Erdészettudományi Közlemények 14. évfolyam 2. szám 2024

DOI: https://doi.org/10.17164/EK.2024.12

195–212. oldal

A LOMBKORONA KUTATÁSOK JELENTŐSÉGE ÉS FŐBB MÓDSZEREI

Eötvös Csaba Béla

Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály

Kivonat

A klímaváltozás következtében egyre gyorsuló változásokat tapasztalunk a lombkoronában, mely kihat az ott élő közösségekre is. Ezek a közösségek a teljes szárazföldi biodiverzitás felét adják. Ahhoz, hogy segíteni tudjuk az ökológiai egyensúly fenntartását, fontos a lombkorona kutatása, amire a kutatók figyelme 1980-as években terelődött. majd nagyon gyorsan használatba vették a meglévő eszközöket és újakat fejlesztettek. Ebből a széles eszköztárból a céljainknak megfelelő kiválasztása gyakran nehézségekbe ütközhet. Ez az összefoglaló munka ezekben a helyzetekben kíván segítséget nyújtani mindamellett, hogy rámutat, hogy mely módszerekkel, milyen az erdészetben is használható gyakorlati tudást tudunk megszerezni.

Kulcsszavak: módszertan, mérsékelt öv, felhasználási terület, gyakorlati alkalmazás

WHY WE SHOULD RESEARCH CANOPY PROCESSES AND WHAT METHODS ARE AVAILABLE

Abstract

As a result of climate change, we are experiencing accelerating changes in the canopy, affecting the communities that live there. These communities make up half of the total terrestrial biodiversity. To help maintain the ecological balance, canopy research is important, and researchers began to focus on it in the 1980s, quickly adopting existing tools and developing new ones. Choosing the right one for our purposes can often be difficult from this wide range of tools. This synthetic work is intended to help in these situations while pointing out the methods that can be used to acquire practical knowledge that can be applied in forestry.

Keywords: methodology, temperate zone, field of application, application in practice

BEVEZETÉS

A klímaváltozás következtében nagymértékű változások várhatóak a lombkoronában. A lombkorona kutatásának az erdészeti kutatásokban is kiemelkedő szerepe van, mivel a szárazföldi sokféleség 50%-ának a fák lombkoronája ad otthont és a koronában zajló ökofiziológiai folyamatok is

Levelező szerző/Correspondence:
Eötvös Csaba Béla, 1027 Budapest, Frankel L. út 1., e-mail: eotvos.csaba@uni-sopron.hu

meghatározóak. A lombkoronán belül változik a levelek fiziológiája és fenológiája (Nakamura et al. 2010, 2015) és a termésmennyiség sem homogén (Nakamura et al. 2015). A lombkoronában számos mikroélőhely található, melyek mind specifikus mikroklímával rendelkeznek, ami a klímaváltozás miatt megváltozik (Sallé et al. 2021). Ezek elsősorban a specialista élőlényeket érintik negatívan, de összességében a lombkoronában élő közösségek is átalakulnak (Sallé et al. 2021). Ugyanakkor a felső és alsó lombkoronaszintre másképp hat a klímaváltozás, miközben egyes fafajokra kifejezetten pozitív hatásai is lehetnek (Wang et al. 2023).

Nemzetközi konszenzus szerint az 1980-as éveket megelőzően néhány kivétellel nem volt kiterjedt direkt kutatása a lombkoronának. A legtöbb eszköz, ami lehetővé tette a lombkorona kutatást már rendelkezésre állt korábban is (kötelek, állványzatok, toronydaruk), azonban nem, vagy csak ritkán használták erre a célra. Más eszközök, mint a távérzékelésben használt műholdak, drónok csak később jelentek meg, váltak általánossá. Ma már a lombkorona kutatás egyes eszközei, mint a lombkorona tanösvények az oktatáson és a turizmuson keresztül hívják fel a figyelmet a fejünk fölötti élettér fontosságára (Lowman 2021).

A lombkorona kutatások elsősorban a trópusokra koncentrálódtak, mivel úgy tartották, hogy a mérsékelt övben a lombkoronán belül homogénebb a fajok eloszlása, mint a trópusokon (Ulyshen 2011). Az elmúlt 10–15 évben viszont rámutattak arra, hogy a mérsékelt övben is van a lombkoronán belül strukturáltság. Kimutatták ezt a parazitoidokra (Stireman et al. 2012, Šigut et al. 2018), bogarakra, legyekre (Maguire et al. 2014) és a hernyóközösségekre (Seifert et al. 2020).

Ma már egyértelmű, hogy a lombkorona kutatásnak nem csak a trópusokon, hanem a mérsékelt övben, így Magyarországon is van tere. Jelen közlemény célja, hogy röviden összefoglalja az erdészeti kutatások során is alkalmazható legfontosabb módszereket.

A LOMBKORONA KUTATÁS ESZKÖZEI ÉS MÓDSZEREI

A lombkorona vizsgálható több perspektívából is: talajról, lombkoronán belülről, vagy a lombkoronán felülről. Talajról elérhetjük a lombkoronát idomított állatokkal, mechanikus mintavevőkkel (pl. sörétes puska), terelőfelületes csapdákkal és függönyhálókkal, illetve ködpermetezéssel vagy megfigyelhetjük távcsővel. A lombkoronából a talajra hulló termés és levél, illetve egyéb szerves anyag, mint a hernyóürülék mennyisége gyűjtőkosarakkal mintázható. A lombkoronába felmászhatunk kötelek segítségével, vagy használhatunk létrákat, állványokat, lombkorona tanösvényeket. Ilyen célra használhatjuk még a különböző céllal épített tornyokat (meteorológiai- és adótornyok, kilátók stb.) illetve kötélpályákat, sífelvonókat is. Költségesebb eszközök közé tartozik a telepített toronydaru. A lomkorona fölé juthatunk hőlégballonnal és egy speciálisan kiépített ”tutajjal” leszállhatunk a lombkorona tetejére. A különböző távérzékelési eszközök (drónok, műholdak) is felülről mutatják meg számunkra a lombkoronát. A lombkoronából vett minták DNS tartalma alapján az ott élő fajok meghatározhatóak (Didham & Fagan 2004).

Idomított állatok

Idomított állatok segítségével zömmel a mozgásra nem képes résztvevőit tudjuk vizsgálni a lombkoronának (epifitonok, termések stb.). Ezek az állatok a lombkoronában mind horizontálisan,

mind vertikálisan jól mozognak, így a lombkorona-légkör határt leszámítva jól használhatóak mintavételezésre. A mintavétel könnyen ismételhető, viszont a hosszú távú monitorozás bonyolultan kivitelezhető. Mivel a betanított állatok csak a vizsgálati objektumot veszik célba, így a környezetre gyakorolt káros hatás elhanyagolható. A költségek közepesek, azonban az idomítás folyamata nehézkes és hosszadalmas. A módszert főleg botanikai és növényfenológiai vizsgálatokban használták (Didham & Fagan 2004).

