

Mottó:
„Herbarium praestat omni Icone, necessarium omni Botanico”
LINNAEUS (1751: 7.)

A HERBÁRIUMOK ’ÚJ TÍPUSÚ’ FELHASZNÁLÁSAI

TAKÁCS ATTILA¹, LACZKÓ LEVENTE² és MOLNÁR V. ATTILA³

Debreceni Egyetem TTK Növényteni Tanszék, 4010 Debrecen Pf.: 14.

¹limodorum.abortivum@gmail.com, ³mva@science.unideb.hu

Elfogadva: 2013. május 20.

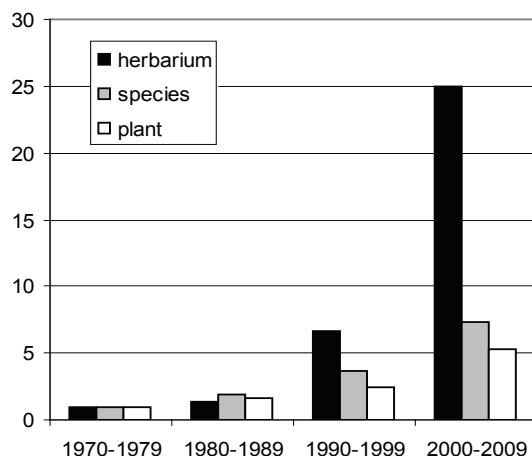
Kulcsszavak: elterjedés, klímaválasz, molekuláris taxonómia, özöngyomok, természettudományi gyűjtemények, természetvédelem

Összefoglalás: Herbáriumaink hagyományosan a növények megismerésében, az egyes taxonok típusainak őrzésében és előfordulási adatok dokumentálásában töltenek be pótolhatatlan szerepet. Az e gyűjteményekben őrzött példányok azonban számos járulékos információt is hordoznak, melyek további távlatokat nyitnak meg azok felhasználhatósága terén. Jelen közleményben a herbáriumok nem hagyományos felhasználási lehetőségeinek szemléjét adjuk, nemzetközi kitekintésben. Többségében rangos nemzetközi lapok hasábjain megjelent tudományos közlemények révén mutatjuk be e muzeális anyagok legfőbb felhasználási területeit (invázióbiológia, környezetszennyezés, fenológia, klímaválasz, növényi interakciók, ökológia, konzervációbiológia, molekuláris taxonómia és farmakobotanika). Röviden igyekszünk összefoglalni azokat a torzító tényezőket is, melyekre tekintettel kell lenni a herbárium adatok alkalmazásakor (például a gyűjtés térbeli és időbeli egyenetlensége, egyes csoportok specialistáinak hiánya vagy eltérő tevékenysége, a gyűjtők szubjektivitása).

Bevezetés

A növények herbáriumokban megőrzött szárított, préselt példányai és a hozzájuk tartozó információk évszázadok óta rendkívül hasznos, sőt nélkülözhetetlen eszközt képezik a botanikai kutatásoknak (LINNAEUS 1751). Ugyanakkor a természettudományos gyűjtemények világszerte válságban vannak (DALTON 2003, GROPP 2003), a herbárium gyűjtés intenzitása csökken például Délkelet-Afrikában (WILLIS et al. 2003), Észak-Amerikában (PRATHER et al. 2004) és Magyarországon (MOLNÁR V. et al. 2012a), bár a gyűjtési attitűd látványos javulására is akad példa (HARIPERSAUD 2009: 13–25.). Miközben az elmúlt évtizedekben egyre kevesebb botanikus gyűjt és egyre kevesebb herbárium példányt, paradox módon a herbáriumoknak újabb és újabb (gyakran a növénytan határain túlmutató) felhasználási területei jelennek meg (FUNK 2003, FUNK 2004, SUAREZ és TSUTSUI 2004, LISTER et al. 2011, PYKE és EHRlich 2010, LAVOIE 2013). A herbáriumok utóbbi évtizedekben növekvő tudományos jelentőségét illusztrálja, hogy a *Scopus* internetes keresőprogram ’herbarium’ szóra tudományos publikációk címeiben, kulcsszavaiban és összefoglalóiban mintegy 25-ször több találatot ad a 2000–2009-es időszakban (2196), mint az 1970–1979-es időszakban (88). Ugyanakkor a ’plant’ vagy a ’species’ kulcsszavakra csak 5,3-szor, illetve 7,3-szor több találat jut ugyanebben az időszakban (1. ábra), tehát az e két kulcsszót tartalmazó cikkek számához viszonyítva a herbárium feldolgozásokon alapuló cikkek száma 3–5-szörös mértékben növekedett.

