

SZAKDOLGOZAT

NAGY ESZTER JULIANNA

2025



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

A 17B-ÖSZTRADIOL HORMON HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA
***PANAGRELLUS REDIVIVUS* FONÁLFÉREG FAJON**

Belső konzulens: Dr. Seres Anikó
egyetemi docens
Dr. Kiss Lola Virág
tudományos munkatárs

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

Készítette: **Nagy Eszter Julianna**

Gödöllő

2025

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések.....	3
2.	Szakirodalmi áttekintés	5
2.1.	Az ösztrogének és a 17 β -ösztradiol bemutatása.....	5
2.1.1.	A 17 β -ösztradiol hatásai az emberi szervezetben	5
2.1.2.	Az ösztrogének szerepe az állatokban	6
2.1.3.	Ösztrogének mint endokrin zavaró vegyületek	6
2.2.	Az ösztrogének forrása a természetben	6
2.2.1.	Az emberi szervezetből származó ösztrogének	7
2.2.2.	Szennyvíziszap mezőgazdasági területen való használata	8
2.2.3.	Az állatok által kibocsátott szteroid hormonok	8
2.3.	A hígtrágya termőföldön való használatára vonatkozó szabályok	9
2.4.	Az ösztrogénekkel, ösztrogénhatású anyagokkal kapcsolatos előírások.....	10
2.4.1.	A 17 β -ösztradiol állattenyésztésben való alkalmazása	10
2.4.2.	Az ivóvíz minőség-ellenőrzéssel kapcsolatos előírások.....	10
2.5.	A növények ösztrogén felvétele	11
2.6.	Az ösztrogén hatása a talajfaunára	11
2.6.1.	17 β -ösztradiollal végzett vizsgálatok	11
2.7.	Tesztállat bemutatása.....	12
2.7.1.	Fonálféregk.....	12
2.7.2.	A <i>Panagrellus redivivus</i> fonálféreg faj bemutatása.....	14
2.8.	A fonálféregk szerepe a talajökoszisztémában	15
2.9.	Az ökotoxikológia bemutatása	16
2.10.	Az ökotoxikológia és a természetvédelem kapcsolata	16
2.11.	Ökotoxikológiai tesztek fonálféregkkel	17
3.	Alkalmazott módszerek.....	18
3.1.	Statisztikai módszerek és eszközök.....	18
3.2.	Dimetil-szulfoxid oldószer teszt.....	18
3.3.	A 17 β -ösztradiol vizsgálata Nematoda mortalitási és immobilitási teszttel.	20
4.	Eredmények és értékelésük	22
4.1.	Dimetil-szulfoxid oldószer teszt.....	22
4.2.	17 β -ösztradiol (E2) vizsgálata Nematoda mortalitási teszttel.....	22
4.3.	17 β -ösztradiol vizsgálata Nematoda immobilitási teszttel.....	23
4.4.	Eredményeink összevetése hasonló kutatásokkal	26
4.4.1.	17 β -ösztradiol Nematoda mortalitási teszthez hasonló vizsgálatok.....	26
4.4.2.	17 β -ösztradiol Nematoda immobilitási teszthez hasonló kutatások.....	27

5.	Következtetések és javaslatok.....	28
5.1.	Következtetések	28
5.2.	Javaslatok	28
6.	Összefoglalás.....	30
7.	Köszönetnyilvánítás	31
8.	Irodalomjegyzék.....	32
9.	Ábrák és táblázatok jegyzéke	37
9.1.	Ábrajegyzék	37
9.2.	Táblázatjegyzék.....	37
10.	Melléletek.....	38
11.	Nyilatkozatok	41

1. Bevezetés és célkitűzések

Az elmúlt évtizedekben az intenzív ipari és mezőgazdasági fejlődés következtében a környezetünkbe kerülő szennyezőanyagok mennyisége jelentősen megnőtt. Mind a mesterséges, természetidegen anyagok, mint a műtrágyák, növényvédő szerek, növekedésserkentők, mind a természetes módon előforduló anyagok, például a növényi, állati és emberi hormonok a környezetbe kerülve káros hatással lehetnek az élővilágra.

A természetes eredetű hormonok, elsősorban a szteroid ösztrogének, az ösztron, a 17β -ösztradiol, a 17α -ösztradiol és az ösztriol fontos szerepet töltenek be az állati és emberi szervezet normál működésében. Részt vesznek a reprodukív rendszer szabályozásában és a normál anyagcsere-működésben is. A szervezetből a környezetbe kerülve azonban endokrin rendszert zavaró anyagként viselkedhetnek, komoly kockázatot jelentve az ott élő populációkra, valamint a táplálékláncba bekerülve, az emberre is.

A hormonok nagy része az egyre jobban fejlődő mezőgazdasági termelés eredményeként kerül ki a környezetbe. Az istállótrágya és hígtrágya termőföldön való használatával jelentős mennyiségű ösztrogénmaradvány kerül a talajba, amely a termőföldi növények elfogyasztásával bekerülhet a szervezetünkbe, valamint a talajból a csapadék által tovább terjedhet. A hormonmaradványok a talaj mélyebb rétegeibe lemosódva elérhetik a talajvizet, így később ivóvízbázisok is szennyeződhetnek. Nagyobb esőzéssel pedig a talajból kimosódva patakokba, folyókba, tavakba kerülhetnek, ahol veszélyt jelenthetnek a helyi ökoszisztémákra.

A természetbe kikerülő hormonok másik fő forrása kommunális eredetű. A háztartásokból származó szennyvízzel nemcsak a természetes, emberi szervezet által termelt hormonok, hanem gyógyszermaradványokból (fogamzásgátlókból, hormonpótló szerekből) eredő hormonmaradványok is bekerülhetnek természetes vizeinkbe. Bár a szennyvíz csak tisztítás után kerülhet a folyókba, patakokba, a biológiai tisztítás után bizonyos hormonok csak részben bomlanak le, maradványaik a tisztított szennyvízben megmaradhatnak, így a természetes vizekbe is továbbítódnak.

A természetes hormonok lehetséges ökotoxikus hatásával és endokrin zavaró tulajdonságával egyre több tudományos kutatás foglalkozik. Sok olyan teszt készült, amely a vízi élőlényekre való hatást vizsgálja, olyan azonban, ahol a tesztállat szabadon élő, talajlakó faj, kevesebb született. Vizsgálataimhoz ezért is választottam egy szárazföldi talajlakó fonálféreg fajt.

Dolgozatomban egy természetes ösztrogén hormon, a 17β -ösztradiol hatását vizsgáltam *Panagrellus redivivus* fonálféreg fajon. A laboratóriumi tesztek során a következő kérdésekre kerestük a választ:

- A 17β -ösztradiol okoz-e mortalitást a hét vizsgált koncentrációban, és ha igen, milyen mértékűt?
- Van-e koncentrációfüggő hatása, ha a testállatok mortalitását nézzük?
- Okoz-e a hormon változást a vizsgált állatok mozgási aktivitásában?

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Az ösztrogének és a 17β -ösztradiol bemutatása

Az ösztrogének olyan biológiailag aktív hormonok, amelyek az emberi szervezetben a mellékvesekéregben, a petefészekben, a herében és a placentában szintetizálódnak, szabadulnak fel (Gubó et al. 2019). Az ösztrogén hormonok nemcsak az emberi szervezetben találhatóak meg, hanem az állatokban is termelődnek (Adeel et al. 2017), illetve minden gerinces élőlény fontos hormonja, az androgének és gesztrogének mellett, amelyek együtt szabályozzák a normál reprodukzív rendszer működését (Lange et al. 2002).

Az ösztrogéneket eredetileg női hormonoknak tartották, és csak a női reprodukzív fejlődéssel és funkciókkal hozták kapcsolatba, ennek ellenére jelentős szerepet játszanak a férfi reprodukzív szervekben, szabályozzák azt, illetve élettani szerepet játszanak mindkét nem több szervében is (Cooke et al. 2017).

A szteroid ösztrogéneket két csoportra bontják: természetes és szintetikus hormonok. A természetes ösztrogének közé tartozik az ösztron, a 17β -ösztradiol, a 17α -ösztradiol és az ösztriol. Szintetikus ösztrogén az etinilösztradiol (Gubó et al. 2019).

A leghatásosabb ösztrogénhormon a 17β -ösztradiol (rövidítve: E_2). Embereknél típusosan a reprodukzív korban lévő nők szabályozó hormonja, de a méhen belüli fejlődés alatt, illetve a menopauza után is termelődik a zsírszövetben, ilyenkor már csak kisebb mennyiségben. Keletkezik ezenkívül a férfiak Leydig sejtjeiben, a herékben és a zsírszövetben is (Fonyó 2011).

2.1.1. A 17β -ösztradiol hatásai az emberi szervezetben

Az ösztrogén hormonok (köztük a 17β -ösztradiol is) létfontosságúak az ember egészséges biológiai és élettani folyamatainak fennmaradásához. A 17β -ösztradiolnak alapvető reprodukzív és nem reprodukzív hatásai vannak. Csontállomány-megtartó hatásával szerepet játszik az ép csontszövet fenntartásában, illetve fokozza a kalcium felszívását a vérből. Ezekből következik, hogy ösztrogénhiányban csonttritkulás lép fel. Elősegíti a koleszterin felvételét és kiválasztását, emellett csökkenti a zsírszövet tömegét. Ezzel hozzájárul a normál lipidanyagcseréhez. Szerepet játszik a bőr normál vastagságának fenntartásában és a hormonszintézisében is. Ezek a nem reprodukzív hatások mindkét nemben jelen vannak, bár a férfiakban sokkal kisebb mértékben (Fonyó 2011).

2.1.2. Az ösztrogének szerepe az állatokban

Az ösztrogén hormonok, úgy, mint az emberi szervezetben, az állatokban is fontos szerepet játszanak. Főleg a reprodukzív folyamatokban vesznek részt, illetve egyéb fontos fiziológiai hatásaik is vannak. Nagyobb részben a nőstény állatok testében termelődnek, de kisebb mértékben a hímek szervezetében is megtalálhatóak. A legfőbb és legnagyobb biológiai aktivitással rendelkező ösztrogén hormon a 17β -ösztradiol (http1).

2.1.3. Ösztrogének mint endokrin zavaró vegyületek

A szteroid ösztrogének, a természetes és szintetikus hormonok is, a környezetből a szervezetbe kerülve endokrin zavaró vegyületekként viselkedhetnek (Adeel et al. 2017).

Az endokrin zavaró vegyületek (endocrine-disrupting chemicals, EDC-k) olyan anyagok, amelyek megtalálhatóak a környezetben (a levegőben, talajban, vízben), élelmiszerekben, kozmetikai és testápoló termékekben, valamint az előállított, gyártott készítményekben is, és zavarják a test endokrin rendszerének normális működését. Mivel ezek a vegyületek számos különböző forrásból származnak, káros hatásaiknak többféleképpen is ki vagyunk téve, legfőképpen a belélegzett levegővel, az ivóvízzel, az étellel, amit megesszünk, valamint a bőrön át is bejuthatnak szervezetünkbe (Ruiz & Patisaul 2022). Testünkbe kerülve okozhatnak fejlődési rendellenességet, reprodukciós-, ideg- és immunrendszeri zavarokat és fokozhatják a daganatos betegségek kialakulásának kockázatát (http2).

2.2. Az ösztrogének forrása a természetben

Ha megvizsgáljuk az emberi és állati ösztrogéneknek a szervezetből a környezetbe való kikerülését és felhalmozódását, különbségeket találunk köztük. Az emberi szervezet által termelt szteroid ösztrogének nagy része városi szennyvíztisztító telepeken gyűlik össze, míg az állati ösztrogének trágyatároló létesítményekben, üzemekben halmozódnak fel. Ezek a szteroidok a szennyvíz és a trágya folyékony és szilárd alkotórészeiben is megtalálhatóak (Combalbert és Hernandez-Raquet 2010).

