

SZAKDOLGOZAT

Horváth Emese

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Gödöllői Campus

Kertészettudományi intézet

Kertészmérnök alapképzési szak

***A THYMUS PANNONICUS ALL. SZÁRAZSÁG- ÉS
SÓTŰRÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE***

Belső konzulens: Dr. Pluhár Zsuzsanna
egyetemi tanár

**Belső konzulens
tanszéke:** Gyógy-és Aromanövények

Készítette: Horváth Emese

Gödöllő

2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Irodalmi áttekintés.....	3
2.1. Kakukkfű taxonómiai besorolása	3
2.2. Botanikai leírás	5
2.3. Előfordulása, ökológiai igényei, természetbe vonhatóság	6
2.4. Drogjai, hatóanyagai	7
2.5. Felhasználás, hatás	8
2.6. Illóolaj elsődleges bioaktív összetevői	9
2.7. A klímaváltozás hatásai és a lehetséges megoldások	10
2.8. A só és szárazság stressz hatásainak értékelése különböző kakukkfű fajoknál...	12
3. Anyag és módszer	17
3.1. A kísérlet anyagai	17
3.2. A kísérlet során alkalmazott módszerek	17
3.2.1. A talajkapacitás megállapítása	17
3.2.2. A szárazság- és sóstressz kezelések módszerei	17
3.2.3. A morfológiai- és tömegmérések módszerei	18
3.2.4. Az illóolaj tulajdonságainak meghatározására szolgáló módszerek	19
3.2.5. Az összpolicifol koncentráció meghatározása	20
3.2.6. Az összantioxidáns kapacitás meghatározása	20
4. Eredmények és értékelésük	22
4.1. A morfológiai és tömegmérések eredménye	22
4.2. A magas kakukkfű beltartalmi tulajdonságainak változása a kezelések hatására	24
4.2.1. Az illóolajra vonatkozó eredmények.....	24
4.2.2. Összpolicifol és összantioxidáns kapacitás eredménye	27
4.3. Következtetések és javaslatok.....	28
5. Összefoglalás	30
6. Irodalomjegyzék:	31
7. Ábrák és táblázatok jegyzéke	41
8. Nyilatkozatok	42

1. Bevezetés

Az éghajlat változás miatt kialakuló abiotikus stresszhelyzetek problémákat vetnek fel a növények termesztésében, hiszen ezek a tényezők befolyásolják a növekedésüket és fejlődésüket. Különösen fontos abiotikus stressz tényezők lehetnek a rendelkezésre álló vízmennyiség, a hőmérsékleti viszonyok, illetve a talaj jellemzői (Etri et al. 2024). Számos régióban a legjelentősebb és legkárosabb tényező a talajok sótartartalma és a szárazság (Mansinhos et al. 2024).

A klímaváltozás egyik érintett tagja a Lamiaceae család, e családba számos gazdaságilag fontos gyógy- és fűszernövény tartozik. Ezek a növények olyan másodlagos metabolitokat, például illóolajokat és fenolos vegyületeket termelnek, amelyek minőségét és mennyiségét az abiotikus stressz tényezők nagyban befolyásolják (Mansinhos et al. 2024). A Lamiaceae családba tartozik a kakukkfű is, melynek antibakteriális, gombaellenes és antioxidáns tulajdonságai elsősorban az illóolajában található különböző illékony komponenseknek köszönhető (Etri és Pluhár, 2024).

A *Thymus pannonicus* (magas kakukkfű) a hazai élőhelyeken leggyakrabban előforduló őshonos vadkakukkfű faj, melynek előfordulásával, kémiai variabilitásának feltárásával és termesztésbe vonhatóságával az elmúlt évtizedekben több eredmény is született (Pluhár et al, 2010, Simkó, 2014).

Kutatásunkban az elemeztük, hogyan és milyen mértékben nyilvánul meg a *Thymus pannonicus* só-, szárazság- valamint kombinált stresszre adott reakciója. Kísérleteink során részletesebben foglalkoztunk a növények morfológiai- és tömegváltozásaival, valamint a beltartalmi jellemzők közül az illóolaj mennyiségi és minőségi paramétereivel. Értékeljük továbbá, hogy az összpolicifol-tartalom és az össz antioxidáns kapacitás milyen mértékben és irányban változik a különböző abiotikus stressz tényezők hatására.

Szakedolgozatomban a vizsgált *Thymus pannonicus* fajjal végzett eddigi kutatásokról, a saját kísérletek során kapott adatokról, valamint a vonatkozó irodalmi forrásokkal történt összevetés eredményeiről számolok be.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Kakukkfű taxonómiai besorolása

A *Thymus* nemzetség a Plantae országban, Magnoliophyta törzsben, Magnoliopsida osztályban, Lamiidae alosztályban, Lamiales rendben, Lamiaceae családban, Nepetoideae alcsaládban helyezkedik el (Borhidi, 1993). Ez a nemzetség hozzávetőlegesen 250 taxont tartalmaz, köztük 214 fajt és 36 alfajt. Földrajzi elterjedésük és morfológiai jellemzőik alapján nyolc szekcióra osztják (Stahl-Biskup és Venskutonis, 2012).

Az észak-afrikai fás fajok a **Micantes** szekcióba tartoznak: *T. riatarum*, *T. satureioides* és *T. caespititus*. Ezeknek a növényeknek hajtásai felállóak, lapos kerekded, hosszú, hosszúkás-ovális levelekkel és füzérszerű virágzattal rendelkeznek (Belmalha et al. 2017, Morales, 2002). Számos kutató szerint (Miguel et al. 2004; Pinto et al. 2014; Neves et al. 2017) a *T. caespititus* fő hatóanyaga az α -terpineol. A marokkói *T. riatarum* illóolajának összetételében nagy variabilitást figyeltek meg: Fadli és társai (2014) a borneolt jelezték fő komponensként, ezzel szemben Boubaker és társai (2016) a γ -terpinén és a p-cimén dominanciáját mutatták ki.

Mastichina szekcióba sorolhatók az Ibériai-félszigeten őshonos *T. mastichina subsp. mastichina* és a *T. mastichina subsp. donyane*, amelyek általában magas 1,8-cineol-tartalommal jellemezhetők, míg a *T. albicans* fajok illóolajában a 1,8-cineol mellett a linalool a fő összetevő. (Morales, 2002; Girón et al. 2012; Roxo et al. 2020; Salgueiro et al 1997).

Egyetlen faj tartozik a **Piperella** szekcióba: a *T. piperella*-t, amely őshonos Spanyolországban, Valenciában és környékén. Leveleinek és szárának morfológiája hasonló a Mastichina szekció fajaihoz, de virágzata álörvös. A faj fő hatóanyagainak a p-cimol és karvakrol tekinthető (Morales, 2002; Ruiz-Navajas, 2012; Ruiz-Navajas, 2015).

A **Teucrioides** szekció a Balkán-félszigetről származik és ovális vagy háromszögletű levelek és az álörvös virágzat jellemző rájuk. Három különböző fajt foglal magába: *T. teucrioides*, *T. hartvigi* és *T. leucospermum* (Morales, 2002). Pitarokili és társai szerint (2024) a három faj egyik fő összetevője a p-cimol, Görögországban és Albániában gyűjtött populációban.

Az Ibériai-félszigeten és Észak-Afrikában fordul elő a **Pseudothymbra** szekció. Az ide tartozó fajok felálló hajtással, keskeny, fonák felé göngyölt levelekkel és fejecskeszerű virágzattal rendelkeznek. Kilenc fajt tartalmaz: *T. villosus*, *T. lotocephalus*, *T. longiflorus*, *T. membranaceus*, *T. moroderi*, *T. funkii*, *T. munbyanus*, *T. bleicherianus* és *T. antoniane*. Az

összes faj megkülönböztethető számú aktív vegyületet tartalmaznak. Az algériai *T. munbyanus subsp. ciliates* illóolajának fő alkotóeleme a karvakrol (Morales, 2002; Benomari et al. 2020; Tefiani et al. 2015).

A **Thymus** szekció kakukkfű fajai a Földközi-tenger nyugati régiójában fordulnak elő, növényei felálló vagy elterülő hajtásokkal, visszahajló levelekkel és füzérszerű vagy gömbölyű virágzattal rendelkeznek. Ide tartoznak a legnagyobb gazdasági jelentőségű kakukkfűvek: *T. vulgaris*, *T. zygis* és *T. wilddenowii* (Morales; 2002). A *T. vulgaris*, közismert néven kerti kakukkfű, egy bokros, örökzöld törpecserje, apró, erősen aromás szürkés-zöld levelekkel és lila rózsaszín virágokkal. Ebben a fajban több kémiai típus figyelhető meg, de általában a timol tekintik az illóolaj fő alkotóelemének (Borugă, et al. 2014; Galovičová et al, 2021; Vouillamoz és Christ, 2020; Mokhtarzadeh et al. 2018).

A **Hyphodromi** szekció olyan növényekből áll, amelyek helyenként legyökeresedő hajtással, leveleik visszagöngyöltek vagy laposak és fejecske szerű virágzattal rendelkeznek. A szekció 60 fajt tartalmaz és az egész mediterrán régiót lefedi. (Morales, 2002). Az egyik legnépszerűbb faj ebben a szekcióban a *T. algeriensis*, magas kémiai polimorfizmussal; Tunéziában az 1,8-cineol és kámfor a fő összetevői (Zouari et al. 2012), míg Algériában, ugyanazon a helyen, de más tengerszint feletti magasságon, a *T. algeriensis* eltérő kémiai profilt mutat: timol típusút és terpinil-acetát típusút (Hazziz et al. 2009).

A **Serpyllum** szekció körülbelül 120 fajt foglal magába, és a nemzetség elterjedési területén belül fordul elő. Morfológiailag a növények fásak, leveleik tövén szőrösek, virágzataik pedig füzér szerűek. A jól ismert vad vagy mezei kakukkfű *T. serpyllum* ebbe a szekcióba tartozik, kúszó szárakkal, apró levelekkel és rózsaszínű vagy lila virágokkal rendelkezik. A kémiai profil tekintetében a timol tekinthető az illóolaj fő hatóanyagának (Morales, 2002, Galovičová et al. 2021; Nikolić et al. 2014).

A *Thymus pannonicus* All. más néven magas kakukkfű *Thymus* nemzetségben belül (Bencze és Pluhár, 2013; Kutta, 2010) a Serpyllum szekcióba tartozik, de a gyakori interspecifikus és intraspecifikus hibridizáció miatt a negyedidőszak során ez a szekció és a Hyphodromi szekció új fejlődési vonalakon indult meg, és ezért nehéz őket megkülönböztetni és rendszertani helyüket megállapítani (Simkó, 2014).

Több kutató is foglalkozott a kakukkfűvek rendszerezésével. Megállapításaik szerint a nemzetségben gyakori a hibridizáció és a poliploidia, amelyek megnehezítik a taxonok

egyértelmű rendszertani besorolását, így az sokáig vitatott maradt. A kakukkfűvek változatossága nemcsak a kemotípusok hatóanyag-összetételében figyelhető meg, hanem a vadon élő taxonok makromorfológiai sajátosságaiban, mirigyszórtípusaik sokféleségében és ezek szervi eloszlásában is megnyilvánul. (Simkó et al. 2012).

1. ábra: A *Thymus pannonicus* növény (Soroksár, 2024)



2.2. Botanikai leírás

A *T. pannonicus* más néven magas kakukkfű évelő, fásodó szárú félcserje (Ch) (Simon, 2000). Hajtásai nagy párnás foltokat alkothatnak (Pluhár et al. 2010). Szára négyélű és minden oldalán rövid fedőszőrök borítják, felemelkedő vagy felálló, legfeljebb 25 cm (Simkó et al 2012; Simon, 2000).

A levelek ülőek vagy rövid nyelűek, ritkán szőrözöttek, leggyakrabban a szár felső részén vagy a teljes száron oszlanak el (Simon, 2000; Simkó et al, 2012), és sűrűn borítják az illóolaj mirigyek (Pluhár et al. 2010; Simon, 2000). Levelei lándzsás, lándzsás-elliptikus vagy téglalap-elliptikus alakúak, amelyek általában hegyesedő levélcúcsúak és fűszerű állagúak (Pluhár et al. 2010; Simkó et al. 2012). A levéllemez szélessége 2-4 mm, a hossza pedig 5-17 mm között terjed. Virágzó hajtása általában meghaladja a 10 cm-t (Simkó et al. 2012; Simon, 2000).

Virágzata álörvekből összetett álfüzér, alakja nagyon változó, lehet gömbölyded, fejceskeszerű, megszakított, hosszúkás vagy hengeres. A virágok hossza 0,3-0,6 cm között mozog. A csészelevelek színe variábilis, a széle és csúcsa lehet barnásvörös, lila, illetve zöld színű is. A virágok színe lehet rózsaszín, mélyrózsaszín, világos ibolya vagy fehéres (Simkó et al, 2012; Simon, 2000). A murvalevek általában gyér megjelenésűek, szélei szőrösek és legtöbbször hasonlóak a szárlevelekhez, és mindig túlnyúlnak a virágörvökön (Simkó et al. 2012). A termése négy apró makkocská. A *T. pannonicus* májustól októberig virágzik (Pluhár et al. 2010; Simon, 2000).

Hazánkban öt őshonos *Thymus* gyűjtőfaj van jelen, az egyik közülük a *Thymus pannonicus*, amely három mikrofajjal rendelkezik: *T. kosteleckyanus* Opiz, *T. marschallianus* Willd., és *T. degenianus* Lyka (Simon, 2000; Jalas, 1972). Alkalmazkodásuk az eltérő élőhelyi körülményekhez igen változatos megjelenést eredményez, amelyek a morfológiai jellemzőikben, a kémiai összetételükben, ezen belül az illóolaj tartalmukban figyelhető meg (Loziéne, 2006; Pluhár et al. 2008; Pluhár et al. 2010).

