bongers (1990) egy 1-5-ig terjedő c-p skálán helyezte el a fonálféreg családokat, melyen a kolonizálók (1) és a kitartók (5) képviselik a két szélsőséget. A c-p skála alsó végén lévő kolonizálók az erőforrások elérhetőségét jelzik, míg a skála legfelső végén lévő kitartók a rendszer stabilitását, a táplálékhálózat összetettségét jelzik. A c-p kategóriák segítségével számolhatóak a különböző táplálékhálózat indexek, amelyek összetettebb képet adnak számunkra a populáció összetettségéről, tulajdonságairól (Bongers 1990). A Maturity index (MI) számítását eredetileg a talaj felépülésének monitorozására találták ki (az egyes erőteljes behatások után hogyan áll vissza a talajökoszisztéma stabilitása), később nagy figyelmet kapott a talaj egészségével és a fenntarthatósággal kapcsolatban. Jelentős szerepe lett a biodiverzitás tanulmányozásában, az ökoszisztéma-menedzsmentben, a mezőgazdasági rendszerek kutatásaiban és az ökotoxikológiában. A MI a talaj egészségének egyik kulcs indikátora. Jelzi a szennyező anyagok behatását és jól tükrözi a talaj ökoszisztémáját ért sérüléseket (Bongers 1999). Az Enrichment index (EI) és a Structure index (SI), a táplálékhálózat állapotát leíró indexek.

3.3.1. Fitofág fonálférgesek

A fitofág fonálférgesek jelentősége nem az egyedi kártételben lelhető fel, hanem a tömegességük és a szívóosságuk miatt okoznak jelentős problémákat. Becsülhetőleg Magyarországon a kertészeti és szántóföldi károk 10%-át okozhatják fonálférgesek, intenzív növényhajtásban akár 100%-os kár is előfordulhat (Andrássy és Farkas 1988). Populációjukra jellemző, hogy a nőtények nagyobb számban vannak jelen, illetve sokszor önmegtermékenyítés is előfordul. Petéiket a talajba és a növény felületére helyezik. Egyes fitopatogén fonálférgesek oligofágok, de a legtöbbjük polifág, akár több száz gazdanövénnyel is rendelkezhet (Andrássy és Farkas 1988). Közvetlenül táplálkozással és közvetetten a növénybetegségek átvitelével okoznak károkat (Siddiqui et al. 2014). Károsításuk során sebeket ejtenek a növényen szájszuronyuk segítségével, károsítják a külső sejtréteget és szívogatják a növény nedveit, a növényen kívül vagy pedig belül elhelyezkedve (Crüger et al. 2011). A tünetek gyakran összekeverhetőek a vízstressz és a tápanyaghiány okozta tünetekkel, vagy akár a baktériumok és gombák okozta tünetekkel (Mesa-Valle et al. 2020).

3.3.2. Gyökérgubacs-fonálférgesek

A gyökérgubacs-fonálférgesek nevüket a táplálkozásuk során, a gyökéren megjelenő 1-2 mm-es, majd később egyre nagyobbá váló gubacsokról kapták. A lárvák a gyökércsúcs közelében hatolnak be és a különböző lárvastádiumok a gyökéren, pontosabban a gubacson belül alakulnak ki. A fejlődésük végén a nőtény körte alakúvá, a hím pedig fonál alakúvá válik, majd a nőtény egy zselatinszerű anyagba helyezi le a petéit. A nőtények a gubacsokon belül találhatóak, életük során közel 800-1000 petét is lerakhatnak, a hímek pedig kiszabadulva, a talajban szabadon mozognak (Crüger et al. 2011). A petéből kikelő fonál alakú inváziós lárvák (L₂) a talajba vándorolnak, és új gyökereket támadnak meg, táplálkozásuk során pedig újabb gubacsok képződését indukálják (Pénzes 1997). A gyökérgubacs-fonálférgeseknek számtalan nemzedéke kialakulhat egy vegetáció során, populációjuk méretét és fejlődésük ütemét a környezet, ezen belül a hőmérséklet és a tápnövény is jelentősen befolyásolja. A fertőzés a talajban nyugalmi állapotban lévő petékből indul ki, amelyek a gyökerek elkorhadása után is életképesek maradnak (Pénzes 1997).

A gyökérgubacs-fonálférgesek polifág fajok, erős kártételükre a melegigényes hajtatott zöldségfélék közül paradicsomban, uborkában és paprikában számíthatunk, de sok más kétszikű növényen, köztük gyomnövényeken és dísnövényeken is károsíthatnak (Pénzes 1997). Kártételük abból adódik, hogy a képződött gubacsok zavarják a növény víz- és tápanyagellátását (Moens et al. 2009), így a növényen fejlődési rendellenességek lépnek fel,

erősebb fertőzés esetén a növekedés leállását is okozhatják (Crüger et al. 2011). Jelenlétükre csupán tüneteik hívják fel a figyelmet, amely már a növény szembetűnő hervadásával lankadásával, vontatott fejlődésével jár (Pénzes 1997). A *Meloidogyne* nemzetségbe tartozó gyökérgubacs fonálférges a legjelentősebb növényparazita fonálférges közé tartoznak, a globális termésveszteség 5%-áért felelősek (Sasser és Carter 1985). A gyökérgubacs fonálférges közül a szabadföldi gyökérgubacs-fonálféreg (*Meloidogyne hapla*) szabadföldön is képes áttelelni, míg a kertészeti gyökérgubacs-fonálféreg (*Meloidogyne incognita*) és a növényházi gyökérgubacs-fonálféreg (*Meloidogyne arenaria*) melegigényes fajok.

A *Meloidogyne incognita* számára 28 °C az optimális hőmérséklet, aktív jelenléte 15 °C felett várható, míg 10 °C alatt a fejlődése leáll. Károsítása során a növény lankad, hervad a gyökéren képződő gubacsoknak köszönhetően (Crüger et al. 2011). A gubacsok a lárvák táplálkozásának velejárói, az általuk kiválasztott anyag indukálta sejtmegnagyobbodások. Emellett a hajszálgyökök elhalását okozhatják. A szívogatás hatására a gyökérzet kisebb marad, erős oldalgyökér képződés indul meg, amelyeken jellemzően duzzanatok alakulnak ki. Ezek gátolják a hajszálgyökér-képződést és zavar lép fel a növény vízháztartásában és a tápanyagfelvételében, ezáltal a termésképzésben is (Brussaard et al. 1997). Ezek a tünetek azonban csak az uborka termőre fordulásakor válnak láthatóvá (Crüger et al. 2011).

3.4. A fitofág fonálférges elleni védekezés

A növényparazita fonálférges évente 12–14%-os globális termésveszteséget okoznak (Singh et al. 2015). A fonálférges elleni védekezési módszerek igen korlátozottak ezen kártevők nagymértékű ellenálló képessége miatt (Radwan et al. 2012). Azonban nem minden fonálféreg kártevő, vannak kimondottan hasznos fajok is (Andrássy és Farkas 1988), amelyek jelenléte az egészséges talaj elengedhetetlen eleme, így a drasztikus és totális védekezési módszereket érdemes háttérbe szorítani és elsősorban a talaj egészségét megőrző, a talajéletre kevésbé káros módszereket kellene alkalmazni.

3.4.1. Agrotechnikai védekezési lehetőségek

Az agrotechnikai védekezés már palántakorban megkezdhető. Elsődleges fontosságú, hogy a palántanevelés gyökérgubacs fonálféregtől mentes vagy fertőtlenített közegben történjen. Érdemes a toleráns fajtákat és alanyokat előnyben részesíteni (Kolanthasamy et al. 2020).

A vetésforgó alkalmazásával is védekezhünk a kártevő fonálférges ellen (Crüger et al. 2011). Rod és mtsai. (2005) szerint a gabonafélék és a kukorica vetésforgóba illesztése ajánlott, valamint előnyös egyéb nem gazdanövények beiktatása is, mint például a rozs, cukorrépa vagy

repce. A *Meloidogyne* nemzetség fertőzése esetében azonban ez nehezen megoldható, hiszen nagyon polifágok, gazdanövényeik között számos gyomfaj is szerepel, valamint 2-3 évig is életképesek maradnak a talajban gazdanövény nélkül is (Andrássy és Farkas 1988).

A kifogástalan minőségű termés előállításához nagyon fontos az optimális és kiegyensúlyozott tápanyag ellátás. Bizonyos makro-, mikro- és nyomelemek elengedhetetlenek a növény életfolyamataihoz. Ezek biztosításával az egyes kártevők károsításának mértékét is mérsékelhetjük. A növények egészségesen tartása nélkülözhetetlen a védekezéshez, amelyet a tápanyag ellátáson kívül még a vízellátással biztosíthatunk (Crüger et al. 2011). További módszerként megemlíthető a fonálféreg antagonistáinak felszaporítása a számukra megfelelő környezet megteremtésével, különböző készítmények alkalmazásával (Elango et al. 2020). Az érett istállótrágya kijuttatásával elősegíthetjük azt a folyamatot, amely során a trágyában élő mikroorganizmusok és azok anyagcseretermékei gátolják a fitopatogén fonálféreg élettevékenységét. Hasonló hatás érhető el zöldtrágyázással vagy komposzt használatával (Andrássy és Farkas 1988). Emellett a növényházi termesztésben a hőmérséklet és páratartalom befolyásolásával is visszaszorítható a kártétel mértéke (Glits et al. 1997).

A természetben található számos növény rendelkezik fonálféreg elnyomó hatással. Az ilyen növények és növényi részek talajba juttatásával növelhetjük a talajban található fonálféreg ellenes mikrobák populációit. Egyes növények, mint például a keresztesvirágúak repellens hatásúak a fonálféregre nézve, gyökérváladákaiknak köszönhetően, ezenkívül a talaj szervesanyag tartalmát is növelik (Elango et al. 2020). A lucerna zöld részeinek alkalmazása kifejezetten a *Meloidogyne incognita* elleni védekezésben volt hatékony (El-Nagdi és Youssef 2013), továbbá még számos növény bizonyos részeinek talajba dolgozása csökkentette a *Meloidogyne* fajok kártételét a termesztés során. Csalogató vetéssel és a gazdanövény gyomfajok irtásával szintén csökkenthető a fonálféreg kártétel (Andrássy és Farkas 1988).

Hajtatott uborka esetén kiváló módszer lehet, hogyha a téli időszakban szüneteltetjük a termesztést, és télire eltávolítjuk a fóliasátor tetejét, azt hagyjuk kihűlni, így a melegigényes gyökérgubacs fonálféreg a talajban megfagyhatnak (Glits et al. 1997). Csökkentheti a következő évi fertőzési kockázatot, ha ősszel a fóliasátor talaját felássuk, így a felszínre kerülő állatok és petéik kiszáradnak, a melegigényes fajoknál, mint amilyen a *M. incognita*, meg is fagynak (Andrássy és Farkas 1988). A vegetációs periódus lezárásakor érdemes a gyökereket eltávolítani a talajból, majd azokat megsemmisíteni, ezzel is csökkenthető a jövő évi kártétel (Crüger et al. 2011).

3.4.2. Fizikai védekezés

A gyökérgubacs fonálférgek elleni fizikai védekezés szinte kizárólag a talajgőzölésből áll, amelyet minimum 50 cm mélyen kell elvégezni. Ez a leghatásosabb fizikai védekezési módszer, de költséges mivolta miatt ritkán alkalmazott, speciális berendezést igényel, a zöldségfajtatásban alig terjedt el (Glits et al. 1997).

3.4.3. Biológiai védekezés

Hahn és mtsai. (2019) kimutatták, hogy a biológiai ágensek felhasználása a fonálférgek elleni védekezésben akár 45%-kal csökkentheti a károsodás és a populáció mértékét

Egyes gombák a talajban szaprofita életmódot folytatnak, majd ha a fonálféreggel találkoznak, parazitává válnak és speciális struktúráikkal a fonálférgek kutikuláján áttörve bennük növekednek tovább és elpusztítják az áldozatukat (Wang et al. 2018). Ilyenek például a hurokvető gombák (*Arthrobotrys oligospora*, *Arthrobotrys irregularis*). Különböző struktúrák segítségével ejtik foglyul áldozataikat (Su et al. 2017), továbbá egyes törzsei képesek olyan toxinok termelésére, amelyek megbénítják a fiatal egyedeket (Bird és Herd 1995). Soliman (2021) és mtsai. tanulmánya alapján az *A. oligospora* szuppresszív hatást fejtett ki a gyökérgubacs-fonálférgekre, továbbá a gombának növény-növekedést serkentő hatása is volt. Khoja és mtsai. (2021) kimutatták, hogy a *Metarhizium brunneum* befolyásolja a *M. hapla* viselkedését. A gomba konídiuma illékony szerves vegyületeket bocsát ki, amely vonzza a második stádiumú *M. hapla* lárvákat. A *Metarhizium guizhouense* táptalajon tenyésztett kivonata és proteáza teljes mértékben gátolta a *M. incognita* lárvakeletését és a fiatal egyedeket pedig elpusztította (Thongkaewyuan és Chairin 2018). Egyes kutatók azt találták, hogy a parazita fonálférgek száma csökkent, ha talajt *Beauveria bassiana* gomba spóráival vagy fermentált anyagaival kezelték. Csökkenést eredményezett az *M. hapla* egyedszámában és velejáróan a károsítás mértéke is csökkent (Liu et al. 2008). Egyes vizsgálatok alapján kiderült, hogy a *B. bassiana* több bioaktív, nematocid hatású és különböző hatásmechanizmusú metabolitot termelhet, például beauvericint és oosporint, amely visszaszorította a *M. incognita* populációját (Anke et al. 1995). Azonban nem mindegyik *B. bassiana* törzsnél volt megfigyelhető a nematocid vegyületek kiválasztása (Zhao et al. 2013). A *Paecilomyces lilacinus* egy igen hatékonyan mondható peteparazita gomba, és sikeresen alkalmazták *M. javanica* és *M. incognita* ellen paradicsom, padlizsán, burgonya és más zöldségnövények termesztése során (Cayrol et al. 1989).

Számos baktérium is képes ezt a hatást elérni, beleértve a *Bacillus* és *Paenibacillus* nemzetség tagjait, illetve a *Xanthomonas* fajokat (Bui et al. 2019). A *Bacillus atropheus*

GBSC56-os törzse magas nematicid aktivitást mutatott mely 90%-os *M. incognita* mortalitással társult. Ez a *Bacillus* által kiválasztott illékony anyagoknak volt köszönhető (Ayaz et al. 2021).

3.4.4. Kémiai védekezés

A fonálférgek elleni védekezésben elterjedtek a kémiai módszerek (Glits et al. 1997), azonban a nematicidek használata ellen szól magas áruk, rendkívüli környezet- és talajterhelésük, és az a tény, hogy biogazdálkodásban nem használhatóak (Neves et al. 2009).

Többféle hatóanyagot (**1. táblázat**) és eljárást ismerünk, amelyekkel hatásosan lehet fellépni ezekkel a kártevőkkel szemben. Kiültetés előtt meg kell győződnünk a talaj fonálférgektől való mentességétől, ellenkező esetben elengedhetetlen a talajfertőtlenítés (Glits et al. 1997). Ezeket 5 °C-os talajhőmérséklet felett lehet alkalmazni. A talajfertőtlenítő szereket érdemes tenyészdőn kívül alkalmazni, mert könnyen idézhetünk elő fitotoxikus hatást a növényre nézve. Lebomlásukhoz a dózis és a hőmérséklet függvényében több hét szükséges (Glits et al. 1997).

1. táblázat: Alkalmazható hatóanyagok és készítmények a gyökérgubacs-fonálférgek elleni védekezésben (http3)

Károsító	Név	Hatóanyag	Rendeltetés	Érvényesség
Gyökérgubacs-fonálférgek	Basamid G	dazomet	talajfertőtlenítő szer	2024.05.31
Gyökérgubacs-fonálférgek	Nemacur 240 CS	fenamifosz	fonálféregölő szer	2021.03.23. (lejárt)
Gyökérgubacs-fonálférgek	Nemasol 510	metám (nátrium)	talajfertőtlenítő szer	2024.06.30
Gyökérgubacs-fonálférgek	Tervigo	abamektin	talajfertőtlenítő szer	2024.09.30.
Gyökérgubacs-fonálférgek	Nemguard SC	fokhagyma-kivonat	fonálféregölő szer	2027.04.08.

3.5. A földigiliszták

A földigilisztá-félék igen fajgazdag családja (*Lumbricina*) a kevésértéjük (*Oligochaeta*) alosztályának, a nyeregképzők (*Clitellata*) osztályának és a gyűrűsférgek (*Annelida*) törzsének tagja. Hazánkban mintegy 60 fajuk ismert (Kiss 2003). Különböző életmódú fajok találhatóak a magyar faunában. A fajösszetétel mindig az éghajlattól és a talaj adottságaitól függ, szezonális eloszlás jellemzi őket a talaj hőmérséklet függvényében. Az egyes fajokkal a talaj eltérő mélységében találkozhatunk. Vannak közöttük elsődleges lebontók, azaz bomló szerves anyagokat hasznosító fajok, amelyek avarban és szerves hulladékban élnek, illetve olyan elsődleges lebontó fajok, amelyek a mélyben aknázva járatokat készítenek, de a talaj felszínén táplálkoznak. Harmadik csoportjuk az olyan másodlagos lebontók, amelyek 30-50 cm mélyen az ásványi talajszintben élnek és bizonyos humifikáción átesett szerves anyagokkal táplálkoznak (Zicsi 1990, Szabó 2008). Előfordulnak a talaj mélyebb rétegeiben élő, egész évben aktív fajok és sekélyen (20-30 cm-en) vízszintes járatokban mozgó, pigmentált

fajok is. A sekélyen mozgó fajok mélyebbre csak a nyári kiszáradás és az őszi lehűlés során vonulnak (Rod et al. 2005). A földigiliszták a legtöbb talajféleségben előfordulnak. A talajfauna 12%-át teszik ki (Szabó 2008), a talaj élő biomasszájának akár 80%-át is képviselhetik (Lavelle et al. 1997). Szaprofita élőlények, holt, korhadó szerves anyaggal táplálkoznak, nem károsítják a növényi gyökérzetet (Brown et al. 1995), bizonyos fajok képesek a kevésbé elbomlott zöld növényi részeket fogyasztani (Rod et al. 2005). A szervestrágyázás kedvezően hat az elszaporodásukra. Táplálkozásuk során a holt szerves anyagot részesítik előnyben, azonban az élő szervezetek elfogyasztását sem vetik meg, fogyaszthatnak például fonálférgeket és a mikro- és mezofauna egyéb tagjait is (Curry és Schmidt 2007). A földigiliszták hímnősek, a megtermékenyített petéiket a talajban kokonokba helyezik. A különböző fajok különbözőképpen reagálnak a talaj adottságaira, köztük a kémhatásra is. A legtöbb faj a semleges 7 körüli pH-t kedveli, de kisebb-nagyobb mértékben képesek alkalmazkodni a talaj kémhatásához. A talaj hőmérséklete szabályozza a szaporodási ütemüket, a szélsőséges hőmérséklet el is pusztíthatja őket. Számukra az optimális talajhőmérséklet 16-23°C. Kedvezőtlen talajviszonyok esetén elvándorolnak, és új élőhelyet keresnek. A szerves anyag eloszlása is nagymértékben befolyásolja az eloszlásukat egy adott területen (Rod et al. 2005).

