

SZAKDOLGOZAT

Bukovenszki Liza

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Kertészettudományi Intézet

Kertészmérnöki alapképzési szak

***A Rudbeckia hirta* ‘Őszifény’ gamma-sugárzásos mutációk
hatása nemesítési szempontból**

Belső konzulens: Dr. Kisvarga Szilvia
tudományos tanácsadó

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Tájépítészeti,
Településtervezési és
Díszkertészeti Intézet

Dísznövénytermesztési és
Zöldfelületgazdálkodási
Kutatócsoport

Készítette: Bukovenszki Liza

Gödöllő

2025

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés és célkitűzés	2
2 Irodalmi áttekintés	4
2.1 Dísnövények szerepe a napjainkban	4
2.2 Lágyszárúak és egynyári növények szerepe	5
2.3 A <i>Rudbeckia</i> nemzetség	6
2.3.1 Morfológiai és élettani jellemzők	6
2.3.2 Szaporítás és termesztéstechnológia	6
2.3.3 Növényélettani igények és kórokozók	7
2.3.4 Kertészeti és piaci jelentőség	7
2.4 A <i>Rudbeckia hirta</i> nemesítés alapjai és módszerei	8
2.5 A mutagenézis fogalma és típusai	10
2.6 A mutációk genetikai háttere	11
2.7 A mutagenézis alkalmazásának kertészeti vonatkozásai	12
2.8 A gamma-sugárzás kertészeti alkalmazása	12
2.9 A gamma-sugárzás és a genetikai változatosság	13
2.10 A hormézis jelensége	13
3 Anyag és módszer	15
3.1 Helyszín	15
3.2 Fajta	15
3.3 Előzetes vizsgálatok	16
3.4 Módszer	16
3.4.1 Csíranövények felmérése	16
3.4.2 Palánták felmérése	17
3.4.3 Szabadföldi állomány felmérése	20
4 Eredmények	22
4.1 Csíranövények	22
4.2 Palánták	23
4.2.1 Csírázási arány	23
4.2.2 Növénymagasság és levélszám	24
4.2.3 Friss levél- és gyökértömeg	25
4.2.4 Szárított levél- és gyökértömeg	26

4.3 Szabadföldi állomány.....	27
4.3.1 Júliusi mérés eredménye	27
4.3.2 Októberi mérés eredménye.....	28
4.3.3 Összehasonlító értékelés.....	29
5 Következtetések és javaslatok	31
5.1 Morfológiai és fiziológiai fejlődési válaszok	31
5.2 A szabadföldi állomány időbeli mintázatai.....	32
5.3 Nemesítési lehetőségek és jövőbeli kutatási irányok.....	33
6 Összefoglalás.....	35
7 Irodalomjegyzék	37
8 Ábrák és táblázatok jegyzéke.....	41

1 Bevezetés és célkitűzés

A dísznövénytermesztés és a nemesítés napjainkban fontos szerepet tölt be gazdasági, ökológiai és esztétikai szempontból is. A globalizáció hatására a városi zöldfelületek növelése, az éghajlatváltozás hatásainak mérséklése, valamint az élhető és esztétikus környezet kialakítása előtérbe helyezi a tartós, ellenálló és dekoratív fajok alkalmazását. A dísznövények közül a kúpvirág (*Rudbeckia hirta*) egy kedvelt faj a közterületi és magánkerti ágyásokban, mivel hosszan virágzó, meleg- és szárazságtűrő és viszonylag egyszerűen nevelhető. A magyar nemesítésű 'Őszifény' fajta korábban kiváló díszértéke miatt került be a közterületi fajtakörbe, ugyanakkor az utóbbi évek szélsőséges klímája miatt (nyári aszály, hőstressz, csapadékhiány) egyre inkább próbára teszi a fajta stabilitását és virágzási teljesítményét.

A klímaváltozás a dísznövénytermesztésben is új kihívásokat teremt. A nemesítők számára egyre nagyobb feladat az olyan genotípusok előállítása, amelyek a megváltozott környezeti feltételek között is képesek fenntartani díszítőértéküket. Ennek egyik lehetséges módszere a mutációs nemesítés gamma-sugárzás alkalmazásával, ami mesterséges genetikai változatosságot idéz elő a növényekben. A gamma-sugárzásos mutagenézis az egyik leghatékonyabb eszköz, amit számos dísznövényfaj esetében sikerrel alkalmaztak. A módszer különösen hasznos, ha a természetes genetikai változatosság korlátozott.

A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet (TTDI) Dísznövénytermesztési és Zöldfelületgazdálkodási Kutatócsoportja által fenntartott génbanki állomány megfelelő alapot biztosít a vizsgálatokhoz. Kísérletem során a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fajta egy szelektált törzsében vizsgáltam a gamma-sugárzás hatását. Arra törekedtem, hogy feltárjam, a különböző dózisok (30 Gy, 70 Gy és 120 Gy) milyen fenotípusos változásokat eredményeznek a növények fejlődésében, morfológiai jellemzőiben és díszítőértékében. A vizsgálatok célja nem csupán a változások dokumentálása volt, hanem annak meghatározása is, hogy melyik sugárzási szint biztosítja a legkedvezőbb egyensúlyt az életképesség megőrzése és az új variánsok kialakulása között. Végül célom egy olyan optimális gamma-sugárdózis azonosítása, amely a *Rudbeckia hirta* esetében a jövőben hatékonyan alkalmazható lehet mutációs nemesítési programokban, új és értékes dísznövény-változatok előállítása érdekében.

A kutatás során vizsgált kérdések:

- Hogyan hat a gamma-sugárzás különböző dózisa (30 Gy, 70 Gy, 120 Gy) a magok csírázási arányára és a kezdeti növekedési erélyre?
- Milyen mértékű morfológiai és fiziológiai eltérések figyelhetők meg a palánták és a szabadföldi növények fejlődésében a kezelések hatására?
- Kimutathatók-e olyan pozitív irányú mutációk, amelyek a díszítőértéket (pl. virágszám, levélszám, növénymagasság) növelik, ezáltal nemesítési vonalként is szerepet kaphatnak a jövőben?

2 Irodalmi áttekintés

2.1 Dísznövények szerepe a napjainkban

A dísznövények szerepe a mindennapi életben hosszú múltra tekint vissza. Már a legkorábbi civilizációk is dokumentálták jelenlétüket, melyek számos esetben fontos szerepet tölthettek be a kulturális és vallási szokásokban. Míg a múltban a dísznövénytermesztés korlátozott volt és leginkább csak a gazdag és befolyásos emberek engedhették meg maguknak a nevelésüket, termesztésüket, addig napjainkban magasan specializálódott iparággá vált globális szinten (Relf, 2014).

A dísznövények szerepe manapság nem csupán esztétikai, hanem funkcionális is. Jelenlétük számos területen érzeteti hatását, például a városi környezet tervezésében, magánkertek kialakításában, valamint az emberek pszichológiai jólétének támogatásában is egyre nagyobb jelentőséggel bírnak.

A városi területek zöldítése az esztétikai szempont mellett jelentős ökoszisztéma-szolgáltatásokat is nyújt. A dísznövények a vizuális értéken kívül fontos funkciókat töltenek be az ellátó (pl. táplálék, levegő és víztisztítás), a szabályozó (pl. esővíz-kezelés, éghajlat, beporzás és talajképzés) és a kulturális (pl. rekreációs lehetőségek, természetből merített inspiráció) szolgáltatások területén is. A zöld infrastruktúra hatékonyságához elengedhetetlen a megfelelő növényfajok és -fajták kiválasztása, ezért ezek alkalmazása egyre inkább a területfejlesztés és a várostervezés integrált részévé válik (Francini et al., 2022). Emellett a dísznövények városi alkalmazása jelentős szerepet játszik a klímaváltozás és az urbanizáció hatásainak mérséklésében, például a levegő minőségének javításával. Ugyanakkor ezek a növények hozzájárulnak a településeken élők mentális és fizikai egészségének támogatásához is, így egyszerre szolgálják a környezet fenntarthatóságát és az emberek jólétét (Orlóci & Fekete, 2023). A dísznövények a magánkertekben is komoly szerepet kapnak. Egy kert sokak számára nem csupán egy zöldfelület, hanem a nyugalom, a pihenés és a természet közelségének helyszíne is. (Bhatti, Church & Claremont, 2013). Vizsgálatok alapján a brit magánkertek az otthon részeként érzelmi kötődést váltanak ki, és sok esetben a gondoskodás, az elvonulás vagy éppen az önkifejezésre gyakorolnak pozitív hatást. Emiatt a magánkertek nemcsak esztétikai vagy funkcionális célokat szolgálnak (Hawkins et al., 2024).

Mindebből jól látható, hogy a dísznövények – legyen szó városi környezetről vagy magánkertekről – nem csupán esztétikai értékük miatt fontosak, hanem funkcionális,

környezetvédelmi és pszichológiai szerepük miatt is. A sokféle dísznövény között kiemelt jelentőséggel bírnak a lágyszárú fajok, ezen belül az egynyári növények. A következőkben ezen növények szerepét vizsgálom meg részletesebben.

2.2 Lágyszárúak és egynyári növények szerepe

A virágos növények életmód-stratégiája alapvetően három fő típusba sorolható: egynyári, kétnyári és évelő növények. Az egynyári fajok teljes élelciklusa – a csírázástól a magképzésig – egy vegetációs időszak alatt lezajlik (Moles & Westoby, 2006). A kétnyári fajok az első évben főként vegetatív szerveiket fejlesztik (pl. levélrózsa, gyökérzet), majd a második évben virágoznak és termést érlelnek, ezt követően elpusztulnak. Az évelők ezzel szemben több éven át fenntartják életképességüket, virágzásuk évről évre ismétlődik. Bizonyos fajok élelciklusa azonban obligát vagy fakultatív módon eltérhet: egyes növények csak meghatározott feltételek mellett (obligát) váltanak élelciklust, míg mások a környezeti tényezőktől – például hőmérséklet, fotoperiódus, téli fagyűrés – függően (fakultatív) viselkedhetnek egynyári, kétnyári vagy akár rövid életű évelő formában (Friedman, 2020). Magyarországi körülmények között például a *Rudbeckia hirta* többnyire egynyári, de enyhébb teleken fakultatív módon áttelelhet és a következő évben is virágozhat.

Az egynyári növények gyakran gyors növekedésükkel és virágzásukkal alkalmazkodnak kiszámíthatatlan vagy változó környezetekhez, ezért kiemelt szerepük van olyan helyeken, ahol a gyors megjelenés és látványosság fontos, mint például városi kertek vagy szezonális díszkertek esetében. Az évelők hosszabb élelciklusuk miatt stabilabb élőhelyeken és tartós zöldfelületeken dominálnak (Newstrom et al., 1994).

Élettani és genetikai szempontból az egynyáriak és évelők között gyakori az átmenet, ami befolyásolja például a szaporodási stratégiákat és a genetikai változatosságot. Az egynyári fajok egyetlen, erőteljes virágzási hullámmal hódítanak, ezzel szemben az évelők virágzása és szaporodása évekre tagolódik, így biztosítva állandó jelenlétüket. Ez az életmód-stratégiai különbség alapozza meg az egynyári lágyszárúak, mint a színes és látványos virágzású dísznövények népszerűségét a kertekben (Friedman, 2020).

2.3 A *Rudbeckia* nemzetség

A *Rudbeckia* nemzetség körülbelül harminc, Észak-Amerikában honos fajból áll, amelyek között egynyári, kétéves és évelő fajok is megtalálhatók (Armitage, 1997; Perdue, 1957).