2.3. Előfordulása, ökológiai igényei, természetbe vonhatóság

A Közép- és Kelet Európában fellelhető magyar kakukkfű, a szubkontinentális száraz gyepek eleme (Pluhár et al. 2010). A *T. pannonicus* különböző társulásokban megtalálható, vulkanikus kőzetten kialakult nyílt szilikát sziklagyepben, homokpusztai gyepben, juhcsenkeszes szőrmoha társulásokban, mészkövön kialakult pusztafüves lejtősztyeppén, nyílt dolomitsziklagyepben. Tömegesen előfordul homok-, és löszpusztákon is, illetve száraz lejtősztyeppben (Simkó, 2014; Simon, 2000). Általánosan elmondható, hogy a talaj tekintetében száraz, laza, sziklás vagy kavicsos alapkőzetet preferálja, amelyeket vályogos vagy homokos kötöttségű talajok borítanak. Megállapították, hogy a magyar kakukkfű a talaj pH értékét figyelembe véve elsősorban 6,5 és 7,64 közötti tartományban fordul elő, mésztartalom szempontjából pedig, a *T. pannonicus* egészen a karbonátmentestől, a meszes talajokig megtalálható, emellett a magas nitrogéntartalmú talajokat preferálja (Pluhár et al. 2010; Mártonfi et al. 1996).

A kakukkfűvek ökológiai igényeiben megmutatkozik, hogy napfény- és melegkedvelő növények. A kakukkfűvek képesek mind a hőmérséklet mind a vízellátottság szempontjából szélsőséges környezetben megélni, eltűrik a talaj kiszáradását és a hideget is így kijelenthető, hogy viszonylag ellenálló növények. Az illóolaj produkció a növények körül elpárologva meggátolja a vízvesztést, így a száraz klíma elviselését segíti elő (Simkó, 2014).

Termesztésben összehasonlítva a közönséges kakukkfűvel, a magyar kakukkfű kevésbé igényes a talaj nitrát-tartalmával szemben, viszont a talaj foszfor és kálium-tartalmával kapcsolatban igényesebb és egyben toleránsabbnak is mondható. A *T. pannonicus* változatos talajparamétereket, és különböző makrotápelemekkel rendelkező talajok széles tartományát tolerálja. Emellett megállapították, hogy a termesztésbe vonáshoz előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek, mivel egyenes a hajtása, kedvező a virág/hajtás aránya, átlagos illóolaj tartalma jó, és illóolaj összetételében pedig kedvező és stabil kemotípus mintázatok jelennek meg (Simkó, 2014).

Arsenijević és társai (2019) a termesztett *T. pannonicus* citrál kemotípusa föld feletti részeinek a kémiai összetételét tanulmányozták, és arra a következtetésre jutottak, hogy a citrál kemotípus ellenőrzött termesztése kedvező tulajdonsággal rendelkező állományokat eredményezhet, mivel a termesztett növények kémiai összetétele kevésbé változott, a természetes élőhelyről származó mintáéval szemben.

2.4.Drogjai, hatóanyagai

Magyarországon a vad kakukkfű fajok egybegyűjthetők és ezeket *Thymus serpyllum* L. névvel jelölik, így szárított virágzó hajtása az előiratokban *Serpylli herba* néven szerepel (Kutta, 2010), melynek illóolajtartalma legalább 0,3 ml/100 g kell lennie a Ph. Hg. VIII. (2004) szerint. Ismert még az illóolaja, a *Serpylli aetheroelum*, amelyet a friss virágzó hajtásokból állítanak elő (Bencze és Pluhár, 2013).

A kerti kakukkfűhöz képest a vad kakukkfű fajok kisebb mennyiségű illóolajat, flavonoidokat (apigenint, luteolint és ezek glikozidjait), fahéjsav-származékokat (elsősorban rozmaringsavat, valamint kávéssavat és klorogénsavat), továbbá triterpén savakat (oleanolsav, urzolsav) tartalmaznak (Bencze és Pluhár, 2013). A magas kakukkfű illóolaj tartalma nagyon változatos. A korábban említett különböző élőhelyi körülményekhez való alkalmazkodás miatt jelentős illóolaj polimorfizmust találtak, és összesen tizenkét kémiai változatot különítettek el, amelyek közül a timol + p-cimol kemotípus volt a leggyakoribb (Pluhár et al. 2007; Pluhár et al. 2010). Simkó és társai (2012) megfigyelték, igen gyakori a citromolajos kemotípus jelenléte is Magyarországon, azaz a linalool, linalil-acetát, geraniol, geraniol-acetát komponensek megjelenése az illóolajban.

Simkó (2014) természetbe vonás után megfigyelte, hogy a vadon előforduló kakukkfű populációk heterogenitásával ellentétben, ugyanazon fajok termesztett állományainak illóolaj tartalma sokkal magasabbnak és kiegyenlítettebbnek bizonyult, továbbá a Ph. Hg. VIII. (2004) követelményeinek is megfeleltek.

2.5.Felhasználás, hatás

Meghűléses betegség esetén köptető- és hurutoldószerként alkalmazható a magas kakukkfű teája. Mézet is készítenek a kakukkfű nektárból, amit köhögéscsillapításra használnak (Simkó, 2014). Maksimović és társai (2008) alátámasztották, hogy a *T. pannonicus* illóolaja figyelemre méltó antimikrobiális hatással rendelkezik olyan fontos humán kórokozókkal szemben, mint például az *Escherichia coli*, a *Staphylococcus aureus* és a *Candida albicans* két vizsgált törzse.

Jalil és társai (2024) áttekintették a *T. serpyllum* L. (vad kakukkfű) terápiás és a megelőző egészségügyi hatásaival kapcsolatos jelenlegi bizonyítékokat. A vad kakukkfűvet hagyományosan fűszerként, gyógyászati és aromaterápiás célokra használják. Az illóolaját széles körben alkalmazza az élelmiszeripar ízesítőként és tartósítószerként különösen a hús, tej és hal, illetve azokból készült termékek esetében. Funkcionális élelmiszerek és étrendkiegészítők piacán egyre nagyobb népszerűségnek örvend a *T. serpyllum*. Ez a tendencia összhangban áll azzal, hogy a fogyasztók érdeklődése növekszik a természetes és növényi termékek iránt. A növény gyakran megtalálható olyan gyógycukorkák és torokpasztillák összetevőjében, amelyek toroknyugtató, köhögéscsillapító, megfázás tünetek enyhítése céljából készültek. Sokszor használják különböző kozmetikai termékekben, például dezodorokban mivel semlegesíti a szagokat és antimikrobiális tulajdonságokkal rendelkezik. Kis mennyiségben használható testápolókban, parfümökben a jellegzetes illatáért. Vannak termékek, amelyek akné és egyéb bőrproblémákra használják, mint például: érzékeny bőrre, viszketés ellen, valamint a fejbőr vérkeringésének stimulálására és fertőtlenítésére. A vad kakukkfű felhasználható gyógynövényes fürdők és gyógynövényes párnák elkészítéséhez is. Amennyiben illóolaj főbb összetevői a timol és a karvakrol, rovarirtószerként vagy peszticidként alkalmazható. Preklinikai vizsgálatok megerősítették a növény gyulladáscsökkentő hatását, különösen alkalmas a gyulladással járó bélbetegségek esetén. Megfigyelték, hogy májvédő hatása mellett szív- és érrendszeri problémák kezelésében is segíthet, mivel szabályozza a lipidanyagcserét, csökkenti a koleszterinszintet, antidiabetikus, vérnyomáscsökkentő és immunmoduláló hatású. Igazolták, hogy a növény gyógyászati,

táplálkozási és megelőző egészségügyi tulajdonságaihoz az illóolaj, illetve a nem illékony vegyületek, fenolsavak és flavonoidok járulnak hozzá.

2.6. Illóolaj elsődleges bioaktív összetevői

A kakukkfű növények mirigyszőrökben termelnek illóolajat, elsősorban a pajzs alakú mirigyes trichómák révén, amelyek felelősek a monoterpének felhalmozódásáért és bioszintéziséért (Yamaura és Tanaka, 1992). A Lamiaceae családban a mirigyszőrök speciális kiválasztó sejteket tartalmaznak, ahol az illékony vegyületek szintézise és tárolása szubkutikuláris térben történik, ami elősegíti azok folyékony állapotban való megtartását a felszabadulásáig (Turner et al. 2000). A fő összetevői az illóolajoknak, három bioszintézis útján szintetizálódnak: a fenilpropének a sikimisav útján szintetizálódnak, míg a terpének a plastidikus metil-eritritol-foszfát, és a citoszolikus mevalonsav útján keletkeznek (Sapir-Mir et al. 2008; Franz és Novak, 2010).

Nagyobbrészt monoterpének találhatók a kakukkfű illóolajában, de emellett rendszerint szeszkviterpének is jelen vannak. Fenolos monoterpének közül a timol és a karvakrol a legjelentősebb (Kutta, 2010). A kakukkfű illóolaj elsődleges bioaktív összetevőinek a timol és karvakrol tekinthető (Etri és Pluhár, 2024), jellegzetességük, hogy aromás gyűrűhöz fenolos hidroxil-csoport kapcsolódik (Kutta, 2010). Azonban a kakukkfűolaj más összetevők komplex keverékét is tartalmazza, amelyek hozzájárulnak az illóolaj általános aromájához, ízéhez és terápiás hatásához (Etri és Pluhár, 2024).

A timol egy színtelen kristályos vegyület. Kémiaailag 2-izopropil-5-metilfenolként azonosítják, képlete: $C_{10}H_{14}O$ (Agarwal et al. 2020). A γ -terpinén p-cimollá aromizálódik, amely hidroxilezésen megy keresztül, és így timol keletkezik (Pouloza és Croteau, 1978). A timol nehezen oldódik vízben (1 g/liter 20°C-on), de alkoholban és szerves oldószerekben jól oldódik (Zhu et al. 2016; Budavari et al. 1989). Olvadáspontja körülbelül 50 °C (Ponce Cevallos et al. 2010), sűrűsége 25 °C-on 0,96 g/cm³ (Elvers, 2002). A timol erős ízű, de megfelelő koncentrációban kellemes ízű és antibakteriális hatással rendelkezik (0,2 mg/ml timol), ahogyan azt Kerekes és munkatársai leírták (2016).

A másik elsődleges bioaktív összetevő, mint korábban említettem a karvakrol, amelynek kémiai képlete 5-izopropil-2-metilfenol megegyezik a timoléval, így szerkezeti izomerek. Ez azt jelenti, hogy a hidroxilcsoport a karvakrolban a benzolgyűrű orto pozícióban található, ezzel szemben a timolban a meta pozícióban lelhető fel (Natal et al. 2021). Sűrűsége 0,991 ± 0,11 g/cm³, felületi feszültsége 30°C-on 60,38 ± 0,08 mN/m (Gandova et al. 2023). A karvakrol

hasonlóan a timolhoz, alacsony vízdékonysággal rendelkezik (Kfoury et al. 2016). A karvakrol 25 és 30 °C között jobban oldódik a vízben, mint a timol, ennek ellenére magasabb hőmérsékleten, 40 és 45 °C között, a timol oldhatósága nagyobb (Martins et al. 2017)

2.7.A klímaváltozás hatásai és a lehetséges megoldások

Az éghajlatváltozás globális szinten egyre inkább befolyásolja a növények növekedését és fejlődését. Ez a jelenség elsősorban amiatt van, hogy az abiotikus stresszhatások csökkentik a szén-dioxid felvételét és diffúzióját, valamint módosítanak számos biokémiai reakciót.

A klímaváltozás egyik leginkább érintett növény családjá a Lamiaceae, különösen azért, mert a Földközi-tenger régiójában szélesen elterjedt. E családba tartoznak olyan gazdaságilag fontos gyógy- és illóolajnövények, amelyek értékes másodlagos metabolitokat például illóolajokat és fenolos vegyületeket termelnek.

Számos régióban a legjelentősebb és legkárosabb tényezői a szárazság és sótartalom. Az abiotikus stressz tényezők befolyásolják a másodlagos metabolitok mennyiségét és minőségét. Érdeemes megvizsgálni a környezeti tényezők által kiváltott másodlagos anyagcsere változásait, mivel így egyes esetekben növelhető az értékes másodlagos anyagcsere-termékek felhalmozódása (Mansinhos et al. 2024).

A vízhiány világszerte az egyik legfontosabb környezeti probléma, amely befolyásolja a mezőgazdasági termelékenységet és jelentős termés kiesést okoz (Sharafzadeh és Zare, 2011). A rendkívül meleg nyarak és hőhullámok gyakoriságának és intenzitásának a növekedése várható, ami a szárazság súlyosbodásához vezet (Mansinhos et al. 2024). A szárazságstressz egy olyan abiotikus hatás, amely megváltoztatja a növények elsődleges és másodlagos anyagcseréjét (Kulak, 2020). A szárazság stressz eltérően hat az illóolaj hozamra és az illóolaj-tartalomra (az illóolaj százalékos arányára), mivel a szárazság stressz csökkenti a hajtások biomasszáját (g/tő, t/ha), ezáltal csökkenti az illóolaj-hozamot (ml/m², kg/ha), ellenben növeli az illóolaj relatív százalékos arányát a hajtásokban (ml/100 g drog) (Sharafzadeh és Zare, 2011). A szárazságstressz jelentősen csökkenti a *Thymus vulgaris* klorofill- és karotinoid tartalmát (Kamyab et al. 2024).

Askary és társai (2018) szárazságstressz okozta hatást akarták csökkenteni. Ebben a vizsgálatban, háromféle vízstressz, valamint trágyázott és nem trágyázott körülmények között tanulmányozták a *Thymus daenensis* és a *Thymus vulgaris* illóolajának mennyiségét és

minőségét. Összességében azt javasolták, hogy a vízhiányos körülmények között a stresszhatások mérséklésére, a tápanyagok megfelelő utánpótlásáról érdemes gondoskodni.