Az egész világ lakossága évente körülbelül 30 ezer kilogramm természetes szteroid ösztrogént és további 700 kg/év szintetikus hormont bocsát a környezetbe kizárólag fogamzásgátlók által. Az állattartásból származó ösztrogének mennyisége feltehetően még ennél is nagyobb mértékű lehet (http2).

2.2.1. Az emberi szervezetből származó ösztrogének

A természetes vizek szteroid hormonokkal való szennyeződése az egész világon egyre nagyobb problémát jelent. A leggyakoribb ilyen hormonok a természetes ösztron, ösztradiol, ösztriol és a mesterséges etinilösztradiol. Folyókba, vizekbe való kerülésüknek legfőbb forrása a szennyvíz, ugyanis a szennyvíztisztító telepek hagyományos tisztítási módjai nem elegendők a hormonok teljes lebontására. Így a megtisztított szennyvízben is maradnak még hormonmaradványok, amik kikerülnek a környezetbe (Grzegorzek et al. 2024).

A háztartásból származó, kommunális szennyvíz mellett fő forrás lehet még a kórházak szennyvize, az állatorvosi rendelők, a gyógyszer- és kozmetikai ipar, valamint különböző gyártási, termelési folyamatokból származó hormonok maradványai (Grzegorzek et al. 2024).

Grobin és munkatársai egy 2024-ben végzett kutatásában is kimutatták, hogy a természetes és mesterséges hormonok jó része emberi tevékenységből kerülhet a környezetbe. A vizsgált szennyvizekben mért ösztradiol és ösztron mennyisége pozitív korrelációt mutatott az adott település népsűrűségével és a környezetszennyezés mértékével. Vagyis minél sűrűbben lakott a hely, annál nagyobb mennyiségű ösztrogén hormon kerül a szennyvízbe, és annál komolyabb a környezetszennyezés mértéke is. Több tényezős kockázatbecslés alapján megállapították, hogy a legmagasabb környezeti és ökológiai kockázatot a vízi élővilágra a biszfenolok mellett az E2 (ösztradiol) és az E1 (ösztron) jelenti. Mivel a hormonok egyidejűleg vannak jelen a vizekben, és már külön-külön is veszélyt jelentenek, hatásuk összeadódva még nagyobb kockázatot hordozhat.

Laurenson munkatársaival kutatásukban (2014) azt vizsgálták, hogy a humán gyógyszerészeti eredetű ösztrogének, főleg a gyakori fogamzásgátló szer, a 17α -etinilösztradiol (EE2) hogyan kerülhetnek a környezetbe, és milyen ökológiai kockázatot jelenthetnek. A mért és modellezett felszíni víz-koncentrációs adatok alapján megállapították, hogy az EE2 hormon mennyisége a szennyvíztisztók alatti felszíni vizek legnagyobb részében határérték alatti, és átlagos koncentrációja a vizsgált vízfolyásokban bőven a biztonsági küszöbérték alatt van. Az emberi gyógyszerészeti eredetű ösztrogének a környezet teljes ösztrogénterhelésében csak kis mértékben vesznek részt, a fő forrást nem ezek teszik ki, hanem a természetes ösztrogének. Így bár a mesterséges ösztrogének erősebb biológiai hatásúak, kisebb mennyiségben vannak jelen a környezetben, míg a természetes ösztrogének gyengébbek, de jóval nagyobb mértékben járulnak hozzá a környezet ösztrogénszennyezéséhez.

2.2.2. Szennyvíziszap mezőgazdasági területen való használata

A már tisztított szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági alkalmazásával nagymértékben tudjuk a talajok szervesanyag és tápanyag-utánpótlását biztosítani. Termőföldön való használatuk szigorú szabályokhoz kötött, talaj- és környezetvédelmi előírások betartásával lehetséges csak. A települési szennyvíz tisztításának és kezelésének (biológiai, kémiai vagy hőkezelés) célja a benne lévő szennyezőanyagok lebontása (http3). Mivel azonban ezek az eljárások nem tökéletesek, a szennyezők nem tudnak teljes mértékben lebontódni, így a szennyvíziszap kezelés után még veszélyes anyagok komplex keverékét tartalmazhatja (Pozzebon és Seifert 2023). Ösztrogén hormonok, hormonmaradványok lehetnek még benne (például ösztron és progeszteron), amik aztán az iszappal a termőföldre jutnak (Bevacqua et al. 2011).

2.2.3. Az állatok által kibocsátott szteroid hormonok

A haszonállatok szervezetében termelődő ösztrogén hormonok az állati ürülékkel, illetve vizelettel választódnak ki, így kerülnek a környezetbe. A kérődzőknél főleg széklettel, a disznóknál viszont vizelettel távoznak (Lange et al. 2002).

Azokban az országokban, ahol a hormonális növekedésszabályozó gyógyszerek haszonállatoknak való adása engedélyezett (vagy engedélyezett volt még a 2000-es évek elején), a környezetbe kerülő szteroid hormonok nagy részéért az állattartó telepeken keletkező trágya volt a felelős. 2000-ben például a haszonállatok által kibocsátott ösztrogén becsült mennyisége az Európai Unióban elérte a 33 tonnát, az Amerikai Egyesült Államokban pedig a 49 tonnát (Lange et al. 2002).

Hormonális növekedésszabályozók nélkül a haszonállatok természetes hormontermelése, és kibocsátása jóval alacsonyabb, de még így is kimutatható az ürülékükben, illetve vizeletükben. Az állati székletben az ösztrogén hormonok közül főleg az ösztron, a 17α - és a 17β -ösztradiol mutatható ki (Lange et al. 2002).

Mivel a haszonállatok trágyáját nagyon sok mezőgazdaságban alkalmazzák, a termőföld a hormonok egyik fő forrása lehet a környezetben (Lange et al. 2002).

A trágya tágabb értelemben véve minden olyan anyag, amely a talaj termékenységét növeli, szűkebb értelemben pedig csak azok az anyagok, amik a növényeket táplálják. A termőtalaj trágyázására azért van főleg szükség, mert a mezőgazdasági növénytermesztéssel a talaj hasznosítható tápanyagtartalma fokozatosan csökken, ami termés csökkenéssel is jár. Így a trágya nemcsak tápanyag-visszapótló, hanem termésmenvelő hatású is egyben (Hajós 1993).

A trágyákat két nagyobb csoportra szokás bontani: szerves és műtrágyák. A szerves trágyák nagyrészt mezőgazdasági üzemekben képződnek, míg a műtrágyák olyan ipari termékek, amik szervesetlen vegyületekből állnak. A haszonállatok trágyája ennek tekintetében szerves trágya (Hajós 1993).

Szerves trágyák közül a legfontosabbak az almos istállótrágya, az alom nélküli tartásból származó hígtrágya, a zöldtrágya, a komposzt és a biohumusz. Ezek közül az istállótrágya és a hígtrágya az állattenyésztésben képződik (Hajós 1993).

Az 59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet 2. §-a alapján az istállótrágya főleg állati ürülékből, vizeletből áll, és tartalmazhat alomanyagot is. A hígtrágya folyékony halmazállapotú szervestrágya.

Az istállótrágya képződése után még nem alkalmas azonnali felhasználásra, azt érlelni és kezelni kell. A friss trágyát trágyakazalba teszik, ahol az erjedés során oxidációs és redukációs folyamatok zajlanak. Érleléssel (erjesztéssel) az alomanyag lebontódik, és az érett istállótrágya körülbelül 100 nap alatt jön létre. Az istállótrágya kijuttatásának időpontja általában nyár vége-ősz (Hajós 1993).

2.3. A hígtrágya termőföldön való használatára vonatkozó szabályok

A Kormányhivatal (2024) által kiadott tájékoztató szerint a hígtrágya termőföldön való felhasználása előtt talajtani szakvéleményre alapozott talajvédelmi hatósági engedély kérése szükséges. Az engedélyhez „a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól” szóló 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet alapján talajvédelmi tervet kell készíteni.

A 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet, illetve Gubó és munkatársai (2019) összefoglalták a hígtrágya felhasználását kizáró okokat, korlátozó tényezőket, a kijuttatásnál betartandó közegészségügyi védőtávolságokat, várakozási időket, illetve a szükséges helyszíni mintavétel szabályait. Meghatározásra kerültek a hígtrágya mintán végzendő laboratóriumi vizsgálatok. A tápanyag-, (össznitrogén, nitrát, ammónium, só), szárazanyag- és szervesanyag-tartalom elemzésén felül azonban a potenciális szennyezőanyagok, mint például a hormontartalom, és az ösztrogének mennyiségének vizsgálatáról a jogszabály nem rendelkezik.

2.4. Az ösztrogénekkal, ösztrogénhatású anyagokkal kapcsolatos előírások

2.4.1. A 17 β -ösztradiol állattenyésztésben való alkalmazása

Az Európai Parlament és az Európai Unió Tanácsának 96/22/EK irányelve, illetve a 2003/74/EK irányelve alapján az Európai Unióban tilos haszonállatoknak az ösztrogénhatású anyagok adása. Csak szigorú feltételek mellett, terápiás célból vagy tenyésztéstechnikai kezelés miatt alkalmazható, korlátozott ideig és mennyiségben.

1999-ben az Európai Bizottság közegészségügyi vonatkozású állat-egészségügyi intézkedésekkel foglalkozó tudományos bizottsága (SCVHP, Scientific Committee on Veterinary Measures Relating to Public Health) véleményt tett közzé a marhahúsban és az abból készített termékekben található hormonmaradványok emberi egészségre kifejtett lehetséges káros hatásairól. Megállapították, hogy a hat vizsgált hormon - köztük a 17 β -ösztradiol - hormonmaradványként történő túlzott bevitele kockázatot jelent az emberre. Endokrin, fejlődési, immunológiai, neurobiológiai, immunotoxikus, genotoxikus és rákkeltő hatásukra lehet számítani. A 17 β -ösztradiolt külön kiemelték, véleményük szerint karcinogén anyagként kéne tekinteni rá, mivel tumorképző, és tumor növekedést serkentő hatása is van. A legveszélyeztetettebb csoportot a pubertás kor előtt álló fiatalok jelentik. A bizottság arra a következtetésre jutott, hogy a vizsgált hormonoknál nem lehet küszöbértékeket meghatározni.

A 17 β -ösztradiolnál a szermaradványok bevitele azért is nagyobb jelentőséggel bírhat, mert a hormon valamennyi haszonállatnál alkalmazható, így a káros hatásai több embert érinthetnek.

Az Európai Parlament és a Tanács 2003/74/EK irányelve alapján az állattenyésztőknek tilos a gazdaságukban 17 β -ösztradiolt vagy annak észterszerű származékait tartalmazó állatgyógyászati készítményeket tartani, és ezek haszonállatoknak történő beadását a tagállamok csak néhány kivételes esetben engedélyezhetik (szarvasmarháknál előforduló magzati maceráció vagy mumifikáció, illetve gennyes méhgyulladás kezelésére).

2.4.2. Az ivóvíz minőség-ellenőrzéssel kapcsolatos előírások

A Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) (2023) az ivóvízszolgáltatás során ellenőrzésre kerülő újonnan megjelenő és potenciális egészségkockázattal rendelkező paraméterek megfigyelési listájára felvette a 17 β -ösztradiol hormont. A döntést az indokolja,

hogy a hormon az endokrin rendszert zavaró vegyületek közé tartozik, így az ivóvízből a szervezetbe kerülve káros hatással lehet arra, befolyásolhatja az emberi szervezet hormonháztartását.