3.6. Talajszuppresszivitás

A talajszuppresszivitás a talaj azon képessége, hogy a benne fellelhető patogén kórokozók és kártevők megjelenését és kártételét gátolja. Az ilyen talajok más néven elnyomó hatásúak, ellentétei a receptív talajoknak (NAK 2020). A talaj egészsége számos ökológiai hatás eredménye (Herrick 2000), valamint a talaj elnyomó képességével szorosan összefügg (Van Bruggen és Semenov 2000). A talaj egészségét annak különböző, biotikus és abiotikus tulajdonságai határozzák meg, így azok szorosan összefüggnek a szuppresszív hatással. A legtöbb kutatás a talaj biológiai elemeit azonosítja a károsítók visszaszorításának elsődleges tényezőjeként (Mazzola 2002). Weller és mtsai. (2002) szerint a mezőgazdaságban használt talajok általánosan képesek elnyomni a növényi kórokozókat és kártevőket világszerte, számos ilyen esetben leírták a szuppresszív hatás biológiai alapját is. Ez a fajta alapvető biológiai szabályozás minden talajban benne van, amely a talajok sterilizálásakor megszűnik (Westphal 2005). Stenberg és mtsai. (2021) szerint a talajszuppresszivitás spontán alakul ki természetes biológiai kontrollként. Számos kutatás szól a talajok ilyenfajta elnyomóképességéről, azonban még máig tisztázatlan, hogy pontosan milyen tényezők, talajparaméterek tesznek egy talajt szuppresszívvá az adott károsítóval szemben (Topalović et al. 2019).

A szuppresszív talajok közül azokat, amelyek a patogén fonálféreg kártételének mértékét csökkentik nematoszuppresszív talajoknak nevezik. Ezek a talajok megakadályozzák a fonálféreg megtelepedését, fertőzését és csökkentik a kár mértékét (Westphal 2005). Oka (2010) tanulmányai alapján a nematoszuppresszív talajok kialakulásában több tényező is szerepet játszhat, például, hogy a talajban már megtalálható nematicid vegyületek szabadulnak fel a talaj folyamatainak alakulása során, vagy ilyen vegyületek képződnek bizonyos anyagok, például az ammónia vagy a zsírsavak lebomlása vagy képződése során. Esetleg valamilyen behatásra az antagonista mikroorganizmusok hatása fokozódik, vagy valamilyen hatás során a növény toleranciája nő a kártevővel szemben, valamint olyan talajkörülmények alakulhatnak ki, amelyek nem megfelelőek a fonálféreg számára. Valószínűsíthető, hogy a szuppresszivitás nem egyetlen tényező hatására, hanem inkább több hasonló mechanizmus kombinációjaként alakul ki a talajban. A biotikus és az abiotikus tényezők interakciói befolyásolják a kár mértékét, és a károsító populáció terjedését (Westphal 2005). A fonálféreg szuppresszív talajok gyakran arról ismerhetők fel, hogy a fonálféreg populáció nagysága a kezdeti megtelepedés után csökken (Gair et al. 1969), vagy a populáció egyedszáma jelentősen alacsonyabb marad ezeken a területeken (Carris et al 1989).

3.6.1. A talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak szerepe a szuppresszív talaj kialakulásában

A talajszuppresszivitás bizonyítottan kapcsolatban áll a talaj fizikai, kémiai paramétereivel egyaránt (Janvier et al. 2007). Hiszen ezek a paraméterek közvetlenül befolyásolják a mikrobiális közösséget és azokat a makroszervezeteket, amelyekről már számos tanulmány kimutatta, hogy fontos szerepük lehet a talaj szuppresszivitásának kialakulásában. Ha egy talaj elnyomó képességgel rendelkezik egy károsítóval szemben, a főbb fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak meghatározása hasznos lehet a szuppresszív mechanizmusok megértéséhez, és az információ hasznos lehet más területeken, ahol ugyanaz a károsító problémát jelent (Rodríguez-Kábana és Calvet 1994). Azáltal, hogy a szuppresszivitást kialakító talajfauna függ a talaj ezen tulajdonságaitól (hiszen az életterükről van szó) a mezőgazdasági művelés nagy mértékben befolyásolhatja a talaj károsító elnyomó képességét, hiszen hatással van mind a talaj fizikai, mind a kémiai, mind a biológiai tulajdonságaira (Bailey és Lazarovits 2003). Néhány tanulmány kimutatta, hogy a talajművelés intenzitásának csökkentése javította a talaj károsító elnyomó képességét (Pankhurst et al. 2002). Általában az intenzív mezőgazdasági gazdálkodás (azaz a mély talajművelés, az ásványi műtrágyák használata, a peszticidek használata és a nem elegendő szervesanyag-ellátás) a talaj biológiai sokféleségének csökkenésével jár, beleértve a kórokozók, kártevők természetes ellenségeit és

versenytársait, így a talaj elnyomóképességének csökkenésével kell számolnunk (Crowder és Jabbour 2014). Dignam és mtsai. (2018) szerint a szervesanyag minősége fontos szerepet játszik a talaj elnyomásában. Például komposzt hozzáadásával növelhető a talaj diverzitása (Boehm et al. 1993) és a szerves trágyának is fontos szerepe lehet a talaj elnyomásában, hiszen növeli az általános mikrobiális aktivitást, beleértve az antagonisták hatását is, azonban ezeknek a folyamatoknak a lefolyása még nem teljesen tisztázott (Bongiorno 2019). Ahhoz, hogy megérthessük a talajszuppresszivitást, komplexként kell tekinteni a talajra, amelyben az egyes tényezők kölcsönös kapcsolatban állnak egymással. Figyelembe kell venni azt az ökológiai kontextust, amelyben az elnyomást kialakító főbb szereplők élnek, mivel ezek az abiotikus változók folyamatosan befolyásolják a populációk szerkezetét, tevékenységét és annak minőségét (Weller et al. 2002). Schneider (1982) szerint az elnyomó talajok gyakoriak az ökológiailag kiegyensúlyozott környezetben, ahol a talaj fizikai, kémiai és mikrobiológiai összetevői stabilizálódtak.

3.6.2. A talaj biológiai tulajdonságainak szerepe a szuppresszív talaj kialakulásában

A talajban rendkívül bonyolult fajösszetételű életközösségek léteznek. A mikroorganizmusok a talajbióta legnagyobb frakcióját teszik ki, de emellett más számos makroszervezet vesz részt a talajban lejátszódó folyamatok alakításában (Szabó 2008). Számos korábbi tanulmány bizonyította, hogy a biológiai, különösen a mikrobiológiai tulajdonságok döntő szerepet játszanak a talaj elnyomó képességének meghatározásában (Eberlein et al. 2016). Elméletileg minél összetettebb a talaj biológiai közössége, annál nagyobb a talaj stabilitása, és ennek következtében annál magasabb szintű lesz a természetes biológiai védekezés szintje is (Ghini 2006).

3.6.3. A földigiliszták szerepe a fonálférgek elleni védekezésben és a talajszuppresszivitás kialakulásában

A talaj egészsége szoros összefüggésbe hozható a földigiliszták tevékenységével, ugyanis ezek az állatok közvetlenül, és közvetve, a környezetük átalakításával is befolyásolják a talajban élő biológiai közösségeket, a talajban lejátszódó abiotikus folyamatokat, valamint indikátorai a talaj egészségi állapotának. A földigiliszták bizonyítottan javítják a talaj kémiai (pH és tápanyag elérhetőség) és fizikai (vízviszatarító képesség, beszivárgás mértéke, szellőzőttesség, talajszerkezet) tulajdonságait (Demeterio et al. 2017). Tevékenységük a talaj aggregátumok kialakulásában is nélkülözhetetlen (Marhan et al. 2007). A függőleges járatokat ásó fajok tápanyagokban gazdag ürüléküket a talajfelszínen rakják le és a talajszelvényben gilisztaürülék-humuszt képeznek, ezek a növények számára fontos felvehető tápanyagként szolgálnak (Rod et al. 2005). Általuk a talajbiomassza átmegy egy emésztési folyamaton

(Bossuyt et al. 2005). A földigiliszták járataik révén fizikai változásokat idéznek elő a talajban, megkönnyítik a víz beszivárgását, és ezeket a járatokat rendszerint a növényi gyökök is használják (Yvan et al. 2012). Parkin és Berry (1999) kimutatta az ammónia felhalmozódását a földigiliszták ürülékének hatására, ezáltal a földigiliszták stimulálják a baktériumok nitrifikációját, növelik a nitrogén elérhetőségét a növények számára. Emellett pedig a talajtulajdonságok javításán keresztül nemcsak a talaj elnyomó képességét, hanem a növény ellenállóságát is növelik (Laossi et al. 2010). A földigiliszták életmódjáról ismert, hogy közvetlenül is befolyásolják a talajmikroorganizmusok sokféleségét, ezáltal az „ökoszisztéma mérnökei”, képesek a saját környezetüket befolyásolni (Demeterio et al. 2017). Garg és mtsai. (2006) kimutatták, hogy a gilisztatermékek növelik a mikroorganizmusok aktivitását, amelyek a talaj pH-értékének csökkentésével elnyomják a fonálféreg fertőzést. Eisenhauer és mtsai. (2011) kimutatták egyes földigiliszták fajok (*Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea* spp.) hatására a talaj mikrobiális közösség összetételének megváltozását. A földigiliszták által okozott fiziko-kémiai változások befolyásolják a biológiai komponenseket a talajban főleg azzal, hogy stimulálják a mikroorganizmusokat (Brown et al. 2000). Ezenkívül hatással vannak a növények növekedését elősegítő mikroorganizmusokra (Li et al. 2002), továbbá olyan baktériumok fejlődésére is, amelyek antibiotikumokat termelnek és meggátolják a kórokozók fertőzését (Freitas 2007). Tehát a földigilisztáknak a mikrobiális közösségre gyakorolt hatása is kiemelendő, a mikrobiális közösségnek pedig jelentős szerepe van a talajszuppresszivitás kialakításában.

Számos tanulmány foglalkozik napjainkban közvetlenül is a földigiliszták jelenléte és a fitofág fonálféreg kártétel közötti összefüggésekkel. A fonálférgek ellen való védekezésről igen keveset tudunk, még kevesebbet pedig arról, hogy a földigiliszták segítségével ez hogyan kivitelezhető (Demeterio et al. 2017). Néhány tanulmány azonban jelentős eredményt mutatott: Az *Eisenia andrei* földigiliszták jelentősen csökkentette a fonálférgek populációját egy vermikomposzt rendszerben (Domínguez et al. 2003). A vermikomposztálás egy olyan folyamat, amelyben bizonyos gilisztafajokat, például az *Eisenia fetida*-t használnak a lebomlási folyamatok felgyorsítására (Rostami et al. 2014). Swathi és mtsai. (1998) szerint a 1 kg/m² vermikomposzt használata csökkentheti a *M. incognita* által okozott károk mértékét a dohányban. Morra és mtsai. (1998) a vermikomposzt alkalmazását javasolták a paradicsom-tők váltakoztatott termesztésénél a *M. incognita* fonálféreg által okozott károk csökkentésére. Ilieva-Makulec és Makulec (2002) 51 %-os fonálféreg egyedszám csökkenést észleltek a talajban a *Lumbricus rubellus* földigiliszták faj hozzáadása után. Dionísio és mtsai. (2014) több mint 50%-os *Meloidogyne paranaensis* gyökérgubacs szám csökkenést mutattak ki paradicsom

gyökéren *Amyntas* földigiliszta fajok alkalmazásával. Dash és mtsai. (1980) arról számoltak be, hogy a földigilisztát tartalmazó talajokban a növényi parazita fonálféreg populációja jelentősen lecsökken. Azonban vannak kevésbé sikeres eredmények is: Demeterio és mtsai. (2017) tanulmányában nem volt szignifikáns különbség a gubacsszámban a kezelések között *M. javanica* fertőzésnél paradicsom gyökerén. Számos szerző (Dionísio et al. 2014, Domínguez et al. 2003, Lafont et al. 2007, Ilieva-Makulec és Makulec 2002) írt le olyan eredményeket a földigiliszták hatását vizsgálva, amely nem támasztotta alá, hogy a földigiliszták jelenléte valóban csökkentené a fonálféreg populációt. A földigiliszták és a fitofág fonálféregek közötti kapcsolat még kevésbé feltárt és változik a talajtípus, a növény, a fonálféreg és a földigiliszta fajok függvényében (Demeterio et al. 2017). Érdemes megemlíteni, hogy a fonálféreg elleni védekezés célja, hogy a fonálféreg kártétel gazdasági kárküszöb alá szoruljon, és ezzel összefüggésben megállapítható, hogy sok esetben a földigiliszták hozzáadásával üvegházi körülmények között csökkenthető volt a gazdasági veszteség, emellett a vermikomposzt hozzáadása javította a növény növekedési mutatóit is (Rostami et al 2014).

3.6.4. A fonálféreg szerepe a talajfolyamatokban, az ökoszisztémában és a szuppresszív talaj kialakulásában

A fonálféreg evolúció története már önmagában sejteti, hogy ezeknek az élőlényeknek valamilyen szerepe lehet az ökoszisztéma szerkezetében és működésében. A fonálféreg fajsza szám tekintetében a harmadik legnagyobb csoport az állatvilágban, így bizonyos, hogy kiemelkedő szerepet játszanak a természet folyamataiban (Andrássy és Farkas 1988). A jelenlegi szakirodalom szerint a gazdasági vagy karantén jelentőségű növényi parazita fonálféreg ismerete nagyságrendekkel nagyobb, mint a szabadon élő hasznos fonálféregé, pedig ezek a fonálféreg-közösség akár 60-80%-át is kitehetik. Korábban a nematológiában a káros fajok elleni védekezésre helyezték a hangsúlyt, manapság azonban a fonálféregket gyakrabban tekintik a talajrendszerek szerves és potenciálisan hasznos összetevőinek (Neher 2010). A fonálféreg közösségei összetettek lehetnek egyetlen növényfaj rizoszféráján belül. A közösség összetételének időbeli változása tükrözi a szezonális dinamikát és az ökológiai szukcessziót, valamint a zavarások mértékét. A fonálféreg jól viselik a stresszes körülményeket is. Bizonyos adaptációk lehetővé tették számukra, hogy elviseljenek olyan környezetet, amelyben csak kevés állat tud megélni. A fonálféreg tanulmányozása nagy valószínűséggel jelentősen hozzájárul majd a talajban zajló biológiai folyamatok megértéséhez (Neher 2010).

A fonálféreg központi helyet foglalnak el a táplálékhálózatokban és közvetlenül és közvetve is befolyásolják az ökológiai folyamatokat, ami arra utal, hogy kritikus szerepet

játszanak az ökoszisztéma működésében (Hunt et al 1987). Bizonyos, hogy a különböző életmódú fonálférgek és azok kapcsolata a talajfauna többi elemével hozzájárul az ökoszisztéma működéséhez (Beare et al. 1992), és jelentős szerepük lehet a növénybetegségek és növénykártevők visszaszorításában is (Kerry 2000). A természetben szabadon élő fonálférgeket sem a növényzet sem az állatvilág nem tudná nélkülözni. Ezek az igen apró élőlények méretükből adódóan nem tudják mozgatni a talajt, ezért kénytelenek a meglévő pórustereket, vízüregeket vagy csatornákat használni a talajon belüli mozgáshoz (Neher 2010). A talaj minden szervesanyagot tartalmazó rétegében megtalálhatóak. Aprók, de hatalmas egyedszámuk miatt jelentőségük vitathatatlan (Andrássy és Farkas 1988). A fonálférgek sok más szervezettel kölcsönhatásba lépnek a talaj táplálékhálózatának több szintjén is, és fontos szerepet játszanak az alapvető talajfolyamatokban (Carrascosa et al 2014). Aprítják az elhalt növényi és állati maradványokat, szerves tápanyaggal keverik a talajt, míg az áthalad a bélcsatornájukon, így részt vesznek a humuszképződésben, különleges szerepük van a bomlási folyamatokban és a nitrogénciklusban is (Beare et al 1992). A baktériumevő fonálférgeknek jelentős szerepük van a lebontó mikrobiális közösségek szabályozásában, a szervesanyag bomlási folyamatokban és az elemek körforgásában (Neher 2010). Azonban nem csak a fonálférgek hatnak a talajra, hanem a talajtényezők is hatnak rájuk. A talaj szerkezete közvetlenül befolyásolhatja a fonálférgek táplálékszerzési hatékonyságát (Anderson et al. 1997). Az élőhely fizikai szerkezete nem csak az erőforrások eloszlását befolyásolja, hanem a lakóinak táplálékkeresési és táplálkozási stratégiáit is megszabhatja (Neher 2010). A hőmérséklet és a nedvesség az egyes fonálféreg fajoknál eltérően befolyásolja az asszimilációt, a légzés és a szaporodás sebességét (Ferris et al. 1995). A fonálférgek érzékenyek a szélsőséges hőmérsékletekre, különösen nedves talajokon, ahol aktív állapotban vannak jelen (Darby 2008). A pórustéren belüli víz és levegő egyensúlya is befolyásolja a deaktivitásukat (André et al. 2002). A talajtulajdonságok befolyásolásával a fonálférgek hatnak a talajban megtalálható mikróba közösségekre, valamint nélkülözhetetlen tagjai a talajökoszisztémának. Segítik a végső lebontást végző baktériumok munkáját is (Neher 2021). Thoden és mtsai. (2011) a termőterületekre kijuttatott szervesstrágya terméshozamokra gyakorolt pozitív hatást vizsgálták, és megállapították, hogy az eredményesség valószínűleg a nem patogén, szabadon élő fonálférgek talajban történő elszaporodásának és azok talajmikrobákra kifejtett pozitív hatásának, szervesanyag lebontásuknak, a tápanyag elérhetőség javulására kifejtett hatásuknak, és az ökoszisztéma stabilitására gyakorolt pozitív hatásuknak köszönhető. A fonálférgek terjesztik a testükön vagy a bélrendszerükben élő mikrobákat, ismerten segítik a mikrobiális terjedést (Fu 2005). Feltételezhető, hogy tevékenységük aktívan tartja a mikrobiális populációt,

és fenntartja a bomlási aktivitást (Neher 2010). A fonálférgek a földigilisztákhoz hasonlóan az abiotikus talajtulajdonságok pozitív irányba változtatásával és a mikrobiális közösségekre gyakorolt hatással közvetve befolyásolják az egészséges talaj kialakulását, és a talajegészség fenntartását.

