

A szürke tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky) és a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *robur*) virágzatainak mikromorfológiai összehasonlítása

HEGEDÜS Ivett^{1*}, BARTHA Dénes²

¹Duna–Dráva Nemzeti Park Igazgatóság, 7625 Pécs, Tettye tér 9.;
ivett.hegedus@ddnp.hu (*levelező szerző)

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet,
9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.; bartha.denes@uni-sopron.hu

Érkezett: 2025.06.26.; Átdolgozva: 2025.10.16.; Elfogadva: 2025.10.17.

Kulcsszavak: csillagszőr, indumentum, nyalábszőr, pollen, SEM, szőrdenzitás.

Összefoglalás: Jelen tanulmányban a szürke tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky) és a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *robur*) virágzatának mikromorfológiáját hasonlítjuk össze. A szürke tölgy mintákat Romániában, a kocsányos tölgy mintákat Magyarországon és Romániában gyűjtöttük 2023, 2024 és 2025 tavaszán, összesen 11 lelőhelyen. A 70 minta 33 fáról származott. A virágzatokon a mikromorfológiai jellemzőket – elsősorban a szőrtípusok jelenlétét – pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételekkel vizsgáltuk a virágzati tengelyen, valamint a virágokhoz tartozó képleteken, ideértve a kupacskézdeményeket, a bibét, a porzószálat és a portokot. Meghatároztuk a termős és a porzós virágzati tengelyen a szőrdenzitást, és mértük ugyanott a szőrkarok hosszát. Érintőlegesen a pollenszemeket is vizsgáltuk. Indumentumot (szőrözöttséget) a bibén, a portokon és a porzószálon egyik taxon esetében sem találtunk. A termős virágzati tengelyen, a kupacskézdeményeken és a porzós virágzat tengelyén viszont mindkét taxonnál csillagszőröket és nyalábszőröket figyeltünk meg. A kocsányos tölgy esetében előfordultak olyan termős virágzatok, melyek tengelye teljesen szőrtelen volt – ez egyértelmű mikromorfológiai különbséget jelent a két taxon között a vizsgált minták vonatkozásában. A szürke tölgy termős virágzati tengelye mintegy négyszer nagyobb szőrdenzitásúnak adódott, mint a kocsányos tölgyé ($93,71$, ill. $25,00$ trichóma/mm²), és hosszabb szőrkarokat mértünk mind a csillagszőrök ($329,14 \pm 86,01$ µm), mind a nyalábszőrök ($468,39 \pm 117,31$ µm) esetében. A kocsányos tölgyénél a csillagszőrök hossza $152,63 \pm 63,83$ µm, míg a nyalábszőröké $225,59 \pm 74,23$ µm volt. Szignifikáns különbséget találtunk a pollenszemek hosszában: a szürke tölgyénél $35,67 \pm 4,11$ µm, a kocsányos tölgyénél $32,83 \pm 4,04$ µm volt. A szürke tölgy virágzatainak nagyobb szőrdenzitása segítheti a taxon pontosabb azonosítását. Az erősebb szőrözöttség, amit a virágzatokon kívül korábbi vizsgálatban a levelek esetében is tapasztaltunk, jobb szárazságtűrést jelezhet, ami a klímaváltozás szempontjából előnyös tulajdonság. Tanulmányunk az első részletes mikromorfológiai összehasonlítás a szürke tölgy és a kocsányos tölgy virágzatai között, így új ismeretekkel járul hozzá a két taxon morfológiai elkülönítéséhez.

Idézés: Hegedüs I., Bartha D. 2025: A szürke tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky) és a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *robur*) virágzatainak mikromorfológiai összehasonlítása. Bot. Közlem. 112(2): 209–224. <https://doi.org/10.17716/BotKozlem.2025.112.2.209>

Bevezetés

A klímaváltozás negatív hatásai (IPCC 2023) miatt ökológiai szempontból fontos olyan potenciálisan alkalmasnak ítélt dendrotaxonok botanikai és genetikai vizsgálatával foglalkozni, amelyek a napjainkban felmerülő gazdálkodási, természetvédelmi problémákra és nehézségekre megoldást nyújthatnak, adaptálásra alkalmasak lehetnek (BROWNE et al. 2019). BARTHA et al. (2018) tanulmányukban részletesen megadják az adaptálásra alkalmas taxonokat, amelyek közül a kocsányos tölgy egyik alfaját, a szürke tölgyet választottuk vizsgálatunk tárgyaként. Gazdálkodásba vonását elsősorban kísérleti telepítésekkel lehetne kivitelezni nem védett és nem Natura 2000-es területeken, azokon a termőhelyeken, ahol például a fehér akác ültetvények szerkezetátalakítására nincs őshonos alternatíva. A szürke tölgyet 1849-ben Karl Koch német botanikus faji rangon (*Quercus pedunculiflora* K. Koch) azonosította a Kaukázusban, részletes leírást is adva (KOCH 1849). Ezt követően Yuri Leonardovich Menitsky a szürke tölgyet a kocsányos tölgy szárazságtűrő ökotípusának tekintve alfajként (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky) tárgyalta (MENITSKY 1984). A taxon tudományos neve kocsányos virágút jelent, magyar megnevezése pedig a levél fonáki oldalának szürkés-hamvas színére utal, ami a levélfonáki szőrözöttségnek tulajdonítható (KOCH 1849). Hasonlóan, a kocsányos tölgy magyar elnevezése is a termős virágzati tengelyre (kevésbé szabatosan kocsányra) utal. Romániában végzett genetikai vizsgálatok során megállapították, hogy a szürke tölgy egy olyan taxon, amely a fajképződés kezdeti stádiumában van (CURTU et al. 2011), taxonómiai helyzete vitatott. A szürke tölgy őshonos a Balkán-félszigeten (JALAS és SUOMINEN 1976), a Krím-félszigeten, a Kaukázusban (MENITSKY 1984); Magyarországhoz legközelebb Dél-Románia mész- és melegkedvelő tölgyeseiben fordul elő olyan szárazságtűrő fafajokkal, mint az *Acer tataricum*, *Fraxinus pallisiae*, *Pyrus pyraeaster* és *Tilia tomentosa* (GEORGESCU és MORARIU 1948). Ezek a megmaradt természetes állományok Bulgáriában és Romániában a Natura 2000 hálózatba tartoznak. A magyar szakirodalomban is felmerült a szürke tölgy hazai előfordulásának lehetősége az ország keleti részében (GENCSI és VANCURA 1992). Részben ezért, részben a klímaváltozással összefüggésben találtuk fontosnak a taxon vizsgálatát.