Mechanikus mintavevők

Az ágvágók, sörétes puskák és az ezekhez hasonló eszközök segítségével a lombkoronából minden olyan élőlény begyűjthető, mely a zavarás hatására nem ugrik/repül el. A mintavétel a lombkorona egy szűk területéről lehetséges. A lombkorona-légkör határ a talajról csak speciális esetben érhető el. Ismétléses vizsgálatok és a hosszú távú monitorozás általában lehetséges. Az élővilágra gyakorolt hatás elérheti a közepes szintet a nem mindig precíziós mintavétel miatt. Fő előnyei az alacsony költségek, az egyszerű kivitelezhetőség, a rugalmas mintavétel és a nagy mintaterület. Hátránya, hogy a lőfegyver használat engedélyhez kötött, gyakorlat szükséges a használatához és az ágvágó korlátozza a mintavételi magasságot. Általánosan használják ezeket az eszközöket növény-rovar interakciók térképezésére és növényélettani kérdések megválaszolására (Didham & Fagan 2004).

Johnson et al. (1994) távérzékeléses adatok földi validációjához használta mintagyűjtő eszköznek a sörétes puskát. A klorfiltartalom, a teljes nitrogén tartalom és levélfelület index erős korrelációt mutatott, míg az egyes spektrumok és a keményítő tartalom között nem találtak összefüggést.

A talaj nitrogén tartalma függvényében a lomb biokémiai folyamatai másképpen változhatnak. Kimutatták, hogy bizonyos koncentráció felett további nitrogén talajba juttatása nem eredményez a lomb nitrogén mennyiségében változást. Azonban a magasabb nitrogén tartalom mellett a tűlevelűek klorofill tartalma és a szezonális ingadozása is nagyobb (Billow et al. 1994). Esőerdőkben ilyen mintavételi módszerrel mutatták ki, hogy a lombfogyasztók a fiatalabb leveleket preferálták az idősebb levelekkel szemben, a talajhoz közelebb intenzívebb volt a lombfogyasztás, az árnyékleveleket nagyobb mértékben fogyasztották, mint a fényleveleket. Ugyanakkor kimutatták, hogy kis léptékben nagy variáció mutatkozik az egyes ágak és levelek szintjén a lombfogyasztás mértékében és ahol a tápnövény nagyobb egyedsűrűségben van jelen, ott a fogyasztói is gyakoribbak (Lowman 1985).

A Leltározó Lucfenyő Származási Kísérlet során, mely 13 ország 20 kísérletéből tevődik össze (köztük a nyírjesi kísérlet) az egyes származások összevetésére genetikai vizsgálatokat végeztek. Ehhez a friss hajtásban lévő mitokondriális DNS-t használták, melynek a legegyszerűbb gyűjtési eszköze a sörétes puska (Sperisen et al. 1998). A nagyszabású kísérlet 1968-as kezdetekor várt eredményeit ugyan nem sikerült elérni, hiszen hazánkban a lucfenyő termeszthetősége nagy mértékben visszaszorult a klímaváltozás következtében, mégis fontos információkkal gazdagodtunk az évtizedek alatt (Mátyás & Ujváriné 2016).

A vákuumos rovarporszívó (D-Vac) ugyan elsősorban a fűhálózás alternatívája, azonban a lombkoronában élő röpképes és ugró rovarok mintázására alkalmasabb módszer, mint a kopogtatás (Herms et al. 1990).

Terelőfelületes csapdák, függönyhálók, feromoncsapdák

Az eddigiekkel szemben ezek a módszerek kifejezetten az aktívan mozgó élőlényeket célozzák. Csalétek nélkül egyszerűen a mozgási aktivitásukat vizsgálhatjuk, míg csalétekkel a táplálkozási aktivitásukat vagy feromon esetén a rajzási fenológiájukat figyelhetjük meg. Ezek az eszközök horizontálisan szűk, míg vertikálisan széles térbeli leképezést adnak. Könnyen ismételhetőek és kifejezetten alkalmasak hosszú távú monitorozásra. Élővilágra gyakorolt hatásuk általánosan alacsony, csak a nem célfajok csapdába esését lehet említeni káros hatásként. Előnyei, hogy a költségek relatíve alacsonyak, egy ember el tudja végezni a mintagyűjtést és az standardizált és kvantitatív. Hátránya, hogy a nem aktív egyedekről nem szolgáltat információt. Felhasználási területe az ízeltlábúak, madarak és denevérek kvantitatív monitoringja (Didham & Fagan 2004).

Ezen módszerek közé olyan erdészetileg fontos csapdák tartoznak, mint amelyekkel hazai és inváziós díszbogarak monitorozhatóak (Imrei et al. 2020). A függönyhálók a közismert madárvonulási vizsgálatokon túl használhatóak az egyes fajok erdőben szokásos repülési magasságának vizsgálatára is. Ezek elsősorban a táplálkozási guildek alapján meghatározottak, azonban szezonális és korfüggő elemei is lehetnek (Tattoni & LaBarbera 2022).

A kis téliaraszoló rajzását feromoncsapdákkal vizsgálva kimutatták, hogy 1 méteres magasságban a napnyugta után fél órával, 5 méteres magasságban 3 órával, 10 méteres magasságban 6 órával és 15 méteres magasságban 6 és fél órával a napnyugta után fogták az első egyedeket. Az átlagosan befogott egyedek száma a magassággal fordított arányosan csökken (Ambrus & Csóka 1988, 1992).

Sárospataki & Markó (1995) Malaise csapdákat használva kimutatta, hogy a hétpettyes katica (*Coccinella septempunctata*) ugyan a csejeszintben aktív a május–júniusi időszakban, azonban tömegesen nagyobb távolságokra, megfelelő időjárási körülmények között (kellően magas hőmérséklet és alacsony szélsebesség) a lombkoronában, vagy a felett vonul telelni július végén, augusztus elején.

Ködpermetezés

Az összes felsorolt technika közül ez a legdestruktívabb. Rovarölő szerekkel a teljes lombkoronát elködösítik, majd a lehulló rovarokat vizsgálják. Legjobban a repülő rovarok mintázására alkalmas, hiszen a mászó rovarok lehullásához még egy plusz mechanikai hatásra is szükség van általában. A lombkoronát közel teljes magasságában mintázza, azonban a mintagyűjtők csak relatíve kis területen gyűjtenek. Ugyan azon a területen gyakorlatilag lehetetlen az ismétlés rövidebb időtávon belül és hosszú távú monitorozásra sem a legalkalmasabb módszer. Az élővilágra gyakorolt hatása közvetve és közvetlenül is erős, mivel gyakorlatilag megoldhatatlan a szelektív mintagyűjtés és még lebomló szerek alkalmazásával is károsíthatja a rovarevő szervezeteket. Mindezek ellenére, amikor minden, az adott helyen élő faj megismerése a cél (taxonómia, fajdiverzitás, közösségek összetétele), akkor megfelelő körültekintéssel használható módszer (Didham & Fagan 2004).

Ugyan a ködpermetezés elsősorban a trópusokon használt technika, de mérsékelt övben is előfordul az alkalmazása. Így térképezték fel például Kelet-Lengyelország levéldarázs (Symphyta) együtteseit (Floren & Karus 2006).