2.3.1 Morfológiai és élettani jellemzők

A *Rudbeckia hirta* az *Asteraceae*, közismertebb nevén a fészkesvirágzatúak családjába tartozó növény, levelei ovális vagy rombusz alakúak, felületüket sörték borítják, levélszélük néha fogazott (RHS n.d.). Az egyéves *Rudbeckia hirta* diploid ($2n = 2x = 38$) és tetraploid ($2n = 4x = 76$) fajtákat foglal magába, amelyek változatos virágszínnel és virágformával rendelkeznek. Virágzásuk jellemzően nyár végén és ősszel történik, sárga, narancssárga, piros vagy barna virágaik feltűnőek és nagy dekoratív értékkel bírnak. A *Rudbeckia* népszerű dísznövényként, mert alacsony fenntartási igénye, valamint hő- és szárazságtűrése miatt városi környezetben is gyakran alkalmazzák (Palmer et al., 2009). A Raunkiaer-féle (1907) életformaosztályozás alapján a *Therophyta* növények közé sorolható, amelyek életciklusa egyetlen éven belül lezajlik: csíráznak, növekednek, virágoznak, majd ősszel elpusztulnak, és csupán a magjaik maradnak életben a következő vegetációs időszakig. Ugyanakkor bizonyos fajai és változatai megfelelő éghajlati vagy termesztési körülmények között évelőként is viselkedhetnek.

2.3.2 Szaporítás és termesztéstechnológia

A *Rudbeckia hirta* szaporítása leggyakrabban magvetéssel történik. A kertészeti gyakorlatban ezt a fajt többnyire egynyáriként nevelik, mivel az első évben gazdagon virágzik, és a következő szezonra gyakran elpusztul vagy díszítőértéke jelentősen csökken. A szaporítás lehet beltéri magvetés, ekkor a magok elvetése kora tavasszal (február/március) ajánlott, nedves vetőkomposzttal töltött tálcákba. A magokat ritkán kell elvetni, majd vékony rétegű vermikulittal vagy komposzttal lefedni. Az elvetett magokat üveglappal, átlátszó polietilén fóliával vagy a szaporító tálca áttetsző műanyag fedelével (propagátor fedél) kell letakarni, és 20°C hőmérsékleten tartani a csírázásig. Szabadföldi magvetés alkalmazása esetén a magokat késő tavasszal (májusban) az előkészített magágyba lehet vetni. Ez a módszer egyszerűbb, de hosszabb csírázási időt igényel. Az évelő *Rudbeckia* fajok és fajták szaporításának hatékony módja a tőosztás. A növényeket három-öt éves ciklusokban kell kiemelni a talajból, majd kisebb csomókra osztani. Ez a módszer nemcsak a szaporítást segíti elő, hanem a növények vitalitását is fenntartja.

2.3.3 Növényélettani igények és kórokozók

A *Rudbeckia hirta* termesztése során számos tényezőt kell figyelembe venni a növény optimális fejlődésének biztosítása érdekében. Fényigényét tekintve a napos fekvésű helyeket kedveli, ahol a közvetlen napfény biztosítja a megfelelő növekedést és virágzást. Ugyanakkor a félárnyékos is elviseli, bár ebben az esetben előfordulhat, hogy a virágzás intenzitása csökken. Talaj tekintetében a jó vízelvezetésű, termékeny talajban fejlődik a legjobban. A talaj szerkezetének megfelelő előkészítése – például szerves anyag hozzáadása – javítja a növény növekedését és virágzását. A növény rendszeres öntözést igényel, különösen száraz időszakokban. A talaj kiszáradása gyenge növekedést eredményezhet, ezért fontos, hogy a talajt folyamatosan nedvesen tartsuk, de kerüljük a pangó víz kialakulását. Kártevőkkel és betegségekkel szemben általában ellenálló. Ritkán előfordulhatnak azonban levéltetvek vagy lisztharmat-fertőzés - ezek elleni védekezés érdekében rendszeres megfigyelés és szükség esetén növényvédelmi beavatkozás javasolt. Ezen kívül a fitoplazma-fertőzések is komoly veszélyt jelentenek, amelyek világszerte előfordulnak és különösen az *Apiaceae* és az *Asteraceae* család fajait érintik. A fertőzések tünetei nem mindig specifikusak, azonban gyakran megfigyelhető a sárgulás, növekedési zavarok, hajtások elszaporodása, a virágok zöldes elszíneződése, méretcsökkenése, valamint a levelek vörösödése. Ezek a betegségek a jövedelmező dísnövény-termesztés egyik legnagyobb akadályát jelentik (Chaturvedi et al., 2010; Marcone et al., 2016).

2.3.4 Kertészeti és piaci jelentőség

A *Rudbeckia hirta* fajtái sokoldalúan felhasználhatók, leggyakoribb alkalmazása díszkertekbe, szegélyágyásokba ültetve történik. Élénk színeikkel feldobják a kert látványát. A természetes megjelenésük miatt ideálisak vadvirágos és prérístílusú kertekbe. A hosszú virágzási idejük és tartósságuk miatt kedveltek vágott virágként is (RHS n.d.). Magyar nemesítés által létrehozott legismertebb fajtái a 'Napfény', 'Őszifény' és 'Glória'. (Szántó, 2004). A dísnövény-piacon a *Rudbeckia hirta* népszerűsége részben annak köszönhető, hogy élénk színei és hosszan tartó virágzása a nyár végén és ősszel is intenzív látványt biztosít. A vásárlói igények között kiemelt szerepet kap a kompakt, szabályos növekedési forma, a színtartó virágzat, valamint a kisebb ápolási igény. Közterületi alkalmazás esetén előny a szárazságtűrés és az önművelő képesség, míg a magánkertekben a dekoratív, tömött bokorforma és a vágott virágként való felhasználhatóság számít értékes tulajdonságnak (NC State University, n.d.; PennState Extension, 2021). A vásárlói preferenciák jól tükröződnek a piacon

elérhető fajták körében is: a klasszikus megjelenésű 'Goldsturm' élénk sárga sugarakkal és sötétbarna középpel vált világszerte kedvelté, míg az 'American Gold Rush' kompakt formája és *Septoria* levélfoltossággal szembeni ellenállósága miatt emelkedik ki. Az 'Autumn Colors' és a 'Cherry Brandy' a különleges színek iránti igényt elégítik ki, előbbi aranytól a narancssárgán át barnás árnyalatokban virágzik, utóbbi pedig vöröstől a mély bordóig terjedő színátmenetével tűnik ki. Nemzetközi trend, hogy a nemesítési programok egyre inkább a különleges virágszínekre – például a bronzos, vörös árnyalatokra – és a több sorban elhelyezkedő szirmokra összpontosítanak, amelyek tovább növelik a faj piaci vonzerejét (Hawkins et al., 2024; PennState Extension, 2021).

2.4 A *Rudbeckia hirta* nemesítés alapjai és módszerei

A klímaváltozás hatásai – a szélsőséges hőmérsékleti ingadozások, a hosszan tartó aszályok és a heves, rövid ideig tartó csapadékesemények – napjainkra a dísnövénytermesztés egyik legnagyobb kihívásává váltak. A városi hősziget hatás tovább fokozza a növényeket érő stresszt, ami jelentősen csökkentheti a hagyományos fajták életképességét és díszítőértékét. Magyarországi példaként említhető az 'Őszifény' fajta, amely korábban kiválóan teljesített, azonban a megváltozott klimatikus feltételek között már nem minden évben képes hosszú virágzási időt és esztétikus megjelenést biztosítani. Ez a helyzet új, ellenállóbb, ugyanakkor látványos virágzatú és hosszú díszértékű fajták előállítását teszi szükségessé. A *Rudbeckia hirta* változatos genetikai háttere és széles körű alkalmazhatósága ideális alapot biztosít olyan nemesítési programokhoz, amelyek célja a klímaadaptív, betegségekkel szemben ellenálló és a modern kertészeti igényeket kielégítő változatok létrehozása.

Az utóbbi években a *Rudbeckia hirta* nemesítése során a klímaváltozásból fakadó termesztési kihívások is előtérbe kerültek. A szélsőséges hőmérséklet-ingadozások, a nyári aszályok és a városi hősziget hatás miatt megnőtt az igény a nagyobb szárazság- és hőtűrűsű, valamint a rövid, intenzív csapadékeseményeket is jól tűrő fajták iránt. Emellett a tartós díszítőérték – különösen a virágszín stabilitása és a hosszabb virágzási idő – szintén kiemelt nemesítési cél. A magyar és nemzetközi tapasztalatok alapján a *Rudbeckia* változatos genetikai háttere lehetőséget ad olyan új fajták előállítására, amelyek a jövő szélsőségesebb környezeti feltételei között is megbízhatóan teljesítenek. E célok megvalósításában a korszerű genetikai nemesítési programok – a hagyományos módszerektől a modern biotechnológiai megközelítésekig – kulcsszerepet játszanak.

A dísznövények esetében nem csupán az alapfaj vagy egy-egy ismert fajta értékes, hanem a kínálatban megjelenő forma- és színváltozatok sokfélesége is kulcsfontosságú. A vásárlóknak és a kerttervezőknek egyre nagyobb igénye van az újszerű, egyedi jellegű, változatos habitusú és bokros növekedésű fajták iránt, hiszen ezek még látványosabbá és sokszínűbbé teszik az ültetéseket. A kívánt változatosság előállításához a klasszikus nemesítési módszerek mellett napjainkban egyre nagyobb teret nyernek a genetikai alapú megközelítések.

A nemesítési programokban az interspecifikus hibridizáció és az indukált poliploidia jelentős javulási lehetőséget kínálhat. A diploid és a tetraploid egyedek összehasonlítása azt mutatta, hogy az indukált poliploidia szignifikánsan csökkentette az áttelelési képességet (Oates et al., 2012). A genom méretének elemzése arra utalt, hogy a *Rudbeckia hirta* esetében az 1C DNS-tartalom ploidiaszinttől függetlenül hasonló, de a közeli rokon fajok között jelentős eltéréseket mutat. Ez azt jelzi, hogy a genom evolúciója dinamikus és a közelmúltban is jelentős átrendeződéseken ment keresztül (Palmer et al., 2009).

A nemesítés másik módszere a poliploidia indukálása, amely javíthatja a termőképességet és növelheti a fenotípusos kifejeződést, például nagyobb virágméretet és robusztusabb vegetatív növekedést eredményezve. Azonban a mesterségesen előállított allopoliploidok gyakran instabilak, és genomátrendeződések, valamint kromoszóma-változások kísérhetik őket. Az allopoliploid hibridek esetében dokumentálták például a kromoszómák hosszúságának jelentős növekedését, amelyet a szunnyadó retrotranszpozonok aktiválása okozhat (Comai, 2000).

A *Rudbeckia hirta* genetikai és fiziológiai tulajdonságainak – ideértve a ploidiaszintek, a genomváltozások és a nemesítési eljárások eredményeit – alapos vizsgálata alapvető fontosságú lehet a gamma-sugárzás indukálta mutációk felhasználásával történő nemesítéshez. Ez a megközelítés hozzájárulhat a dísznövénykultúra genetikai diverzitásának bővítéséhez és az agronómiai szempontból is értékes tulajdonságok, például a szárazságtűrés vagy a kompakt növekedési forma kialakításához (Horn, 2002; Contreras et al., 2007). Az interspecifikus hibridek előállítása lehetőséget kínálhat a fajok kívánatos tulajdonságainak egyesítésére, például a mérsékelt növénymagasság, a széles szín- és formaválaszték, valamint a betegségekkel szembeni ellenállás terén. Erre egy példa a *Rudbeckia subtomentosa* és a *Rudbeckia hirta* közötti hibridizáció. (Palmer et al., 2008). Azonban ezek a hibridek gyakran steril utódokat eredményeznek, amelynek oka a meiózis során fellépő aszinapszis, azaz a homológ kromoszómák párosodási kudarca (Martin és Jouve, 1992).

A mutagenézis, különösen a fizikai mutagenézis, amelynek egyik gyakori módszere a gamma-sugárzás alkalmazása, olyan eszközt kínál, amellyel kontrollált környezetben mesterségesen előidézett mutációkkal új fajták hozhatók létre viszonylag rövid idő alatt. A mutagenézis különösen hatékony dísznövények esetén, hiszen lehetővé teszi új fenotípusos változatok kialakulását, például virágszín, forma vagy növekedési habitus tekintetében (Datta, 2005). A következőkben részletezem a mutagenézis módszertani hátterét és a gamma-sugárzással történő nemesítés elméleti alapjait.

