

SZAKDOLGOZAT

Hallgató neve:

Miklós Anikó

ÉV: 2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Kertészettudományi Intézet

Kertészmérnöki alapképzési szak

**Az öntözés jelentősége és a szárazságtűrés a termesztett a kerti
kakukkfű (*Thymus vulgaris* L.) évelő kultúráiban különös
tekintettel a klímaváltozásra**

Belső konzulens: Név: Zámboriné dr. Németh Éva

beosztás: tanszékvezető egyetemi tanár

Belső konzulens

intézete/tanszéke: Kertészettudományi Intézet,
Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Külső konzulens: Név

beosztás

Készítette: Név: Miklós Anikó

Képzési hely: Budapest

év: 2024

Az öntözés jelentősége és a szárazságtűrés a termesztett a kerti kakukkfű (*Thymus vulgaris* L.) évelő kultúráiban különös tekintettel a klímaváltozásra

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzés	2
2.	Irodalmi áttekintés és eredmények.....	5
2.1.	A víz jelentősége a növények életében.....	5
2.2.	A vízellátás hatása a hatóanyagok felhalmozódására.....	6
2.3.	A kerti kakukkfűre vonatkozó szakirodalmi adatok áttekintése és értékelése.....	8
2.3.1.	A kerti kakukkfű bemutatása.....	8
2.3.2.	A vízhiány hatása a kakukkfű biomassza termelésére és egyéb morfológiai tulajdonságaira	11
2.3.3.	A vízhiány hatása a kakukkfű illóolaj tartalmára	20
2.3.4.	A vízhiány hatása a kakukkfű fenoltartalmára	26
3.	Következtetések (eredmények megvitatása).....	30
4.	Összefoglalás	33
5.	Köszönetnyilvánítás.....	35
6.	Irodalomjegyzék	36
7.	Ábrák és táblázatok jegyzéke	40

1. Bevezetés és célkitűzés

Az éghajlatot általános definíció szerint a légkör, az óceánok, a földfelszínek és a bennük lakozó ökoszisztémák átlagos állapotának tekintjük (Neelin, 2010), az éghajlatváltozás (klímaváltozás más néven) pedig az ebben bekövetkező tartós és jelentős mértékű változást jelenti. Az éghajlat folyamatosan módosul, glaciális és interglaciális időszakok váltják egymást, azonban a múltban ezek a folyamatok évszázadok, évezredek alatt mentek végbe. Ezzel szemben a jelenlegi felmelegedési periódus jelentősen felgyorsult az utóbbi évtizedekben. Az éghajlat változásának lehetnek természetes és antropogén okai (Hufnagel és Sipkay, 2010), ez utóbbi tehető felelőssé a jelenlegi klímaváltozás felgyorsulásáért. Az üvegház hatású gázok kibocsátásával, az erdőirtással, az állattenyésztéssel és a talajhasználattal az emberiség is hatással van, volt és lesz is a bolygó érzékeny klímaegyensúlyára, amelynek fenntartása az egész emberiség érdeke. A jelenlegi éghajlatváltozás-mérséklési politikák és a kapcsolódó fenntartható fejlődési gyakorlatok ellenére is várhatóan a globális üvegház-hatású gázok kibocsátása például tovább fog növekedni a következő évtizedekben (IPCC 2007), és ez csak az egyik kiváltó ok. Ez is jól mutatja, hogy milyen komoly megoldandó feladat előtt állunk a bolygó és élőhelyünk védelme érdekében.

A klímaváltozás hatással van mind a természeti környezetre, mind a társadalmakra és a gazdaságra, illetve ezek egymás közötti kölcsönhatásaira. Ezek közül a természeti környezetre gyakorolt hatással, azon belül is a csapadék várható változásának következményeivel foglalkozok részletesebben dolgozatomban. A szabadföldi mezőgazdasági és kertészeti termelés egyik legfontosabb pillére a megfelelő mennyiségű, intenzitású és a termesztett növényfaj szempontjából a megfelelő időben érkező természetes csapadék. A Kárpát-medencében a klímaváltozás következtében várhatóan csökkenni fog a csapadékos napok száma, a csapadérintenzitás pedig valószínűleg nőni fog ((Hufnagel és Sipkay, 2010), mindezek mellett pedig a csapadék eloszlása is eltolódhat az elkövetkező években, évtizedekben. Meg fog változni továbbá a csapadék évszakok közötti aránya is, várhatóan a nyári csapadék nőni, a téli viszont csökkenni fog (Pannon Egyetem, 2015). Az ezekben a változásokban rejlő kiszámíthatatlanság az egyik, ami komoly problémákat okoz már most is a növénytermesztésben, illetve a csapadékhiány következményeként egyre gyakrabban alakulnak ki aszályos, száraz periódusok. Kertészeti kultúrákban és így a gyógynövények termesztése során is erre megoldást jelenthet a megfelelő öntözés bevezetése, illetve a szárazságot jobban elviselő fajok és fajták termesztése.

A termesztett gyógy- és fűszernövények között az egyik legnagyobb jelentőségű növénycsalád a Lamiaceae (ajakosok). A család nagy botanikai egység, körülbelül 3500 fajt foglal magába (Sharma, 1993). Ezek között számos gyógy- és fűszernövény van, kezdve az olyan közismert fajokkal, mint a

levendula, kakukkfű, szurokfű, rozmaring, bazsalikom, stb, rendkívül széles felhasználási módokkal és lehetőségekkel. Vannak közöttük egyéves és évelő fajok, lágyszárúak és cserjék is, illetve néhány fát is találunk közöttük (tíkfa). Jellemzően mediterrán és szubtrópusi területeken honosak, de ma már a világ számos országában termesztik őket. Hazánkban az utóbbi időben termesztett legfontosabb fajok közé tartozik a bazsalikom, a majoranna, az oregánó, a kakukkfű, a zsálya, a levendulák és a citromfű. Ezek származásukból következően meleg- és fénykedvelő fajok, szárazságtűrésük azonban eltérő. A Mediterráneumból érkezett Lamiaceae fajok általában jobban viselik a csapadékhiányt (levendulák, kakukkfű (1.ábra), szurokfű), míg a szubtrópusi származásúak, mint például a bazsalikom, kifejezetten vízigényesek. Ebből következően a klímaváltozás hatására várható csapadék hiánya és kiszámíthatatlansága, illetve a szárazság a várakozások szerint eltérő mértékben fog hatást gyakorolni az egyes fajok élettani folyamataira, a hatóanyagok felhalmozódására és így a termelés mennyiségére és minőségére is.

1.ábra: Mezei kakukkfű (*Thymus serpyllum*), saját készítésű fotó (2021)



Bolygónk változó klímája az élet számos területén éreztetni fogja a hatását, ezért fontosnak tartom a változásra való felkészülést, a várható következmények megismerését és amennyiben lehetséges, az adaptálódást. Jelen dolgozatban célom azon szakirodalmak áttekintése és értékelése, melyek az éghajlatváltozás következményei közül a csapadék változásából következő szárazság hatásával és az öntözés lehetőségeivel foglalkoznak. A munkámban a Lamiaceae fajokra, majd részletesebben a kerti kakukkfűre (*Thymus vulgaris*) fókuszáltam. Azt vizsgáltam, hogyan hat a vízellátás e növény jellemzőire: hatóanyag felhalmozódás, morfológiai jellemzők, biomassa változása, stb. az elmúlt évek tanulmányai szerint.

2. Irodalmi áttekintés és eredmények

2.1. A víz jelentősége a növények életében

A víz minden földi élet alapja. Ez az a közeg, amiben az élet maga is létrejött az őstengerekben, majd hosszú evolúciós folyamat eredményeképpen alkalmas lett a szárazföldi létre is. A növények sejtjei kezdetben folyamatosan vizes közegben voltak, vagyis vízzel telített állapotban. Amikor elindult a szárazföld meghódítása, szöveti változásoknak kellett beindulniuk, amik lehetővé tették az adaptálódás folyamatát. Megszűnt a folyamatos vízzel való borítottság, csökkent az állandó külső víztelítettség. Annak érdekében, hogy a növényi sejtekben továbbra is megfelelő mennyiségű legyen a víz, erről immár a szárazföldi növényeknek maguknak kellett belsőleg gondoskodniuk, mégpedig úgy, hogy olyan szerveik fejlődtek ki, amelyek megfelelőképpen el tudták látni ezt a funkciót a szárazföldi körülmények között (Szalai, 1974).

A Földön a víz folyamatos körforgásban van, ezt nevezzük hidrológiai ciklusnak. Ennek a körforgásnak a növények igen fontos szereplői, ugyanis a talajból felvett vizet elpárologtatva azt a légkörbe juttatják. Tehát a növényzetnek a víz nem csupán létfeltétele, hanem saját maga is mint ennek a körforgásnak a szabályozója van jelen (Báder, 2023).

A víznek számos szerepe van a növények napi életében. Az életfolyamataik nélkülözhetetlen eleme, a fotoszintézisnek is alapanyaga és reakciópartnere. Közvetlen szerepe van a biokémiai folyamatokban, úgymint hidrolízis, hidratáció és dehidratáció. Az ásványi anyagok felvételekor oldószerként, ezek, valamint az asszimilátumok szállításakor pedig szállítóközegként funkcionál. A növényi sejtek egyik felépítő eleme, a makromolekulák szerkezetét is nagymértékben befolyásolja. Felelős a megfelelő sejten belüli nyomás, vagyis a turgor nyomás fenntartásáért, és ezen keresztül hatása van a növény alakjának megtartására, a sejtek növekedésére, a sztómák működésére, a transzport folyamatokra, stb. A megfelelő növekedéshez és termésképzéshez is meghatározott mennyiségű vízre van szükség. A párolgás és a párologtatás segítségével tudja a növény saját hőmérsékletét szabályozni. Mindezek mellett a növények egyik legfontosabb szervetlen tápanyaga is. Vannak olyan alacsonyabb rendű növények, illetve a vízinövények, amelyeknek szaporodásához elengedhetetlen a víz jelenléte (Jain, 2022).

A növények különböző mennyiségű víztartalommal rendelkeznek, ami a teljes tömegük 80-95%-át teszi ki (Jain, 2022). Ez egyrészt faj- illetve fajtulajdonság, másrészt függ attól, hogy a felépítő szöveteknek milyen a kora és a típusa. A kiszáradt mag nedvességtartalma akár 5%-ig is lecsökkenhet, azonban ahhoz, hogy elinduljanak benne a fejlődési folyamatok, jelentős vízfelvételre van szüksége (Nobel, 2012). Ez a víz szabad vagy kötött formában található meg a növény sejtjeiben. A szabad vizet le tudja adni a növény, ezzel szemben a kötött vizet nem, az a sejtek építőeleme.

A víz felvétele a gyökér felszívási zónájában történik, a gyökérszőrök segítségével. Innen a szállítószövetek továbbítják a felvett vizet a hajtások és a gyökércsúcs felé. A párologtatás a levelek feladata, szabályozása a gázcserenyílásokon keresztül zajlik. A növényekben a vízáramlás alsó mozgatója a gyökérnyomás, a felső pedig a levelek párologtatása. (Cseh, 1969) Optimális esetben a növényekben a víztartalom, vagyis a felvett és a felhasznált víz egyensúlyban van. Vízhányos állapot akkor lép fel, amikor ez az egyensúly megbomlik, vagyis amikor a növény többet párologtat, mint amennyi vizet fel tud venni.

A vízhány hatására a növényekben többféle változás indulhat el. Ha nem túl nagy a vízhány, akkor erre a növények intenzívebb vízfelvétellel vagy csökkentett párologtatással reagálnak annak érdekében, hogy a fotoszintetikus aktivitást szinten tartsák. Súlyos szárazság viszont akár a növény kiszáradását is okozhatja (Yordanov et al., 2003).

A vízhány következtében tehát csökken a fotoszintézis intenzitása, a levelek előregedése pedig felgyorsul. E mellett visszaveti a tápanyagok felvételét, a záródó sztomák következtében a transzspiráció mértékét, illetve az asszimilációt is. A turgor nyomás lecsökkenése következtében a sejtek megnyúlása is leáll, ami miatt a növény fejlődése lelassul vagy akár le is állhat. Elkezdődik a stresszes állapotban tipikus molekulák felhalmozódása, a szabad gyökök és a reaktív oxigénformák száma növekedni kezd. Mindezek mellett pedig a növényben morfológiai változások is megjelennek, mint például a redukálódó levélfelület (Deák, 2017; Radácsi, 2014). A vízhány tehát hatással van a növények számos életfolyamatára, és befolyásolja gazdasági szempontból a növényi produktum mennyiségét és minőségét.

2.2. A vízellátás hatása a hatóanyagok felhalmozódására

Gyógy- és aromanövények termesztése során alapvető cél a megfelelő mennyiségű és minőségű hatóanyag, illetve hatóanyag-együttes létrehozása. A nem megfelelő vízellátás hatással van ezen biológiai aktív vegyületek, illetve vegyületcsoportok felhalmozódására is. Az ezzel kapcsolatos tanulmányok elsősorban a vízhányra és annak következményeire koncentrálnak, mivel a klímaváltozás hatására a csapadék mennyisége várhatóan csökkenni fog, és eloszlása is egyenetlenebb lesz, így gyakoribbak lesznek a hosszabb száraz periódusok. Ezért dolgozatomban én is a vízhány következményeire fordítok kiemelt figyelmet.

A vízellátásnak vannak közvetlenül és közvetetten megnyilvánuló következményei a hatóanyagok felhalmozódására.

A termesztés során előálló friss biomassa mennyisége és a szárított növényi tömeg a legtöbb faj esetében, vízhány hatására csökkenést mutat, ezt több kutatás kimutatta. Például García-Caparrós és

társai (2019) kísérleti eredményei azt mutatják, hogy a vizsgálatba vont Lamiaceae fajok közül a *Lavandula latifolia*, a *Mentha piperita* és a *Thymus capitatus* már mérsékeltebb vízhiányra is a friss növényi hozam csökkenésével reagált. Ez közvetetten befolyásolja az előállítható hatóanyag mennyiségét, mivel kisebb növénytömeg várhatóan kisebb hatóanyaghozamot is jelent. Emellett egyéb morfológiai tulajdonságokra is hatással van a vízhiány, ilyen például a növény magasság, a szárátmérő, ízközhossz, levéltömeg, stb.