Bár a taxonómusok és floristák (azaz a herbáriumok létrehozói) és az ökológusok (a herbáriumok 'új típusú' felhasználói) közötti együttműködés javítására STERN és ERIKSSON (1996) megfogalmaztak ajánlásokat, mégis úgy tartjuk, nem haszontalan jelen tanulmányban felhívni a magyar botanikusok figyelmét egyrészt a herbáriumok tudományos felhasználásának sokrétűségére, másfelől (és ezáltal is) hangsúlyozni a herbáriumi gyűjtemények fenntartásának, fejlesztésének szükségességét.



1. ábra. Három kulcsszóra eső találatok arányának változása a Scopus internetes keresőprogramban
 Figure 1. Changes in the rate of founds by Scopus web search of three keywords.

Jelen közlemény tárgyköre

Bár a herbárium szót tudománytörténeti okok miatt nem csak növényi muzeális anyagokra, hanem tudományos célra gyűjtött és preparált gomba- és algapéldányokra is használják, ezek – egyébként nagyon hasonló – felhasználási lehetőségeire jelen közleményben nem térünk ki, hanem a hajtásos növények és a mohák gyűjteményi anyagainak tárgyalására szorítkozunk.

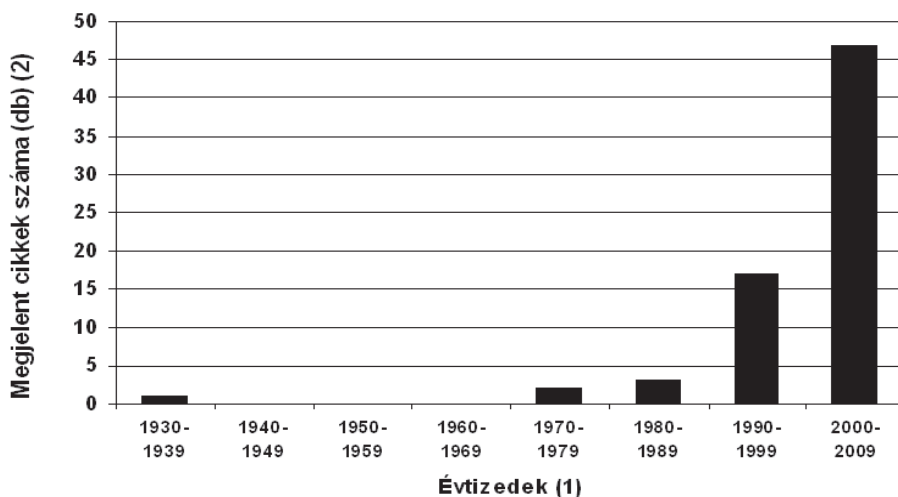
A herbáriumi anyagok 'hagyományos' taxonómiai-nevezéktani tanulmányozása még napjainkban és hazánkban is létezik (vö. MOLNÁR V. et al. 2013), sőt eredményezheti akár új hajtásos növényfaj leírását is (MOLNÁR V. et al. 2012c). Mivel azonban a herbáriumok rendszertani, tudománytörténeti használhatósága közzismert, áttekintésünkben nem törekszünk az ilyen jellegű eredmények bemutatására. Hasonló okból nem térünk ki a herbáriumok oktatási célokra történő alkalmazására és a klasszikus florisztikai, anatómiai, morfológiai, szövettani kutatások terén lehetséges felhasználási lehetőségeikre sem.