A fehér tölgyek (*Quercus* sect. *Quercus*) virágzásbiológiáját Romániában CHESNOIU et al. (2009), hazánkban MÁTYÁS (1962b, 1967) vizsgálta. A virágzás 2–3 hét alatt lezajló folyamat, amely április közepén kezdődik és május első hetéig tart (BARTHA 2022). A tölgyek esetében MÁTYÁS (1962a) megfigyelt igen korán fakadó (*super praecox*), korán fakadó (*praecox*), rendesen fakadó (*normalis*), későn fakadó (*tardiflora*) és legkésőbb fakadó (*tardissima*) állományokat/egyedeket. A fakadás időbeli eltolódása a tölgyeknél olyan ökológiai válasz, amellyel

az abiotikus és biotikus károsítások ellen védekeznek. A tölgyek virágzásának megfigyelését jelentősen megnehezíti a változatos tavaszi időjárás; például a késői fagyok hatása, valamint a különböző populációk fakadási ideje közötti eltérés. A tölgyek egylakiak, egy egyeden megtalálhatóak a termős és a porzós virágok (BARTHA 2022), egyedenként más-más arányban. Az egyes egyedeken a virágzás intenzitása évenként hasonló mértékű, viszonylag kis eltérések figyelhetők meg mind a virágzatok, mind a virágzati tengelyen kifejlődő virágok számában (VANCSURA 1972, TÓTH 1986, BORDÁCS 1994–1995). A termős virágzati tengelyen az évenként kifejlődő virágok száma viszonylag kis varianciával, az egyedre jellemzően stabil bélyegnek tekinthető (TÓTH 1986). A tölgyeknél megfigyelték, hogy vannak inkább nőivarú, ill. dominánsan hímivarú virágzatokat fejlesztő faegyedek (VANCSURA 1972, TÓTH 1986). A szélbeporzású virágok fejlődése már az előző év őszén megkezdődik, amit a virágzást megelőző év időjárása, azon belül a nyári-őszi csapadék mennyisége, valamint eddig kevésbé feltárt hormonális szabályozás befolyásol (PJATNYICKIJ 1951, ROMASOV 1957). Fenológiai megfigyeléseket a gazdasági jelentőség miatt a kocsányos és kocsánytalan tölgyön több esetben végeztek (pl. BORDÁCS 1994–1995, BACILIERI et al. 1995, ŽIVKOVIĆ et al. 2025). Morfológiai vizsgálatok során KAUL (1985) megállapította, hogy a virágzat, szerkezetét tekintve, a Fagaceae családba tartozó nemzetségek közül a *Quercus* nemzetség esetében a legerősebben specializálódott. MÁTYÁS (1967) tanulmányában a kocsányos tölgy porzós virágzatát úgy jellemzi, hogy „vékony, nyúlánk tengelyen lecsüngő barkát alkotnak, a virágocskák hármásával állnak, a lepel gyakran 6 osztatú, a porzók száma 4–12, gyakran 6”, míg a termős virágzatot a következőképpen írja le: „a nőivarúak aprók, a nővirág 3 ritkán 4 üregű magházból áll, amely felülálló leplet és rövid közös bibe szálon álló 3–4 bibét visel, a magházat fellevelek veszik körbe”. Mérései szerint a leghosszabb kocsányos tölgy porzós virágzati tengely 25 mm volt, elporzott állapotban a virágzati tengely az 5,7 cm-t érte el, a portokok 0,270 mm × 0,324 mm méretűek voltak (MÁTYÁS 1967). A termős virágzati tengelyt 39 mm hosszúnak, átmérőjét 0,7 mm-nek állapította meg, a rajta ülő virágok 2,2–2,7 mm × 1,3–1,5 mm méretűek. A négybibés és a hárombibés virágok között méretbeli különbségeket észlelt (MÁTYÁS 1967). KAUL (1985) a négy bibe előfordulását szintén alátámasztja. A virágzat mikromorfológiai jellemzéséről SADOWSKI et al. (2020) tanulmányában olvashatunk, megfigyelései a Fagaceae családba tartozó taxonok porzós virágaira irányultak, munkája során hat különböző trichómatípust (magános, kétágú, csillag, pajzs alakú, egysoros és elágazó egysoros) azonosított.

A virágmorfológiához szorosan kapcsolódik a pollen megfigyelése, amit fajmeghatározás céljából is alkalmaznak (HAYRAPETYAN és BRUCH 2020, KIM et al. 2020, DI MARCO et al. 2023, TEKLEVA et al. 2023). Palinológiai vizsgálatok során a kocsányos tölgy pollenszemét 24,7–45,0 µm hosszúnak, ekvatoriális át-

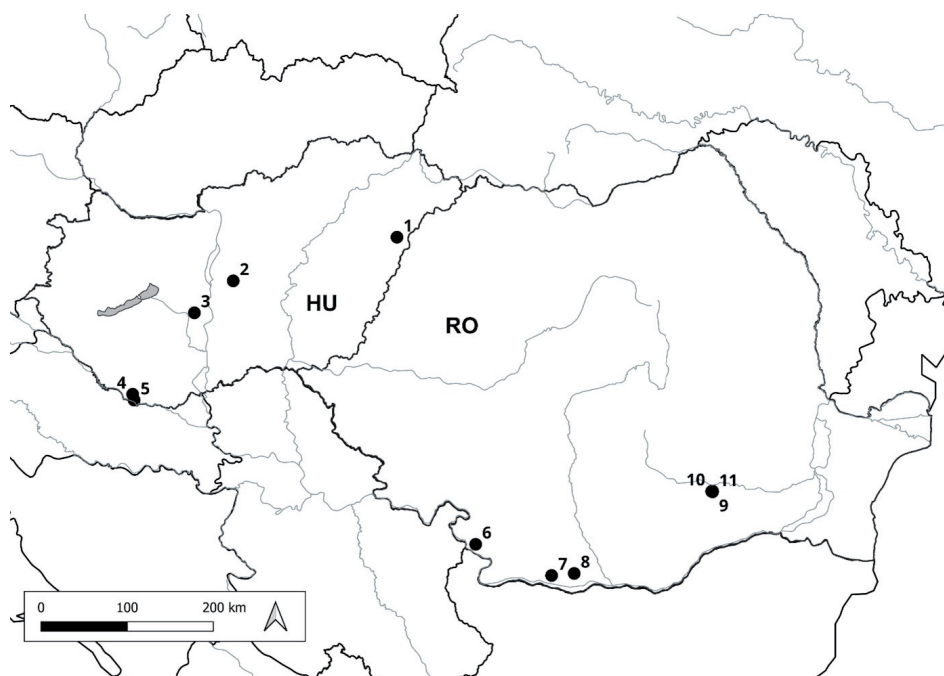
mérőjét 16,4–29,6 μm -nek állapították meg. A szürke tölgy pollenszem esetében a poláris tengely hossza 32,9–35,7 μm , míg az ekvatoriális átmérő 22,4–29,4 μm volt (TEKLEVA et al. 2023). Egy iráni tanulmányban PANAHI et al. (2012) kilenc tölgy taxon pollenszemének morfológiai jellemzőit vizsgálta és hasonlította össze, melynek során a szürke tölgy esetében a megfigyelt értékek 25,6–34,4 μm , illetve 27,2–32,8 μm tartományba estek.