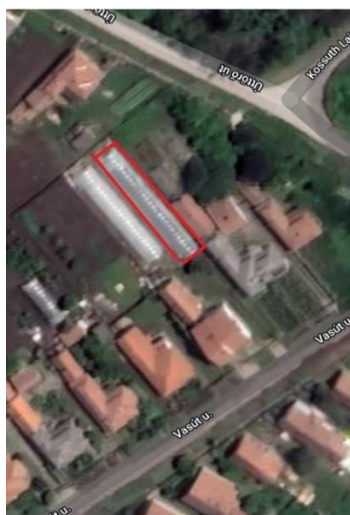
A fitofág fonálférgek elleni küzdelemmel kapcsolatban érdemes megemlíteni a fonálférgek azon csoportját, amelyek ragadozó életmódot folytatnak, ugyanis a fonálférgek legveszélyesebb ellenségei maguk a fonálférgek. Minden élettérnek megvannak a maguk ragadozó nematódái, nagy szerepet játszanak az állomány szabályozásában, ha valahol felszaporodik a populáció a ragadozók egyedszáma jellemzően követi azt (Andrássy és Farkas 1988). Egyes ragadozó fonálférgek (pl. *Odontopharynx longicaudata*) kiválóan alkalmasak fonálférgek elleni biológiai védekezésére, mivel könnyen tenyésztethetők, rövid életciklusúak, zsákányspecifikusak és ellenállóak a kedvezőtlen körülményekkel szemben (Khan és Kim 2007). S'anchez-Moreno és Ferris (2007) kutatásában a terméketlen területeken a *Discolaimus*, *Tripyla* és *Prionchulus* ragadozó fonálférgek jelentős mértékben visszaszorították a gyökérgubacs-fonálféreg populációt.

Néhány kutatás foglalkozott csak a nem fitofág, szabadon élő fonálférgek fitofág fonálférgekre gyakorolt közvetlen hatásával. Arancon és mtsai. (2002) azt találták, hogy a gyökérgubacs-fonálférgek populációja csökkent, amennyiben a talajhoz vermikomposztot adtak, és ezt a hatást a gomba- és baktériumevő fonálférgek tevékenységének tulajdonította.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A vizsgálati helyszín

A kísérlet helyszínéül szolgáló fóliasátor Csányon található (koordinátái: 47.65431387481547, 19.823683138539444) (**1. ábra**). A 40 m hosszú és 7 m széles fóliasátorban 1995 óta Monolit fajtájú uborka termesztése folyik. A fóliasátor belsejében 6 növénytör található (**2. ábra**), amelyeket balról jobbra A-tól F betűig jelöltem.



1. ábra: A vizsgált fóliasátor felülnézeti képe.
(Forrás: Google Earth)



2. ábra: A sorok elrendezése a fóliasáton belül.
(Fotó: Selmeczi Dóra, 2022.05.05., Csány)

A palánták nevelése melegágyon történik, ahol friss, még éretlen marhatrágyát 40 cm magasan halmoznak fel, ez szolgáltatja a palánták egészséges fejlődéséhez szükséges hőmérsékletet. A trágyahalom tetejét vékony homokréteggel szórják meg, majd erre helyezik a cserépbe ültetett palántákat. A magokat a kiültetés előtt három héttel vetik a cserépbe. A cserepekbe ellenőrzött palántaföld keverék kerül. A palánták kiültetésére 2021 április 4-én, illetve augusztus 2-án és 2022 április 6-án került sor.

Az érintett fóliasátorban 1995 óta ugyanazt a technológiát alkalmazzák az uborkatermesztésben. A növények öntözésére csepegtető szalagok vannak a sorokba kihelyezve, ezen keresztül kapják a növények az öntözővizet és a tápoldatot. A fóliasátor talaját minden évben talajfertőtlenítő szerrel kezelték a gyökérgubacs-fonálférgek ellen. A csepegtető öntözőberendezésen keresztül régebben Ipam nevezetű metám-ammónium hatóanyagú talajfertőtlenítő szert alkalmaztak, amely 2016-ban bevonásra került. Ezután Nemathorint (foszfiazát hatóanyag), Basamidot (dazomet) majd 2020-tól Tervigo (abamektin) talajfertőtlenítő szert használtak a fonálférgek elleni védekezésre. Az abamektin hatóanyagot az első 4 héten keresztül juttatják ki heti egyszer a csepegtetőszalagokon keresztül az uborkatövek közvetlen közelébe.

4.2. A gyökérgubacs-fonálféreg fertőzöttség és földigiliszta eloszlás feltérképezése

A gyökérgubacs fonálféreg fertőzöttség feltérképezése az uborka vegetációs idejének végén, 2021.07.17-én és 2021.10.13-án, valamint 2022.06.29-én valósult meg. A fóliasátorban található összes növény gyökerét kiemeltük a talajból, megtisztítottuk, majd 0-tól 10-ig terjedő Zeck-skála alapján értékeltük a gubacsosság mértékét (**3. ábra**). A 0 érték az egészséges növényt, míg a 10-es érték az elpusztult gyökeret jelölte (Zeck 1971). A térképezés során a kiemelt gyökerek helyén megszámoltuk a felső 10 cm-es talajrétegben előforduló földigiliszta egyedszámát is (**4. ábra**), majd a térképen jelöltük az elhelyezkedésüket.



3. ábra: A fertőzöttség mértéke alapján felsorakoztatott uborkagyökerek, balról jobbra a Zeck-skála alapján 1-10-ig. (Fotó: Selmeczi Dóra, 2021.07.14., Csány)



4. ábra: A talaj felső 10 cm-es rétegben előforduló földigiliszta egyedek. (Fotó: Selmeczi Dóra, 2021.07.14., Csány)

4.3. Talajminta-vételezés

A 2021 nyarán elvégzett mintavételezéskor gyökérgubacs-fonálféreg fertőzöttségi térképet készítettem, amelyen jól látható volt az, amit a termelő is előzetesen jelzett, hogy a fonálféreg fertőzöttség nagyon erőteljes és heterogén a fóliasátoron belül. A gyökérgubacs-fonálféreg fertőzöttség igen széles skálán mozgott, és az egyes fertőzöttségi kategóriák foltokban jelentkeznek. Ez alapján három fertőzöttségi kategóriát tudtam kijelölni: kevésbé fertőzött talajfoltok (Zeck-skála: 0-3), közepesen fertőzött talajfoltok (Zeck-skála:

4-6) és az erősen fertőzött talajfoltok (Zeck-skála 7-10). 2021 őszén, és 2022 nyarán a térkép alapján kijelölhető három különböző fertőzöttségi kategóriából 10-10-10 talajmintát vettem az alábbiak alapján: a már kihúzott tövek alatt a megjelölt pontokban 25 cm mélyen 25x25 cm-es gödröt ástam, több pontból talajmintát vettem, vödörben összekevertem. A vödörből körülbelül egy kilogrammnyi mintát tasakokba raktam laboratóriumi vizsgálat céljából. Talajnedvesség vizsgálatra külön kisebb, jól zárható műanyag zacskókban raktam el talajmintákat, hogy ne veszítsenek a nedvességtartalmukból. 2022 nyarán a fóliasátor környékéről kívülről is gyűjtöttem talajmintákat az összehasonlítás céljából.

4.4. Földigilisztá-mintavételezés

A mélyebben elhelyezkedő földigiliszták mintavételezésére a fóliasátoron belül 2021 őszén és 2022 nyarán a térképezéssel egyidőben került sor, a térkép alapján kijelölhető három fertőzöttségi kategóriából. A talajminták vételére kijelölt pontok közül mind a három kategóriából 5-5-5 pontnál felvételeztem a földigiliszták egyedszámát a mélyebb talajrétegekben. A 25x25x25 cm-es talajkockákat kiemeltem a gödörből egy fóliára, majd alaposan átmorzsoltam földigiliszták után kutatva az ISO (2006) szabvány szerint (kézi válogatással), (**5. ábra**). 2022 tavaszán is történt mélyebb talajrétegekből történő földigilisztá mintavételezés, azonban tavasszal a fóliasátoron belül véletlenszerűen 5 ponton és a fóliasátor környékén kívül 5 ponton néztem meg a földigilisztá egyedszámot. A talált egyedeket megszámláltam és lemértem, a fajmeghatározáshoz 70%-os etanolban előltem, majd 4%-os formalinban tartósítottam és a laboratóriumba szállítottam. A fajmeghatározás a laboratóriumban mikroszkóp segítségével történt külső bélyegek alapján (Csuzdi 2007, Csuzdi és Zicsi 2003).



5. ábra: Földigilisztá mintavételi gödör ásása és a kiemelt talaj kézi átmorzsolása

4.5. A talaj nedvességtartalmának mérése

A talajminták előkészítése után a talaj nedvességtartalmának mérésére a szárítószekrényes módszert használtam. A mérés során a talaj nedvességtartalmára a nedves talaj és a száraz talaj tömegének különbségéből következtethetünk. A laboratóriumba behozott

nedves talajmintákból mérlegen kimértem 10-10 g-ot cg-os pontossággal, majd jól záródó, ismert tömegű fedeles edénybe helyeztem őket. Ezután a mintákat nyitott fedéllel 105 °C-on tömegállandóságig (kb. 20-25 órán keresztül) szárítottam szárítószekrényben. A szárítás után a tárolókat lezártam és vízmentes CaCl₂-t tartalmazó exsziátorban szobahőmérsékletre hűtöttem. Amint ez megtörtén újra lemértem a mintákat cg-os pontossággal és az alábbi képlettel kiszámítottam a minták nedvességtartalmát:

$$W\% = (a-b)/(b-c) \cdot 100$$

Ahol:

w% = a talaj nedvességtartalma a száraz talaj százalékában

a = az edény és a nedves talaj együttes tömege

b = az edény és a száraz talaj együttes tömege

c = az üres edény tömege

(Buzás 1993)

4.6. A talaj kémhatásának mérése

A talajszuszpenziók desztillált vizes és kálium-kloridos pH értékeit pH mérő berendezéssel (VWR pHenomenal pH1100 L) mértem (7. ábra). A kémcsövekbe 5-5 g talajt mértem ki a mintákból két ismétlésben, mind a desztillált vizes, mind a KCl-os pH mérésének céljából (6. ábra). A kémcsövekbe 1,25 milliliter desztillált vizet vagy KCl oldatot töltöttem pipettával, így 1:25 talaj-víz és talaj-KCl oldat arányt kaptam. A gumidugóval lezárt kémcsöveket jól felráztam és 12 óráig állni hagytam. Másnap a műszert bekapcsolás után fél órát állni hagytam, majd 7,0 és 4,0 pH-jú pufferoldatokkal kalibráltam a mérés előtt (Buzás 1988).



6. ábra: A talajminták kimérése a kémcsövekbe.
(Fotó: Selmeczi Dóra, 2021.10.25., Gödöllő)



7. ábra: A pH mérő készülék.
(Fotó: Selmeczi Dóra, 2021.10.26., Gödöllő)

4.7. A talaj kalcium-karbonát tartalmának mérése

A talajminták kalcium-karbonát tartalmának mérésére a Scheibler-módszert alkalmaztam. E módszer során kalciméterrel (8. és 9. ábra) határoztam meg a talajminták CaCO₃-ban kifejezett összes karbonáttartalmát. A mérés lényege, hogy a mintához adott sósav

hatására keletkező szén-dioxid gáz térfogatából kiszámítható a mintákban megtalálható CaCO_3 mennyisége. A mérés az alábbi reakción alapul:



A mérés megkezdése előtt a mintákra sósavat csepegtettem abból a célból, hogy igazoljam a bennük található karbonát tartalmat. Mivel a minták pezsegtek a sósav hatására, így sor került a Scheibler-módszer alkalmazására. A vélhető kalcium-karbonát tartalomtól függően eltérő mennyiségű talajt kell bemérni a lombikba, hiszen a műszer gázbefogadó képessége véges. A 10%-os sósavval való pezsgési reakció mértékéből következtettem a bemérendő talaj tömegére. Közepesen erős pezsgést tapasztaltam, így 5 g-nyi talajmintákkal dolgoztam. A talajmintákat kimértem, majd egyesével a lombikba töltöttem. Pár csepp desztillált vizet a talajhoz adva nedvesítettem azt, és a mágnes keverőre helyeztem a lombikot, benne a mágneses keverőkapszulával. A szintezőpalackot felemelve és a két csapot elzárva nullára állítottam a rendszert. A savtartó üvegcsét 10 %-os HCl oldattal töltöttem meg, majd a lombikba helyeztem úgy, hogy a sósavoldat még ne érintkezzen a talajjal, illetve ezzel légmentesen zártam a lombikot. Ezután megnyitottam a háromfuratú csapot, hogy a rendszerbe szorult gázokat kiengedjem, majd elzártam azt. Ezután a lombikot megdöntve az üvegcséből a talajmintára csorgattam a sósavat és a mágneses keverő segítségével jól összekevertem. Öt perc elteltével, amikor már nem tapasztaltam gázfejlődést leállítottam a keverőt. A fogyást akkor lehetett leolvasni, amikor a közlekedőcső bal és jobb szárában megegyezett a két folyadékoszlop magassága. A fogyás leolvasott értékével és az alábbi képlettel ki tudtam számítani a talajminták CaCO_3 -ban kifejezett összes karbonáttartalmát:

$$A = \frac{m * a}{g} * 100$$

Ahol:

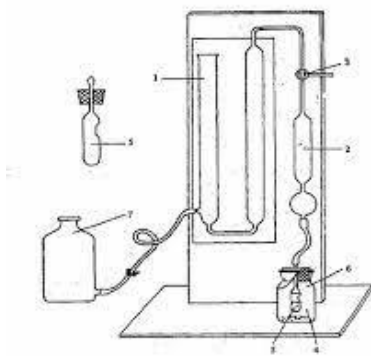
A = a talajok összes karbonáttartalma $\text{CaCO}_2\%$ -ban kifejezve

m = a fejlődött CO_2 mennyisége cm^3 -ben

a = táblázati érték, amely megmutatja, hogy adott hőmérsékleten és nyomáson 1 ml CO_2 hány g CaCO_3 -mal egyenértékű (ezredmilligrammban kifejezve)

g = a vizsgálathoz bemért talaj tömege.

(Buzás 1988)



8. ábra: Scheibler-féle kalciméter.
(Buzás 1988)



9. ábra: Scheibler-féle kalciméter.
(Fotó: Selmeczi Dóra, 2021.10.27., Gödöllő)

4.8 A talaj vezetőképességének mérése

A szárított és ledarált talajmintákat 2 mm-es szitán átszitáltam majd 2 g-ot mértem ki belőlük centrifuga csövekbe. Ezután 20 ml desztillált vizet mértem ki hozzájuk pipettával, így 1:1 a talaj-víz arányt kaptam. A centrifugacsöveket kupakkal alaposan lezártam, majd gépben rázattam 2 órát. Ezután 15 percig a centrifugába helyeztem őket és 2000-res fordulaton lecentrifugáltam. Vezetőképesség mérő műszerrel (Jenway 4510 Conductivity Meter) megmértem a felülúszó oldat vezetőképességét és kiszámoltam a sótartalmat az alábbiak alapján:

Először kiszámoltam a minták korrigált vezetőképességét: **Korrigált vezetőképesség = Minta vezetőképessége – desztillált víz vezetőképessége**, majd a korrigált vezetőképességgel tovább számolva meghatároztam a sótartalmat:

$$S\% = \frac{A * 0,745}{B}$$

Ahol:

A = korrigált vezetőképesség

B = KCl vezetőképessége

(Buzás 1988)

4.9. A talaj szervesanyag-tartalmának mérése

A talaj szervesanyag-tartalmát, az előreláthatóan magas szervesanyag-tartalom miatt az izzítási veszteség módszerrel (Loss on ignition, LOI%) mértem. Az vizsgálatra szánt talajmintákat három óráig 105 °C-on szárítószekrényben szárítottam, majd miután az exsziátorban kihűltek, lemértem. Ezután 2-2 ismétlésben 5 g-ot mértem ki belőlük porceláncsészékbe és ismételten a szárítószekrénybe helyeztem ezúttal 8 órára. A kihűlt mintákat újból lemértem. Az izzítás egy 550 °C-os kemencében történt, amelybe ismételten 8

órára helyeztem a mintákat. Kihűlés után a mintákat ismételten lemértem. A számoláshoz az alábbi képletet alkalmaztam:

$$\text{Izzítási veszteség\% (LOI\%)} = \frac{A - B}{A} * 100$$

Ahol:

A = a 105°C-on tömegállandóságig szárított talaj tömege

B = az izzítási maradék tömege (Buzás 1988).

