

SZAKDOLGOZAT

Dr. Babarczy Dóra

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Kertészettudományi Intézet

Kertészmérnöki alapképzési szak

**ÉVELŐ DÍSZNÖVÉNYEK ŐSZI LOMBSZÍNÉNEK ALAKULÁSA A BUDAI
ARBORÉTUMBAN**

Belső konzulens: Dr. Kohut Ildikó
egyetemi adjunktus

Belső konzulens: Dr. Szabó Veronika
egyetemi adjunktus

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

Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Készítette: Dr. Babarczi Dóra

Budapest

2024

1	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	4
2	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1	A lomblevél morfológiája és a szenescencia jelensége	5
2.1.1	A lomblevél morfológiája és szövettana	5
2.1.2	A szenescencia (öregedés) jelensége	5
2.2	Az őszi lombszín kialakulásában szerepet játszó vegyületek	6
2.2.1	A klorofill szerkezete és funkciója	6
2.2.2	A karotinoidok szerkezete és funkciója	7
2.2.3	Az antociánok kémiai szerkezete és funkciója	8
2.3	A vizsgált fajok morfológiája és kertészeti felhasználása	9
2.3.1	<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	9
2.3.2	<i>Geranium sanguineum</i>	10
2.3.3	<i>Hosta plantaginea</i>	11
2.3.4	A vizsgált fajok kertészeti felhasználása	11
2.4	Az őszi fenológiai jelenségekre vonatkozó kutatások rövid áttekintése	13
2.4.1	A klímaváltozás hatásai az őszi lombszíneződés kezdetére	13
2.4.2	Az öregedés folyamatának változásai és annak hatása az ökoszisztémára	15
2.4.3	Az őszi lombszíneződés környezeti funkciója	16
2.4.4	Az antociánok szerepe a növényi stresszválaszban	18
3	ANYAG ÉS MÓDSZER	20
3.1	A növényanyag begyűjtése	20
3.1.1	A Budai Arborétum talajtani és éghajlati viszonyai	20
3.1.2	A mintagyűjtés módja, ideje	20
3.2	Napi hőmérsékleti és csapadékadatok összegyűjtése	21
3.3	A klorofill-, karotinoid- és antociántartalom vizsgálati módszere	23
3.3.1	A klorofill- és karotinoid-vizsgálat módszere	24
3.3.2	A minták klorofill- és karotinoidtartalmának kiszámítása	25
3.3.3	Az antociánvizsgálat mintáinak bemérése	26
3.3.4	A minták antociántartalmának kiszámítása	27
4	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	29
4.1	A <i>Ceratostigma plumbaginoides</i> mintavételi eredményei	29
4.2	A <i>Geranium sanguineum</i> mintavételi eredményei	30

4.3	<i>A Hosta plantaginea</i> mintavételi eredményei	31
4.4	Időjárási körülmények a mintavételek idején	32
4.5	A vizsgálati eredmények értékelése	33
5	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	37
6	ÖSSZEFOGLALÁS	40
7	IRODALOMJEGYZÉK	42
8	TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE	47

1 BEVEZETÉS ÉS CÉLKITÚZÉS

A klímaváltozás növényzetre gyakorolt hatásainak vizsgálata a növényélettani kutatásokban az utóbbi időben egyre nagyobb figyelmet kap. Az őszi fenológiai fázisok elemzése során fontos kérdésként merül fel, hogy a szabad szemmel is megfigyelhető lombszíneződés milyen környezeti hatások következtében alakul ki, hogyan detektálható az egyes növényfajokban, illetve milyen élettani előnnyel jár a növény számára. Megfigyelésünk során arra kerestük a választ, hogy a pigmentek aránya hogyan változik az őszi hónapok során, illetve, hogy a pigmenttartalom a hőmérséklet változásának függvényében hogyan módosul, azaz, a napi hőmérsékleti értékek és a lombszíneződés között milyen kapcsolat van.

A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Budai Arborétumába telepített három évelő faj, a tarackoló kékgyökér, a pirosló gólyaorr és a nagy árnyékliliom egyedeinek őszi lombszíneződését vizsgáltuk a levelekből származó szövetminták elemzésével. A vizsgálat során 2023. szeptemberétől novemberig havonta egyszer levelet gyűjtöttünk a vizsgált fajok egyedeiről, majd megmértük a klorofill, a karotinoid és az antocián mennyiségét a szövetmintákban. A kapott értékeket összevetettük a Hungaromet (2023.12.31-ig Országos Meteorológiai Szolgálat) vizsgált időszakra vonatkozó napi hőmérsékleti és csapadékadatával.

A célunk az volt, hogy a pigmentmennyiség változását nyomon kövessük ebben a három hónapban, mely a mérsékelt égövi növényeknél a vegetációs időszak végét jelenti. Emellett a mennyiségi változást az időjárási körülmények változásának függvényében is vizsgáltuk. Azt vártuk, hogy a szakirodalmi adatoknak megfelelően a klorofill- és karotinoidtartalom csökken a levelekben ebben az időszakban, míg az antociántartalom nő.

A három vizsgált faj mindegyike dísnövény, díszkertészeti felhasználásukkor őszi lombszíneződésüket (illetve a *Hosta* esetén annak hiányát) is érdemes figyelembe venni. A színeződés megjelenése, időbeli alakulása a kerttervezés során fontos tényező lehet.

2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A lombszevél morfológiája és a szenescencia jelensége

2.1.1 A lombszevél morfológiája és szövettana

A növényi hajtás része a lombszevél (folium, phyllum), melynek feladata az asszimiláció, a párologtatás és a légzés. A lombszevelek, bár méretükben és formájukban rendkívül változatosak lehetnek, általában levelemezre, levélnyelre és levélalapra tagolódnak, és fő funkciójukból adódóan többnyire zöld színűek. A levelemez általában lapos, lemezes szerv, de felülete, alakja és tagoltsága is igen változatos lehet (GRACZA, 2004; HARASZTY et al., 1978).

A levél szilárdítását és a táplálékszállítását a levélerezet, azaz a kollaterális zárt szállítónyalábok rendszere végzi a zárwatermőkben. A levelet az érrendszeren kívül a nyalábhüvelyek, illetve az ereket rögzítő és a levélszegély mentén futó szklerenchimakötegek merevítik. A lombszevelet a külvilág felé egyrétegű sejtsorból álló bőrszövet, epidermisz határolja, melynek külső felülete általában kutikulával borított, és fő feladata a védelem. Az epidermiszbe ágyazva található a gázcsereenyílások (sztómák), amelyek mozgásuk révén a párologtatás és a légzés intenzitását szabályozzák. A lombszevél mezofillumában (levélközépi szövetében) az asszimiláló alapszövet kloroplasztiszt tartalmazó, fotoszintetizáló parenchímasejtei találhatóak. A szivacsos parenchímát és oszlopos (paliszád) parenchímát is tartalmazó levelek esetében utóbbiban jóval több a kloroplasztisz, ezért az ilyen típusú levél színe zöldebb, mint a fonáka. (GRACZA, 2004; HARASZTY et al., 1978).

2.1.2 A szenescencia (öregedés) jelensége

A mérsékelt égövi lombhullató növények levelei a hőmérséklet és a nappalhossz csökkenésével tápanyag-előállító funkciójukat elvesztik, felesleges szervvé válnak. Az egyes lombszevelek fiziológiailag érett fázisukban fotoszintetizálnak a legaktívabban. Amint a fotoszintézis csökken, de a légzés változatlan marad, a felépítő és lebontó folyamatok egyensúlya megbomlik, a szervesanyag-mérleg átfordul negatívba. Ennek látható jele a levél sárgulása a lebomló klorofilltartalom miatt. A szenescencia egyik formája a lombszevelek fokozatos öregedése: ugyanazon a növényegyeden az idősebb levelek előregednek, miközben új levelek keletkeznek. A bennük felhalmozott szerves anyagok a fiatal, fejlődő növényi részekbe transzlokálódnak. A fokozatos öregedést jelen tudásunk szerint a citokinin és az abszcizinsav relatív koncentrációja szabályozza: a citokinin szint csökken, az abszcizinsavszint

emelkedik a levelekben, ami a légzésfokozódással párhuzamosan a fehérjeszintézis intenzitásának csökkenéséhez vezet.

A lombhullás viszont egy másik típusú jelenség: az egyidejű (szinkron) öregedés tünete, mely a többször termő (polikarpikus) fásszárú növényeknél fordul elő. A lomblevelek szinkron öregedését leginkább az auxin gátolja, az etilén pedig az öregedést, illetve a levélhullást segíti elő. A levelekben ősszel a csökkenő hőmérséklet és nappalhossz hatására az abszcizinsavszint megemelkedik, ez serkenti az etiléntermelést, mely az auxinok lebontásához és a leválasztóréteg kialakulásához vezet. A levél leválásakor a levélalapban a csökkent auxinszint miatt parenchimatikus sejtekből álló elválasztóréteg képződik (PETHŐ, 1998; SZABÓ 2004).

A levél szeneszenciája végeredményben egy lebontó folyamat, ami lehetővé teszi az öregedő levélben lévő tápanyagok újrafelhasználását a növekedésben lévő szervek számára. A levél életsiklusának ez az utolsó szakasza, ami stresszválaszként következik be. Így az öregedés a növény túlélési stratégiájának fontos része. A legújabb kutatások hangsúlyozzák, hogy a levélszeneszencia szabályozása szorosan kapcsolódik az alapvető metabolikus folyamatokhoz, de a pontos szabályozási menete még nem teljesen ismert, és valószínűsíthetően nagy különbségek vannak a különböző rendszertani osztályokhoz tartozó növények között. A szabályozó folyamatokat génvizsgálattal lenne célszerű kimutatni (ALORYI et al., 2023).

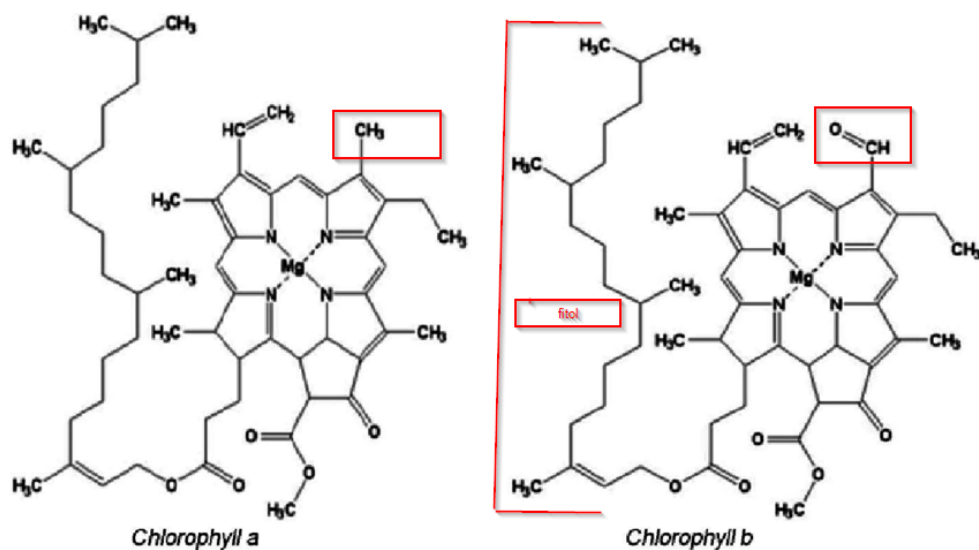
A mérsékelt övi erdők levélszeneszenciájának alakulását befolyásoló két legfontosabb faktor a hőmérséklet és a fotoperiódus (nappalhossz). További kutatásokat igényel, hogy e két tényező az egyes fajoknál milyen fontossággal bír (WANG et al., 2022).

2.2 Az őszi lombszín kialakulásában szerepet játszó vegyületek

2.2.1 A klorofill szerkezete és funkciója

A klorofill a heterociklusos szénvegyületek közé tartozik: e molekulák gyűrűje egy vagy több szénatomból és egy vagy több egyéb, ún. heteroatomból épül fel. Az öttagú, egy heteroatomot: nitrogént tartalmazó heteroaromás vegyület a pirrol. A leggyakoribb klorofillvegyületek, a klorofill-a és klorofill-b porfinváza 4 pirrolgyűrűből áll (1. ábra), a váz közepén egy magnéziumionnal (Mg^{2+}). A gyűrűk konjugált kettős kötések tartalmazzák, így gerjeszthetők. A porfinvázat egy 20 szénatomos alkohol (fitol) rögzíti a tilakoid membránhoz a kloroplasztisban, mely a fotoszintézis helyszíne a növényekben (FODOR, 2019).

1. ábra A klorofill-a és a klorofill-b szerkezete. (Forrás: Internet 1.)

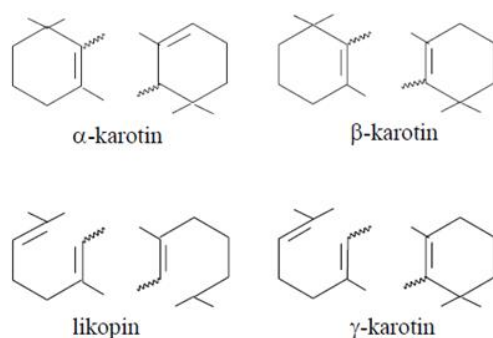


A fényenergia elnyelését a zöld színű klorofillok és a sárgás-narancsszínű karotinoidok végzik: a látható fény fotonjai gerjesztik a fotoszintetikus pigmentek delokalizált elektronjait. A klorofillok a kék és vörös hullámhosszú fényt abszorbeálják, a zöld hullámhosszú fotonokat visszaverik (FODOR, 2019).

2.2.2 A karotinoidok szerkezete és funkciója

A karotinoidok a legelterjedtebb szénvegyületek közé tartoznak, kémiaiailag izoprénvázas szénhidrogének, azaz terpének (2. ábra). Vízben nem, csak zsírban és zsíroldószerekben oldható pigmentek. A négy legfontosabb karotinoid a likopin (gyűrű nélküli, alifás), valamint az α -, β -, és γ -karotin, ezek egymás izomerjei. Gerjeszthetők, ennek köszönhető élénk színük (FODOR, 2019).

