

# **SZAKDOLGOZAT**

**Gulyás Ágnes**

**2025**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**  
**Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet**  
**Természetvédelmi mérnöki BSc szak**

**Invazív növények kivonatainak hatása a talaj egyes gerinctelen csoportjaira**

**Belső konzulens:** Dr. Petrikovszki Renáta  
tudományos munkatárs

**Belső konzulens  
intézete/tanszéke:** Vadgazdálkodási és  
Természetvédelmi  
Intézet/Állattani és  
Ökológiai Tanszék

**Készítette:** Gulyás Ágnes

**Gödöllő**  
**2025**

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés és célkitűzések</b>	<b>4</b>
<b>2. Szakirodalmi áttekintés</b>	<b>5</b>
2.1. Az invazív növényfajok ökológiai jellemzői	5
2.2. Az invazív növényeknek a talaj fiziko-kémiai tulajdonságaira gyakorolt hatása	6
2.3. Az invazív növényfajok megjelenésének hatása a talaj lebontó szervezeteire	8
2.4. Invazív növényfajok Európában: az aranyvessző és selyemkóró	8
2.5. <i>Panagrellus redivivus</i>	10
2.6. Ugróvillások	12
2.7. <i>Solidago</i> és <i>Asclepias</i> fajokkal végzett korábbi kísérletek	12
2.8. Területválasztási teszt	15
<b>3. Anyagok és módszerek</b>	<b>17</b>
3.1. Növényi kivonatok készítése	17
3.2. pH-értékek mérése <i>Asclepias</i> és <i>Solidago</i> kivonatokon	17
3.3. Ugróvillások (Collembola) viselkedésvizsgálata inváziós növényi kivonatokkal	18
3.4. Területválasztási teszt <i>P. redivivus</i> fonálféreg fajjal	19
3.5. Statisztikai elemzés	21
<b>4. Eredmények és értékelésük</b>	<b>22</b>
4.1. A pH-értékek értékelése az <i>Asclepias</i> és <i>Solidago</i> kivonatok esetében	22
4.2. Ugróvillások viselkedése <i>Solidago</i> és <i>Asclepias</i> kivonat hatására	23
4.3. <i>Pangrellus redivivus</i> viselkedése <i>Solidago</i> és <i>Asclepias</i> kivonat hatására	25
<b>5. Következtetések és javaslatok</b>	<b>28</b>
5.1. Következtetések	28
5.2. Javaslatok	29
<b>6. Összefoglalás</b>	<b>31</b>
<b>7. Köszönetnyilvánítás</b>	<b>33</b>
<b>8. Irodalomjegyzék</b>	<b>34</b>
<b>9. Táblázatok és ábrák jegyzéke</b>	<b>38</b>
<b>10. Nyilatkozatok</b>	<b>39</b>

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A biológiai inváziók világszerte komoly természetvédelmi, ökológiai és gazdasági problémákat okoznak. Az inváziós növényfajok elterjedése hozzájárul az őshonos fajok visszaszorulásához, a biodiverzitás csökkenéséhez, és alapjaiban alakíthatja át az ökoszisztémák működését. E fajok hatása nem korlátozódik a felszíni vegetációra: másodlagos anyagcseretermékeik – például flavonoidok, szaponinok, illóolajok vagy fenolos vegyületek – a talajba jutva a mikrobaközösségeket, valamint a talajlakó gerincteleneket is befolyásolhatják.

Kiemelt jelentőséggel bírnak azok a szervezetek, amelyek a szerves anyag lebontásában és a tápanyagkörforgásban kulcsszerepet játszanak – ilyenek többek között az ugróvillások (*Collembola*) és a fonálféreg (Nematoda) egyes csoportjai. Ezek az élőlények érzékenyen reagálnak a környezeti kémiai változásokra, ezért viselkedésük és eloszlásuk kiváló indikátora lehet az inváziós fajok hatásának.

A laboratóriumi kísérletek lehetőséget biztosítanak különböző inváziós fajok hatásának kontrollált vizsgálatára, míg a terepi mintavételezéssel ezek a folyamatok természetes környezet összetettebb viszonyaiban is értelmezhetők. Az ilyen jellegű kutatások hozzájárulnak ahhoz, hogy pontosabb képet kapjunk az inváziós fajok hosszú távú ökológiai hatásairól, és segítik a természetvédelmi kezelések megalapozását.

Vizsgálataim során két elterjedt inváziós növény, a magas aranyvesszőt (*Solidago gigantea*) és a közönséges selyemkóró (*Asclepias syriaca*) vizes kivonatainak hatását tesztelem laboratóriumi körülmények között. Ehhez két modellorganizmus, a lebontó mikrofauna képviselőiként, a *Panagrellus redivivus* fonálféreg, valamint a *Heteromurus nitidus* ugróvillás faj területválasztásának megfigyelését tűztem ki célul.

A területválasztási teszt különösen hasznos a kutatásom szempontjából, mivel lehetőséget biztosít arra, hogy a *Solidago* és *Asclepias* növényi kivonatainak hatását objektíven értékeljük a tesztállatok mozgási mintázatainak és preferenciáinak figyelembevételével. A fonálféreg talaj-ökoszisztémában betöltött szerepük révén sok információt hordozhatnak arról, hogy egy adott növény vegyületei milyen ökotoxikológiai vagy ökológiai hatásokat válthatnak ki. A teszt egyik legfontosabb előnye, hogy gyors és könnyen reprodukálható, valamint alkalmas különböző kémiai anyagok vonzó vagy taszító hatásának kvantitatív vizsgálatára.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Az invazív növényfajok ökológiai jellemzői

Biológiai invázióknak nevezzük azon folyamatot, melynek során egy faj - szándékosan vagy véletlenül - egy új földrajzi régióba kerül, ahol elszaporodik és fennmarad (Lockwood et al. 2007). Az ilyen fajokat, amelyek természetes élőhelyükön kívül találhatók, invazívnek (vagy nem őshonosnak, egzotikusnak, idegennek) nevezik. A kereskedelem-alapú globális gazdaság növekedése és a biológiai árucikkek világszintű szállítása az elmúlt évszázadban jelentősen növelték az idegen fajok megjelenését és későbbi kolonizációját a világ számos részén (Enserink, 1999). Az invazív fajok globális problémát jelentenek, veszélyeztetik az őshonos biodiverzitást, az ökoszisztémák normális működését, a természeti erőforrásokat, a regionális gazdaságokat és az emberi egészséget. Mint ilyenek, komoly aggodalmat jelentenek a természetvédelem szempontjából, és egy multidiszciplináris tudományterület, az inváziós ökológia középpontjában állnak (Ricciardi, 2013).

Az elmúlt évtizedekben jelentős erőfeszítések történtek az invazív növények életmenet stratégiájának és az invázióképesség közötti korrelációnak a meghatározására (például Pyšek és Richardson, 2007). Ezen tanulmányok szerint az inváziós siker elemei közé tartozik a juvenilis időszak és a magképzés közötti rövid időintervallum (Richardson és Rejmánek, 2004), a magas relatív növekedési ráta (Grotkopp et al., 2002), a hosszú virágzási időszak (Lloret et al. 2005), a gerinces állatok általi magterjesztés (Richardson et al. 2000), és a vegetatív szaporodás (Henderson, 1991). Megfigyelték, hogy az invazív növények levelei gyors természetes szelekción mennek keresztül a tápanyagkörforgáshoz kapcsolódó kulcsfontosságú tulajdonságaikban is. Például, Feng és munkatársai (2009) bizonyítékot szolgáltatottak arra, hogy az invazív *Ageratina adenophora*, amely Mexikóból származik, de elterjedt az egész szubtrópusi övezetben, látszólag olyan leveleket fejlesztett ki, amelyek könnyebben bomlanak le az inváziós területeken. Függetlenül attól, hogy az invazív növények eltérően változtatják-e meg az ökoszisztémákat az őshonos fajokhoz képest, ez segíthet fontos kérdéseket tisztázni az ökológia, evolúció és természetvédelem területén.

Ezek az eredmények azonban sok esetben ellentmondásosak: még azok a tulajdonságok is, amelyeket több tanulmány erős inváziós jellegnek tart, sok más tanulmányban nem bizonyultak jelentősnek. Bár ezek a tanulmányok nem értenek egyet az inváziós sikerességének

elemeit tekintve, általánosságban úgy tűnik, hogy az edényes növények esetében a növénymagasság, erőteljes vegetatív növekedés, hosszú virágzási időszak és vonzóság az emberek számára hozzájárul a növényi invázióhoz (Pyšek és Richardson, 2007).

## **2.2. Az invazív növényeknek a talaj fiziko-kémiai tulajdonságaira gyakorolt hatása**

A növények számos módon befolyásolhatják környezetüket, beleértve a növekedési közegük fizikai és kémiai tulajdonságait. E hatások révén a növények kulcsfontosságú elemei a biogeokémiai körforgásnak (Kelly et al. 1998). A növények befolyásolhatják a talaj szerkezetét (részecskeaggregáció) azáltal, hogy pórusokat hoznak létre a talajban, és növekedésük elősegíti a gyors nedvesedési és száradási ciklusokat, amelyek zsugorodást és a talaj megerősödését okozzák (Angers és Caron, 1998). A növények csökkentik a talaj térfogatsűrűségét a gyökérzetük növekedése és a levéltakaró talajba kerülése révén, így megkönnyítve a víz és a gyökerek behatolását (Joffre és Rambal, 1993).

A növények szubsztrátumokra gyakorolt hatásai közül a legjobban dokumentáltak a talaj tápanyagaira vonatkoznak. A növények tápanyagokat vesznek fel, de az idő előrehaladtával a növényi hulladék és a gyökér által kiválasztott anyagcseretermékek módosítják a talajösszetételt, így növelve a talaj tápanyagtárolási és -megtartási potenciálját. Ezzel párhuzamosan a legtöbb tápanyag mennyisége is növekszik (pl. Crocker és Major, 1955). Számos irodalmi forrás utal arra, hogy az invazív növényfajok olyan módon változtathatják meg a tápanyagkörforgást, amely eltér a helyi őshonos növények jellemzőitől. Számos invazív növényfaj nagy méretű levélfelülettel rendelkezik, gyors növekedési üteme és magas raktározott tápanyag-koncentráció jellemzi, azonos helyszínen élő őshonos növényekhez képest, és ezek a tulajdonságok növelhetik a bomlás és a tápanyagkörforgás ütemét (Allison és Vitousek, 2004). Liao és munkatársai (2008) megállapították, hogy átlagosan az invazív növények sokkal magasabb levélbomlási aránnyal és a talaj nitrogén mineralizációjának és nitrifikációjának növekedésével álltak összefüggésben. Ehrenfeld (2004) szerint sok invazív faj az őshonos növényekhez képest bizonyos biológiai tulajdonságaiban oly mértékben különbözhet, hogy ezzel a helyi ökoszisztéma működését és összetételét is befolyásolhatja. Ezen tulajdonságok közé tartozik a nagyobb méret, a fokozott növekedés és fotoszintetikus aktivitás, a magasabb élő szövet és levél tápanyagkoncentráció, valamint a nagyon hatékony nitrogénkötő szimbiotikus kapcsolatok.

