



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**GYÓGY- ÉS AROMANÖVÉNYEK AGRÁRERDÉSZETI TERMESZTÉSÉNEK  
TUDOMÁNYOS MEGALAPOZÁSA**

DOI: 10.54598/001840

**ZUBAY PÉTER**

**BUDAPEST**

**2022**

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Kertészettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Növénytermesztési és kertészeti tudományok

**vezetője:** Zámboriné Dr. Németh Éva  
egyetemi tanár, DSc  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gyógy- és Aromanövények  
Tanszék

**Témavezető:** Dr. Szabó Krisztina  
PhD

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## Tartalom

1. BEVEZETÉS .....	5
2. CÉLKITŰZÉS .....	7
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....	8
3.1. Az agrárerdészeti rendszerek bemutatása .....	8
3.1.1. Az agrárerdészeti rendszerek jelentősége .....	8
3.1.2. Az allelopátia szerepe az agrárerdészeti rendszerekben .....	13
3.1.3. A fény szerepe az agrárerdészeti rendszerekben .....	16
3.2. Az <i>in vivo</i> árnyékhatás kutatásban alkalmazott fajok rövid bemutatása .....	22
3.1.1. <i>Achillea collina</i> Becker .....	22
3.1.2. <i>Calendula officinalis</i> L.....	22
3.1.3. <i>Cannabis sativa</i> L.....	23
3.1.4. <i>Carum carvi</i> L. ....	25
3.1.5. <i>Dracocephalum moldavica</i> L.....	26
3.1.6. <i>Linum usitatissimum</i> L. ....	26
3.1.7. <i>Melissa officinalis</i> L.....	27
3.1.8. <i>Ocimum basilicum</i> L. ....	28
3.1.9. <i>Satureja hortensis</i> L. ....	29
4. ANYAG ÉS MÓDSZER .....	30
4.1. <i>In vitro</i> allelopátia kutatás .....	30
4.1.1. Kísérleti körülmények és felhasznált növényi anyagok .....	30
4.1.2. Kísérleti fajok.....	30
4.1.3. Allelokemikáliák meghatározása .....	31
4.1.4. A csírázási kísérletek módszertana .....	31
4.1.5. Statisztikai elemzés .....	32
4.2. <i>In vivo</i> árnyékhatás kutatás.....	33
4.2.1. Felhasznált növényi anyagok .....	33
4.2.2. A kísérleti terület jellemzése és az alkalmazott agrotechnológia.....	34
4.2.3. Árnyékolás és kísérleti beállítás .....	35
4.2.4. Morfológiai paraméterek vizsgálata és hozam meghatározás.....	36
4.2.5. Fitokémiai mérések .....	37
4.2.6. Statisztikai elemzés .....	40
4.3. Félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet .....	43
4.3.1. Kísérleti körülmények és felhasznált növényi anyagok .....	43
4.3.2. Mintavétel és hozam-meghatározás .....	43
4.3.3. Illóolaj-tartalom meghatározás.....	44

4.3.4.	Statisztikai elemzés .....	44
5.	EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE.....	45
5.1.	Az <i>in vitro</i> allelopátia kutatás eredményei .....	45
5.1.1.	<i>Althaea officinalis</i> L.....	45
5.1.2.	<i>Anethum graveolens</i> L.....	45
5.1.3.	<i>Angelica archangelica</i> L. ....	46
5.1.4.	<i>Cannabis sativa</i> L.....	47
5.1.5.	<i>Carum carvi</i> L. ....	47
5.1.6.	<i>Centaureum erythraea</i> Rafn. ....	48
5.1.7.	<i>Dracocephalum moldavica</i> L.....	49
5.1.8.	<i>Levisticum officinale</i> Koch.....	49
5.1.9.	<i>Linum usitatissimum</i> L. ....	50
5.1.10.	<i>Papaver somniferum</i> L. ....	51
5.1.11.	<i>Satureja hortensis</i> L.....	51
5.1.12.	<i>Sinapis alba</i> L.....	52
5.2.	Az <i>in vitro</i> allelopátia kutatás eredményeinek megbeszélése .....	53
5.3.	Az <i>in vivo</i> árnyékhatás kutatás eredményei és azok megbeszélése.....	58
5.3.1.	<i>Achillea collina</i> Becker .....	58
5.3.2.	<i>Calendula officinalis</i> L.....	62
5.3.3.	<i>Cannabis sativa</i> L.....	70
5.3.4.	<i>Carum carvi</i> L. ....	73
5.3.5.	<i>Dracocephalum moldavica</i> L.....	77
5.3.6.	<i>Linum usitatissimum</i> L. ....	85
5.3.7.	<i>Melissa officinalis</i> L.....	88
5.3.8.	<i>Ocimum basilicum</i> L. ....	94
5.3.9.	<i>Satureja hortensis</i> L. ....	98
5.4.	Félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet eredményei és azok megbeszélése .....	103
5.4.1.	<i>Melissa officinalis</i> L.....	103
5.4.2.	<i>Origanum vulgare</i> L. subsp. <i>vulgare</i> .....	105
5.4.3.	<i>Thymus pannonicus</i> All.....	107
6.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....	110
6.1.	A vizsgált fajok allelopátia toleranciája <i>in vitro</i> .....	110
6.2.	A vizsgált fajok árnyéktoleranciája <i>in vivo</i> .....	111
6.3.	A félüzemi agrárerdészeti modellkísérletben vizsgált fajok termesztetősége .....	114
6.4.	Összegzett eredmények és következtetések .....	115
7.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	116

7.1. Új univerzális tudományos eredmények.....	116
7.2. Új speciális tudományos eredmények .....	116
8. ÖSSZEFOGLALÁS / SUMMARY .....	118
9. MELLÉKLETEK.....	123
M1. Irodalomjegyzék.....	123
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	146

## 1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági és kertészeti termelés korábban elképzelhetetlenek hitt fejlődésen és termelékenység-növekedésen esett át az elmúlt évtizedekben. E fejlődés azonban számos negatív externáliával és súlyos környezetkárosítással járt. A hatékonyságnövelés mítosza az agráriumban uniformizálódott, kemizált, monokultúras termesztéshez vezetett, mely termelési modell ökológiai törékenysége az elmúlt száz év során több ízben bebizonyosodott (TOWNSEND *et al.* 2008).

Napjainkban a globális élelmezésügyi és ökológiai krízist megoldani kívánó mezőgazdasági progressziók egyik zászlóshajója a számos környezeti előnnyel és ökoszisztéma-szolgáltatással fémjelzett agrárerdészet (az ökológiai-, a regeneratív- és a precíziós gazdálkodás gyakorlatai, valamint a beltéri produkciós rendszerek mellett). Az agrárerdészet egy reneszánszát élő földhasználati- és technológiai rendszer, melyben fás szárú növények együtt hasznosíthatóak szántóföldi és/vagy kertészeti kultúrákkal egyazon földterületi egységen belül (GYURICZA és BOROVIČS 2018).

A gyógy- és aromanövények felhasználása széleskörű mind a gyógyszer-, élelmiszer-takarmány- és kozmetikai ipar ágazataiban, továbbá a növényi drogokra és hatóanyagokra mutatott piaci igény folyamatosan növekszik (BERNÁTH 2013). Mindeközben a világ fejlettebb részén a gyógyszerfelhasználást érintő fogyasztói preferenciákat jellemzi egy paradigmaváltás, amelyben előtérbe kerül a természetes alapú növényi hatóanyagok alkalmazására vonatkozó fogyasztói igény, még ha ez eddig a gyógyszerfejlesztés fókuszán nem is változtatott meghatározó módon (LIE-FEN SHYUR és NING-SUNYANG 2008; ISLAM *et al.* 2021).

Az eddig leírtakból következik, hogy a mezőgazdasági termelés fenntarthatóbbá, intelligensebbé és a globális klímaváltozáshoz jobban alkalmazkodóvá formálása, ugyanolyan egyértelmű társadalmi igény és generációs szükséglet, mint az egészségmegőrzést szolgáló készítmények mindinkább természetessé tétele. E célok eléréséhez számos koncepció vezethet, az egyik ilyen a környezetbarát gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészet. Gyógynövénytermesztési célú, üzemi méretű agrárerdészeti rendszereket azonban ez idáig csupán kis számban, nagyrészt trópusi éghajlati körülmények között hoztak létre, miközben egy ilyen termelési rendszer mérsékelt égövi körülmények között is alkalmas lehet a mind ökológiai mind ökonómiai előnyöket hordozó gyógynövénytermesztés megvalósítására. Az alkalmazás megítéléséhez és a nagyüzemi termesztéshez szükséges technológiai ajánlások, jó termesztési gyakorlatok meghatározásához először a kérdéses területek tudományos vizsgálata és ez által a tudományos háttér megalapozása szükséges, e munka első hazai lépéseinek összegzése jelen doktori disszertáció.

A fásszárú és lágyszárú kultúrák kombinálása új tervezési és kutatási szempontokat vázol fel. A fásszárú vegetáció önmaga érvényesülése érdekében különböző ökológiai kölcsönhatások révén befolyásolhatja a közteskultúráként termesztett gyógynövényeket. Az agrárerdészet, mint termelési rendszer akkor működik eredményesen, ha minimalizáljuk a potenciálisan hátrányos (árnyék, allelopátia, versengés a vízárt és tápanyagokért) - és maximalizáljuk az előnyös interspecifikus interakciókat (JOSE *et al.* 2004). Ez a feladat a gyógynövénytermesztésre

specializált agrárerdészet esetén kiemelten fontos, tekintve a gyógynövénytermesztés sikerességét alapvetően meghatározó, nemzetközi standardokban rögzített és a piaci szereplők által elvárt szigorú drogminőségi követelményeket, amelyek legfőbb szempontja a megfelelő hatóanyag-tartalom, számos esetben kiegészülve azok minőségi paramétereire vonatkozó követelményekkel.

Rendkívül korlátolt azon információk minősége és mennyisége, amelyek a gyógy- és aromanövények agrárerdészeti rendszerekben történő termesztetőségét ismertetnék mérsékelt égövi körülmények között. Ezen belül az agrárerdészeti ültetvényszerű fatermesztés céljából perspektivikus célnemzetségekre (*Juglans/Populus*) jellemző allelokemikáliák gyógynövények csírázására gyakorolt gátló hatásait vizsgáló tudományos információ munkánkat megelőzően érdemben nem állt rendelkezésre. Ennek hiányában az agrárerdészeti rendszerek létrehozásához szükséges egyik legalapvetőbb tudás nem volt elérhető. Agrárerdészeti rendszer tervezésekor a másik létfontosságú ismeret a köztesnövényként termesztendő gyógynövényfajok azon fényintenzitási szintigénye, ahol a hatóanyagok akkumulációjának mértéke és a hatóanyagok összetétele találkozik a gyógyszerkönyv által meghatározott elvárásokkal. E tudás alapján válnak kiválaszthatóvá az agrárerdészeti rendszerekbe illeszthető gyógynövényfajok, valamint ezen fényintenzitási szintigény ismeretében válik tervezhetővé térben és időben egy versenyképesen működő gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti termelési rendszer. Ez az ismeretanyag munkánkat megelőzően szintén hiányzott. A két kutatási kérdéskör mélyebb megismerésével kívántunk hozzájárulni ahhoz, hogy a hazai gyógynövény- és agrárerdészeti kutatások mindinkább elősegítsék a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek szakszerű létrehozását.

## 2. CÉLKITŰZÉS

A bevezetésben bemutatott hiányzó szakmai ismeretek alapján az alábbi két fő tudományos kérdést vetettük föl:

- Vannak-e olyan gyógynövényfajok, amelyek magjai képesek a vetőmag-vizsgálati módszerekben rögzítettek szerinti megfelelő csírázásra a *Juglans* és *Populus* nemzetségekre jellemző allelokemikáliák jelenlétében?
- Vannak-e olyan mérsékelt égövben termesztető gyógynövényfajok, amelyek hozama csökkent fényviszonyok mellett sem csökken, illetve képesek a gyógyszerkönyvi minőségnek megfelelő drog és hatóanyag előállítására?

Ezen tudományos kérdések alapján és egyben a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek tudományos háttérének megteremtése céljából az alábbi két kutatási célt tűztük ki:

- A fásszárú célnemzetségekre (*Juglans/Populus*) jellemző allelokemikáliákat toleráló gyógynövényfajok első körének meghatározása (szkrínélése) *in vitro* pilot csírázási próbák elvégzésével.
- Az agrárerdészeti rendszerekben jellemző, csökkent fényviszonyokat (30% és 50%-nyi mesterséges fénycsökkentés) toleráló gyógynövényfajok első körének meghatározása (szkrínélése) hároméves kisparcellás szabadföldi kísérletek elvégzésével.



### 3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1. Az agrárerdészeti rendszerek bemutatása

##### 3.1.1. Az agrárerdészeti rendszerek jelentősége

A mezőgazdasági tevékenység és civilizációnk fejlődése folyamatos egymásra ható relációban értelmezendő, hiszen történelmi korokon átívelően látható, hogy a népesség növekedése és a mezőgazdasági termelés evolúciója egymással kölcsönösen ok-okozati viszonyban álló folyamatok. Korunk legégetőbb problémája, hogy a folyamatosan növekvő népességet hogyan fogjuk tudni ellátni klímaadaptív termelési rendszerekben előállított megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszerrel és egyéb agrártermékekkel. A probléma megoldása érdekében forradalmi fejlődésen szükséges átvezetni az agráriumot, mely fejlődésnek iránya a diverzifikált, ökoszisztéma-szolgáltatásokat nyújtani képes, multifunkcionális mezőgazdasági termelési rendszerek létrehozása.

Mindennek elérése érdekében napjainkban szárnyal a negyedik mezőgazdasági forradalom, melyet sajátos kétosztatóság jellemez. Egyrészt rohamléptékben digitalizálódik és robotizálódik a termelés, másrészt megfigyelhető a körkörös agrárgazdasági modellek térnyerése, valamint a biológiai mintázatokból való merítés ('biomimikri') és a hagyományos ökológiai tudáshoz történő visszanyúlás (LOMBARDO *et al.* 2017; TOOP *et al.* 2017; MALÉZIEUX 2012; STOJANOVIC, 2019; GYURICZA és BOROVIČS, 2018). A mezőgazdasági földhasználat számos globális problémával néz szembe (élelmiszerbiztonság, talajdegradáció, klímaváltozás), melyek megoldása érdekében a fenntartható mezőgazdaság eszmerendszerét meg kell haladni - hiszen a fenntarthatatlant nem szabad fenntartani (LÁNYI és FARKAS 2021). Ehelyett a következő generációk érdekében érkezett az idő az ökológiai szemléletű, regeneratív mezőgazdaság térnyerésére és korunk green deal-jének megkötésére. (GARGANO 2021; SOLOVIEV 2014; RHODES 2017; ROSATI *et al.* 2020). Mindezen evolúciós szükségszerűségnek és ökológiai kihívásnak az egyik megoldási javaslata az agrárerdészeti rendszerek létrehozása, s ez által a fás borítottság növelése a mezőgazdasági területeken (GARRITY 2012; LIU *et al.* 2019).





Ahogy a világ magas jövedelmű országainak mezőgazdaságára jellemző, úgy a számos ilyen országot tömörítő Európai Unió agrárpolitikai irányelvei is a teljes intenzifikáció felől a fenntartható intenzifikáció, az extenzifikáció, az ökoszisztéma-szolgáltatások és a biodiverzitás fenntartása felé fordultak, mely elvekbe az agrárerdészeti rendszerek tökéletesen illeszkednek (VAN ZANTEN 2014). Az agrárerdészet lényege szerint fás szárú növényeket kíván visszatelepíteni olyan mezőgazdasági területekre - szántók, legelők és árterek -, mely területeken az iparszerű mezőgazdaság térnyerése előtt természetes volt a különböző fás társulások jelenléte. Mint ilyen, az agrárerdészet egy régi-új koncepció újrászerveződése, mely szerint a fás szárú növényeknek helye és funkciója van a mezőgazdasági földhasználat bármely formájában (NERLICH *et al.* 2013; MOSQUERA-LOSADA *et al.* 2018).

Az agrárerdészeti rendszerek létrehozása világszerte egyre inkább támogatott, köszönhetően jegyzett előnyeinek: biodiverzitás megőrzés és élőhelyvédelem; ökoszisztéma-szolgáltatások fejlesztése; szénmegkötés; talaj táplálékháló és talajegészség megőrzése; klímaszabályozás; tájkép

esztétikai és kultúrtörténeti értékeinek megőrzése; tápanyag- és vízkörforgás javítása; megporzás és biológiai kontroll támogatása; versenyképesség és termelékenység javítása; a vidék életminőségének javítása- és a gazdaság diverzifikációjának ösztönzése (SMITH *et al.* 2012; VAN ZANTEN *et al.* 2014; FAGERHOLM *et al.* 2016; TORRALBA *et al.* 2016; UDAWATTA *et al.* 2019; WILSON és LOVELL 2016; MORENO *et al.* 2018; BROWN *et al.* 2018).

Az agrárerdészet fogalma és gyakorlata egyaránt sokszínűséget mutat, ugyanakkor a klasszifikáció kérdésköre elkerülhetetlen a megfelelő tudományos nevezéktan használatához. A fejlett országok termelési és kereskedelmi értékláncában megjelenő gyógy- és aromanövények származási aránya egyértelműen elmozdul a természetés irányába a hagyományosan meghatározó gyűjtés felől. Ennek oka a vadontermő források kimerülése mellett a gazdasági szereplők igénye a gépesített, kevés emberi munkát igénylő, nagy termelési kapacitású és jól tervezhető, valamint standard hatóanyag-tartalmat garantáló agrotechnológiával működő gyógynövénytermesztésre (RAO 2004). A doktori kutatás tárgyában feltett alapvető kérdésünk az volt, hogy vajon az agrárerdészeti termelési rendszer kínálhat-e megfelelő perspektívát az egyre nagyobb igényre számot tartó gyógynövénytermesztés környezetbarát, minőségileg megfelelő és gazdaságilag megtérülő módon történő megvalósítására. A kérdés megválaszolásához ismerni szükséges, hogy milyen formájú agrárerdészeti rendszerek lehetnek alkalmasak a gyógynövények termesztésére, melyet az 1. táblázatban összegeztünk.

**1. Táblázat.** Az agrárerdészeti rendszerek klasszifikációja MOSQUERA-LOSADA *et al.* (2018) és BROWN *et al.* (2018) munkája és önálló szintézis nyomán.

Megnevezés	Megvalósulás	Gyógynövény vonatkozás	Képi példa
Szántóföldi termesztéssel kombinált agrárerdészet (Silvoarable)	Szántóföldi és fás szárú növények együtt termesztése - sávos megvalósulásban (alley-cropping)	Nagyábrás ipari termesztésre alkalmas gyógynövények (kapor, kömény) agrárerdészeti termesztése.	
Erdőgazdálkodással kombinált agrárerdészet (Forest-farming)	Gyógynövények, vadgyümölcsök, dísznövények, gombák termesztése az erdei aljnövényzet szintjén.	Árnyékkedvelő gyógynövények (orvosi tüdőfű) és gyógygombák (shiitake) erdei termesztése.	
Kertészeti termesztéssel kombinált agrárerdészet (Permaculture, Forest Garden)	Fás- és lágyszárú kertészeti kultúrák együtt termesztése; permakultúrás és erdőkertek kialakítása	Kis- és középüzemi gyógynövények (borsfű, citromfű, körömvirág) együtt termesztése fákkal.	
Állattartással kombinált agrárerdészet (Silvopasture)	Multifunkcionális fák (takarmány, árnyék, faanyag) telepítése legelőre; gyümölcsösök legeltetése; méhtartás	Drogot adó fák (nyárfa, hárs) és bokrok (csipke, bodza) telepítése legelőkre szórványosan és/vagy szegélynövényként.	

Mindezen alternatívák közül a legnagyobb jelentősége a mérsékelt égövi és a hazai gyógynövénytermesztés esetén is a szántóföldi termesztéssel kombinált agrárerdészetnek és a kertészeti termesztéssel kombinált agrárerdészetnek lehet. A két forma között az üzleti modell, az üzemméret, a termesztési cél, a termesztett fás szárú és lágyszárú fajok és fajták, valamint az alkalmazott agrotechnológia mind különbséget jelenthetnek. A doktori kutatási program során igyekeztünk mindkét lépték számára alkalmazható gyógynövényfajok agrárerdészeti alkalmasságát feltérképezni. Ha figyelembe vesszük, hogy hazánkban 800 000 ha gyenge termőképességű szántó van, melyeken jellemzően nem jövedelmező a hagyományos szántóföldi növénytermesztés, ezeken a területeken stratégiai jelentőségű lépés volna a fás borítottság növelése, valamint alternatív növények jövedelmező termesztetőségének vizsgálata (GYURICZA és BOROVIČS 2018). A mérsékelt égövi és a hazai agrárerdészeti gyógynövénytermesztés számára egyaránt a nagy sortávolsággal kialakított fasorok között történő nagyüzemi gyógynövénytermesztés (alley-cropping), valamint a vegyeskultúrás kisüzemi

körülmények között, nagy hozzáadott értékű terméket előállító, “changemaker” gazdák termelési struktúrája jelentheti a leginkább járható utat. Mindemellett a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerekben lehetőség nyílik olyan vadontermő fajok, illetve kidolgozott termesztéstechnológiával rendelkező, de a termesztésben el nem terjedt fajok agrárerdészeti termesztésbe vonására (introdukciónak), melyek élőhelyükről kiragadva, hagyományos termelési rendszerekben nem feltétlenül termesztethetők hatékonyan. A gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerben előállított termékek nagy üzletfejlesztési potenciált jelenthetnek, mert amennyiben idővel egy ilyen termelési rendszer köré sikerül kiépíteni a megfelelő ellenőrző-tanúsító infrastruktúrát, valamint minőségügyi és védjegyoltalmi rendszert, úgy ezen termékek méltán számíthatnak kiemelt fogyasztói érdeklődésre (BURKHART és JACOBSON 2009). A környezetbarát termelésre vonatkozó társadalmi nyomás egyértelműen kanalizálja az üzleti szereplőket a regeneratív módszerek alkalmazásának irányába, mely ipari átalakulásnak olyan globális piaci szereplők a zászlóshajói, mint a Lush Cosmetics, a Kellogg's, a Danone, vagy a Patagonia Provisions (GILLER *et al.* 2021).

A szántóföldi termesztéssel kombinált agrárerdészet európai alkalmazhatóságáról REISNER *et al.* (2007) végeztek kutatásokat arra vonatkozóan, hogy jelen doktori kutatási programban is vizsgált nagy termelési értékű fás szárú célfajokat milyen léptékben volna érdemes szántóterületeken termesztetni. Eredményeik szerint közel százezer négyzetkilométernyi szántó van - mindez az összes európai szántóterületnek több mint negyven százaléka -, melyen *Populus* és *Juglans* fajok termesztése mind ökonómiai mind ökológiai szempontból jövedelmező lehet. Megállapításuk a nyugati dióburok-fürőlégy (*Rhagoletis completa*) megjelenése előtti időszakra érvényes, azonban a kártevő jelenlegi gyors terjedése és károkozásának aggasztó mértéke egy megoldandó növényvédelmi probléma és nem lehet akadálya hosszú távon a dióültetvények fenntartásának és további ültetvények létrehozásának. Mindezt egyaránt hangsúlyozza a kiváló táplálkozás-életteni hatással rendelkező dió termés magas piaci értéke - mely a jelenlegi növényvédelmi probléma okán erősödő keresleti piac miatt tovább növekszik - és nagyra értékelt fája. A dió mindemellett jól illeszkedik az agrárerdészeti termelési rendszer koncepciójába, mert a nyílt lombkoronája a késői levélmegjelenés és a korai levélvesztés következtében kevesebb árnyékot jelent a közteskultúra számára (URBÁN-MARTINET *et al.*, 2018). A nyártermesztés akár energiaültetvény, akár ipari faültetvény formájában is megtérülő mezőgazdasági/erdőgazdasági tevékenység, ennek megfelelően az agrárerdészeti nyártermesztés is intenzíven növekszik világszerte (WANI és MALIK 2014; BURGESS és ROSATI 2019; GYURICZA és BOROVIČS 2018). Mindezek okán a *Juglans* és *Populus* fajok egyaránt prioritást élvező fajok agrárerdészeti rendszerek létrehozása esetén.

Miközben az agrárerdészeti rendszerek támogatása a trópusi régiók fejlődő országaiban évtizedekre tekint vissza, addig a mérsékelt égöv fejlett országaiban csupán az elmúlt évtizedben tett szert kutatás-fejlesztési jelentőségre és szakpolitikai támogatásra (BROWN *et al.* 2018). Az Európai Unió agrárerdészetre vonatkozó innovációs akaratát tükrözi az Európai Innovációs Partnerség (EIP-AGRI), melynek Agrárerdészeti Fókuszcsoportja aktívan foglalkozik olyan gyakorlati kérdések megválaszolásával, mint az agrárerdészettel kompatibilis fajok meghatározása és a gyümölcsstermő fák agrárerdészetbe történő adaptálhatósága, valamint az agrárerdészeti termelési koncepció megismerésének és elfogadhatóságának javítása (EUROPEAN COMMISSION 2017). Az agrárerdészeti rendszerek agrárstratégiai jelentőségét jelzi az is, hogy

az Amerikai Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma is Agrárerdészeti Stratégiai Keretrendszert dolgozott ki.

Az agrárerdészet, mint holisztikus földhasználati rendszer a tudományos kutatások egyik rohamosan fejlődő célpontjává vált. Az elmúlt évtizedekben több mint 130 ország kapcsolódott be az agrárerdészeti kutatások hálózatába, melyekre jellemző, hogy egyre nagyobb kereslet mutatkozik rájuk, multidiszciplináris jellegűek, valamint - téma függvényében - gyakran regionális igényűek és értelmezhetőségűek. Az agrárerdészeti kutatások fókuszja az Észak-atlanti országokban jellemzően az agrárerdészet ökoszisztéma-szolgáltatásaira és a globális környezeti krízisre adható válaszlehetőségekre irányulnak. Az agrárerdészeti kutatás-fejlesztés számos európai példát alapul véve egy igényvezérelt és alkalmazás-orientált folyamat, ahol az elhivatott gazdák igyekeznek a tudományos eredményeket mihamarabb gyakorlatba ültetni (KRČMÁŘOVÁ *et al.* 2021). Ugyanakkor számos tényező befolyásolja a gazdák nyitottságát egy új földhasználati mód és termelési rendszer megértésére és kipróbálására, s ezek közül a legjelentősebbek az elérhető tudás és szaktanácsadási rendszer, az érthető és támogató regulációs környezet, valamint az üzem becsülhető nyereségének mértéke. Miután az agrárerdészeti rendszerek legjelentősebb vívmányai a környezetvédelmi előnyök, valamint a fejlett országok agrárpolitikája is ezek előtérbe helyezésének irányába halad, így a nyugati kutatások jelentős része csak a környezeti előnyök felmérésére koncentrált. Ezzel ellentétben a gazdák fő motivációja és piaci érvényesülésük elengedhetetlen feltétele, hogy az üzemterv pénzügyi mutatói minél nagyobb jövedelmezőséget mutassanak, majd ez realizálódjon a termelési ciklus végén. Ehhez szükséges, hogy rendelkezésre álljanak a megfelelő agrártudományi ismeretek és az ezeken alapuló agrárerdészeti természetstechnológiák. Mindemellett az agrárerdészeti kutatások eddig elhanyagolt, de a jövőt tekintve meghatározó irányvonala a regionális adottságokhoz optimalizálható új agrárerdészeti technológiák kifejlesztése, majd a hatékony és piacvezérelt technológia-transzfer megvalósítása (LIU *et al.* 2019).

A doktori kutatási program során a fent leírtakhoz szükséges kertészettudományi háttér megalapozását tűztük ki célul részben alap-, részben alkalmazott kutatási jelleggel. Ezt annak érdekében tettük, hogy a kutatás-fejlesztés-innovációs folyamat további szereplői (alkalmazott agrárkutatásra specializálódott kutatóintézetek, magánszektor vállalatainak kísérleti fejlesztéssel és technológiafejlesztéssel foglalkozó osztályai) számára olyan fontos és alapvető tudományos információt állítsunk elő, melyekre alapozva elvégezhetővé válnak a léptéknövelt, üzemi szintű alkalmazott agrárerdészeti gyógynövénytermesztési technológiafejlesztések (COE *et al.* 2014).

### 3.1.2. Az allelopátia szerepe az agrárerdészeti rendszerekben

Az allelopátia közismert jelenség, tágabb értelmezése szerint sajátos kémiai összetételű, populációt alkotó növénytaxonok kompetitív élettani és biokémiai kölcsönhatását értjük alatta (SZABÓ 1997). Az agroökológiai rendszerekben előforduló jelensége általában a populációk közötti kölcsönhatások szempontjából az egymásra hatás típusa szerint negatív befolyásolásnak, ammenzalizmusnak minősül, hiszen a fajok közötti (interspecifikus) kapcsolat során az egyik faj anyagcsereterméke a másik fajra hátrányos hatást gyakorol (SCAVO *et al.* 2018). Mindez kiemelten fontos tényező az agrárerdészeti rendszerek tervezésekor, mert a fás szárú fajok évelő habitusuk, nagy méretük és jobb alkalmazkodóképességük révén befolyásolják a közteskultúrát, valamint módosítják környezetüket a saját kedvezőbb növekedésük biztosítása érdekében. Az allelopátia természetes ökoszisztémákban tapasztalt jellemző működési mechanizmusa, hogy az allelopátiáért felelős anyagok (allelokemikáliák) az átadó (donor) taxon szöveteiből vízzel jól kioldódnak és a befogadó (akceptor) taxon élő szöveteibe jutnak, ott transzlokálódnak, s az esetek többségében inhibitor hatásuk révén fejlődésélettani hatást gyakorolnak a célszervezetre. A hatást okozó speciális növényi anyagcseretermékek fő csoportjai az alkánok, alkének, poliinek; terpenoidok; fenoloidok; azotoidok; izotiocianátok (glikozinolátok) (SZABÓ 2016). A növényi allelokemizmust (fitokemizmus) a szociális magatartás típusokon (BORHIDI 1993) keresztül vizsgálva kiviláglik, hogy a legtöbb allelopátiás hajlamú faj táj- és flóraidegen, meghonosított haszonnövény.

Az allelokemikáliák különböző koncentrációban megtalálhatók a szárakban, levelekben, gyökerekben, virágokban, termésekben és a magvakban is. Ennek megfelelően környezetbe jutásuk is több csatornán keresztül történik, ezek a párolgás, a gyökerek általi kiválasztás, a kimosódás, valamint a növényi maradványok lebomlása. Az allelokemikáliákra érzékeny akceptor növények reakciói teljes fajspecifikusságot mutatnak, általános jelenség azonban a kétszikűek erősebb érzékenysége. Az akceptor növények magvainak karakterjegyei (méret, magháj-átjárhatóság) befolyásolhatják az allelokemikáliák felvehetőségét. A vizsgálatok azt bizonyítják, hogy a kisebb magvú növények érzékenyebben reagálnak azonos koncentrációjú allelopátiás terhelésre. Az allelopátia hatása direkt (fitotoxikus allelokemikáliák – interferencia) és indirekt (környezetben található egyéb élőlényekre, mikroorganizmusokra gyakorolt allelopátiás hatás; ökoszisztéma-folyamatok – tápanyag felvehetőség, talajtulajdonságok befolyásolása; kártevők és kórokozók befolyásolása) mechanizmusokból áll (KRUSE *et al.*, 2000).

A diófélékre (*Juglandaceae*) jellemző a juglon (5-hidroxi-1,4-naftokinon) akkumulációja (FROHNE és PFANDER, 2005). E mellett számos egyéb speciális anyagcseretermék csoport lehet felelős az allelopátiás hatásért, úgy, mint fenolsavak, flavonoidok, aminok, alkaloidok és terpének (WILLIS 2000). Egy HPLC analízis eredményének értelmében a diólevél a juglonon kívül a következő vegyületeket tartalmazza nagyobb arányban: rutin, ellaginsav, miricetin, katechin-hidrát, sziringasav, klorogénsav, valamint szalicilsav (NOUR *et al.* 2012). A juglon megtalálható a *Juglandaceae* család összes fájában (DAUGHERTY *et al.* 1995), valamint néhány közeli rokon családban is: *Proteaceae* (MOIR és THOMSON 1973) és *Fabaceae* (MARICHOVA és KUMANOVA 1981). Növényi bioszintézise a sikimisav prekursoron keresztül valósul meg – inhibitor hatása oxigénnel és UV fényvel való kitettség esetén felerősödik

(fotokatalízis). Instabil formájában (hidrojuglon-glikozid) található meg a növényben, enzimátikus hidrolízis során oxidálódik toxikus hatású molekulává, juglonná (WILLIS 2000).

A diófélékben detektálható juglon-tartalom vizsgálatára vonatkozó kísérletek összevetése alapján pontos következtetések nehezen vonhatók le. A juglon-koncentrációt nagymértékben befolyásolja a gyűjtési időpont (május–október), a vizsgált növényi rész (gyökér, vessző, levél, terméshéj), a vizsgálati metodika (kromatográfias módszer), a vizsgálati minták jellege (száraz növényrész, friss növényrész, kivonat), valamint a gyűjtött minta lombkoronaszintbeli helyzete. A kísérletek egymásnak ellentmondó eredményeket közölnek a különböző időpontokban vizsgált juglon-tartalom kérdésében, egyértelmű tendencia nem állapítható meg. A *Juglandaceae* család különböző fajai között és a *Juglans regia* L. faj különböző fajtáinak növényrészeiben mért juglon-tartalom is nagy különbségeket és szórást mutat (STRUGSTAD és DESPOTOVSKY 2012; COSMOLESCU *et al.* 2011; CODER 1983; COSMOLESCU *et al.* 2014).

A juglon a dióültetvények talajában a faj, fajta, évszak, fától való távolság és további biotikus és abiotikus hatások függvényében változóan halmozódhat fel a  $10^{-6}$  M koncentrációtól egészen a  $10^{-4}$  M koncentrációig (JOSE és GILLESPIE 1998; THEVATHASAN *et al.* 1998; TERZI 2008). Mikrobiológiai és ökológiai kutatások tárták fel a feketedió ültetvények talajában élő *Pseudomonas putida* J1 baktériumfajt, amely a juglon széntartalmát hasznosítva képes energiához jutni, ennek megfelelően lebontani a juglont 3-hidroxi-juglonná (RETTENMAIER *et al.* 1983; SCHMIDT 1988; WILLIAMSON és WEIDENHAMER 1990). A gyakorlati gazdálkodás szempontjából hazai kutatók egyértelmű következtetésekre jutottak a diólevélkomposzt hatásának vizsgálata terén: kilenc-tíz hónapos – megfelelően kivitelezett – komposztálást követően elveszíti a növényi fejlődésre gyakorolt kedvezőtlen hatását (TIRCZKA és PROKAJ 2013; TIRCZKA *et al.* 2013).

A *Populus* fajok allelokemikáliáinak meghatározása kevésbé kutatott téma, néhány laboratóriumi és szabadföldi kísérlet eredménye enged következtetni az allelopátiás hatásra. A *Populus* fajokban keletkező speciális anyagcseretermékek és azok bioszintézis útjainak csoportosítása a következő: sikimisav/fenilpropanoid származékok (fenol-glikozidok; fahéjsav és származékai; flavonoidok és kondenzált tanninok), terpenoidok, zsírsavak és származékaik (CHEN *et al.* 2009). A *Populus deltoides* L. száraz leveleiben a fenilpropán származékok (fenolos glikozidok) aránya akár a teljes szárazanyag-tartalom 30%-a is lehet, amelyen belül a hatóanyagprofil főkomponensei a deltoidon, szalikortin, populozid, szalicin, tremulacin és a trichokarpozid (SNYDER *et al.* 2014). Egy a folyóparti nyárral (*Populus deltoides*) végzett kísérlet azt bizonyítja, hogy amíg az allelopatikus hatásért valószínűsíthetően felelős fenolsavak koncentrációja friss és korhadó levelekben mérve 60,60–132,54 mg/100 g (sz.a.) között mozog, addig a talajban mért koncentráció 6,19–29,33 mg/100 g (sz.a.) értéktartományba esik, mely jelentős bomlást jelez (SINGH *et al.* 2001).

Az allelopátiás hatásra vonatkozó eddigi eredmények értelmében a hatás nagy fajspecifikusságot mutat. Egyértelmű juglon-tolerancia jellemezte a sárgadinnyét, egymásnak ellentmondó eredményeket detektáltak a közönséges búza juglon-toleranciájáról, csírázás- és növekedésgátlást figyeltek meg az uborka, paradicsom, szamóca, görögdinnye, kerti retek és

lucerna esetében. A *Populus* fajok allelopátiás hatását tolerálta a citromfű, csírázás- és növekedésgátlás által károsult a közönséges búza, a csicseriborsó és a kerti saláta. További két tanulmány számolt be a *Populus* – gyógynövények alkotta agrárerdészeti rendszerek tapasztalatairól, mely szerint annak ellenére, hogy csökkent fotoszintetikus aktivitás és transzspiráció jellemezte a köztes módon termesztett növényeket (kurkuma – *Curcuma longa* L., mungóbab – *Vigna radiata* L.), az öt évnél fiatalabb nyárasok (*Populus deltoides* Bartr. Ex Marsh.) esetében a kontroll területekhez képest jobb hozamok voltak tapasztalhatók. A hosszú távú megtérülés tekintetében, azzal együtt, hogy a záródó fás társulás esetén kedvezőtlen hozamadatokat tapasztaltak, két-háromszoros megtérülés jellemezte a köztestermesztésű rendszereket (CHAUHAN *et al.* 2013). Korianderrel (*Coriandrum sativum* L.) és görögcsénával (*Trigonella foenum-graecum* L.) végzett kísérletek eredményei szerint a görögcséna forró félszáraz éghajlati körülmények között kifejezetten ajánlható nyárfán alapuló agrárerdészeti rendszer köztesvetéseként egyértelmű megtérülési adatokat produkálva (RATHEE *et al.* 2017).

Az allelopátiás potenciállal rendelkező nagyértékű fás szárú növények együtt termesztetőségét az azokat toleráló lágyszárú fajokkal – kiváltképp a nagy hozzáadott beltartalmi értékű gyógynövényekkel – fontos agrárerdészeti kutatási irányként tartjuk számon. A jövő kutatásainak függvénye, hogy az agrárerdészeti rendszerekben kihasználhatóvá válik-e az allelopatikus donor fajokkal együtt termesztett gyógynövény fajok kártevőire és gyomkompetitoraira vonatkozó szabályozó szerep. Ez által a hazai gyógynövény ágazat legnagyobb kihívása, a gyomszabályozás megoldása irányába lehet lépéseket tenni a jövőben, mindennek alapja azonban azon gyógynövény fajok ismerete, amelyek tolerálják a fák allelokemikáliáit. Az eddigi kutatási eredmények (CHAUHAN *et al.* 2013; RATHEE *et al.* 2017) azt jelzik, hogy az agrárerdészeti rendszerekben történő köztestermesztés, a tapasztalt allelopatikus hatások ellenére is gazdasági előnyöket biztosít a gazdák számára, mindamellett, hogy egyértelmű környezeti előnyökkel rendelkezik.



### 3.1.3. A fény szerepe az agrárerdészeti rendszerekben

A növényi élet legjellemzőbb tulajdonsága a fotoautotróf anyagcsere, amely lehetővé teszi, hogy a növények szerves anyagokból a fény, mint energiaforrás segítségével szerves anyagokat állítsanak elő. A fitomassza termelésében fontos tényezők a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR, 400nm - 700nm hullámhossz) elérhetőségének mértéke, valamint a faj képessége arra, hogy a sugárzást energiává alakítsa (PETHŐ 2003). Az agrárerdészetben a fák lombja által nyújtott árnyék befolyásolja a köztesnövények számára elérhető fény sugárzási energiáját, amely módosítja a fotoszintézis hatékonyságát, s ebből következően az univerzális és a speciális anyagcserefolyamatokat is (THAKUR és KUMAR 2021). Az agrárerdészetben gyakran tapasztalható hozamesökkenés fiziológiai okát meghatározni igyekvő kutatások szerint a fák lombja abszorbeálja a fényspektrum legrövidebb és leghosszabb hullámhossz tartományait (vörös és kék fény), így a közteskultúra számára elérhető diffúz sugárzás leginkább a közepes hullámhosszú fényből (narancs, sárga, zöld) áll (JOSÉ *et al.* 2009). Mindez általában negatívan befolyásolja a köztesnövény fejlődését, mert a növekedésszabályozó hormonok, s ebből következően a növény fejlődése a növényi fitokróm rendszer, valamint a vörös és infravörös fény interakciója által szabályozott (BARALDI *et al.* 1995). A növényegyed számára bármely olyan környezeti faktor, amely a faj ökológiai igényén és tűrőképességén kívül áll, az életműködést negatívan befolyásoló stresszorként jelentkezhethet, ugyanakkor a környezeti stressz bizonyított módon a fő előmozdítója is lehet a speciális növényi anyagcseretermékek előállításának (SELMAR és KLEINWACHTER 2013; MAHAJAN *et al.* 2020). Az agrárerdészeti növénytermesztés számos tudományos és technológiai kérdést vet fel, mely kérdések a gyógynövénytermesztés esetén speciális drog- és hatóanyag minőségi elvárásokkal párosulnak. Mindebből kifolyólag úgy gondoltuk, hogy fontos munka kimérni a különböző fajok azon fényintenzitási szintigényét, mely kielégítése mentén a hatóanyagok termelődése – a gyógyszerkönyvi elvárásoknak megfelelően - optimalizálható agrárerdészeti körülmények között.

Az árnyékhatást és az abból következő hormonális változásokat a gyakorlati agrárerdészetben többféle tényező befolyásolhatja. Egyrészt a telepített fa lombkorona sűrűsége, lombleveleinek színe, lombfakadási ideje, növekedési erélye, vágási ciklusa, mérete és művelési technológiája, valamint az ültetvény térállása és tájolása (DUPRAZ *et al.* 2018). Másrészt a közteskultúraként termesztendő gyógynövény fénykompenzációs pontja, életformája, hatóanyagainak bioszintézis útvonalai és agrotechnológiai igényei. Mindezzel együtt általában a fény fő korlátozó tényezőként jelenik meg az agrárerdészetben. A mérsékelt égövön köztesnövényként termelhető szántóföldi növények közül az irodalmi adatok megerősítik azt a szakmai preconcepciót, mely szerint a C<sub>3</sub> növények fejlődnek megfelelően szántóföldi agrárerdészeti rendszerekben, ezen belül azonban nagy a faj- és fajtaspecifitás (ZUBAY *et al.* 2019).

Szabályozott környezeti tényezők között végzett kutatások szerint a len (*Linum usitatissimum* L.) *in vitro* körülmények között gátolt flavonoid akkumulációval reagált a folyamatos sötétség stresszre, s flavonoidszintézis-serkentéssel a folyamatos fénystresszre (ZAHIR *et al.* 2018). Fehér üröm (*Artemisia annua* L.) sejttenyészetben végzett kísérletek eredményei szerint a megvilágítottság növekedésével növekszik a növényi produkció és az artemizinin szintézis 3000 lux értékig, majd az ezt követő megvilágítottsági fok felett megáll a folyamat és nem képződik sem több fitomassza, sem több hatóanyag (LIU *et al.* 2012). ALI és

ABBASI (2014) kísérleti eredményei pozitív korrelációt bizonyítanak *in vitro* körülmények között a fényhatás és a beltartalmi paraméterek (fenolsav-tartalom, antioxidáns kapacitás) között. Klímakamrában végzett kísérlet alapján a kínai édesgyökér (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) az alacsony fényintenzitás általi stresszhatásra csökkent levélvastagsággal, fotoszintetikus aktivitással, fitomassza termeléssel, ellenben növekedett levélfelülettel és klorofill-koncentrációval reagált. A glicirrizinsav és liquiritin hatóanyagok akkumulációja növekedett a gyökérben az alacsony fényintenzitás hatására, mely alapján a szerzők következtetésükben rámutatnak a faj agráreredészeti perspektivikusságára (HOU *et al.* 2010). A közönséges orbáncfű (*Hypericum perforatum* L.) speciális anyagcseretermékei és a termesztést meghatározó környezeti feltételek közötti kölcsönhatásokat feltáró kísérletek bizonyítják, hogy a levélszinten mért nettó fotoszintézis (Pn) és a hipericin és pszeudohipericin termelődés között pozitív korreláció van. A Pn a megvilágítás intenzitásának és/vagy a CO<sub>2</sub> koncentráció növelésével érhető el (mindkettő nehezen képzelhető el agráreredészeti körülmények között). A megvilágítás és a CO<sub>2</sub> koncentráció növelésével azonban, kontrollált körülmények között, az orbáncfű hatóanyag akkumulációja akár 31-40-szeres mértékre is növelhető a szabadföldi termesztési körülményekhez viszonyítva (MOSALEEYANON *et al.* 2005). Egy másik tanulmány is egyértelműsíti a megvilágítási intenzitás és a hipericin-tartalom közötti pozitív korrelációt, amely kapcsolatot szövettani magyarázattal is alátámaszt, mely szerint: növekvő fényintenzitás esetén növekszik a leveleken a fekete mirigy pontok száma, s mindez növekvő hipericin-tartalommal eredményez (BRISKIN és GAWIENOWSKI 2001). A pohánka (*Fagopyrum esculentum* M.) rutin felhalmozódása és az UV-B sugárzás kapcsolatát elemző kutatók adatai szerint a környezeti UV-B sugárzás növelte a rutin-tartalmat mind a környezetihez képest fokozott, mind pedig a csökkentett UV-sugárzás kezelésekhöz viszonyítva (KREFT *et al.* 2002). A mák (*Papaver somniferum* L.) alkaloid-tartalmára vonatkozó, klímakamrában végzett kísérletek eredményei értelmében az alkaloid-tartalom koncentrációja és összetétele is egyértelmű függést mutat a megvilágítás intenzitásától, emellett a hőmérséklettől és e két környezeti tényező interakciójától is. Az alkaloidok képződését egyértelműen felgyorsította a megvilágítás növelése (16000 luxról 32000 luxra). A megvilágítási intenzitás növelése javította a növények fejlődését, valamint többszörösére emelte a hatóanyagok akkumulációját (BERNÁTH és TÉTÉNYI 1979).

A kvázi-szabályozott környezeti tényezők között végzett kutatások eredményei is teljes fajspecifitást mutatnak. Belgiumban beállított szabadföldi kísérlet során időszakos- és folyamatos árnyékhatást vizsgáltak takaróhálók segítségével a cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termelés agráreredészeti implementációja céljából. A növekvő levélnyelifejlődéssel párhuzamosan levélfelület-csökkenést-, valamint a karógyökér szárazanyag- és cukortartalmának csökkenését tapasztalták mind az időszakos, mind a folyamatos árnyékhatás esetén. A cukor kivonhatóságára is negatívan hatott az árnyék, azonban kevésbé negatívan, mint a szárazanyag-tartalomra és a hozamra (ARTRUA *et al.* 2018). Spanyolországi kutatók is célul tűzték ki a szántóföldi agráreredészeti-rendszer fa- és lágyszárú fajainak optimalizációját az ottani környezeti tényezők között, így vizsgálták az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) és az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) fajok és különböző fajtáik rendszerbe illeszthetőségét üvegházi körülmények között, 0%, 10% és 50% árnyékhatást imitálva. Fajonként 9 fajtát teszteltek szkrín-jelleggel (feltérképező, szűrő jelleggel), melyek jelentős része mindkét faj esetén hozamnövekedéssel reagált az árnyékre. Az őszi búza 10% árnyékhatás-, az őszi árpa 50% árnyékhatás esetén produkálta a legnagyobb hozamot. A gabonafélék N-tartalmát vizsgálva a búzában csökkent ezen értékmérő tulajdonság az

árnyék hatására, az árpara vonatkozóan indifferens volt. A kutatók következtetésükben felhívják a figyelmet az árnyékstressz orientált fajtaszelekció fontosságára a megfelelő szántóföldi agrárerdészeti rendszer implementáció elérése érdekében (Arenas-Corraliza *et al.* 2018a). Illinois-i (USA) takaróberendezéssel beállított szabadföldi kísérletben figyelték meg a fekete ribiszke (*Ribes nigrum* L.) reakcióját a fényelvonásra, mely szerint 65%-os árnyékhatásig nem csökken a hozam (WOLSKE *et al.* 2018). A paradicsom (*Lycopersicon esculentum* L.) klímaváltozáshoz és a potenciális beltéri termesztőberendezések adta lehetőségekhez optimalizált jövőbeli termesztéstechnológiáját megalapozó kutatások is tanulmányozzák az árnyék hozam- és beltartalmi paraméterekre gyakorolt hatását. Németországban üvegházi kísérletekben igazolták, hogy az árnyék csökkenti a szárazanyag tartalmat (34% árnyék 19%-kal, 57% árnyék 31%-kal), azonban nem gyakorol hatást sem a likopin-, sem a cukortartalomra. A titrálható savtartalom szignifikánsan növekedett az árnyékhatás növelésével, eközben azonban enyhén csökkent a  $\beta$ -karotin tartalom (KLARING és KRUMBIEN 2013). A paradicsom anyagcseréje könnyen alkalmazkodik a fénycsökkenéshez a levélfelület növelése és a légzés csökkentése révén. 50% árnyékhatásra 13%-kal csökkent a paradicsomtermés glükóz- és fruktóz tartalma, valamint visszaesett a terméshozam 44-58%-kal. Emellett változott – általában nem a paradicsomra jellemző illatot adó komponensek javára – az illóanyagok összetétele és a titrálható savtartalom is (KRUMBEIN és SCHWARZ 2013). Gyógynövényekre vonatkozó kísérletek is napvilágot láttak az elmúlt években, főként amerikai és ázsiai területeken agrárerdészeti termesztési megalapozás szándékával. A közönséges gyömbér (*Zingiber officinale* R.) válaszreakciója a csökkent fényhatásra a növekvő összflavonoid-tartalom- és antioxidáns-kapacitás mellett a csökkenő összpolicifol-tartalom volt (GHASEMZADEH 2010). A *Flourensia cernua* DC. észak-amerikai sivatagi bokor habitusú növény, melyet gyógy- és takarmánykiegészítő növényként alkalmaznak, fő hatóanyagai: flavonoidok, szeszkviterpének, monoterpének, melyek alga-, természet-, és gombaellenes hatással rendelkeznek (TELLEZ *et al.* 2001). A fajban az árnyékhatás a gyömbérhez hasonlóan csökkentette az összpolicifol-tartalmat, azonban nem gyakorolt hatást az egységnyi szárazanyag-tartalomra vonatkoztatott összes illóolaj-tartalomra. Az árnyék hatására növekedett a következő hatóanyag összetevő molekulák aránya: kamfén, szabinén,  $\beta$ -pinén, borneol, bornil-acetát, Z-jazmon (mg/g sz.a.) (ESTELL *et al.* 2016). Mérsékelt égövön és hazánkban szokványosan termesztett gyógy- és aromanövényekre vonatkozó, árnyékhatást vizsgáló kísérleti eredményből kevés áll rendelkezésünkre a témában, ezen kevés eredmény az orvosi zsályára (*Salvia officinalis* L.), a kerti kakukkfűre (*Thymus vulgaris* L.), valamint a citromfűre (*Melissa officinalis* L.) vonatkozik. A zsályá és a kakukkfű hozamadatainak és beltartalmi értékeinek árnyékhatásra történő változását Massachusetts államban (USA) kutatták üvegházi kísérletben, mesterséges takarást biztosítva. Eredményeik szerint a megvilágítás-, a fitomassza- és az illóolaj-tartalom ( $\mu\text{g/g}$  friss levél) között pozitív korrelációt tártak fel mindkét faj esetén. Az illóolajtartó mirigyszőrök sűrűsége és a hatóanyagok létrejötte is egyenes arányban nőtt a megvilágítottság mértékével, azonban a zsályá esetén az 55%-os árnyékoltóság állapotában szintetizálta a növény a legtöbb illóolajat, miközben a 100% fényhatás csökkentett az akkumuláción. Az illóolaj-összetétel is változott a zsályá esetén: a tujon aránya (%) növekedett, miközben a kámforé csökkent az árnyék hatására. A kakukkfű esetén a fitomassza és az illóolaj hozam-, valamint annak összetétele is a teljes megvilágítottság állapotában volt a legkedvezőbb (YAN-LI *et al.* 1996). A citromfű reakciója 10-15% árnyékhatásra a növénymagasság növekedése volt, azonban szignifikáns változás nem történt sem a hozam adatok, sem a hatóanyag-tartalom terén. Pozitív korreláció volt

az illóolaj-tartalom és a levél-szár arány között, miközben az illóolaj-tartalom és a növénymagasság negatívan korrelált (RUSSO és HONERMEIER 2017).

Az agrárerdészeti rendszerek, különösen a soros művelésű rendszerek kutatásának centrumai a globális térképen Délkelet-Ázsia, kifejezetten India, Észak-Amerika, valamint Nyugat-Európában kiemelten Franciaország. Ennek megfelelően a szabadföldi, valódi agrárerdészeti körülmények között beállított kísérleteket is nagyrészt ezeken a területeken végezték, melyekből a távol-keleti eredmények kevésbé, az észak-amerikai és a nyugat-európai eredmények javarészt adekvátak a hazai agroökológiai viszonyok között. Az eredmények bemutatását és értékelését megelőzően fontos egyértelműsíteni, hogy míg az eddig bemutatott szabályozott- vagy kvázi-szabályozott környezeti tényezők között végzett kutatások esetén lehetőség volt a fény-árnyék hatás egyedüli szerepére redukálni a kísérlet tudományos kérdésfelvetését, addig a szabadföldön, valós agroökológiai rendszerben, fák között végzett kísérletek esetén a fényért történő versengésen kívül, további befolyásoló faktorként jelenik meg a vízért- és tápanyagokért potenciálisan fellépő versengés, valamint az allelopátia jelensége is. Három indiai kísérlet számol be gyógynövény köztesvetésű agrárerdészeti rendszerekről, melyek közül egy a helyben megtalálható fajok szkrínelésére, egy az *Ocimum* fajokra, egy pedig a kurkuma (*Curcuma longa* L.) és a mungóbab (*Vigna radiata* L.) termesztetőségére fókuszál. A szkrínélést kitűző kísérletbe 64 helyben gyűjtött gyógynövényfajt vontak be, melyeket 5 m-es sortávolságra ültetett, 2 éves folyóparti nyár (*Populus deltoides* L.) ültetvénybe teszteltek, s teljesítményük (fitomassza, illóolajhozam) és adaptációs képességük (túlélés) szerint csoportosítottak. A hazánkban is ismert, vagy termesztési potenciállal rendelkező fajok közül a következők teljesítettek jól: orvosi kálmos (*Acarus calamus* L.), orvosi aloe (*Aloe barbadense* L.), fekete üröm (*Artemisia vulgaris* L.), kender (*Canabis sativa* L.), kurkuma (*Curcuma longa* L.), jávai citronella (*Cymbopogon winterianus* L.), szent bazsalikom (*Ocimum sanctum* L.), indiai macskagyökér (*Valeriana wallichii* DC.), közönséges gyömbér (*Zingiber officinale* R.), fokhagyma (*Allium sativum* L.), kapor (*Anethum graveolens* L.), rózsaszín meténg (*Catharanthus roseus* L.). Kifejezetten kedvezőtlenül teljesítettek a mentafajok és az álombogyó (*Withania somnifera* L.) (JHA és GUPTA 1991). Egy két és fél éves *Pongamia pinnata* L. ültetvényben *Ocimum* fajokkal (*O. sanctum* L., *O. tenuiflorum* L., *O. basilicum* L. és *O. gratissimum* L.) végzett kutatás szerint a kontroll parcellaként használt monokultúra fényviszonyaihoz képest az általuk silvi-medicinal rendszer terminológiával fémjelzett rendszerben 35%-os csökkenés volt a megvilágításban. Ezen körülmények között az összes *Ocimum* faj statisztikailag szignifikánsan nagyobb termés és illóolaj-hozamot produkált a silvi-medicinal rendszerben. Az átlag fitomassza 8,53 t/ha-ról 9,58 t/ha-ra-, az illóolaj-tartalom 0,66%-ról 0,68%-ra, valamint az illóolaj-hozam 45,41 kg/ha-ról 50,75 kg/ha-ra nőtt (SUVERA *et al.* 2015). A kurkuma (*Curcuma longa* L.) és mungóbab (*Vigna radiata* L.) tesztnövényekkel végzett, 4 és 5 éves, 6x6 m térállású nyárültetvényben (*Populus deltoides* L.) végzett kutatás szerint az árnyékhatás a fák koronanövekedésének előrehaladtával egyre inkább csökkentette a kurkuma gyökértömegét. A mungóbab esetén az 5 éves ültetvény árnyék – és egyéb potenciális biotikus interakciók – hatása okozott csökkenést a hüvelyek számában és a magok súlyában. A hozamcsökkenés jelentősebb volt az ötéves ültetvényben (58%), mint a négyéves ültetvény esetén (37%). A kutatók javasolják a fák felkopasztását, valamint megfogalmazzák egy félig következtetést – félig prekonceptiót, mely szerint a gyökérhasznú növények jobban adaptálhatók agrárerdészeti körülmények közé, mint a magjukért termesztett növények. Kísérletük alapján egyértelmű, hogy az agrárerdészeti

rendszer teljes produkciója nagyobb a monokultúráénál, valamint agroökonómiai modellszámításuk alapján az ilyen rendszerek üzemeltetése ésszerű és gazdaságos, mert a helyi konvencionális földhasznosítással - a rizs-búza vetésváltású monokultúras gazdálkodással - összemérve mintegy háromszoros gazdasági haszonra tehet szert a gazda (CHAUHAN *et al.* 2013). Franciaország gazdatársadalmára jellemző az alulról szerveződés képessége, nyitott az innovációkra, képes a hálózatossodásra, valamint elkötelezett a környezetvédelem és a fenntarthatóság iránt. Mindennek megfelelően az országban reneszánszát éli az agrárerdészet. Kísérleteikben – és gazdálkodási gyakorlatukban – dió hibrideket és nyár fajokat kombinálnak többnyire gabonanövényekkel. Egy dió hibrid (*Juglans x intermedia* Mj209xRa) és durumbúza (*Triticum turgidum* L. *subsp. durum*) kombinációjú soros művelésű rendszerben (13 m sortávolságra ültetett 17 éves diófák kelet-nyugati tájolásban, 100 fa/ha) végzett kísérletben 27% termésveszteséget és ezzel párhuzamosan 25% fehérjenövekedést tapasztaltak. A kutatók felhívják a figyelmet a fajok választásakor a fenológiai stádiumok optimalizációjára, a korona-alakítás fontosságára, a térállás befolyásoló hatására, valamint az árnyéktűrő genotípusok nemesítésének igényére (DUFOR *et al.* 2013). Egy ugyancsak dió hibrid (*Juglans x intermedia* Mj209xRa) és gabonanövény: őszi búza (*Triticum aestivum* L.); őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.)) kombinációjú rendszerben (6x5 m sor- és tőtávolság, 9 éves ültetvény, 333 fa/ha) végzett kutatás eredményei szerint az árnyékre adott válaszreakciók különböztek a tesztelt fajok és fajták függvényében is. Az őszi árpa hozamának kedvezett a szántóföldi agrárerdészet a monokultúrához viszonyítva azokban az években, amikor tavasszal korai hő/szárazságstressz érte az állományt. Ezekben az években a soros művelésű rendszer pufferekapacitása 15% és 55% terméshozam növekedést biztosított. Az őszi búza esetén a kedvezőtlen években neutralitást, míg a búzatermesztésnek kedvező években negatív hatást állapítanak meg a szerzők. Mindezzel némileg ellentétesen a nitrogén-tartalom (mely fontos jelzőértéke a gabonafélék fehérjetartalmának, ezáltal takarmányozási-, vagy élelmezési értékének) a búza esetén növekedett a soros művelésű rendszerben (2,76% és monokultúrában mért 2,56%-hoz képest), az árpa esetén nem történt változás. Fontos megállapítás, hogy a fák növekedése is csökkent a tisztán dióültetvényhez képest, ugyanakkor a két monokultúrát (dió és gabona) az agrárerdészet köztestermesztési földhasználati móddal összevetve az agrárerdészet produkálta a legtöbb biomasszát termőföld egyenértékre vonatkoztatva (ARENAS-CORRALIZA 2018b). Hazánkban egy fellelhető kutatást találtunk a gyógynövények agrárerdészeti alkalmazhatóságát illetően, mely a 14 gyógynövényfaj klasszikus, erdészeti hasznosítású nyárültetvények sorközeiben történő termesztetőségi kérdését veti fel. A kísérlet eredményei értelmében két kategóriát állapítottak meg a növények viselkedése alapján, melyek a nem termesztendő és a termesztésre javasolható további vizsgálatok igényével. Eszerint nem termesztendőek: kapor (*Anethum graveolens* L.), fehérmustár (*Sinapis alba* L.), konyhakömény (*Carum carvi* L.), muskotályzsálya (*Salvia sclarea* L.), orvosi angyalgyökér (*Angelica archangelica* L.), lestyán (*Levisticum officinale* L.), borsmenta (*Mentha piperita* L.). Termesztésre javasolhatóknak ítélik: orvosi székfű (*Matricaria chamomilla* L.), macskagyökér (*Valeriana officinalis* L.), fehérmályva (*Althea officinalis* L.) (GALAMBOSI 1980).

Összességében a szakirodalmi adatok alapján nem kapunk egyértelmű útmutatást a különböző hatóanyagosztályokba tartozó hatóanyagok termelődése és a csökkent fényviszonyok kapcsolatának kérdésében. A legtöbbet kutatott hatóanyagosztály a fenoloidok, ahol a len (összflavonoid-tartalom), a közönséges orbáncfű (hipericin) és a gyömbér (összpolifenol-tartalom) esetén is bebizonyították, hogy az árnyékstressz gátolta a hatóanyag akkumulációt (ZAHIR *et al.*

2018; BRISKIN és GAWIENOWSKI 2001; GHASEMZADEH *et al.* 2010). Mindezt némileg bonyolítja, hogy csakugyan a fenoloidok közé tartozó flavonoidok mennyisége gyömbérben növekedett árnyékolás hatására, valamint a pohánka rutin-tartalmát nem növelte a környezetitől nagyobb UV-B terhelés (KREFT *et al.* 2002). A szaharidok és az azotoidok hatóanyagostályait a cukorrépa és a mák fajok képviselték, melyek esetén csökkenő megvilágítottság esetén hatóanyag visszaesést tapasztaltak a kutatók (BERNÁTH és TÉTÉNYI 1979, ARTRUA *et al.* 2018). A főként terpenoidokhoz sorolható illóolajok termelődése a leginkább fajspecifikus, az egy családba tartozó növények (orvosi zsálya, kerti kakukkfű) között is illóolaj-tartalom eltérés tapasztalható árnyékhatás esetén (YAN-LI *et al.* 1996). A szántóföldi agrárerdészeti-rendszerekben általánosan elfogadott a köztesnövények hozamcsökkenése – melyet a fásszárú kultúrákból eredő externális és internális hasznok kompenzálnak – azonban ez a gyógynövénytermesztésben a hatóanyagtartalom- és összetétel esetén komplexebb kérdést és problémát jelent.

## 3.2. Az *in vivo* árnyékhatás kutatásban alkalmazott fajok rövid bemutatása

### 3.1.1. *Achillea collina* Becker

A faj az *Asterales* (fészekvirágzatúak) rendjébe, az *Asteraceae* (öszirózsafélék) családjába és az *Asteroidae* (öszirózsafélék) alcsaládjába tartozik. A gyógyászatban alkalmazott és a drogminőségi követelményeknek megfelelő beltartalmi mutatókkal rendelkező, hazánkban általánosan elterjedt faj az *Achillea collina* Becker, ezzel szemben az *Achillea millefolium* L. (közönséges cickafark) szerepel a gyógyszerkönyvi és drogleírásokban (BERNÁTH *et al.* 2013). A hatályos európai gyógyszerkönyvben (Ph. Eur.) és az ESCOP-Monográfiákban hivatalos drogja a virágzó hajtásvég (*Millefolii herba*) aprítva vagy egészben (ESCOP 2009). A növényből lepárolt illóolaj is megtalálható a kereskedelmi forgalomban *Aetheroleum millefolii* néven. A drog szárazanyagra vonatkoztatva minimum 2 ml/kg illóolajat és 0,02% kamazulénban kifejezett proazulént kell, hogy tartalmazzon (BERNÁTH *et al.* 2013). A cickafark hatóanyaga elsősorban az illóolaj, mely jelentős részben (0,2-0,5%) a virágzatokban akkumulálódik. Az illóolaj főkomponensei (30-60%) a szeszkviterpén laktonvegyületek közé sorolt sötétkék színű azulének, amelyek a vízgőzdesztilláció műveletében megjelenő hő hatására, kémiai reakció útján alakulnak át proazulénekből (pl. achillin, matricin) (NÉMETH 2007). A drog jellemző bioaktív komponensei továbbá az eudesmanolidok és flavonoidok (pl. apigenin, luteolin-glikozidok) (NÉMETH és BERNÁTH 2008).