2. ábra A fontosabb karotinoidok szerkezete (Forrás: Fodor, 2019)



A karotint először 1831-ben izolálták a sárgarépából (*Daucus carota* – innen a neve). A karotinoidok a kloroplasztiszban, főleg virágban, termésben, esetleg gyökérben előforduló

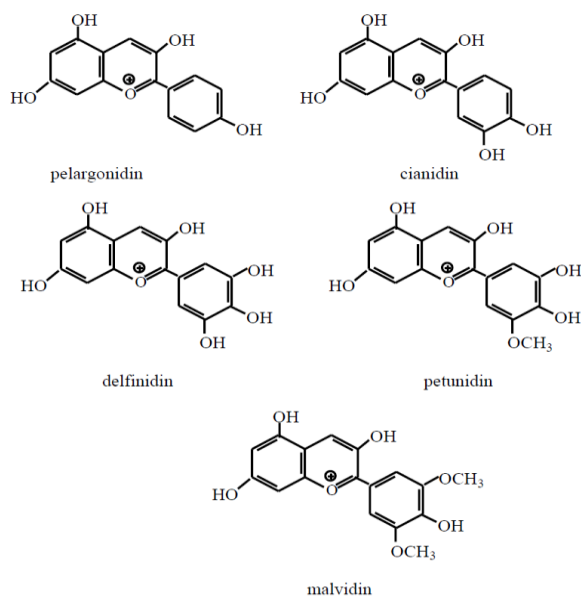
színtestekben, illetve fehérjékhez kötötten a vakuólumban fordulnak elő. A karotinoidok a fotoszintézis fényszakaszában kísérőpigmentekként részt vesznek a fényenergia megkötésében és továbbításában. A látható fény kék tartományában abszorbeálnak fotonokat, így tulajdonképpen kiszélesítik a fotoszintézis hatékony hullámhossz tartományát. Ezen kívül a kloroplasztiszokat védik a túlzott sugárzással, túlzott fényintenzitással és magas hőmérséklettel szemben. A virágok és termések élénk sárga, narancs, vörös színét szintén a karotinoidok adják: így a megtermékenyítés és termésterjesztés segítése révén hozzájárulnak a reprodukció sikeréhez (VETTER, 2019).

2.2.3 Az antociánok kémiai szerkezete és funkciója

Az antociánok (antocianinok) a flavonoidvegyületek közé tartoznak, melyek alapváza az oxigéntartalmú, hattagú gyűrűt tartalmazó flavonváz (2-fenil-kromán). Ma kb. 4-6 ezer flavonoidvegyületet ismerünk, ezek vízoldhatóak, a növényekben többnyire glikozidos kötésben fordulnak elő (FODOR, 2019).

Az antocianidinek a flavonoidok egyik alcsoportja, ezek glikozidjai az antociánok. Alapvegyületeik a pelargonidin, a cianidin, a delfinidin, a petunidin, a peonidin és a malvidin (3. ábra). A növényi szövetekben, virágokban, gyümölcsökben és levelekben a kék, az ibolya és a vörös színű pigmentet szolgáltatják. Színüket a környezet kémhatásától függően változtatják: minél magasabb a pH, annál kevesebb hidroxil-csoport lesz a molekulában, így a szín pirosból kékbe megy át. A hidroxil-csoportok számának növekedésével viszont a kék árnyalat a narancs-piros felé tolódik el. Ez azt is jelenti egyben, hogy ugyanaz a molekula egy növényben többféle színt is előidézhethet (FODOR, 2019; BOLDT et al., 2014; BUENO et al., 2012).

3. ábra Az antociánok főbb típusai (Forrás: Fodor, 2019)



Az antociánok a növények szinte minden szervében megtalálhatók, de főleg a virágban és a termésben, illetve a hajtásban és a levelekben. A fiatal hajtások vöröses színét is az antociánok adják. A vegetációs időszak végén, a zöld színt adó klorofillok lebomlása után a levelekben meghatározott összetételű antociánkészlet termelődik, ennek szintén védő szerepe van (VETTER, 2019).

2.3 A vizsgált fajok morfológiája és kertészeti felhasználása

2.3.1 *Ceratostigma plumbaginoides*

A tarackoló kékgököér, azaz *Ceratostigma plumbaginoides* Bunge (*Plumbago larpentae* Lindl) az ólomgyökérfélék, vagy kékgököérfélék (*Plumbaginaceae*) családjába tartozik. Hazája Észak- és Közép-Kína. A talajban ceruzavastagságú tarackokkal terjed, sűrű, tömött állományt képezve. Alacsony termetű évelő, 20-30 centis hajtásán ovális, 3-4 cm hosszú, szórt állású levelek vannak, melyek ősszel bronzos-skarlátvörösre színeződnek (4. ábra). Végálló és levélhóonalji fejecskékben nyíló ötszirmú virágai élénk kékek, augusztustól október végéig díszítenek (GERZSON et al., 2019; JELITTO et al., 1990; PHILLIPS et al., 1991; RICE, 2006).

4. ábra Virágzó kékgyökér állomány a Budai Arborétum Felső Sziklakertjében. 2023. szeptember 30. (Forrás: saját fotó)



2.3.2 *Geranium sanguineum*

A pirosló gólyaorr, azaz a *Geranium sanguineum* L. a gólyaorrfélék (*Geraniaceae*) családjába tartozó, hazánkban is honos növény. Gyakori a középhegységi száraz tölgyesekben, bokorerdőkben. Egész Európában elterjedt, a Brit-szigetektől a Kaukázusig és Törökországig, napsütötte, füves területeken, általában meszes talajon él. Alacsony termetű, 20-40 cm magas, terjedő tövű évelő, heverő, vagy felálló habitussal. 5 cm átmérőjű, tenyeresen szeldelt, kétszeresen osztott, szőrökkel borított levelei ősszel bíboros-vörösre színeződnek (5. ábra). Ötszirmú, 2-4 cm széles, élénk rózsaszín virágai egyesével nyílnak a levelek hónaljában. Virágzása több hónapig, májustól augusztusig tarthat (GERZSON et al., 2019; JELITTO et al., 1990; PHILLIPS et al., 1991; RICE, 2006).

5. ábra A csapadékos időjárás miatt kissé későn színesedni kezdő pirosló gólyaorr a Felső Sziklakertben. 2023. október 31. (Forrás: saját fotó)



2.3.3 *Hosta plantaginea*

A spárgafélék (*Asparagaceae*) családjába tartozó nagy árnyékliliom, a *Hosta plantaginea* (Lam.) Aschers hazánkban is régóta alkalmazott, jól ismert, elterjedt dísznövény. A Kelet-Ázsiában honos *Hosta* nemzetség számos tagját levéldísznövényként régóta termesztik Kínában és Japánban, illetve a mérsékelt égövön, így Európában és az Egyesült Államokban is nagyon népszerűek. A nagy árnyékliliom viszonylag későn hajt ki. Nagyméretű, szíves-tojásdad levelei fényes élénkzöldek (6. ábra), 7-9 kifejezett, párhuzamos levélérpárral. A 60-70 cm magas virágzati száron több, hófehér, tölcsér alakú, illatos virág nyílik július-szeptemberben. A többi *Hosta*-nál jobban bírja a napot (GERZSON et al., 2019; JELITTO et al., 1990; PHILLIPS et al., 1991; RICE, 2006).

6. ábra *Hosta plantaginea* a Budai Arborétum Alsó Kertjének árnyéki évelőágyában. 2023. szeptember 28. (Forrás: saját fotó)



2.3.4 A vizsgált fajok kertészeti felhasználása

Az évelő növények kertészeti felhasználása hazánkban is terjedőben van, mind közterületi, mind házikerti felhasználásban. A kerteknek, parkoknak évszakonként változó képével egy évelőágyás dinamizmust ad, az idő múlását jelzi. Egy évelőágy fenntartása jellemzően kevésbé költséges, mint például egy egynyáriakból álló kiültetés. Az évelők sokoldalúan, sokféle kertépítészeti stílusban alkalmazhatók, legyen az akár sziklakert, vagy akár árnyéki beültetés. Más növényekkel jól társíthatók, több viszonylag igénytelen, tágtűrűsű faj van köztük, a kékgyökér és a pirosló gólyaorr is ilyen. Az évelők általában hosszan virágoznak, jelenlétükkel növelik a terület biodiverzitását. A kékgyökér és a pirosló gólyaorr egyaránt napos-félárnyékos helyre ültethetők, hosszú életű, alacsony termetű, talajtakaró évelők. Az agyagos, kötöttebb,

illetve meszes talajon is jól fejlődnek. Általában sziklakertbe kerülnek, ezen kívül extenzív közterületi ágyásban, de a legújabb trendeket követő vertikális kertekben, zöldfalakban is felhasználhatók. A kékgyökér és a pirosuló gólyaorr nem csak hosszantartó virágzásuk miatt értékesek, hanem levélzetükkel is díszítenek, esetünkben ősszel narancs-vörösre színeződő lombjukkal (GERZSON et al., 2019; PATKÓS és KOVÁCS, 2018).

7. ábra *Ceratostigma plumbaginoides*, *Euphorbia myrsinites* és *Bergenia crassifolia* a Felső Sziklakertben. (Forrás: saját fotó)



A tarackoló kékgyökér napos helyen, jó vízáteresztő képességű talajban érzi jól magát, félárnyékban elnyúlik, kevésbé virágzik. Tavasszal viszonylag későn hajt ki. Díszítőértékét szokatlan élénkkék virágszíne és ősszel színeződő lomblevelei jelentik. Általában sziklakertben összefüggő gyepek kialakítására, napos évelőágyban ágyás szegélyezésére használják. Rézsűk megkötésére, sírok beültetésére is alkalmas, kevés gondozást igénylő, hosszú életű évelő növény. Télálló (GERZSON et al., 2019; PATKÓS és KOVÁCS, 2018).

A pirosuló gólyaorr szinte minden talajtípusban jól fejlődik, jó szárazságtűrő, igénytelen növény. Napos, száraz élőhelyen magától terjed. Felhasználható napos sziklakertbe, évelőágyba egyaránt. Több kertészeti fajtája létezik, amelyek virágszínben (fehértől a magentaig) és magasságban térnek el egymástól. Hosszan virágzik, de ősszel színeződő levélzete is figyelmet érdemel (GERZSON et al., 2019; PATKÓS és KOVÁCS, 2018).

Az árnyékliliomokat szinte kizárólag árnyéki levéldísznövényként használják. Rengeteg faja és fajtája létezik, melyek elsősorban levélméretben, levélszínben, illetve virágszínben különböznek. A mélyárnyékot nem tolerálják, de félárnyékban, lombos fák árnyékában jól fejlődnek. Viszonylag későn hajtanak ki (GERZSON et al., 2019; JELITTO et al., 1990; PATKÓS és KOVÁCS, 2018; PHILLIPS et al., 1991).

2.4 Az őszi fenológiai jelenségekre vonatkozó kutatások rövid áttekintése

2.4.1 A klímaváltozás hatásai az őszi lombszíneződés kezdetére

A klímaváltozáshoz kapcsolódó növényélettani vizsgálatok sorában számszerűsíthetően kevesebb a növények őszi fenológiájával foglalkozó tanulmányok száma a tavaszi vegetációs időszakra vonatkozó tanulmányokhoz képest (GALLINAT et al., 2015; LANG et al., 2019). Ennek oka a kutatók szerint az, hogy a tavaszi vegetációs folyamatokra már kidolgozták a megfelelő, a hőmérsékletváltozáson és a csapadékmennyiségen alapuló modelleket, melyek alapján előre tudják jelezni például a rügypattanást, vagy a virágzás kezdetét, azonban az őszi fenológiai időszakra ilyen modellek még nem állnak rendelkezésre (GALLINAT et al., 2015; LANG et al., 2019). A kutatások döntő hányada fásszárú taxonokat vizsgál (CHMIELEWSKI és RÖTZER, 2001; XIE és WILSON, 2017; XIE et al., 2018; BIGLER és VITASSE, 2021; SCHABERG et al. 2008; LEV-YADUN és GOULD, 2007), élő növények lombszíneződéséről csak felsorolás szintjén esik szó (SIMS és GAMON, 2002; LEV-YADUN et al., 2012). A klímaváltozás hatásainak kutatása a növények fenológiai stádiumának változásaira is kiterjed. A fenológiai stádiumok időbeli változásai a klímaváltozás kiváló bioindikátorai is egyben, noha még mindig keveset tudunk arról, pontosan mikor a legintenzívebb a lombszíneződés.

Az 1969-1998-as periódusra vonatkozóan 4 fásszárú faj kilombosodási idejét tekintve már 2001-ben megállapították, hogy a globális felmelegedés következtében a vizsgált periódus végére a vegetációs időszak egész Európában 8 nappal hosszabb lett. A klimatikus viszonyok változásai az 1980-as évek végétől felgyorsultak, ennek következtében a február-áprilisi 1 °C-os hőmérséklet-emelkedés a vegetációs időszak kezdetét 7 nappal előrébb hozta (CHMIELEWSKI és RÖTZER, 2001).

Az ELTE Botanikus Kertjének Geofiton Fenológiai Adatbázisát használó kutatás a fenológiai fázisok mellett egy 24 meteorológiai tényezőből álló adatsort használt. Kimutatták, hogy a geofita növényeknél az egyes fenofázisok bekövetkezésének ideje nem elsősorban a

hőösszegetől függött, hanem inkább a napi hőingás, a fagyos napok száma és a minimum hőmérsékletek átlaga volt a döntő (DEDE, 2010).

Az USA északkeleti részének lombhullató erdőiről 2000-2015 között készült MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) képsorozatot feldolgozó kutatás azt állapította meg, hogy a vizsgált periódusban a lombszíneződés időszaka egyre hosszabbra nyúlt, mégpedig azért, mert a kezdete egyre korábbra tolódott. A lombszíneződés kezdetét és végét nem csupán a tavaszi és nyári hőmérséklet változása befolyásolta, hanem a nyári szárazság és aszály, valamint a nyári és őszi heves esőzések, azonban a fenológiai változások időpontja és a klimatikus viszonyok változása között szoros összefüggés nem mindig volt kimutatható (XIE és WILSON, 2017).

Az őszi lombszíneződés és levélhullás időpontjának változása nagy hatással lehet a teljes ökoszisztémára, például a szén-nitrogén körforgást érintően. Az Amerikai Egyesült Államok északkeleti részén folyó, a 12 uralkodó lombhullató fafajra vonatkozó terepi megfigyelés bizonyította, hogy az időjárási stresszorok, mint a vegetációs időszak alatt bekövetkező hő- és szárazságstressz, illetve a heves esőzés, korai lombszíneződést és lombhullást eredményezett. A fajok érzékenysége ezekre a stresszorokra eltérőnek bizonyult. A klímaváltozással előreláthatóan növekvő hőstressz a jövőben rövidebb őszi lombszíneződési időszakot fog eredményezni (XIE et al., 2018).