Arpanahi és társai (2020) szintén a *T. vulgaris* és a *T. daenensis* növényt vizsgálták, szárazság stressz alatt, arbuszkuláris mikorhizza gombákkal kezelve az állományt. Eredményeik arra utaltak, hogy kiváló stratégia lehet arbuszkuláris gombákkal való oltás a vízhiány káros hatásainak enyhítésére, hiszen a beoltott növényeknek nőtt az illóolaj termelése. Egy hasonló tanulmányban megállapították, hogy az arbuszkuláris mikorhizza gomba és kitozán nanorészecske együttes alkalmazása, fenntartható és környezetbarát megoldást jelenthet a vízstressz körülmények között termesztett kakukkfű (*T. vulgaris*) illóolaj mennyiségének és minőségének javítására (Amani et al. 2023). Emami Bistgani és társai (2017) is kutatták a kitozán hatását a *Thymus daenensis* növényre a szárazságstressz enyhítése céljából. Megállapították, hogy a kitozán kompenzáló hatása a stresszhelyzetek szárazanyag- és olajhozamra gyakorolt negatív hatásának csökkenésében, főként a prolin felhalmozódásán és a lipidperoxidáz szintjének csökkenésén keresztül történő ozmotikus alkalmazkodás stimulálásának volt köszönhető, ami növelte a kakukkfű leveleiben a sejtmembránok integritását.

Abd Elbar és társai (2019) azt vizsgálták, hogyan hat a putreszcín lombtrágyázás a *Thymus vulgaris* L. növekedésére, biokémiai tulajdonságaira, illóolaj-tartalmára és morfoanatómiai jellemzőire vízhiányos körülmények között. A kísérletben két különböző öntözési szintet tartottak fent, a talaj vízmegkötő képességének 70-80%-án és 30-40%-án nevelték a növényeket, és palántázás után 10 és 50 nap múlva kétszer permetezték a putreszcint (0, 0,1 és 0,2 mM) a leveleire. Megállapították, hogy a putreszcín csökkentette a szárazság hatását, az anatómiai jellemzők megváltoztatásával, a klorofillkoncentrációk fenntartásával, az oldható fenolos vegyületek össz mennyiségének felhalmozódásával és egyes kapcsolódó enzimek aktivitásának fenntartásával. Következésképpen a putreszcín képes javítani a növekedést és az olajhozamot, így a kakukkfű növények vízhiányos körülmények között is jobban növekednek.

Becslések szerint 2050-re a termőterületek több mint 50%-a sóssá válik (Mansinhos et al. 2024). A talaj növekvő sótartalma csökkenti a növények biomasszáját, és súlyos esetben akár elhaláshoz is vezethet. A stressz negatív hatásainak leküzdésére a növényfajok specifikus biokémiai vagy fiziológiai reakciót mutatnak (Zrig et al. 2019).

Egy kutatásban megfigyelték, hogy a *Thymus vulgaris* növény leveleinek friss tömege jelentősen csökken só stressz hatására (Zrig et al. 2019). A sótartalom csökkentette a relatív víztartalmat, a víz- és ozmotikus potenciált, valamint ionegyensúly zavart és tápanyaghiányt okozott. A stressz hatásnak kitett növények több oldott cukrot és aminosavat halmoztak fel a kontrollhoz képest. Kimutatták továbbá, hogy a KCl és CaCl₂ lombpermetezés megfordította a sótartalom növényi biomasszára gyakorolt negatív hatását, ezen kívül a levelek antioxidáns-tartalma nőtt a növényekben. Összességében elmondható, hogy a fent említett anyagok permetezése enyhíti a *T. vulgaris* sótartalom okozta stresszét még regenerációs periódusban is. Egy további vizsgálat (Eghlima et al. 2025) rámutatott arra, hogy a *T. vulgaris* sóstresszel szembeni ellenálló képességét lehet javítani bioszén hozzáadásával, valamint megoldást jelenthet a termesztése olyan területeken, ahol alapvetően alacsony a hozama a talaj sótartalma miatt.

2.8. A só és szárazság stressz hatásainak értékelése különböző kakukkfű fajoknál

Zrig és társai (2016) azt figyelték meg, hogy kétféle termesztési rendszer (nyílt és árnyékolt terület), két különböző NaCl koncentrációval kezelve, milyen hatással van a kerti kakukkfűre (*Thymus vulgaris*). Céljuk, hogy megtalálják a legjobb környezeti feltételt a kakukkfű értékes összetevőinek optimális képződéséhez. A két és négy hetes kezeléseket után értékelték a növények növekedését, az illóolajok összetételét, az aminosav-, a összpolicifanol- és a flavonoid-tartalmukat. Az eredményekből kiderült, hogy a növények magasabbra nőttek az árnyékolt körülmények között. Az 50 mM NaCl alkalmazása a talajban nem befolyásolta a kakukkfű növekedését egyik kezeléskombináció mellett sem. A legnagyobb csökkenés a növény növekedésében az árnyékolt körülmények között mutatkozott, 150 mM NaCl-os kezelés hatására. A *T. vulgaris* leveleiben a domináns illóolaj összetevők a timol, a p-cimol, a mircén a linalool és kamfén voltak. Az eredményeik szerint a szabadföldön termesztett növények esetében, a közeg só tartalmának emelésével jelentősen megnövekedett a kakukkfű illóolajának fő komponense, a timol aránya, amely a teljes mennyiség 49%-át tette ki. Ez a kezelés négy hétig 150 mM NaCl-dal történt. A linalool és p-cimol százalékos aránya azonban a sótartalom növekedésével csökkent, de csak árnyékolt körülmények között. A p-cimol tartalom viszont jelentősen nőtt szabadföldön, a közeg sótartalmának növelésével. Ezenkívül az alkalmazott fényintenzitás és a NaCl- kezelések kombinációja is jelentős hatással volt a kakukkfű leveleinek aminosav, flavonoid- és polifenol - tartalmára. Arra a következtetésre jutottak, hogy a kakukkfű termesztésénél meg kell fontolni a magas NaCl-tartalom jelenlétével alkalmazott termesztési feltételeket, hogy elérjék az elsődleges metabolitok kívánt koncentrációját.

A *Thymus vulgaris* sóstresszre adott fizikai és kémiai reakcióit vizsgálták úszó hidropónikus körülmények között (Salehi-Arjmand et al. 2025). A sóstressz hatását három koncentrációban (0, 100 és 200 mM NaCl) vizsgálták hét különböző időtartam alatt (0, 6, 12, 24, 48, 72, 96 és 120 óra) három hónapos kerti kukkfüveken (3 hónapig volt hidropónikus rendszerben, 4 hónapos palántanevelés után). Az eredmények azt mutatták, hogy a különböző NaCl - koncentrációk és a különböző időtartamú sóstressz nem gyakorolt jelentős hatást a friss tömegre. Viszont megnövelte a kompatibilis ozmolitok, például a prolin tartalmát, a sóstressz (100 és 200 mM) 72-120 órás kezelése alatt. Másrészt ugyanezekkel a paraméterekkel a nem enzimatis antioxidasok, például a fenolos vegyületek és a flavonoidok aktivitása jelentősen megnőtt. Tehát megállapították, hogy a lebegő hidropónikus rendszerben jelentős károkat tud okozni a magas nátrium-klorid koncentráció a kerti kakukkfűre nézve.

Aziz és társai (2008) Egyiptomban szárazság stressznek kitett *T. vulgaris* növényt vizsgáltak, illóolaj hozamra és fő összetevőire. Négy öntözési intervallumot vizsgáltak (3, 5, 7 és 10 nap), a háromnaponta öntözötteknél jelentős növekedést észleltek a növény magasságában, valamint növényenkénti friss és száraz tömegben, összehasonlítva az 5, 7 és 10 naponta öntözött növényekkel. A 10 naponta öntözött növények adták a legmagasabb timol százalékot, és kimutatták, hogy a p-cimol timollá történő átalakulásának aránya stresszhelyzetben magasabb.

Farag és társai (2019) *Thymus vulgaris* növényeket jól öntözött és szárazságstressznek kitéve nevelték. Kimutatták, hogy az összes vizsgált növekedési paraméter és a levelek fotoszintetikus pigmentjei jelentősen csökkentek az aszály stressznek való kitettség hatására. Jelentős növekedés volt megfigyelhető az ozmolitok tekintetében, beleértve a prolint a teljes oldható cukor tartalmat, illetve a szabad aminosavak esetében is. Emellett a szárazság stressz jelentősen megnövelte a teljes oldható fenolok mennyiségét. Az anatómiai vizsgálat kimutatta, hogy a növény szárában és leveleiben több jelentős változás is bekövetkezett a korlátozott vízellátás következtében.

Abd Elbar és társai (2019) *Thymus vulgaris* L. növényt vizsgálták két különböző öntözési szint alkalmazásával. Megállapították, hogy a vízhiány jelentős csökkenést okozott a hajtások, gyökerek friss és száraz tömegében, míg a hajtás/gyökér szárazanyag aránya jelentősen nőtt. Ezenkívül a vízhiány a klorofill a és b koncentrációjának, valamint a klorofill a/b arányának többszörös jelentős csökkenéshez vezetett. Ugyanakkor a teljes oldható fenolos vegyületek és az illóolaj százalékos arányának jelentős növekedését észlelték a szárazságnak kitett

növényekben. A stressznek kitett növényekben a szövetek kiszáradása elkerülése érdekében morfológiai és anatómiai változások zajlottak le a gyökerekben, a szárakban és a levelekben.

Akhzari és Kavain (2021) szintén *Thymus vulgaris* L. növényt és a szárazság stressz hatását vizsgálták, 90% 50% és 25%-os szántóföldi vízkapacitást beállítva (SZVK). Eredményeikben megmutatkozott, hogy a víz megvonása a *T. vulgaris* növényekre milyen hatással van. A hajtáshosszúságot tekintve a legmagasabb és a legalacsonyabb értéket (43,2 és 19,9 cm) a 90%-os és a 25%-os szántóföldi vízkapacitással kezelt csoportok produkálták. A legmagasabb hajtás tömeg (13,66 g/tő) és legalacsonyabb gyökér tömeg (7,33 g/tő) a 90%-os (SZVK) kezelésél volt.

Szabó és társai (2022), szintén a *T. vulgaris* növényt figyelték meg, hogy hogyan reagál 40%-os szántóföldi vízkapacitásra (SZVK). Ebben a kutatásban, a stresszt folyamatos és időszakos formában alkalmazták. A kontrol csoportnál nem kapott vízstresszt (C: 1-13. héten keresztül 70% SZVK), míg a többi csoportnál enyhe szárazságstresszt (S1: 1-4 hét- 70% SZVK, a 6. héttől folyamatosan csökkenő szárazságstressz 40% vízhiány), hirtelen szárazság stresszt (S2: 1-9. hét- 70% SZVK, 10-13. hét - 40% vízhiány) vagy állandó szárazságstresszt (S3: 1-9. hét - 70% vízhiány, 5-13. Hét - 40% SZVK) idéztek elő. Megállapították, hogy az állandó szárazságstressz (S3) körülmények között termesztett növények mutatták a legkisebb értéket a hajtás hosszúság tekintetében (internódium 1,3 cm, hajtás 7,12 cm) míg a legnagyobb értéket a kontrol kezelésben találták. A szárazság stressz hatására a teljes fenoltartalom az S3-as kezelésben volt a legmagasabb. Hasonló eredményt találtak az antioxidáns kapacitás tekintetében, mert az S3-as növényeknél volt a legmagasabb érték.

Alavi-Samani és társai (2015) a *Thymus vulgaris* és a *T. daenensis* vízstresszre adott válaszát vizsgálták. Megállapították, hogy az öntözés szintje jelentős hatással volt a növekedési jellemzőkre a száraz tömegre, a növény magasságára, az ágak száma és a levélfelületiindex tekintetében is. A stresszhelyzetben lévő növényekből kivont illóolajban a karvakrol, a γ -terpinén és a p-cimol százalékos aránya magasabb volt, mint a nem stresszhelyzetben lévő növényekben, míg a timol százalékos aránya csökkent a szárazság stressz esetén.

Arpanahi és társai (2020) szintén a *T. vulgaris* és a *T. daenensis* fajoknál, vizsgáltak a szárazság stressz hatását. Eredményeik összhangban voltak az eddig felsorolt kutatásokkal, miszerint a szárazság stressz csökkentette a kakukkfű gyökér és hajtás száraz tömegét, relatív víztartalmát, illetve fotoszintetikus pigmentjeit, gázcsere paramétereit és tápértékét.

Emami Bistgani és társai (2019) a *Thymus vulgaris* és a *Thymus daenensis* növények növekedését, fiziológiai jellemzőit, fenolos vegyületeit és antioxidáns aktivitását figyelték meg különböző NaCl-koncentrációjú oldatok (0, 30, 60 és 90 mM) alkalmazása mellett. Az eredményeik azt mutatták, hogy a 60 és 90 mM NaCl koncentrációk a *T. vulgaris* esetében jelentősen, körülbelül 28 és 40%-kal csökkentették a növény szárazanyag hozamát, illetve 34 és 39%-kal a *T. daenensis* esetében, összehasonlítva a kezeletlen növényekkel. A NaCl alkalmazása a levelek és hajtások Na⁺ tartalmának növekedését is indukálta, míg a K⁺ és Ca²⁺ tartalom a sóstressz hatására csökkent. 60 mM NaCl alkalmazása után a teljes fenoltartalom körülbelül 20%-kal nőtt. Emellett a növény levél flavonoid-tartalmában 38,6%-os, illetve 36,6%-os növekedést figyeltek meg, 60 és 90 mM NaCl alkalmazása után. Mindkét fajról megállapították, hogy gazdag volt fenolsavakban, flavonoidokban és fenolos monoterpénekben. A fő alkotóelem mindkét fajban a fahéjsav volt, és ez a vegyület 31,4%-kal nőtt a 60 mM NaCl oldattal kezelt *T. vulgarisban*, a kontrolhoz képest. A 60 és 90 mM NaCl koncentrációk jelentősen növelték a gallusz- és rozmaringsav mennyiségét a *T. vulgarisban* (25, illetve 31,6%) és a *T. daenensisben* (20,4, illetve 27,6%). Másrészt az említett koncentrációk a kávéssav, sziringasav és vaníliásav tartalmát nem változtatták jelentősen a *T. vulgarisban*. A kísérletek fő eredménye a kakukkfű fenoltartalmának növekedése volt a sóstressz-kezelések alatt. Ezenkívül a sóstressz jelentősen befolyásolta a növényi kivonatok antioxidáns aktivitását is.