2.5. A növények ösztrogén felvétele

A talajban lévő szennyezőanyagok többféleképpen is bekerülhetnek a növényekbe: a gyökereken át felszívódhatnak, aktív és passzív transzporttal, illetve, ha a növény közvetlenül érintkezik a talajjal, felszívódhatnak a szövetekbe (Trapp és Legind 2010).

A poláros szennyezőanyagok a talajból felszívódva a növények leveleiben és gyümölcsében halmozódhatnak fel, míg a lipofil (vagyis zsírban oldódó) szennyezők a talajban, gyökerekben és a szár alsó részében mutathatók inkább ki, a leveleket és gyümölcsöket nagy mennyiségben már nem érik el (Trapp és Legind 2010). Ennek tudható be, hogy az emlősállatok által kibocsátott ösztrogének a talajból felszívódva, a növények gyökerében és alsó szárában tárolódhatnak nagyobb mennyiségben (Adeel et al. 2017). Ezért a gyökérszövedégek fogyasztása káros hatással lehet az emberi szervezetre (Adeel et al. 2023).

2.6. Az ösztrogén hatása a talajfaunára

A környezetben megtalálható ösztrogének bizonyítottan hatással vannak az állatvilágra, az azokkal való érintkezés az állatokat különböző betegségeknek, egészségkárosodásnak tehetik ki (Wojnarowski et al. 2021).

2.6.1. 17 β -ösztradiollal végzett vizsgálatok

Ghali és munkatársai megállapították (2016), hogy a 17 β -ösztradiolnak toxikus hatásai vannak a zöld levelibéka (*Hyla arborea*) faj fejlődésére. Az átalakulás során, illetve a fiatal egyedek közt megnőtt a fajok mortalitása, a fejlődés lassabb volt, illetve külső megjelenésbeli változásokat tapasztaltak a fiatalabbak között.

Egy Portugáliában végzett vizsgálatban Azevedo és társai földigiliszta fajon (*Eisenia fetida*) végeztek kísérleteket 17 β -ösztradiollal, valamint különböző szója izoflavonokkal. Hosszabb teszt során 8, illetve 20 hét elteltével nem tapasztaltak jelentős mértékű eltérést a tesztállatok és utódaik számát illetően a kontroll és a 17 β -ösztradiollal kezelt csoportok között (Azevedo et al. 2025).

Mao munkatársaival végzett vizsgálatában (2022) a 17β -ösztadiol hormon és különböző szemcseméretű mikroműanyagok hatását tanulmányozta külön-külön és együttesen is egy kerekeshéreg fajon (*Brachionus plicatilis*). A mikroműanyagokat három szemcseméretben (50, 100 és 500 nm), a hormont pedig öt koncentrációban (0, 1, 10, 100 és 1000 $\mu\text{g/l}$) tesztelték. Azt tapasztalták, hogy a hormon önmagában nincs hatással a tesztállat életciklusaira, élettartamára és populációjának növekedésére sem. Nagyobb szemcseméretű mikroműanyagokkal kombinálva azonban már jelentős mértékű negatív hatást észleltek az állatok élettartamában, az utódok számában, a reprodukciós életszakasz hosszában és a populáció növekedésében. Vagyis, míg a 17β -ösztadiol önmagában valószínűleg nem jelent veszélyt erre a kerekeshéreg fajra, más szennyezőanyagokkal, például nagyobb méretű mikroműanyagokkal együtt már komoly károkat okozhatnak.

Hu és munkatársai (2011) egy szabadon élő fonálféreg közösségen vizsgálták több szteroid hormon (az ösztroin, ösztadiol, progeszteron és a tesztoszteron) hatását. Az ösztroin, a progeszteron és a tesztoszteron tartósan fennmaradt a talajban, míg az ösztadiol hamar lebomlott. Ennek megfelelően az első három hormon hatására a megfigyelt fonálférgek száma a kísérlet végére csökkent, az ösztadiolnak viszont nem volt erre hatása.

2.7. Tesztállat bemutatása

2.7.1. Fonálférgek

A fonálférgek törzsét már több, mint háromezer éve ismerjük (Crofton 1966). A fajok száma pontosan nem ismert. A közel húszezer eddig leírt faj mellett jelentős mennyiségben élnek az eddig még ismeretlenek is, így a becsült értékük több százezer körül van. A Földön szinte mindenhol megtalálhatóak, talajban és vízben egyaránt, illetve élősködőként növények és állatok testében is (Bakonyi et al. 2003; Godó 2011).

Kiváló alkalmazkodó képességeik miatt olyan helyeken is élnek, ahol más állatfaj nem képes. Tengerek mélyebb rétegeiben, felsős vizekben, illetve szélsőséges körülmények között, szikes tavakban, hőforrásokban és még sivatagokban is jelen vannak (Bakonyi et al. 2003).

A fonálférgek egy része képes anabiózisra. Kedvezőtlen környezeti feltételek mellett testük víztartalmának nagy részét elvesztik, összezsugorodnak, és életképességüket megtartva, akár évekig szüneteltethetik életműködéseiket. Nagy mértékű elterjedésük, kozmopolita életmódjuk főleg ennek köszönhető (Bakonyi et al. 2003).

Két nagyobb csoportba oszthatóak, szabadon élők és paraziták. Az élősködő fajok fertőzhetnek növényeket, állatokat és embereket. Az első növényi élősködőket csak a 18. században fedezték fel. Az első emberi fonálféreg parazitákat viszont több, mint háromezer évvel ezelőtt (Crofton 1966).

Táplálkozásuk szerint hat további csoportba lehet sorolni a fajokat. A legtöbb mindenevő, ezek bomló szerves anyagokon élnek, és fontos szerepük van ezek lebontásában. A ragadozók általában más fonálféreggel, kerek férgekkel, medveállatkákkal vagy kis testű gyűrűsféreggel táplálkoznak. A paraziták növényi gyökereket fertőznek meg, azokon cisztákat képeznek. Számos faj növényevő, illetve baktériumokat, gombákat, algákat fogyasztó (Bakonyi et al. 2003; Godó 2011).

A fonálféreg váltivarú állatok, és petékkel szaporodnak, általában ovipar élőlények. A peték a nőtény testén kívül fejlődnek (Maggenti 1991). Nemcsak ovipar, hanem vivipar, illetve ovovivipar fajok is vannak köztük. Az ovovivipar egyedek (az oviparokkal ellentétben) utódaikat nem zigóta állapotban rakják le, azok fejlődése a peteburkon belül már elkezdődött, és egy bizonyos állapotig eljutott. A vivipar fajok mozgásra képes lárvaikat hoznak világra. A lárvaik hasonlítanak a kifejlett állatokra (Bakonyi et al. 2003).

Életükben öt stádiumon mennek keresztül, és négyszer vedlenek (Maggenti 1991). Előfordul, hogy az első és a második vedlés hamarabb, még a peteburkon belül lejár szodik. Testfelszínüket kutikularéteg borítja, vedléskor ennek régi, felső rétegét távolítják el az állatok. A kutikula a vedlések közötti időszakban is növekszik. A harmadik stádiumban lévő lárvaiké már ellenáll a szélsőséges körülményeknek. A kifejlett egyedek már nem vedlenek, kutikulájuk viszont tovább nő (Bakonyi et al. 2003).

Néhány elsődleges tulajdonságuk csak rájuk jellemző, más élőlényénél nem figyelhető meg. Ilyen a megnyúlt, hengeres, keresztmetszetben kör alakú testforma. Bőrük alatt bőrízomtömlő található, ami csak hosszanti lefutású izomrostokból áll, körkörös rostok nincsenek. Ez kígyózó mozgást eredményez (Bakonyi et al. 2003; Godó 2011).

Bár a legjellemzőbb testforma a megnyúlt, hengeres, viszont léteznek fajok, amelyek szinte gömb vagy körte alakúak. Az egyszerű hengeres kinézettől való eltérés azonban nagyon ritka, és mindig együtt jár a mozgási képességek teljes vagy részleges elvesztésével. Az ilyen különleges eseteknél is sokszor csak a nőtényre jellemző az alakbeli eltérés (Crofton 1966). A megnyúlt, hosszúságú testfelépítés a talajlakó fajokra kifejezetten jellemző. Ez azzal magyarázható, hogy a talaj viszonylag sűrű közeg, a benne élő állatok a hosszabb testformával alkalmazkodtak ehhez (Godó 2011).

Testhosszúságuk változó, a legkisebbek nem érik el az egy millimétert sem, a legnagyobbak viszont akár több méter hosszúak is lehetnek. A talajban élők és az élősködők között vannak jelentősebb méretbeli különbségek. Az állatok élősködői jóval nagyobbak, míg a talajban szabadon élők általában csak mikroszkopikus méretűek. Nemek közti különbség is megfigyelhető, az azonos fajba tartozó egyedeknél a nőstény mindig vastagabb a hímnél. (Bakonyi et al. 2003).

Bár a fajok közt alak- és hosszúságbeli különbségeket találunk, testfelépítésük, belső szerveik minden egyednél hasonlóak (Crofton 1966). A belső szervek folyadékkal teli testüregben (pseudocoel) találhatóak, ez adja az állat hidrosztatikai vázát is egyben. A testüregben lehetnek meghatározott helyeken és számban rögzült sejtek, amelyek a testbe került idegen anyagok bekebelezésében játszanak szerepet (Bakonyi et al. 2003).

Háromszakaszos emésztő szervrendszerük van, ami szájnyílásból, garatból, nyelőcsőből és nem izmolt bélcsőszakaszokból áll. A szájnyílásnál lehetnek ajkak vagy tapintószemölcsök, serték. A szájüreg kutikulával bélelt, benne fogszerű képletek, illetve szájszurony lehetnek. A bélcső fala egyrétegű hengerhámsejtekből áll, mikrobolyhok vannak belső felszínén. Mivel a bélcső nem izmolt, a táplálék a test mozgásával és az újabb felvett táplálék tolóhatásával továbbítódik abban (Bakonyi et al. 2003).

Elkülönült légzőszervük nincs, a gázcsere a kültakarón át történik. A belső élősködő fonálféreg fajok elsődlegesen anaerobok, és közülük soknak csak anaerob mechanizmusa van. A szabadon élők és a paraziták szabadon élő lárvaformái obligát aerob élőlények. Ennek a tulajdonságuknak is köszönhető, hogy a legkülönbözőbb élőhelyeken is előfordulnak, magas és alacsony oxigéntartalom mellett egyaránt. Sok faj, amely nedves talajban, vízfenék iszaprétegében vagy gazdaállat bélcsatornájában él, speciális módon alkalmazkodott az alacsony oxigénellátottsághoz. Ezeknél gyakran a testfolyadékban vagy a test falában hemoglobin található. A hemoglobin által megkötött oxigén rövid időre biztosítja a szervezet oxigénszükségletét, ha a környezet oxigéntartalma jelentős mértékben lecsökkent. Némely parazita a gazdaállat vérére felszívva, az abban található oxigént tudja hasznosítani bélcsatornáján keresztül (Bakonyi et al. 2003).

2.7.2. A *Panagrellus redivivus* fonálféreg faj bemutatása

A *Panagrellus redivivus* (Linné) a szabadonélő fonálféreg (Rhabditida) rendjébe tartozik. Elevenszülő állat, talajban, illetve bomló, erjedő anyagokban él (Duggal 1977; Bakonyi et al. 2003). Nagyobb mennyiségben földre hullott gyümölcsökben fordulhat elő

(Bakonyi et al. 2003). Kimutatták többek között rothadt barackban, illetve a régen könyvkötéshez használt ragasztóanyagban is. A liszt és víz keverékéből kapott folyékony ragadós anyagot már az ókorban is használták különböző műtárgyak alkotásához, nemcsak könyvkészítéshez, hanem dekupázs és kollázs művek összeillesztéséhez is, valamint posztterek falra erősítéséhez is kiváló. Mivel a lisztes paszta jó táptalajt biztosított különböző baktériumok és gombák megtelepedéséhez, táplálékként szolgáltak a fonálférgeknek, így azok könnyen elszaporodtak a ragasztóban (Ferris 2009).