2.5 A mutagenézis fogalma és típusai

A mutagenézis a genetikai anyag – a DNS vagy ritkábban az RNS – olyan megváltoztatását jelenti, amelynek következtében öröklődő változások, vagyis mutációk jönnek létre. A mutációk kialakulhatnak spontán módon, természetes körülmények között, vagy indukált formában, amikor külső tényezőket – úgynevezett mutagéneket – alkalmazunk a változások előidézésére (Shu et al., 2012). Az indukált mutagenézis különösen fontos a növénynemesítésben, mivel lehetővé teszi új, potenciálisan kedvező fenotípusok létrehozását viszonylag rövid idő alatt a genetikai variabilitás mesterséges növelésével (van Harten, 1998). A mutációk mesterséges előidézése a modern nemesítési gyakorlat egyik legrégebben alkalmazott módszere. Fontos szerepe abban rejlik, hogy akkor is képes genetikai variációkat biztosítani, amikor a természetes populációk változatossága korlátozott vagy a hagyományos keresztezési módszerekkel nem érhető el a kívánt eredmény, tehát nem csupán új allélok létrejöttét eredményezi, hanem felszínre hozhat olyan rejtett genetikai potenciált is, amely a hagyományos szelekció során nem kerülne előtérbe. Ez a dísznövények esetében nagy jelentőséggel bír, hiszen a fogyasztói igények gyakran az esztétikai tulajdonságokra irányulnak. Ezen túlmenően a módszer hozzájárul a nemesítési programok sokszínűségéhez, mivel új kiindulási anyagot biztosít további keresztezésekhez és genetikai kombinációkhoz. A mutagenézis a genetikai erőforrások bővítésével olyan tulajdonságokat is beemelhet a nemesítésbe – például a stressztoleranciát vagy a kórokozókkal szembeni ellenállást –, amelyek a klímaváltozás és az intenzív termesztési körülmények közepette kulcsfontosságúvá váltak (Koncz, 2014).

A mutagenézis főbb típusai:

- **Fizikai mutagenézis:** különféle sugárzások (gamma-, röntgen-, neutron- és UV-sugárzás), amelyek ionizáció révén károsítják a genetikai anyagot.

- **Kémiai mutagenézis:** különböző vegyületek (pl. etil-metánszulfonát – EMS, nátrium-azid – NaN_3), amelyek kémiai módosításokat idéznek elő a bázisokban.
- **Biológiai mutagenézis:** vírusok, transzpozonok vagy más biológiai ágensek által kiváltott genetikai változások (van Harten, 1998).

2.6 A mutációk genetikai háttere

A genetikai információt a DNS kettős spirál szerkezete hordozza, amely nukleotidokból épül fel. A mutáció a nukleotidsorrendben bekövetkező tartós változás, amely a következő szinteken jelentkezhet:

- **Pontmutációk:** Egyetlen nukleotid bázis megváltozását jelentik, amely történhet cserével (szubsztitúció), kieséssel (deléció) vagy beillesztődéssel (inszerció) (Grosovsky et al., 1988). Ezek a változások gyakran csak egy gén működését érintik, de már ilyen kismértékű elmozdulás is látványos fenotípusos eltérést eredményezhet (Hall, 1990). Előfordulhat, hogy egy pontmutáció új virágszín kialakulásához vezet, vagy a virág méretének, illatának intenzitásának megváltozását okozza (Sobel & Streisfeld, 2013).
- **Kromoszómaszintű mutációk:** A kromoszómák nagyobb szakaszait érintő változások, amelyek során kromoszómarészek kieshetnek, megkettőződhetnek vagy átrendeződhetnek. Ezek a mutációk jelentős szerkezeti és működésbeli változásokat hozhatnak létre a sejtekben, amelyek gyakran a növény morfológiai jellemzőiben is megmutatkoznak (Harewood & Fraser, 2014). A gyakorlatban ez levélalak- vagy levélméret-változásban, különleges virágformák megjelenésében, vagy akár a növekedési ütem módosulásában nyilvánulhat meg, ami a dísznövények piaci értékét is befolyásolhatja (Datta, 2020).
- **Genomszintű változások:** A kromoszómakészlet egészének megváltozását jelentik, leggyakrabban a ploidiaszint módosulását (például diploidból tetraploid állapotba történő átmenet). A poliploidizáció következtében a sejtekben több genetikai információ halmozódik fel, ami sok esetben nagyobb sejtméretet, vastagabb leveleket, erőteljesebb hajtásnövekedést és intenzívebb virágszíneket eredményez (Gerstein & Otto, 2009). A dísznövény-nemesítésben különösen fontos, mert az így létrejövő fajták gyakran ellenállóbbak a környezeti stresszel szemben, és esztétikai tulajdonságaik – például virágméret vagy virágzási időtartam – is javulhatnak (Ibrahim et al., 2018).

A mutációk hatása lehet semleges, káros vagy előnyös. A növénynemesítés szempontjából kiemelt jelentőségük az előnyös mutációknak van, mivel ezek új és értékes tulajdonságokat eredményezhetnek a fajtákban (Alberts et al., 1994). Számos dísznövény-fajta, például a krizantém vagy a rózsza, mutációs eredetű változatok révén vált sokszínűvé és piacképesé (Datta, 2023).

A genetikai változatosság növelése alapvető cél a dísznövény-nemesítésben, hiszen így bővül a szelekciós lehetőségek alapja (Datta, 2022). Minél gazdagabb a kiinduló genetikai állomány, annál nagyobb eséllyel állíthatók elő olyan új fajták, amelyek jobban alkalmazkodnak a városi környezethez, ellenállóbbak a betegségekkel vagy abiotikus stresszel szemben, és esztétikai értékük is növekszik (Farinati et al., 2022).

2.7 A mutagenézis alkalmazásának kertészeti vonatkozásai

A mutációk a genetikai variabilitás egyik fontos forrásai, amelyet a növénynemesítési programokban használnak fel (Ryan, 2005). A gamma-sugárzás az egyik fizikai mutagén, amelyet széles körben alkalmaznak a mutációs tenyésztésben. Ez a módszer citológiai, genetikai, biokémiai, fiziológiai és morfogenetikus változásokat idézhet elő a növények sejtjeiben és szöveteiben (Borthwick et al., 1961). A gamma-besugárzás az optimális dózisok alkalmazásával javíthatja a növények tulajdonságait, például növelheti a stressztűrést, a hozamot vagy akár új fenotípusokat is előállíthat (Sanada, 1986).

A mutagenézis technikák integrálása az in vitro tenyésztésbe és molekuláris biológiai módszerekbe, például a molekuláris markerekbe, új lehetőségeket teremtett. Például a TILLING (Targeting Induced Local Lesions in Genomes) technológia lehetővé teszi a mutáns populációk genetikai elemzését a fenotípusos tulajdonságok megjelenése előtt (McCallum et al., 2000). Az ionizáló sugárzások, amilyen a gamma-sugárzás is, hatékony eszközök a kertészeti növények nemesítésében (Pepó, 2011).

2.8 A gamma-sugárzás kertészeti alkalmazása

A gamma-sugárzás a Cobalt-60 (^{60}Co) és a Cézium-137 (^{137}Cs) bomlása során keletkező sugárzás, mely jelentős hatással van a növények genetikai és fiziológiai tulajdonságaira. Az optimális dózis kiválasztása kritikus fontosságú, mivel a túl magas dózisok gátolhatják a növények csírázását, növekedését, és kromoszóma-rendellenességeket idézhetnek elő (Pu et al., 2015; Omar et al., 2008).

A *Rudbeckia hirta* esetében a gamma-sugárzás potenciálisan befolyásolhatja a növény klorofilltartalmát, morfológiai jellemzőit és szárazságtűrését, ahogyan azt más növényeknél, például búzánál vagy rózsánál is megfigyelték (Singh és Datta, 2010; Bala és Singh, 2013). A gamma-sugárzás biokémiai és genetikai hatásainak elemzése különösen fontos az olyan új fajták előállításánál, amelyek jobb tulajdonságokkal, például stressztűrő képességgel rendelkeznek.

A gamma-sugárzás által kiváltott mutációk jelentősége abban rejlik, hogy képesek új genetikai variációkat létrehozni, amelyek hozzájárulhatnak a *Rudbeckia hirta* új fenotípusainak kifejlődéséhez. Az optimális sugárdózisok alkalmazása során a növekedési paraméterek, mint például a növénymagasság, levélfelület vagy a virág színe és morfológiája, kontrollált módon módosíthatók, miközben minimalizálják a káros hatásokat (Zani et al., 2017). In vitro mutagenézis kísérleteket végeztek a *Rosa hybrida* L. 'Pusa Mohit' fajtán, amely különböző dózisu γ -sugárzással kezelték. A vizsgálatok során jelentős morfológiai eltéréseket figyeltek meg a mutáns és a kontroll populációk között. Négy virágszín-mutánst sikerült izolálni, amelyek színe eltért az eredeti fajtaétól, illetve új színváltozatokat képviseltek (Bala & Pal Singh, 2013). Hasonlóan ígéretes eredményeket mutattak ki a *Gerbera jamesonii* 'Harley' fajtán végzett kísérletek is, ahol a gamma-irradiációt a lisztharmat (*Erysiphe cichoracearum*) elleni rezisztencia fokozása érdekében alkalmazták. A kezelések hatására olyan mutáns vonalakat sikerült előállítani, amelyek fokozott toleranciát mutattak a betegséggel szemben, bizonyítva, hogy a gamma-sugárzás hatékony eszköz lehet a betegség-ellenállóság javításában (Ghani & Sharma, 2019).

2.9 A gamma-sugárzás és a genetikai változatosság

A gamma-sugárzás által kiváltott genetikai változások elősegítik a kívánt tulajdonságok kialakulását a *Rudbeckia hirta* nemesítésében. Az LD₅₀ dózis meghatározása elengedhetetlen a hatékony mutagenézishoz, mivel ez az érték biztosítja a megfelelő mutánsok előállítását a populáció életképességének fenntartása mellett (Suresh et al., 2017).

2.10 A hormézis jelensége

A hormézis elméleti alapjai több mint egy évszázadra nyúlnak vissza. Az 1880-as években egy német kutató Hugo Schulz figyelte meg, hogy egyes fertőtlenítőszeres kis

koncentrációban serkentik, nagy koncentrációban viszont gátolják az élesztő anyagcseréjét (Calabrese, 2007).

A hormézis jelensége a biológiai rendszerekben megfigyelhető kétfázisú dózis - válasz kapcsolatot írja le, amelynek lényege, hogy alacsony dózisban stresszhatás serkentő és a védekező mechanizmus felerősödhet a növényben, míg magasabb dózisban gátló vagy toxikus hatású (Calabrese & Mattson, 2017). Az összesített laboratóriumi és szabadföldi megfigyelések alapján a különböző sugárdózisok hatása nemcsak a növény általános növekedésében, hanem a korai fejlődési szakaszokban is jól nyomon követhető volt, különösen a csíranövények morfológiai jellemzőinek vizsgálatakor. A gyökérszóna fejlődésében is serkentő hatás mutatkozott, amely a hormézis jelenségéhez köthető a korábbi vizsgálatok szerint (Jalal et al., 2021). A fogalom eredetileg a toxikológusok által használt, kutatásokból származó kifejezés, de mára a biológia, az ökológia és az orvostudomány területén is széles körben alkalmazzák, mivel jól leírja a sejtek és szervezetek adaptív válaszait mérsékelt környezeti stressz esetén (Calabrese, 2018).

3 Anyag és módszer

3.1 Helyszín

A kísérlet helyszíne Budapesten volt, a MATE Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézete által fenntartott Budatétényi Rózsakertben. Itt a Dísznövénytermesztési és Zöldfelületgazdálkodási Kutatócsoport üvegházában és szabadföldi területén állítottam be és végeztem kutatásomat, ami 2024. március 19-én kezdődött és 2024. október 16-án fejeződött be.

3.2 Fajta

A vizsgálat növényanyaga a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fajtája volt, amelyet Kovács Zoltán nemesített Magyarországon, kifejezetten díszágyásokba és közterületi beültetésekbe (1. ábra). A fajtát jelenleg a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet Dísznövénytermesztési és Zöldfelületgazdálkodási Kutatócsoportja tartja fenn génbanki állományában. Az 'Őszifény' bokros növekedésű, 50–70 cm magas, nagy (8–12 cm átmérőjű), sárga szirmú, sötétbarna közepű fészekvirággal rendelkező fajta, amely júliustól késő őszig virágzik. Levelei lándzsás-tojásdad alakúak, szélük enyhén fogazott, felszínük enyhén szőrözött, ami fokozza a szárazságtűrést és a városi környezetben való alkalmazkodóképességet. Virágzása hosszan tartó, júliustól egészen a késő őszi fagyokig elhúzódik, így nagy díszítőértékű és tartósan színt ad a közterületi kiültetéseknek.