Távcsöves megfigyelés

Horizontálisan jó, vertikálisan korlátozott megfigyelést tesz lehetővé, míg a lombkorona-légkör határ vizsgálatára csak ritkán ad lehetőséget. A mintavétel jól ismételhető, hosszú távú monitorozásra kifejezetten alkalmas módszer. Az élővilágra csak a megfigyelő mozgása hat zavaróan. Előnyei az alacsony költségek és a gyors adatfelvétel. Az egymást takaró ágak vizsgálata azonban nehézkes és a mintavétel gyakran szubjektív becslésen alapul. Ezért a távcsöves megfigyelésnél fontos, hogy jól bevált módszereket alkalmazzunk, ellenkező esetben szükséges azok validálása. Használják gerincesek populációs vizsgálataiban, fenológiai és erdő-egészségállapot felmérésekben (Lowman & Wittman 1996).

A hazánkban 1988 óta működő Erdészeti Mérő- és Megfigyelő Rendszer (EMMRE) (NFK 2021) protokollja kitér a lombkoronát érintő károkra is, megfigyelésükre, becslésükre pedig a távcsöves módszert javasolják (Stuller 2009). A rendszer által gyűjtött adatok szabadon hozzáférhetőek az éves jelentésekben, melyek a rendszer honlapjáról letölthetőek. A hosszú távú adatsorok alapján általánosan elmondható, hogy erdeink egészségi állapota elsősorban a szélsőséges időjárási tényezők gyakoriságának és intenzitásának növekedése következtében folyamatosan romlik, fogékonyabbá válnak az egyes biotikus kárformákra (Janik 2021, Koltay 2006). A tölgy-csipkéspoloska (*Corythucha arcuata*) terjedését befolyásoló tényezők felméréséhez szintén távcsöves megfigyelést használtak (1. ábra) (Eötvös et al. 2023a).

1. ábra: *Távcsöves mintavétel Ivánc közelében*
Figure 1: *Data collection with binocular near Ivánc, Hungary*

Gyűjtőkosaras mintavétel

A teljes lombkorona magasságból gyűjti a mintát, azonban a horizontális kiterjedést a gyűjtőkosarak száma szabja meg. A mintavétel jól ismételhető, azonban a hosszú távú monitorozás nem mindig kivitelezhető. Az élővilágra nincs negatív hatása. Előnyei az olcsó és könnyen kivitelezhető mintavétel. Lomb- és terméshullás menetének vizsgálatára, illetve hernyó biomassza becslésére használják (2. ábra) (Hirka 2003, Tinbergen & Dietz 1994).

A makktermés fontos másodhaszonvételi forrás erdeinkből. A makkhullás menete, különböző kár- és kórokozókkal való fertőzöttségének mértéke ehhez fontos információkat szolgáltat. Hirka (2003) kimutatta, hogy az egészséges makkok a makkhullási periódus végén, leghamarabb szeptember közepétől kezdenek hullani.

Tinbergen & Dietz (1994) kimutatta, hogy a hernyók táplálkozási aktivitása tisztán hőmérséklet függő csapadékmentes időjárás mellett. Ezáltal a vászonnal bélelt kosarakkal gyűjtött hernyóürülék mennyiségéből számítható a lombkoronában lévő hernyó biomassza mennyisége.

A módszer költséghatékony, azonban munkaerő igényesebb verziója a rögzített kvadrátos mintavétel. Ennek segítségével sikerült kimutatni, hogy rovarevő madarak megtelepülését követő rövid időn belül javul a makktermés minősége és ez hozzájárul a természetes megújuló képesség potenciáljának növekedéséhez (Eötvös et al. 2023b).

2. ábra: *Gyűjtőkosaras mintavevő a Mátrában*
Figure 2: *Data collection using basket in Mátra mountain, Northern Hungary*

Környezeti DNS elemzés (metabarcoding)

A környezetből gyűjtött minták DNS tartalma ma már elegendő ahhoz, hogy az egyes mintaterületeken élő fajokat azonosíthassuk. Nehézséget okoz, hogy a gyűjtött minta térbeli származását nem mindig tudjuk teljes bizonyossággal kijelenteni. A módszer jól ismételhető és hosszú távú monitorozásra is alkalmas. A környezetre gyakorlatilag nincs negatív hatása. Hátrányai, hogy egy előzetesen kialakított DNS könyvtárra van szükség a fajok meghatározásához, és a labormunka költséges. Főleg egyes élőhelyek diverzitásának felmérésére és közösségeinek megismerésére használják (Roger et al. 2022).

A rovarölő szerek negatív hatásai egyértelműek, míg a célzott, fajspecifikus hatóanyagok használata elfogadottabb. Azonban a DNS metabarcoding módszerével kimutatták németországi erdőkben, hogy a *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* hasonló közvetett hatásokkal bír az ízeltlábú közösségekre, mint a diflubenzuron kitinszintézis gátló rovarölő szer, csak a mértékben tapasztaltak különbséget (Leroy et al. 2022). Akár arra is lehetőségünk lehet ennek a módszernek a segítségével, hogy madarak ürülékéből állapítsuk meg a táplálékbázisukat (Shutt et al. 2021).

Alpintechnika

Az alpintechnika hozta el a tudományos köztudatba a lombkorona kutatást, mint önálló kutatási terület. Egy adott fa majdnem a teljes magasságában mintázható, viszont ahhoz, hogy egy másik fára feljuthassunk, újra ki kell építeni a kötélzetet. Könnyen ismételhető a mintavétel, azonban a hosszú távú monitorozás akadályokba ütközhet. Az élővilágra minimális káros hatással van, főként a kötél kérgen való súrlódását lehet említeni. Alapvetően az olcsóbb technikákhoz tartozik, a kivitelezés könnyű, amennyiben megfelelő állóképességgel rendelkezik a mintavevő. Fő hátrányai, hogy a vékonyabb ágak nehezen elérhetőek. A felhasználási területe az egyik legváltozatosabb (Didham & Fagan 2004, Lowman 2021).

Trópusokon a lombkoronán belül, különböző magasságból gyűjtött levelek között csak néhány morfológiai és ökofiziológiai trendet tudtak kimutatni. A levélfelület és a nitrogéntartalom közepes magasságban, míg a gázcserenyílások száma és a levélfelülethez viszonyított tömeg a lombkorona tetején volt a legmagasabb (Barker & Booth 1996). Az amerikai duglászfenyő lombkorona vizsgálata során kimutatták, hogy a regenerálódó és a gyérített állományokban a lombfogyasztók és a ragadozók egyedsűrűsége drasztikusan lecsökken. A regenerálódó állományokban a toboztetvek (Adelgidae) szinte egyeduralkodóvá váltak és szinte teljesen eltűntek a törmelékevő ízeltlábúak. A beavatkozás-mentes 150 és 450 éves erdők közötti fő különbség abban mutatkozott, hogy a 450 éves erdőben a ragadozó-lombfogyasztó arány és a diverzitás is növekedett (Schowalter 1995).