A dolgozatomban elsősorban vizsgált Lamiaceae növényfaj és rokon fajai esetében a drogot a föld feletti részek (virágos hajtás, levél, virág) és az ezekből nyert illóolaj szolgáltatja. A fő hatóanyag az illóolaj, amely a növénycsaládra jellemző mirigyszőrőkben halmozódik fel, elsősorban a levelekben és/vagy a virágzatokban. Ezen mirigyszőrők sűrűségét szintén befolyásolja a vízhiány, ami egy másik, a hatóanyag mennyiségére közvetetten ható tényező. Gyengébb vízellátottság hatására ugyanis a mirigyszőrők sűrűsége megnőhet, mint például a bazsalikom esetében (Radácsi, 2014).

Közvetlenül az illó komponensek termelődését, a bioszintézis alakulását is befolyásolhatja a növény vízellátása. Egyes esetekben az illóolaj fokozottabb felhalmozódását figyelték meg, mint Aliabadi és társai (2009) egy citromfűvel végzett kísérletben, ahol a növényeket 100% (kontroll), 80%, 60%, 40%, 20%-os vízkapacitású talajban nevelték. Azt tapasztalták, hogy mind a kinyert illóolaj mennyisége, mind az illóolaj százalékos aránya emelkedett a szárazságstressz hatására egy bizonyos szintig. E fölött azonban a másodlagos anyagcseretermékek szintje oly mértékben megnő, hogy feltehetően akadályozza a sejtekben az oxidációs folyamatokat. A túl nagy vízhiány ezért visszaesést eredményezett az illóolajtartalomban. Más esetben is detektálták, hogy szárazság hatására csökkent az illóolaj tartalom, pl. ahogyan azt García-Caparrós és társai (2019) *Lavandula latifolia* és a *Salvia sclarea* fajoknál demonstrálták. Az előző kísérlet azonban felveti, hogy vajon ez azonnali reakció vagy valamilyen hosszabb folyamat eredménye-e.

Az illóolajok kémiai összetétele rendkívül fontos tényező a gyógynövénytermesztésben, hiszen ez határozza meg az előálló hatóanyag minőségét. Ezt az összetételt számos tényező befolyásolja, közöttük éppen a növények vízellátásának alakulása a tenyészidőszakban. Egy kísérletsorozatban kakukkfűnél (*Thymus vulgaris*) azt találták, hogy a legfontosabb illóolaj összetevő, a timol, homokos talajon és 10 naponkénti öntözés (vízhiányos állapot) mellett produkálta a legkiemelkedőbb szintet (Aziz et al, 2008). Egy másik tanulmány a majoranna, a citromfű, a borsmenta és a kakukkfű illóolaj összetételét vizsgálva megállapította, hogy a citromfű és a borsmenta illóolájának összetétele nem mutatott lényeges változást a kísérleti (erősen vízhiányos) és a kontrollnövények (enyhén vízhiányos) esetében. Ezzel szemben a kakukkfű és a majoranna illóolájában a terpinén vegyületek aránya megnövekedett a timol, karvakrol és egyéb szabinén származékok kárára. Úgy tűnik tehát, hogy mind

a faj, mind a vízhiány mértéke befolyásolhatja a komponensek változását is (Németh-Zámbori et al, 2016). Az említett adatokból azonban sajnos nem tudunk arra következtetni, hogy vajon a bioszintézis út módosult-e vagy esetleg más (pl. szervi arányok, öregedés, stb.) faktorokra vezethető vissza az eredmény.

2.3. A kerti kakukkfűre vonatkozó szakirodalmi adatok áttekintése és értékelése

2.3.1. A kerti kakukkfű bemutatása

A kerti kakukkfű (*Thymus vulgaris* L., 2.ábra) az árvacsalánfélék (Lamiaceae) családján belül a Nepetoideae alcsaládba tartozó gyógy-és fűszernövény. Évelő, törpecserje vagy félcserje, amelynek a szára elfásodik. Alacsony termetű, maximum 50 centiméterre nő meg. A levelek a Lamiaceae családra jellemzően keresztben átellenesek, ezen kívül apró lándzsa alakúak, begöngyölt levélszéllel. A levélen található illóolajmirigyeknek köszönhetően megérintve az egész növény kellemes aromás illatot áraszt magából. Álfüzér virágzata fehér, rózsaszín, halványlila színű virágokból áll, a termése négy makkocská. Mediterrán faj, a Földközi-tenger északnyugati partvidékéről származik, de ma már Magyarországon is megtalálhatóak kertekből kivadult egyedei. Kedveli a meszes, jó termőképességű és vízáteresztő talajokat, ezen kívül fény- és melegigényes faj (Bencze és Pluhár, 2013). Eredetéből következően jó szárazságtűrő tulajdonságokkal rendelkezik, mint például az apró, viaszos, begöngyölt levél, kisebb termet.

2.ábra: Kerti kakukkfű (*Thymus vulgaris* L.) virágzó hajtásai, saját készítésű fotó (2021)



A VIII. Magyar Gyógyszerkönyv szerint a kakukkfű hivatalos drogja a *Thymi herba*, ami a *Thymus vulgaris* és a *Thymus zygis* fajok szárított hajtásáról leválasztott levelekből és virágokból állhat. További minőségi követelmény, hogy a herba drognak legalább 12 ml/kg illóolajat kell tartalmaznia, aminek minimum 40%-a timol és/vagy karvakrol kell, hogy legyen. Ezen kívül drog még a *Thymi aetheroleum* is, ami a *Thymus vulgaris* és a *Thymus zygis* fajokból származó illóolaj, amelyet a virágos szárból

állítanak elő (Ph.Hg. VIII, 2004). 2020-tól külön kezelik a timolos jellegű, alapvetően az említett fajokból származó illóolajat a hasonlóaktól *Thymi typo thymolo aetheroleum* néven.

A kakukkfű terápiás hatásai közül kiemelendő az antibakteriális, antivirális és antifungális hatás. Emellett görcsoldó és köhögéscsillapító, köptető, összehúzó tulajdonságokkal is rendelkezik (Bencze és Pluhár, 2013; Bernáth és Németh, 2007). Ezen kívül közkedvelt fűszer is, a mediterrán konyha ízvilágát meghatározó egyik növény.

Számos kiváló tulajdonsága miatt a kakukkfűvet már az ókorban is felhasználták és termesztették. Napjainkban a világ számos országában folyik a termesztése, és a hatóanyagok újabb és újabb kedvező tulajdonságairól születnek tanulmányok és felhasználási javaslatok. Mindezek hatására kiemelt figyelem irányul a kakukkfű optimális termesztés technológiájára és a megfelelő hatóanyagtartalom előállítására. Ez a kettő természetesen összefüggésben áll egymással.

A kerti kakukkfű termesztésére Magyarország egész területe alkalmas. A termesztés palántanevelésről történik, a palántákat magvetéssel vagy esetleg vegetatív szaporítással (dugványozás) állítják elő. A megfelelően előkészített talajba a növénykéek kiültetése májusban történik, ezt követően a legfontosabb növényápolási munka a gyomirtás, mivel az apró kakukkfű palántákat könnyen elnyomhatja a túlbujánzó gyomflóra. Hazánkban a kerti kakukkfű ültetvényeket nagyüzemi termesztési körülmények között jellemzően nem öntözik. A betakarításra az első évben egyszer, a későbbi években jellemzően kétszer kerül sor Magyarországon, először teljes virágzásban május-júniusban, ugyanis ekkor a legmagasabb az illóolaj- és a timol tartalom. A második betakarításra szeptemberben kerül sor. Betakarításkor a növényeket 8-10 cm-es magasságban levágják. Ezt követi az elsődleges feldolgozás, a szárítás, majd a morzsolás. Az illóolaj előállítás nem elterjedt Magyarországon. Az ültetvény 4-6 évig maradhat egy helyen, ezt követően vetésváltást kell alkalmazni (Bencze és Pluhár, 2013).

A következőkben a vízhiány kakukkfűre és hatóanyagaira gyakorolt hatásával kapcsolatos tanulmányokat tekintem át, azzal a szándékkal, hogy a jövőben a termesztéstechnológia esetleges optimalizálásához is adatokat nyerjünk.

2.3.2. A vízhiány hatása a kakukkfű biomassza termelésére és egyéb morfológiai

tulajdonságaira

Az elégtelen vízellátás következményei közül a leginkább szembevető a növények külső megjelenésének és az előálló zöldtömeg mennyiségének változása.

Egy, a Lamiaceae fajok vízhiányra adott reakcióit vizsgáló kísérlet (Németh-Zámbori et al., 2017) során a kakukkfűvet 70%-os (kontroll) illetve 40%-os talaj-vízkapacitás mellett nevelték. A mérések során kiderült, hogy a szárazságstressznek kitett növények esetében a biomassza produktum több mint 200%-al alacsonyabb volt a kontroll egyedekéhez hasonlóan. A gyökér/hajtástömeg aránya viszont magasabb volt a stressznek kitett növények esetében. Ez azt mutatja, hogy egy komolyabb vízhiányos állapot az alapvetően szárazságtűrőnek számító növény esetében is, mint a kakukkfű, jelentős zöldtömeg-hozam visszaesést eredményez. Másrészt a kakukkfű nagyobb gyökértömeg fejlesztésével igyekszik a fejlődéséhez szükséges mennyiségű vizet összegyűjteni a szárazabb talajból. Mivel azonban a növény gyökérzetét a drogtermesztésben jelenleg nem hasznosítják, ezért ez termelői szempontból hátrányt jelent.

Nagyon hasonló eredménnyel zárult Akhzari és Kavian (2021) Iránban végzett kísérlete is. Itt a kakukkfű növényeket terepen nevelték, ami jellemzően pozitív hozzáadott értéket jelent egy vizsgálat során, hiszen a termesztés is szabadföldi körülmények között történik. A szerzők egyéb tényezők mellett azt kutatták, hogy hogyan változnak meg a növények morfológiai tulajdonságai az alkalmazott szárazságstressz hatására. Megmérték a termesztett növények szárított hajtásainak és gyökerének a tömegét és a hosszát. Azt találták, hogy 90%-os talaj-vízkapacitás mellett a leghosszabbak és legnagyobb tömegűek a hajtások, a gyökök hossza és tömege viszont itt a legkisebb. 25%-os talaj-vízkapacitás esetében a szárazságstressz hatására viszont a gyökök hosszabbak és nagyobb tömegűek lettek az agyagos vályogtalajban, a hajtások pedig rövidebbek és kisebb súlyúak. A fontosabb mérési eredményeket az 1. táblázat szemlélteti:

1.táblázat: A különböző szintű szárazságstressz hatása a kerti kakukkfű hajtás- és gyökérhosszára valamint súlyára

Forrás: Akhzari és Kavian, 2021 nyomán

Kezelés (talaj-vízkapacitás)	Hajtás magasság (cm)	Gyökér hosszúság (cm)	Hajtás súlya (g/növény)	Gyökér súlya (g/növény)
90% TVK	43,5 a	6,66 c	13,66 a	7,33 c
50% TVK	31,63 b	14,86 b	9,00 b	11,00 b
25% TVK	19,96 c	20,53 a	4,33 c	14,67 a

TVK= talaj-vízkapacitás

A vízhiány hatására tehát a föld feletti részek növekedése korlátozottá válik, ezzel szemben a talajban lévő gyökök fejlődése fokozódik. Ennek magyarázata, hogy a kiterjedtebb gyökérzettel igyekszik a

növény a számára szükséges víz és tápanyag hozzáférést biztosítani. Ezt persze befolyásolja a talaj típusa is, az olyan kötöttebb talajokban, mint a vályog, korlátozottabban fejlődnek a gyökerek és a víz is elérhetőbb közelségben van. Éppen ezért lenne fontos a talajadottságokat is figyelembe venni hasonló vizsgálatok során, hiszen ez is egy olyan környezeti adottság, amellyel a termesztőknek számolniuk kell. Az olyan növényfajok, amelyek szárazabb körülmények között kiterjedtebb gyökérzetet fejlesztenek, valószínűleg kevesebb víz felhasználásával is termesztethetők. Ugyanakkor azt is számításba kell venni, hogy a föld feletti biomassa produktum általában kevesebb lesz, ami a növény drogját szolgáltatja.

Hasonló eredménnyel zárult egy másik, közel azonos feltételek között végzett vizsgálat is (Németh-Zámbori et al., 2016). A kontrollált körülmények között végzett vizsgálat egyik célja volt a kiválasztott Lamiaceae fajok, köztük a kakukkfű szárazságstressz hatására a biomassa termelésében bekövetkező változásainak észlelése és összevetése a többi vizsgált fajjal. A várakozásokkal kissé szembe menve az volt megfigyelhető, hogy alacsony (40%-os) talaj-vízkapacitás mellett a kakukkfű zöldtömeg produktuma a kontroll növényekhez (70%-os talaj-vízkapacitás mellett) viszonyítva harmadára visszaesett. Ennek némileg ellentmond egy hasonló körülmények között lezajlott kísérlet (Németh-Zámbori et al., 2015), amely során a szárazságstressznek kitett kakukkfű növények biomassa termelése ugyan némileg lecsökkent, azonban összességében a faj jól tolerálta a vízhiányt a 10 hetes klímakamrás vizsgálat során, és nem következtek be jelentős változások a morfológiai tulajdonságokban. Ez utóbbi összhangban van azzal az általánosan elfogadott vélekedéssel, hogy a kakukkfű növények jól tűrik a szárazságot. E vizsgálatok arra is felhívják a figyelmet, hogy a szárazságstressz időtartama, a növények fejlődési állapota és korábbi adaptációja rendkívül nagy különbségeket eredményezhet.