Egy Svájcban folyó, 9 lombhullató fajtát érintő kutatás az 1971-2018-as időszak adatait vizsgálva arra a megállapításra jutott, hogy 1996-tól 2018-ig évtizedenként 1,5-3,3 nappal később következett be a lombszíneződés. A változás valamennyi vizsgált régióra és fajra kiterjedt. Ugyanakkor idő előtti lombszíneződés volt megfigyelhető azokban az években, amikor nagyon meleg és száraz volt a tavasz-nyár, illetve nagyon hűvös volt az ősz (elsősorban a szeptember). A tanulmány szerint a klímaváltozás hatására az Európában is mind gyakoribbá váló aszály a jövőben gyakrabban okozhat idő előtti lombszíneződést (BIGLER és VITASSE, 2021).

Noha a globális felmelegedés általában késlelteti a levélszeneszcenciát, az északi félteke több területén a 21. század kezdete óta megfigyelhető tendencia az őszi időszakok hűvösebbé válása. Mesterségesen előidézett hőmérsékletváltozást alkalmazó kísérletben megfigyelték, hogy a levelek érzékenysége a hőmérsékletváltozásra sokkal nagyobb ősszel, mint nyáron, és

ezen belül is a lehűlés okozta a nagyobb hatást, nem a melegedés. Emellett a nagy fényintenzitás szignifikánsan csökkentette a hőmérsékletre való érzékenységet, különösen ősszel. E tanulságokat érdemes lenne beépíteni az ökoszisztéma-modellekbe, hogy azok pontosságát javítsák (WANG et al., 2023).

2.4.2 Az öregedés folyamatának változásai és annak hatása az ökoszisztémára

Az őszi időszak viszonylagosan keveset vizsgált terület a fenológiai és klímaváltozás szempontjából, annak ellenére, hogy ilyenkor sok szereplőt érintő, jelentős változások zajlanak az ökoszisztémában: ilyen a levélszenescencia, a termésérés, a madarak vándorlása, és a rovarok diapauzája. Az őszi események a mérsékelt égövön a növekedési és szaporodási időszak végét jelzik a növények és az állatok számára egyaránt. A levél öregedése általában kitolódik a hőmérsékletemelkedés hatására, a honos növényfajok termésérése viszont emiatt hamarabb következik be. A hosszabbodó vegetációs időszak lehetővé teszi sok évelő növény számára, hogy több szemet halmozzanak fel, így viszont megváltoztatják a helyi klímát. A kutatók megjegyzik (GALLINAT et al., 2015), hogy az őszi fenológiai változások nyomon követése és pontos mérése nehézségekbe ütközik, illetve szubjektív, hiszen például az, hogy a levelek 50 %-a lehullott, nehezen határozható meg objektív módszerekkel. Emellett az őszi fenológiai változások nem köthetők pontosan egyetlen dátumhoz. Az invazív fajok gyors evolúciójuknak köszönhetően jobban alkalmazkodnak a melegedő klímához, mint a hazai fajok. Ugyanez igaz több kártevőre, amelyeknek a hosszabb, melegebb vegetációs időszak miatt több generációjuk is kifejlődik a diapauzát megelőzően, így nagyobb kárt tudnak okozni. Ha a fajok közötti szinkron felborul, az az ökoszisztémára nagy hatással lehet, lásd például a költöző madarak esetét, amelyek vonulásuk alatt bizonyos növények terméseivel táplálkoznak, így segítik ezen növényfajok terjedését. Az őszi fenológiai változások megváltoztatják a fajok közötti ökológiai dinamikát és hatással vannak az ökoszisztémák nettó produktivására. A kutatók javasolják a fajok közötti interakciók komplex, nagymintás vizsgálatát, a statisztikákban nem az egyes napokat, hanem időszakokat kell figyelembe venni, standardizálni kell a fogalmakat, az adatokat, például a klorofilltartalmat vagy a színeződést folyamatos skálán ábrázolni, mert így határozható meg például az öregedés mértéke. Vizsgálandó az őszi fenológiai változások hatása a kórokozók, kártevők és invazív fajok jelenlétére és terjedésére (GALLINAT et al., 2015).

A vörös lombszín jónéhány taxonnál mind a fiatal, mind az idős leveleken, azaz tavasszal és ősszel is megfigyelhető. Finnország, Japán és Izrael flórájának több fajánál megfigyelték, hogy amely fajnál tavasszal az új levelek zöldek voltak, ősszel szinte kizárólag sárgára színeződtek. Az ősszel vörösre színeződő levelű fajok levelei szinte mindig vörösen bomlottak ki tavasszal. Azonban a vörös tavaszi lombú fajok mintegy felének sárga volt az őszi lombszíne. Ez arra enged következtetni, hogy a tavaszi és az őszi lombszínt valószínűleg nem ugyanazok az ágensek okozzák (LEV-YADUN et al., 2012).

Egy 2008-ban publikált kutatásban *Acer saccharum* leveleit vizsgálták: a pigmenttartalmat mérték zöld, vörös és sárga levelekben. A klorofillkoncentráció szignifikánsan alacsonyabb volt a sárga és vörös levelekben, ez annak a jele, hogy az öregedés folyamata ezekben előrehaladottabb volt. Csak a vörös levelekben mértek antociántartalmat. Az abszcissziós réteg a sárga levelekben volt a legkifejezettebb. Minél kevésbé kifejlődött ez az elválasztó réteg, annál nagyobb a lehetőség a levelek mobilizálható tápanyagainak felszívódására. Az etilén és az auxin szabályozza a levélhullást (abszcissziót): az etilén gyorsítja, az auxin késlelteti a folyamatot, az oxidatív stressz azonban mindkét hormon működését befolyásolhatja. Például a hűvös idő és a fényintenzitás csökkenti az auxin mennyiségét az abszcissziós zónában (a levélnyel alapjánál). Az antociánok, mint antioxidánsok, azonban fenntartják a megfelelő auxinkoncentrációt, csökkentik a szövetek etilénérzékenységét és így késleltetik az öregedést (szeneszcenciát). Az antocián felhalmozása a levelekben így segít meghosszabbítani a levelek szénhidráttermelő funkcióját (SCHABERG et al. 2008).

2.4.3 Az őszi lombszíneződés környezeti funkciója

A zöldtől eltérő színeződést a növényekben az antociánok, a betalainok és a karotinoidok okozzák. A növények leveleinek vörös, bordós és lilás színét az antociánok adják, melyek leggyakrabban cianidin-glikozidok. Az antociánoknak több funkciója van: a kutatások szerint védik a növényi szöveteket a túl intenzív fénytől, az ultraibolya sugárzástól, megkötik a reaktív oxigénformákat és szabályozzák a sejtek ozmotikus potenciálját (SIMS és GAMON 2002). A levélben a mezofillum és az epidermisz alsó részén fordulnak elő nagyobb mennyiségben: elhelyezkedésük meghatározza a funkciójukat és a fotoszintézis intenzitására gyakorolt hatásukat (BOLDT et al., 2014).

GOULD (2004) „a természet svájci bicskájának” nevezte az antociánokat, így utalva a pigmentek sokrétű védelmi feladatára a levélszövetben. Az antociánok ugyanis

meghatározzák, hogyan reagál a levél a környezeti stresszre, például a szárazságra, az UV-B sugárzásra, a nehézfémekre, illetve védelmet nyújt bizonyos növényi kórokozók és kártevők ellen, így nagyban hozzájárul a növények túlélési stratégiájához. A vörös levélzet a növények országának számos képviselőjére jellemző, gyakran azonban a növény egy bizonyos növekedési fázisában figyelhető meg, ilyen például a lombhullató fák őszi lombszíneződése. A levelek vörös színét többnyire antociánok, leggyakrabban a cianidin-3-O-glükózid okozza, de néhány fajnál egyéb pigmentek is szerepet játszhatnak (pl. betalain a céklában). Az antociánok bioszintézise és tárolása a vakuólumban nagy energiaráfordítást igényel, időpontja is meghatározott, és általában stresszválaszhoz köthető. A lombfogyasztó kártevőket többféle módon hatástalaníthatja az antociántartalom: a vörös szín figyelmeztetés lehet, hogy ehetetlen a levél, vagy éppen álcaként is szolgálhat a vörös receptorral nem rendelkező rovarok számára.

A fotoinhibíció során a fény által közvetített túlzott energia gátolja a fotoszintetikus aktivitást, ekkor a kloroplasztok reaktív oxigénvegyületeket képeznek, melyek az elektrontranszportban résztvevő fehérjék denaturációját okozzák. Ezt a fotoinhibíciót képesek csökkenteni az antociánok úgy, hogy az erős megvilágításban a levelet érő felesleges fotonokat abszorbeálják. A lombhullató fák levelei az öregedés folyamatában vörösre változnak: az antociánok ekkor az erős fénytől védik a klorofillt, így a levélből a nitrogén felszívódásával visszajuthat egyéb növényi részekbe. Az antociánok a szabadgyököket is hatástalanítják, a C- és E-vitaminnál négyszer hatásosabban fellépve a reaktív oxigén- és nitrogénformák ellen (GOULD 2004).

Kutatók *Acer saccharum* leveleit vizsgálták, illetve azok színének változását mérték, a levél ásványianyag-, szénhidrát- illetve víztartalmával összevetve. A vörös lombszín, illetve a színeződés mértéke és ideje szoros összefüggést mutatott a levélben mért nitrogén-, keményítő- és cukorkoncentrációval. Az alacsony nitrogéntartalmú levelek hamarabb színeződtek, ezen kívül a lombszíneződés előrehaladása párhuzamos volt a levél növekvő keményítő- és cukortartalmával. A szénhidrátok felhalmozása talán indirekt módon hozzájárul a vörös szín jobb kifejeződéséhez, mivel a glükóz és a fruktóz energiát, illetve összetevőt szolgáltat az antociánok előállításához (SCHABERG et al., 2003).

Az őszi lombszíneződés a mérsékelt égövön elterjedt jelenség, melegebb égövön nem tapasztalható, ez is jelzi, hogy ez a jelenség klímaspecifikus. A fényvédő funkció túl a növény-állat interakciókban is sokféle szerepe lehet. Jelezheti a termésfogyasztó élőlényeknek, hogy

megérett a termés, így a magok elterjesztéséhez járul hozzá. Az antociános színeződés feltételezhetően a növények felismerhetőségét is csökkenti pl. fényszegény környezetben, illetve a rovarkártevők mimikrijét hatástalanítja. A kártevőknek ezenkívül jelezhetik, hogy a levelek kémiai is védettek, ugyanis az antociánok mennyisége korrelál a növényt védő kémiai összetevőkkel. A színváltozás vizuális jelzés lehet a növényevők számára, hogy a növény szervezete toxikus, vagy rossz ízű anyagokat választott ki védekezésül ellenük, vagy azt jelenti, hogy már nem sok tápanyag van a levelekben. A feltűnő őszi lombszín tehát figyelmeztető, riasztó jelzés. Az antociánok ugyanis nem a klorofill bomlásával párhuzamosan tűnnek elő, hanem az öregedés során kezdenek el képződni a levelekben, ellentétben a karotinoidokkal, amelyek a vegetáció során mindvégig jelen vannak a levelekben, csak elfedik őket a klorofillok. Az őszi lombszíneződés kialakulásában a kutatók szerint mind a fiziológiai hatásokhoz, mind a különböző élőlényekhez való alkalmazkodás közrejátszott (LEV-YADUN és GOULD, 2007).

2.4.4 Az antociánok szerepe a növényi stresszválaszban

A globális klímaváltozás az extrém időjárási események számának növekedéséhez vezet, ami a növényeket többféle abiotikus stressznek teszi ki. Az antociánok sokféle környezeti stressztől meg tudják védeni a növényt. Megkötik a reaktív oxigéngyököket, így csökkentik az oxidatív stresszt, amikor ugyanis a növényeket stresszhatás éri, az oxigéngyökök száma nő, és az antociánok – antioxidáns hatásukkal - a sejtek homeosztázisát igyekeznek fenntartani.

Antioxidáns és napvédő funkciójuk van, ezen kívül kelátokat képeznek a nehézfémekkel, így csökkentik a fémszennyezés okozta stresszt. Segítenek a növényeknek megküzdeni a káros környezeti hatásokkal, úgymint a magas sótartalom, szárazság, az extrém hőmérsékleti értékek. Az antociánok bioszintézisét és felhalmozódását a fény minősége, erőssége és hossza szabályozza, ezen kívül valószínűleg az abszcizinsav- és a melatoninszint is befolyásolja ezt a folyamatot. Az antociánok fényvédő funkciója feltehetően még fontosabb, mint az antioxidáns hatásuk, amikor a növényeket intenzív fénystressz éri. Általában véve amikor a növényeket stresszhatás éri, az antociánszintézist szabályozó gének bekapcsolnak, és az antociántartalom nő.

Az antociánszintézis a flavonoidszintézis egy útja, amelyet a környezeti tényezők nagyban befolyásolnak, leginkább a fény erőssége, minősége, és a hőmérséklet. A folyamat több környezeti tényezőtől is függ, ezek megváltoztatásával az antociánszintézist befolyásolni tudják. Mivel a nagyobb antociántartalmú transzgénikus növények nagyobb stressztűrésűek,

a kutatók azt javasolják, hogy génszerkesztéssel állítsanak elő több ilyen típusú növényfajtát (LI és AHAMMED, 2023).

A fotoszintetizáló szövetek többféle fényvédő mechanizmust alkalmaznak, például a hőenergia leadását a xantofill cikluson keresztül, és a fényenergia szűrését az antociánok segítségével. A xantofill ciklus aktivitását vizsgálták a *Sambucus canadensis* fűrtkocsányában a gyümölcsérés időszakában, illetve azt megelőzően és azt követően. Az öregedés szakaszában, érés után az eredetileg zöld színű fűrtkocsányok fénystressz hatására erősebben csökkentették fotoszintézisüket, mint a fénynek kitett, antociántartalmú társaik, antociánhiányukat hőenergiatermeléssel kompenzálták. Az antociánok fényvédő hatása tehát a xantofill ciklus pigmentjeinek védelmi funkcióit erősíti, és nagyon fontos szerepe van a fénystressz csökkentésében az öregedés során, erős fényviszonyok között (COONEY et al., 2018).

A levelekben található antociánok a túl nagy számban érkező fotonok károsító hatásaitól védik a kloroplasztiszokat. A kutatók az *Arabidopsis thaliana* vad alakjának, illetve egy antociánban gazdag és egy antociánban szegény mutációjának a fénystresszre adott válaszát vizsgálták. E szerint a fény minősége, erőssége és a fénystressz hossza befolyásolja az antociánok fényvédő szerepének minőségét, illetve a fényvédelem csak akkor hatásos, ha hőenergiatermeléssel már nem tudják közömbösíteni a túlzott fény mennyiséget (GOULD et al., 2018).