4.10. A talajminták nitrogén-, foszfor- és káliumtartalmának mérése

A talaj könnyen oldható P_2O_5 és K_2O tartalmának meghatározása ammónium-laktát módszerrel történt. A meghatározás Egnér-Riehm-Domingo (1960) módszere alapján történt. A 2 mm-es szitán átszitált talajból 2,5 g-ot mértem ki, majd 50 cm³ ammónium-laktát-acetát oldat hozzáadása után 2 órát rázatógépben rázattam. Az oldatot leszűrtem, majd a P_2O_5 méréséhez egy 50 cm³-es lombikba kimértem 5 cm³-t szűrletet, amelyhez 20 cm³ ammonium-molibdenátot és 2 cm³ aszkorbinsavas-ón-kloridot adtam, majd jelre állítottam desztillált vízzel. Az oldatot a műszerbe (Gallery thermoscientific) helyezem. A K_2O meghatározásánál a szűrletből 25 cm³-es lombikba 10 cm³-t mértem ki, majd 1,4%-os oxálsavval jelre állítottam. Egy éjszakát ülepedni hagytam, majd a csapadék feletti tiszta részből lángfotométerrel mértem a K_2O tartalmat. A könnyen oldható nitrogénformák mennyiségének meghatározásához 40 g száraz porított talajt mértem ki, majd arra 100 cm³ 1%-os KCl-ot öntöttem. Egy órán keresztül rázatógépben rázattam, majd leszűrtem. Ezután a műszerrel (Gallery thermoscientific) mértem.

4.11. Fonálféreg futtatás és meghatározás

A fonálférgek talajmintákból való kinyerésének alapjául a Bearmann-féle (1917) tölcséres futtatást vettem. A talajmintákból papírral bélelt szűrőkbe 25 g-ot mértem ki. Majd a szűrőket a futtatóállványon található üvegtölcsérekre helyeztem. A tölcsérek alján található gumicsövet elzártam, majd a tölcséreket addig töltöttem vízzel, míg az buborékmentesen éppen el nem érte a szűrők alját, ezáltal benedvesítve a szűrőben található, a talajminta alatt elhelyezkedő papírt. 48 órát vártam, hogy a mintában található fonálférgek a tölcsér alján elzárható gumicső aljába mozogjanak. A fonálférgeket a vízzel együtt kiengedtem egy 10 ml-es kémcsőbe, majd a kémcső tartalmát kiöntöttem egy négyzetráccsal ellátott Petri-csészébe és mikroszkóp alatt megszámloltam az egységnyi térfogatú vízben található fonálférgeket.

A számolás után formalinnal tartósítottam a mintákat és mikroszkóp alatt az egységnyi részletmintákban található egyedeket genus szinten meghatároztam (10. ábra), majd táplálkozási csoportokba soroltam az egyedeket (Yeates et al. 1993).

A hím egyedeket és 20 lárvát mikroszkóp segítségével lemértem. A szájszuronyhossz, farokhossz, hialinfarokhossz és az egyedek átmérőinek méretéből megállapítható volt, hogy a *Meloidogyne* egyedek kertészeti-gyökérgubacs fonálférgesek (*Meloidogyne incognita*) (Hunt és Handoo 2009).



Cuticularia, baktériumevő



Diploscapter, baktériumevő



Acrobeles, baktériumevő



Ciloplachus, baktériumevő



Eudorylaimus, mindenevő



Cephalobus, baktériumevő

10. ábra: Jellemző kinézetű és könnyen azonosítható fonálférgesek a csányi mintákból.

(Fotó: Selmeczi Dóra, 2022.09.07., Gödöllő)

4.12. A táplálékhálózat (food web) indexek kiszámítása

A Maturity Index (MI) a populációban található egyedek c-p értékeinek súlyozott átlaga:

$$MI = \sum_{i=1}^n v(i) \cdot f(i)$$

Ahol:

$v(i)$: a taxon c-p értéke

$f(i)$: az adott taxon gyakorisága a mintában

(Bongers 1990)

A Structur Index (SI) és az Enrichment Index (EI) kiszámításánál ún. funkcionális guildeket alkotunk, amelyek a **11. ábrán** láthatóak (pl.: Ba₂, Fu₄, Om₅). A funkcionális guildeket a c-p osztályozásban megtestesülő biológiai, ökológiai és élettörténeti jellemzőkkel rendelkező fonálférgesek táplálkozási szokásainak mátrixaként határozzuk meg. Az egyes funkcionális guildek elnevezése az alapján történik, hogy mely táplálkozási csoportú és milyen c-p kategóriájú fonálféreg taxonok tartoznak bele. Ba: baktériumevők (Bacterivores), Fu:

gombaevők (Fungivores), Ca: ragadozók (Carnivores), Om: mindenevők (Omnivores) és az alsó indexben jelzett szám (1-5) az taxon c-p kategóriáját jelöli. Minden egyes funkcionális guild a számítás során kap egy súlyozási értéket, amelyet a **11. ábrán** a neve utáni zárójeles érték jelöl (Ferris 2001).

A Sturctur Index (SI) és az Enrichment Index (EI) számítása az alábbi képletekkel történik:

$$SI = 100*s/(s+b) \quad EI = 100*e/(e+b);$$

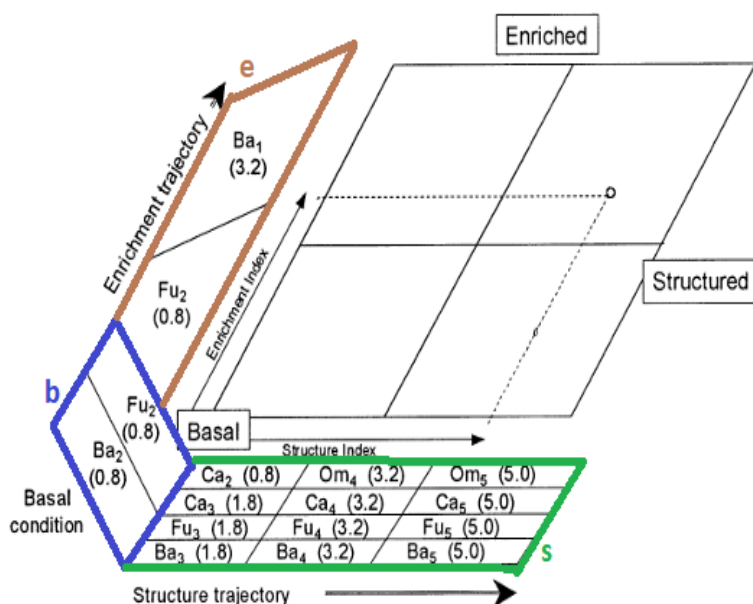
Ahol:

s: a struktúráltságot jelző funkcionális guildok összessége, azaz:

$$1,8Ba_3+3,2Ba_4+5Ba_5+1,8Fu_3+3,2Fu_4+5Fu_5+1,8Ca_3+3,2Ca_4+5Ca_5+3,2Om_4+5Om_5$$

b: az populáció alapját alkotó funkcionális guildok összessége, azaz: $0,8Ba_2+0,8Fu_2$

e: a tápanyag gazdagságot jelző funkcionális guildok összessége, azaz: $0,8Fu_2+3,2Ba_1$



11.ábra: A talajban élő fonálférgek funkcionális guildjei és azok súlyozási értékei a struktúráltságot és a tápanyaggazdagságot jelölő tengelyek mentén a Structur Index (SI) és az Enrichment Index (EI) kiszámításához. (Ferris 2001)

4.13. Az adatok kiértékelése

Az adatok kiértékeléséhez Microsoft Excel programot használtam. A statisztikai analízishez (ANOVA, Tukey-féle páronkénti összehasonlítás, Kruskal-Wallis teszt, Mann-Whitney próba, Pearson-korreláció) Past 4.03 programot használtam.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

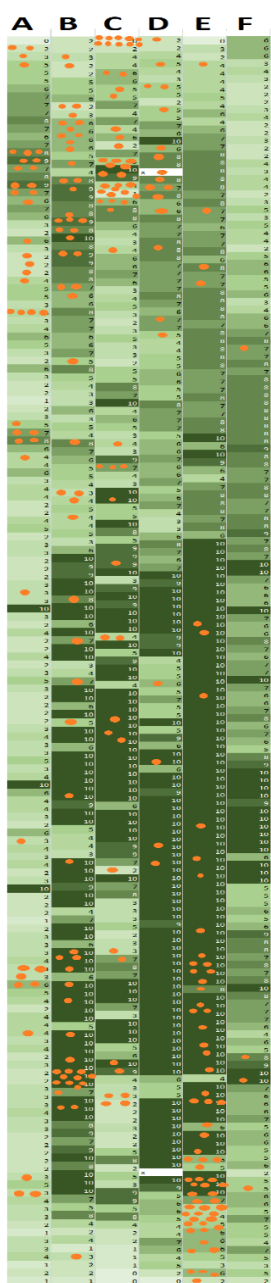
5.1. A gyökérgubacs-fonálféreg fertőzőttség és a földigiliszták eloszlásának térképei

A térképeken a fóliasátorban található sorok láthatóak függőlegesen A-tól F-ig balról jobbra, minden színezett blokk egy uborka tövet jelöl. Az egyre sötétebb színek jelölik a fertőzőttség erősségét, a világos színek gyenge fertőzőttséget jelentenek (**12. ábra**). Mind a három térképen jól látható, hogy a fonálféreg fertőzőttség foltokban jelentkezik, vannak növénycsoportok, amelyeknél gyengébb, míg egyes növénycsoportoknál kifejezetten extrém mértékben volt észlelhető a gubacsosság a gyökérzetén. Az **13a.** ábrán jól kivehető, hogy a 2021-es nyári térképezés során a fóliasátor közepén fertőzőttebbek voltak a növények, mint a fóliasátor szélein. Sok növény, amely 10-es Zeck-skála értéket kapott a felszedés alkalmára már elpusztult. A 2021 őszén történt térképezés során kisebb fertőzőttséget tapasztaltunk a fóliasátorban található növények gyökérzetén (**13b. ábra**). Ebben az időpontban nem voltak elpusztult növények, és 10-es skálaérték is csak nagyon kevés növény esetében fordult elő. 2022 nyarán újból erős fertőzőttség jellemezte a fóliasátor növényeit, alig maradt egészséges, nem hervadó növény a felszedés idejére, az erősen fertőzőt góccok ismét a fóliasátor közepére voltak jellemzőek (**13c. ábra**). A *Meloidogyne incognita* fertőzés foltokban való megjelenése több kutatató által leírt jelenség. Evans és mtsai. (2017) szerint a kertészeti kultúrákban megfigyelhető, hogy a fonálférgek eloszlása nem egyenletes a területen belül, úgynevezett „forró pontok” és „hideg pontok” figyelhetők meg az eloszlásban akkor is, ha a termesztés egész területét ugyanúgy kezeltük. Az, hogy a két nyári mintavétel esetében a gyökérgubacsosság mértéke és a növénymortalitás az egész fóliasátor területén magasabb volt, mint ősszel, ez valószínűleg a nyári meleg időjárás hatásának tulajdonítható. Morris és mtsai. (2011) vizsgálata szerint a *Meloidogyne* lárvák legmagasabb arányú keléséhez a 25 °C az optimális, míg 15 °C alatt a kelési arány és az aktivitás jelentősen csökken. Emellett feltételezhető, hogy a magas hőmérsékleten a növények ellenálló képessége is csökken a fertőződéssel szemben. Du és Tachibana (1994) kimutatta, hogy a magas talajhőmérséklet fokozza a gyökérlégzést, amely pozitív hatással van a J₂-es lárvák aktivitására. A földigiliszták eloszlása jellemzően nem egyenletes nagymértékben függ a talaj abiotikus tényezőitől (Singh et al. 2016). Ez a jelenség vizsgálatunk során is megfigyelhető volt (**13a, 13b, 13c. ábra**) mindhárom időpontban. A földigiliszták egy része csoportokban helyezkedett el a fóliasátor közepén, az erősen fertőzőt gyökerek gyökérszónájában, ahol az elpusztult vagy beteg gyökérszettel rendelkező növények már nem voltak képesek a csepegtető öntözőrendszer által folyamatosan adagolt vizet felvenni, így a nedvesebb talajfoltokban számukra kedvezőbb körülményekre leltek (Ivask et al. 2006). Az egyedek nagy része azonban a fóliasátor két szélén

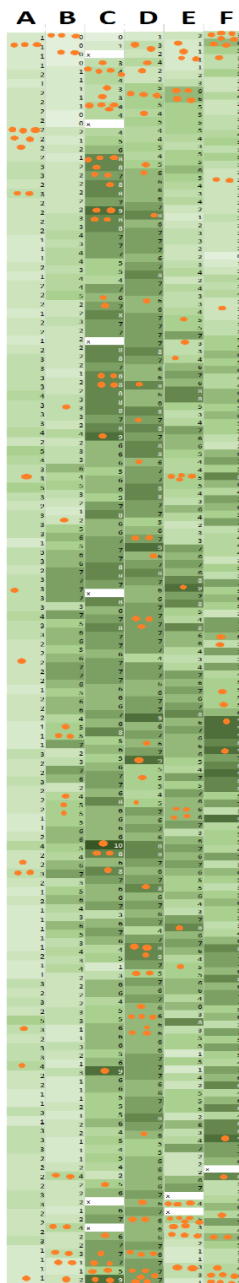
csoportosult, amely valószínűleg a fóliasátor klimatikus viszonyainak tudható be. A talaj hőmérséklete szabályozza a földigiliszták szaporodási ütemét, számukra az optimális talajhőmérséklet 12-23 °C (Reynolds 1994), amely valószínűleg a fóliasátor két, jobban szellőző végén valósult meg.



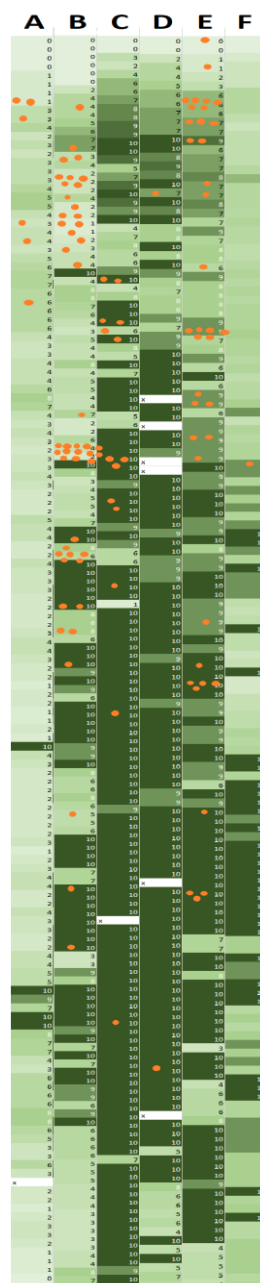
12. ábra: A térképek színskálája a 0-10-ig terjedő Zeck-skála értékek alapján.



13a.



13b.

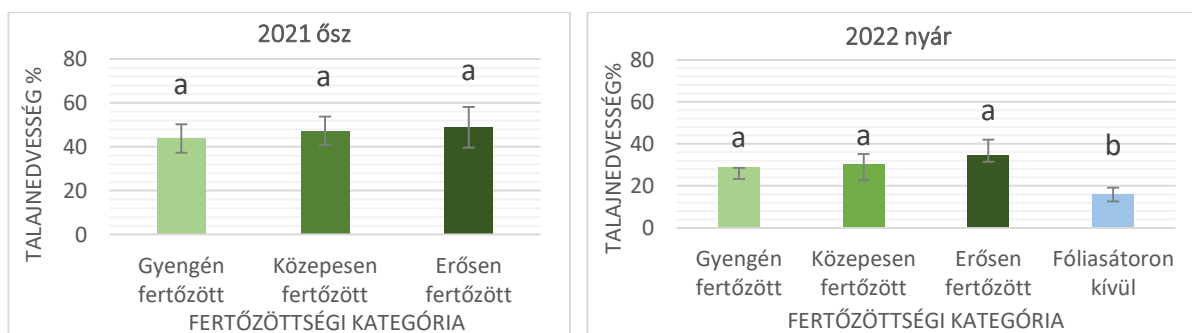


13c.

13. ábra: a) A 2021.07.17-én, b) 2021.10.13-án, c) 2022.06.29-én végzett mintavételezés és Zeck-skálázás alapján készített gyökérgubacsossági és földigiliszta eloszlási térkép a hajtatott uborkában Csányon. A színek az 12. ábra alapján jelölik a gubacsosság mértékét, az A-tól F-ig jelölt növény sorokban. A narancssárga foltok egy-egy földigiliszta egyedet jelölnek.

5.2. Talajnedvesség-tartalom

A 2021.10.13-án vett minták közül a gyengén fertőzött növények alól vett talajminták átlagos nedvességtartalma volt a legalacsonyabb (43,79%), míg az erősen fertőzött területek átlagos nedvességtartalmánál kaptam a legmagasabb értéket (48,92%). Az átlagok alapján sem volt túl szembetűnő a különbség és a statisztikai elemzés sem mutatott szignifikáns különbséget az egyes csoportok között ($p=0,6128$). Nyáron a legkisebb nedvességtartalom a gyengén fertőzött kategóriánál volt mérhető: 28,53%, a közepesen fertőzött kategóriájú talajminták átlagos nedvességtartalma valamivel magasabb: 29,90%, míg a legmagasabb nedvességtartalom most is az erősen fertőzött kategóriánál volt mérhető: 34,71%. A statisztikai elemzés alapján a fóliasátoron kívül vett talajminták átlagos nedvességtartalma szignifikánsan alacsonyabb volt a többi csoport átlagos nedvességtartalmánál ($p=0,003571$), (14. ábra). A térképezés során kapott nedvességtartalom értékeket összevettem a növényi gyökereken található gubacsosság mértékével és azt tapasztaltam, hogy a Zeck-skála értékek és a talajnedvesség értékek között összességében gyenge, míg nyáron erősebb, de még mindig gyengének mondható és nem szignifikáns kapcsolat állt fent, amely során minél magasabb a nedvességtartalom, annál nagyobb mértékű volt a gyökér gubacsossága. Az őszi mintavételnél $R=0,12716$ ($p=0,50311$), míg a nyári mintavételnél $R=0,28628$ volt ($p=0,1251$).