Golestani (2020) a *Thymus daenensis subsp. daenensis* tizenkét ökotípusát vizsgálta három sótartalom mellett: 0 (kontrol), 60 és 120 mM NaCl. Az ökotípusok és a sótartalom hatásai közötti különbség minden vizsgált tulajdonságban szignifikáns volt ($p < 0,01$). A sóstressz a teljes klorofill-, karotinoid- és káliumkoncentráció, a hajtások száraz tömegének tekintetében jelentős és a relatív víztartalom csökkenéséhez vezetett. Valamint észrevette, hogy a prolin-, és nátriumkoncentráció, a nátrium-kálium arány jelentős növekedéséhez és az ionvesztéshez vezetett.

Belaqiz és társai (2009) sóstressz hatását vizsgálták a marokkói kakukkfű (*Thymus maroccanus* Ball) csírázására, növekedésére és illóolaj tartalmára. A csírázáshoz öt különböző sótartalmat (0, 50, 100, 150, 200 mM NaCl) alkalmaztak sötétben, háromféle hőmérsékleten (10, 20 és 20°C-on), a növény növekedéséhez pedig négyféle sószintet alkalmaztak (0, 25, 50, 100 mM NaCl). Megállapították, hogy a megnövekedett sótartalom jelentősen csökkentette a csírázást. A csírázási szakaszban a hőmérséklet hatást gyakorolt a faj sóérzékenységére. A legjobb csírázást 20°C-on rögzítették. A palántanevelés szakaszában minél több NaCl-ot adtak

a növényekhez, annál inkább csökkent mind a hajtások, mind a gyökér friss és száraz tömege. A só káros hatása a gyökereken erőteljesebben jelentkezett, mint a hajtásokon. A *T. maroccanus* föld feletti részek olajtartalma nem változott a külső sószint növelésével, és összeségében megállapították, hogy a *T. maroccanus* inkább mérsékelten sótűrő fajként viselkedett.

García-Caparrós és társai (2019) a *Thymus capitatus* és a *Thymus mastichina* növényeket, valamint néhány további Lamiaceae családba tartozó növényt vizsgáltak két talaj vízkapacitás mellett (100 % ETo és 70% ETo). Megállapították, hogy a szárazságstressz csökkentette a friss tömeget a *T. capitatus* esetében, viszont *T. mastichina* friss tömege nem változott. A száraz tömeg vonatkozásában mindkét faj változatlan maradt. A *T. mastichina* növények víztartalma nem változott az aszályos körülmények következtében, míg a *T. capitatus* víztartalma csökkent. A szárazság stressz egyik kakukkfűnél se okozott változást az illóolaj tartalomban. A *T. mastichina* növényeknél csökkent a levél N-koncentrációja aszályos körülmények között, *T. capitatus*nál nem változott. A levél P-koncentrációja aszályos körülmények között mindkét kakukkfűnél csökkent. A levél K szintje viszont nem mutatott különbséget a szárazság stressznél. A *T. capitatus* és *T. mastichina* növények termesztését ajánlották, hiszen nem tapasztaltak az illóolaj-tartalomban különbséget, ha a vízmegtakarítás mértéke 30%.

3. Anyag és módszer

3.1. A kísérlet anyagai

A magas kakukkfűvet tőosztással szaporítottuk fel, amely a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Budai Campus, Kertészettudományi intézet Gyógy- és Aromanövény tanszék soroksári kísérleti telephelyéről származott. A növényeket ezután 0,4 l-es konténerekbe helyeztük át, és regenerálódás céljából ugyanazon a helyen üvegházban nevelték tovább. Egy hónap elteltével a növényeket átszállították a kísérleti üvegházba, amely a Budai Campuson található. Az üvegházban a kísérletek időszakában, nem szabályozták aktívan a hőmérsékletet mely éjszaka: 15-20 °C; nappal: 23-30 °C között változott, míg a páratartalom 60-70% volt. Ezt követően 2 literes cserepekbe ültettük át őket. A talaj, amit használtunk 50% tőzeg, 30% virágföld, 15% perlit és 5% homok keverékéből állt. A neveléshez Kekkila Professional tőzeget alkalmaztunk (Kekkila Oy, Ratatie 11 A, FI-0.1300 Vantaa, Finnország, gyártó: Észtország), melyhez Mr. Garden virágföldet kevertünk hozzá (AGRO CS Slovakia.s., 98401 Lucenec).

3.2. A kísérlet során alkalmazott módszerek

3.2.1. A talajkapacitás megállapítása

A talajnedvesség tartalom meghatározásához a Reynolds (1970) által leírt gravimetrikus technikát alkalmaztuk. A vizsgálat során 500 g közegkeveréket víz hozzáadásával telítettük, majd 24 órán keresztül hagytuk, hogy a víz szabadon kifolyjon belőle. Ezt követően megmértük a vizes talaj tömegét (Vt), majd 105 °C-on 24 órán át szárítottuk, és újra lemérték a már szárított talaj tömegét (Szt). Végül a talajnedvesség %-os értékét a következő képlet segítségével számítottuk ki: $[(Vt-Szt)/Szt] \times 100$.

3.2.2. A szárazság- és sóstressz kezelések módszerei

Egyhetes akklimatizációt követően 2024. május 24-én megkezdődtek a kísérleti kezelések, néhány nappal a kakukkfű növények virágzásának kezdete után. A 38 napon át, 2024. június 30-ig tartó kísérletben kezelésként 20 növényt alkalmaztunk, és hetente kétszer csapvízzel öntöztünk. A kísérletben a talaj vízkapacitásának két különböző szintjét állítottuk be: TVK 70% (kontroll és sóstressz esetén) és TVK 40% (szárazságstressz és kombinált stressz esetén). Ezenkívül két sótartalomszintet alkalmaztunk, 0 mM NaCl (kontroll és szárazságstressz) valamint 120 mM NaCl (só és kombinált stressz). A stressz kezelések során, az egyenletes sótartalom biztosítása érdekében minden öntözés alkalmával 100 ml sós vizet adtunk a növényhez és a megfelelő talajnedvesség szint eléréséhez szükséges fennmaradó vizet pótoltuk.

A sótartalom okozta ozmotikus sokk elkerülése érdekében a NaCl-szintet fokozatosan emeltük. A kezelésekhez tartozó stressz körülményeket (víz- és sóstressz) 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A *T. pannonicus* stressztűrő képességének tesztelése során alkalmazott talajvízkapacitás (TVK%) és só (NaCl) koncentráció (mM) szintek (Forrás: saját munka, Budapest, 2024)

Kezelések	Talaj-vízkapacitás, (TVK %)	NaCl koncentráció (mM)
Kontroll	70	0
Szárazság stressz	40	0
Só stressz	70	120
Kombinált stressz	40	120

A 2. ábrán *Thymus pannonicus* állomány látható szárazság stressz kezelés alatt.

2. ábra: A *Thymus pannonicus* szárazságstressz kezelés alatt (Budapest, 2024)



3.2.3. A morfológiai- és tömegmérések módszerei

Kísérleti időszak alatt végzett hajtásnövekedés értékelése, a kezelések növényekre gyakorolt hatásának korai jelzőjeként szolgál. Ennek során öt hajtásparamétert jegyeztünk le. A kísérlet első napján megértük az összes növény hajtáshosszát, ezzel biztosítva a növények egységességét a kezelések során. A kísérlet befejezése után, minden növénynél megmértük a hajtások hosszát és megszámláltuk őket. Ezután a frissen levágott hajtásoknak lemértük a tömegét, egyhetes szárítási időszakra papírzacskóba tettük, majd megmértük a már száraz tömegüket.

A hajtások betakarítása után, minden kísérleti csoportból véletlenszerűen négy növényt választottunk ki a gyökérparaméterek meghatározásához. A gyökereket alaposan megtisztítottuk a talajtól, majd megmértük a hosszúságukat és friss tömegüket. A természetes úton történő szárítás után megmértük a gyökerek és hajtások száraz tömegét.

3.2.4. Az illóolaj tulajdonságainak meghatározására szolgáló módszerek

Az illóolaj tartalom meghatározása: Az egyes minták hajtásait apró darabokra vágtuk. Minden egyes kezelés esetében három ismétlésben több egyed hajtásaiból mintát készítettünk, és ezt használtuk az illóolaj-tartalom meghatározásához. Az illóolaj kivonásához 10 g mintát adtunk egy vízzel töltött lombikba (kb: 500 ml), és két órán át vízgőz-desztillációnak vetettük alá Clevenger-típusú készülékkel, a Ph. Hg. VIII. (2004) leírása szerint. Egyes minták illóolaj-tartalmát ml/100 g-ban kifejezve, szárazanyag-tartalomra (sz. a.) vonatkoztatva határoztuk meg, és összehasonlítottuk az Európai Gyógyszerkönyv (Ph. Eur., 2017) Serpylli herbára vonatkozó cikkelyével, amely minimum 3 ml/kg (min. 0,3 ml/100g sz. a.) illóolaj-szintet ír elő. A lepárlást követően az illóolaj mintákat lezárt fiolákban a további elemzésig 4 °C-on hűtőben tároltuk.

Az illóolaj összetétel meghatározása: Az illóolaj-minták százalékos összetételének pontos meghatározásához gázkromatográfiás vizsgálatot végeztek. A GC-FID elemzést egy Agilent Technologies 6890N GC rendszerrel végezték, HP-5 kapilláris oszlopot (30 m x d = 350 µm, 0,25 µm filmvastagság) használva. A hőmérséklet program 50 °C fokról indult, amelyet 10 percen keresztül tartottak, majd 150 °C-ra emelték 4 °C/perc sebességgel, ezt követően 12 °C/perc sebességgel 220 °C-ra növelték, melyet 10 percig 220 °C-on tartották. A vivőgáz hélium volt, állandó áramlási sebességgel (0,5 ml/perc). Az injektor és a detektor hőmérséklete 250 °C-ra volt beállítva, a split arány pedig 22,6:1 volt. Az injektált mennyiség 0,2 µl volt. Az illóolaj összetételének százalékos arányát a GC csúcsok területeiből számították ki, beleértve a teljes észter százalékos arányát is, amely az illóolaj minőségét jelzi. A gázkromatográfiás-tömegspektrometriás (GC-MS) elemzéshez ugyanazt a GC rendszert és oszlopot használták, amelyet egy Agilent Technologies MS 5975 inert tömegszelektív detektorhoz csatlakoztattak. A hőmérséklet program 60 °C-on indult, 3 °C/perc sebességgel emelkedett 240 °C-ig, amelyet 5 percig tartottak. Vivőgázként héliumot alkalmaztak, 1 ml/perc áramlási sebességgel. Az injektor és a detektor hőmérsékletét 250 °C-ra, a szétválasztási arány pedig 30:1-re lett beállítva. Az injektált mennyiség 0,2 µl (1%, oldószer: n-hexán) volt, az ionizációs energia pedig 70 eV. A tömegspektrumot teljes letapogatási módban (m/z 50 – 550 uma) rögzítették, teljes ionáram

(TIC) kromatogramokat generálva. A vegyületeket lineáris retenciós indexek, Van Den Dool és Kratz (1963) egyenlete, szakirodalmi adatok és tömegspektrum-könyvtárak (NIST MS Search 2.0, Wiley 275) segítségével, valamint egyedi adatbázis felhasználásával azonosították. A retenciós indexeket homológ alkánsorozatok alkalmazásával számították ki.

3.2.5. Az összpolidifenol koncentráció meghatározása

A kísérletet három ismétlésben végeztük: 0,50 g porított és szitált mintát mértünk egy Erdenmeyer lombikba, amelyhez 50 ml forrásban lévő vizet adtunk. A keveréket 24 óráig szobahőmérsékleten állni hagyunk, majd a kivonatot leszűrtük. A szűrésből származó mintákat Eppendorf csövekbe gyűjtöttük és 4 °C-on tároltuk. Eközben a mintából 20 ml-t vákuum bepárolóba helyeztünk az oldószer eltávolítása érdekében, és hogy meghatározzuk az egyes minták extrakt-tartalmát.

Az össz polifenol koncentrációt Singleton és Rossi (1965) alapján, módosított módszerrel határoztuk meg. Minden futtatás során 2,5 ml Folin-Ciocalteau reagens (10 v/v%) és 490 µl desztillált vizet adtunk egymás után hat kémcsőbe. Ezt követően 10 µl mintát adtunk 10 másodpercenként minden kémcsőbe, három ismétléssel, majd ugyanilyen időközönként 2 ml nátrium-karbonátot (0,7 M) adtunk hozzá. A kémcsöveket ezután 5 percig forró vízbe merítettük, küvetákba helyeztük, és spektrofotométerrel (Thermo Foshier Scientific, model: Evolution 201) meghatároztuk az adszorpciót 760 nm hullámhosszon. A kalibrálást galluszsav oldattal (0,3 M) végeztük. A teljes polifenol koncentrációt galluszsav-egyenértékben (GSE) határoztuk meg, amit szárazanyag tartalomra (sz.a.) vonatkoztatva, mg GSE/g sz.a. formájában fejeztünk ki.

3.2.6. Az összantioxidáns kapacitás meghatározása

Benzie és Strain (1996) által részletesen leírt vas redukáló antioxidáns kapacitás (FRAP) módszerrel végeztük az antioxidáns tulajdonságok redukáló képességének értékelését. A FRAP oldat előállításához 50 ml acetát, 5 ml TPTZ (2,4,6-tripiridil-S-triain) oldat és 5 ml vas-klorid oldat-ot kellett összekeverni. Kilenc kémcsövet alkalmaztunk, és mindegyikbe 1,5 ml FRAP oldatot és 40 µl desztillált vizet tettünk. Ezután minden kémcsőbe 10 µl mintát adtunk hozzá, 30 másodperces időközönként, három ismétléssel. A 9. csőbe történő mintabevitel után további 30 másodperces szünetet tartottunk, majd spektrofotométerrel (Thermo Fisher Scientific, modell: Evolution 201) megmértük az összes minta adszorpcióját 593 nm hullámhosszon. Aszkorbinsavat tartalmazó oldatot használtunk a kalibrálási folyamathoz. Az antioxidáns

kapacitást aszkorbinsav-egyenértékben (ASE) a szárazanyag tartalomra (sza.) vonatkoztatva, mg ASE/g sza. formájában kifejezve határoztuk meg.