Petéket nem raknak, ennek ellenére szaporodási rátájuk magas, a nőstények életük során egy vagy kétnaponta akár negyven lárvát is világra hozhatnak egyszerre (Atchison 2009).

A fiatal egyedek körülbelül három nap alatt ivaréretté válnak, és húsz-huszonöt napig élnek (Rottmann 1998).

2.8. A fonálférgek szerepe a talajökoszisztémában

A szárazföldi ökoszisztéma alapvetően termelőkből, elsődleges és másodlagos fogyasztókból és ragadozókból áll, a legalsó szinten pedig a detritusz található. A detritusz (detrituszt fogyasztók), a talajban lévő élőlények közössége, amely a talajba került holt szerves anyagokat dolgozza fel, egy részét humusszá alakítva és mineralizálva, saját energiaellátására használva. A talajállatok, főként a detritusz és a növények nemcsak a természetes holt szerves anyagokat tudják felvenni, hanem a hasonló szerkezetű szennyezőket is (Gruiz et al. 2001).

A talajlakó élőlények mérete a 10 nm-től a 10 cm-ig terjed. Méretüktől függően a talaj mikroszemcséinek felületén vagy a talajkapillárisokban élhetnek (Gruiz et al. 2001). A kisebb állatok a talaj pórusaiban élnek, itt mozognak, a nagyobbak átrágják magukat a földben, vagy végtagjaikkal alagutakat ásnek a talajban, így haladnak. A fonálférgek az egysejtűekkel együtt a mikrofauna részét képezik, így a talaj pórusokban élnek (Godó 2011).

A talajökoszisztéma tagjai kölcsönösen hatnak egymásra, fajon belüli és fajok közötti szelekciók, szimbiózis, kommenzalizmus, kooperáció, kompetíció, predáció és parazitizmus is jellemző. Szennyezőanyagok hatására a tagok közti kapcsolat, és egyben az ökológiai struktúra felborulhat, ami a talaj funkcióinak megváltozásához is vezethet. A toxikus anyagok nemcsak az adott élőlény szervezetén belül halmozódhatnak fel (bioakkumuláció), hanem a táplálékláncon végigvonulva, annak magasabb szintjein elhelyezkedő élőlényekbe is eljuthat (biomagnifikáció) (Gruiz et al. 2001).

2.9. Az ökotoxikológia bemutatása

Az ökotoxikológia elnevezés Truhaut nevéhez fűződik, aki 1969-ben úgy határozta meg, mint a toxikológia egyik ágát, amely a természetes és mesterséges szennyezők élőlényekre és az ökoszisztémára való hatását vizsgálja (Truhaut 1977). Az ökotoxikológiai tesztek két fő csoportra lehet bontani: a tesztelés időtartama és a tesztorganizmus faja (vagy a tesztrendszer fajösszetétele) alapján. A teszt időtartama alapján lehet rövidebb, akut, amely általában 24-48 óra alatt zajlik, vagy hosszabb, krónikus, aminek időigénye függ a tesztállat életének és reprodukciós ciklusának hosszától. A tesztállatok tekintetében megkülönböztetünk egy fajt alkalmazó, valamint kettő vagy többet vizsgáló tesztek. Az előbbinél fontos a tesztállat helyes megválasztása. Érdekes könnyen hozzáférhető, laboratóriumban egyszerűen fenntartható és tenyészthető fajt választani. A több fajjal végzett kísérletek a fajok közötti kapcsolatokat, kölcsönhatásokat is vizsgálják. Ezeket a vizsgálatokat mikro- vagy mezokozmosz teszteknek is szokták nevezni. A mikrokozmosz tesztek általában laborban végzik, a mezokozmosz gyakran természetes ökoszisztémák egy elkülönített, kontrollált része. A tesztek időtartamán és a tesztállat faján kívül még két csoportot különböztethetünk meg, attól függően, hogy a kísérletek hol zajlanak. Ez alapján elkülöníthetjük a laborban végzett és a szabadföldi vizsgálatokat. A mezokozmosz tesztek átmenetet képezhetnek a labor és szabadföldi tesztek között, mivel azok olyan mesterséges, elkülönített rendszerek, amelyeket szabadföldön hoztak létre. A laboratóriumi kísérleteknél egy modellt használunk, és az eredményekből következtethetünk az egész ökoszisztémára. A szabadföldi teszteknel viszont direkt módon vizsgáljuk a különböző hatásokat és viszonyokat. Emiatt a környezetbe kerülő szennyezők hatását utóbbi fajtával pontosabban meg lehet határozni. Az ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei alapján következtethetünk az adott szennyezőanyag ökoszisztémára való hatására (Gruiz et al. 2001).

2.10. Az ökotoxikológia és a természetvédelem kapcsolata

A környezetbe kerülő vegyi anyagok, bekerülve az ökoszisztémába, veszélyt jelenthetnek annak tagjaira, egész szerkezetére és funkcióira, illetve ezeken keresztül az emberekre is. Nemcsak a mesterséges anyagok okozhatnak problémákat, hanem a természetes szerves és szervetlen anyagok is, ha a környezetben a normális, megszokott értéktől eltérő mennyiségben (főleg akkor, ha extrém nagy értékekben) jelennek meg. Ökotoxikológiai vizsgálatokkal az adott, vizsgált anyag környezeti kockázatát, az ökoszisztémára gyakorolt káros hatását próbáljuk meghatározni. Az eredmények alapján határértékek, környezeti minőségi kritériumok szabhatók meg, arra a környezeti koncentrációra épülve, amely még nem

hat károsan. Ezek a tesztanyag hatásán, a dózis-válasz, illetve a koncentráció-válasz összefüggéseken alapulnak. Az eredményeket és az ezek alapján meghatározott korlátozásokat figyelembe kell venni a környezetvédelemmel és környezetgazdálkodással kapcsolatos döntések meghozatalában (Gruiz et al. 2001).

2.11. Ökotoxikológiai tesztek fonálférgekkel

Az utóbbi években a talajlakó fonálférgekkel végzett ökotoxikológiai vizsgálatok két legelterjedtebb fajtája a szabadföldi és a labor teszt volt. A szabadföldi vizsgálatok célja főleg a szennyezett területek állapotfelmérése. A fonálférgek kifejezetten alkalmasak tesztállatnak ehhez, mivel természetes ökoszisztémájukban érzékenyek a környezeti szennyezőanyagokra, a talajszennyezőkre és az általuk okozott stresszhatásra. Így bioindikátorként viselkednek a talaj minőségével kapcsolatban. Míg a szabadföldi kísérletek a szennyezők komplex ökoszisztémára való hatását mutathatják, a labor tesztek erre nem alkalmasak. Utóbbinál azonban tisztábban jelenhetnek meg a szennyezőanyagok és a bekövetkezett változások közti ok-okozati viszonyok. Ezen kívül egyszerűbbek és praktikusabbak lehetnek, mivel labor körülmények között könnyen változtathatók a kísérleti viszonyok, illetve kisebb a variabilitás is. Mivel a fonálférgeknek nincs szükségük nagy területre, rövid életsiklus és egyszerű szaporodás jellemző rájuk, valamint labor körülmények között is könnyű kezelni őket, ezért ezekhez a tesztekhez is kifejezetten népszerű tesztállatok (Sochová et al. 2005).

3. Alkalmazott módszerek

Kísérleteinkben a 17β -ösztadiol hormon (E2) hatását vizsgáltuk *Panagrellus redivivus* fonálféreg fajon a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Állattani és Ökológiai Tanszék kutatói laboratóriumában.

A Sigma-Aldrich cég hormonját a Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszék kutatói biztosították számunkra. A teszttállatok az Állattani és Ökológiai Tanszék 20 ± 1 °C hőmérsékletű hűtőben tárolt, zabpelyhes táptalajon élő tenyészetéből származtak.

A hormon toxicitását vizsgáltuk akut mortalitási, illetve immobilitási teszttel. A kísérletek célja az volt, hogy kiderítsük, van-e koncentrációfüggő hatás a *P. redivivus* faj esetében.

3.1. Statisztikai módszerek és eszközök

A statisztikai számításokhoz a kapott eredményekből először boxplot diagramokat készítettünk. A boxplot vagy dobozdiagram egy olyan speciális grafikontípus, amelynek különböző részei közötti távolságok bemutatják egy adott adatsor teljes és interkvartilis terjedelmét. A diagramról leolvasható az adatsor legkisebb, legnagyobb és középső értéke, valamint a teljes és interkvartilis terjedelme. Az interkvartilis terjedelem az a tartomány, ahol az adatsor értékeinek középső fele található (Központi Statisztikai Hivatal 2022).

Az adatok értékeléséhez egyutas ANOVA-tesztet alkalmaztunk. Az ANOVA (Analysis of Variance, varianciaanalízis) egy olyan statisztikai módszer, amellyel azt vizsgálhatjuk, hogy három vagy több csoport átlagai között van-e szignifikáns különbség ([http4](#)). A magyarázó változó minden esetben az E2 (az előteszt esetén a DMSO) koncentráció volt, függő változónk pedig a túlélés, illetve a különböző mozgás aktivitást mutató egyedek arányai (normál, lassú, nem mozog, halott) voltak. Amikor szignifikáns különbséget találtunk, post-hoc tesztként Fisher-féle legkisebb szignifikáns különbségtesztet használtunk. Az ábrák szerkesztéséhez és a statisztikai elemzésekhez a [statistyy.app](#) weboldalt használtuk ([http5](#)).

3.2. Dimetil-szulfoxid oldószer teszt

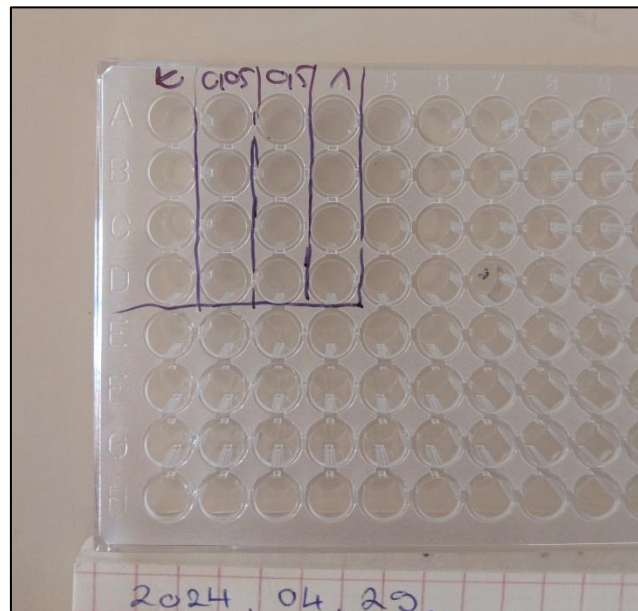
A toxicitási teszteknel az állatokat vizes közegben vizsgáltuk, Milli-Q vízben.

Mivel a 17β -ösztadiol vízben nem jól oldódik (Shareef et al. 2006), szükségünk volt egy oldószerre, amihez a dimetil-szulfoxidot (DMSO) választottuk.

Az E2 toxicitási tesztek előtt megvizsgáltuk a DMSO hatását is a *P. redivivus* fajon, (mortalitási teszttel), 3 különböző koncentrációban. A kontroll mellett 0,25, 0,5 és 1%-os koncentrációkat néztünk meg, mindet 4 ismétlésben, így összesen 16 csoportot vizsgáltunk.

A kísérlettel a DMSO megfelelő koncentrációját határoztuk meg a későbbi hormon tesztekhez, így kizárva az oldószer okozta hatást.