Babae és munkatársai (2010) szintén azt vizsgálták, hogy különböző szintű vízhiány következtében hogyan változnak a kerti kakukkfű morfológiai jellemzői. Ők azt találták, hogy szárazságstressz hatására csökkent a növény magassága, az elágazódások száma, a friss biomassa és a szárított növény tömege mind a hajtások, mind a gyökerek esetében, valamint a gyökerek hossza is. Ez némileg ellentmond más tanulmányoknak, ahol szárazság hatására a gyökerek fokozott fejlődését figyelték meg. Ennek oka lehet az eltérő talajtípus, a talajban jelen lévő víz eltérő kötöttsége, illetve más, egyéb tényezők. Elképzelhető az is, hogy a szerzők egészen más genotípust vagy ökotípust vettek kísérletbe, mint mások. A kutatások sok esetben sajnos nehezen összehasonlíthatóak a számos változó paraméter miatt.

Egy egyiptomi kísérlet során Aziz és munkatársai (2008) megállapították, hogy a talajtípus és az öntözés gyakorisága mind befolyásolták a betakarítható kakukkfű biomassa mennyiségét, vagyis a növénymagasságot, a friss tömeget és a herba tömegét. A legjobb eredményeket meszes talajon és 3

naponkénti (gyakori) öntözés mellett figyelték meg, mindkét vizsgált évben. A tanulmány fő következtetése, hogy a mezőgazdasági termesztésben a talajtípus megválasztásával és az öntözés beállításával befolyásolni lehet a biomassa mennyiségét és egyéb morfológiai tulajdonságokat, meglehetősen általános. Az öntözés gyakorisága egy kevésbé egzakt tényező, mivel szorosan összefügg a kijuttatott víz mennyiségével, a lég- és talajhőmérséklettel, a párolgással, valamint az öntözés módjával is. Sajnos ezért a különböző szakirodalmi hivatkozások nehezen vethetők össze egymással és gyakran csak részinformáció nyerhető belőlük.

Különösen száraz területen, Irán Horászán régiójában végzett vizsgálatot Khazaie és munkatársai (2008) arra vonatkozóan, hogy az öntözés gyakoriságának és az ültetési sűrűségnek milyen hatása van a kerti kakukkfű esetében a biomassa produktumra. Az a megállapításuk, hogy igen ritka (21 nap) öntözés mellett a biomassa produktum visszaesik, egy nagyon általános megfigyelés. Ennél érdekesebb, hogy a 7 és a 14 napos öntözési intervallumok között a biomassa termelésben nem mutatkozott értékelhető különbség a két vizsgált évben. Az évek közötti hozamokat vizsgálva az látható, hogy a második évben az elsőhöz viszonyítva több biomassa termelődött, minden öntözési kezelésben. Ennek oka lehet a második évre már kifejtettebb gyökérzet, de akár az eltérő hőmérséklet is. Összességében megállapítható, hogy az öntözések között eltelt idő egy bizonyos szintig nem okoz számottevő visszaesést a növényi tömeg előállításban, ez jelen kísérletben, a vizsgált körülmények között a 14 napos időintervallum. Ami az ültetési sűrűséget illeti, a második vizsgált évre a kakukkfű növények sikeresen alkalmazkodtak a nagyobb egyedszám okozta állománysűrűséghez. A két vizsgált paraméter együttes hatásának elemzésekor az látható, hogy az öntözések között eltelt idő növelésével (7-ről 14 napra) az első évben nőtt a biomassa produktum a 20 és a 25 cm-re ültetett növényeknél, a 30 cm-es tőtávolságnál pedig csökkent. A következő évben éppen fordítva történt, 7-ről 14 napra növelve az öntözések között eltelt időszakot, a biomassa csökkent a 20 és a 25 cm-es ültetési távolság mellett, 30 cm-es tőtávok esetén viszont nőtt. A második évben az öntözési intervallumot tovább növelve 21 napra, 20 cm-es tőtávokat használva csekély növekedés, a többi tőtávnál csekély csökkenés figyelhető meg. Ennek magyarázata az időközben kifejlődött gyökérzetben lehet. A tanulmány készítői azt a következtetést vonták le, hogy 1 éves kakukkfű ültetvény esetében a 14 naponkénti öntözés a megfelelő, idősebb növényeknél pedig ez kitolható 21 napra is a biomassa számottevő változása nélkül. Így a vizsgált területhez hasonló száraz régiókban jelentős mennyiségű öntözővizet lehet megtakarítani a megfelelő adaptációs képességgel rendelkező növényfajok termesztésével.

Sorkhi (2020) Iránban végzett kísérlete során azt vizsgálta, hogy milyen hatása van a különböző öntözési gyakoriságoknak és ezzel párhuzamosan a huminsav kezelésnek a kakukkfűre. A huminsavat, ami egy szerves polimer vegyület, egyre szélesebb körben használják fel a növénytermesztők. Mint természetes tápanyagpótló készítmény, anélkül javítja a növények kondícióját és ezáltal várható

hozamát, hogy természetkárosító mellékhatásai is lennének, emellett pedig javítja a talaj szerkezetét, így téve könnyebbé a növények számára a víz felvételét. A vizsgálat megállapította, hogy a kakukkfű növények magasságát és a friss és szárított tömegét (drogtömegét) is erősen befolyásolta az öntözés gyakorisága, a legmagasabb értéket a legsűrűbb öntözés adta. A huminsav kezelés hatásából pedig az látszik, hogy a legnagyobb alkalmazott dózis eredményezte a legtöbb hozamot. A két paraméter hatását együtt vizsgálva elmondható, hogy huminsav kezeléssel ritkább öntözési forduló mellett is ugyanolyan biomassza produkciót lehet elérni, ezáltal javítható a termesztés gazdaságossága és fenntarthatósága. A vizsgálat eredményeit a 2. táblázat foglalja össze.

2.táblázat: Az öntözési gyakoriságok és a huminsav kezelés átlagos kölcsönhatásának összehasonlítása a kakukkfű tulajdonságaira

Forrás: Sorkhi, 2020 nyomán

Öntözési gyakoriság	Kijuttatott huminsav (mg L ⁻¹)	Növény magasság (cm)	Friss tömeg (g)	Száritott tömeg (g)	Proline (mg 100g ⁻¹ DW)
Minden nap (kontroll)	0	22,16 f	56,68 ef	17,54 e	1,52 f
	200	26,69 b	65,85 bc	25,18 ab	1,89 d
	400	29,57 a	76,59 a	27,26 a	2,05 c
Három naponként	0	20,38 g	53,69 f	13,15 f	1,72 e
	200	25,12 c	63,15 cd	22,80 c	1,94 d
	400	26,82 b	69,93 b	26,03 ab	2,07 c
Hat naponként	0	18,38 h	43,47 g	9,45 g	1,88 d
	200	23,53 e	60,52 de	20,61 d	2,11 c
	400	24,42 cd	63,65 cd	24,16 bc	2,35 b
Kilenc naponként	0	16,35 i	31,5 h	5,39 h	2,43 b
	200	23,41 e	60,29 de	19,08 e	3,08 a
	400	23,82 de	63,95 cd	24,19 bc	3,16 a

A mai gazdálkodóknak sokféle lehetőségük van a növények tápanyagutánpótlásának biztosítására, azonban ezek között már kevesebb azon módok száma, amelyek megfelelnek az ökológiai gazdálkodás elveinek is. Egy ilyen lehetőség a vermikomposzt alkalmazása, ami nem más, mint az erre alkalmas gilisztafajok tevékenységét (táplálkozását) követően a szervesanyagokból visszamaradó szilárd anyag. Fontos jellemzője, hogy igen magas a foszfor és a nitrogén tartalma, e miatt különösen alkalmas tápanyagforrások a növények számára. Sharafi és munkatársai (2019) éppen ennek az anyagnak és a vízhiánynak az együttes hatását vizsgálták kakukkfű növényeken üvegházi kísérletükben. Egyebek mellett megfigyelték a növények következő morfológiai jellemzőit: növénymagasság, elágazódások száma, friss és szárított tömeg, gyökerek hossza. Növekvő szárazságstressz hatására szinte az összes jellemzőben visszaesést regisztráltak. A vermikomposzt kijuttatása mellett pedig növekedést tapasztaltak, minél több volt a tápanyag utánpótlás, annál nagyobb mértékűt. A tanulmány szerint ez egyrészt a plusz tápanyagoknak, másrészt a komposzt jó vízmegtartó képességének köszönhető. A két kezelés együttes hatása azonban nem bizonyult szignifikánsnak. A tanulmányban szereplő táblázatok azonban véleményem szerint nehezen értelmezhetők, a különböző kezelések hatása körülményesen olvasható ki belőlük. Mindenesetre ígéretes lehetőségnek tartom a vermikomposzt alkalmazását, és

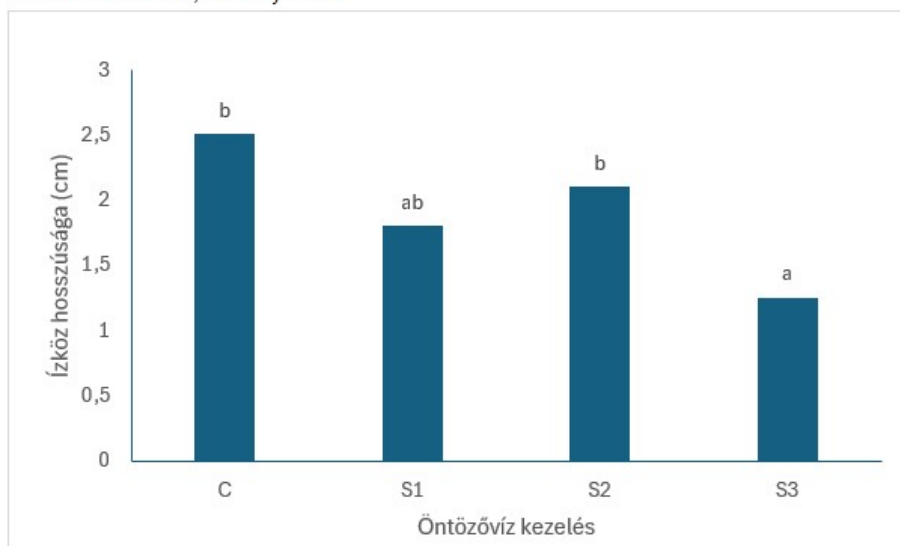
remélhetőleg még számos tanulmány fog születni a hatásának bizonyítására, akár szabadföldi körülmények között is.

Az öntözés és a betakarítási időpontok kerti kakukkfűre gyakorolt hatásait elemezte egy kétéves egyiptomi kísérlet (Said-Al Ahl et al, 2019) is. A legtöbb tanulmányhoz hasonlóan itt is bebizonyosodott, hogy gyakori öntözés mellett termelik a növények a legnagyobb biomasszát. Azonban a betakarítás idejét is figyelembe véve az látszik, hogy a két tényező között szoros kapcsolat áll fenn. A legnagyobb növényi hozamot rendszeres öntözés (4 naponként) és az első betakarítás adta (áprilisban). Ezután a további betakarítások során is a sűrűn öntözött növények szolgáltatták a legmagasabb biomassa produktumot, leszámítva a legutolsó (december) betakarítási időpontot. Ebben szerepet játszhat a hőmérséklet visszaesése és a fényviszonyok megváltozása is. A vízhiányos állapotot elszenvedő kakukkfű növények növekedése pedig erősen korlátozottá vált. Ezen tanulmány megfigyelései hozzájárulnak ahhoz, hogy az optimális mennyiségű növényi zöldtömeg és ezáltal illóolaj előállításához a szükséges öntözési és egyéb termesztési feltételeket az adott termőhelyen ki lehessen alakítani.

Szabó és munkatársai (2022) az öntözés szintjének és időzítésének hatásait vizsgálták többek között a kakukkfű morfológiai tulajdonságaira klímakamrában végzett kutatásuk során. Vizsgálatukban a kontroll csoport mellett (70%-os talaj-vízkapacitás) két csökkenő tendenciájú öntözést (70%-ról 40%-ra, egyik esetben folyamatos, másik esetben hirtelen csökkenéssel), és egy konstans vízhiányos állapotot (40%-os talaj-vízkapacitás) idéztek elő. Azt találták, hogy a növény magasságára és szélességére, valamint a hajtások számára nincs jelentős hatásuk a különböző vízhiányos állapotoknak, bár szárazság hatására csökkenő tendenciát tapasztaltak. Ezzel szemben az ízközök és a hajtások hossza nagymértékű visszaesést mutatott elégtelen vízellátás hatására, és itt a félidőben kezdett vízmegvonás az optimális és a tartósan száraz növények eredménye közé esett. Az ízköz hosszúság változásának és az öntözővíznek a kapcsolatát a 3. ábra is szemlélteti.

3.ábra: A különböző öntözési szintek hatása a kerti kakukkfű növények izközhosszára

Forrás: Szabó et al, 2022 nyomán



Megj.: C=kontroll (70%-os talaj-vízkapacitás); S1=enyhe vízhiány (70%->40%-os talaj-vízkapacitás); S2=hirtelen vízhiány (70%->40%-os talaj-vízkapacitás); S3=állandó vízhiány (40%-os talaj-vízkapacitás)

Ebből arra lehet következtetni, hogy jelentősége van annak is, a kakukkfű melyik fejlődési fázisában következik be a szárazság, és hogy az milyen mértékű. A növények a kiszáradás elleni védekezésül visszafogják növekedésüket, így csökkentve a párologtatási felületet és a tápanyag felhasználásukat. A tanulmány megállapításai szerint a kakukkfű jó adaptációs képességekkel rendelkezik, de száraz körülmények között időszakos öntözése szükséges, és mind a kijuttatott víz mennyisége, mind ennek az időzítése hatással van a növény produktivására. A szerzők hozzáfűzik, hogy ezt a megállapítást szabadföldi körülmények között is szükséges lesz igazolni, különböző korú növényekkel.