A statisztikai elemzésekhez a Microsoft Excel nevű programot, módszerként pedig kétmintás t-próbát használtam.

A 3. és 4. ábrán *Thymus pannonicus* állományok láthatóak, só stressz, illetve szárazság- és só stressz kezelések alatt.

3. ábra: A *Thymus pannonicus* sóstressz kezelés alatt (Budapest, 2024)



4. ábra: A *Thymus pannonicus* szárazság- és sóstressz kezelés alatt (Budapest, 2024)



4. Eredmények és értékelésük

4.1. A morfológiai és tömegmérések eredménye

Az 2. táblázatban látható, hogyan változott a különböző stressz kezelések alatt a növények hajtásának magassága (cm), friss tömege (g/tő-ben kifejezve) és száraz tömege (g/tő). A táblázat a vizsgált növények adatainak átlagát és szórását jelöli.

2. táblázat: A hajtások hosszának és tömegének változásai a különböző kezelések hatására a *T. pannonicus* esetében (Forrás: saját munka, Budapest, 2024)

Kezelések	Magasság (cm) átlag ± szórás	Friss hajtástömeg (g/tő) átlag ± szórás	Száraz hajtástömeg (g/tő) átlag ± szórás
Kontroll	46,55 ± 3,59	26,77 ± 5,41	5,89 ± 1,49
Szárazság stressz	38,73 ± 3,04	15,42 ± 4,32	3,59 ± 0,97
Só stressz	41,58 ± 3,21	18,64 ± 5,99	4,44 ± 1,33
Kombinált stressz	34,05 ± 2,62	11,56 ± 4,12	3,15 ± 0,97

A hajtások átlagos magassága 46,55 cm volt a kontroll esetében, 38,73 cm a szárazság stressznél, 41,58 cm a só stressznél és 34,05 cm a kombinált stressznél. Annak ellenére, hogy a hajtásparáméterek közül százalékosan kifejezve itt volt megfigyelhető a legkisebb eltérés, fontos kiemelni, hogy a kontrollhoz képest, a szárazság stressznél 16,81%-os, a só stressznél 10,69%-os és a kombinált stressznél 26,85%-ot csökkent a hajtáshossz, ami jelentősnek mondható.

A kontroll csoport **friss tömege** átlagosan 26,77 g/tő volt, a szárazság stressz esetében 15,42 g/tő, só stressznél 18,64 g/tő, kombinált stressznél pedig 11,56 g/tő. A kontroll csoporthoz viszonyítva a szárazság stressznél átlagosan 11,34 g/tő (42,38 %-os), a só stressznél 8,12 g/tő (30,35%-os), a kombinált stressz esetében 15,21 g/tő (56,81 %-os) csökkenés volt megfigyelhető növényenként. A hajtás száraz tömege a kontrollnál 5,89 g/tő, szárazság stressznél 3,59 g, só stressznél 4,44 g, kombiált stressznél pedig 3,15 g/tő volt. Ez alapján megállapítható, hogy a szárazság stressznél 39,6 %-kal a só stressznél 24,68 %-kal és a kombinált stressznél 46,64%-kal csökkent a hajtás száraz tömege. Az stresszel kezelt csoportok hajtásparáméterei szignifikánsan különböztek ($p < 0,05$) a kontrollhoz képest.

Megfigyelhető, hogy mind a három hajtás paraméternél a kontrollhoz viszonyítva a legnagyobb változást a kombinált stressz okozta, ezután következtek a szárazság stressz értékei, és a legkisebb csökkenés a só stressz csoportja mutatta. Az összes stressz csoportnál a hajtás friss

tömegében történt a legnagyobb csökkenés, majd a száraztömegnél, és végül százalékosan a legkisebb változást a hajtás magassága mutatta.

A 3. táblázat a gyökér hosszát (cm), friss tömegét (g/tő), száraz tömegét (g/tő) mutatja be. A táblázat a vizsgált csoportok átlagát és szórását jeleníti meg.

3. táblázat: A gyökér hosszának és tömegének változatai különböző kezelések hatására a *T. pannonicus* esetében (Forrás: saját munka, Budapest, 2024)

Kezelések	Gyökérhossz (cm) átlag ± szórás	Friss gyökértömeg (g/tő) átlag ± szórás	Száraz gyökértömeg (g/tő) átlag ± szórás
Kontroll	32,25 ± 1,26	7,09 ± 0,35	1,87 ± 0,71
Szárazság stressz	24,05 ± 2,16	3,47 ± 0,88	0,62 ± 0,42
Só stressz	26,93 ± 1,54	4,26 ± 0,59	0,83 ± 0,26
Kombinált stressz	20,55 ± 2,09	2,90 ± 0,82	0,46 ± 0,28

Itt is megfigyelhető, hogy a kontrollhoz képest a kombinált stressz hatására változott (csökkent) a legnagyobb mértékben a gyökéren vizsgált összes tulajdonság, és a só stressz értékei közelítik meg leginkább a kontrol csoportéit. A kontrollhoz képest a **gyökér hossza** szárazság stressz alatt 8,2 cm-t, só stressz alatt 5,33 cm-t, kombinált stressz alatt 11,7 cm-t csökkent. A **gyökér friss tömege** a kontrol csoportnál átlagosan 7,09 g/tő, szárazság stressznél 3,47 g/tő, só stressznél 4,26 g/tő, a kombinált stressznél pedig 2,90 g/tő volt. A **gyökér száraz tömege** a kontrol csoportnál 1,87 g/tő volt, a szárazság stressznél 0,62 g/tő, ami 66,54 %-os csökkenést jelent, a só stressznél 0,83 g/tő értéket mértünk, ami 55,59 %-os csökkenést mutatott, a kombinált stressznél pedig 0,46 g/tő volt, ami 75,25%-os csökkenést jelentett. A só stresszel kezelt növények száraz gyökér tömege nem mutatott szignifikáns különbséget a kontroll csoporthoz képest, míg a többi tulajdonság esetében az összes stressz kezelésnél statisztikailag igazolható különbséget lehetett kimutatni ($p < 0,05$).

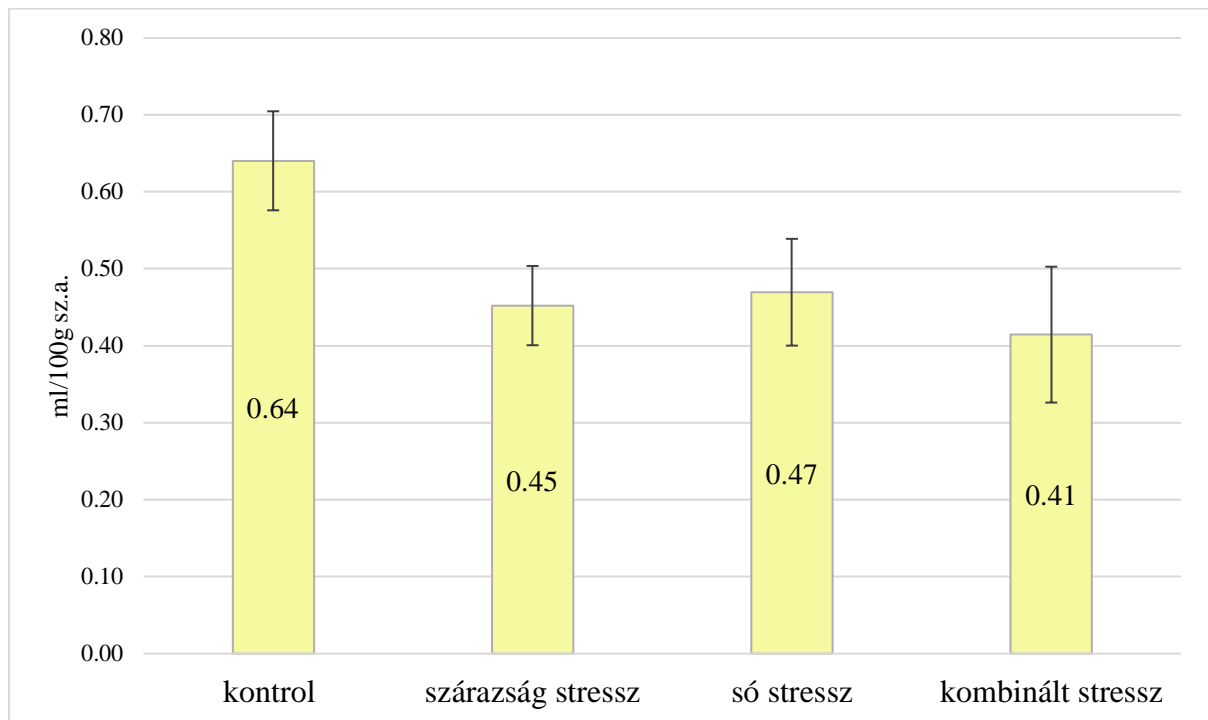
Mind a három stresszkezelés esetében arányosan a legnagyobb eltérés a gyökér száraz tömegénél figyelhető meg, majd a friss tömeg következik a sorrendben, és végül a gyökér hosszánál mutatkozott százalékosan a legkisebb csökkenés. Megfigyelhető továbbá, hogy a hajtás/gyökér szárazanyag aránya a stressz hatására nőtt, a kombinálttal összehasonlítva.

4.2.A magas kakukkfű beltartalmi tulajdonságainak változása a kezelések hatására

4.2.1. Az illóolajra vonatkozó eredmények

Az 5. ábra megmutatja, hogy a különböző stressz csoportokból származó minták mennyi illóolajat (ml) tartalmaztak. Az ábrán a csoport értékek átlaga és szórása látható.

5. ábra: A magas kakukkfű illóolajtartalmának (ml/100 g sz.a.) változása különböző stressz kezelések hatására (Forrás: saját munka, Budapest, 2024)



Megállapítottuk, hogy 0,64 ml/100 g illóolaj volt mérhető a kontrol csoportban, 0,45 ml/100 g a szárazság stresszes csoportban, 0,47 ml/100 g volt a só stressz alatt, míg 0,41 ml/100 g-ot kaptunk a kombinált stressz hatásnak kitett növényeknél. Kimutattuk, hogy a kontroll csoporthoz képest a szárazság stressz hatására a növények 29,38%-ot vesztek az illóolaj tartalmukból, a só stressz alatt 26,67%-ot, a kombináltnál pedig 35,27%-ot. A statisztikai elemzés alapján a szárazság stressz ($p=0,004$) só stressz ($p=0,011$) és kombinált stressz ($p=0,007$) szignifikánsan eltérő eredményt hozott a kontroll csoporthoz képest.

A GC-MS vizsgálat kimutatta, hogy az eltérő kezelések alatt milyen illóolaj komponensek voltak jelen a *T. pannonicus* növényekben, és ezen vegyületek relatív százalékos arányát a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A *Thymus pannonicus* illóolaj komponenseinek százalékos összetétele a különböző stresszhatásoknak kitett növényekben (Forrás: saját munka, Budapest, 2024)

Komponensek	Kontroll, %	Szárazság stressz, %	Só stressz, %	Kombinált stressz, %
	átlag ± szórás	átlag ± szórás	átlag ± szórás	átlag ± szórás
l- oktén-3-ol	1,15 ± 0,07	0,72 ± 0,25	0,74 ± 0,16	0,55 ± 0,11
β-mircén	0,97 ± 0,27	0,76 ± 0,53	0,47 ± 0,29	0,47 ± 0,22
α-terpinén	1,45 ± 0,36	0,99 ± 0,99	0,48 ± 0,59	0,62 ± 0,40
p-cimol	15,31 ± 0,96	14,33 ± 5,90	13,18 ± 0,16	12,52 ± 4,22
1,8-cineol	0,72 ± 0,20	0,56 ± 0,11	0,77 ± 0,35	0,87 ± 0,22
γ-terpinén	9,21 ± 0,39	5,75 ± 3,26	6,23 ± 0,33	5,22 ± 1,06
cisz-szabinén-hidrát	2,07 ± 0,21	1,79 ± 0,07	3,19 ± 0,50	2,53 ± 0,79
linalool	1,56 ± 0,02	1,36 ± 0,14	1,62 ± 0,26	1,27 ± 0,16
kámfor	0,08 ± 0,01	0,47 ± 0,63	1,79 ± 0,82	1,10 ± 0,49
borneol	2,43 ± 0,36	2,19 ± 0,23	3,98 ± 0,12	3,28 ± 0,67
timol-metil-éter	9,10 ± 2,51	13,62 ± 2,49	13,49 ± 1,07	14,52 ± 2,45
karvakrol-metil-éter	8,23 ± 0,11	9,15 ± 0,84	9,40 ± 1,15	9,70 ± 1,29
timokinon	0,33 ± 0,11	0,71 ± 0,55	0,98 ± 0,51	0,82 ± 0,35
timol	35,75 ± 1,18	30,73 ± 3,34	31,08 ± 1,44	25,60 ± 2,23
karvakrol	0,17 ± 0,01	0,16 ± 0,04	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,05
β-kariofillén	0,61 ± 0,16	1,08 ± 0,38	0,97 ± 0,29	1,31 ± 0,54
biciklogermakrén	0,62 ± 0,59	1,10 ± 0,23	0,40 ± 0,08	1,08 ± 0,75
β-bizabolén	3,28 ± 0,14	5,11 ± 1,27	4,55 ± 0,92	7,59 ± 3,62
spatulenol	0,99 ± 0,34	1,87 ± 0,34	0,95 ± 0,40	1,47 ± 0,71
kariofillén-oxid	0,45 ± 0,09	1,01 ± 0,25	0,66 ± 0,12	0,90 ± 0,25

Kísérletünkben a stresszhelyzetek nagyban befolyásolták a kakukkfű illóolaj összetételét, ami a különböző komponensek eltérő mintázataiban jelenik meg. A magas kakukkfű illóolajában legnagyobb mennyiségben megjelenő összetevő a **timol** volt, amely a kontrollhoz (35,75%) képest, az összes stressz hatására csökkent, és igazán figyelemre méltó változást a kombinált stressz (25,06%) esetében mutatott.