A növények bizonyos mértékig befolyásolják szubsztrátumaikat olyan folyamatok révén, amelyek általánosak minden növényfaj esetében. (Kelly et al. 1998). Azonban a növényeknek lehetőségük van arra, hogy fajspecifikus módon befolyásolják a szubsztrátumokat, és így az ökoszisztéma fontos folyamatait a különféle másodlagos anyagcseretermékek széles skálájának termelése és kibocsátása révén. A másodlagos anyagcseretermékek olyan szerves vegyületek, amelyek nem közvetlenül vesznek részt az elsődleges anyagcsere-folyamatokban, mint például a fotoszintézis, sejtlégzés, sejtosztódás vagy sejtnövekedés (Metlen et al. 2009). Ezek a vegyületek nemcsak rendkívül változatosak, egyesek fajspecifikusak is lehetnek. Ugolini és Sletten (1991) szerint a növények által termelt szerves savak általában kulcsfontosságú szerepet játszanak a talaj savanyításában, ezáltal pedig a kőzetek mállásában. Keveset tudunk azonban arról, hogy a specifikus másodlagos metabolitok hogyan befolyásolhatják az ökoszisztéma folyamatait egyéb módokon. Egyes tanulmányokban felmerült, hogy bizonyos invazív növények előnyt szerezhetnek az őshonos közösségben azáltal, hogy a közösség számára új másodlagos vegyületekkel rendelkeznek - például allelopátiás, védekező vagy antimikrobiális vegyületekkel, amelyekhez az őshonos szervezetek nem alkalmazkodtak (Callaway et al. 2008). Megjelenésük az inváziós területen nem csak a talaj abiotikus, de biotikus tényezőit – így a talaj élővilágát -is nagy mértékben befolyásolhatják.

Az invazív növények közvetett módon is megváltoztathatják a talaj kémiai tulajdonságait a kontrollálásukra használt szintetikus herbicidek révén. Például a világ legszélesebben használt herbicidje, a glifozát, évtizedek óta alkalmazott vegyszer a mezőgazdaságban, mivel gyorsan lebomlik a környezetben (Duke és Powles 2008). A herbicidek nem célzottan befolyásolhatják az őshonos növények növekedését a kezelt területeken (Crone et al. 2009), vagy a szomszédos kezeletlen területekre történő eljutás révén. A szubletális herbicidek alkalmazása jelentősen megváltoztathatják a növényi biokémiai folyamatokat (Lydon és Duke 1988), amelynek következményei kevéssé ismertek. A herbicidek emellett közvetetten befolyásolhatják a növényközösségeket a talaj mikrobiális közösségeinek megváltoztatásával, különösen a mikorrhiza gombákkal és a nitrogénmegkötő baktériumokkal való kapcsolatok befolyásolásával (Weidenhamer és Callaway, 2010).

### **2.3. Az invazív növényfajok megjelenésének hatása a talaj lebontó szervezeteire**

Az invazív növények fokozott dominanciája általában az őshonos növények diverzitásának csökkenésével jár (Vilà et al. 2011). A növényi inváziók következtében bekövetkező összetételbeli változások különösen károsak lehetnek például azon élőlényekre nézve, melyek specifikus növényeket igényelnek táplálékul vagy szaporodási helyül (Bernays és Graham, 1988). Az invazív növények emellett gyakran kémiaileg eltérnek az őshonos növényektől, mivel szöveteikben a közösség számára új típusú vegyületek találhatók (Callaway és Ridenour, 2004). Ennek eredményeként a növényevők az őshonos növények fokozott fogyasztása révén gyorsítják az invazív növények biomasszává történő átalakulását (Schaffner et al. 2011), ami aztán az tápanyag-hálózatba kerül be. Bár várható lenne, hogy a kémiaileg eltérő invazív növények hulladéka lassabban bomlik le a lebontó szervezetek (állatok, gombák és baktériumok) által, meglepő módon az invazív növények hulladéka gyakran gyorsabb lebomlási sebességet mutat (Liao et al. 2008). Ez az ellentmondás, miszerint az invazív élő biomassza alacsonyabb fogyasztása, de az invazív hulladék gyorsabb lebomlása arra utal, hogy az őshonos növényevők és lebontó szervezetek eltérően reagálhatnak a növényinváziókra (Kappes et al. 2007).

Az invazív növények megváltoztathatják a talajba kerülő levélhulladék jellemzőit is (Wolkovich et al. 2009). Az invazív növények fokozott dominanciája gyakran az avar mennyiségének és mélységének növekedésével, valamint az avar kémiai összetételének változásával jár, amelyek jelentősek a lebontó szervezetek szempontjából (Alerding és Hunter, 2013). Az invazív növények hozzájárulhatnak a talaj tápanyagtartalmának, nedvességtartalmának, sótartalmának és pH-jának változásaihoz, és ezek a változások befolyásolhatják a talaj élővilágának szaporodását és összetételét (Gratton és Denno 2005).

### **2.4. Invazív növényfajok Európában: az aranyvessző és selyemkóró**

Az aranyvesszők (*Solidago*) nemzetsége körülbelül 100 fajt foglal magába, amelyek főként Észak-Amerikában őshonosak, és legnagyobb fajgazdagsággal az Egyesült Államok keleti részén vannak jelen (Ledger et al. 2015; Pal et al. 2015). Az Európába került fajok közül a *Solidago altissima*, a *S. gigantea* és a *S. graminifolia* és a *S. canadensis* honosodott meg. A *S. altissima* valószínűleg 1735 körül, a *S. gigantea* és a *S. graminifolia* pedig valószínűleg 1758

körül került a kontinensre (Weber és Schmid, 1998). Ezen fajoknak az első megfigyeléseiről a 19. század közepéről számol be a szakirodalom (Wagenitz, 1964).

A *S. altissima* és a *S. gigantea* agresszíven terjedő invazív fajok, főként felhagyott mezőkön, folyópartokon és egyéb bolygatott területeken jelenik meg. A *S. graminifolia* csak elszórtan van jelen Európában, de több helyen nagy sűrűséget érhet el. A fajok őshonos elterjedési területei változatosak. A *S. altissima* szinte az egész Egyesült Államokban és a szomszédos Kanadában is megtalálható a 26° és 45° szélességi fokok között, elérve a 65° szélességi fokot Nyugat-Kanadában és Alaszkában. A *S. gigantea* szűkebb elterjedési területtel rendelkezik (30–47° a keleti parton, 36–55° a nyugati parton). Mind a négy faj évelő, amelyek kitaró képleteiből (föld alatti rizómák) évente hoznak föld feletti hajtásokat. A magjaik aprók, nagy számban vannak jelen és szél által terjednek (Weber, 1998).

A *S. canadensis* és a *S. gigantea* általában jó tűrőképességgel rendelkezik a talaj nedvességtartalma, a fény, a tápanyagtartalom, a hőmérséklet vagy a pH-tartomány tekintetében, bár előnyben részesítik a ruderalis élőhelyeket (Weber és Jakobs, 2005). Ökológiai igényeik azonban átfedésben vannak, és rendszeresen együtt fordulnak elő mind az őshonos, mind az inváziós területeken (Botta-Dukát, 2008).

A *Solidago* fajok jól ismertek gyógyászati felhasználásukról Európában: készítményeiket húgyúti, prosztatata és vese rendellenességek kezelésére alkalmazzák. Ami a másodlagos anyagcseretermékeket illeti, több csoportot is leírtak aranyvessző fajokban, főként flavonoidokat, fenolokat, diterpéneket, szaponozidokat és illóolajokat (Apáti et al. 2003; Kołodziej et al. 2011; Kraujalienė et al. 2017; Zihare és Blumberga, 2017). Kimutatásra került, hogy ezek a vegyületek gyulladáscsökkentő, antimikrobiális, antioxidáns, görcsoldó és vízhajtó tulajdonságokkal rendelkeznek (Liu et al. 2016).

Bár az említett fajok közeli rokonok, különböző kémiai profillal rendelkeznek, ami a földrajzi eredet, a genetikai tényezők és a vizsgált növényi rész befolyására utalhat (Radusiene et al. 2018; Kalemba és Thiem, 2004; Shelepova et al. 2018; Kalemba et al. 2001).

A közönséges selyemkóró (*Asclepias syriaca*) invazív gyomnövényként van jelen Közép- és Kelet-Európában, ahol új ökoszisztémákat hozott létre (Kelemen et al. 2016). Az elhagyott szántóföldeken és kivágott erdőterületeken (Szilassi et al. 2019), valamint a homoki gyepeken (Bakacsy, 2019) való gyakori előfordulása mellett ez a gyomnövényfaj a mezőgazdasági növények termesztésére szolgáló földterületeket is kedveli (Bakacsy és Bagi, 2020). Számos tudományos cikk foglalkozik a közönséges selyemkóró jelenlétének

problémájával a mezőgazdasági növények között, vizsgálva a hozamcsökkenés okát olyan növények esetében, mint a cirok, kukorica, lucerna, búza és szója (Cramer és Burnside, 1982; Bhowmik, 1994; Hartzler és Buhler, 2000).

Az *A. syriaca* évelő növény, rizómás gyökérrel, amely hatékonyan segíti a növény vegetatív szaporodását (Bagi, 2008). Tekintettel erős gyökerére, nagy levélfelületére, hatékony magterjedésére és klonális szaporodására, szárazságtűrésére (Szitár et al. 2018), valamint allelopátiás tulajdonságaira, e gyomnövény versenyképes lehet más, kevésbé agresszív növényfajokkal szemben (Borders és Lee-Mäder, 2014).

Az *A. syriaca* kémiai összetételének elemzése azt mutatja, hogy a növény különböző szervei polifenolok, olajok és szénhidrogén polimerek forrása. Campbell (1983) által vizsgált *A. syriaca* populációban a polifenolok és olajok jelenlétét a száraz tömeg 4,7–14,4%-ában figyelték meg, míg 0,2–1,2% szénhidrogén polimereket tartalmazott. Ezenkívül az *A. syriaca* leveleiben és virágaiban a fenolok (p-hidroxi-benzoészav, p-kumársav, protokatekusav és kávéészav) jelenlétét is meghatározta, emellett megállapításra került, hogy a virágok galluszsavat tartalmaznak, míg a levelekből  $\alpha$ -rezorcil-, vanillin- és klorogénsavat nyertek ki.

A növény minden föld feletti része, valamint a gyökér is tartalmaz kardiod glikozidokat, amelyeket sziriobiozidként, sziriozidként, sziriogeninként, xizmalogeninként, dezglukouzarinként, uzarigeninként és uzarinként azonosítottak, valamint fehérjéket, fitoszterolokat és C-vitamint (Sikorska et al. 2000). A keserű ízű szteroidokként ismert kardiodok mérgező hatást fejtenek ki a növényevő állatokra (Malcolm, 1991).