A teszthez a zabpelyhes táptalaj felszínéről vettünk mintát, majd ezt egy Milli-Q vizet tartalmazó pohárba helyeztük. Ezután mikroszkóp alatt nézve, automata pipettával egy 96 lyukú mikrotitráló lemez 16 jelölt részére (1. ábra) először 100 µl Milli-Q vizet tettünk, majd minden lyukba 5 darab kifejlett, jól mozgó tesztállatot helyeztünk 30 µl vízzel együtt. (A képen látható jelölések nem helyesek, a mikrotitráló lemez tévesen lett feliratozva, a vizsgált koncentrációk a korábban leírtak szerintiek.)



1. ábra

A DMSO-teszthez használt mikrotitráló lemez

(Forrás: saját fénykép; Állattani és Ökológiai Tanszék kutatói labor; 2024. 04. 29.)

Azoknál a lyukaknál, ahová elsőre 5-nél kevesebb állatot sikerült tennünk, megismételtük az előző lépést, azzal a változtatással, hogy itt a 30 µl vízzel együtt már csak annyi állatot tettünk, amennyi még hiányzott az 5 darabhoz. Így ezekbe a fonálférgek mellett összesen 160 µl víz került. Azokra a helyekre, ahová elsőre sikerült az 5 állatot behelyezni, még 30 µl vizet pipettáztunk.

Ezután a kontroll csoportokba még 160 µl vizet, a kezelt csoportokba pedig 160 µl 0,5, 1 és 2%-os DMSO oldatot tettünk, 4 ismétlésben. A vizsgált oldószer koncentrációkhoz képest

kétszeres koncentrációkat használtunk, mivel azok a korábban lyukakba pipettázott 160 µl vízhez hozzáadva így megfelelőek.

Végül a mikrotitráló lemezt parafilmmel lezárva, 20 ± 1 °C hőmérsékletű termosztátba helyeztük.

3.3. A 17β-ösztradiol vizsgálata Nematoda mortalitási és immobilitási teszttel

A hormon hatását mindkét kísérletnél 7 koncentrációban vizsgáltuk: 0,0001, 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10 és 100 mg/l.

A mortalitási és az immobilitási tesztnek ugyanaz volt a menete:

Az előző, oldószer vizsgálathoz hasonlóan 96 lyukú mikrotitráló lemezt használtunk, minden koncentrációt, valamint a kontroll- és a DMSO-csoportot 4 ismétlésben vizsgáltunk, így összesen 36 csoportot alakítottunk ki (2. ábra).



2. ábra

A mortalitási kísérletben használt mikrotitráló lemez
(Forrás: saját fénykép; Állattani és Ökológiai Tanszék kutatói labor; 2024. 05. 13.)

Először külön üvegpoharakban mind a 7 koncentrációhoz hozzáadtunk 0,5%-os DMSO oldatot. Ezekén kívül Milli-Q vizet használtunk még a kísérletben.

Mikroszkóp alatt vizsgálva, automata pipetta segítségével 100 µl Milli-Q vizet, majd újabb 30 µl vízzel együtt felszívva 5 db testállatot helyeztünk mind a 36 jelölt helyre. Oda, ahová elsőre kevesebb, mint 5 állat került, újabb 30 µl vízzel még annyit tettünk, amennyi

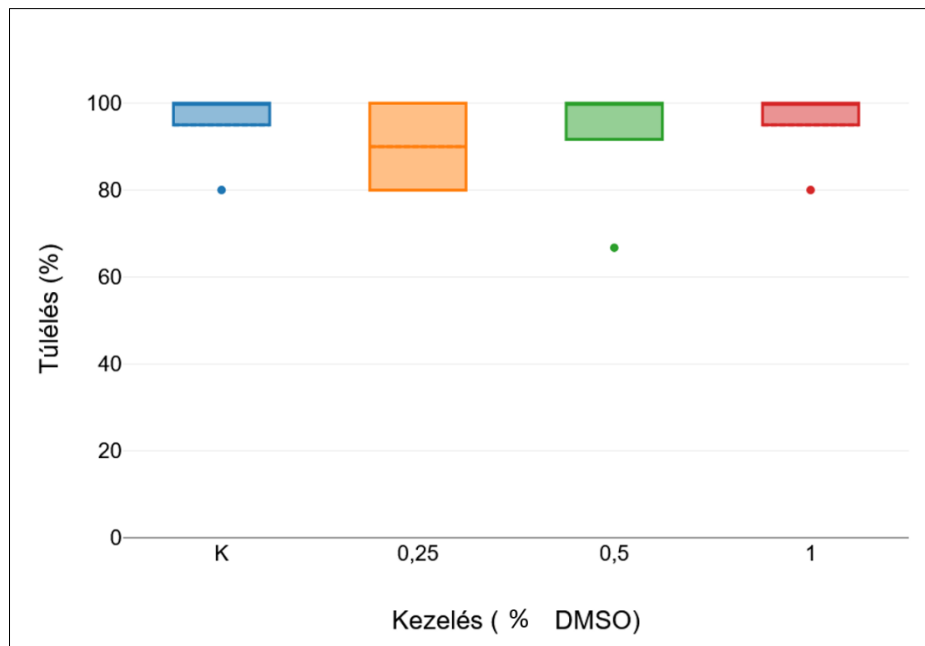
hiányzott. A többi csoporthoz csak 30 μ l vizet adtunk. Ezután a kontroll csoportokba 160 μ l vizet, a DMSO csoportokba 160 μ l 0,5%-os DMSO oldatot, illetve az E2 oldatokból 160 μ l-t a 7 különböző koncentráció szerint. Végül, a mikrotitráló lemezt parafilmmel lezártuk, és 20 ± 1 °C hőmérsékletű termosztátba helyeztük.

A mortalitási kísérlet időtartama 24 óra, az immobilitási teszté 48 óra volt.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Dimetil-szulfoxid oldószer teszt

A vizsgálat alapján azt tapasztaltuk, hogy sem a kontroll, sem az oldószerrel kezelt csoportokban nem volt jelentős mértékű a tesztállatok mortalitása (3. ábra). A legnagyobb hatás a 0,5%-os koncentrációnál volt látható, de átlagosan itt sem ment a túlélő egyedek aránya 90% alá (1. táblázat), illetve a kontroll csoporthoz képest nem volt szignifikáns különbség.

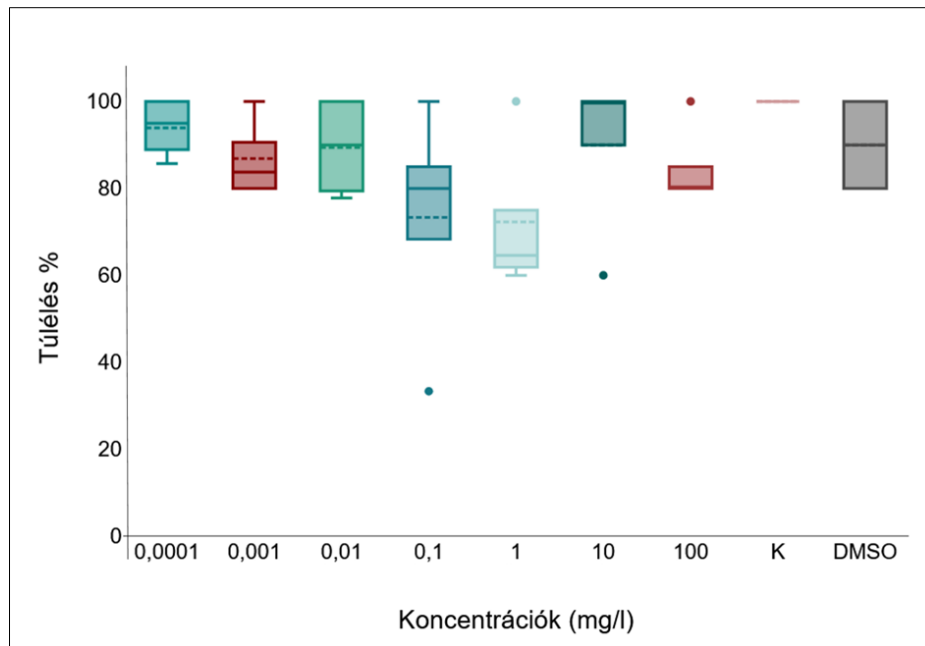


3. ábra

P. redivivus egyedek túlélése különböző DMSO (dimetil-szulfoxid) koncentrációk mellett
(Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)

4.2. 17 β -ösztradiol (E2) vizsgálata Nematoda mortalitási teszttel

A kísérlet végén koncentrációfüggő hatást nem tapasztaltunk, vagyis a hormon koncentrációjának növekedésével nem csökkent a túlélő fonálférgek száma. A legnagyobb mértékű mortalitás a 0,1 és 1 mg/l koncentrációjú csoportokban volt. Bár a 0,001 mg/l koncentrációjú csoporttól haladva az 1 mg/l-es csoportig a koncentráció növekedésével a túlélő egyedek száma csökkent, a két legnagyobb koncentrációnál ez már nem volt megfigyelhető. A legnagyobb vizsgált koncentrációnál pedig újra csökkent a túlélő egyedek száma az előző csoporthoz képest (4. ábra, 2. táblázat).



4. ábra

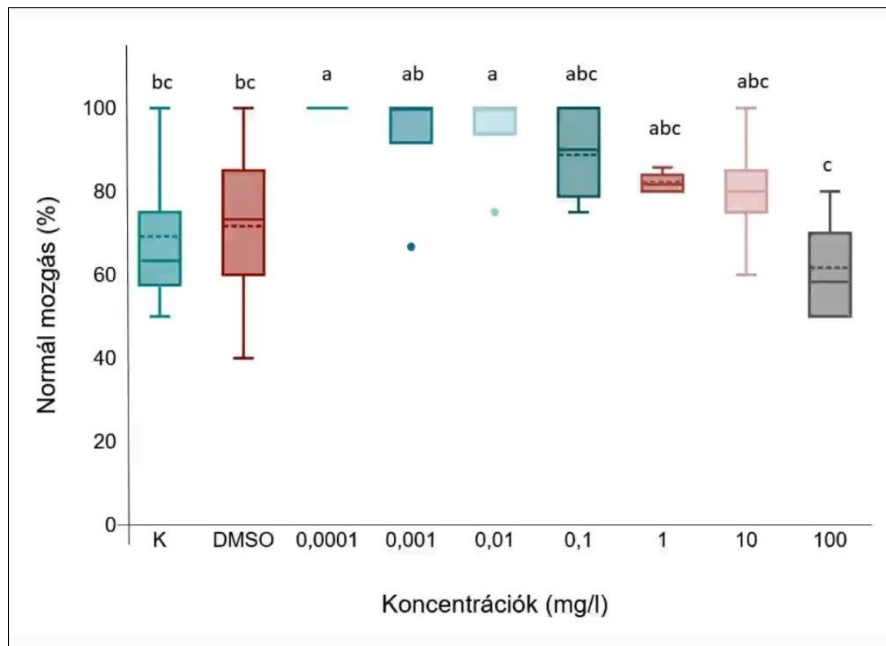
P. redivivus egyedek túlélése a különböző 17β -ösztadiol koncentrációk mellett (0,5%-os DMSO oldatban hígítva)

(Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)

4.3. 17β -ösztadiol vizsgálata Nematoda immobilitási teszttel

Az összes vizsgált koncentrációjú csoportot tekintve, koncentrációfüggő hatást nem tapasztaltunk. Mind a hét vizsgált koncentrációnál, valamint a kontroll és az oldószer csoportoknál is megfigyelhető volt, hogy a legnagyobb arányban a jó állapotban lévő egyedek voltak (3. táblázat).