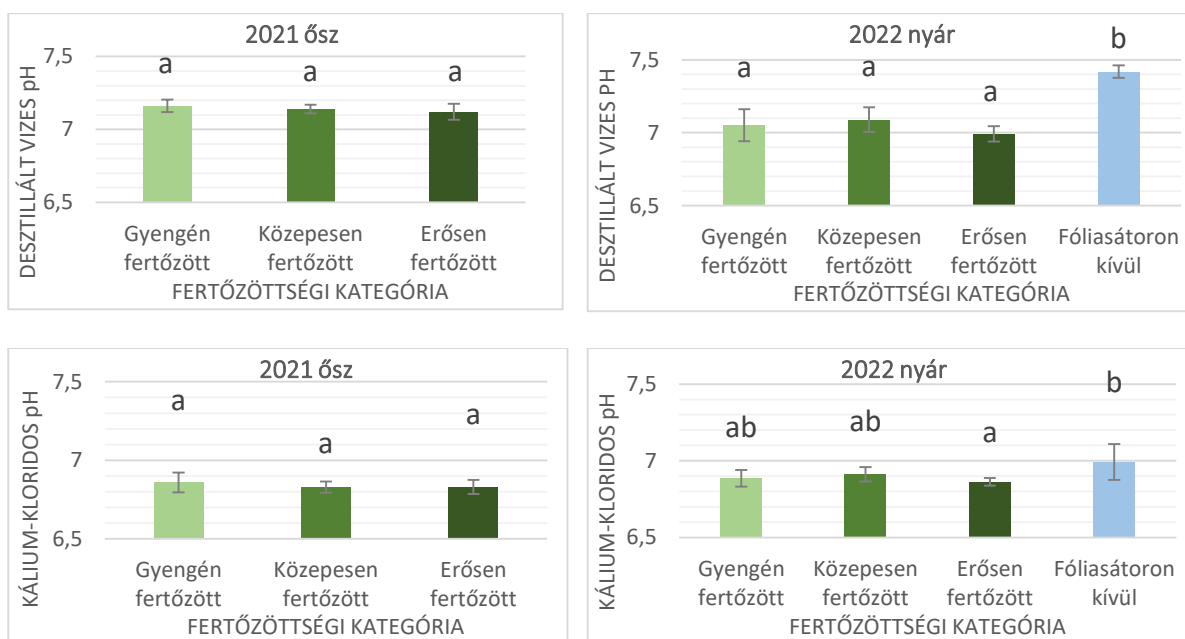


14. ábra: A talajminták átlagos nedvességtartalma kategóriánként (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.).
(A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján.)

A talajnedvesség esetében nem találtam lényeges különbségeket a fóliasátoron belül elkülönített kategóriák között. Csupán az átlagok tendenciája és a korrelációanalízis trendvonala utalt a szakirodalmak által leírt jelenségre, miszerint a *Meloidogyne* fajok fejlődése és lárvakelése erősen függ a talaj nedvességtartalmától, amely aktivitásukat és túlélésüket is befolyásolja, és a fertőzöttség mértéke nőhet a nedvességtartalom emelkedésével (Goodell és Ferris 1989). Azonban a statisztikai analízis az én értékeimnél ezt nem támasztotta alá. Valószínűleg ez a hatás azért nem volt kimutatható, mert az öntözés egyenletessége miatt nem voltak lényeges eltérések a fóliasátor mintázott pontjainak nedvességtartalma között.

5.3. A talaj kémhatása

Az őszi mintavétel során az átlagos desztillált vizes és az átlagos kálium-kloridos pH értékek megegyeztek a csoportokon belül. A különböző fertőzöttségi kategóriák pH értéke között nem volt szignifikáns különbség ($p=0,4241$ és $p=0,6665$). A nyári térképezés során az egyes fertőzöttségi kategóriákból gyűjtött talajminták átlagos pH értékei szintén megegyeztek. A desztillált vizes pH érték szignifikánsan magasabb ($p=0,00001339$) volt a fóliasátoron belül mért értékekhez képest. A KCl-os pH az erősen fertőzött kategória átlagos pH értékétől tért el szignifikánsan ($p=0,04586$) (15. ábra). Az őszi minták esetében a gyökérgubacsosság és a pH értékek között gyenge és fordított összefüggés tapasztalható (desztillált vizes pH: $R=-0,24629$; kálium-kloridos pH: $R=-0,19654$). Vagyis minél magasabb a pH, annál kisebb mértékű gubacsosság figyelhető meg a gyökéren, ám ez az összefüggés igen gyenge, és nem szignifikáns (desztillált vizes pH: $p=0,18953$; kálium-kloridos pH: $p=0,29789$). A nyáron szedett talajminták pH értékeire ugyanaz volt jellemző, ami az ősziakra: gyenge és fordított, nem szignifikáns összefüggés jellemezte a gyökérgubacsosságot és a pH értékeket (desztillált vizes pH $R=-0,20828$; kálium-kloridos pH $R=-0,17732$), (desztillált vizes pH $p=0,26937$; kálium-kloridos pH $p=0,34855$).



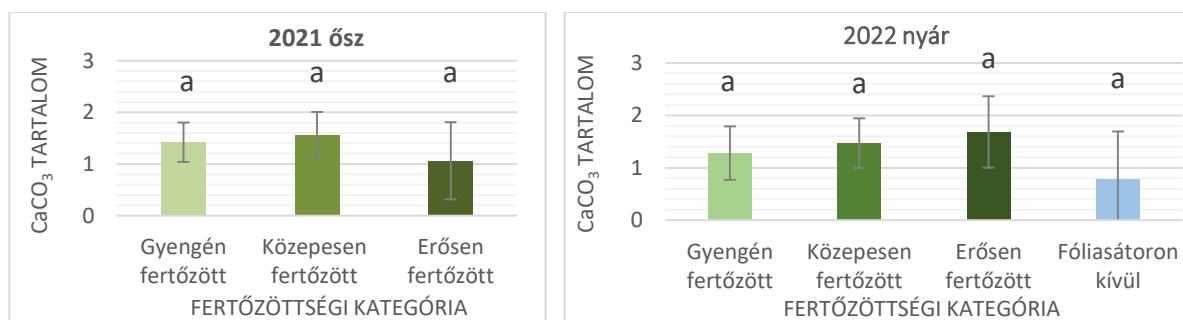
15. ábra: A talajminták átlagos desztillált vizes és KCl-os pH értékei kategóriánként. (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.). (A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján.)

A talaj kémhatása az egész fóliasátor területén semlegesnek mondható, mindenhol 7-es körüli pH értéket mértem. A fóliasátoron kívül mért 7,4-es pH hiába volt szignifikánsan magasabb, valójában nem számít lényeges eltérésnek a gyakorlatban. A gyökérgubacsosság és a kémhatás összevetésekor gyenge fordítottan arányos kapcsolatot kaptam, mely szerint minél

magasabb volt a gubacsosság mértéke, annál alacsonyabb volt a talaj kémhatása. Egyes szakirodalmak alapján a *Meloidogyne incognita* egyedek 3-4%-kal is képesek csökkenteni a talaj pH értékét (Mashela 2002), ám ez az összefüggés az adataim alapján nem volt biztosan kimutatható.

5.4. CaCO₃ tartalom

Az őszi térképezés során vett talajminták átlagos kalcium-karbonát tartalma nem tért el szignifikánsan az egyes fertőzöttségi kategóriákban ($p=0,4788$). A legalacsonyabb érték 1,06% volt az erősen fertőzött kategória esetében, a közepesen fertőzött kategóriáé 1,56% volt, míg a gyengén fertőzött kategória átlagos kalcium-karbonát tartalmaként 1,42% volt mérhető. A nyári térképezés során vett talajminták átlagos kalcium-karbonát tartalma között sem volt szignifikáns eltérés ($p=0,3511$). Az átlagok alapján jól látszik azonban, hogy a fóliasátoron kívül vett talajminták átlagos kalcium-karbonát tartalma volt a legalacsonyabb (0,79%). A fóliasátoron belül gyűjtött talajminták átlagos kalcium-karbonát tartalma valamivel magasabb volt: a gyengén fertőzött kategóriáé 1,28%, a közepesen fertőzött kategóriáé 1,47% és az erősen fertőzött kategóriáé pedig 1,68% volt (**16. ábra**). A gyökérgubacsosság és a kalcium-karbonát tartalom összevetésekor azt tapasztaltam, hogy mind az őszi, mind a nyári talajminták kalcium-karbonát tartalma és a térképezés során aktuálisan feljegyzett gyökérgubacsosság között nagyon gyenge összefüggés tapasztalható, szinte elhanyagolható. Az őszi térképezés során negatívnak ($p=0,36093$; $R = -0,34653$) míg a nyári mintavételezés során pozitívnak ($p=0,37717$; $R = 0,33568$) mondható a gyenge összefüggés, ám egyik esetben sem szignifikáns.

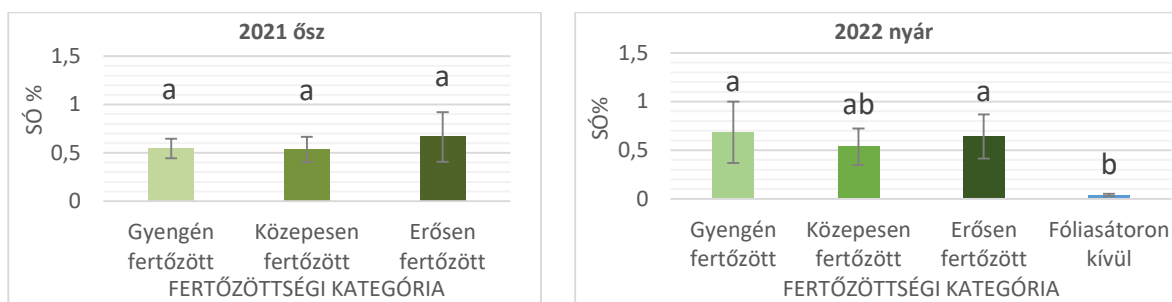


16. ábra: A talajminták átlagos kalcium-karbonát tartalma kategóriánként. (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.) (Az azonos betűk a szignifikancia hiányát jelzik az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján)

A talajminták összes karbonáttartalma alapján az egész fóliasátor gyengén meszesnek mondható (http4), e tekintetben sem tértek el az egyes kategóriák lényegesen, és a gyökérgubacsossággal összevetve sem kaptam lényeges eredményt.

5.5. Elektromos vezetőképesség

Az őszi talajminták sótartalma az alábbiakban alakult: a gyengén fertőzött és a közepesen fertőzött területek sótartalma 0,54%, míg az erősen fertőzött területek értéke magasabb, 0,66% volt. A statisztikai elemzés nem mutatott a csoportok között szignifikáns különbséget ($p=0,4973$). A nyári térképezés során a közepesen fertőzött talajminták átlagos sótartalma volt a legalacsonyabb 0,54%, ezt követte az erősen fertőzött talajok értéke 0,64% és az őszi adatokkal ellentétben a gyengén fertőzött talajok átlagos sótartalma volt a legmagasabb: 0,68%. A fóliasátoron kívül vett talajminták átlagos sótartalma 0,04% volt, ez szignifikánsan eltért a gyengén és az erősen fertőzött kategóriák sótartalmától ($p=0,02194$) (17. ábra). A fonálférgek okozta gyökérgubacsosság mértéke és a sótartalom között nagyon gyenge kapcsolat volt mind az őszi ($R=0,087209$ $p=0,64678$), mind a nyári ($R=-0,02467$; $p=0,89704$) térképezés alkalmával.



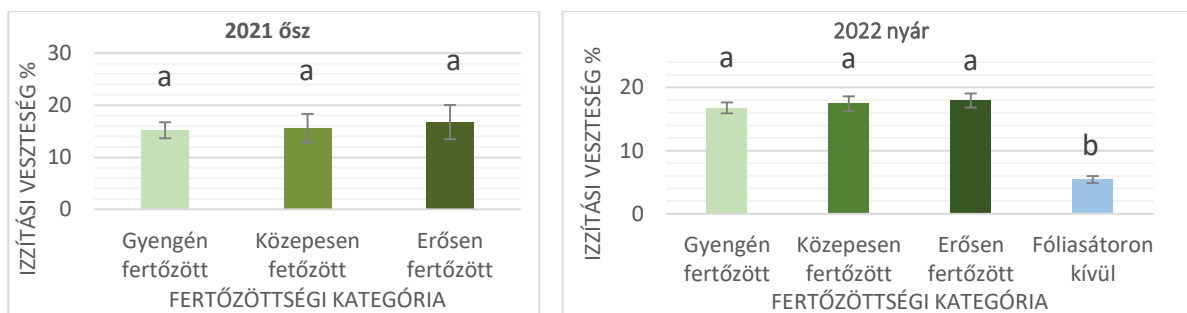
17. ábra: A talajminták átlagos sótartalma kategóriánként. (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.) (A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján)

Mind a három kategóriában nagyon magas volt a talajminták sótartalma, amely nem tért el az egyes kategóriákban. A fóliasátoron kívüli talaj sótartalmának közel tizenhétszeresét mértem a fóliasátoron belül. Bacsó és mtsai (1972) alapján a 0,4% feletti sótartalom a kultúrnövényre nézve toxikus. A fóliasátorban elkülönített kategóriák átlagos sótartalma mind a két mintavételnél jóval magasabb értéket mutatott. Továbbá az uborka különösen érzékeny a talaj sótartalmára (Balázs et al. 2000), így valószínűleg ez a tényező is gyengítette a kártevőkkel szembeni ellenállóképességét a növényeknek. Ez a magas sótartalom valószínűleg a folyamatos túlzott műtrágyázásnak és a több mint 20 éve folytatott csepegtető öntözésnek, esetleg az öntözővíz magas sótartalmának tulajdonítható (Slezák 2001). A gyökérgubacsosság és a sótartalom értékek között nem kaptam lényeges összefüggést.

5.6. Szervesanyag-tartalom

Az őszi és a nyári térképezés során az erősen fertőzött kategória átlagos szervesanyag-tartalma volt a legmagasabb: 16,76% és 17,94%, ezt követte a közepesen fertőzött, majd a gyengén fertőzött kategória értéke. Az előbbi őszen 15,60% és nyáron 17,44%, míg az utóbbi

ősszel 15,21% és nyáron 16,79% volt. Ősszel az egyes csoportok értékei nem tértek el szignifikánsan ($p=0,7062$). A nyári mintavétel során a fóliasátoron kívüli átlagos szervesanyag-tartalom (5,42%) volt szignifikánsan alacsonyabb a fóliasátoron belül mért adatokhoz képest ($p=0,00000000000000867$), **(18. ábra)**. Ősszel a talajfoltokban mért gubacsosság és a szervesanyag-tartalom között jóformán nem volt összefüggés ($p=0,8687$; $R=0,031503$), nyáron pedig biztos, de gyenge kapcsolat volt megfigyelhető ($p=0,1943$, $R=0,24374$).



18. ábra: A talajminták átlagos szervesanyag-tartalma kategóriánként (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.). (A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján)

Szervesanyag-tartalom tekintetében nem volt lényeges eltérés az egyes kategóriák között, csupán a fóliasátoron kívüli minták szervesanyag-tartalma tért el lényegesen, ami magyarázható azzal, hogy tápanyag-utánpótlás csak a fóliasátor belsejében folyik. A gyökérgubacsosság és a szervesanyag-tartalom között nem találtam összefüggést. Azonban számos kutatás kimutatta, köztük D’Errico és Maio (1980) kutatása is, hogy a szervesanyag-tartalom növekedésével csökkenhet a gyökérgubacs-fonálféreg kártétel, valamilyen még ismeretlen mechanizmusnak, valószínűleg a mikrobiális aktivitás növekedésének köszönhetően.

5.7. Nitrogén-, foszfor- és káliumtartalom

A fóliasátoron belül a talajminták átlagos tápanyagtartalma minden tápanyag esetében szokatlanul magas volt. A tápanyageloszlás nagyon heterogén volt, az egyes talajfoltok között szokatlanul nagy eltéréseket lehetett mérni. Egyes pontokon kiugróan magas tápanyagértékek voltak mérhetőek **(2. táblázat)**.

2. táblázat: A talajmintákban mért átlagos tápanyagértékek (mg/kg).

2021 Ősz				2022 Nyár			
	Gyengén fertőzött	Közepesen fertőzött	Erősen fertőzött	Gyengén fertőzött	Közepesen fertőzött	Erősen fertőzött	Fóliasátoron kívül
NO ₂ ⁻	0,93	1,27	0,82	0,46	0,65	0,41	0,82
NO ₃ ⁻	1010,69	1017,28	952,08	1486	706	1421	7
NH ₄ ⁺	9,38	12,66	9,34	4,6	3,3	2,1	2,7
K ₂ O	1618,93	1392,04	1455,51	1166	945	1387	483
P ₂ O ₅	5888	6584	5948	5108	5656	5848	1252

Az őszi értékek között nem találtam szignifikáns különbséget az egyes csoportok talajainak átlagos tápanyagtartalma között, az értékek nagyon nagy szórása miatt (NO₂⁻ p= 0,8329; NO₃⁻ p= 0,9562; NH₄⁺ p= 0,5983; P₂O₅ p= 0,5883; K₂O p= 0,3613). A nyári adatok esetében a nitrit és az ammónia tartalomnál nem kaptam szignifikáns különbséget (p=0,08209). A nitráttartalom és foszfortartalom esetében a fóliasátoron kívüli érték jóval alacsonyabb volt és ez szignifikánsan is eltért a többi csoport átlagos nitráttartalmától (NO₃⁻p=0,00651, P₂O₅ p=0,0000004643). A kálium esetében a fóliasátoron kívüli és az erősen fertőzött kategória értékei tértek el szignifikánsan (p=0,01811) (**19. ábra**). Az őszi tápanyag adatokat összevetettem a Zeck-skála gubacsossági értékeivel, nitrát és foszfor esetében pozitív összefüggést kaptam (NO₃⁻: R=0,07208; P₂O₅: R=0,0075), de az összefüggés gyakorlatilag elhanyagolható. Nitrit-, ammónia- és a káliumtartalom esetében fordított volt az összefüggés (NO₂⁻: R=-0,00121; NH₄⁺: R=-0,04003; K₂O: R=-0,17069), ám a kapcsolat ezek között az értékek között is nagyon gyenge. Az összefüggés egyik elem esetében sem volt szignifikáns (NO₂⁻: p=0,99657; NO₃⁻: p=0,79851; NH₄⁺: p=0,88744; P₂O₅: p=0,97883; K₂O: p=0,54304). A nyári adatoknál pozitív összefüggést találtam a nitrát-, a foszfor- és a káliumtartalom esetében. Ezenél az elemeknél minél gubacsosabb volt a gyökér, annál többet mértem az adott elemből a talajban. A nitráttartalom és a gyökérgubacsosság között azonban szinte elhanyagolható volt az összefüggés (R=0,050108) és nem volt szignifikáns sem (p=0,86492). A foszfor esetében viszont közepes korrelációt, jelentős kapcsolatot kaptam (R=0,65831), ami szignifikáns is volt (p=0,0076246). A kálium esetében biztos, de gyenge és nem szignifikáns kapcsolatot tapasztaltam (R=0,23067; p=0,40818). A nitrit, ammónia és kálium esetében negatív kapcsolat állt fent a gubacsosság és a talajban található mennyiségük között, minél nagyobb volt a gubacsosság mértéke annál kevesebbet mértem belőlük a talajban. A nitrit esetében gyenge, majdnem elhanyagolható kapcsolat állt fent (R=-0,10698); az ammónia esetében biztos, de gyenge kapcsolat (R=-0,33771), de egyik sem volt szignifikáns (p=0,70433 és p=0,21831).