Jelen áttekintésben egyrészt az 'új típusú' felhasználási területekre koncentrálunk, másrészt az olyan közleményekre fókuszálunk, amelyek módszertana térségünkben is használható. (Ezért hiányoznak például az epifiton és epifill fajokra vonatkozó eredmények ismertetései.) Egy-egy alkalmazási területen nem törekedhettünk a teljességre, azaz valamennyi témába vágó közlemény bemutatására, ehelyett példaként néhány cikk fontosabb eredményeit ismertetjük és igyekszünk a közép-európai, illetve hazai vonatkozásokot kiemelni.

A herbáriumok új típusú felhasználási lehetőségei

A növények szárításos-préseléses tartósítási módja és így a herbáriumok közel fél évezredes múltra tekintenek vissza (vö.: MOLNÁR V. 2009: 28–29.), de a fennmaradt gyűjtések mennyisége és a járulékos információk (lokalizáció és datálás) pontossága többnyire az utóbbi 150–250 évben gyűjtött anyag esetében tesznek lehetővé részletesebb elemzéseket. Ez az időtávlat ugyanakkor számos tudományterületen (ökológiában, klímakutatásban, evolúciobiológiában) hosszabb távú adatsorokat jelent, mint ami az előre tervezett és célzott kutatásokkal jelenleg elérhető. Emellett tovább növeli a herbáriumi adatok jelentőségét, hogy viszonylag nagy mennyiségben állnak rendelkezésre adatok a recens emberi tevékenység által kiváltott 'globális változást' megelőző időszakból.

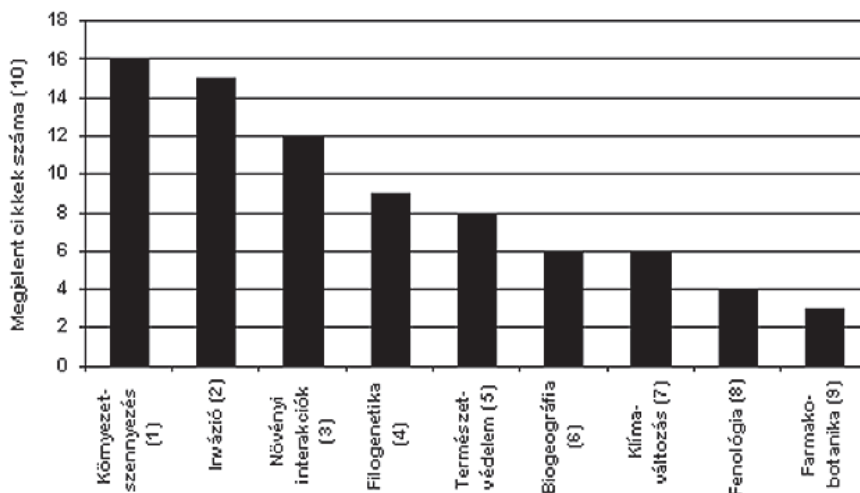
A jelen szemle megírásához 1933 és 2013 között megjelent 86 olyan tudományos közleményt vizsgáltunk meg, amelyek eredményei részben vagy egészben herbáriumi adatokon alapulnak. A herbáriumok 'új típusú' felhasználásait alkalmazó cikkek száma az utóbbi évtizedekben látványos emelkedést mutat (2. ábra). A herbáriumi adatok 'új típusú' felhasználásának területeit szemléletesen illusztrálja, hogy a 86 vizsgált cikk 55 különböző folyóiratban jelent meg. A leggyakoribb felhasználási területeket a környezetszennyezés, az invázió, a növényi interakciók, a filogenetika, a természetvédelem, a biogeográfia és a klímaváltozás jelentik (3. ábra). Az egyes közlemények nagyon jelentős mértékben eltérnek közlésmódjukban, kérdésfelvetésükben és módszertanukban is. Ezzel magyarázható, hogy az egy cikkben vizsgált fajok száma 1 és több száz, a vizsgált herbáriumi példányok száma 1 és kb. 72 ezer között ingadozik.