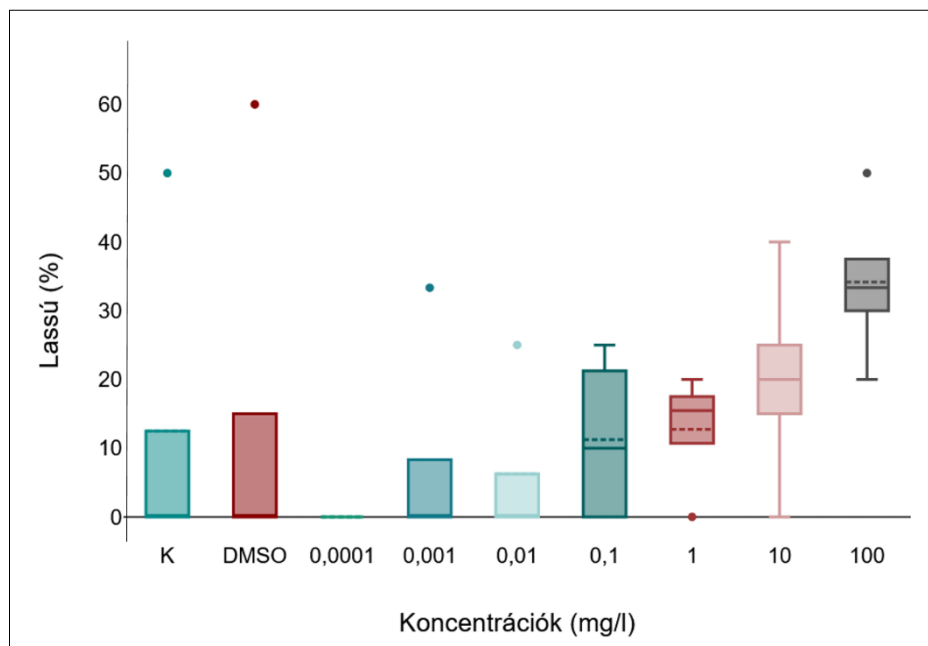
A 0,01 mg/l koncentrációjú oldattól haladva a 100 mg/l koncentrációjúig már látható volt valamiféle minta a jó állapotú (normál mozgású) fonálférgek számát tekintve. A jó állapotban maradt egyedek száma ebben az öt csoportban fokozatosan csökkent (5. ábra). 0,01 mg/l-nél a jó állapotú állatok az ebben a csoportban vizsgált összes egyed több, mint 90%-át adták, míg a 100 mg/l koncentrációjú csoportnál 70% alatt volt. Az ábráról leolvasható, hogy a kontrol csoportban a normál mozgású, jó állapotban lévő egyedek aránya viszonylag alacsony, átlagosan 80% alatti.



5. ábra

A normál mozgású *P. redivivus* egyedek aránya a különböző 17β-ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben
(Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)

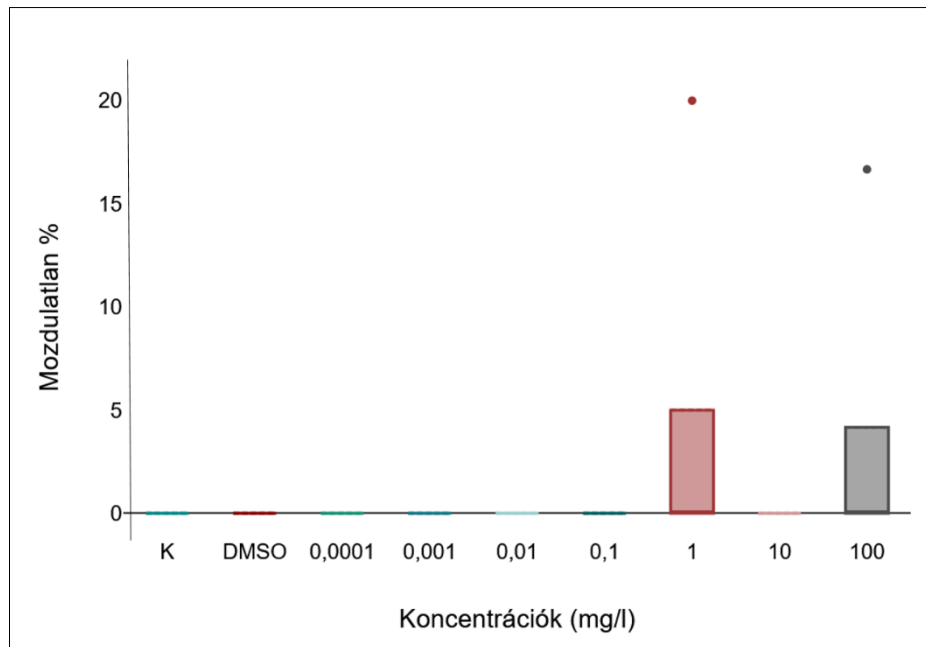
A testállatok mozgási aktivitását vizsgálva az volt látható, hogy 0,01 mg/l E2 koncentrációtól haladva a nagyobb koncentrációkig a lassabb mozgású egyedek aránya nőtt (6. ábra).



6. ábra

A lassabb mozgású *P. redivivus* egyedek aránya a különböző 17β-ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben
(Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)

Mozdulatlan, vagyis tetszhalott állatokat csak két koncentrációnál találtunk, 1 és 100 mg/l-nél (7. ábra). Mindkét koncentrációnál a négy ismétlés közül egy-egy csoportban voltak mozdulatlan egyedek, 20, illetve 16,67%-a volt a csoportjukon belül. Az ábrán a kiugró értékek jelölik.

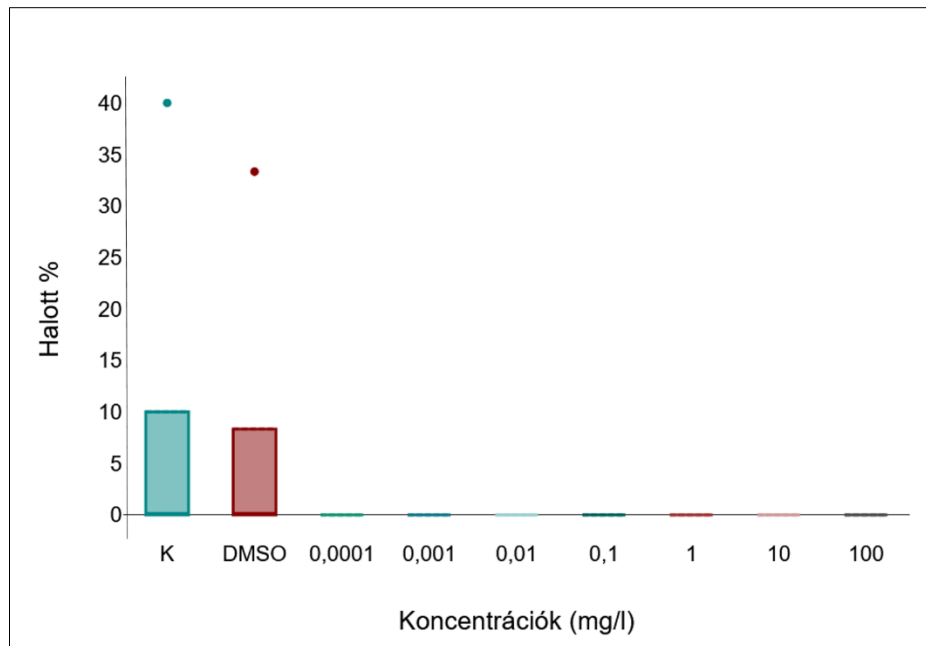


7. ábra

Tetszhalott *P. redivivus* egyedek aránya a különböző 17 β -ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben

(Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)

Halott egyedeket csak a kontroll és a DMSO-csoportokban találtunk, az E2-vel kezelt testállatok között nem volt (8. ábra). A kontroll csoportban a négy ismétlés közül egyben voltak halott egyedek, ezt jelöli a kiugró érték 40%-nál. Illetve az egyik DMSO-val kezelt csoportban találtunk még 2 halott egyedet.



8. ábra

Halott *P. redivivus* egyedek aránya a különböző 17β -ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben
(Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)

4.4. Eredményeink összevetése hasonló kutatásokkal

4.4.1. 17β -ösztadiol Nematoda mortalitási tesztéhez hasonló vizsgálatok

Hu és munkatársai 2011-ben végzett kísérletében több szteroid hormon hatását is vizsgálták. Megfigyelték, hogy egyedül az ösztadiol hormonnak nem volt egyértelmű negatív hatása a fonálférgek egyedszámára a kontrollhoz viszonyítva. A teszteket a szabadban végezték, korábban felszántott mezőgazdasági területen, a talajra vízpermettel juttatták az abba kevert hormonokat. Minden hormont ugyanabban a koncentrációban vizsgálták, mindnél 2,5 l vízbe 750 μ g hormont tettek (ez 0,3 mg/l-nek felel meg). Az ösztadiol a többi vizsgált hormonhoz képest hamar lebomlott a talajban, ezzel magyarázható, hogy nem volt jelentős toxikus hatással a tesztállatokra.

Mao munkatársaival (2022) kerekcsigolya fajt vizsgálva hasonló következtetésre jutottak. Megállapították, hogy a 17β -ösztadiolnak a megfigyelt koncentrációkban (0, 0,001, 0,01, 0,1 és 1 mg/l) nincs toxikus hatása a tesztállatokra, azok életciklusaira, élettartamára és populációjának növekedésére sem.

Vizsgálatainkhoz hasonló eredményt kaptak Azevedo és munkatársai (2025) is. Földigiliszta faj érzékenységét vizsgálták 17β -ösztradiolra, és 8, illetve 20 hét után sem tapasztaltak eltérést a kontroll csoporthoz képest a tesztfajok és utódaik számát tekintve.

4.4.2. 17β -ösztradiol Nematoda immobilitási teszthez hasonló kutatások

Vizsgálatainkhoz hasonló kutatások, olyanok, ahol fonálférgek mozgásaktivitását mérték 17β -ösztradiol hatására, egyelőre nem született sok. Néhány korábbi kísérlet alapján, amelynek célja bár nem kifejezetten a mozgás vizsgálata, az eredményei alapján következtetni lehet a mozgásaktivitás változására is. Heger és munkatársai kutatásában (2015) kimutatták, hogy a 17β -ösztradiol oxidatív stresszt vált ki az *Eisenia fetida* földigiliszta faj sejtjeiben. Az oxidatív stressz, illetve a sejtkárosodás valószínűleg rontja a neuromuszkuláris rendszer működését, ami a mozgásaktivitás csökkenésével járhat (Campani et al. 2024).

5. Következtetések és javaslatok

5.1. Következtetések

Dolgozatomban a *P. redivivus* egyedek érzékenységét vizsgáltuk 17 β -ösztadiol hormonra mortalitási és immobilitási tesztekkel. Egyik fajta kísérletnél sem tapasztaltunk egyértelmű koncentrációfüggő hatást. Bár a hormon koncentrációjának növelésével nem nőtt egyértelműen a toxikus hatása, azonban a hormonnal kezelt csoportoknál a kontroll csoportokhoz képest mindkét kísérletben tapasztaltunk eltéréseket. Mivel azonban az immobilitási teszt kontroll csoportjában a normál mozgású egyedek aránya 80% alatt volt, ezért egyértelmű következtetéseket a hormon toxicitásával kapcsolatban nem tudunk levonni. Vizsgálataink alapján úgy tűnik, hogy a tesztelt koncentrációk nem toxikusak a *Panagrellus redivivus* fajra, azonban mozgásaktivitásuk a hormon magasabb koncentrációiban csökkenhet.

Kísérleteink eredményeihez hasonlókat Hu és munkatársai és Mao és munkatársai is. Vizsgálataik alapján azt a következtetést vonták le, hogy az E2-nek nincs egyértelmű káros hatása a tesztállatokra.