## 2.5. *Panagrellus redivivus*

A *Panagrellus redivivus* egy fonálféregfaj, mely körülbelül 50  $\mu$ m átmérőjű, hossza pedig valamivel meghaladja az 1 mm-t. Széles körben alkalmazzák az akvakultúrában, ahol számos halfaj és rákféle táplálékául szolgál. Cobb (1914) a fonálféreg diverzitásának vizsgálatakor egy különleges fajra bukkant, amely „azokon az alátéteken figyelhető meg, amelyeken a németek szokás szerint söröskorsóikat tartják, és amely más élőhelyen nem fordul elő”. Cobb nem adott nevet ennek a fonálféregnek, és nem hivatkozott az információ forrására sem. Később, 1921-ben Cobb beszámolt arról, hogy ugyanazt a fonálférget rothadó őszibarackban is megtalálta, és ekkor az *Anguillula silesiae* nevet adta neki, bár a fajnév valószínűleg elírás volt, és helyesen *silusiae*-ként kellett volna szerepelnie. Cobb feltételezte, hogy a fonálféreg szaporodását az ecetes közeg kedvezően befolyásolja (Ferris, 2009).

Cobb sőralátétekkel kapcsolatos megjegyzése – vagy egy ahhoz hasonló idézet – azóta is gyakran felbukkan a szakirodalomban. Napjainkban a *Panagrellus redivivus* fajt gyakran „sőralátét-fonálféregként” emlegetik (McPartland és mtsai., 2006).

Jelenleg tizenhárom *Panagrellus* fajt ismerünk: *Panagrellus pycnus*, amely a nemzetség típusfaja, valamint *Panagrellus ceylonensis*, *Panagrellus dorsobidentatus*, *Panagrellus filiformis*, *Panagrellus japonicus*, *Panagrellus leperisini*, *Panagrellus ludwigi*, *Panagrellus nepenthicola*, *Panagrellus redivivoides*, *Panagrellus redivivus*, *Panagrellus silusioides* és *Panagrellus ventrodentatus* (Ferris, 2009).

A *P. redivivus* rendszertani története összetett. A *P. redivivus* eredete feltehetően a *Chaos redivivum* néven, Linnaeus (1767) által leírt fonálféregre vezethető vissza. A "redivivus" név a latin resuscitatus szóból ered, amely feltámadást vagy újjáéledést jelent. Ezt követően további taxonómiai revíziók is történtek (Stiles és Hassall, 1905).

A *Panagrellus* fajok különböző élőhelyei – például a már említett sőralátét, rovarürülék, fatörzsek sérüléseiből származó nedv és csiriz – összhangban állnak azzal a feltételezéssel, hogy ezek a fonálféreg élesztőgombafajokkal táplálkozhatnak (Kerrigan et al. 2004). A *Panagrellus* fajok táplálkozási sajátosságait a szájnyílás (sztóma) morfológiai jellemzői is alátámasztják. Hechler (1971) rajzai és adatai szerint a sztóma átmérője körülbelül 6 µm, hossza 16 µm, és három dorzális foggal, valamint két pár szubventrális foggal rendelkezik, amelyek élesztősejtek fogyasztására utalnak.

A *Panagrellus redivivus*-t gyakran tenyésztik frissen kikelt halak és rákfélék táplálására. A fonálféreg-tenyésztéshez általában zabkását vagy kenyeret használnak tápközegként, amelyhez kis mennyiségű élesztőt is adnak (Schlechtriem et al. 2004). A fonálféreg emellett hasznos modellként szolgál az alapvető biológiai folyamatok, például a szervfejlődés és a jelátviteli mechanizmusok megértésében (Srinivasan és mtsai., 2008; Sternberg és Horvitz, 1981). A *P. redivivus* nemcsak összehasonlító fejlődésbiológiai vizsgálatokban kapott szerepet, hanem vízi és talajtoxicitási kutatásokban is széles körben alkalmazzák, amelyek értékes betekintést nyújtanak a szennyező anyagok és toxinok szaporodásra, mozgásra és táplálkozásra gyakorolt hatásába (Boyd és Williams, 2003; Niu és mtsai., 2010).

## 2.6. Ugróvillások

Az ugróvillások (*Collembola*) mikroízeltlábúak, amelyek az atkák mellett a talaj mezofaunájának fontos részét képezik szinte minden szárazföldi ökoszisztémában. Nedves és száraz élőhelyeken is előfordulnak, az alpesi tundráktól kezdve a sivatagokon át a trópusi esőerdőkig. Sűrűségük akár több millió egyed is lehet négyzetméterenként, és egy ökoszisztémában 1–3 és 50–60 faj közötti fajgazdagságot mutathatnak. Az ugróvillások taxonómiájával és ökológiájával foglalkozó irodalom jelentős, ennek ellenére az eddig leírt fajok csak kis részét képezik a világszerte megfigyelhető teljes diverzitásnak (Rusek, 1998). Az ugróvillások lebontó szervezeteknek tekinthetők, bár pontos szerepük az ökoszisztémában máig kutatott terület. Életfolyamataik során elősegítik a lebontási folyamatot azáltal, hogy a növényi hulladékot darabolják, miközben a növényi hulladékkal és a mikroflórával (baktériumok és gombák) táplálkoznak, ezáltal növelve a hulladék felületét a további lebontáshoz (Seastedt 1984).

## 2.7. *Solidago* és *Asclepias* fajokkal végzett korábbi kísérletek

Egyes megfigyelések szerint a talaj kémhatásának változása, a nitrogénellátás, a globális éghajlatváltozás és az intenzív mezőgazdaság jelentősen befolyásolta az ugróvillások diverzitását (Rusek, 1998). Az invazív növények megjelenése számos olyan biotikus és abiotikus környezeti tényezőre hatással bír, mely közvetve vagy közvetlenül a talajlakó élőlények fajgazdagságát is érintheti. Alerding és Hunter (2013) tanulmányukban azt vizsgálták, hogy a kányazsombor (*Alliaria petiolata*) jelenléte befolyásolja-e a lebontó szervezeteket, ezen belül is az ugróvillások fajsűrűségét a korai invázió során. Az inváziós területeken közel háromszor több ugróvillást találtak, mint a nem inváziós területeken, ami két ugróvillás morfofajnak volt tulajdonítható a *Tomoceridae* és *Entomobryidae* családokból. Az inváziós területekről származó minták magasabb pH-értéke összefüggést mutatott az ugróvillások nagyobb mennyiségével. Eredményeik azt sugallják, hogy a pH modulációja szerepet játszhat az ugróvillások mennyiségének változásában a kányazsombor inváziójára adott válaszként.

Sterzyńska és munkatársai (2017) a *S. gigantea* által okozott környezeti változások hatásait vizsgálta a helyi ugróvillás és előrovar (*Protura*) közösségekre, valamint a talaj mezofaunájának egyedsűrűségére. Munkájuk során azt találták, hogy a *S. gigantea* inváziója

nem befolyásolta a talaj táplálékhálózatát oly mértékben, hogy megváltoztatta volna a lebontó szervezetek és ragadozók összesített egyedsűrűségét. Eredményeik összhangban vannak a korábbi megállapítással, mely szerint a talaj pH-jának növekedését eredményezte a *Solidago* invázió (Zhang et al., 2009). A tanulmányunkban feltárt, növényinvázió által kiváltott környezeti változás csak a *Collembola* közösségek összetételére gyakorolt szignifikáns hatást, mégpedig a fajkicserélődés (replacement) tekintetében: az *Isotoma viridis* helyét átvette az *I. anglicana* az inváziós területeken. A tanulmány szerint *I. viridis* és az *I. anglicana* közötti változás az ökológiai tulajdonságaiknak, mint például a szélesebb élőhely- nedvesség- és táplálékpreferencia tulajdonítható.

Fonálférgekkel végzett korábbi kísérletek témakörben kiemelendő tanulmány Čerevková és munkatársai (2020) vizsgálata, melynek során *Solidago gigantea* inváziós növény hatását vizsgálták a talaj fonálféregközösségeire egy féltermészetes gyeptársulásban és egy mérsékelt övi lombos vegyes erdőben Szlovákia délkeleti részén, a Košice-medencében. Négy mintagyűjtési területet különböztettek meg: erdős, valamint gyepek területek, amelyekhez invázióval érintett és nem érintett területpárok tartoztak. Az inváziós helyek legalább 80%-os *Solidago gigantea* borítottságot mutattak. A fonálféreg abundanciája és diverzitása: az invázió következtében a fonálféreg egyedszáma nagyobb, de a fonálféregfajok száma alacsonyabb volt az inváziós területeken, függetlenül az ökoszisztéma típusától. Az invázióval érintett gyepekben nagyobb volt a fonálféreg egyedszáma, mint az invázióval érintett erdőkben. Trofikus szerkezet és érintett fajok: a legnagyobb változás a növényevő fonálféreg csoportjában volt megfigyelhető. A baktérium- és gombaevő fonálféreg, valamint a mindenevő és ragadozó fonálféreg egyedszáma kevésbé változott. A talaj kémiai változásai: az inváziós helyeken a talaj pH-ja magasabb volt, de ez csak egyetlen évben mutatott szignifikáns különbséget. A talajnedvesség kis mértékben növekedett az inváziós területeken, de csak 2016-ban. Összegezve a *Solidago gigantea* inváziója jelentősen befolyásolta a fonálféregközösségek összetételét, főként a növényevő fajok egyedszámának növekedése révén. A változások függtek az ökoszisztéma típusától, azaz attól, hogy a növény inváziója gyepekben vagy erdőkben történt-e.

Wu és munkatársai (2019) az inváziós növények a talaj ökoszisztémára gyakorolt hatásának vizsgálatakor a különböző terjedési stratégiákat is számításba vették. Az egyik mechanizmus, amely hozzájárulhat inváziós sikerhez a poliploidia, azaz a genom méretének megnövekedése. A poliploid növények gyakran nagyobb biomasszát termelnek, versenyképesebbek, és jelentősebben módosíthatják a talaj közösségeit, mint diploid társaik.

Jelen tanulmány a *Solidago canadensis* (kanadai aranyvessző) különböző poliploid változatainak hatását vizsgálta a talaj biológiájára. A poliploidia hatása a talaj fonálféreg-közösségeire a trofikus szinteken eltérően jelentkezett. Míg a baktériumokkal táplálkozó és mindenevő-ragadozó fonálféreg száma nem változott jelentősen, addig a gombaevő és növényi nedvet szívogató fonálféreg száma megnőtt a tetraploid és hexaploid növények talajában. A növénykártevő fonálféreg számának növekedése különösen a hexaploid egyedeknél volt szembetűnő, ami arra utalhat, hogy a poliploid növények kedvezőbb környezetet biztosítanak a növényi gyökereken élősködő fonálféreg számára. A baktériumevő fonálféreg esetében megfigyelt növekedés támogatja az úgynevezett mikrobiális hurok (microbial loop) hipotézist, amely szerint a fonálféreg közvetett módon növelheti a növények számára elérhető nitrogén mennyiségét azáltal, hogy szabályozzák a mikrobiális közösség összetételét és aktivitását.

*Asclepias* fajokkal végeztek kísérleteket Jurová és mstai (Jurová et al. 2020). A kutatás során Dél-Szlovákiában több független helyszínen vizsgálták a fonálféreg-közösségeket *A. syriaca* (közönséges selyemkóró) által érintett és érintetlen területeken. A kutatók feltételezték, hogy az invázió következtében megváltozott tápanyagforrások befolyásolni fogják a fonálféreg egyedszámát, diverzitását és trofikus szerkezetét. Az eredmények azonban azt mutatták, hogy a fonálféreg-közösségeket nem érintette negatívan az *A. syriaca* inváziója a vizsgált két vegetációs szezon alatt. Meglepő módon a növényparazita, baktériumokkal és gombákkal táplálkozó fonálféreg egyedszáma nem csökkent, és diverzitásuk sem változott, továbbá a talaj alapvető fizikokémiai paraméterei hasonlóak voltak az inváziós és nem inváziós területeken, annak ellenére, hogy az *A. syriaca* bizonyítottan csökkenti az őshonos növényzet általi borítottságot.