A növények és a környezet kölcsönhatásának egy másik fontos esetében is szerepet játszhatnak az antociánok. Elégtelen, kiegyensúlyozatlan tápelemellátás esetén fémkelátokat képezhetnek a talajban lévő nehézfémekkel. Az antociánfelhalmozódás a levélszeneszenciót is késleltetheti, amelyet máskülönben a makrotápanyagok hiánya felgyorsít: ez a funkciójuk a növény túlélésében különösen előnyös lehet, valamint a reprodukció sikerét növeli (LANDI et al., 2015).

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A növényanyag begyűjtése

3.1.1 A Budai Arborétum talajtani és éghajlati viszonyai

A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Budai Campusát körülvevő terület a Budai Arborétum, mely Budapest belterületén található, délről a Villányi út, nyugatról a Szüret utca, északról a Somlói út határolja. 1893-ban kezdték meg a tájképi kert jellegű arborétum kialakítását a Magyar Királyi Kertészeti Tanintézet épületei körül. A kertet 130 éves fennállása során többször átalakították. A növények csoportjainak elrendezésére a Felső Kertben növényrendszertani helyük figyelembevételével került sor. Jelenleg 9 hektáron csaknem 2000 fásszárú taxonnak és 250 féle évelő dísnövénynek ad otthont. 1975 óta természetvédelmi terület.

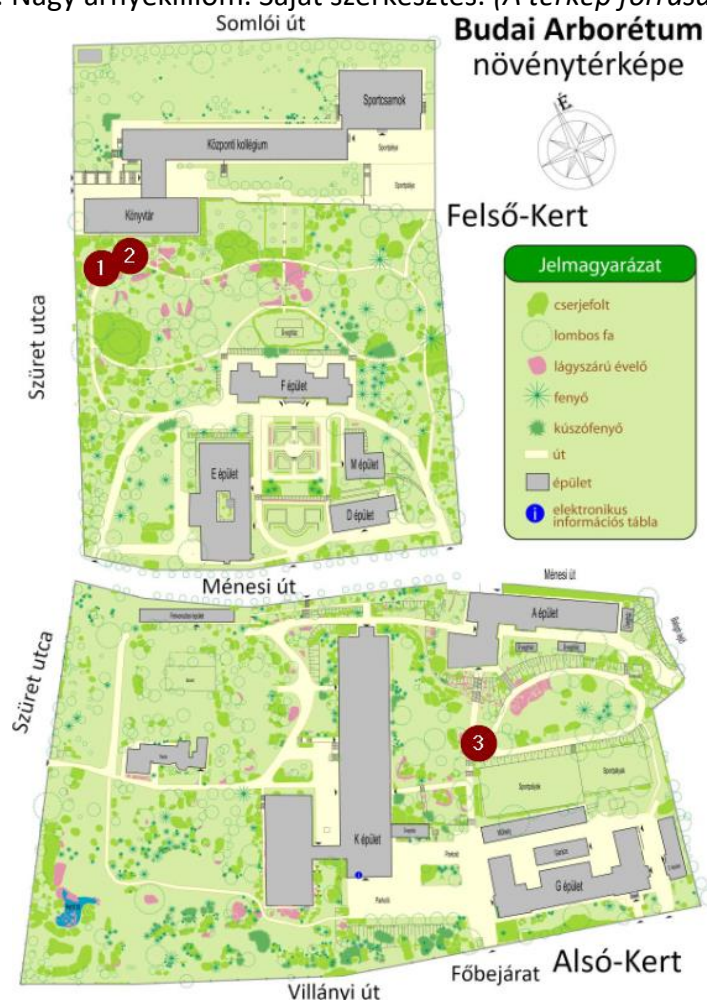
Az arborétum a Gellért-hegy déli lejtőjén fekszik, helyén eredetileg, a filoxéra megjelenéséig szőlőskertek voltak. A lejtésszögek a területen eltérőek, a legnagyobb szintkülönbség 80 méter. Az évi csapadék 600-620 mm, így a helyi klíma kissé száraz. Fekvésének köszönhetően sajátos mikroklíma alakult ki itt: a nyár forró, a tél enyhe. A növények fejlődéséhez szükséges vizet kiépített öntözőrendszerrel pótolják, az öntözővíz idényenként kb. 100-150 mm.

Talajképző alapkőzete a mészkő és a dolomit, illetve az erre települt budai márga és az agyag, mely üledékes, vályogos-meszes jellegű. Ez utóbbin alakult ki a humuszkarbonát talaj, illetve helyenként barna erdőtalaj, ez utóbbi rétegek azonban az arborétum területén erősen erodálódtak. Az eredeti erdőtalaj csak az arborétum északnyugati, bolygatatlan részén lelhető fel, a terület jelentős részén a B és C talajszint került felszínre. Ez utóbbi erősen meszes, humuszban szegény, kémhatása lúgos (pH 8,0 körül) (CZIGÁNY et al. 2013; SCHMIDT 1994, Internet 2.).

3.1.2 A mintagyűjtés módja, ideje

A mintagyűjtés a vizsgált periódus minden hónapjának első felében történt, az arborétum területén a három évelő fajból. A gyűjtés dátumai: 2023. szeptember 13., október 10., november 13., a pontos dátum időjárásfüggő volt. A tarackoló kékgyökér és a pirosuló gólyaorr a Felső Arborétum sziklakertjében találhatóak, az árnyékliliom az Alsó Kert sportpálya mellett lévő árnyéki évelőágyásában nő.

8. ábra A növények gyűjtési helye a Budai Arborétumon belül. 1. Tarackoló kékgyökér, 2. Pirosló gólyaorr, 3. Nagy árnyékliliom. Saját szerkesztés. (A térkép forrása: Internet 3.)



A *Ceratostigma plumbaginoides* virágos-leveles hajtását a virág eltávolításával és a *Geranium sanguineum* leveles hajtását gyűjtöttük be. Egyfajta kontrollként a *Hosta plantaginea* kifejtett lombleveleinek levéllemezt gyűjtöttük be, ezek ősszel nem színeződnek. Tárolásra, majd a mintába csak a teljesen kifejlődött, ép lomblevelek kerültek. A leveleket fagyasztóban ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on) tároltuk a vizsgálatokig.

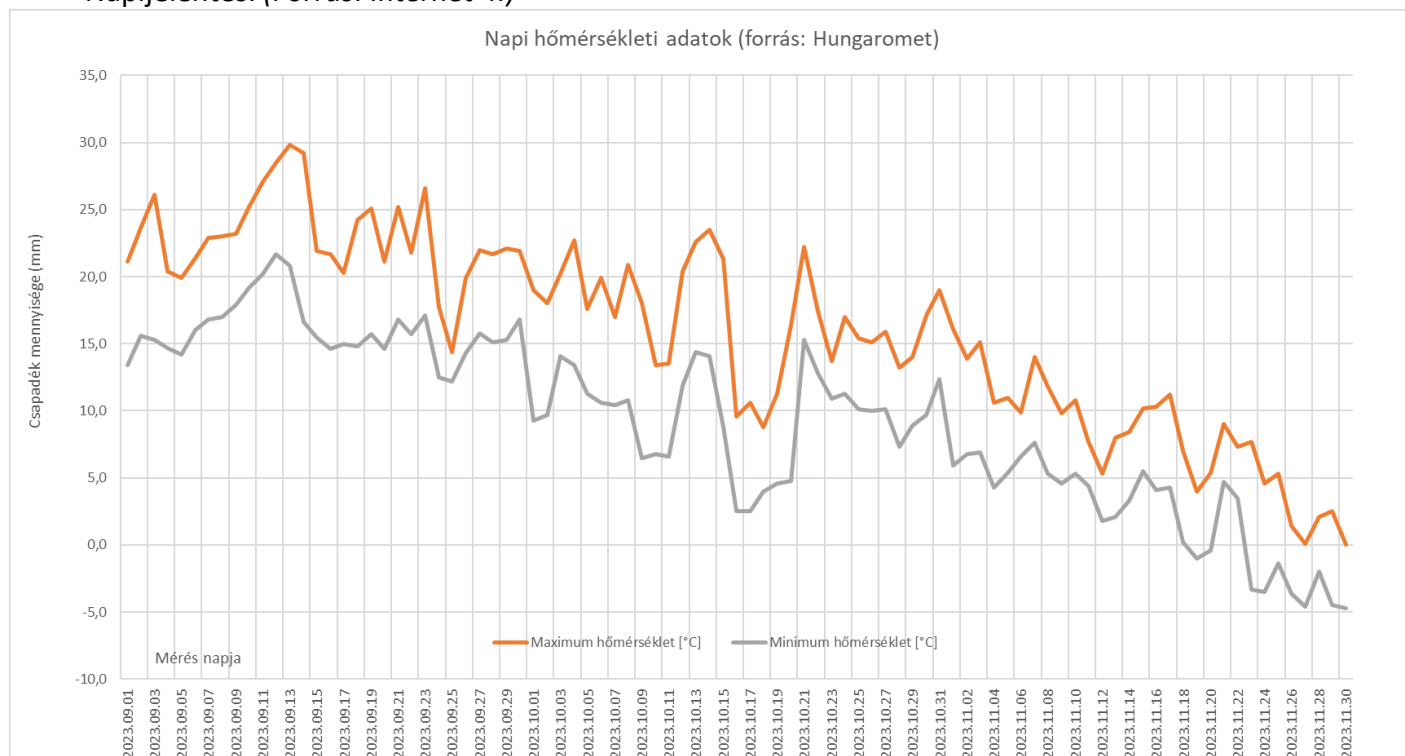
3.2 Napi hőmérsékleti és csapadékadatok összegyűjtése

A vizsgált időszakra vonatkozó hőmérsékleti adatokat a Hungaromet (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., 2023.12.31-ig Országos Meteorológiai Szolgálat, OMSZ) honlapjáról gyűjtöttem.

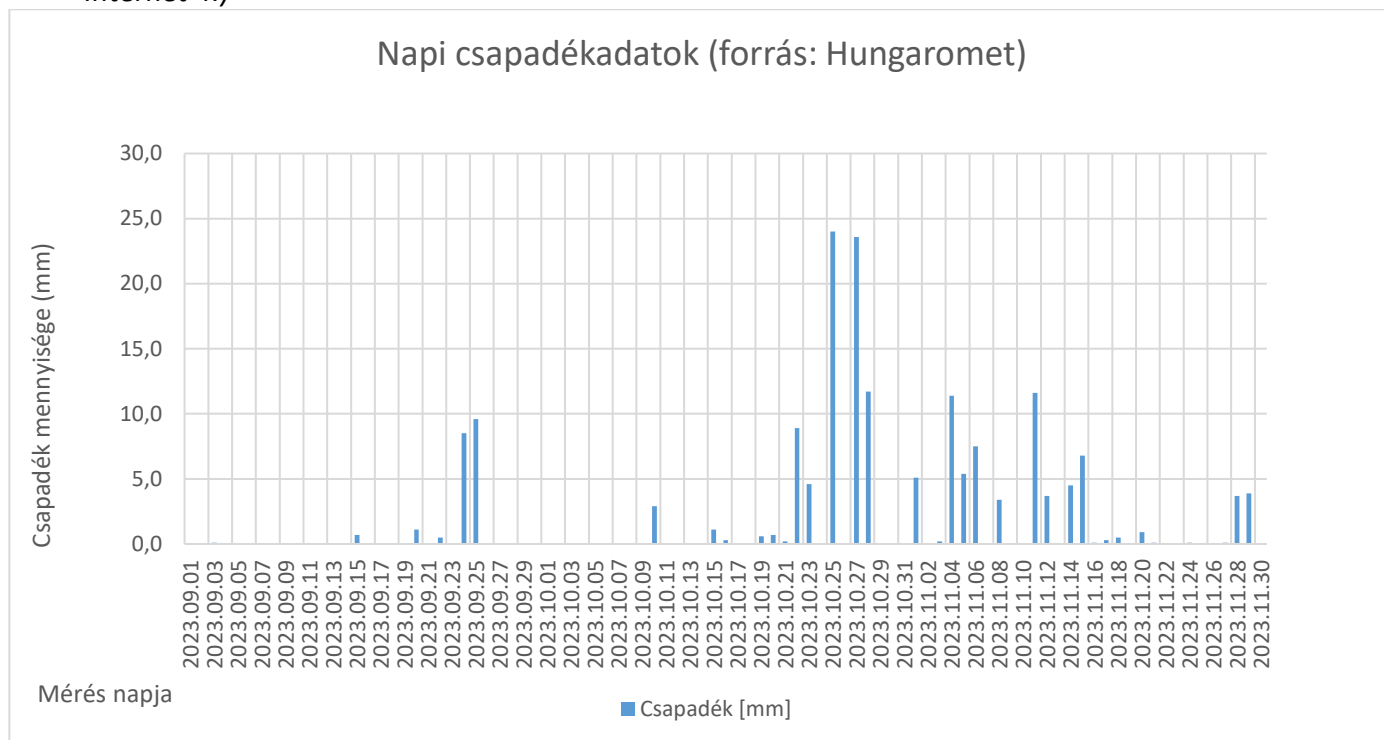
A kísérlethez a 2023 szeptember 1-től november 30-ig tartó időszak napi csapadékmennyiségét, valamint napi maximum- és minimumhőmérsékletét gyűjtöttem ki a

Budai Arborétumhoz legközelebb eső meteorológiai állomásra vonatkozóan, mely esetünkben a Budapest, János-hegy állomás volt. A kigyűjtött adatokat a 9-10. ábrákon ismertetem.

9. ábra Napi hőmérsékleti adatok a 2023. szeptember 1. és december 31. közötti időszakra. Saját szerkesztés. Az adatok forrása a Hungaromet (korábban OMSZ) honlapján elérhető Napijelentés. (Forrás: Internet 4.)



10. ábra Napi csapadékmennyiség a 2023. szeptember 1. és december 31. közötti időszakban. Saját szerkesztés. Az adatok forrása a Hungaromet (korábban OMSZ) honlapja. (Forrás: Internet 4.)



A naptári időszak lezárultát követően felkerült az OMSZ honlapjára egy olyan jelentés is, amely az adott időszak, év, illetve hónap időjárását értékeli a begyűjtött adatok alapján. A jogutód Hungaromet által üzemeltetett egykori OMSZ honlap jelenleg (2024.09.28.) sajnos nem hozzáférhető. A havi jelentés szerint 2023. augusztusa az átlagosnál csapadékosabb volt, a főváros térségében az átlagosnál 1,5-2-szer több csapadék hullott. Ez év szeptembere az 1901 óta mért legmelegebb szeptember volt, Budapest környékén a 21 °C-ot is meghaladta a havi középhőmérséklet, az időjárás ugyanakkor a szokásosnál szárazabb volt, az ország középső részén mindössze 10-25 mm esett, ami az átlag 10-40%-a. Az október hasonlóan meleg volt, de a csapadék mért mennyisége átlagos volt. A 14,2 °C-os havi középérték a harmadik legmelegebb 1901 óta. A Dunántúli-középhegységben és a Dunazugban a havi csapadékösszeg a 100 mm-t is meghaladta. A november szintén az átlagosnál enyhébb, és rendkívül csapadékos volt, a 12. legcsapadékosabb 1901 óta. A havi csapadékösszeg országos átlagban 98,6 mm volt, ami a sokéves átlag kétszerese (Internet 5.).