19. ábra: A talajminták átlagos tápanyag-tartalma kategóriánként (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.). (A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján)

A nitrogén-, foszfor- és káliumtartalom esetében nagyon magas értékeket kaptam. A nagyon jó káliumellátottságú talajok káliumtartalma 180-200 mg/kg, a fóliasátorban mért értékek ennek közel a hétszeresei. A foszfortartalom a jól ellátott talajokban is 450 mg/kg, a fóliasátor talajában ennek a közel tizenkétszeresét mértem (http5). A nitrogénformák értékei is rendkívül magasak voltak, valamint a fóliasátoron belül nagyon magas eltérések voltak az egyes

mintavételi pontok tápanyagtartalmai között. A magas értékek a folyamatos túlzott tápanyag-utánpótlásnak köszönhetőek, az ennyire eltérő értékek pedig az egyenetlen tápanyag-utánpótlásra utalnak. Ez a túlzott tápanyag-utánpótlás már a kultúrnövényre nézve is káros hatásokkal lehet. Lényeges eltérést csak a fólián kívül tapasztaltam az egyes elemeknél, ez azzal magyarázható, hogy ott nem történik tápanyag-utánpótlás. Lényeges összefüggést csak nyári mintavételezés adatainál a gyökérgubacsosság és a foszfortartalom összevetésénél kaptam. Eszerint minél magasabb volt a talajminta foszfortartalma annál fertőzöttebb volt a tő. Elképzelhető, hogy a foszfor serkenti a gyökérnövekedést és a gyökéraktivitást, amely hatására a gyökér jobban odavonzza a J₂-es lárvákat.

5.8. Földigiliszták

5.8.1. Eloszlás

A 2021-es nyári felvételezés alkalmával 247 egyedet 156 növény alatt, a 2021-es őszi térképezés alkalmával 222 egyedet 127 növény alatt, míg a 2022-es térképezés alkalmával pedig 109 egyedet jegyeztünk fel 60 növény alatt. A **3. táblázatban** látható, hogy a három térképezés során egy adott Zeck-skála érték esetében hány növény alatt találtunk földigilisztát, mennyi volt az adott skálaértékű növények alatt összegyűjtött összes egyed és átlagosan hány földigilisztát találtunk egy tő alatt az adott skálaértékű növénytöveket nézve.

3. táblázat: A 2021.07.17, 2021.10.13. és a 2022.06.29-én végzett térképezés során feljegyzett földigiliszta egyedek adatai.

	2021 nyár			2021 őszi			2022 nyár		
Zeck-skála	Növény-szám	Összes egyed	Átlag	Növény-szám	Összes egyed	Átlag	Növény-szám	Összes egyed	Átlag
0	1	10	10	2	5	2,5	1	1	1
1	1	4	4	8	12	1,5	4	6	1,5
2	11	14	1,27	10	23	2,3	4	9	2,25
3	13	17	1,31	18	37	2,06	4	5	1,25
4	14	27	1,92	14	26	1,86	5	17	3,4
5	13	22	1,69	13	29	2,23	1	1	1
6	18	28	1,56	19	33	1,73	5	14	2,8
7	16	24	1,5	17	18	1,06	6	8	1,33
8	15	20	1,33	13	20	1,54	2	3	1,5
9	7	12	1,71	11	16	1,45	8	16	2
10	47	69	1,47	2	3	1,5	20	29	1,45

Mind a három térképezés esetében összevettem az egy tő alatt szedett földigiliszta egyedszámot és az adott tő Zeck-skála értékét, és minden alkalommal biztos, de gyenge összefüggés volt kimutatható. Minél alacsonyabb volt a növény Zeck-skála értéke, annál több földigiliszta egyedet találtunk a tövében. A 2021-es őszi térképezés során volt csak szignifikáns

az összefüggés, (2021 nyár: $R=-0,14722$; $p=0,066655$; 2021 ősz: $R=-0,20934$; $p=0,017269$; 2022 nyár: $R=-0,090218$; $p=0,49301$).

A földigiliszta mintavételezésnél viszonylag kevés egyedet találtunk a fóliasátorban, ahhoz képest, hogy a talaj ránézésre, továbbá szervesanyag és nedvességtartalom szempontjából tökéletesnek tűnt a földigiliszták számára. Különös volt, hogy az összes egyedet a talaj felső 10-15 centiméterében találtuk, és lejjebb egyáltalán nem találtunk földigilisztákat. Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy a csepegtető öntözés csak a felső gyökérszónát nedvesíti át. A csekély egyedszám magyarázata pedig a talaj nagyon magas sótartalma, illetve a folyamatos talajfertőtlenítés hatása lehet. A földigiliszták jelenléte és a gyökérgubacsosság között nem találtam biztos összefüggést, csupán a 2021-es őszi mintavétel adatainál kapott szignifikáns, de gyenge kapcsolat utalt az egyes szakirodalmak által leírt jelenségre, miszerint a földigiliszták egyedszámával csökkenhet a gyökérgubacs-fonálférgek kártételének a mértéke (Domínguez et al. 2003, Swathi et al. 1988, Morra et al. 1988).

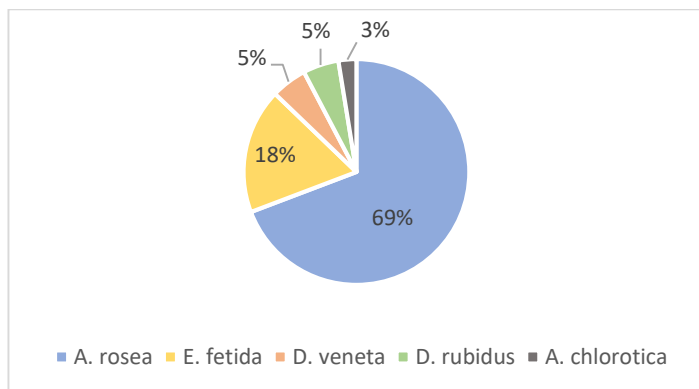
5.8.2. A mélyebb talajrétegekben elvégzett mintavételezés

A 2021-es őszi és a 2022-es nyári térképezéskor mélyebb rétegekben elvégzett földigiliszta mintavételezés alkalmával egyetlen egyedet sem találtunk a kiemelt talajkockákban. A 2022 tavaszán elvégzett földigiliszta vizsgálat során a fóliasátor belsejében nem találtunk egy földigiliszta egyedet sem, míg a fóliasátoron kívül átlagosan 96 db/m^2 egyed volt jellemző és ez $28,55 \text{ g/m}^2$ tömegnek felel meg. Az között szignifikáns különbséget kaptam (egyedszám $p=0,01815$ és tömeg $p=0,0186$).

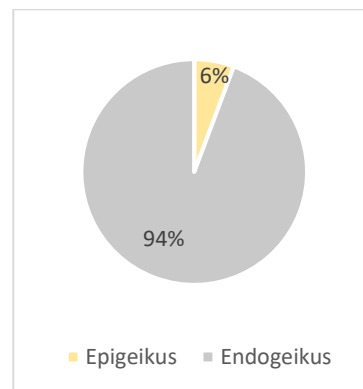
5.8.3. Faj és életforma meghatározás

A 2022-es nyári mintavétel során a gyűjtött felnőtt egyedeket faj szinten, míg a juvenilis egyedeket életforma szerint is meghatároztuk. Összesen 39 felnőtt egyedet találtunk, amelyek öt fajba tartoztak. A domináns faj egyértelműen az *Aporrectodea rosea* volt 27 egyeddel, majd 7 *Eisenia fetida*, 2 *Dendrobaena veneta*, 2 *Dendrodrilus rubidus* és 1 *Allolobophora chlorotica* egyedet találtunk (**20. ábra**). A juvenilis egyedek nagy százalékban endogeikus (94%) életformájúak és kis számban találtunk epigeikus (6%) egyedeket is (**21. ábra**). A földigiliszta fajok vizsgálatánál *Aporrectodea rosea* fajból találtunk a legtöbbet, amely egy nagyon ellenálló, viszonylag szélsőséges körülményeket tűrő faj, kedveli a magas szervesanyagtartalmat, endogeikus, azaz a felső talajrétegekben élő faj (Csuzdi és Zicsi 2003), valószínűleg jelen esetben a csepegtető öntözés miatt húzódott a sekélyebb, nedvesebb talajrétegekbe. A másik domináns faj, az *Eisenia fetida* komposztlakó, magas tűrőképességű faj, epigeikus életformájú, tehát a talaj felszínéhez közel mozog alapvetően (Csuzdi és Zicsi

2003). Az életformát tekintve az endogeikus fajok domináltak, amely jellemző a bolygatott élőhelyekre.



20. ábra: A főlíasátorban fellelhető földigiliszta fajok aránya (Csány, 2022.06.29.)

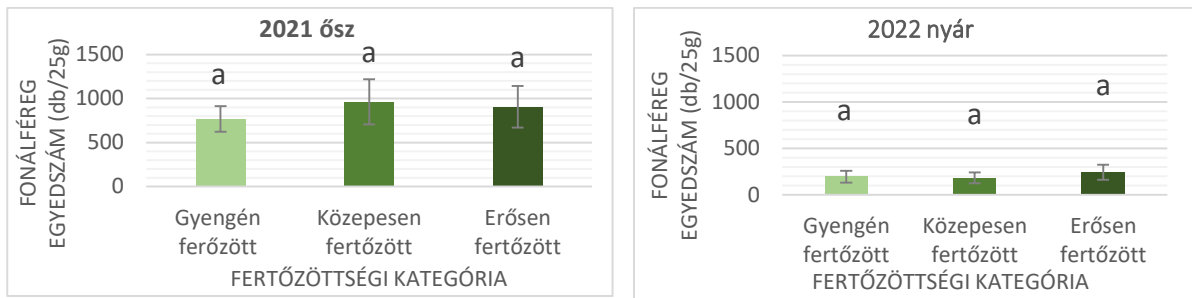


21. ábra: A juvenilis egyedek életformacsoportjainak megoszlása (Csány, 2022.06.29.)

5.9. Fonálféreg

5.9.1. Egyedszám

Az őszi talajminták esetében a közepesen fertőzött kategória mintáiban volt átlagosan a legtöbb fonálféreg, 964 egyed, az erősen fertőzött kategória talajmintáiban 907 egyed, míg a gyengén fertőzött mintákban átlagosan 769 db fonálférget számoltam meg. Az értékek nem tértek el jelentősen az egyes csoportok esetében ($p=0,2918$). A nyári térképezés alkalmával sem kaptam szignifikáns különbséget az egyes fertőzöttségi kategóriák átlagos összfonálféreg számát tekintve ($p=0,4295$). A legtöbb egyedet az erősen fertőzött talajmintáknál számoltam, a legkevesebbet a gyengén fertőzött kategóriánál (**22. ábra**). A nyári térképezés során a talajmintákban jóval kevesebb fonálféreg volt fellelhető, mint ősszel. A térképezések alkalmával összevettem a talajmintákban fellelhető összes fonálféreg darabszámát és az adott ponton található növények gubacsosságát. Az őszi adatok alapján valamivel biztosabb, ám mégis gyenge kapcsolat feltételezhető a fonálféreg egyedszáma és a gubacsosság mértéke között. Minél nagyobb egyedszám volt fellelhető a növény gyökere körül szedett talajmintában, annál nagyobb volt a gyökéren a gubacsosság mértéke, ám ez az összefüggés nem volt szignifikáns ($p=0,10006$; $R=0,30601$). A nyári adatok alapján gyenge, jóformán elhanyagolható és nem szignifikáns kapcsolatot mutatott a statisztikai analízis, ($p=0,36967$, $R=0,16981$).

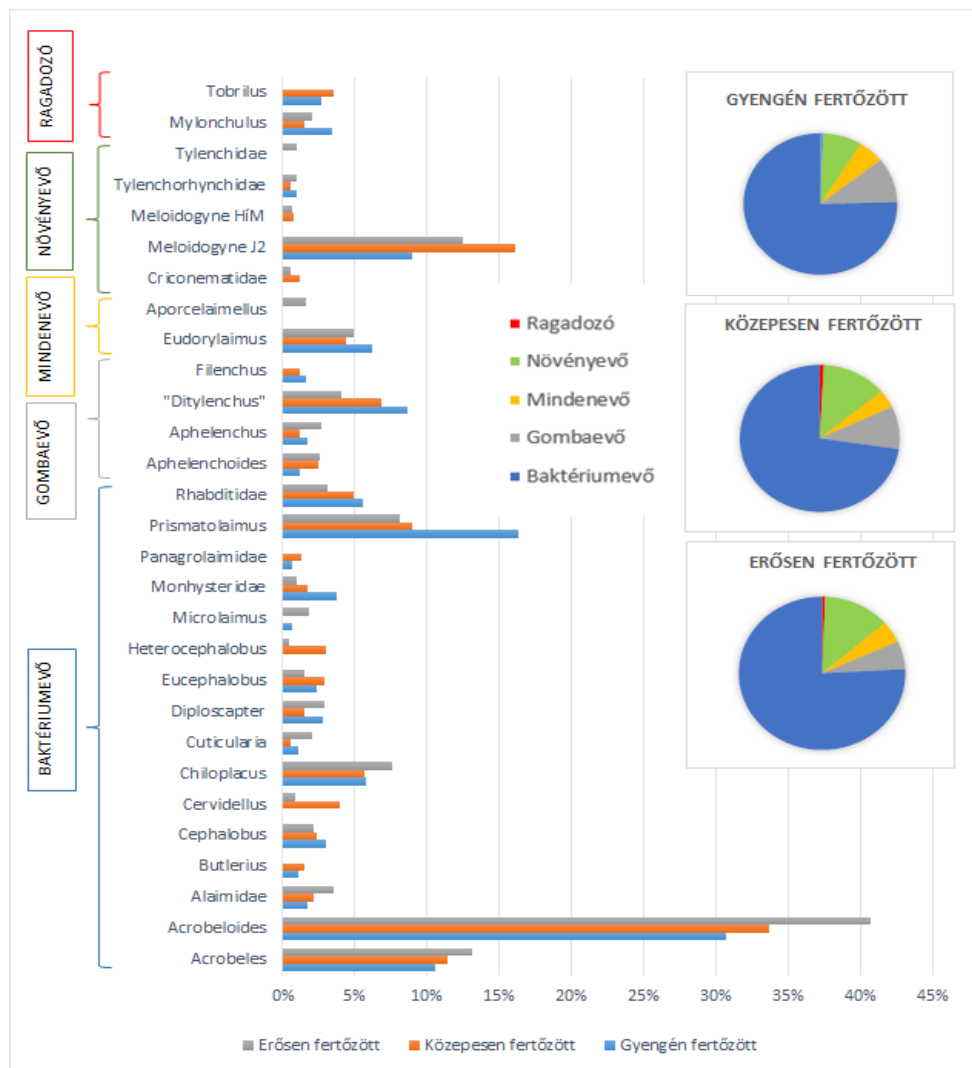


22. ábra: A 25 g talajmintából kifuttatott átlagos fonálféreg egyedszám kategóriánként. (Csány, 2021.10.13. és 2022.06.29.) (Az azonos betűk szignifikáns különbség hiányát jelezik az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján)

A fonálféreges esetekben ősszel több, míg nyáron kevesebb egyedet sikerült 25 g talajmintából kifuttatni. Ez valószínűleg a nyári magas hőmérsékletnek köszönhető, számos fonálféreg faj érzékenyebben reagál a magas hőmérsékletre (Papatheodorou et al. 2004). Az egyes fertőzöttségi kategóriák között nem volt eltérés. Ebbe a számolásba beletartoztak a fertőzést okozó *Meloidogyne incognita* egyedek is, így a gyökérgubacsossággal való összevetéskor kapott pozitív összefüggés valószínűleg ennek köszönhető, de a statisztikai analízis alapján a kapcsolat gyenge.

5.9.2. Populáció összetétel

A fonálféreges meghatározásakor összesen 28 taxont különböztettem meg. A gyengén fertőzött kategóriában 23, a közepesen fertőzött kategóriában 25, az erősen fertőzött kategóriában 24 taxon volt elkülöníthető. Nem voltak ilyen szempontból nagy eltérések a kategóriák között. A **23. ábrán** látható, hogy a baktériumevő fajok domináltak a populációban, közepes mértékben találtam növényevő, gombaevő és mindenevő egyedeket, ragadozók azonban csak elvétve fordultak elő a mintákban. A fonálféreg populáció elemzésénél taxonszám alapján nem volt diverzebb egyik kategória sem a másikkal, jellemzően ugyanazok a taxonok fordultak elő a kategóriákban 1-2 kivételtől eltekintve. Jellemzően az *Acrobeloides* és *Prismatolaimus* egyedek domináltak a *Meloidogyne* fajok mellett, amelyek igen jó tűrőképességgel rendelkeznek. A *M. incognita* hím egyedek megjelenése a populáció genetikai variabilitásra való igényének jelzése, vagyis ez a faj csak abban az esetben szaporodik ivarosán, ha számára kedvezőtlenek vagy szélsőségesek valamilyen szempontból a környezeti feltételek, mint például jelen esetben a nagymértékű sófelhalmozódás a talajban. Erre enged következtetni a *Cuticularia* fajok megjelenése is, amelyek dupla kutikulájuknak köszönhetően a többi fonálféreg fajnál magasabb tűrőképességgel rendelkeznek a szélsőséges környezeti tényezők tekintetében. A táplálkozási csoportok között a baktériumevő fajok domináltak, amely a legtöbb fonálféreg populációra jellemző.