Jakubcsiková és mtsai (Jakubcsiková et al. 2021) eredményei összhangban álltak az előzőleg említett kutatómunkával. A kutatás célja az *A. syriaca* hatásának vizsgálata volt a talaj fonálféregközösségeire állandó gyepterületen. Eredményeik szerint az invázióval érintett és az őshonos növényzettel borított területeken a fonálféreg-közösségek összetétele és szerkezete nem mutatott jelentős eltérést a vizsgált két év során. Ugyanezen kutatócsoport 2023-ban (Jakubcsiková et al. 2023) *S. gigantea*-ból származó szerves anyagok hatását vizsgálta a talaj fonálféreg-közösségeire és a talaj tulajdonságaira. Az őshonos gyepek talaja rendelkezett a legmagasabb fonálféreg-diverzitással és nemzetségszámmal. Megfigyelték, hogy az inváziós növények lebomlott szerves anyaga csökkentette a talaj pH-ját és nedvességtartalmát, miközben növelte az összes szerves szén- és nitrogéntartalmat, emellett csökkent fonálféreg diverzitása.

## 2.8. Területválasztási teszt

A területválasztási teszt egy széles körben alkalmazott viselkedési vizsgálati módszer, amely lehetővé teszi kis méretű élőlények irányított mozgásának és preferenciáinak objektív elemzését különböző kémiai ingerek jelenlétében. A módszer lényege, hogy az élőlényeket egy táptalajjal bevont Petri-csészében helyezik el középen, miközben az eltérő kezeléseket a csésze ellentétes végeire adagolják. Az idő elteltével megfigyelik, hogy az egyedek melyik irányba mozognak, és ez alapján következtetnek az adott vegyületek vonzó vagy taszító hatására (Troemel et al. 1997; Yoshida et al. 2012).

A választási tesztek alkalmazása során különféle kísérleti felállásokat lehet kialakítani attól függően, hogy milyen inger hatását szeretnénk vizsgálni. A leggyakoribb formái közé tartozik az ún. kettős választási teszt (dual-choice assay), amelyben az élőlény két különböző alternatíva közül választhat, például egy kezelt és egy kontroll terület között. Ezenkívül alkalmazhatók multi-choice tesztek is, ahol az élőlények többféle ingerforrás között mozoghatnak. Az ilyen típusú kísérletek lehetővé teszik, hogy megértsük az élőlények irányított mozgását (taxis), amely lehet pozitív (attrakció) vagy negatív (taszítás) egy adott vegyület jelenlétében (Lee et al. 2009).

A módszer további előnye, hogy a tesztelés nem igényel bonyolult eszközöket, és a fonálférgek kis mérete miatt kis mennyiségű kémiai anyag is elegendő a vizsgálatokhoz. Ezáltal minimalizálható a szükséges reagensek mennyisége, miközben a nagy ismétlésszám biztosítja a megbízható eredményeket. A fonálférgek viselkedése gyorsan észlelhető és rögzíthető, így a valós idejű megfigyelések és az eredmények statisztikai kiértékelése egyszerűen elvégezhető.

A kísérleti elrendezés során számos kontrollt alkalmaznak, hogy kizárják azokat a külső tényezőket, amelyek befolyásolhatják az élőlények mozgását. Ilyen például a desztillált vízzel végzett kontrollkezelés, amely lehetővé teszi, hogy a fonálférgek mozgása kizárólag a növényi kivonatok kémiai összetételének hatására történjen, nem pedig más fizikai tényezők miatt. Emellett fontos tényező a táptalaj összetétele, hiszen az agar sűrűsége, víztartalma és pH-értéke is befolyásolhatja az állatok mozgékonyágát (Yoshida és mtsai., 2012).

Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy egyes fonálférgek erősen preferálnak bizonyos baktériumok vagy élesztők által termelt metabolitokat, míg más vegyületeket elkerülnek, ami arra utal, hogy képesek kémiai érzékeléssel (kemotaxissal) navigálni a környezetükben (Lee és mtsai., 2009; Troemel és mtsai., 1997). A választási teszt kiváló eszköz ezen jelenségek

feltérképezésére, mivel lehetőséget ad arra, hogy kvantitatív módon összehasonlítsuk az egyes kezelések hatását.

Összességében a területválasztási teszt egy egyszerű, de hatékony módszer, amely lehetővé teszi a fonálféreg viselkedésének vizsgálatát különböző kémiai ingerek jelenlétében. A módszer alkalmazásával betekintést nyerhetünk abba, hogyan befolyásolják az inváziós növények kivonatai a talaj fonálféreg-közösségeit, és ezáltal a talaj táplálékhálózatának szerkezetét. A kísérlet eredményei hozzájárulhatnak az inváziós növények ökológiai hatásainak mélyebb megértéséhez, valamint segíthetnek az ökoszisztémákra gyakorolt hosszú távú következmények előrejelzésében.

### 3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

#### 3.1. Növényi kivonatok készítése

A kivonatokhoz felhasznált növényi részek (levelek) származása a következő volt: a magas aranyvessző (*Solidago gigantea*) levelei frissen, Csörög község környéki mezőgazdasági táblák szegélyéről lett gyűjtve, míg a selyemkóró (*Asclepias syriaca*) levelek a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campusáról származtak Gödöllőről. A gyűjtés pontos leírása Tauner Veronika (2023) dolgozatában található, amelyre ebben a munkában hivatkozom.

A vizsgálatok során alkalmazott növényi kivonatok elkészítésének módszerét Petrikovszki és munkatársai (2023) laboratóriumi protokollja alapján alkalmaztam. A begyűjtött leveleket 25 °C-on és 20%-os relatív páratartalom mellett 2 napig szárítottam. Ezt követően minden mintából 2,5 g-ot kávédarálóval 15 másodpercig őröltem. Az így kapott port 50 ml Milli-Q vízzel elegyítettem, alaposan elkevertem, alufóliával lefedtem, majd szobahőmérsékleten 24 órán keresztül áztattam. Az így kapott 5%-os törzsoldatokat vattán keresztül leszűrtem, majd Milli-Q víz hozzáadásával további hígításokat készítettem 2,5% és 1,25%-os koncentrációban. Ez az eljárás lehetővé teszi a növényi eredetű, vízoldható bioaktív vegyületek kivonását, amelyek potenciális hatással lehetnek a talajfaunára.

#### 3.2. pH-értékek mérése *Asclepias* és *Solidago* kivonatokon

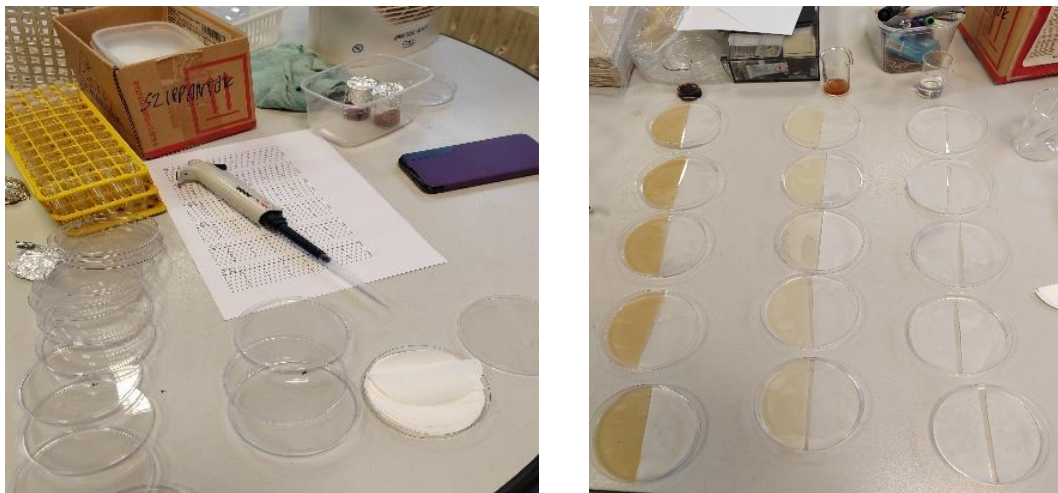
A kivonatok elkészítését követően a vizsgálat első lépéseként pH-méréseket végeztünk, hogy felmérjük a kivonatok kémhatását, valamint ezek lehetséges eltérését a kontrollként használt MQ vízhez képest. A pH-értékek meghatározásához digitális pH mérő eszközt (Voltcraft pH-212) használtunk, amellyel pontos adatokat kaptunk az oldatok savasságáról és lúgosságáról.

Mivel a pH-eltérés önmagában is befolyásolhatja az élő szervezetek viselkedését, ezért ez szükséges lépés volt a kivonatok hatásának értékelése során. A mérések során különösen figyelmet fordítottunk arra, hogy minden mérés előtt és után MQ-vízzel öblítettük át a pH-mérő elektródját, ezzel biztosítva a kapott értékek hitelességét. Minden koncentrációt ötször mértünk le. Az eredményeket excel táblázatba rögzítettük.

### 3.3. Ugróvillások (Collembola) viselkedésvizsgálata inváziós növényi kivonatokkal

A kísérlet célja az volt, hogy vizsgáljuk két inváziós növényfaj, a *Solidago* és az *Asclepias* vizes kivonatainak viselkedésre gyakorolt hatását ugróvillásokra (Collembola).

A kísérlethez 9 cm átmérőjű, fedeles Petri-csészéket használtunk, melyekbe két darab félkör alakú szűrőpapírt helyeztünk úgy, hogy azok nem értek össze. A szűrőpapírok egyik felét



1. ábra A kísérletek előkészítése (Fotó: Gulyás Ágnes)

invazív növényi kivonattal, a másikat ioncserélt vízzel (Milli-Q) itattuk át. A kivonatok 5%-os koncentrációjú vizes oldatok voltak, kontrollként csak MQ-vízzel átitatott papírokat tartalmazó Petri-csészéket alkalmaztunk (1. ábra).

A folyadékok felvitele automata pipetta segítségével történt, minden szűrőpapír-felületre pontosan 0,25 ml oldat került. A kísérlet első, próbajellegű változatában 0,5 ml folyadékot alkalmaztunk, de ez túlzott nedvességet eredményezett, amely negatívan befolyásolta az ugróvillások túlélését. Ezért a fő kísérletben már a csökkentett, optimalizált mennyiséget használtuk.

A Petri-csészéket három csoportba soroltuk: az első sorban *Solidago*, a második sorban *Asclepias* kivonattal kezelt egységek, a harmadik sorban pedig kontrollként kizárólag vízzel átitatott csészék helyezkedtek el. Összesen három sorban, soronként öt Petri-csészét helyeztünk el.