3.3 A klorofill-, karotinoid- és antociántartalom vizsgálati módszere

A levelek pigmenttartalmának vizsgálatához első lépésként növényi kivonatot kell készíteni, azaz a szöveteket, sejteket homogenizálni kell, majd a sejtalkotókat fel kell tární. A kivonat

készítésekor a vizsgálat céljának megfelelő közeget kell alkalmazni. A kivonat frakcionálására leggyakrabban centrifugát használnak. Fontos, hogy hűtött oldatot és eszközöket használjunk, illetve a kivonatot is hűtsük (DROPPA et al. 2003).

3.3.1 A klorofill- és karotinoid-vizsgálat módszere

Ezek a pigmentek a kloroplasztiszok tilakoid membránjában, fehérjékhez kötötten fordulnak elő. A levelekből szerves oldószerekkel vonhatók ki. A pigmentoldatban mennyiségük spektrofotometriásan meghatározható.

A felhasznált anyagok: 80%-os acetonnal, kvarchomok, parafilm, illetve a három kísérleti növény: *Ceratostigma plumbaginoides*, *Geranium sanguineum* és *Hosta plantaginea* leveleiből származó szövetminták. A kísérlethez használt eszközök: pipetta, dörzsmozsár, kémcső, mérleg, valamint Thermo Scientific GENESYS 10vis típusú spektrofotométer.

Mindhárom fajból egy-egy begyűjtött időpontból 4-4 mérést végeztünk. A 4 °C-on, hűtőben tárolt levelekből analitikai mérlegen kimértünk 100 mg-ot. Ezt hűtött dörzsmozsárban eldörzsöltük 2 ml 80 %-os acetonnal, spatulahegynyí kvarchomok hozzáadásával (11. ábra).

11. ábra A kísérlethez szükséges eszközök egy része a tanszéki labor asztalán. 2024.01.16. (Forrás: saját fotó)



A homogén szuszpenziót kémcsőbe töltöttük át, majd további acetonnal adagolásával 10 ml végtérfogatra töltöttük fel, parafilmel lezártuk, a mintát hűtőben tárolva 24 óráig üleptettük (12. ábra).

12. ábra Mintával teli kémcsövek a hűtőben. Az egyes fajktól származó minták szabad szemmel is elkülöníthetőek: az első, a negyedik és a hetedik sor a *Ceratostigma plumbaginoides* mintája. (Forrás: saját fotó)



A spektrofotométerrel vizsgálandó anyag a felülúszó, azaz az acetonos szövetkivonat volt. 24 óra elteltével a mintákból egyenként 2 ml-t óvatosan kimértünk, hogy a leülepedett részt ne kavargassuk fel, és csak a tiszta felülúszóból vegyünk mintát. Ezt 2ml-es küvettába töltöttük és a Thermo Scientific GENESYS 10S VIS típusú spektrofotométerbe helyeztük (13. ábra). Elsőként kötelező egy vaktesztet végezni 2 ml 80 %-os aceton bemérésével, amelyhez a mintákat méri. A Lichtenthaler-féle módszer alapján három hullámhosszon mértünk értéket, ezek a 470, a 647 és 663 nm (A_{470} , A_{647} , A_{663}). A kapott értékeket feljegyeztük, excel táblázatba rendszereztük.

13. ábra A GENESYS 10vis típusú spektrofotométer nyitott állapotban a tanszéki laborban. (Forrás: saját fotó)



3.3.2 A minták klorofill- és karotinoidtartalmának kiszámítása

A számítások elvégzése előtt a minták tömegét egalizáltuk, azaz a kimért szövetminta tömegét 100 mg-hoz arányosítottuk és a kapott hányadossal megszoroztuk a hullámhosszokat. Ezekkel

a módosított hullámhosszokkal számoltunk tovább. Mindhárom fajra dátumonként kiszámoltuk a 4-4 minta hullámhosszértékét. A 100 mg-ra vetített klorofill- és karotinoidértékeket az alábbi képlettel számoltuk ki (DROPPA et al. 2003).

$$\text{klorofill(a+b)} (\mu\text{g/g}) = (20,2 \times A_{647} + 8,02 \times A_{663}) \times 100$$

$$\text{karotinoid} (\mu\text{g/g}) = 5,01 \times A_{470} \times 100$$

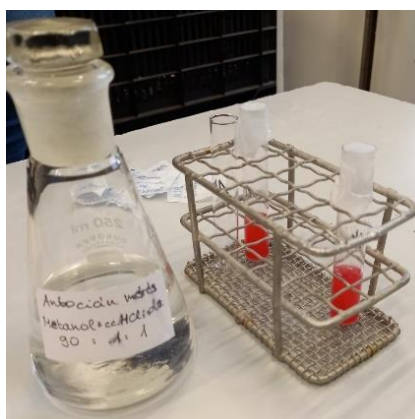
3.3.3 Az antociánvizsgálat mintáinak bemérése

Az antociánok közömbös, vagy lúgos oldatban nem stabilak, ezért erősen savas közegben kell oldani a növényi mintákat, pl. 1%-os HCl-oldatban. SIMS és GAMON metanol, sósav és desztillált víz 90:1:1-es elegyét használták oldószerként (SIMS és GAMON 2002).

Felhasznált anyagok: sósav, metanol, desztillált víz, kvarchomok, parafilm, valamint a három kísérleti növény: *Ceratostigma plumbaginoides*, *Geranium sanguineum* és *Hosta plantaginea* leveleiből származó szövetminták. A kísérlethez használt eszközök: pipetta, dörzsmozsár, kémcső, mérleg, Eppendorf 5418R típusú centrifuga, illetve Thermo Scientific GENESYS 10vis típusú spektrofotométer.

A klorofilltartalom vizsgálatához hasonlóan a fagyasztott mintából 100 mg növényi szövetet mértünk ki (mindhárom fajból, mindhárom időpontból 4-4 ismétlésben). A szövetet metanol, sósav és desztillált víz 90:1:1-es arányú keverékében dörzsöltük el. A hűtött dörzsmozsárban kvarchomokkal és 2 ml oldószerrel (metanol, sósav és desztillált víz 90:1:1 arányú keveréke) eldörzsölt mintát kémcsőbe töltöttük és feltöltöttük 5 ml-re, majd parafilmmel lezártuk (14. ábra). A mintákat hűtőben tároltuk a centrifugálásig.

14. ábra Oldószer az antociánméréshez és két kémcső mintákkal. Tanszéki labor, 2024.01.17. (Forrás: saját fotó)



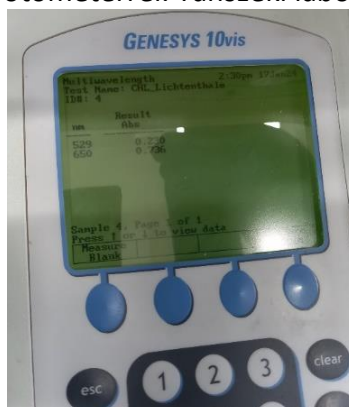
Az Eppendorf 5418R típusú centrifugát előhűtöttük 4 °C-ra. A mintákból egyenként 2 ml-t Eppendorf-centrifugacsőbe pipettáztunk, behelyeztük a készülékbe, vigyázva, hogy a minták tömege kiegyenlített legyen (15. ábra). A készülékbe egyszerre 18 minta fér, tehát a 36 mintát két részletben centrifugáltuk, 10 000 rpm-mel 10 percig ülepitettük.

15. ábra Eppendorf centrifuga a mintákkal. Tanszéki labor, 2024.01.17. (Forrás: saját fotó)



Az antociántartalmat is a Thermo Scientific GENESYS 10vis spektrofotométerrel mértük meg (16. ábra). A centrifugált mintából 1,8 ml-t pipettával a kuvettába pipettáztunk, ügyelve arra, hogy az Eppendorf-cső alján lévő üledék ne kerüljön bele. A Lichtenthaler-féle módszerrel mértünk két hullámhosszon, az 529 és 650 nanométeren.

16. ábra Antociánmérés spektrofotométerrel. Tanszéki labor, 2024.01.17. (Forrás: saját fotó)



3.3.4 A minták antociántartalmának kiszámítása

SIMS és GAMON (2002) két hullámhossz adatot felhasználva (A_{529} és A_{650}), az empirikus tapasztalatok alapján egy állandót alkalmazva megállapítottak egy javított antocián abszorbanciaértéket (AA_{corr}). A javított képlet, amelyet mi is használtunk, a következő.

$$AA_{corr} = A_{529} - (0,288 \times A_{650})$$

Az antocián mennyiségének kiszámítására ZHAO és társai (2011) számítási módszerét vettük alapul. Az alkalmazott képlet a következő:

$$\text{TAC (mg/100g)} = \frac{\text{Abs}}{\epsilon L} \times \text{MW} \times \text{DF} \times \frac{V}{G} \times 100$$

Ahol TAC = a cianidin-3-glükózid mennyisége mg-ban 100 g eredeti szövetmintában, Abs = (A₅₂₀ - A₇₀₀)pH 1.0 - (A₅₂₀ - A₇₀₀)pH 4.5. ϵ a moláris abszorpciós koefficiens, mely a cianidin-3-glükózid esetében 30 000. L az optikai úthossz, azaz az út hossza, amelyet a vizsgált fény megtesz, esetünkben ez 1 cm, a vizsgálati kuvetta mérete volt. MW a moláris tömeg, amely a cianidin-3-glükózid esetében 449,2 g/mol. DF a hígítási arány, V a végtérfogat, G pedig a szövetminta súlya (ZHAO et al., 2011).

A mi kísérletünkre módosított képlet a következő:

$$(\text{AA}_{\text{corr}} / 30\,000) \times 449,2 \times 5 \times (5 / 0,1) \times 100$$

4 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1 A *Ceratostigma plumbaginoides* mintavételi eredményei

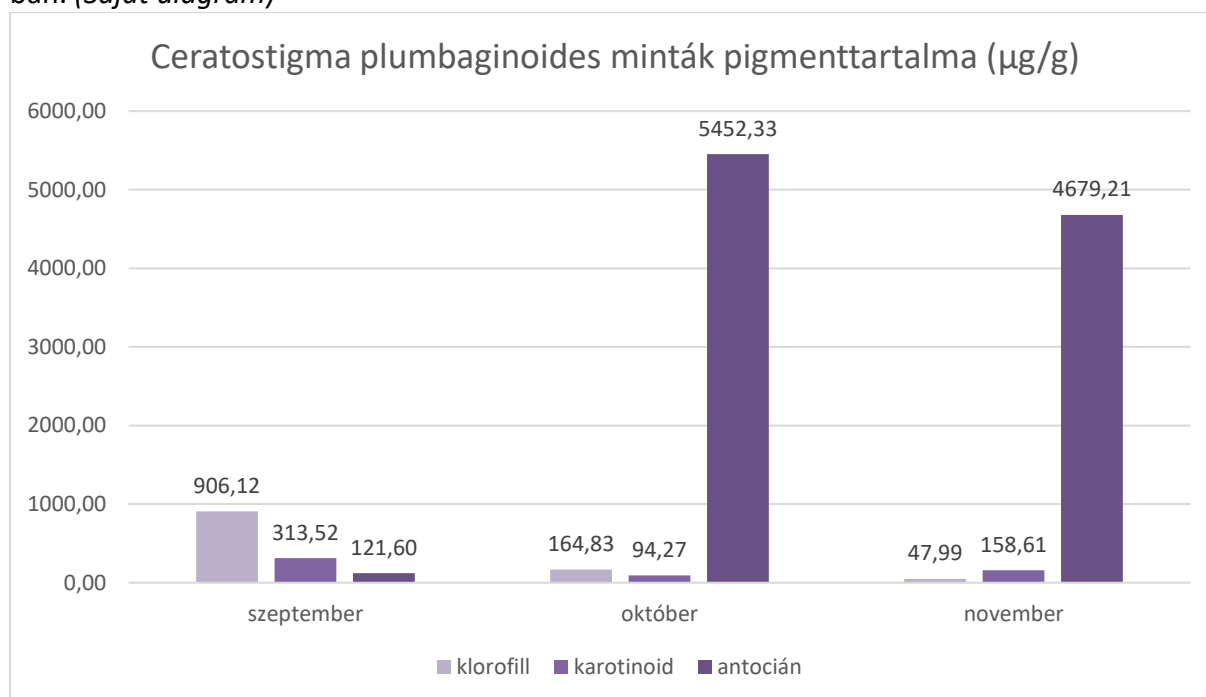
A Budai Arborétum területéről 2023. szeptember 13-án, október 10-én és november 13-án begyűjtött növényanyagból a 3. fejezetben részletezett módszerrel mintát vettünk és azok pigmenttartalmát az ott ismertetett képletekkel meghatároztuk. Az alábbiakban a három növényfajnak a vizsgált időszakban mért klorofill, karotinoid és antociántartalmát fajonként külön diagramon összesítve mutatom be.

A *Ceratostigma plumbaginoides* értékeinek vizsgálatakor (lásd (17. ábra) a legszembetűnőbb az antociántartalom októberi ugrásszerű, nagyságrendi növekedése volt szeptember hónaphoz képest. A klorofilltartalom értéke a három pigment közül a legmagasabb volt a szeptemberi, első mérés idején, 906,12 µg/g. Az érték októberre drasztikusan, a kiindulási értéknek (906,12 µg/g) mintegy ötödére, 164,8 µg/g-ra, majd novemberre mintegy az 5%-ára, 47,99 µg/g-ra csökkent. A karotinoidtartalom a szeptemberi 313,52 µg/g-ról szintén lecsökkent novemberre, bár nem ilyen mértékben, csupán mintegy felére, 158,61 µg/g-ra.

Az antocián mennyisége ezzel szemben látványosan növekvő tendenciát mutatott, a szeptemberi 121,60 µg/g-ról októberre 5452,33 µg/g-ra ugrott, azaz a kiinduló érték kb. 44-szeresére. Az érték a novemberi mérés alkalmával valamelyest, az októberi adat mintegy 85%-ára, 4679,21 µg/g-ra visszaesett, drasztikus csökkenés azonban nem figyelhető meg, ez még mindig igen magas érték a szeptemberihez képest.