Jelen vizsgálatunk célja olyan mikromorfológiai bélyegek feltárása a virágzatban, amelyek alkalmasak a szürke tölgy és a kocsányos tölgy megbízható elkülönítésére, mind terepi, mind laboratóriumi körülmények között. Kutatásunk a korábbi, levélmorfológiára irányuló vizsgálatunk folytatásának tekinthető, amelyben a két taxon között egyértelmű különbségeket azonosítottunk (HEGEDŰS et al. 2023). Kiemelendő, hogy a szürke tölgy esetében kimutatott kisebb sztómaméret, az erősebb levélfonáki szőrözöttség az alfaj jobb szárazságtűrését támasztja alá. Célunk, hogy e megfigyeléseket a generatív szervek mikromorfológiai vizsgálatával egészítsük ki, hozzájárulva ezzel a két közelrokon tölgy taxon elkülönítéséhez és ökológiai alkalmazkodásuk jobb megértéséhez.

Anyag és módszer

2023, 2024 és 2025 tavaszán virágzatokat gyűjtöttünk a két alfajról Magyarország és Románia területéről egyaránt (1. ábra) azokról a lelőhelyekről és egyedekről, amelyek a levélmorfológiai vizsgálatainkat is megalapozták (APOSTOL 2019, HEGEDŰS et al. 2023) (1. táblázat). A vegetatív bélyegek alapján (HEGEDŰS et al. 2025) választott egyedek között volt szabadállásban lévő és zárt erdei, a virágzatokat a lombzat alsó-középső és a korona külső részéről gyűjtöttük. A mintagyűjtések időpontjait úgy határoztuk meg, hogy a populációk fenofázisából fakadó eltéréseket elkerüljük, a termős virágok megtermékenyülés előtti fázisban (2. ábra), a levelek a rügyfakadás kezdeti, a portokok pedig a felnyílás előtti stádiumban voltak. Ekkor a termős virágzati tengelyek a 0,5 cm-t érték el, míg a porzósak a 2 cm-t. A friss levelek zárt helyzetben szintén 2 cm-es hosszúságúak voltak. Bogdásán és Poiana Gruini kétszer gyűjtöttünk mintát, először 2023-ban egy-egy száz év fölötti, idős egyedről tesztelés céljából, utána 2025-ben nagyobb mintavétel során erre a két lelőhelyre vizsgálatértünk. Összesen 33 idős egyedet vontunk be vizsgálatainkba, 17 kocsányos tölgyet és 16 szürke tölgyet: mindegyik egyedről termős és porzós virágzatot is gyűjtöttünk, a friss virágzatokról a helyszínen fényképeket készítettünk Olympus Tg-3-as kompakt fényképezőgéppel. Ezt követően a 70 mintát szilikagélben tárolva laboratóriumba szállítottuk. A száraz virágzatokról felvételeket készítettünk a Soproni Egyetem NRRC Faanyagtudományi Intézet laboratóriumában Hitachi S3400N pásztázó elektronmikroszkóppal. A fényké-

pek 500×, 100× és 50× nagyításban készültek, a felvételeken a méréseket mikrométer pontossággal, ImageJ v.1.54g (SCHNEIDER et al. 2012) programban végeztük. A méréseket két fő szervtípuson hajtottuk végre: (1) a virágzati tengelyen, valamint (2) az egyes virágokhoz tartozó képleteken: a kupacskezdeményeken, a bibéken, a porzószalakon és a portokokon. A kezdeti fejlődési stádiumban, megtermékenyülés előtt lévő termős virágzati tengelyek hosszai maximum 0,5 cm-t értek el. A vizsgálat során a virágzati tengely egy-egy középső, azonos hosszúságú szakaszán, valamint a termős virág kupacskezdeményein azonosítottuk a szőrtípusokat TSCHAN és DENK (2012), illetve SADOWSKI et al. (2020) alapján. E három florális képlet – porzós virágzati tengely, termős virágzati tengely, kupacskezdemény – trichómáit morfológiailag jellemeztük, és



1. ábra. A kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) és a szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) virágzatok mintavételezésének helyszínei Magyarországon (HU) és Romániában (RO). A lelőhelyek: 1. Debrecen; 2. Kunpeszér; 3. Németkér; 4. Bogdása; 5. Drávasztára; 6. Poiana Gruii; 7. Piscu Sadovei; 8. Stăvaru; 9. Sitaru; 10. és 11. Grădiştea. Az 1–5., 7., 11. pontok a kocsányos tölgy gyűjtési helyszíneit, a 6., 8–10. pontok a szürke tölgy lelőhelyeit jelölik.

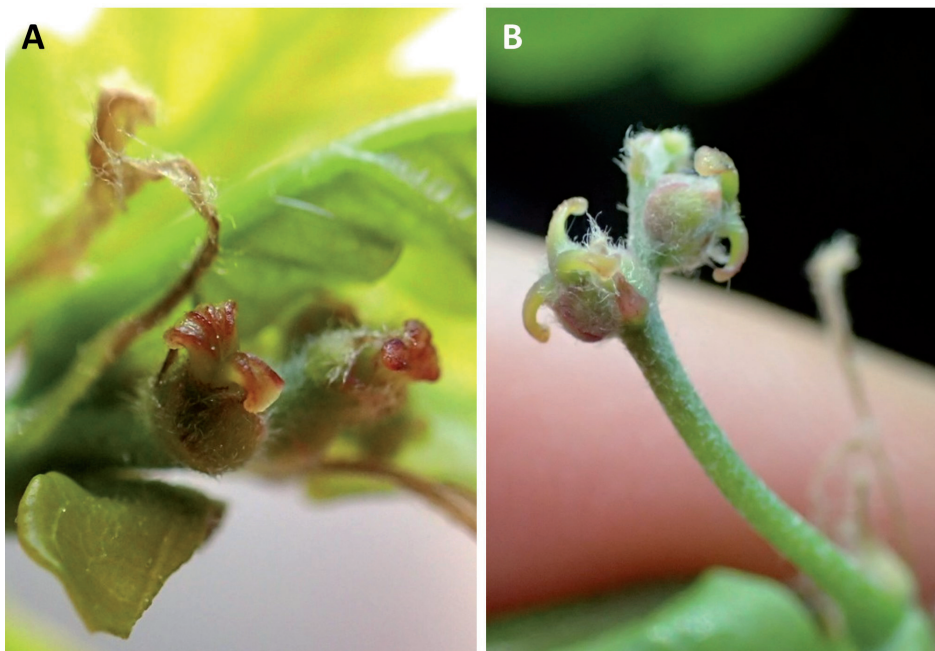
Fig. 1. Sampling sites of the pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) and the greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) inflorescences in Hungary (HU) and Romania (RO). Localities: 1. Debrecen; 2. Kunpeszér; 3. Németkér; 4. Bogdása; 5. Drávasztára; Romania: 6. Poiana Gruii; 7. Piscu Sadovei; 8. Stăvaru; 9. Sitaru; 10. and 11. Grădiştea. Sites 1–5, 7 and 11 represent pedunculate oak collections, while sites 6 and 8–10 correspond to greyish oak collections.