Az ugróvillásokat, érdes pinceászka törzstenyészeteiből, egy puha végű szívócső segítségével válogattuk ki. Kémcsövenként körülbelül 10 egyedét gyűjtöttünk be. A kiszáradás megelőzése érdekében a kémcsöveket enyhén megnedvesítettük, mielőtt az állatokat a vizsgálati egységekbe helyeztük. Minden Petri-csésze közepére manuálisan, óvatosan helyeztük be az állatokat, ügyelve arra, hogy egyenletesen induljanak el a vizsgálat során.

Az ugróvillások térbeli eloszlását a csészék két oldalán (kezelt és kontroll) tízpercenkénti időközönként figyeltük meg. A megfigyeléseket vizuálisan végeztük, és minden időpontban rögzítettük, hány egyed tartózkodik az adott oldalon. Az adatokat jegyzőkönyvben rögzítettük, majd elektronikus formában Excel-táblázatba vittük fel további feldolgozás céljából. Az értékelés során a kiindulási középpontban maradt egyedeket nem vettük figyelembe, mivel ezek nem jeleztek viselkedési preferenciát.

### **3.4. Területválasztási teszt *P. redivivus* fonálféreg fajjal**

A munkánk során alkalmazott növényi anyagok a következők voltak: a *Solidago*, valamint az *Asclepias* nemzetség hazánkban megtalálható fajai.

A kísérlet célja *Solidago* és az *Asclepias* növényi kivonatainak hatásának vizsgálata a *Panagrellus redivivus* viselkedésére. A növényi kivonatokot hasonló módon készítettük el, mint az ugróvillás teszt esetében, viszont itt további hígításokat (1,25% és 2,5%) is alkalmaztunk az 5%-os törzsoldat mellett.

A vizsgálathoz 10%-os vizes agar táptalajt készítettünk, amelyhez 500 ml desztillált vízhez 10 g agar-agart adtunk. A keveréket forrásig hevítettük, majd 15 perc autoklávozás és pár perc hűtés után 9 cm átmérőjű Petri-csészékbe öntöttük, és hagytuk megszilárdulni. A Petri-csészékbe egy dugófúró segítségével két darab, egyenként 1 cm átmérőjű lyukat készítettünk, amelyek fél cm-re helyezkedtek el a csésze szélétől. Ezekbe a lyukakba 0,1 ml növényi kivonatot vagy kontrollként ionmentesített vizet (MQ víz) adagoltunk.

A vizsgálatban használt *Panagrellus redivivus* egyedek az Állattani és Ökológiai Tanszék törzstenyészeteiből származtak, melyeket natúr kefir és zabpehely közegen tartanak fenn. A tenyészetből vizes szuszpenziót készítettünk, majd a Petri-csésze közepére 0,02 ml vízzel körülbelül 40 fonálférget pipettáztunk, vegyes nemű és korú egyedeket. A Petri-csészéket sötét termosztátba helyeztük  $20 \pm 1$  °C hőmérsékletre, hogy a környezeti fényhatásokat kizárjuk.

Minden egyes koncentrációhoz öt ismétlés készült, amelyeket egyértelműen jelöltünk. A következő kezeléseket alkalmaztuk:

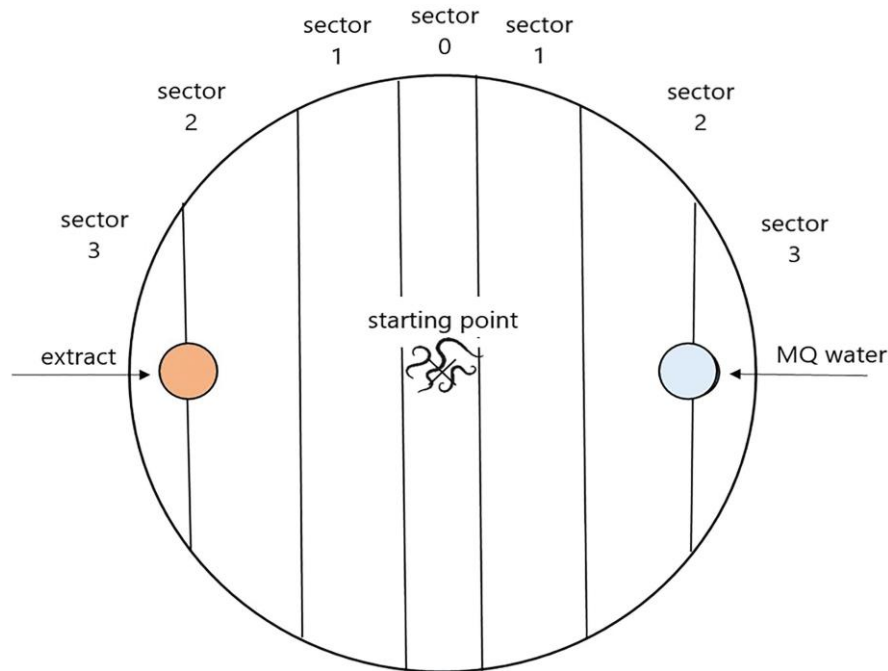
**Kontroll:** mindkét lyukba desztillált vizet adagoltunk.

**1,25%-os kivonat:** az egyik lyukba 1,25%-os kivonat, a másikba víz került.

**2,5%-os kivonat:** az egyik lyukba 2,5%-os kivonat, a másikba víz került.

**5%-os kivonat:** az egyik lyukba 5%-os kivonat, a másikba víz került.

Minden kísérletet kétszer ismételtünk, és az ismételt kísérleteket külön X jelöléssel láttuk el. Így összesen 40 Petri-csésze szerepelt a kísérletben.



**2. ábra** A kísérlet során alkalmazott sablon (Fotó: Petrikovszki et al., 2023)

Három óra elteltével mikroszkóp alatt egy sablon (2. ábra) segítségével leolvastuk a fonálférgek elhelyezkedését a táptalajon. Az értékelés során a 0. szektorban maradt egyedeket nem vettük figyelembe, csak azokat, amelyek valamelyik irányba elmozdultak. A fonálférgek iránypreferenciáját a növényi kivonatok és a kontroll víz között összehasonlítottuk, eredményeinket Excel táblázatban rögzítettük.

### 3.5. Statisztikai elemzés

A kísérleti adatok statisztikai feldolgozását a Microsoft Excel (Microsoft Office 365) segítségével végeztük. Az adatok kiértékelésére kétmintás t-próbát alkalmaztunk azzal a feltételezéssel, hogy a két minta nem rendelkezik azonos szórásnégyzettel, tehát a Welch-féle t-próba módszert követtük.

Az összehasonlításokat minden egyes kísérleti időpontban külön-külön végeztük el, a kezelt (növényi kivonattal átítatott) és a kontroll (ioncserélt vízzel kezelt) papírsávokban tartózkodó egyedek százalékos aránya (*Collembola*), valamint a vizes agar táptalajon tartózkodó egyedek százalékos aránya alapján (*Panagrellus redivivus*). A kontrollkísérlet során, ahol mindkét oldalra csak víz került, ugyanezt a statisztikai eljárást alkalmaztuk az esetleges módszertani torzítások kizárása érdekében.

A szignifikancia szintet minden esetben  $\alpha = 0,05$  értékben határoztuk meg, amelynek megfelelően a kétoldali t-próba kritikus t-értéke 18 szabadságfok mellett 2,100922 volt. Az Excel által generált eredménytáblák tartalmazták a t-értéket, a szabadságfokot, valamint az egy- és kétoldali p-értékeket. A  $p \leq 0,05$  értéket tekintettük statisztikailag szignifikánsnak, és ennek megfelelően értelmeztük az eltéréseket a vizsgált csoportok között.

## 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

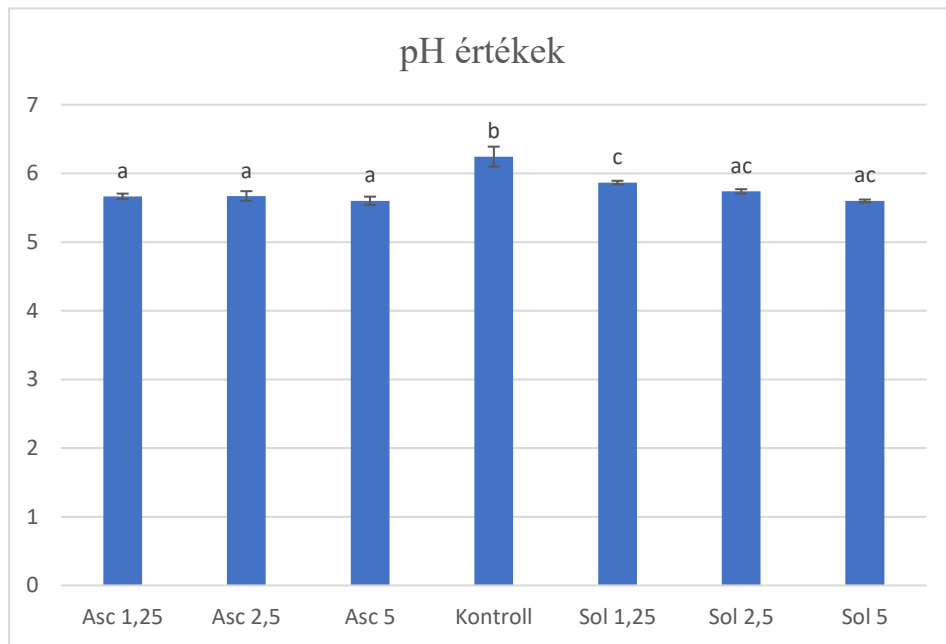
### 4.1. A pH-értékek értékelése az *Asclepias* és *Solidago* kivonatok esetében

A kísérletek során három különböző koncentrációban (1,25%, 2,5% és 5%) készült *Asclepias* és *Solidago* növényi kivonatok pH-értékeit mértük meg, összevetve azokat a kontrollként használt MQ-víz értékeivel. A mérések célja az volt, hogy megállapítsuk, a növényi kivonatok savas vagy lúgos irányba tolják-e a kémhatást, illetve kimutatható-e koncentrációtól függő eltérés.

A mérések alapján elmondható, hogy mind a *Solidago*, mind az *Asclepias* kivonatok pH-értékei egységesen alacsonyabbak voltak, mint a kontrollként használt MQ vizé (3. ábra). Ez arra utal, hogy mindkét növénykivonat enyhén savas irányba módosította az oldatok kémhatását.

Az átlagos pH-értékek vizsgálatakor azt láthatjuk, hogy egyik kivonat esetében sem figyelhető meg jelentős eltérés. A *Solidago* kivonatoknál 1,25%-os koncentráció átlagosan 5,866, a 2,5%-os 5,738 az 5%-os pedig 5,598 pH értéket mutatott. Itt minimálisan nagyobb az eltérés az egyes koncentrációkban. Az *Asclepias* kivonatok esetében viszont az 1,25%-os koncentrációhoz tartozó pH értékek átlaga 5,666, a 2,5%-osé 5,67, míg az 5%-osé 5,6, ami minimális különbséget jelent. Ez azt mutatja, hogy mindkét kivonat enyhén savas kémhatást eredményezett, azonban *Solidago* esetében ez a hatás valamelyest koncentrációfüggő, az *Asclepias*nál inkább figyelhetőek meg stabil értékek.