Lombkorona tanösvények

Manapság főleg turisztikai és oktatási szerepük van, azonban eredetileg azért hozták létre őket, hogy állandó platformot nyújtson a kutatóknak, miközben nyitnak a természet iránt érdeklődő emberek felé. Mivel állandó építmények, így mind horizontálisan, mind vertikálisan behatárolják a kutatás térbeli hozzáférését. Kifejezetten alkalmasak hosszú távú monitorozások kivitelezésére. Az élővilágra a létesítésekor nagy hatással van, azonban a fenntartása és a kutatómunka nem jár további

környezetkárosítással. A költségei összességében magasabbak, főleg, ha nagy méretű lomkorona sétány épül. A használatát is általában a létesítés lehetőségei korlátozzák. Legfontosabb előnyei, hogy kényelmes, stabil platformot biztosít akár nagyobb kutatócsoportok számára is. Azonban ez az előny egyben a hátránya is, mivel a stabilitás együtt jár a mintavétel térbeli korlátozottságával. Eredetileg főleg gerincesek viselkedésökológiai megfigyelésére és erdődinamikai vizsgálatokra használták (Didham & Fagan 2004).

Az erdőirtás mértékének csökkentése és az erdei biodiverzitás fontosságának tudatosítása közösségi feladat. Ahhoz, hogy a mindennapokban is köztudatba kerüljenek ezek a problémák, fontos élményközpontú oktatást folytatni, melynek jó eszközei a lombkorona tanösvények (Lowman 2009). Magyarországon is számos lombkorona tanösvény található, melyek közül a legjelentősebbeken oktatási tevékenységet is folytatnak, mint pl. a Nyíri erdőben lévő Vackor Vár Erdei Iskolában (3. ábra, 1. táblázat).

3. ábra: *A kaszói lombkorona sétány*
Figure 3: *Canopy walkway near Kaszó, Hungary*

Létrák, ideiglenes állványok, emelőkosaras kocsik

Általában könnyen mozgatható eszközök, melyek segítségével sok fa mintavételezése lehetséges, azonban csak korlátozott magasságtartományban. Ismétlés könnyen kivitelezhető, azonban hosszú távú monitorozásra nem használják. Ennek a technikának jellemzően már magasabb költségei lehetnek, kifejezetten az emelőkosaras kocsi esetében (járműköltség, gépkezelő stb.). Élőhelyre gyakorolt hatásai között elsősorban a járművek talajnyírása sorolható fel. Fő előnyei, hogy egy stabil platformot biztosít a mintavételhez és nagy mintaelemszám érhető el vele. Hátránya, hogy a létrák kivételével csak jól megközelíthető helyeken használhatóak. Használják lombfogyasztók, beporzók vizsgálatára, illetve ökofiziológiai és vegetációdinamikai kutatásokban (Didham & Fagan 2004).

Emelőkosaras kocsik segítségével mutatták ki, hogy a mérsékeltövi árnyéktűrő fajok fotoszintetikus aktivitása még akkor is alacsonyabb, ha azok levelei elérik a lombkoronaszint tetejét (Bassow & Bazzaz 1997). Ugyan ilyen eszközt használták Csehországban, hogy elérjék a lombkorona különböző szintjeit és kopogtatással gyűjtött adatok alapján meg tudják határozni, hogy az egyes fülbemászó fajok milyen vertikális preferenciával rendelkeznek (Kirstová et al. 2017).

1. táblázat: *A jelentősebb lombkorona tanösvények Magyarországon és főbb adataik (Kardos & Kardos (2024) alapján)*
Table 1: *Important canopy walkways in Hungary and their main data (according to Kardos & Kardos (2024))*

Lombkorona tanösvény	Hossz (m)	Magasság (M)
Makó	191	10–18
Kaszó	124	9
Sás-völgy	50	6
Gyomaendrőd	~150	15
Ipolytarnóc	150	8–10
Lengyel-Annafürdő	30	8–10
Pannonhalma	80	14
Jeli Arborétum	130	10
Karcagi Parkerdő	314	6
Tardosi	105	11
Nagykörű	300	8
Vackor Vár Erdei Iskola	~50	4–11,5

Meteorológiai- és adótornyok, kilátók

A lombkorona tanösvényekhez hasonlóan használható építmények, azonban horizontálisan szűkebb, míg vertikálisan jellemzően tágabb leképezést adnak (4. ábra). Kifejezetten alkalmasak a lombkorona-légkör határ vizsgálatára, illetve sok esetben a lombkorona feletti vizsgálatokat is lehetővé teszik. Hosszú távú monitorozásra kifejezetten alkalmasak. Ebben az esetben is szinte csak az építés jár környezetkárosító folyamatokkal, csak az adótornyok nagyenergiájú sugárzása zavarhat egyes szervezeteket állandó jelleggel. Másodlagos hasznosításuk révén nem mindig ott vannak, ahol kutatni szeretnénk, azonban stabil rögzítési felület ad különböző eszközök és műszerek számára. Ökofiziológia, fotoszintézis, gázcsere, lombkorona struktúra és fenológia a fő kutatási területek, melyekben használják, illetve ezek vertikális különbségeinek feltárására (Didham & Fagan 2004).

Futó (1964) a Bálványon lévő meteorológiai toronyban vizsgálta az erdő és a lombkorona szélsebességre gyakorolt hatását. Kimutatta, hogy jelentős mértékben fékezi a lomb a szélsebességet nem csak azon belül és alatta, hanem közvetlenül felette is a súrlódás következtében. Emellett megfigyelte, hogy minél erősebb a szél, annál nagyobb az erdő szélsebesség csökkentő hatása.

4. ábra: *Időjárás megfigyelő torony a Mátrában*
Figure 4: *Weather observation tower in the Mátra*

Toronydaru

Az egyik legmobilisabb kutatási eszköz azon a körön belül, amit a daru gémje átér. Mivel a telepítési költségek magasak, csak a hosszú távú monitorozás teszi rentábilissá a befektetést. A környezetre a legnagyobb káros hatás a telepítéskor van, utána csak az üzemeltetés zaja zavarja azt. Fő hátrányai a költségek, a fix mintaterület, és hogy szükséges egy szakképzett darukezelő az üzemeltetéshez. Előnye, hogy nagyobb kutatócsoportok kollaboratív együttműködését teszi lehetővé hosszú távon. Felhasználási területe nagyon változatos, a vegetációdinamikától a növény-ízeltlábú kapcsolatok vizsgálatáig (Didham & Fagan 2004).

Európában 4 toronydarut használnak kutatási és oktatási célokra, ebből 3 Németországban (Lipcse, Kranzberg és Solling), 1 pedig Svájcban (Bázel) található (Lowman 2009). Ezeken a kutatóhelyeken jellemzően több tudományterület kutatói dolgoznak együtt, mint a botanikusok, dendrológusok, entomológusok, gombászok, ornitológusok, klímakutatók stb. és a városi apparátusok, mint a környezetvédelem vagy városzöldítés is aktívan bevonásra kerülnek.