2. ábra. 'Új típusú' herbáriumi feldolgozásokat alkalmazó cikkek száma évtizedenként

Figure 2. Number of papers based on 'new type' herbarium utilization per decade.

x-axis: (1) Decades; y-axis: (2) Number of published papers



3. ábra. Herbáriumok 'új típusú' feldolgozásain alapuló közlemények tudományterületi megoszlása
 Figure 3. Disciplinary distribution of publications using 'new type' of herbarium utilization.
 x-axis: (1) Environmental pollution; (2) Invasion; (3) Plant interactions; (4) Phylogenetics;
 (5) Conservation; (6) Biogeography; (7) Climate change; (8) Phenology; (9) Pharmacobotany;
 y-axis: (10) Number of published papers

Azt, hogy a herbáriumi anyagok elemzésétől várható eredmények széleskörű tudományos érdeklődésre tarthatnak számot, az a tény jelzi, hogy a legtöbb cikk olyan rangos folyóiratokban jelent meg, mint például *American Journal of Botany* (6), *Journal of Ecology* (5), *Biological Conservation* (5), *Environmental Pollution* (5), *Journal of Biogeography* (4), *Preslia* (4), *Nature* (3), *Diversity and Distribution* (3), *Global Change Biology* (2), *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* (2) és *Taxon* (2).

Biogeográfia és invázióbiológia

A herbáriumok régóta részét képezik a fajok elterjedésének megismeréséhez alkalmazott eszköztárnak, mégis vannak olyan új alkalmazási lehetőségek ezen a területen, amelyekről részletesebben is szót kell ejteni. A herbáriumi gyűjtés intenzitásának növekedése szerencsés módon egybeesik a világméretű kereskedelem fellendülésével és az adventív fajok terjedésének ebből adódó növekvő intenzitásával. A herbáriumi adatok emiatt különösen értékesek az adventív és invázív fajok megtelepedési idejének, terjedési sebességének meghatározásában, pontosításában. Számos faj [például a *Heracleum mantegazzianum* (PYŠEK 1991), az *Impatiens glandulifera* (PYŠEK és PRACH 1995), *Oenothera* taxonok (MIHULKA és PYŠEK 2001)] inváziójának dokumentálására használtak (legalább részben) herbáriumi adatokat.

A legtöbb ilyen témájú közlemény az allergén virágpont termelő *Ambrosia artemisiifolia*-val kapcsolatban született. LAVOIE et al. (2007) a faj terjedését vizsgálta Kanadában, Québec államban, 707 példány alapján. Eredményeik szerint a faj Québec-ben legalább 200 éve jelen van, de előfordulása a 19. században valószínűleg Montréal környékére korlátozódott. Terjedése a 20. század elején kezdődött, eleinte a folyók mentén. Az 1920-

as évek közepéig nem gyűjtötték szántóföldeken, az 1930-as évek közepéig utak vagy vasutak mentén. Valószínű, hogy az úthálózat 1930-as években kezdődött fejlődése hozzájárult a terjedéséhez.

Ugyanennek a fajnak franciaországi megtelepedését és terjedését vizsgálta CHAUVEL et al. (2006) 58 herbárium és virtuális herbárium, több mint 1200 példánya áttekintését követően. Eredményeik alapján a faj megjelenése nem kötődik a botanikus kertekhez, hanem sokkal inkább a kereskedelemhez és amerikai katonai csapatokhoz. Több alkalommal, egymástól függetlenül (eltérő időben) maggal hurcolták be. A faj terjedésére jellemző, hogy új lelőhelyek nagy távolságra is megjelenhetnek a korábban ismertektől. A 20. század során a lelőhelyek összesített száma folyamatos emelkedést mutat.