A *Solidago* kivonatok esetén az átlagos pH-értékek nagyobb eltérést mutatnak a koncentráció növekedésével, tehát a koncentráció befolyásolja a pH-t. Az *Asclepias* kivonatok átlagos pH-értékei kiegyensúlyozottabbak, vagyis a különböző koncentrációk hasonló hatást gyakoroltak a pH-ra.



**3. ábra** *Asclepias* és *Solidago* kivonatok kémhatása különböző koncentrációkban (ANOVA, Tukey-féle post hoc teszt, az eltérő betűk a szignifikáns ( $p \leq 0,05$ ) különbségeket jelzik)

#### 4.2. Ugróvillások viselkedése *Solidago* és *Asclepias* kivonat hatására

A *Solidago* kivonattal végzett választási tesztek során szignifikáns eltéréseket figyeltünk meg az ugróvillások térbeli eloszlásában a kontrollhoz képest. A kezelt oldalon jelentősen alacsonyabb egyedszámot regisztráltunk minden mérési időpontban, ami a növényi kivonat elkerülésére utaló viselkedést jelez (1.táblázat). Ezek az eredmények azt feltételezik, hogy a *Solidago* kivonata már rövid expozíciós idő után is jelentős viselkedéses válaszreakciót vált ki az ugróvillásokból. Az elkerülő magatartás tartósnak bizonyult az idő előrehaladtával is legnagyobb különbség a 20. percben jelentkezett, ahol a kezelt oldalon az ugróvillások aránya mindössze ~15% volt, míg a kontroll oldalon ~85%.

Az *Asclepias* kivonatát tartalmazó választási tesztek során szintén jelentős elkerülési viselkedés volt megfigyelhető az ugróvillások részéről, különösen a vizsgált első három időpontban (10, 20 és 30 perc). Az *Asclepias* kivonattal kezelt papírsávon szignifikánsan kevesebb egyed tartózkodott, mint a kontroll oldalon.

A kétmintás t-próba (nem egyenlő szórásnégyzetekkel) eredményei azt mutatták, hogy az eltérések statisztikailag szignifikánsak voltak a 10., 20., 30. és 40. percben is. Ezek az eredmények egyértelműen arra utalnak, hogy az *Asclepias* kivonat is képes kémiai ingerként viselkedni, és negatív viselkedéses választ kiváltani az ugróvillásokból. Az 50. perctől kezdve azonban nem találtunk jelentős eltérést a kezelt és a kontroll területeken elhelyezkedő ugróvillások számában, mely arra utal, hogy a taszító hatás nem áll fenn hosszabb időn keresztül.

A legtöbb időpontban nincs szignifikáns különbség a két oldal között, ami azt jelzi, hogy az állatok véletlenszerűen oszlottak meg, ahogy az egy jó kontrollkísérlet esetén elvárható. Kivételt képez az 50. perc, ahol a **p-érték 0,025949**, vagyis a különbség szignifikánsnak tekinthető. Itt a kontroll oldalra került több egyed (61,3%). Ez az egyetlen szignifikáns eltérés azonban inkább véletlenszerű kilengésként értelmezhető, mivel csak egyetlen időpontban fordult elő, a többi időpont eredménye stabil és kiegyensúlyozott, a kontroll mindkét oldalra ugyanazt a folyadékot kapta.

kezelés - /+	Asclepias		Solidago		Kontroll	
	+	-	+	-	-	-
10 perc						
átlag	28%	71%	22%	78%	51%	49%
p-érték	<b>&lt; 0,001</b>		<b>&lt; 0,001</b>		0,860	
20 perc						
átlag	30%	70%	15%	85%	58%	42%
p-érték	<b>&lt; 0,001</b>		<b>&lt; 0,001</b>		0,136	
30 perc						
átlag	29%	68%	18%	82%	44%	56%
p-érték	<b>&lt; 0,001</b>		<b>&lt; 0,001</b>		0,323	
40 perc						
átlag	36%	61%	19%	81%	45%	55%
p-érték	0,026		<b>&lt; 0,001</b>		0,291	
50 perc						
átlag	40%	60%	19%	81%	39%	61%
p-érték	0,066		<b>&lt; 0,001</b>		0,025	
60 perc						
átlag	34%	65%	16%	83%	47%	52%
p-érték	0,021		<b>&lt; 0,001</b>		0,611	

1. táblázat *Asclepias* és *Solidago* 5%-os kivonatának hatása a *Heteromus nitidus* ugróvillás faj területválasztására, százalékban megadva. (Jelmagyarázat: +: kivonattal kezelt oldal, -: MQ-vízzel kezelt oldal. Welch-teszt,  $p \leq 0,05$ )

#### 4.3. *Pangrellus redivivus* viselkedése *Solidago* és *Asclepias* kivonat hatására

A kísérlet célja a *Panagrellus redivivus* fonálféreg viselkedésének vizsgálata volt különböző koncentrációjú *Solidago* és *Asclepias* növényi kivonatok jelenlétében. A területválasztási teszt során megfigyeltük, hogy a fonálféreg milyen arányban mozognak a kezelt és kontroll szektorok irányába, ami információt nyújtott a növényi kivonatok esetleges attraktív vagy taszító hatásáról (4.ábra).

A kontroll csoportokban (MQ vízzel végzett kezelések) a fonálféreg eloszlása kiegyensúlyozottnak bizonyult, az egyedek körülbelül 50%-os arányban oszlottak meg a két kezelés szektorai között. Ez arra utal, hogy a választási teszt módszertana megfelelő volt, és az egyedek mozgását nem befolyásolták külső, nem tervezett tényezők. A kontroll mérések stabil referenciaértékeket biztosítottak a növényi kivonatok hatásainak összehasonlításához.

A *Solidago* kivonatok esetében az alacsonyabb koncentrációk (1,25%) még nem eredményeztek jelentős változást a fonálféreg mozgásában, de a 2,5%-os és különösen az 5%-os koncentráció esetében egyértelmű elkerülési viselkedést figyeltünk meg. A kezelt szektorokban az egyedszám csökkent, míg a kontroll szektorokban megnőtt, ami azt jelzi, hogy a fonálféreg kerülték a magasabb koncentrációjú *Solidago* kivonatok jelenlétét.

A statisztikai kiértékelés eredménye, hogy 1,25%-os kivonat esetében nincs szignifikáns különbség a fonálféreg viselkedésében (*kezelt: 47,15%, kontroll: 52,85%, p=0,397*) nem mutattak egyértelmű preferenciát vagy elkerülést. 2,5%-os kivonatnál határeset, közelít a szignifikanciahatárhoz de még nem tekinthető statisztikailag szignifikánsnak (*kezelt: 43,30%, kontroll: 56,70%, p= 0,055*). Az 5%-os kivonatnál látunk egy erős szignifikáns különbséget, tehát ezen koncentráción a fonálféreg viselkedése jelentősen eltér a kontrollhoz képest. Itt egyértelműen látszik a kerülő reakció (*kezelt: 37,52%, kontroll: 62,48%, p=0,000073*).

A *Solidago* kivonat magasabb koncentrációja (5%) már szignifikáns hatást gyakorol a fonálféreg választására, míg az alacsonyabb nem vagy kisebb mértékben befolyásolják területválasztásukat.

Az elkerülés hátterében a növényben található bioaktív vegyületek, például flavonoidok, terpenoidok vagy fenolos vegyületek állhatnak, amelyek a fonálféreg számára kedvezőtlen kémiai környezetet teremthetnek (Chitwood, 2002; Wuyts et al., 2006).

Az *Asclepias* kivonatok esetében az eredmények kevésbé voltak egyértelműek. Az 1,25%-os és 5%-os koncentrációk esetében a fonálféreg nem mutattak egyértelmű elkerülési vagy preferencia-viselkedést, az egyedek aránya a kezelt és kontroll szektorok között viszonylag kiegyenlített maradt.

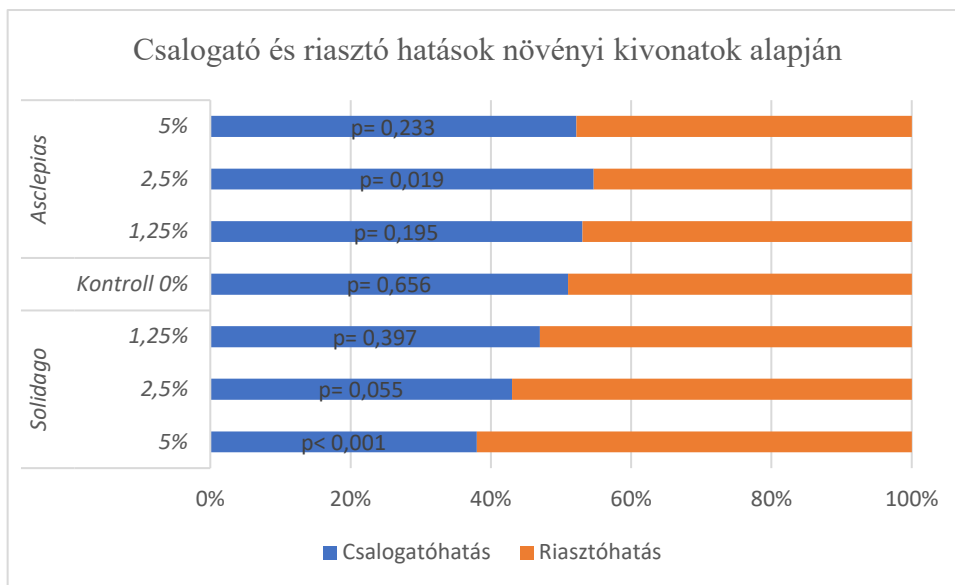
A 2,5%-os koncentráció esetében azonban néhány ismétlésnél a kezelt szektorokban nagyobb fonálféreg-sűrűség jelent meg, ami arra utalhat, hogy a *P. redivivus* bizonyos körülmények között akár vonzónak is találhatja az *Asclepias* kivonatot.

A kétmintás t-próba (nem egyenlő szórásnégyzetekkel) eredményei azt mutatják, hogy 1,25% (kezelt: 53,05%, kontroll: 46,95%, **p=0,195**) és 5%-os (kezelt: 52,17%, kontroll: 47,83%, **p=0,233**) kivonat esetében az nem szignifikánsak, a fonálféreg viselkedése nem tér el érdemben a kontrolltól ezen koncentrációkon. A 2,5%-os kivonat esetében statisztikailag szignifikáns, ez azt jelzi, hogy ezen koncentráción az *Asclepias* kivonat számottevő hatást gyakorol a fonálféreg viselkedésére (ebben az esetben vonzotta).

Az *Asclepias* kivonat csak 2,5%-os koncentráción (kezelt: 54,66%, kontroll: 45,34%, **p=0,0187**) váltott ki szignifikáns választ a fonálféregből. Ez azt sugallhatja, hogy van egy optimális koncentráció, amelynél a kivonat leginkább érzékelhető a fonálféreg számára, míg magasabb vagy alacsonyabb szinten a hatás gyengül vagy eltűnik.

A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a különböző inváziós növények eltérő hatást gyakorolnak a *Panagrellus redivivus* viselkedésére. A *Solidago* kivonatai magasabb koncentrációban egyértelmű taszító hatást mutattak, míg az *Asclepias* esetében a reakció változó volt, és néhány esetben attraktív hatás is megfigyelhető volt.