A klorofill- és az antociántartalom aránya a szeptemberi mérésnél 7,5:1, ahol a klorofill mutatja a magasabb értéket (906,12 µg/g), míg novemberben az arány megfordul az antocián javára és közel százszoros lesz (47,99 µg/g klorofill, 4679,21 µg/g antocián).

17. ábra A *Ceratostigma plumbaginoides* minták havonként összesített pigmenttartalma $\mu\text{g/g}$ -ban. (Saját diagram)



4.2 A *Geranium sanguineum* mintavételi eredményei

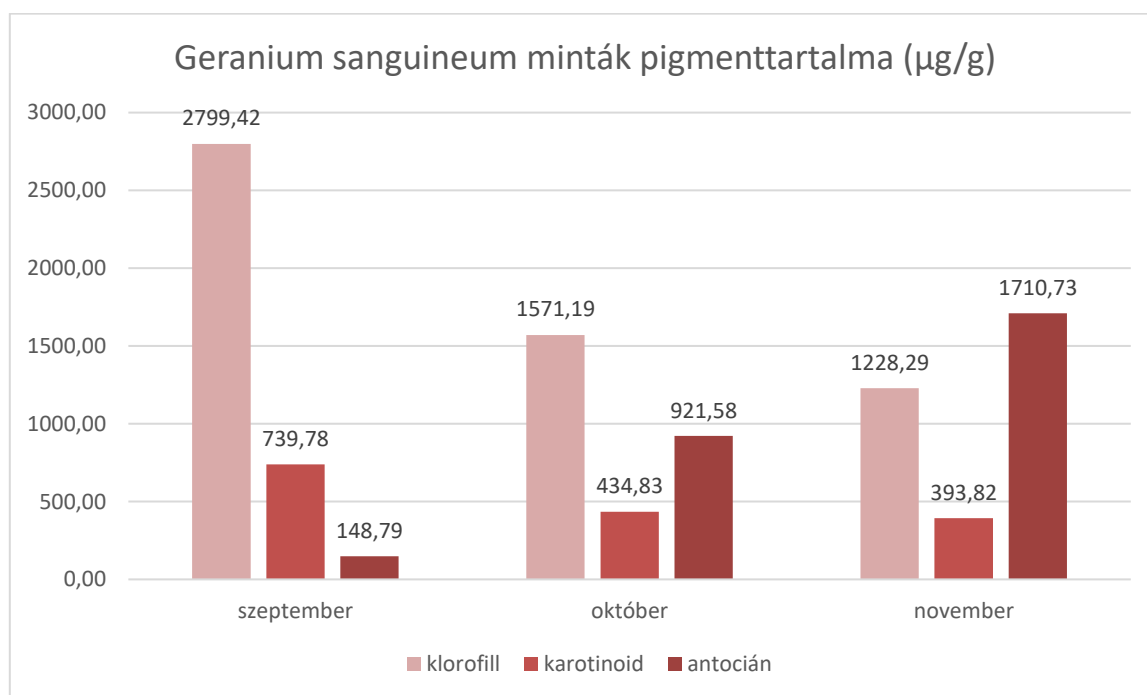
A *Geranium sanguineum* mintáinak esetében (18. ábra) az idő előrehaladtával a kezdeti magas klorofill- és karotinoidmennyiség fokozatosan csökkent, míg az antociántartalom ezzel párhuzamosan fokozatosan nőtt. A *Ceratostigma plumbaginoides* szeptemberi mintájánál ($906,12 \mu\text{g/g}$) mintegy háromszor magasabb, $2799,42 \mu\text{g/g}$ -os klorofilltartalom a *Geraniumban* októberre 56%-ára, majd novemberre 43%-ára, $1228,29 \mu\text{g/g}$ -ra csökkent. A karotinoidtartalom szintén fokozatos csökkenést mutat, a tendencia hasonló, mint a klorofill esetében: a csökkenés szeptemberről októberre nagyobb, mint októberrel novemberre. A szeptemberi $739,78 \mu\text{g/g}$ karotinoid októberre 58%-ára, $434,83 \mu\text{g/g}$ -ra, majd novemberre a kiindulási érték 53%-ra, $393,82 \mu\text{g/g}$ -ra csökkent.

Az antociántartalom a *Geranium sanguineum* esetében is nagyságrendi növekedést mutat, noha ez közel sem olyan mértékű, mint a *Ceratostigma plumbaginoides* esetében. A szeptemberi $148,79 \mu\text{g/g}$ antociántartalom októberre több mint hatszorosára, $921,58 \mu\text{g/g}$ -ra ugrott, ez az érték pedig majdnem megduplázódott novemberre, $1710,73 \mu\text{g/g}$ -mal.

A klorofill- és antociántartalom arányát tekintve a szeptemberi $148,79 \mu\text{g/g}$ antociánérték a $2799,42 \mu\text{g/g}$ klorofillhoz képest elenyészőnek mondható, annak csupán mintegy 5%-a. Az októberi antociántartalom ($921,58 \mu\text{g/g}$) viszont már mintegy 58%-a a mintában ezzel

egyidőben megfigyelt klorofilltartalomnak (1571,19 $\mu\text{g/g}$). Ellentétben a *Ceratostigma plumbaginoides* esetében megfigyeltekkel, a *Geranium* szövetének klorofilltartalma a csökkenés ellenére viszonylag magas maradt novemberben is, értéke kb. 71%-a volt az immár a klorofillnál nagyobb antociántartalomnak (1228,29 $\mu\text{g/g}$ klorofill és 1710,73 $\mu\text{g/g}$ antocián).

18. ábra A *Geranium sanguineum* minták havonként összesített pigmenttartalma $\mu\text{g/g}$ -ban. (Saját diagram)



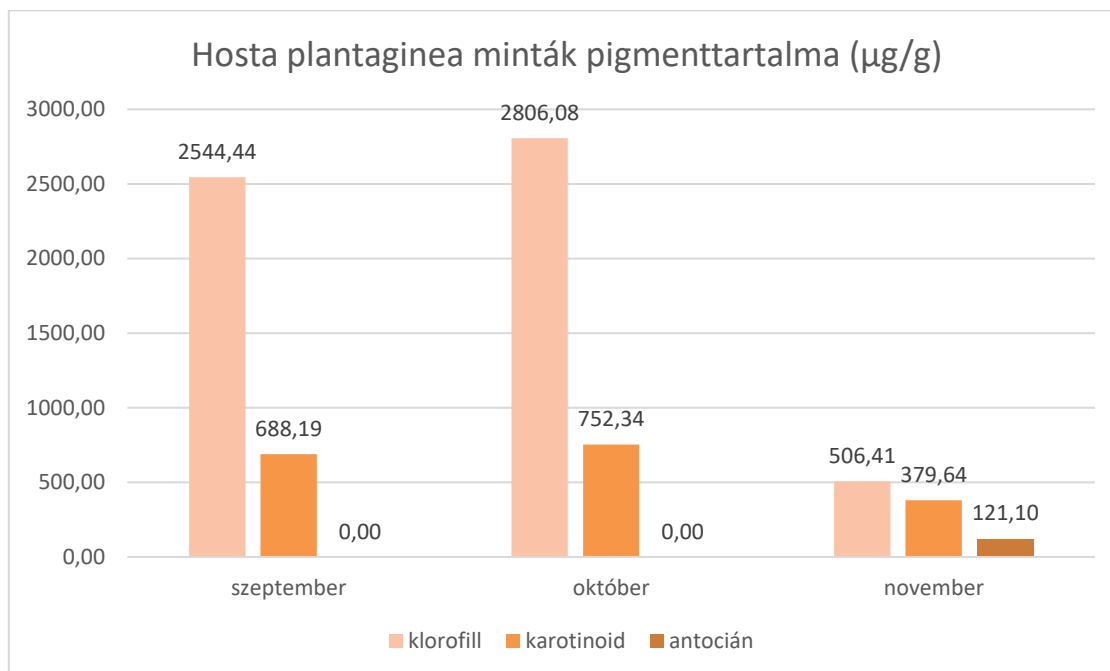
4.3 A *Hosta plantaginea* mintavételi eredményei

A *Hosta plantaginea* minták esetében (19. ábra) szembeűnő az igen magas kiinduló klorofillmennyiség, mely a szeptemberi 2544,44 $\mu\text{g/g}$ -ról még emelkedik is októberre, 2806,08 $\mu\text{g/g}$ -ra. Ez az érték novemberre, a levélszenescencia előrehaladtával drasztikusan visszaesik mintegy ötödére, 506,41 $\mu\text{g/g}$ -ra. A karotinoid mennyisége a klorofillhoz hasonló módon változik, a szeptemberben mért 688,19 $\mu\text{g/g}$ -ról októberre enyhén emelkedik (752,34 $\mu\text{g/g}$), majd mintegy felére, 379,64 $\mu\text{g/g}$ -ra csökken.

Az antociántartalom meghatározásakor, A529 és A650 hullámhosszon szeptemberben és októberben mértünk bizonyos antociántartalmat, azonban ezeket átszámolva a javított antocián abszorbanciaértékre (AA_{corr}) negatív eredményt kaptunk, így az antocián mennyiségét ebben a két hónapban nullának vettük. Novemberben már érzékelhető mennyiségű antocián jelent meg a levelekben, amely a javított abszorbanciaértékkel számolva

is kimutatható volt (121,10 µg/g). Az antocián mennyisége novemberben a klorofilltartalom közel negyede volt.

19. ábra A *Hosta plantaginea* minták havonként összesített pigmenttartalma µg/g-ban. (Saját diagram)



4.4 Időjárási körülmények a mintavételek idején

A Budai Arborétum területéről 2023. szeptember 13-án, október 10-én és november 13-án gyűjtöttük a szövetmintákat. 2023 szeptembere rendkívül meleg volt, a legmagasabb napi hőmérséklet a mintavételt megelőző két hétben meghaladta a 20 °C-t, miközben a legalacsonyabb napi hőmérséklet csupán két ízben süllyedt 10 °C alá (a napi hőmérsékleti adatokra lásd 9. ábrát). A mintavételt megelőző két hétben csupán 0,1 mm csapadék esett (a napi csapadéértékeket lásd a 10. ábrán). Az október szintén melegebb volt a sokévi átlagnál, a napi maximumhőmérséklet nem süllyedt 10 °C alá. Ez alól csupán az október 10-ei mintavétel napja és az azt megelőző nap volt kivétel 6,5 °C-os, illetve 6,8 °C-os maximumértékekkel. E hónapban összesen 78,6 mm csapadékot mértek, bár a mintavételt megelőző két hétben egyáltalán nem volt csapadék. Az enyhe novemberben a mintavételt megelőző két hétben a napi maximumok meghaladták a 10 °C-t. Ez alól csak a mintavétel napja, illetve az azt megelőző két nap volt kivétel, amikor a napi maximumok 7,7 °C, 5,3 °C, illetve 8,0 °C voltak, míg a napi minimumok ekkor 5 °C alatt maradtak (4,4 °C, 1,8 °C, illetve 2,1 °C). A hőmérséklet első ízben 19-én süllyedt fagypont alá, tehát nem károsította a fagy egyik,

még a november 13-án gyűjtött mintát sem. A harmadik őszi hónap szintén rendkívül csapadékos volt, a mintavételt megelőző két hétben 48,3 mm csapadék hullott.

4.5 A vizsgálati eredmények értékelése

A vizsgált pigmentek közül a klorofill és a karotinoid vesznek részt a fotoszintézis folyamatában. A mérséklet égvön a vegetációs időszak végén, a levelek öregedése során ezek a vegyületek feladatukat vesztik és elbomlanak a levélszövetben. A levélszenescencia folyamatát alapvetően a hőmérséklet és a nappalhossz befolyásolja (WANG et al., 2022). Megfigyelések szerint a levél öregedése általában kitolódik a hőmérsékletemelkedés hatására (GALLINAT et al., 2015).

A klorofill elbomlásával párhuzamosan a levelekben antociánvegyületek termelődnek, melyek a szenescencia folyamatának lassításával egyrészt segítenek meghosszabbítani a levelek szénhidráttermelő funkcióját, valamint a tápanyagok felhalmozását más szövetekben (LANDI et al., 2015, SCHABERG et al. 2008); másrészt hővédő, fénystressz-csökkentő funkciójukkal védik a növényi szöveteket (COONEY et al., 2018, VETTER, 2019, LEV-YADUN és GOULD, 2007). Az antociánok bioszintézisét és felhalmozódását a fény minősége, erőssége, a megvilágítás hossza, valamint a hőmérséklet szabályozza. Általában véve, amikor a növényeket stresszhatás éri, antocián termelődik a szövetekben (LI és AHAMMED, 2023).

Az antociántartalmat tekintve legnagyobb mértékű emelkedést a három vizsgált növényfaj közül a *Ceratostigma plumbaginoides* esetében (17. ábra) figyelhattunk meg. Szeptemberben utóbbi növényfaj és a *Geranium sanguineum* mintái (18. ábra) közel azonos mennyiségű (121,60 µg/g, illetve 148,79 µg/g) antociánt tartalmaztak, azonban a *Ceratostigma* esetében 44-szeres, míg a *Geranium* esetében hatszoros növekedést figyelhetünk meg szeptemberről októberre.

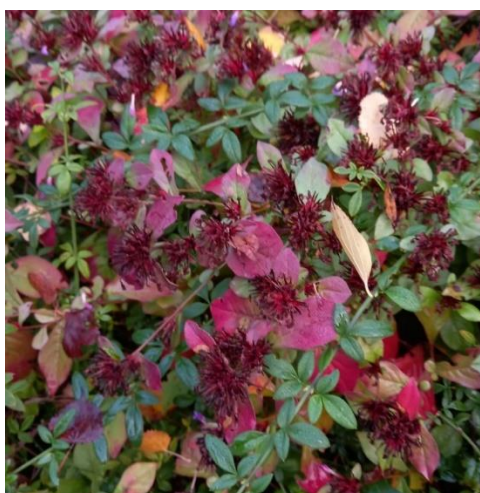
A *Hosta plantaginea* minták esetében (19. ábra) hasonló tendencia figyelhető meg, mint a fent ismertetett két növényfaj esetében, azaz a vizsgált periódusban az antociántartalom emelkedik, miközben a klorofill- és karotinoidtartalom csökken. A *Hosta* esetében azonban az antocián mennyisége mind szeptemberben és októberben (0 µg/g), mind novemberben (121,10 µg/g) lényegesen alacsonyabb a *Ceratostigma plumbaginoides* (121,60 µg/g, illetve 4679,21 µg/g) és a *Geranium sanguineum* (148,79 µg/g, illetve 1710,73 µg/g) mintáin

megfigyelteknél. A *Hosta* antociántartalma novemberben érte el a másik két növényfajban szeptemberben detektált értéket.