A jázmonsav egy olyan növényi hormon, amelynek fő feladata a növények növekedésének, illetve stresszre adott válaszainak szabályozása. Újabban számos kísérletet folytattak a jázmonsav, illetve ennek származéka, a metil-jazmonát elicitoraként való alkalmazására (Kandoudi et al., 2022). Ezen okból kifolyólag kezdték el vizsgálni vízhiánynak kitett kakukkfű esetében is, hogy a jázmonsav kezelés hogyan befolyásolja a növények különböző jellemzőit (Alavi-Samani et al, 2015). A kerti kakukkfű vízhiányos körülményekre növekedése redukálódásával válaszol. Alacsonyabb termet, kevesebb hajtás, kisebb tömegű szárazanyag. Ezek a megfigyelések egybevágnak számos más tanulmány eredményeivel, ami viszont újdonság, az a jázmonsav bevonása a vizsgálatokba. A növényekben ugyanis a megnövekedett jázmonsav-szint következtében a virágfejlődést és a gyökernövekedést szabályozó gének kifejeződése módosul, és ez számos jellemzőt pozitívan képes befolyásolni. A vízhiány és a jázmonsav együttes hatását vizsgálva látszik, hogy a legnagyobb szárazanyag tartalmat és hajtásszámot a legmagasabb koncentrációjú jázmonsav kezelés és a kontroll öntözés (nincs vízhiány)

mellett lehetett elérni. Csökkenő öntözés mellett pedig a kijuttatott jázmonsav javította az eredményeket, például a növény magasságát. Úgy gondolom érdemes lenne további vizsgálatokkal ellenőrizni a jázmonsav, az öntözés és egyéb befolyásoló környezeti tényezők együttes hatását szántóföldi körülmények között is, mindenesetre izgalmas lehetőségnek tűnik a stresszhatás csökkentésének ezen módja.

Vannak a jázmonsavon kívül egyéb elicitorként használt anyagok is, amelyek hatását érdemes lehet vizsgálni a témában. Amani Machiani és munkatársai (2023) például az arbuszkuláris mikorrhiza gomba készítménynek, illetve a kitozán nanorészecskéknek a kakukkfű morfológiai tulajdonságaira (növényi magasság, friss biomassa súlya és a szárított növényi részek tömege) gyakorolt hatását is vizsgálták vízhiányos körülmények között. Eddigi ismereteink szerint ennek a két készítménynek jótékony hatásai vannak a szárazságstressznek kitett növényekre, amellet, hogy 100%-ban természetes anyagok, így ökológiai természetben is alkalmazhatóak. Ezt az idézett tanulmány eredményei is alátámasztják. A vizsgálat során az öntözési szintek és a kijuttatott tápanyag-utánpótlás források különböző kombinációit alkalmazták. Az látható, hogy mindhárom vizsgált morfológiai paraméternél a legmagasabb értékeket a kontroll csoportban mérték (80%-os talaj-vízkapacitás mellett), a mikorrhiza gomba és a kitozán együttes alkalmazása mellett. Szárazságstressznek kitett növények esetében egyrészt csökkent a növényi magasság, a száraz növényi részek súlya és a friss biomassa tömege, kisebb talaj-vízkapacitás feltöltöttség esetén nagyobb mértékben. Ez egybevág számos más tanulmányban megfigyelttel. Emellett azonban azokban a parcellákban, ahol a növények mikorrhiza gomba és kitozán kezelést is kaptak, a mért eredmények javulást mutattak, a friss biomassa esetében ez ráadásul jelentős különbséget jelentett. A vizsgálat eredményeit a 3. táblázat foglalja össze:

3. táblázat: A kerti kakukkfű magassága, friss tömege, szárított tömege, illóolaj százaléka és tartalma különböző öntözési szintek és tápanyag-utánpótlás források mellett

Forrás: Amani Machiani et al, 2023 nyomán

Talaj-vízkapacitás	Kijuttatott huminsav (mg L ⁻¹)	Növény magasság (cm)	Friss tömeg (g m ⁻²)	Szártított tömeg (g m ⁻²)	Illóolaj százalék (%)	Illóolaj hozam (g m ⁻²)
80%	kontroll	20,95 bcd	1535,69 cd	480,12 cd	1,34 g	6,43 ef
	AMG	22,27 ab	1703,5 ab	536,05 ab	1,39 g	7,45 de
	KNR	21,58 bc	1632,5 ab	545,72 ab	1,39 g	7,58 de
	AMG+KNR	23,65 a	1806,53 a	570,4 a	1,58 f	9,01 abc
60%	kontroll	18,33 fg	1328,23 fg	434,02 d	1,75 de	7,58 de
	AMG	19,63 def	1457,56 ef	477,13 cd	1,99 ab	9,49 ab
	KNR	18,82 ef	1376,96 ef	450,27 cd	1,85 bcd	8,33 bcd
	AMG+KNR	20,15 cde	1510,44 cde	494,76 bc	2,03 a	10,04 a
40%	kontroll	15,96 h	1049,43 h	273,55 f	1,66 ef	4,54 h
	AMG	17,29 gh	1181,61 gh	317,6 f	1,83 cd	5,81 fg
	KNR	16,83 h	1135,52 h	302,24 f	1,67 ef	5,05 gh
	AMG+KNR	19,17 ef	1369,85 ef	380,35 e	1,95 abc	7,42 de

AMG= arbuszkuláris mikorrhiza gomba

KNR= kitozán nanorészecskék

Szintén az arbuszkuláris mikorrhiza gomba és a szárazságstressz kakukkfű növényekre gyakorolt hatásait vizsgálta Arpanahi és munkatársai is (2020). Az ő kutatási eredményeik is azt támasztják alá, hogy vízhiány hatására a hajtások és a gyökök esetében is a szárított növényi részek tömege lecsökken. Ez a negatív hatás azonban a mikorrhiza gomba készítmény használatával száraz körülmények között javítható. Ennek magyarázatát abban látják, hogy a készítménnyel kezelt növények több vizet és tápanyagot képesek felvenni a talajból, illetve a levelek fotoszintetikus aktivitása is fokozódik.

Ezek a megfigyelések azért fontosak, mert a várható csapadékhiány, illetve annak eloszlásbeli eltolódása miatt gyakoribb száraz periódusokkal szembenező termelők kezébe olyan eszközt ad, ami természetkárosító mellékhatások nélkül képes a növényi biomassza mennyiséget szinten tartani.

A putreszcin egy a növényekben gyakran előforduló poliamid, amelynek fontos szerepe van a stresszhatásokra adott válaszokban azáltal, hogy befolyásolni tudja például a fotoszintézist vagy az antioxidáns rendszert. Ezzel az anyaggal kapcsolatban végzett kutatást Abd Elbar és munkatársai (2019). Azt vizsgálták, hogy a kakukkfű növények leveleire kijuttatva az anyagot, az milyen hatást fejt ki vízhiányos körülmények között a növény növekedésére és egyéb morfológiai tulajdonságaira. A vizsgálatot üvegházi körülmények között végezték, cserepekben nevelt növényeken, két tenyésztési időszakban. A növényeket két különböző mértékű vízellátásnak tették ki (elegendő/erősen vízhiányos), tehát itt kontroll csoport nem volt. A putreszcin kezeléseket esetében már voltak kontroll növények, amelyek 0 mM mennyiségű kezelést kaptak, a másik két csoportban 0,1, illetve 0,2 mM putreszcin került kijuttatásra, kétszer a tenyésztési időszak során. A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy vízhiányos körülmények között a kakukkfű biomassza termelése szignifikánsan visszaesett a jól öntözött növényekhez képest. Ez megmutatkozik mind a friss, mind a szárított hajtás produktumban a 4. táblázat szerint (a két tenyésztési időszak adatait kombináltan elemezve). A friss biomassza és a szárított növényi részek tömege is jelentősen visszaesett fokozott vízhiány hatására, mind a hajtások, mind a gyökök esetében. Ami még megfigyelhető, hogy a putreszcin kezelés következtében a kakukkfű növények mind a jól, mind a kevésbé öntözött körülmények között nagyobb friss biomassza és szárított növényi rész tömeget állítottak elő, a magasabb koncentrációjú kezelés hatására a legtöbbet.

4.táblázat: A lombozatra kijuttatott 0,01 és 0,2 mM putreszcin hatása a hajtás és a gyökér friss, illetve szárított tömegére kerti kakukkfű növényeknél, 60 nappal a kiültetés után, két különböző öntözési szint mellett (a 2015-ös és a 2016-os évek kombinált elemzése)

Forrás: Abd Elbar et al, 2019 nyomán

Lombozatra kijuttatott hatóanyag	Elégséges öntözés mellett	Elégtelen öntözés mellett	Átlag	Elégséges öntözés mellett	Elégtelen öntözés mellett	Átlag
	Hajtás friss tömege (g. növény ⁻¹)			Hajtás száraz tömege (g. növény ⁻¹)		
kontroll	41,25 b	23,87 d	32,56 B	18,06 b	12,70 c	15,38 C
0,1 mM putreszcin	44,26 ab	27,06 cd	35,66 A	22,07 a	12,90 c	17,48 B
0,2 mM putreszcin	46,46 a	29,38 c	37,92 A	23,42 a	14,0 c	18,70 A
Átlag	43,98 A	26,77 B		21,18 A	13,20 B	
	Gyökér friss tömege (g. növény ⁻¹)			Gyökér száraz tömege (g. növény ⁻¹)		
kontroll	29,59 b	12,77 c	21,18 B	20,04 b	6,87 d	13,45 C
0,1 mM putreszcin	32,29 ab	14,23 c	23,26 A	20,16 b	9,28 c	14,72 B
0,2 mM putreszcin	32,64 a	15,52 c	24,08 A	21,46 a	9,55 c	15,51 A
Átlag	31,51 A	14,17 B		20,55 A	8,56 B	

Megítélésem szerint pozitívuma a bemutatott vizsgálatnak, hogy a hajtás/gyökér arány változását is figyelemmel kíséri. A kakukkfű növények a kísérletben a megnövekedett vízhiány hatására jelentősen megnövekedett hajtás/gyökér szárazanyag aránnyal reagáltak, amit az 5. táblázat szemléltet.

5.táblázat: A lombozatra kijuttatott 0,01 és 0,2 mM putreszcin hatása a hajtás/gyökér szárazanyag-tartalom arányára kerti kakukkfű növényeknél, 60 nappal a kiültetés után, két különböző öntözési szint mellett (a 2015-ös és a 2016-os évek kombinált elemzése)

Forrás: Abd Elbar et al, 2019 nyomán

Lombozatra kijuttatott hatóanyag	Hajtás/gyökér szárazanyag-tartalom arány		
	Elégséges öntözés mellett	Elégtelen öntözés mellett	Átlag
kontroll	0,90 d	1,86 a	1,38 A
0,1 mM putreszcin	1,10 c	1,39 b	1,25 B
0,2 mM putreszcin	1,09 c	1,47 b	1,28 B
Átlag	1,03 B	1,57 A	

Az már egy általánosan elfogadott tény, hogy a növények többféle stratégiát követnek a kedvezőtlen környezeti feltételek átvészelésére. A szerzők megállapítása szerint a kakukkfű szárazság hatására visszafogja a gyökérszete fejlődését, így korlátozza a fotoszintézis során előállított anyagok túlfogyasztását és biztosítja a megfelelő hajtásnövekedést. Az alkalmazott putreszcin kezelés a jól öntözött növényeknél némileg növelte, míg a szárazságstressznek kitett kakukkfű tövek a kezelésre csökkent hajtás/gyökér aránnyal reagáltak a kontroll növényekhez viszonyítva. Remélhetőleg a közeljövőben további kutatások látnak napvilágot a putreszcin szárazságstressznek kitett növényekre gyakorolt hatásairól, hiszen ez egy újabb lehetőség lenne a termesztők számára a kijuttatott vízmennyiség növelésének helyettesítésére és a gazdaságos termesztés fenntartására.

2.3.3. A vízhiány hatása a kakukkfű illóolaj tartalmára

A kerti kakukkfű drogtermesztése során az egyik legfontosabb tényező a megfelelő illóolaj tartalom és összetétel. Ez azonban több tényezőtől is függ. Egy már említett tanulmány (Aziz et al, 2008) egyik megállapítása, hogy a talajtípus és az öntözés gyakorisága mind befolyásolták a betakarított kakukkfű illóolaj százalékát és mennyiségét. A legmagasabb értékeket meszes talajon lehetett mérni, míg az illóolaj szint 10 naponkénti öntözés mellett volt a legmagasabb. Ugyancsak e körülmények biztosították az optimális illóolaj összetételt is, azaz a legmagasabb timol és karvakrol arányt. Általánosan ismert tény, hogy a hatóanyagok szintjét optimalizálhatjuk a talajtípus megválasztásával és az öntözés gyakoriságának beállításával, azonban számos egyéb befolyásoló tényezőt is számításba kell venni a termesztéskor, főleg az öntözéssel kapcsolatban. Így a témába vágó szakirodalmak összevetése problémákat okozhat, mivel azok a sok változó paraméter miatt nehezen összehasonlíthatóak, ezért a levonható következtetések is korlátozottak.