1. táblázat. A kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) és szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) virágzatok mintavételezésének adatai.

Table 1. Sampling data of pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) and greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) inflorescences. (1) Sampling site number, (2) Taxon, (3) Location, (4) Latitude, N (degree), (5) Longitude, E (degree), (6) Altitude (meter), (7) Collection date, (8) Number of studied individuals.

Mintavé- telezési helyszí- nek sor- száma (1)	Taxon (2)	Lelőhely (3)	Földrajzi szélesség, É (fok) (4)	Földrajzi hosszúság, K (fok) (5)	Tszf. mag. (m) (6)	Gyűjtés ideje (7)	Egyed- szám (db) (8)
1.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	HU – Debrecen	47,511092	21,845635	141	2025.05.14.	1
2.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	HU – Kunpeszér	47,086860	19,311351	108	2024.04.13.	7
3.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	HU – Németkér	46,751394	18,717997	119	2025.04.28.	1
4.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	HU – Bogdása	45,890693	17,796889	103	2023.04.27.; 2025.05.01.	2
5.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	HU – Drávasztára	45,829843	17,819672	102	2025.05.01.	3
6.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	RO – Poiana Gruii	44,258033	22,831851	97	2023.04.30.; 2025.04.22.	7
7.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	RO – Piscu Sadovei	43,887879	23,907715	45	2025.04.22.	2
8.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	RO – Stăvaru	43,893933	24,235493	105	2025.04.22.	4
9.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	RO – Sitaru	44,630254	26,350074	93	2025.04.21.	3
10.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	RO – Grădiştea	44,636471	26,337563	78	2025.04.21.	2
11.	<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	RO – Grădiştea	44,633683	26,319704	84	2025.04.21.	1

kvantitatív mérésekkel meghatároztuk a szőrkarok hosszát. A portokokban elhelyezkedő pollenszemekről szintén készítettünk felvételeket, amelyeken mértük a pollenszem hosszát. A statisztikai elemzésekhez a PAST v.4.06b szoftvert használtuk (HAMMER et al. 2001). A mérési adatok normál eloszlását Shapiro–Wilk-próbával teszteltük, majd a szőrkarhosszokra (csillag- és nyalábszőrök) és a pollenszemek méretadataira vonatkozó különbségek kimutatására Student-féle t-próbát végeztünk 95%-os konfidenciaintervallum mellett.



2. ábra. Termős virágok három bibével. A: szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*). Mintavételi hely: Sitaru (É: 44,630254; K: 26,350074); B: kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*). Mintavételi hely: Piscu Sadovei (É: 43,887879; K: 23,907715).

Fig. 2. Female flowers with three stigmas. A: greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*). Sampling site: Sitaru (44.630254 N; 26.350074 E); B: pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*). Sampling site: Piscu Sadovei (43.887879 N; 23.907715 E).

Eredmények

A termős virágzat mikromorfológiája

A szürke tölgy kupacskezdeményein egy- és kétkarú, hengeres vagy lapos keresztmetszetű, egyenes vagy spirálszerűen csavarodott, 91,95–777,09 μm hosszúságú nyalábszőröket figyeltünk meg (2. táblázat). A termős virágzati tengelyen a nyalábszőrök (228,79–704,04 μm) mellett 2–4 karú, lapos csillagszőrök (162,33–615,96 μm) egyaránt láthatók, amelyek a virágzati tengelyhez ellaposodva csatlakoznak és töben elágaznak (3.A és 3.C ábra). A bibe felülete érdes és barázdált, indumentum nem található rajta. A szürke tölgy termős virágzati tengelyén a megfigyelt szőrdenzitás 93,71 trichóma/ mm^2 volt (3. táblázat).

A kocsányos tölgy termős virágain és virágzati tengelyén az indumentum kisebb denzitású (25,00 trichóma/ mm^2). A kupacskezdeményeken a lapos, erősen csavarodott, egykarú nyalábszőrök a jellemzőek (93,36–643,13 μm ; 2. táblázat),

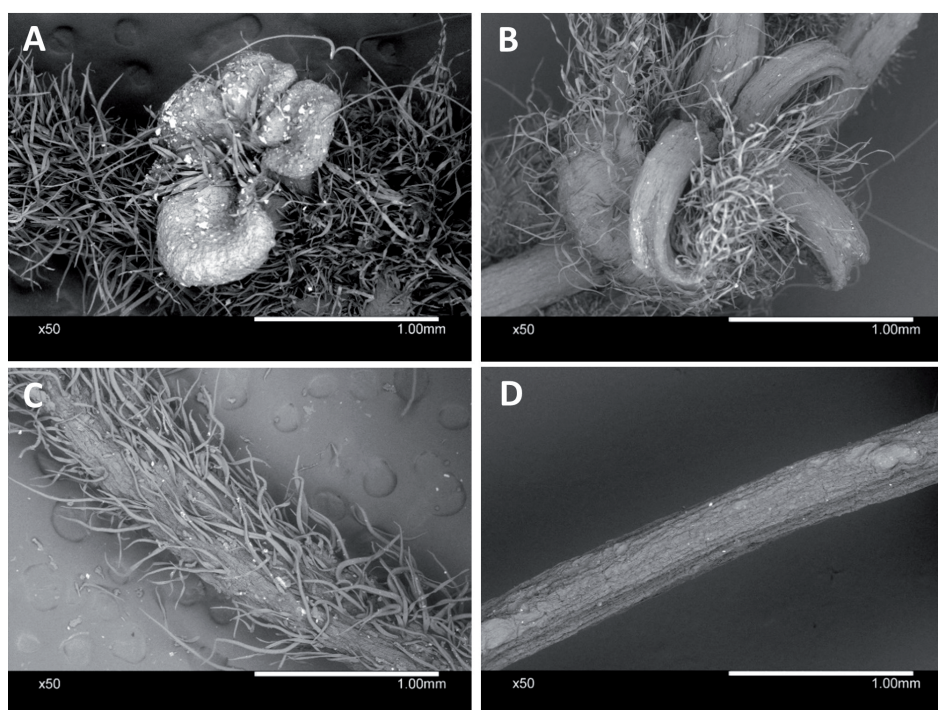
2. táblázat. A kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) és a szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) florális képletein előforduló trichomatípusok és morfológiai jellemzőik.