A cickafark H életformájú, évelő, lágyszárú növény, mely széles környezeti tűrőképességgel bír. A megfigyelések szerint alapvetően a meleg, napos fekvésű területeken fejlődik kedvezően. A vízellátás befolyásolja a biomassza termelést, azonban az évjárat általában komoly hatást gyakorol a természet eredményességére. Jó agrotechnológiát alkalmazva hektáronkénti herbahozama 1-4 tonna között mozog, melyből a virágzat 10-20% tömeget tesz ki, illóolajhozama pedig 3-5 kg/ha (BERNÁTH *et al.* 2013). A növénynek számos gyógyhatása ismert és tudományosan bizonyított, úgy, mint az étvágyjavító, görcsoldó, gyulladáscsökkentő, fájdalomcsillapító, antibakteriális, antiszeptikus és kiválasztást serkentő hatások (ESCOP 2009). Illóolaja antimikrobiális hatású, szeszkviterpén komponensei gyulladáscsökkentőek, flavonoidja görcsoldóak, míg keserűanyagaihoz elsősorban étvágyjavító hatások párosulnak (BENEDEK *et al.* 2008; EMA 2011). A növényt és hatóanyagait széles körben használja fel a gyógyszeripar növényi gyógyszerek komponenseként, a kozmetikai ipar krémek alkotójaként, valamint az élelmiszeripar élvezeti teák összetevőjeként (BLUMENTHAL *et al.* 2000; GÁBOR 2008).

### 3.1.2. *Calendula officinalis* L.

A kerti körömvirág az *Asterales* (fészekvirágzatúak) rendjébe, az *Asteraceae* (öszirózsafélék) családjába, és az *Asteroidae* (öszirózsafélék) alcsaládjába tartozik. Számos monográfia által elfogadott és a hatályos gyógyszerkönyvben hivatalos drogja a szárított virágzata (*Calendulae flos*), emellett a kereskedelemben megtalálható az ettől értékesebb, fészekből kicsípott virágdrog (*Calendula flos sine calycibus*) is (SZABÓ és LENCHÉS 2013). A virágdrogon kívül értékes termék a kaszattermés és az abból extrahálható zsírosolaj. A körömvirág biológiailag aktív anyagait két fő csoportra lehet osztani: vízben oldódó anyagok és zsírolékony anyagok. A gyógyszeripari felhasználás szempontjából legfontosabb hatóanyagok a vízben oldódó flavonoidok, melyekből a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv szerint a hiperozidban kifejezve minimum 0,4%-ot kell, hogy tartalmazzon a drog (PH. HG. VIII. 2004). A fő polifenolos

molekulái a klorogénsav, neoklorogénsav és rutin, fő flavonoid komponensei pedig az izorhamnetin, kvercetin és kvercetin glikozidok, narcissin és a calendoflavozid (ARORA és SHARMA 2013; ENGEL *et al.* 2016). Értékes hatóanyagcsoport a karotinoidok, melyek főkomponensei a  $\beta$ -karotin, lutein, luteoxantin, flavoxantin, violaxantin, valamint a lutein cisz izomerje a (9Z)-lutein (VERMA *et al.* 2018). Mindemellett a faj fontos biológiailag aktív anyagaiként tartjuk számon a vízben oldódó szaponinokat, a zsíroldékony illóolajat (alfa-kadinol főkomponens), triterpéneket (glikozidos és alkoholos formákban), szterolokat, kumarinokat, kinonokat, valamint a nagy molekulású poliszacharidokat. A zsírosolaj főkomponensei a calendulasav és linolsav (SZABÓ és LENCHÉS 2013; ARORA és SHARMA 2013; VERMA *et al.* 2018). A karotinoidok orvosi jelentősége az antimutagenikus, kemoprotektív, kemopreventív, immunstimuláns, citoprotektív és antioxidáns hatásukban áll (MOLNÁR 2013), a körömvirág pedig elsősorban bőrgyógyászati készítmények alapanyagaként szolgál a gyógyszerkincsben köszönhetően flavonoid és karotinoid hatóanyagainak (EMA 2018). Napjainkban a karotinoidok étel- és takarmányipari felhasználása is egyre jelentősebb, amelyre természetes színező-, antioxidáns- és kedvező élettani hatásai adnak okot, mindez kijelöli az utat az agrár- és élelmiszertudományok szereplőinek kutatás-fejlesztési együttműködésére (SAUSSERDE *et al.* 2014). A  $\beta$ -karotin az egyik legnagyobb mértékben előforduló karotinoid az emberi szervezetben, valamint a többi karotinnal - amelyekből képesek vagyunk A-vitamint előállítani - összevetve, a  $\beta$ -karotin rendelkezik a legnagyobb A-provitamin-aktivitással (KRINSKY és JOHNSON 2005). A  $\beta$ -karotin fogyasztása önmagában és egyéb karotinoidokkal együtt is hatékony eszköze a napégés elleni prevenciónak (STAHL és SIES 2005). A körömvirág szíromlevelek színét elsősorban azok lutein-tartalma határozza meg (TANAKA *et al.* 2008). A lutein és a zeaxantin karotinoidok jelentik az egyik fő védekezési lehetőséget a makula degeneráció ellen (LAURENCE *et al.* 2000; STAHL és SIES 2005).

A körömvirág Th életformájú, egyéves lágyszárú, mediterrán eredetű, de szinte az egész mérsékelt égövön termesztető gyógynövény. A körömvirágot a szakirodalom fény- és melegkedvelő növényként írja le (GILMAN és HOWE 1999). Hazai tapasztalatok szerint a várható droghozam 1000-2000 kg/ha száraz virágzat vagy 350-400 kg/ha száraz nyelves virág. Hazánkban a betakarítás a virágzáskor folyamatos és kézzel történik, ebből kifolyólag termesztése szinte kizárólag kiskerti körülmények között valósul meg, azonban külföldön törekvések vannak a gépesített betakarítás kifejlesztésére (SZABÓ és LENCHÉS 2013; VESELINOV *et al.* 2014). A körömvirágdrog és annak különböző kivonatai, valamint az ezekből előállított készítmények mind szerves részét képezik a népi gyógyászatnak és a modern fitoterápiának. Hatóanyagainak fő felhasználója a gyógyszeripar (bőrgyógyászati készítmények) és a kozmetikai ipar elsősorban a gyulladáscsökkentő, antimikrobiális, antioxidáns és bőrregeneráló tulajdonságainak köszönhetően (SZOPA *et al.* 2020; VERMA *et al.* 2018; QUIRIN és GERARD 1997).

### 3.1.3. *Cannabis sativa* L.

A *Cannabis sativa* L. a *Rosales* (rózsavirágúak) rendjébe, *Urticales* (csalánvirágúak) alrendjébe, *Cannabaceae* (kenderfélék) családjába és a *Cannabis* nemzetségbe tartozó Th életformájú, kétlaki, multifunkciós felhasználású növényfaj (SMALL és CRONQUIST 1976). A *Cannabis* fajok meghatározása és a faj alatti taxonómia szintjén történő rendszerezése számos tudományos vita tárgyát képezte, azonban a leginkább elfogadott álláspont szerint egy faj - *Cannabis sativa* L. - és több, egymással hibridizálódott termesztési változat létezik: *Cannabis*



*sativa* subsp. *sativa* var. *sativa* (alacsony THC-tartalom, termesztésbe vont fajták - hazánkban ipari kender), *Cannabis sativa* subsp. *sativa* var. *spontanea* (alacsony THC-tartalom, vadontermő ökotípusok – hazánkban gyomnövény), *Cannabis sativa* subsp. *indica* var. *indica* (magas THC-tartalom, termesztésbe vont drogcélú fajták és törzsek), és *Cannabis sativa* subsp. *indica* var. *kafiristanica* (magas THC-tartalom, vadontermő ökotípusok) (MCPARTLAND 2018; SMALL 2017). A fajt a különböző célú felhasználási irányokra (a nemzetségre jellemző speciális anyagcseretermékek - fitokannabinoidok - termelése; magtermelés - vetőmag/árumag; rosttermelés) történő nemesítési tevékenység okán nagy kémiai diverzitás jellemzi. A női virágzat trichómáiban akkumulálódó, a nemzetségre jellemző speciális anyagcseretermékekből, a terpenofenolos fitokannabinoidokból mára több, mint 140 molekulát izoláltak, melyek közül a főkomponensek a kannabigerol (CBG), kannabichromén (CBC), kannabidiol (CBD), kannabicyclol (CBL), kannabinol (CBN), valamint a pszichoaktív hatást okozó tetrahidrokannabinol (THC) (ELSOHLY *et al.* 2017). Mindemellett a növény tartalmaz illóolajat, amelynek főkomponensei a következő terpenoidok: d-limonén,  $\beta$ -mircén,  $\alpha$ -pinén, d-linalool és  $\beta$ -kariofillén (BONINI 2018). A nem-kannabinoid vegyületek közül a hordenin spermidin és kannabiszativin alkaloidok, a fenol típusú spiroindánok, valamint a dihidrostelbének és kannabihidrofenantrenének a faj jellemzői (RAMAN és JOSHI 1998). A kendermagban lévő zsírsolaj fogyasztható formában tartalmazza az esszenciális  $\gamma$ -linolénsavat, valamint ideális arányban (3:1) tartalmazza a linol (53%)- és linolénsavakat (14,3%) (FINTA 2012).

A kendertermesztés legfontosabb régiói a kétezres éveket követően Kína, Kanada és az EU országai voltak, összesen mintegy 60-70 ezer ha vetésterülettel, melyből 20-25 ezer hektáron volt cél a magkender előállítására (FAOSTAT 2010). A nemzetközi piaci trendeket jelentősen átalakította az USA-ban 2018-ban elfogadott mezőgazdasági törvény (Farm Bill), amelynek értelmében az ipari kender (hazánkban alacsony THC-tartalmú kender) az egyéb mezőgazdasági növényekhez hasonlóan szabadon termesztethető, termesztésének a szabályozását pedig az FDA (Food and Drug Administration) végzi (DINGHA *et al.* 2019). A növényben szintetizálódó közel 140 fitokannabinoid molekula közül csupán a kannabidiol (CBD) piaci növekedésének trendjei alapján 2024-re 20 milliárd amerikai dollár értékű piacot jeleztek előre a szakértők, csak az USA-ra vonatkozóan (ANONYMUS 2019). Kanadában közel 10 ezer hektáron termesztnek magkendert zsírsolaj préseleése céljából (FRANZ-WARKENTIN 2011). A növény termesztése hazánkban is szerves része volt az agrárkultúrának, a hazai kenderipar a XX. század közepén élte fénykorát, ekkor a Szovjetunió legnagyobb beszállítójának számítottunk (BROWN 1998). 1962-ben 23 ezer ha termesztési területtel a cukorrépa és a napraforgó után a harmadik legnagyobb területen termesztett növényünk volt (BÓCSA 2004). Napjainkban a kenderipar robbanásszerű növekedését figyelhetjük meg mind az élelmiszer-, takarmány-, gyógyszer-, építő- és egészségipar millió-dolláros területein, mind a 47 országban zajló kender kutatás-fejlesztés-innováció területén (WYSE és LURIA 2021; HANEY 2020; CAPUTI 2021; TORKAMANEH és JONES 2021; RANALLI és VENTURI 2004; BRZYSKI *et al.* 2017; IVÁNYI és IZSÁKI 2007; ELSAID és LE FOLL 2020). A kenderkutatás központi témái a hozamnövelés és a biológiailag aktív anyagok minőségének megőrzése és fejlesztése a növénybiológiai folyamatok mélyebb megértésével. A magtermelés fő fejlesztési vonala a nagy magméretű, nagy hozamra képes, kitűnő zsírsavösszetételű fajták szelekciója (SCHLUTTENHOFER és YUAN 2017).

### 3.1.4. *Carum carvi* L.

A konyhakömény az *Apiales* (ernyősvirágzatúak) rendjén belül az *Apiaceae* (zellerfélék) családjába tartozó egy- és kétéves gyógynövényfaj, melynek egyéves - a kísérletekben alkalmazott -, Th életformájú változata a *Carum carvi annuum* (MIHALIK 1999). Drogjai az ikerkaszat termése, a *Carvi fructus* és az abból lepárolt illóolaj, a *Carvi aetheroleum* hivatalosak az Európai Gyógyszerkönyvben (Ph. Eur.) és az ESCOP-Monográfiában (ESCOP 2019). A köménytermés 2-3,5% illóolajat, 10-22% zsírosolajat, 20% fehérjét, 15% és szénhidrátot, mindemellett polifenolokat (kávéssav, kvercetin), illetve flavonoidokat és kumarinokat tartalmaz (VALKOVSKI 2011). A zsírosolajban található fő metilészter komponensek a petrozelinsav, a linolsav és az olajsav (ESCOP 2003). A kömény illóolaj minőségét a felhasználási cél függvényében az ISO 8896:2016 szabvány, valamint a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv is előírja. A VIII. Magyar Gyógyszerkönyv *Carvi fructus*-ra vonatkozó előírása minimum 2,5% illóolaj-tartalmat, minimum 50% karvon-tartalmat, továbbá jellemző, erősen fűszeres illatot jelent (PH.HG.VIII. 2004). Az ISO szabvány szerint az illóolaj kromatográfiás profilja 50-63% d-karvon-, 33-45% d-limonén, 0,5-1,5% cisz dihidro-karvon-, 0,4-1,5% transz karveol-, valamint minimum 0,2-0,7% mircén- és 0,2-0,5% cisz karveol-tartalmat kell, hogy mutasson. A kömény illóolaj kémiai variabilitása alacsony, hiszen a két főkomponensként jelenlévő d-karvon és d-limonén együttesen az illóolajnak mintegy kilencven százalékát teszik ki, s a változatosság leginkább e két alkotó egymáshoz viszonyított arányában nyilvánul meg. Az egy- és kétéves változatok között elsősorban a karvon-tartalom jelenti a különbséget, mely a kétéves változatban magasabb (ZÁMBORINÉ 2016).

Az egyéves változat a Mediterráneumban honos, melegigényes növény, melynek jelentős termelői Egyiptom, Izrael, Szíria és Afganisztán, valamint mintegy két évtizeddel ezelőtt még hazánk is a legjelentősebb termelők közé tartozott (PUTIEVSKY 1998; Rahman *et al.* 2020; VALKOVSKI 2011). A klímaváltozás miatt a konyhakömény termesztése a Földközi-tenger vidékén egyre kockázatosabb, hiszen a melegebb és szárazabb években a köménytermés idő előtti kényszerérése figyelhető meg, amely termékminőség romlást (alacsony ezermagtömeg, csírázási % és illóolaj-tartalom) eredményez (VON MAYDELL *et al.* 2020; ACIMOVIC 2015a). Ebből fakadóan és a nemesítői tevékenység eredményeként, melegigényének ellenére termesztése olyan mérsékelt óceáni/kontinentális klímájú országokban is terjed, mint Hollandia és Németország (NÉMETH és SVÁB 2013). Évtizedekkel ezelőtti izraeli eredmények szerint a kömény rövidnappalos körülmények között nagyobb terméshozamot produkált, valamint a növényegyedre vonatkozó termésszám és a termések mérete is növekedett (PUTIEVSKY 1983), mindez összességében indikálja a faj agráreredészeti termeszthetőségének felvetését. A terméshozam az egyéves kömény esetén 1-1,6 t/ha körül várható, jó agrotechnológiával azonban akár a 2 t/ha eredmény is elérhető, amely az egyéves köménytermesztés esetén a gazdasági megtérülés határát jelenti a nemzetközi piacon történő versenyben (NÉMETH és SVÁB 2013; VALKOVSKI 2011).

A konyhakömény felhasználása széleskörű, hiszen a fűszerként történő konyhai használata a legjelentősebb, emellett azonban fejlődik az élelmiszer-, kozmetikai-, takarmány-, növényvédőszer és gyógyszeripari alkalmazása is (JOHRI 2011; NÉMETH és SVÁB 2013; DACHLER 1998; NÉMETH 1999; SILVA *et al.* 2007; KUMAR és BOSSIER 2018). A kömény egy egyedi ízvilággal rendelkező tradicionális fűszernövény, amelynek illóolaja jelentős antioxidáns-kapacitással és antimikrobiális aktivitással rendelkezik, ennek megfelelően a hús-,

konzerv-, sütő-, szesz- és fűszeripar is előszeretettel használja mind a köménytermést, mind annak kivonatait kolbászok, pácok, savanyúságok, péktermékek, gyomorkeserűk és likőrök, valamint fűszerkeverékek és teakeverékek alkotójaként, továbbá élelmiszer adalékanyag-célú fejlesztése is perspektivikus (ACIMOVIC *et al.* 2015b; COLDEA és MUDURA 2016; RASOOLI és ALLAMEH 2016). A kömény és az abból készült gyógyászati készítmények a hagyományos és a modern terápiás eszköztárban leginkább a tejszaporító- és csecsemő teakeverékekben, a gyomor-béltraktus görcsei elleni preparátumokban, valamint a vércukorszint szabályozásában és kardiovaszkuláris megbetegedések prevenciójában alkalmazottak. Minderre alkalmassá teszi tejserkentő-, szimbionta bélmikrobiom megetelepedését serkentő-, szélhajtó- és görcsoldó-, antioxidáns-, valamint széles spektrumú antimikrobiális hatásossága (MAHBOUBI 2019, JAVED *et al.* 2020; MADISCH *et al.* 2004; KHOLIF és EL-SHEWY 2004; BONYADIAN és KARIM 2002; SATYANARAYANA 2004; Nice 2011).

### 3.1.5. *Dracocephalum moldavica* L.

A moldvai sárkányfű a *Lamiales* (ajakosvirágúak) rendjének *Lamiaceae* (ajakosvirágúak) családjához tartozó *Nepetoideae* alcsalád (macskamentafélék) egyéves, Th életformájú tagja. Drogjai a virágzó állapotban gyűjtött és megszáritott föld feletti hajtása (*Dracocephali herba*) és illóolaja (*Dracocephali aetheroleum*). A drog minőségére vonatkozó előírásokat a MSz 19280-1988 tartalmazta a 2001-es visszavonásig. GOSZTOLA *et al.* (2018) szerint a *herba* illóolaj-tartalma a virágzás folyamán növekvő tendenciát mutat, teljes virágzásban éri el maximumát (0,56-1,04 ml/100 g), majd ezt követően jelentősen csökken. Illóolajának főkomponensei a geranil-acetát, citrál-a és citrál-b. A geranil-acetát illóolajon belüli részaránya a virágzás folyamán nő, miközben a citrál komponensek felhalmozása csökken.

A moldvai sárkányfű a Himalája vidékén és Dél-Szibériában őshonos faj, azonban Eurázsia számos egyéb területén is vadon terem, élőhelye a száraz domboldalaktól a köves folyópartokig terjed (SĂVULESCU 1965). Az irodalom szerint a növény fényigénye nagy, vízigénye közepes, azonban a talaj iránt nem igényes és a hideget jól tűri (CSEDŐ *et al.* 1980). A sárkányfüvet felhasználja több iparág, hazánkban a Mecsek Frissítő tea alkotója volt, Romániában korábban két *Dracocephalum moldavica* L. kivonatot is tartalmazó készítményt (Sedinstant – nyugtató és feszültségoldó granulátum, Ticiverol – fertőtlenítő hatású szájvíz) forgalmaztak (DOBRESCU *et al.* 2002). A drogot és annak kivonatait felhasználják ürmösborok és üdítőitalok ízesítésére, valamint a citromfű illatkompozíciójára emlékeztető illóolaját felhasználja az illatszeripar és az aromaterápia, valamint kiváló mézelő tulajdonsága okán a méhészet (HALÁSZ-ZELNIK 1999). A levelek, termések és kivonatok élelmiszeripari felhasználása is kutatott téma (HAGHIGHI *et al.* 2016; ZARZYCKI *et al.* 2021; WÓJTOWICZ *et al.* 2017). A taxon által felhalmozott biomolekulák biológiai aktivitása széleskörű, úgy, mint az étvágyjavító, emésztést serkentő, szélhajtó, görcsoldó, nyugtató, antiszeptikus, antibakteriális, antioxidáns tulajdonságok (ACIMOVIC *et al.* 2018).

### 3.1.6. *Linum usitatissimum* L.

A len a *Linaceae* (lenfélék) családjába, ezen belül a *Linum* (lenek) nemzetségébe tartozik. A kultúrlelnek különböző termesztési változatai ismertek, úgy, mint a nagymagvú olajlen (*Linum usitatissimum* convar. *macrospermum*), a kismagvú, finomrostú rostlen (*Linum usitatissimum*

*convar. microspermum*) és a közönséges magvú len (*Linum usitatissimum convar. mezospermum*). Az olajlen a melegebb éghajlatot részesíti előnyben, köszönhetően származásának, amely Vavilov szerint Észak-Afrika és a Földközi-tenger melléke. Hazánkban az ország déli területein vannak olyan arid-jellegű éghajlati körülmények, amelyek lehetővé teszik, hogy az ezermagtömege elérje a 8 g-ot, valamint olajának minősége megfeleljen a termesztési céloknak. Lenolajat ipari célra elsősorban a gyógyszer- és festékipar használ, korábban jelentősége volt a textil és nyomdaiparban is (PEPÓ *et al.* 2019). Gyógyszerkönyvi tétel a lenmag (*Lini semen*) és a magban lévő zsírosolaj (*Lini oleum virginale*) a VIII. Magyar Gyógyszerkönyvben, ahol a mag zsírosolaj-tartalmára vonatkozóan nincs minőségi előírás, azonban a zsírsav-összetételt (21. táblázat) és a jódszámot (<160) szigorúan szabályozza az ipar.

A len világszerte is fontos olajipari növény, melynek termelési súlypontja Kanadában van, miközben az EU bizonyul az első számú feldolgozóinak. A lenmag egyre számottevőbb felhasználója az élelmiszer- és takarmányipar, köszönhetően az olyan egészségvédő beltartalmi összetevőinek, mint a lenmagolajat nagy arányban (45-67%) alkotó linolénsav, vagy a magpogácsából kivonható lignánok (OOMAH 2001; HALÁSZNÉ 2013). Az olajsajtolás melléktermékeként megjelenő magpogácsa jól emészthető, nagy fehérjetartalmú takarmány, amely leromlott állatok kondíciójának javítására és a szopós állatok elhullásának csökkentésére is alkalmazott. A lenmagban felhalmozódó hatóanyagokhoz számos bizonyított farmakológiai hatás társul, azonban az egyéb olajipari növényekhez képest a fajt jellemző alacsony hozamok behatárolják a termesztés növekedését. A virágzási és termésérlelési időszakban bekövetkező meleg- és szárazságstressz esetén jelentős terméskiesés és olajhozam csökkenés várható. A termésnövelés a len nemesítésének fő irányvonala a megfelelőbb versenyképesség elérése érdekében (CLOUTIER 2016). A hőmérséklet emelkedése az értékesebb zsírsavak, a linol- és linolénsavak csökkenését okozza az értéktelenebb olajsav emelkedésével párhuzamosan (CANVIN 1965). A lentermelést elsődlegesen befolyásoló környezeti faktor a hőmérséklet, melynek emelkedése esetén fennáll a termésképzés elégtelenségének-, a magtömeg csökkenésének, valamint a kisebb zsírosolaj-tartalom kockázata (ADUNGA és LABUSCHANGE 2003). Mindezt, agrárerdészeti körülmények között, a fák nyújtotta árnyék ellensúlyozhatja nagyobb mennyiségű és jobb minőségű termést eredményezve.

### **3.1.7. *Melissa officinalis* L.**

A citromfű a *Lamiales* (ajakosvirágúak) rendjének *Lamiaceae* (ajakosvirágúak) családjának *Nepetoideae* (macskamentafélék) alcsaládjához tartozó évelő lágyszárú (H.) növény. A növény hivatalos, VIII. Magyar Gyógyszerkönyvben szereplő drogját (*Melissae folium*) a növény megszáritott, aprított levelei jelentik. A 10. Európai Gyógyszerkönyvben hivatalos drog továbbá a növény leveleinek száraz kivonata (*Melissae folii extractum siccum*) is (PH. EUR. 10.0). A növényben található speciális anyagcseretermékek közül kiemelt biológiai aktivitással rendelkezik a rozmaringsav, amelynek a drogban lévő tartalmát a Ph. Hg VIII. minimum 1%-ban határoz meg. Mindemellert a drog tartalmaz illóolajat is, amelynek vízgőzdesztillációval nyerhető mennyisége a száraz növényi részre vonatkoztatva 0,02% - 0,45% közé tehető. Az illóolaj főkomponensei a két sztereoizomerrel (nerál és geraniál) rendelkező monoterpén aldehid, a citrál, valamint a citronellál és a geraniol (ANONYMUS 2004).

A taxon jellemzően mediterrán előfordulása, azonban mérsékelt égövön is termesztett, származása a fellelhető irodalmi források alapján vélhetően Dél-Európa és Nyugat-Ázsia (SHAKERI et al. 2016). Hazánkban ritkán lehet találkozni a növény kivadult egyedeivel, megjelenése elsősorban üde tölgyesekben, lomberdők szélén és cserjésekben természetes (SIMON 2008). A növényt mediterrán származásából fakadóan alapvetően meleg és fénykedvelő növényként írja le a szakirodalom. A szárazságot jól tolerálja, azonban a hosszan tartó aszályt csak öntözés mellett képes átvészelni, különös tekintettel az elvárt hozam és beltartalmi mutatók szem előtt tartásával (MEYERS 2007). A növényt és különösen annak kivonatait számos iparág használja fel jelenleg is, valamint kutatja a további potenciális felhasználási lehetőségeket. A citromfűvet a fitoterápia jellemzően az idegrendszert érintő kórképek enyhítésére használja a hatóanyagainak neuropretektív, antioxidáns és gyulladáscsökkentő hatásai nyomán (KOULA et al. 2021). A különböző *in vitro* és *in vivo* modellkísérletekben feltárt további farmakológiai hatásai az antivirális, tumorelles, antidepresszáns, alvászavar-ellenes és memóriajavító indikációk (MIRAJ et al. 2016), valamint klinikai kísérletekben bizonyították szorongást-javító és Alzheimer-kór ellenes hatásait (AKHONDZADEH et al. 2003, SOLTANPOUR et al. 2019, RANJBAR et al. 2018). A különböző módon előállított citromfű kivonatok antimikrobiális hatásait vizsgáló tanulmányok következtetései szerint a kivonat alkalmas mind az ember egészséget veszélyeztető-, mind pedig különböző élelmiszerromlást okozó kórokozó ellen (ABDEL-NAIME et al. 2019, CARVALHO et al. 2021).

### **3.1.8. *Ocimum basilicum* L.**

A kerti bazsalikom a *Lamiales* (ajakosvirágúak) rendjének *Lamiaceae* (ajakosvirágúak) családjának Nepetoideae (macskamentafélék) alsaládjához tartozó, mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban széles körben termesztett egyéves, lágyszárú (Th) növény. Az alapfajok feltehetőleg Északnyugat-Indiából származnak, azonban különböző termesztési változatai mára a glóbusz szinte egészén megtalálhatóak (LENCHÉS 2000). A kerti bazsalikom drogjait nem tartalmazza a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv, azonban szárított virágos hajtása (*Basilici herba*) és illóolaja (*Basilici aetheroleum*) a kereskedelemben egyaránt megtalálható. A növény fő hatóanyaga a föld feletti növényi részekben felhalmozódó illóolaj, de tartalmaz flavonoidokat, fenolsavakat, cseranyagokat, továbbá magjában zsírosolajat is (ANGERS et al. 1996). A különböző fajták és földrajzi alakkörök morfológiai és kémiai variabilitása egyaránt nagy, több kutatás eredményeit összegezve elmondható, hogy az illóolaj-tartalom jellemzően 0,3% és 1,5% között mozog (HILTUNEN 1999, SIMON et al. 1996, NURZYŃSKA-WIERDAK et al. 2013). Az illóolaj-összetétel tekintetében különböző szerzők különböző eredményekre jutottak, mindannyian valamilyen kemotípusos besorolást igényét vetették fel, amelyek alapján a jellemző főkomponensek általánosan az esztragol, linalool, metil-kavikol és a geraniál a különféle taxonokban (RADÁCSI 2014).

A bazsalikomtermesztés jellemző központjai a dél-európai országok mellett Bulgária és Törökország, hazánkban Kalocsától délre és Tolna megyében termesztik. Meleg és fénykedvelő növény, amely megfelelő termesztéstechnológia mellett 1,5-2 t/ha morzsolt drog és 8-10 kg/ha illóolaj hozamra képes. A kerti bazsalikom, mint a „fűszerek királya” fontos szerepet tölt be a világ gyógy- és aromanövény kereskedelmében, hiszen különböző termékeit széleskörűen használják fel az alkalmazó iparágak. Fűszerként a fűszeripari világkereskedelem élvonalába tartozik, illóolaját 50-100 t közötti volumenben állítják elő évente, különböző növényi részeit és az azokból

készült kivonatok felhasználja az élelmiszer-, aroma és illatszeripar (LUBBE és VERPOORTE 2011; DUDAI *et al.* 2020). Az élelmiszeripar elsősorban antioxidáns és antimikrobiális hatásai okán alkalmazza (TEOFILOVIC *et al.* 2017; SUPPAKUL *et al.* 2003). A gyógyszeripari kutatások modellkísérleteiben bizonyított a különböző kivonatok antimikrobiális, parazitaellenes, rovarölő, antioxidáns, immunmoduláns, gyulladáscsökkentő, májvédő, csontritkulás-gátló, antidiabetikus, tumorellenes, valamint a szív- és érrendszert és az idegrendszert védő hatások (SHAHRAJABIAN 2020). Klinikai kísérleti eredményből a kerti bazsalikom esetén nagyon kevés áll rendelkezésre (RAFIEIAN-KOPAEI és HOSSEINI-ASL 2015), továbbá az egyéb *Ocimum* taxonok klinikai alkalmazása is korlátos jelenleg.

### 3.1.9. *Satureja hortensis* L.

Az egyéves borsfű a *Lamiales* (ajakosvirágúak) rendjének *Lamiaceae* (ajakosvirágúak) családjának Nepetoideae (macskamentafélék) alsaládjához tartozó egyéves, lágyszárú (Th) növényfaj. Az egyéves borsfű a Mediterráneumban honos, hazánkba természetesen került be. Géocentruma a Földközi-tenger vidéke és Nyugat-Ázsia. Az egyéves borsfű drogait nem tartalmazza a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv, azonban szárított virágos hajtása (*Saturejae herba*) és illóolaja (*Saturejae aetheroleum*) a kereskedelemben egyaránt megtalálható. A borsfű legfőbb hatóanyaga az illóolaj, azonban számos egyéb más biológiai aktivitással rendelkező anyagcseretermék is tartalmaz, úgy, mint flavonoidokat (luteolin) és fenolkarbonsavakat (rozmaringsav) (ALIZADEH *et al.*, 2010). A taxonra jellemző illóolaj-tartalom széles határok között mozoghat, HADIAN *et al.* (2010) szerint 0,5-3% között halmozódik fel, miközben HÉJJA *et al.* (2002) akár 0,45-4,64 % közötti illóolaj-tartalom értékekről számol be, amely nemzetközi viszonylatban kimagaslóan magasnak számít. Illóolajának főkomponensei a  $\gamma$ -terpinén, a *p*-cimol és a karvakrol. A karvakrol-tartalom 65% fölé növelése és a fölött tartása kifejezett nemesítési és termesztési cél.

Az egyéves borsfüvet meleg és fénykedvelő növényként írja le a szakirodalom, amely megfelelő termesztéstechnológia esetén 1-2 t/ha virágzatot képes produkálni hozzávetőleg 2% illóolaj-tartalommal. Felhasználását tekintve fűszernövényként fontos eleme a gasztronómiának, úgy, mint a francia "bouquet garni" alkotója (CHARLES 2012). Emellett illóolaja és annak főkomponense a karvakrol biológiai aktivitása széleskörű, amelyet a gyógyászat, az aroma- és illatszeripar hasznosít, továbbá jó antioxidáns és antimikrobiális tulajdonsága miatt élelmiszer-adalékanyagként történő felhasználása is kutatott (HASSANZADEH 2016). A faj antioxidáns képessége számottevő, amely leginkább a felhalmozódó fenolsavaknak (rozmaringsav, kávésav, klorogénsav) köszönhető (PLÁNDER *et al.* 2012).

## 4. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 4.1. *In vitro* allelopátia kutatás

#### 4.1.1. Kísérleti körülmények és felhasznált növényi anyagok

Az allelopátias csírázási kísérleteket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Fenntartható Kertészeti Intézet, Gyógy- és Aromanövények Tanszékének laboratóriumában végeztük. A kísérleti növényanyagként felhasznált leveleket a Soroksári Kísérleti Üzem és Tangazdaság gyógynövény ágazatának kísérleti területéről gyűjtöttük tíz különböző, harminc éves közönséges dió (*Juglans regia* L.) egyedről, illetve tíz különböző, nyolc-tíz éves rezgő nyár egyedről (*Populus tremula* L.). A leveleket mindkét fajról 2018 augusztusában gyűjtöttük, mert STRUGSTAD és DESPOTOVSKI (2012) megfigyelései szerint a dió levelek augusztusban érik el maximális juglon koncentrációjukat. A zöld leveleket a fák elérhető magasságban lévő ágairól gyűjtöttük, árnyékban szárítottuk, majd beszáradást követően kalapácsos darálógéppel porrá őröltük, végül légmentesen zárt műanyag zsákban, hűtőszekrényben tároltuk felhasználásig.

A juglon kezelések koncentrációját az alapján választottuk meg, hogy az irodalmi adatok szerint a juglon koncentráció különböző dióültetvények talajaiban  $10^{-4}$  M -  $10^{-6}$  M koncentráció között változik, s ettől egy nagyságrenddel koncentráltabb kezelést is érdemes végezni az eddigi allelopátias kísérletek tanulságai szerint (JOSE és GILLESPIE 1998; THEVATHASAN *et al.* 1998; TERZI 2008). Mindezek alapján a kezelések a következők voltak: *Populus tremula* L. levelének vizes kivonata; *Juglans regia* L. levelének vizes kivonata,  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon (97% tisztaságú 5-hidroxi-1,4-naftokinon, Sigma-Aldrich) oldat,  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldat, valamint desztillált víz, mint kontroll. Mindkét fafaj levél-kivonatát KOCACALISKAN és TERZI (2001) és ERCISLI *et al.* (2005) módszerein alapulva készítettük, eszerint 30 g porrá darált szárított levelet hozzáadtunk 350 ml desztillált vízhez, a keveréket az oldódás elősegítése érdekében ultrahangos fürdőbe helyeztük 2 órára, majd 10-12  $\mu$  szemcseátmérővel rendelkező szűrőpapíron szűrtük, végül a keletkező oldatot 300 ml-ig jelre töltöttük desztillált vízzel. A  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat elkészítésekor 53 mg juglonhoz 300 ml desztillált vizet-, a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldat elkészítésekor 5,3 mg juglonhoz 300 ml desztillált vizet adtunk. Kezelésként 10 ml  $10^{-3}$  M és  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldatot juttattunk ki, amelyek juglontartalma 1,76 mg és 176  $\mu$ g juglon volt. A kezdeti keveréket Erlenmeyer lombikba helyeztük, ultrahangos vízfürdővel kezeltük 30 percen keresztül, majd 24 órán keresztül kevertettük.

#### 4.1.2. Kísérleti fajok

Kísérletünkben felmértük 10 mérsékelt égövön termesztett gyógy- és aromanövényfaj magjainak csírázását és a csíranövények növekedését az előzőekben ismertett allelokemikáliákkal történő kezelés hatására (2. Táblázat). Minden szaporítanyag kereskedelmi forgalomból származott, kivéve a len és a mák magokat, amelyek a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Gyógy- és Aromanövények Tanszék génbanki gyűjteményéből származtak, valamint a kendermagokat, amelyeket a Tetragenom Kft.-től kaptam.

**2. táblázat:** a laboratóriumi allelopátia kutatásban felhasznált fajok szaporítóanyagainak származása

Tudományos név	Köznapi név	Származás
<i>Althaea officinalis</i> L.	Orvosi ziliz	Jelitto Staudensamen GmbH
<i>Anethum graveolens</i> L.	Kerti kapor	Hermes ÁFÉSZ
<i>Angelica archangelica</i> L.	Orvosi angyalgyökér	Jelitto Staudensamen GmbH
<i>Cannabis sativa</i> L.	Kender	Tetragenom Kft
<i>Carum carvi</i> L.	Konyhakömény	Hermes ÁFÉSZ
<i>Centaurium erythraea</i> Rafn.	Kis ezerjófű	Jelitto Staudensamen GmbH
<i>Dracocephalum moldavica</i> L.	Moldvai sárkányfű	Jelitto Staudensamen GmbH
<i>Levisticum officinale</i> Koch.	Lestyán	Jelitto Staudensamen GmbH
<i>Linum usitatissimum</i> L.	Olajlen	MATE Gyógy- és Aromanövények Tanszék, Génbank
<i>Papaver somniferum</i> L.	Mák	MATE Gyógy- és Aromanövények Tanszék, Génbank
<i>Satureja hortensis</i> L.	Borsfű	Hermes ÁFÉSZ
<i>Sinapis alba</i> L.	Fehér mustár	Kertimag Romania S.R.L

**4.1.3. Allelokemikáliák meghatározása**

A juglon *Juglandis folium* mintákban történő jelenlétének validálására a VII. Magyar Gyógyszerkönyvben (Ph. Hg. VII. 1986) meghatározott TLC módszert alkalmaztuk, amely kimutatta a mintákban jelenlévő juglont. A *Juglandis folium* juglon-tartalma az irodalmi adatok értelmében átlagosan 5,42 - 22,82 mg/100 g között mozog. A nyárlevelek összes polifenol-tartalmának meghatározására SINGLETON és ROSSI (1965) módszerének módosított változatát (SZABÓ *et al.* 2016) alkalmaztuk, amely szerint a nyárlevelek összes polifenol-tartalmának eredménye  $356,22 \pm 6,65$  mg GAE/g/sz.a., mely polifenolos anyagok allelopatikus hatása valószínűsíthető (POPA *et al.* 2008).

**4.1.4. A csírázási kísérletek módszertana**

A csírázási kísérletet a Magyar Szabványügyi Testület által kiadott Vetőmag Vizsgálati módszerek című dokumentumban (MSZ 6354–3:2008) előírtaknak megfelelően állítottuk be és végeztük el. A kísérletek beállításakor teljesen véletlenszerű elrendezést alkalmaztunk négy kezeléssel és egy kontroll csoporttal, s mindegyik kezelést három biológiai ismétlésben végeztük el. Minden ismétlést külön Petri-csészében (9 cm átmérő), két réteg szűrőpapíron helyeztünk el, amelyek mindegyike 50 magot tartalmazott. Minden kezelés esetén 10 ml kivonatot/oldatot/desztillált vizet juttatunk a Petri-csészébe, kivéve a *Centaurium erythraea* kezelése esetén, ahol a kis magméret miatt csupán 4 ml anyaggal végeztük a kezeléseket. A Petri-csészéket klímakamrába (Sanyo MLR 351 H) helyeztük, amelynek beállítása a következő volt: 10 óra és 23 °C a fényszakaszban, 14 óra és 20 °C a sötét szakaszban. A magokat akkor tekintettük kicsírázottnak, amennyiben minimum 2 mm gyököcskét és rügyecskét növesztettek. A magvak csírázását két alkalommal ellenőriztük (MSZ 6354–3:2008) és a kicsírázott és egészséges magokat



ennek megfelelően regisztráltuk, egyszer a kísérlet folyamatában, másodszor pedig a kísérlet végén (3. táblázat)

**3. táblázat:** ellenőrzési napok - a kísérlet kezdetétől eltelt napok száma (MSZ 6354–3:2008)

Faj	Az első ellenőrzés napja	A második ellenőrzés napja
<i>Althea officinalis</i> L.	6	14
<i>Anethum graveolens</i> L.	7	21
<i>Angelica archangelica</i> L.	10	21
<i>Cannabis sativa</i> L.	3	14
<i>Carum carvi</i> L.	7	13
<i>Centaureum erythraea</i> Rafn.	6	21
<i>Dracocephalum moldavica</i> L.	10	14
<i>Levisticum officinale</i> Koch.	10	16
<i>Linum usitatissimum</i> L.	3	7
<i>Papaver somniferum</i> L.	5	10
<i>Satureja hortensis</i> L.	6	13
<i>Sinapis alba</i> L.	3	14

A csíranövények frisstömegének mérését a második ellenőrzés napján - a kísérlet végén - végeztük, ekkor 10 db. átlagos csíranövényt választottunk ki véletlenszerűen minden ismétlésből és minden kezeléssel, majd a növények tömegét analitikai mérlegen (Kern, ALJ 220-4NM) mértük. Amennyiben kevesebb, mint tíz mag csírázott, az összes csírázott mag átlagát vettük, és a továbbiakban ezt az értéket használtuk. A csírázási arányt (%) a következő képlet alapján számoltuk: csírázási arány (%) = (csírázott magok száma/összes mag száma) x 100. A csírázási arány meghatározása a második ellenőrzés napján kapott eredmények alapján történt. A csírázási arány a szabvány szerint ép, normálisan kifejlett csíranövények aránya az első ellenőrzési napon.

#### 4.1.5. Statisztikai elemzés

A különböző kezelések csírázási adatai közötti különbségek statisztikai értékelésére ismételt mérés ANOVA modellt használtunk. Azon kezeléseket kizártuk az elemzésből, amikor három ismétlésből legalább kettőben nem észleltünk csírázást, vagy amikor egyik ismétlésben sem észleltünk csírázást, és a másik két ismétlésben csak egy mag csírázott. Azon fajok esetén, ahol a kezelés és az idő közötti kölcsönhatás szignifikáns volt, az adatokat grafikusán is megjelenítettük. A kísérletet feltérképező céllal és beállításokkal valósítottuk meg, ezért egyszempontos varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk minden fajra mindkét mintavételi időpontban. A modellek hibatagjainak normalitását azok ferdeségének és csúcosságának alapján fogadtuk el. Szignifikáns eredmény esetén a post hoc elemzést Tukey HSD vagy Games-Howell teszttel végeztük a szóráshomogenitás feltétel teljesülésének, illetve sérülésének függvényében, amelyet Levene's módszerrel teszteltünk. Mindemellett értékeltük az egy csíranövény átlagos súlyának változását is a kezelés hatására, amelyre ugyancsak egyszempontos varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztunk a csíranövények ismétléseinek tömegadatai alapján. A mák és a kis ezerjófű csíranövényeknek nem volt mérhető a tömege. Az eredményeket akkor tekintettük szignifikánsnak, ha  $p < 0,05$  volt. Az összes statisztikai elemzést az IBM SPSS (v25) szoftver segítségével végeztük.

## 4.2. *In vivo* árnyékhatás kutatás

### 4.2.1. Felhasznált növényi anyagok

A hároméves szabadföldi kísérletünkben kilenc gyógynövényfaj viselkedését vizsgáltunk 30% és esetenként 50% árnyék kezelés hatására – amely 30% és 50% fénycsökkenésként értendő (4. táblázat). A szaporítóanyag tételek a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Gyógy- és Aromanövények Tanszékének génbankjából, valamint vetőmagkereskedő vállalatoktól származtak (4. táblázat). A gyógynövényfajokat úgy válogattuk meg, hogy különböző drogtípust és különböző hatóanyagosztályba tartozó speciális anyagcsereterméket adó, különböző életforma típusú és eltérő jellemző üzemmérettel és termesztéstechnológiai háttérrel rendelkező fajok viselkedését egyaránt, rendszeresen fel tudjuk mérni.

### 4. táblázat: a szabadföldi árnyékhatás kutatásban felhasznált fajok szaporítóanyagainak származása és a fajtulajdonságok rövid leírása

Tudományos név	Köznapi név	Fajta	Származás
<i>Achillea collina</i> Becker	Mezei cickafark	‘Azulenka’ A Magyar Nemzeti Fajtajegyzékben 376637 kódszámon, fakultatív módon elismert gyógy- és fűszernövényfajta. Legfőbb termesztési tulajdonságai: kései virágzás; elágazó hajtásrendszer; magas növényállomány; nagy hozam; magas illóolaj- ( $0,29 \pm 0,051$ ml/100 g sz.a.) és proazulén ( $0,173 \pm 0,052$ % sz.a.) tartalom	MATE Gyógy- és Aromanövények Tanszék, Génbank
<i>Calendula officinalis</i> L.	Kerti körömvirág	köztermesztésű, kereskedelmi forgalomból származó tétel	Rédei Kertimag Zrt.
<i>Cannabis sativa</i> L.	Kender	‘KC Dóra’ Kettős hasznosítású kenderfajta nagy kóro- és magterméssel	Tetragenom Kft.
<i>Carum carvi</i> L.	Konyhakömény	köztermesztésű, kereskedelmi forgalomból származó tétel	Hermes ÁFÉSZ
<i>Dracocephalum moldavica</i> L.	Moldvai sárkányfű	köztermesztésű, kereskedelmi forgalomból származó tétel	Jelitto Staudensamen GmbH
<i>Linum usitatissimum</i> L.		köztermesztésű tétel	MATE Gyógy- és Aromanövények Tanszék, Génbank
<i>Melissa officinalis</i> L.	Citromfű	‘Lemona’ Virágzaskori növénymagasság: 40 cm. Fitokémiai tulajdonságok: illóolaj-tartalom: $0,298 \pm 0,02$ mL/100 g sz.a.; rozmaringsav-tartalom: $2,43 \pm 0,07$ % sz.a. (SZABÓ <i>et al.</i> 2016)	Jelitto Staudensamen GmbH

<i>Ocimum basilicum</i> L.	Kerti bazsalikom	köztermesztésű, kereskedelmi forgalomból származó tétel	Hermes ÁFÉSZ
<i>Satureja hortensis</i> L.	Borsfű	köztermesztésű, kereskedelmi forgalomból származó tétel	Rédei Kertimag Zrt.

#### 4.2.2. A kísérleti terület jellemzése és az alkalmazott agrotechnológia

Szabadföldi kísérleteinket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egylet Kísérleti Üzem és Tangazdaság, Gyógynövénytermesztési ágazatában (47°24'09.5"N 19°08'60.0"E) végeztük a 2018. év márciusától a 2020. év augusztusáig. A helyi éghajlat általánosan a négy váltakozó évszak alatt végbemenő jelentős éves hőmérsékleti ingadozással és az egyre inkább rapszodikus csapadékeloszlással jellemezhető. A kísérleti helyszín agroklimatikus jellemzőit az 5. táblázat tartalmazza.

#### 5. táblázat: a kísérleti terület agrometeorológiai adatai a 2018. és 2020. évek között

	Talajhőmérséklet [°C]			Léghőmérséklet [°C]			Csapadékmennyiség [mm/nap; összes mm/hónap]			Relatív páratartalom [%]		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Április	13,45	12,61	10,83	15,38	12,70	10,75	0,86 25,8	0,87 26,0	0,61 18,2	66,82	61,25	53,34
Május	19,99	14,27	14,01	19,07	13,66	13,91	2,30 71,2	7,36 228,4	0,66 14,0	68,38	79,93	65,31
Június	21,40	22,03	18,33	20,81	22,69	20,08	3,24 97,20	2,20 66,0	3,31 96,0	74,11	73,19	77,39
Július	21,96	21,66	20,10	21,78	21,10	21,11	2,41 74,6	3,54 109,8	2,17 67,4	71,28	69,30	73,62
Augusztus	23,57	21,67	21,15	22,59	22,14	22,20	1,30 35,0	1,08 32,8	1,94 60,0	72,57	74,07	73,00

Forrás: MATE Növényvédelmi Intézet, Rovartani Tanszék, METOSZ készülék

A terület talaja gyengén humuszos homok (humusztartalom 1,35-1,79%). Arany-féle kötöttségi száma 27-29. A humuszos réteg vastagsága 30-40 cm, a termőréteg átlagosan 40 cm. A talaj enyhén lúgos kémhatású, mésztartalma 0,6-0,9% közötti, pH értéke 7,1-7,9 között van. Tápanyag-ellátottsága gyenge. A kísérleti parcellákat talajvizsgálati adatok alapján homogén talajú területen állítottuk be. A talaj makro- és mikroelem összetétele a következő: NO<sub>3</sub>-N: 6,2 ± 0,5 mg/kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 365 ± 112 mg/kg; K<sub>2</sub>O: 50,5 ± 9,7 mg/kg; Mg: 33,7 ± 4,8 mg/kg; Fe: 40,4 ± 3,2 mg/kg; Zn: 8,12 ± 0,32 mg/kg; Cu: 3,4 ± 0,26 mg/kg.

Minden kísérleti gyógynövényfaj agrotechnikai műveleteit BERNÁTH (2013) leírása alapján végeztük, kivéve az olajlenét, amelyet RADICS (2012) agrotechnikai leírása alapján-, valamint a kenderét, amelyet a magkender agrotechnikai elveinek ZUBAY *et al.* (2020) által módosított verziójának megfelelően. Az ipari kender növényeket „a kábítószer előállítására alkalmas növények termesztésének, forgalmazásának és felhasználásának rendjéről” szóló 162/2003. (X. 16.) Korm. rendelet szabályozási feltételeinek megfelelően termesztettük ki. Minden faj szaporítása magról történt akár palántanevelés akár helyreállítás volt a további agrotechnológia (6. táblázat).

## 6. táblázat: a szaporítás technológiája és ideje, valamint a betakarítás fenofázisa

Faj	Szaporítási technológia	Térállás	Telepítés ideje			Betakarítási fenofázis	Betakarított növényi rész
			2018	2019	2020		
<i>Achillea collina</i> Becker	palántázás	60 × 30 cm		május	2. éves állomány	teljes virágzás	virágzati horizont (a hajtás felső 30 cm része)
<i>Calendula officinalis</i> L.	helyrevetés, egyelés	50 cm sortávolság	március	teljes virágzás (rendszeresen 3-4 naponként)	virágzat		
<i>Cannabis sativa</i> L.	helyrevetés	70 cm sortávolság		június		termésképzés (magok teljes érése)	kóro, generatív hajtás
<i>Carum carvi</i> L.	helyrevetés	24 cm sortávolság	április	április	–	termésképzés (magok teljes érése; 3-4 naponta)	érett termések
<i>Dracocephalum moldavica</i> L.	palántázás	50 × 40 cm	–	május	május	teljes virágzás	virágzó hajtások (15 cm tarló)
<i>Linum usitatissimum</i> L.	helyrevetés	12 cm sortávolság		március		termésképzés (magok teljes érése)	érett termések
<i>Melissa officinalis</i> L.	palántázás	60 × 30 cm	május	2. éves állomány	3. éves állomány	első bimbó stádiumú virágok megjelenése	hajtások (10 cm tarló)
<i>Ocimum basilicum</i> L.	palántázás	50 × 30 cm	május	–	május	teljes virágzás	virágzó hajtás (8 cm tarló)
<i>Satureja hortensis</i> L.	palántázás	40 × 30 cm	május	május	május	teljes virágzás	virágzó hajtás (6 cm tarló)

A palántákat a Kísérleti Üzem és Tangazdaság üvegházában neveltük tőzeg ültetőközeg alkalmazásával szaporítótálcákban, majd az első lomblevelek megjelenését követően tűzdeltek, végül akklimatizációt követően kiültetésre kerültek a kísérleti parcellákra. A tápanyagutánpótlást Wuxal Super (4 ml/ 4 l öntözővíz/ m<sup>2</sup>) komplex lombtrágya tápoldatként történő kijuttatásával oldottuk meg minden faj esetén az első virágok megjelenése előtt. A növényállományok a természetes csapadékellátástól függően mesterséges vízutánpótlásban (a nyári száraz időszakban kétnaponta, kezelésként azonos öntözővíz mennyiséget kijuttatva, a felső talajréteg teljes átnedvesítéséig, esőztető öntözéssel) részesültek a tenyészidőszak során. A gyomszabályozás minden faj esetén mechanikai úton, kézi kapálással történt. Minden növény betakarítását kézzel végeztük minden faj és minden kezelés esetén a hatóanyag-akkumuláció szempontjából optimális fenofázisban.

### 4.2.3. Árnyékolás és kísérleti beállítás

Mesterséges árnyékoló rendszert hoztunk létre a valós agrárerdészeti rendszerekben a fák által vetett árnyék szimulálása érdekében. Azt a kutatómódszertani alapelvet követve döntöttünk így, hogy mindenképp önmagában álló jelenségként akartuk vizsgálni az árnyékot, elválasztva azt egy valós agrárerdészeti rendszerben tapasztalható egyéb potenciális fajok közötti kölcsönhatástól (allelópátia, vízért és tápanyagokért folytatott versengés). Ekként válik értelmezhetővé a kutatás egyik fő kérdésfelvetése, hogy az árnyék okoz-e változást egy adott kísérleti faj viselkedésében, illetve, hogy mely fajok tolerálják az árnyékot.

A kezelések kontroll és árnyékolt parcellákból álltak. Az árnyékot egy- és kétrétegű Raschel háló (LC Packaging TPI Kft., 35 g/m<sup>2</sup> anyagvastagság) parcellák fölötti támasztékra való rögzítésével (3 m magasságban, az oldalfalak teljes felületét betérítve) biztosítottuk. A 35 g/m<sup>2</sup> anyagvastagságú Raschel háló a gyártó termékspecifikációja alapján 30% fénycsökkenést biztosít. A kezelt és a kontroll parcellák mikroklimatikus adatait, így a Raschel hálók által biztosított fénycsökkenést is a KIBU Innováció Nonprofit Kft.-val kooperációs együttműködésben kísérleti üzembe helyezett NBloT szenzorkészlet segítségével mértük fel a 2020. év június és július havában 3472 db. napkelte és napnyugta közötti mérés alapján (7. táblázat). Ezen értékek alapján neveztük meg a kísérleti kezeléseket A30 (30% fényelvonás egész nap) és A50 (50% fényelvonás egész nap) kezelésekként.

**7. táblázat:** az egyrétegű kezelt (A30), a kétrétegű kezelt (A50) és a kontroll (K) parcellák mikroklimatikus agrometeorológiai adatainak átlag és szórás értékei a 2020. 06. 01. és 2020. 07. 30. közötti időszakban napkeltétől napnyugtáig (n=3472).

	Páratartalom (%)	Hőmérséklet (°C)	Megvilágítottság		UV-index
			abszolút (lux)	relatív átlag (%)	
<b>A30</b>	70,21±23,74	20,23±6,59	39471±47592	69	0,65
<b>A50</b>	73,82±22,95	19,71±6,13	27673±31128	49	0,61
<b>Kontroll</b>	68,64±23,91	21,37±6,78	56844±68509	100	1,02

Egyrétegű A30 kezelést minden évben alkalmaztunk, kétrétegű A50 kezelést csak a 2019. évben, négy faj esetén (konyhakömény, moldvai sárkányfű, kerti körömvirág, borsfű) annak érdekében, hogy fel tudjuk mérni ezen fajok reakcióját a jelentősebb árnyékhatásra. A kísérleti parcellák területe 10 m<sup>2</sup> volt fajonként és kezelésenként. Minden parcellán négy megfigyelési egységet jelöltünk meg, amelyeket négy biológiai ismétlésként értelmeztünk mind a mintavételezéskor mind pedig a statisztikai adatelemzéskor.

#### 4.2.4. Morfológiai paraméterek vizsgálata és hozam meghatározás

A kísérlet megvalósításakor mértük a növények magasságát (cm), szélességét (cm), valamint a betakarított zöld növényi részek tömegét (g). A morfológiai paraméterek mérését kezelésenként 10 ismétlésben, azaz 10 növényegyeden (a kender esetén 24) végeztük közvetlenül a betakarítás előtt. A növénymagasságot a leghosszabb hajtás hosszaként mértük a gyökérszaktól a hajtás végéig. A növények szélességét a kerti körömvirág, a moldvai sárkányfű, a kerti bazsalikom és a borsfű esetén a hajtások átlagos természetes vízszintes kiterjedéseként - átmérő - mértük, míg a mezei cickafark, a konyhakömény és a citromfű esetében egy növényesáv szélességét mértük. A mintavétel során egészségesen fejlett növényeket választottunk véletlenszerűen, a szegélyhatás elkerülését szem előtt tartva mind a négy megfigyelési egységből. A megfigyelési egységen - biológiai ismétlés - belüli növényegyedeket a friss- és drogtömeg meghatározásakor együttes tömegmintaként kezeltük.

A mezei cickafark, kerti körömvirág, konyhakömény és citromfű növények esetén kezelésként és biológiai ismétlésként 1 m<sup>2</sup> területről betakarított növényanyagot tekintettünk egy mintavételi egységnek, így összesen 4 x 1 m<sup>2</sup> területről mintáztuk ezen növényeket. Az olajlen esetén kezelésként és biológiai ismétlésként 1 folyóméter területről (1 sor olajlen növényről) vettünk mintát. A moldvai sárkányfű, kerti bazsalikom és borsfű növények esetén 4 növényt-, a kender esetén 6 növényt mintáztunk ismétlésként. Az adatok értékelésekor a moldvai sárkányfű, kerti bazsalikom és borsfű növények esetén a mintázott mennyiségeket átlagoltuk, hogy megkapjuk a fajlagos (g/tő) adatokat. A kender esetén a mintavételezéskor a növényállományt szemléztük, kiválasztottuk az állományt leginkább reprezentáló 6 növényegyedet, majd az ezekből származó adatokat felszoroztuk a négyzetméterenkénti átlagos növényszám (20 db.) és a mintázott növényegyedek számának (6 db.) hányadosával (3,3), hogy megkapjuk a fajlagos (g/m<sup>2</sup>) eredményeket. A növényeket minden esetben az optimális fenológiai stádiumban takarítottuk be, ennek megfelelően eltérések voltak az árnyékolt és a kontroll parcellák betakarítási idejében. Megfigyeléseink szerint az árnyékolt parcellákon átlagosan 7 nappal később virágzott a mezei cickafark és a kerti körömvirág és érlelt magot a kender, 5 nappal érlelt később termést a konyhakömény és az olajlen, illetve hozta meg első virágait a citromfű, valamint 2 nappal virágzott később a kerti bazsalikom. A moldvai sárkányfű és a borsfű esetén nem tapasztaltunk eltérést a virágzásban. A betakarítási jellemzőket a 6. táblázat foglalja össze. A zöld növényi anyagot közvetlenül a betakarítás után elvittük a parcellákról és digitális mérlegen mértük a tömegüket. A növényi részeket szárítókereten, szobahőmérsékleten, fénytől védve tömegállandóságig szárítottuk, és a száraz tömeget regisztráltuk.

#### 4.2.5. Fitokémiai mérések

##### 4.2.5.1. Mintaelőkészítés

A minták szárítását és a száraztömeg (g) mérésait követően a kezelésként négy megfigyelési egység mintáit összekevertük és egalizált, homogén tömegmintát készítettünk belőlük. A *Dracocephali herba*, *Basilici herba* és a *Saturejæ herba* drogok esetén a virágokat és a leveleket fosztottuk a szárról és a vízgőzdesztillációt csak a virágok és levelek felhasználásával végeztük. A *Melissæ herba*-t ugyancsak fosztottuk és kizárólag a *Melissæ foliumot* használtuk a hatóanyag-mérésekhez. A mezei cickafark esetén a teljes betakarított virágzati horizontot, azaz a virágzó hajtás (*Millefolii herba*) felső 30 cm részét használtuk fel a továbbiakban. Az olajlen növényekről a magok (*Lini semen*) és a konyhakömény növényekről az ikerkaszat termések (*Carvi fructus*) kicséplése és tisztítása kézi úton, szitasorok használatával történt. A kender növények esetén a generatív hajtásrész elválasztása a szártól, a cséplés és a magtisztítás egy az OGYÉI engedélyével rendelkező kendergazda részvételével történt. A cséplést kézi úton, a magtisztítást Petkus Mini 100 típusú magtisztító gépen végeztük. A kitermelt magok közül nem válogattuk ki a nem tökéletesen érett magokat, mert azzal a kezelés hatását befolyásoltuk volna. A kerti körömvirág szárított virágai (*Calendulae flos*) esetén a száraz nyelves virágokat leválasztottuk a virágzati vacokról, így kaptuk meg a drogot (*Calendulae flos sine calycibus*), amelyet a további hatóanyag-mérésekre használtunk. A vízgőzdesztillációra előkészített virágdrogokat aprítottuk, a termésdrogokat és a nem illó hatóanyagok (flavonoid, karotinoid, rozmaringsav, zsírosolaj) extrakcióra előkészített drog mintákat pedig porrá őröltük. Minden növényi mintát homogenizáltunk és három egalizált tömegmintát vettünk a hatóanyagmérésekhez, amelyeket ismétlésként kezeltünk.

#### 4.2.5.2. Az illóolaj-tartalom meghatározása

Az illóolaj-tartalom meghatározása Clevenger típusú apparátuson végeztük vízgőzdesztillációval a VII. Magyar Gyógyszerkönyv előiratai alapján (PH. HG. VII. 1986). Minden illóolajos drogból ismétlésenként 20 g-ot desztilláltunk 2 órán keresztül, 500 ml vízben, kivéve a *Melissae folium*-ot, amelyből 15 g növényi anyag került egy lombikba. Az illóolaj-tartalom meghatározása mindhárom kísérleti évben 3 ismétlésben történt kezelésként. Az illóolaj-tartalmat szárazanyagra vonatkoztatva g/100 g-ban adtuk meg.

#### 4.2.5.3. Összflavonoid-tartalom meghatározás

Az összflavonoid-tartalmat (TFC) a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv (PH. HG. VIII. 2004) *Calendulae flos* cikkelyében leírt módszer szerint határoztuk meg. Röviden, 0,8 g szárított, porított növényi anyagot (*Calendulae flos sine calycibus*) extraháltunk 1 ml hexametilén-tetramin, 7 ml sósav és 20 ml acetone oldószerekkel, 30 percen keresztül, majd az kivonatot szűrtük. Rögtön ezt követően az extrakciót megismételtük kétszer 20 ml acetonnal, majd vízzel és etil-acetáttal hígítottuk. Az oldatok elkészítése után 30 perc inkubációs idő elteltével Thermo Evolution 201 típusú spektrofotométeren 425 nm-en mértük a vizsgálati oldat abszorbanciáját a kompenzációs oldattal szemben. Az összflavonoid-tartalmat szárazanyagra vonatkoztatott hiperoxid %-ban adtuk meg.

#### 4.2.5.4. Rozmaringsav-tartalom meghatározás

A rozmaringsav-tartalom meghatározása a Szabó et al. (2016) által leírtak és a PH. EUR. 10. *Melissae folium* cikkelye alapján történt, a rozmaringsav-tartalmat %-ban adtuk meg.

#### 4.2.5.5. Proazulén-tartalom meghatározás

A *Millefolii herba* kék színű illóolajának proazulén-tartalom meghatározása a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv (PH. HG. VIII. 2004) vonatkozó cikkelye alapján történt. Eszerint az illóolajból készített oldat abszorbanciáját spektrofotométerrel mértük 608 nm-en, majd a kamazulénben kifejezett prazulén-tartalmat %-ban adtuk meg.

#### 4.2.5.6. Karotinoid-tartalom meghatározás

A *Calendulae flos sine calycibus* drog karotinoid-tartalom meghatározásához a növényi anyagot kétszer metanol-, majd egyszer dietil-éter segítségével extraháltuk. A metanolos kivonatokot és az éteres kivonatot egyesítettük, elválasztótölcsérbe helyeztük és dietil-éterrel hígítottuk. Az éteres fázist víz segítségével metanoltól mentesre mostuk, majd vízmentes nátrium-szulfát fölött szárítottuk. Az így kapott oldatot 30 % kálium-hidroxid - metanolos oldattal szobahőmérsékleten egy éjszakán át (18 óra) elszappanosítottuk. Ezt követően az éteres oldatot lúgoktól mentesre mostuk, vákuumban szárazra pároltuk és benzolban feloldottuk. Ezt az oldatot nitrogén alatt -20 °C-on sötétben tároltuk a spektrofotometriás mérésig. A teljes karotinoid-tartalmat spektrofotométer (Jasco V-530) használatával 450 nm-en ( $E_{1\%1cm} = 2300$ ) becsültük és % arányban adtuk meg (SCHIEDT és LIAAEN-JENSEN 1995).