5.2. Javaslatok

Kísérleteink és a kapott eredmények alapján javasolnám a tesztek megismétlését, akár más, nem csak vizes közegben. Érdeemes lenne megnézni a tesztállatok reakcióját ugyanezekkel a hormon koncentrációkkal, szabadföldi vizsgálatok során is, természetesebb körülmények között. Ezek során különböző területek fonálféreg populációinak reakcióit is össze lehetne hasonlítani. Mennyiben számít például a talaj nedvesség- vagy szervesanyag-tartalma a toxicitás szempontjából.

Fontos lehet még olyan tesztek is végezni, ahol a hormont nemcsak önmagában, hanem más anyagokkal, akár szennyezőkkel együtt is vizsgálnánk, úgy, ahogyan a környezetben is előfordulhatnak közösen. Egy további lépés lehet a mikroműanyagok felületére adszorbeálódott E2 toxikus hatásának a vizsgálata.

Ezekon felül, mivel egy ösztrogén hormonnól van szó, ki lehetne fejleszteni olyan tesztet, ahol fonálférgeket külön a nemek szerint szétválasztva nézzük. Kérdés, hogy erősebb toxikus hatás jelentkezne-e a hím állatok között, mint a nőstényeknél.

A jövőben végzett további vizsgálatok alapján érdemes lehet bevezetni egy egységesebb szabályzási rendszert is, mind a mezőgazdaságban használt anyagokban lévő, mind a tisztított

szennyvízben kimutatható hormonmaradványok biztonságos, megengedett mennyiségével kapcsolatban.

6. Összefoglalás

A természetes ösztrogén hormonok alapvetően fontos szerepet töltenek be mind az emberi, mind az állati szervezetben. Hatással vannak a reproduktív és nem reproduktív rendszerek egészséges működésére. A szervezetből távozva kikerülnek a környezetbe, és különböző módokon tovább terjedhetnek. A hormonok jelenlétét kimutatták szántóföldeken, és az ott termő növényekben a termőföld trágyázása, illetve szennyvíziszappal való kezelése után. A hormonmaradványok a szántóföldek talajából beszivároghatnak természetes vizekbe, és akár az ivóvízbázisok is szennyeződhetnek velük. Az emberi szervezetből távozó hormonok és maradványaik a szennyvízzel szintén kikerülhetnek természetes vizeinkbe, annak ellenére, hogy a szennyvíz biológiai tisztításon megy keresztül.

Dolgozatomban egy természetes ösztrogén hormon, a 17β -ösztradiol (E2) hatását vizsgáltuk *P. redivivus* fonálféreg fajon, vizes közegben. Az E2 hormon vízben nem jól oldódik, így vizsgálatához szükségünk volt egy oldószerre is, amihez a dimetil-szulfoxidot (DMSO) használtuk. A hormon kísérletek előtt oldószer tesztet végeztünk, a DMSO megfelelő koncentrációjának megállapítására. Ennek meghatározása után olyan koncentrációban használtuk az oldószert a hormonnal együtt, amely biztosan nem volt káros hatással a tesztállatokra. Az oldószert 0,25, 0,5 és 1%-os koncentrációkban vizsgáltuk, és megállapítottuk, hogy a legnagyobb vizsgált koncentrációban sem volt toxikus a tesztállatokra, így a későbbi tesztekben 0,5%-os koncentrációban alkalmaztuk.

Az E2 toxikus hatását két különböző teszttel vizsgáltuk, először egy mortalitási, majd egy immobilitási kísérletben. A hormont hét koncentrációban teszteltük, 0,0001, 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10 és 100 mg/l-ben, minden koncentrációt négy ismétlésben állítottunk be. Egyik vizsgálatnál sem tapasztaltunk egyértelmű szignifikáns különbséget a kontroll és a hormonnal kezelt csoportok között. Vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a hormon nincs egyértelmű toxikus hatással a tesztállatokra, nagyobb koncentrációkban azonban a mozgásaktivitás csökkenését okozhatja.

A jövőben érdemes folytatni a 17β -ösztradiol hormon további vizsgálatát, különös tekintettel a más szennyezőanyagokkal, például mikroműanyagokkal való együttes tesztekre. A további tesztek alapján pedig egy egységesebb szabályozási rendszerre is szükség lehet a megengedett határértékekkel kapcsolatban, mivel a hormon káros hatásának mértéke még nem egyértelmű.

7. Köszönetnyilvánítás

Először is, szeretném megköszönni konzulenseimnek, Dr. Seres Anikónak és Dr. Kiss Lola Virágnak támogatásukat és segítségüket, amelyet szakdolgozatom elkészítése során nyújtottak, és a felmerülő nehézségek ellenére is mindig türelemmel fordultak hozzám.

Szeretnék köszönetet mondani még Ványiné Surman Ildikónak is, a laboratóriumban nyújtott segítségéért.

8. Irodalomjegyzék

- Adeel, M., Song, X., Wang, Y., Francis, D., Yang, Y. (2017): Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: A critical review. *Environment International*. 99: 107-119.
- Adeel, M., Zain, M., Shakoor, N., Azeem, I., Hussain, M., Ahmad, M. A., Chaudhary, S., Zaheer, U., Aziz, M. A., Ahmar, S. Yukui, R., Xu, M. (2023): Estrogens in plants and emerging risks to human health. *Environment International*. 178: 107985.
- Atchison J. Microworms [Internet]. San Rafael(CA):The Bug Farm; [2009, cited 2014 Sept 5]: [Microworms - silusiae - redivivus](#)
- Azevedo, T., Silva-Reis, R., Medeiros-Fonseca, B., Gonçalves, M., Mendes, G., Roboredo, M., Rocha, M. J., Peixoto, F., Pinto, M. de L., Matos, M., Sousa, J. R., Oliveira, P. A., Coimbra, A. M. (2025): Do (xeno)estrogens pose a risk to earthworms? Soy isoflavones and estradiol impact gonad structure and induce oxidative stress in *Eisenia fetida*, *Chemosphere*. 377: 144315.
- Bakonyi, G., Juhász, L., Kiss, I., Palotás, G. (2003): *Állattan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 849 p.
- Bevacqua, C. E., Rice, C. P., Torrents, A., Ramirez, M. (2011): Steroid hormones in biosolids and poultry litter: a comparison of potential environmental inputs. *Science of the Total Environment*. 409(11): 2120-6.
- Campani, T., Casini, S., Maccantelli, A., Tosoni, F., D'Agostino, A., Caliarì, I. (2024): Oxidative stress and DNA alteration on the earthworm *Eisenia fetida* exposed to four commercial pesticides. *Environ Sci Pollut Res* 31: 35969–35978.
- Combalbert, S., Hernandez-Raquet, G. (2010): Occurrence, fate, and biodegradation of estrogens in sewage and manure. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 86: 1671-1692.
- Cooke, P. S., Nanjappa, M. K., Ko, C., Prins, G. S., Hess, R. A. (2017): Estrogens in male physiology. *Physiological Reviews*. 97(3): 995–1043.
- Crofton, H. D. (1966): *Nematodes*. Hutchinson University Library, London, 164 p.
- Duggal, C. L. (1977): *Studies on the copulatory behaviour of the free-living nematode Panagrellus redivivus (Goodey, 1945)*. Doctoral dissertation (PhD), University of London, London, 206 p.

- Ferris, H. (2009): The beer mat nematode, *Panagrellus redivivus*: A study of the connectedness of scientific discovery. *J. Nematode Morphol. Syst.*, 12(1): 19-25. p.
- Fonyó, A. (2011): Az orvosi élettan tankönyve. Medicina Könyvkiadó Zrt, Budapest, 948 p.
- Ghali, K., Leuenberger, J., Ansermet, M., Perrin, N., Dufresnes, C. (2016): Toxic effects of estradiol E2 on development in the European tree frog (*Hyla arborea*). *Herpetology Notes*. 9: 249–253.
- Godó, Z. (2011): Agro-ökológia. Digitális Tankönyvtár, TAMOP, 4(5). 135 p.
- Grobin, A., Roškar, R., Trontelj, J. (2024): The environmental occurrence, fate, and risks of 25 endocrine disruptors in Slovenian waters. *Science of the Total Environment*. 906: 167245.
- Gruiz, K., Horváth, B., Molnár, M., (2001): Környezettoxicológia. Vegyi anyagok hatása az ökoszisztémára. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 159 p.
- Grzegorzek, M., Wartalska, K., Kowalik, R. (2024): Occurrence and sources of hormones in water resources-environmental and health impact. *Environmental Science and Pollution Research International*. 31(26): 37907-37922.
- Gubó, E., Szakál P., Plutzer J. (2019): Ösztrogének és ösztrogénhatású anyagok a növénytermesztésben. *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*, 68(2): 385-401.
- Hajós L. (szerk.) (1993): Mezőgazdasági alapismeretek. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft, Budapest, 315 p.
- Heger, Z., Michalek, P., Guran, R., Havelkova, B., Kominkova, M., Cernei, N., Richtera, L., Beklova, M., Adam, V., Kizek, R. (2015): Exposure to 17 β -Oestradiol Induces Oxidative Stress in the Non-Oestrogen Receptor Invertebrate Species *Eisenia fetida*. *PLoS One*. 10(12):e0145426.
- Horváth, E. (szerk.) (2012): Talajtan és talajökológia. PE jegyzet, TÁMOP, Veszprém, 404 p.
- Hu, C., Hermann, G., Pen-Mouratov, S., Shore, L., & Steinberger, Y. (2011): Mammalian steroid hormones can reduce abundance and affect the sex ratio in a soil nematode community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4): 303-310.
- Központi Statisztikai Hivatal (2022): A dobozdiagram magyarázata. Budapest: KSH. <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/termofoldarak-es-berleti-dijak-2022/boxplot.html> (2025 november)
- Lange, I. G., Daxenberger, A., Schiffer, B., Witters, H., Ibarreta, D., Meyer, H. H. D. (2002): Sex hormones originating from different livestock production systems: fate and potential disrupting activity in the environment. *Analytica Chimica Acta*. 473(1-2): 27–37.

- Laurenson, J. P., Bloom, R. A., Page, S., Sadrieh, N. (2014): Ethinyl estradiol and other human pharmaceutical estrogens in the aquatic environment: a review of recent risk assessment data. *The AAPS Journal*. 16(2): 299-310.
- Loh, M. (2017): Endokrin diszruptor vegyületek, Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség. [Endokrin diszruptor vegyületek - OSHwiki | European Agency for Safety and Health at Work](#) (2025 május)
- Maggenti, A. R. (1991): General nematode morphology. In: Nickle, W. R. (ed.), *Manual of Agricultural Nematology*. Marcel Dekker, New York, 1025 p., 3-44. p.
- Mao, T., Lu, Y., Ma, H., Pan, Z., Zhang, R., Zhu, T., Yang, Y., Han, C., Yang, J. (2022): Variations in the life-cycle parameters and population growth of rotifer *Brachionus plicatilis* under the stress of microplastics and 17 β -estradiol. *Science of The Total Environment*, 835: 155383.
- Pozzebon, E. A., Seifert, L. (2023): Emerging environmental health risks associated with the land application of biosolids: a scoping review. *Environmental Health* 22: 57.
- Rottmann, R. W. (1998): *Microworm Culture for Aquarium Fish Producers*. IFAS Fact Sheets FA-9. University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 3 p.
- Ruiz, D., Patisaul, H.(2022): Endocrine-Disrupting Chemicals (EDCs), ENDOCRINE SOCIETY. [Endocrine-Disrupting Chemicals \(EDCs\) | Endocrine Society](#) (2025 január)
- Shareef, A., Angove, M. J., Wells, J. D., Johnson, B. B. (2006): Aqueous solubilities of estrone, 17 β -estradiol, 17 α -ethynylestradiol, and bisphenol A. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 51(3): 879-881.
- Sochová, I., Hofman, J., Holoubek, I. (2005): Using nematodes in soil ecotoxicology. *Environmental International*. 32: 374-383.
- Trapp, S., Legind, C. H. (2010): Uptake of organic contaminants from soil into vegetables and fruits. Frank, A. (szerk.), *Dealing With Contaminated Sites*. Springer. Heidelberg, Germany. 369-408 pp.
- Truhaut, R. (1977): Ecotoxicology: Objectives, principles and perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1(2): 151-173.
- Wojnarowski, K., Podobinski, P., Cholewinska, P., Smolinski, J., Dorobisz, K. (2021): Impact of Estrogens Present in Environment on Health and Welfare of Animals. *Animals*. 11(7): 2152.