Vannak több módszert alkalmazó összetett kutatások, melyekre jó példa a Borneó szigetén található Sarawak Lombkorona Biológiai Program, melynek során tornyokat, lomkorona tanösvényeket és toronydarut is használnak párhuzamosan egy rendkívül diverz élőhelyen. A vizsgált terület érdekességét a több mint 1000 fafajon túl az adja, hogy ezen fajok között nagyon sok egyszerre virágzik 2-10 éves időközönként. Ezt a virágzás csúcsot a beporzók egyedszáma is jól követi, viszont bizonyos esetekben még ilyen természetes körülmények között is lehet beporzó hiány. A különböző csoportos virágzási események egyedi beporzó közösségekkel rendelkeznek és a kutatások rámutattak arra, hogy nem minden esetben a méhek a fő beporzók (Yumoto & Nakashizuka 2005).

A klímaváltozás hatásai is vizsgálhatóak toronydaruval. Japánban egyes ágak körüli hőmérsékletet megnövelték 5 °C-kal a környezeti hőmérséklethez képest, aminek következtében a vegetációs időszak meghosszabbodott és a termésmennyiség növekedett (Nakamura et al. 2010). Ugyanakkor az ágak melegítése nem, de talaj melegítése csökkentette a lombfogyasztás mértékét, mivel csökkent a levelek nitrogén tartalma, míg a fenol tartalma növekedett a kísérlet harmadik évére (Nakamura et al. 2015).

Kötélpályák, kabinos felvonók

Ritkábban használt eszköz, mivel a lombkoronának általában csak a felső része vizsgálható segítségükkel, azonban az egy hosszú transzekt mentén. Szintén alkalmas hosszú távú monitorozásra. A környezetét a kezdeti építés után tovább zavarja az üzemeltetés zaja. Fő előnye a vonalas létesítése, tehát nagy területek, élőhelyek közti átmenetek vizsgálatát teszi lehetővé. Erdőszerkezeti vizsgálatokban, diverzitásvizsgálatokban, gerincesek viselkedésökológiai vizsgálatában használják (Didham & Fagan 2004).

Különböző eszközök számára készíthetünk kötélpályát, hogy úgy tudja a két végpont között vizsgálni az élőhelyet, hogy azt mozgásunkkal, taposásunkkal nem zavarjuk. Például hemiszférikus fényképezőgép és piranométer segítségével a lombkorona és cserjeszint árnyékoló képessége mérhető fel így monitoring jelleggel (Jonas et al. 2020).

Hőlégballon, lombkorona tutaj

A módszer lényege, hogy egy hőlégballon alá egy hálós „tutajt” építenek, amivel aztán le lehet szállni a lombkorona tetejére. Nagy területek vizsgálatát teszi lehetővé, hiszen újra és újra arrébb lehet költözni vele. Azonban ez a szabadság inkább „felfedező” kutatásokra teszi alkalmassá, mint hosszú távú monitorozásra. Környezeti hatása főleg a leszállás során az ágak töréséből fakad. Limitáló tényező a szél, hiszen ez megadja, hogy a felszállás helyétől milyen irányba tud elindulni a hőlégballon. Tovább korlátozza a felhasználás lehetőségét, hogy a leszálláshoz teljesen zárt lombkorona szükséges. Előnye, hogy stabil felületen ad lehetőséget a munkavégzésre a lombkorona felett. Elsősorban ízeltlábú közösségek, illetve a lombfogyasztók vizsgálatára használt módszer (Didham & Fagan 2004).

Az „Opération canopée” missziók alatt számos rovartani kutatást végeztek, melyek nagyban bővítették mind a taxonómiai tudásunkat, mind azt, hogy a trópusi esőerdőkben hogy alakul a vertikális szintezettsége, egyedszáma és diverzitása az ízeltlábú közösségeknek (Delvare & Aberlenc 1989, Basset et al. 1992).

Műholdak, légifotók

Csak a lombkorona felszínéről kapunk információt, viszont korlátlan horizontális kiterjedésben kutathatunk segítségével. A mintavétel jól ismételhető, akár hosszú távú monitorozásra is alkalmas módszer. Azonban mind a telepítési, mind a felhasználási költségei nagyon magasak (a készült műholdképek csak egy része hozzáférhető ingyenesen, az adatfeldolgozás pedig számításigényes

folyamat). További hátránya, hogy a felhőborított időszakokban és területeken nem lehet használni. Követhetők vele a lombkorona táji szintű változásai, a lomb produktivitása és különböző kémiai folyamatok (Didham & Fagan 2004).

Erdészeti gyakorlatban talán a legismertebb módszer, hiszen az erdő állapotáról lehet általános képet kapni segítségével szinte azonnal. Hazánkban is elérhető havi frissítésű erdőállapot figyelő rendszer (TEMRE), amely táji léptékben mutatja, hogy a sokéves átlaghoz képest, milyen az adott időszakban az erdeink produktivitása (Somogyi et al. 2018).

Ez a módszer alkalmas a lombot károsító inváziós fajok nyomon követesére, kifejezetten olyan helyeken, ahol a tápnövény az uralkodó fafaj. A tölgy-csipkéspoloska kapcsán kimutatták, hogy a megjelenését követő években csupán maximum 6 km/év terjedési sebességre képes, azonban ha kialakul egy nagy tömegességű góc, akkor onnan akár 50 km/év terjedési sebességre is képes a faj önállóan (Kern et al. 2021).

Drónok

Az egyik legújabb kutatási eszköz, mely a lombkorona felülről való vizsgálatát teszi lehetővé. A mintavétel ismételhető, a hosszú távú monitorozás nehezebben kivitelezhető, mivel többségük maximum 5-15 éves élettartamú eszköz. Az élővilágra az üzemeltetés zaja hat zavaróan a forgószárnyas drónok esetében, a merevszárnyúak valamelyest halkabbak. Viszonylag drága eszközök, melyek üzemeltetéséhez drónpilóta szükséges. Előnyei a műholdakhoz képest a mobilitás, gyorsabb adathozzáférés, nagyobb felbontás és légköri anomáliáktól mentes kép. A lomb produktivitás vizsgálatára, káresemények (pl. széltörés, ónos eső) utáni felmérésre, gerinces állatok monitorozására, de akár inváziós fajok terjedésének követésére is alkalmas módszer (Tang & Shao 2015, Maurya et al. 2022).

A drónok alkalmasak lehetnek fenológiai vizsgálatok földi megfigyelésének a leváltására és meggyorsítására (5. ábra). Az egyedi fák közötti lombfakadás különbségek fontos információt szolgáltatnak a fajon belüli változatosságra és az alkalmazkodóképességükre (Fawcett et al. 2021). A drónok mellett, a rájuk szerelhető eszközök is fejlődnek, így az egyes területek 3D szkennelésére használt Lidarok is, mely alkalmas akár egyes ágak, levélcsoportok monitorozására is (Kellner et al. 2019). A drónokra szerelt infravörös kamera a gerincesek környezetükhöz viszonyított testhőmérséklet különbségét használja ki. Koalák esetében jobb módszernek bizonyult, mint a vizuális keresés vagy a hátrahagyott nyomok alapján történő becslés (Witt et al. 2020). Ugyanakkor, ahol több hasonló méretű faj él, csak különböző módszerek együttes használata teszi lehetővé a pontos monitorozást (Kays et al. 2019).