1. ábra: A *Rudbeckia hirta* 'Őszifény'

(Forrás: saját fénykép)



3.3 Előzetes vizsgálatok

A fajta vetőmagja 2023 őszén került begyűjtésre a MATE TTDI Kutatócsoportjának génbanki állományában. A vetőmagok gépi tisztítást követően elküldésre kerültek az IAEA kutatóállomásra (Seibersdorf, Ausztria), ahol különböző dózisu gamma-sugárzással végezték el a besugárzást. Három dózis került alkalmazásra: 30 Gy,(gray) 70 Gy és 120 Gy erősségű, valamint egy kontrollcsoport is rendelkezésre állt, amely nem részesült besugárzásban. Ezek a dózistartományok lehetőséget adtak arra, hogy megfigyelhessük, miként hatnak az alacsonyabb és magasabb sugárterhelések a csírázásra, a növekedésre és a morfológiai változatosságra kialakulására.

3.4 Módszer

3.4.1 Csíranövények felmérése

A kísérlet első szakaszában a csírázóképeséget és a kezdeti növekedési erélyt vizsgáltam. Ennek megállapítására csírázási erélyvizsgálatot végeztem. A magokat 2024. március 18-án szűrőpapírra helyeztem, majd MLW típusú csíráztató kamrában, 32 °C-on, 14 napon keresztül neveltem, három ismétlésben, csoportonként száz mag felhasználásával és kétnaponta történő felmérésével (2. ábra).

2. ábra: *Rudbeckia hirta* magok csíráztatás után szűrőpapíron

(Forrás: Saját fénykép)



A kicsírázott magokon a gyökérkezdemények hosszát mértem meg szikszármérést alkalmazva, milliméterbeosztású mérőpapír segítségével (3. ábra). Ez a módszer pontos képet adott a különböző sugárdózisok hatásáról a csírázás dinamikájára és a kezdeti növekedési erélyre.

3. ábra: Csíranövények gyökerkezdemény-hosszának mérése milliméterpapíron

(Forrás: Saját fénykép)

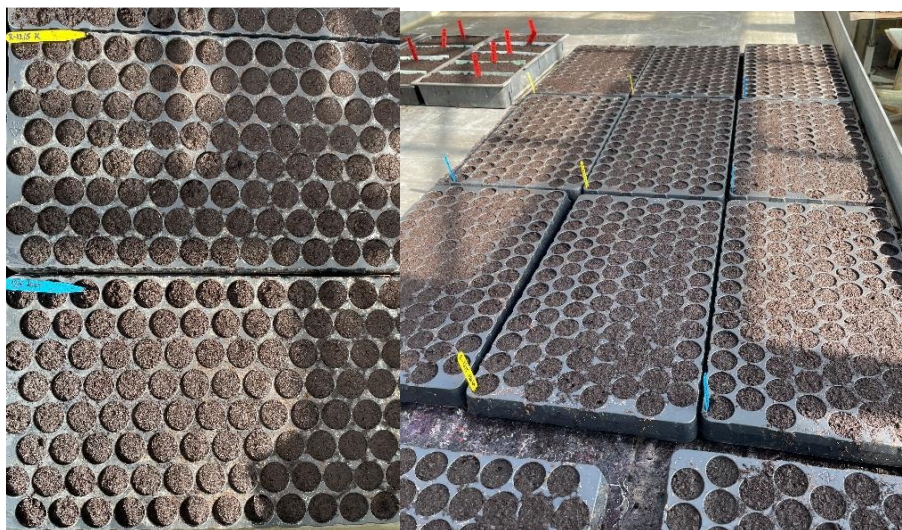


3.4.2 Palánták felmérése

A magok elvetésére 2024. március 19-én került sor. Ekkor minden besugárzott és kontroll magot 104-es szaporítótálcába vettem el, csoportonként százasával, melyek üvegházba kerültek nevelésre 18-20°C fokon (4. ábra). A különböző dózissal kezelt magok és a kontroll csoport egyforma körülmények között nevelkedtek annak érdekében, hogy az eredmények összehasonlíthatók legyenek.

4. ábra: A kísérlet beállítása a magok vetése és csíráztatása 104-es szaporítótálcában

(Forrás: Saját fénykép)



A csíranövények fejlődése során egy alkalommal tűzdelést (pikírozást) végeztem (5. ábra). Ez egy olyan kertészeti eljárás, amikor a túl sűrűn (általában szórva) vetett, apró, két szikleveles palántákat átültetik egyesével nagyobb tenyészterületre, hogy ne nyomják el egymást, ne versengjenek a fényért, tápanyagért és fejlődésük optimális legyen. Ez a művelet megakadályozza a túlsűrűség okozta problémákat, mint a megnyúlás vagy a palántadőlés (*Phythium spp.*) nevű gombabetegség, és lehetővé teszi a növények számára, hogy zavartalanul fejlődjenek a kiültetésig.

5. ábra: Csíranövények fejlődése

(Forrás: Saját fénykép)



A mérésre 2024. május 9-én került sor, amikor a csírázást és a kezdeti növekedést vizsgáltam. Ekkor csoportonként megszámláltam a kicsírázott egyedek számát, majd véletlenszerű kiválasztással 20 növényt jelöltem ki részletes morfológiai felmérésre (6. ábra). A mérésekhez Kern PCB 2000-1 precíziós mérleget alkalmaztam.

6. ábra: Kiválasztott palánták morfológiai vizsgálat előtt

(Forrás: Saját fénykép)



A vizsgálat során az alábbi paramétereket rögzítettem:

- **Növénymagasság (cm):** a talajfelszíntől a növény csúcsi részéig mért távolság (7. ábra)
- **Levélszám (db):** a főhajtáson és oldalhajtásokon kifejlődött levelek darabszáma
- **Friss zöldtömeg (g):** a talajfelszín feletti hajtások és levelek friss tömege rövid idővel a talajból való eltávolítást követően (8. ábra)
- **Friss gyökértömeg (g):** a gyökérzet friss tömege, amikor a gyökérzetről a föld lemosásra került, majd közvetlenül mértem azt precíziós mérleggel (8. ábra)
- **Száraz tömeg (g):** a zöld- és gyökértömeg MLW típusú szárítószekrényben (40 °C, 96 óra) történő szárítása után mért érték precíziós mérleggel meghatározva
- **SPAD-érték:** arányos klorofill tartalmú index vagy relatív klorofill érték, amit egy hordozható, Konica-Minolta típusú kézi műszerrel mértem a növények levelein

7. ábra: A növénymagasság meghatározása

(Forrás: Saját fénykép)



8. ábra: A levél- és gyökértömeg meghatározása

(Forrás: Saját fénykép)



3.4.3 Szabadföldi állomány felmérése

A magból nevelt palánták szabadföldi parcellákba való kiültetésére 2024 májusának végén került sor. Itt a valós környezeti feltételek között vizsgálhattam, hogyan hatnak a különböző gamma-sugárdózisok a növények hosszabb távú fejlődésére és díszítőértékére. A szabadföldi állományban kettő mérési időpontban végeztem részletes adatfelvezetést (9. ábra).

1. mérés – 2024. július 31.

Csoportonként 10 darab növény részletes felmérését végeztem az alábbi paraméterek szerint: gyökérhossz (cm), növénymagasság (cm), gyökértömeg (g), növénytömeg (g), levél szám (db), virágszám (db) és SPAD-érték.

9. ábra: A 70 Gy gamma- sugárzással kezelt növény fejlettségi állapota

(Forrás: Saját fénykép)



2. mérés – 2024. október 16.

A teljesen kifejlett növényeket vizsgáltam, megismételve a júliusban végzett méréseket (10. ábra). Ez az ismételt felmérés lehetővé tette a növekedés és fejlődés időbeli változásának összehasonlítását, valamint a gamma-besugárzás dózisének hosszú távú hatásainak értékelését (11. ábra).

10. ábra: SPAD-mérés a klorofilltartam meghatározására

(Forrás: Istvánfi Zsanett fényképe)



11. ábra: 70 Gy dózissal kezelt növény teljes kifejlett állapotban

(Forrás: Saját fénykép)



A mérési adatokat digitálisan rögzítettem, majd Microsoft Excel program segítségével értékeltem, hogy kimutathatóvá váljanak az egyes kezelések közötti különbségek és tendenciák.

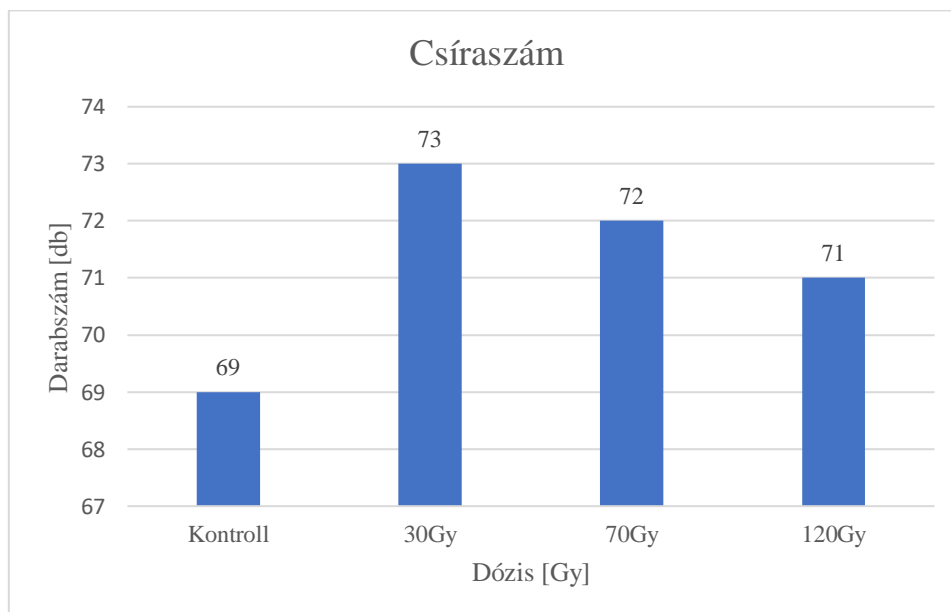
4 Eredmények

A kísérletek eredményei jól szemléltetik, hogy a különböző gamma-sugárdózisok eltérően befolyásolták a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' magjainak csírázását és korai fejlődését.

4.1 Csíranövények

A 14 napos csíráztatási periódus végén a különböző gamma-sugárdózisok hatását értékeltem a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' magjainak csírázóképeségére és kezdeti növekedési erélyére. A vizsgálat során csoportonként száz darab mag került elvetésre, és megállapítható, hogy a csírázási arányok között mérsékelt eltérések mutatkoztak (12. ábra). A legmagasabb csírázási arány a 30 Gy dózisú kezelés esetében tapasztalható, ahol 73 darab mag csírázott ki a százból. Ezt szorosan követte a 70 Gy csoport 72 db, valamint a 120 Gy kezelés 71 db csírázott maggal. A kontrollcsoportban megfigyelt 69 darab csírázott mag a kísérlet során legalacsonyabb értéknek tekinthető.