A vízhiány következtében bekövetkező változásokat több kísérlet nem szabadföldi, hanem jobban kontrollálható, mesterséges körülmények között vizsgálja. Németh-Zámbori és munkatársai (2016) kísérletükben azt vizsgálták, hogy különböző Lamiaceae fajok (köztük a kakukkfű) illóolaj tartalma és az illóolaj összetétele hogyan változik meg szárazságstressz hatására, ugyanis különböző fajok különbözőképpen reagálhatnak a vízhiányos állapotra eltérő felépítésüknek, származásuknak és fiziológiai tulajdonságaiknak köszönhetően. A kísérlet során a növényeket fedett termesztőberendezésben nevelték, ezáltal a természetes csapadék hatását ki lehetett küszöbölni, és a talaj vízfeltöltöttségi szintjét csak a kijuttatott öntözővíz befolyásolta. A szerzők azt tapasztalták, hogy a kerti kakukkfű illóolaj tartalma jelentősen csökkent a szárazabb (40 %-os talaj-vízkapacitású) körülmények között tartott növényekben a kontroll növényekhez képest (70 %-os talaj-vízkapacitás). Ennek magyarázata lehet, hogy vízhiány esetén a légcserenyílások záródnak, visszaesik a növények szén-dioxid felvétele, csökken a fotoszintetikus aktivitás és az illóolaj összetevők bioszintézise korlátozottá válik. Mindemellett a szárazságstressz gátolja az illóolajat tartalmazó mirigyszőrök kialakulását. Ami pedig az illóolaj összetételt illeti, a kakukkfű illóolajában a terpinén vegyületek (p-cimen, γ -terpinén) aránya megnövekedett a timol, karvakrol és egyéb sabinil típusú vegyületek kárára. A legnagyobb mennyiségben jelen levő összetevő, a timol kialakulása például gátoltta vált elégtelen vízellátottság mellett. Mindezekből látható, hogy a termesztés során alkalmazott optimális öntözési gyakoriság nem mindig azonos az előállítandó illóolaj mennyiségére és minőségére vonatkozóan, és az ideális szint megtalálásához mérlegelni kell. Az ehhez hasonló tanulmányok ebben segítséget nyújthatnak a termesztők számára.

Vízhiányos területeken különösen fontos az olyan növények termesztése, amelyek megfelelően képesek adaptálódni a szárazabb körülményekhez, és gazdaságosan termeszthetők. Khazaie (2008) és munkatársai fentebb is idézett tanulmányukban azt vizsgálták, hogy az öntözés gyakoriságának és az ültetési sűrűségnek milyen hatása van a kerti kakukkfű esetében az illóolaj-termelésére igen száraz körülmények között. A két éves vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a kerti kakukkfű illóolaj hozama ritka öntözés mellett a legalacsonyabb, bár a különbség csak az első évben volt jelentős. Megállapították, hogy az öntözések között eltelt idő egy bizonyos szintig nem okoz számottevő visszaesést az illóolaj előállításban, ez jelen kísérletben a 14 napos időintervallum. E fölött már némi csökkenés figyelhető meg. Az adatokból látszik tehát, hogy míg a biomassa a sűrűbb öntözés esetén szignifikánsan magasabb, addig az illóolaj felhalmozódási szintje (%) ezzel ellentétes. Az illóolaj hozamokat pedig jellemzően a kettő eredője határozza meg, ebben az esetben a hajtástömegnek van nagyobb szerepe. A 6.számú táblázat tartalmazza az ide vonatkozó számszaki adatokat.

6.táblázat: Az öntözési intervallumok hatása a kerti kakukkfű biomassa tömegére, illóolaj hozamára és az illóolaj felhalmozódásra

Forrás: Khazaie et al, 2008 nyomán

Öntözés gyakorisága (nap)	Biomassa (gm ²)		Illóolaj hozam (gm ²)		Illóolaj (%)	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
7	1156,0	1313,7	18,9	19,6	1,6	1,4
14	1157,0	1247,5	21,2	18,7	1,7	1,4
21	726,0	992,2	13,0	16,9	1,8	1,7

A 7. táblázat alapján az ültetési távolságot megfigyelve, a sűrűség növelése okoz egy kezdeti visszaesést az illóolaj tartalomban, ez azonban a következő évre eltűnik, mert az időközben sikeresen kifejlődött gyökérzet feltehetően korrigálta a különbséget. Mivel az előállítható illóolaj mennyiségére elsősorban a droghozam bír befolyásoló erővel, az illóolaj koncentráció változásának hatása kevésbé jelentős. Megállapítható emellett, hogy valamennyi tenyésztő terület esetében is elsődleges a zöldtömeg meghatározó szerepe az illóolaj hozamban. Az ehhez hasonló kísérletek azért lehetnek hasznosak, mert segítségükkel olyan módon lehet a termesztés technológia paramétereit módosítani, hogy a termesztés célja is megvalósuljon (illóolaj mennyiség és arány), és a költséghatékonyság is növekedjen.

7.táblázat: Az ültetési távolság hatása a kerti kakukkfű biomassa tömegére, illóolaj hozamára és az illóolaj felhalmozódásra

Forrás: Khazaie et al, 2008 nyomán

Sortávolság (cm)	Biomassa (gm ²)		Illóolaj hozam (gm ²)		Illóolaj (%)	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
20	1110,0	1217,2	20,9	20,6	1,8	1,6
25	1122,0	1212,0	20,3	17,9	1,8	1,4
30	850,6	1124,3	12,0	16,7	1,6	1,5

Az olyan abiotikus stresszfactorok mint a szárazság, a tápanyaghiány, a fénykárosodás és a klímaváltozás egyrészt külön-külön, másrészt együttesen is jelentős mértékben befolyásolják a másodlagos anyagcseretermékek, mint például a terpének kialakulását és felhalmozódását a növényekben. Sharafzadeh és Zare (2011) áttekintő tanulmánya több olyan kutatást ismertet, amiben a Lamiaceae családba tartozó gyógy- és aromanövények szárazságstresszre adott reakcióit vizsgálták. Több kísérlet eredményét is bemutatja, kakukkfű esetében Aziz (2008) és Khazaie (2008) vizsgálatait emelik ki, ezek korábban már itt is bemutatásra kerültek. Mind a hatóanyagok mennyiségi mind azok minőségi változásait figyelemmel kíséri a különböző szintű vízhiány mellett. Ezek ismeretében azt a konklúziót vonják le, hogy a szárazság, mint abiotikus stressz önmagában és más stresszfactorokkal együtt szinergista kapcsolatban is fontos kiváltója lehet többféle másodlagos anyagcseretermék kialakulásának és felhalmozódásának. Ezen másodlagos anyagcseretermékek pedig fontos hatóanyagai a Lamiaceae gyógynövényekből készült illóolajoknak, következésképpen alapvetően befolyásolják a drogtermesztés kimenetelét.

Sorkhi (2020) kísérletében vizsgálta többet között azt is, hogy kakukkfű esetében milyen hatással van az öntözés gyakorisága és a huminsav kijuttatása az illóolaj százalékra és a timoltartalomra. Azt találta, hogy a vizsgált kakukkfű növények illóolaj és timol tartalma a 9 naponkénti (ritka) öntözéssel és a magas huminsav adagolással érte el a legmagasabb szintet. Kakukkfű drogtermesztése során ezek elsődleges fontosságúak, ezért a tanulmányból származó megfigyelések hozzájárulnak a jövőbeni termesztés optimalizálásához a klímaváltozás tükrében is.

A vermikomposzt alkalmazásának hatását az illóolaj mennyiségére és összetevőire is vizsgálták Sharafi és munkatársai (2019) szárazságstresszel kombinálva. Megállapításaik szerint a vízhiányos állapotok visszavetették mind az illóolaj mennyiségét, mind az olyan komponensek jelenlétét az illóolajban, mint az alfa- és gamma-terpinén, a timol és a karvakrol, bár nem azonos mértékben. A kijuttatott vermikomposzt pedig növelte ugyanezen értékeket, szintén különböző mértékben. A tanulmány készítői ezen megfigyelésüket azzal magyarázzák, hogy a vermikomposzt alkalmazása hozzájárult a kakukkfű növények kiegyensúlyozottabb tápanyag felvételéhez, és javult a talaj vízmegtartási képessége is, következésképpen a jobb kondícióban lévő növények több hatóanyagot voltak képesek előállítani.

Said-Al Ahl és munkatársai (2019) vizsgálatukban az öntözés gyakoriságának és a betakarítás időpontjának a kakukkfű illóolaj tartalmára és az illóolaj százalékra gyakorolt hatását is figyelemmel kísérték, két éven keresztül. Az eredmények azt mutatták, hogy a legmagasabb illóolaj tartalmat a legritkább öntözési intervallum (16 nap) mellett sikerült elérniük. Ez egybevág számos más vizsgálati eredménnyel is, ami a kakukkfű megnövekedett illóolaj szintjéről számol be vízhiányos állapot esetén,

de szemben áll például a fent idézett vermikomposztos tanulmánnyal. A betakarítási idő is befolyásolta az illóolaj szintjét, a szerzők júniusban kapták a maximumot. A júniusi betakarítást követő vágási időpontokban pedig egyre csökken a kakukkfű illóolaj tartalma. Ebben közrejátszhat az is, hogy a kerti kakukkfű legtöbb illóolaját a virágos hajtásból lehet nyerni, ami jellemzően az év első felében elérhető. Ha külön elemezzük a timol, mint legfontosabb illóolaj összetevő szintjét, azt láthatjuk, hogy annak szintje a ritkább öntözés mellett mutatta a legmagasabb értéket. Mindezekből következik, hogy egyetlen olyan tényező is, mint a betakarítási időpontok megválasztása, komoly hatással van a termesztés kimenetelére. Ugyanakkor a tanulmányok összevetésének egy újabb nehézsége is kirajzolódik, hiszen a növény fejlődési fázisát, illetve az egyéb időjárási tényezőket nem ismerjük meg belőlük, vagy azok egészen eltérőek.

A kerti kakukkfűnek több kemotípusa is létezik, amelyeket alapvetően az illóolaj fő komponense alapján határoznak meg. Az Ibériai-félszigeten, a természetben található, kiválasztott kakukkfű növényeken végezték el azt az érdekes vizsgálatot, amely egy, az adott területre jellemző, speciális kemotípus (1,8-cineol) illóolaj összetételének változását elemezte szárazságstressz hatására (Llorens-Molina és Vacas, 2017). Azt találták, hogy vízhiányos időszak után gyűjtött mintákban jelentősen magasabb volt az 1,8-cineol aránya, a száraz körülmények ugyanis elősegítik a kialakulását. Az ehhez hasonló, nem mesterséges körülmények között végrehajtott kutatások fontos információkat hordoznak, amelyek segíthetik egyes hatóanyag összetevők mennyiségének fokozását a termesztés során. Természetesen mérlegelve azt is, hogyan hat a szárazság az illóolaj tartalomra.

Alavi-Samani és munkatársai (2015) a jázmonsav és az öntözés hatásait elemző, fent idézett tanulmányukban vizsgálták ezen tényezők hatását együtt és külön-külön is az illóolaj tartalomra és összetételre is. Ami az illóolaj tartalmat illeti, azt találták, hogy az akkor a legmagasabb, ha enyhe szárazságstressznek kitett növényekből tudták kinyerni, ami egy már sokak által megállapított megfigyelés. A jázmonsavval kezelt kakukkfű növények illóolaj tartalma viszont csökkent. A két kezelés együttes hatását elemezve azonban nem mutatkozott jelentős eltérés. A legmagasabb illóolaj hozamot a kerti kakukkfű a kontroll öntözés és az alacsonyabb dóziszú jázmonsav kezelés mellett mutatta. Ami az illóolaj összetételt illeti, itt már érdekesebb eredmények születtek. A jázmonsavval kezelt kakukkfű növények lényegesen több timolt és karvakrolt tartalmaztak, a γ -terpinén szintje viszont lecsökkent. A szárazságstresszre pedig a növények a timoltartalom csökkenésével és számos egyéb hatóanyag megnövekedett szintjével reagáltak. A két kezelés hatását együttesen vizsgálva azt a következtetést lehetett levonni, hogy enyhe szárazság esetén közepes dóziszú jázmonsav kijuttatása bizonyos mértékben ellensúlyozza a stresszhatást, és növeli az illóolaj timol és karvakrol tartalmát. Elképzelhető, hogy a jövőben a jázmonát kezelés is az egyik eszköze lesz a termesztőknek az illóolaj összetétel befolyásolásában és a vízhiány negatív hatásainak kiküszöbölésében.

Amani Machiani és munkatársai (2023) érdekes, igen száraz terepen végzett kísérletében az arbuszkuláris mikorrhiza gomba készítmény, illetve kitozán elicitorok különböző kombinációit alkalmazták változó öntözési szintekkel. Ennek során megfigyelték, hogy a maximális illóolaj tartalom a közepes vízhiány (60%-os talaj-vízkapacitás) és kombinált kitozán+mikorrhiza gomba kijuttatás mellett jelentkezett. Az illóolaj összetételének elemzése során a legmagasabb timol és γ -terpinén százalék szintén a közepes szárazságstressznek kitett növények és a kombinált kitozán+mikorrhiza gomba kezelés esetén volt megfigyelhető. Ezzel szemben a karvakrol és a p-cimen hatóanyagok szintje a nagyobb vízhiány mellett (40%-is talaj-vízkapacitás) és szintén a kombinált kezelés révén volt a legnagyobb. Hasonló eredményre jutott Arpanahi és munkatársai is (2020), akik szintén a vízhiány és a mikorrhiza gomba kezelés együttes hatásait vizsgálták kerti kakukkfű növényeken. Ők is megfigyelték, hogy a fokozódó szárazság hatására az illóolaj tartalom lecsökken, azonban az arbuszkuláris mikorrhiza gomba alkalmazása ezt a negatív hatást képes ellensúlyozni és fokozni a kinyerhető illóolaj mennyiségét. Ezt azzal indokolják, hogy a mikorrhiza gombák támogatásával a növények több vízhez és tápanyaghoz tudnak hozzáférni. Ezen megfigyelésekből arra lehet következtetni, hogy szárazabb területeken, mérsékelt öntözés mellett is lehet kielégítő hatóanyag-tartalmú kakukkfű illóolajat előállítani speciális elicitor készítmények kijuttatásával. A klímaváltozás tükrében nem csak a visszafogottabb öntözővíz felhasználás, de a fenntartható és környezetbarát megoldások is nagyon fontosak, és ezen tanulmány is hozzájárul az ezzel kapcsolatos ismeretek bővüléséhez.