A három vizsgált növényfajból a mintákat az őszi hónapokban, az északi mérsékelt égövi vegetációs periódus végén gyűjtöttük. A pigmenttartalom változásainak alapvető tendenciáit, tehát, hogy a klorofill- és karotinoidtartalom csökken, míg az antociántartalom nő ebben az időszakban, a mi méréseink is igazolták. A 2023-as év őszének hőmérséklete Magyarországon azonban összességében nem tekinthető átlagosnak, a szeptember és az október rendkívül meleg, míg a november az átlagosnál enyhébb és rendkívül csapadékos volt.

A *Ceratostigma plumbaginoides* esetében októberben detektált rendkívüli antociánmennyiség feltehetően a hőstressz elleni védekezés miatt termelődött, egyben a szenescencia folyamatának lassításával a növény tápanyagraktározását is segíthette. A klorofill- és karotinoidtartalom már szeptemberben igen alacsony volt a másik két növényfajhoz képest, ezért feltételezhető, hogy a fotoszintézis intenzitása már szeptember előtt lecsökkent. A levelek vöröses színeződése, mely a megnövekedett antociántartalom, illetve a lecsökkent klorofilltartalom következménye, októberben szabad szemmel is jól látható volt (20. ábra). A növény szeptemberben volt a virágzása csúcsán, a virágzás 2023-ban október közepéig tartott.

20. ábra *Ceratostigma plumbaginoides* hajtások a télizöld *Jasminum nudiflorum* vesszők között 2023. október 28-án a Budai Arborétumban (Forrás: saját fotó)



A hazánkban is őshonos *Geranium sanguineum* mintái mutatták a legkiegyenlítettebb változásokat, ez talán a hazai klímához való jobb alkalmazkodásnak is köszönhető. A mintákban végig jelen lévő klorofill és karotinoid az időszak végéig fokozatosan csökkent, míg

az antociántartalom fokozatosan nőtt, jelentős mértékű csökkenést vagy növekedést nem figyeltünk meg. Feltételezhető, hogy az egész Európában elterjedt, tágtűrűsű növény így tud alkalmazkodni a szélsőséges klimatikus viszonyokhoz, ebben az esetben a rendkívüli meleghez, azaz fenntartja a fotoszintézist a vegetációs időszak legvégéig, a hőstressz, majd a csökkenő hőmérséklet ellen pedig antociántermeléssel védekezik. Az antociánmennyiség növekedése ugyanakkor nem okozott vöröses levélszíneződést, mivel a vizsgált időszak folyamán a klorofill még jelen volt a levelekben (21. ábra).

21. ábra Teljesen zöld lombú *Geranium sanguineum* a Budai Arborétumban 2023. október 31.-én. (Forrás: saját fotó)



A *Hosta plantaginea* más stratégiát követ, mint a fent ismertetett két faj, hiszen ebben az esetben az antocián csak a vizsgált időszak legvégén volt kimutatható, amikor a növény levelei fő élettani funkciójukat már nem töltötték be. Az, hogy a *Hosta* nem veszítette el az összes levelét november elejére, talán a rendkívül csapadékos és enyhe időjárásnak köszönhető, hiszen a vegetációs időszak legvégéig kedvezőek voltak a feltételek a tápanyagok felhalmozására és a fotoszintetizálásra. A *Hosta* fajok esetében a levelek vöröses színeződése nem jelentkezik, a levelek sárgulnak, a levélszövet elvékonyodik, majd elhal. A mi méréseink alátámasztották ezt a jelenséget, hiszen a vörös színt okozó antociánt csak novemberben találtuk a mintákban, de a klorofillhoz képest akkor is jóval kisebb mennyiségben. Fagy nem érte a leveleket a mintavétel előtt, ez is hozzájárult ahhoz, hogy november elejére a növény még nem veszítette el a lombját (22. ábra).

22. ábra *Hosta plantaginea* a Budai Arborétumban 2023. november 4-én. (Forrás: saját fotó)



5 KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az őszi vegetációs folyamatok modellezését nehezíti, hogy míg a tavaszi vegetációs folyamatokra már kidolgozták a hőmérsékletváltozáson és a csapadékmennyiségen alapuló modelleket, melyek alapján előre tudják jelezni a fenológiai változások bekövetkeztét, az őszi időszakra ilyen modellek még nem állnak rendelkezésre (GALLINAT et al., 2015; LANG et al., 2019). Emellett a kutatások elsősorban a fásszárú taxonokra fókuszálnak (CHMIELEWSKI és RÖTZER, 2001; XIE és WILSON, 2017; XIE et al., 2018; BIGLER és VITASSE, 2021; SCHABERG et al. 2008; LEV-YADUN és GOULD, 2007), évelő növényfajok lombszíneződését mélyrehatóan még nem vizsgálták (SIMS és GAMON, 2002; LEV-YADUN et al., 2012).

A pigmenttartalmat mérő kísérletünkben a Budai Arborétumban élő évelő növényeket vizsgáltunk. Az eredmények értékelésénél nehézséget okozott, hogy a szakirodalomban nem találtam sem azonos fajokból, sőt még azonos életformájú taxonokból származó mintákat vizsgáló, és a vizsgálat menetét részletesen bemutató közleményt sem. Így sem a vizsgálatunk módszerét, sem eredményeit nem tudtam összevetni más helyszínen, más időpontban végzett kutatásokkal.

Az újabb kutatások fontos tanulsága, hogy e vegetációs modellek felállításánál számos meteorológiai tényezőt szükséges egyidejűleg figyelembe venni. Egy Budapesten végzett, az ELTE Botanikus Kertjében élő geofita növényeket vizsgáló kutatás a fenológiai fázisok meghatározására egy 24 tényezőből álló meteorológiai adatsort használt. Kimutatták, hogy az egyes fenofázisok bekövetkezésének idejét a napi hőingás, a fagyos napok száma és a minimum hőmérsékletek átlaga befolyásolta leginkább (DEDE, 2010).

A mi vizsgálatunkhoz földrajzilag és a vizsgált fajok életformáját tekintve is Dede Lilla kutatása áll a legközelebb. Az általa figyelembe vett 24 tényező helyett mi azonban csak hármat regisztráltunk (minimum- és maximumhőmérséklet, csapadék mennyisége), azt is korlátozott időtartam, mindössze három hónap alatt. A továbbiakban célszerű meghatározni, hogy a mi kutatásunkban szereplő évelők vizsgálatába a Dede Lilla által figyelembe vett tényezők közül melyeket érdemes beilleszteni. Emellett, a pontosabb eredmény elérése érdekében, szükségesnek látszik a módszer megváltoztatása. Ennek módja lehet a mintavétel sűrítése, esetleg kiterjesztése több évre, a talajhő mérése helyben, illetve más helyszínek bevonása a vizsgálatba, ahol ugyanezek az évelő fajok megtalálhatók.

Egy 2001-ben közzétett kutatás megállapította, hogy a globális felmelegedés következtében a vegetációs időszak az évszázad végére egész Európában 8 nappal hosszabb lett (CHMIELEWSKI és RÖTZER, 2001). A klímaváltozással járó növekvő hőstressz a jövőben minden bizonnyal rövidebb őszi lombszíneződési időszakot fog eredményezni (XIE et al., 2018). Megfigyelték azonban azt is, hogy a nagy fényintenzitás szignifikánsan csökkentette a levelek hőmérsékletre való érzékenységét, különösen ősszel (WANG et al., 2023). E tanulságokat érdemes lenne beépíteni az ökoszisztéma-modellekbe.

Az őszi fenológiai változásokat vizsgáló kísérletünk azért is fontos, mert sokévi adatsorok regisztrálása és feldolgozása után a klímaváltozás hatása detektálható lenne ezzel a módszerrel. A három hónapos periódus egyszeri vizsgálata azonban nem bizonyult elegendőnek annak megállapítására, hogy az időjárási körülmények mennyiben befolyásolták a vizsgált növények lombszíneződését. Nem állítható teljes bizonyossággal, hogy a később bekövetkező lombszíneződés a hőstressznek, vagy a több csapadéknak, tehát a hosszabbra nyúlt vegetációs időszaknak volt köszönhető. A fotoszintézist végző pigmentek, a klorofill és karotinoid mennyisége a várakozásnak megfelelően csökkent, míg a lombszíneződésért felelős antocián mennyisége nőtt mindhárom vizsgált növényfaj mintájában a vizsgálati időszak alatt. A mennyiségi változás és az időjárási tényezők közötti szoros összefüggés azonban nem állapítható meg.

A pigmenttartalom mennyiségi különbségeinek oka elsősorban abban keresendő, hogy a vizsgált három növényfaj eltérő klímáról származik, illetve eltérő élőhelyi adottságokhoz alkalmazkodott. A *Hosta plantaginea* a magyarországinál melegebb klímáról származik, így ebben az esetben nincs szükség az antociántartalom által biztosított időjárás elleni védelemre. A nálunk is honos *Geranium sanguineum* az antociántartalom növelése mellett a vastagabb levélszövettel, szőrökkel borított levélfelszínnel védekezik a hideg ellen, és sokszor még télen is sokáig megtartja a lombját. A *Ceratostigma plumbaginoides* levele ezzel szemben a korai lombszíneződéssel védekezik a hőmérsékletcsökkenéssel szemben.

A vizsgálat tárgyai dísnövények, így meg kell említenünk, hogy kertészeti felhasználásuk során őszi lombszíneződésüket is figyelembe kell venni. A *Ceratostigma plumbaginoides* esetén különösen látványos a levelek őszi vörös-lilás lombszíne, melynek első megjelenése már szeptember elején látható volt. Különösen jó kontrasztot adott a növény égszínkék virágaival. A *Geranium sanguineum* lombja a vizsgált időszak alatt, 2023 november közepéig nem

változott vörösre, azonban a fajleírások szerint ez a növény egyik jellegzetessége. A színeződést a *Geranium* esetében talán a csökkenő hőmérséklet, esetleg a fagy indukálja. Mindenesetre kerttervezésnél, illetve egy évelőágyás megtervezésénél az őszi lombszín díszítőértékét is érdemes felhasználni.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Budai Arborétumában élő három évelő növényfaj, a tarackoló kékgyökér, a pirosuló gólyaorr és a nagy árnyékliliom őszi lombszínének változását vizsgáltam. A vizsgálat során 2023. szeptemberétől novemberig havonta egyszer levelet gyűjtöttünk a 3 faj egyedeiről, majd megmértük a klorofill, a karotinoid és az antocián pigmentek mennyiségét a szövetmintákban. A célunk az volt, hogy a pigmentmennyiség változását nyomon kövessük ebben a három hónapban, illetve kimutassuk, milyen mértékben függ ez a változás a hőmérsékleti tényezőktől.

A kapott értékeket összevetettük a Hungaromet (2023.12.31-ig Országos Meteorológiai Szolgálat) vizsgált időszakra vonatkozó napi hőmérsékleti és csapadékadatával. Ehhez a 2023. szeptember 1-től november 30-ig tartó időszak napi csapadékmennyiségét, valamint napi maximum- és minimumhőmérsékletét gyűjtöttem ki a Budapest, János-hegy állomásra vonatkozóan. 2023 ősze összességében az átlagosnál jóval melegebb, és rendkívül csapadékos volt.

A levelek pigmenttartalmának vizsgálatához növényi kivonatot készítettünk. Mindhárom fajból egy-egy begyűjtési időpontból 4-4 mérést végeztünk. A 4 °C-on, hűtőben tárolt levelekből kimértünk 100 mg-ot, majd a klorofill- és karotinoidvizsgálathoz 80 %-os acetonnal, az antociánvizsgálathoz metanol, sósav és desztillált víz 90:1:1-es elegyével szövetkivonatot készítettünk. A spektrofotometriás mérés előtt a klorofill- és karotinoidmintákat 24 óráig ülepítettük, míg az antociánvizsgálat mintáit Eppendorf-centrifugával frakcionáltuk. A spektrofotométerrel a Lichtenthaler-féle módszer alapján három hullámhosszon mértünk értéket, a 470, a 647 és 663 nm-en klorofillt és karotinoidot, míg antociánt 529 és 650 nanométeren. A kapott értékeket a szakirodalomban elfogadott képletekbe helyettesítve meghatároztuk a szövetek pigmentmennyiségét az adott vizsgálati időpontra.

A *Ceratostigma plumbaginoides* értékeinek vizsgálatakor a legszembetűnőbb az antociántartalom októberi ugrásszerű, nagyságrendi növekedése volt szeptember hónaphoz képest. A klorofilltartalom értéke a három pigment közül a legmagasabb volt a szeptemberi, első mérés idején. Az érték októberre drasztikusan, a kiindulási értéknek mintegy ötödére, majd novemberre mintegy az 5%-ára csökkent. A *Geranium sanguineum* mintáinak esetében az idő előrehaladtával a kezdeti magas klorofill- és karotinoidmennyiség fokozatosan

csökkent, míg az antociántartalom ezzel párhuzamosan fokozatosan nőtt. Az antociántartalom itt is nagyságrendi növekedést mutat, noha ez közel sem olyan mértékű, mint a *Ceratostigma plumbaginoides* esetében. Ellentétben a *Ceratostigma plumbaginoides* esetével, a *Geranium* szövetének klorofilltartalma viszonylag magas maradt novemberben is. A *Hosta plantaginea* minták esetében szembetűnő az igen magas kiinduló klorofillmennyiség, mely novemberre, a levélszeneszencia előrehaladtával drasztikusan visszaesik mintegy ötödére. A *Hosta* mintáiban az első két hónapban elhanyagolható mennyiségű antocián volt kimutatható, novemberben is közelítőleg annyi, mint amennyi a *Ceratostigma* leveleiben szeptemberben volt.

A pigmenttartalom változásainak alapvető tendenciáit, tehát, hogy a mérsékelt övi vegetációs időszak végén a levelek klorofill- és karotinoidtartalma csökken, míg antociántartalma nő, a mi méréseink is igazolták. A három hónapos periódus egyszeri vizsgálata azonban nem bizonyult elegendőnek annak megállapítására, hogy az időjárási körülmények mennyiben befolyásolták a vizsgált növények lombszínéződését. A pigmentek mennyiségi változása és az időjárási tényezők közötti összefüggés mértéke nem állapítható meg. E célból a további vizsgálatok elvégzése során szükségesnek látszik a módszer megváltoztatása, több időjárási tényező figyelembevétele, a mintavétel sűrítése, vagy annak kiterjesztése több évre, illetve több helyszínre.