12. ábra: Csírázási arány a különböző gamma-sugárdózisok hatására

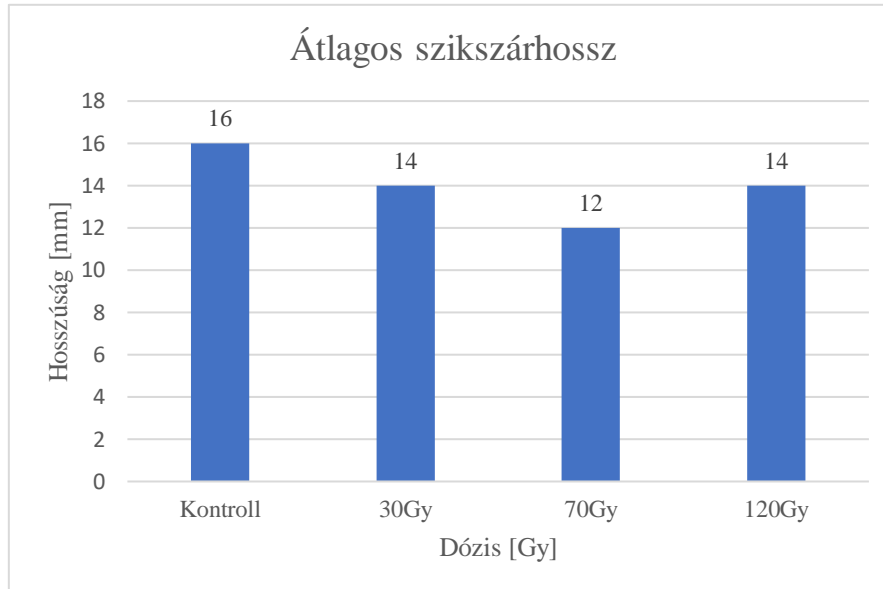


Eredményeim alapján a gamma-sugárzásnak volt hatása, de nem okozott jelentős eltérést a kontrollhoz képest.

A kezdeti növekedési erély értékelése is elvégzésre került a szikszár hosszának (mm) meghatározásával. Az eredmények alapján a besugárzott csoportok között kisebb különbségek mutatkoztak a szikszár hosszát tekintve. A kontrollcsoportban átlagosan 16 mm-es hossz volt

jellemző, míg a 30 és 120 Gy dózisú csoportban ez 14 mm-re, a 70 Gy kezelés esetében 12 mm-re csökkent (13. ábra).

13. ábra: Szikszár hosszának (mm) alakulása különböző gamma-sugárdózisok hatására



A mért adatok azt mutatják, hogy a gamma-sugárzás befolyásolta a csíranövények korai fejlődését. Az alacsony (30 Gy) és magas (120 Gy) dózis hasonló mértékű mérsékelt növekedéscsökkenést eredményezett, míg a közepes (70 Gy) dózis bizonyult a leginkább gátló hatásúnak a növények kezdeti fejlődésére.

4.2 Palánták

4.2.1 Csírázási arány

A száz elvetett mag csírázási aránya a következő volt: A 30 Gy dózisonál 61 db, 71 Gy dózisonál 73 db míg a 120 Gy esetében 54 db palánta fejlődött ki, a kontrollcsoportban pedig 57 db (1. táblázat).

1. táblázat: A száz vetett magból kifejlődött növények darabszáma

	Kontroll	30 Gy	70 Gy	120 Gy
Növényszám (db)	57	61	73	54

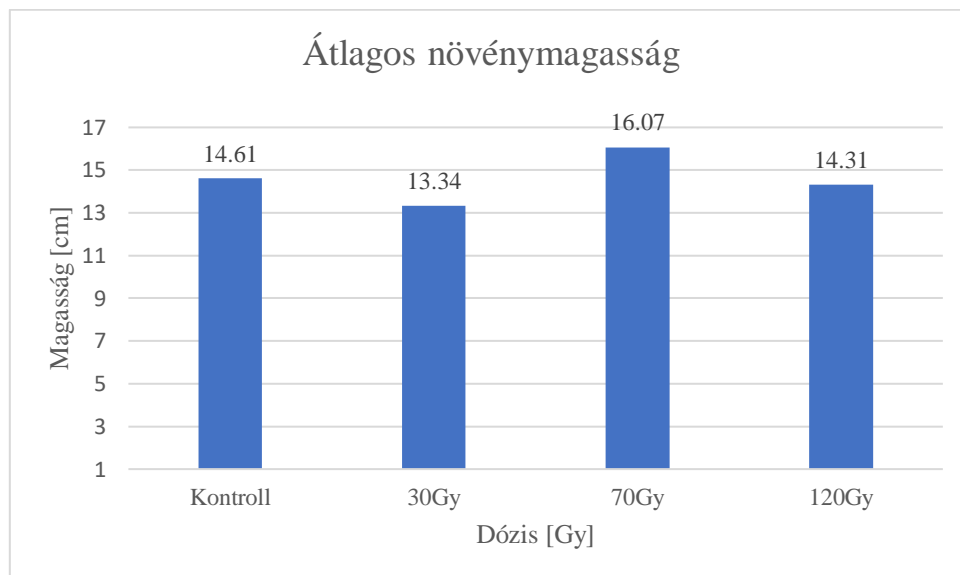
A legtöbb növény (73 db) a 70 Gy dózisonál volt, ami azt jelzi, hogy ebben a kezelési szintben a sugárzás serkentő hatású lehetett a korai növekedési folyamatokra. A kontroll csoport

alacsonyabb növény száma (57 db) azt mutatja, hogy a besugárzás bizonyos mértékig pozitívan befolyásolja a magok csírázását, de a 120 Gy csoportnál (54 db) már kedvezőtlenebb hatást gyakorolt az életképességre.

4.2.2 Növénymagasság és levélszám

A növénymagasság és a levélszám alapján a sugárdózisok hatása egyértelműen megmutatkozott a növekedési dinamikában, csoportonként húsz darab növény adatát átlagoltam. A legnagyobb átlagos növénymagasságot a 70 Gy dózissal kezelt csoportban mértem (16 cm), ami a növekedés serkentésének a jele. Ezt követte a kontroll (15 cm), míg a 30 Gy és 120 Gy csoportok kisebb átlagmagasságot mutattak (13 és 14 cm) (14. ábra). Ez az eredmény arra utal, hogy a közepes intenzitású sugárzás serkentette a sejtosztódási és megnyúlási folyamatokat.

14. ábra: Palántakori növénymagasság



A levélszám esetében a különbségek kevésbé voltak markánsak, ezt a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat: 20 db palánta levélszámának átlaga

	Kontroll	30 Gy	70 Gy	120 Gy
Átlag (db)	4,55	5,1	4,65	4,6

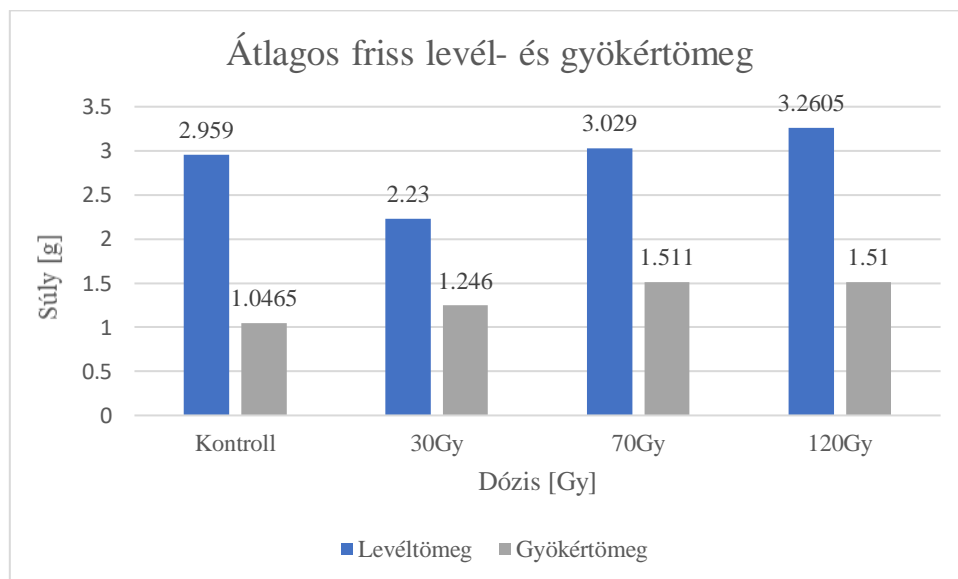
4.2.3 Friss levél- és gyökértömeg

A *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' palánták friss zöldségének vizsgálata során a besugárzott csoportok között egyértelmű különbségek mutatkoztak. A legnagyobb zöldséget a 120 Gy dózissal kezelt növények produkálták (átlagosan 3,26 g), amelyet szorosan követett a 70 Gy kezelés (3,03 g). A kontrollcsoport értéke 2,96 g volt, míg a legalacsonyabb tömeget a 30 Gy csoportban mértem (2,23 g) (15. ábra).

A közepes és magasabb dózisu kezeléseket a hajtások tömegének növekedését eredményezték, ami arra utal, hogy ezek a besugárzási szintek segíthették a fotoszintetikus aktivitást és a sejtosztódást. A 30 Gy dózis ezzel szemben mérsékelt növekedést mutatott, ami alátámasztja, hogy a túl alacsony sugárterhelés nem feltétlenül vált ki serkentő hatást.

A gyökértömeg eredményei ezzel összhangban alakultak. A legnagyobb friss gyökértömeget a 70 Gy és a 120 Gy dózisu csoportokban mértem (1,51 g), míg a kontrollcsoportban 1,05 g, a 30 Gy kezelésben pedig 1,25 g volt az átlagérték (15. ábra). Ez azt mutatja, hogy a közepes és magasabb dózisu besugárzás fokozta a gyökérképződést.

15. ábra: A friss levél és gyökértömeg átlaga



A gamma-sugárzás tehát javította a palánták víz- és tápanyagfelvételt, ami a későbbi fejlődési szakaszokra is pozitívan hathat.

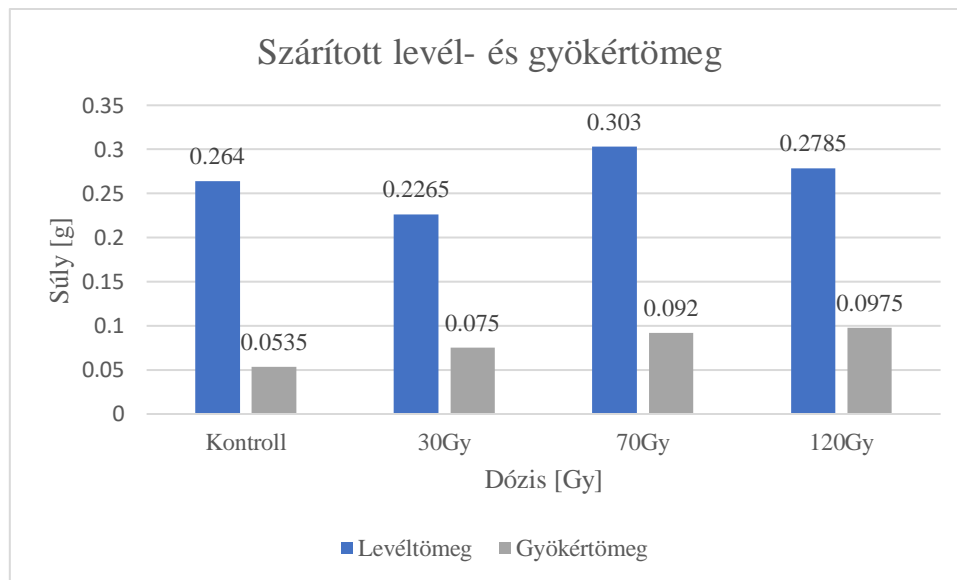
4.2.4 Szárított levél- és gyökértömeg

A szárított levél- és gyökértömeg esetében a 70 Gy kezeléssel kezelt növények rendelkeztek a legnagyobb átlagértékkel (0,30 g), ezt követte a 120 Gy (0,28 g), majd a kontroll (0,26 g) és a 30 Gy (0,23 g) (16. ábra). A különbségek alapján megállapítható, hogy a közepes dózis pozitív hatással volt, míg az alacsonyabb besugárzás némileg visszavetette a növények tömegét.

A szárított gyökértömeg esetében hasonló tendencia figyelhető meg: a legnagyobb értékeket a 70 Gy (0,092 g) és a 120 Gy (0,098 g) csoportokban rögzítettem, míg a kontroll (0,054 g) és a 30 Gy (0,075 g) kezelések alacsonyabb eredményt mutattak (16. ábra).

A palánták felmérése során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a gamma-sugárzás jelentős hatást gyakorolt a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' korai fejlődésére, de ez a hatás nem lineáris.