A **p-cimol** szintén jelentős arányban mutatható ki a *T. pannonicus* illóolajában, a szárazság stressznél (14,33%) megközelítőleg azonos százalékban fordul elő, mint a kontrollnál (15,31%), viszont a só (13,18%) és kombinált (12,52%) stressznél kisebb eltérés figyelhető meg.

A **γ -terpinén** komponensnél mind a három stressz esetében csökkenés fedezhető fel a kontrollhoz (9,21%) képest. A γ -terpinénhez hasonlóan az α -terpinén, 1-oktén-3-ol, β -mircén arányában észrevehető a csökkenés mind a három stresszel kezelt csoportban, illetve a kombinált stressznél mind a három komponensnél közel felére csökkentek ezek az értékek.

A kontroll (9,1%) tartalmazott a legkevesebb **timol-metil-étert**, mind a három stressz esetében a növényekben jelentősen nagyobb százalékban jelent meg ez a vegyület (szárazság s.: 13,62%; só s.: 13,49%; kombinált s.:14,52%). Míg a kontroll csoportban a γ -terpinén és a timol-metil-éter hasonló százalékban volt jelen, addig a stresszel kezelt csoportokban a timol-metil-éter % minimum a duplája a γ -terpinén arányának.

A timol-metil-éteren kívül más komponenseknél is észrevehető, hogy a vizsgált csoportokban a stressz hatására a növények nagyobb arányban halmoztak fel bizonyos anyagokat, ilyen vegyületek például a **β -bizabolén**, a β -kariofillén, a kariofillén-oxid, a timokinon és a kámfor. Kijelenthető, hogy mind a három stressz csoport esetében a kontrollhoz viszonyítva a legdrasztikusabb változást (növekedést), a kámfor mutatta, hiszen a kontroll csoport átlagosan 0,08 %-ot, a szárazság stressz 0,47 %-ot, a kombinált stressz 1,10 %-ot a só stressz pedig 1,79%-ot tartalmazott, ami megközelítőleg a 20 szorosa a kontroll csoport értékének.

A **karvakrol-metil-éter** és a karvakol százalékos arányában mind a három stressznél kisebb eltérések voltak észlelhetők, az előbbinél enyhén nagyobbak voltak a stressz csoportos értékek az utóbbinál pedig kisebbek, a kombinált stressz kivételével, ami egy kissé nagyobb, de közel azonos értéket mutatott a kontrollal.

Felfedezhető, hogy a szárazság stressznél a **cisz-szabinén-hidrát** értéke csökkent a kontrollhoz képest, viszont a só stressznél növekedést lehetett észrevenni, ahogy a kombináltnál is. Hasonló tendenciát mutat a **borneol** százalékos megnyilvánulása. A biciklogermakrén megoszlásában szintén hangsúlyos eltérés van a szárazság és só stressz között, viszont ebből a komponensből a só stressznél kevesebb, a szárazság stressznél több fordul elő, ahogy a kombináltnál is. A spatulenol hasonló trendet követ, viszont itt a só stressz kisebb mértékben csökken a kontrollhoz képest, mint a biciklogermakrén arányánál.

A **linalool** esetében a szárazság stressznél és a kombinált stressznél a kontrollhoz viszonyítva csökkenés, a só stressznél enyhe növekedés figyelhető meg. Az **1,8-cineol** esetében szárazság stressznél csökkenés, kombinált stressz esetében növekedés figyelhető meg, e komponensek százalékos arányában.

Szignifikánsan tért el a kontroll csoporttól a só- és kombinált stressz hatására az 1-oktén-3-ol ($p=0,031$; $p=0,002$), a γ -terpinén ($p=0,001$; $p=0,014$) valamint a timol ($p=0,013$; $p=0,005$). Szignifikáns különbség volt a kontroll csoportba és a szárazság stressz csoportba tartozó növények illóolaja között a spatulenol ($p=0,032$) és kariofillén-oxid ($p=0,046$) százalékos arányát tekintve. A kontroll és a só stresszben részesülő csoportok között is statisztikailag jelentős különbséget mutattunk ki a cisz-szabinen-hidrát ($p=0,045$) és a borneol ($p=0,011$) komponensek arányai esetében.

4.2.2. Összpolifenol és összantioxidáns kapacitás eredménye

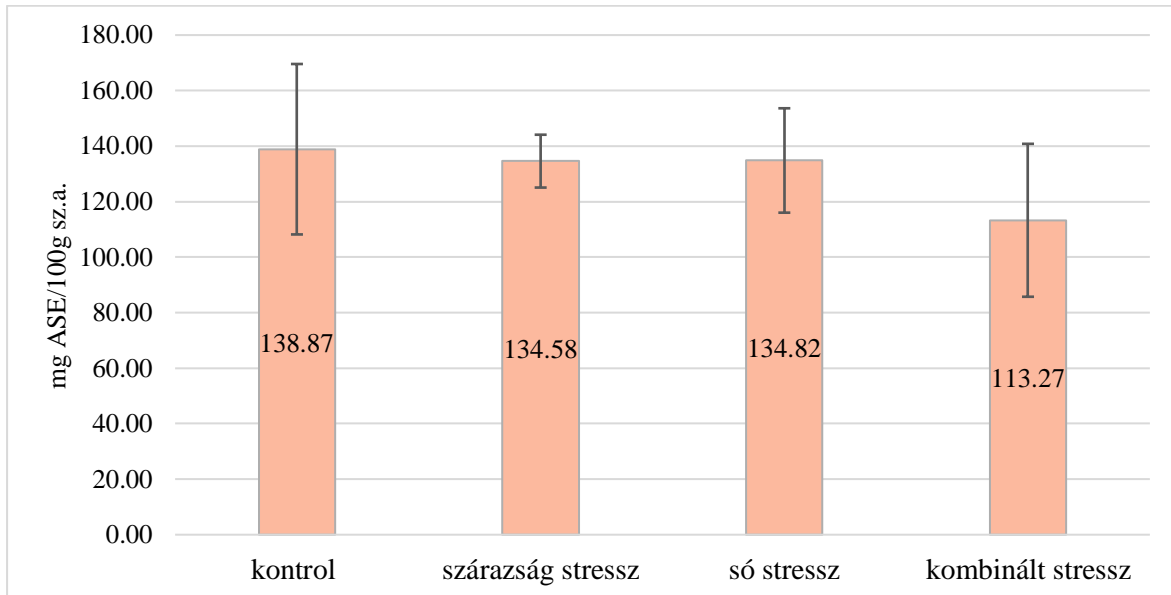
A 6. ábra mutatja be a kontroll és a szárazság-, só- és kombinált stressz kezelésekből részesülő *T. pannonicus* csoportok összpolifenol koncentrációját, amelyet mg GSE/100 g szá. mértékegységben fejeztünk ki. Az összpolifenol koncentráció alakulásáról elmondható, hogy a különböző stresszkezelések hatására jelentősen megnőtt a magas kakukkfű növényekben. A kontrollhoz (96,86 mg GSE/100 g szá.) viszonyítva a kombinált stressz (111,14 mg GSE/100 g szá.) esetében figyelhető meg a legnagyobb változás (14,74%), míg a szárazság és só stressz esetében 9,79 és 8,84%-kal nőtt, ami kevésbé tekinthető jelentősnek, hiszen 10% alatt maradt. A kontroll és a kombinált stressz csoport között találtunk szignifikáns eltérést ($p=0,009$), míg a kontrollal összevetve a szárazság és só stressz esetében a különbség ($p=0,051$; $p=0,097$) nem volt statisztikailag igazolható.

6. ábra: Az összpolifenol tartalom (mg GSE/100 g szá.) változása különböző stresszhatások következtében a magas kakukkfűnél (Forrás: saját munkás, Budapest, 2024)



A 7. ábra mutatja be a kísérletben szereplő, kontroll és stressz kezelésekben részesült *T. pannonicus* csoportok antioxidáns kapacitását, ami mg ASE/100 g sz.a. mértékegységben van kifejezve.

7. ábra: Az összantioxidáns kapacitás (mg ASE/100g sz.a.) változása a magas kakukkfűnél a különböző stresszkezelések hatására (Forrás: saját munka, Budapest, 2024)



Megállapítottuk, hogy a kontroll antioxidáns kapacitása (138,87 mg ASE/100 g sz.a.) volt a legmagasabb a *T. pannonicus* esetében, a só stressz és szárazság stressz külön-külön nem okozott jelentős eltérést. Ez utóbbi esetekben csak mintegy 3%-os volt a csökkenés, ami elhanyagolhatónak tekinthető. A kombinált stressz hatására azonban igen jelentős (18,43%) csökkenés volt kimutatható a vizsgált növények összantioxidáns kapacitás értékeiben. A kontroll és a kombinált stressz ($p=0,04$) között szignifikáns volt az eltérés.

4.3.Következtetések és javaslatok

A magas kakukkfű hajtás magassága, friss tömege és száraz tömege jelentősen csökkent a szárazság-, só- és kombinált stressz hatására. Ezek a tendenciák megegyeznek a korábbi irodalmi adatokkal, ahol NaCl oldattal kezelték a *T. vulgaris* fajt (Emami Bistgani et al. 2019; Zrig et al. 2016), és a *T. daenensis* fajt (Golestani, 2020), valamint szárazság stressz hatásnak tették ki a *T. vulgaris* fajt (Abd Elbar et al. 2019; Akhzari és Kavain, 2021; Alavi-Samani et al. 2015; Aziz et al. 2008; Szabó et al. 2022).

Akhzari és Kavain, (2021) a *T. vulgaris* faj vizsgálása során a legmagasabb vízellátottságú (90% SZVK) csoportnál jegyezték fel a legalacsonyabb gyökértömeget, míg a mi

kutatásunkban, a *T. pannonicus* esetében, a magasabb vízellátottságnál (70%) mértük a legmagasabb gyökértömeget.

A magas kakukkfű illóolaj tartalma minden stressz kezelés hatására csökkent. A *T. pannonicus* illóolajában a timol aránya csökkent szárazság-, só- és kombinált stressz hatására, míg Zrig és társai (2016) megfigyelésében a *T. vulgaris* növénynél nőtt a timol % magas sótartalom mellett (150 mM) illetve Aziz és társai (2008) szintén *T. vulgaris* növénynél a legmagasabb timol százalékot a legritkábban (10 naponta) öntözött növények esetében jegyezték fel.

Alavi-Samani és társai (2015) kimutatták, hogy a timol százalékos aránya csökkent a szárazság stressz hatására a *T. vulgaris* és a *T. daenensis* faj esetében, ez az eredmény megegyezett az általunk vizsgált faj eredményével. A γ -terpinén és p-cimol aránya csökkent az összes stressz csoport esetében a magas kakukkfűnél, ellenben egy irodalmi adat alapján a *T. vulgaris* és a *T. daenensis* szárazság stressznek kitéve, növekedés volt megfigyelhető e két komponens tekintetében (Alavi-Samani et al. 2015). A mi kísérleti eredményeinkhez hasonlóan, a *T. vulgaris* növénynél Zrig és társai (2016) a p-cimol százalék csökkenését észlelték a sótartalom növekedésének hatására (150 mM) árnyékolt körülmények között, viszont szabadföldön jeletősen nőtt e komponens aránya a só stressz növekedésével.

Megfigyeltük, hogy az összpolicifol tartalom és összantioxidáns kapacitás értékei eltérő tendenciát mutattak a *T. pannonicus* növénynél, ez egy érdekes eredmény, mivel más fajoknál ezek az értékek általában szinkronban változnak, azonos tendenciák mentén, például a *T. vulgaris* esetében (Szabó et al. 2022; Emami Bistgani et al. 2019).

5. Összefoglalás

Az abiotikus stressz tényezők befolyásolják a növények növekedését és fejlődését, valamint a gyógynövények által előállított másodlagos metabolitok mennyiségét és minőségét (Etri et al. 2024; Mansinhos et al. 2024). A kakukkfű antibakteriális, gombaellenes, és antioxidáns hatása az illóolajban található illékony komponenseknek köszönhető (Etri és Pluhár, 2024). Ennek tükrében figyeltük meg a magas kakukkfű morfológiai paramétereit, illóolaj tartalmát és az illóolaj komponensek arányát, valamint összantioxidáns kapacitását és összpolidifenol tartalmát, só- és szárazság stresszel, illetve ezek kombinációjával kezelt csoportok összehasonlításával.

A magas kakukkfű összes hajtás- és gyökérparaméterénél a kontrollhoz képest a legnagyobb csökkenést a kombinált stressz okozta, míg a legkisebb csökkenést a só stressz. A gyökér száraz tömege a kombinált stressznél 75,25%-os csökkenést mutatott. A *T. pannonicus* illóolaj tartalma a kontroll csoportnál volt a legmagasabb (0,64 ml/100 g sza.), míg a legalacsonyabb (0,41 ml/100 g sza.) a kombinált stressz esetében. Az illóolaj komponensek közül a timol és a γ -terpinén a kombinált stressz hatására 28%, ill. 43%-kal csökkent, a só stressz hatására pedig 13%, ill. 33%-kal csökkent a kontrollhoz viszonyítva. A magas kakukkfűnél a legmagasabb összpolidifenol tartalom a kombinált stressz esetében volt kimutatható, míg a legmagasabb összantioxidáns kapacitást a kontroll csoport esetében mértünk. Az összpolidifenol tartalom és az összantioxidáns kapacitás különböző tendenciát mutatott, ami az irodalmi adatok alapján eltér a más kakukkfű fajoknál mért eredményektől.

A vizsgált fajunkat (*Thymus pannonicus*) irodalmi adatok alapján más kakukkfű fajokkal hasonlítottam össze, amely határait felismertem, mivel a kutatások mindegyike részben eltérő körülmények között zajlott. Annak érdekében, hogy e fajokkal (pl.: *Thymus vulgaris*) még pontosabban tudjuk összehasonlítani a magas kakukkfűvet, azonos vizsgálati körülmények között kell megvalósítani ezeket a kezeléseket. Remélem, hogy a szakdolgozatomban foglalt eredmények elősegítik és ösztönzik majd a kakukkfűvet érő abiotikus stressz hatásokat értékelő további kutatásokat.