#### 4.2.5.7. Zsírosolaj-tartalom meghatározás

A megszáritott lenmagból (*Lini semen*) és kendermagból a zsírosolaj-tartalom mennyiségi meghatározására soxhlet extrakcióval került sor. Az extrakció mintaelőkészítésekor a len és a kendermagokat (Hauser G-740 típusú) kávédarálóval daráltuk meg, 30 másodperc darálási idővel fajonként. Az így kapott darált tömegmintából kimértünk 3 x 5 g-ot az extrakció laboratóriumi

ismétléseiként. A darált magmintákhoz n-hexánt adtunk (10 ml/g mag arányban), és egy módosított soxhlet készülékkel elvégeztük a kivonást. A lombikot vízfürdőbe helyeztük, majd 70 °C hőmérsékleten, 30 percig melegítettük, folyamatos kondenzáció alkalmazása mellett (KOSTIC *et al.* 2014). Az extrakciós idő lejártát követően az extraktumot vákuumlepárlással (Heidolph Laborota 4000 géptípus; 70 rpm sebesség, 50 °C hőmérséklet) tömegállandóságig választottuk el az oldószertől. A zsírsolaj-tartalmakat mindkét faj esetén g/100 g száraz mag vonatkozásában határoztuk meg.

#### 4.2.5.8. Zsírsavösszetétel meghatározása

A szobahőmérsékletű mintákból 250 µl-t 25 ml-es mérőlombikban, izooktánnal oldottunk, ultrahangos fürdőben homogenizáltuk, majd izooktánnal jelre töltöttük. A méréshez kivett aliquot részt (200 µl) i-oktánnal 2 ml-re hígítottuk. A természetes olajok, zsírok a glicerinnel zsírsavészterei, amelyek gázkromatográfiásan közvetlenül nem mérhetők. Ezért a zsírból a zsírsavakat szabaddá kell tenni, majd illékony észtereket (metil-észtereket-, FAME) kialakítani. A zsírminták hidrolízisét és észterezését metanolos kálium-hidroxid oldattal való intenzív keveréssel valósítottuk meg (gyors módszer). Az észtereket tartalmazó i-oktános fázisból gázkromatográfiás (GC) vizsgálatra alkalmas mintát kaptunk. Az illékony FAME-t tartalmazó minták egyedi komponenseit gázkromatográfiásan választottuk el, majd Supelco C4-C24 standard FAME elegy segítségével azonosítottuk és mennyiségileg értékeltük. A méréshez a következő rendszert használtuk: készülék (ThermoFinnigan Trace GC); kolonna (Rtx-2330, 0,25mmID, 105m, Const.Flow 0,8 ml/perc N<sub>2</sub>). A hőmérsékleti program 90°C-ról indult, ahol 2 perc elteltével 10°C/perc rátával 160°C-ra emeltük a hőmérsékletet, ahol 1 percig tartottuk, majd 5°C/perc rátával 270°C-ra emeltük a hőmérsékletet, ahol 15 percen keresztül tartottuk. Az injektor split módban volt, a detektor FID (lángionizációs) 300°C-on. A zsírsavak részarányát %-ban adtuk meg.

#### 4.2.5.9. Illóolaj-összetétel meghatározás

Az illóolaj-összetételének- és a komponensek részarányának (területarány%) meghatározására GC-MS módszert használtunk. A gázkromatográf típusa 6890 N volt, amely 5975 Inert mass selective detektorral, (Agilent Technologies, USA), illetve HP-5MS (5% fenilmetil sziloxán, hossz: 30m, d=250µm, filmvastagság: 0,25µm) típusú kolonnával rendelkezett. Az injektor üzemi hőmérséklete 230 °C volt, a detektoré 240 °C. A hőmérsékleti program: 60 – 240 °C között 3 °C/perc rátával emelkedett. Vivőgázként héliumot alkalmaztunk konstans 1 ml/perc áramlási sebességgel. A vizsgálati illóolaj mintákat 0,2 µl mennyiségben 10%-os hexános oldat formájában automata injektor (7683B, Agilent Technologies, USA) segítségével injektáltuk. A GC-MS detektáláshoz 70 eV ionizációs energiát alkalmaztunk. A komponensek azonosítása tömegspektrum alapján, NIST, WILEY és ADAMS (2017) és saját illóolajos könyvtár könyvtárak segítségével, illetve a retenciós idők és retenciós indexek felhasználásával történt.

#### 4.2.5.10. Karotinoid-összetétel meghatározás

A karotinoid-összetétel meghatározásához szükséges HPLC vizsgálat mintaelőkészítéseként a következő extrakciót alkalmaztuk: 1 g *Calendulae flos sine calycibus* növényi anyagot acetonnal, majd dietiléterrel extraháltunk, s az acetonos fázist bepároltuk, éterben oldottuk és egyesítettük az éteres extraktummal. Ezt követően homogén fázisú elszappanosítást végeztünk, majd az oldatot lúgmentesre mostuk vízzel, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> segítségével szárítottuk, bepároltuk, majd felhasználásig benzolban, -20°C hőmérsékleten tároltuk N<sub>2</sub> atmoszféra alatt. Az analitikai eszköz egy Dionex



Ultimate 3000 HPLC rendszer volt, amely Chromeleon 7.2 szoftverrel működött. A HPLC oszlopa Chromeleon 7.2 volt, az alkalmazott eluensek pedig A: MeOH/TBME/H<sub>2</sub>O = 81/15/4 v/v%, B: MeOH/TBME/H<sub>2</sub>O = 6/90/4 v/v%. Az áramlási sebesség 1,00 ml/perc volt, a hőmérséklet 22 °C, a detektálás  $\lambda=450$  nm-en történt. A kromatogramban a csúcsok azonosítása retenciós idejük, spektrumuk (TURCSI *et al.* 2016), valamint autentikus mintával való összekromatografálásuk alapján történt. A karotinoid komponensek részarányát %-ban adtuk meg.

#### 4.2.5.11. Polifenol-összetétel meghatározás

A körömvirágdrog polifenol komponenseinek kvantitatív meghatározását UHPLC-ESI-MS/MS multikomponenses módszerrel végeztük. A mintaelőkészítéskor 0,5 g szilárd mintát mértünk be a drogból. A hatóanyag extrakciót metanol:víz:hangyasav (60:39:1) elegyével végeztük, IKA Ultraturrax nagy fordulatszámú homogenizátorral (legmagasabb, 6-os fokozat, 30 sec). A mintát centrifugáztuk (3000 rpm, 10 perc, 4 °C), majd a felülúszóra mátrixillesztett kalibráció állítottunk fel. A felülúszóból négy pontos kalibrációt készítettünk, a polifenol standardeből készített mix hozzáadásával (0; 1; 1,5 és 2  $\mu$ M koncentrációban). A kész oldatokat injektálás előtt 0,22  $\mu$ m pórusméretű fecskendőszűrőn átszűrtük. A nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiát Agilent Infinity II UHPLC készüléken végeztük, a detektor Ultivo ESI QQQ MS/MS, a kolonna: Phenomenex Kinetex EVO C18 100  $\times$  2.1 mm, 100A, 2.6  $\mu$ m C18 volt. A mobilfázis A 0,1%-os hangyasav oldat (ultratiszta vízben), a Mobilfázis B UHPLC-MS minőségű acetonitril volt. Az Eluens áramlási sebesség 0,5 mL/perc, az injektált mintatérfogat: 10  $\mu$ L, a Kolonna hőmérséklete 30 °C volt. A polifenol standardok a Sigma-Aldrich, Cayman, Extrasyntese, Alfa Aesar, Fluka gyártóktól származtak. A polifenol komponensek koncentrációját mg/100 g minta adtuk meg.

#### 4.2.6. Statisztikai elemzés

A szabadföldi árnyékhatás kutatás statisztikai adatértékelésekor IBM SPSS (v25) szoftvert használtunk. Az árnyékkezelések (A30 és A50 kezelések és Kontroll) hatását vizsgáltuk morfológiai tulajdonságokra (növénymagasság, bokorátmérő/növény szélesség [cm]), friss- és drogtömegre (g/m<sup>2</sup> vagy g/növény) és beltartalmi paraméterekre (illóolaj-tartalom [ml/100 g sz.a.], összes flavonoid-tartalom, összes karotinoid-tartalom, rozmaringsav-tartalom és proazulén-tartalom [%]) a vizsgált 2018., 2019. és 2020. években az *Achillea collina* Becker, *Calendula officinalis* L., *Carum carvi* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Melissa officianlis* L., *Ocimum basilicum* L. és a *Satureja hortensis* L. adataira vonatkozóan, Student-féle páros t-próba használatával. A normalitásvizsgálatot d'Agostino próbával végeztük ( $p > 0,05$ ). Az elsőfajú hiba elkerülése érdekében Bonferroni korrekciót alkalmaztunk. A *Linum usitatissimum* L. és a *Cannabis sativa* L. fajokkal végzett kísérletben a kezelt és kontroll mintáink összehasonlítását kétmintás t-próbával végeztük mindkét növény esetén a magtömegre (g, kender: n=12, len: n=8), a zsírosolaj-tartalomra (g/100 g, kender: n=6, len: n=6), illetve a növénymagasságra (cm, kender: n=48, len: n=21), kender esetén ezen kívül a frisstömegre (g, n=12), a száraztömegre (g, n=12), valamint a CBD biomassza tömegére (g, n=12). A normalitást Shapiro-Wilk-próbával igazoltuk ( $p > 0,05$ ), a szóráshomogenitást F-próbával ellenőriztük 5%-os elsőfajú hiba mellett. Amennyiben a szóráshomogenitás nem teljesült, Welch-féle szabadságifok-korrekciót alkalmaztunk.

Az illóolaj-összetétel és a karotinoid-összetétel változásának vizsgálata esetén két különböző megközelítésű statisztikai módszertant alkalmaztunk:

- Az első megközelítésben azt a tudományos kérdést tettük fel, hogy melyek azok a komponensek, amelyeknek az árnyékban kezelt és a kontroll minták összehasonlításában megfigyelt mennyiségi különbsége (a kromatogram azonosított csúcsainak területaránya alapján) szignifikáns. Ennek megválaszolásához egyszerű, komponensenkénti összehasonlítást használtunk Student-féle páros t-próba és Bonferroni-féle korrekció alkalmazásával.
- A második megközelítésben azt a tudományos kérdést tettük fel, hogy melyek azok a komponensek, amelyeknek a változása a teljes összetétel tekintetében is szignifikánsan *relatív arány* változást mutat. E kérdés megválaszolására *kompozícióanalízist* végeztünk. A *relatív arány* fogalmát a kompozícióanalízis esetén úgy értjük, hogy a teljes összetétel változásának vizsgálatakor az egyetlen releváns információ a komponensek közötti relatív arányok megváltozása. Tehát az adott komponenshez tartozó kontroll és kezelésnél mért értékeket nem csak önmagukban vetettük össze, hanem az összes vizsgált komponens változásának függvényében is értékeltük, amellyel arra kapunk választ, hogy az eltérő összetételű illóolajok/karotinoid kivonatok minőségét, mely komponensek változása befolyásolta szignifikánsan. A kompozícióanalízis olyan relatív információt hordozó többváltozós megfigyelés (AITCHISON 1982; FILZMOSER *et al.* 2018), amelyet a természettudományok számos területén használnak manapság az élelmiszertudományoktól (VARMUZA *et al.* 2002) kezdve a geokémián keresztül (ENGLE és ROWAN 2012) a talajtani (REIMANN *et al.* 2012) és a mikrobiológiáig (RIVERA-PINTO *et al.* 2018).

A kompozícióanalízis statisztikai módszertani háttere bővebb magyarázatot igényel, amelyet az alábbiakban adunk meg:

A kompozíciók olyan pozitív komponensek vektorai, amelyek – azon túl, hogy megfigyelt értékeik önmagukban is fontosak – relatív információt is hordoznak. Ez magában foglalja például azokat az adattípusokat, amelyek a megfigyelt egész részeit rögzített összeggel írják le, amilyen például az illóolaj (vagy az illóolajok egy vizsgált csoportjának) összetétele, mely esetében a komponensek egymáshoz való viszonyát arány formában is kifejezhetjük. Aitchison logaritmusrány-bevezetése (1986) nyitott kaput egy ilyenfajta új megközelítés, az ún. kompozíciós statisztikai elemzések előtt. Ezek a logaritmusrány-transzformációkon standard statisztikai technikák alkalmazhatók. Ehhez először kiindulunk az  $\mathbf{x}$  D-dimenziós összetételből, melynek transzformációja:

$$\mathbf{y} = clr(\mathbf{x}) = (y_1, y_2, \dots, y_D)' = \left( \ln \frac{x_1}{\sqrt[D]{\prod_{k=1}^D x_k}}, \ln \frac{x_2}{\sqrt[D]{\prod_{k=1}^D x_k}}, \dots, \ln \frac{x_D}{\sqrt[D]{\prod_{k=1}^D x_k}} \right)'$$

$y_i$  a következőképpen írható át:

$$y_i = \ln \frac{x_i}{\sqrt[D]{\prod_{k=1}^D x_k}} = \sum_{k=1}^D \ln \frac{\sqrt[D]{x_i}}{\sqrt[D]{x_k}} = \frac{1}{D} \sum_{k=1}^D \ln \frac{x_i}{x_k},$$

azaz  $y_i$  az  $x_i$  komponensnek minden más többi komponenshez viszonyított aránylogaritmusrányának átlagát fejezi ki. Megjegyezzük, hogy a komponensértékekre vonatkozó pozitivitási feltételt elhagyhatjuk, ekkor az adatok speciális előkészítésére van szükség, attól függően, hogy a zérus értékek mért, illetve ún. kerekített (kimutathatóság

alatti), vagy esszenciális (bizonyítottan nem jelenlévő komponens) zérus értékéről beszélünk-e (PAWLOWSKY-GLAHN és BUCCIANTI 2011; TEMPL *et al.* 2016, BOOGART *et al.* 2015, PAWLOWSKY-GLAHN *et al.* 2015).

A kezelt és kontroll *Basilici aetheroleum* (2020), *Dracocephali aetheroleum* (2019, 2020), *Melissae aetheroleum* (2019, 2020), valamint *Calendula officinalis* L. karotinoid kivonat (2019, 2020) minták detektált és azok centrált logaritmusarányegyüttható-transzformációival képzett kompozícióadatainak összehasonlítására a többváltozós ANOVA (MANOVA) elemzést végeztünk 21 komponens figyelembevételével. A hibtagok normalitását Shapiro-Wilk-próbával igazoltuk ( $p > 0,05$ ), a szórás-homogenitást Levene-próbával ellenőriztük ( $p > 0,05$ ). Szignifikáns MANOVA-eredmény esetén egyváltozós ANOVÁ-val teszteltük az egyes komponensenkénti különbségeket. A statisztikai elemzést az R statisztikai szoftverrel végeztük (v4.0.3, R Core Team 2020), a 'compositions', valamint a 'robCompositions' csomagok segítségével (BOOGART *et al.* 2021, TEMPL *et al.* 2011).

### 4.3. Félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet

#### 4.3.1. Kísérleti körülmények és felhasznált növényi anyagok

Az alkalmazott kutatás megvalósítására a Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet kezelésében lévő Bajti Nemesítő Telepen volt lehetőségünk az Intézettel együttműködésben 2019. és 2020. években. Az alkalmazott agrárerdészeti gyógynövénytermesztési kísérletet egy energetikai célú nemesnyár (*Populus x euramericana*) ültetvény területén állítottuk be. A nemesnyár ültetvényben a fák hálózata 3 m x 0,4 m kiterjedésű volt, az ültetvényt 2007 áprilisában telepítették. A termőhely típusa szerint gyertyános-tölgyes klímában fekvő, időszakos vízhatású, mély termőrégű (70-90 cm), agyagos vályog fizikai talajféleségű (KA 45-48) nem karbonátos öntés erdőtalajjal rendelkezik. A talajtani tulajdonságai szerint gyengén savanyú (pH 6,4-6,7) és kis humusztartalmú (0,36-2,42 m/m%).

Kísérleti célunk az volt, hogy félüzemi körülmények között, a Soroksári Kísérleti Üzemétől eltérő klimatikus és talajtani viszonyok, valamint az agrárerdészeti rendszerek minden interspecifikus interakcióját (árnyék, allelopátia, vízért és tápanyagokért folyó versengés) felvonultató környezetben felmérjük három gyógynövényfaj viselkedését, különös tekintettel az illóolaj-akkumuláció változására. A 3 m x 0,4 m kiterjedésű nemesnyár ültetvényben történő kísérleti beállítást a teljes doktori kutatási koncepcióban mintegy negatív kontrollként értelmeztük annak kontextusában, hogy az agrárerdészeti rendszerekre nem jellemző, kifejezetten zárt térállású fák közötti ökológiai viszonyrendszer hatását is fel tudjuk mérni három gyógynövényfaj produkciójára vonatkozóan. A három faj a szurokfű (*Origanum vulgare* L. subs. *vulgare*), citromfű (*Melissa officinalis* L.) és mezei kakukkfű (*Thymus pannonicus* All.) voltak, amelyeket két eltérő kezelésben ültettünk az ültetvény sorközeibe: 2 éve tőre metszett állomány (2ÉTM); aktuális évben tőre metszett állomány (AÉTM); fedetlen kontroll (K). A gyógynövény állomány telepítését mechanikai gyomszabályozás és gruberrel történő talajelőkészítés előzte meg. A kísérletet kezelésenként négy sorközben, mint négy biológiai ismétlésben valósítottuk meg. A kísérleti gyógynövény állományt meglévő állományról hoztuk létre homogén növényanyag kiválasztásával, egységnyi méretű földlabdával és tőátmérővel (40 cm) kiásott növények áttelepítésével.

Minden biológiai ismétlésben (sorköz) három ismétlést (40 cm tőátmérőjű növényállomány) telepítettünk minden fajból szabályosan, fajonként ismétlődő elrendezés szerint, mindösszesen tizenkét ismétlést kezelésenként.

#### 4.3.2. Mintavétel és hozam-meghatározás

Mintavételezéskor a teljes állomány betakarításra került minden faj és minden kezelés esetében. Minden fajt minden kezelés esetén az optimális fenológiai stádiumban takarítottuk be, ennek megfelelően eltérések voltak az árnyékolt és a kontroll parcellák betakarítási idejében. A minták frisstömegét digitális mérlegen mértük, majd a növényeket szárítókereten, szobahőmérsékleten, fénytől védve tömegállandóságig szárítottuk, és a száraz tömeget regisztráltuk.

### 4.3.3. Illóolaj-tartalom meghatározás

Az illóolaj-tartalom meghatározása Clevenger típusú apparátuson végeztük vízgőzdesztillációval a VII. Magyar Gyógyszerkönyv (Ph. Hg. VII. 1986) előirata szerint. Mindhárom növényfaj (*Origanum vulgare* L., *Melissa officinalis* L., *Thymus pannonicus* All.) esetén a drog mintaelőkészítő művelete a morzsolás volt, eszerint a leveleket és a virágzatokat leválasztottuk a szárról a vizsgálat előtt és csak az előbbieket desztilláltuk. Minden illóolajos drogból ismétlésenként 20 g-ot desztilláltunk 2 órán keresztül, 500 ml vízben, kivéve a *Melissae folium*-ot, amelyből 15 g növényi anyag került egy lombikba. Az illóolaj-tartalom meghatározása mindhárom kísérleti évben 3 ismétlésben történt kezelésenként. Az illóolaj-tartalmat szárazanyagra vonatkoztatva g/100 g-ban adtuk meg.

### 4.3.4. Statisztikai elemzés

A kontroll, félárnyék és árnyék hatását a két évben (2019, 2020) külön értékeltük a frisstömegekre és a drogtömegekre egytényezős MANOVA módszerrel, illetve az illóolaj-tartalomra egytényezős ANOVA módszerrel. A hibatagok normalitását Shapiro-Wilk-teszttel igazoltuk ( $p > 0,20$ ), a szóráshomogenitást a Levene-próba segítségével ellenőriztük, amely némely esetben sérült ( $p < 0,05$ ), ezért szignifikáns MANOVA eredmény esetén az egyes változókat (frisstömeg, drogtömeg) robusztus ANOVÁ-val elemeztük. Amennyiben a szóráshomogenitás sérült, szignifikáns ANOVA eredmény esetén Games-Howell-féle post hoc tesztet végeztünk az egyes kezelésszintek páronkénti összehasonlítására, más esetben a Tukey-féle post hoc tesztet alkalmaztuk.

## 5. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE

### 5.1. Az *in vitro* allelopátia kutatás eredményei

#### 5.1.1. *Althaea officinalis* L.

A  $10^{-4}$  koncentrációjú juglon oldat nem bizonyult hatásosnak, miközben a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat drasztikus ( $p < 0,05$ ) allelopátiás hatást gyakorolt mind a csírázási arányra és a csírázási erélyre (8. táblázat). A *Populus* és *Juglans* levélkivonatokkal történő kezelések hatására szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkent a csírázási erély, azonban végül a csírázási arány negatív változásában ez nem nyilvánult meg. A csíranövények tömegét szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentette mindkét levélkivonattal történő kezelés, miközben egyik juglon oldattal való kezelés sem bizonyult szignifikánsnak. Eredményeink alapján az *Althaea officinalis* L.-t javasoljuk további agráreredészeti kutatásokra.

**8. táblázat:** Az *Althaea officinalis* L. magok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	16,00ab $\pm$ 5,30	17,34b $\pm$ 3,06	46,66c $\pm$ 7,02	4,00a $\pm$ 2,00	52,66c $\pm$ 3,06
Csírázási arány (%)	47,34b $\pm$ 15,14	47,34b $\pm$ 1,16	52,00b $\pm$ 11,14	9,34a $\pm$ 5,04	68,66b $\pm$ 13,62
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	9,7a $\pm$ 0,9	10,4ab $\pm$ 0,7	14,4bc $\pm$ 1,3	17,3abc $\pm$ 3,1	15,8c $\pm$ 1,5

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey  $p < 0,05$ ).

#### 5.1.2. *Anethum graveolens* L.

A kerti kapor kaszattermések csírázási erélyét szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentette mindkét levélkivonat-kezelés, azonban mindez végül nem járt a csírázási arány szignifikáns csökkenésével. Miközben a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldat nem befolyásolta szignifikánsan sem a csírázási erélyt, sem a csírázási arányt, addig a  $10^{-3}$  M koncentrációjú kezelés drasztikusan ( $p < 0,05$ ) csökkentette mind a csírázási erélyt, mind pedig a csírázási arányt (9. táblázat). A levélkivonat-kezelések nem befolyásolták a csíranövények tömegét. Egyik levélkivonat-kezelés sem gyakorolt szignifikánsan negatív hatást sem a csírázási arányra, sem pedig a csíranövények növekedésére. A csírázási próbák eredményei alapján a kerti kapor növényt javasoljuk további agráreredészeti kutatások alanyául, kifejezetten nyárfával kombinált agráreredészeti rendszerek esetén. Mindemellett az agráreredészetben tapasztalt talajminőség javulásának egyik fő mechanizmusa, hogy javul a talajmikrobiom aktivitása és diverzitása, amely elősegítheti az allelopátiás hatások enyhítését (BEULE és KARLOVSKY 2021; UDAWATTA *et al.* 2008; YANG-PING *et al.* 2017). CARRUBBA *et al.* (2008) eredményei szerint a kapor édesköménnyel történő köztestermesztése jobb eredményeket produkál a monokultúras termesztésnél. Mindebből következően a kerti kapor termesztése gyógynövénytermesztésre specializált agráreredészeti

rendszerekben az allelopátia-tűrés szempontjából vizsgálva működőképes lehetőségnek tűnik, azonban további hosszútávú, szabadföldi, léptéknövelt kísérletek beállítását javasoljuk.

**9. táblázat:** Az *Anethum graveolens* L. kaszattermések allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	30,66b $\pm$ 12,06	26,66b $\pm$ 4,16	78,66c $\pm$ 1,16	6,66a $\pm$ 3,06	91,34c $\pm$ 7,58
Csírázási arány (%)*	86,66ab $\pm$ 19,74	76,00ab $\pm$ 15,1	99,34b $\pm$ 1,16	12,00a $\pm$ 2,00	100,00b $\pm$ 6,12
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	7,0ab $\pm$ 1,5	6,3ab $\pm$ 1,0	9,4b $\pm$ 1,0	4,3a $\pm$ 3,5	8,5ab $\pm$ 0,5

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk.

### 5.1.3. *Angelica archangelica* L.

Az orvosi angyalgöyökér kaszattermések egyike sem csírázott az első ellenőrzés napjáig, ezért ebben az esetben a csírázási erélyt nem tudtuk felmérni. A csírázási arány vonatkozásában a juglon kezelések nem különböztek szignifikánsak a kontrolltól, azonban a  $10^{-3}$  M koncentrációjú oldat releváns ( $p < 0,05$ ) visszaesést (19,32%) okozott (10. táblázat). Mindkét levélkivonat-kezelés drasztikus ( $p < 0,05$ ) hatást gyakorolt a csírázási arányra és a csíranövények fejlődésére egyaránt. Mindezen eredmények alapján az orvosi angyalgöyökér nem javasoljuk nyárfával és diófával kombinált gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek köztesnövényeként, ugyanakkor a faj természetes elterjedése és ökológiai igényei alapján feltételezzük, hogy jól adaptálható egyéb fásszárú fajokkal történő együtt termesztésre.

**10. táblázat:** Az *Angelica archangelica* L. kaszattermések allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	nem csírázott	nem csírázott	nem csírázott	nem csírázott	nem csírázott
Csírázási arány (%)	17,34a $\pm$ 5,78	22,66a $\pm$ 11,54	52,66b $\pm$ 11,72	41,34ab $\pm$ 10,06	60,66b $\pm$ 10,26
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	18,9a $\pm$ 1,9	19,4a $\pm$ 4,2	23,6ab $\pm$ 1,6	23,9ab $\pm$ 1,8	26,1b $\pm$ 1,0

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey  $p < 0,05$ ).

#### 5.1.4. *Cannabis sativa* L.

A kender kiemelkedően tolerálta az alkalmazott fitokemikáliákat, mert sem a magok csírázására, sem a csíranövények fejlődésére nem hatott szignifikánsan egyik kezelés sem (11. táblázat). Sőt mi több, kifejezetten érdekes eredményként tartjuk számon, hogy mindkét koncentrációjú juglon oldat kezelés szignifikánsnak nem bizonyul, de enyhe, tendenciózus stimuláló hatást fejtett ki a kendermagok csírázási erélyére és csírázási arányára is. A kendert korábbi kutatások agrárerdészeti rendszerbe jól adaptálható növényként írták le (JHA and GUPTA 1991; ZUBAY *et al.* 2020), mindezen eredményeket és a faj gazdasági jelentőségét figyelembe véve a kendert kifejezetten ajánljuk további agrárerdészeti léptéknövelt és alkalmazott kutatásokra.

**11. táblázat:** A *Cannabis sativa* L. magok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	50,00 ns $\pm$ 21,64	63,34 ns $\pm$ 14,04	84,00 ns $\pm$ 8,72	86,00 ns $\pm$ 6,92	69,34 ns $\pm$ 23,00
Csírázási arány (%)	72,66 ns $\pm$ 9,02	85,34 ns $\pm$ 4,16	90,00 ns $\pm$ 6,92	91,34 ns $\pm$ 1,16	82,66 ns $\pm$ 12,06
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	46,1ns $\pm$ 7,9	56,8ns $\pm$ 8,3	52,2ns $\pm$ 4,4	49,5ns $\pm$ 12,4	57,2ns $\pm$ 15,4

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey  $p < 0,05$ ). ns – nem szignifikáns.

#### 5.1.5. *Carum carvi* L.

Alapvetően mind a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat és mind a *Populus* levélkivonat erősebb csírázási erély gátló hatást fejtett ki a konyhakömény kaszattermésekre, mint a *Juglans* levélkivonat, amely ugyancsak szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentett a csírázási erélyen a kontrollhoz képest. (12. táblázat). A csírázási arány vonatkozásában, ugyan a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat és a *Populus* levélkivonat fejtette ki a legerősebb inhibíciós hatást, a *Juglans* levélkivonat – a csírázási erély gátlásához hasonlóan –, ugyancsak szignifikáns ( $p < 0,05$ ) csökkenést eredményezett a kontrollhoz képest. A csíranövények tömegének gyarapodását azonban egyértelműen a levélkivonatok gátolták szignifikánsan ( $p < 0,05$ ). A vizsgált allelokemikáliák csírázásgátló hatása egyértelműen kiviláglik a konyhakömény esetében, azonban érdemes megfigyelni, hogy a juglon oldatos kezelések közül természetben tapasztalható koncentrációban ( $10^{-4}$  M) a juglon nem rontott szignifikánsan a csírázási arányon, valamint, még ha a *Juglans* levélkivonat szignifikánsan csökkenti is a csírázási arányt, nem olyan drasztikus mértékben, mint a *Populus* levélkivonat. Ebből következően a *Juglans* fajok allelopátiás hatásának toleranciáját javasoljuk tovább vizsgálni tenyészedényes és szabadföldi körülmények között a konyhakömény esetén. Mindemellett további fafajok allelopátiás anyagaival kapcsolatos toleranciavizsgálatokat és agrárerdészeti alkalmazhatósági kutatásokat javasolunk annak fényében, hogy a *Carvi fructus* drogminősége, kifejezetten illóolaj-tartalma potenciálisan pozitívan befolyásolható a szélerózió csökkentésével, amely védőhatás elérésére a szántóterületekre



telepített fasorok és mezővédő bokorsávok által lehetőség nyílik (BÖHM *et al.* 2014; BRANDLE *et al.* 2004).

**12. táblázat:** A *Carum carvi* L. kaszattermések allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	12,66ab $\pm$ 3,06	25,34b $\pm$ 5,04	70,66c $\pm$ 11,02	9,34a $\pm$ 3,06	81,34c $\pm$ 2,30
Csírázási arány (%)*	32,00a $\pm$ 0,00	60,66b $\pm$ 2,30	83,34bc $\pm$ 9,86	24,00a $\pm$ 4,00	87,34c $\pm$ 4,16
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	7,3a $\pm$ 0,7	9,8a $\pm$ 0,4	11,1b $\pm$ 0,6	12,0ab $\pm$ 2,3	13,0b $\pm$ 0,4

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk.

#### 5.1.6. *Centaurium erythraea* Rafn.

A kis ezerjófű esetén az összes kezelés közül a *Juglans* levélkivonat és a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat kezeléseket mutatták a legerősebb gátló hatást a csírázási erélyre vonatkozóan (13. táblázat). A *Populus* levélkivonat a *Juglans* levélkivonat és a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat kezelésekhöz képest enyhébb gátló hatás fejtett ki, miközben a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldattal történő kezelést követően a magvak csírázási erélye nem különbözött a kontrollétól. Mindezt követően, a 14. napon mért értékek szerint, a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldattal történő kezelés kivételével minden egyéb kezelés szignifikánsan csökkentette a kis ezerjófű csírázási arányát. A levélkivonatok, különösen a *Juglans* levélkivonat okozta a leginkább szembetűnő csírázásgátló hatást. A csíranövények túl kis tömegűek voltak a tömegmeghatározáshoz, ezért erre vonatkozóan nem gyűjtöttünk adatokat. A kis ezerjófű természetstechnológiája jelenleg is fejlesztés tárgyát képezi, azonban a faj természetes élőhelye – nedves rétek, félárnyékos bokros erdőszélek – indikálja a faj agrárerdészeti termesztésének potenciálját. Jelen eredmények egyértelmű csírázásgátló hatást mutatnak az alkalmazott allelokemikáliák vonatkozásában, ezért a kis ezerjófűvet semmiképp nem javasoljuk helyre vetni nyár és dió alkotta agrárerdészeti rendszerekbe, azonban a palántanevelés útján, agrárerdészeti rendszerbe történő állománytelepítés lehetőségének jövőbeli vizsgálata mindenképp adekvát kutatási irányvonal.

**13. táblázat:** A *Centaurium erythraea* Rafn. magok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)- és a csírázási arány átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon 10 <sup>-4</sup> M oldat	Juglon 10 <sup>-3</sup> M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	12,66abc ± 15,14	4,00a ± 3,46	56,66bc ± 12,86	6,66ab ± 2,30	54,66c ± 9,46
Csírázási arány (%)*	22,00a ± 16,38	16,66a ± 2,30	82,00b ± 10,58	37,34a ± 8,32	82,00b ± 9,16

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk.

### 5.1.7. *Dracocephalum moldavica* L.

A kísérlet kezdetén a levélkivonat-kezelések szignifikáns ( $p < 0,05$ ) csírásgátló hatást fejtettek ki a moldvai sárkányfű magjaira, azonban végül ezen gátló hatás nem nyilvánult meg egyik vizsgált paraméter esetén sem szignifikáns módon (14. táblázat). Ugyan a különbségek a statisztikai adatértékelést követően nem bizonyultak szignifikánsnak – a nagy szórásértékeke miatt –, de a gyakorlati szemrevételezés és az átlagértékek alapján is a kezelések enyhe gátló hatása szakmai relevanciát hordoz. Mindez alapján a fajt további agráreredészeti alkalmazhatósági vizsgálatokra javasoljuk.

**14. táblázat:** A *Dracocephalum moldavica* L. vetőmagok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon 10 <sup>-4</sup> M oldat	Juglon 10 <sup>-3</sup> M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)*	46,00a ± 3,46	34,66a ± 1,16	72,00ab ± 14,00	69,34ab ± 9,86	71,34b ± 4,62
Csírázási arány (%)*	48,66 ns ± 5,06	38,00 ns ± 2,00	80,00 ns ± 17,44	56,66 ns ± 20,42	66,66 ns ± 11,38
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	8,0ns ± 0,6	10,8ns ± 2,0	14,0ns ± 3,9	9,6ns ± 0,8	16,8ns ± 3,1

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk. ns – nem szignifikáns.

### 5.1.8. *Levisticum officinale* Koch.

Mind a *Populus* és *Juglans* levélkivonatokkal történő kezelés szignifikáns ( $p < 0,05$ ) gátló hatást fejtett ki a lestyán magok csírázási erélyére és csírázási arányára (15. táblázat). A levélkivonatok inhibíciós hatásának nyomán a magvak csírázási paraméterei szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) különböztek a kontroll csoporttól, azonban a juglon oldattal történő kezelések esetén ez a hatás nem igazolódott. Minden kezelés okozott némi hátrányt a csíranövények tömeggyarapodására vonatkozóan, azonban kizárólag a *Juglans* levélkivonat és a 10<sup>-3</sup> M

koncentrációjú juglon oldat kezelése bizonyultak szignifikánsnak ( $p < 0,05$ ). Mindazonáltal a lestyán egy félárnyéktűrő és gyökérdrogot képző gyógynövény, amely tulajdonságok kiemelik agrárerdészeti alkalmazhatósági potenciálját (CHAUHAN *et al.* 2013). Eredményeink szerint az alkalmazott allelokemikáliák csírázásgátló hatása szignifikáns, azonban nem robosztus, így a kapott eredmények mellett is javasoljuk a fajt további agrárerdészeti kutatások tárgyául, különösen valós szabadföldi agrárerdészeti kísérleti területen, szabadágyi palántaneveléssel történő szaporítást alkalmazva, valamint más, allelopátiás hatásukat tekintve még nem tesztelt fajokkal kombinációban.

**15. táblázat:** A *Levisticum officinale* Koch. vetőmagok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	17,34a $\pm$ 2,30	11,34a $\pm$ 2,30	48,00b $\pm$ 8,72	41,34b $\pm$ 8,32	58,00b $\pm$ 9,16
Csírázási arány (%)	32,66ab $\pm$ 12,86	27,34a $\pm$ 6,42	59,34bc $\pm$ 8,08	52,00abc $\pm$ 13,12	61,34c $\pm$ 8,32
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	14,1ab $\pm$ 2,8	11,9a $\pm$ 4,0	15,4ab $\pm$ 2,4	10,4a $\pm$ 0,9	19,9b $\pm$ 1,6

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey  $p < 0,05$ ).

### 5.1.9. *Linum usitatissimum* L.

Mindkét levélkivonatot tartalmazó kezelés szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentette a lenmagok csírázási erélyét, azonban ezt követően, a magok jó regenerációs képessége okán a csírázási arányra vonatkozóan nem detektáltunk szignifikánsan negatív hatást (16. táblázat). A kikelt csíranövények tömegét nem befolyásolta egyik kezelés sem. Összességében a lenmag jól tolerálta az alkalmazott allelokemikáliákat, amely tolerancia vélhetően összefüggésben lehet azzal, hogy a lenmag mérete nagyobb, valamint maghájának áteresztőképessége kisebb a kísérletben résztvevő többi gyógynövény magjához viszonyítva. Lentermesztés esetén kritikus pont, hogy az abiotikus stressz minimalizálva legyen a virágzási és termésérési fenofázisokban, mert ennek hiányában jelentős termés kiesés várható (CLOUTIER 2016). Mindez összességében indikálja további kisércellás agrárerdészeti lentermesztési kísérletek beállításának relevanciáját.

**16. táblázat:** A *Linum usitatissimum* L. magok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	19,34a $\pm$ 3,06	16,66a $\pm$ 7,02	48,66b $\pm$ 4,62	44,66b $\pm$ 14,46	47,34b $\pm$ 8,08
Csírázási arány (%)*	46,66a $\pm$ 1,16	48,00a $\pm$ 0,00	58,00b $\pm$ 2,00	44,66ab $\pm$ 2,00	58,00ab $\pm$ 3,46
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	19,5ns $\pm$ 1,9	21,9ns $\pm$ 6,6	29,6ns $\pm$ 3,6	19,6ns $\pm$ 2,5	26,6ns $\pm$ 8,0

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk. ns – nem szignifikáns.

#### 5.1.10. *Papaver somniferum* L.

A mákmagok rendkívül érzékenyen reagáltak az alkalmazott allelokemikáliákra, ezt bizonyítja, hogy a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldat, illetve egyik levélkivonatos kezelések hatására sem csírázott egyáltalán (17. táblázat). A  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldatos kezelés nem befolyásolta a csírázást a kontrollhoz képest, akkor sem, amikor az ANOVA modellben csak a két csírázott csoportot hasonlítottuk össze. A mák csíranövények túl kicsik voltak a tömegadatok felvételezéséhez. A mák nem ajánlott olyan agráreredészeti kísérletek beállítására vagy rendszerek létesítésére, amelyben a fafajokat nyár vagy dió alkotná.

**17. táblázat:** A *Papaver somniferum* L. magok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)- és a csírázási arány átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)*	nem csírázott b	nem csírázott b	67,34a $\pm$ 20,52	nem csírázott b	97,34a $\pm$ 1,16
Csírázási arány (%)*	nem csírázott b	nem csírázott b	86,66a $\pm$ 1,16	nem csírázott b	92,66a $\pm$ 11,02

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk.

#### 5.1.11. *Satureja hortensis* L.

A borsú esetében a csírázási erélyt vizsgálva a *Populus* levélkivonat-kezelés hatása különbözött a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldatos kezelés hatásától, azonban egyik kezelés sem bizonyult szignifikánsan különbözőnek a kontrollhoz képest (18. táblázat). Ez azt jelenti, hogy a csírázási erély átlagértékét a kontrollhoz képest nem szignifikánsan, de csökkentette a *Populus* levélkivonat-kezelés hatása, illetve a kontrollhoz képest nem szignifikánsan, de növelte a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldatos kezelés, ezért a két kezelés között szignifikáns ( $p < 0,05$ ) különbség mutatkozott, holott egyik sem különbözött kontroll csoportról. Mindez a kísérlet végeztével

semmilyen szignifikáns hatásban nem jutott érvényre sem a csírázási arány, sem pedig a csíranövények növekedése tekintetében. Mint, hogy a csírázási vizsgálatok értelmében az alkalmazott allelokemikáliák nem gyakorolnak semmilyen negatív hatást sem a magok csírázására, sem a csíranövények korai fejlődésére, a borsfű kifejezetten ajánlott további léptéknövelt, alkalmazott agrárerdészeti kutatásokra.

**18. táblázat:** A *Satureja hortensis* L. vetőmagok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$ /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)	37,34a $\pm$ 13,32	60,00ab $\pm$ 5,30	74,66b $\pm$ 5,04	62,00ab $\pm$ 14,42	57,34ab $\pm$ 6,42
Csírázási arány (%)	52,00 ns $\pm$ 28,22	73,34 ns $\pm$ 9,02	81,34 ns $\pm$ 5,04	68,00 ns $\pm$ 8,00	82,00 ns $\pm$ 8,00
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	4,2ns $\pm$ 2,4	5,2ns $\pm$ 0,3	7,1ns $\pm$ 0,1	7,2ns $\pm$ 1,3	7,0ns $\pm$ 0,5

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey  $p < 0,05$ ). ns – nem szignifikáns.

#### 5.1.12. *Sinapis alba* L.

A *Juglans* és *Populus* levélkivonatok egyaránt szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) csökkentették a mustármagok csírázási erélyét és csírázási arányát, miközben egyik juglon oldatos kezelés sem gyakorolt szignifikáns hatást a magok fejlődésére a kontrollhoz viszonyítva (19. táblázat). A csíranövények tömegét jelentősen csökkentette a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldatos kezelés, miközben az egyel hígabb koncentráció alkalmazásának hatása a nagy szórásérték okán a statisztikai szignifikancia szempontjából kevésbé kifejezett. A levélkivonat-kezelések egyértelműen erősebb inhibíciós hatást gyakoroltak mind a csírázásra, mind pedig a csíranövények kezdeti fejlődésére, mint a juglon oldatos kezelések. Mindezen eredmények alapján a mustár nem ajánlható nyár és dió alkotta agrárerdészeti rendszerek köztesnövényeként.

**19. táblázat:** A *Sinapis alba* L. magok allelokemikáliákkal történő kezelésének hatása a csírázási erély (%)-, a csírázási arány (%)- és a csíranövények átlagos tömegének ( $\mu\text{g}$  /csíranövény) átlagértékeire és szórásaira

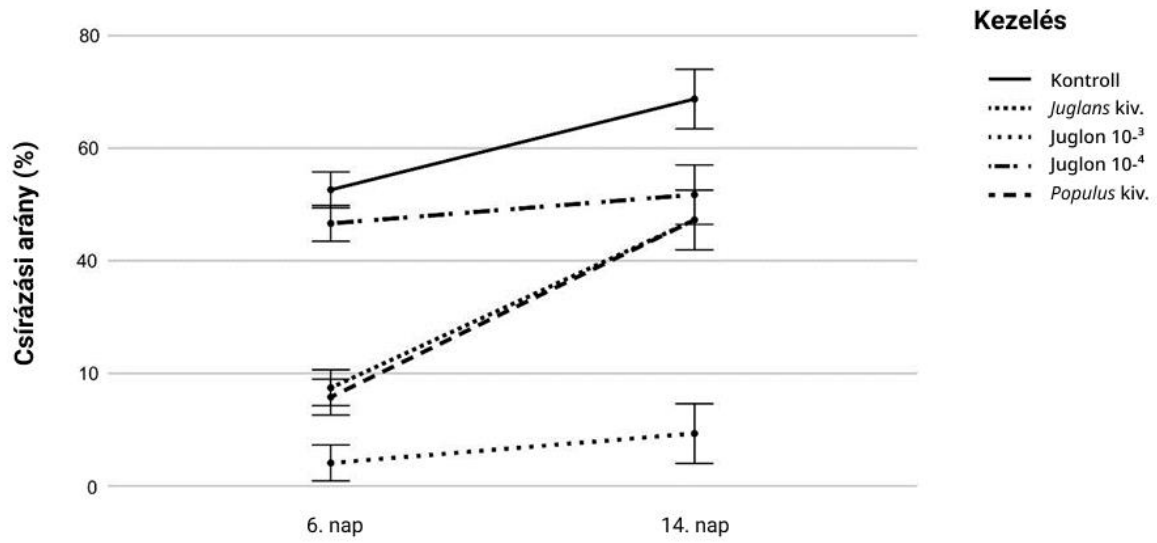
Csírázási paraméter	Kezelés				
	<i>Populus</i> kivonat	<i>Juglans</i> kivonat	Juglon $10^{-4}$ M oldat	Juglon $10^{-3}$ M oldat	Kontroll
Csírázási erély (%)*	nem csírázott b	nem csírázott b	85,34a $\pm$ 4,62	73,34a $\pm$ 7,02	80,66a $\pm$ 1,16
Csírázási arány (%)	31,34a $\pm$ 5,78	17,34a $\pm$ 6,12	85,34b $\pm$ 4,62	73,34b $\pm$ 16,16	72,00b $\pm$ 19,08
Csíranövények átlagos tömege ( $\mu\text{g}$ /csíranövény)	21,3a $\pm$ 1,6	18,1a $\pm$ 4,5	35,8abc $\pm$ 11,7	35,0b $\pm$ 3,4	48,7c $\pm$ 1,0

Az ugyanazon betűkkel jelölt átlagértékek nem különböznek szignifikánsan egymástól (Tukey és Games-Howell  $p < 0,05$ ). \*Games-Howell post-hoc próbát alkalmaztunk.

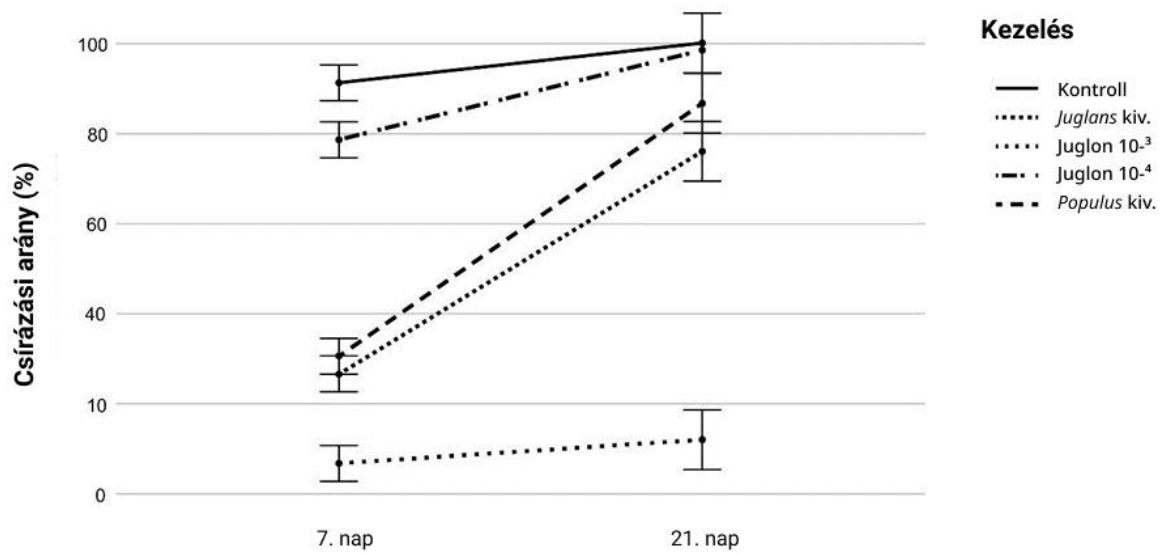
## 5.2. Az *in vitro* allelopátia kutatás eredményeinek megbeszélése

Az *in vitro* csírázási próbák elvégzése az allelopátia kutatások kezdő művelete, hiszen ezek használatával könnyen felmérhető szrkin-jelleggel különböző magok és csíranövények válaszreakciója a kutatás tárgyát képező allelokemikáliák aktivitására. Ezzel együtt az *in vitro* csírázási próbák számos jogos kritikával terheltek. Ilyen kritikák a szabadföldi élő talajra vonatkozó tapasztalatok hiánya, valamint a talajmikrobiom befolyásoló hatásának figyelmen kívül hagyása (John *et al.* 2006), mindezeket azonban nem a módszertan hátrányaiként, hanem annak értelmezési korlátaként és keretrendszereként érdemes kezelni. E logikát kiemeli, hogy *in vitro* körülmények között a vizsgálat tárgyát nem befolyásolják olyan összetett hatások, mint a talaj táplálékhálózat működése, sem más biotikus vagy abiotikus tényezők, amelyek a szabadföldi körülmények között egyszerre játszanak szerepet, így nagyban megnehezítve egy izoláltan megközelítendő tudományos kérdés vizsgálatát, mint jelen esetben az allelopátia hatásának önmagában történő megítélését. Mindebből fakadóan a kísérlet beállításakor és a következtetések levonásakor arra törekedtünk, hogy az eredmények széleskörűen, mintegy kiinduló alapként legyenek értelmezhetőek a tudományos- és az agrárerdészeti fejlesztések frontvonalát alkotó közösségek számára, nem megkerülve azt a tényt, hogy a további szabadföldi kutatási eredmények biztosan specifikálni és differenciálni fogják jelen eredményeinket. Az *in vitro* csírázási próbáink eredményei az első lépést tették meg az agrárerdészeti termesztésre legígéretesebb gyógynövényfajok szűrésére, annak érdekében, hogy az általunk javasolt fajokkal további léptéknövelt, szabadföldi kísérleteket állíthassanak be az alkalmazott kutatásban érdekelt szereplők, s végül jól működő gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek létesülhessenek.

A vizsgált gyógynövényfajok közül négy esetben statisztikailag szignifikáns kölcsönhatást találtunk a kezelés időtartama és hatása között. A csíranövények megjelenése a kísérlet ideje alatt nagyon eltérő tendenciákat mutatott az alkalmazott kezelés függvényében. A következő fajok esetében mind a *Populus* és mind a *Juglans* levélkivonat-kezelések szignifikánsan kisebb allelopátias hatást mutattak a kezelés előrehaladtával: *Althea officinalis* ( $p = 0,005$ ), *Anethum graveolens* ( $p = 0,002$ ) és *Linum usitatissimum* ( $p = 0,006$ ) (1., 2., és 4. ábra).

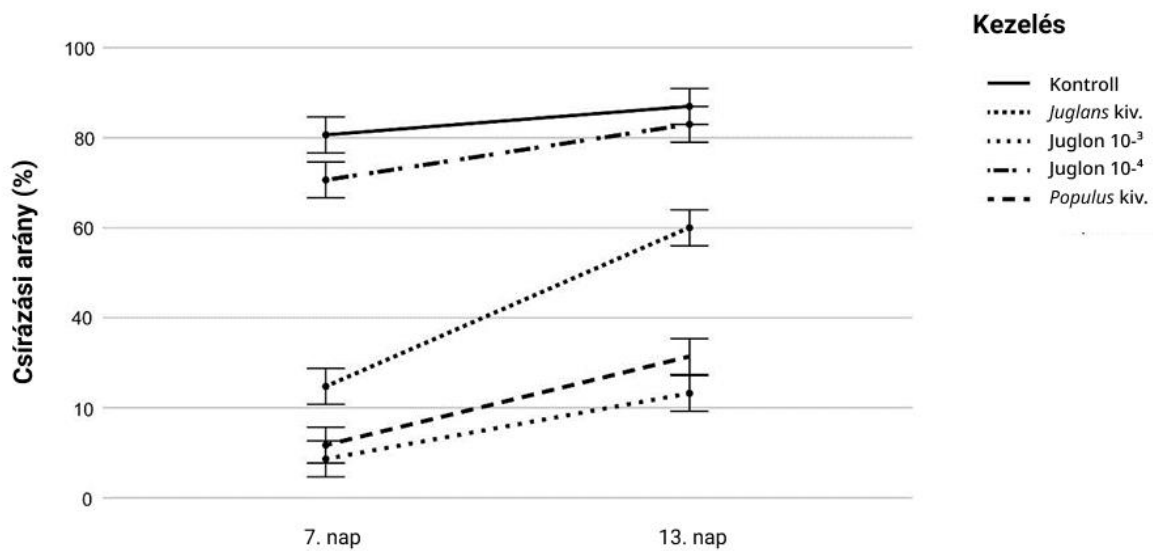


1. **ábra:** A kezeléshatás (alkalmazott allelokemikália) és a kezelési idő közötti szignifikáns ( $p=0,005$ ) interakció a *Althea officinalis* L. csírázása esetén



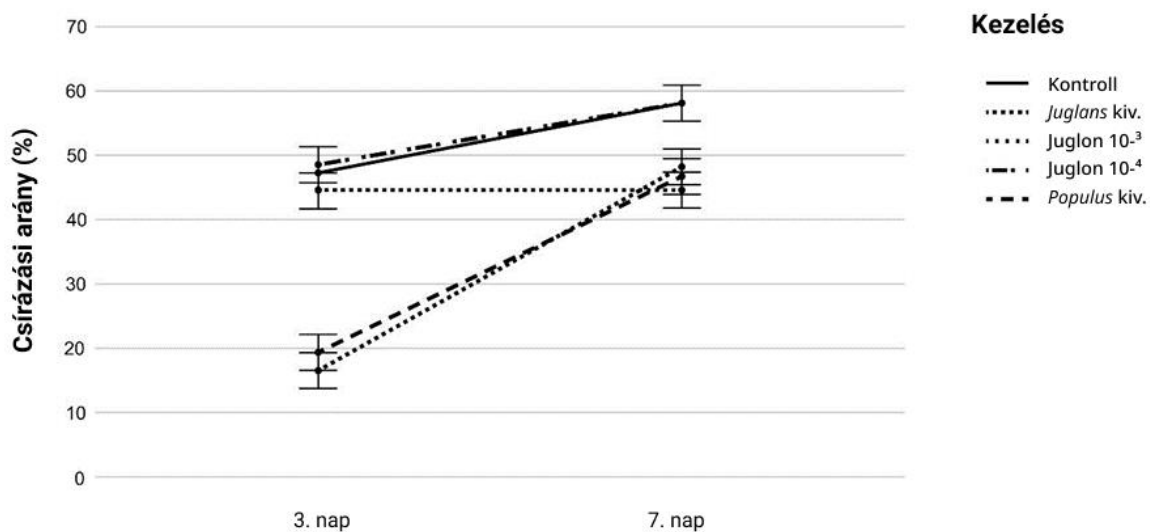
2. **ábra:** A kezeléshatás (alkalmazott allelokemikália) és a kezelési idő közötti szignifikáns ( $p=0,002$ ) interakció a *Anethum graveolens* L. csírázása esetén

A *Carum carvi* esetében ugyanezt a tendenciát tapasztaltuk erősebb összefüggésben ( $p < 0,001$ ), amely azt jelenti, hogy a kezeléstől eltelt idő előrehaladtával a kezeléshatás gyengült, tehát a magok idővel intenzívebben csíráztak (3. ábra). Következésképpen az allelopátiás hatás valószínűleg számos faj esetében csupán kezdeti csírázásgátló hatást okoz, s a további gátló hatás csökkenthető a termőtalaj állapotának javításával, úgy mint, a humusz-tartalom és a talajmikrobiom aktivitásának növelése és a szén- és tápanyag körforgalom serkentése, amelyek mind az agrárerdészeti rendszerek jellemző lehetőségei (DE STEFANO és JACOBSON 2018; UDAWATTA *et al.* 2008; PARDON *et al.* 2019; KAUR *et al.* 2009).



**3. ábra:** A kezeléshatás (alkalmazott allelokemikália) és a kezelési idő közötti szignifikáns ( $p < 0,001$ ) interakció a *Carum carvi* L. csírázása esetén





**4. ábra:** A kezeléshatás (alkalmazott allelokemikália) és a kezelési idő közötti szignifikáns ( $p=0,006$ ) interakció a *Linum usitatissimum* L. csírázása esetén

Jelen kísérletben negatív kontrollként alkalmaztuk a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldatot, amely ilyen töménységben nem fordul elő szabadföldi körülmények között, azonban korábban publikált adatok alapján csírázásgátló és fejlődési rendellenességeket okozó hatást gyakorol számos fajra (RIETVELD 1983). Ezzel szemben a kísérlet másik juglon kezelése, a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldat korábbi kísérleti eredmények szerint elősegítheti a növények fejlődését (CHOU 1995). Öt gyógynövényfaj (*Althea officinalis*, *Anethum graveolens*, *Carum carvi*, *Centaurium erythraea*, és *Papaver somniferum*) egyértelműen elkülöníthető módon reagált az alkalmazott juglon koncentrációkra. Mind az öt faj esetén a nagyobb koncentráció kisebb csírázási erélyt és arányt okozott. A *Cannabis sativa*, *Dracocephalum moldavica* és a *Sinapis alba* növények esetén megfigyeltük, hogy a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldatos kezelés enyhe csírázásserkentő hatást okozott mind a csírázási erély, mind pedig a csírázási arány tekintetében. Az *Angelica archangelica*, *Centaurium erythraea*, *Levisticum officinale*, és *Sinapis alba* fajok esetén megfigyeléseink szerint a *Juglans* levélkivonat hatása drasztikusabb volt a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon oldattal történő kezeléstől. Ez a megfigyelés megerősíti azt a szakmai preconcepciót és hipotézist, amely szerint a *Juglandis folium* biológiailag aktív anyagai között a juglon mellett több egyéb molekula is rendelkezhet allelopatikus hatással és ezen molekulák szinergikusan erősíthetik egymás allelopátiás hatását. Mindemellett a *Cannabis sativa* esetén a kedvezőbb csírázási adatokat észleltünk a juglon kezelésekre hatására, mely jelenséget nem tapasztaltuk a *Juglans* levélkivonattal történő kezelés esetén. Az eredményekből kiviláglik, hogy néhány esetben a levélkivonat-kezelések erősebb csírázásgátló hatást okoztak, mint bármely alkalmazott juglon koncentráció: a csírázásgátló hatás nagyon egyértelműen és szignifikánsan jelent meg az *Angelica archangelica*, *Centaurium erythraea*, *Levisticum officinale* és a *Sinapis alba* növények esetén.

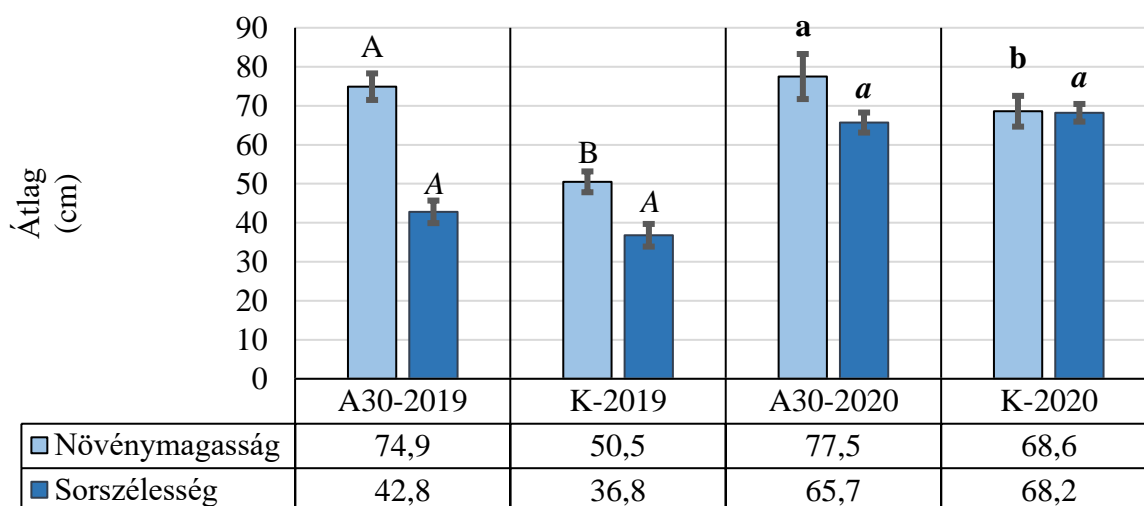
Tapasztalataink szerint a *Populus* és *Juglans* levélkivonatok allelopátiás hatását kifejezetten fajspecifikusan tolerálják a különböző gyógy- és aromanövény fajok magja és csíranövényei. Ezen megfigyelésünk összhangban áll több korábbi, egyéb szántóföldi és kertészeti hasznosítású növényfajjal végzett allelopátia-kutatás eredményével. A különböző csírázási kísérletek eredményei értelmében juglon toleranciát mutatott a *Cucumis melo* cv. *Galia*, valamint ellentmondásos eredményeket produkált a *Triticum aestivum*. Emellett csírázás- és növekedésgátló hatást figyeltek meg a *Cucumis sativus* cv. *Beith Alpha*, *Solanum lycopersicum*, *Fragaria* × *ananassa*, *Citrullus lanatus*, *Raphanus sativus* és a *Medicago sativa* növények esetében (TERZI 2008; ERCISLI *et al.* 2005; KOCACALISKAN és TERZI 2001). A *Melissa officinalis* esetén *in vitro* és szabadföldi kísérleti eredmények egyaránt bizonyítják a faj toleranciáját a *Populus* allelopátiás hatása iránt (MELKANIA 1984; RAJ *et al.* 2010). A *Cicer arietinum*-ra vonatkozóan gátló hatásúnak bizonyultak a *Populus* allelokemikáliák, miközben a *Triticum aestivum* nem adott egyértelmű eredményeket (MAJEED *et al.* 2017).

Kísérleti eredményeink alap kutatási információként szolgálhatnak további alkalmazott tenyészedényes és szabadföldi agrárerdészeti-allelopátia kísérletek beállításához. Mindennek célja az, hogy gyarapítsa azt a kollektív tudományos tudásbázist, amely alapján a jövőben olyan fenntartható működésű, mérsékelt övi gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszereket lehet létrehozni, amelyek mindinkább kihasználják a lehetséges előnyös interspecifikus interakciókat.

### 5.3. Az *in vivo* árnyékhatás kutatás eredményei és azok megbeszélése

#### 5.3.1. *Achillea collina* Becker

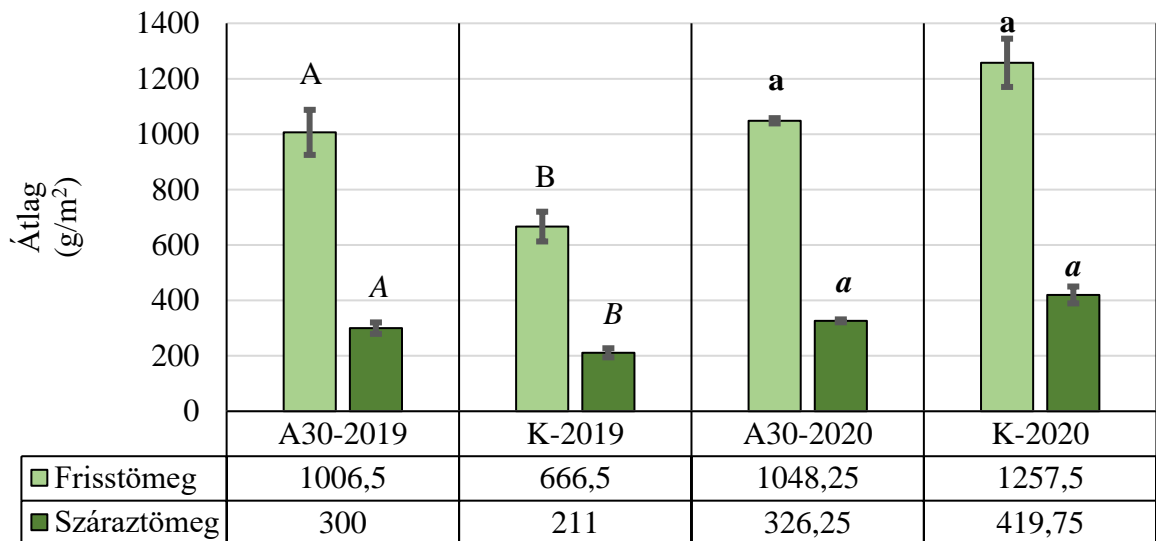
Az árnyékban nevelt cickafark növényállomány szignifikánsan magasabbra nőtt mind a telepítés évében ( $t(9)=8,32$ ;  $p<0,001$ ), mind a második évben ( $t(9)=2,91$ ;  $p<0,05$ ) a napnak teljesen kitett kontrollhoz viszonyítva (5. ábra). Az elsőéves állomány esetén átlagosan több mint 20 cm, míg a másodéves állományban átlagosan 10 cm különbség volt megfigyelhető. A cickafark horizontális kiterjedésére egyik évben sem hatott szignifikánsan az árnyék ( $t(9)>1,58$ ;  $p>0,05$ ) (5. ábra).