Az *Ambrosia artemisiifolia*-nak Ausztriában 2005-ig összesen 697 adata vált ismertté (ESSL et al. 2009). Először 1883-ban gyűjtötték, de az 1940-es évek végéig adatai igen ritkák voltak. Az első meghonosodott állományt 1952-ben találták, az 1950-es évektől a faj gyakorisága exponenciálisan növekedett és az adatok több mint harmada az utolsó öt évből (2001–2005) származott. Kimutatták élőhelyigényének megváltozását: az 1950-es évekig legtöbbször vasúti töltéseken találták, 1950 és 1974 között többnyire ruderalis termőhelyeken. Az 1970-es évektől a közutak mentén és szántóföldeken történt gyűjtései lettek egyre gyakoribbak, jelenleg az előbbieket a legjellemzőbbek. Előfordulását Ausztriában leginkább hőmérsékleti tényezők határozzák meg, de a topográfia, tájhasználat és a nagyobb utak sűrűsége is jelentősen hozzájárul. A faj megjelenését és korai terjedését Magyarország térségében CSONTOS et al. (2010a, 2010b) rekonstruálták. 6 gyűjteményben a faj több mint 450 példányát találták. Ebből a korai előfordulásokat összesen 26 példány dokumentálja. Ezek alapján a parlagfű első megjelenése a térségben 1907-re tehető, és a faj a Duna-Tisza-közén és Északkelet-Magyarországon szintén a korábban feltételezettnél hamarabb jelent meg.

FUENTES et al. (2008) adventív növényfajok chilei invázióját vizsgálták igen jelentős herbáriumi adatsoron. Céljuk a növényi invázió legfontosabb időszakaszainak azonosítása volt. Ehhez az őshonos fajok 56 776 példányának, illetve idegenhonos fajok 14 988 herbáriumi példányának gyűjtési idejét tanulmányozták. Az idegenhonos növényfajok csupán egyetlen évszázad alatt özönlötték el Chile szinte teljes területét, kivéve az ország legészakabbi és legdélebbi pontjait. Az adventív növényfajok expanziójának első időszaka (1910 és 1940 között) egybeesett a búza és más gabonafélék vetésterületének erőteljes növekedésével Chile-ben. A behurcolt fajok terjeszkedésének második legnagyobb intenzitású időszakát (körülbelül 1980 és 2000 között) a búza termőterületének csökkenése, de a termesztett búza mennyiségének és az erdészeti export mennyiségének növekedése jellemzi.

Észak-Amerika keleti területeinek nedves élőhelyein a *Typha angustifolia*, a *T. latifolia* és hibridjük, a *T. x glauca* behurcolt özönnövények. SHIH ÉS FINKELSTEIN (2008) 1127 herbáriumi példány és pollenadatbázis-rekordok felhasználásával dokumentálták területenként és időszakonként a három taxon terjedését (összevetve a hasonló élőhelyigényű, de őshonos *Sparganium eurycarpum* adataival). Herbáriumi adatok megerősítik, hogy a *T. angustifolia* elterjedési területe lényegesen nagyobb mértékben növekedett 1880 óta, mint a *T. latifolia*-é, de mindkét faj ugyanolyan sebeséggel terjed az utóbbi évtizedekben és jelent inváziós veszélyt a zavart vizes élőhelyeken.

HUEBNER (2003) azt a kérdést vizsgálta, hogy tölgy dominálta erdők ellenállók-e az özönnövények térnyerésével szemben? Herbáriumi és terepi adatok alapján keresték 9

özönfaj elterjedése és a tájhasználat kapcsolatát Nyugat-Virginiában. Mintáik elsősorban út menti termőhelyeket reprezentálnak, de a vizsgált fajok közül 7 erdőkben is előfordult. Eredményeik szerint a vizsgált fajok elterjedése a városi termőhelyekkel és a népsűrűséggel függ össze leginkább. Egy másik elemzésükből grádiens rajzolódik ki az erdő borította területektől az urbán élőhelyekig. Előbbivel a *Rosa multiflora*, utóbbival az *Ailanthus altissima* előfordulása korrelál.