Table 2. Trichome types of the floral structures of pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) and greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) and their morphometric characters. (1) Taxon, (2) Generative organ, (3) Floral structure, (4) Trichome type, (5) Number of trichome rays, (6) Length of trichome rays (μm): (7) Mean, (8) Standard deviation, (9) Median, (10) Minimum, (11) Maximum; (12) Female inflorescence; (13) Male inflorescence; (14) Stigma; (15) Cupule primordia; (16) Inflorescence axis; (17) Anther; (18) Filament; (19) Fasciculate trichome; (20) Stellate trichome.

Taxon (1)	Generatív szerv (2)	Florális képlet (3)	Trichóma típus (4)	Szőrkarok száma (5)	Szőrkarok hossza (μm) (6)					
					Átlag (7)	Szórás (8)	Medián (9)	Minimum (10)	Maximum (11)	
<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	Termős virágzat (12)	Bibe (14)	–	–	–	–	–	–	–	–
		Kupacskezdemény (15)	Nyalábszőr (19)	1–2	306,38	136,89	279,16	91,95	777,09	
		Virágzati tengely (16)	Nyalábszőr Csillagszőr (20)	1–2 2–4	468,39 329,14	117,31 86,01	469,21 318,65	228,79 162,33	704,04 615,96	
	Porzós virágzat (13)	Portok (17)	–	–	–	–	–	–	–	–
		Porzósál (18)	–	–	–	–	–	–	–	–
		Virágzati tengely	Nyalábszőr	1–2	390,30	145,56	365,48	133,27	831,43	
<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	Termős virágzat	Bibe	–	–	–	–	–	–	–	–
		Kupacskezdemény	Nyalábszőr	1–2	296,48	130,96	289,78	93,36	643,13	
		Virágzati tengely	Nyalábszőr Csillagszőr	1–2 2–4	225,59 152,63	74,23 63,83	205,05 134,69	116,39 57,69	467,80 299,48	
	Porzós virágzat	Portok	–	–	–	–	–	–	–	–
		Porzósál	–	–	–	–	–	–	–	–
		Virágzati tengely	Nyalábszőr	1–2	389,42	115,38	384,17	194,20	570,87	

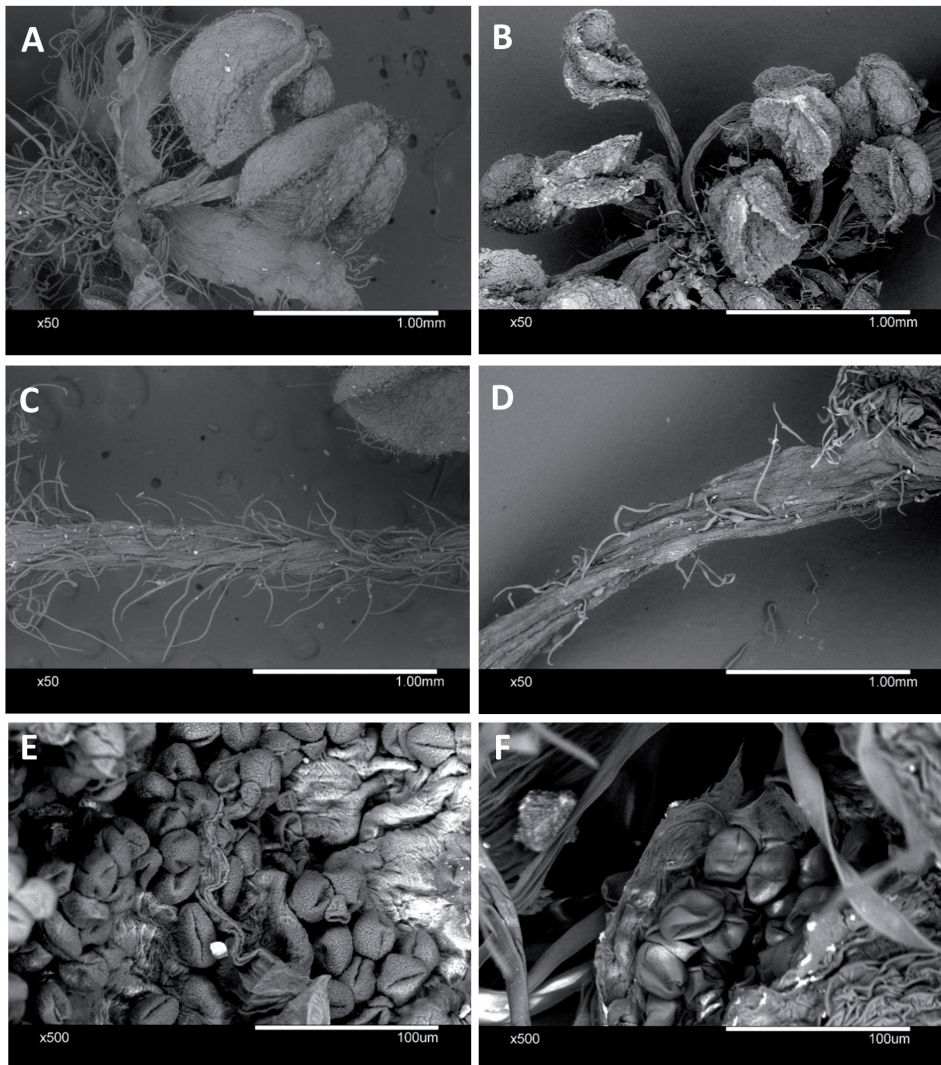
de emellett kétkarú és hengeres nyalábszőrök is megfigyelhetők (3.B ábra). A virágkocsány ritkásan szőrözött, a nyalábszőrök ($116,39\text{--}467,80\ \mu\text{m}$) és az ellaposodó 2–4 karú csillagszőrök ($57,69\text{--}299,48\ \mu\text{m}$) rövidebbek, mint a szürke tölgy virágkocsányán mért szőrök esetében. A bogdásai (4.) mintánk tanulmányozásakor megfigyeltünk szőrözöttség nélküli termős kocsányt is (3.D ábra).

A szürke tölgy és a kocsányos tölgy termős virágzati tengelyén mért szőrkarok hosszait szőrtípusok szerint hasonlítottuk össze egymással. A Student-féle t-próba szignifikáns különbséget jelzett a csillagszőrök karjai ($t = 11,794$; $p < 0,0001$) és a nyalábszőrök karjai ($t = 13,185$; $p < 0,0001$) esetében egyaránt.



3. ábra. A termős virágzat mikromorfológiája. A: szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) termős virága megtermékenyülés előtt négy szabadon álló bibével; B: kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) termős virága megtermékenyülés előtt a négy szabadon álló bibével; C: szürke tölgy termős virágzati tengelye magas szőrdenzitással; D: kocsányos tölgy szőrözöttség nélküli termős virágzati tengelye.