Az Abd Elbar és munkatársai (2019) által, a putreszcin kijuttatás hatását vizsgáló kísérletükben figyelemmel kísérték az illóolaj tartalom változását is a kezelések és a szárazságstressz hatására. Megállapították, hogy a kakukkfű illóolaj tartalma szárazságstressz hatására megnő, ami egybevág több hasonló vizsgálat eredményeivel. Ha ehhez hozzávesszük a putreszcin kezelés következményeit is, az látszik, hogy ez az elicitor elsősorban a jobb vízellátás mellett tud lényeges emelkedést elérni a hatóanyag-szintben, míg a szárazságstressz önmagában is fellépő stimuláló hatását csak kevéssel tudja még emelni. Az ide vonatkozó vizsgálati eredményeket a 8. táblázat szemlélteti. Úgy gondolom hasznos lenne további vizsgálatok segítségével megtalálni azt a hatóanyag szintet, amely mellett maximalizálni lehet az illóolajhozamot a nélkül, hogy káros mellékhatások jelentkeznenek.

8.táblázat: A lombozatra kijuttatott 0,01 és 0,2 mM putreszcin hatása az illóolaj %-ra kerti kakukkfű növényeknél, 60 nappal a kiültetés után, két különböző öntözési szint mellett (a 2015-ös és a 2016-os évek kombinált elemzése)

Forrás: Abd Elbar et al, 2019 nyomán

Lombozatra kijuttatott hatóanyag	Illóolaj %		
	Elégséges öntözés mellett	Elégtelen öntözés mellett	Átlag
kontroll	0,229 c	0,321 b	0,275 C
0,1 mM putreszcin	0,289 b	0,368 a	0,328 B
0,2 mM putreszcin	0,367 a	0,38 a	0,374 A
Átlag	0,295 B	0,356 A	

A nemesítési munka következtében a kerti kakukkfűnek már számos fajtája létezik, amelyek eltérő tulajdonságokkal rendelkezhetnek például a szárazságtűrés és a stresszválaszok terén. Ezzel kapcsolatban folytattak kutatásokat Mahdavi és munkatársai (2020). Azt vizsgálták, hogy a *Thymus vulgaris* két elterjedt fajtája, a 'Wagner', amit egy érzékenyebb, és a 'Varico3', amit pedig egy ellenállóbb fajtának tartanak, hogyan reagál az elhúzódó vízhiány okozta stresszre, és hogy ennek milyen következményei alakulnak ki az illóolaj összetételre. A vizsgálat során bebizonyosodott, hogy valóban különbözőképpen reagál a két fajta a szárazságstresszre. A 'Wagner' esetében az illóolaj szinte minden komponensének felhalmozódása már a kezdeti szárazságstressz hatására fokozódott, majd hosszabb távon lecsökkent, míg a 'Varico3' esetében a különböző komponensek eltérően reagáltak a vízhiányos állapotra, a timol felhalmozódás például kezdetben növekvő majd enyhén csökkenő tendenciát mutatott, a γ -terpinén viszont későbbi stádiumban mutatta a legmagasabb felhalmozódási szintet, és ez után kezdett el lassan csökkenni. Ez is azt támasztja alá, hogy a különböző fajtájú kakukkfű növények eltérő adaptációs képességekkel rendelkeznek amíg egy szárazságra érzékenyebb növény megpróbál a rendelkezésére álló vízkészlettel takarékosan bánni és akár a növekedését is visszafogni, addig a szárazságtűrőbb fajta a fejlődés fenntartása mellett beindítja a stresszválasz mechanizmusokat. A tanulmány felhívja a figyelmet arra, hogy a fajtaválasztásnak is nagyon komoly szerepe van a termesztésben, és fontos, hogy a környezeti adottságokat is figyelembe vegyünk, amikor egy adott fajta vagy fajták mellett döntünk. Azonban a vizsgálat 30 napos időtartamát nagyon rövidnek tartom, ennél sokkal hosszabb megfigyelési periódusra lenne szükség, hogy jól megalapozott termesztői döntéseket lehessen hozni.

2.3.4. A vízhiány hatása a kakukkfű fenoltartalmára

A Lamiaceae fajok, s köztük a kakukkfű elsődleges aromakomponensei, az illóolaj összetevők mellett értékes másodlagos anyagcsereterméke a fenoloidok csoportja, köztük a kávésav származékok és flavonoid-glikozidok is. Ezek alapvetően a drog antioxidáns, antimikrobiális, összehúzó, gyulladáscsökkentő, immunerősítő hatásaihoz járulhatnak hozzá. A vízellátás és a fenoloidok összefüggését érintő tanulmányok száma ennek ellenére egyelőre alatta marad az illóolaj komponensekre vonatkozó közleményeknek.

Németh-Zámbori és munkatársai (2017) tanulmányukban azt is ismertették, hogy kísérletük eredményeképpen a kakukkfűben az összes fenoltartalom, ezen belül a rozmaringsav felhalmozódás, valamint az antioxidáns aktivitás emelkedett a szárazabb körülmények hatására a 9. táblázat szerint, ami arra utal, hogy bár a kakukkfű szárazságtűrő fajként ismert, a vízhiány stresszként jelentkezhet a növényben is. Amennyiben a biomassa termelés nem esik vissza, a gazdaságosságot nem befolyásolja számottevően, az enyhe stressz a termelők és felhasználók szempontjából pozitív is lehet, hiszen a drog minőségét javítja. Egy érdekes eredmény a fenti tanulmányban továbbá, hogy külön került értékelésre a hajtások és a gyökérszövet fenolos komponenseinek felhalmozódása, hiszen ezeknek eltérő szerepe lehet a stresszvédelemben. A szerzők megállapították, hogy a fenoltartalom bizonyos ajakos fajokban (például a kakukkfűben is) megegyező mértékben halmozódik fel a hajtásokban és a gyökerekben, más fajknál viszont eltérő arányban. Az ilyen kutatások értékes információt adhatnak a növény alkalmazkodóképességéről, közvetlenül a drogminőséget azonban nem érintik, hiszen –jelenleg– a kakukkfű gyökerét droggént nem használjuk.

9.táblázat: A kontroll és a stressznek kitett kerti kakukkfű növények jellemzői

Forrás: Németh-Zámbori et al, 2017 nyomán

Paraméter	Hajtás		Gyökér	
	Kontroll	Stresszhatásnak kitett	Kontroll	Stresszhatásnak kitett
Friss biomassa (g.növény ⁻¹)	40,4	12,0	19,6	6,4
Összes fenoltartalom (mg GSE*g ⁻¹ sz.a.)	266,31	317,545	249,19	199,33
Rozmaringsav (% sz.a.)	1,785	3,450	0,211	0,473
Antioxidáns kapacitás PVRK (mg ASE*g ⁻¹ sz.a.)	179,36	226,229	123,99	177,17
Antioxidáns kapacitás DPPH (IC ₅₀)	1,252	0,927	0,969	1,160

GSE=galluszsav ekvivalens

sz.a.=száraz anyag

PVRK=plazma vasredukáló képessége

ASE=aszorbinsav ekvivalens

DPPH=1,1-difenil-2-pikrilhidrazil

Egy másik, hazánkban végzett klímakamrás vizsgálat során (Németh-Zámbori et al., 2015) szintén azt állapították meg, hogy szárazságban a kakukkfű növények hajtásainak teljes fenol tartalma megemelkedett, méghozzá a legnagyobb vízhiánynak kitett csoportban a legnagyobb mértékben (25%-os talaj-vízkapacitás mellett). Ez utalhat a kakukkfű jó adaptációs képességeire száraz körülmények között. Ezzel szemben azonban a gyökerek fenoltartalma éppen, hogy a kontrollcsoportban volt a megmagasabb, tehát a gyökerek fenoltartalmára a vízhiány negatív hatással volt. Ennek azonban a drogtermesztés szempontjából, mivel a drogot a föld feletti részekből nyerik, egyelőre nincs különösebb jelentősége. A rozmaringsav tartalomra és a flavonoid tartalomra viszont nem gyakoroltak szignifikáns hatást a kezelések. Az antioxidáns kapacitás pedig a megfigyelések szerint a teljes fenol tartalom változásait követi le.

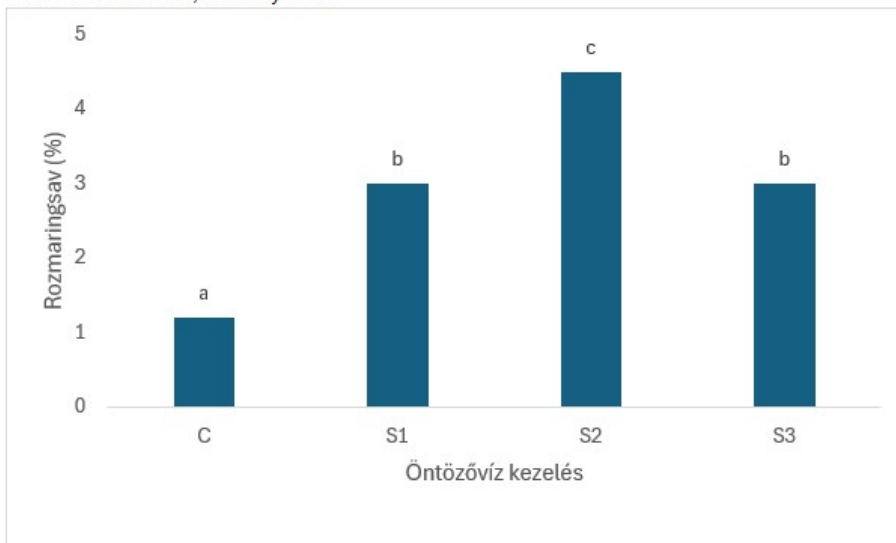
Aziz és munkatársai (2008) a talajtípusnak és az öntözés gyakoriságának a fenoltartalomra gyakorolt hatását is vizsgálták kísérletükben. Mivel a legmagasabb relatív fenoltartalom 10 naponkénti öntözés mellett jelentkezett, ez azt is jelenti, hogy ezáltal jelentős vízmegtakarítás is elérhetővé válhat. A tanulmány eredményeinek felhasználásával és további vizsgálatokkal lehetőség nyílik a kakukkfű termesztéstechnológiáját hozzáigazítani a klímaváltozás várható hatásaihoz.

Az öntözés gyakoriságának és a huminsav alkalmazásának a fenoltartalomra gyakorolt hatását Sorkhi (2020) is vizsgálta tanulmányában. A kakukkfű növények fenoltartalma (és az antioxidáns aktivitása is) a legritkább öntözés és a legmagasabb huminsav adagolás mellett volt megfigyelhető. A stresszt átélő növények ezen reakciója egy pozitívum a drogtermesztés során, így a huminsav alkalmazása nem csak a kisebb öntözővíz szükséglethez járul hozzá, hanem a drogminőséget is javítja.

Szabó és munkatársai (2022) kísérletében vizsgálta az öntözés szintjének és időzítésének hatásait a kakukkfű rozmaringsav- tartalmára és teljes fenoltartalmára is. A legtöbb rozmaringsavat azok a növények halmozták fel, amelyek a hirtelen bekövetkező közepes vízhiánnyal néztek szembe, a legkevesebbet pedig a kontroll növények (rendszeresen öntözött), ezt a megfigyelést a 4. ábra szemlélteti. A szerző megállapította, hogy egy hosszabb szárazabb periódus segíti elő leginkább a rozmaringsav felhalmozódást. Hasonló eredménnyel zárult a teljes fenoltartalom vizsgálata is, ami szintén tartós szárazság hatására mutatta a legnagyobb felhalmozódást, ezt mutatja be az 5. ábra. Így elmondható, hogy a rozmaringsavra és a fenoltartalomra is ugyanúgy hatással van nem csak az öntözések mértéke, de a víz kijuttatásának időpontja is.

4.ábra: A különböző öntözési szintek hatása a kerti kakukkfű szárított és porított leveleinek rozmaringsav tartalmára

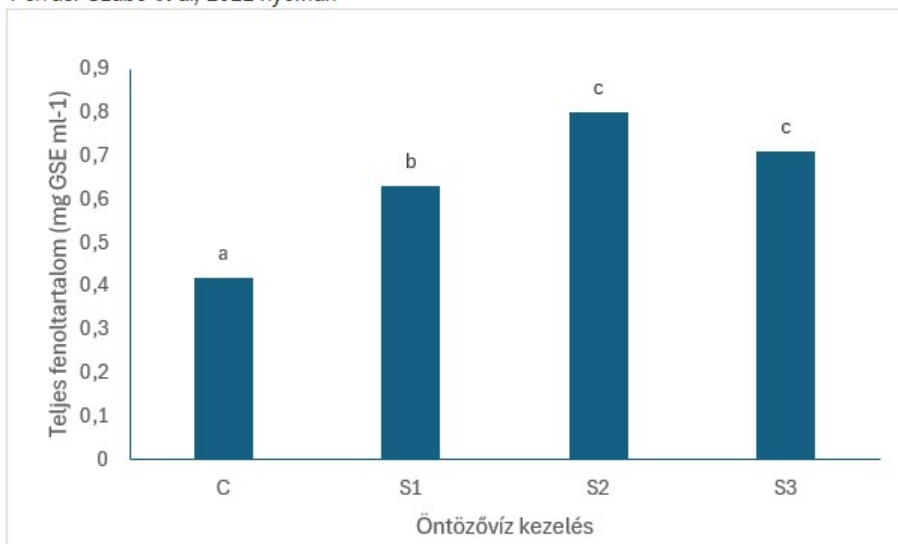
Forrás: Szabó et al, 2022 nyomán



Megj.: C=kontroll (70%-os talaj-vizkapacitás); S1=enyhe vízhiány (70%->40%-os talaj-vizkapacitás); S2=hirtelen vízhiány (70%->40%-os talaj-vizkapacitás); S3=állandó vízhiány (40%-os talaj-vizkapacitás)

5.ábra: A különböző öntözési szintek hatása a kerti kakukkfű szárított és porított leveleinek teljes fenoltartalmára

Forrás: Szabó et al, 2022 nyomán



Megj.: C=kontroll (70%-os talaj-vizkapacitás); S1=enyhe vízhiány (70%->40%-os talaj-vizkapacitás); S2=hirtelen vízhiány (70%->40%-os talaj-vizkapacitás); S3=állandó vízhiány (40%-os talaj-vizkapacitás)

GSE=galluszsav ekvivalens

A fentiekhez hasonló megállapításokra jutottak Trócsányi és munkatársai is (2015) tenyészedényes kísérletük során. Azt vizsgálták, hogy a kerti kakukkfű különböző genotípusai esetében hogyan változik a rozmaringsav felhalmozódás és a rozmaringsav-szintáz gén expressziója öntözés, illetve vízhiány hatására. Vizsgálatuk eredményeképpen megállapították, hogy átlagosan 50-60%-kal magasabb rozmaringsav tartalmat lehet mérni szárazságot követően, illetve, hogy a különböző kemotípusok sem egyformán reagálnak a vízhiányra. Igazolták, hogy az emelkedett rozmaringsav tartalom hátterében a szintézisét irányító gén fokozott működése áll. Ez a vizsgálat segítheti a jövőbeni termesztendő fajták kiválasztását, illetve fejlesztését annak érdekében, hogy szárazabb körülmények között, kevesebb öntözéssel is megfelelő hatóanyag szintet lehessen elérni.