1. **ábra** Az *Achillea collina* Becker növénymagasság (cm) és sorszélesség (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% árnyékkezelés (A30) hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

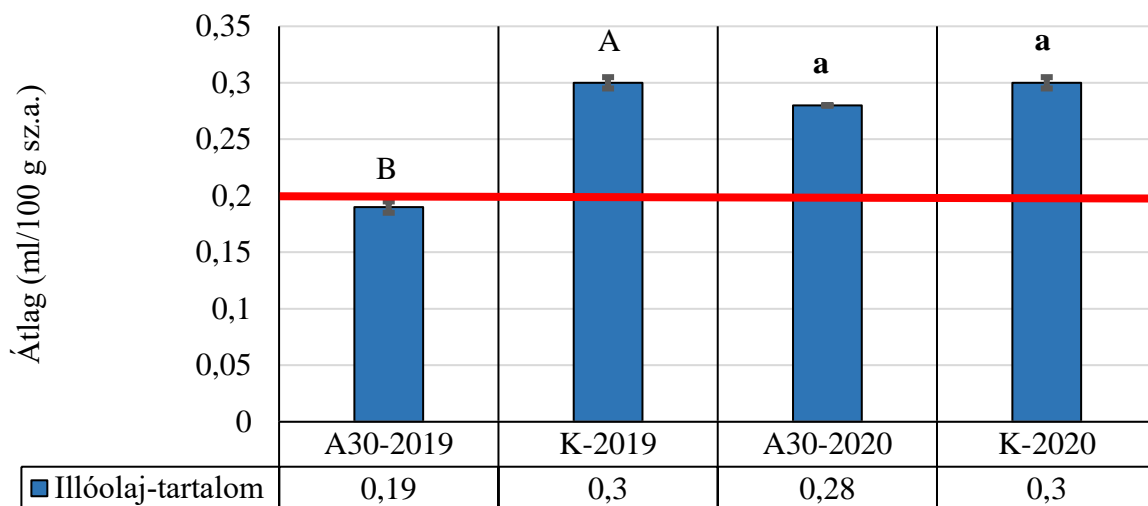
Az első éves árnyékolt (30%) állományban szignifikáns hozamnövekedést regisztráltunk a napon nevelt kontrollhoz viszonyítva (frisstömeg 2019:  $t(3)=6,61$ ;  $p<0,05$ ; drogtömeg 2019:  $t(3)=5,45$ ;  $p<0,05$ ), de a másodéves állomány esetén ezen hozamélénkítő hatás nem érvényesült sem a növények friss-, sem szárított tömegére vonatkozóan ( $t(3)>2,69$ ;  $p>0,05$ ) (6. ábra).



**2. ábra: Az *Achillea collina* Becker frisstömeg és szárztömeg (g/m<sup>2</sup>) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% árnyékezelés (A30) hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években**

**(Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

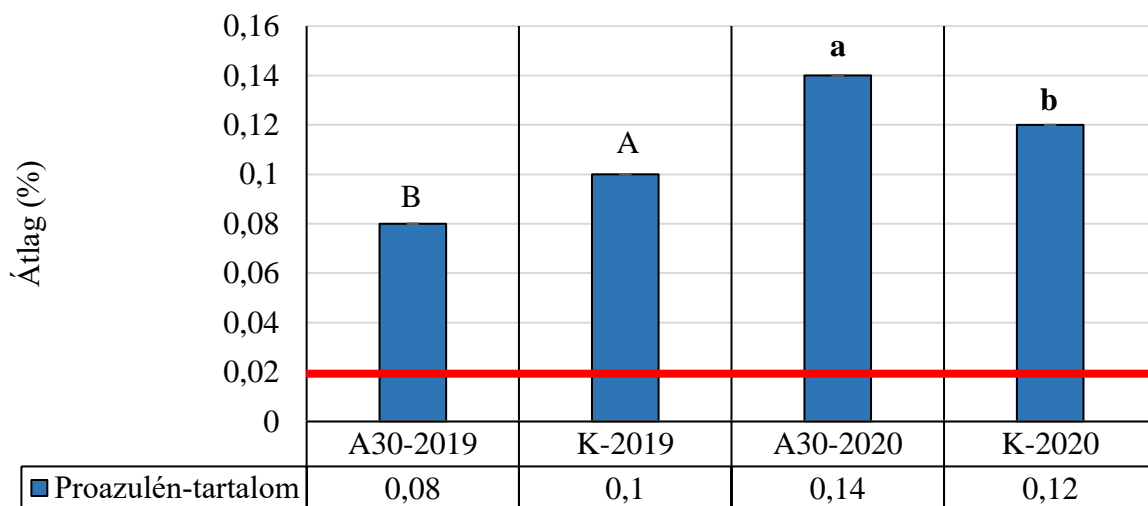
Az első évben az árnyék szignifikánsan csökkentette a *herba* illóolaj-tartalmát ( $t(2)=16,00$ ;  $p<0,01$ ), majd ez a hatás a másodéves állományban már nem érvényesült szignifikánsan ( $t(2)=3,51$ ;  $p=0,07$ ). Az árnyékban (30%) nevelt állomány illóolaj-tartalma a telepítés évében nem felelt meg a gyógyszerkönyvben rögzített elvárásnak (illóolaj-tartalom  $> 0,2$  ml/100g; Ph. Hg. VIII. 2004), de mivel a növényállomány erősödésével második évre az árnyék (30%) már nem befolyásolta negatívan a hatóanyag-akkumulációt, így az árnyékolt minta illóolaj-tartalma a kontrollhoz hasonlóan megfelelő volt (7. ábra).



**7. ábra:** *A Millefolii herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% árnyékezelés (A30) hatására a kontroll (K) növények drogjának illóolaj-tartalmához viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek. A vízszintes vörös vonal a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv által előírt minimális illóolaj-tartalmat jelöli.)

Az illóolajhoz hasonlóan az első évben a proazulén-tartalomra is szignifikánsan negatívan hatott az árnyék ( $t(2)=10,58$ ;  $p<0,05$ ). Ezzel együtt azonban mind az árnyékolt, mind pedig a kontroll növények proazulén-tartalma megfelelt a gyógyszerkönyvi elvárásnak (proazulén-tartalom  $>0,02\%$ ) (8. ábra). A második évben az árnyékolt (A30) parcellákon a proazulén-tartalom szignifikánsan ( $t(2)=7,18$ ;  $p<0,05$ ) magasabb lett, mint a kontroll esetében (8. ábra).



**8. ábra:** *Az Aetheroleum millefolii* proazulén-tartalom (%) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% árnyékezelés (A30) hatására a kontroll (K) növények drogjának illóolaj-tartalmához viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek. A vízszintes vörös vonal a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv által előírt minimális proazulén-tartalmat jelöli.)

Az *Achillea collina* termesztéstechnológiai alapokkal rendelkező, de számos gyakorlati termesztési problémával (standard drogminőség, vegyszeres gyomszabályozás) küzdő, termesztésben el nem terjedt gyógynövényfaj. Nemesítési céljai között szerepel többek között a morfológiailag homogén állománykép kialakítása az optimális gépi betakaríthatóság érdekében. A kísérletben alkalmazott 30% árnyékezelés hatására a növények magasabbra nőttek, azonban a nagyobb átlagos magasság nagyobb szórásértékekkel párosult. Az árnyékban nevelt növények magassága heterogénebb állományképet mutatott a teljes fényen nevelt kontroll növényekhez képest, mely nem előnyös a kiváló drogminőséget célzó gépi betakaríthatóság tekintetében.

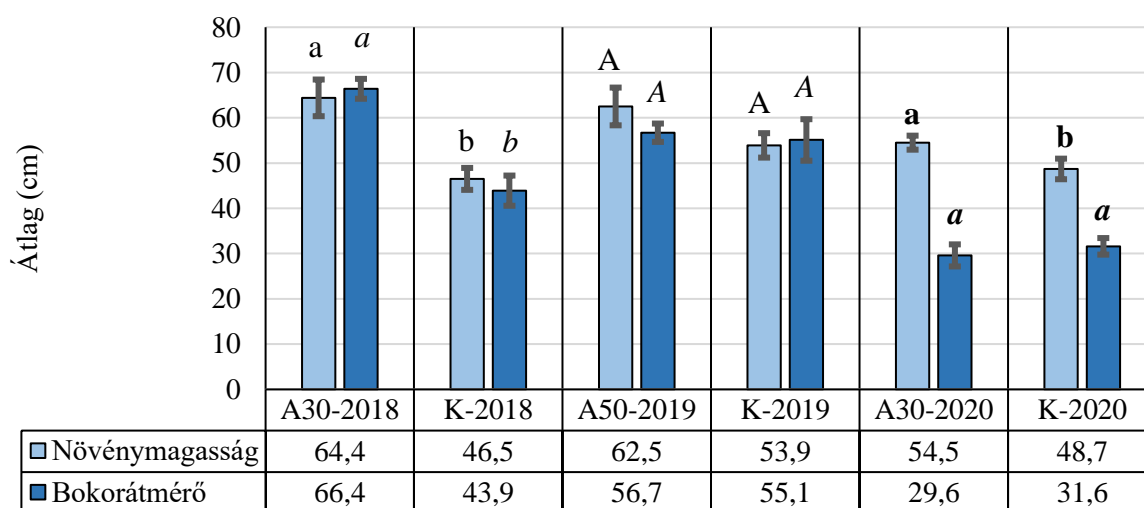
A 30%-os árnyékolás a telepítés évében segítette a növények fejlődését, s bár élelő állományban ennek már nem volt szerepe, negatív hatás sem jelentkezett. Megegyeznek ezzel GIORGI *et al.* (2014) eredményei, ahol az *Achillea collina* cv. 'Spak' esetében a hozamokat nem, viszont a szervi arányokat befolyásolta a gyengébb fényellátottság. Árnyékban (30%) a növények nagyobb levéltömeget, de kisebb virágzatot fejlesztettek, mint a teljes fényen neveltek. Hasonlót saját kísérleteink első évében mi is detektáltuk: 2% szár tömegnövekedés, 15,8% levéltömegnövekedés, 17,9% virágzattömeg-csökkenés jelentkezett az árnyékban nevelt állományban (nem publikált eredmény). A levél/virágzat arányának csökkenése kedvezőtlen a cickafark termesztés esetén, mert a virágzat halmozza fel legnagyobb mennyiségben az illóolajat (NÉMETH *et al.* 2007) Ugyanakkor a nagyobb biomassa produkció illóolaj előállítás esetén mindezt kompenzálhatja.

A hatóanyagok szempontjából a hozamértékekkel ellentétes folyamatot jegyezhetünk: az árnyékhatás (30%) első évben visszavetette mind az illóolaj-, mind a proazulén akkumulációt, majd a másodéves állományban e hatás az illóolaj-tartalom tekintetében kiegyenlítődt, a proazulén tekintetében pedig megfordult és növelte a tartalmat. Klímakamrás körülmények között a cickafark illóolaj- és azulén-tartalmára a fényellátás és a hőmérséklet eltérésének nem volt hatása (KINDLOVITS *et al.* 2014, ami a szerzők szerint a faj kozmopolita jellegére és széles ökológiai alkalmazkodó képességére utal, ezen megfigyelésekből azonban csak implicit módon lehet következtetni szabadföldi körülmények közötti növényi reakcióra. A fenoloid komponensek közül a luteolin-7-O-glükozid- és az apigenin-7-O-glükozid-tartalom, valamint az összflavonoid-tartalom egyaránt csökkent az árnyékolt növényekben, miközben az antioxidáns-kapacitás nem változott (GIORGI *et al.* 2014). A szerzők eredményei alapján a cickafark termesztésére az enyhe árnyék kevésbé jelentős hatást gyakorol, mint az évjárat. LIMA *et al.* (2019) tanulmánya szerint a fotoszelektív hálókval végzett árnyékolással történő termesztéstechnológia jó lehetőséget kínál az illóolaj egyes komponenseinek célzott előállítására - mert megfigyeléseik szerint az illóolaj komponensek specifikusan reagálnak az elérhető fény hullámhossz változására - amely eredmények felvetik a fafajválasztás fontosságát a lombkoron színének szempontjából agrárerdészeti termesztés esetén. Az irodalmi eredmények alapján azt látjuk, hogy a félárnyékos környezet kevésbé határozza meg a termesztési és minőségi értékeit a cickafarktermesztésnek, mint a különböző évjáratok eltérő környezeti feltételei.

Összességében az *Achillea collina* Beckert élelő állományban ígéretesnek tartjuk agrárerdészeti rendszerben történő termesztésre az *in vivo* kísérlet eredményei alapján, ezért következő lépésként léptéknövelt szabadföldi kísérletek beállítását javasoljuk valós agrárerdészeti körülmények között.

### 5.3.2. *Calendula officinalis* L.

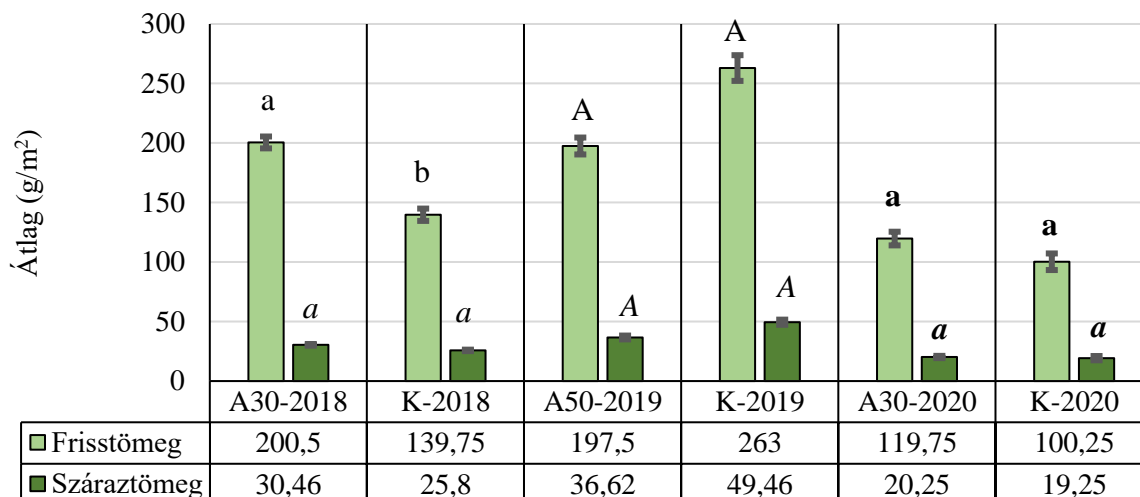
A körömvirág szignifikánsan magasabbra nőtt mindkét évben (2018:  $t(9)=5,10$ ;  $p<0,01$ ; 2020:  $t(9)=3,58$ ;  $p<0,05$ ), amikor 30% árnyékezelést kapott, mint a napnak teljesen kitett kontroll területen (9. ábra). Az 50% árnyékezelés esetén a növénymagasságra vonatkozó szignifikáns hatást nem regisztráltunk (2019:  $t(9)=2,51$ ;  $p=0,10$ ). A 2018. évben a 30% árnyékezelés hatására a növények szélessége szignifikánsan nőtt ( $t(9)=12,07$ ;  $p<0,001$ ), azonban ez sem a másik 30% árnyékezelés évében ( $t(9)=0,88$ ;  $p=0,40$ ), sem az 50% árnyékezelés évében nem ismétlődött meg ( $t(9)=0,48$ ;  $p=0,64$ ) (9. ábra).



**9. ábra:** A *Calendula officinalis* L. növénymagasság (cm) és bokorátmérő (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

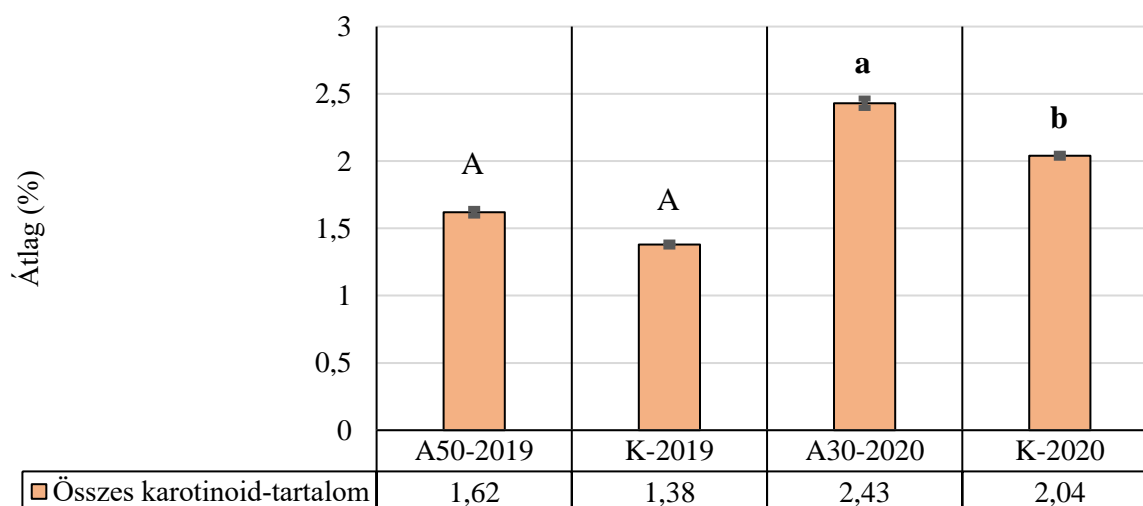
A 2018. évben az A30 kezelés hatására szignifikánsan ( $t(3)=6,02$ ;  $p<0,01$ ) növekedett a friss virágzat tömege ( $\text{g/m}^2$ ), bár ez a drogtömeg változásában már nem nyilvánult meg ( $t(3)=3,59$ ;  $p=0,11$ ; 10. ábra). A további években nem detektáltunk sem friss-, sem pedig drogtömeg-eltérést sem a 30%, sem pedig az 50% árnyékezelés esetén (frisstömeg, 2019, A50:  $t(3)=3,70$ ;  $p=0,10$ , frisstömeg, 2020, A30:  $t(3)=2,06$ ;  $p=0,40$ ; drogtömeg, 2019, A50:  $t(3)=3,50$ ;  $p=0,12$ , drogtömeg, 2020, A30:  $t(3)=0,43$ ;  $p=0,70$ ).



**10. ábra:** *A Calendula officinalis* L. frisstömeg és szárztömeg (g/m<sup>2</sup>) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

A körömvirágban felhalmozódó legfontosabb biológiailag aktív anyagok (karotinoidok és flavonoidok) akkumulációjára vonatkozóan összességében az árnyékolás kedvező hatással bírt, bár ezek közül csak a 2020 évi karotinoid-tartalom emelkedés bizonyult szignifikánsnak ( $t(2)=10.09$ ;  $p<0,05$ ) a 30% csökkent fényellátás hatására (11. ábra)

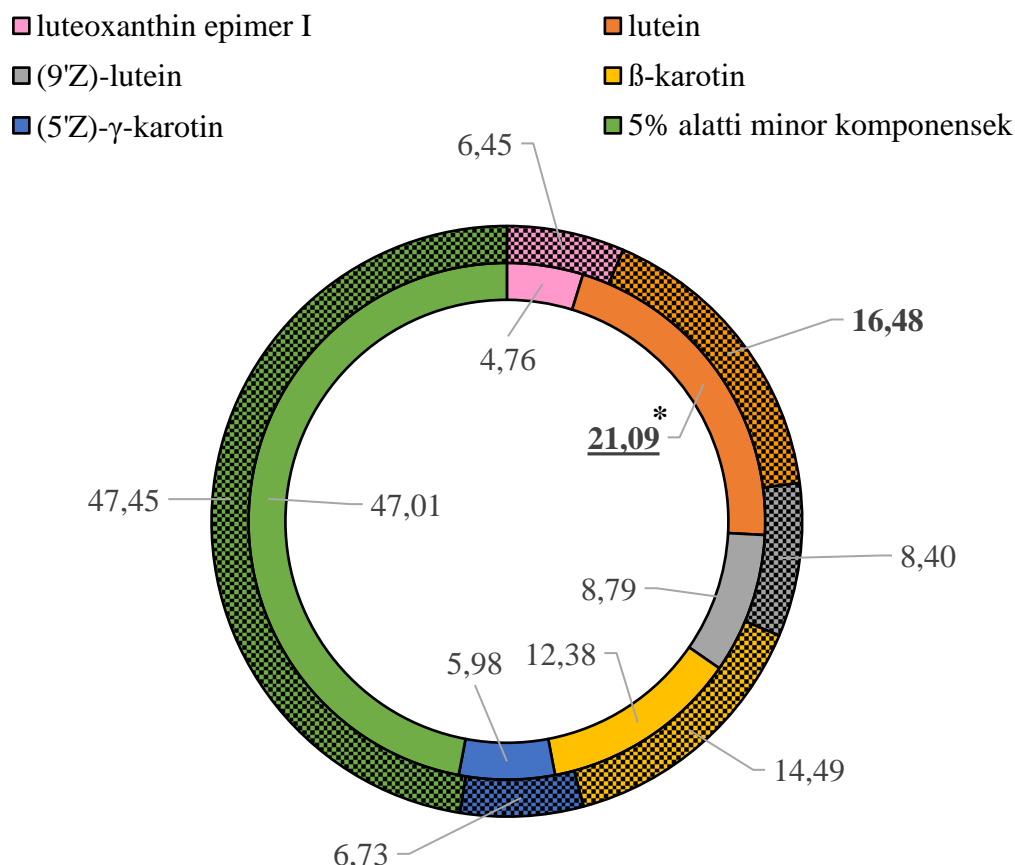


**11. ábra:** *A Calendula flos sine calycibus* összes karotinoid-tartalom (%) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)



A körömvirágdrogban (*Calendulae flos sine calycibus*) felhalmozódó karotinoidok összetételét is vizsgáltuk a 2019. és a 2020. években. Mindkét évben huszonegy karotinoid komponenst azonosítottunk (20. táblázat), amelyek közül a 2019. évben öt komponens-, majd a 2020. évben három komponens volt jelen 5 %-nál nagyobb részarányban (12. és 13. ábra). A főbb (5% feletti) komponensek közül a 2019. évben, az 50% árnyékezelés hatására egyedül a lutein esetén figyeltünk meg statisztikailag szignifikáns változást ( $p < 0,05$ ), amely változás negatív irányú volt, tehát az árnyékban nőtt növények drogjának kivonatában csökkent a lutein mennyisége (12. ábra).

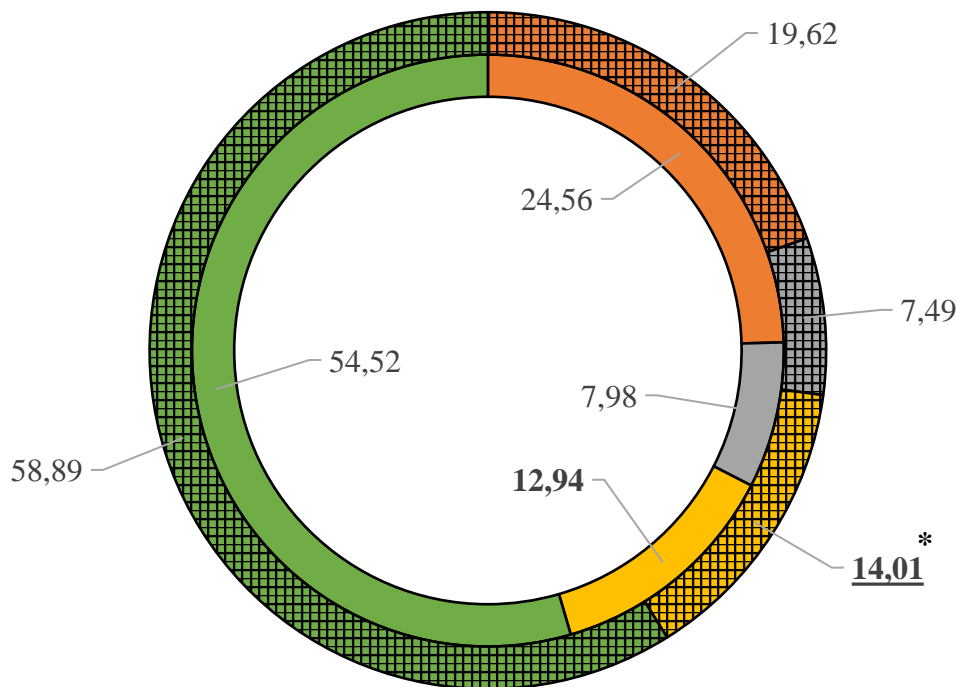


**12. ábra:** A *Calendula flos sine calycibus* karotinoid-összetételének alakulása 50% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A sűrű pepita kitöltés az 50% árnyékezelést jelöli.)

A 2020. évben a β-karotin részaránya (%) szignifikánsan ( $p < 0,001$ ) nőtt a 30% árnyékezelés hatására a virágdrog kivonatában (13. ábra). A 2019. évben az A50 kezelés hatására is szinte megegyező nagyságrendbeli és tendenciózus változás ment végbe a β-karotin előfordulásában, azonban akkor a statisztikai értékelés szerint ez nem volt szignifikáns ( $p = 0,334$ ) (20. táblázat).

■ lutein   
 ■ (9'Z)-lutein   
 ■ β-karotin   
 ■ 5% alatti minor komponensek



**13. ábra:** A *Calendula flos sine calycibus* karotinoid-összetételének alakulása 30% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2020. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A kis rácsos kitöltés a 30% árnyékezelést jelöli.)

A karotinoid összetétel vonatkozásában az egyes komponensek árnyékezelés hatására bekövetkező, egymáshoz (kezelt - kontroll) viszonyított szignifikáns változásán felül azt is vizsgáltuk, hogy melyek azok a komponensek, amelyeknek a változása a teljes karotinoid-összetétel tekintetében is szignifikánsan relatív változást mutat. E vizsgálatot kompozíció analízissel végeztük, amelyben az adott komponenshez tartozó kontrollnál és kezelésnél mért értékeket nem csak önmagukban vetettük össze, hanem az összes vizsgált komponens változásának függvényében is értékeltük, amellyel arra kaptunk választ, hogy az eltérő összetételű karotinoid kivonatok minőségét, mely komponensek változása befolyásolta szignifikánsan.

**20. táblázat:** *Calendula flos sine calycibus* teljes detektált (HPLC) karotinoid-összetételének alakulása 30% (A30)- és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. évben a páronkénti összehasonlítás (Stud t) és a kompozíció analízis (komp an) által meghatározott szignifikancia értékekkel

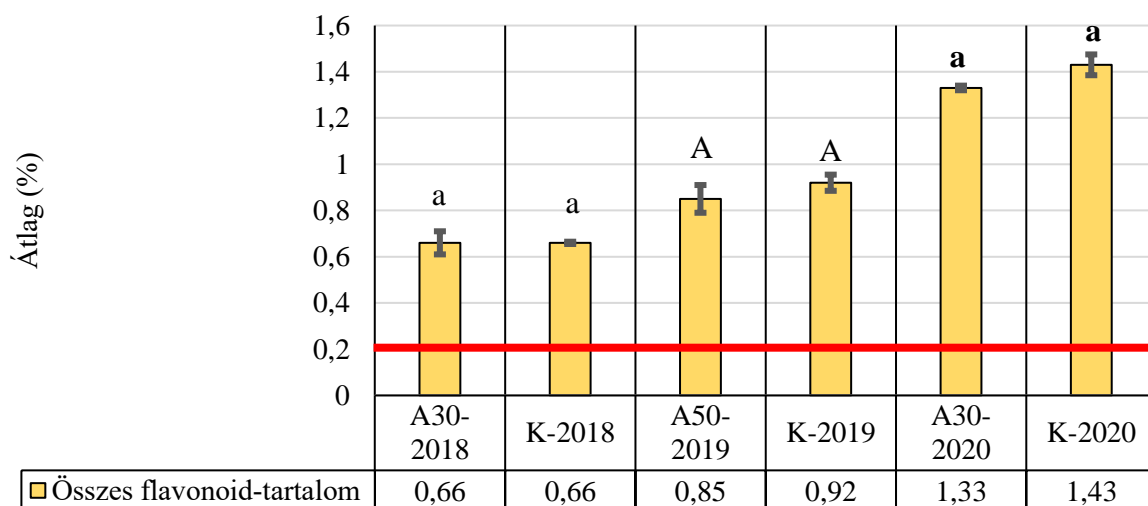
Karotinoid komponensek	Átlag (%) ± szórás		Szignifikancia		Átlag (%) ± szórás		Szignifikancia	
	A50-2019	K-2019	Stud t	kompan	A30-2020	K-2020	Stud t	kompan
<u>Luteoxanthin epimer I.</u>	6,45 ± 0,22	4,76 ± 1,16	0,913	0,310	4,33 ± 0,38	4,18 ± 1,82	0,091	0,060
<b>Luteoxanthin epimer II.</b>	2,2 ± 0,24	1,4 ± 0,19	0,897	0,178	1,36 ± 0,23	1,34 ± 0,09	0,064	<b>0,005</b>
<b>Lutein</b>	16,48 ± 2,25	21,09 ± 0,84	<b>0,044</b>	0,706	19,62 ± 1,6	24,56 ± 0,41	0,123	<b>0,039</b>
Zeaxanthin	2,05 ± 0,08	4,15 ± 0,93	<b>0,020</b>	0,142	2,85 ± 0,09	4,18 ± 0,25	0,057	<b>0,013</b>
<u>(9'Z)-Lutein</u>	8,4 ± 0,3	8,79 ± 0,07	0,430	0,207	7,49 ± 0,5	7,98 ± 0,37	0,190	0,325
<b>(9Z)-Zeaxanthin</b>	3,3 ± 0,14	3,76 ± 0,1	0,496	0,235	3,26 ± 0,26	3,49 ± 0,22	<b>0,005</b>	0,051
<b>(9Z)-ismeretlen</b>	4,75 ± 0,39	5,57 ± 0,12	0,790	0,126	4,04 ± 0,19	3,88 ± 0,73	<b>0,036</b>	0,053
β-karotin 5,6-epoxid	1,62 ± 0,15	1,2 ± 0,74	0,279	0,693	1,84 ± 0,59	2,33 ± 0,01	0,358	0,371
<b>(9Z)-ismeretlen 2</b>	0,95 ± 0,24	0,9 ± 0,37	<b>0,040</b>	0,073	0,07 ± 0,06	0,26 ± 0,1	0,897	0,808
<b>(13Z)-β-karotin</b>	0,98 ± 0,38	1,03 ± 0,44	<b>0,016</b>	<b>0,042</b>	0,24 ± 0,16	1,06 ± 0,04	0,925	0,824
α-karotin	1,8 ± 0,2	1,76 ± 0,18	0,715	0,840	1,55 ± 0,42	1,79 ± 0,55	0,782	0,936
<b>β-karotin</b>	14,49 ± 0,48	12,38 ± 0,46	0,334	0,076	14,01 ± 1,8	12,94 ± 0,36	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,049</b>
(9Z)-β-karotin	1,33 ± 0,54	1,24 ± 0,47	0,500	0,269	1,82 ± 0,82	1,43 ± 0,03	0,872	0,874
δ-karotin	1,68 ± 0,35	2,1 ± 0,07	0,115	0,895	2,01 ± 0,21	2,37 ± 0,06	0,187	0,103
(5'Z)-δ-karotin	3,46 ± 0,17	3,91 ± 0,39	0,133	0,277	2,9 ± 0,23	3,15 ± 0,07	0,260	0,253
(Z)-δ-karotin epimer III.	0,21 ± 0,06	0,28 ± 0,06	0,381	0,193	0,76 ± 0,88	0,2 ± 0,02	0,346	0,249
(Z)-δ-karotin epimer IV.	0,67 ± 0,24	0,67 ± 0,04	0,390	0,159	1,29 ± 1,5	0,36 ± 0,03	1,000	0,785
<b>γ-karotin</b>	3,64 ± 0,16	3,1 ± 0,14	0,965	0,233	3,14 ± 0,99	3,12 ± 0,09	<b>0,004</b>	<b>0,036</b>
<u>(5'Z)-γ-karotin</u>	6,73 ± 0,36	5,98 ± 0,23	0,085	0,425	2,95 ± 0,58	4,02 ± 0,1	0,091	0,219
<b>(Z)-likopin</b>	2,24 ± 0,58	1,16 ± 0,03	<b>0,038</b>	0,130	0,33 ± 0,07	0,54 ± 0,04	0,084	<b>0,016</b>
Likopin	0,62 ± 0,08	0,68 ± 0,03	0,954	0,818	0,47 ± 0,44	0,49 ± 0,01	0,245	0,250
(5Z)-likopin	3,13 ± 0,11	3,13 ± 0,09	0,198	0,434	1,27 ± 0,45	1,74 ± 0,07	1,000	0,843

**(Jelmagyarázat:** A félkövér formázás a kezelés hatására szignifikánsan változást jelöli. Az aláhúzott formázás az 5% részarány fölötti főkomponenseket jelöli.)

A 2019. évben az A50 kezelés esetén a lutein annak ellenére sem változtatott a teljes karotinoid kivonat minőségi összetételén szignifikánsan ( $p=0,706$ ), hogy a kezelt és kontroll

mintákban lévő mennyisége szignifikánsan különbözött. Ezzel szemben a 2020. évben az A30 kezelés esetén a lutein relatív arányának változása annak ellenére is szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) befolyásolta a karotinoid kivonat minőségét, hogy szignifikáns mennyiségi változást nem detektáltunk ( $p = 0,123$ ) a kezelt és a kontroll kivonatok lutein-tartalma (%) között. Tehát, bár nem egyformán szignifikáns az árnyék hatása a komponens páronkénti (kezelt – kontroll) összehasonlításában és a teljes kompozícióra vonatkoztatott változás szempontjából, az azonban egyértelműen látszik, hogy az árnyék kedvezőtlen hatással van a lutein bioszintézisére, hiszen az árnyék hatására fellépő lutein csökkenés nagyságrendje hasonló léptékű mindkét évben. A  $\beta$ -karotin komponens esetén a 2020. évben a két statisztikai megközelítés eredménye egy irányba mutatott, mert ahogy a kezelt és kontroll kivonatokban mért részarány alapján szignifikánsan eltért a komponens mennyisége, úgy a kompozíció analízis értelmében a teljes összetételben a relatív aránya is szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) nagyobb volt az árnyékolt mintában, mint a kontrollban, amellyel befolyásolta a kivonat teljes minőségi összetételét.

Az összes flavonoid-tartalom minden parcellán elérte a gyógyszerkönyvi elvárást (0,4%) (Ph. Hg VIII.), továbbá szignifikáns eltérés egyik évben egyik kezelés hatására sem mutatkozott (14. ábra), amelyet rendkívül fontos eredményként tartunk számon, mert ez bizonyítja, hogy árnyékos termelési rendszerben történő körömvirágtermesztés esetén is reális termelési cél lehet a gyógyszerkönyvi minőségű drog előállítása.



**14. ábra:** A *Calendula flos sine calycibus* összes flavonoid-tartalom (%) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékkezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

**(Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek. A vízszintes vörös vonal a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv által előírt minimális flavonoid-tartalmat jelöli.)

A 2021. évben Kooperatív Doktori Program keretében vizsgáltuk a *Calendula officinalis* L. további beltartalmi értékeinek alakulását 30% árnyékkezelés hatására. Az árnyék negatívan hatott a virágok összes polifenol-tartalmára, mert árnyékban (54,05 mg/100g) csupán harmada annyi polifenolos vegyület akkumulációja ment végbe, mint a kontroll területen (140,3 mg/100 g). A legnagyobb különbség a neoklorogénsav felhalmozódásában figyelhetők meg, ahol az árnyékolt állomány átlagos értéke ( $35 \pm 3,2$  mg/100 g) jelentősen alulmaradt a kontroll állomány

átlagos értékétől ( $114 \pm 8,4$  mg/100 g). Emellett a 30% árnyékkézelés hatására a további 1 mg/100 g koncentrációt meghaladó komponensek közül a klorogénsav (A30-2021:  $4,58 \pm 0,41$ ; K-2021:  $6,20 \pm 0,48$ ), a rutin (A30-2021:  $8,95 \pm 0,55$ ; K-2021:  $13,9 \pm 1,2$ ) és a sziringinsav (A30-2021:  $1,04 \pm 0,05$ ; K-2021:  $0,932 \pm 0,101$ ) koncentrációja is enyhén csökkent.

A karotinoidok növényekben és mikroorganizmusokban szintetizálódó tetraterpén anyagszertermékek, amelyeket az állati és emberi szervezet csak külső forrásból tud biztosítani. Számos kedvező biológiai hatással rendelkeznek, így a növényi termékek karotinoid-tartalma és összetétele kiemelt jelentőséggel bír (BRITTON 1995; OLSON és KRINSKY 1995). A 2013. évig már több mint 750 különböző karotinoid molekulát izoláltak a kutatók, amelyek közül csupán hatot tud az emberi szervezet adszorbeálni és metabolizálni:  $\alpha$ - és  $\beta$ -karotin, likopin,  $\beta$ -kriptoxantin, zeaxantin és lutein (RAMAWAT és MERILLON 2013; BRITTON és KHACHIK 2009). A karotinoidok a növény életében széleskörű szerepet játszanak a fotoszintézisben (DOMONKOS *et al.* 2013), azonban a pontos mechanizmusok, amelyek kontrollálják a karotinoidok akkumulációját nagyrészt feltáratlanok (TANAKA *et al.* 2008). A körömvirágdrog karotinoid-tartalmának alakulását a szakirodalom alapján számos tényező befolyásolja, úgy, mint a fajta, a virágzat színe, a termőhely, a betakarítás időpontja, a talaj tápanyag összetétele, vagy a hőmérséklet (SAUSSERDE és KAMPUSS 2014). Ezen eredmények sorát egészítik ki saját eredményeink, amelyek szerint az 50% árnyékkézelés nem befolyásolja, míg a 30% árnyékkézelésre enyhe karotinoid-akkumuláció növekedéssel reagál a *Calendula officinalis* L. ANDREEVA (1961) eredményei szerint a sötét narancsszínű körömvirágok akár 1,5% karotinoid-tartalommal is rendelkezhetnek. RAAL *et al.* (2016) szerint Észtországból termesztett különböző körömvirág genotípusok összes karotinoid-tartalma 0,9-2,4% között mozgott, miközben összes flavonoid-tartalma 0,8-1,7% között, amely eredmények párhuzamban állnak az általunk megfigyelt eredményekkel: összes karotinoid-tartalom: 1,38%-2,43%; összes flavonoid-tartalom: 0,66-1,43% (11. és 14. ábra). KISHIMOTO *et al.* (2005) felmérése szerint a  $\beta$ -karotin és a lutein a legnagyobb arányban előforduló karotinoid komponensek a *Calendula officinalis* L. virágaiban, amely arány a  $\beta$ -karotin komponens esetén genotípus hatás függvényében 0,20-5,79% között változhat (PICCAGLIA *et al.* 1999). A  $\beta$ -karotin és lutein főkomponensként történő jelenlétét saját kísérleti eredményeink is egyértelműen megerősítik, azonban mind a  $\beta$ -karotin (12,38%-14,49%), mind a lutein (16,48%-24,56%) arányát a karotinoid-összetételben jelentősebbre mértük mindkét évben.

Hazai irodalmi források eddig a furanoid-oxidokat (luteoxantin, flavoxantin) tartották a körömvirágdrog főkomponenseinek (BAKÓ *et al.* 2002), kísérleti eredményeink szerint azonban úgy tűnik, hogy az általunk vizsgált tételek esetén a  $\beta$ -karotint és a luteint követően a lutein cisz izomere ((9'Z)-Lutein) a következő főkomponens a mennyiségi sorrendben (7,49%-8,79%), majd csak azt követik a luteoxantin I. epimere (4,18%-6,45%), majd a  $\gamma$ -karotin cisz izomere ((5'Z)- $\gamma$ -karotin) (2,9%-3,91%) (12. ábra). Prof. Dr. Deli József szóbeli közlése (2021) szerint kísérleti eredményeink további érdekessége, hogy a körömvirágdrog tartalmaz  $\gamma$ -karotint és  $\delta$ -karotint is, amely más virágdrogokban ritkaság. Utóbbi megfigyelés jelentőségét kiemeli, hogy a körömvirágdrog mintákban jelenlévő 5-cisz-karotinoidok ((5'Z)- $\delta$ -karotin; (5'Z)- $\gamma$ -karotin; (5'Z)-likopin)) természetes előfordulása a növényvilág ritkaságának számít, a körömvirágon kívül csak néhány faj képes előállításukra - s a körömvirágban történő bioszintézise sem feltárt még (Kishimoto *et al.* 2005). Mindezen eredmény egyértelműen jelzi a körömvirágdrog egyedi és különleges karotinoid-összetételének fontosságát, főként, ami a minor komponenseket illeti.

A  $\beta$ -karotin, lutein és likopin molekulák nagy részarányban vannak jelen számos nagy volumenben termesztett kertészeti növényben (paradicsom, sárgarépa) és azok feldolgozásiipari melléktermékeiben (DE ANDRADE LIMA *et al.* 2019), így ezen molekulák ipari előállítása nehezen elképzelhető, hogy miként lehetne gazdaságos perspektívája a körömvirágtermesztésnek. Mindazonáltal a növényvilágban ritkán előforduló minor komponenseket - 5-cisz-karotinoidek és a  $\gamma$ - és  $\delta$ -karotinok – természetes módon tartalmazó növényi alapanyagok és intermediér termékek előállítása jó innovációs lehetőséget tár a terület kutatói elé. Jelen kutatás legfontosabb eredményei, hogy gyógyszerkönyvi minőségnek megfelelő körömvirágdrog állítható elő árnyékos körülmények között is, valamint, hogy a minor karotinoidek komponensek termelődésére bizonyított módon nincs hatással az árnyékban történő körömvirágtermesztés (20. táblázat).

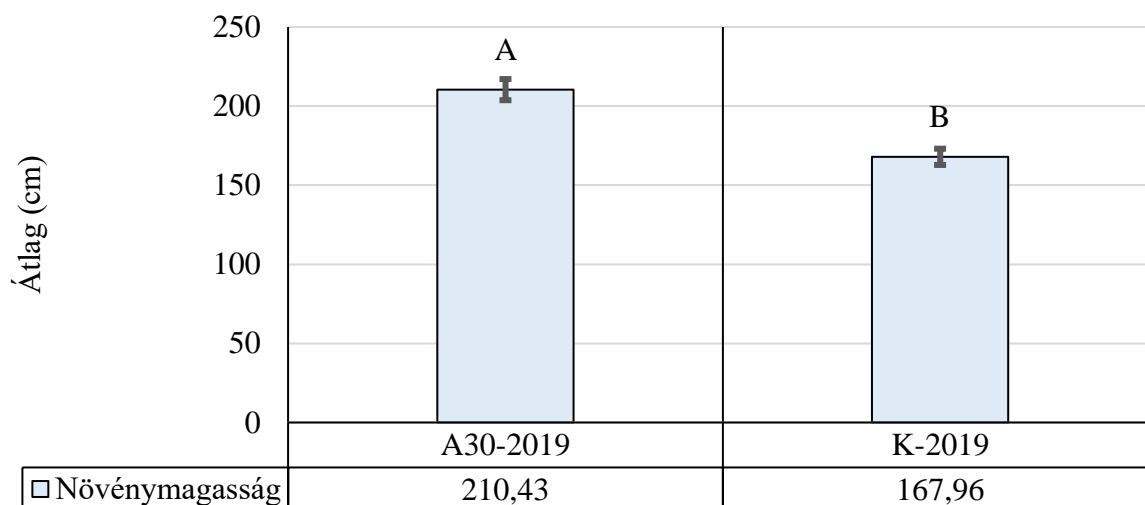
A Kooperatív Doktori Program keretében a körömvirág-termésekből extrahált zsírosolajat alkotó fő zsírsav-metil-észter komponensek alakulását is vizsgáltuk, ahol a fajban specifikusan előforduló calendulasav akkumulációja a területarány átlaga alapján növekedést mutatott a 30% árnyékezelés hatására (A30:  $48,97 \pm 1,59\%$ ; K:  $42,13 \pm 1,8\%$ ), miközben a második legnagyobb arányban jelenlévő komponens, a linolsav akkumulációja esetén enyhe csökkenést tapasztaltunk (A30:  $25,14 \pm 0,76\%$ ; K:  $23,28 \pm 3,09\%$ ). DULF *et al.* (2013) eredményei szerint a körömvirág-termésekből extrahált zsírosolaj több mint 50% calendulasavat tartalmaz, amely a növény érésével párhuzamosan a linolsavból jön létre deszaturáció útján.

A *Calendula officinalis* L. produkcióját a kísérleti körülmények között alig befolyásolta a fényellátás. Az árnyékolás következtében enyhe megnyúláson kívül (A50 kezelés esetén) sem hozamokban, sem pedig a drog minőségét meghatározó hatóanyagok akkumulációjában nem jelentkezett kedvezőtlen csökkenés a teljes fényen nevelt növényekhez képest. Sőt mi több, a 2020. évben 30% árnyékezelés hatására az összes karotinoidek-tartalom szignifikáns növekedést mutatott, valamint két karotinoidek főkomponens - a lutein és a  $\beta$ -karotin – esetén megfigyeltünk egy árnyékhatásra bekövetkező, tendenciózus változást, mely szerint az árnyék hatására a bioszintézis vélhetően a  $\beta$ -karotin termelődés irányába hat a lutein termelődés hátrányára. Kutatásaink egyik legfontosabb eredményeként tartjuk számon, hogy a gyógyszerkönyvi minőséget elsődlegesen meghatározó összes flavonoid-tartalom tekintetében szignifikáns eltérés egyik évben, egyik kezelés hatására sem mutatkozott, így meggyőződéssel állíthatjuk, hogy gyógyszerkönyvi minőségnek megfelelő körömvirágdrog állítható elő félárnyékos körülmények között. További fontos eredményünk, hogy a növényvilágban ritkán, de a körömvirágban előforduló minor karotinoidek komponensek (5-cisz-karotinoidek és a  $\gamma$ - és  $\delta$ -karotinok) termelődésére bizonyított módon nincs hatással az árnyékban történő körömvirágtermesztés. Eredményeink részben ellentmondanak a szakirodalomban fellelhető állításnak, mely szerint a körömvirág kifejezetten fényigényes faj (GILMAN és HOWE 1999), hiszen úgy tűnik, hogy egyben nagyfokú adaptációs képességgel is rendelkezik és a csökkent fényellátás - akár 50% mértékig - nem okoz jelentős stresszhatást.

Összességében eredményeink szerint a *Calendula officinalis* L. jó közteskultúra lehet agrárerdészeti termesztésben a mennyiségi és a minőségi termesztési mutatók szempontjából egyaránt. További léptéknövelt, alkalmazott szabadföldi vizsgálatok beállítását javasoljuk valós agrárerdészeti körülmények között melyekben tesztelhető lesz, hogy más talaj és hőmérsékleti viszonyok között is bizonyítható-e a nagyfokú árnyéktolerancia és adaptációs képesség.

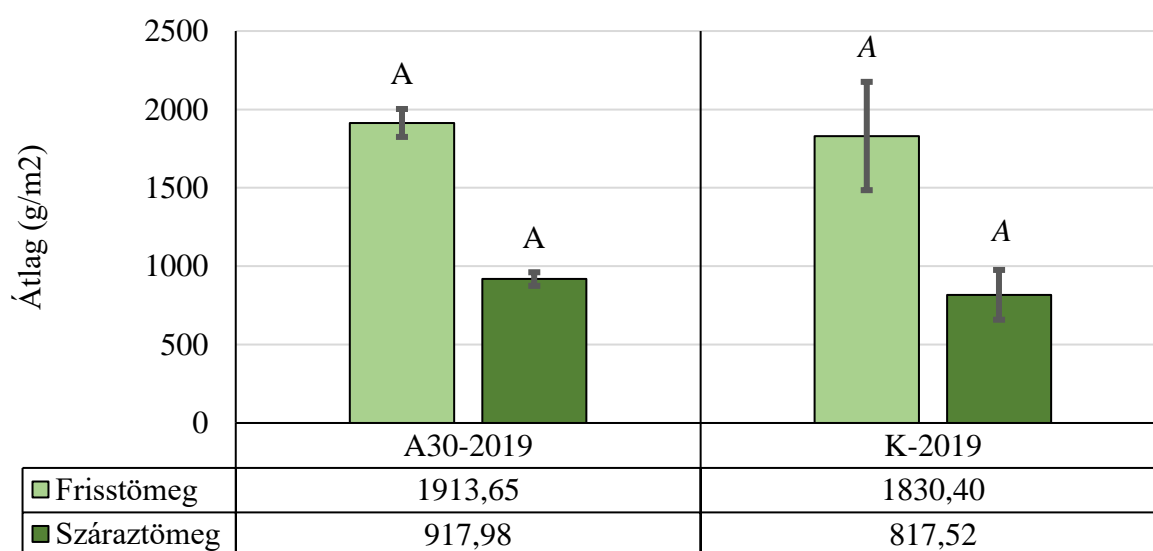
### 5.3.3. *Cannabis sativa* L.

A kender esetében az árnyékhatásnak kitett növények szignifikánsan magasabbra nőttek, mint a kontroll terület növényei ( $t(45)=12,24$ ;  $p<0,001$ ) (15. ábra).



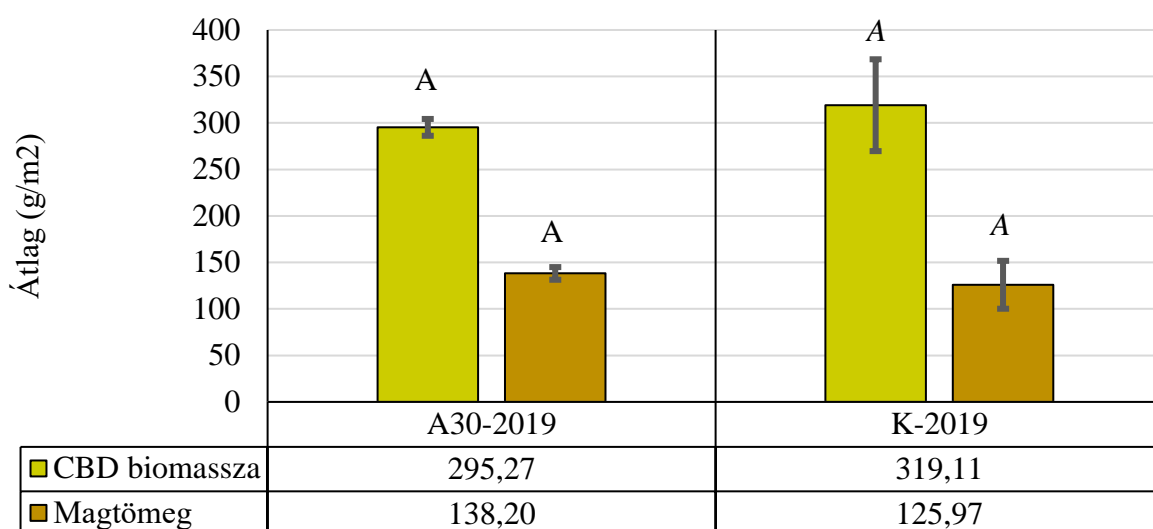
**15. ábra:** A *Cannabis sativa* L. növénymagasság (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben (Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

Emellett egyetlen vizsgált tulajdonság esetén sem találtunk szignifikáns különbséget az árnyékban nevelt és kontroll növények között (magtömeg:  $t(10)=0,56$ ;  $p=0,59$ ; zsírosolaj-tartalom:  $t_w(2,2)=2,57$ ;  $p=0,11$ , frisstömeg:  $t_w(5,66)=0,29$ ;  $p=0,79$ , száraztömeg:  $t_w(5,74)=0,75$ ;  $p=0,48$ , CBD biomassa:  $t_w(5,33)=0,58$ ;  $p=0,58$ ) (16. 17. és 18. ábra).



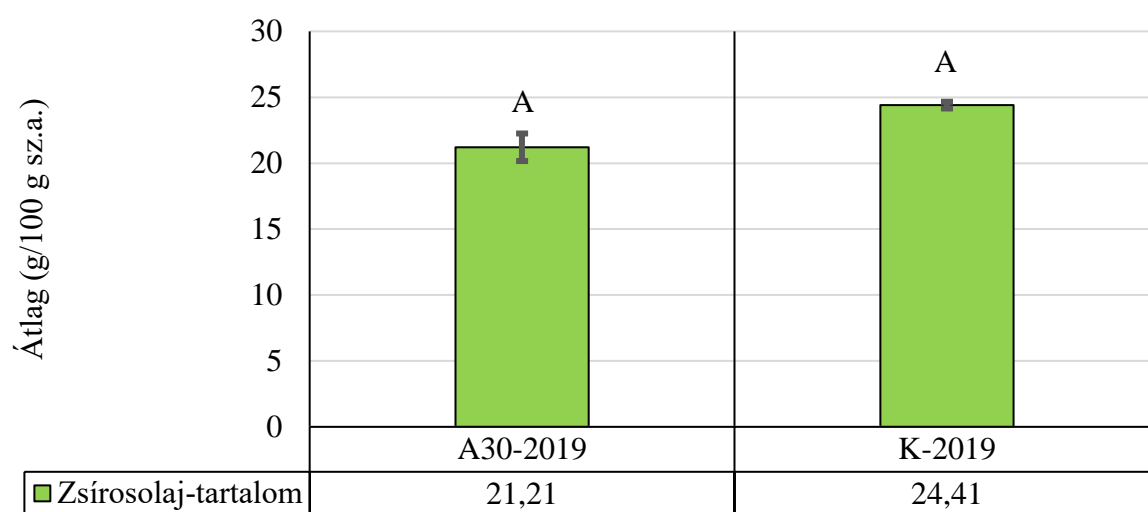
**16. ábra:** A *Cannabis sativa* L. frisstömeg ( $g/m^2$ ) és száraztömeg ( $g/m^2$ ) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)



**17. ábra:** A *Cannabis sativa* L. CBD biomassa tömeg ( $\text{g/m}^2$ ) és magtömeg ( $\text{g/m}^2$ ) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)



**18. ábra:** A *Cannabis sativa* L. magjának zsírosolaj-tartalom ( $\text{g}/100 \text{ g s.a.}$ ) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

A kendermagolaj nem csak a többszörösen telítetlen zsírsavak gazdag forrásának tekintendő, hanem kiemelendő azok ideális aránya is - (3:1) linol- és linolénsav (DEFERNE és PATE 1996). Multidiszciplináris kutatások számolnak be róla, hogy az ember evolúciós fejlődése során a 3:1 – 1:1  $\omega 6:\omega 3$  arány közötti étrenden élt, miközben a nyugati civilizáció emberének



étrendjében ez az arány mára eltolódott a 15:1 irányába, amelyet számos civilizációs betegség patogenezisének egyik eredőjeként lehet számon tartani (SIMOPOULOS 2006). Éppen ezért fontos egészségmegőrzési kérdés ennek az aránynak a csökkentése, amely cél eléréséhez a kendermagolaj fogyasztása jó ételmi forrás. A 'Kompolti' kenderfajta nagy olajsav-tartalma hátrányos tulajdonság egyéb fajtákkal történő összehasonlításban, azonban a  $\gamma$ -linolénsav-tartalma kiemelendő (CALLAWAY 1996). A kendermagolaj ideális  $\omega 6:\omega 3$  aránya melletti nagy értéke az olyan minor zsírsavak jelenléte, mint a  $\gamma$ -linolénsav, vagy a kenderben is ritkán előforduló eikozánsav. A kísérletben résztvevő 'KC Dóra' fajtában detektált gondoinsav, mint az eikozánsav cisz-izomerének jelenléte különlegességnek számít az egyéb kenderfajtákhoz mérten is (MÖLLEKEN és THEIMER, 1997). A kendermagolaj zsírsav-összetételének változásában nagyságrendi különbségeket nem állapítottunk meg, fontos ugyanakkor elmondani, hogy a vizsgálatokat csak egy biológiai mintán végeztük, ezért statisztikai összevetést nem alkalmaztunk (20. táblázat).

**20. táblázat** A kendermagolaj detektált (GC-FID) zsírsav-összetétel átlag és szórás értékeinek alakulása a 30% árnyékkézelés (A30) hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

Zsírsavak	Telítettség	A30-2019 (% m/m)	K-2019 (% m/m)
Palmitinsav	Telített	7,17 ± 0,68	6,60 ± 0,14
Sztearinsav		2,44 ± 0,10	2,65 ± 0,02
Olajsav	Egyszeresen telítetlen ( $\omega$ -9)	11,92 ± 0,12	11,50 ± 0,07
Linolelaidinsav	Többszörösen telítetlen ( $\omega$ -6)	0,86 ± 0,008	0,02 ± 0,002
Linolsav	Többszörösen telítetlen ( $\omega$ -6)	56,00 ± 0,79	57,43 ± 0,72
$\gamma$ -linolénsav	Többszörösen telítetlen ( $\omega$ -6)	1,60 ± 0,06	2,16 ± 0,02
$\alpha$ -linolénsav	Többszörösen telítetlen ( $\omega$ -3)	15,87 ± 0,16	17,53 ± 0,05
Arachidinsav	Többszörösen telítetlen ( $\omega$ -6)	0,51 ± 0,02	0,72 ± 0,01
Gondoinsav (cisz 11- eikozénsav)	Egyszeresen telítetlen ( $\omega$ -9)	0,86 ± 0,18	0,91 ± 0,03

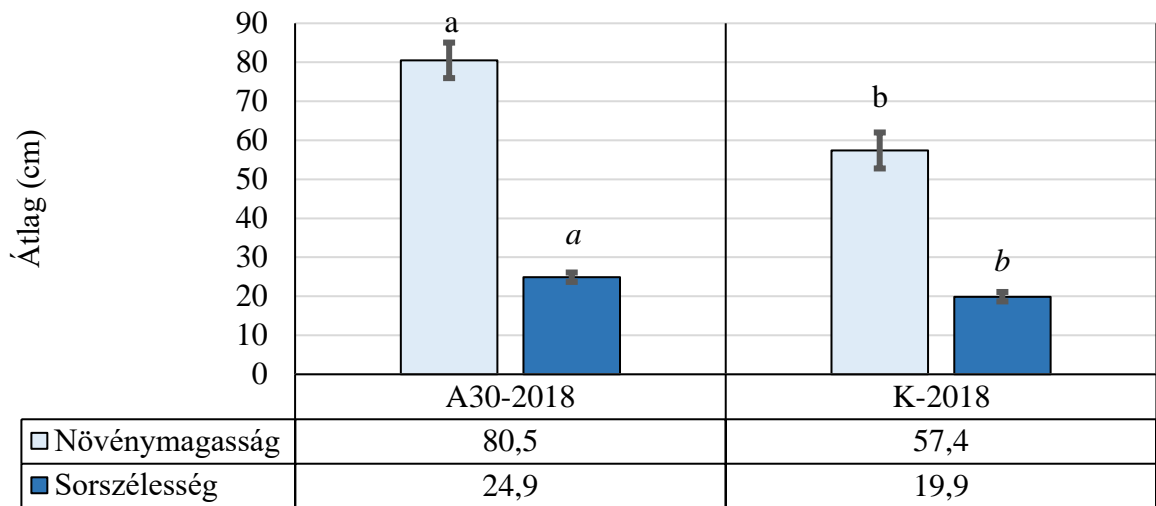
Mind a fiatalkori növekedés-, a növekedés nagy periódusa-, s mind pedig a virágzás fenofázisaiban kifejezett különbséget tapasztaltunk: az enyhe árnyék (30%) hatására a kezelt állomány láthatóan nagyobb ütemben fejlődött, és jelentősen nagyobb fitomasszát termelt. Az árnyékolt állomány egyedei között nagyobb volt a fényért folytatott versengés, miközben jobb vízgazdálkodás jellemezte az árnyékolt parcellák talaját, mely tényezők együtt járulhattak hozzá a növénymagasság szignifikáns növekedéséhez. A termésérés fenofázisában gyűjtött minták alapján sem a frisstömeg, sem a száraztömeg esetén nem folytatódott a főként a vegetatív szakaszban tapasztalt nagyobb fitomassza-termelődés (15. ábra). A kísérletben fémzárolt vetőmagtételből származó 'KC Dóra' kenderfajtát vetettünk, mely egy kései, szabadelvirágzású, egylaki fajta (Anonymus 4). Az állomány a fajtaleírással ellenkezően - az ipari kender program észak-magyarországi mintaterületeinek tapasztalataival megegyezően - kísérletünkben sem mutatott egylaki ivari típust (a hím egyedek aránya 38% volt), sem homogén állományképet. A heterogén állomány problémáját kísérleti szempontból a mintavételezés módszerével orvosoltuk, azonban termesztési szempontból egyértelmű kihívást és egyben további nemesítési irányvonalat jelöl ki a fajtától ténylegesen elvárt homogenitás.

Hazánkban jelenleg is kialakulóban van a kettős célú hasznosítás, mely a fitokannabinoidokra mutató piaci igénytel kieeészülvé hármás célú hasznosításra történo agrotechnológiai fejlesztési és nemesítési igényt formál. A 'KC Dóra' kenderfajta mindezen célokna megfelelő alapanyag lehet, mert jó maghozammal, kedvező szárhozammal és a fitokannabinoid profil szempontjából a vonatkozó törvényi előírások betarthatóságát biztosító mennyiségi és minőségi paramétereivel rendelkezik. Kísérletünkben a megtermett magtömeg tekintetében statisztikailag szignifikáns különbség nem volt kimutatható az árnyékolt és a kontroll állomány között (16. ábra), mely eredményt hangsúlyosabbá tesz egy 13 európai kenderfajtaal Colorado államban (USA) végzett kísérlet, mely 27 kg/ha és 2366 kg/ha közötti termésmennyiségről számol be a különböző genotípusok különböző agroklímátikus viszonyok között végrehajtott termesztési kísérletében. Értelmezésük szerint a megfigyelt szélsőségeket a genetikai háttér, a környezet és a kettő interakciója közösen okozták (CAMPBELL *et al.* 2019). 51 kender genotípus vizsgálata alapján a zsírsolaj-tartalom 26,25% és 37,5% között változott (KRIESE 2004), mely értéknek csupán az alsó határát közelítik meg a jelen kísérletünkben tapasztalt eredmények (21,21 – 24,41%, 17. ábra). Ebből arra következtetünk, hogy akár az évjárat, akár a genetikai adottságok jobban befolyásolják a zsírsolaj-tartalmat, mint a 30% árnyékezelés, mely nem okozott szignifikáns különbséget a zsírsolaj akkumulációjában. A maghozamnál gyengébb genetikai meghatározottság- és erősebb környezeti tényezőknek való kitettség jellemzi a frisstömeg és a növénymagasság alakulását, s mindezek a rostcélú termesztésnél elsődleges szempontok (CAMPBELL *et al.* 2019).

Kísérletünk eredményeképpen a 30% árnyék hatására a növények szignifikánsan nagyobb magasságot értek el, valamint a termésképzés fenofázisáig az árnyékolt növényállomány fitomassza produkciója meghaladta a kontrollét, mely a rostcélú termesztés szempontjából kiemeli az agrárerdészeti termesztés lehetőségét. A magok beérése sem az irodalmi adatok, sem tapasztalataink alapján nem történik egyidejűleg, ami a gépi betakaríthatóság kihívásait bővíti, s az ilyen irányú szelekció is a későbbi nemesítési irányok részét kell, hogy képezze (SMALL 2017). A kender, mint multifunkciós-, nagy szén-dioxid megkötőképességű, nagy haszonnal termesztethető növény agrárerdészeti rendszerben történő termesztését első kísérletünket követően is perspektivikusnak találjuk, ezért további alkalmazott léptéknövelt kísérletek beállítását javasoljuk.