Fig. 3. Micromorphology of the female inflorescence. A: female flower of greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) before fertilization with four unfused stigmas; B: female flower of pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) before fertilization with four unfused stigmas; C: female inflorescence axis of greyish oak with high trichome density; D: female inflorescence axis of pedunculate oak without trichomes.



4. ábra. A porzós virágzat mikromorfológiája. A: szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) felnyílt portokok pollenszemekkel; B: kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) felnyílt portokok pollenszemekkel; C: szürke tölgy porzós virágzati tengelye egykarú nyalábszőrökkel; D: kocsányos tölgy porzós virágzati tengelye kétkarú nyalábszőrökkel; E: szürke tölgy pollenszemek a portokokban; F: kocsányos tölgy pollenszemek a portokokban.

Fig. 4. Micromorphology of the male inflorescence. A: open anthers of greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) with pollen grains; B: open anthers of pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) with pollen grains; C: male inflorescence axis of greyish oak with single-ray fasciculate trichomes; D: male inflorescence axis of pedunculate oak with two-ray fasciculate trichomes; E: pollen grains in the anthers of greyish oak; F: pollen grains in the anthers of pedunculate oak.

A porzós virágzat és a pollenszemek mikromorfológiája

A szürke tölgy portokokon és a porzószálon szőrözöttség nem figyelhető meg, viszont a porzós virágzati tengelyen igen (4.A és 4.C ábra). A spirálisan csavart virágzati tengelyen egykarú vagy kétkarú, hengeres és lapos keresztmetszetű, 133,27–831,43 μm hosszúságú nyalábszőrök találhatók (2. táblázat, 4.C ábra). A porzós virágzati tengelyen a szőrdenzitás 59,66 trichóma/ mm^2 (3. táblázat).

A kocsányos tölgy esetében sem a portokok, sem a porzószálon szőrözöttség nem figyelhető meg (4.B ábra). A virágzati tengelyen az egy- vagy kétkarú, hengeres és lapos keresztmetszetű nyalábszőrök a jellemzőek, amelyek mérete 194,20–570,87 μm közötti (2. táblázat, 4.D ábra); a porzós virágzati tengelyen megfigyelt szőrdenzitás átlagban 30,23 trichóma/ mm^2 (3. táblázat).

3. táblázat. A kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) és a szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) termős és porzós virágainak florális képletein mért szőrdenzitás.

Table 3. Trichome density on the floral structures of female and male flowers of pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) and greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*). (1) Taxon, (2) Generative organ, (3) Floral structure, (4) Trichome density (No./ mm^2); (5) Female inflorescence; (6) Male inflorescence; (7) Inflorescence axis.

Taxon (1)	Generatív szerv (2)	Florális képlet (3)	Szőrdenzitás (db/ mm^2) (4)
<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	Termős virágzat (5)	virágzati tengely (7)	93,71
	Porzós virágzat (6)	virágzati tengely	59,66
<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	Termős virágzat	virágzati tengely	25,00
	Porzós virágzat	virágzati tengely	30,23

A vizsgált tölgyek pollenszeme ellipszoid geometriával jellemezhető, és három barázda található rajtuk. A szürke tölgy pollenszeme megnyúlt, felszíne aprószemcsés. A hosszmerések során 26,25–42,77 μm közötti mérettartományt határoztunk meg (4. táblázat, 4.E ábra). A kocsányos tölgy pollenszem hasonlít a szürke tölgyéhez, de alakja gömbölyűbb, felülete simább, a mérettartomány 17,81–39,49 μm közötti (4. táblázat, 4.F ábra). A szürke tölgy és a kocsányos tölgy pollenszemek hossza

4. táblázat. A kocsányos tölgy (*Quercus robur* subsp. *robur*) és a szürke tölgy (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*) pollenszemek poláris tengelyhosszána leíró statisztikai jellemzői.

Table 4. Descriptive statistical characters of the polar axis length of pollen grains of pedunculate oak (*Quercus robur* subsp. *robur*) and greyish oak (*Quercus robur* subsp. *pedunculiflora*). (1) Taxon, (2) Polar axis length (μm), (3) Mean, (4) Standard deviation, (5) Median, (6) Minimum, (7) Maximum.

Taxon (1)	Pollenszem poláris tengelyének hossza (μm) (2)				
	Átlag (3)	Szórás (4)	Medián (5)	Minimum (6)	Maximum (7)
<i>Q. robur</i> subsp. <i>pedunculiflora</i>	35,67	4,11	36,37	26,25	42,77
<i>Q. robur</i> subsp. <i>robur</i>	32,83	4,04	33,75	17,81	39,49

között szignifikáns különbséget észleltünk ($t = 3,5648$; $p < 0,0001$), a szürke tölgy pollenszem átlagban $35,67 \mu\text{m}$, míg a kocsányos tölgy pollenszem $32,83 \mu\text{m}$ -t ért el.

Megvitatás

A szürke tölgy és a kocsányos tölgy virágzatokon lévő szörképletekről szakirodalmat nem találtunk, ezért az ismeretek bővítése volt a célunk e két taxon esetében. A SADOWSKI et al. (2020) által leírt, alapjuknál összenőtt csillagszőrök – amelyek karjai a csúcs irányában fokozatosan elvékonyodnak és hegyessé válnak – megfigyelésünkben is azonosíthatók. Eredményeink szerint azonban a csillagszőrök legfeljebb négy karból állnak, míg az említett tanulmányban a hét vagy annál több kar tekinthető jellemzőnek. Emellett megjegyzendő, hogy SADOWSKI et al. (2020) nyalábszőrök előfordulását nem említik. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a három bibe mellett négy bibével rendelkező termős virágok is gyakoriak, ezzel MÁTYÁS (1962b, 1967) és KAUL (1985) megfigyeléseit tudtuk alátámasztani.

A szürke tölgy termős virágzati tengelyén a csillagszőr karok ($329,14 \pm 86,01 \mu\text{m}$) és a nyalábszőr karok ($468,39 \pm 117,31 \mu\text{m}$) kétszer hosszabbak, mint a kocsányos tölgy termős virágzati tengelyén lévő csillagszőr karok ($152,63 \pm 63,83 \mu\text{m}$) és nyalábszőr karok ($225,59 \pm 74,23 \mu\text{m}$). Ez a mikromorfológiai tulajdonság laboratóriumi körülmények között határozóbélyegként alkalmazható lehet e két taxon elkülönítése során a Balkán-félsziget északi részén és a hazánkban élő populációk esetében. A kocsányos tölgy vonatkozásában megfigyeltünk szőrözött és indumentum nélküli termős virágzati tengelyt, ami csak a kocsányos tölgyre jellemző tulajdonság, a szürke tölgy termős virágzati tengelye minden esetben indumentummal borított, ezért terepi megfigyelés során nagyító segítségével a termős virágzati tengelyen az indumentum megléte, annak denzitása, illetve hiánya határozóbélyegként szolgálhat e két taxon elkülönítésében az észak-balkáni térségben vizsgálódva.