Felhasznált jogszabályok

59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről. <https://njt.hu/jogszabaly/2008-59-20-82>

90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800090.fvm>

A TANÁCS 96/22/EK IRÁNYELVE (1996. április 29.) az egyes hormon- vagy tiroosztatikus hatású anyagoknak és a β -agonistáknak az állattenyésztésben történő felhasználására vonatkozó tilalomról, valamint a 81/602/EGK, 88/146/EGK és 88/299/EGK irányelv hatályon kívül helyezéséről. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0022:20031014:HU:PDF>

AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2003/74/EK IRÁNYELVE (2003. szeptember 22.) az egyes hormon- vagy tiroosztatikus hatású anyagoknak és a béta-agonistáknak az állattenyésztésben történő felhasználására vonatkozó tilalomról szóló 96/22/EK tanácsi irányelv módosításáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0074&from=EN>

Internetes források

Európai Bizottság, Scientific Committee on Veterinary Measures Relating to Public Health (1999): ASSESSMENT OF POTENTIAL RISKS TO HUMAN HEALTH FROM HORMONE RESIDUES IN BOVINE MEAT AND MEAT PRODUCTS. https://food.ec.europa.eu/document/download/8075bf75-300d-4765-a7e7-84751cb14194_en?filename=sci-com_scv_out21_en.pdf (2025 május)

http1: Vetscraft. Estrogen in animals. [Estrogen in Animals | Two-Cell Theory, Functions and Clinical Uses](#) (2025 május)

http2: Nemzeti Népegészségügyi Központ (2023): Az ivóvízszolgáltatás során ellenőrzésre kerülő újonnan megjelenő és potenciális egészségkockázattal rendelkező paraméterek megfigyelési listája. [https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/1860/5_2023%20\(I.%202012.\)%20szerinti%](https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/1860/5_2023%20(I.%202012.)%20szerinti%20)

[20ivo%CC%81vi%CC%81zszennyezo%CC%8B%20megfigyele%CC%81si%20lista_2023.pdf](#) (2025 október)

http3: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. Szennyvizet, szennyvíziszapot vagy szennyvíziszap komposztot a termőföldre. <https://portal.nebih.gov.hu/-/szennyvizet-szennyviziszapot-vagy-szennyviziszap-komposztot-a-termofoldre> (2025 október)

http4: Scribbr. (2020): One-way ANOVA | When and How to Use It (With Examples). <https://www.scribbr.com/statistics/one-way-anova/> (2025 november)

http5: Statistya. <https://statista.com/> (2025 november)

Kormányhivatal (2024): Tájékoztatás hítrágya termőföldön történő felhasználásának bejelentéséről, a kihelyezés engedélyezési eljárásáról <https://kormanyhivatalok.hu/sites/default/files/2024-04/tajekoztatas-higragya-termofoldon-torteno-felhasznalasanak-bejelenteserol-a-kihelyezes-engedelyezesi-eljarasarol.pdf> (2025 május)

Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK), (2023): Az ivóvízszolgáltatás során ellenőrzésre kerülő újonnan megjelenő és potenciális egészségkockázattal rendelkező paraméterek megfigyelési listája. [https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/1860/5_2023%20\(I.%202012.\)%20szerinti%20ivo%CC%81vi%CC%81zszennyezo%CC%8B%20megfigyele%CC%81si%20lista_2023.pdf](https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/1860/5_2023%20(I.%202012.)%20szerinti%20ivo%CC%81vi%CC%81zszennyezo%CC%8B%20megfigyele%CC%81si%20lista_2023.pdf) (2025 október)

9. Ábrák és táblázatok jegyzéke

9.1. Ábrajegyzék

1. ábra A DMSO-teszthez használt mikrotitráló lemez (Forrás: saját fénykép; Állattani és Ökológiai Tanszék kutatói labor; 2024. 04. 29.).....	19
2. ábra A mortalitási kísérletben használt mikrotitráló lemez (Forrás: saját fénykép; Állattani és Ökológiai Tanszék kutatói labor; 2024. 05. 13.).....	20
3. ábra P. redivivus egyedek túlélése különböző DMSO (dimetil-szulfoxid) koncentrációk mellett (Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)	22
4. ábra P. redivivus egyedek túlélése a különböző 17 β -ösztadiol koncentrációk mellett (0,5%-os DMSO oldatban hígítva) (Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval).....	23
5. ábra A normál mozgású P. redivivus egyedek aránya a különböző 17 β -ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben (Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)	24
6. ábra A lassabb mozgású P. redivivus egyedek aránya a különböző 17 β -ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben (Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)	24
7. ábra Tetszhalott P. redivivus egyedek aránya a különböző 17 β -ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben (Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)	25
8. ábra Halott P. redivivus egyedek aránya a különböző 17 β -ösztadiol koncentrációk mellett az immobilitási tesztben (Forrás: közös szerkesztés Dr. Seres Anikóval)	26

9.2. Táblázatjegyzék

1. táblázat: A dimetil-szulfoxid teszt eredménye P. redivivus fajjal (Forrás: saját munka)	38
2. táblázat: 17 β -ösztadiol (E2) P. redivivus mortalitási teszt eredményei (Forrás: saját munka).....	39
3. táblázat: 17 β -ösztadiol (E2) P. redivivus immobilitási teszt eredményei (Forrás: saját munka)	40

10. Mellékletek

1. melléklet

1. táblázat: A dimetil-szulfoxid teszt eredménye *P. redivivus* fajjal
(Forrás: saját munka)

Kezelés (mg/l E2)	Kiindulási egyedszám (db)	Túlélt (db)	Elpusztult (db)	Túlélés (%)	Mortalitás (%)	Túlélés átlag (%)
Kontroll	6	6	0	100	0	95
Kontroll	5	5	0	100	0	
Kontroll	6	6	0	100	0	
Kontroll	5	4	1	80	20	
0,005	5	5	0	100	0	90
0,005	5	5	0	100	0	
0,005	5	4	1	80	20	
0,005	5	4	1	80	20	
0,05	5	5	0	100	0	91,67
0,05	8	8	0	100	0	
0,05	6	6	0	100	0	
0,05	9	6	3	66,67	33,33	
0,5	5	5	0	100	0	95
0,5	5	5	0	100	0	
0,5	5	5	0	100	0	
0,5	5	4	1	80	20	

2. melléklet

2. táblázat: 17 β -ösztradiol (E2) *P. redivivus* mortalitási teszt eredményei
(Forrás: saját munka)

Kezelés (mg/l E2)	Kiindulási egyedszám (db)	Túlélt (db)	Elpusztult (db)	Túlélés (%)	Mortalitás (%)
Kontroll	6	6	0	100	0
Kontroll	5	5	0	100	0
Kontroll	5	5	0	100	0
Kontroll	5	5	0	100	0
DMSO	5	5	0	100	0
DMSO	5	5	0	100	0
DMSO	5	4	1	80	20
DMSO	5	4	1	80	20
0,0001	10	9	1	90	10
0,0001	5	5	0	100	0
0,0001	5	5	0	100	0
0,0001	7	6	1	85,71	14,29
0,001	7	7	0	100	0
0,001	5	4	1	80	20
0,001	5	4	1	80	20
0,001	8	7	1	87,5	12,5
0,01	9	7	2	77,78	22,22
0,01	10	8	2	80	20
0,01	6	6	0	100	0
0,01	5	5	0	100	0
0,1	6	2	4	33,33	66,67
0,1	5	4	1	80	20
0,1	5	4	1	80	20
0,1	6	6	0	100	0
1	5	5	0	100	0
1	8	5	3	62,5	37,5
1	6	4	2	66,67	33,33
1	5	3	2	60	40
10	5	3	2	60	40
10	8	8	0	100	0
10	8	8	0	100	0
10	6	6	0	100	0
100	7	7	0	100	0
100	5	4	1	80	20
100	5	4	1	80	20
100	5	4	1	80	20

3. melléklet

3. táblázat: 17 β -ösztadiol (E2) *P. redivivus* immobilitási teszt eredményei
(Forrás: saját munka)

Kezelés (mg/l E2)	Kiindulási egyedszám (db)	Halott (db)	Mozdulatlan (db)	Lassú (db)	Normál (db)	Halott (%)	Mozdulatlan (%)	Lassú (%)	Normál (%)
Kontroll	4	0	0	2	2	0	0	50	50
Kontroll	4	0	0	0	4	0	0	0	100
Kontroll	6	0	0	0	4	0	0	0	66,67
Kontroll	5	2	0	0	3	40	0	0	60
DMSO	4	0	0	0	4	0	0	0	100
DMSO	5	0	0	0	4	0	0	0	80
DMSO	6	2	0	0	4	33,33	0	0	66,67
DMSO	5	0	0	3	2	0	0	60	40
0,0001	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,0001	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,0001	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,0001	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,001	6	0	0	2	4	0	0	33,33	66,67
0,001	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,001	7	0	0	0	7	0	0	0	100
0,001	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,01	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,01	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,01	4	0	0	0	4	0	0	0	100
0,01	4	0	0	1	3	0	0	25	75
0,1	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,1	5	0	0	0	5	0	0	0	100
0,1	5	0	0	1	4	0	0	20	80
0,1	4	0	0	1	3	0	0	25	75
1	5	0	0	1	4	0	0	20	80
1	7	0	0	1	6	0	0	14,29	85,71
1	6	0	0	1	5	0	0	16,67	83,33
1	5	0	1	0	4	0	20	0	80
10	5	0	0	2	3	0	0	40	60
10	5	0	0	0	5	0	0	0	100
10	5	0	0	1	4	0	0	20	80
10	5	0	0	1	4	0	0	20	80
100	6	0	0	3	3	0	0	50	50
100	6	0	0	2	4	0	0	33,33	66,67
100	6	0	1	2	3	0	16,67	33,33	50
100	5	0	0	1	4	0	0	20	80

11. Nyilatkozatok

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Nagy Eszter Julianna
A Hallgató Neptun kódja: H92OXM
A dolgozat címe: A 17β-ösztadiol hormon hatásának vizsgálata *Panagrellus redivivus* fonálféreg fajon
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 szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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

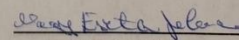
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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 könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest év 2025. 10. hó 29. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Nagy Eszter Julianna (név) (hallgató Neptun azonosítója: **H92OXM**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot 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 javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Gödöllő év 2015. 10. hó 29. nap

Seres Anikó
belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Nagy Eszter Julianna
Neptun-kódja:	H92OXM
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 3. / VDTER116N
A munka címe:	A 17 β -ösztadiol hormon hatásának vizsgálata <i>Panagrellus redivivus</i> fonálféreg fajon

* 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 korrektúra, 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)
fordítás, ötletelés	OpenAI GPT-5	bevezetés, irodalmi áttekintés 2.2.1. és 2.6.1. fejezetek

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	A prompt-naplót tartalmazó
----------------------	--------------------	----------	---------------------------------------	----------------------------

	verziója, elérhetősége	pontos sorszáma	melléklet 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: Gyöngyös 2025. 10. hó 29. nap

.....
Hallgató aláírása

.....
Konzulens/Témavezető aláírása