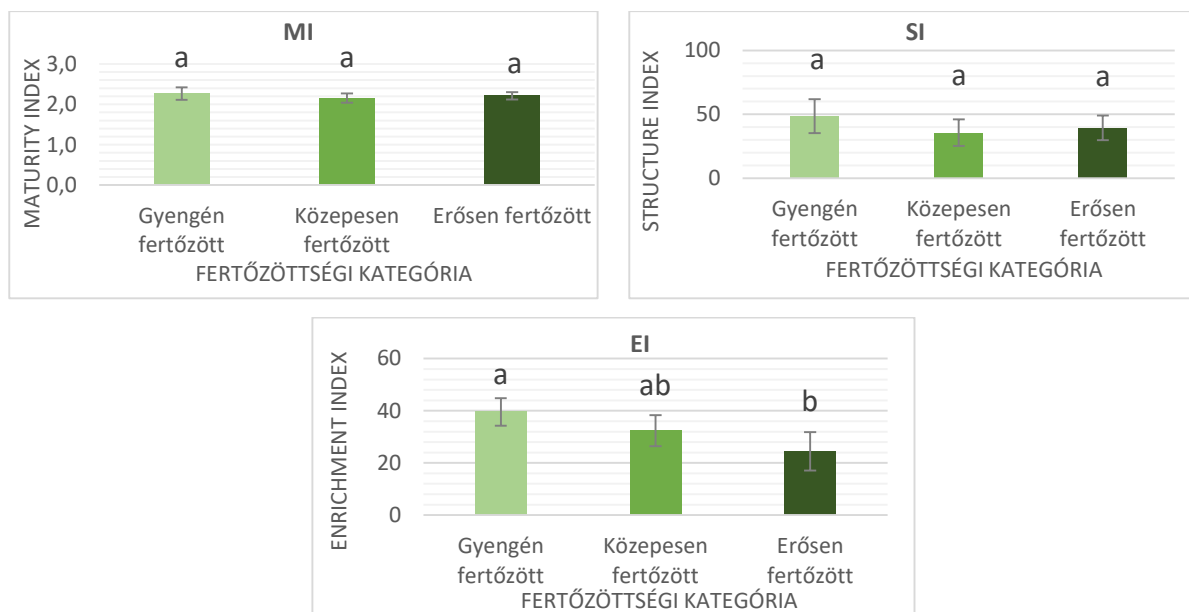


23. ábra: A mintákban fellelhető fonálféreg taxonok és azok táplálkozás-csoportonkénti aránya az egyes fertőzöttségi kategóriákban. (Csány, 2022.06.29.)

5.9.3. Táplálékhálózat (food web) indexek

A Maturity Index tekintetében alacsony és nagy szórást mutató értékeket kaptam, az egyes mintapontok értékei 1,99 és 2,80 közé estek. A gyengén fertőzött kategória átlagos MI értéke 2,26, az közepesen fertőzött kategóriáé 2,16, míg az erősen fertőzött kategóriáé 2,21 volt. Ezek az értékek nem különböztek jelentősen ($p=0,4834$). A gyökérgubacsosság és az egyes pontok MI értékei között negatív, elhanyagolható összefüggést kaptam ($R=-0,093544$, $p=0,62295$). A Structure Index esetében is igen nagy volt a szórása az értékeknek az egyes mintavételi pontokon. 15,18 és 90,44 közötti értékeket kaptam. A gyengén fertőzött kategória átlagos SI értéke 48,55, a közepesen fertőzött kategóriáé 35,53, az erősen fertőzött kategóriáé pedig 39,27 volt. A kategóriák átlagos Structure Indexei nem tértek el szignifikánsan ($p=0,2707$) egymástól. A gyökérgubacsossággal történő összevetés esetében gyenge, fordítottan arányos összefüggést kaptam ($R=-0,1868$, $p=0,32305$). Az Enrichment Index esetében 9,94 és 51,67 közötti értékeket kaptam. Az értékek nagymértékű szórása itt is

megfigyelhető volt. A gyengén fertőzött kategória átlagolt Enrichment Index értéke 39,60 volt, amely szignifikánsan is eltért az erősen fertőzött kategória index értékétől, (24,47), ($p=0,008918$). A közepesen fertőzött kategória átlag értéke (32,39) nem tért el egyik kategóriától sem (**24. ábra**). Az EI és a gyökérgubacsosság összevetésekor is szignifikáns, fordítottan arányos, jelentős kapcsolatot kaptam. Tehát minél magasabb volt az Enrichment Index, annál alacsonyabb volt a gyökérgubacsosság mértéke ($R=-0,4942$, $p=0,0055062$).



24. ábra: A fertőzöttségi kategóriák átlagos MI, SI és EI értéke. (Csány, 2022.06.29.) (A különböző betűk szignifikáns különbséget jeleznek az egytényezős varianciaanalízis és a Tukey-teszt alapján)

A Maturity Indexek alapján szukcessziósan alacsony előrehaladottságot mutat a terület, ami a folyamatos bolygatottságnak és talajfertőtlenítéseknek köszönhető. A K-stratégistáknak nincs ideje felszaporodni, így a területen nem tud kialakulni egy stabil populáció, amely elengedhetetlen lenne a talaj egészségének fenntartásához. A Maturity Index a gubacsossággal nem volt összefüggésben, ez az alacsony index érték az egész területre jellemző volt. A Structure Index viszonylag alacsonynak mondható. Ez alátámasztja azt, hogy a populációban sok baktérium és gombaevő r-stratégista faj volt jelen, és viszonylag kevés volt a magasabb c-p értékű baktériumevő, gombaevő, mindenevő és ragadozó fajok aránya, amelyek a bolygatások után lassabban regenerálódnak. Az Enrichment Index esetében szignifikáns eltérést tapasztaltam a gyengén és az erősen fertőzött kategóriák között. A gyengén fertőzött kategóriánál a magasabb index érték azt jelzi, hogy ezekben a mintákban több volt a baktérium- és gombafogyasztó, illetve a tápanyaggazdagságot kedvelő, azt jól hasznosító, gyorsan felszaporodó, kolonizáló, baktériumevő és gombaevő fonálférgek aránya. Ez összefüggésbe hozható azzal, hogy ezek a fajok valamilyen módon csökkentették a gyökérgubacsosság mértékét. Ezt a korreláció analízis is igazolta, ahol szignifikáns és jelentős összefüggést kaptam.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A zöldségtermesztés biztonságát komolyan veszélyeztető kártevő a *Meloidogyne incognita*, amely a gyökereken gubacsokat képezve megzavarja a növények tápanyag- és vízfelvételét, termésveszteséget okoz, súlyosabb esetben a növény pusztulását is előidézhetsi. Számos agrotechnikai, fizikai és biológiai védekezési módszer ismert a kártevő ellen, azonban igazán hatékonynak eddig csak a kémiai védekezési módszerek bizonyultak. A talajfertőtlenítő szerek gyakori és ismételt használata azonban a nem-célszervezetekre, így a talaj egészségére is káros hatással van, így érdekesebb lenne környezettudatosabb módszereket alkalmazni a fonálféreg elleni védekezésben. A folyamatos hatóanyag kivonások a talajfertőtlenítő szereket is elérték, így egyre kevesebb lehetőség nyílik ezen kártevők visszaszorítására és a gazdák rákényszerülnek az alternatív megoldások választására. Egyes kutatók felfigyeltek egy jelenségre, mely szerint a talajoknak létezik egy alapvető ellenálló képessége a károsítókkal szemben, és ez szorosan összefügg a talaj biodiverzitásával, az ökoszisztéma stabilitásával, más szóval, a talaj egészségi állapotával. A talaj szuppresszivitásának kialakulása még számos kérdést rejt magában, még nem tisztázott, hogy pontosan milyen folyamatoknak köszönhető ez az elnyomó hatás.

Munkám során egy csányi fóliasátorban észlelt erős gyökérgubacs-fonálféreg fertőzöttség foltokban történő eloszlását vizsgáltam. Az alap feltételezésem az volt, hogy a foltosság valamilyen talajparaméternek köszönhető, amely egyes foltokban csökkenti a gubacsosság mértékét, míg más talajfoltokban nem. Arra kerestem a választ, hogy bármelyik vizsgált talajtényező összefüggésbe hozható-e a fóliasátorban fellépő fertőzöttség foltokban történő megjelenésével, bármelyik általam vizsgált tényező befolyásolja-e a gyökérgubacs-fonálféreg által okozott gyökérgubacsosság mértékét. Vizsgálatom során három fertőzöttségi kategóriát különítettem el, amelyekben 10-10 ismétlésben vizsgáltam a talaj nedvességtartalmát, kémhatását, kalcium-karbonát tartalmát, szervesanyag-tartalmát és a növények számára felvehető tápelemtartalmát. Összehasonlítottam az egyes fertőzöttségi kategóriákban kapott talajparaméter értékek átlagait, valamint összevettem a mintapontok adatait a mintaponton található növény gyökérgubacsosságának mértékével és azt vizsgáltam, hogy fellelhető-e közöttük összefüggés. Továbbá feltérképeztem a fóliasátorban előforduló földigiliszta egyedek eloszlását, vizsgáltam a gyökérgubacsossággal való összefüggésüket és faj szinten azonosítottam a felnőtt egyedeket, és megnéztem az életforma szerinti megoszlásukat is. Valamint a talaj biológiai tulajdonságain belül vizsgáltam a kategóriák közötti fonálféregszám eltéréseket, a fonálféregszám és a gyökérgubacsosság összefüggését, a fonálféreg populáció összetételét, majd ennek ismeretében a c-p skála segítségével Maturity,

Structure és Enrichment Indexet számoltam, hogy még több információt kapjak a talajban található fonálféreg közösségről.

Eredményeim kiértékelése után arra a következtetésre jutottam, hogy a foltokban történő fonálféreg eloszlás minden térképezés során megfigyelhető volt. A földigiliszták kisebb része a főlíasátor belsejében a nedvesebb területeken, míg nagyobb része valószínűleg az enyhébb körülmények miatt (főleg a nyári térképezések alkalmával) a főlíasátor széléhez közel helyezkedett el. A vizsgálatok során egyik abiotikus talajparaméter (nedvességtartalom, kémhatás, kalcium-karbonáttartalom, sótartalom, szervesanyag-tartalom, kémhatás, tápelemtartalom) sem tért el lényegesen az egyes fertőzöttségi kategóriákban, és a foszfortartalom kivételével egyik tényező sem mutatott biztos összefüggést a gubacsosság mértékével. Az adatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a nagyon magas sótartalomnak és tápanyagértékeknek köszönhetően (a hosszú évek óta megvalósuló csepegtető öntözésből és a túlzott tápanyag-utánpótlásból adódóan) a talajélet változást mutatott, kevesebb földigiliszta egyed lelhető fel a területen, az ott élő egyedek pedig inkább a talaj felső, öntözőrendszer által átnedvesített rétegében élnek, ahol még képesek túlélni a kedvezőtlen életteret. A magasabb tűrőképességgel rendelkező egyedek szaporodtak el: *Eisenia fetida*, *Aporrectodea rosea* földigiliszták és olyan baktériumevő kolonizáló fonálféreg, mint a *Prismatolaimus*, *Acrobelloides* egyedek, valamint *Cuticularia* és *Meloidogyne* hím egyedek is megtalálhatóak voltak a főlíasátor talajában. Valószínűleg a növények is valamivel fogékonyabb állapotba kerültek a kedvezőtlen talajviszonyok miatt, ezért is ilyen mértékű a fertőzöttség. A földigiliszták egyedszáma és a gyökérgubacsosság közötti fordított arányosságot nem támasztotta alá a statisztikai analízis. Valószínűleg a rosszabb körülmények miatt a kisebb egyedszámú földigiliszták nem voltak képesek az ilyen mértékű fertőzöttséget befolyásolni. A fonálféreg populációban a kolonizáló, bolygatást tűrő fonálféreg szaporodtak fel, amely szintén a talajfertőtlenítésnek és az intenzív termesztésnek tudható be. Ezt alátámasztja a Structure Index és a Maturity Index is, mely szerint a terület szukcessziósan alacsony előrehaladottságot mutat. Nem tud ilyen körülmények között stabil populáció kialakulni, amely elengedhetetlen lenne a talaj egészségének fenntartásához. Az Enrichment Index arra utalt, hogy a magas szervesanyagnak köszönhetően felszaporodott baktérium- és gombaevő fonálféreg összefüggésbe hozhatóak voltak az alacsonyabb fertőzöttségi szinttel. A továbbiakban érdemes lenne ezt a jelenséget tovább kutatni, valamint a vizsgálatokat megismételni, kibővíteni a vizsgált paramétereket, például talajhőmérséklet és mikrobiológiai vizsgálatokkal, hogy a talaj mely tulajdonságian keresztül képes egy-egy foltban elnyomni a fonálféreg fertőzést.

7. IRODALOMJEGYZÉK:

- Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. (2003): Effects of two species of earthworms (*Allolobophora* spp.) on soil systems: a microfaunal and biochemical analysis. *Pedobiologia*, 47(5-6): 877-881.
- Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. (2007): *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microbial Ecology*, 54(4): 662-671.
- Anderson, A. R. A., Young, I. M., Sleeman, B. D., Griffiths, B. S., Robertson, W. (1997): Nematode movement along a chemical gradient in a structurally heterogeneous environment. 1. Experiment. *Fundamental and Applied Nematology*, 20(2): 157-163.
- Andrássy I., Farkas K. (1988): Kertészeti növények fonálféreg kártevői, Agronematológiai kézikönyv. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 419 p.
- André, H. M., Ducarme, X., Lebrun, P. (2002): Soil biodiversity: myth, reality or conning? *Oikos*, 96(1): 3-24
- Anke, H., Stadler, M., Mayer, A. (1995): Secondary metabolites with nematocidal and antimicrobial activity from nematophagous fungi and ascomycetes. *Canadian Journal of Botany* 72(S1): 932-939.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S. (2002): Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts. *Proceedings Brighton crop protection conference pests and diseases vol. 2., Brighton, UK, 13-16. November 2000., 705-710 p.*
- Ayaz, M., Ali, Q., Farzand, A., Khan, A. R., Ling, H., Gao, W. (2021): Nematicidal Volatiles from *Bacillus atrophaeus* GBSC56 Promote Growth and Stimulate Induced Systemic Resistance in Tomato against *Meloidogyne incognita*. *International Journal of Molecular Sciences* 22(9): 1-19.
- Bacsó A., Dezső I., Maul F., Stefanovits P., Tusz Zs. (1972): Talajtani gyakorlatok. GATE, Gödöllő, 271 p.
- Baermann, G. (1917): Eine einfache Methode zur Auffindung von (nematoden) Ankylostomum Larven in Erdproben. – *Geneesk. Tijdschr. Ned-Indië*. 57: 131-137.
- Bailey, K. L., Lazarovits, G. (2003): Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic farming: a review, *Journal of Food Agriculture and Environment* 2(2): 169-180.
- Balázs S., Glits M., Péntes B. (2000): A zöldség-hajtatás kézikönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 573 p.
- Beare, M. H., Parmelee, R. W., Hendrix, P. F., Cheng, W., Coleman, D. C., Crossley, D. A. (1992): Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs*, 62(4): 569-591.
- Beare, M. H. (1997): Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soil. In: Brussaard, L., Ferrera-Cerrato, R. (ed.) *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*. CRC Press, Boca Raton, 176 p., 37-70. p.
- Bird, J., Herd, R. P. (1995): In vitro assessment of two species of nematophagous fungi (*Arthrobotrys oligospora* and *Arthrobotrys flagrans*) to control the development of infective cyathostome larvae from naturally infected horses. *Veterinary Parasitology*. 56(1): 181-187.
- Boehm, M.J., Madden, L.V., Hoitink, H.A., 1993. Effect of organic matter decomposition level on bacterial species diversity and composition in relationship to pythium damping-off severity. *Applied and Environmental Microbiology* 59(12): 4171-4179.
- Bongers T. (1990): The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition, *Oecologia*, 83: 14-19.
- Bongers, T. (1999): The Maturity Index, the evolution of nematode life-history traits, adaptive radiation, and co-scaling. *Plant and Soil*, 212(1): 13-22.
- Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E. K., Brussaard, L., de Goede, R.G. M., Mader, P., Tamm, L., Thuerig, B., (2019): Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology and Biochemistry*, 133: 174-187.
- Bossuyt, H., Six, J., Hendrix, P. F. (2005): Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*, 37(2): 251-258.
- Brown, G. G., Hendrix, P. F., Beare, M. H. (1995): Influence of earthworms (*Lumbricus rubellus*) on sorghum litter processing and nitrogen mineralization in two Ultisols. *Acta Zoologica Fennica*, 196(1): 55-59.
- Brown, G. G., Barois, I., Lavelle, P. (2000): Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*, 36(3-4): 177-198.
- Brussaard, L., Behan-Pelletier, V. M., Bignell, D.E., Brown, V. K., Didden, W., Folgarait, P., Fragoso, C., Freckman, D. W., Gupta, V. V. S. R., Hattori, T., Hawsworth, D. L., Klopatek, C., Lavelle, P., Malloch, D.W., Rusek, J., Soderstrom, B., Tiedje, J. M., Virginia, R. A. (1997): Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, 26(8): 563-570.
- Bui, H.X., Hadi, B. A., Oliva, R., Schroeder, N. E. (2019): Beneficial bacterial volatile compounds for the control of root-knot nematode and bacterial leaf blight on rice. *Crop Protection*, 135: 1-7.
- Buzás I. (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerek 2. INDA 4231 Kiadó, Budapest 243 pp.