A porzós virágzati tengelyen mindkét taxon esetében kizárólag nyalábszőrök figyelhetők meg, és azok méretei között nem mutatkozik szignifikáns különbség. Emiatt a porzós virágzat ezen tulajdonsága alapján történő elkülönítést jelenleg nem tartjuk megbízhatónak, és a termős virágzatok vizsgálatát javasoljuk.

A két taxon összehasonlításában, a szürke tölgy virágzatainál jellemző volt a nagyobb (a porzós virágzatok esetében kétszeres, a termősöknél közel négyszeres) szördenzítás, valamint a hosszabb szörkarok a termős virágzaton mind a csillagszőrök, mind a nyalábszőrök esetében. A levelek mikromorfológiai vizsgálata is a szürke tölgy erősebb szőrözöttségét mutatta ki (HEGEDÜS et al. 2023, 2025). Mindezek alapján a taxon jobb szárazságtűrésére lehet következtetni, ami a klímaváltozás jelenlegi trendje miatt előnyösnek ítélnélhető tulajdonság.

A két taxon pollenszeme között észlelt szignifikáns különbségből azt a következtetést vontuk le, hogy ezek méretei határozóbélyegként szolgálhatnak, vi-

szont csak a poláris hosszakat elemeztük, ezért további vizsgálatok szükségessé-
sek. A pollenszemek méretére vonatkozó szakirodalmi források az általunk mért
hosszadatokhoz hasonló értékeket közölnek. Ezek közül PANAHI et al. (2012)
munkája mérvadóbb, mivel az természetes iráni erdők vizsgálatán alapul, míg
TEKLEVA et al. (2023) ismeretlen származású, botanikus kertben nevelt fák min-
táira vonatkozó adatai inkább csak tájékoztató jelleggel vehetők figyelembe.

A kocsányos tölgy és a szürke tölgy virágzatokon megfigyelt különbsé-
gek, valamint a más vegetatív szerveken megfigyelt mikromorfológiai eltérések
(HEGEDÜS et al. 2023) genetikai vizsgálattal kiegészítve közelebb vihetnek min-
ket a szürke tölgy taxonómiai helyzetének tisztázásához is. Jelen vizsgálat ered-
ményei ugyanakkor önmagukban nem elegendőek a szürke tölgy magyarorszá-
gi előfordulásának tisztázásához; ennek érdekében a jövőben átfogó genomikai
elemzések elvégzése szükséges.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Duna–Dráva Nemzeti Park Igazgatóságnak a kutatás támogatását, Bak
Miklósnak a pásztázó elektronmikroszkópos felvételek készítésében nyújtott segítséget, és
Barabás Tamásnak a terepi mintagyűjtésben való közreműködést. Köszönettel tartozunk
továbbá lektorainknak, valamint Kalapos Tibornak és Tamás Júliának a kézirat gondozá-
sáért. A kutatás az EKÖP-24-3-II számú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Mi-
niszterium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, az
Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program (2024-2.1.1-EKÖP) finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- APOSTOL E. N. 2019: Variabilitatea descriptorilor frunzelor în populații autohtone de stejar pedun-
culat (*Quercus robur* L.) și stejar brumăriu (*Quercus pedunculiflora* K. Koch). Editura Silvică,
Voluntari, 127 pp.
- BACILIERI R., DUCOUSSO A., KREMER A. 1995: Genetic, morphological, ecological and pheno-
logical differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a mixed
stand of northwest of France. *Silvae Genetica* 44(1): 1–10.
- BARTHA D. 2022: Dendrológia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, 169 pp.
- BARTHA D., BERKI I., LENGYEL A., RASZTOVITS E., TIBORCZ V., ZAGYVAI G. 2018: Erdőtársulások
és fajaik átrendeződési lehetőségei a változó klímában. *Erdészettudományi Közlemények*
8(1): 163–195. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.011>
- BORDÁCS S. 1994–1995: Virágzásbiológiai megfigyelések kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) egye-
deken. *Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények* 40–41: 53–65.
- BROWNE L., WRIGHT J. W., FITZ-GIBBON S., GUGGER P. F., SORK V. L. 2019: Adaptational lag to
temperature in valley oak (*Quercus lobata*) can be mitigated by genome-informed assisted
gene flow. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 116(50): 25179–
25185. <https://doi.org/10.1073/pnas.1908771116>
- CHESNOIU E. N., ȘOFLETEA N., CURTU A. L., TOADER A., RADU R., ENESCU M. 2009: Bud burst
and flowering phenology in a mixed oak forest from Eastern Romania. *Annals of Forest
Research* 52: 199–206. <https://doi.org/10.15287/afr.2009.136>

- CURTU A. L., SOFLETEA N., TOADER A. V., ENESCU M. C. 2011: Leaf morphological and genetic differentiation between *Quercus robur* L. and its closest relative, the drought-tolerant *Quercus pedunculiflora* K. Koch. *Annals of Forest Science* 68: 1163–1172.
<https://doi.org/10.1007/s13595-011-0105-z>
- DI MARCO G., D'AGOSTINO A., BRAGLIA R., REDI E. L., IACOBELLI S., GISMONDI A., CANINI A. 2023: Pollen variability in *Quercus* L. species and relative systematic implications. *Plant Physiology and Biochemistry* 204: 108079. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108079>
- GENCSI L., VANCSTURA R. 1992: *Dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 728 pp.
- GEORGESCU C. C., MORARIU I. 1948: *Monografia Stejarilor din Romania*. Ministerul Silviculturii Institutul de Cercetări Forestiere al Republicii Populare Române, București 2(77): 1–42.
- HAMMER Ø., HARPER D. A. T., RYAN P. D. 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1–9.
- HAYRAPETYAN A., BRUCH A. A. 2020: Pollen morphology of some species of the genus *Quercus* L. (Fagaceae) in the Southern Caucasus and adjacent areas. *Acta Palaeobotanica* 60(1): 1–42.
<https://doi.org/10.35535/acpa-2020-0001>
- HEGEDÜS I. M., BORDÁCS S., BARTHA D. 2023: Comparative studies on leaf micromorphology of the abaxial surface of *Quercus robur* L. subsp. *robur* and *Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 19(2): 75–85.
<https://doi.org/10.37045/aslh-2023-0006>
- HEGEDÜS I., SRAMKÓ G., BARTHA D. 2025: Morphometric analysis of leaf indumentum distinguishes greyish oak (*Quercus pedunculiflora* K. Koch) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) across their Central-Eastern European range. *Central European Forestry Journal* 71(3): 159–169. <https://doi.org/10.2478/forj-2025-0005>
- IPCC 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. LEE, ROMERO J. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp.
<https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- JALAS J., SUOMINEN J. 1976: *Atlas Florae Europaeae. Distribution of vascular plants in Europe III. Salicaceae to Balanophoraceae*. The Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo, Helsinki, 128 pp.
- KAUL R. B. 1985: Reproductive morphology of *Quercus* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 72(12): 1962–1977. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1985.tb08470.x>
- KIM I., KWAK M. J., LEE J. K., LIM Y., PARK S., KIM H., LEE K. A., WOO S. Y. 2020: Flowering phenology and characteristics of pollen aeroparticles of *Quercus* species in Korea. *Forests* 11(2): 232. <https://doi.org/10.3390/f11020232>
- KOCH K. 1849: Beiträge zu einer Flora des Orientes II. *Linnaea* 22: 177–338.
- MÁTYÁS V. 1962a: Tölgyeink virágzás- és termésbiológiája, mint a magtermés fokozásának alapja. *Erdészeti Kutatások* 58(1–3): 3–35.
- MÁTYÁS V. 1962b: Tölgyeink virágzás- és termésbiológiájának gyakorlati vonatkozásai. *Az Erdő* 11(3): 104–115.
- MÁTYÁS V. 1967: *Vizsgálatok a tölgyek virágzás- és termésbiológiájáról*. Doktori értekezés, kézirat, Sopron, 196 pp.
- MENITSKY YU. L. 1984: *Oaks of Asia*. Science Publishers, Leningrad, 316 pp.
- PANAHI P., POURMAJIDIAN M. R., FALLAH A., POURHASHEMI M. 2012: Pollen morphology of *Quercus* (subgenus *Quercus*, section *Quercus*) in Iran and its systematic implication. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 81(1): 33–41. <https://doi.org/10.5586/asbp.2012.005>
- PJATNYICKIJ S. S. 1951: K voprosztju o tak nazüraemoj periodicsnosztzy plodosenija ud duba. *Lesznoje Hozajszstvo* 8: 70–75.