#### **5.3.4. *Carum carvi* L.**

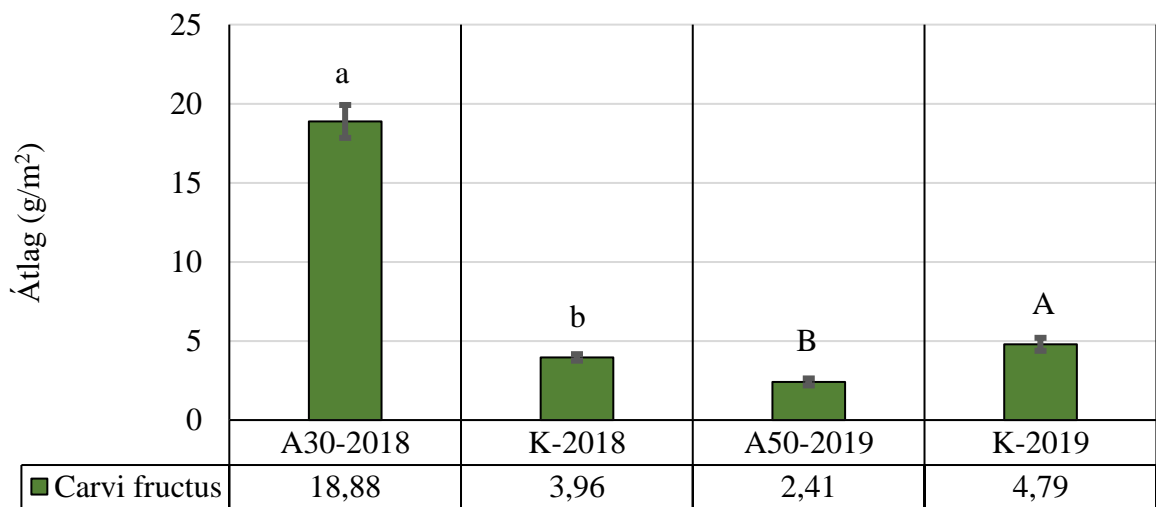
A kömény tekintetében csak 2018. évben sikerült magasság és szélesség adatokat felvételezni, mert a 2019 évi 50% árnyékezelés hatására a kezelt állomány olyan mértékben dőlt meg, mely a mérést nem tette lehetővé. A 30% árnyékezelés hatására mind a növények magassága ( $t(9)=4,91$ ;  $p<0,001$ ), mind pedig szélessége ( $t(9)=5,00$ ;  $p<0,001$ ) szignifikánsan növekedett (19. ábra).



**19. ábra** A *Carum carvi* L. növénymagasság (cm) és sorszélesség (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

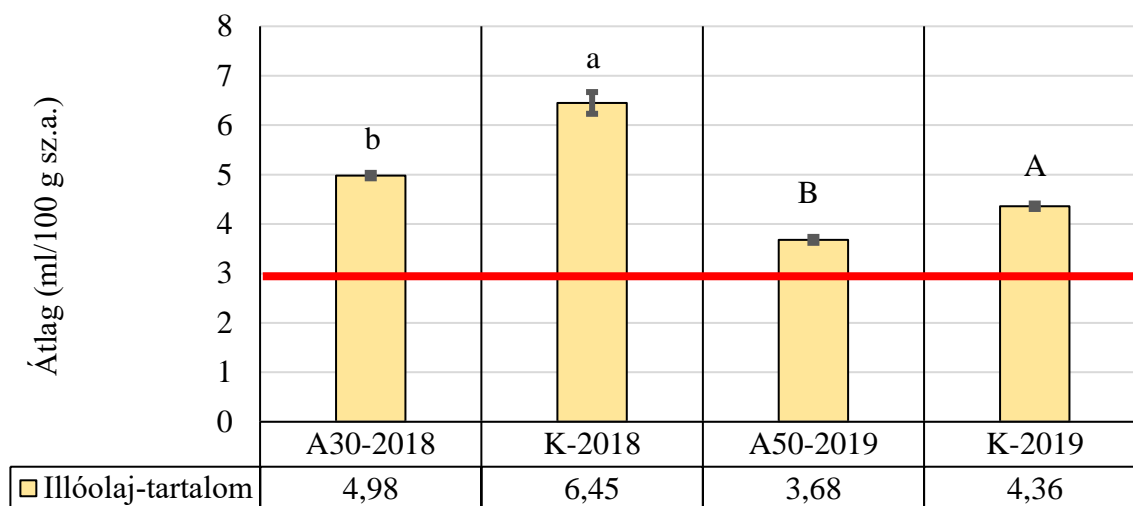
A drogtömeget mindkét évben felvételeztük. A 30% árnyékezelés szignifikáns ( $t(3)=13,46$ ;  $p<0,01$ ) drogtömeg növekedést okozott, azonban az 50% árnyékezelés hatására a drogtömeg szignifikánsan ( $t(3)=6,37$ ;  $p<0,05$ ), mintegy felére csökkent (20. ábra).



**20. ábra** A *Carvi fructus* tömeg ( $\text{g/m}^2$ ) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018. és 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

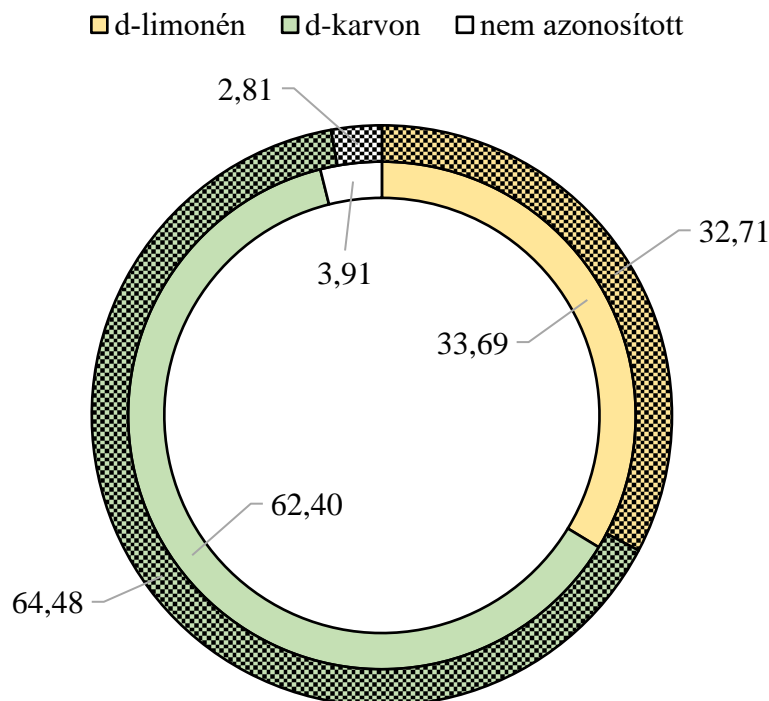
Minden árnyékezelés szignifikánsan negatívan hatott az illóolaj-akkumulációra ( $t(2)>6,70$ ;  $p<0,05$ ). A kísérlet körülményei és az alkalmazott fajta esetén azonban ez a negatív hatás sem eredményezte azt, hogy akár a 30% akár az 50% árnyékban nevelt állomány illóolaj-tartalma ne felelt volna meg a gyógyszerkönyvi minőségnek (3 ml/100g) (21. ábra).



**21. ábra:** *A Carvi fructus* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékkézelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018. és 2019. évben

**(Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek. A vízszintes vörös vonal a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv által előírt minimális illóolaj-tartalmat jelöli.)

A kömény illóolaj főkomponensei a d-karvon és a d-limonén, amelyek együttesen a köményolaj 95%-át alkotják. A d-karvon a termésérés fenofázisában alakul ki d-limonénből, ennek megfelelően a két komponens aránya negatív korrelációs viszonyban áll a növény fejlődése során (VALKOVSZKI és NÉMETH, 2011). Az ISO szabvány szerint az illóolaj kromatográfiai profilja alapján a köményolaj 50-63% d-karvont és 33-45% d-limonént kell, hogy tartalmazzon. Ennek az előírásnak történő megfelelést a kísérleti állomány illóolaj minősége csak a kontroll parcellákon érte el. Ugyanakkor az 50% árnyékkézelésnek nem volt statisztikailag szignifikáns hatása az illóolaj összetevők százalékos előfordulására sem a d-karvon ( $p=0,39$ ), sem pedig a d-limonén ( $p=0,66$ ) esetén (22. ábra). Ebből következően azt mondhatjuk, hogy a szabványnak történő megfelelés a kontroll növények esetén és a meg nem felelés az árnyékolt növények esetén statisztikai szempontból nem a kezeléshatásnak tulajdonítható, hanem pusztán a véletlen műve. Mindebből azt látjuk, hogy az ISO szabvány szerinti illóolaj minőség elérése a faj esetén alapvetően kihívást jelenthet, így a további agráreredészeti léptéknövelt kísérletek beállítása esetén javasoljuk a talajminőség, tápanyagutánpótlás és évjárat hatások agráreredészeti rendszerekben történő érvényesülésének vizsgálatait is olyan fajták – amennyiben ezt a jövőbeli fajtaválaszték meg fogja engedni - bevonásával, amelyek állandó fajtulajdonsága a megfelelő minőségű illóolaj-összetétel.



**22. ábra:** A *Carvi aetheroleum* összetételének alakulása 50% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A kis rácsos kitöltés a 30% árnyékezelést jelöli.)

A *Carum carvi* gabonatechnológiával, nagytáblás üzemméretben, jól gépesítve természetű gyógynövény, amelynek silvoarable (szántó és fák együttese) rendszerben történő termesztése perspektivikus lenne. A konyhakömény árnyékhatásra adott hozambeli válaszreakciója alapján kirajzolódik az a fényigény/árnyéktolerancia határsáv, amelynek mélyebb megismerésével a konyhakömény agrárerdészeti termesztéstechnológiája optimalizálható. A kísérleti területre jellemző humuszban szegény, könnyen kiszáradó, gyenge homoktalaj termőhelyi körülményei között a konyhakömény sokszoros hozamnövekedéssel reagált a 30% árnyékezelésre, mely jelenség feltehetően az árnyék indirekt hatásaival (hőmérséklet kiegyenlítés, evapotranszspiráció csökkentése) magyarázható. Az ennél nagyobb fényellátás csökkenés azonban már stresszhatásnak bizonyult, amire rendellenes megnyúlás és hajtásgyengülés, valamint termésnövekedés volt a reakció. Mindemellett a csökkent fényellátás 0,68-1,47%-kal alacsonyabb illóolaj-tartalmat eredményezett (21. ábra), ami összhangban van BOUWMEESTER *et al.* (1995) és más szerzők megállapításaival. A fajtától és a termesztési céltól függően azonban ez a csökkenés nem eredményez feltétlenül rossz drogmínőséget.

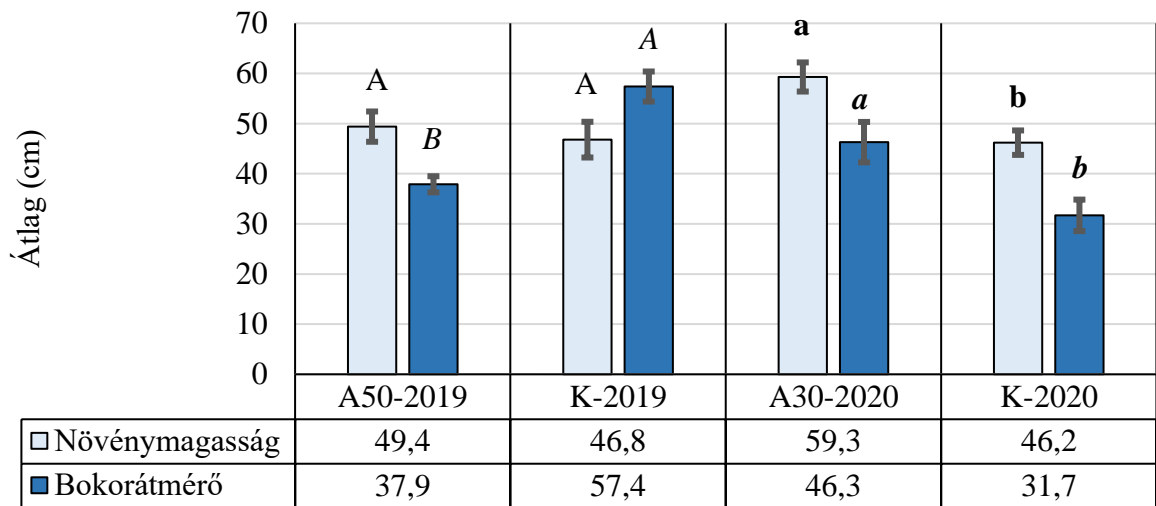
Az árnyékezelés hatását az illóolaj-összetételre, mint fontos minőségi paraméterre csak a 2019. évben vizsgáltuk. Fontos megfigyelésként tartjuk számon, hogy habár az 50% árnyékhatás minden vizsgált paraméterre negatív hatást gyakorolt, az illóolaj összetételt nem befolyásolta szignifikánsan. Mindez leginkább annak tulajdonítható, hogy a két főkomponens a d-limonén és a d-karvon arányának változását a termésérés determinálja, s amennyiben a termés érettsége a fő szempont a betakarítás idejének meghatározásában, úgy a kísérleti adatok értelmében az árnyékhatás nincs befolyással az illóolaj minőségére. VALKOVSKI és NÉMETH (2011)

eredményei szerint a növelt kálium kijuttatás növelheti az illóolaj-tartalmat, valamint a d-karvon arányát is az illóolajban. A d-limonén egy citrom illatú monoterpén, amely a citrusfélék illóolajainak egyik fő alkotója, felhasználói pedig a parfüm-, kozmetikai-, élelmiszer-, gyógyszer- és vegyipar (SUN 2007). Ipari felhasználása ugyan folyamatos növekedést mutat (INDULEKHA *et al.* 2017), desztillált köményolajból további diffúziós műveletek (rektifikálás) útján történő elválasztása azonban a citrusfélékből származó illóolajokból izolált d-limonén előállításához viszonyítva gazdaságilag nem versenyképes. A d-karvon kifejezetten a konyhakömény és a kerti kapor termésének illóolajára jellemző összetevő, előállítása azonban vegyipari és biotechnológiai úton is ismert, így az ugyancsak széleskörű alkalmazása (adalékanyag, növényvédőszer- és gyógyszerhatóanyag) ellenére köményolajból történő gazdaságos elválasztása a d-limonénhez hasonlóan nem perspektíva (BERNÁTH 2009; CARVALHO és FONSECA 2006).

A drog illóolaj-tartalmát szignifikánsan csökkentette mindkét árnyékezelés, az egyik esetben sem csökkent a gyógyszerkönyvi határérték alá, így félárnyékos körülmények között is természetű gyógyszerkönyvi minőségű drog. Habár a konyhakömény illóolajat alkotó komponensek izolálása gazdaságilag nem releváns, az elvárt illóolajminőségnek történő megfelelés továbbra is elsődleges és közös termelői és feldolgozó érdeke, mely illóolaj-összetétel minőségén sem a 30%-, sem pedig az 50% árnyékhatás nem változtat szignifikánsan. Egyik legfontosabb eredményünk továbbá, hogy a kömény esetén felmértük azt a fényigény/árnyéktolerancia határsávot, amely, mintegy ökológiai pufferrendszer, 30% árnyékot nyújtó termelési rendszer esetén új perspektívát jelenthet a gazdaságos köménytermesztésnek a mai rapszodikus éghajlati körülmények között. További konyhakömény agráreredészeti termesztését megalapozó projektek esetén – a tápanyagvizsgálati eredmények függvényében - érdemes lehet vizsgálni azt a kérdést, hogy a kálium trágyázás agráreredészeti körülmények között is alkalmas lehet-e a köményolaj minőségjavítására. Összességében tehát a konyhakömény kísérletek folytatását is javasoljuk léptéknövelt, szabadföldi körülmények között, tisztázandó az árnyékolás és egyéb ökológiai tényezők (allelópátia, vízért és tápanyagokért folytatott verseny, gyomkompetíció) kölcsönhatásait és az ökonómiai viszonyokat.

### **5.3.5. *Dracocephalum moldavica* L.**

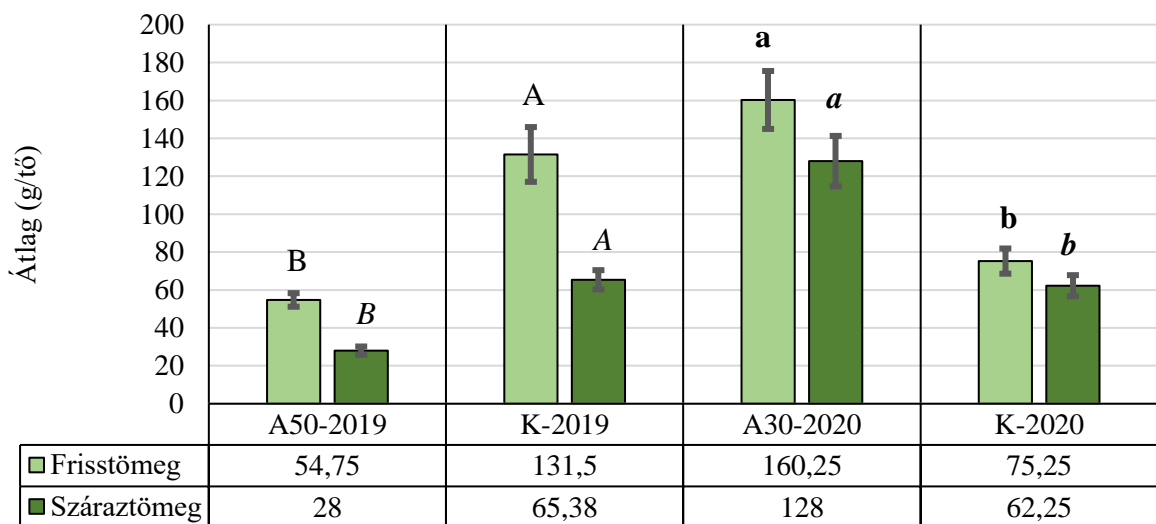
A 30% árnyékezelés hatására a sárkányfű növények szignifikánsan magasabbra ( $t(9)=4,17$ ;  $p<0,01$ ) és szélesebbre ( $t(9)=3,80$ ;  $p<0,01$ ) nőttek a kontrollhoz viszonyítva, miközben az 50% árnyékezelés a magasságot nem befolyásolta ( $t(9)=1,26$ ;  $p=0,24$ ), a horizontális kiterjedést azonban szignifikánsan ( $p<0,001$ ) csökkentette ( $t(9)=9,97$ ;  $p<0,001$ , 23. ábra).



**23. ábra:** *A Dracocephalum moldavica* L. növénytámagasság (cm) és bokorátmérő (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

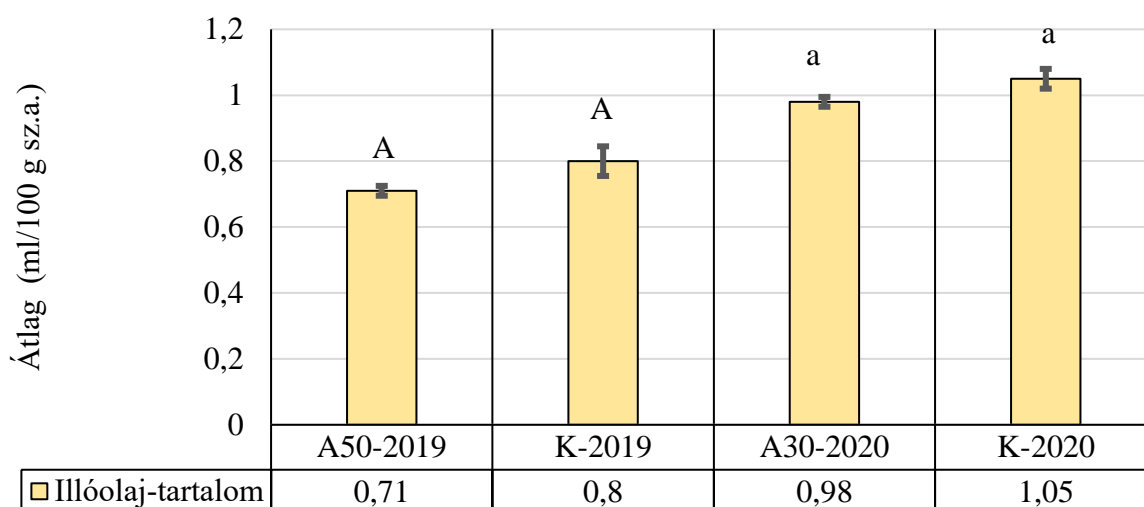
A 30% fényellátás csökkenés mind a frisstömeget ( $t(3)=5,44$ ;  $p<0,05$ ), mind a drogtömeget ( $t(3)=5,11$ ;  $p<0,05$ ) szignifikánsan a többszörösére növelte a fényen nevelt növényekhez képest (24. ábra). Mind a frisstömeg ( $t(3)=4,78$ ;  $p<0,05$ ), mind a drogtömeg ( $t(3)=5,51$ ;  $p<0,05$ ) viszont erősen csökkent 50% fényredukció mellett (24. ábra).



**24. ábra:** *A Dracocephalum moldavica* L. frisstömeg és szárastömeg (g/t) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

Az illóolaj-tartalmat az árnyékolás nem befolyásolta szignifikánsan ( $t(2) < 4,05$ ;  $p > 0,05$ ) sem az 50%-, sem pedig a 30% árnyékezelés évében (25. ábra).



**25. ábra:** A *Dracocephali herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

A *Dracocephali aetheroleum* összetételének értékelésekor két különböző szempontú tudományos kérdést vizsgáltunk:

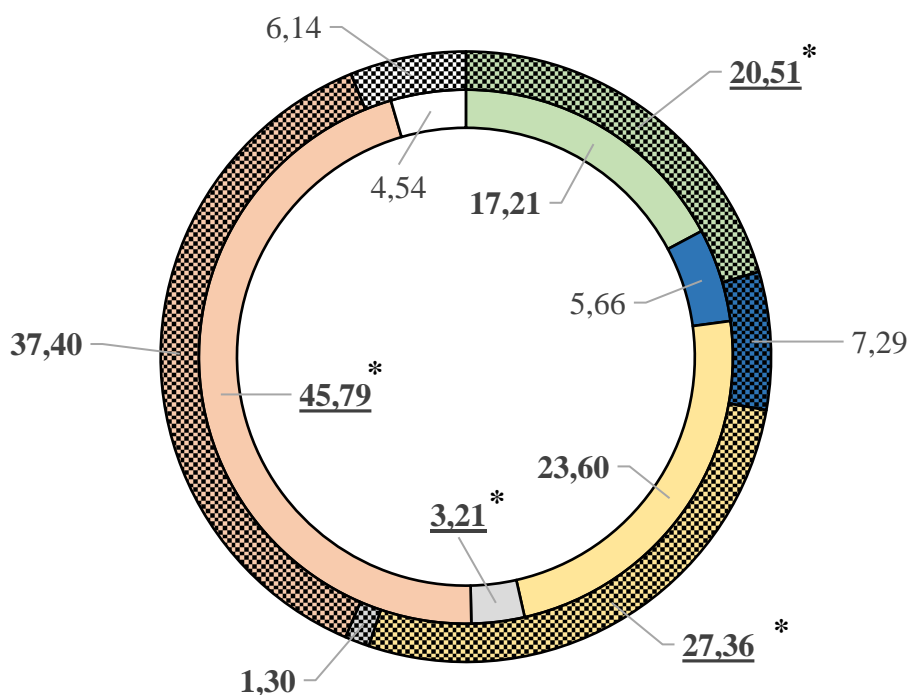
Melyek azok a komponensek, amelyeknek az árnyékban kezelt és a kontroll minták összehasonlításában megfigyelt mennyiségi különbsége (részarány alapján) szignifikáns?

Melyek azok a komponensek, amelyeknek a változása a teljes illóolaj-összetétel tekintetében is szignifikánsan *relatív* változást mutat? Tehát az adott komponenshez tartozó kontroll és kezelésnél mért értékeket nem csak önmagukban vetettük össze, hanem az összes vizsgált komponens változásának függvényében is értékeltük, amellyel arra kapunk választ, hogy az eltérő összetételű illóolajok minőségét, mely komponensek változása befolyásolta szignifikánsan.

Az első kérdés szempontjából a 2019. évben az 50% árnyékban nőtt növényekben akkumulálódott illóolajban a páronkénti összehasonlítás szerint a nerál ( $p=0,009$ ) és a geraniál ( $p=0,016$ ) mennyisége szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll növények illóolajában lévő párjaiké (26. ábra). Az 50% árnyékban nőtt növényekben akkumulálódott illóolajban lévő geraniol mennyisége nem különbözött szignifikánsan ( $p=0,151$ ) a kontrollétól. Az árnyékezelés a neril-acetát ( $p < 0,001$ ) és a geranil-acetát ( $p=0,010$ ) illóolajban lévő mennyiségén szignifikánsan csökkentett a kontroll növények illóolajához képest (26. ábra).



■ nerál ■ geraniol ■ geraniál ■ neril-acetát ■ geranil-acetát □ nem azonosított

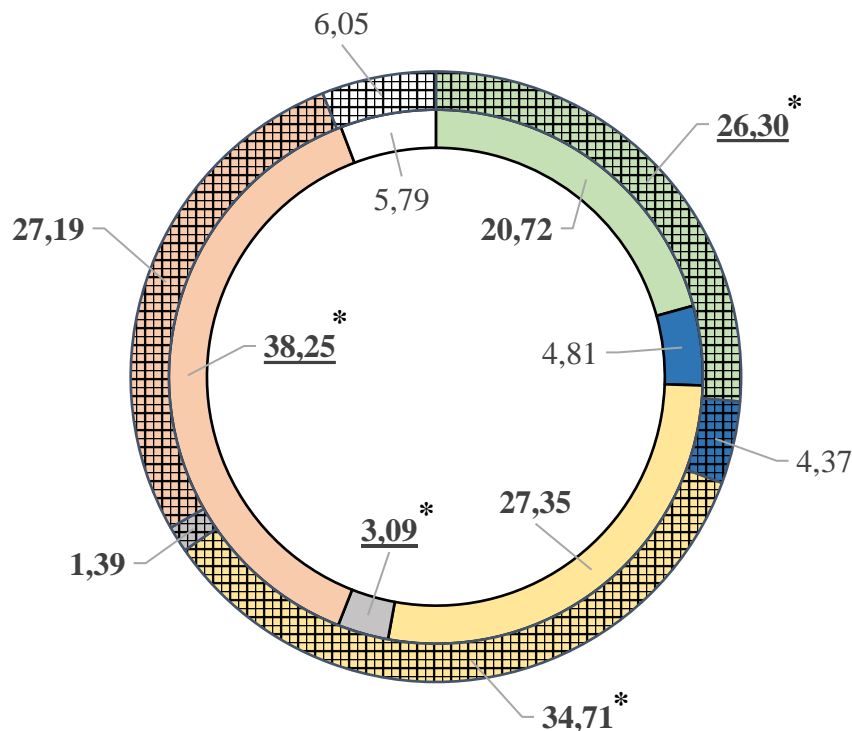


**26. ábra:** A *Dracocephali aetheroleim* összetételének alakulása 50% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A sűrű pepita kitöltés az 50% árnyékezelést jelöli.)

A 2020. évben a 30% árnyékban nőtt növényekben akkumulálódott illóolajban lévő nerál ( $p=0,014$ ) és geraniál ( $p=0,020$ ) mennyisége szignifikánsan meghaladta a kontrollét. A geraniol összetevő esetén a 30% árnyékezelés nem idézett elő szignifikáns változást a kezelt és a kontroll mennyiségek ( $p=0,342$ ) változásában. A 30% árnyékban nőtt növényekben akkumulálódott illóolajban lévő neril-acetát és geranil-acetát százalékos értékei egyaránt szignifikánsan kisebbek voltak ( $p=0,002$ ;  $p=0,013$ ), mint a kontroll illóolajban lévő százalékos értékeik (27. ábra).

■ nerál ■ geraniol ■ geraniál ■ neril-acetát ■ geranil-acetát  nem azonosított



**27. ábra:** *A Dracocephali aetheroleim összetételének alakulása 30% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2020. évben*

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A kis rácsos kitöltés az 30% árnyékezelést jelöli.)

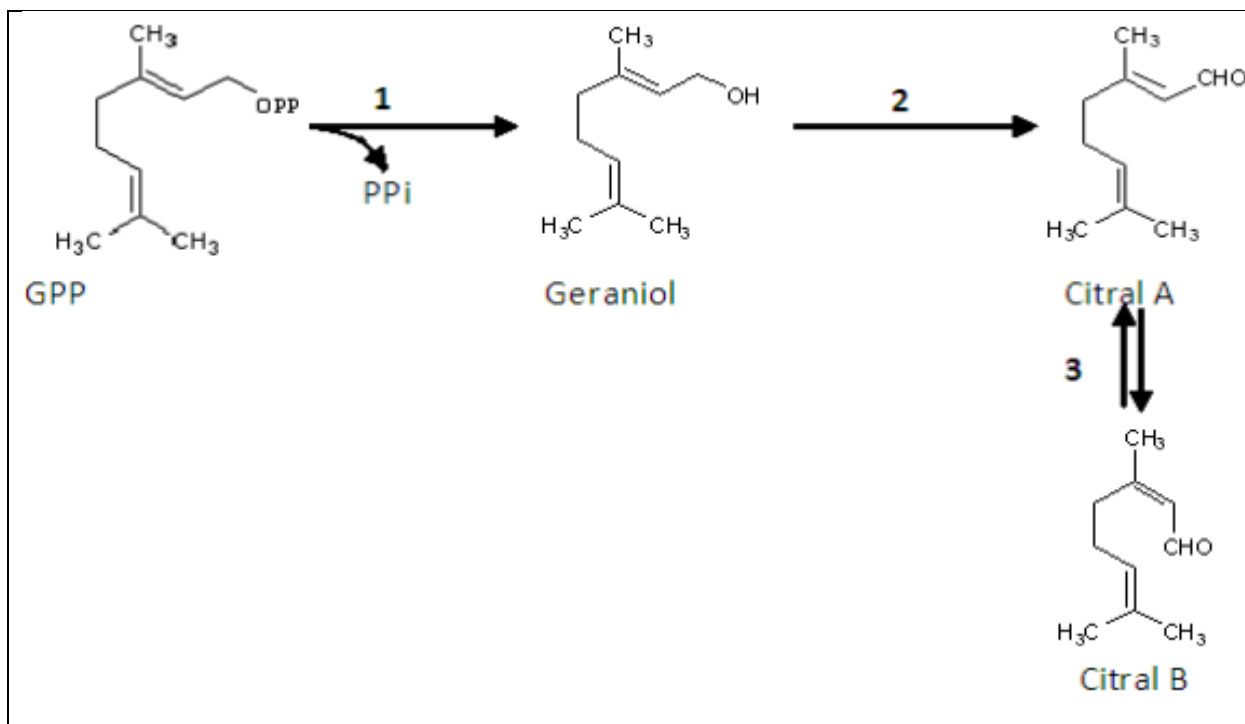
A második kérdés szempontjából a 2019. évben a kompozícióanalízis szerint az 50% árnyékban nőtt növényekben akkumulálódott illóolajban lévő nerál *relatív aránya* a teljes illóolaj-összetétel tekintetében is szignifikánsan nagyobb volt ( $p=0,005$ ), mint a kontroll illóolajban lévő nerál aránya. A geraniol komponens esetén a kezelt illóolaj teljes összetételében a *relatív aránya* szignifikánsan nagyobb ( $p=0,047$ ) volt, mint a kontroll illóolajban lévő aránya. A geraniál *relatív aránya* a teljes illóolaj-összetételben szignifikánsan ( $p=0,015$ ) nőtt a kezelés hatására, miközben a neril acetát *relatív aránya* szignifikánsan ( $p<0,001$ ) csökkent a kontroll növények illóolajához képest. A geranil-acetát teljes illóolaj-összetételben lévő relatív aránya nem változott szignifikánsan ( $p=0,070$ ) az A50 kezelés hatására. Mindez azt jelenti, hogy az által, hogy mind a nerál, a geraniál, a neril-acetát és a geranil-acetát relatív aránya is szignifikánsan változott, mindegyik komponens arányváltozása szignifikáns hatást gyakorolt a teljes illóolaj-összetétel- így az illóolaj minőség változására.

A 2020. évben a kompozíció analízis tükrében a teljes illóolaj-összetételben a nerál *relatív aránya* szignifikánsan nőtt ( $p<0,001$ ) a kontroll illóolaj-összetételéhez viszonyítva, miközben a geraniol *relatív aránya* a teljes illóolaj-összetétel tekintetében nem változott szignifikánsan ( $p=0,432$ ). A geraniál *relatív aránya* szignifikánsan nőtt ( $p<0,001$ ) a teljes illóolaj-összetételben a kontrollhoz képest, miközben a neril-acetát és geranil-acetát komponensek *relatív aránya* a kezelt növények illóolajának összetételében ugyancsak szignifikánsan kisebb ( $p<0,001$ ;  $p=0,002$ ) volt,

mint a kontroll növények illóolajának összetételében. Eszerint a nerál, a geraniál, a neril-acetát és a geranil-acetát *relatív aránya* is szignifikánsan változott, így a 2019. évhez hasonlóan a 2020. évben is mindegyik komponens arányváltozása szignifikáns hatást gyakorolt a teljes illóolaj-összetétel- így az illóolaj minőség változására.

A sárkányfű Ázsia mérsékelt égövi területeiről származik, de számos mérsékelt égövi európai-és észak-afrikai országban, valamint az USA-ban is sikeresen termesztésbe vonták (ACIMOVIC et al. 2019). A sárkányfű drogjait (*herba, aetheroleum*) felhasználja a fűszer-, aroma-, parfüm- és élelmiszeripar, köszönhetően a citromfű illatára emlékeztető összetevőinek (nerál, geraniál) és kedvező biológiai hatásainak, mindemellett a citromfűhöz (*Melissa officinalis* L.) képest jobban alkalmazkodik a hideg éghajlati adottságokhoz (GALAMBOSI et al. 1989). Ez utóbbi tulajdonsága vetette fel, hogy az agráreredészeti rendszerekben tapasztalt árnyékos körülményekhez is tudna adaptálódni, mely felvetést jelen kutatás eredményei és tapasztalatai is megerősítik. A kísérleti körülmények között a sárkányfű jól tolerálta, sőt hozamértékeiben meghalálja a 30% árnyékhatást, szignifikáns hatóanyag csökkenés nélkül.

A drog minőségére vonatkozó előírásokat korábban a MSZ 19280-1988 tartalmazta, azonban ezt 2001-ben visszavonták. A szabvány visszavonása óta nincs hivatalos, általános érvényű minőségi előírás sem a drogra, sem az illóolajra vonatkozóan, mert azok nem gyógyszerkönyvi tételek és ISO szabvány sem rendelkezik róluk. Korábbi tudományos eredmények lehetnek iránymutatók az illóolaj-összetétel vonatkozásában. GILDEMEISTER és HOFFMAN (1961) eredményei szerint jelentős változás megy végbe a különböző vegetációs periódusokban: a teljes virágzásban lévő friss növény illóolaja 23,52% citrál tartalmaz, amely érték 66,3%-ra növekszik a termésérés kezdetére. A citrál egy citrom illatot idéző aciklikus monoterpén aldehid - a geraniál (transz-izomer) és a nerál (cisz-izomer) racém keveréke, amely számos biológiailag aktív hatással rendelkezik (antimikrobiális, gyulladáscsökkentő antiparazitikus, allelopátiás), felhasználója pedig elsősorban az aroma-, illat-, parfüm- és kozmetikai- és gyógyszeripar (GANJEWALA et al. 2012). A természetes citrál legfőbb forrásai a *Cymbopogon* és *Citrus* fajok, azonban előfordul egyéb *Lamiaceae* és *Apiaceae* fajokban is (KOZIOL et al. 2014). A *Cymbopogon citratus* gyógynövényfaj esetén került leírásra a vizsgált komponensek és sztereoizomereik növényi bioszintézisének folyamata, amely szerint az izoprenoid bioszintézis intermedier vegyülete a geranil-difoszfát a citrál bioszintézis alapja, amelyből egy pirofoszfát kiválásával képződik a geraniol, amely azonnal acetileződik s geranil-acetáttá alakul. A geranil-acetát a geranil-acetát-észteráz hatására visszahidrolizálódik geraniollá, amely geraniol-hidrogenáz enzim hatására tovább oxidálódik citrállá, amelyből izomerizáció útján jön létre a citrál két izomere a geraniál és a nerál (GANJEWALA et al. 2012) (28. ábra).



**28. ábra:** A citrál bioszintézise a *Cymbopogon citratus* gyógynövényfaj leveleiben GANJEWALA *et al.* (2012) munkája nyomán. 1 – geraniol-difoszfát; 2 – geraniol-dehidrogenáz; 3 – izomeráz

FALLAH *et al.* (2018) és AZIZ *et al.* (2013) eredményei és jelen kísérlet mérései egymást erősítik meg abban, hogy a *Dracocephali aetheroleum* legnagyobb arányban előforduló komponensei a geraniál, a geranil-acetát, valamint a nerál, tehát a citrál két izomere és a geranil acetát, amelyek mindegyike – a *Cymbopogon* bioszintézisből kiindulva - geraniolból képződik. HOLM *et al.* (1988) eredményei értelmében a virágzás fenofázisában a geraniál és geraniol bioszintézise a legerőteljesebb, miközben a geranil-acetát és a nerál komponensek aránya csökken az ontogenezis folyamán. Kétéves szabadföldi kísérleteink eredményeit értékelve egyértelmű tendenciaként figyelhettük meg, hogy a citrált alkotó izomerek mennyiségi aránya mind a 30% és mind az 50% árnyék hatására szignifikánsan nőtt a kontrollhoz képest, amely egyúttal a teljes illóolaj-összetételben betöltött *relatív arányának* szignifikáns növekedését is eredményezte, befolyásolva így a teljes illóolaj összetételét, egyúttal az illóolaj minőséget. Ezzel párhuzamosan mindkét árnyékkezelés következtében tendenciózusan és szignifikánsan csökkent a neril-acetát és geranil-acetát komponensek mennyisége, valamint *relatív aránya* az illóolajban (kivéve a geranil acetát aránya a teljes illóolaj összetételben a 2020. évben), megváltoztatva így az illóolaj minőséget. Mindez - annak fényében, hogy a geraniol mennyiségi arányában egyik évben sem tapasztaltunk eltérést - azt veti fel, hogy az árnyék potenciálisan serkentő hatást gyakorol a geranil-acetát-észteráz és a geraniol-hidrogenáz enzimek-, vagy a bioszintézis utak kapcsolódó lépéseit meghatározó génexpressziós folyamatok működésére, amennyiben a *Dracocephalum moldavica* L. esetén is a *Cymbopogon citratus* példáján feltárt bioszintézis folyamatok érvényesülnek.

A *Dracocephalum moldavica* L. illóolaj hozamának és összetételének változását korábbi kutatások megfigyelték olyan agrotechnológiai változások vonatkozásában, mint az ásványi sók által kiváltott sóstressz kezelés, a szárazságstressz, és a szalicilsav és aszkorbinsav kombinációját tartalmazó levéltrágyával történő kezelés. A sóstressz esetén a kutatók megfigyelései szerint a sótartalom növelésével a geranil-acetát százalékos aránya csökkent, miközben a geraniál és a nerál

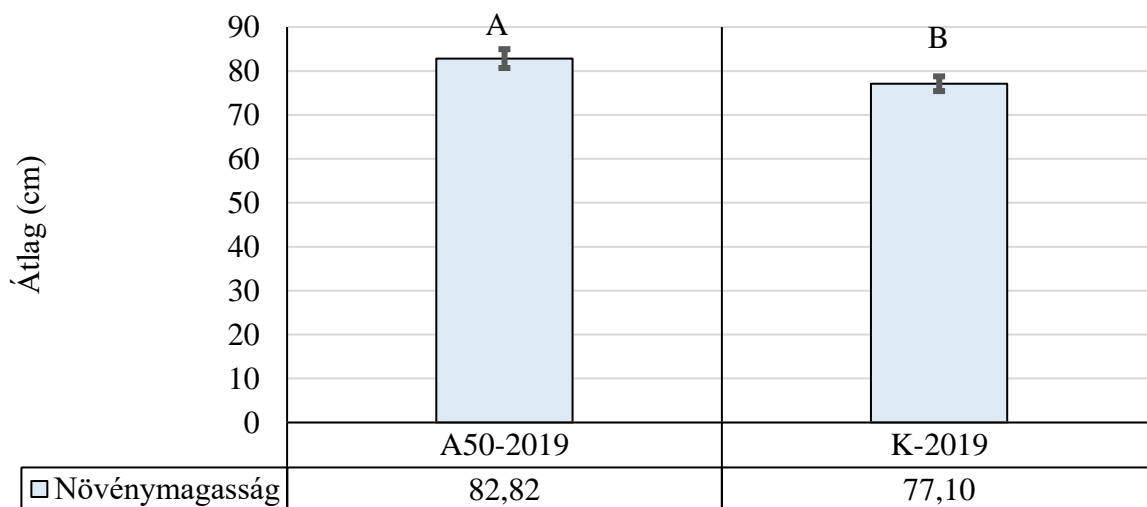
aránya növekedett (AZIZ *et al.* 2013). SHIMA (2019) eredményei az aszály előnyeit jelzik az illóolaj-tartalom és az oxigéntartalmú monoterpének, különösen a geranil-acetát, a geraniol és a geraniál növekedésével. NASIRI *et al.* (2018) megfigyelései szerint szalicilsav és aszkorbinsav kombinációját tartalmazó levéltrágyával szignifikánsan növelhető volt az illóolaj-tartalom mellett a geranil-acetát aránya is az illóolajban, amely egyúttal a geraniál arányának csökkenésével járt. A három kísérlet közül csupán a sóstressz kezelés esetén tapasztalták az általunk is megfigyelt összetétel változási mintázatot a kutatók, mely szerint a citrál alkotó izomerek és a geranil-acetát változása feltételezhetően negatív korrelációs viszonyban áll. Mindez a szárazságstressz esetén nem mutatott szabályszerű mintázatot, valamint az aszkorbinsavval és szalicilsavval történő kezelés esetén sem.

A *Dracocephalum moldavica*-t köztesművelésű (intercropping) rendszerekben vizsgáló tanulmányok következtetései szerint a *Glycine max* L. – *Dracocephalum moldavica* L. kombinációjú köztesvetés szerves trágyázással kiegészítve előnyös termelési és beltartalmi eredményeket produkál (FALLAH *et al.* 2018). Emellett VAFADAR-YENGEJE *et al.* (2019) leírása szerint a *Vicia faba* L. - *Dracocephalum moldavica* L. köztesvetésű rendszer biológiai tápanyagutánpótlással kiegészítve gazdaságilag is versenyképes alternatívája lehet a monokultúrában és műtrágyás tápanyagutánpótlással történő *Dracocephalum moldavica* L. termesztésnek. Mindezzel együtt a faj termesztésének racionális célját nem jelentheti az illóolaj összetevők elválasztása és izolált értékesítése. Az egyik főkomponensként jelenlévő citrál a globálisan több száz tonna tételben gyártott *Citrus* és a *Cymbopogon* fajok illóolajaiból állítható elő gazdaságosan, miközben a másik főkomponensként jelenlévő geranil-acetát általános alkotó számos nagy volumenben termelt illóolajban, valamint előállítására félélszintézissel megoldott geraniolból vegyipari úton, illetve fejlesztések folynak biotechnológiai előállítására is (pl. *Saccharomyces cerevisiae* mikroorganizmus felhasználásával) (LUBBE és VERPOORTE 2011; WU *et al.* 2018). A félélszintézissel előállított geranil-acetát a piacon kevésbé értékes komponensként van jelen, mint a citrál, ezért az illóolaj-összetétel kísérletünkben tapasztalt irányú eltolódása kifejezetten előnyösnek tűnik. Mindazonáltal az illóolaj-összetétel változás illatkompozícióra való hatását, valamint a *Dracocephali aetheroleum*-ot alkalmazó iparágak legnagyobb piaci szereplőinek belső specifikációival történő egyezést érdemes volna további kutatómunka részeként vizsgálni.

A *Dracocephalum moldavica* L.-t az *in vivo* kutatás eredményei alapján további alkalmazott léptéknövelt agrárerdészeti kísérleti termesztésre javasoljuk.

### 5.3.6. *Linum usitatissimum* L.

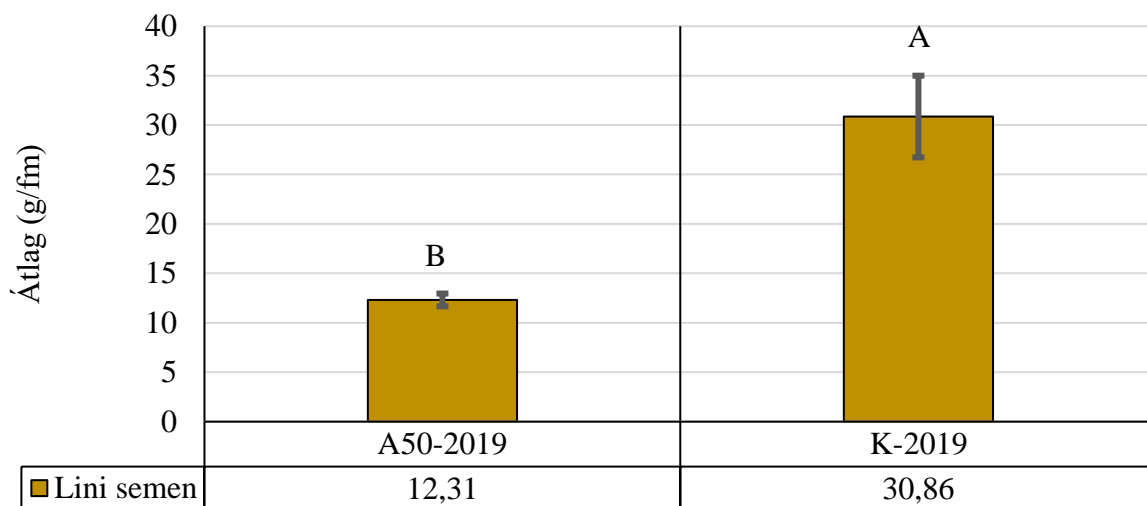
Az árnyékban nevelt len növények szignifikánsan magasabbak voltak ( $t(19)=3,38$ ;  $p<0,01$ ), mint a kontroll parcellán lévő társaik (29. ábra).



**29. ábra:** A *Linum usitatissimum* L. növénymagasság (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

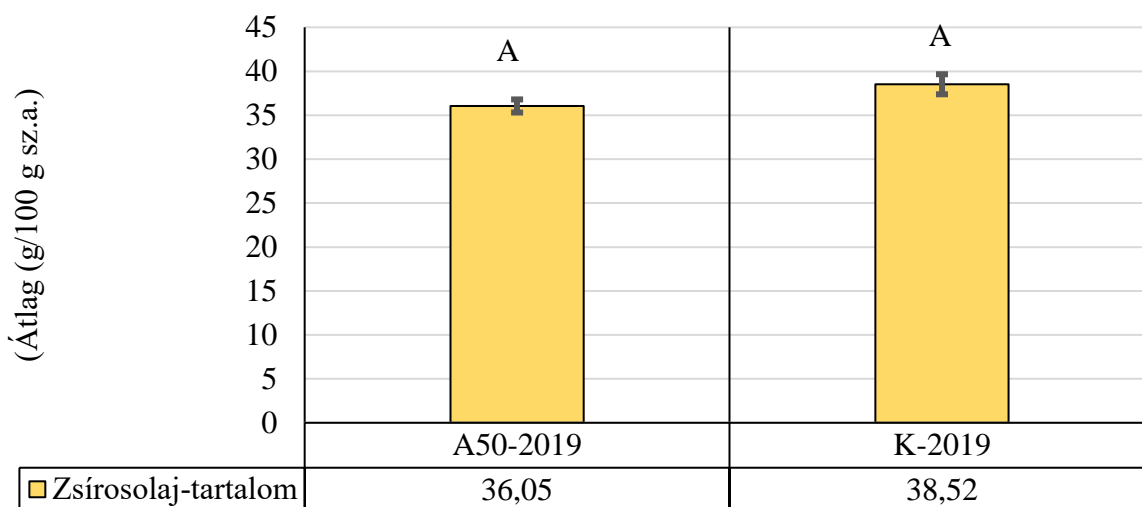
Az árnyékolt növények magtömege szignifikánsan alacsonyabb volt a kontroll növények magtömegénél ( $tW(3,15)=4,43$ ,  $p<0,05$ ) (30. ábra).



**30. ábra:** A *Linum usitatissimum* L. drogtömeg (g/fm.) átlag és szórás értékeinek alakulása 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

A zsírsolaj-tartalomban nem különböztek a kontroll és a kezelt növények:  $t(4)=1,58$ ;  $p=0,19$  (31. ábra).



**31. ábra:** *A Lini semen* zsírsolaj-tartalom (g/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(**Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

A *Lini oleum* legfontosabb értéke a magas esszenciális, háromszorosan telítetlen  $\omega$ -3  $\alpha$ -linolénsav aránya. Emellett  $\omega$ -6 és  $\omega$ -9 zsírsavak is találhatóak benne, s az  $\omega$ -3: $\omega$ -6: $\omega$ -9 zsírsavak ideális aránya 2:1:1, amely kísérletünkben a kontroll parcella növényei esetén teljesült is, az 50% árnyékezelés azonban megnövelte az olajsav- és csökkentette a linolsav és linolénsav arányát (21. táblázat). Statisztikai próbát nem végeztünk az árnyék zsírsavösszetételre vonatkozó hatását illetően, mert a kendermagolajhoz hasonlóan a lenmagolaj esetén is csak egy biológiai ismétlés vizsgálatáig terjedt felmérésünk, mindazonáltal a tapasztalt változás egyértelműen kedvezőtlen.

**21. táblázat:** A *Lini oleum* detektált (GC-FID) zsírsav-összetétel átlag és szórás értékeinek alakulása a 30% árnyékezelés (A30) hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. évben

Zsírsavak	Telítettség	Ph.Eur. (%)	A50 (% m/m)	K (% m/m)
Palmitinsav	Telített	3-8	6,23 ± 0,32	5,65 ± 0,16
Sztearinsav		2-8	3,83 ± 0,10	4,40 ± 0,09
Olajsav	Egyszeresen telítetlen (ω-9)	11-35	34,68 ± 1,01	21,62 ± 0,08
Linolelaidinsav	Többszörösen telítetlen (ω-6)	-	0,83 ± 0,05	0,81 ± 0,03
Linolsav	Többszörösen telítetlen (ω-6)	11-24	14,32 ± 0,37	18,24 ± 0,06
γ-linolénsav	Többszörösen telítetlen (ω-6)			0,07
α-linolénsav	Többszörösen telítetlen (ω-3)	35-65	40,10 ± 1,16	48,91 ± 0,19
Gondoinsav (cisz 11- eikozénsav)	Egyszeresen telítetlen (ω-9)	-	-	0,16

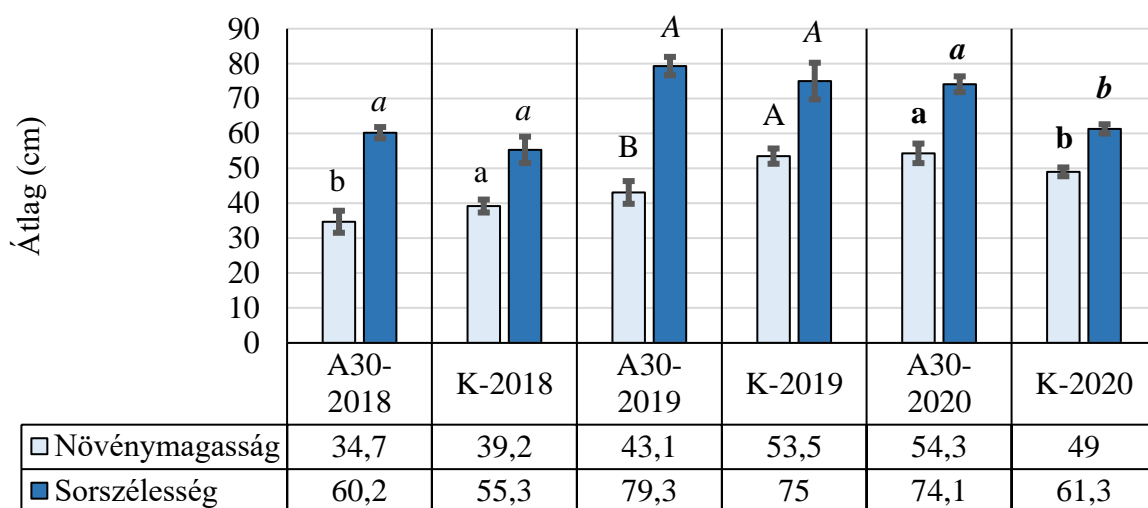
A len esetén az 50% árnyék negatívan hatott a növények fejlődésére, valamint a termésmennyiségre, miközben a zsírosolaj felhalmozódását nem befolyásolta. Az árnyékhatás a kenderhez hasonlóan a len esetében is nagyobb növénymagasságot eredményezett. A len reakciója alapján az 50% árnyék kevésbé szilárd-, dőlésre hajlamos növényállományt eredményezett. A lentermelést elsődlegesen befolyásoló környezeti faktor a hőmérséklet, melynek emelkedése esetén fennáll a termésképzés elégtelenségének és a magtömeg csökkenésének kockázata (ADUNGA és LABUSCHANGE 2003). Emellett a magas hőmérséklet és a szárazság együttes hatásaként kényszerérés történik, mely kisebb méretű magokat-, alacsonyabb zsírosolaj-tartalmat- és a telítetlen zsírsavaknak a kisebb arányát eredményezi (ADUNGA és LABUSCHANGE 2003). Kísérletünkben az 50% árnyék hatására statisztikailag szignifikánsan csökkent a termésmennyiség, és nőtt a növénymagasság, miközben az akkumulálódott zsírosolaj-tartalom nem változott (29. és 30. ábra). A *Lini oleum*-ban ω-3 zsírsavon kívül lignán is található, amely két alkotó pozitívan és szinergikusan hat a számos káros humán kórélettani folyamat (magas koleszterinszint, depresszió, hiperaktivitás, prosztatadaganat) leküzdése esetén (SZŐKE 2019), amelynek fényében az α-linolénsav valószínűsíthető csökkenése árnyék hatására kifejezetten hátrányos, még akkor is, ha ez nem eredményezte a gyógyszerkönyvi minőségnek való meg nem felelést.

Mindebből arra következtetünk, hogy az enyhébb árnyékot nyújtó agrárerdészeti rendszerben történő lentermelés jövője továbbra is ígéretes, amennyiben további kisparcellás, majd üzemi kísérletek által meghatározható az az árnyékhatás, mely még nem jár a termésmennyiség- és a α-linolénsav arányának csökkenésével. A lenben rejlő diverz genetikai potenciál az átalakuló agrárrendszerben kijelöli az utat a nemesítési- és technológiafejlesztési tevékenység elé a klímaadaptív termesztés elérése érdekében (KAUR *et al.* 2017).



### 5.3.7. *Melissa officinalis* L.

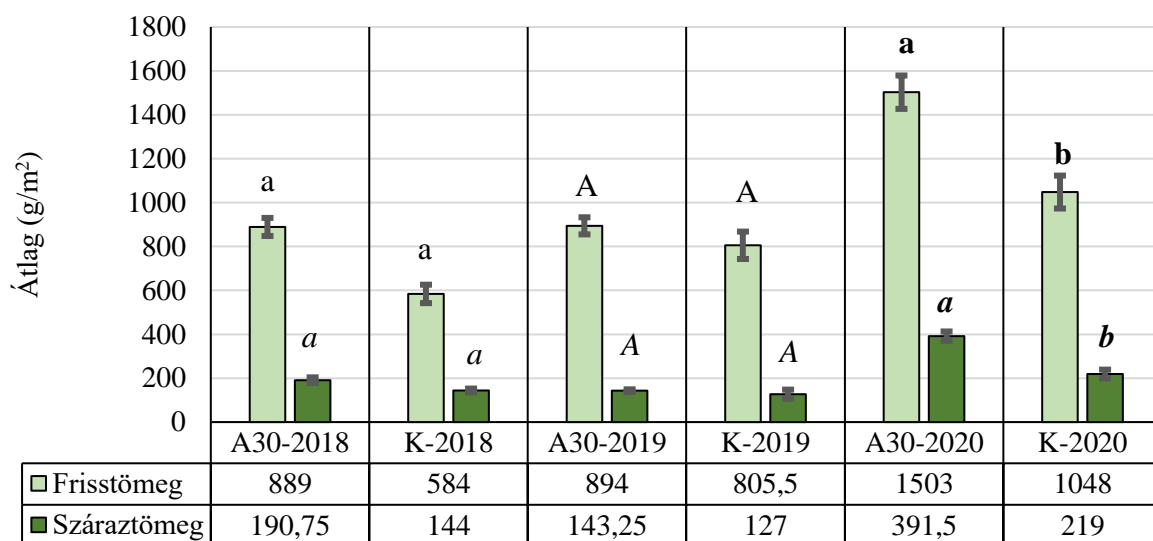
A citromfű állomány magasságát az ültetés évében és az azt követő évben az árnyékolás (30%) szignifikánsan ( $t(9)=3,41$ ;  $p<0,05$ ;  $t(9)=5,56$ ;  $p<0,01$ ) csökkentette, majd harmadévre az árnyékban nőtt növények nőttek szignifikánsan ( $t(3)=2,99$ ;  $p<0,05$ ) magasabbra a kontrollhoz képest (32. ábra). A növények szélességében szignifikáns különbség az első két évben nem volt tapasztalható ( $t(3)=2,99$ ;  $p<0,05$ ), majd a harmadik évre a növénymagassághoz hasonlóan a 30% árnyékezelés a szélességet is növelte ( $t(9)=10,67$ ;  $p<0,001$ ), átlagosan mintegy 13 cm-rel (32. ábra).



**32. ábra:** A *Melissa officinalis* L. növénymagasság (cm) és sorszélesség (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

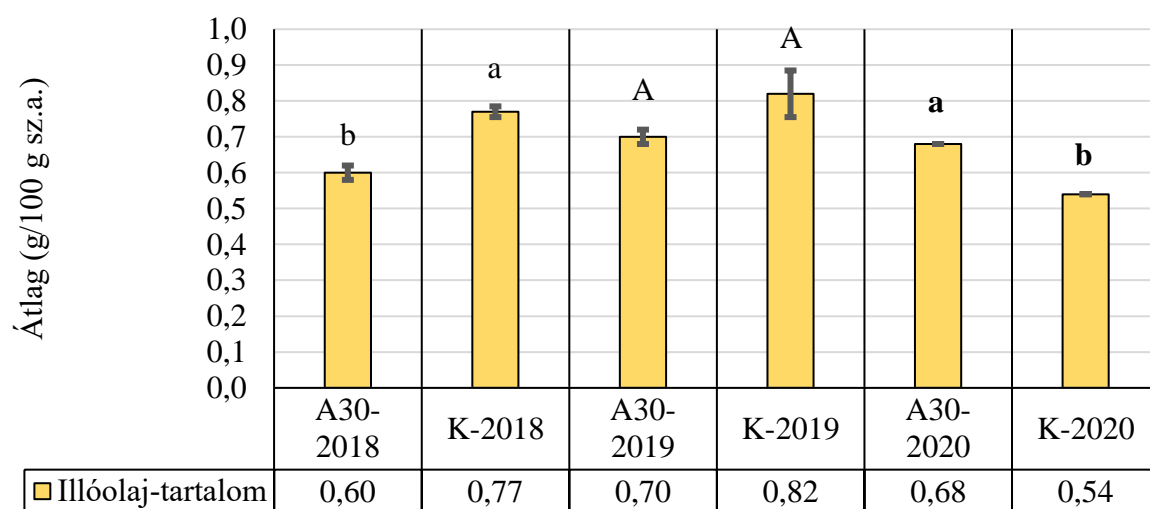
(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

Ezekkel összhangban, a hozamokat is csak a harmadik évben befolyásolta a kezelés. 2020-ban az árnyékolt (30%) állomány szignifikánsan nagyobb frisstömeget ( $t(3)=5,02$ ;  $p<0,05$ ) és drogtömeget ( $t(3)=6,85$ ;  $p<0,05$ ) produkált a kontrollhoz képest (33. ábra).



**33. ábra:** A friss- és a szárastömeg ( $\text{g/m}^2$ ) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékkézelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években (Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

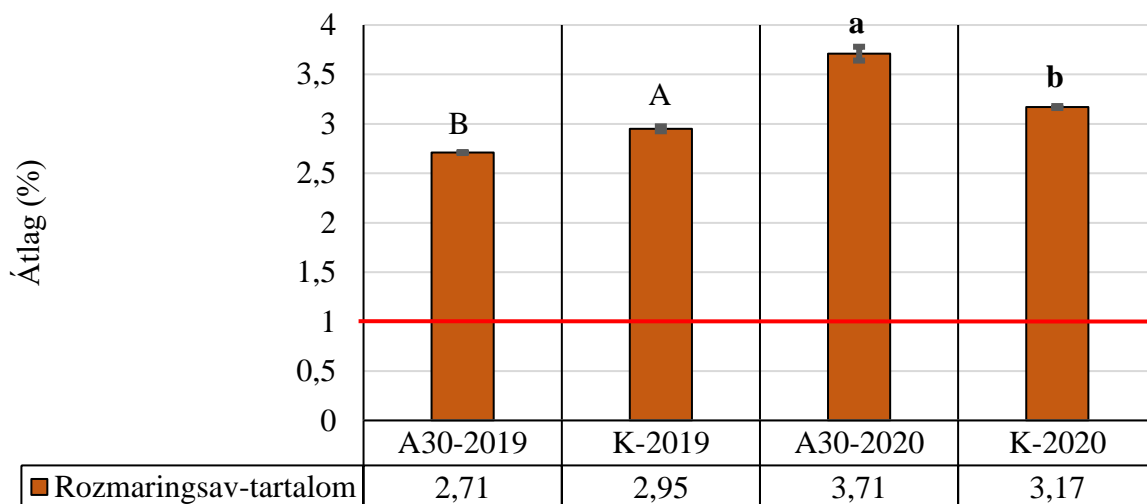
Az illóolaj-tartalom az első évben a teljes napfényen lett szignifikánsan ( $t(2)=7,62$ ;  $p=0,05$ ) nagyobb. A második évben az árnyékkézelés hatása már nem volt szignifikáns ( $t(2)=2,11$ ;  $p=0,17$ ) a változás, majd a harmadik évben pedig az árnyékolt állomány illóolaj-tartalma szignifikánsan ( $t(2)=119,51$ ;  $p<0,001$ ) meghaladta a kontrollt (34. ábra).



**34. ábra:** A *Melissae folium* illóolaj-tartalom ( $\text{ml}/100 \text{ g sz.a.}$ ) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékkézelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

A citromfű drogja esetén a gyógyszerkönyvi előírás a rozmaringsav-tartalomra vonatkozik, a minimum érték 1% sz.a., amit kísérletünkben minden minta elért. A kezelések hatása a rozmaringsav-tartalom esetén is hasonlóan alakult, mint a produktív és illóolaj-tartalom eredmények esetén. 2019-ben a fényellátás csökkenése a rozmaringsav-tartalmat szignifikánsan ( $t(2)=8,58$ ;  $p<0,05$ ) csökkentette, azonban az idősebb állományban, 2020-ban az árnyékolt állomány rozmaringsav-tartalma szignifikánsan ( $t(2)=7,70$ ;  $p<0,05$ ) meghaladta a kontrollét (35. ábra).

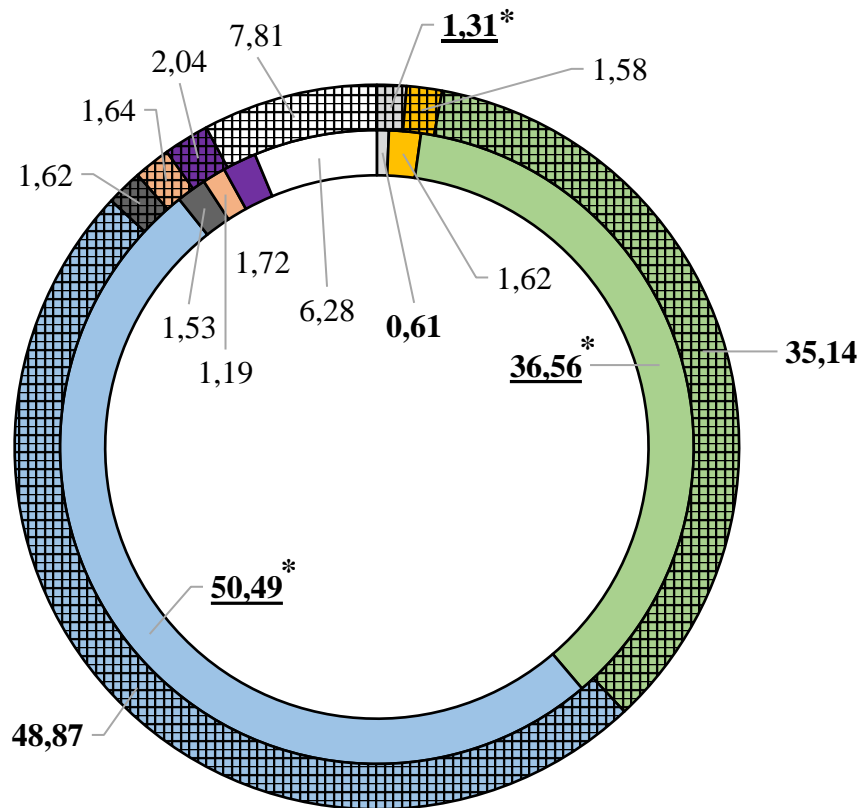


**35. ábra:** *A Melissae folium* rozmaringsav-tartalom (%) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(**Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek. A vízszintes vörös vonal a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv által előírt minimális rozmaringsav-tartalmat jelöli.)