- Buzás I. (1993): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerek 1. INDA 4231 Kiadó, Budapest 357 pp.
- Carrascosa, M., Sánchez-Moreno, S., Alonso-Prados, J. L. (2014): Relationships between nematode diversity, plant biomass, nutrient cycling and soil suppressiveness in fumigated soils. *European Journal of Soil Biology*, 62: 49-59
- Carris, L. M., Glawe, D. A., Smyth, C. A., Edwards, D. I. (1989): Fungi associated with populations of *Heterodera glycines* in two Illinois soybean fields. *Mycologia* 81(1): 66–75.
- Cayrol, J.C., Dijan, C., Pijarowski, L. (1989): Study of the nematocidal properties of the culture filtrate of the nematophagous fungus *Paecilomyces lilacinus*. *Rev Nematol*, 12(4): 331-336.
- Crowder, D. W., Jabbour, R., (2014): Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: current status and future challenges. *Biological Control*, 75: 8–17.
- Crüger G., Backhaus G. F., Hommes M., Smolka S., Vetten H. J. (2011): Növényvédelem a zöldségtermesztésben. Mezőgazda kiadó, Budapest, 197 p.
- Curry, J. P., Schmidt, O. (2007): The feeding ecology of earthworms – a review. *Pedobiologia*, 50(6): 463-477.
- Cselótei L., Nyujtói S., Csáky A. (1993): Kertészet. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 615 p.
- Csuzdi Cs. (2007): Magyarország földigilisztá-faunájának áttekintése (Oligochaeta, Lumbricidae) – Állattani Közlemények. 92(1). 3-38.
- Csuzdi Cs., Zicsi A. (2003): Earthworms of Hungary (Annelida: Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedozoologica Hungarica* No. 1. Budapest.
- D'errico, F. P., MAIO, F. D. (1980): Effect of some organic materials on root-knot nematodes on tomatoes in field preliminary experiments. *Nematologia Mediterranea* 8: 107-110.
- Darby, B. J. (2008): Influence of altered temperature and precipitation on desert microfauna and their role in mediating soil nutrient availability. PhD dissertation, The University of Vermont, Burlington, 182 p.
- Dash, M. C., Senapati, B. K., Mishra, C. C. (1980): Nematode feeding by tropical earthworms. *Journal Article*, 34(3): 322-325.
- Demeterio, W. C., Dionísio, J. A., Maceda, A. (2017): Earthworms and root-knot nematodes: effect on soil biological activity and tomato growth. *Ciencias Agrárias*, 38(4): 2449-2462.
- Dignam, B. E. A., O'Callaghan, M., Condrón, L. M., Kowalchuk, G. A., Van Nostrand, J. D., Zhou, J., Wakelin, S. A., (2018): Effect of land use and soil organic matter quality on the structure and function of microbial communities in pastoral soils: implications for disease suppression. *PLoS One* 13(5): 1-20.
- Dionísio, J. A., Lunardi, M. F., Maceda, A., Kusdra, J. F. (2014): Como reduzir o número de galhas de *Meloidogyne paranaensis* em raízes de tomateiro usando minhocas? *Ciências Agrárias*, 35(2): 781-786.
- Domínguez, J., Parmelee, R. W., Edwards, C. A. (2003): Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia*, 47(1): 53-60.
- Du, Y. C., Tachibana, S. (1994): Effect of supraoptimal root temperature on the growth, root respiration and sugar content of cucumber plants. *Scientia Horticulturae* 58(4): 289-301.
- Eberlein, C., Heuer, H., Vidal, S., Westphal, A., (2016). Microbial communities in *globodera pallida* females raised in potato monoculture soil, 106(6): 581–590.
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoff-zustandes der Boden. II. K. Landwirtsch. Annl. 20: 199–216.
- Elango, K., Sobhana, E., Sujithra, P., Bharath, D., Amit, A., (2020): Traditional agricultural practices as a tool for management of insects and nematode pests of crops: An overview. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(3): 237-245.
- El-Nagdi W. M., Youssef M. M. (2013): Comparative efficacy of garlic clove and castor seed aqueous extracts against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infecting tomato plants. *Journal of Plant Protection Research*, 53(3):285-8.
- Evans, K., Webster, R., Barker, A., Russel, M., Stafford, J., Griffin, S. (2003): Mapping infestations of potato cyst nematodes and the potential for spatially varying application of nematicides. *Precision Agriculture*, 4(2): 149–162.
- Ferris, H., Lau, S., Venette, R. (1995): Population energetics of bacterial-feeding nematodes: respiration and metabolic rates based on CO₂ production. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(3): 319–330.
- Freitas, S., Silveira, A. P. D. (2007): Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas. In: Freitas, S., Silveira A. P. D. (ed.) *Microbiota do solo e qualidade*. Instituto Agronômico, Campinas, 312 p., 1-20. p.
- Fu, L., Ferris, H., Brown, D., Plant, R. (2005): Does the positive feedback effect of nematodes on the biomass and activity of their bacteria prey vary with nematode species and population size? *Soil Biology and Biochemistry* 37(11): 1979–1987.
- Gair, R., Mathias, P. L., Harvey, N. P. (1969): Studies of cereal cyst nematode populations and cereal yields under continuous or intensive culture. *Annals of Applied Biology* 63(3): 503–512.
- Garg, P., Gupta, A., Satya, S. (2006): Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia fetida*: a comparative study. *Bioresource Technology* 97(3): 391–395.

- Ghini, R., Morandi, M. A. B. (2006): Biotic and abiotic factors associated with soil suppressiveness to *Rhizoctonia solani*. *Soils and Plant Nutrition* 63(2): 153-160.
- Glits M., Péntzes B., Petrányi I. (1997): Az uborka védelme. In: Glits M., Horváth J., Kuroli G., Petróczi I. (szerk): Növényvédelem. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 660 p. 372-378. p.
- Goodell, P. B., Ferris H. (1989): Influence of Environmental Factors on Hatching and Survival of *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 20(3): 328-334.
- Hahn, M. H., May De Mio, L. L., Kuhn, O. J., Duarte, H. da S. S. (2019): Nematophagous mushrooms can be an alternative to control *Meloidogyne javanica*. *Biological Control*. 138:104024
- Herrick, J. E. (2000): Soil quality: And indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*, 15(1):75-83.
- Hunt, H. W., Coleman, D. C., Ingham, E. R., Ingham, R. E., Elliott, E. T., Moore, J. C., Rose, S. L., Reid, C. P. P., Morley, C. R. (1987): The detrital food web in a shortgrass prairie. *Biology and Fertility of Soils* 3(1): 57-68.
- Hunt, D. J., Handoo, Z. A (2009): Taxonomy, Identification and Principal Species. In: Perry, R. N., Moens, M., Starr, J. L. (ed.) *Root-knot nematodes 1*. CABI, MPG Books Group, UK, 488 p. 55-88. p.
- Ilieva-Makulec, K., Makulec, G. (2002): Effect of the earthworm *Lumbricus rubellus* on the nematode community in a peat meadow soil. *European Journal of Soil Biology*, 38(1): 59-62.
- Ingham, R. E., Trofymow, J. A., Ingham, E. R., Coleman, D. C. (1985): Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs*, 55(1): 119-140.
- ISO - International Standard ISO23611-1 (First edition 2006.02.01.): Soil quality – Sampling of soil invertebrates – Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of earthworms, Reference number: ISO 23611-1:2006
- Ivask, M., Kuu, A., Truu, M., Truu, J. (2006): The effect of soil type and soil moisture on earthworm communities. *Agrarariedus* 17(1): 3-33.
- Janvier, C., Villeneuve, F., Alabouvette, C., Edel-Hermann, V., Mateille, T., Steinberg, C., (2007): Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry* 39(1): 1-23.
- Kannan, M., Kolanthasamy, E., Kasivelu, G. (2020): Nanotechnological Approaches in Plant Protection. *Nanotechnology in Agriculture, Energy and Environment* 16: 349-364.
- Kerry, B. R. (2000): Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant-parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 38: 423-441.
- Khan, Z., Kim, Y. H. (2007): A review on the role of predatory soil nematodes in the biological control of plant parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology*, 35(2): 370-379.
- Khoja, S., Eltayef, K. M., Baxter, I., Myrta, A., Bull, J. C., Butt, T. (2021): Volatiles of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium brunneum*, attract and kill plant parasitic nematodes. *Biological Control*, 152: 1-11.
- Kiss I. (2003): Fonálférgek. In: Bakonyi G. (szerk.) *Állattan. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 718 p., 215-230. p.
- Kiss I. (2003): Gyűrűsférgek. In: Bakonyi G. (szerk.) *Állattan. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 718 p., 259-274 p.
- Lafont, A., Risède, J. M., Lorangermerciris, G., Clermont-Dauphin, C., Dorel, M., Rhino, B., Lavelle, P. (2007): Effects of the earthworm *Pontosclex corethrurus* on banana plants infected or not with the plant-parasitic nematode *Radophylus similis*. *Pedobiologia*, 51(4): 311-318.
- Laossi, K. R., Ginot, A., Noguera, D., Blouin, M., Barot, S. (2010): Earthworm effects on plant growth do not necessarily decrease with soil fertility. *Plant and Soil*, 328(1-2): 109-118.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., Dhillon, S. (1997): Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33(4): 159-193.
- Liu, T., Wang, L., Duan, Y. X., Wang, X. (2008): Nematicidal activity of culture filtrate of *Beauveria bassiana* against *Meloidogyne hapla*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(1): 113-118.
- Marhan, S., Langel, R., Kandeler, E., Scheu, S. (2007): Use of stable isotopes (^{13}C) for studying the mobilisation of old soil organic carbon by endogeic earthworms (*Lumbricidae*). *European Journal of Soil Biology*, 43(1): 201-202.
- Markov, V. M., Haev M.K. (1953): *Ovosevodstvo. Szel'hozgiz. Moszkva*, 567p.
- Mashela, P. W. (2002): Ground wild cucumber fruits suppress numbers of *Meloidogyne incognita* on tomato in microplots. *Nematropica* 32(1): 13-19.
- Mazzola, M. (2002): Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne diseases, *Journal of microbiology* 81(1): 557-562.
- Megyeri Sz. (2014): *Üvegház a kertben. CSER Kiadó, Budapest* 116 p.
- Mesa-Valle, C. M., Garrido-Cardenas, J. A., Cebrian-Carmona, J., Talavera, M., Manzano-Agugliaro, F. (2020): Global research on plant nematodes. *Agronomy*, 10(8): 1-11.
- Moens, M., Perry, R. N., Starr, J. L., (2009): *Meloidogyne* species - a diverse group of novel and important plant parasites. In: Perry, R. N., Starr, J. L., Moens, M., (ed.) *Root-knot nematodes*. CABI International (CABI), Wallingford, Oxon, 480 p., 1-17. p.

- Moosavi, M. R. (2020): Efficacy of microbial biocontrol agents in integration with other managing methods against phytoparasitic nematodes. Management of phytonematodes: Recent advances and future challenges. p. 229–258.
- Morra, L., Palumbo, A. D., Bilotto, M., Ovieno, P., Picascia, S. (1998): Soil solarization: organic fertilization and grafting contribute to build an integrated production system in a tomato-zucchini sequence. *Colture Protette* 27(7): 63–70.
- Neher, D. A. (2001): Role of Nematodes in Soil Health and Their Use as Indicators. *Journal of nematology*, 33(4):161–168.
- Neher, D. A. (2010): Ecology og Plant and Free-Living Nematodes in Natural and Agricultural Soil. *Annual Review of Phytopathology*. 48(1): 371-394.
- Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (2020): Talajtan biogazdálkodóknak II. Talajbiológia, talajfunkciók. Mezőgazdasági kézikönyv 6.
- Neves, W. S., Freitas, L. G., Costa, M. D., Almeida, V. S., Ferraz, S. (2009): Controle de *Meloidogyne javanica* pelo uso de bactérias isoladas de solo biofumigado com resíduos de diferentes espécies de Brássicas. *Nematologia Brasileira*, 33(2): 132-138.
- Oka, Y. (2010): Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—A review. *Applied Soil Ecology*, 44(2): 101-115.
- Pankhurst, C. E., McDonald, H. J., Hawke, B. G., Kirkby, C. A., (2002): Effect of tillage and stubble management on chemical and microbiological properties and the development of suppression towards cereal root disease in soils from two sites in NSW, Australia. *Soil Biology and Biochemistry* 34(6): 833–840.
- Parkin, T. B., Berry, E. C. (1999): Microbial nitrogen transformations in earthworm burrows. *Soil Biology & Biochemistry*, 31(13): 1765-1771.
- Papatheodorou, E. M., Argyropoulou, D. M., Stamou, G. P. (2004): The effects of large- and small-scale differences in soil temperature and moisture on bacterial functional diversity and the community of bacterivorous nematodes. *Applied Soil Ecology*, 25: 37–49.
- Pénzes B. (1997): Az uborka kártevői. In: Glits M., Horváth J., Kuroli G., Petróczi I. (szerk): Növényvédelem. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 660 p. 364-370. p.
- Prasad, B. D. N., Subramanyam, B., Lakshmi pathi, R. N., Ansari, R. A., Rizvi, R., Sumbul, A., Mahmood, I., Susheelamma, N., Rachmi, C. M. (2020): Utilization of beneficial microorganisms in sustainable control of phytonematodes. In: Ansari, R. A., Rizvi, R., Mahmood, I., (ed.) Management of phytonematodes: Recent advances and future challenges. Springer, Singapore, 399 p., 317–337. p.
- Radwan, M. A., Farrag, S. A. A., Abueiamayem, M. M., Ahmed, N. S. (2012): Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. *Applied Soil Ecology*, 56(1): 58-62.
- Reynolds, J.W. (1994): Earthworms of the world. *Global Biodiversity* 4(1): 11-16.
- Rod, J., Hluchý, M., Zavadil, K., Prásl, J., Somssich, I., Zacharda, M. (2005): A zöldségfélék betegségei és kártevői: A zöldségfélék védelme az integrált növénytermesztésben és a biológiai növényvédelem eszközei. Biocont Laboratory Kft., Brno, 392 p.
- Rodríguez-Kábana, R., Calvet, C. (1994): Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edafico. *Fitopatologia Brasileira*, 19(2): 129-138.
- Rostami, M., Olia, M., Arabi, M. (2014): Evaluation of the effects of earthworm *Eisenia fetida*-based products on the pathogenicity of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) infecting cucumber. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 3(58): 1-8.
- S'anchez-Moreno, S., Ferris, H. (2007): Suppressive service of the soil food web: effects of environmental management. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 119(1-2): 75–87.
- Sasser, J. N., Carter, C. C. (1985): Overview of the International *Meloidogyne* Project 1975–1984. In: Sasser, J. N., Carter, C.C. Raleigh. (ed.) An Advanced Treatise on *Meloidogyne* Volume 2. North Carolina State University Graphics, 223 p., 19-24. p.
- Schneider, R. W., (1982): Suppressive soils and plant disease. St. Paul: APS, 88p.
- Siddiqui, Z. A., Shehzad, M., Alam, S. (2014): Interactions of *Ralstonia solanacearum* and *Pectobacterium carotovorum* with *Meloidogyne incognita* on potato. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(4): 449-455.
- Singh, S., Singh, B., Singh, A. P. (2015): Nematodes: A threat to sustainability of agriculture. *Procedia Environmental Sciences*, 29: 215-216.
- Singh, S., Singh, J., Vig, A. P. (2016): Effect of abiotic factors ont he distribution of earthworms in different land use patterns. *The Journal od Basic and Applied Zoology* 74: 41-50.
- Slezák K. A. (2001) Fehér termésű paprika sőtűrése. Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem, Kertészettudományi Doktori Iskola.

- Soliman, M. S., El-Deriny, M. M., Ibrahim, D. S. S., Zakaria, H., Ahmed, Y. (2021): Suppression of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants using the nematode trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* Fresenius. *Journal of Applied Microbiology* 131(5): 2402-2415.
- Stenberg, J.A., Sundh, I., Becher, P.G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P.A., Friberg, H., Gil, J.F., Jensen, D.F., Jonsson, M., Karlsson, M., Khalil, S., Ninković, V., Rehmann, G., Vetukuri, R.R., Viketoft, M., (2021): When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, 94(3): 665-667.
- Su, H., Zhao, Y., Zhou, J., Feng, H., Jiang, D., Zhang, K. Q., Yang, J. (2017): Trapping devices of nematode-trapping fungi: formation, evolution, and genomic perspectives. *Biological Reviews*. 92(1): 357–368.
- Swathi, P., Rao, K. T., Rao, P. A. (1998): Studies on control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tobacco miniseries. *Tobacco Research* 1: 26–30.
- Thoden T. C., Korthals, G. W., Termorshuizen, A. J. (2011): Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management? *Nematology*, 13(2): 133-153.
- Thongkaewyuana, A., Chairinab, T. (2018) Biocontrol of *Meloidogyne incognita* by *Metarhizium guizhouense* and its protease. *Biological Control* 126: 142-146.
- Topalovic, O., Vestergard M., (2021): Can microorganisms assist the survival and parasitism of plant-parasitic nematodes? *Trends in Parasitology*, 37(11): 947-958.
- Tusnádi Gy., Tibenszky O. Gilisztatényésztés, humusztermelés. Gazda Kistermelői Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, 104 p.
- Van Bruggen, A. H. C., Semenov, A. M. (2000): In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, 15(1):13–24.
- Wang, B.L., Chen, Y. H., He, J. N., Xue, H. X., Yan, N., Zeng, Z. J., Joan W. B., Zhang, K. Q., Niu, W. M. (2018): Integrated metabolomics and morphogenesis reveal volatile signaling of the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys oligospora*. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9): e02749-17
- Weller, D. M., Raaijmakers, J. M., McSpadden, B. B., Ardener, G., Thomashow L. S. (2002): Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens *Annual Review of Phytopathology*, 40(1): 309–348.
- Westphal, A., (2005): Detection and Description of Soils with Specific Nematode Suppressiveness. *Journal of Nematology*, 37(1): 121–130.
- Yeates, G. W., Bongers, T., De Goede, K. G. M., Freckman, D. W., Georgieva, S. S. (1993): Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25(3): 315-331.
- Yvan, C., Stéphane, S., Stéphane, C., Pierre, B., Guy, R., Hubert, B. (2012): Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 55(1): 93-103.
- Zeck, W. M. (1971): Ein Bonitierungsschema zur Feldauswertung von Wurzelgallenbefall. *Pflanzenschutz – Nachrichten Bayer* 24 (1): 144-147.
- Zicsi A., (1990): Általános ismeretek a földgilisztáról, In: Pacs, I., Puskás, F., Zicsi, A., Gilisza, gilisztahumusz, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 89 p., 7.-20. p.
- Zhao, D., Liu, B., Wang, Y., Zhu, X., Duan, Y., Chen, L. (2013): Screening for nematocidal activities of *Beauveria bassiana* and associated fungus using culture filtrate. *African Journal of Microbiology Research*, 7(11): 974–978.

Internetes források:

- http1: KSH https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0019.html (2022, október)
- http2: KSH https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn004g.html (2022, október)
- http3: NÉBIH Növényvédő szer adatbázisa <https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu/Engedelykereso/kereso> (2022 október)
- http4: <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/kornyeztgazdalkodas/100435-amiroi-a-talajvizsgalati-eredmenyek-beszelnék-ii> (2022, október)
- http5 <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/kornyeztgazdalkodas/100585-amiroi-a-talajvizsgalati-eredmenyek-beszelnék-v> (2022, október)