6. Irodalomjegyzék:

1. Abd Elbar, O. H. - Farag, R. E. - Shehata, S. A. (2019): Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 129–137. doi: 10.1016/j.aos.2019.10.001.
2. Agarwal, S. - Tripathi, S. - Mishra, N. (2020): Pharmacological Potential of Thymol. *Innov. Food Technol. Curr. Perspect. Future Goals*, 489–500. doi: 10.1007/s11032-024-01473-w.
3. Akhzari, D. - Kaviani, H. (2021): Effect of Drought Stress on Morphophysiological Traits of *Thymus vulgaris* L. in a Field Experiment, Borujerd, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11 (4), 470-479.
4. Alavi-Samani, S.M. - Kachouei, M.A. - Pirbalouti, A.G. (2015): Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56 (4), 411-420. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0117-y>
5. Amani Machiani, M. - Javanmard, A. - Ostadi, A. - Alizadeh, K. (2023): Improvement in Essential Oil Quantity and Quality of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) by Integrative Application of Chitosan Nanoparticles and Arbuscular Mycorrhizal Fungi under Water Stress Conditions. *Plants (Basel)*, 12(7), Paper 1422, <https://doi.org/10.3390/plants12071422>
6. Amiri, H. - Dousty, B. - Hosseinzadeh, S.R. (2018): Water stress-induced changes of morphological, physiological and essential oil compounds in *Thymus eriocalyx* from Iran. *J. Essent. Oil Bear. Plants*, 21(5), 1210–1223. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1538817>.
7. Arpanahi, A.A. - Feizian, M. - Mehdipourian, G. - Khojasteh, D.N. (2020): Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, 100: 103217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217>.
8. Arsenijević, J. - Drobac, M. - Šoštarić, I. - Jevđović, 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.055>

9. Askary, M. - Behdani, M. A. - Parsa, S. - Mahmoodi, S. - Jamialahmadi, M. (2018): Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 111, 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056>
10. Aziz, E.E. - S.F. Hendawy, A.A. - Ezz El-Din - E.A. Omer (2008): Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. *American-Euroasian J. Agric. Environ. Sci.*, 4: 443-450.
11. Belaqziz, R. - Romane, A. - Abbad, A. (2009): Salt stress effects on germination, growth and essential oil content of an endemic thyme species in Morocco (*Thymus maroccanus* Ball.). *Journal of Applied Sciences Research*, 9(7), 858-863.
12. Belmalha, S. - Bouamri, R. - Echchgadda, G. - Ibjibjen, J. - Nassiri, L. - Bachir, S. - Rachidi, F. - Zouhair, R. - Amechrouq, A. - El Idrissi, M. (2017): Characterizing the Major Morphological Traits and Chemical Compositions in Nine Species of Wild Thyme from Morocco. *Eur. J. Sci. Res.* 2017, 145, 188–200.
13. Bencze É., dr. Pluhár Zs. (2013): *Thymus serpyllum* L. - Mezei kakukkfű. In: Bernáth J.(szerk.): *Vadon termő és termesztett gyógynövények*. Budapest: Mezőgazda kiadó, pp. 474-476.
14. Benomari, F.Z. - Djabou, N. - Moumani, M. - Hassani, F. - Muselli, A. - Costa, J. (2020): Chemical Variability of Essential Oils of Three Subspecies of *Thymus munbyanus* Boiss. & Reut. from Western Algeria. *J. Essent. Oil Res.*, 32, 474–484. <https://doi.org/10.1080/10412905.2020.1772134>
15. Benzie, I.F.F. - Strain, J.J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/ABIO.1996.0292>.
16. Borhidi A. (1993): A zárwatermők fejlődéstörténeti rendszere. JPTE, Pécs
17. Borugă, O. - Jianu, C. - Mișcă, C. - Goleț, I. - Gruia, A.T. - Horhat, F.G. (2014): *Thymus vulgaris* Essential Oil: Chemical Composition and Antimicrobial Activity. *J. Med. Life*, 7, 56.
18. Boubaker, H. - Karim, H. - El Hamdaoui, A. - Msanda, F. - Leach, D. - Bombarda, I. - Vanloot, P. - Abbad, A. - Boudyach, E.H. - Ait Ben Aoumar, A. (2016): Chemical Characterization and Antifungal Activities of Four *Thymus* Species Essential Oils against Postharvest Fungal Pathogens of Citrus. *Ind. Crops Prod.*, 86, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.036>

19. Bouyahya, A. - Chamkhi, I. - Guaouguaou, F.E. - Benali, T. - Balahbib, A. - El Omari, N. - Taha, D. - El-Shazly, M. - El Menyiy, N. (2020): Ethnomedicinal use, phytochemistry, pharmacology, and food benefits of *Thymus capitatus*. *J. Ethnopharmacol.*, 259, 112925 <https://doi.org/10.1016/J.JEP.2020.112925>.
20. Budavari, S. - Maryadele, J. - O'Neil, A.S. - Patricia, E. Heckelman, P: E. (1989): *The Merck Index*; Rahway, NJ, USA: Merck pp. 2330–2331
21. Eghlima, G. - Mohammadi, M. - Aghamir, F. (2025): Biochar application improved soil properties, growth performances, essential oil, and rosmarinic acid content of *Thymus vulgaris* L. under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 222, p. 109698. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109698>
22. Elvers, B. (2002): *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Hoboken, NJ, USA: Wiley. DOI: 10.1002/14356007
23. Emami Bistgani, Z. - Hashemi, M. - DaCosta, M. - Craker, L. - Maggi, F. - Morshedloo, M. R. (2019): Effect of salinity stress on the physiological characteristic, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 19(135), 331-320. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055>
24. Emami Bistgani, Z. - Siadat, S. A. - Bakhshandeh, A. - Ghasemi Pirbalouti, A. - Hashemi, M. (2017): Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak', *The Crop Journal*, 5(5), 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
25. Etri, K. – Gosztola B. - Végvári Gy. - Ficzek G. – Radácsi P. - Simon G. – Pluhár Zs. (2024): Unravelling the impact of drought and salt stresses on *Thymus pannonicus*: Morpho-physiological and biochemical insights. *Plant Stress*, 13, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100557>
26. Etri, K. - Pluhár, Z. (2024): Exploring Chemical Variability in the Essential Oils of the *Thymus* Genus. *Plants*, 13(10), 1-20. <https://doi.org/10.3390/plants13101375>
27. Etri, K. - Pluhár, Z. (2024): Exploring Chemical Variability in the Essential Oils of the *Thymus* Genus. *Plants*, 13(10), 1-20. <https://doi.org/10.3390/plants13101375>
28. Európa Tanács (2017): *Európai Gyógyszerkönyv*, 9. kiadás. Strasbourg: Európa Tanács.
29. Fadli, M. - Bolla, J.M. - Mezrioui, N.E. - Pagès, J.M. - Hassani, L. (2014): First Evidence of Antibacterial and Synergistic Effects of *Thymus riatarum* Essential Oil with Conventional Antibiotics. *Ind. Crops Prod.*, 61, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.029>

30. Farag, R. E. - Abdelbar, O. H. - Shehata, S. A. (2019): Impact of drought stress on some growth, biochemical and anatomical parameters of *Thymus vulgaris* L., *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 37–50. doi: 10.21608/ajs.2019.43065.
31. Franz, C. - Novak, J. (2010): Sources of Essential Oils. In: Baser, K.H.C. és Buchbauer, G. (szerk.) *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*; Boca Raton, FL, USA: CRC Press, pp. 39–81.
32. Galovičová, L. - Borotová, P. - Valková, V. - Vukovic, N.L. - Vukic, M. - Terentjeva, M. - Štefániková, J. - D'úranová, H. - Kowalczewski, P.Ł. - Kačániová, M. (2021): *Thymus serpyllum* Essential Oil and Its Biological Activity as a Modern Food Preserver. *Plants*, 10, 1416. <https://doi.org/10.3390/plants10071416>
33. Galovičová, L. - Borotová, P. - Valková, V. - Vukovic, N.L. - Vukic, M. - Štefániková, J. - D'úranová, H. - Kowalczewski, P.Ł. - Cmíková, N. - Kačániová, M. (2021): *Thymus vulgaris* Essential Oil and Its Biological Activity. *Plants*, 10, 1959. <https://doi.org/10.3390/plants10091959>
34. Gandova, V. - Lazarov, A. - Fidan, H. - Dimov, M. - Stankov, S. - Denev, P. - Ercisli, S. - Stoyanova, A. - Gulen, H. - Assouguem, Farah, A., Ullah, R., Kara, M. and Bari, A. (2023): Physicochemical and Biological Properties of Carvacrol. *Open Chem.* 2023, 21, 20220319.
35. García-Caparrós, P. - Romero, M. J. - Llanderal, A. - Cermeño, P. - Lao, M. T. - Segura, M. L. (2019): Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. *Water*, 11(3), p. 573. <https://doi.org/10.3390/w11030573>
36. Girón, V. - Garnatje, T. - Vallès, J. - Pérez-Collazos, E. - Catalán, P. - Valdés, B. (2012): Geographical Distribution of Diploid and Tetraploid Cytotypes of *Thymus* Sect. *mastichina* (Lamiaceae) in the Iberian Peninsula, Genome Size and Evolutionary Implications. *Folia Geobot*, 47, 441–460.
37. Golestani, M. (2020): Salt stress effect on some agronomical and physiological traits in *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* ecotypes. *Plant Process and Function*, 9(38), 459-477
38. Hazzit, M. - Baaliouamer, A. - Veríssimo, A.R. - Faleiro, M.L. - Miguel, M.G. (2009): Chemical Composition and Biological Activities of Algerian *Thymus* Oils. *Food Chem.*, 116, 714–721. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.018>
39. Jalas J. (1972): *Thymus* L. In Tutin TG, Heywood, NA, Burges DM, Moore DM, Valentine DH. (Eds). *Flora Europaea*. Vol. 3, University Press, Cambridge. 172-182.
40. Jalil, B. - Pischel, I. - Feistel, B. - Suarez, C. - Blainski, A. - Spreemann, R. - Roth-Ehrang, R. - Heinrich, M. (2024): Wild thyme (*Thymus serpyllum* L.): a review of the current

- evidence of nutritional and preventive health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 11, Paper 1380962, 19p, <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1380962>
41. Kamyab, A. - Samsampour, D. - Ahmadasab, N. - Bagheri, A. (2024): Lamiaceae family-derived endophytic fungi: induced tolerance to drought stress in *Thymus vulgaris* plants. *BMC Plant Biol* 24(1104), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05764-4>
 42. Kerekes, E.B. - Vidács, A. - Török, J.J. - Gömöri, C. - Petkovits, T. - Chandrasekaran, M. - Kadaikunnan, S. - Alharbi, N.S. - Vágvölgyi, C. - Krisch, J. (2016): Anti-Listerial Effect of Selected Essential Oils and Thymol. *Acta Biol. Hung.* 67, 333–343. doi: 10.1556/018.67.2016.3.10.
 43. Kfoury, M. - Landy, D. - Ruellan, S. - Auezova, L. - Greige-Gerges, H. - Fourmentin, S. (2016): Determination of Formation Constants and Structural Characterization of Cyclodextrin Inclusion Complexes with Two Phenolic Isomers: Carvacrol and Thymol. Beilstein. *J. Org. Chem.* 12, 29–42. doi: 10.3762/bjoc.12.5.
 44. Kulak, M. (2020): Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154, p.112695. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112695>
 45. Kutta G. (2010): *A lamiaceae családra jellemző illó és nem illó terpén, illetve fenolos komponensek kivonása szuperkritikus fluid extrakcióval.* [doktori értekezés] Budapest: Kertészettudományi Doktori Iskola. https://phd.lib.uni-corvinus.hu/425/4/kutta_gabriella.pdf
 46. Loziéne K. (2006): Instability of morphological features used for classification of *Thymus pulegioides* infraspecific taxa. *Acta Botanica Hungarica* 48(3-4), 345-360.
 47. Mahmoud, A.W.M. - Esmail, S.E.A. - El-Attar, A.B. - Othman, E.Z. - El-Bahbohy, R.M. (2022): Prospective practice for compound stress tolerance in thyme plants using nanoparticles and biochar for photosynthesis and biochemical ingredient stability. *Agronomy*, 12, 1069. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12051069>,
 48. Maksimović, Z. - Milenković, M. - Vučićević, D. - Ristić, M. (2008): Chemical composition and antimicrobial activity of *Thymus pannonicus* All. (Lamiaceae) essential oil. *Open Life Sciences*, 3(2), 149-154. <https://doi.org/10.2478/s11535-008-0013-x>
 49. Mansinhos, I. - Gonçalves, S. - Romano, A. (2024): How climate change-related abiotic factors affect the production of industrial valuable compounds in Lamiaceae plant species: a review. *Frontiers in Plant Science*, 15, p 27 <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1370810>