3. Következtetések (eredmények megvitatása)

Szinte az összes áttekintett vizsgálat megállapította, hogy a szárazságstressz negatív hatással van a kakukkfű föld feletti részeinek növekedésére, mind a biomassza, mind a szárított drog, mind az egyéb vizsgált morfológiai jellemzők vonatkozásában. Ez a megfigyelés szabadföldi és klímakamrás/üvegházi körülmények között is hasonló volt, függetlenül attól, hogy a világ mely részén végezték az adott kísérletet. Némileg ellentmondó eredménnyel zárult azonban egy klímakamrás kísérlet (Németh-Zámbori et al., 2015), ahol a szárazságstressznek kitett kakukkfű növények biomassza termelése ugyan kissé lecsökkent, de összességében a faj toleranciát mutatott a szárazsággal szemben, és a morfológiai tulajdonságokban sem történtek jelentős változások. Illetve egy másik vizsgálat pedig, amely az öntözés gyakoriságának és az ültetés sűrűségének hatásait vizsgálta, arra az eredményre jutott, hogy ugyan a legritkább öntözési intervallum (21 nap) mellett a biomassza produktum visszaesik, de a 7 és a 14 napos öntözési forduló között nem mutatkozott lényeges különbség benne (Khazaie et al, 2008). Mindezek arra utalnak, hogy a szárazság időtartama igen jelentős hatással bír.

A szárazságstressz hatásával a kakukkfű gyökérfejlődésére már lényegesen kevesebb tanulmány foglalkozik, mint a föld feletti részekkel. Ez részben érthető, hiszen a gyökér nem szolgáltat drogot, viszont ez a szerv a növény elsődleges víz- és tápanyag felvevő közege, ezért véleményem szerint hasznos lenne a jövőben több figyelmet fordítani erre. Továbbá több az egymásnak ellentmondó eredmény is a kakukkfű gyökérfejlődésére vonatkozóan. Németh-Zámbori és munkatársai (2017) megfigyelései szerint a szárazságstressznek kitett növényeknél a gyökér/hajtástömeg aránya nagyobb volt a kontroll növényekhez viszonyítva, vagyis a kakukkfű vízhiány esetén nagyobb gyökérzetet fejlesztett. Akhzari és Kaviani (2021) kísérletében az alacsony talaj-víztartalom mellett a gyökerek szintén hosszabbak és nagyobb tömegűek lettek, vagyis itt is a fejlettebb gyökérzetet igyekszik a kakukkfű növény a szükséges víz és tápanyag hozzáférést biztosítani magának. Babaee és munkatársai (2010), illetve Abd Elbar és munkatársai (2019) ezzel szemben azt figyelték meg, hogy szárazságstressz hatására csökken a gyökerek hossza és a szárított tömege is. Az ellentmondások magyarázhatók egyrészt a feltehetően különböző közegekkel, talajjal, másrészt a növények kora és a fentiekhez hasonlóan a szárazság időtartama is szerepet játszhatott.

A kerti kakukkfű drogtermesztése során az egyik leglényegesebb a megfelelő illóolaj tartalom és összetétel, ami számos tényező függvénye, köztük a megfelelő vagy éppen a hiányos vízellátásé. Az áttekintett tanulmányok között voltak olyanok, amelyek a kakukkfű illóolaj tartalmának megemelkedéséről számoltak be szárazságstressz hatására, mint például Aziz és munkatársai (2008), Sorkhi (2020), Said-Al Ahl és munkatársai (2019), Alavi-Samani és munkatársai (2015), Amani Machiani et al, (2023), Abd Elbar és munkatársai (2019). Más vizsgálatok ezzel szemben a kakukkfű csökkenő

illóolaj tartalmát figyelték meg vízhiány hatására (Németh-Zámbori és munkatársai (2016), Khazaie és munkatársai (2008), Sharafi és munkatársai (2019). A kakukkfű illóolajának legfontosabb összetevője a timol, ezért ezen komponens számos vizsgálatban kiemelt figyelmet kapott. A timol felhalmozódására is hatással van a vízhiány, több kísérlet megemelkedett timol arányról számol be szárazságstressz hatására (Aziz és munkatársai (2008), Sorkhi (2020), Said-Al Ahl és munkatársai (2019), Amani Machiani et al, (2023). Volt azonban olyan vizsgálat is, ahol vízhiányos körülmények között a terpinén vegyületek arányának megemelkedéséről számoltak be a timol típusú vegyületek kárára (Németh-Zámbori és munkatársai (2016)), illetve Sharafi és munkatársai (2019) és Alavi-Samani és munkatársai (2015) is azt tapasztalták, hogy a szárazság visszavetette a timol mennyiségét az illóolajban. Mahdavi és munkatársai (2020) pedig, akik két különböző kakukkfű fajta hatóanyag tartalmát vizsgálták, azt állapították meg, hogy a 'Wagner' esetében az illóolaj legtöbb komponensének felhalmozódása már a kezdeti szárazságstressz hatására fokozódott, majd hosszabb távon lecsökkent, míg a 'Varico3' esetében a timol felhalmozódás például kezdetben növekvő majd enyhén csökkenő tendenciát mutatott. Így az illó komponensek összetételében sem lehet egyértelmű tendenciát megállapítani. A változások hátterében a vízhiány mellett a szervi arányok változása, a fejlődési fázis vagy a genotípus is állhat.

A kakukkfű illóolajának összetevői mellett a fenoloidok, mint másodlagos anyagcseretermékek is a növény pozitív élettani hatásaihoz járulnak hozzá. A vízellátással való kapcsolata ennek ellenére sajnos egy eddig kevésbé kutatott területe a tudományos életnek, ezért csak korlátozott számban találtam a témába vágó tanulmányt. Idővel remélhetőleg több figyelmet fog kapni ez a terület is. Az ide kapcsolódó vizsgálatok eredményei mind azt mutatják, hogy a fenolos vegyületek (ideértve a rozmaringsavat) és az antioxidáns aktivitás száraz körülmények hatására megemelkedik a hajtásokban, mivel a kakukkfű növények számára ez a vízhiány stresszes állapotot idéz elő. Szabó és munkatársai (2022) tanulmányukban vizsgálták azt is, hogy az öntözés szintjei mellett a vízkijuttatás időzítésének milyen hatásai mutatkoznak. A legmagasabb rozmaringsav és fenoltartalom felhalmozás a hirtelen bekövetkező közepes vízhiány esetében volt megfigyelhető, a legalacsonyabb pedig a jól öntözött növényeknél, ami arra utalhat, hogy egy hosszabb száraz időszak járulhat hozzá az emelkedett rozmaringsav-felhalmozódáshoz.

Számos olyan tanulmányt tekintettem át, amelyek különböző tápanyagok és egyéb serkentő, elicitor anyagok kijuttatásának hatását vizsgálták a szárazságstressznek kitett kakukkfű növényekre. Ilyen volt a huminsav, a vermikomposzt, a jázmonsav, az arbuszkuláris mikorrhiza gomba készítménynek, illetve a kitozán nanorészecskék, továbbá a putreszcín. Ezen anyagok a vizsgálatok alapján javítják a növények kondícióját, tápanyagfelvételét és ezáltal várható hozamát, illóolaj mennyiségét és összetételét

anélkül, hogy természetkárosító mellékhatásai is lennének. Emellett a termesztést is gazdaságosabbá és fenntarthatóbbá tehetik, hiszen alkalmazásukkal kevesebb öntözésre van szükség, illetve a drog minőségére is némi hatást tudunk gyakorolni. Fontosnak tartanám ezen tápanyagokkal kapcsolatos vizsgálatok folytatását és kiterjesztését, illetve amennyiben lenne olyan termesztő, aki a gyakorlatban is alkalmazná őket, az erről szóló tapasztalatokat is egy tanulmányban összefoglalni. Természetesen a kondicionáló vegyületek alkalmazásának pénzügyi vonzatait is érdemes vizsgálni.

A kakukkfűvet, mint szárazságtűrő növényt ismerjük, azonban a fenti vizsgálati eredményekből látható, hogy a számára optimális körülmények biztosítása mellett fejlődik kielégítően és szolgáltató elegendő zöldtömeget a drog előállításához. A szárazságstressz hatására ez a biomassa produkció visszaesik, és ugyan az illóolaj és hatóanyag felhalmozódás fokozódhat ilyen esetben, ez az áttekintett tanulmányok alapján ritkán egyenlítené ki a visszaesés negatív hatását. Hiszen a fejletlenebb, kisebb növényekből sokkal több kell ugyanannyi illóolaj előállításához. Ezt minden esetben mérlegelnie kell a termelőnek a termelési cél meghatározásakor. Emellett az sem mindegy, hogy milyen a növény kora, a geno- és kemotípusa, fajtája, mely fejlődési fázisban következett be a szárazságstressz és az milyen mértékű és milyen hosszú ideig tart, milyen a növény adaptációs képessége és stratégiája, milyen a termesztési környezet, és még számos olyan tényező van, amelyek mind befolyásolják a termesztés eredményességét. Azt fontos dolognak tartom, hogy az ezekhez hasonló tanulmányokból mégis rengeteg hasznos alapinformációt kaphatnak a termesztők, amelyeket felhasználásával gazdaságosabbá és környezettudatosabbá tehetik tevékenységüket.

A megvizsgált tanulmányok összehasonlítása meglehetősen nehéz feladat volt, kevés az olyan eset, ahol a vizsgálati paraméterek teljesen megegyeznének. A változók között szerepelnek az öntözési gyakoriságok és a kijuttatott víz mennyisége, az adott terület környezeti feltételei (például az éghajlat, a vizsgált időszak időjárása, a talaj adottságai, léghőmérséklet és páratartalom, szélmozgás), a vizsgált genotípus, a növény kora és fejlődési fázisa, az alkalmazott kiegészítő kezelés, stb. Ezen tényezők mind befolyásolják a kutatási eredményeket, ezért úgy gondolom, a levonható következtetéseket is a megfelelő rugalmassággal kell kezelni. Illetve hasznosnak gondolnám az ígéretesnek tűnő vizsgálatokat megismételni más körülmények között is, ezáltal növelve a termelés során később hasznosítható információk mennyiségét, megbízhatóságát. Erre a változó éghajlat miatt nagy szüksége lesz a termelőknek, hogy gazdaságosan és a környezet védelmére is tekintettel tudják végezni tevékenységüket. Ebbe beleértem az optimális vízgazdálkodást és a megfelelő öntözési módszer kiválasztását, a tápanyag-utánpótlást, a környezeti feltételeknek és a termesztési célnak megfelelő fajta választását, az ültetés módját, a betakarítás idejének megválasztását, és így tovább.

4. Összefoglalás

A klímaváltozás mára az emberiség egyik legnagyobb megoldandó problémájává nőtte ki magát. Hatással van és lesz is a bolygón élő szinte minden faj sorsára. A várható hatások megismerése, kezelése, mérséklése és az adaptálódás lehetőségeinek felmérése és kihasználása jelenleg az egyik fő feladatunk. Dolgozatom témája az éghajlatváltozás következményei közül a változó mennyiségű és eloszlású csapadék miatt várható szárazság hatásaival foglalkozó szakirodalmi források áttekintése és értékelése a kerti kakukkfű (*Thymus vulgaris* L.) faj vonatkozásában. Hiszen a víz minden földi élet alapja, számos fontos funkciója van a növények életfolyamataiban. Vízhány hatására változások sora indulhat el bennük, mint a fokozott vízfelvétel vagy a párologtatás csökkentése, de drasztikus esetben a szárazság a növények kiszáradását is okozhatja. Szabadföldi növénytermesztés is csak olyan helyen lehetséges, ahol kielégítő mennyiségű és eloszlású csapadékra lehet számítani, ennek hiányában öntözés válik szükségessé. A Kárpát-medencében a várakozások szerint a csapadékos napok száma csökkenni, a csapadékinzintitás pedig nőni fog (Hufnagel és Sipkay, 2010), továbbá a csapadék eloszlása is valószínűnek látszik, hogy el fog tolódni (Pannon Egyetem, 2015). Ez természetesen kihat a termesztés gazdaságosságára is, mivel befolyásolja a növényi produktum mennyiségét és minőségét. A kerti kakukkfű jellemzően szárazságtűrőnek tartott, mediterrán növényfaj, de a klímaváltozás hatásai alól várhatóan nem fogja tudni kivonni magát.