7 IRODALOMJEGYZÉK

ALORYI, K. D., JING, H.-C., DIJKWEL, P. P. (2023): Comparison of leaf senescence regulation between distantly related plant species uncovers knowledge gaps and opportunities for plant improvement strategies. *Environmental and Experimental Botany* 214: 105474. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105474>

BIGLER, C., VITASSE, Y. (2021): Premature leaf discoloration of European deciduous trees is caused by drought and heat in late spring and cold spells in early fall. *Agricultural and Forest Meteorology* 307: 108492. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108492>

BOLDT, J. K., MEYER, M. H., ERWIN, J. E. (2014): Foliar Anthocyanins: A Horticultural Review. Pp. 209–252. *Horticultural Reviews: Volume 42*. John Wiley & Sons, Ltd.

BUENO, J. M., SÁEZ-PLAZA, P., RAMOS-ESCUADERO, F., JIMÉNEZ, A. M., FETT, R., ASUERO, A. G. (2012). Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 42:2, 126–151. <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>

CHMIELEWSKI, F.-M., RÖTZER, T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 101–112. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00233-7)

COONEY, L. J., LOGAN, B. A., WALSH, M. J. L., NNATUBEUGO, N. B., REBLIN, J. S. & GOULD, K. S. (2018): Photoprotection from anthocyanins and thermal energy dissipation in senescing red and green *Sambucus canadensis* peduncles. *Environmental and Experimental Botany* 148: 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.12.019>

CZIGÁNY, K., FACSAR, G., SÜTÖRINÉ DIÓSZEGI, M., DOROGI, Z., KOHUT, I. (2013): *A Budapesti Corvinus Egyetem Budai Arborétuma*. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék.

DEDE, L. (2010): Klímaváltozás hatásai fenológiai folyamatokra. *Journal of Agricultural Informatics* 1(3). <https://doi.org/10.17700/jai.2010.1.3.28>

DROPPA, M., ERDEI, S., HORVÁTH, G., KISSIMOM, J., MÉSZÁROS, A., SZALAI, J., KOSÁRY, J. (2003): Növénybiokémiai és növényélettani gyakorlatok. Budapest: Budapesti Közgazdaságtudományi És Államigazgatási Egyetem, Kertészettudományi Kar.

FODOR, M. (2019): Kertészeti kémia. Budapest: Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar.

GALLINAT, A. S., PRIMACK, R. B., WAGNER, D. L. (2015): Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in Ecology & Evolution* 30(3): 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.01.004>

GERZSON, L., HÁMORI, Z., HONFI, P., LÁSZAY, GY., SCHMIDT, G., KOMISZÁR, L., SZENDRŐI, J. (2019): Évelő dísznövények termesztése, ismerete, felhasználása. Budapest: Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar.

GOULD, K. S. (2004): Nature's Swiss Army Knife: The Diverse Protective Roles of Anthocyanins in Leaves. *Journal of Biomedicine & Biotechnology* 2004(5): 314–320. <https://doi.org/10.1155/S1110724304406147>

GOULD, K. S., JAY-ALLEMAND, C., LOGAN, B. A., BAISSAC, Y. & BIDEI, L. P. R. (2018): When are foliar anthocyanins useful to plants? Re-evaluation of the photoprotection hypothesis using *Arabidopsis thaliana* mutants that differ in anthocyanin accumulation. *Environmental and Experimental Botany* 154: 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.02.006>

GRACZA, P. (2004): Növénysszervezetan. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.

HARASZTY, Á., HORTOBÁGYI, T., FRIDVALSZKY, L., KISS, I., PÓLYA, L. (1978): Növénysszervezetan és növényélettan. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.

JELITTO, L., SCHACHT, W. (1990): Hardy Herbaceous Perennials. Vol 1. A – K. Portland: Timber Press.

LANDI, M., TATTINI, M. & GOULD, K. S. (2015): Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany* 119: 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.012>.

LANG, W., CHEN, X., QIAN, S., LIU, G., PIAO, S. (2019): A new process-based model for predicting autumn phenology: How is leaf senescence controlled by photoperiod and

temperature coupling? *Agricultural and Forest Meteorology* 268: 124–135.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.006>

LEV-YADUN, S., GOULD, K. S. (2007): What do red and yellow autumn leaves signal? *The Botanical Review* 73(4): 279–289. <https://doi.org/10.1663/0006-8101>

LEV-YADUN, S., YAMAZAKI, K., HOLOPAINEN, J. K., SINKKONEN, A. (2012): Spring versus autumn leaf colours: Evidence for different selective agents and evolution in various species and floras. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 207(1): 80–85.
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.10.007>

LI, Z., AHAMMED, G. J. (2023): Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. *Plant Stress* 10: 100230. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100230>

PATKÓS, I., KOVÁCS, E. (2018): Az élő dísznövények felhasználása. Budapest: Patkós István szerzői kiadása.

PETHŐ, M. (1998): A növényélettan alapjai. Budapest: Akadémiai Kiadó.

PHILLIPS, R., RIX, M. (1991): *Perennials, Vol. 1: Early Perennials*. London: Macmillan.

RICE, G. (ed). (2006): *Encyclopedia of Perennials*. London: Dorling Kindersley Ltd.

SCHABERG, P. G., MURAKAMI, P. F., TURNER, M. R., HEITZ, H. K. & HAWLEY, G. J. (2008): Association of red coloration with senescence of sugar maple leaves in autumn. *Trees* 22(4): 573–578. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0217-8>

SCHABERG, P. G., VAN DEN BERG, A. K., MURAKAMI, P. F., SHANE, J. B., DONNELLY, J. R. (2003): Factors influencing red expression in autumn foliage of sugar maple trees. *Tree Physiology* 23(5): 325–333. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.5.325>

SCHMIDT, G. (1994): *A Budai Arborétum*. Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem.

SIMS, D. A., GAMON, J. A. (2002): Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment* 81(2): 337–354. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)

SZABÓ, M. (2004). Auxinok. In: EDREI L. (szerk.). *Növényélettan. Növekedés- és fejlődésélettan*. JATE Press. Szeged. 105-174.

VETTER, J. (2019): A növényi hatóanyagok különleges világa. Budapest: Mezőgazda Kiadó

WANG, H., GAO, C., GE, Q. (2022): Low temperature and short daylength interact to affect the leaf senescence of two temperate tree species. *Tree Physiology* 42(11): 2252–2265. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpac068>

WANG, S., WU, Z., GONG, Y., NIE, Y., LIU, Z., CHEN, Y., DE BOECK, H. J., FU, Y. (2023): Larger responses of trees' leaf senescence to cooling than warming: Results from a climate manipulation experiment. *Agricultural and Forest Meteorology* 339: 109568. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109568>

XIE, Y., WANG, X., WILSON, A. M., SILANDER, J. A. (2018): Predicting autumn phenology: How deciduous tree species respond to weather stressors. *Agricultural and Forest Meteorology* 250–251: 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.259>

XIE, Y., WILSON, A. M. (2017): Spatiotemporal phenological changes in fall foliage peak coloration in deciduous forest and the responses to climatic variation. American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, abstract #B33H-012017.

ZHAO, X., SHENG, F., ZHENG, J. & LIU, R. (2011): Composition and Stability of Anthocyanins from Purple *Solanum tuberosum* and Their Protective Influence on Cr(VI) Targeted to Bovine Serum Albumin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 7902–9. <https://doi.org/10.1021/jf2011408>

Internetes források:

Internet 1. Klorofill-struktúra:

https://www.researchgate.net/figure/Molecular-structure-of-chlorophyll-a-and-chlorophyll-b_fig1_283281046 Utolsó letöltés: 2023.11.18.

Internet 2. A Budai Arborétum bemutatása a MATE Kertészettudományi Intézetének tanszéki honlapján:

<https://budaiarboetum.uni-mate.hu/> Utolsó letöltés: 2024.04.21.

Internet 3. A Budai Arborétum térképe:

https://budaiarboretum.uni-mate.hu/documents/1107407/0/arbor_terkep.jpg/2f4a44a3-4d76-c8d7-3a1c-ab60b7f1b1d4?t=1644397384507

Internet 4. A Hungaromet (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat, OMSZ) honlapja:

Napijelentés:

https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/ Utolsó letöltés: 2024.01.01.

Internet 5. A Hungaromet (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat, OMSZ) honlapja:

Éghajlati visszatekintő:

https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_honapok_idojarasa/ Utolsó letöltés: 2024.02.11.

8 TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ÁBRA A KLOOROFILL-A ÉS A KLOOROFILL-B SZERKEZETE. (FORRÁS: INTERNET 1.)	7
2. ÁBRA A FONTOSABB KAROTINOIDOK SZERKEZETE (FORRÁS: FODOR, 2019)	7
3. ÁBRA AZ ANTOCIÁNOK FŐBB TÍPUSAI (FORRÁS: FODOR, 2019)	9
4. ÁBRA VIRÁGZÓ KÉKGYÖKÉR ÁLLOMÁNY A BUDAI ARBORÉTUM FELSZŐ SZIKLAKERTJÉBEN. 2023. SZEPTEMBER 30. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	10
5. ÁBRA A CSAPADÉKOS IDŐJÁRÁS MIATT KISSÉ KÉSŐN SZÍNESEDNI KEZDŐ PIROSLÓ GÓLYAORR A FELSZŐ SZIKLAKERTBEN. 2023. OKTÓBER 31. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	10
6. ÁBRA HOSTA PLANTAGINEA A BUDAI ARBORÉTUM ALSÓ KERTJÉNEK ÁRNYÉKI ÉVELŐÁGYÁBAN. 2023. SZEPTEMBER 28. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	11
7. ÁBRA CERATOSTIGMA PLUMBAGINOIDES, EUPHORBIA MYRSINITES ÉS BERGENIA CRASSIFOLIA A FELSZŐ SZIKLAKERTBEN. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	12
8. ÁBRA A NÖVÉNYEK GYŰJTÉSI HELYE A BUDAI ARBORÉTUMON BELÜL. 1. TARACKOLÓ KÉKGYÖKÉR, 2. PIROSLÓ GÓLYAORR, 3. NAGY ÁRNYÉKLILIAM. SAJÁT SZERKESZTÉS. (A TÉRKÉP FORRÁSA: INTERNET 3.)	21
9. ÁBRA NAPI HŐMÉRSÉKLETI ADATOK A 2023. SZEPTEMBER 1. ÉS DECEMBER 31. KÖZÖTTI IDŐSZAKRA. SAJÁT SZERKESZTÉS. AZ ADATOK FORRÁSA A HUNGAROMET (KORÁBBAN OMSZ) HONLAPJÁN ELÉRHETŐ NAPIJELENTÉS. (FORRÁS: INTERNET 4.)	22
10. ÁBRA NAPI CSAPADÉKMENNYISÉG A 2023. SZEPTEMBER 1. ÉS DECEMBER 31. KÖZÖTTI IDŐSZAKBAN. SAJÁT SZERKESZTÉS. AZ ADATOK FORRÁSA A HUNGAROMET (KORÁBBAN OMSZ) HONLAPJA. (FORRÁS: INTERNET 4.)	23
11. ÁBRA A KÍSÉRLETHEZ SZÜKSÉGES ESZKÖZÖK EGY RÉSZÉ A TANSZÉKI LABOR ASZTALÁN. 2024.01.16. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	24
12. ÁBRA MINTÁVAL TELI KÉMCSÖVEK A HŰTŐBEN. AZ EGYES FAJOKTÓL SZÁRMAZÓ MINTÁK SZABAD SZEMMEL IS ELKÜLÖNÍTHETŐEK: AZ ELSŐ, A NEGYEDIK ÉS A HETEDIK SOR A CERATOSTIGMA PLUMBAGINOIDES MINTÁJA. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	25
13. ÁBRA A GENESYS 10VIS TÍPUSÚ SPEKTROFOTOMÉTER NYITOTT ÁLLAPOTBAN A TANSZÉKI LABORBAN. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	25
14. ÁBRA OLDÓSZER AZ ANTOCIÁNMEÉRÉSHEZ ÉS KÉT KÉMCSŐ MINTÁKKAL. TANSZÉKI LABOR, 2024.01.17. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	26
15. ÁBRA EPPENDORF CENTRIFUGA A MINTÁKKAL. TANSZÉKI LABOR, 2024.01.17. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	27
16. ÁBRA ANTOCIÁNMEÉRÉS SPEKTROFOTOMÉTERREL. TANSZÉKI LABOR, 2024.01.17. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	27
17. ÁBRA A CERATOSTIGMA PLUMBAGINOIDES MINTÁK HAVONKÉNT ÖSSZESÍTETT PIGMENTTARTALMA MG/G-BAN. (SAJÁT DIAGRAM)	30
18. ÁBRA A GERANIUM SANGUINEUM MINTÁK HAVONKÉNT ÖSSZESÍTETT PIGMENTTARTALMA MG/G-BAN. (SAJÁT DIAGRAM)	31
19. ÁBRA A HOSTA PLANTAGINEA MINTÁK HAVONKÉNT ÖSSZESÍTETT PIGMENTTARTALMA MG/G-BAN. (SAJÁT DIAGRAM)	32
20. ÁBRA CERATOSTIGMA PLUMBAGINOIDES HAJTÁSOK A TÉLIZÖLD JASMINUM NUDIFLORUM VESSZŐK KÖZÖTT 2023. OKTÓBER 28-ÁN A BUDAI ARBORÉTUMBAN (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	34
21. ÁBRA TELJESEN ZÖLD LOMBÚ GERANIUM SANGUINEUM A BUDAI ARBORÉTUMBAN 2023. OKTÓBER 31.-ÉN. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ)	35
22. ÁBRA HOSTA PLANTAGINEA A BUDAI ARBORÉTUMBAN 2023. NOVEMBER 4-ÉN. (FORRÁS: SAJÁT FOTÓ) ...	36

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Dr. Babarczi Dóra
A Hallgató Neptun kódja:	N5Q3CA
A dolgozat címe:	Évelő dísznövények őszi lombszínének alakulása a Budai Arborétumban
A megjelenés éve:	2024
A konzulens intézetének neve:	Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Dísznövénytermesztési és Dendrológiai 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 állítottnak 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.

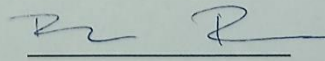
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. 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 MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: Budapest, 2024. október 20.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Dr. Babarczy Dóra (név) (hallgató Neptun azonosítója: N5Q3CA) konzulenseiként nyilatkozunk arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettük, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattuk.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védelemre javasoljuk / nem javasoljuk

*A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Budapest, 2024. október 28.



Dr. Szabó Veronika, Dr. Kohut Ildikó
belső konzulensek