50. Martins, M.A.R. - Silva, L.P. - Ferreira, O. - Schröder, B. - Coutinho, J.A.P. - Pinho, S.P. (2017): Terpenes Solubility in Water and Their Environmental Distribution. *J. Mol. Liq.* 2017, 241, 996–1002. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.06.099>
51. Mártonfi, P. - Grejtovsky, A. – Repcak, M. (1996): Soil chemistry of *Thymus* species stands in Carpathians and Pannonia. *Thaiszia*, 6, 39-48.
52. Miguel, G. - Simões, M. - Figueiredo, A.C. - Barroso, J.G. - Pedro, L.G. - Carvalho, L. (2004): Composition and Antioxidant Activities of the Essential Oils of *Thymus caespititius*, *Thymus camphoratus* and *Thymus mastichina*. *Food Chem*, 86, 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.031>
53. Mokhtarzadeh, S. - Demirci, B. - Khawar, K.M. - Kirimer, N. (2018): Determination of Volatile Components in *Thymus vulgaris* L. under In Vitro Conditions. *J. Essent. Oil Bear. Plants*, 21, 277–281. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1418437>
54. Morales, R. (2002): The History Botany and Taxonomy of the Genus *Thymus*. In: Stahl-Biskup, E. - Saez, F.(szerk.): *Thyme—The Genus Thymus*. London, UK: Taylor & Francis, pp. 11–43.
55. Natal, C.M. - Fernandes, M.J.G. - Pinto, N.F.S. - Pereira, R.B. - Vieira, T.F. - Rodrigues, A.R.O. - Pereira, D.M. - Sousa, S.F. - Fortes, A.G. - Castanheira, E.M.S. - Gonçalves, M. S. T. (2021): New Carvacrol and Thymol Derivatives as Potential Insecticides: Synthesis, Biological Activity, Computational Studies and Nanoencapsulation. *RSC Adv.* 11, 34024–34035. DOI: 10.1039/d1ra05616f
56. Neves, A. - Marto, J. - Duarte, A. - Gonçalves, L.M. - Pinto, P. - Figueiredo, A.C. - Ribeiro, H.M. (2017): Characterization of Portuguese *Thymbra capitata*, *Thymus caespititius* and *Myrtus communis* Essential Oils in Topical Formulations. *Flavour. Fragr. J.*, 32, 392–402. <https://doi.org/10.1002/ffj.3393>
57. Nikolić, M. - Glamočlija, J. - Ferreira, I.C.F.R. - Calhelha, R.C. - Fernandes, Â. - Marković, T. - Marković, D. - Giweli, A. - Soković, M. (2014): Chemical Composition, Antimicrobial, Antioxidant and Antitumor Activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. Essential Oils. *Ind. Crops Prod.*, 52, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.006>
58. OGYI (Országos Gyógyszerészeti Intézet) (2004): *Pharmacopoea Hungarica VIII*. Budapest: Medicina Könyvkiadó.
59. Pinto, E. - Gonçalves, M.J. - Oliveira, P. - Coelho, J. - Cavaleiro, C. - Salgueiro, L. (2014): Activity of *Thymus caespititius* Essential Oil and α -Terpineol against Yeasts and

Filamentous Fungi. *Ind. Crops Prod.*, 62, 107–112.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.004>

60. Pitarokili, D. - Constantinidis, T. - Saitanis, C. - Tzakou, O. (2014): Volatile Compounds in *Thymus* Sect. *teucrioides* (Lamiaceae): Intraspecific and Interspecific Diversity, Chemotaxonomic Significance and Exploitation Potential. *Chem. Biodivers.*, 11, 593–618. doi: 10.1002/cbdv.201300333.
61. Pluhár Zs, Sárosi S, Novák I, Kutta G. (2008): Essential Oil Polymorphism of Hungarian Common Thyme (*Thymus Glabrescens* Willd.) Populations. *Natural Product Communications*. 3(7). doi:10.1177/1934578X0800300722
62. Pluhár Zs., Héthelyi É., Kutta G., Kamondy L. (2007): Evaluation of Environmental Factors Influencing Essential Oil Quality of *Thymus pannonicus* All. and *Thymus praecox* Opiz. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 13(1), 23–43. https://doi.org/10.1300/J044v13n01_03
63. Pluhár Zs., Sárosi Sz., Pintér A. - Simkó H. (2010): Essential oil polymorphism of wild growing Hungarian thyme (*Thymus pannonicus*) populations in the Carpathian Basin. *Natural Product Communications*, 5(10), DOI: 10.1177/1934578X1000501034
64. Ponce Cevallos, P.A. - Buera, M.P. - Elizalde, B.E. (2010): Encapsulation of Cinnamon and Thyme Essential Oils Components (Cinnamaldehyde and Thymol) in β -Cyclodextrin: Effect of Interactions with Water on Complex Stability. *J. Food Eng.* 99, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.039>
65. Poulose, A.J. - Croteau (1978): R. Biosynthesis of Aromatic Monoterpenes: Conversion of γ -Terpinene to p-Cymene and Thymol in *Thymus vulgaris* L. *Arch. Biochem. Biophys.* 187, 307–314. doi: 10.1016/0003-9861(78)90039-5.
66. Razavizadeh, R., Mohagheghyan, N., 2015. An investigation of changes in antioxidant enzymes activities and secondary metabolites of thyme (*Thymus vulgaris*) seedlings under in vitro salt stress. *J. Plant Biolog. Sci.*, 7, 41–58
67. Reynolds, S. G. (1970): The gravimetric method of soil moisture determination Part I A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11(3), 258–273. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90066-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1)
68. Roxo, M. - Zuzarte, M. - Gonçalves, M.J. - Alves-Silva, J.M. - Cavaleiro, C. - Cruz, M.T. (2020): Salgueiro, L. Antifungal and AntiInflammatory Potential of the Endangered Aromatic Plant *Thymus albicans*. *Sci. Rep*, 10, 18859. doi: 10.1038/s41598-020-75244-w.
69. Ruiz-Navajas, Y. - Viuda-Martos, M. - Barber, X. - Sendra, E. - Perez-Alvarez, J.A. - Fernández-López, J. Effect of Chitosan Edible Films Added with *Thymus moroderi* and

- Thymus piperella* Essential Oil on Shelf-Life of Cooked Cured Ham. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 6493–6501. doi: 10.1007/s13197-015-1733-3.
70. Ruiz-Navajas, Y. - Viuda-Martos, M. - Sendra, E. - Perez-Alvarez, J.A. - Fernández-López, J. (2012): Chemical Characterization and Antibacterial Activity of *Thymus moroderi* and *Thymus piperella* Essential Oils, Two *Thymus* Endemic Species from Southeast of Spain. *Food Control*, 27, 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.04.005>
71. Sahin, U. - Ekinçi, M.- Ors, S. - Turan, M. - Yildiz, S. - Yildirim, E. (2018): Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassic oleracea var. capitata*). *Sci. Hortic.*, 240, 196–204. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.06.016>.
72. Salehi-Arjmand, H. - Akhoundi, M. - Akramian, M. - Khadivi, A. - Tunç, Y. (2025): Time course of physiological and biochemical responses of *Thymus vulgaris* to short-term salinity stress in hydroponics. *Scientific Reports* 15, 16272 <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00768-y>
73. Salgueiro, L.R. - Vila, R. - Tomàs, X. - Cañigueral, S. - Da Cunha, A.P. - Adzet, T. (1997): Composition and Variability of the Essential Oils of *Thymus* Species from Section *Mastichina* from Portugal. *Biochem. Syst. Ecol.*, 25, 659–672. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(97\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(97)00046-X)
74. Sapir-Mir, M. - Mett, A. - Belausov, E. - Tal-Meshulam, S. - Frydman, A. - Gidoni, D. - Eya, Y. (2008): Peroxisomal Localization of Arabidopsis Isopentenyl Diphosphate Isomerases Suggests That Part of the Plant Isoprenoid Mevalonic Acid Pathway Is Compartmentalized to Peroxisomes. *Plant Physiol.*, 148, 1219–1228. doi: 10.1104/pp.108.127951.
75. Sepahvand, A. - Ashraf Jafari, A. - Sefidkon, F. - Kalatejari, S. (2021): Effects of water stress on seedling growth and physiological traits in four thyme species. *J. Rangel. Sci.*, 11(1), 1–14.
76. Sharafzadeh, S. - Zare, M. (2011): Effect of Drought Stress on Qualitative and Quantitative Characteristics of Some Medicinal Plants from Lamiaceae Family: A Review. *Advances in Environmental Biology*, 5(8), 2058-2062
77. Simkó H. (2014): *Őshonos thymus (kakukkfű) taxonok kémiai diverzitásának, valamint termesztési lehetőségének értékelése*. doktori értekezés. Budapest: Kertészettudományi Doktori Iskola.
78. Simkó H., Sárosi Sz. Z., Reményi M. L., Pluhár Zs. (2012): Adatok magyarországi thymus fajok előfordulásához és morfológiai jellemzéséhez. *Tájökológiai Lapok*, 10(2), 219-230.

79. Simon, T. (2000): A magyarországi edényes flóra határozója, Harasztok. Virágos növények, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 374, 376-377, 377-378, 383
80. Singleton, V.L. - Rossi, J.A., (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/AJEV.1965.16.3.144>
81. Stahl-Biskup, E. - Venskutonis, R.P. (2012): Thyme. In Handbook of Herbs and Spices, 2nd ed. Sawston, UK: Woodhead Publishing, Volume 1, pp. 499–525. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.499>
82. Szabó, D. - Zámboriné, É. N. - Falade, M. A. - Radácsi, P. - Inotai, K. - Pluhár, Z. (2022): Effect of water deficit on growth and concentration of secondary metabolites of *Thymus vulgaris*. *Zemdirbyste Agriculture*, 109 (3), 251–258. <https://doi.org/10.13080/z-a.2022.109.032>
83. Tefiani, C. - Riazi, A. - Youcefi, F. - Aazza, S. - Gago, C. - Faleiro, M.L. - Pedro, L.G. - Barroso, J.G. - Figueiredo, A.C. - Megías, C. - I. Cortés- Giraldo, J. - Vioque - Miguel, M.G. (2015): *Ammoides pusilla* (Apiaceae) and *Thymus munbyanus* (Lamiaceae) from Algeria Essential Oils: Chemical Composition, Antimicrobial, Antioxidant and Antiproliferative Activities. *J. Essent. Oil Res.*, 27, 131–139. <https://doi.org/10.1080/10412905.2015.1006739>
84. Turner, G.W. - Gershenzon, J. - Croteau, R.B. (2000): Development of Peltate Glandular Trichomes of Peppermint. *Plant Physiol*, 124, 665–680. DOI: 10.1104/pp.124.2.665
85. Van Den Dool, H. - Kratz, P.D. (1963): A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas–liquid partition chromatography. *Journal of Chromatography A*, 11, pp. 463–471.
86. Vouillamoz, J.F. - Christ, B. *Thymus vulgaris* L.: Thyme. In *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants. Handbook of Plant Breeding*; Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, Volume 12, pp. 547–557. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1_18
87. Yamaura, T. - Tanaka, S. (1992): Tabata, M. Localization of the Biosynthesis and Accumulation of Monoterpenoids in Glandular Trichomes of Thyme. *Planta Med*, 58, 153–158.
88. Zhang, Q. - Shao, M. - Jia, X. - Wei, X. (2019): Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests. *Geoderma*, 338, 170–177. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.11.051>.

89. Zhu, P. - Chen, Y. - Fang, J. - Wang, Z. - Xie, C. - Hou, B. - Chen, W. - Xu, F. (2016): Solubility and Solution Thermodynamics of Thymol in Six Pure Organic Solvents. *J. Chem. Thermodyn.* 2016, 92, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2015.09.010>
90. Zouari, N. - Ayadi, I. - Fakhfakh, N. - Rebai, A. - Zouari, S. (2012): Variation of Chemical Composition of Essential Oils in Wild Populations of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut., a North African Endemic Species. *Lipids Health Dis.*, 11, 28. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-28>
91. Zrig, A - Ferreira, J. F. S. - Hamouda, F. - Tounekti, T - Selim, S. - Al Jaouni, S. - Khemira, H. - Abdelgawad, H. (2019): The impact of foliar fertilizers on growth and biochemical responses of *Thymus vulgaris* to salinity stress, *Arid Land Research and Management*, 33(3), 297-320, <https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1551817>
92. Zrig, A. - AbdElgawad, H. - Touneckti, T. - Ben Mohamed, H. - Hamouda, F. - Khemira, H. (2021): Potassium and calcium improve salt tolerance of *Thymus vulgaris* by activating the antioxidant systems. *Sci. Hortic.*, 277, 109812 <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109812>
93. Zrig, A. - Tounekti, T. - AbdElgawad, H. - Hegab, M. M. - Oueled Ali, S. - Khemira, H. (2016): Essential oils, amino acids and polyphenols changes in salt-stressed *Thymus vulgaris* exposed to open-field and shade enclosure. *Industrial Crops and Products*, 16(91), 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.012>

7. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: A *Thymus pannonicus* növény (5. oldal)

2. ábra: A *Thymus pannonicus* szárazságstressz kezelés alatt (18. oldal)

3. ábra: A *Thymus pannonicus* sóstressz kezelés alatt (21. oldal)

4. ábra: A *Thymus pannonicus* szárazság- és sóstressz kezelés alatt (21. oldal)

5. ábra: A magas kakukkfű illóolajtartalmának (ml/100 g sz.a.) változása különböző stressz kezelések hatására (24. oldal)

6. ábra: Az összpolicfenol tartalom (mg GSE/100 g sz.a.) változása különböző stresszhatások következtében a magas kakukkfűnél (27. oldal)

7. ábra: Az összantioxidáns kapacitás (mg ASE/100g sz.a.) változása a magas kakukkfűnél a különböző stresszkezelések hatására (28. oldal)

1. táblázat: A *T. pannonicus* stressztűrő képességének tesztelése során alkalmazott talajvízkapacitás (TVK%) és só (NaCl) koncentráció (mM) szintek (18. oldal)

2. táblázat: A hajtások hosszának és tömegének változásai a különböző kezelések hatására a *T. pannonicus* esetében (22. oldal)

3. táblázat: A gyökér hosszának és tömegének változatai különböző kezelések hatására a *T. pannonicus* esetében (23. oldal)

4. táblázat: A *Thymus pannonicus* illóolaj komponenseinek százalékos összetétele a különböző stresszhatásoknak kitett növényekben (25. oldal)

8. Nyilatkozatok

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

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

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

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Horváth Emese
A Hallgató Neptun kódja: D86FYH
A dolgozat címe: *A Thymus pannonicus* All. szárazság- és sötürésének értékelése
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: Kertészettudományi intézet
A konzulens tanszékének a neve: Gyógy- és Aromanövények tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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

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

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

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

Kelt: 2025. október. 27.


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

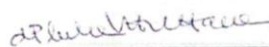
NYILATKOZAT

Horváth Emese (D86FYH) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekinttem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

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

Kelt: Budapest, 2025. 10. 28.


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Horváth Emese
Neptun-kódja:	D86FYH
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	B-GOD-N-HU-KERTM
A munka címe:	A Thymus pannonicus szárazság- és sőtűrésének értékelése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

- A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)
- B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Kérjük, tölts ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

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

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

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

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

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

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

			bejegyzésének sorszáma

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

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

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

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

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

Kelt: Budapest, 2025. október 30.

.....
Hath C

Hallgató aláírása

.....
Dr. Kulcsár László

Konzulens/Témavezető aláírása