*A Melissae aetheroleum* esetén is az előzőekben ismertetett két különböző statisztikai megközelítést igénylő kérdésfelvetést vizsgáltuk. Először az illóolaj komponensek árnyék hatására bekövetkező szignifikáns változásának felderítésére páronként összehasonlítottuk a 30% árnyékban nevelt növényekből lepárolt illóolaj összetevők mennyiségét a kontroll területen nevelt növényekből lepárolt illóolaj összetevők mennyiségével. Eszerint a 2019. évben a 30% árnyékban nőtt növények illóolajában szignifikánsan több citroneollál ( $p=0,030$ ) és szignifikánsan kevesebb nerál ( $p=0,011$ ) és geraniál ( $p=0,030$ ) akkumulálódott, mint a kontroll területen nevelt növények illóolajában (36. ábra).

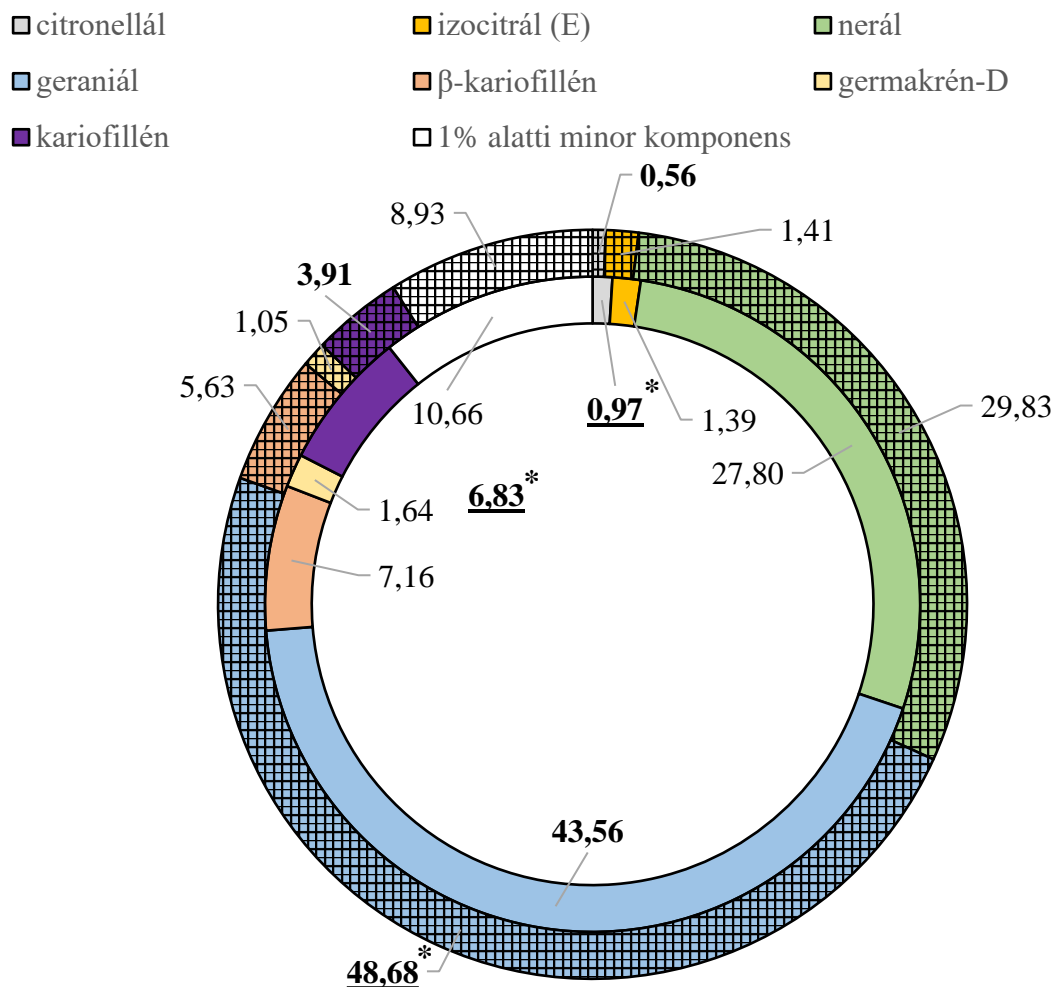
- citronellál
- izocitrál (E)
- nerál
- geraniál
- geranil-acetát
- β-kariofillén
- kariofillén
- 1% alatti minor komponens



**36. ábra:** A *Melissae aetheroleum* összetételének alakulása 30% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A kis rácsos kitöltés a 30% árnyékezelést jelöli.)

A 2020. évben a 30% árnyékban nevelt növények illóolajában szignifikánsan kevesebb citronellál ( $p < 0,001$ ) és kariofillén ( $p = 0,001$ )-, valamint szignifikánsan több geraniál ( $p = 0,007$ ) akkumulálódott, mint a kontroll területen nevelt növények illóolajában (37. ábra).



**37. ábra:** A *Melissae aetheroleum* összetételének alakulása 30% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2020. évben

(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A kis rácsos kitöltés a 30% árnyékezelést jelöli.)

Ezt követően kompozíció analízis segítségével megvizsgáltuk azt, hogy melyek azok a komponensek, amelyeknek a teljes illóolaj-összetétel tekintetében is úgy változott meg a *relatív aránya*, hogy az a teljes illóolaj minőségre hatást gyakorolt. Eszerint a 30% árnyékezelés hatására a 2019. évben citronellál *relatív aránya* oly módon lett szignifikánsan ( $p=0,016$ ) magasabb az illóolajban-, valamint a transz-izocitrál ( $p=0,019$ ), a nerál ( $p=0,006$ ) és a geraniál ( $p=0,008$ ) *relatív arányai* oly módon lettek szignifikánsan alacsonyabbak az illóolajban, hogy azok egyesével is szignifikánsan megváltoztatták az illóolaj-összetételét, ezáltal a teljes illóolaj minőséget. A 2020. év tekintetében a citronellál ( $p<0,001$ ), a transz-izocitrál ( $p=0,035$ ) és a kariofillén ( $p<0,001$ ) *relatív arányai* szignifikánsan csökkentek-, miközben a nerál ( $p=0,047$ ) és geraniál ( $p=0,010$ ) *relatív arányai* szignifikánsan növekedtek az illóolajban a 30% árnyékezelés hatására a kontroll növények illóolajához képest, s mindez egyenként is a teljes illóolaj minőségi összetétel változását eredményezte.

A *Melissae aetheroleum* 30% árnyékezelés hatására történő összetétel-változása a két vizsgált évben ellentétes tendenciát mutatott. Miközben a 2019. évben a citronellál részaránya (%)

és *relatív aránya* is szignifikánsan nőtt a kezelés hatására, valamint a nerál és geraniál komponensek részaránya (%) és *relatív aránya* is egyaránt szignifikánsan csökkent az illóolajban, addig a 2020. évben ezzel teljes ellentmondásban a citronellál részaránya (%) és *relatív aránya* is szignifikánsan csökkent a kezelés hatására, valamint a nerál *relatív aránya* és a geraniál részaránya (%) és *relatív aránya* is egyaránt szignifikánsan nőtt az illóolajban (20. táblázat). Ezen jelenséget a kísérlet mért körülményeinek változásával és a kísérlet beállításával nem tudjuk magyarázni, ezért az léptéknövelt alkalmazott agráreredészeti kísérletek beállítása esetén az illóolaj-összetételre vonatkozó hatás hosszú távú nyomon követését és elemzését kiemelten fontosnak tartjuk.

**20. táblázat:** A *Melissae aetheroleum* detektált (GC) összetételének alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években a páronkénti összehasonlítás (Stud t) és a kompozíció analízis (komp an) által meghatározott szignifikancia értékekkel

Illóolaj komponens	Átlag (%) ± szórás		Szignifikancia		Átlag (%) ± szórás		Szignifikancia	
	A30-2019	K-2019	Stud t	komp an	A30-2020	K-2020	Stud t	komp an
<b>1-oktén-3-ol</b>	0,25 ± 0,03	0,19 ± 0,01	0,059	0,218	0,31 ± 0,01	0,22 ± 0,01	<b>0,019</b>	<b>0,001</b>
<b>linalool</b>	0,54 ± 0,04	0,44 ± 0,01	0,068	0,542	0,87 ± 0,03	0,84 ± 0,03	0,212	<b>0,045</b>
<b>citronellál</b>	1,31 ± 0,29	0,61 ± 0,13	<b>0,030</b>	<b>0,016</b>	0,56 ± 0,02	0,97 ± 0,03	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
izocitrál (Z)	0,24 ± 0,01	0,24 ± 0,08	1,000	0,581	0,94 ± 0,11	0,95 ± 0,09	0,754	0,155
<b>izocitrál (E)</b>	1,58 ± 0,06	1,62 ± 0,03	0,222	<b>0,019</b>	1,41 ± 0,12	1,39 ± 0,09	0,751	<b>0,035</b>
<b>nerál</b>	35,14 ± 0,35	36,56 ± 0,21	<b>0,011</b>	<b>0,006</b>	29,83 ± 1,22	27,8 ± 1,79	0,299	<b>0,047</b>
geraniol	0,37 ± 0,04	0,34 ± 0,02	0,506	0,298	0,14 ± 0,01	0,16 ± 0,04	0,686	0,765
<b>geraniál</b>	48,87 ± 0,34	50,49 ± 0,15	<b>0,030</b>	<b>0,008</b>	48,68 ± 1,12	43,56 ± 1,49	<b>0,007</b>	<b>0,010</b>
geranil-acetát	1,62 ± 0,46	1,53 ± 0,08	0,734	0,380	0,74 ± 0,1	0,85 ± 0,09	0,412	0,841
β-kariofillén	1,64 ± 0,44	1,19 ± 0,09	0,269	0,378	5,63 ± 0,93	7,16 ± 1,92	0,316	0,581
germakrén-D	0 ± 0	0 ± 0			1,05 ± 0,31	1,64 ± 0,56	0,270	0,316
<b>kariofillén</b>	2,04 ± 0,2	1,72 ± 0,16	0,266	0,914	3,91 ± 0,18	6,83 ± 0,07	<b>0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
1% alatti minor komponens	6,4	5,07			5,92	7,64		

**(Jelmagyarázat:** A félkövér formázás a kezelés hatására szignifikánsan változást jelöli. Az aláhúzott formázás az 5% részarány fölötti főkomponenseket jelöli.)

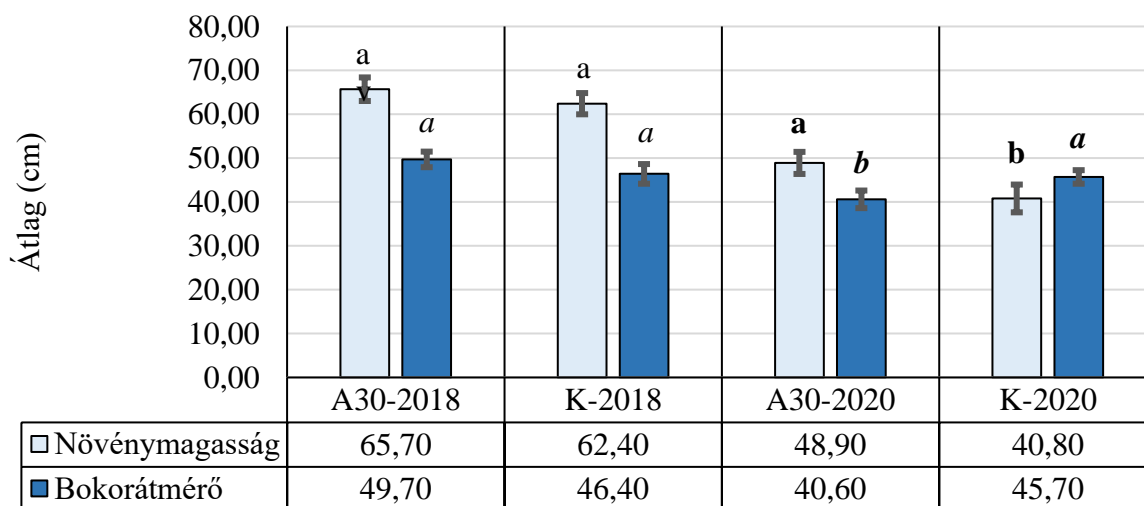
A 2019. év meleg és csapadékos évnél számított, míg a 2020. év hűvösebb és szárazabb év volt (5. táblázat), mely a kísérleti tér homoktalaja esetén rendszeres öntözés mellett is kifejtette hatását. Korábbi eredmények alapján a 'Lemona' fajta érzékenyen reagál a szárazságstresszre, s hatására szignifikánsan kevesebb illóolajat akumulál (SZABÓ *et al.* 2017). A 'Lemona' fajta érzékenységét a szárazságstresszre kísérletünk is jelzi, hiszen a legszárazabb 2020. évben akumulálta a legkevesebb illóolajat. Ebben a száraz évben az árnyékolt állomány illóolaj-akkumulációja nőtt a kontrollhoz képest, mely az árnyékolás talajnedvesség-megőrző hatásával van összefüggésben. A 2019. csapadékos évben volt a legmagasabb az illóolaj-akkumuláció, azonban ekkor nem volt szignifikáns különbség a kezelt és a kontroll állomány illóolaj-tartalma

között. Mindebből az következik, hogy az enyhe árnyék (30%) pufferealni képes a csapadékhiány hatását. POLITYCKA és SEIDLER-ŁOZYKOWSKA (2009) és NURZYŃSKA-WIERDAK *et al.* (2013) tanulmányai szerint az állomány kora nem befolyásolja az illóolaj %-os előfordulását azonos fenofázisban betakarított citromfű esetén, mely tény megerősíti, hogy az évek közötti eltérő, állomány szinten alacsonyabb mértékű illóolaj-akkumuláció a 3. évben kísérletünkben valóban a szárazabb évjárat hatása, és független az állomány korától.

A citromfű Európa-szerte termesztett gyógy- és aromanövény, melynek farmakológiai felhasználása széleskörű és intenzíven kutatott (SEIDLER-ŁOZYKOWSKA *et al.* 2013; SHAKERI *et al.* 2016). A citromfű feltételezett árnyéktűrése (OLIVEIRA *et al.* 2015; RUSSO és HONERMEIER 2017), a kidolgozott termesztéstechnológia, valamint az olyan hozzáadott értéket növelő tulajdonságok, mint a jó mézelőképesség, aspiráns fajjá emelik az agrárerdészeti termesztés szempontjából. Eredményeink szerint a 30% fényellátottság csökkenés valamennyi mennyiségi és minőségi jellemzőre az állományok korának függvényében hatott, a kor előrehaladtával előnyösebbé vált. Ez a jelenség valószínűleg komplex adaptáció következménye, amit érdemes további kísérletekben, más genotípusokkal és évjáratokban is ellenőrizni, hogy az agrárerdészeti termesztésbe bevezethető legyen.

### 5.3.8. *Ocimum basilicum* L.

A bazsalikom növények magasságára az árnyékolás hatása az első évben nem jelentkezett, míg a második évben a fényellátás csökkenése megnyúlást okozott ( $p=0,022$ ) ( $t(9)=1,74$ ;  $p=0,12$ ;  $t(9)=2,75$ ;  $p<0,05$ ). Ezt jelzik a szélesség adatok is (38. ábra).

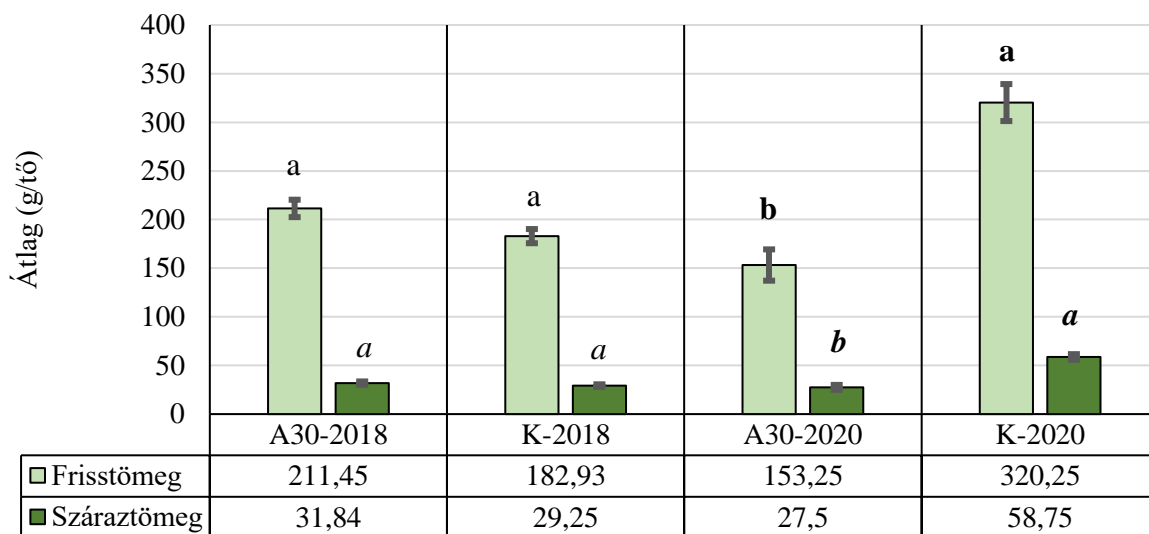


**38. ábra:** Az *Ocimum basilicum* L. növénymagasság (cm) és sorszélesség (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

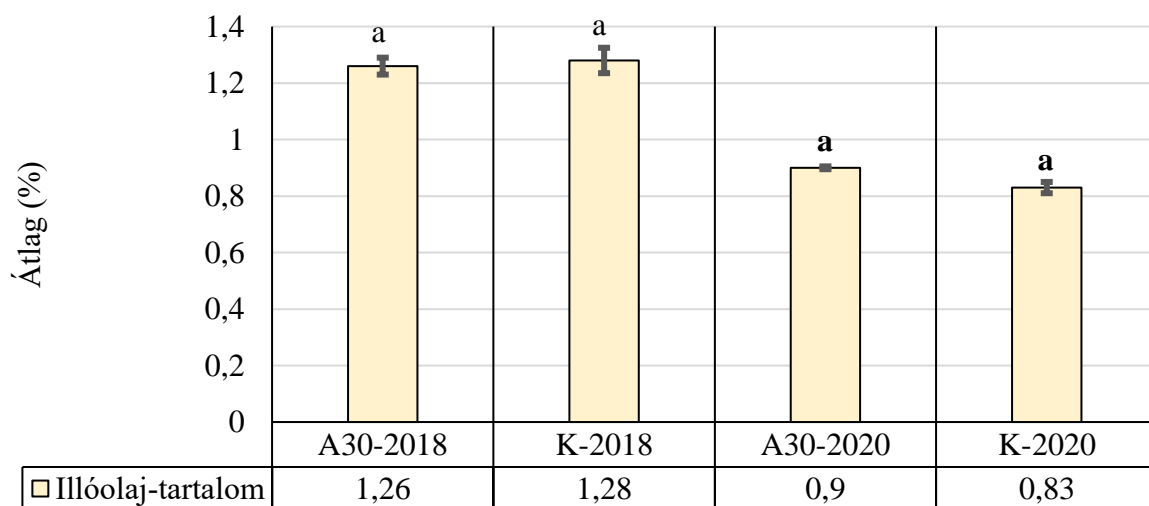
Ezzel összhangban, az első évben nem volt szignifikáns különbség sem a friss-, sem pedig a drogtömegre vonatkozóan az árnyékolt és a napon nevelt állományok között ( $t(3)=3,97$ ;  $p=0,06$ ;

$t(3)=1,58$ ;  $p=0,21$ ). 2020 évben a fenyellátás redukciója szignifikáns visszaesést okozott mind a frisstömeg ( $t(3)=4,90$ ;  $p<0,05$ ), mind a drogtömeg ( $t(3)=6,31$ ;  $p<0,05$ ) tekintetében (39. ábra).



**39. ábra:** A friss- és a szárastömeg (g/tő) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékeztetés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018. és 2020. években (Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

Az illóolaj-felhalmozódást egyik vizsgált évben sem befolyásolta szignifikánsan az árnyékeztetés (2018:  $t(2)=0,34$ ;  $p=0,77$ ; 2020:  $t(2)=2,52$ ;  $p=0,13$ ) (40. ábra).

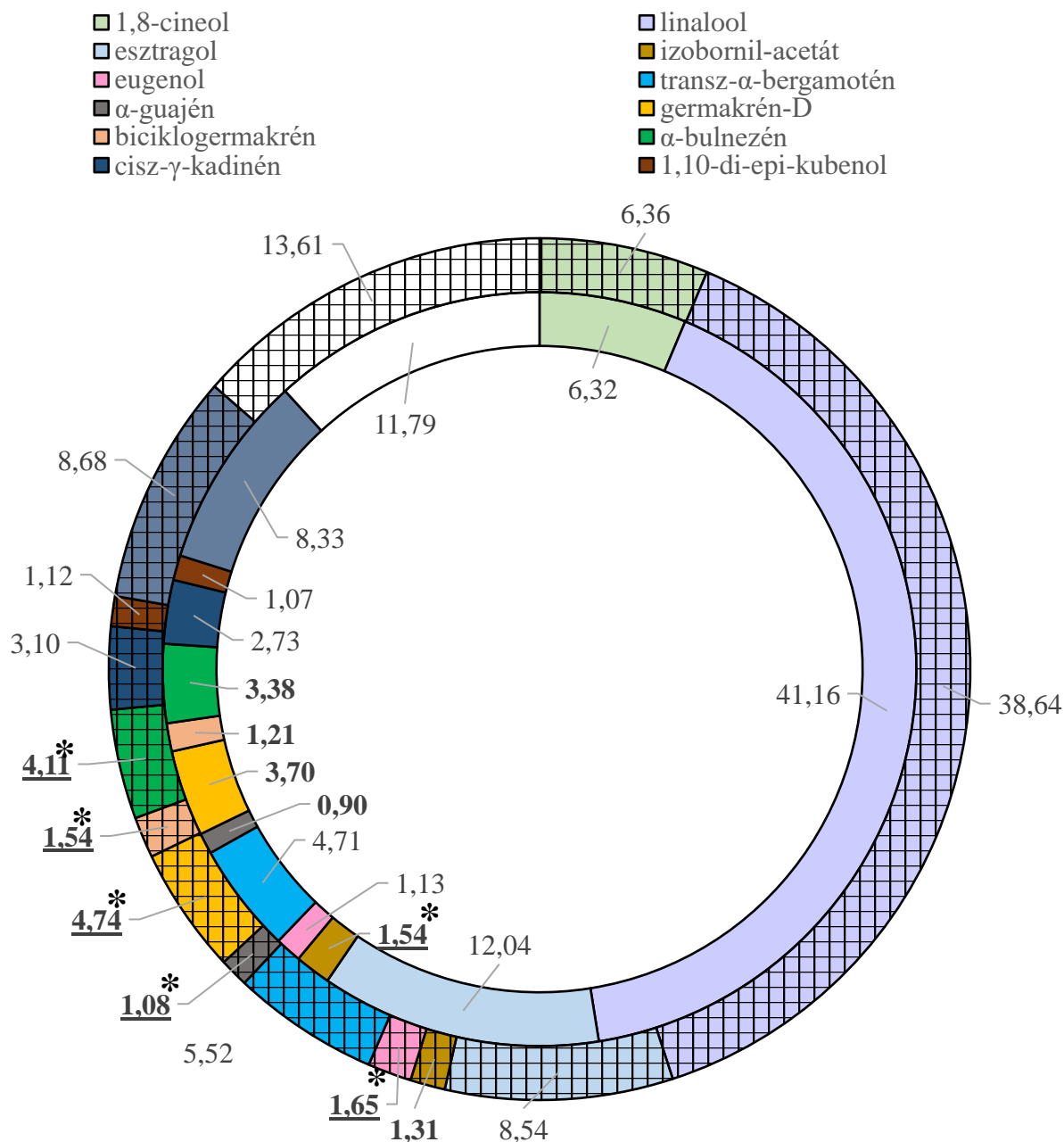


**40. ábra:** A *Basilici herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) árnyékeztetés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)



A 30% árnyékezelés a bazsalikom illóolaj-összetételét a kezelt és kontroll illóolajok komponenseinek páronkénti összehasonlítása szempontjából a következők szerint befolyásolta: nem befolyásolta a linalool ( $p=0,215$ ),  $\alpha$ -terpineol ( $p=0,742$ ) és az esztragnol ( $p=0,141$ ) komponensek mennyiségét; szignifikánsan negatívan hatott az izobornil-acetát ( $p=0,019$ ) mennyiségére és szignifikánsan növelte az eugenol ( $p=0,011$ ),  $\alpha$ -guajén ( $p=0,034$ ), germakrén-D ( $p=0,027$ ), biciklogermakrén ( $p=0,043$ ) és a  $\alpha$ -bulnezén ( $p=0,025$ ) mennyiségét (%).



41. ábra: A *Basilici aetheroleum* összetételének alakulása 30% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2020. évben

**(Jelmagyarázat:** Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A félkövér formázású számok a kezelés hatására a Student-féle t-próba szerint szignifikánsan megváltozottak ítélt részarányú komponenseket jelölik. A félkövér és aláhúzott formázású és csillaggal ellátott komponens részaránya nőtt az összehasonlításban. A kis rácsos kitöltés a 30% árnyékezelést jelöli.)

Érdekes megfigyelésre tettünk szert a két szempontú statisztikai módszer alkalmazásával a bazsalikom illóolajának változása esetén. Eszerint ugyan a  $\alpha$ -guajén, germakrén-D, biciklogermakrén és a  $\alpha$ -bulnezén komponensek detektált értékének változása a páronkénti összehasonlítás szerint szignifikáns volt, mindez azonban nem vonta maga után azt, hogy végül a kezelt és a kontroll illóolajok teljes összetételében is szignifikánsan eltérjen az arányuk. Ezen jelenséget fordított esetben is megfigyeltük. A linalool,  $\alpha$ -terpineol és esztragnol komponensek esetén a páronkénti összehasonlítás nem mutatott ki szignifikáns különbséget az árnyékezelés hatására a kezelt és a kontroll illóolajban lévő detektált értékek között, a többi komponens részarányának változása mégis azt idézte elő, hogy e komponensek aránya a teljes illóolaj-összetételben szignifikánsan megváltozott - befolyásolva ezzel az illóolaj minőségét. A linalool és esztragnol - mint fontos, minőséget meghatározó főkomponensek - aránya a teljes illóolaj-összetételben szignifikánsan ( $p=0,013$ ;  $p=0,037$ ) csökkent, miközben a  $\alpha$ -terpineol aránya szignifikánsan ( $p=0,010$ ) nőtt a kontrollhoz képest az árnyékezelés hatására (21. táblázat).

**21. táblázat:** *A Basilici aetheroleum* detektált (GC) összetételének alakulása 30% (A30) árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2020. évben a páronkénti összehasonlítás (Stud t) és a kompozíció analízis (komp an) által meghatározott szignifikancia értékekkel

Illóolaj komponensek	Átlag (%) $\pm$ szórás		Szignifikancia	
	A30-2020	K-2020	Sig. (2-tailed)	p-comp
<u>1,8-cineol</u>	6,36 $\pm$ 0,37	6,32 $\pm$ 1,48	0,972	0,343
<b><u>linalool</u></b>	38,64 $\pm$ 1,66	41,16 $\pm$ 0,78	0,215	<b>0,013</b>
<u>esztragnol</u>	8,54 $\pm$ 0,95	12,04 $\pm$ 2,06	0,141	<b>0,037</b>
<b>izobornil-acetát</b>	1,31 $\pm$ 0,05	1,54 $\pm$ 0,01	<b>0,019</b>	<b>0,007</b>
<b>eugenol</b>	1,65 $\pm$ 0,09	1,13 $\pm$ 0,13	<b>0,011</b>	<b>0,003</b>
transz- $\alpha$ -bergamotén	5,52 $\pm$ 0,95	4,71 $\pm$ 0,61	0,463	0,906
<b><math>\alpha</math>-guajén</b>	1,08 $\pm$ 0,03	0,9 $\pm$ 0,06	<b>0,034</b>	0,569
<b>germakrén-D</b>	4,74 $\pm$ 0,12	3,7 $\pm$ 0,28	<b>0,027</b>	0,290
<b>biciklogermakrén</b>	1,54 $\pm$ 0,11	1,21 $\pm$ 0,05	<b>0,043</b>	0,280
<b><math>\alpha</math>-bulnezén</b>	4,11 $\pm$ 0,11	3,38 $\pm$ 0,21	<b>0,025</b>	0,500
cisz- $\gamma$ -kadinén	3,1 $\pm$ 0,29	2,73 $\pm$ 0,06	0,189	0,911
1,10-di-epi-kubenol	1,12 $\pm$ 0,06	1,07 $\pm$ 0,04	0,330	0,121
<u>tau-kadinol</u>	8,68 $\pm$ 0,46	8,33 $\pm$ 0,19	0,323	0,144
1% alatti minor komponensek	13,61	11,79	-	-

(Jelmagyarázat: A félkövér formázás a kezelés hatására szignifikánsan változást jelöli. Az aláhúzott formázás az 5% részarány fölötti főkomponenseket jelöli.)

RADÁCSI (2014) megfigyelései szerint vízhiány esetén a bazsalikom illóolaj-összetételében csökkent a monoterpén komponensek részaránya, miközben a szeszkviterpén komponenseké növekedett. Hasonló tendenciát figyeltünk meg mi is a kísérletben a 2020. évben az árnyékolás hatására. A természetes linalool, esztragnol és eugenol komponensek nagyértékű termékek a piacon (VANI *et al.* 2009), így ezen komponensek árnyékhataásra bekövetkező részarány csökkenése kedvezőtlen folyamat, ugyanakkor DE VINCENZI *et al.* (2000) szerint az esztragnol karcinogén hatása kockázatos, így a felhasználás szempontjából az esztragnol-tartalom csökkenése előnyökkel is járhat. XIANMIN *et al.* (2008) kutatásai is a mi eredményeinkhez

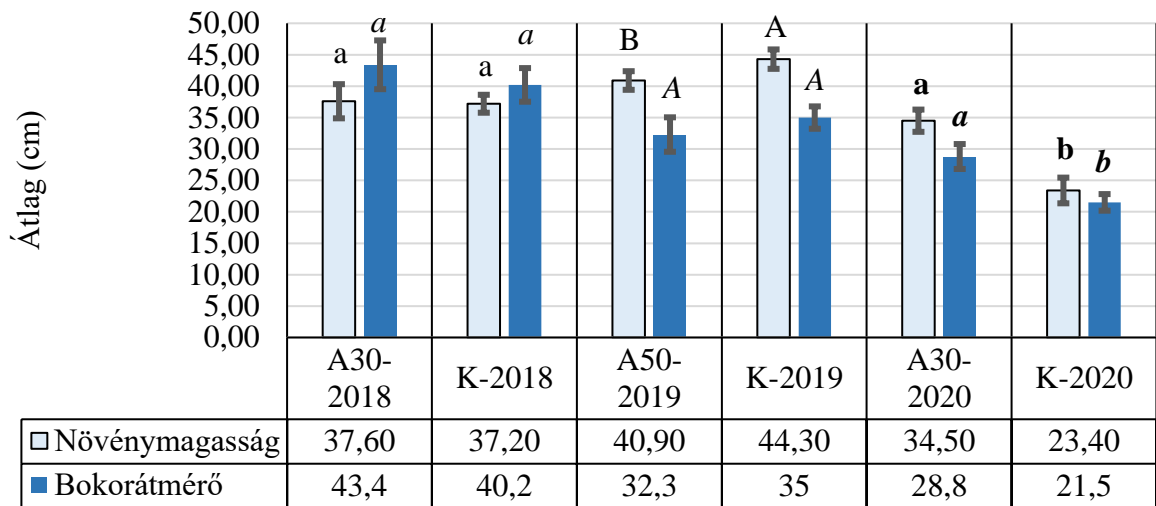
hasonló megállapításokkal zárultak a bazsalikom illóolaj összetevői és a megvilágítás kapcsolatát illetően: a linalool és az eugenol komponensek részaránya szignifikánsan növekedett a megvilágítottság növelésével, miközben a megvilágítás változása nem gyakorolt hatást az 1,8-cineol – mint az illatkompozíció szempontjából fontos molekula - részarányára.

A bazsalikom mérsékelt égövi körülmények között is sikeresen termesztett, szubtrópusi eredetű gyógynövény, melynek biológiailag aktív anyagait az élelmiszeripar, a gyógyászat és a növényvédelem egyaránt alkalmazza és kutatja (SHAHRAJABIAN *et al.* 2020; OXENHAM *et al.* 2005). Egyéb növényfajokkal történő köztes termesztésének előnyeit számos kutatás ismerteti (KORDI *et al.* 2020; PEREIRA *et al.* 2015; SONG *et al.* 2010). Jelen kutatás eredményei szerint az enyhe árnyék (30%) a hozamot negatívan befolyásolhatja, azonban a herbadrogban történő illóolaj-akkumulációra nem gyakorol szignifikáns hatást. Ezzel kapcsolatban eltérő eredményekről számoltak be szerbiai (mérsékelt égöv / száraz kontinentális klíma mediterrán hatással) és egyesült királyság béli (mérsékelt égöv / óceáni klíma) kutatások. A Szerbiára jellemző klíma esetén árnyék (50%) hatására szabadföldön javítható az illóolaj-felhalmozás (kiváltképp vörös színű takaróháló használatával), miközben az Egyesült Királyság területén üvegházban nevelt fiatal bazsalikom növények esetén minden árnyékezelés (25-75%) hatására szignifikánsan csökkent mind az illóolaj-tartalom, mind pedig értékes főkomponensek (linalool, eugenol) aránya a napon nevelt kontroll növényekhez képest (MILENKOVIC *et al.* 2019; XIANMIN *et al.* 2008).

Vizsgálati körülményeink között a két évjárat eltérő eredményei is tükrözik az adott ökológiai körülmények szerepét mind a mennyiségi mind pedig a minőségi produkcóra vonatkozóan. Mindebből arra következtetünk, hogy a bazsalikom agrárerdészeti termesztése feltehetően a mediterrán jellegű területeken és időjárási körülmények között perspektivikus. Ehhez azonban további adatok szükségesek figyelembe véve a fajtát, a talajt és a növény felhasználási célját.

### **5.3.9. *Satureja hortensis* L.**

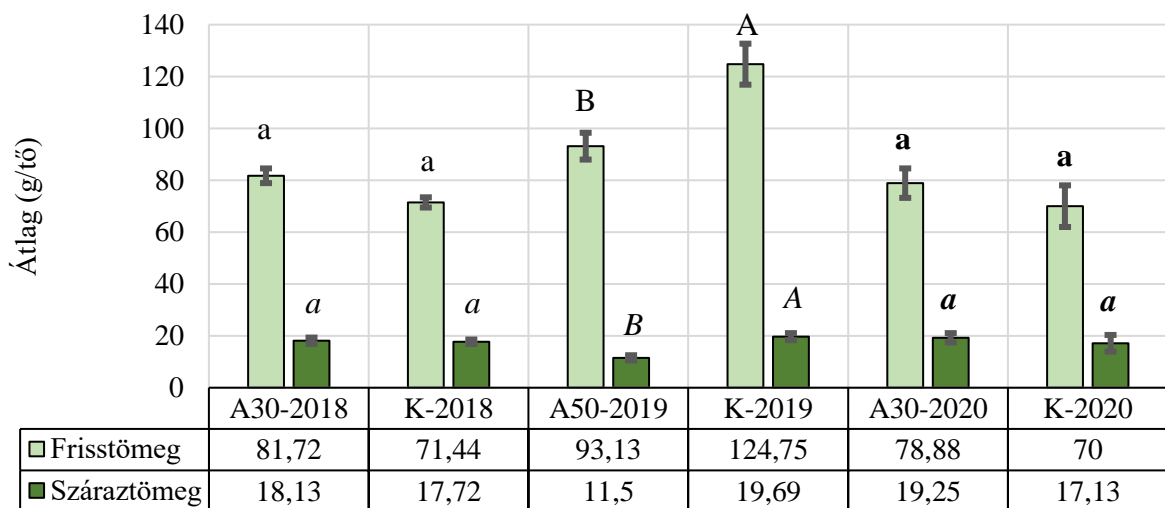
A borsfű növekedésére 2018-ban a 30% árnyékezelés sem a vertikális sem horizontális irányban nem hatott ( $t(9)=0,21$ ;  $p=0,84$ ;  $t(9)=1,10$ ;  $p=0,30$ ). 2020-ban viszont szignifikáns hatás volt megfigyelhető mindkét morfológiai paraméter tekintetében, az árnyékolt (30%) növények szignifikánsan magasabbra ( $t(9)=5,37$ ;  $p<0,01$ ) és szélesebbre ( $t(9)=3,69$ ;  $p<0,05$ ) nőttek a napnak teljesen kitettekhez képest (42. ábra). 2019 évben, amikor 50% árnyékot kaptak a kezelt parcellák, a növények enyhén megnyúltak és szignifikánsan ( $t(9)=3,25$ ;  $p<0,05$ ) magasabbra nőttek a kontroll növényeknél (42. ábra).



**42. ábra:** A *Satureja hortensis* L. növénymagasság (cm) és sorszélesség (cm) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

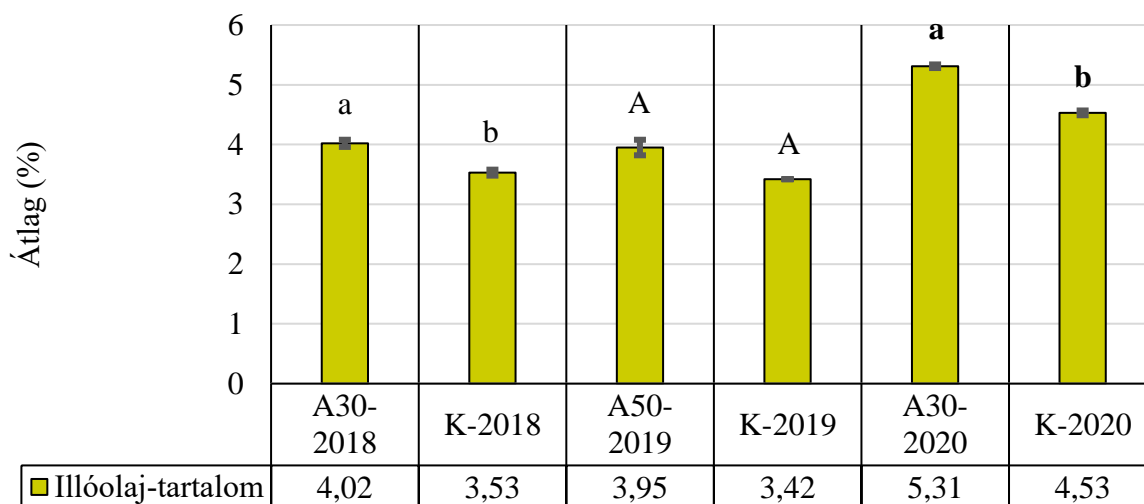
A 30% fényellátás csökkenés nem járt szignifikáns hozam csökkenéssel sem a friss sem a drogtömeg vonatkozásában (friss:  $t(3) < 2,31$ ;  $p > 0,10$ ; száraz:  $t(3) < 0,95$ ;  $p > 0,40$ ), azonban az 50% árnyékezelés mindkét paramétert szignifikánsan (friss:  $t(3) = 6,11$ ;  $p < 0,05$ ; száraz:  $t(3) = 13,12$ ;  $p < 0,01$ ) csökkentette (43. ábra).



**43. ábra:** A friss- és a szárastömeg (g/tő) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékezelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

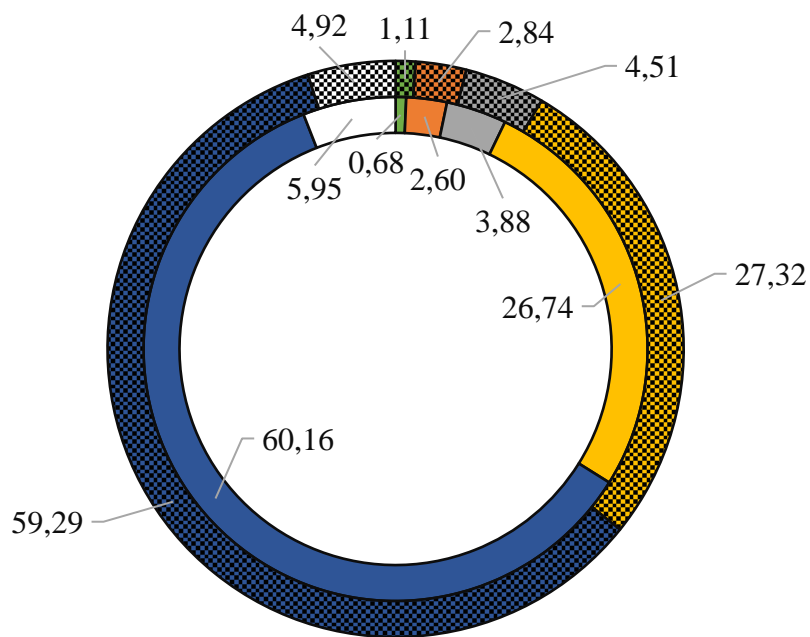
Az árnyékban termelt *Saturejae herba* illóolaj-tartalma a 30% árnyékkézelés mindkét évében jelentősen és szignifikánsan (2018:  $t(2)=27,59$ ;  $p<0,01$ ; 2020:  $t(2)=10,09$ ;  $p<0,05$ ) növekedett a kontrollhoz képest. Adataink szerint az illóolaj-tartalom még az 50% árnyékolás alatt sem csökkent szignifikáns mértékben ( $t(2)=3,55$ ;  $p=0,07$ , 44. ábra). Mindez annak tekintetében kifejezetten releváns eredmény, hogy a faj nemesítési céljai között szerepel a 4% feletti illóolaj-tartalom elérése, amelyben úgy tűnik, hogy a fajtulajdonságokon kívül a termelési rendszer fényellátottsága is fontos szerepet játszhat.



44. ábra: A *Saturejae herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása 30% (A30) és 50% (A50) árnyékkézelés hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2018., 2019. és 2020. években

(**Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a Student-féle t-próba szerinti páronkénti összehasonlítások eredményeit mutatják, a különböző betűk szignifikáns különbségeket jelölnek.)

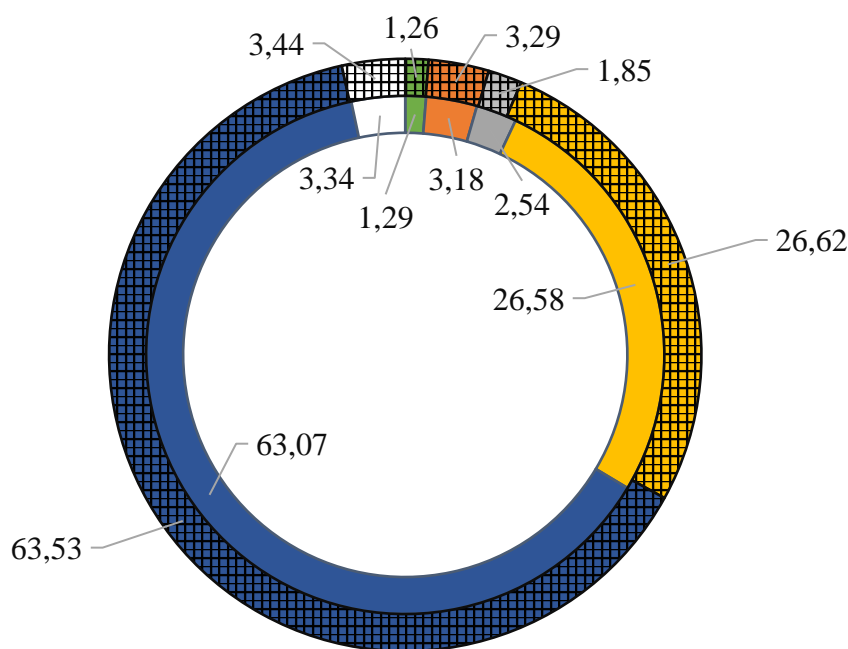
■  $\beta$ -mircén ■  $\alpha$ -terpinén ■ p-cimol ■  $\gamma$ -terpinén ■ karvakrol □ nem azonosított



45. ábra: *Satureja aetheroleum* összetételének alakulása 50% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2019. évben  
**(Jelmagyarázat:** Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik. A sűrű pepita kitöltés az 50% árnyékezelést jelöli.)

A borsfű esetén sem a 30%-, sem pedig az 50% árnyékezelés nem gyakorolt szignifikáns hatást az illóolaj-összetételre egyik vizsgált évben sem (45. és 46. ábra).

■  $\beta$ -mircén ■  $\alpha$ -terpinén ■ p-cimol ■  $\gamma$ -terpinén ■ karvakrol □ nem azonosított



46. ábra: A *Satureja aetheroleum* összetételének alakulása 30% árnyékezelés hatására a kontroll növényekhez viszonyítva a 2020. évben

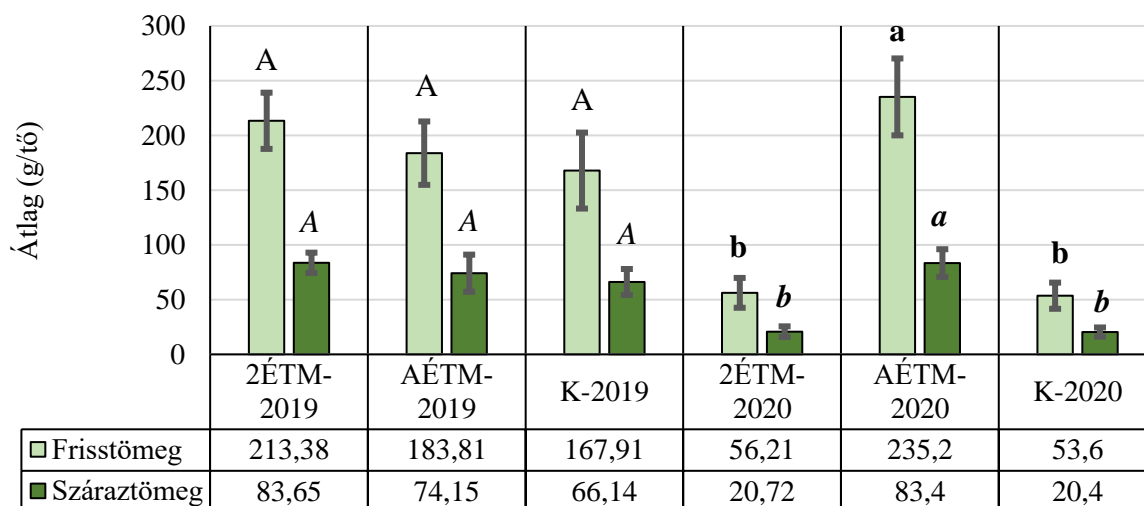
(Jelmagyarázat: Az ábrán szereplő számok az adott komponens részarányát (%) jelölik.)

A borsfű Európa számos vidékén termesztett, valamint világszerte alkalmazott gyógy- és fűszernövény, köszönhetően antioxidáns, antimikrobiális, antiparazitikus, peszticid, gyulladásgátló és májvédő tulajdonságainak (FIERASCU *et al.* 2018). A 30%-os árnyékhatás nem befolyásolta negatívan a *Satureja herba* hozamot, miközben kedvezően hatott annak illóolaj-tartalmára, továbbá sem a 30%-os, sem pedig az 50% árnyékezelés nem gyakorolt szignifikáns hatást az illóolaj-összetételre. Ezen eredmények a hároméves kutatás egyik legfontosabb megállapításai, hiszen a borsfűvet a szárazságstresszt jól toleráló növényként tartja számon a szakma (BAHER *et al.* 2002; RADÁCSI *et al.* 2016), emellett azonban mostantól az enyhe árnyékstresszt jól toleráló karakterrel is jellemezhetjük. Ennek alapján úgy tűnik, a borsfű mérsékelt égövön történő agráreredészeti termesztése javasolható, hiszen a fák által nyújtott enyhe árnyék (30%) által potenciálisan nagyobb illóolaj-hozam érhető el egységnyi területről a monokultúrához képest. Léptéknövelő kísérletekre azonban mindenképpen szükség van.

## 5.4. Félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet eredményei és azok megbeszélése

### 5.4.1. *Melissa officinalis* L.

A citromfű agrárerdészeti termesztési potenciálját zárt térállású nemesnyár energiaültetvényben vizsgáltuk annak érdekében, hogy minden lehetséges ökológiai interakció hatását felnagyítva érzékeljük – ezzel mintegy negatív kontrollt alkotva a doktori kutatási koncepcióban résztvevő szabadföldi kisparcellás eredményeinknek. A friss- és drogtömeget (*Melissae herba*) szemléltető 47. ábrán jól látszik, hogy az áttelepítést követő 2019. évben és az azt követő 2020. évben teljesen eltérő módon reagált a kísérleti állomány a kezelésekre a produkció szempontjából. A 2019. évben egy enyhe, de tendenciózus produkció csökkenés figyelhető meg mind a frisstömeg, mind pedig a drogtömeg vonatkozásában ahogy egyre több napfény érte a növényeket, azonban ezen tendencia nem bizonyult statisztikailag szignifikánsnak (47. ábra). Ezzel szemben a 2020. évben azt tapasztaltuk, hogy az abban az évben töre metszett nyárfasorok között elhelyezkedő kísérleti állomány produkciója kiemelkedően és szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) nagyobb volt mind a két éve töre metszett-, mind pedig a kontroll parcellákon elhelyezkedő növényekéhez képest, amely utóbbiak produkciója egymástól nem különbözött szignifikánsan (47. ábra).

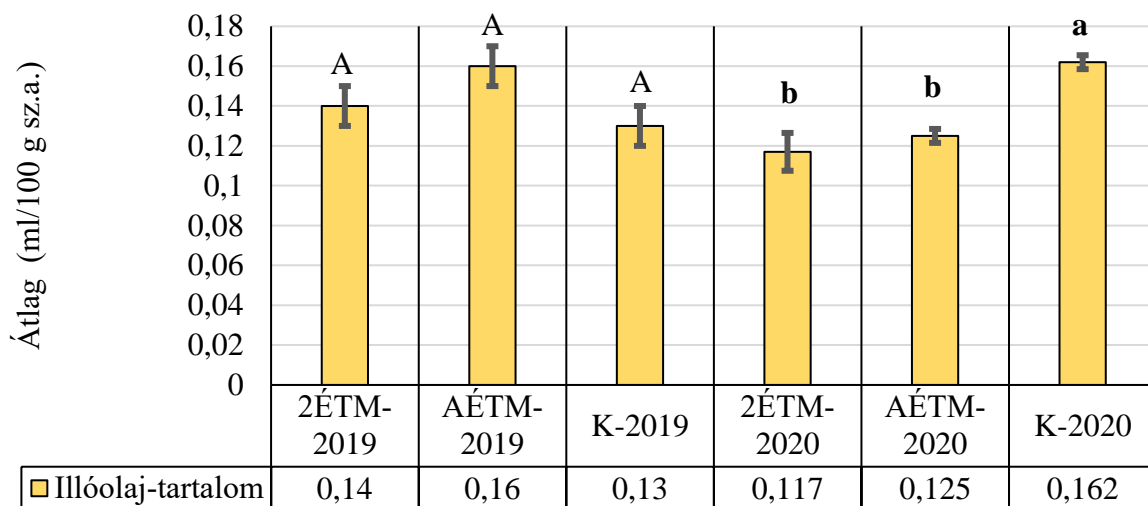


**47. ábra:** A friss- és a szárastömeg (g/tő) átlag és szórás értékeinek alakulása a két éve töre metszett fasorok (2ÉTM) és az adott évben töre metszett fasorok (AÉTM) kezelése hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a szignifikancia vizsgálat által létrehozott értékcsoportokat jelölik.)

Az illóolaj-akkumuláció szempontjából azt figyelhettük meg, hogy a 2019. évben nem volt szignifikáns különbség a különböző éveken töre metszett fasorokban nevelt állományok között, majd a 2020. évben mindkét köztesművelésű állomány illóolaj-tartalma szignifikánsan kisebb volt ( $p < 0,05$ ), mint a kontroll parcellákon nevelt növényeké, de a két kezelés egymástól nem különbözött szignifikánsan (48. ábra).





**48. ábra:** *A Melissa herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása a két éve töre metszett fasorok (2ÉTM) és az adott évben töre metszett fasorok (AÉTM) kezelések hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években (Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a szignifikancia vizsgálat által létrehozott értékcsoportokat jelölik.)

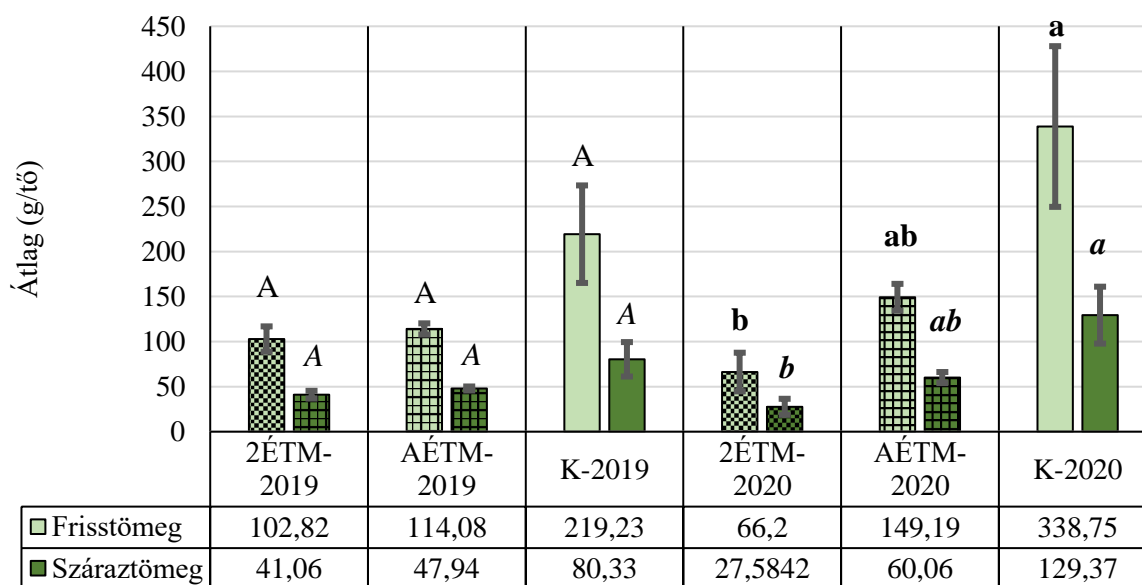
A *Melissa officinalis* L. mediterrán származású, meleg és fénykedvelő növényként tartja számon az irodalom, amelynek ugyanakkor a környezeti igényeire vonatkozó gyakorlati termesztési tapasztalatok beszámolnak a félárnyékban történő termesztés potenciális előnyeiről is (MEYERS 2007). A kísérleti eredményekből az világlik ki, hogy a faj alkalmas lehet köztesnövényként történő hasznosításra nyárfa ültetvények sorközeiben, mert sem frisstömeg-, sem pedig drogtömeg termelése nem csökkent szignifikánsan az ültetvények sorközeibe történő áttelepítés hatására a kontroll állományéhoz képest. Sőt mi több a 2020. évben statisztikailag szignifikáns és szakmailag kifejezetten releváns mértékű termelésnövekedéssel reagált az azévi töre metszett nyárfa állomány jelenlétére. Mindez annak fényében válik érdekessé, hogy az agrárerdészeti rendszerek esetén felmerül a fásszárú és lágyszárú kultúrák versengése az elérhető talajvíz iránt. A hazai őshonos nyárfák (*Populus alba*, *Populus nigra*) az Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (ÁNÉR) szerint kétféle növénytakarásban vannak jelen természetesen: fűz-nyár ártéri ligeterdők és homoki borókás-nyárasok (BÖLÖNI, MOLNÁR és KUN, 2011). A nyárfajok életmódja pionír jellegű, nyers talajokat, gyakorta öntéstalajokat foglalnak el a természetes szukcesszió folyamatában, ahol nagy dendromasszát produkálnak - mindez utal a taxon vízigényére is. A hazai nemesítési tevékenység eredményeképp azonban a száraz termőhelyi körülmények között is jól hasznosítható fajták állnak az erdő- és mezőgazdálkodók rendelkezésére, továbbá fontos ismérv, hogy a nyárfa ültetvények a 150-300 cm közötti talajvízkészletet hasznosítják (GYURICZA és BOROVIK 2018), így a vízért történő versengés a *Melissa officinalis* L. gyógynövényvel történő együttművelés esetén kevésbé tűnik problémásnak, mely feltevést jelen kísérlet frisstömegeire és drogtömegeire vonatkozó eredményei még ha csak indirekt módon is, de megerősítenek.

Az illóolaj-tartalom változása a két év eltérő adatai alapján nem mutat egyértelmű tendenciát, sőt ellentmondásosnak tűnik, az azonban bizonyos, hogy a drog illóolaj-tartalom növekedésével nem érdemes tervezni szűk térállású agrárerdészeti rendszer létrehozása esetén, sokkal inkább egy enyhén csökkenő illóolaj-tartalom és enyhén növekvő drogtömeg a realitás.

Ebből kiindulva zárt térállású agrárerdészeti rendszerben történő *Melissa officinalis* L. termelési célját reálisan nem képezheti az illóolaj előállítás, sokkal inkább a droghozam növelése a megfelelő minőség megtartásával. Utóbbi esetében a gyógyszerkönyvi minősítéshez szükséges rozmaringsav-tartalom, esetleg egyéb fontos fenolkarbonsavak (luteolin, kvercetin, apigenin) mennyiségi jelenlétének vizsgálatát további agrárerdészeti kísérletek megvalósítása esetén javasoljuk.

#### 5.4.2. *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare*

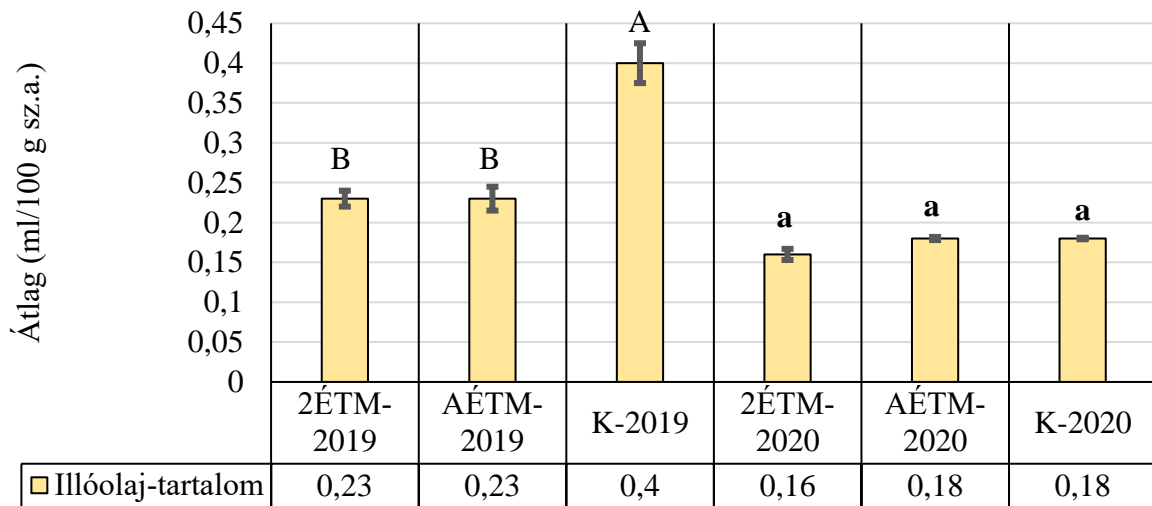
A frisstömeg és a drogtömeg vonatkozásában mindkét évben tendenciózus eredmény látható a 49. ábrán, amelyben az átlagok (frisstömeg és drogtömeg – g/tő) szerint minél erősebb árnyék éri a növényt, annál kisebb tömegű leveles virágzó hajtást produkál. Habár a tendencia egyértelműnek tűnik, a 2019. évben mégsem volt statisztikailag szignifikáns különbség a kezelések között. A 2020. évben viszont azt látjuk, hogy a két éve töre metszett fasorok között szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) kisebb produkcióra képes a növény, mint a kontroll parcellán (49. ábra). A frisstömeg eredményeivel teljesen összhangban állnak a drogtömeg eredmények is.



49. ábra: A friss- és a száraztömeg (g/tő) átlag és szórás értékeinek alakulása a két éve töre metszett fasorok (2ÉTM) és az adott évben töre metszett fasorok (AÉTM) kezelésekre hatása a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

(Jelmagyarázat: Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a szignifikancia vizsgálat által létrehozott értékcsoportokat jelölik.)

Az illóolaj-tartalom eredmények szerint a 2019. évben mindkét köztes állomány szignifikánsan kevesebb illóolajat halmozott fel, mint a kontroll ( $p < 0,05$ ), amely megfigyelést a 2020. év adatai nem erősítik meg, mert ott nincs szignifikáns eltérés egyik kezelés esetén sem (50. ábra).



**50. ábra:** Az *Origanum herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása a két éve töre metszett fasorok (2ÉTM) és az adott évben töre metszett fasorok (AÉTM) kezelések hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években  
**(Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a szignifikancia vizsgálat által létrehozott értékcsoportokat jelölik.)