Ezek az eredmények fontos információkat nyújtanak az inváziós növények talajlakó fonálféreg-közösségekre gyakorolt hatásairól, és rámutatnak arra, hogy a növényi kivonatok bioaktív vegyületei jelentős szerepet játszhatnak a talajlakó organizmusok viselkedésének és eloszlásának alakulásában. A további kutatások során érdemes lenne megvizsgálni, hogy pontosan milyen kémiai vegyületek felelősek a megfigyelt vonzó vagy taszító hatásokért, és hogyan befolyásolják ezek a fonálféreg élettani folyamatait és populációdinamikáját.



**4. ábra** *Asclepias* és *Solidago* 1,25, 2,5 és 5%-os kivonatainak hatása a *Panagrellus redivivus* fonálféreg faj területválasztására, százalékban megadva (Welch-teszt,  $p \leq 0,05$ )

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

### 5.1. Következtetések

Eredményeink alapján elmondható, hogy a kutatómunka során vizsgált két inváziós növény, a *Solidago gigantea* és az *Asclepias syriaca* vizes kivonatai eltérő mértékben befolyásolják talajlakó gerinctelenek, vagyis a vizsgálatba vont *Panagrellus redivivus* fonálféreg és a *Heteromurus nitidus* ugróvillás területválasztását. A detektált preferencia és elkerülési reakció arra utal, hogy ezen növényfajok másodlagos anyagcseretermékei képesek közvetlen viselkedési változásokat kiváltani a talaj-mikrofauna tagjaiban. Az észlelt reakciók intenzitása mindkét modellorganizmus esetében különbözött, ami a fajspecifikus érzékenységre utal.

Habár az inváziós növények hatása gyakran jelentős a felszíni vegetációra és az ökoszisztéma-szintű folyamatokra, eredményeink összhangban állnak azon megfigyelésekkel, melyek szerint ezeknek a növényeknek a talajlakó állatok közösségeire gyakorolt befolyása esetenként korlátozott vagy taxonfüggő (Sterzyńska és mtsai., 2017; Ustinova és mtsai., 2021). Sterzyńska és munkatársai (2017) kimutatták, hogy a *S. gigantea* hosszú távú jelenléte eltérést okozott ugyan az ugróvillás közösség fajösszetételét, de nem befolyásolta jelentősen a fő trofikus csoportok arányát. Ehhez hasonlóan Ustinova és mtsai (2021) morfológiai és új-generációs szekvenáláson alapuló vizsgálatai sem találtak szignifikáns különbséget az inváziós aranyvesszővel borított és a kontroll területek talajlakó ízeltlábú közösségei között. Ezzel szemben Tóth és mtsai (Tóth és mtsai., 2025) eredményei azt mutatták, hogy a *S. canadensis* inváziója bizonyos talajlakó myriapoda-csoportok (pl. *Diplopoda*) diverzitását és gyakoriságát növelheti, ami arra utal, hogy a növény által termelt metabolitok hatása taxonfüggő.

A közönséges selyemkóró (*A. syriaca*) talajlakó szervezetekre gyakorolt hatásairól jelenleg kevés adat áll rendelkezésünkre. Jurová és munkatársai (Jurová és mtsai., 2020) terepi vizsgálataikban nem találtak szignifikáns változást a fonálféreg-közösségekben az invázió hatására, noha a faj drasztikusan csökkentette az őshonos növények gyakoriságát. Mindez összhangban áll jelen eredményeinkkel, ahol a fonálféreg reakciói nem minden esetben mutattak egyértelmű elkerülést, ugyanakkor bizonyos kísérleti körülmények között mérsékelt taszító hatás volt megfigyelhető.

Az említett kutatási eredmények különbözősége véleményem szerint több tényezőre vezethető vissza. Egyrészt köszönhető a kísérleti módszerek eltéréseinek; a terepi felmérések komplex, sokváltozós környezeti hatások között zajlanak, míg a laboratóriumi tesztek kontrollált körülmények között, elszigetelten mérik a növényi kivonatok hatását. Másrészt a vizsgált modellfajok eltérő életmódja és érzékenysége (pl. táplálkozási stratégia) befolyásolhatja a kimutatott reakciók jellegét és erősségét. Harmadrészt a kivonatok kémiai összetétele a növények fenológiai állapotától, a gyűjtés helyszínétől, valamint a kivonatkészítés módjától is függhet (Perera és mtsai., 2022).

A kapott eredmények megerősítik a szakirodalomban talált azon következtetéseket, hogy az inváziós növények másodlagos anyagcseretermékei képesek befolyásolni a talaj-mikrofauna viselkedését, még akkor is, ha a teljes közösségszintű változások terepi körülmények között nem minden esetben jelentkeznek. A kimutatott taszító vagy vonzó hatások hosszabb távon hozzájárulhatnak a talajlakó közösségek fajösszetételének átalakulásához, különösen érzékeny vagy szűk ökológiai toleranciájú fajok esetében. Ez közvetve hatással lehet a szervesanyag-lebontás és tápanyagkörforgás ütemére is.

## **5.2.      Javaslatok**

Véleményem szerint szükséges a vizsgálatokat kiterjeszteni több modellfajra, valamint különböző évszakokra és fenológiai állapotokra, hogy teljesebb képet kapjunk a *Solidago* és *Asclepias* fajok talajfaunára gyakorolt hatásairól. A laboratóriumi eredmények terepi körülmények közötti validálása elengedhetetlen, különösen olyan élőhelyeken, ahol a különböző növényfajok inváziója előrehaladott.

A kivonatok fitokémiai összetételének átfogó és részletes vizsgálata nagyműszeres analitikai eszközökkel (pl. GC–MS, LC–MS) segíthet azonosítani azokat a vegyületeket, amelyek közvetlenül felelősek a talajlakó állatfajok viselkedésének változásaiért.

A biológiai és mechanikai irtási módszerek hatékonyságát érdemes a talajfaunára gyakorolt mellékhatások szempontjából is vizsgálni (Perera és mtsai., 2022).

Az inváziós növényfajok terjedésének megelőzésére irányuló intézkedések (pl. terjedési útvonalak felmérése, helyi tájékoztató kampányok) hozzájárulhatnak a talaj-biodiverzitás hosszútávú megőrzéséhez.

Összességében elmondható, hogy kutatómunkánk hozzájárul a *Solidago gigantea* és *Asclepias syriaca* talajfaunára gyakorolt hatásainak jobb megértéséhez, és alapot ad a jövőbeni, célzott természetvédelmi és ökológiai kutatások megtervezéséhez.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A biológiai inváziók világszerte komoly természetvédelmi, ökológiai és gazdasági problémákat okoznak. Az inváziós növényfajok elterjedése hozzájárul az őshonos fajok visszaszorulásához, a biodiverzitás csökkenéséhez, és alapjaiban alakíthatja át az ökoszisztémák működését. E fajok hatása nem korlátozódik a felszíni vegetációra: másodlagos anyagcseretermékeik – például flavonoidok, szaponinok, illóolajok vagy fenolos vegyületek – a talajba jutva a mikrobaközösségeket, valamint a talajlakó gerincteleneket is befolyásolhatják.

Kiemelt jelentőséggel bírnak azok a szervezetek, amelyek a szerves anyag lebontásában és a tápanyagkörforgásban kulcsszerepet játszanak – ilyenek többek között az ugróvillások (*Collembola*) és a fonálféreg egyes csoportjai. Ezek az élőlények érzékenyen reagálnak a környezeti kémiai változásokra, ezért viselkedésük és eloszlásuk kiváló indikátora lehet az inváziós fajok hatásának.

Vizsgálatunk során két elterjedt invazív növényfaj, a *Solidago gigantea* és az *Asclepias syriaca*. vizes kivonatainak hatását teszteltük laboratóriumi körülmények között két modellszervezeten: a lebontó mikrofauna képviselőjeként a *Panagrellus redivivus* fonálférgen, valamint a *Heteromurus nitidus* ugróvillás fajon. A viselkedéses választ ún. területválasztási tesztek segítségével vizsgáltuk. A fonálféreg esetében vizes agaron 3 órán, míg az ugróvillásnál szűrőpapíron 6×10 percen keresztül vizsgáltuk a területválasztásukat. A kezelt oldalon a növényi kivonatot, a kontroll oldalon Milli Q vizet alkalmaztunk, és figyeltük, hogy az állatok melyik irányt részesítik előnyben. A kontrollkezelések esetében mindkét oldalra csak vizet helyeztünk.

Az eredmények azt mutatták, hogy a *Solidago* kivonat mindkét modellorganizmus esetében egyértelmű taszító hatást fejtett ki. Az ugróvillások következetesen a kontroll oldalt részesítették előnyben, és a fonálféreg is elkerülték a kivonatos szektort. Az *Asclepias* kivonat hatása kevésbé volt egyértelmű: az ugróvillások az első időpontokban szignifikánsan elkerülték, de később ez a különbség elmosódott; a fonálféreg pedig esetenként nem mutattak elkerülést.

A megfigyelt viselkedéses válaszok arra utalnak, hogy az inváziós növények kivonatai – feltehetően kémiai összetevőik révén – befolyásolják a talajfauna tagjainak térbeli viselkedését. Ez hosszabb távon a talajbiológiai folyamatok, például a lebontás és tápanyag-felszabadulás dinamikáját is érintheti. Eredményeink hozzájárulnak annak megértéséhez,

hogyan hatnak az inváziós fajok nemcsak a növényzetre, hanem a talajélet mélyebb rétegeire is.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Petrikovszki Renátának, aki belső konzulensemként végig támogatta a szakdolgozatom elkészültét. Szakmai iránymutatása, értékes tanácsai és segítsége nélkül ez a munka nem valósulhatott volna meg. A kísérletek megtervezésében és előkészítésében mindig számíthattam rá, valamint a gyakorlati megvalósítás során is rengeteg segítséget nyújtott. A közös munka során nemcsak a kutatáshoz szükséges szakmai ismeretekkel gazdagodtam, hanem olyan tapasztalatok is szereztem, amelyek későbbiekben is nagyon hasznosak lesznek számomra.

Ezen felül köszönet illeti mindazokat, akik bármilyen formában hozzájárultak a dolgozat elkészítéséhez, és támogattak a kutatás során.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

**Alerding, A. B., & Hunter, R. M.** (2013). Increased springtail abundance in a garlic mustard-invaded forest. *Northeastern Naturalist*, 20(2), 275-288.

**Allison, S. D., & Vitousek, P. M.** (2004). Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawai'i. *Oecologia* 141:612– 619.

**Angers, D. A., & Caron, J.** (1998). Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry* 42:55–72.

**Apati, P., Szentmihályi, K., Kristo, S. T., Papp, I., Vinkler, P., Szóke, E., & Kéry, A.** (2003). Herbal remedies of *Solidago*—correlation of phytochemical characteristics and antioxidative properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 32(4-5), 1045-1053.

**Bagi, I.** (1999). A selyemkóró (*Asclepias syriaca* L.) Egy invazív faj biológiája, a védekezés lehetőségei. *Kitaibelia*, 4(2), 289–295.