A drónfelvételek, a műholdképekhez hasonlóan alkalmasak tömegszaporodások (6. ábra) és inváziós fajok (7. ábra) vizsgálatára és hatásaik szemléltetésére.

5. ábra: *Mátrai látkép különböző fenológiai stádiumban lévő tölgyekkel az előtérben. Jól felismerhetőek a még sárgás színű cserek a már sötétebb zöld kocsánytalan tölgyek között*
Figure 5: *View of the Mátra with oaks in different phenological stages in the foreground. The still yellowish Turkey oaks are clearly visible between the darker green sessile oaks*

6. ábra: *Gyűrűs pohók és gyapjaslepke tömegszaporodása Folyás térségében 2020. 05. 26-án (47° 47' 31,314" N, 21° 8' 44,632" E)*
Figure 6: *Mass outbreak of lackey moth and gypsy moth near Folyás, Hungary on 26. 05. 2020 (47° 47' 31,314" N, 21° 8' 44,632" E)*

7. ábra: *Tölgy-csipkéspoloska miatt elszíneződött levelű kocsányos tölgyek egészséges levelű feketediók között. A kép felső felében vörös tölgyek vannak, ami nem tápnövénye a tölgy-csipkéspoloskának*
Figure 7: *Oak lace bug discoloured leaves of pedunculate oaks among healthy eastern black walnuts. In the upper half of the image are red oaks, which are not a food plant for the oak lace bug*

Hangdetektorok, kamerák

A lombkoronába feljuttatott adatgyűjtő eszközökkel jól ismételhető kutatást végezhetünk és hosszú távú monitorozásra alkalmas módszereket dolgozhatunk ki. Az élővilágra negatív hatásuk nincs. Ma már ezek az eszközök olcsóak és segítségükkel erőforrást spórolhatunk. Az adatfeldolgozást a mesterséges intelligencia segíti egyre hatékonyabban. Közösségökológiai, faunisztikai és fenológiai vizsgálatokban általánosan használt eszközök (Hill et al. 2018, 2019, Ide & Oguma 2010).

Ultrahangdetektorok segítségével feltárták, hogy a holtfa mennyisége és az élőhelyek természetessége segíti a denevérek jelenlétét az erdőkben. Ezek a fontos rovarevő fajok nagy mértékben fogyaszthatják a lombfogyasztókat, így fenntartva az ökológiai egyensúlyt (Dobrosi 2017).

A hangdetektorok által rögzített hangok osztályozásában, az előforduló fajok azonosításában ma már több program is segítségünkre lehet. A hangdetektorokkal a klasszikus pontszámláláshoz képest több faj detektálható a hosszabb megfigyelési idő miatt (Toenies & Rich 2021).

Ma már rengeteg olyan webkamera képe érhető el nyíltan, mely fák lombját is mutatja. Ezen kamerák segítségével olyan adatfelvételt végezhetünk, melyhez az eszközöket nem magunk telepítettük. Ez bizonyos mértékig korlátozó tényező, amit nagy számuk és széles térbeli eloszlásuk ellensúlyoz (Graham et al. 2010). Ezen kamerák képének elemzése a fák fenológiai állapotának megállapítására akár automatizálható is (Bradley et al. 2010). A Mátrában, a Névtelen-bércen található ERTI Intenzív Monitoring területen szintén webkamerát használnak a fenológiai vizsgálatokra (Manninger 2016).

ÖSSZEFOGLALÁS

Mint látható, a lombkorona kutatás eszközei nagyon széleskörűek, azonban ezek zöme eredetileg más célt szolgált. Csupán két olyan eszköz van, amit kifejezetten lombkorona kutatás miatt fejlesztettek ki, ez a lombkorona tutaj és a lombkorona tanösvény. Ez a kihívásokkal teli kutatási terület, folyamatosan új és új technikákat emel be a tárházába (pl. drónok, DNS alapú technikák), mely elősegíti a dinamikus fejlődését.

Az erdészeti gyakorlatban azok a lombkorona kutatások alkalmazhatóak elsősorban, melyek valamely káreseményt mérik fel, legyen annak az eredete biotikus vagy abiotikus. Ezeket egészítik ki azok, amik ezen káresemények megelőzését vagy kezelését segítik elő. Az elsőket főleg a távérzékelés különböző eszközei (műholdak, repülők, drónok) teszik lehetővé, míg az utóbbiakhoz főleg az ökológiai folyamatok megértését segítők járulnak hozzá.

Műholdas felvételek segítségével nagy kiterjedésű abiotikus és biotikus káresemények monitorozhatóak (Didham & Fagan 2004, Somogyi et al. 2018). Ha összevetjük a károsult területeket a nem károsultakkal a kárterületen belül találhatunk olyan mintázatokat (fafaj összetétel, koreloszlás, kitettség stb.) melyek segíthetik az erdőtervezést, hogy a jövőben az ilyen jellegű károk korlátozhatóak legyenek.

A megfelelő módszer kiválasztása gyakran nehézségekbe ütközik. Sokszor több módszer együttes eredményéből kaphatunk gyakorlatban használható tudást. Például függönyhálók segítségével megismerhetjük az egyes madárfajok vertikális mozgási területét (Tattoni & LaBarbera 2022), míg ágvágókkal, lőfegyverekkel, hogy mely magasságban legintenzívebb a lombrágás (Lowman 1985). Ebből a két információból már tudhatjuk, hogy mely madárfajokat szükséges segítenünk pl. a fészkelőhelyek számának növelésével ahhoz, hogy a lombfogyasztók számát effektíven tudják szabályozni.

A lombkorona kutatások jövőbeni feladata, hogy funkcionális információkkal egészítse ki az eddig megszerzett tudást. Ezek a kérdések felderítik a populációk közötti kapcsolatrendszereket és így a gyakorlatban jobban hasznosítható eredményeket kapunk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-II-SOE-146 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. Köszönettel tartozom Csóka Györgynek az építő kritikákért.

Felhasznált irodalom

Ambrus A. & Csóka Gy. 1988: A kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* L.) rajzásának vizsgálata feromoncsapdával és jelöléssel. Erdészeti Kutatások 80–81: 167–172.

Ambrus A. & Csóka Gy. 1992: Studien über das Schwärmen und die Dichte-abschätzung des Frostspanners, *Operophthera brumata* L. (Lep., Geometridae) Mit hilfe von Markierungen und Pheromofallen in Ungarn. Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz 65(5): 88–92. https://doi.org/10.1007/BF01905052.

Barker M.G. & Booth W.E. 1996: Vertical profiles in a Brunei rain forest: II. Leaf characteristics of *Dryobalanops lanceolata*. Journal of Tropical Forest Science 9(1): 52–66.