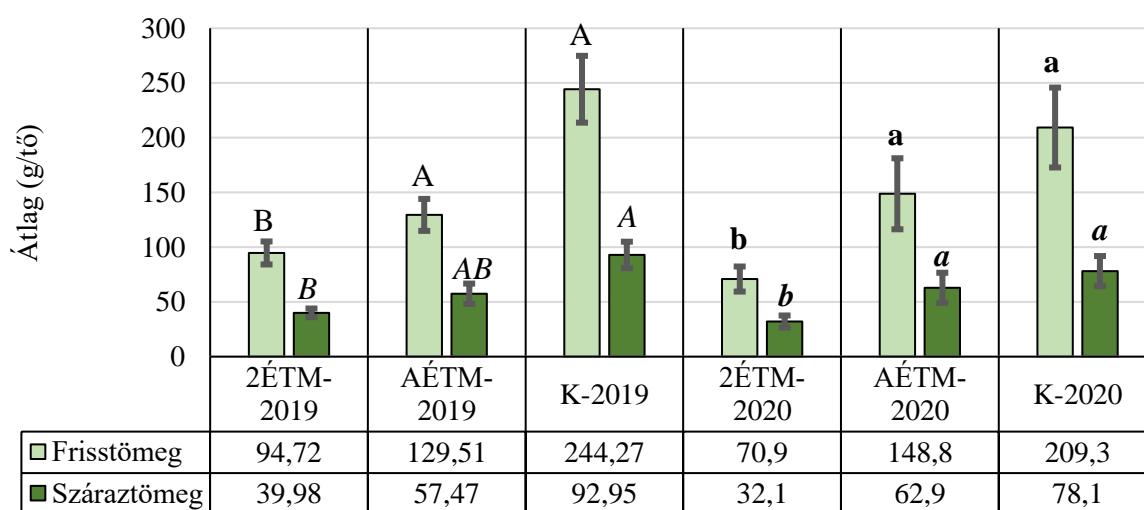
A kísérletben az *Origanum vulgare* L subsp. *vulgare*, azaz a hazánkban és számos európai országban is vadon előforduló, rózsaszín virágú, kis illóolaj-tartalmú alfaj vett részt. A subsp. *vulgare* a hazai flóra részeként jelen van száraz erdők és gyepek növényeként egyaránt (SOÓ és BORHIDI 1968). Az Általános Nemzeti Élőhelyosztályozási Rendszer (ÁNER) élőhelyleírása szerint az alfaj a nyílt, gyepekkel mozaikos löszölgyesek és a galagonyás-kökényes-borókás cserjések jellemző növényeként van jelen e növénytársulásokban, mely természetes élőhely jellege vetette fel agrárerdészeti tesztelhetőségének lehetőségét. A kísérleti eredmények alapján azonban a subsp. *vulgare* termesztése nehezen képzelhető el ökonómiailag megtérülő módon szűk térállású, jelentős árnyékot nyújtó agrárerdészeti rendszerekben. A karvakrolos kemotípusú szurokfüvek illóolaja az egyik legnagyobb érdeklődésre számot tartó növényi eredetű takarmány- és élelmiszeripari adalékanyag (SKOUFOGIANNI *et al.* 2019) köszönhetően erős antibakteriális- és egyéb előnyös biológiai hatásainak (GARCIA-GALICIA *et al.* 2020; GONÇALVES CATTELAN *et al.* 2013). Az illóolaj gazdaságos előállításához szükséges átvételi ár és a termesztési önköltség a subsp. *vulgare* alfaj kísérletben is tapasztalt illóolaj-tartalom eredményei alapján nem eredményezhetnek gazdaságos termesztést illóolaj célú hasznosítás esetén sem monokultúrák, sem pedig agrárerdészeti körülmények között, továbbá az alfaj nem is a karvakrolos kemotípusba tartozik. Fűszer célú agrárerdészeti termesztése a tapasztalt droghozam csökkenés okán nem lehet ökonómiailag fenntartható perspektíva. Mindazonáltal jelen kísérleti eredmények alapvető jelentősége adekvát, mert legjobb tudomásunk szerint nem volt még tudományos vizsgálat tárgya a hazánkban őshonosan, fás társulásokban előforduló alfaj (*Origanum vulgare* L subsp. *vulgare*), agrárerdészeti rendszerben történő megfigyelése. A Közép-Európában gyűjtött subsp. *vulgare herba* a kereskedelem szerves része, melynek természetes forrásai kimerülőben vannak, így a termesztésbe vonási és nemesítési tevékenység fontosságát a természetvédelmi célok is kiemelik (WEGLARZ *et al.* 2020).

Az agrárerdészeti rendszerek tervezésében rejlő sokszínűség jelen kísérleti eredmények ellenére is jelzi a faj agrárerdészeti termesztésének perspektíváját, mert ha kiinduló elvként kezeljük, hogy minden növényfaj a természetes élőhelyének mindinkább megfelelő termelési

rendszerben képes alacsony inputok mellett hosszútávon megfelelő produkcióra, úgy a subsp. *vulgare* kevés árnyékot vető cserjesorokkal (galagonya, kökény, boróka, csipkerózsa, stb.) történő köztestermesztésének megfigyelése indokolt lehet további szelekciós célú vizsgálatok tárgyaként.

### 5.4.3. *Thymus pannonicus* All.

Az erős árnyékot biztosító, szűk térállású, másodéves hajtásokat nevelt faállomány jelenléte összességében szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) negatívan hatott a növényi produkcióra mind a friss-, mind a drogtömeg vonatkozásában mindkét évben (51. ábra). A 2019. évben a két éve töre metszett fák sorközeiben nevelt állomány szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) kisebb frisstömeget produkált, mint az aktuális évben töre metszett fák sorközeiben vagy a kontroll területen nevelt állomány, amelyek nem különböztek egymástól szignifikánsan. Mindez a drogtömeg vonatkozásában úgy jelent meg, hogy a két éve töre metszett fák között nevelt állomány drogtömege szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) kisebb volt, mint a kontroll területen nevelt állomány drogtömege, miközben az adott évben töre metszett fák között nevelt állomány drogtömege nem különbözött sem a két éve töre metszett fák között nevelt-, sem pedig a kontroll területen nevelt állomány drogtömegétől. A 2019. év eredményei a 2020. évben egyértelműbbé váltak, mert akkor a produkció mindkét mért paramétere egyöntetűen változott: a két éve töre metszett fák között nevelt növények friss- és drogtömege szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) kisebb volt, mint az adott évben töre metszett fák között és a kontroll területen nevelt növényeké – amelyek nem különböztek egymástól szignifikánsan.

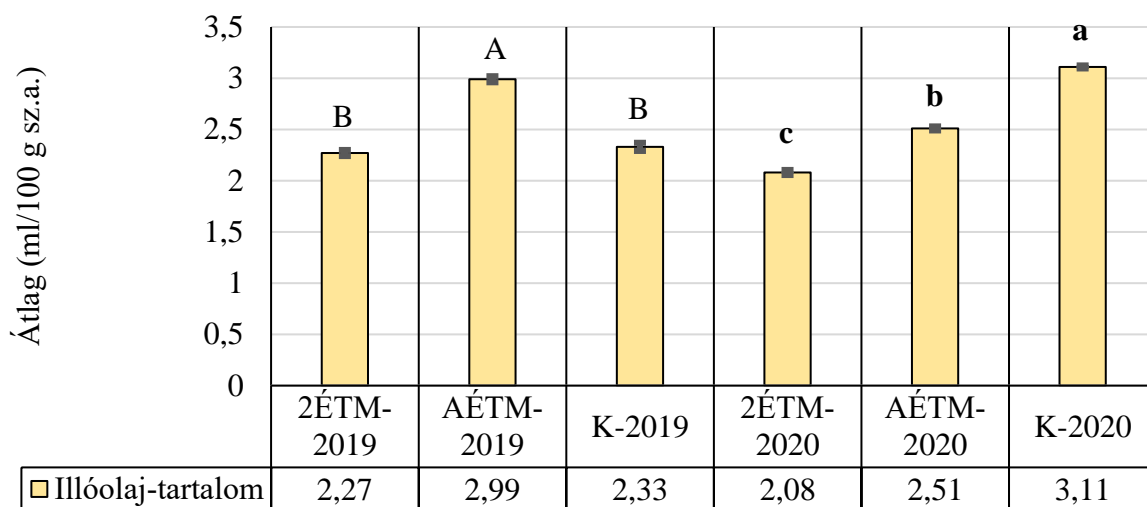


51. ábra: A friss- és a szárastömeg (g/tó) átlag és szórás értékeinek alakulása a két éve töre metszett fasorok (2ÉTM) és az adott évben töre metszett fasorok (AÉTM) kezelése hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

(**Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a szignifikancia vizsgálat által létrehozott értékcsoportokat jelölik.)

A jelenlévő faállomány méretének hatására bekövetkező illóolajtartalom-változás eltérő volt a két megfigyelt évben. A 2019. évben a két éve töre metszett fák sorközeiben nevelt és a kontroll területen nevelt növények illóolaj-tartalma nem különbözött egymástól, miközben az aktuális évben töre metszett fák sorközeiben nevelt növények illóolaj-tartalma szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) nagyobb volt mind a két éve töre metszett állomány sorközeiben-, mind pedig a kontroll területen nevelt növényekétől (52. ábra). Ettől eltérően azonban a 2020. évben azt figyelhettük meg, hogy a jelenlévő dendromassza méretének csökkenésével emelkedett az illóolaj-tartalom,

hiszen a két éve törté metszett fák sorközeiben nevelt növényekben mért illóolaj-tartalomtól szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) nagyobb volt az adott évben törté metszett fák sorközeiben nevelt növényekben mért, amelytől ugyancsak szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) nagyobb volt a kontroll terület növényeiben mért illóolaj-tartalom.



**52. ábra:** A *Thymi herba* illóolaj-tartalom (ml/100 g sz.a.) átlag és szórás értékeinek alakulása a két éve törté metszett fasorok (2ÉTM) és az adott évben törté metszett fasorok (AÉTM) kezelésekre hatására a kontroll (K) növényekhez viszonyítva a 2019. és 2020. években

**(Jelmagyarázat:** Az ábrákon szereplő, eltérő formázású betűjelek a szignifikancia vizsgálat által létrehozott értékcsoportokat jelölik.)

A kísérletben a *Thymus pannonicus* All. azaz a magas kakukkfű faj vett részt, amely jelen van számos különböző hazai növénytársulásban, melyek között lágyszárúak domináltak (homoki legelők, homokpuszta gyepek, dolomit sziklagyepek, pusztafüves lejtősztyepprétek) és fásszárúak domináltak (homoki erdefenyvesek, cserszömörccés bokorerdők, sajmeggyes bokorerdők) társulásokban egyaránt megtalálható (BORHIDI és SÁNTA 1999). A kakukkfűvet napfény és melegkedvelő növényekként tartjuk számon, amelyeket emellett az abiotikus környezeti tényezőkhöz (hőmérséklet, vízellátottság) történő jó ellenálló és adaptációs képesség jellemez (BARÁTHNÉ 2014). Mindkét ismérvet megerősítik kísérleti eredményeink, mert összességében azt tapasztaltuk, hogy az erős árnyék mindkét évben szignifikánsan rontott a fitomassza produkción és egyik évben az illóolaj-akkumuláción is, miközben az enyhe árnyékot mindkét szempont szerint jól tolerálták a növények. PLUHÁR *et al.* (2010) felmérései szerint a *Thymus pannonicus* All. tizenkilenc hazai populációból gyűjtött mintái rendkívül nagy szórást mutattak az illóolaj-tartalom szempontjából (0,14 ml/100 g sz.a. – 1,9 ml/100 g sz.a.), kemotípusuk pedig jellemzően timol és p-cimén típusok voltak. Ehhez képest a jelen kísérletben mért illóolaj-tartalom adatok magasabbak voltak (2,27 ml/100 g sz.a. – 3,11 ml/100 g sz.a.). YAMAURA *et al.* (1989) vizsgálatai szerint a fényen tartott *Thymus vulgaris* csíranövények sziklevelei 1,3-szor több mirigyszórt tartalmaztak, mint az etiolált, sötétben nevelt növényeké, valamint az illóolajukban megnőtt a timol aránya (%).

A két éve törté metszett fasorok közötti természetesség negatív hatását az illóolaj-akkumulációra 2020. évi eredményeink is megerősítik, ugyanakkor a 2019. és 2020. évek együttes

eredményeinek tekintetében úgy tűnik, hogy az aktuális évben töre metszett nyárfasorok között történő termesztés nem okoz egyértelműen jelentős negatív hatást az illóolaj-akkumulációra. Habár a VIII. Magyar Gyógyszerkönyv vonatkozó cikkelye szerint a hivatalos drogot (*Serpylli herba*) a keskenylevelű kakukkfű (*Thymus serpyllum*) szárított, egész vagy aprított virágos hajtása jelenti, a hazai kereskedelmi gyakorlatban az összes vadon termő kakukkfűfaj virágzó hajtásait egybe gyűjtik. ARSENIJEVIĆ *et al.* (2019) felmérései szerint a *Thymus pannonicus* All. esetén a kísérleti termesztésből származó tételek illóolaj-tartalma és összetétele kevésbé volt változó, mint a vadon gyűjtött tételeké, s megállapításaik szerint a citrál kemotípusú *Thymus pannonicus* All. termesztése jó út lehet a megfelelő drogminőség elérése felé. Mindezen eredmények alapján a *Thymus pannonicus* All. kakukkfűfaj termesztése eredményes lehet agrárerdészeti körülmények között. További kutatások tárgyaként javasoljuk a faj természetes élőhelyei közül a fás társulásokat leginkább mímelő bokorerdős karakterű agrárerdészeti rendszerek létrehozását és a *Thymus pannonicus* All. produkciójának, ökonómiai és minőségügyi feltételeknek való megfelelésének megfigyelését.

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

### 6.1.A vizsgált fajok allelopátiatoleranciája *in vitro*

- Az *Althaea officinalis* L. esetén az alkalmazott allelokemikáliák a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon kezelést leszámítva a csírázási arányra nem gyakoroltak szignifikáns hatást. Ebből arra következtetünk, hogy a faj toleranciáját a *Populus* és *Juglans* fajok allelopátiás anyagcseretermékeire, valamint agrárerdészeti termeszthetőségének egyéb aspektusait érdemes tovább vizsgálni tenyészedényes kísérletekben és/vagy szabadföldi körülmények között.
- Az *Anethum graveolens* L. esetén az alkalmazott allelokemikáliák hatására a kaszattermések csírázási arány szignifikánsan nem csökkent, kivéve a  $10^{-3}$  M koncentrációjú juglon kezelést, amely drasztikus csírázásgátló hatást gyakorolt. Ebből következően a faj agrárerdészeti termesztését megalapozó további tenyészedényes és/vagy szabadföldi kísérleteit javasoljuk.
- Az *Angelica archangelica* L. kaszatterméseinek csírázási arányára és a csíranövények átlagos tömegére szignifikánsan negatív hatást gyakoroltak az alkalmazott *Populus* és *Juglans* levélkivonat-kezelések. Mindebből következően a faj *Populus* és *Juglans* fajokkal történő agrárerdészeti termesztése nem javasolható.
- A *Cannabis sativa* L. kiemelkedően tolerálta az alkalmazott allelokemikáliákat, ebből következően a kender kifejezetten ajánljuk további tenyészedényes és/vagy szabadföldi agrárerdészeti kutatásra.
- A *Carum carvi* L. esetén a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon kezelés kivételével minden alkalmazott allelokemikália esetén szignifikáns csírázásgátló hatást azonosítottunk, azonban a *Juglans* levélkivonat és a juglon kezelések esetén kevésbé drasztikus mértékben. Eszerint a faj *Populus* fajokkal történő agrárerdészeti termesztését nem javasoljuk, *Juglans* fajok allelopátiás hatását viszont érdemes tovább vizsgálni tenyészedényes és/vagy szabadföldi körülmények között.
- A *Centaureum erythraea* Rafn. esetén a  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldattal történő kezelés kivételével minden egyéb allelopátiakezelés szignifikánsan csökkentette a csírázási arányt. Ezért a kis ezerjófűvet semmiképp sem javasoljuk helyre vetni *Populus* és *Juglans* alkotta agrárerdészeti rendszerekbe, azonban a palántanevelés útján történő agrárerdészeti állománytelepítési lehetőségének felmérését perspektivikus témának tartjuk.
- Habár a *Dracocephalum moldavica* L. *Populus* és *Juglans* allelokemikáliákkal történő kezelése kezdetben rontott a csírázási erélyen, végül egyik kezelés sem volt szignifikáns hatással sem a csírázási arányra, sem pedig a csíranövények átlagos tömegére. Következtetésünk szerint a fajt javasoljuk további tenyészedényes és/vagy szabadföldi agrárerdészeti kutatásokra.
- A *Levisticum officinale* Koch. esetén a *Populus* és *Juglans* levélkivonatokkal történő kezelés szignifikáns gátló hatást fejtett ki a magok csírázási erélyére és csírázási arányára, azonban a juglon oldatokkal történő kezelések esetén ez a hatás nem igazolódott. A részben ellentmondásos és nem robosztus gátló hatást bemutató eredmények alapján a faj helyrevetését *Populus* és *Juglans* alkotta agrárerdészeti rendszerek sorközeibe nem javasoljuk sem kísérleti, sem üzemi körülmények között, azonban a szabadágyi palántaneveléssel történő agrárerdészeti termesztéstechnológia vizsgálatát perspektivikus témaként tartjuk számon.

- A *Linum usitatissimum* L. magjai a csírázási erély csökkenése ellenére mind a csírázási arány-, mind a csíranövények átlagos tömege szempontjából kifejezetten jól tolerálták az alkalmazott allelokemikáliákat, ebből fakadóan további agrárerdészeti kutatásra ajánljuk.
- A *Papaver somniferum* L. rendkívül érzékenyen reagált az alkalmazott allelokemikáliákra, ezért nem javasoljuk *Populus* és *Juglans* alkotta agrárerdészeti rendszerek köztesnövényeként sem kísérleti, sem üzemi céllal.
- A *Satureja hortensis* L. kimagasló allelopátiatoleranciáját bizonyítottuk, mert az alkalmazott allelokemikáliák egyik vizsgált csírázási paraméterre sem gyakoroltak szignifikáns hatást. Ebből következően a fajt kifejezetten ajánljuk további tenyésztedényes és/vagy szabadföldi agrárerdészeti kutatásokra.
- A *Sinapis alba* L. magok csírázási paramétereire szignifikánsan negatívan hatott mindkét levélkivonat-kezelés. Egyik juglon oldattal történő kezelés sem hatott sem a csírázási erélyre, sem a csírázási arányra, azonban a csíranövények átlagos tömegét szignifikánsan csökkentette. Mindezek alapján a fajnak sem kísérleti-, sem üzemi termesztését nem ajánljuk *Populus* és *Juglans* alkotta agrárerdészeti rendszerekben.

Eredményeink egyértelműen igazolták, hogy a következő gyógynövényfajok képesek a vetőmag-vizsgálati módszerekben rögzítettek szerinti megfelelő csírázásra a *Juglans* és *Populus* nemzetségekre jellemző allelokemikáliák jelenlétében: *Althea officinalis* L., *Anethum graveolens* L., *Cannabis sativa* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Linum usitatissimum* L. és *Satureja hortensis* L.

## 6.2.A vizsgált fajok árnyéktoleranciája *in vivo*

- Az *Achillea collina* Becker esetén a 30% árnyékhatás a telepítés évében szignifikánsan növelte a növényi produkciót, majd évelő állományban már nem gyakorolt szignifikáns hatást. A drog illóolaj-tartalma a 30% árnyék hatására a telepítés évében szignifikánsan csökkent, majd az évelő állományban nem változott szignifikáns mértékben. A nagyobb biomassza produkció illóolaj előállítás célú termelés esetén kompenzálhatja az illóolaj-tartalom hátrányát a telepítés évében. Az illóolaj proazulén-tartalmára a 30% árnyék első évben szignifikánsan negatívan-, évelő állományban szignifikánsan pozitívan hatott. Mindebből azt a következtetést vontuk le, hogy a faj ígéretes agrárerdészeti rendszerekben történő termesztésre, azonban ezt megelőzően olyan további kispárcellás kísérletek beállítását javasoljuk, amelyben fel lehet mérni a harmadik és negyedik éves állományok árnyékhatásra mutatott viselkedését-, valamint megtalálni az árnyékos körülményeket leginkább toleráló genotípusokat.
- A *Calendula officinalis* L. produkcióját hároméves kísérleteinkben releváns módon nem befolyásolta a fényellátás. Kedvezőtlen hozam- vagy hatóanyag csökkenést nem tapasztaltunk sem a 30%-, sem pedig az 50% árnyék hatására. A 2020. évben a 30% árnyékkezelés hatására az összes karotinoid-tartalom szignifikáns növekedést mutatott, továbbá a gyógyszerkönyvi minőséget elsőrendűen meghatározó összes flavonoid-tartalom tekintetében szignifikáns eltérés egyik évben egyik kezelés hatására sem mutatkozott. Mindebből arra következtetünk, hogy gyógyszerkönyvi minőségnek megfelelő körömvirágdrog állítható elő félárnyékos termesztési körülmények között. Összességében a fajt a kutatásainkban tapasztalt mennyiségi és a minőségi termesztési mutatók változása alapján ajánljuk agrárerdészeti bevezetést célzó léptéknövelt kísérleti termesztésre.



- A *Cannabis sativa* L. növények egyéves kísérleteinkben a 30% árnyék hatására szignifikánsan nagyobb magasságot értek el, valamint a termésképzés fenofázisáig az árnyékolt növényállomány fitomassza produkciója felvételezéseink alapján relevánsan meghaladta a kontrollét, mely a rostcélú termesztés szempontjából kiemeli az agrárerdészeti termesztés lehetőségét. A 30% árnyék nem gyakorolt szignifikáns hatást a frisstömeg, száraztömeg, CBD biomassa, magtömeg és zsírosolaj-tartalom tulajdonságok egyikére sem. Az ipari kender agrárerdészeti rendszerben történő termesztését első kísérletünket követően is perspektivikusnak találjuk, ezért további kisparcellás kísérletek beállítását javasoljuk, különös tekintettel a hármas célú hasznosítás (kóro, CBD biomassa, mag) agrárerdészeti lehetőségeinek felmérése és az eredmények többéves felmérése céljából.
- A *Carum carvi* L. 30% és 50% árnyékra adott válaszreakcióját egy-egy szezonban vizsgáltuk. Eszerint a konyhakömény nagyon szignifikáns droghozamnövekedéssel reagált a 30% árnyékkezelésre, mely jelenség feltehetően az árnyék indirekt hatásaival magyarázható. Az ennél nagyobb fényellátás csökkenés (50% árnyék) azonban már stresszhatásnak bizonyult, amire rendellenes megnyúlás és hajtásgyengülés, valamint szignifikáns terméscsökkenéssel reagált. A drog illóolaj-tartalmát szignifikánsan csökkentette mindkét árnyékkezelés, azonban az egyik esetben sem csökkent a gyógyszerkönyvi határérték alá, így megállapítást nyert, hogy félárnyékos körülmények között is termesztető gyógyszerkönyvi minőségű drog. Az illóolaj-összetétel minőségén sem 30%-os, sem pedig 50% árnyékhatás nem változtatott szignifikánsan. Összességében javasoljuk a konyhakömény agrárerdészeti termesztését bevezető további alkalmazott kisparcellás kísérletek beállítását, különös tekintettel az olyan tartamkísérletekre, ahol az enyhe árnyékot (<30%) nyújtó agrárerdészeti rendszer száraz évjáratokat pufferelő hatását lehet vizsgálni, valamint olyan fajta- és tápanyag-utánpótlási kísérleteket, amelyekben az illóolaj-felhalmozódást lehet javítani. Továbbá az árnyékhatás okán fellépő terméscsökkenés és illóolaj-felhalmozódás csökkenése közötti optimális gazdasági súlypont meghatározását is kardinálisnak tartjuk, ennek felmérését javasoljuk.
- A *Dracocephalum moldavica* L. kísérleti körülmények között jól tolerálta, sőt friss- és drogtömeg értékeiben meghalálta az enyhe (30%) árnyékhatást, szignifikáns hatóanyag csökkenés nélkül. Kétéves szabadföldi kísérleteink szerint egyértelmű tendenciaként figyelhetjük meg, hogy a citrált alkotó izomerek mennyiségi aránya a 30%-os és az 50% árnyék hatására is szignifikánsan nőtt a kontrollhoz képest, amely egyúttal a teljes illóolaj-összetételben betöltött *relatív arányának* szignifikáns növekedését is eredményezte, befolyásolva így az illóolaj minőséget. Ezzel párhuzamosan mindkét árnyékkezelés következtében tendenciózusan és szignifikánsan csökkent a neril-acetát mennyisége, valamint *relatív aránya* az illóolajban, megváltoztatva így az illóolaj minőséget. A *Dracocephalum moldavica* L. a *Populus tremula* L. és *Juglans regia* L. fajok allelopátiás hatását és a 30% árnyékot is jól tolerálta, mindebből következően további léptéknövelt agrárerdészeti kísérleti termesztését javasoljuk.
- A *Linum usitatissimum* L. esetén az 50% árnyék szignifikánsan negatívan hatott a növények fejlődésére, valamint a termésmennyiségre, miközben a zsírosolaj felhalmozódását nem befolyásolta szignifikánsan. Következtéseink szerint ugyan az erős (50%) árnyékot nyújtó termelési rendszerek nem alkalmasak a faj gazdaságos termesztésére, azonban az enyhébb árnyékot nyújtó agrárerdészeti rendszerben történő lentermelés továbbra is ígéretes lehet, amennyiben további kísérletek által meghatározható az az árnyékhatás, amely még nem jár a termésmennyiség- és az  $\alpha$ -linolénsav arányának csökkenésével.

- A *Melissa officinalis* L. esetén a 30% árnyék két éven keresztül nem befolyásolta a friss- és drogtömeget, majd a harmadik évben szignifikánsan növelte mindkettőt. A *Melissae folium* illóolaj-tartalmát első évben szignifikánsan csökkentette, másodéves állományban nem befolyásolta, majd harmadéves állományban szignifikánsan növelte az árnyékhatás. A rozmaringsav-tartalom alakulása is ellentmondásos két év adatai alapján, a 2019. évben szignifikánsan csökkent, majd a 2020. évben szignifikánsan nőtt a 30% árnyék hatására. A hozam és a beltartalom eredményeihez hasonlóan az illóolaj-összetétel változása is ellentmondásosan alakult az árnyékezelés hatására, mely ellentmondást a kísérlet körülményeinek változásával nem tudjuk magyarázni. A kísérletben alkalmazott 'Lemona' fajta szárazság-érzékenységet eredményeink is megerősítik, mindez alapján úgy tűnik, hogy a 30% árnyék pufferelni képes a csapadékhiány hatását a taxon produkciójára. Összességében a 30% fényellátottság csökkenés valamennyi mennyiségi és minőségi jellemzőre az állományok korának függvényében hatott, a kor előrehaladtával előnyösebbé vált. Ez a jelenség valószínűleg komplex adaptáció következménye, amelyet javaslatunk szerint érdemes további léptéknövelt kísérleti agrárerdészeti természetben vizsgálni.
- Az *Ocimum basilicum* L. esetén 30% árnyék hatására csökkenhet a drogtömeg, azonban az árnyék az illóolaj-akkumulációt szignifikánsan nem befolyásolta. Az illóolaj-összetétel vonatkozásában egyéves eredményeink szerint a linalool és esztragol - mint fontos, minőséget meghatározó főkomponensek - aránya a teljes illóolaj-összetételben szignifikánsan csökkent, miközben a  $\alpha$ -terpineol aránya szignifikánsan nőtt a kontrollhoz képest az árnyékezelés hatására. Következtetésünk szerint a bazsalikom agrárerdészeti termesztése feltehetően a mediterrán jellegű területeken és időjárási körülmények között perspektivikus.
- A *Satureja hortensis* L. nem mutatott szignifikáns friss- vagy drogtömeg visszaesést egyik évben sem 30% árnyék hatására, azonban az 50% árnyék szignifikánsan csökkentette a produkciót. Az árnyékban termelt *Saturejae herba* illóolaj-tartalma a 30% árnyékezelés mindkét évében jelentősen és szignifikánsan növekedett a kontrollhoz képest, sőt mi több a drog illóolaj-tartalma még 50% árnyék hatására sem csökkent szignifikáns mértékben. Sem a 30%-os, sem pedig az 50% árnyékezelés nem gyakorolt szignifikáns hatást az illóolaj-összetételre. A borsfű agrárerdészeti termesztését bevezető léptéknövelt kísérleti természetét kiemelten javasoljuk, hiszen a fák által nyújtott enyhe árnyék (30%) által potenciálisan nagyobb illóolaj-hozam érhető el egységnyi területről a monokultúrához képest.

Hároméves (2018-2020) kisparcellás szabadföldi szkrín-jellegű kísérleteinkben célul tűztük ki az agrárerdészeti rendszerekben jellemző, csökkent fényviszonyokat (30% és 50% mesterséges fénycsökkentés) toleráló gyógynövényfajok első körének meghatározását. Tudományos kérdésünk az volt, hogy vannak-e olyan mérsékelt égövi gyógynövényfajok, amelyek hozama csökkent fényviszonyok mellett sem csökken, illetve képesek a gyógyszerkönyvi minőségnek megfelelő drog és hatóanyag előállítására. Hipotézisünk az volt, hogy vannak ilyen gyógynövényfajok, de a különböző fajok különböző módon reagálnak az árnyékhatásra.

Hipotézisünket igazoltuk, kisparcellás kísérletekben bizonyítottuk, hogy vannak olyan mérsékelt égövön termeszthető gyógynövényfajok, amelyeket árnyékos (30%) körülmények között is lehet mind a termesztési (friss- és száraztömeg), mind pedig a minőségi (hatóanyag-

tartalom- és összetétel) kritériumoknak megfelelően természetien. Emellett a fajspecifitást is igazoltuk, mert a különböző taxonok különböző módokon reagáltak a 30% árnyékhatásra.

30% fénycsökkenés több felmért gyógy- és aromanövényfaj különböző mennyiségi és minőségi értékmérő természetési tulajdonságára is kedvező hatást gyakorolt, azonban 50% fénycsökkenés egyik faj egyik paraméterére sem hatott kedvezően, sőt az esetek nagyobb részében szakmailag releváns és statisztikailag szignifikáns kedvezőtlen hatást gyakorolt. Ebből következően az általunk bizonyítást nyert fajok esetében mérsékelt égövi gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek létrehozásakor a sikeres gyógynövénytermesztés érdekében alapvetéseként kell kezelni a fajok és fajták megválasztásakor, valamint az ültetvény térállásának tervezésekor, hogy a fás állomány által létrehozott árnyék ne okozzon 50% fénycsökkenést a köztes tenyészterületen, sőt, lehetőleg a 30% fénycsökkenést se haladja meg.

### 6.3. A félüzemi agrárerdészeti modellkísérletben vizsgált fajok természetisége

- A *Melissa officinalis* L. produkcióját egyik évben sem befolyásolta negatívan a zárt térállású agrárerdészeti rendszerben történő termesztés, sem az adott évben törté metszett nyárfa állományok-, sem pedig a két éve törté metszett nyárfa állományok sorközeiben történő kezelés esetén. Sőt mi több, eredményeink szerint egyes évjáratokban droghozam növekedésre lehet számítani. A kezelések hatása az illóolaj-akkumulációra nem egyértelmű, az viszont biztosnak tűnik, hogy zárt térállású agrárerdészeti körülmények között történő citromfű termesztés esetén az illóolaj-tartalom növelés nem lehet természetési cél. A félüzemi agrárerdészeti kísérlet eredményei alapján a *Melissa officinalis* L. agrárerdészeti termesztését javasoljuk, azonban elsősorban nem energiaültetvények sorközeiben, hanem tágabb térállású, klasszikus agrárerdészeti rendszerek esetén.
- Az *Origanum vulgare* L subsp. *vulgare*, azaz a hazánkban és számos európai országban is vadon előforduló, őshonos, rózsaszín virágú, kis illóolaj-tartalmú szurokfű alfaj a friss- és drogtömeg adatok szerint szignifikáns visszaesést mutatott a két éve törté metszett nyárfasorok között történő termesztés hatására, miközben az adott évben törté metszett fasorok nem befolyásolták szignifikánsan. A kezelés hatása az illóolaj-akkumulációra ellentmondásos a két év adatai alapján, illóolaj-tartalom növekedés nem történt egyik év egyik kezelése esetén sem. Jelen kísérlet eredményeiből következően az alfaj termesztése alapvetően nem versenyképes az *Origanum vulgare* L subsp. *hirtum*-mal történő összevetésben, s ez agrárerdészeti körülmények között sem változik, ezért agrárerdészeti termesztését nem javasoljuk.
- A *Thymus pannonicus* All. azaz a magas kakukkfű - amely jelen van számos lág- és fás szárúak dominálta hazai növénytársulásban – esetén a zárt térállású agrárerdészeti rendszer mindkét évben szignifikánsan csökkentett a fitomassza produkciót és egyik évben az illóolaj-akkumulációt is, miközben az adott évben törté metszett nyárfa állományokat mindkét szempont szerint tolerálta a faj. Félüzemi kísérleteink eredményei alapján a *Thymus pannonicus* All. kakukkfűfaj termesztése eredményes lehet megfelelő megvilágítást biztosító agrárerdészeti körülmények között.

#### 6.4. Összegzett eredmények és következtetések

A gyógynövénytermesztés tudományos megalapozása agrárerdészeti körülmények között című doktori kutatási program megvalósításakor egy széleskörű, szkrín-jellegű kísérletsorozatot állítottunk be. Az egymással párhuzamosan futó kísérleteket különböző szempontrendszer, értelmezési tartomány és tudományos kérdésfelvetés szerint valósítottuk meg. Eszerint *in vitro* allelopátiatolerancia csírázási próbákat, *in vivo* szabadföldi kispercellás árnyékhatás kísérleteket, valamint félüzemi agrárerdészeti modellkísérletet végeztünk.

Mindezen kísérletek integrált eredményértékeléséből kiviláglik három faj, a *Dracocephalum moldavica* L., a *Melissa officinalis* L., valamint a *Satureja hortensis* L., amelyeknek az agrárerdészeti termesztési potenciálját két különböző kísérletünk is validálta. A *Dracocephalum moldavica* L., és a *Satureja hortensis* L. fajok vetőmagjainak a *Populus* és *Juglans* fajok allelokemikáliáira vonatkozó jó tolerancia képességét bizonyították az elvégzett *in vitro* csírázási próbák, továbbá ezzel párhuzamosan egyaránt jó árnyéktűrő (30% fénycsökkenés) képességüket bizonyítják az *in vivo* szabadföldi kispercellás árnyékhatás kísérletek. A *Melissa officinalis* L. faj esetén is egymást validálták az *in vivo* szabadföldi kispercellás árnyékhatás kísérlet és a félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet eredményei, amelyek szerint a faj jól tolerálja a 30% árnyékot biztosító termesztési körülményeket, valamint a félüzemi körülmények között felmerülő további interspecifikus interakciókat is. A *Calendula officinalis* L. esetén hároméves szabadföldi kísérlettel igazoltuk, hogy a fényellátás 30% és 50% fénycsökkenés mellett sem befolyásolja a termelést sem hozam, sem pedig hatóanyag-tartalom alapján, valamint, hogy félárnyékos termesztési körülmények is elegendőek a Ph. Hg. VIII. előírásainak megfelelő, gyógyszerkönyvi minőségű körömvirágdrog előállítására.

Mindebből fakadóan a számos mérsékelt égövön termesztethető gyógy- és aromanövényfajjal végzett, többszemponútú, agrárerdészeti termesztési potenciált szkrínelő kísérleteink integrált következtetései alapján, gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti termesztésre ajánljuk a *Calendula officinalis* L., a *Dracocephalum moldavica* L., a *Satureja hortensis* L., valamint a *Melissa officinalis* L. fajokat.

## 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### 7.1. Új univerzális tudományos eredmények

1. A szakirodalomban már közölt, egyéb mezőgazdasági kultúrnövényeket illetően bizonyított fajspecifikus allelopátiás hatást igazoltuk *Juglans* és *Populus* fajok allelokemikáliái esetén az általunk bevont gyógynövénytaxonokra vonatkozóan *in vitro* körülmények között. Az *Althea officinalis* L., *Anethum graveolens* L., *Cannabis sativa* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Linum usitatissimum* L. és a *Satureja hortensis* L. fajok csírázási paramétereik alapján tolerálják a *Juglans* és *Populus* allelokemikáliáit. A *Carum carvi* L. csírázási paramétereik alapján részlegesen tolerálja a *Juglans* allelokemikáliákat. Az *Angelica archangelica* L., *Carum carvi* L., *Centaurium erythraea* Rafn., *Levisticum officinale* Koch., *Papaver somniferum* L. és a *Sinapis alba* L. fajok csírázási paramétereik alapján nem tolerálják sem a *Juglans* sem a *Populus* fajok allelokemikáliáit.
2. Az allelokemikáliáknak való kitettség időtartama és az allelopátiás hatás mértéke között egyes gyógynövénytaxonok esetén statisztikailag szignifikáns kölcsönhatás van – eszerint az allelopátia-tolerancia fajspecifikusan változik az allelopátiás hatás előrehaladtával, s egyes taxonok esetén szignifikánsan csökken az allelopátiás hatás erőssége a kezelés előrehaladtával *in vitro* körülmények között.
3. A különböző gyógynövénytaxonok fajspecifikusan tolerálják a 30% fénycsökkenést. *In vivo* körülmények között bizonyítottam, hogy a *Calendula officinalis* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Melissa officinalis* L. és a *Satureja hortensis* L. fajokat 30% fénycsökkentett körülmények között is lehet mind a produkciós (friss- és drogtömeg), mind a minőségi (hatóanyag-tartalom- és összetétel) kritériumoknak megfelelően termesztetni.
4. 50% fénycsökkenés a vizsgálatba vont gyógynövénytaxonok esetén egyszer sem javított egyik taxon egyik tulajdonságán sem, sőt számos esetben rontott azokon *in vivo* körülmények között.

### 7.2. Új speciális tudományos eredmények

5. Az *Achillea collina* Becker 'Azulenka' fajta frisstömeg- és drogtömeg-alakulására nem hat hátrányosan 30% árnyék jelenléte *in vivo* körülmények között. 30% fénycsökkenést biztosító termesztési körülmények között is sikeresen felhalmozódik a proazulén hatóanyag a taxonban a Ph. Hg. VIII. előírásainak (*Millefolii herba*) megfelelően.
6. Hároméves *in vivo* kísérlettel igazoltam, hogy a 30% és 50% fénycsökkenés nem befolyásolja a *Calendula officinalis* L. produkciójának sem hozam-, sem hatóanyag-tartalom értékeit. 30% és 50% árnyékban is sikeresen termesztethető a Ph. Hg. VIII. előírásainak megfelelő minőségű körömvirág.
7. Megállapítottam, hogy az általam vizsgált tételek esetén az eddigi tudományos állásponttal ellentétesen a  $\beta$ -karotin, a lutein és a lutein cisz izomere ((9'Z)-Lutein) a körömvirágdrog karotinoid főkomponensei, majd csak azt követik a mennyiségi sorrendben a luteoxantin I. epimere és a  $\gamma$ -karotin cisz izomere ((5'Z)- $\gamma$ -karotin).

8. A tudományos irodalomban elsőként detektáltam a kísérletben résztvevő *Cannabis sativa* L. 'KC Dóra' fajta beltartalmára vonatkozóan a mag zsírosolajában gondoinsav - mint az eikozánsav cisz-izomerének - jelenlétét.
9. Két év adatai alapján *in vivo* körülmények között bizonyítottam, hogy A *Dracocephali aetheroleum* 30% és 50% csökkent fényviszonyok között történő termelődése esetén a citrált alkotó izomerek (nerál és geraniál) mennyiségi aránya szignifikánsan nő a fénynek teljesen kitett kontrollhoz képest.
10. A *Saturejae herba* illóolaj-tartalma szignifikánsan növelhető 30% fénycsökkenés hatására, továbbá, az nem befolyásolja sem a friss- és drogtömeget, sem pedig az illóolaj-összetétel minőségét.
11. A *Melissa officinalis* L. a friss- és drogtömeg paraméterek alapján eredményesen termeszthető agrárerdészeti körülmények között.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt fél évszázadban lesújtó módon jól megfért egymás mellett a klímacsúcsokon és fenntarthatósági világkonferenciákon történő felelőtlen ígéretés, valamint a társadalmainkat körülvevő és tápláló élő természeti környezet soha nem látott pusztítása. Az észlelt pusztulás egyik fő eredője az a profitmaximalizálást célzó, monokultúra alapozott mezőgazdasági termelés, amelynek működési struktúrája jól jelzi a tőke-környezet ellentét súlyosságát. A negatív externáliákkal sújtott, degradált környezet állapotából fakadó okozati jelenségek (pl. heves esőzések Dél-Európában; hatalmas szárazság és erdőtüzek Kelet-Európában), valamint a koronavírus-válság kumulatív módon olyan következményekkel járnak az agrárgazdaság európai fűszeriparra vonatkozó kis szeletében is, mint az ellátási láncok megropppanása és az alapanyaghiány problematikája (ANONYMUS 2021).

A fenntarthatóság ideje lejárt a klímaváltozás korában, ugyanis az állapotot nem fenntartani szükséges, hiszen agroökológiai rendszereink és természetes élőhelyeink regenerációra szorulnak. Az agrárerdészeti rendszerekben történő növénytermesztés – köszönhetően a tudomány által bizonyított számos környezeti előnyének - az új paradigmát képviseli, azonban a mérsékelt égövi agrárerdészeti körülmények között potenciálisan megjelenő interspecifikus interakciók (allelópátia és árnyékhatás) és a gyógy- és aromanövények termesztésének kapcsolatáról eddig nagyon kevés tudományos információ állt rendelkezésre. A modern gyógynövénytermesztés sikerének záloga a természeti megújulást és az üzemi gazdaságosságot egyszerre biztosító termelési rendszerek működtetése, valamint a minőségi követelményeknek (drogminőség, hatóanyagtartalom- és összetétel) történő teljeskörű megfelelés. Az agrárerdészeti növénytermesztés mindezen szempontok együttes megvalósítására törekszik, a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészet elterjedésének azonban jelenleg határt szab a tudomány által szabadföldi körülmények között bizonyított tézisek alapján működő korszerű döntéstámogatási- és szaktanácsadási rendszerek hiánya (SOLLEN-NORRLIN et al. 2020). Ezen tanácsadást szolgáló információbázis szükségessége hívta életre jelen doktori kutatási programot, amellyel a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek szakszerű létrehozásához kívántunk hozzájárulni.

A doktori kutatási program tudományos célja volt az agrárerdészeti rendszerekben gyakran alkalmazott fásszárú célnemzetségek (*Juglans/Populus*) allelokemikáliáit toleráló gyógynövényfajok szkrínelése *in vitro* pilot csírázási próbák elvégzésével, valamint az agrárerdészeti rendszerekben jellemző, csökkent fényviszonyokat (30% és 50% mesterséges fénycsökkentés) toleráló gyógynövényfajok szkrínelése kispercellás szabadföldi kísérletek elvégzésével.

Az *in vitro* allelopátia kutatás alkalmával tíz-, a kispercellás szabadföldi árnyékhatás kutatás alkalmával kilenc-, a félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet alkalmával három gyógynövényfaj viselkedését vizsgáltuk különböző kísérleti körülmények között. Az *in vitro* pilot csírázási próbák során *Populus tremula* L. és *Juglans regia* L. levelének vizes kivonatát, valamint  $10^{-3}$  M és  $10^{-4}$  M koncentrációjú juglon oldatot alkalmaztunk kezelésekként, valamint desztillált vizet kontrollként.

A csírázási paraméterek a MSZ 6354–3:2008 előiratai alapján a csírázási erély, a csírázási arány és a csíranövények frisstömege voltak.

A kisparcellás szabadföldi árnyékhatás kutatás alkalmával egy és kétrétegű Raschel háló parcellák fölötti támasztékra való rögzítésével biztosítottunk 30% és 50% mesterséges fénycsökenést. Felmértük a különböző gyógynövényfajok esetén különféleképp releváns morfológiai (horizontális és vertikális kiterjedés)-, hozam (friss- és drogtömeg)- és fitokémiai (illóolaj-tartalom; összflavonoid-tartalom; rozmaringsav-tartalom; proazuelén-tartalom; karotinoid-tartalom; zsírsav-tartalom, illóolaj-összetétel; polifenol-összetétel; karotinoid-összetétel; zsírsav-összetétel) paraméterek alakulását a kezelések hatására.

A félüzemi agrárerdészeti modellkísérlet alkalmával három faj viselkedését mértük fel félüzemi, valós, az agrárerdészeti rendszerek minden interspecifikus interakcióját (árnyék, allelopátia, vízért és tápanyagokért folyó versengés) felvonultató nemesnyár ültetvény alkotta kísérleti környezetben. Az ültetvény hatását felmértük a hozam (friss- és drogtömeg) és illóolaj-tartalom eredményekre vonatkozóan.

Az *in vitro* pilot csírázási próbák eredményei szerint további agrárerdészeti természet megfigyelő, tenyészedényes és kisparcellás kísérletekre javasoljuk az *Althaea officinalis* L., *Anethum graveolens* L., *Cannabis sativa* L., *Carum carvi* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Linum usitatissimum* L., *Satureja hortensis* L. fajokat. További *Juglans* és *Populus* alkotta agrárerdészeti rendszerekben történő helyrevezetés technológiával történő termesztetőséget felmérő kísérletekre nem javasoljuk az *Angelica archangelica* L., *Centaurium erythraea* Rafn., *Levisticum officinale* Koch., *Papaver somniferum* L., *Sinapis alba* L. fajokat. Allelopátia kutatásunkkal igazoltuk, hogy vannak olyan gyógynövényfajok, amelyek allelopátia toleranciájuk alapján képesek a vetőmagvizsgálati módszerekben rögzítettek szerinti megfelelő csírázásra a *Juglans* és *Populus* nemzetségekre jellemző allelokemikáliák jelenlétében. Mindez egyben az allelopátia tolerancia fajspecifikusát is jelentette. Igazoltuk, hogy egyes fajok vetőmagjainak csírázása esetén szignifikáns kölcsönhatás van az allelopátia hatás időtartama és erőssége között – s ez a hatáserősség a kezelés előrehaladtával minden esetben csökkent.

Az *in vivo* kisparcellás szabadföldi árnyéktolerancia kísérleteink eredményei szerint a gyakorlati következtetések szempontjából két csoportra osztottuk a tesztelt gyógynövényfajokat. További kisparcellás, agrárerdészeti természet megfigyelő kísérletekre ajánlottuk célzott témaorientáció megjelölésével az *Achillea collina* Becker., *Cannabis sativa* L., *Carum carvi* L., *Linum usitatissimum* L. és az *Ocimum basilicum* L. fajokat. Léptéknövelt, agrárerdészeti bevezetést célzó alkalmazott kísérletekre ajánljuk a *Calendula officinalis* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Melissa officinalis* L. és *Satureja hortensis* L. fajokat. Kísérleteinkben igazoltuk, hogy vannak olyan mérsékelt égövön termesztendő gyógynövényfajok, amelyeket árnyékos (30%) körülmények között is lehet a hozam és minőségi kritériumoknak egyaránt megfelelően termesztetni. Bizonyítottuk, hogy az enyhe árnyék (30%) több felmért gyógy- és aromanövényfaj különböző mennyiségi és minőségi tulajdonságára is kedvező hatást gyakorolt, azonban az erős árnyék (50%) egyik faj egyik paraméterére sem hatott kedvezően, ebből következően megállapítottuk, hogy a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszereket úgy érdemes tervezni az általunk vizsgált modellfajok esetében, hogy a fás állomány által létrehozott árnyék ne okozzon 50% fénycsökkenést a köztes tenyészterületen, sőt, lehetőleg a 30% fénycsökkenést se haladja meg.



A félüzemi agrárerdészeti modellkísérleteinkben bizonyítottuk, hogy a *Melissa officinalis* L. termesztési eredményét nem befolyásolja negatívan a fasorok között történő művelés, valamint, hogy a *Thymus pannonicus* All. kakukkfűfaj termesztése eredményes lehet megfelelő megvilágítást biztosító agrárerdészeti körülmények között, továbbá, hogy az *Origanum vulgare* L subsp. *vulgare* szurokfű alfaj termesztése agrárerdészeti körülmények között sem lehet gazdaságos jelenleg.

Összességében négy új, univerzális tudományos eredmény- és hét új, speciális tudományos eredmény létrehozásával és közzétételével járulunk hozzá a hazai agrárkutatások kollektív tudásbázisának gyarapításához és a gyógynövénytermesztésre specializált agrárerdészeti rendszerek szakszerű létrehozásához. Mindezt annak reményében tettük, hogy előmozdíthatjuk, hogy az agrárkultúra az élő természeti környezet sokféleségét és szépségét újjáélesztő erőként tudjon virágozni a jövőben.

## SUMMARY

Over the past half-century, the startling symbiosis of both the empty promises at world climate summits and sustainability conferences and the unprecedented destruction of the natural living environment that surrounds and nurtures our societies has been reaching staggering heights. The resultant of the perceived destruction is the monoculture-based agriculture aimed solely at profit-maximization, the operation of which may be used as an indicator of the severity of the contrast between capital and environment. Phenomena (such as heavy rainfall in Southern Europe, severe drought and wildfire in Eastern Europe) resulting from the state of the degraded environment afflicted by negative externalities, along with the COVID-19 crisis cumulatively, seem to have consequences regarding the minor segment of European herbs & spice industry within the agricultural sector, such as the collapse of the supply chain or the case of raw material shortages (ANONYMUS 2021).

The time for sustainability is over within the era of climate change, as the condition is no longer to be maintained as a result of both our natural environments and agroecological systems needing regeneration instead. Plant production taking place within the agroforestry systems - due to numerous scientifically proven environmental benefits - represents the new paradigm, however, there is very little science-based information available on the potentially occurring interspecific interactions (allelopathy and shade effect) within temperate medicinal agroforestry systems. The key to the utter success of medicinal and aromatic plant (MAP) production is the appropriate operation of plant production systems that supports both regeneration of agroecosystems and operational efficiency, as well as full compliance with quality requirements (drug quality, content and composition of active substances). The plant production of agroforestry systems seeks to achieve all these aspects collectively, however, the spread of agroforestry specialising in MAP's production is currently limited by the lack of advisory and modern decision support systems based on the theses proven by science under field conditions (SOLLEN-NORRLIN et al., 2020). The present PhD program intended to contribute to the professional establishment of medicinal agroforestry systems, was founded on the outright necessity of such an information base that is supportive of an agroforestry advisory & consulting system.

The scientific goal of the PhD program was to screen MAP species tolerant of allelochemicals of the targeted woody genuses (*Juglans/Populus*) frequently present within agroforestry systems, by performing *in vitro* pilot germination trials, furthermore, to screen MAP species tolerant of reduced light conditions (30% and 50% artificial light reduction) occurring within agroforestry systems by performing small-scale experiments under open field conditions.

In the case of the *in vitro* allelopathy research the behaviour of ten MAP species was undertaken, the small-scale open field study covered nine MAP species, while three MAP species were assessed during the pilot agroforestry research, all under different experimental conditions. In the *in vitro* pilot germination trials, an aqueous extract of the leaves of *Populus tremula* L. and *Juglans regia* L. and a solution of  $10^{-3}$  M and  $10^{-4}$  M juglone were used as treatments and distilled water as control. The monitored germination parameters were the germination vigor, the germination rate and the fresh weight of the seedlings according to the regulations of MSZ 6354-3: 2008.

In the case of the small-scale open field study on shade-tolerance, shade treatments (30% and 50%) were established using one and two layer of commercially available agro green shade nets on frames. The changes of morphological (horizontal and vertical extension), yield (fresh and drug weight) and phytochemical (essential oil content; total flavonoid content; rosmarinic acid content; proazuelen content; carotenoid content; essential oil composition; polyphenol composition; carotenoid composition; fatty acid composition) characteristics were measured as a result of the shade-effect.

In our pilot agroforestry study, the behavior of three MAP species was investigated in a pilot-scale, close-space designed poplar plantation featuring all interspecific interactions (shade, allelopathy, competition for water and nutrients) occurring in agroforestry systems. The effect of the presence of tree rows was assessed in terms of yield (fresh and drug weight) and essential oil content results.

According to the results of our *in vitro* germination trials, the species of *Althaea officinalis* L., *Anethum graveolens* L., *Cannabis sativa* L., *Carum carvi* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Linum usitatissimum* L. and *Satureja hortensis* L. are recommended for further pot culture and small-scale medicinal agroforestry studies. We do not recommend *Angelica archangelica* L., *Carum carvi* L., *Centaureum erythraea* Rafn., *Levisticum officinale* Koch., *Papaver somniferum* L., *Sinapis alba* L. species (directly sown into open-field) for further experiments focusing on the introduction of MAPs to poplar and walnut based medicinal agroforestry systems.

The results of our allelopathy research have demonstrated that there are MAP species, which are able to germinate properly – as recorded in the seed testing methods - in the presence of allelochemicals specific to the *Juglans* and *Populus* genuses. We established that a pronounced species specificity can be observed in terms of tolerance of seeds and seedlings to the allelopathic effect of *Populus* and *Juglans* species. We have shown that there is a significant interaction between the duration and intensity of the allopathic effect in the germination of seeds of some MAP species - and this potency decreased in each case as the treatment progressed.

According to the results of our small-scale open field shade-tolerance studies, the screened MAP species were divided into two groups. *Achillea collina* Becker., *Cannabis sativa* L., *Carum carvi* L., *Linum usitatissimum* L. és az *Ocimum basilicum* L. species were recommended with

suggested research topic orientations for further small-scale experiments. *Calendula officinalis* L., *Dracocephalum moldavica* L., *Melissa officinalis* L. and *Satureja hortensis* L. are recommended for large-scale experiments for their introduction into medicinal agroforestry systems. The results of our study demonstrated that there are MAP species cultivated in temperate zones, which can be grown under shade conditions (30%) according to both quantity and quality criteria. Our data proved that semi-shade (30 %) exerted favourable effects on several examined MAP species of a variety of experimental parameters; however, the 50 % shade effect, conversely, had a favourable effect on none of these examined MAPs of any of the examined parameters. Consequently, in the case of establishing medicinal agroforestry systems with the studied species, in temperate zones, trees must be selected and planted in such a way that the shade effect does not cause 50% light reduction, furthermore it may not exceed 30% light reduction.

In the pilot agroforestry study, we demonstrated that the cultivation of *Melissa officinalis* L. is not negatively affected by the presence of the trees and that the cultivation of *Thymus pannonicus* All. can be effective in agroforestry systems providing adequate lighting. The cultivation of *Origanum vulgare* L subsp. *vulgare* does not appear to be economical under agroforestry conditions at present, and certainly not in the case of closed tree plantation.

In summary, we contribute to the prosperity of the collective knowledge base of Hungarian agricultural research and the professional establishment of temperate medicinal agroforestry systems by the synthesis and publication of four new, universal scientific results and seven new, special scientific results. We have done all this, with the aspiration of expediting the blooming of agricultural practices as a force for revitalizing the diversity and beauty of the living natural environment.

## 9. MELLÉKLETEK

### M1. Irodalomjegyzék

1. ABDEL-NAIME W.A., FAHIM J.R., FOUAD M.A., KAMEL M.S. (2019): Antibacterial, antifungal, and GC–MS studies of *Melissa officinalis*, *South African Journal of Botany*, 124, p. 228-234, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.011>.
2. ACIMOVIC M, SIKORA V, BRDAR-JOKANOVIC M, KIPROVSKI B, POPOVIC V, KOREN A, PAVUCA N. (2018): *Dracocephalum moldavica*: Cultivation, chemical composition and biological activity. *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management*. 2 (1). 153-167 p.
3. ACIMOVIC, M., FILIPOVIC, V., STANKOVIC, J., CVETKOVIC, M., ĐUKANOVIĆ, L. (2015a): The influence of environmental conditions on *Carum carvi* L. var. annum seed quality. *Field and Vegetable Crops Research*. 52. 91-96 p.
4. ACIMOVIC, M., KOSTADINOVIĆ, L., POPOVIĆ, S., DOJČINOVIĆ, N. (2015b): *Apiaceae* seeds as functional food. *Journal of Agricultural Sciences*, Belgrade. 60. 237-246 p. 10.2298/JAS1503237A.
5. ADUNGA, W., LABUSCHAGNE, M.T. (2003): Association of linseed characters and its variability in different environments. *Journal of Agricultural Science*, 140. 285-296 p.
6. AITCHISON J. 1982. The statistical analysis of compositional data (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)* 44(2), 139–177 p.
7. AITCHISON, J. (1986): The Statistical Analysis of Compositional Data. *Monographs on Statistics and Applied Probability*. Chapman & Hall Ltd., London (UK). 416 p. Reprinted in 2003 with additional material by The Blackburn Press.
8. AKHONDZADEH S, NOROOZIAN M, MOHAMMADI M, OHADINIA S, JAMSHIDI A.H, KHANI M. (2003): *Melissa officinalis* extract in the treatment of patients with mild to moderate Alzheimer's disease: a double blind, randomised, placebo controlled trial. *Neurology Neurosurgery and Psychiatry*. 74. 7 p.
9. ALI, M., ABBASI, B.H. (2014): Light-induced fluctuations in biomass accumulation, secondary metabolites production and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Artemisia absinthium* L. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 140. 223-227 p.
10. ALIZADEH, A., KHOSHKHUI, M., JAVIDNIA, K., FIRUZI, O., TAFAZOLI, E., KHALIGHI, A. (2010): Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity on *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) cultivated in Iran. *Journal of Medicinal Plant Research*, 4(1). 33-40 p.
11. AMALA R., ALPANA J. (1998): The Chemistry of Cannabis. In: Brown, T.D. 1998. Cannabis. Hardwood Academic Publisher. Amsterdam. 55-71 p.
12. ANDREEVA LG. (1961): Localization and content of carotenoids in highly productive forms of *Calendula officinalis*. *Aptechnoe Delo*, 10, 46-49 p.

13. ANGERS, P., MORALES, M.R., SIMON, J.E. (1996): Fatty acid variation in seed oil among *Ocimum species*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 73. 393-395 p.
14. ANONYMUS. (2004): WHO monographs on Selected Medicinal Plants. Volume 2. Geneva: WHO Headquarters in Geneva, 182 p.
15. ANONYMUS. (2019): <https://www.forbes.com/sites/irisdorbian/2019/05/20/cbd-market-could-reach-20-billion-by2024-says-new-study/#716f595549d0> 28.
16. ANONYMUS. (2021): Press release: Shortage of raw materials and Corona consequences affect spice industry. Fachverband der Gewürzindustrie e.V. I Reuterstr. 151 I 53113 Bonn.
17. ARENAS-CORRALIZA, M.G., LÓPEZ-DÍAZ, M.L. AND MORENO, G. (2018b): Winter cereal production in a Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 264. 111–118 p.
18. ARENAS-CORRALIZA, M.G., LÓPEZ-DÍAZ, M.L., MORENO, G. (2018a): Shade increases cereal production in mediterranean conditions facing the climate change. *Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference Agroforestry as Sustainable Land Use*, 127-131 p.
19. ARORA, D., RANI, A., SHARMA, A. (2013): A review on phytochemistry and ethnopharmacological aspects of genus *Calendula*. *Pharmacognosy reviews*, 7(14), 179–187 p. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.120520>
20. ARSENIJEVIĆ J., DROBAC M., ŠOŠTARIĆ I., JEVDIČIĆ R., ŽIVKOVIĆ J., RAŽIĆ S., MORAVČEVIĆ D., MAKSIMOVIĆ Z. (2019): Comparison of essential oils and hydromethanol extracts of cultivated and wild growing *Thymus pannonicus* All., *Industrial Crops and Products*, 130, 162-169 p, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.055>.
21. ARTRUA, S., LASSOISA, L., VANCUTSEMB, F., REUBENSC, B. AND GARRÉA, S. (2018): Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. *European Journal of Agronomy*, 97. 38-47 p.
22. AZIZ, E., HUSSEIN, M., WAHBA, H., RAZIN, A. (2013): Essential Oil Constituents of *Dracocephalum moldavica* L. Grown under Salt Stress and Different Sources of Soil Amendment. 16. 706-713 p. 10.5829/idosi.mejsr.2013.16.05.12216.
23. BAHER Z, MIRZA M, GHORBANLI M, REZAI M. (2002): The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. *Flavour and Fragrance Journal*. 17. 275 – 277 p. 10.1002/ffj.1097.
24. BAKÓ, E., DELI J., TÓTH, GY. (2002): HPLC study on the carotenoid composition of *Calendula* products, *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 53, 1–3, 241-250 p. ISSN 0165-022X, [https://doi.org/10.1016/S0165-022X\(02\)00112-4](https://doi.org/10.1016/S0165-022X(02)00112-4).
25. BARALDI, R., G. BERTAZZA, J. BOGINO, V. LUNA, R. BOTTINI. (1995): The effect of light quality on *Prunus cerasus* II. Changes in hormone levels in plants grown under different light conditions. *Photochem. Photobiol.* 62. 800–803 p.
26. BARÁTHNÉ S. H. (2014): Óshonos *Thymus* (kakukkfű) taxonok kémiai diverzitásának, valamint termesztési lehetőségének értékelése. Doktori Értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem. Budapest.
27. BENEDEK, B., ROTHWANGL-WILTSCHNIGG, K., ROZEMA, E., GJONCAJ, N., REZNICEK, G., JURENITSCH, J., GLASL, S., KOPP, B. (2008): Pharmaceutical quality of yarrow (*Achillea millefolium* L. s.l.) – Investigation of 40 commercial drug samples by means of the bioactive compounds. *Pharmazie*, 63 (1), 23-26 p.

28. BERNÁTH J. (2009): Aromatic Plants. In: Füleky, Gy. (szerk.): Encyclopedia of life support system: www.eolss.net, Chapter 10., EOLSS Publishers Co. Ltd. Oxford. 332-334 p.
29. BERNÁTH J. (2013): Vadontermő és termesztett gyógynövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 62-63 p.
30. BERNÁTH, J., TÉTÉNYI, P. (1979): The Effect of Environmental Factors on Growth. Development and Alkaloid Production of Poppy (*Papaver somniferum* L.) I. Responses to Day-length and Light Intensity. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 174, 468-478 p.
31. BEULE L, KARLOVSKY P. (2021): Tree rows in temperate agroforestry croplands alter the composition of soil bacterial communities. *PLoS One*. 10;16(2):e0246919. doi: 10.1371/journal.pone.0246919.
32. BLUMENTHAL, M., GOLDBERG, A., BRINCKMANN, J. (2000): Herbal medicine-expanded commission E monographs. *American Botanical Council*, Newton, 419-421.
33. BÓCSA I. 2004. A kender és termesztése. Agroiinform Kiadó, Budapest. 112 p.
34. BONINI SA, PREMOLI M, TAMBARO S, KUMAR A, MACCARINELLI G, MEMO M, MASTINU A. 20218. Cannabis sativa: A comprehensive ethnopharmacological review of a medicinal plant with a long history. *J Ethnopharmacol*. 227, 300-315 p. doi: 10.1016/j.jep.2018.09.004.
35. BONYADIAN M., KARIM G. (2002): Study of the effects of some volatile oils of herbs (pennyroyal, peppermint, tarragon, caraway seed and Thyme) against *E. coli* and *S. aureus* in broth media. *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, University of Teheran. 57. (4) 81-83. p.
36. BORHIDI A., SÁNTA A. (1999): Vörös Könyv Magyarország növénytársulásairól I.-II. Természetbúvár Alapítvány Kiadó. Budapest. 165-282 p.
37. BORHIDI, A. (1993): A Magyar Flóra szociális magatartás típusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai. Janus Pannonius Tudományegyetem. Pécs
38. BOUWMEESTER, H.J., DAVIES, J.A.R., SMID, H.G., WELTEN, R.S.A. (1995): Physiological limitations to carvone yield in caraway. *Ind Crops Products*, 4 (1) 39-51 p.
39. BÖHM C, KANZLER M, FREESE D (2014): Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforest Syst* 88:579–591 p.
40. BÖLÖNI, J., MOLNÁR, Z., KUN A. 2011. A hazai vegetációtípusok leírása és határozója. ÁNÉR.
41. BRANDLE J, HODGES L, ZHOU X (2004): Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforest Syst* 61. 65–78 p.
42. BRISKIN, D.P. AND GAWIENOWSKI, C.M. (2001): Differential effects of light and nitrogen on production of hypericins and leaf glands in *Hypericum perforatum*. *Plant Physiol. Biochem*. 39. 1075-1081 p.
43. BRITTON G. (1995): Structure and properties of carotenoids in relation to functions, *The FASEB Journal*, 9, 1551–1558 p.
44. BRITTON G., KHACHIK F. (2009): Carotenoids in food. In: Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H.P. (Eds.) *Carotenoids. Nutrition and Health*, 5, 45–66 p.
45. BROWN T. D. (1998): Cannabis. Hardwood Academic Publisher. Amsterdam. 111-134 p.