16. ábra: A szárított levél és gyökértömeg átlaga



A 70 Gy dózis mutatta a legkiegyensúlyozottabb fejlődési mintázatot, hiszen ennél a kezelési szinten a palánták magassága, levélszáma, valamint a friss és száraz gyökér- és levéltömeg is kiemelkedtek. A kontrollhoz viszonyítva mindhárom sugárkezelt csoportban kimutatható volt valamilyen irányú eltérés, ami igazolja, hogy már viszonylag kismértékű sugárzás is befolyásolhatja a növényfiziológiai folyamatokat.

A vizsgálatok alapján a gamma-sugárzás dózis- és időfüggő módon befolyásolta a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fejlődését. A csírázás és a korai magoncfejlődés szintjén a

kezelések közötti különbségek mérsékeltek voltak: a csírázási arány a 30 - 120 Gy tartományban a kontrollhoz hasonló, esetenként kissé magasabb értéket mutatott, miközben a szikszár hossza a 70 Gy csoportban volt a leginkább visszaeső. A palántanevelés során már markánsabban elkülönültek a dóziscsoportok: a 70 Gy kezelés növelte az átlagos palántamagasságot és a friss zöldtömeget, a 120 Gy szintén magas zöldtömeget eredményezett, míg a 30 Gy inkább visszafogott értékeket adott. Ez arra utal, hogy a kezdeti fejlődési szakaszban a közepes illetve magasabb dózisok átmenetileg serkenthetik a biomassza-felhalmozódást.

4.3 Szabadszíri állomány

4.3.1 Júliusi mérés eredménye

A 2024. július 31-én végzett szabadszíri felmérés során 15 növényt vizsgáltam meg minden kezelési csoportban. Felmérésre került a növénymagasság, levél- és virágszám a zöld- és gyökértömeg, illetve a klorofill tartalom (SPAD). Az eredmények alapján, amit a 3. táblázat szemléltet, a kontrollcsoport fejlődött a legintenzívebben minden paraméter tekintetében.

3. táblázat: A júliusi mérés átlagolt eredményei

	Kontroll	30 Gy	70 Gy	120 Gy
Magasság (cm)	56,6	43,1	30,1	4,6
Levélszám (db)	79,3	32,2	15,9	16,9
Virágszám (db)	12,5	3,6	3,9	1,1
Zöldtömeg (g)	134,5	41,7	31,2	25,4
Gyökértömeg (g)	9,2	3,7	4,3	3,1
SPAD	38,8	38,8	37,7	37,1

Az eredmények alapján jól látható, hogy a kontroll növények minden vizsgált paraméterben szignifikánsan magasabb értéket mutattak, mint a gamma-sugárzással kezelt egyedek. Ez a tendencia arra utal, hogy a magasabb gamma-sugárdózisok gátló hatást gyakoroltak ebben a vegetatív és generatív fejlődési szakaszban. A növények klorofill tartalma

(SPAD érték) ugyanakkor csak kis mértékben tért el egymástól, ami arra utal, hogy a klorofilltartalom és a levél zöld színe nem szenvedett jelentős károsodást a sugárzás hatására (17. ábra).

17. ábra: A növények fejlettségi állapota júliusban (K (kontroll), 30, 70 és 120 Gy)

(Forrás: saját fénykép)



4.3.2 Októberi mérés eredménye

A 2024. október 16-án történt a szabadföldi mérés ismétlése, ekkor a növények már teljes fejlettségükben voltak, így a gamma-sugárzás hosszabb távú hatásának vizsgálatára is lehetőség volt. Az eredmények alapján ekkorra jelentős felzárkózás figyelhető meg a besugárzott csoportokban, különösen a 30 Gy és 70 Gy kezeléseknél (4. táblázat). Ez a növekedési ugrás arra utal, hogy a sugárzás hatása nem állandó, hanem időben változik.

4. táblázat: Az októberi mérés átlagolt eredményei

	Kontroll	30 Gy	70 Gy	120 Gy
Magasság (cm)	59,9	70,6	51,0	58,5
Levélszám (db)	96,4	108,7	100,2	97,3
Virágszám (db)	18,3	28,2	21,9	21,4
Zöldtömeg (g)	328,9	289,0	292,9	356,5
Gyökértömeg (g)	54,89	29,2	57,4	33,2
SPAD	32,1	34,4	37,4	38,9

A mérések azt mutatták, hogy az őszi időszakra a növények korábbi eredményei jelentősen megváltoztak és több esetben a gamma-sugárzással kezelt csoportok eredményei meghaladták a kontroll csoportét. A 30 Gy dózisú kezelésnél a növénymagasság 70,6 cm-re nőtt, ami mintegy 10 cm-rel haladta meg a kontroll értékét. A levélszám és virágszám is ebben a csoportban volt a legmagasabb (108,7 db levél, 28,2 db virág), ami arra utal, hogy az alacsony sugárterhelés serkentette a hajtásnövekedést és a virágképzést. Ezzel szemben a 120 Gy csoportban a friss növénytömeg kiemelkedően magas volt (356,5 g), viszont a gyökértömeg és a virágszám elmaradt a további csoportokhoz képest. A SPAD-értékek az október 16-án végzett mérés során mérsékelten csökkentek minden kezelési csoportban a július 31-i adatokhoz képest, ami a klorofiltartalom természetes csökkenését jelzi a vegetációs időszak végéhez közeledve.

4.3.3 Összehasonlító értékelés

A két időpont eredményeinek összevetése alapján megállapítható, hogy a gamma-sugárzás kezdetben gátló, később serkentő hatást gyakorolt a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' növények fejlődésére.

Szabadföldi körülmények között érdekes mintázat rajzolódott ki: júliusban a kontrollcsoport minden vizsgált paraméterben jobban teljesített a besugárzott növényeknél, ami arra utal, hogy a sugárzás a vegetációs időszak elején inkább gátló hatású volt. Októberre azonban a tendencia megfordult a 30 Gy csoport számos paramétert tekintve (magasság, levél- és virágszám) felülmúlta a kontrollt, a 70 Gy kiegyensúlyozott növekedést adott, míg a 120 Gy

főleg zöldtömegben mutatott kiemelkedő értékeket, de gyökérben és virágképzésben gyengébb maradt. (18. ábra).

Az eredményekből látható, hogy a sugárzás hatása nem lineáris: nem igazolódott be az a feltételezés, hogy a nagyobb dózis automatikusan kedvezőtlenebb, sokkal inkább egy görbe jellegű válasz rajzolódott ki, amelyben a közepes dózis serkentette, míg a túl magas dózis bizonyos morfológiai jellemzőket gátolta. Az adatok azt mutatják, hogy a mérsékelt dózis hosszabb távon kedvezően befolyásolja a díszértéket (nagyobb levél- és virágszám), míg a magas dózis inkább vegetatív irányba tolja a fejlődést. Fontos megfigyelés, hogy a kezdeti hátrány (nyáron a kezelt növények gyengébben teljesítettek) később kiegyenlített, sőt esetenként meg is fordult, ami jól mutatja a növények regenerációs és alkalmazkodási képességét.

Érdekes, hogy a klorofill-tartalom (SPAD) a vizsgálatok során alig változott. A júliusi mérés során 37-39 intervallumba, az októberi mérés során 32-39 intervallumba esett, vagyis a klorofilltartalom kevésbé érzékeny mutató volt, mint a morfológiai jellemzők. Ez azt sugallja, hogy nem minden mérőszám alkalmas a sugárzás hatásának kimutatására, ennél sokkal informatívabb volt a magasság, levélszám és virágszám.

18. ábra: A növények fejlettségi állapota októberben (K (kontroll), 30, 70 és 120 Gy)

(Forrás: saját fénykép)



A vizsgálatok igazolták, hogy a gamma-sugárzás hatása a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fejlődésére dózisfüggő, és nem lineáris mintázatot követ. A közepes sugárdózisok (30–70 Gy) több morfológiai jellemzőben serkentő hatást fejtettek ki, míg a magas dózis (120 Gy) főként vegetatív növekedést eredményezett a generatív szervek rovására. A júliusi mérés során tapasztalt kezdeti gátlás októberre mérséklődött, ami a növények regenerációs képességét mutatja. Az eredmények alapján a mérsékelt sugárdózisok ígéretes eszközt jelenthetnek a dísznövény-nemesítésben.

5 Következtetések és javaslatok

A gamma-sugárzás növényekre gyakorolt hatása évtizedek óta az egyik legérdekesebb területe a növényélettani és nemesítési kutatásoknak (Ryan, 2005), amely képes olyan genetikai változásokat előidézni a sejtekben, amelyek befolyásolják a sejtosztódást, a fotoszintézist, a víz- és tápanyagforgalmat, valamint a növény teljes morfológiai fejlődését. A dísnövények esetében ezek a hatások különösen fontosak, mert a sugárzás nemcsak stresszfaktor, hanem a genetikai sokféleség irányított növelésének eszköze is lehet.

A következőkben a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fajta különböző sugárdózisokra adott válaszait értékelem, különös tekintettel a növekedési, morfológiai és nemesítési szempontból fontos díszérték-paraméterekre, valamint arra, hogy ezek miként járulhatnak hozzá a gamma-sugárzáson alapuló mutációs nemesítés lehetőségeinek jobb megértéséhez.

5.1 Morfológiai és fiziológiai fejlődési válaszok

Az összesített laboratóriumi és szabadföldi megfigyelések alapján a különböző sugárdózisok hatása nemcsak a növény általános növekedésében, hanem a korai fejlődési szakaszokban is jól nyomon követhető volt, különösen a csíranövények morfológiai jellemzőinek vizsgálatakor.

A szikszár-hossz adatok szerint a 70 Gy-es kezelés kissé gátolta a kezdeti növekedést, ami megfelelt a hormézis klasszikus mintázatának: közepes stresszszinten átmeneti gátlás, majd kompenzáló növekedés volt megfigyelhető. Ez a jelenség a sejtosztódás átmeneti lelassulásával magyarázható, amely összefügg Calabrese (2007) eredményeivel is. A gamma-sugárzás hatására keletkező stresszhatások ideiglenesen megzavarhatják a sejtosztódást, de egyben aktiválhatják a növény saját védekező mechanizmusait is (Calabrese & Mattson, 2017). Ez magyarázhatja, hogy a kezdeti visszaesés ellenére a későbbi szakaszban a 70 Gy csoport több paraméterben is kiemelkedett.

A palánták szintjén már markánsabban megjelentek a dózisfüggő különbségek. A 70 Gy csoport biomassza-értékei és levéltömege meghaladták a kontrollét, ami megerősíti, hogy a *Rudbeckia* fiatal növényei jól reagálnak a mérsékelt sugárzásra. A 70 Gy csoport mutatta a legnagyobb növénymagasságot és a legmagasabb friss és száraz tömeg értékeket, ami a sejtosztódás serkentésére utal – ez összefüggésben áll Borthwick et al. (1961) eredményeivel is. Bala és Singh (2013) hasonló hatást írt le a rózsa növények esetében, ahol közepes

dózisoknál erőteljesebb biomassza-felhalmozódás és nagyobb virágméret jelentkezett. A 120 Gy kezelés már növekedésgátló hatású volt, a 30 Gy pedig inkább visszafogott reakciót adott, ami azt mutatja, hogy a *Rudbeckia hirta* vizsgált fajtája érzékenyen reagál a különböző dózisokra.

A friss és száraz tömegek vizsgálata azt is jelezte, hogy a gyökérszóna különösen jól reagált a 70 Gy és 120 Gy szintekre, ami fokozott víz- és tápanyagfelvételt jelez. Ez a jelenség a növények fokozott ozmotikus aktivitásával függhet össze, amely a mérsékelt stresszszint során aktiválja a gyökérfejlődést szabályozó géneket – ez az eredmény pedig összefüggésben áll Jalal et al. (2021) eredményeivel. Ezzel összhangban a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' palántái is valószínűleg képesek voltak a stressz adaptív feldolgozására.