[https://kitaibelia.unideb.hu/articles/Kitaibelia\\_vol42\\_p289-295.pdf](https://kitaibelia.unideb.hu/articles/Kitaibelia_vol42_p289-295.pdf) (2024 szeptember)

**Bagi, I.** (2004). Selyemkóró. In: Mihály B.Botta-Dukát Z. (szerk.). *Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények*. Budapest: TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, 319–336.

**Bagi, I., & Bakacsy, L.** (2012). Közönséges selyemkóró. In: Csiszár Á. (szerk.). *Inváziós növényfajok Magyarországon*. Sopron: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 183–187.

**Bakacsy, L.** (2019). Invasion impact is conditioned by initial vegetation states. *Community Ecology*, 20(1), 11-19.

**Bakacsy, L., & Bagi, I.** (2020). Survival and regeneration ability of clonal common milkweed (*Asclepias syriaca* L.) after a single herbicide treatment in natural open sand grasslands. *Scientific Reports*, 10(1), 14222. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70967-9> (2024 szeptember)

**Bernays E, Graham M.** (1988) On the evolution of host specificity in phytophagous arthropods. *Ecology* 69:886–892. .

**Callaway, R. M., Copollini, D., Barto, K., Thelen, G. C., Hallett, S. G., Prati, D., Stinson, K., & Klironomos, J.** (2008.) Novel weapons: invasive plant suppresses fungal mutualists in America but not in its native Europe. *Ecology* 89:1043–1055

**Crocker, R. L., & Major, J.** (1955). Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. *J. Ecol.* 43: 427–448.

**Crone, E. E., Marler, M., & Pearson, D. E.** (2009). Non-target effects of broadleaf herbicide on a native perennial forb: a demographic framework for assessing and minimizing impacts. *J. Appl. Ecol.* 46:673–682

**Duke, S. O., & Powles, S. B.** (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Manag. Sci.* 64:319–325

- Ehrenfeld, J. G.** (2004). Implications of invasive species for belowground community and nutrient processes. *Weed Technol.* 18:1232–1235
- Enserink, M.** (1999). Biological Invaders Sweep In. *Science* 285,1834-1836 <https://doi.org/10.1126/science.285.5435.1834> (2024 szeptember)
- Feng, Y. L., Lei, Y. B., Wang, R. F., Callaway, R. M., Valiente-Banuet, A., Inderjit, Zheng, Y. L.** (2009). Evolutionary tradeoffs for nitrogen allocation to photosynthesis versus cell walls in an invasive plant. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1853-1856.
- Grotkopp, E., Rejmánek, M., & Rost, T. L.** (2002). Toward a causal explanation of plant invasiveness: seedling growth and life-history strategies of 29 pine (*Pinus*) species. *The American Naturalist*, 159(4), 396-419.
- Hartzler, R. G., Buhler, D. D.** (2000). Occurrence of common milkweed (*Asclepias syriaca*) in cropland and adjacent areas. *Crop Protection* 19(5). 363-366.
- Henderson, L.** (1991). Alien invasive *Salix* spp.(willows) in the grassland biome of South Africa. *South African Forestry Journal*, 157(1), 91-95.
- Joffre, R., & Rambal, S.** (1993). How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology* 74:570–582.
- Kelemen, A., Valkó, O., Kröel-Dulay, G., Deák, B., Török, P., Tóth, K. & mtsai** (2016). The invasion of common milkweed (*Asclepias syriaca*) in sandy old-fields—is it a threat to the native flora? *Applied Vegetation Science*, 19, 218–224. <https://doi.org/10.1111/avsc.12225>. (2024 szeptember)
- Kołodziej, B., Kowalski, R., & Kędzia, B.** (2011). Antibacterial and antimutagenic activity of extracts aboveground parts of three *Solidago* species: *Solidago virgaurea* L., *Solidago canadensis* L. and *Solidago gigantea* Ait. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(31), 6770-6779.
- Ledger, K. J., Pal, R. W., Murphy, P., Nagy, D. U., Filep, R., & Callaway, R. M.** (2015). Impact of an invader on species diversity is stronger in the non-native range than in the native range. *Plant Ecology*, 216, 1285-1295.
- Liao, C., Peng, R., Luo, Y., Zhou, X., Wu, X., Fang, C., Li, B.** (2008). Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis. *New phytologist*, 177(3), 706-714.
- Liu, S., Shao, X., Wei, Y., Li, Y., Xu, F., & Wang, H.** (2016). *Solidago canadensis* L. essential oil vapor effectively inhibits *Botrytis cinerea* growth and preserves postharvest quality of strawberry as a food model system. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1179.
- Lockwood JL, Hoopes MF, Marchetti MP** (2007). *Invasion ecology*. Blackwell, Oxford
- Lydon, J., & Duke, S. O.** (1988). Glyphosate induction of elevated levels of hydroxybenzoic acids in higher plants. *J. Agric. Food Chem.* 36:813–818
- Malcolm, S. B.** (1991). Cardenolide-mediated interactions between plants and herbivores. In: Rosenthal, G. A., Berenbaum, M. R. (eds.) *Herbivores: Their Interactions with Secondary Metabolites*. Academic Press, San Diego, CA, USA.

- Metlen, K. L., Aschehoug, E. T., & Callaway, R. M.** (2009). Plant behavioural plasticity in secondary metabolites. *Plant Cell Environ.* 32:641–653.
- Pyšek, P., & Richardson, D. M.** (2007). Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand?. *Biological invasions*, 97-125.
- Radušienė, J., Marksa, M., & Karpavičienė, B.** (2018). Assessment of *Solidago* × *niederederi* origin based on the accumulation of phenolic compounds in plant raw materials. *Weed Science*, 66(3), 324-330.
- Ricciardi, A.** (2013). Invasive Species. In: Leemans, R. (eds) *Ecological Systems*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5755-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5755-8_10) (2024 szeptember)
- Richardson, D. M., & Rejmánek, M.** (2004). Conifers as invasive aliens: a global survey and predictive framework. *Diversity and distributions*, 10(5-6), 321-331.
- Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmanek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J.** (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions*, 6(2), 93-107.
- Rusek, J.** (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity & Conservation*, 7, 1207-1219.
- Seastedt, T. R.** (1984). The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual review of entomology*, 29(1), 25-46.
- Shelepova, O., Vinogradova, Y., Zaitchik, B., Ruzhitsky, A., Grygorieva, O., & Brindza, J.** (2018). Constituents of the essential oil in *Solidago canadensis* L. from Eurasia. *Potravinarstvo*, 12(1).
- Sikorska, M., Matławska, I., Głowniak, K., Zgórk, G.** (2000). Qualitative and quantitative analysis of phenolic acid in *Asclepias syriaca* L. *Acta Poloniae Pharmaceutica* 57(1). 69- 72.
- Szilassi, P., Szatmári, G., Pásztor, L., Árvai, M., Szatmári, J., Szitár, K., Papp, L.** (2019). Understanding the Environmental Background of an Invasive Plant Species (*Asclepias syriaca*) for the Future: An Application of LUCAS Field Photographs and Machine Learning Algorithm Methods. *Plants* 8(12). 593.
- Szitár, K., Kröel-Dulay, G., Török, K.** (2018). Invasive *Asclepias syriaca* can have facilitative effects on native grass establishment in a water-stressed ecosystem. *Applied Vegetation Science* 21: 607-614.
- Vilà, M., Espinar, J. L., Hejda, M., Hulme, P. E., Jarošík, V., Maron, J. L., Pyšek, P.** (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology letters*, 14(7), 702-708.
- Wagenitz, G.** (1964). *Solidago* L. Pages 16–29 in G. Hegi, editor. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Volume VI(3.1). Carl Hanser, Munich
- Weber, E., & Schmid, B.** (1998). Latitudinal population differentiation in two species of *Solidago* (*Asteraceae*) introduced into Europe. *American journal of Botany*, 85(8), 1110-1121.
- Weidenhamer, J. D., & Callaway, R. M.** (2010). Direct and indirect effects of invasive plants on soil chemistry and ecosystem function. *Journal of chemical ecology*, 36, 59-69.

**Wolkovich, E. M., Bolger, D. T., & Cottingham, K. L.** (2009). Invasive grass litter facilitates native shrubs through abiotic effects. *Journal of Vegetation Science*, 20(6), 1121-1132.

**Zihare, L., Blumberga, D.** (2017). Insight into bioeconomy. *Solidago canadensis* as a valid resource. Brief review. *Energy Procedia*, 128, 275-280.

## 9. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. **ábra:** A kísérletek előkészítése (Fotó: Gulyás Ágnes), 18. oldal
  2. **ábra:** A kísérlet során alkalmazott sablon (Fotó: Petrikovszki et al., 2023), 20. oldal
  3. **ábra:** *Asclepias* és *Solidago* kivonatok kémhatása különböző koncentrációkban (ANOVA, Tukey-féle post hoc teszt, az eltérő betűk a szignifikáns ( $p \leq 0,05$ ) különbségeket jelzik, 23. oldal
  4. **ábra:** *Asclepias* és *Solidago* 1,25, 2,5 és 5%-os kivonatainak hatása a *Panagrellus redivivus* fonálféreg faj területválasztására, százalékban megadva (Welch-teszt,  $p \leq 0,05$ ), 27. oldal
- 
1. **táblázat:** *Asclepias* és *Solidago* 1,25, 2,5 és 5%-os kivonatainak hatása a *Panagrellus redivivus* fonálféreg faj területválasztására, százalékban megadva (Welch-teszt,  $p \leq 0,05$ ), 24. oldal

## 10. NYILATKOZATOK

### NYILATKOZAT

\_\_\_\_\_ Gulyás Ágnes \_\_\_\_\_ (név) (hallgató Neptun azonosítója: \_\_PED3WJ\_\_\_\_\_)  
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a  
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az  
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól  
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő  
védésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>3</sup>

Kelt: \_\_\_\_\_ 2025 \_\_\_\_\_ év \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ hó \_\_\_\_\_ 15 \_\_\_\_\_ nap

  
belső konzulens

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.

## NYILATKOZAT

### a záródolgozat/szakedolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>1</sup> nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Gulyás Ágnes  
A Hallgató Neptun kódja: PED3WJ  
A dolgozat címe: Invazív növények kivonatainak hatása a a talaj egyes gerinctelen csoportjaira  
A megjelenés éve: 2025  
A konzulens intézetének neve: Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Állattani és Ökológiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakedolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>2</sup> egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

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

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: \_\_\_\_ 2025 \_\_\_\_ év \_\_\_\_ 09 \_\_\_\_ hó \_\_\_\_ 15 \_\_\_\_ nap

  
Hallgató aláírása

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

## Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

### 1. Általános adatok

Hallgató neve:	Gulyás Ágnes
Neptun-kódja:	PED3WJ
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: .....
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat készítés
A munka címe:	Invazív növények kivonatainak hatása a talaj egyes gerinctelen csoportjaira

\* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

### 2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

### 3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

**I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)**

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

**II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)**

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka **mellékletében való csatolása szükséges.**)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet

	verziója, elérhetősége		bejegyzésének sorszáma

### 3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

*Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.*

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

### 4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Gödöllő, 2025. 11.10.

.....  
Gulyás János

Hallgató aláírása

.....  
Békevári Renáta

Konzulens/Témavezető aláírása