Basset Y., Aberlenc H.P. & Delvare G. 1992: Abondance, diversité et stratification verticale de l'entomofaune d'une forêt tropicale humide Africaine. Rapport de Mission. Cameroun 1991. Opération Canopée (Fondation ELF). Montpellier.

Bassow S.L. & Bazzaz F.A. 1997: Intra- and inter-specific variation in canopy photosynthesis in a mixed deciduous forest. Oecologia 109(4): 507–15. https://doi.org/10.1007/s004420050111.

Billow C., Matson P. & Yoder B. 1994: Seasonal biochemical changes in coniferous forest canopies and their response to fertilization. Tree Physiology 14(6): 563–574. https://doi.org/10.1093/treephys/14.6.563.

Bradley E., Roberts D. & Still C. 2010: Design of an image analysis website for phenological and meteorological monitoring. Environmental Modelling & Software 25(1): 107–116. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.07.006.

Delvare G. & Aberlenc H.P. 1989: Des entomologistes sur la canopée. La participation du laboratoire de faunistique et de taxonomie à l'opération radeau des cîmes en Guyane (11 Octobre-8 Novembre 1989). Montpellier.

Didham R.K. & Fagan L.L. 2004: ECOLOGY – Forest canopies. In: Burley J., Evans J. & Youngquist J.A. (eds.): Encyclopedia of forest sciences. Elsevier, 68–80.

Dobrosi D. 2017: A holtfa és egyéb erdőökológiai tényezők jelentősége a denevérek számára. Erdészettudományi Közlemények 7(2): 135–154. https://doi.org/10.17164/EK.2017.010.

Eötvös Cs.B., Tóth M., Hirka A., Fürjes-Mikó Á., Gáspár Cs., Paulin M. et al. 2023a: A tölgy-csipkéspoloska [*Corythucha arcuata* (Say, 1832)] rövid távú terjedését befolyásoló tényezők tölgyeseinkben. Erdészettudományi Közlemények 13(2): 131–44. https://doi.org/10.17164/EK.2023.08.

Eötvös Cs.B., Fürjes-Mikó Á., Paulin M., Gáspár Cs., Kárpáti M., Hirka A. et al. 2023b: Enhanced natural regeneration potential of sessile oak in Northern Hungary: role of artificially increased density of insectivorous birds. Forests 14(8): 1548. https://doi.org/10.3390/f14081548.

Fawcett D., Bennie J. & Anderson K. 2021: Monitoring spring phenology of individual tree crowns using drone‐acquired NDVI data. Remote Sensing in Ecology and Conservation 7(2): 227–244. https://doi.org/10.1002/rse2.184.

Floren A. & Karus M. 2006: Sawflies (Hymenoptera: Symphyta) from temperate primary forests and forest plantations of East-Poland collected by insecticidal knockdown fogging. In: Blank S.M., Schmidt S. & Taeger A. (eds.): Recent sawfly research: Synthesis and prospects. Keltern, Polland: Goecke & Evers, 143–156.

Futó J. 1964: Szélsebesség mérések a Bálványon. Acta Academiae Paedagogicae Agriensis. Nova series 3: 325–334.

Graham E.A., Riordan E.C., Yuen E.M., Estrin D. & Rundel P.W. 2010: Public internet‐connected cameras used as a cross‐continental ground‐based plant phenology monitoring system. Global Change Biology 16(11): 3014–3023. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02164.x.

Herms D.A., Nielsen D.G & Sydnor D.T. 1990: Comparison of two methods for sampling arboreal insect populations. Journal of Economic Entomology 83(3): 869–874. https://doi.org/10.1093/jee/83.3.869

Hill A.P., Prince P., Covarrubias E.P., Doncaster C.P., Snaddon J.L. & Rogers A. 2018: AudioMoth: evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. Methods in Ecology and Evolution 9(5): 1199–1211. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955.

Hill, A.P., Prince P., Snaddon J.L., Doncaster C.P. & Rogers A. 2019: AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. HardwareX 6: e00073. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00073.

Hirka A. 2003: Vizsgálatok a magyarországi tölgyek karpofág rovaraival. Nyugat-Magyarországi Egyetem, 143.

Ide R. & Oguma H. 2010: Use of digital cameras for phenological observations. Ecological Informatics 5(5): 339–347. Https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.07.002.

Imrei Z., Lohonyai Zs., Muskovits J., Matula J., Vuts J., Fail J. et al. 2020. Developing a non‐sticky trap design for monitoring jewel beetles. Journal of Applied Entomology 144(3): 224–231. https://doi.org/10.1111/jen.12727.

Janik G. 2021: A magyarországi bükkösök hosszú távú egészségi állapot trendjei. Soproni Egyetem, Sopron, 144.

Johnson L.F., Hlavka C.A. & Peterson D.L. 1994: Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemical estimation along the Oregon transect. Remote Sensing of Environment 47(2): 216–230. https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90157-0.

Jonas T., Webster C., Mazzotti G. & Malle J. 2020: HPEval: a canopy shortwave radiation transmission model using high-resolution hemispherical images. Agricultural and Forest Meteorology 284: 107903. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107903.

Kardos L. & Kardos D. 2024: 10 Lombkorona tanösvény és sétány Magyarországon-térkép, nyitvatartás, árak ... Https://Trekhunt.Com/Hu/Article/Lombkorona-Tanosveny-Magyarorszag-Terkep-Nyitvatartas-Arak/.

Kays R., Sheppard J., Mclean K., Welch C., Paunescu C., Wang V. et al. 2019: Hot monkey, cold reality: surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors. International Journal of Remote Sensing 40(2): 407–419. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1523580.

Kellner J.R., Armston J., Birrer M., Cushman K.C., Duncanson L., Eck C. et al. 2019: New opportunities for forest remote sensing through ultra-high-density drone lidar. Surveys in Geophysics 40(4): 959–977. https://doi.org/10.1007/s10712-019-09529-9.

Kern A., Marjanović H., Csóka Gy., Móricz N., Pernek M., Hirka A. et al. 2021: Detecting the oak lace bug infestation in oak forests using MODIS and meteorological data. Agricultural and Forest Meteorology 306: 108436. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108436.

Kirstová M., Pyszko P., Šipoš J., Drozd P. & Kočárek P. 2017: Vertical distribution of earwigs (Dermaptera: Forficulidae) in a temperate lowland forest, based on sampling with a mobile aerial lift platform. Entomological Science 20(1): 57–64. https://doi.org/10.1111/ens.12229.

Koltay A. 2006: Az erdők egészségi állapotának változásai az erdővédelmi monitoring rendszerek adatai alapján. Tájökológiai Lapok 4(2): 327–337. https://doi.org/10.56617/tl.4470.

Leroy, B. M.L., Seibold S., Morinière J., Bozicevic V., Jaworek J, Roth N. et al. 2022: Metabarcoding of canopy arthropods reveals negative impacts of forestry insecticides on community structure across multiple taxa. Journal of Applied Ecology 59(4): 997–1012. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14110.

Lowman M.D. 1985: Temporal and spatial variability in insect grazing of the canopies of five Australian rainforest tree species. Australian Journal of Ecology 10(1): 7–24. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1985.tb00859.x.