A levelek klorofilltartalma is változott a különböző sugárdózisok hatására. A 30 és 70 Gy közötti kezelések esetében a klorofill mennyisége kissé emelkedett, ami arra utal, hogy a mérsékelt gamma-sugárzás serkentette a fotoszintézist és a növények élettani aktivitását. A legmagasabb, 120 Gy-es dózison viszont a klorofill csökkent, ami már a sejtek károsodásával és a pigmentek lebomlásával hozható összefüggésbe. Hasonló eredményeket figyeltek meg más dísznövényeknél is, például rózsán és krizantémon végzett vizsgálatokban (Bala & Singh, 2013; Jalal et al., 2021).

5.2 A szabadföldi állomány időbeli mintázatai

A vizsgálatok összesítése alapján a 30-70 Gy közötti sugárdózis-tartomány bizonyult a legígéretesebbnek a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' esetében. A szabadföldi környezetben a növények hosszabb távú regenerációs folyamatai is érvényesülnek, ezért a 70 Gy dózisú kezelés hatása késleltetve, de markánsan jelent meg a virágzás végére. Ebben az intervallumban a növényeknél jól érvényesültek a díszértéket meghatározó tulajdonságok, mint a dúsabb lomb, több virág, valamint a kompaktabb, esztétikus növekedési forma, amely az Oates et al. (2012) által leírt szempontok alapján hasonló eredményt mutat a ploidizáció hatásaival. A magasabb, 120 Gy dózis ezzel szemben már vegetatív irányba tolta el a fejlődést, ami fokozott levélképzéssel, de gyengébb gyökérfejlődéssel és mérsékelt virágzással járt együtt, amelyet Comai (2000) szintén leírt. Ez a csoport megfelelő lehet majd a jövőbeni stressz vizsgálatok szempontjából is, mert megmutatja, hogy milyen mennyiségű dózist bír el a faj, ami a díszérték szempontjából már nem előnyös.

A szabadföldi megfigyelések azt mutatták, hogy a gamma-sugárzás hatása időben változó. A kezdeti gátló, majd később serkentő mintázat arra utal, hogy a *Rudbeckia hirta*

vizsgált fajtája dinamikus stresszkezelési stratégiával rendelkezik, amely fokozott növekedéssel zárja a ciklust.

A július 31-én történt felmérés idején a kontroll növények fejlődtek legerőteljesebben, de az októberi felmérés idejére a 30 és 70 Gy-es kezelések növényegyedei több paraméterben is meghaladták azokat. Ez tipikus hormetikus válasz, amikor a kezdeti stressz után a regenerációs folyamatok dominálnak (Calabrese, 2007). A 30 Gy dózisú egyedek mutatták a legnagyobb virágszámot (átlagosan 28,2 db), ami több mint másfélszerese a kontroll csoportnál mért egyedek virágszámának. A 70 Gy növények levélszáma és gyökértömege is kiemelkedett. A közepes besugárzás valószínűleg stimulálta a virágrügy-képződést, ami a dísznövények esetében különösen értékes tulajdonság. A 120 Gy dózisonál ezzel szemben a növények már nem tudtak regenerálódni: a virágzási paraméterek tartósan alacsonyabbak maradtak, ami a sejtosztódás tartós gátlására utal. A *Rudbeckia* esetében is feltételezhető, hogy a magas dózis genetikai szinten meghaladta a toleranciaküszöböt.

5.3 Nemesítési lehetőségek és jövőbeli kutatási irányok

Eredményeim alapján a mérsékelt gamma-sugárzás alkalmas lehet új, kedvező díszértékű növények nemesítésére, amelyek a szabadföldi körülmények között is kiegyensúlyozott növekedést és tartós virágzást mutatnak. Ez a megfigyelés a gyakorlatban is fontos: a gamma-besugárzás nem csak stresszvizsgálati eszköz, hanem irányított genetikai variabilitás előidézésére alkalmas módszer is. A közepes dózistartományban létrejött változatok esztétikai értékük mellett fokozott környezeti alkalmazkodóképességet mutathatnak.

A 30 Gy dóziserősség nemcsak jó átlagértékeket adott, hanem dísznövény-nemesítési szempontból is kiemelkedő eredményeket mutatott a magasság (70,6 cm), levélszám (108,7 db), virágszám (18,3 db) és a kompaktabb megjelenés szempontjából. Ez a tartomány tűnik a legígéretesebbnek a nemesítéshez, hiszen ez gyakorlati szempontból is fontos, mert a nemesítés keresi a szebb és látványosabb növényeket, amik ígéretes piaci mutatókat adhatnak, ahogyan ezt Horn (2002) és Contreras et al. (2007) is leírták. A *Rudbeckia hirta* génállományának gazdagítása ilyen módon összhangban áll a modern dísznövény-nemesítés fenntartható irányelveivel, amelyek a klímaturés, virágtartósság és biotikus stressz-rezisztencia javítását célozzák – ahogyan Datta (2005) is megfogalmazta.

A *Rudbeckia hirta* tehát viszonylag stabil és jól alkalmazkodó fajnak bizonyult, ahogyan az Angol Királyi Kertészeti Társaság (RHS n.d.) is bemutatta. A gamma-sugárzás hatására keletkező oxidatív stressz aktiválhatta az antioxidáns rendszert és a DNS-javító

mechanizmusokat, ami biztosíthatta a sejtek regenerációját. Ez az adaptív válasz lehet a háttér annak, hogy a közepes dózisok serkentő hatásúak voltak, ahogyan Koncz (2014) eredményei is mutatják a mutagenezissel kapcsolatban. Az ilyen válaszreakciók a mutációs nemesítés szempontjából kulcsfontosságúak, mert fenotípusosan stabil, de genetikai szinten változatos populációkat hozhatnak létre.

Gyakorlati szempontból a 70 Gy tartomány különösen értékes, mert a díszítő tulajdonságok – például a kompakt növekedés, a nagyobb virágszám és a stressztűrés – egyidejű javulása figyelhető meg. A 70 Gy csoportból érdemes lenne morfológiailag eltérő egyedeket kiválasztani, és további generációkon keresztül vizsgálni stabilitásukat. Az ilyen szelekciók alapját képezhetik új színtónusú vagy virágformájú díszváltozatoknak. A színpigmentáció és a levélmorfológia változása ugyanis gyakori következménye az alacsony dózisú mutagenezisnek (Bala & Singh, 2013). A jövőben molekuláris markeres elemzésekkel pontosítható lenne, mely gének felelősek a serkentő válaszáért.

A jövőbeli kutatások során érdemes lenne a 30 és 70 Gy közötti tartományban sűrűbben beállítani a dózisokat (pl. 40, 50, 60 Gy), hogy pontosabban feltérképezhető legyen az optimális mutagén hatás. Ennek oka, hogy ebben a tartományban a növény mintha megtalálta volna az „egyensúlyt” – nem esett vissza, hanem inkább erősödött. Emellett célszerű lenne a jövőben a virágátmérő, virágzási idő és a gyökér-virág arány vizsgálatát is bevonni, hogy a morfológiai és fenológiai egyensúly pontosabban feltérképezhető legyen.

Összességében elmondható, hogy a *Rudbeckia hirta* ‘Őszifény’ fajta gamma-sugárzásra adott válaszai jól példázzák, miként fordítható a stresszfiziológiai kutatás eredménye a nemesítés szolgálatába. A 30–70 Gy tartomány a növekedés, virágzás és díszérték szempontjából optimálisnak bizonyult, és további kutatásokkal megalapozhatja új, fenntartható és klímaadaptív dísznövényfajta előállítását.

6 Összefoglalás

A szakdolgozatom a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fajta gamma-sugárzás hatására bekövetkező morfológiai és fiziológiai változásainak vizsgálatáról szól. A kutatás célja az volt, hogy a különböző gamma-sugárzási dózisek milyen mértékben befolyásolják a növény fejlődését, életképességét és díszítőértékét, valamint hogy azonosíthatók-e olyan dózisszintek, amelyek kedvező fenotípusos módosulásokat idéznek elő.

A vizsgálat hátterét az adta, hogy a dísznövénytermesztésben a klímaváltozás következtében új, ellenállóbb és tartósabb fajták előállítására vált szükségessé. A *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' fajta korábban kiváló díszértéke miatt terjedt el a közterületi ágyásokban, azonban az utóbbi évek szélsőséges időjárási viszonyai próbára tették díszítőértékét. A mutációs nemesítés lehetősége adhat a növényállomány genetikai diverzitásának növelésére és a klímaadaptív tulajdonságokra.

A kísérletet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézetének Budatétényi telepén végeztem, a Dísznövénytermesztési és Zöldfelületgazdálkodási Kutatócsoport üvegházi és szabadföldi létesítményeiben. A magok gamma-sugárzását az IAEA (Seibersdorf, Ausztria) végezte három különböző dózisban. A vizsgálatok során négy kezelési csoportot hoztam létre: kontroll (nem besugárzott), 30 Gy, 70 Gy és 120 Gy. A kísérlet több szakaszban zajlott: a csíranövények felmérése, a palánták nevelése, majd a szabadföldi állomány két időpontban történő mérése (július és október). A megfigyelések során a csírázási arány, növénymagasság, levélszám, friss és száraz növénytömeg, valamint a klorofilltartalmat (SPAD-érték) került meghatározásra.

A csíranövény vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a gamma-sugárzás mérsékelt hatást gyakorolt a csírázási arányra. A legmagasabb csírázási arányt a 30 Gy kezelési szinten tapasztaltam, míg a 70 Gy és 120 Gy dózisek kismértékben csökkentették a kezdeti növekedési erélyt. A palánták vizsgálatánál a közepes (70 Gy) dózis mutatta a legkedvezőbb növekedési mintázatot. Ebben a kezelési csoportban a növények növénymagassága, friss levél- és gyökértömege, valamint száraz tömege is magasabb volt, mint a kontrollcsoportban, ami arra utal, hogy ebben a dózistartományban a sugárzás serkentő hatású lehetett. A 120 Gy dózisonál már gyengébb növekedést tapasztaltam, ami a sejtosztódás és a növekedési folyamatok gátlására utalhatott. A szabadföldi állomány július 31-i mérése során a kontroll növények mutatták a legjobb fejlődési eredményeket, míg a gamma-sugárzással kezelt növények minden

paraméter tekintetében (növénymagasság, levélszám, virágszám és tömeg) elmaradtak. Az októberi 16-i mérés jelentős változásokat hozott: 30 Gy csoport számos paramétert tekintve (magasság, levél- és virágszám) felülmúlta a kontrollt, a 70 Gy kiegyensúlyozott növekedést adott, míg a 120 Gy főleg zöldtömegben mutatott kiemelkedő értéket, de gyökérben és virágképzésben gyengébb maradt. Ez a csoport alkalmas lehet a stressz-tesztnak, mert megmutatja, hogy milyen mennyiségű dózist bír el a faj, ami a díszérték szempontjából már nem előnyös.

Összességében megállapítható, hogy a *Rudbeckia hirta* 'Őszifény' gamma-sugárzással történő kezelése dózisfüggő és időben változó hatást gyakorolt a növény fejlődésére. A közepes (30-70 Gy) dózisok nem okoztak súlyos károsodást, ugyanakkor előidézték olyan morfológiai és fejlődési eltéréseket, amelyek a további nemesítési munkában ígéretesek lehetnek. A jövőbeli kutatások során ezért célszerű lenne a 30 és 70 Gy közötti tartományban sűrűbben beállítani a dózisokat (például 40, 50 és 60 Gy), hogy pontosabban feltérképezhető legyen az a kritikus szint, ahol a mutagén hatás még kedvező, de nem okoz fejlődési visszaesést.