- ROMASOV N. V. 1957: Zakonomernoszti plodosenija duba. Botaniceszkij Zsurnal 42(1): 41–56.
- SADOWSKI E.-M., SCHMIDT A. R., DENK T. 2020: Staminate inflorescences with in situ pollen from Eocene Baltic amber reveal high diversity in Fagaceae (oak family). Willdenowia 50(3): 405–517. <https://doi.org/10.3372/wi.50.50303>
- SCHNEIDER C. A., RASBAND W. S., ELICEIRI K. W. 2012: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods 9: 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- TEKLEVA M. V., POLEVOVA S., NARYSHKINA N. N. 2023: Pollen characteristics used in determination and systematics of *Quercus* (Fagaceae): new data and verification of previous concepts. Botanical Journal of the Linnean Society 202(4): 542–571. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boad001>
- TÓTH GY. 1986: Megfigyelések a gödöllői kocsányostölgy-plantázsban. Erdészeti Kutatások 78(1): 59–64.
- TSCHAN G. F., DENK T. 2012: Trichome types, foliar indumentum and epicuticular wax in the Mediterranean gall oaks, *Quercus* subsection *Galliferae* (Fagaceae): implications for taxonomy, ecology and evolution. Botanical Journal of the Linnean Society 169: 611–644. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01233.x>
- VANCSURA R. 1972: A tölgynevelés és a nevelített szaporítóanyag-termesztés helyzete, a magplantázsok virágzásbiológiai problémái. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei 1972/1–2: 35–48.
- ŽIVKOVIĆ A. B., NIKOLIĆ M. Š., STOJANOVIĆ D. B., ORLOVIĆ S., KOVAČEVIĆ B. 2025: Variability and relationship between phenological and morphological traits in early and late pedunculate oak. Forests 16(2): 198. <https://doi.org/10.3390/f16020198>

Comparison of the micromorphology of greyish oak (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky) and pedunculate oak (*Quercus robur* L. subsp. *robur*) inflorescences

I. HEGEDÜS¹*, D. BARTHA²

¹Danube–Drava National Park Directorate, 7625 Pécs, Tettye tér 9, Hungary;
ivett.hegedus@ddnp.hu (*corresponding author)

²Institute of Environmental Protection and Nature Conservation, Faculty of Forestry,
University of Sopron, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4, Hungary;
bartha.denes@uni-sopron.hu

Received: 2025.06.26.; Revised: 2025.10.16.; Accepted: 2025.10.17.

Key words: fasciculate trichome, indumentum, pollen, SEM, stellate trichome, trichome density.

In the present study, we compared the micromorphology of the inflorescences of greyish oak (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky)

and pedunculate oak (*Quercus robur* L. subsp. *robur*). Greyish oak samples were collected in Romania, while pedunculate oak samples were collected in Hungary and Romania during the springs of 2023, 2024, and 2025, across a total of 11 sites. The 70 samples originated from 33 trees. Micromorphological traits of the inflorescences – primarily the presence and type of trichomes – were examined using scanning electron microscopy (SEM) on the inflorescence axis as well as on floral organs, including cupule primordia, stigma, staminal filaments, and anthers. On both female and male inflorescence axes, trichome density was determined and trichome ray length was measured. Pollen grains were also examined to a limited extent. No indumentum was detected on the stigma, anthers, or staminal filaments in either taxon. In contrast, stellate and fasciculate trichomes were observed on the female inflorescence axis, on cupule primordia, and on the male inflorescence axis in both taxa. In the pedunculate oak samples, some female inflorescences displayed a completely glabrous axis – representing a clear micromorphological distinction between the two taxa in our material. The female inflorescence axis of greyish oak was characterized by approximately four-fold higher trichome density compared to that of pedunculate oak (93.71 vs. 25.00 trichomes/mm²). Longer trichome rays were also recorded in greyish oak, both in stellate trichomes ($329.14 \pm 86.01 \mu\text{m}$) and fasciculate trichomes ($468.39 \pm 117.31 \mu\text{m}$), whereas in pedunculate oak the respective values were $152.63 \pm 63.83 \mu\text{m}$ and $225.59 \pm 74.23 \mu\text{m}$. A significant difference in pollen grain length was also detected, with values of $35.67 \pm 4.11 \mu\text{m}$ in greyish oak and $32.83 \pm 4.04 \mu\text{m}$ in pedunculate oak. The higher trichome density of greyish oak inflorescences may serve as a useful diagnostic trait in identifying the taxon. A more developed indumentum covering not only the reproductive parts but also the leaves shown in our earlier study may contribute to an improved drought tolerance, a potentially advantageous feature under the recent climate change. This study provides the first detailed micromorphological comparison of the inflorescences of greyish oak and pedunculate oak, thereby contributing new insights into the morphological differentiation of these two closely related taxa.

Citation: Hegedüs I., Bartha D. 2025: A szürke tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *pedunculiflora* (K. Koch) Menitsky) és a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L. subsp. *robur*) virágzatainak mikromorfológiai összehasonlítása. Bot. Közlem. 112(2): 209–224.
<https://doi.org/10.17716/BotKozlem.2025.112.2.209>