Gyógy- és aromanövényeink termesztésekor elsődleges szempont a megfelelő minőségű és mennyiségű hatóanyag, illetve hatóanyag-együttes létrehozása. Az optimálistól eltérő vízellátás befolyásolja ezen biológiailag aktív vegyületek és vegyületcsoportok felhalmozódását, illetve a növény növekedését, amelyek mind hatással vannak az előállítható hatóanyagok tulajdonságaira. Ezért vizsgáltam az elmúlt évek tanulmányai alapján az elégtelen vízellátás okozta stressznek a kerti kakukkfű morfológiai jellemzőire, az illóolaj mennyiségére és legfontosabb komponenseire, illetve a fenolos vegyületeire gyakorolt hatásait. A vizsgálatok abban nagyrészt egyetértettek, hogy a szárazságstressz negatív hatással van a kakukkfű föld feletti részeinek növekedésére, mind a biomassza, mind a szárított drog, mind az egyéb vizsgált morfológiai jellemzők vonatkozásában. Ami a föld alatti részt illeti, erre vonatkozóan már kevesebb és több ellentmondást tartalmazó a hozzáférhető tudásanyag, egyes tanulmányok fokozott gyökérfejlődésről számolnak be szárazság hatására, máshol viszont száraz körülmények között rövidebbek lettek a gyökerek. A szárazságstressz hatással volt a kakukkfű növények illóolaj tartalmára és összetételére is, azonban egyes kísérletek emelkedett, míg mások csökkent illóolaj mennyiségről és timoltartalomról számoltak be.

A tanulmányok vizsgálati eredményeinek összehasonlítása igen nehéz feladat volt, hiszen nagyon kevés közöttük a megegyező paraméter és a sok változó mind hatással volt az elért eredményekre (mint például a kísérlet helye és környezeti körülményei, a növények kora, fajtája, fejlődési fázisa, a szárazság mértéke és tartóssága). A kakukkfű fenoltartalmának változása vízhiányos körülmények között pedig egy eddig kevésbé kutatott területnek bizonyult, de az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a fenolos vegyületek és az antioxidáns aktivitás növekedést mutat szárazságstressz hatására. Mindezekből véleményem szerint levonható az a következtetés, hogy annak ellenére, hogy a kakukkfűvet szárazságtűrő növényként tartjuk számon, megfelelő fejlődésére akkor számíthatunk, ha biztosítjuk számára az optimális termesztési körülményeket. Így kapunk megfelelő mennyiségű és minőségű drogot a folyamat végén. Szárazságstressz hatására ugyan megnövekedhet a növényben az illóolaj és a hatóanyag felhalmozódása, azonban az erősen lecsökkent biomassza hatására összességében kevesebb drogot kapunk. A termesztési cél meghatározásakor ez egy fontos döntési pont.

A kapcsolódó tanulmányok áttekintése során számos olyan vizsgálatot találtam, ahol valamilyen tápanyag kijuttatásának és a szárazságstressznek az együttes hatását is vizsgálták kakukkfű növényeknél. Ilyen volt a huminsav, a vermikomposzt, a jázmonsav, az arbuszkuláris mikorrhiza gomba készítménynek, illetve a kitozán nanorészecskék, továbbá a putreszcin. A legtöbb ilyen kondicionáló anyag pozitív hatással volt a növények általános állapotára és tápanyagfelvételére, ezáltal javult a stressz hatására egyébként csökkenést mutató biomassza mennyiség, illetve illóolaj tartalom és összetétel. Hasznos lenne az ilyen típusú vizsgálatokat folytatni és kiterjeszteni, hiszen természetkárosító mellékhatások nélkül lehet a termesztés gazdaságosságát és magát a drog mennyiséget és minőséget javítani.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel elsősorban Zámboriné dr. Németh Évának tartozom a szakdolgozat készítés során tőle kapott iránymutatásért és hathatós segítségéért, illetve családomnak a biztatásért és támogatásért. Köszönöm.

6. Irodalomjegyzék

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: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.10.001>

Akhzari, D., Kavian, 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.

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

DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0117-y>

Aliabadi, F.H., Valadabadi, S.A.R., Daneshian, J., Khalvati, M.A. (2009): Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 3(5), pp. 329-333.

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*, 12 (7): 1422

DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12071422>

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>

Aziz, E.A., Hendawi, S.T., Azza E.E.D., Omer E.A. (2008). Effect of Soil Type and Irrigation Intervals on Plant Growth, Essential Oil and Constituents of *Thymus vulgaris* Plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 4(4): 443-450.

Babaei, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M., Jabbari, R. (2010): Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 26 (2): 239-251

DOI: <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>

Báder, L. (2023): Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás. *Hidrológiai Közöny* 103/1: 4-16.

Bencze, É., Pluhár, Zs. (2013): *Thymus vulgaris* L.- Kerti kakukkfű. In: Bernáth, J. (szerk.): Vadon termő és termesztett gyógynövények. Mezőgazda kiadó, Budapest. 476-479.

Bernáth, J., Németh, É. (2007): Gyógy- és fűszernövények gyűjtése, termesztése és felhasználása. Mezőgazda kiadó, Budapest. 124-126.

Cseh, E. (1969): A növények vízforgalma. In: Sárkány, S. (szerk.): A növények világa I. Gondolat kiadó, Budapest. 322.

Deák, Cs. (2017): Szárazságtűrés vizsgálata különböző búzafajtákban. Szent István Egyetem, Budapest. 11.

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): 573
DOI:<https://doi.org/10.3390/w11030573>

Grdiša, M., Jug-Dujaković, M., Lončarić, M., Carović-Stanko, K., Ninčević, T., Liber, Z., Radosavljević, I., Šatović, Z. (2015): Dalmatian Sage (*Salvia officinalis* L.): A Review of Biochemical Contents, Medical Properties and Genetic Diversity, 80 (2): 69-78

Hufnagel, L., Sipkay, Cs. (2010): A klímaváltozás hatása ökológiai folyamatokra és közösségekre. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest. 12.

IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. IPCC CRU adatbázis : http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/obs/cru_climatologies.html

Jain, V.K. (2022): Fundamentals of Plant Physiology, 20th Edition. S. Chand Publishing, New Delhi. 28-29.

Kandoudi, W., Radácsi, P., Gosztola, B., Németh-Zámboriné, É. (2022): Elicitation of Medicinal Plants In Vivo—Is It a Realistic Tool? The Effect of Methyl Jasmonate and Salicylic Acid on Lamiaceae Species. Horticulturae 2022, 8:5

DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010005>

Khazaie, H.R., F. Nadjafi and M. Bannayan, 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). Industrial crops and products, 27: 315-321.

Llorens-Molina, J.A., Vacas, S. (2017): Effect of drought stress on essential oil composition of *Thymus vulgaris* L. (Chemotype 1, 8-cineole) from wild populations of Eastern Iberian Peninsula. *Journal of Essential Oil Research*, 29 (2): 145-155.

Mahdavi, A., Moradi, P., Mastinu, A. (2020): Variation in Terpene Profiles of *Thymus vulgaris* in Water Deficit Stress Response. *Molecules*, 25 (5): 1091

DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25051091>

Neelin, J.D. (2010): *Climate Change and Climate Modeling*. Cambridge University Press, Cambridge. 1.

Németh-Zámbori, É., Pluhár, Zs., Szabó, K., Malekzadeh, M., Radácsi, P., Inotai, K., Komáromi, B., Seidler-Lozykowska, K. (2015): Effect of water supply on growth and polyphenols of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) and thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Acta Biologica Hungarica* 67(1): 64–74

DOI: <https://doi.org/10.1556/018.67.2016.1.5>

Németh-Zámbori, É., Szabó, K., Pluhár, Zs., Radácsi, P., Inotai, K. (2016): Changes in biomass and essential oil profile of four Lamiaceae species due to different soil water levels. *Journal of Essential Oil Research*, vol. 28, No. 5 (2016), p. 391-399.

DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1176606>

Németh-Zámbori, É., Szabó, K., Rajhárt, P., Inotai, K., Seidler-Lozykowska, K., Radácsi, P. (2017): Variability of phenolic compounds of four aromatic Lamiaceae species in consequence of different water supply. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 16(4) 2017, 13–24.

DOI: <http://doi.org/10.24326/asphc.2017.4.2>

Nobel, P. (2012): *Physicochemical and Plant Physiology*. Academic Press, Cambridge, 47.

Pannon Egyetem (2015): *Földünk állapota*. Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Környezetmérnöki Intézet, Veszprém. 289.

Pharmacopoea Hungarica (2004.) VIII. kiadás, II. kötet. Budapest: Medicina Könyvkiadó Rt., 2395-2399.

Radácsi, P. (2014): *Az eltérő vízellátás hatása a kerti bazsalikom (*Ocimum basilicum* L.) és az egyéves borsfű (*Satureja hortensis* L.) élettani, produkcióbiológiai és beltartalmi jellemzőire*. Corvinus University of Budapest, Budapest. 20.

Said-Al Ahl, H.A.H., Sabra, A.S., Alataway, A., Astatkie, T., Mahmoud, A.A., Bloem, E. (2019): Biomass production and essential oil composition of *Thymus vulgaris* in response to water stress and harvest time. *Journal of Essential Oil Research*, 31 (1): 63-68.

DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1518794>

Sharafi, Gh.A., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M., Khagani, Sh. (2019): Investigating the Effect of Drought Stress and Vermicompost Biofertilizer on Morphological and Biochemical Characteristics of *Thymus vulgaris* L. Archives of Pharmacy Practice: 10(3):137-45.

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

Sharma, O.P. (1993) Plant Taxonomy. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 358.

Sorkhi, F. (2020): Effect of irrigation intervals and humic acid on physiological and biochemical characteristic on medicinal plant of *Thymus vulgaris*. Iranian Journal of Plant Physiology 10(4), 3367-3378.

DOI: <http://doi.org/10.30495/ijpp.2020.1890199.1191>

Szabó, D., Zámbooriné, 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.

DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2022.109.032>

Szalai, I. (1974): Növényélettan I. Tankönyvkiadó vállalat, Budapest. 253-254.

Trócsányi, E., György, Z., Inotai, K., Szabó, K., Pluhár, Zs., Radácsi, P., Malekzadeh, M., Németh-Zámbooriné, É. (2015): Enhanced rosmarinic acid accumulation and rosmarinic acid synthase gene expression under drought stress in thyme (*Thymus vulgaris*). Planta Medica, 81 (16): PM_246

DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0035-1565623>

Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T. (2003): Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant physiology, Special Issue, 187-206.

7. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: Mezei kakukkfű (*Thymus serpyllum*), saját készítésű fotó (2021). 2. oldal
2. ábra: Kerti kakukkfű (*Thymus vulgaris* L.) virágzó hajtásai, saját készítésű fotó (2021). 6. oldal
3. ábra: A különböző öntözési szintek hatása a kerti kakukkfű növények ízközösszára. Forrás: Szabó et al, 2022 nyomán. 12. oldal
4. ábra: A különböző öntözési szintek hatása a kerti kakukkfű szárított és porított leveleinek rozmaringsav tartalmára. Forrás: Szabó et al, 2022 nyomán. 22. oldal
5. ábra: A különböző öntözési szintek hatása a kerti kakukkfű szárított és porított leveleinek teljes fenoltartalmára. Forrás: Szabó et al, 2022 nyomán. 23. oldal
1. táblázat: A különböző szintű szárazságstressz hatása a kerti kakukkfű hajtás- és gyökérhosszára, valamint súlyára. Forrás: Akhzeni és Kaviani, 2021 nyomán. 8. oldal
2. táblázat: Az öntözési gyakoriságok és a huminsav kezelés átlagos kölcsönhatásának összehasonlítása a kakukkfű tulajdonságaira. Forrás: Sorkhi, 2020 nyomán. 10. oldal
3. táblázat: A kerti kakukkfű magassága, friss tömege, szárított tömege, illóolaj százaléka és tartalma különböző öntözési szintek és tápanyag-utánpótlás források mellett. Forrás: Amani Machiani et al, 2023 nyomán. 13. oldal
4. táblázat: A lombozatra kijuttatott 0,01 és 0,2 mM putreszcin hatása a hajtás és a gyökér friss, illetve szárított tömegére kerti kakukkfű növényeknél, 60 nappal a kiültetés után, két különböző öntözési szint mellett (a 2015-ös és a 2016-os évek kombinált elemzése). Forrás: Abd Elbar et al, 2019 nyomán. 14. oldal
5. táblázat: A lombozatra kijuttatott 0,01 és 0,2 mM putreszcin hatása a hajtás/gyökér szárazanyag-tartalom arányára kerti kakukkfű növényeknél, 60 nappal a kiültetés után, két különböző öntözési szint mellett (a 2015-ös és a 2016-os évek kombinált elemzése). Forrás: Abd Elbar et al, 2019 nyomán. 15. oldal
6. táblázat: Az öntözési intervallumok hatása a kerti kakukkfű biomassza tömegére, illóolaj hozamára és az illóolaj felhalmozódásra. Forrás: Khazaie et al, 2008 nyomán. 16. oldal
7. táblázat: Az ültetési távolság hatása a kerti kakukkfű biomassza tömegére, illóolaj hozamára és az illóolaj felhalmozódásra. Forrás: Khazaie et al, 2008 nyomán. 17. oldal
8. táblázat: A lombozatra kijuttatott 0,01 és 0,2 mM putreszcin hatása az illóolaj %-ra kerti kakukkfű növényeknél, 60 nappal a kiültetés után, két különböző öntözési szint mellett (a 2015-ös és a 2016-os évek kombinált elemzése). Forrás: Abd Elbar et al, 2019 nyomán. 20. oldal
9. táblázat: A kontroll és a stressznek kitett kerti kakukkfű növények jellemzői. Forrás: Németh-Zámbori et al, 2017 nyomán. 21. oldal

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Miklós Anikó
A Hallgató Neptun kódja: B5E5L6
A dolgozat címe: Az öntözés jelentősége és a szárazságtűrés a termesztett a kerti kakukkfű (*Thymus vulgaris* L.) évelő kultúráiban különös tekintettel a klímaváltozásra
A megjelenés éve: 2024.
A konzulens intézetének neve: Kertészettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

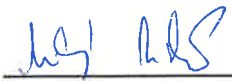
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

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

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

Kelt: Budapest, 2024. 03. 18.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Miklós Anikó (hallgató Neptun azonosítója: B5E5L6) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2024. 03. 19.



Zámbooriné dr. Németh Éva
belső konzulens