7 Irodalomjegyzék

- [1] Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Watson, J. D. (1994). *The molecular biology of the cell* (3rd ed.). Garland Publishers.
- [2] Armitage, A.M. (1997): *Herbaceous perennial plants: A treatise on their identification, culture, and garden attributes*. 2nd Ed. Stipes Publishing, Champaign, IL
- [3] Bala, M., & Pal Singh, K. (2013). In vitro mutagenesis of rose (*Rosa hybrida* L.) explants using gamma-radiation to induce novel flower colour mutations. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), 462-468.
- [4] Bhatti, M., Church, A., & Claremont, A. (2013). Peaceful, Pleasant and Private: The British Domestic Garden as an Ordinary Landscape. *Landscape Research*, 39(1), 40–52. <https://doi.org/10.1080/01426397.2012.759918>
- [5] Borthwick, H. A., Hendricks, S. B., Lockhart, J. A., Mohr, H., Franzgrote, U. B., Gunckel, J. E., Reinert, J. (1961): Effects of radiation on growth and development. In *External Factors Affecting Growth and Development/Aussenfaktoren in Wachstum und Entwicklung* 299-617 p. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Calabrese, E. J. (2007). Dose-response features of hormesis. *Critical Reviews in Toxicology*, 37(7), 591–620. <https://doi.org/10.1080/10408440701491539>
- [7] Calabrese, E. J. (2018). Hormesis: Path and Progression to Significance. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), 2871. <https://doi.org/10.3390/ijms19102871>
- [8] Calabrese, E. J., & Mattson, M. P. (2017). How does hormesis impact biology, toxicology, and medicine? *npj Aging and Mechanisms of Disease*, 3, 13. <https://doi.org/10.1038/s41514-017-0013-z>
- [9] Chaturvedi, Y., Rao, G., Tiwari, A., Duduk, B., & Bertaccini, A. (2010). Review Article: Phytoplasma on ornamentals: Detection, diversity and management. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 45(1), 31-69. <https://doi.org/10.1556/aphyt.45.2010.1.3>
- [10] Comai L. (2000): Genetic and epigenetic interactions in allopolyploid plants. In: Matzke M.A., Matzke A.J.M. (eds) *Plant Gene Silencing*. Springer, Dordrecht. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-4183-3_19
- [11] Contreras, R.N., Ranney, T.G., Tallury, S.P. (2007): Reproductive behavior of diploid and allotetraploid *Rhododendron* L. ‘Fragrant Affinity’ *HortScience*. 42, 31-34 p.
- [12] Datta, S. K. (2005). Role of induced mutations in the improvement of floricultural crops. *Current Science*, 89(2), 353–359.
- [13] Datta, S. K. (2020). Induced mutations: technological advancement for development of new ornamental varieties. *The Nucleus*, 63(2), 119-129.

- [14] Datta, S. K. (2022). Breeding of ornamentals: success and technological status. *The Nucleus*, 65(1), 107-128.
- [15] Datta, S. K. (2023). Role of mutation breeding in floriculture industry (pp. 355-371). Singapore:: Springer.
- [16] Farinati, S., Betto, A., Palumbo, F., Scariolo, F., Vannozzi, A., & Barcaccia, G. (2022). The new green challenge in urban planning: The right genetics in the right place. *Horticulturae*, 8(9), 761.
- [17] Francini, A.; Romano, D.; Toscano, S.; Ferrante, A. The Contribution of Ornamental Plants to Urban Ecosystem Services. *Earth* 2022, 3, 1258-1274. <https://doi.org/10.3390/earth3040071>
- [18] Friedman, J. (2020). The Evolution of Annual and Perennial Plant Life Histories: Ecological Correlates and Genetic Mechanisms. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51, 461–481. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-024638>
- [19] Gerstein, A. C., & Otto, S. P. (2009). Ploidy and the causes of genomic evolution. *Journal of Heredity*, 100(5), 571-581.
- [20] Ghani, M., & Sharma, S. K. (2019). Induction of powdery mildew resistance in gerbera (*Gerbera jamesonii*) through gamma irradiation. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(1), 159-166.
- [21] Grosovsky, A. J., De Boer, J. G., De Jong, P. J., Drobetsky, E. A., & Glickman, B. W. (1988). Base substitutions, frameshifts, and small deletions constitute ionizing radiation-induced point mutations in mammalian cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(1), 185-188.
- [22] Hall, B. G. (1990). Spontaneous point mutations that occur more often when advantageous than when neutral. *Genetics*, 126(1), 5-16.
- [23] Harewood, L., & Fraser, P. (2014). The impact of chromosomal rearrangements on regulation of gene expression. *Human Molecular Genetics*, 23(R1), R76-R82.
- [24] Hawkins, L. K., Zale, J., & Dane, F. (2024). Exciting Black-Eyed Susan (*Rudbeckia* spp.): Breeding Challenges and Opportunities. *HortScience*, 59(3), 354–365. <https://www.researchgate.net/publication/388825163>
- [25] Horn, W. (2002): Breeding methods and breeding research, In: Breeding for ornamentals: Classical and molecular approaches. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 47–83. p.
- [26] Ibrahim, R., Ahmad, Z., Salleh, S., Hassan, A. A., & Ariffin, S. (2018). Mutation breeding in ornamentals. In *Ornamental crops* (pp. 175-211). Cham: Springer International Publishing.
- [27] Jalal, A., de Oliveira Junior, J. C., Ribeiro, J. S., Fernandes, G. C., Mariano, G. G., Trindade, V. D. R., & Dos Reis, A. R. (2021). Hormesis in plants: Physiological and biochemical responses. *Ecotoxicology and environmental safety*, 207, 111225.

- [28] Koncz, C. (2014). Mutációk és géntechnológia a növénynevelés szolgálatában. In L. Ferenczy, L. Erdei, A. Fehér, & É. Kondorosi (Eds.), *Molekuláris biológia a mezőgazdaság és a kertészet szolgálatában – Tanulmánykötet Dudits Dénes 70. születésnapjára* (pp. 137–152). Magyar Tudományos Akadémia.
- [29] Marcone, C., Bellardi, M. G., & Bertaccini, A. (2016). PHYTOPLASMA DISEASES OF MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS. *Journal of Plant Pathology*, 98(3), 379–404. <http://www.jstor.org/stable/44280481>
- [30] McCallum C. M., Comai, L., Greene, E. A., Henikoff, S. (2000): Targeting induced local lesions IN genomes (TILLING) for plant functional genomics. *Plant Physiol* 123: 439-442 p.
- [31] Moles, A. T., & Westoby, M. (2006). Seed size and plant strategy across the whole life cycle. *Oikos*, 113(1), 91-105.
- [32] NC State University (n.d.). *Rudbeckia hirta*. NC Extension Gardener Plant Toolbox. <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/rudbeckia-hirta/>
- [33] Newstrom, L. E., Frankie, G. W., Baker, H. G., & Colwell, R. K. (1994). Diversity of long-term flowering patterns. *La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University of Chicago Press, Chicago, 142-160.
- [34] Oates, K. M., Ranney, T. G., Touchell, D. H. (2012): Influence of Induced Polyploidy on Fertility and Morphology of *Rudbeckia* Species and Hybrids. *HortScience*. 47(9)
- [35] Orlóci, L.; Fekete, A. *Ornamental Plants and Urban Gardening*. *Plants* 2023, 12, 4096. <https://doi.org/10.3390/plants12244096>
- [36] Palmer, I.E., Bir, R.E., Lynch, N.P., Ranney, T.G. (2009): Crossability, cytogenetics, and reproductive pathways in *Rudbeckia* subgenus *Rudbeckia* *HortScience*. 444-448 p.
- [37] PennState Extension (2021). *Black-Eyed Susan: Beautiful and Beneficial*. <https://extension.psu.edu/black-eyed-susan-beautiful-and-beneficial>
- [38] Pepó, P. (2011): *Növénynevelés Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem*
- [39] Perdue, R.E. Jr (1957): Synapsis of *Rudbeckia* subg. *Rudbeckia* *Rhodora* 59, 293-299 p.
- [40] Pu, J., Wang, Q., Shen, Y. F., Zhuang, L. F., Li, C. X., Tan, M. F., Bie, T. D., Chu, C. G., Qi, Z. J. (2015): Physical mapping of chromosome 4J of *Thinopyrum bessarabicum* using gamma radiation-induced aberrations. *Theor Appl Genet* 128:1319–1328 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2508-y>
- [41] Relf, D. (2014). The role of ornamentals in human life. In G. R. Dixon & D. E. Aldous (Eds.), *Horticulture: Plants for People and Places, Volume 1* (pp. 289–305). Springer.
- [42] Royal Horticultural Society (n.d.): *Rudbeckia hirta*. Elérhető: <https://www.rhs.org.uk/plants/68850/rudbeckia-hirta/details>

- [43] Ryan J. H. (2005): Effect of gamma radiation on plant growth. Project summary, California State Science Fair
- [44] Sanada, T. (1988): Induced mutation breeding in fruit trees. In Gamma field symposia. 87-108 p.
- [45] Shu, Q. Y., Forster, B. P., & Nakagawa, H. (2012). Plant mutation breeding and biotechnology. CABI.
- [46] Singh, B., & Datta, P. S. (2010): Gamma irradiation to improve plant vigour, grain development, and yield attributes of wheat. *Radiation Physics and Chemistry*, 79(2), 139-143 p.
- [47] Sobel, J. M., & Streisfeld, M. A. (2013). Flower color as a model system for studies of plant evo-devo. *Frontiers in plant science*, 4, 321.
- [48] Szántó, M. (2004): Egy- és kétnyári virágok. Budapest: Mezőgazda Kiadó
- [49] van Harten, A. M. (1998). Mutation breeding: theory and practical applications. Cambridge University Press.
- [50] Zani D, Dondi D, Araújo S, Mondonid A, Balestrazzia A (2017): Impact of γ -rays on seed germination/short-term storage in four native alpine species: correlation with free radical and antioxidant profiles. *Radiat Phys Chem* 131:86–94p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.11.001>

8 Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: A <i>Rudbeckia hirta</i> 'Őszifény'	15
2. ábra: <i>Rudbeckia hirta</i> magok csíráztatás után szűrőpapíron.....	16
3. ábra: Csíranövények gyökérkezdemény-hosszának mérése milliméterpapíron	17
4. ábra: A kísérlet beállítása a magok vetése és csíráztatása 104-es szaporítótálcában ..	17
5. ábra: Csíranövények fejlődése	18
6. ábra: Kiválasztott palánták morfológiai vizsgálat előtt	18
7. ábra: A növénymagasság meghatározása.....	19
8. ábra: A levél- és gyökértömeg meghatározása.....	20
9. ábra: A 70 Gy gamma- sugárzással kezelt növény fejlettségi állapota	20
10. ábra: SPAD-mérés a klorofilltartam meghatározására	21
11. ábra: 70 Gy dózissal kezelt növény teljes kifejlett állapotban	21
12. ábra: Csírázási arány a különböző gamma-sugárdózisok hatására.....	22
13. ábra: Szikszár hosszának (mm) alakulása különböző gamma-sugárdózisok hatására	23
14. ábra: Palántakori növénymagasság.....	24
15. ábra: A friss levél és gyökértömeg átlaga	25
16. ábra: A szárított levél és gyökértömeg átlaga	26
17. ábra: A növények fejlettségi állapota júliusban (K (kontroll), 30, 70 és 120 Gy) ...	28
18. ábra: A növények fejlettségi állapota októberben (K (kontroll), 30, 70 és 120 Gy) .	30
1. táblázat: A száz vetett megból kifejlődött növények darabszáma.....	23
2. táblázat: 20 db palánta levélszámának átlaga.....	24
3. táblázat: A júliusi mérés átlagolt eredményei	27
4. táblázat: Az októberi mérés átlagolt eredményei	29

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseről és eredetiségéről

A hallgató neve: Bukovenszki Liza
A Hallgató Neptun kódja: BQPQYE
A dolgozat címe: A Rudbeckia hirta 'Őszifény' gamma-sugárzásos mutációs hatása nemesítési szempontból
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Tájépítészeti, Településtervezési és Diszkertészeti Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Dísnövénytermesztési és Zöldfelületgazdálkodási Kutatócsoport

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat/diplomadolgozat 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 mindenkori 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: 2025. 10. 25.


Hallgató aláírása


NYILATKOZAT

Bukovenszki Liza (hallgató Neptun azonosítója: BQPQYE) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre **javaslom** / **nem javaslom**¹.

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

Kelt: Budapest, 2025. október 25.



Dr. Kisvarga Szilvia
belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Bukovenszki Liza
Neptun-kódja:	BQPQYE
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, KERTU073N
A munka címe:	A Rudbeckia hirta 'Őszifény' gamma-sugárzásos mutációs hatása nemesítési szempontból

* 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)

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 verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó 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:Budapest....., 2025.október..... hó25... nap

Buhovenszki Riza

Hallgató aláírása

Könyves

Konzulens/Témavezető aláírása