46. BROWN, S.E., MILLER, D.C., ORDONEZ, P.J. *et al.* (2018): Evidence for the impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in high-income countries: a systematic map protocol. *Environ Evid* 7, 24 <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0136-0>
47. BRZYSKI, PRZEMYSŁAW, BARNAT-HUNEK D., SUCHORAB Z., ŁAGÓD G. (2017): "Composite Materials Based on Hemp and Flax for Low-Energy Buildings" *Materials* 10, 5. 510. <https://doi.org/10.3390/ma10050510>
48. BURGESS P. AND ROSATI A. (2019) Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project.
49. BURKHART, P.E., JACOBSON, G.M. (2009): Transitioning from wild collection to forest cultivation of indigenous medicinal forest plants in eastern North America is constrained by lack of profitability. *Agroforestry Systems*, 76: 437-453 p.
50. CALLAWAY J.C., LAAKKONEN T.T. (1996): Cultivation of Cannabis oil seed varieties in Finland. *Journal of Industrial Hemp*. 3(1):32-34. p.
51. CAMPBELL, B.J., BERRADA, A.F., HUDALA, C., AMADUCCI, S., MCKAY, K.J. (2019): Genotype x Environment Interactions of Industrial Hemp Cultivars Highlight Diverse Responses to Environmental Factors. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2. 1-11 p.
52. CANVIN D.T. (1965): The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oilseed crops. *Canadian Journal of Botany*. 43: 63-69 p.
53. CAPUTI T. L. (2021): What cannabis can learn from Covid: Hydroxychloroquine research suggests the next step for medical cannabis research. *The International journal on drug policy*, 93, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.drugpo.2021.103133>
54. CARRUBBA A, LA TORRE R, SAIANO F, AIELLO P. 2008. Sustainable production of fennel and dill by intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 28 (2), 247-256 p. fahal-00886395f
55. CARVALHO F, DUARTE A, FERREIRA S. (2021): Antimicrobial activity of *Melissa officinalis* and its potential use in food preservation, *Food Bioscience*, 44, Part B, 101437, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101437>.
56. CARVALHO, C. C. R., M. MANUELA R. DA FONSECA, CARVONE. (2006): Why and how should one bother to produce this terpene, *Food Chemistry*, 95, 3, 413-422 p. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.003>.
57. CHARLES D.J. (2012): Savory. In: Antioxidant Properties of Spices, Herbs and Other Sources. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4310-0\\_51](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4310-0_51)
58. CHAUHAN SK, DHILLON WS, SINGH N. SHARMA R (2013): Physiological Behaviour and Yield Evaluation of Agronomic Crops Under Agri-horti-silviculture System. *Int J Plant Res* 3: 1-8 p.
59. CHEN F, LIU JC, TSCHAPLINSKI JT, ZHAO N (2009): Genomics of Secondary Metabolism in *Populus*: Interactions with Biotic and Abiotic Environments. *Crit Rev Plant Sci* 28:375-392 p.

60. CHOU CH. (1995): Allelopathy and sustainable agriculture. In: Inderjit S, Dakshini KMM, Einhelling FA (eds) Allelopathy, Organisms, Processes and Applications. American Chemical Society, Washington DC, 211-223 p.
61. CLOUTIER S. (2016): Linseed. Reference Module in Food Sciences. Elsevier Ltd. 1-6 p.
62. CODER DK (1983): Seasonal changes of juglone potential in leaves of black walnut (*Juglans nigra* L.). *J CHEM ECOL* 9:1203-1212 p.
63. COE, R., SINCLAIR, F., BARRIOS, E. (2014): Scaling up agroforestry requires research 'in' rather than 'for' development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 6. 73–77. 10.1016/j.cosust.2013.10.013.
64. COLDEA, T., MUDURA, E. (2016): Valorisation of aromatic plants in beverage industry: a review. *Hop and Medicinal Plants*.
65. COSMOLESCU S, TRANDAFIR I, ACHIM G, BACIU A (2011): Juglone Content in Lead and Green Husk of Five Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars. *Not Bot Hort Agrobot Cluj* 39: 237-240 p.
66. COSMOLESCU S, TRANDAFIR I, NOUR V (2014) Seasonal variation of the main individual phenolics and juglone in walnut (*Juglans regia*) leaves. *Pharm Biol* 52: 575- 580 p.
67. CSEDŐ K, FŰZI J, GIURGIU M, KISGYÖRGY Z, LAZA A, RÁCZ G. (1980): Plante medicinale și condimentare din județul Harghita – Hargita megye gyógy- és fűszernövényei, Tîrgu Mureș/Marosvásárhely, 264 p.
68. DACHLER M. (1998): Alimentary, Culinary and Industrial Uses of Caraway. In: Németh, É. (1999). Caraway. The genus *Carum*. DOI:10.1201/9780203303672
69. DAUGHERTY, W., SMITH, S., WIGAL, C., VERHOEK, S., WILLIAMS, S. (1995): Distribution of 5-hydroxy-1,4-naphthoquinone and other naphthoquinone derivatives in the Juglandaceae (walnut family) and related families. *Current Topics in Plant Physiology*, (15): 335-337 p.
70. DE STEFANO A, JACOBSON MG (2018): Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agroforest Syst* 92:285–299 p.
71. DE VINCENZI M, SILANO M, MAIALETTI F, SCAZZOCCHIO B. (2000): Constituents of aromatic plants: II. Estragole. *Fitoterapia*. 71(6):725-9. doi: 10.1016/s0367-326x(00)00153-2. PMID: 11077188.
72. DEFERNE J.L., PATE D.V. (1996): Hemp seed oil: A source of valuable essential fatty acids. *Journal of Industrial Hemp*. 3(1):1-7. p.
73. DINGHA B., SANDLER L., BHOWMIK A., AKOTSEN-MENSAH C., JACKAI L., GIBSON K., TURCO R. (2019): Industrial Hemp Knowledge and Interest among North Carolina Organic Farmers in the United States. *Sustainability*, 11(2691): 2-17 p.
74. DOBRESCU D, MANOLESCU E, SUBȚIRICA V, DRĂGAN A, IVAN C, DOBRESCU L, ANCA IA. MEMOMED (2002): Memorator de medicamente și ghid farmacoterapic, Editura Minesan, București, 2002: 23, 698.



75. DOMONKOS I, KIS M, GOMBOS Z, UGHY B. (2013): Carotenoids, versatile components of oxygenic photosynthesis, *Progress in Lipid Research*, 52, 4, 2013, 539-561 p, <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2013.07.001>.
76. DUDAI N., NITZAN N., GONDA I. (2020): *Ocimum basilicum* L. (Basil). In: Novak J., Blüthner WD. (eds) Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants. Handbook of Plant Breeding, vol 12. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1_10)
77. DUFOUR, L., METAY, A., TALBOT, G. AND DUPRAZ, C. (2013): Assessing Light Competition for Cereal Production in Temperate Agroforestry Systems using Experimentation and Crop Modelling. *J Agro Crop Sci*, 199: 217-227 p.
78. DULF F., PAMFIL D., BACIU A., PINTEA A. (2013): Fatty acid composition of lipids in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) seed genotypes. *Chemistry Central Journal* 2013 7:8.
79. DUPRAZ, C., BLITZ-FRAYRET, C., LECOMTE, I., MOLTO, Q., REYES, F., GOSME, M. (2018): Influence of latitude on the light availability for intercrops in an agroforestry alley-cropping system. *Agroforestry Systems*. 92. 10.1007/s10457-018-0214-x.
80. ELSAID, S., LE FOLL, B. (2020): The complexity of pharmacology of cannabidiol (CBD) and its implications in the treatment of brain disorders. *Neuropsychopharmacol.* 45, 229–230 p. <https://doi.org/10.1038/s41386-019-0518-1>
81. ELSOHLY M.A., RADWAN M.M., GUL W., CHANDRA S., GALAL A. (2017): Phytochemistry of *Cannabis sativa* L.. In: Kinghorn A., Falk H., Gibbons S., Kobayashi J. (eds) Phytocannabinoids. *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products*, 103. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45541-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45541-9_1)
82. ENGEL R., SZABÓ K., ABRANKÓ L., RENDES K., FÜZY A., TAKÁCS T. (2016): Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Polyphenol Profile of Marjoram, Lemon Balm, and Marigold. *J. Agric. Food Chem.* 64, 19, 3733–3742 p.
83. ENGLE, A.M., ROWAN, L. E. (2014): Geochemical evolution of produced waters from hydraulic fracturing of the Marcellus Shale, northern Appalachian Basin: A multivariate compositional data analysis approach, *International Journal of Coal Geology*, 126, 45-56 p, ISSN 0166-5162, <https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.11.010>.
84. ERCISLI S, ESITKEN A, TURKKAL C, ORHAN E (2005): The allelopathic effects of juglone and walnut leaf extracts on yield, growth, chemical and PNE compositions of strawberry cv. *Fern. Plant soil environ* 51. 283-287. p.
85. ESCOP 2003: ESCOP Monographs: The Scientific Foundation for Herbal Medicinal Products, 2nd edition. Exeter (UK): European Scientific Cooperative on Phytotherapy and Thieme.
86. ESCOP Monographs. (2009). Vol. 2. ESCOP, Thieme, 173-183.
87. ESCOP Monographs. 2019. Online Series. 1-6. <https://escop.com/wp-content/uploads/edd/2019/03/Carvi-aetheroleum-ESCOP-2019.pdf>
88. ESTELL, R.E., FREDRICKSON, E.L. AND JAMES, D.K. (2016): Effect of light intensity and wavelength on concentration of plant secondary metabolites in the leaves of *Flourensia cernua*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 65: 108-114. p.
89. EUROPEAN COMMISSION (2017): EIP-AGRI Focus Group - Agroforestry: introducing woody vegetation into specialised crop and livestock systems, Final Report, 1-32.
90. EUROPEAN MEDICINES AGENCY (2018): Assessment report on *Calendula officinalis* L. flos. European Medicines Agency, London, 1-37.

91. FAGERHOLM, N., TORRALBA, M., BURGESS, J.P., PLIENINGER, T. (2016): A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecological Indicators*, 62: 47-65. p.
92. FALLAH S, ROSTAEI M, LORIGOOINI Z, SURKI A.A. (2018): Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead- soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic manure and chemical fertilizers, *Industrial Crops and Products*, Volume 115, 158-165. p. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.003>.
93. FAOSTAT. 2010. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
94. FIERASCU I, DINU-PIRVU CE, FIERASCU RC, VELESCU BS, ANUTA V, ORTAN A, JINGA V. (2018): Phytochemical Profile and Biological Activities of *Satureja hortensis* L.: A Review of the Last Decade. *Molecules*. 23. 2458. 1-19. DOI: 10.3390/molecules23102458
95. FILZMOSER, P., HRON K, TEMPL M. (2018): *Applied compositional data analysis, with worked examples in R*. ISSN 0172-7397 ISSN 2197-568X (electronic). Springer Series in Statistics ISBN 978-3-319-96420-1 ISBN 978-3-319-96422-5 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96422-5> Springer Nature, Cham, Switzerland AG 2018 p. 280.
96. FINTA Z. (2012): A kender olajtartalom növelésének hatása a zsírsavösszetétel és a legfontosabb agronómiai tulajdonságok alakulására. Doktori értekezés. Szent István Egyetem. Kompolt.
97. FRANZ-WARKENTIN P. (2011): Hemp crop looking good. Grainews. <http://www.grainews.ca/news/hemp-crop-looking-good/1000638386/>
98. FROHNE D, PFANDER J (2005): *Poisonous Plants*. Manson Publishing, London.
99. GÁBOR M. 2008. Visszaemlékezés az Azulenol készítmény kifejlesztésére. *Gyógyszerészet* 52. 101-102. p.
100. GALAMBOSI B, HOLM Y, HILTUNEN R. (1989): The effect of some agrotechnical factors on herb yield and volatile oil of dragonhead. *Journal of Essential Oil Research*, 1: 287-292. p.
101. GALAMBOSI B. (1980): Gyógynövények termesztési lehetőségei cellulóz nyárültetvény aljnövényeként. Nem publikált.
102. GANJEWALA, D., GUPTA, A. KUMAR, & MUHURY, R. (2012): An Update on Bioactive Potential of a Monoterpene Aldehyde Citral. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 2, 186-199. doi: 10.1080/22311866.2012.10719126
103. GARCIA-GALICIA, IVAN A., JOSE A. ARRAS-ACOSTA, MARIANA HUERTA-JIMENEZ, ANA L. RENTERÍA-MONTEERRUBIO, JOSE L. LOYA-OLGUIN, LUIS M. CARRILLO-LOPEZ, JUAN M. TIRADO-GALLEGOS, AND ALMA D. ALARCON-ROJO (2020): "Natural Oregano Essential Oil May Replace Antibiotics in Lamb Diets: Effects on Meat Quality" *Antibiotics* 9, no. 5: 248. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9050248>
104. GARGANO, G.; LICCIARDO, F.; VERRASCINA, M.; ZANETTI, B. (2021): The Agroecological Approach as a Model for Multifunctional Agriculture and Farming towards the European Green Deal 2030—Some Evidence from the Italian Experience. *Sustainability*, 13, 2215. <https://doi.org/10.3390/su13042215>

105. GARRITY D (2012): Agroforestry and the Future of Global Land Use. In: Nair PKR and Garrity D (eds.) Agroforestry - The Future of Global Land Use. Springer Science+Business Media, Dordrecht, 21-27. p.
106. GHASEMZADEH, A., JAAFAR, H.Z.E., RAHMAT, A., WAHAB, M.E. P. AND HALIM, A.R.M. (2010): Effect of Different Light Intensities on Total Phenolics and Flavonoids Synthesis and Anti-oxidant Activities in Young Ginger Varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). *Int. J. Mol. Sci.* 11: 3885-3897. p.
107. GILDEMEISTER E, HOFFMANN F. (1961): Die ätherischen Öle Vol. VII., Akademie Verlag, Berlin, 1961: 100-103. p.
108. GILLER KE, HIJBEEK R, ANDERSSON JA, SUMBERG J. (2021): Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook Agric.* 50(1):13-25. p. doi: 10.1177/0030727021998063.
109. GILMAN E.F., HOWE T. (1999): *Calendula officinalis*. University of Florida. USA. pp. 99-120.
110. GIORGI A, MANZO A, VAGGE I, PANSERI S. (2013): Effect of Light Environment on Growth and Phenylpropanoids of Yarrow (*Achillea collina* cv. SPAK) Grown in the Alps. *Photochemistry and photobiology.* 10.1111/php.12150.
111. GONÇALVES CATTELAN, M., BONATTO MACHADO DE CASTILHOS, M., JULIANA PINSETTA SALES, P. AND LEITE HOFFMANN, F. (2013): "Antibacterial activity of oregano essential oil against foodborne pathogens", *Nutrition & Food Science*, 43, 2, pp. 169-174. <https://doi.org/10.1108/00346651311313544>
112. GOSZTOLA, B., BALOGH, D., RUTTNER, K. (2018): A betakarítási idő hatása a moldvai sárkányfű (*Dracocephalum moldavica* L.) droghozamára és minőségére. In: XV. Magyar Gyógynövény Konferencia - Visegrád, pp. 20-21.
113. GYURICZA CS., BOROVICS A. (2018): Agrárerdészlet. Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Gödöllő.
114. HADIAN, J., EBRAHIMI, S.N., SALEHI, P. (2010): Variability of morphological and phytochemical characteristics among *Satureja hortensis* L. accessions of Iran. *Industrial Crops and Products*, 32: 62-69. p.
115. HAGHIGHI PAK, ZAHRA, HOSSEIN ABBASPOUR, NASER KARIMI, ALI FATTAHI. (2016): "Eco-Friendly Synthesis and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Using *Dracocephalum moldavica* Seed Extract" *Applied Sciences* 6, 3, 69. <https://doi.org/10.3390/app6030069>
116. HALÁSZNÉ Z. K. (1999): A moldvai sárkányfű termesztése. Gyakorlati agrofórum, 10: 70-71.
117. HALÁSZNÉ Z. K. (2013): *Linum usitatissimum* L. in: Bernáth J. szerk. 2013. Vadon termő és termesztett gyógynövények, Mezőgazda Kiadó, Budapest. 336-338. p.
118. HANEY M. (2020): Perspectives on Cannabis Research—Barriers and Recommendations. *JAMA Psychiatry.* 2020;77(10):994–995. doi:10.1001/jamapsychiatry.2020.1032
119. HASSANZADEH, K.M., ZAHRA TAYARANI NAJARAN, MARYAM NASERY, SEYED AHMAD EMAMI, (2016): Chapter 86 - Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) Oils, Editor(s): Victor R. Preedy, *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, Academic Press, 757-764. p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00086-9>.

120. HÉJJA, M., BERNÁTH, J., SZENTGYÖRGYI, E. (2002): Comparative investigation of *Satureja hortensis* of different origin. *Acta Horticulturae*, 576: 65-68. p.
121. HILTUNEN, R. (1999): Chemical composition of *Ocimum* species. In: Hiltunen, R., Holm, Y. (Ed.): *Basil – The Genus Ocimum. Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*. Harwood Academic Publishers. Amsterdam.
122. HOLM Y, GALAMBOSI B, HILTUNEN R. (1988): Variation of the main terpenes in Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) during growth, *Flavour Fragr J*, 3: 113-115. p.
123. HOU, J., LI, W., ZHENG, Q., WANG, W., XIAO, B. AND XING, D. (2010): Effect of low light intensity on growth and accumulation of secondary metabolites in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38: 160-168. p.
124. INDULEKHA J, KARUPPAN M, APPUSAMY A (2017): A review on the potential of citrus waste for D-Limonene, pectin, and bioethanol production, *International Journal of Green Energy*, 14:7, 599-612, DOI: 10.1080/15435075.2017.1307753
125. ISLAM S.B., MUSHTAQ AHMAD DARZI, SUHAIL AHMAD BHAT, (2021): Chapter 26 - Phytopharmaceutical marketing: A case study of USPs used for phytomedicine promotion, Editor(s): Rouf Ahmad Bhat, Khalid Rehman Hakeem, Moonisa Aslam Dervash, *Phytomedicine*, Academic Press, 2021, Pages 709-724, ISBN 9780128241097, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824109-7.00011-X>.
126. IVÁNYI, I., IZSÁKI, Z. (2007): Role of Fibre Hemp (*Cannabis sativa* L.) in Sustainable Agriculture. *CEREAL RESEARCH COMMUNICATIONS* 35, 509–512. p. <https://doi.org/10.1556/CRC.35.2007.2.86>
127. JAVED, R., MUHAMMAD ASIF HANIF, RAFIA REHMAN, MARYAM HANIF, BUI THANH TUNG, (2020): Chapter 7 - Caraway, Editor(s): Muhammad Asif Hanif, Haq Nawaz, Muhammad Mumtaz Khan, Hugh J. Byrne, *Medicinal Plants of South Asia*, Elsevier, 87-100. p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00007-0>.
128. JHA KK., GUPTA C. (1991): Intercropping of medicinal plants with poplar and their phenology. *Indian For* 117: 535-544. p.
129. JOHRI, R.K., (2011): *Cuminum cyminum* and *Carum carvi*: an update. *Pharmacogn. Rev.* 5, 63–72. p.
130. JOSE S, GILLESPIE AR, PALLARDY SG. (2004): Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforest Syst* 61:237–255.
131. JOSÉ S., HOLZMUELLER E., GILLESPIE A.R. (2009): *Tree–Crop Interactions in Temperate Agroforestry*. *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*, 2nd edition, H.E. Garrett (ed.). American Society of Agronomy, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
132. JOSE, S., AND GILLESPIE, A.R. (1998): Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping: I. Spatio-temporal variation in soil juglone in a black walnut-corn (*Zea mays* L.) alley cropping system. *Plant and Soil* 203:191-197. p.
133. K. GERALD VAN DEN BOOGAART, RAIMON TOLOSANA-DELGADO, MATEVZ BREN (2021): *Compositions: Compositional Data Analysis*. R package version 2.0-1. <https://CRAN.R-project.org/package=compositions>

134. K. SZABÓ, P. RADÁCSI, P. RAJHÁRT, M. LADÁNYI, É. NÉMETH. (2017): Stress-induced changes of growth, yield and bioactive compounds in lemon balm cultivars. *Plant Physiol. Biochem.*, 119, 170-177. p. [10.1016/j.plaphy.2017.07.019](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.07.019)
135. K.G. VAN DEN BOOGAART, R. TOLOSANA-DELGADO, M. TEMPL (2015): Regression with compositional response having unobserved components or below detection limit values. *Stat. Model.* 15(2), 191–213. p.
136. KAUR H, KAUR R, KAUR S, BALDWIN IT, INDERJIT S (2009): Taking Ecological Function Seriously: Soil Microbial Communities Can Obviate Allelopathic Effects of Released Metabolites. *PLoS One.* 4:e4700. doi: [10.1371/journal.pone.0004700](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004700)
137. KAUR, V., YADAV, R., WANKHEDE, D.P. (2017): Linseed (*Linum usitatissimum* L.) genetic resources for climate change intervention and its future breeding. *Journal of Applied and Natural Science*, 9(2): 1112-1118. p.
138. KHOLIF A. M., EL-SHEWY A. A. (2004): Response of lactating goats to rations supplemented with the medicinal seeds. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences.* 12. (2) 559-567. p.
139. KINDLOVITS, S., RADACSI, P., SÁROSI, SZ., INOTAI, K., NAGY, E., NÉMETH, É. (2014): Effect of Weather Conditions on the Morphology, Production and Chemical Composition of Two Cultivated Medicinal and Aromatic Species. *European Journal of Horticultural Science.* 79. 1611-4426. p.
140. KISHIMOTO S, MAOKA T, SUMITOMO K, OHMIYA A. (2005): Analysis of carotenoid composition in petals of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 69, 2122-2128. p.
141. KLARING, H.P. AND KRUMBEIN, A. (2013): The Effect of Constraining the Intensity of Solar Radiation on the Photosynthesis, Growth, Yield and Product Quality of Tomato. *J Agro Crop Sci.* 199: 351-359. p.
142. KOCACALISKAN I, TERZI I (2001): Allelopathic effects of walnut leaf extracts and juglone on seed germination and seedling growth. *J Hortic Sci Biotechnol* 76:436-440. p.
143. KORDIS, SALMASI SZ, KOLVANAGH JS, WEISANY W AND SHANNON DA. (2020): Intercropping System and N<sub>2</sub> Fixing Bacteria Can Increase Land Use Efficiency and Improve the Essential Oil Quantity and Quality of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontiers in Plant Science.* 11. 610026. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.610026>
144. KOSTIC, M., JOKOVIC, M.J., STAMENKOVIC, S.O., RAJKOVIC, M.K. (2013): The kinetics and thermodynamics of hempseed oil extraction by n-hexane. *Industrial Crops and Products*, 52: 679-686. p.
145. KOULA D, SELLES A, BOUHENNI H. (2021): Chapter 3.2.3 - *Melissa officinalis* (lemon balm), Editor(s): Tarun Belwal, Seyed Mohammad Nabavi, Seyed Fazel Nabavi, Ahmad Reza Dehpour, Samira Shirooie, Naturally Occurring Chemicals Against Alzheimer's Disease, Academic Press, 225-241. p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819212-2.00047-5>.
146. KOZIOŁ A, STRYJEWSKA A, LIBROWSKI T, SAŁAT K, GAWEŁ M, MONICZEWSKI A, LOCHYŃSKI S. (2014): An overview of the pharmacological properties and potential

- applications of natural monoterpenes. *Mini Rev Med Chem.* 14(14):1156-68. doi: 10.2174/1389557514666141127145820.
147. KRČMÁŘOVÁ, J.; KALA, L.; BRENDZOVÁ, A.; CHABADA, (2021): T. Building Agroforestry Policy Bottom-Up: Knowledge of Czech Farmers on Trees in Farmland. *Land.* 10, 278. <https://doi.org/10.3390/land10030278>
  148. KREFT, S., STRUKELJ, B., GABERSCIK, A. KREFT, I. (2002): Rutin in buckwheat herbs at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method. *Journal of Experimental Botany*, 53(375): 1801-1804. p.
  149. KRIESE, U., SCHUMAN, E., WEBER, W.E., BEYER, M., BRÜHL, L. MATTHAUS, B. (2004): Oil content, tocopherol composition and fatty acid patterns of the seeds of 51 *Cannabis sativa* L. genotypes. *Euphytica*. 137: 339-351. p.
  150. KRINSKY N.I., JOHNSON E.J. (2005): Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 6, p. 459–516.
  151. KRUMBEIN, A., SCHWARZ, D. (2013): Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? *Scientia Horticulturae*, 149: 97-107. p.
  152. KRUSE M, STRANBERG M, STRANBERG B (2000): Ecological Effects of Allelopathic Plants – a Review. Ministry of Environment and Energy National Environmental Research Institute, Copenhagen. pp 37.
  153. KUMAR, V., BOSSIER, P. (2018): Importance of plant-derived compounds and/or natural products in aquaculture. 10. 28-31.
  154. LÁNYI, A., FARKAS G. (2021): Miért fenntarthatatlan, ami fenntartható? L'Harmattan. Budapest.
  155. LAURENCE M.R., SEEMA S.M., JUNG H.C. (2000): Lutein and zeaxanthin concentrations in Rod Outer segment membranes from perifoveal and peripheral human retina. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, Vol. 41, No. 5, p. 1200–1209. p.
  156. LENCHÉS, O. (2000): *Ocimum basilicum*. In: Bernáth, J. (Ed.): Gyógy- és aromanövények. Mezőgazda Kiadó. Budapest, 436-439.
  157. LIE-FEN SHYUR, NING-SUN YANG, (2008): Metabolomics for phytomedicine research and drug development, *Current Opinion in Chemical Biology*, 12, 1, 66-71. p. ISSN 1367-5931, <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.01.032>.
  158. Lima de A., Kestekoglou M., Charalampopoulos, D., Chatzifragkou A. (2019): "Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices" *Molecules* 24, 3. 466 p. <https://doi.org/10.3390/molecules24030466>
  159. Lima, Milene., Da-Silva, Cristiane., Borella, Junior., Deuner, Sidnei., Freitag, Rogério., Mariot, M.P., Amarante, Luciano. (2019): Plants of *Achillea millefolium* L. grown under colored shading nets have altered secondary metabolism. 17. 104-111. p.
  160. LIU, C., GUO, C., WANG, Y. AND OUYANG, F. (2002): Effect of light irradiation on hairy root growth and artemisinin biosynthesis of *Artemisia annua* L. *Process Biochemistry*, 38: 581-585.
  161. LIU, W.; YAO, S.; WANG, J.; LIU, M. (2019): Trends and Features of Agroforestry Research Based on Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 11, 3473. <https://doi.org/10.3390/su11123473>

162. LOMBARDO S., SARRI D., CORVO L., VIERI M. (2017): Approaching to the Fourth Agricultural Revolution: Analysis of Needs for the Profitable Introduction of Smart Farming in Rural Areas. Proceedings of the 8th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment, Chania, Greece.
163. LUBBE A., VERPOORTE R. (2011): Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products* 34. 785– 801. p.
164. MADISCH, A., HOLTSMANN, G., MAYR, G., VINSON, B., HOTZ, J. (2004): Treatment of functional dyspepsia with a herbal preparation. *Digestion*. 69. (1) 45-52. p.
165. MAHAJAN, M., KUIRY, R., PAL, P.K. (2020): Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants, *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18, 100255, <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100255>.
166. MAHBOUBI, M. (2019): Caraway as Important Medicinal Plants in Management of Diseases. *Nat. Prod. Bioprospect.* 9, 1–11.p . <https://doi.org/10.1007/s13659-018-0190-x>
167. MAJEED A, MUHAMMAD Z, AHMAD H (2017): Allelopathic effects of leaf extracts of three agroforestry trees on germination and early seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Azarian J Agric* (4) 3:69–73. p.
168. MALÉZIEUX, E. (2012): Designing cropping systems from nature. *Agron. Sustain. Dev.* **32**, 15–29. p. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z>
169. MARICHKOVA, L., KUMANOVA, B. (1981): Isolation of flavonoids and some accompanying substances from the above-ground part of some *Astragalus centralpinus* family Leguminosae (Russian). *Problemy Farm*, (9): 63-74. p.
170. MCPARTLAND J. M. (2018): *Cannabis* Systematics at the Levels of Family, Genus, and Species. *Cannabis and cannabinoid research*, 3(1), 203–212. p. <https://doi.org/10.1089/can.2018.0039>
171. MELKANIA NP (1984): Influence of leaf leachates of certain woody species on agricultural crops. *Indian J Ecol* 11:82-86. p.
172. MEYERS M. (2007): Lemon Balm: An Herb Society of America Guide. Kirtland: *The Herb Society of America*, 12. p.
173. MIHALIK E. (1999): Taxonomy and Botanical Description of the Genus *Carum*. In: Németh, É. (1999). Caraway. The genus *Carum*. DOI:10.1201/9780203303672
174. MILENKOVIĆ L, STANOJEVIĆ J, CVETKOVIĆ D, STANOJEVIĆ L, LALEVIĆ D, ŠUNIĆ D, FALLIK E, ILIĆ Z.S. (2019): New technology in basil production with high essential oil yield and quality, *Industrial Crops and Products*, 140, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111718>
175. MIRAJ, S., AZIZI, N., KIANI, S. (2016): A review of chemical components and pharmacological effects of *Melissa officinalis* L. *Der Pharmacia Lettre*, 8 (6). pp. 229-237.
176. MOIR, M., THOMSON, R.H. (1973): Naphtoquinones in *Lomatia* species. *Phytochemistry*, (12): 1351-1353.

177. MOLNÁR, P., DELI, J., FARKAS, Á., HORVÁTH, GY., PAPP, N., TURCSI, E. (2013): Karotinoidok és karotinoid-izomerek növénybiokémiai jelentősége = Significance of carotenoids and carotenoid-isomers in plant biochemistry. Munkabeszámoló. OTKA.
178. MORENO, G., AVIRON, S., BERG, S. *et al.* (2018): Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of commercial goods and other ecosystem services. *Agroforest Syst* 92, 877–891. p. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0126-1>
179. MOSALEEYANON, K., ZOBAYED, S.M.A., AFREEN, F. AND KOZAI, T. (2005): Relationships between net photosynthetic rate and secondary metabolite contents in St. John's wort. *Plant Science*, 169: 523-531. p.
180. MOSQUERA-LOSADA, M.R., SANTIAGO-FREIJANES, J.J., PISANELLI, A. *et al.* (2018): Agroforestry in the European common agricultural policy. *Agroforest Syst* 92, 1117–1127. p. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0251-5>
181. MÖLLEKEN H., THEIMER R.R. (1997): Survey of minor fatty acids in Cannabis sativa L. fruits of various origin. *Journal of Industrial Hemp*. 4(1):13-16. p.
182. NASIRI, Y., ZANDI, H., MORSHEDLOO, M. REZA. (2018): Effect of Salicylic Acid and Ascorbic Acid on Essential oil Content and Composition of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) under Organic Farming. *Journal of essential oil-bearing plants JEOP*. 21. 10.1080/0972060X.2018.1453383.
183. NÉMETH É. (2005): Essential Oil Composition of Species in the Genus *Achillea*, *Journal of Essential Oil Research*, 17:5, 501-512, DOI: [10.1080/10412905.2005.9698978](https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9698978)
184. Németh É. 1999. Application of S-carvone as a potato sprout suppressant and control agent of fungal storage diseases. In: Németh, É. (1999). Caraway. The genus Carum. DOI:[10.1201/9780203303672](https://doi.org/10.1201/9780203303672)
185. NÉMETH É., BERNÁTH J. (2008): Biological Activities of Yarrow species (*Achillea* spp.). *Current Pharmaceutical Design*, 14, 29, pp. 3151-3167. p.
186. NÉMETH É., SVÁB J. (2013): *Carum carvi* L. – Konyhakömény. 210-215. p. In: BERNÁTH J. (Szerk.): Vadon termő és termesztett gyógynövények. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
187. NÉMETH, É.- BERNÁTH, J.- TARJÁN, G. (2007): Quantitative and qualitative studies of essential oils of Hungarian *Achillea* populations. *J. of Herbs, Spices and Med. Plants*, 13 (1), 57-69. [https://doi.org/10.1300/J044v13n01\\_05](https://doi.org/10.1300/J044v13n01_05)
188. NERLICH, K., GRAEFF-HÖNNINGER, S., CLAUPEIN, W. (2013): Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. *Agroforest Syst* 87, 475–492. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9560-2>
189. NICE FJ. (2011): Common Herbs and Foods Used as Galactogogues. *ICAN: Infant, Child, & Adolescent Nutrition*. 3(3):129-132. doi:[10.1177/1941406411406118](https://doi.org/10.1177/1941406411406118)
190. NOUR V, TRANDAFIR I, COSMOLESCU S (2012): HPLC Determination of Phenolic Acids, Flavonoides and Juglone in Walnut Leaves. *J Chromatogr Sci* 1-8.
191. NURZYŃSKA-WIERDAK, R., BOROWSKI, B., DZIDA, K., ZAWISLAK, G., KOWALSKY, R. (2013): Essential oil composition of sweet basil cultivars as affected by



- nitrogen and potassium fertilization. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37: 427-436. p.
192. OLIVEIRA G, VIEIRA W, BERTOLI S, PACHECO A. (2016): Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. *Chilean journal of agricultural research*. 76. 123-128. DOI: 10.4067/S0718-58392016000100017
  193. OLSON J.A., KRINSKY N.I. (1995): Introduction: the colourful fascinating world of the carotenoids: important physiologic modulators, *The FASEB Journal*, 9, p. 1547–1550.
  194. OOMAH D. (2001): Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81: 889-894. p.
  195. OXENHAM S.K, SVOBODA K.P, WALTERS D.R. (2005): Antifungal Activity of the Essential Oil of Basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Phytopathology*. 153. 174-180. p. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.00952.x>
  196. PARDON P, MERTENS J, REUBENS B, et al (2019): *Juglans regia* (walnut) in temperate arable agroforestry systems: effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop yield. *Renew Agr Food Syst* 1–17. p.
  197. PAWLOWSKY-GLAHN A.BUCCIANTI, (eds.), *Compositional Data Analysis: Theory and Applications* (Wiley, Chichester, 2011) Print ISBN: 978-0-470-71135-4
  198. PAWLOWSKY-GLAHN, J.J. EGOZCUE, R. TOLOSANA-DELGADO, (2015): *Modeling and Analysis of Compositional Data* (Wiley, Chichester)
  199. PEPÓ P. 2019. Alternatív növények. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft. Budapest.
  200. PEREIRA, A.L.C., TAQUES, T.C., VALIM, J.O.S. et al. (2015): The management of bee communities by intercropping with flowering basil (*Ocimum basilicum*) enhances pollination and yield of bell pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of Insect Conservation*. 19. 479–486. p. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9768-3>
  201. PETHŐ M. (2003): A növényélettan alapjai. Akadémia Kiadó. Budapest.
  202. PHARMACOPOEIA EUROPAEA 10th edition (2019b): Melissa Leaf Dry Extract – *Melissae folii extractum siccum*. Strasbourg: Council of Europe, 1537-1538. p.
  203. PHARMACOPOEIA EUROPAEA, VIII. Melissa leaf. European Directorate for the Quality of Medicines and Health Care, Strasbourg, 2013, ISBN/ISSN: 978-92-871-7531-1, p. 1318.
  204. PHARMACOPOEIA HUNGARICA, VII. ed. Tomus I. Medicina könyvkiadó, Budapest, 1986, pp. 1625.
  205. PHARMACOPOEIA HUNGARICA, VIII. ed. Tomus II. Medicina könyvkiadó, Budapest, 2004, pp. 2208–2209.
  206. PICCAGLIA R, MAROTTI M, CHIAVARI G, GANDINI N. (1999): Effects of harvesting date and climate on the flavonoid and carotenoid contents of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Flavour and Fragrance Journal*, 12, 85-90. p.
  207. PLÁNDER, SZ., GONTARU, L., BLAZICS, B., VERES, K., KÉRY, Á., KARETH, S. SIMANDI, B. (2012): Major antioxidant constituents from *Satureja hortensis* L. extracts

- obtained with different solvents. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 114. 772-779. 10.1002/ejlt.201100273.
208. PLUHÁR ZS, SÁROSI S, PINTÉR A, SIMKÓ H. (2010): Essential oil polymorphism of wild growing Hungarian thyme (*Thymus pannonicus*) populations in the Carpathian Basin. *Nat Prod Commun*. 5(10):1681-6. PMID: 21121273.
  209. POLITYCKA, B., SEIDLER-ŁOZIKOWSKA K. (2009): Phytotoxicity and phenolic compounds content in soil during long-term cultivation of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) and its effect on herb yield and essential oil content. *Herba Pol.*, 55 (3) pp. 133-139.
  210. POPA, MARIANA DUMITRU, IRINA VOLF, N. ANGHEL. (2008): Lignin and polyphenols as allelochemicals, *Industrial Crops and Products*, 27, 2, 144-149. p. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.019>.
  211. PUTIEVSKY E. (1983): Effects of daylength and temperature on growth and yield components of three seed spices (dill, caraway, coriander). *Journal of Horticultural Science*. 58. 271-275. p.
  212. PUTIEVSKY E. (1998): Agrotechnology of Annual Caraway Production. In: Németh, É. (1999). Caraway. The genus *Carum*. DOI:10.1201/9780203303672
  213. QUIRIN KW, GERARD D. (1997): New Aspects on Calendula CO<sub>2</sub>-extract as a Cosmetic Ingredient, *Cosm. Toil. Manuf. Worldw*, 55. p.
  214. R CORE TEAM (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
  215. RAAL A, ORAV A, NESTEROVITSCH J, MAIDLA K. (2016): Analysis of Carotenoids, Flavonoids and Essential Oil of *Calendula officinalis* Cultivars Growing in Estonia. *Natural Product Communications*. August. doi:10.1177/1934578X1601100831
  216. RADÁCSI P. (2014): Az eltérő vízellátás hatása a kerti bazsalikom (*Ocimum basilicum* L.) és az egyéves borsfű (*Satureja hortensis* L.) élettani, produkcióbíológiai és beltartalmi jellemzőire. Doktori Értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem.
  217. RADÁCSI P. INOTAI K. SÁROSI SZ. NÉMETH É. (2016): Effect of soil water content on the physiological parameters, production and active substances of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 15 (2), 3-12. p.
  218. RADICS L. (2012): Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés tan 2. Agroinform Kiadó, Budapest
  219. RAFIEIAN-KOPAEI, M., HOSSEINI-ASL, K. (2015): 'Effects of *Ocimum Basilicum* on Functional Dyspepsia: a Double-Blind Placebo-Controlled Study', *Iranian Journal of Medical Sciences*, 30(3), pp. 134-137. p.
  220. RAHMAN, A., AKBAR, D., TIMILSINA, S., TROTTER, T., THOMSON, M., BHATTARAI, S. (2020): Market analysis of caraway seed. <https://crcna.com.au/resources/publications/market-analysis-caraway-seed>
  221. RAJ JA, LAL SB, SAMEER D, GOWDA V (2010): Intercropping of lemon grass with poplar (*Populus deltoides* Bartr. Ex Marsh) in Eastern Uttar Pradesh. *Indian J. of Agroforestry* 12: 13-17. p.
  222. RAMAWAT K.G., MERILLON J.M. (2013): Tetraterpenes: Carotenoids. In: *Natural Products*. Vol. 1: Phytochemistry, Botany and Metabolism of alkaloids, phenolics and

- Terpenes. Ramawat K.G., Merillon J.M. (eds.). Germany: Springer Berlin Heidelberg, p. 3251–3283. p.
223. RANALLI, P., VENTURI, (2004): G. Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica* 140, 1–6. p. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4749-8>
224. RANJBAR, M., SALEHI, A., REZAEIZADEH, H., ZARSHENAS, M. M., SADEGHNIAT-HAGHIGHI, K., MIRABZADEH, M., FIROOZBADI, A. (2018): Efficacy of a combination of *Melissa officinalis* L. and *Nepeta menthoides* Boiss. & Buhse on insomnia: A triple-blind, randomized placebo-controlled clinical trial. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 24 (12): 1197-1203. p.
225. RAO, M.R., PALADA, M.C. AND BECKER, B.N. (2004): Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. *Agroforestry systems*, 61: 107-122.
226. RASOOLI, I., ALLAMEH, A. (2016): Caraway (*Carum carvi* L.) Essential Oils. In: Preedy, V.R. (Ed.), *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Academic Press, 287–293. p.
227. RATHEE, P., KAUSHIK, N., SANJAY, K., SINGH, P., MANJET. (2017): Performance of Coriander and fenugreek as Intercrops under Different Spacings of Poplar Plantations in North-Western, India. *Int. J. Pure App. Biosci.*, 5. (1): 857-863.
228. REIMANN, C., FILZMOSE, P., FABIAN, K., HRON, K., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., DINELLI, E., LADENBERGER, A. (2012): The concept of compositional data analysis in practice — Total major element concentrations in agricultural and grazing land soils of Europe, *Science of The Total Environment*, 426, 196-210. p. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.032>.
229. REISNER Y, DE FILIPPI R, HERZOG F, PALMAR J (2007): Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecol Eng*, 29:401-418.
230. RETTENMAIER H, KUPAS U, LINGENS F (1983): Degradation of juglone by *Pseudomonas putida* J 1. *FEMS Microbiology Letter* 19:193-195. p.
231. RHODES, C. J. (2017): The Imperative for Regenerative Agriculture. *Science Progress*, 100(1), 80–129. p. <https://doi.org/10.3184/003685017X14876775256165>
232. RIETVELD WJ (1983): Allelopathic effects of juglone on germination and growth of several herbaceous and woody species. *J Chem Ecol* 9:295–308. p.
233. RIVERA-PINTO, J., J. J. EGOZCUE, V. PAWLOWSKY-GLAHN, R. PAREDES, M. NOGUERA-JULIAN, M. L. CALLE. (2018): Balances: a New Perspective for Microbiome Analysis. *Am Soc Microbiol*. 3. 4. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00053-18>
234. ROSATI, A., BOREK, R. & CANALI, S. (2021): Agroforestry and organic agriculture. *Agroforest Syst* 95, 805–821. p. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00559-6>
235. RUSSO M, HONERMEIER B. (2017): Effect of shading on leaf yield, plant parameters, and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.04.003>.
236. SATYANARAYANA S. (2004): Antioxidant activity of the aqueous extracts of spicy food additives - evaluation and comparison with ascorbic acid in in-vitro systems. *Journal of Herbal Pharmacotherapy*. 4. (2) 1-10. p.

237. SAUSSERDE R, KAMPUSS K. (2014): Composition of carotenoids in calendula (*Calendula officinalis* L.) flowers. In.: 9th Baltic Conference on Food Science and Technology "Food for Consumer Well-Being" FOODBALT 2014, Jelgava, Latvia, pp.13-18
238. SĂVULESCU T. (szerk.) Flora Republicii Populare Romîne Vol. VIII. Editura Academiei Republicii Populare Romîne, București, 1965: 138. p.
239. SCAVO A, RESTUCCIA A, MAUROMICALE G (2018): Allelopathy: Principles and Basic Aspects for Agroecosystem Control. In: S. Gaba et al. (eds.), Sustainable Agriculture Reviews 28, *Ecology for Agriculture* 28 47-49. p.
240. SCHIEDT, K., LIAAEN-JENSEN, S. (1995): Isolation and analysis. Carotenoids, Vol. 1A. Isolation and Analysis (eds G. Britton, S. Liaaen-Jensen & H. Pfander), pp. 81–108. Birkhäuser-Verlag, Basel.
241. SCHLUTTENHOFER, C., YUAN, L. (2017): Challenges towards Revitalizing Hemp: A Multifaceted Crop. *Trends in Plant Science*, 22(11): 917-929. p.
242. SCHMIDT SK (1988): Degradation of juglone by soil bacteria. *J Chem Ecol* 14: 1561-1571. p.
243. SEIDLER-ŁOŻYKOWSKA K, BOCIANOWSKI J, KRÓL D. (2013): The evaluation of the variability of morphological and chemical traits of the selected lemon balm (*Melissa officinalis* L.) genotypes, *Industrial Crops and Products*, 49, 515-520. p. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.027>.
244. SELMAR, D., KLEINWÄCHTER, M. (2013): Stress Enhances the Synthesis of Secondary Plant Products: The Impact of Stress-Related Over-Reduction on the Accumulation of Natural Products, *Plant and Cell Physiology*, 54, 6, 817–826. p. <https://doi.org/10.1093/pcp/pct054>
245. SHAHRAJABIAN M.H, SUN W, QI C. (2020): Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): a review. *International Journal of Food Properties*. 23. 1. 1961-1970. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1828456>
246. SHAKERI, A., SAHEBKAR, A., BEHJAT, J. (2016): *Melissa officinalis* L. – A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 188: 204-228. p.
247. SHIMA A. (2019): Essential oil Content and Composition of *Dracocephalum Moldavica* under Different Irrigation Regimes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6, 2; 167-175. p.
248. SILVA, C. M., GALHANO, C.I.C. & MOREIRA DA SILVA, A.M.G. (2007): A new sprout inhibitor of potato tuber based on carvone/ $\beta$ -cyclodextrin inclusion compound. *J Incl Phenom Macrocycl Chem* 57, 121–124. <https://doi.org/10.1007/s10847-006-9210-2>
249. SIMON T. (2008): A magyarországi edényes flóra határozója: Harasztok – Virágos növények. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. 374. p
250. SIMOPOULOS, A.P. (2006): Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Volume 60, 502-507. p. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2006.07.080>.

251. SINGH PH, KOHLI KR, BATISH RD (2001): Allelopathic interference of *Populus deltoides* with some winter season crops. *Agronomie* 21:139-146. p.
252. SINGLETON VL, ROSSI JA. (1965): Colometric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic* 16:144–158. p.
253. SKOUFOGIANNI, E., SOLOMOU, A. D., & DANALATOS, N. G. (2019). Ecology, Cultivation and Utilization of the Aromatic Greek Oregano (*Origanum vulgare* L.): A Review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 545-552. <https://doi.org/10.15835/nbha47311296>
254. SMALL E. (2017): Classification of *Cannabis sativa* L. in Relation to Agricultural, Biotechnological, Medical and Recreational Utilization. In: Chandra S., Lata H., ElSohly M. (eds) *Cannabis sativa* L. - Botany and Biotechnology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6_1)
255. SMALL, E., CRONQUIST, A., (1976): A practical and natural taxonomy for cannabis. *Taxon* 25, 405–435. <https://doi.org/10.2307/1220524>
256. SMITH, J., PEARCE, B. AND WOLFE, M.S. (2012): A european perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(4): 323-332. p.
257. SNYDER, D., COSTELLO, M., HOCHWENDER, C., KAUFMAN, A. (2014): Profiling phenolic glycosides in *Populus deltoides* and *Populus grandidentata* by leaf spray ionization tandem mass spectrometry. *Analytical methods*. 7. 10.1039/c4ay02639j.
258. SOLLEN-NORRLIN, M.; GHALEY, B.B.; RINTOUL, N.L.J. (2020): Agroforestry Benefits and Challenges for Adoption in Europe and Beyond. *Sustainability*, 12, 7001. <https://doi.org/10.3390/su12177001>
259. SOLOVIEV, E.V. (2014): Carbon farming. Biodiversity for a Livable Climate conference: Restoring Ecosystems to Reverse Global Warming. <https://www.youtube.com/watch?v=ljuJhQtLYt8&t=4s>
260. SOLTANPOUR, A., ALIJANIHA, F., NASERI, M., KAZEMNEJAD, A., HEIDARI, M. R. (2019): Effects of *Melissa officinalis* on anxiety and sleep quality in patients undergoing coronary artery bypass surgery: A double-blind randomized placebo controlled trial. *European Journal of Integrative Medicine*, 28: 27–32. p
261. SONG, B.Z., WU, H.Y., KONG, Y. et al. (2010): Effects of intercropping with aromatic plants on the diversity and structure of an arthropod community in a pear orchard. *BioControl* 55. 741–751. <https://doi.org/10.1007/s10526-010-9301-2>
262. SOÓ, R., BORHIDI, A. (1968): Über einige Formenkreise der Ungarischen und Karpatischen Flora X. *Galeopsis ladanum* und *Origanum vulgare*. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Lorando Eötvös Nominata, Sectio Biologica*. Tom. 9-10. 361-364. p.
263. STAHL W., SIES H., (2005): Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Basis of Disease*, Vol. 1740, p. 101–107.

264. STOJANOVIC, M. (2019): Biomimicry in Agriculture: Is the Ecological System-Design Model the Future Agricultural Paradigm? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 32, 789–804. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9702-7>
265. STRUGSTAD MP, DESPOTOVSKI S (2012): A summary of extraction, synthesis, properties, and potential uses of juglone: A literature review. *J Ecosys Man* 13:1–16. p.
266. SUN J. D. (2007): Limonene: safety and clinical applications. *Altern Med Rev*. 12(3):259-64. PMID: 18072821.
267. SUPPAKUL P, MILTZ J, SONNEVELD K, BIGGER S. (2003): *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (11), 3197-3207, DOI: 10.1021/jf021038t
268. SUVERA, A.H., THAKUR, N.S. AND JHA, S.K. (2015): Herbage and essential oil yield of ocimum spp. intercropped under pongamia pinnata based silvimedical systems in Gujarat, India. *The Bioscan*. 10(1): 81-85. p.
269. SZABÓ K, MALEKZADEH M, RADÁCSI P et al (2016): Could the variety influence the quantitative and qualitative outcome of lemon balm production? *Ind Crops Prod* 83:710-716. p.
270. SZABÓ K., LENCHÉS O. (2013): *Calendula officinalis* L. – Kerti körömvirág. In: BERNÁTH, J. (szerk): Vadon termő és termesztett gyógynövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 200-203.
271. SZABÓ LGY (2016): Phytochemical character and allelopathic potential (In Hungarian). Székfoglaló előadás a Szent István Tudományos Akadémián, Budapest. Departmental presentation at (official English name), Budapest
272. SZABO, K, MALEKZADEH, M, RADACSI, P, LADÁNYI, M, RAJHÁRT, P, INOTAI, K, SÁROSI, SZ, NÉMETH, É. (2016): Could the variety influence the quantitative and qualitative outcome of lemon balm production?. *Industrial Crops and Products*. 83. 10.1016/j.indcrop.2015.12.027.
273. SZABO, K., CĂTOI, AF. & VODNAR, D.C. (2018): Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients. *Plant Foods Hum Nutr* 73, 268–277. p. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0691-0>
274. SZABÓ, L. GY. (1997): Allelopátia mesterséges és természetes körülmények között – Az allelopátia értelmezése. Akadémiai Doktori Értekezés Tézise, Pécs.
275. SZOPA, A., KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, M., JAFERNIK, K., KOC, K., & EKIERT, H. (2020): Pot marigold (*Calendula officinalis* L.) – A position in classical phytotherapy and newly documented activities. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 19(3), 47-61. <https://doi.org/10.24326/asphc.2020.3.5>
276. SZŐKE É. 2019. Gyógynövénytől a gyógyításig. Semmelweis Kiadó, Budapest. 266.
277. TANAKA Y., SASAKI N., OHMIYA A. (2008): Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. 54. 4. 733-749. p.
278. TELLEZ, M., ESTELL, R., FREDRICKSON, E., POWELL, J., WEDGE, D., SCHRADER, K. AND KOBASISY, M. (2001): Extracts of *Flourensia cernua* (L): Volatile constituents and antifungal, antialgal, and antitermite bioactivities. *Journal of Chemical Ecology*, 27(11): 2263-73. p.

279. TEMPL, K. HRON, P. FILZMOSE, A. GARDLO. (2016): Imputation of rounded zeros for high-dimensional compositional data. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 155, 183–190. p.
280. TEMPL, M., HRON, K., FILZMOSE P. (2011): robCompositions: an R-package for robust statistical analysis of compositional data. In V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti, editors, *Compositional Data Analysis. Theory and Applications*, pp. 341-355, John Wiley & Sons, Chichester (UK) .
281. TEOFILOVIĆ B, GRUJIĆ-LETIĆ N, GOLOČORBIN-KON S, STOJANOVIĆ S, VASTAG GY, GADŽURIĆ S. (2017): Experimental and chemometric study of antioxidant capacity of basil (*Ocimum basilicum*) extracts, *Industrial Crops and Products*, Volume 100, 176-182. p. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.039>.
282. TERZI I (2008): Allelopathic effects of Juglone and decomposed walnut leaf juice on muskmelon and cucumber seed germination and seedling growth. *Afr J Biotechnol* 7:1870-1874. p.
283. THAKUR, M., KUMAR, R. (2021): Microclimatic buffering on medicinal and aromatic plants: A review, *Industrial Crops and Products*, 160, 113144, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113144>.
284. THEVATHASAN NV, GORDON AM, VORONEY RP (1998): Juglone (5-hydroxy-1,4 naphthoquinone) and soil nitrogen transformation interactions under a walnut plantation in southern Ontario, Canada. *Agroforest Syst* 44:151-162.
285. TIRCZKA, I., MOLNÁR, E., PROKAJ, E. (2014): Diólevél-komposzt hatása a római saláta növekedésére. *Kertgazdaság*, 46. (4): 55-66.
286. TIRCZKA, I., PROKAJ, E. (2013): Diófa (*Juglans regia* L.) leveléből készült komposztok vizsgálata bioteszttel. *Kertgazdaság*, 45. (3): 70-77
287. TOOP T.A., WARD S., OLDFIELD T., HULL M., KIRBY M.E., THEODOROU M.K. (2017): AgroCycle – developing a circular economy in agriculture. *Energy Procedia*. 123. 76-80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.269>
288. TORKAMANEH D., JONES M. P. (2021): Cannabis, The Multibillion Dollar Plant That No Genebank Wanted. *Genome. Just-IN* <https://doi.org/10.1139/gen-2021-0016>
289. TORRALBA M., FAGERHOLM N., BURGESS P., MORENO G., PLEININGER T. (2016): Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 230. 150-161. p. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>
290. TOWNSEND R, BEGON M, HARPER L. (2008): *Essentials of Ecology*. Blackwell Publishing, Oxford.
291. TURCSI, E., NAGY, V., DELI, J. (2016): Study on the elution order of carotenoids on endcapped C 18 and C 30 reverse silica stationary phase. A review of the database. *Journal of Food Composition and Analysis* 47, 101-112. p. doi:10.1016/j.jfca.2016.01.005
292. UDAWATTA P.R., RANKOTH L., JOSE S. (2019): Agroforestry and Biodiversity. *Sustainability*. 11. 2879. <https://doi.org/10.3390/su11102879>

293. UDAWATTA RP, KREMER RJ, ADAMSON BW, ANDERSON SH (2008): Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. *Appl Soil Ecol* 39:153-160. p.
294. URBÁN-MARTÍNEZ I., FERNÁNDEZ-MOYA, J., LICEA-MORENO, R., SANTACRUZ, D., GUTIÉRREZ-TEJÓN, E. (2018): Hybrid walnut (*Juglans Mj209*) for timber production in an agroforestry scheme: some experiences learnt in Spain. In: Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference: Agroforestry as Sustainable Land Use. Ferreiro-Domínguez, N., Mosquera-Losada, M.R. (eds.) Ed. European Agroforestry Federation and the University of Santiago de Compostela in Lugo (Spain): 30-34.
295. VAFADAR-YENGEJE L., AMINI R., ADEL DABBAGH MOHAMMADI NASAB (2019): Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application, *Journal of Cleaner Production*, Volume 239, 118033, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118033>.
296. VALKOVSKI, N., NÉMETH-ZÁMBORI, É. (2011). Effects of growing conditions on content and composition of the essential oil of annual caraway (*Carum carvi* L. var. annua), *Acta Alimentaria*, 40(2), 235-246. Retrieved Oct 16, 2021, from <https://akjournals.com/view/journals/066/40/2/article-p235.xml>
297. VAN ZANTEN, B.T., VERBURG, P.H., ESPINOSA, M. et al. (2014): European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 309–325. p. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0183-4>
298. VANI, S., CHENG, S. F., CHUAH, C. H. (2009): Comparative Study of Volatile Compounds from Genus *Ocimum*. *American Journal of Applied Sciences*. 6. 10.3844/ajas.2009.523.528.
299. VARMUZA, K., I. STEINER, H. GLINSNER, H. KLEIN (2002): Chemometric evaluation of concentration profiles from compounds relevant in beer ageing. *Eur. Food Res. Technol.* 215(3), 235–239. p. DOI:10.1007/s00217-002-0539-5
300. VERMA P K, RAINA R, AGARWAL S, KAUR H. (2018): Phytochemical ingredients and Pharmacological potential of *Calendula officinalis* Linn.. *Pharm Biomed Res.* 2018; 4 (2) :1-17. p.
301. VESELINOV, B., ADAMOVIĆ, D., MARTINOV, M., VISKOVIĆ, M., MARKO, G., BOJIC, S. (2014): Mechanized harvesting and primary processing of *Calendula officinalis* L. Inflorescences. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 12. 329. 10.5424/sjar/2014122-4876.
302. VON MAYDELL D, LEHNERT H, BERNER T, KLOCKE E, JUNGHANN S W, KEILWAGEN J, et al. (2020): On genetic diversity in caraway: Genotyping of a large germplasm collection. *PLoS ONE* 15(12): e0244666. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244666>
303. WANI NR, MALIK TH (2014): Role of Poplars in Agroforestry Systems in India. *N Y Sci J*, 7:50-56.
304. WĘGLARZ, Z., KOSAKOWSKA, O., PRZYBYŁ, J., PIÓRO-JABRUCKA, E., BĄCZEK K. (2020): "The Quality of Greek Oregano (*O. vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Ietswaart)



- and Common Oregano (*O. vulgare* L. subsp. *vulgare*) Cultivated in the Temperate Climate of Central Europe" *Foods* 9, 11: 1671. <https://doi.org/10.3390/foods9111671>
305. WILLIAMSON BG, WEIDENHAMER DJ (1990): Bacterial degradation of juglone – Evidence Against Allelopathy? *J Chem Ecol* 16:1739-1742. p.
  306. WILLIS RJ (2000): *Juglans* spp., juglone and allelopathy. *Allelopathy J* 7:1-55. p.
  307. WILSON M.H., LOVELL S.T. (2016): Agroforestry—The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture. *Sustainability*, 8, 574; <https://doi.org/10.3390/su8060574>
  308. WÓJTOWICZ, A., ONISZCZUK, A., ONISZCZUK, T. et al. (2017): Application of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) leaves addition as a functional component of nutritionally valuable corn snacks. *J Food Sci Technol* 54, 3218–3229. p. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2765-7>
  309. WOLSKE, E., BRANHAM, B. AND WOLZ, K. (2018): Effects of shade on black currant physiology and productivity. Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference Agroforestry as Sustainable Land Use, 387-390.
  310. WU, T., LI, S., ZHANG, B. et al. (2018): Engineering *Saccharomyces cerevisiae* for the production of the valuable monoterpene ester geranyl acetate. *Microb Cell Fact* 17, 85. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0930-y>
  311. WYSE, J., LURIA, G. (2021): Trends in intellectual property rights protection for medical cannabis and related products. *J Cannabis Res* 3, 1. <https://doi.org/10.1186/s42238-020-00057-7>
  312. XIANMIN C., ALDERSON P. WRIGHT, C. (2008): Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. *Environmental and Experimental Botany*. 63. 216-223. 10.1016/j.envexpbot.2007.10.017.
  313. YAMAURA T., TANAKA S., TABATA M. (1989): Light-dependent formation of glandular trichomas and monoterpenes in thyme seedlings. *Phytochemistry*. 28.:741-744. DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/0031-9422\(89\)80106-2](http://dx.doi.org/10.1016/0031-9422(89)80106-2)
  314. YANG-PING L, YU-LONG F, ZONG-LI K et al. (2017): Changes in soil microbial communities due to biological invasions can reduce allelopathic effects. *J Appl Ecol* 54:1281-1290.
  315. YAN-LI, L., CRAKER, E.L. AND POTTER, T. (1996): Effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). *Acta Hort*, 426. p.
  316. ZAHIR, A., AHMADA, W., NADEEMA, M., GIGLIOLI-GUIVARC'HC, N., HANOB, C. AND ABBASI, B.H. (2018): In vitro cultures of *Linum usitatissimum* L.: Synergistic effects of mineral nutrients and photoperiod regimes on growth and biosynthesis of lignans and neolignans. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 187: 141-150. p.
  317. ZÁMBORINÉ N.É. (2016): Natural Variability of Essential Oil Components. In: Baser K.H., Buchbauer G. 2016. Handbook of Essential Oils. Science Technology and Application. CRC Press. Boca Raton.
  318. Zarzycki P., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Kozłowicz, A., Stasiak, A.D. (2021): Use of moldavian dragonhead seeds residue for pasta production, *LWT*, Volume 143, 111099, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111099>.

319. ZUBAY P, ZÁMBORINÉ NÉMETH É, LADÁNYI M. et al. (2020): Olajlen és ipari kender agrárerdészeti hasznosíthatóságának felmérése. *Kertgazdaság* 51:69-79.
320. ZUBAY P., ZÁMBORINÉ N.É., SZABÓ K. (2019): A fény szerepe az agrárerdészeti termesztésben. *Kertgazdaság*. 51(2): 53-62.
321. ZUBAY, P., KUNZELMANN, J., ITTZÉS, A. et al. (2021): Allelopathic effects of leachates of *Juglans regia* L., *Populus tremula* L. and juglone on germination of temperate zone cultivated medicinal and aromatic plants. *Agroforest Syst* 95, 431–442. p. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00572-9>

## 10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Doktori Értekezés kutatási tevékenységét az ország több kutatóintézetének kiválóságai segítették, ezúton szeretném kifejezni hálás köszönetem mindannyiuk részére az ötletelések, kísérletek, mérések és a szakmai viták alatt eltöltött közös idő iránt.

Kiemelt köszönettel tartozom Dr. Szabó Krisztinának fáradságot nem ismerő, önzetlen témavezetői munkájáért, amely során kérdéseimet újra és újra megválaszolta, ötleteimet újra és újra meghallgatta, s mindeközben kritikáival egyaránt fejlesztette tudományos éleslátásomat és személyes jellemfejlődésemet. Köszönöm a négyévnyi közös munkát és a belém vetett bizalmat a részemről sok felzárkózást igénylő kezdetektől, a számos közös szakmai siker eléréséig.

Köszönetet mondok a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gyógy- és Aromanövények Tanszék és a Soroksári Gyógy- és Aromanövények Szakágazat összes munkatársának, akikkel a doktori képzés ideje alatt együtt dolgozhattam. Külön köszönet illeti Zámboriné Dr. Németh Évát, aki mindig segítette szakmai fejlődésemet és kutatási tevékenységem szervezését. Köszönet illeti Dr. Radácsi Pétert és Dr. Gosztola Beátát az illóolaj-összetétel- és Ruttner Klárát a hatóanyag-tartalom meghatározásokban nyújtott segítségükért.

Köszönöm azt az örökké lelkesítő hozzáállást és kitartó munkát, amivel a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Alkalmazott Statisztika Tanszék munkatársai, kiemelten Dr. Ladányi Márta segítségemre voltak az adatok információvá alakítása során.

Köszönöm a közös munkát és az együttműködésre nyitott hozzáállást a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék munkatársainak, különösen Dr. Abrankó Lászlónak, Jókainé Dr. Szatura Zsuzsannának és Muránszky Géának.

Köszönöm a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Erdészeti Tudományos Intézet munkatársainak, különösen Dr. Borovics Attilának, hogy az ERTI Sárvári Állomásán megteremtette és fenntartotta a gyógynövényes kísérlet feltételeit, valamint minden terepi munka alkalmával szívesen fogadott.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Deli Józsefnek a Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Farmakognózia Intézet egyetemi tanárának a körömvirágdrog karotinoid-összetételének meghatározásáért.

Köszönöm a Tetragenom Kft. ügyvezető igazgatójának, Kupai Dávid Eleknek a kender kísérletekben nyújtott segítségét, a közös gondolatokat és a biológiai alapok biztosítását.

Köszönet illeti egykori hallgatómat Jakob Kunzelmann-t amiért rendkívüli munkabírással és érdeklődéssel viseltetett a közös munka iránt.

Szeretném megköszönni az egykori Bükki Csipkerózsa Integráció vezetőségének: Dr. Nagy Józsefnek†, Dr. Oláh Csabának és Ablonczy Attilának, hogy felfigyeltek tehetségemre, erősítették fejlesztői képességeimet, biztattak a doktori képzésre jelentkezésre, majd szakmailag és emberileg is segítettek annak képzési ideje alatt.

Szeretném megköszönni a Silvestris és Szilas Kft. vezetőségének, Fodor Csabának, Bartók Annamáriának, Bartyik Balázsnak és Vámos Zoltánnak, hogy rugalmas munkarendet biztosítottak számomra a doktori tanulmányaim befejezésére, valamint, hogy napról napra erősítik bennem a piacvezérelt innovációs tevékenységhez szükséges attitűdöt.

Hálás vagyok a szüleimnek, a testvéreimnek és a barátaimnak a belém fektetett bizalomért és bátorításért, amellyel támogattak a doktori tanulmányok elvégzése és az értekezés megírása alatt.

Végül, de nem utolsó sorban végtelen hálámat szeretném kifejezni feleségemnek Zubay-Kozák Anettnek amiért szüntelen türelemmel, kitartással és elfogadással támogatott minden nap, minden este és minden hétfőgén, amikor terepre jártam, pályázatot és közleményt írtam. Köszönöm.♥

A Doktori Értekezés létrejöttét az alábbi kutatói pályázatok segítették:

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3-1 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.



A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium támogatta a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program (NKFIH-1159-6/2019), a Szent István Egyetem növénynevelés, növényvédelemmel kapcsolatos kutatások tématerületi programja keretében.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-2020-3-1 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