Lowman M.D. 2009: Canopy research in the twenty-first century: a review of arboreal ecology. Tropical Ecology 50(1): 125–36.

Lowman M.D. 2009: Canopy walkways for conservation: a tropical biologist's panacea or fuzzy metrics to justify ecotourism. Biotropica 41(5): 545–548. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00562.x.

Lowman M.D. 2021: Life in the treetops—an overview of forest canopy science and its future directions. Plants, People, Planet 3(1): 16–21. https://doi.org/10.1002/ppp3.10125.

Lowman M.D. & Wittman P.K. 1996: Forest canopies: methods, hypotheses, and future directions. Annual Review of Ecology and Systematics 27(1): 55–81. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.55.

Maguire D.Y., Robert K., Brochu K., Larrivée M., Buddle C.M. & Wheeler T.A. 2014: Vertical stratification of beetles (Coleoptera) and flies (Diptera) in temperate forest canopies. Environmental Entomology 43(1): 9–17. https://doi.org/10.1603/EN13056.

Manninger M. 2016: Intenzív monitoring. Http://Klima.Erti.Hu/Home/Intenziv-Monitoring/.

Mátyás Cs. & Ujváriné Jármay É. 2016: Az „évszázad kísérlete" egy csonkán maradt tudományos életpálya tanúsága. Erdészeti Lapok CLI(12): 423–425.

Maurya N.K., Tripathi A.K., Chauhan A., Pandey P.C. & Lamine S. 2022: Recent advancement and role of drones in forest monitoring: Research and practices. In: Arellano P. & Pandey P.C. (eds.): Advances in remote sensing for forest monitoring. Wiley, 223–254.

Nakamura M., Muller O., Tayanagi S., Nakaji T. & Hiura T. 2010: Experimental branch warming alters tall tree leaf phenology and acorn production. Agricultural and Forest Meteorology 150(7–8): 1026–1029. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.001.

Nakamura M., Nakaji T., Muller O. & Hiura T. 2015: Different initial responses of the canopy herbivory rate in mature oak trees to experimental soil and branch warming in a soil freezing area. Oikos 124(8): 1071–1077. https://doi.org/10.1111/oik.01940.

NFK 2021: Erdészeti mérő- és megfigyelő rendszer. Https://Nfk.Gov.Hu/Erdeszeti_Mero__es_Megfigyelo_Rendszer__EMMRE__news_537.

Roger F., Ghanavi H.R., Danielsson N., Wahlberg N., Löndahl J., Pettersson L.B. et al. 2022: Airborne environmental DNA metabarcoding for the monitoring of terrestrial insects–a proof of concept from the field. Environmental DNA 4(4): 790–807. https://doi.org/10.1002/edn3.290.

Sallé A., Cours J., Souchu E.L., Lopez-Vaamonde C., Pincebourde S. & Bouget C. 2021: Climate change alters temperate forest canopies and indirectly reshapes arthropod communities. Frontiers in Forests and Global Change 4: 710854. https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.710854.

Sárospataki M. & Markó V. 1995: Flight activity of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) at different strata of a forest in relation to migration to hibernation sites. European Journal of Entomology 92: 415–419.

Schowalter T.D. 1995: Canopy invertebrate community response to disturbance and consequences of herbivory in temperate and tropical forests. Selbyana 16(1): 41–48.

Seifert C.L., Lamarre G.P.A., Volf M., Jorge L.R., Miller S.E., Wagner D.L. et al. 2020: Vertical stratification of a temperate forest caterpillar community in Eastern North America. Oecologia 192(2): 501–514. https://doi.org/10.1007/s00442-019-04584-w.

Shutt J.D., Trivedi U.H. & Nicholls J.A. 2021: Faecal metabarcoding reveals pervasive long-distance impacts of garden bird feeding. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 288(1951): 20210480. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0480.

Šigut M., Šigutová H., Šipoš J., Pyszko P., Kotásková N. & Drozd P. 2018: Vertical canopy gradient shaping the stratification of leaf‐chewer–parasitoid interactions in a temperate forest. Ecology and Evolution 8(15): 7297–7311. https://doi.org/10.1002/ece3.4194.

Somogyi Z., Koltay A., Molnár T. & Móricz N. 2018: Távérzékelésen alapuló erdõállapot monitoring rendszer. Erdészeti Lapok CLIII(9): 277–278.

Sperisen C., Büchler U. & Mátyás G. 1998: Genetic variation of mitochondrial DNA reveals subdivision of norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). In Karp A., Isaac P.G. & Ingram D.S. (eds.): Molecular tools for screening biodiversity: plants and animals. Dordrecht: Springer Netherlands, 413–417.

Stireman J.O., Cerretti P., Whitmore D., Hardersen S. & Gianelle D. 2012: Composition and stratification of a tachinid (Diptera: Tachinidae) parasitoid community in a European temperate plain forest. Insect Conservation and Diversity 5(5): 346–357. https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2011.00168.x.

Stuller Z. 2009: Erdővédelmi hálózat. In: Kolozs L. (ed.): Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Hálózat (EMMRE) 1988–2008. Budapest: Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatóság, 12–23.

Tang L. & Shao G. 2015: Drone remote sensing for forestry research and practices. Journal of Forestry Research 26(4): 791–797. https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y.

Tattoni D.J. & LaBarbera K. 2022: Capture height biases for birds in mist-nets vary by taxon, season, and foraging guild in Northern California. Journal of Field Ornithology 93(1): art1. https://doi.org/10.5751/JFO-00021-930101.

Tinbergen J.M. & Dietz M.W. 1994: Parental energy expenditure during brood rearing in the great tit (*Parus major*) in relation to body mass, temperature, food availability and clutch size. Functional Ecology 8(5): 563. https://doi.org/10.2307/2389916.

Toenies M. & Rich L. 2021: Advancing bird survey efforts through novel recorder technology and automated species identification. California Fish and Wildlife Journal 107(2): 56–70. https://doi.org/10.51492/cfwj.107.5.

Ulyshen M.D. 2011: Arthropod vertical stratification in temperate deciduous forests: implications for conservation-oriented management. Forest Ecology and Management 261(9): 1479–1489. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.01.033.

Wang J., D'Orangeville L. & Taylor A.R. 2023: Tree species growth response to climate warming varies by forest canopy position in boreal and temperate forests. Global Change Biology 29(18): 5397–5414. https://doi.org/10.1111/gcb.16853.

Witt R.R., Beranek C.T., Howell L.G., Ryan S.A., Clulow J., Jordan N.R. et al. 2020: Real-time drone derived thermal imagery outperforms traditional survey methods for an arboreal forest mammal. PLOS ONE 15(11): e0242204. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242204.

Yumoto T. & Nakashizuka T. 2005: The Canopy Biology Program in Sarawak: scope, methods, and merit. In: Roubik D.W., Sakai S. & Karim A.A.H. (eds.): Pollination ecology and the rain forest. New York: Springer-Verlag, 13–21.

Érkezett: 2024. július 22.
Közlésre elfogadva: 2025. január 31.