A 'rejtett invázió' (cryptic invasion) a biológiai invázió egy alig ismert típusa, amely egy őshonos faj eltérő (idegenhonos) genotípusának terjedését jelenti. Amint azt SALTONS-TALL (2002) cikke mutatja, a herbáriumi anyagok jelentős segítséget jelentenek ennek a fontos jelenségnek a tanulmányozása során is. Fossilis leletek alapján a nád (*Phragmites australis*) Észak-Amerikában mintegy 40 ezer éve jelen van, a 19. századi florisztikai irodalom szerint a földrészen a faj ritka volt, de az utóbbi 150 év során jelentősen nő az elterjedési területe és az egyedszáma. Egy feltételezett behurcolt 'törzs' rejtett invázióját molekuláris genetikai módszerekkel követték nyomon, mégpedig recens észak-amerikai nád populációkban és 1910 előtt gyűjtött herbáriumi mintákban vizsgáltak két kloroplasztisban lokalizált, nemkódoló DNS-szakaszt. Az eredmények alapján egy behurcolt 'törzs' szorítja ki az őshonos nádat és terjed olyan területeken is, ahol korábban nem élt *Phragmites*. Az őshonos alak mára kipusztult New England-ből és egyebüktől, ahol még megtalálható, is veszélyeztetett. Kanada Québec tartományában LELONG et al. (2007) dokumentálták a jelenséget 779 herbáriumi példány és recens gyűjtések vizsgálata révén. A tartományban a nád inváziója az 1960-as évektől ismert, a jelenlegi állományok mintegy 95%-át egy idegen haplotípus alkotja, amely először 1916-ban gyűjtött herbáriumi mintában volt észlelhető és az 1970-es évekig csaknem kizárólag a Szent Lőrinc-folyó partvidékén fordult elő. Ma különösen gyakori utak mentén és terjedése kapcsolatba hozható az úthálózat 1960-as és 1970-es években történt nagyarányú fejlesztésével.

STADLER et al. (1998) 4 dél-amerikai és 3 eurázsiai eredetű adventív gyomnövény kelet-afrikai terjedését vizsgálták, illetve a gyűjtés tér- és időbeli eloszlását két őshonos gyomfajéval hasonlították össze. Bár mindegyik vizsgált adventív faj már a második világháború előtt előkerült Kenyában, de a legtöbb példányt 1960 és 1980 között gyűjtötték, amit a mezőgazdasági művelési módok ebben az időszakban történt megváltozásával magyaráztak. Érdekes adatokkal szolgált a kolonizáció mechanizmusáról a tanulmány: a vizsgált fajok korábbi adatai magasabb tengerszint feletti magasságú területekről származnak, majd – valószínűleg az emberi népesség növekedésével és az ehhez kapcsolódó növekvő mezőgazdasági tevékenységgel (például az arid területek öntözésével) párhuzamosan – a dél-amerikai származású fajok képesek voltak az alacsonyabban fekvő területeket is meghódítani.

WU et al. (2005) a herbáriumi adatok alkalmasságának tesztelésére reziduumokat kalkuláltak a Taiwan-ban megtelepedett *Crotalaria*-fajok minimum tartózkodási idejének és ezek herbáriumi példányszámának regressziójából. Ezt tekintették a fajok gyakorisága és invazivitása prediktorának. Értékelték a pozitív lelőhelyek számát, a nettó fertőzött terület nagyságát, a maximum borítást, valamint 5 hasonló tartózkodási idejű *Crotalaria*-faj reprodukív jellegeit. Erős korreláció mutatkozott a reziduumok és a pozitív lelőhelyek száma, valamint a maximum borítási értékek között. Ez megerősíti, hogy a herbáriumi adatok pontosan tükrözik a vizsgált fajok inváziós sikerének néhány aspektusát. Viszont a reziduumok nem voltak szignifikáns prediktorai a nettó fertőzött területnek. Erős korrelációt találtak a reziduumok és reprodukív jellegek közt, melyek hozzájárulnak

a fajok fitnesséhez [log(mag/növény), virág/virágzat, virágzat/növény, virág/növény]. Mindezek tükrében a szerzők megerősítették a herbáriumi adatok elterjedés és invazivitás reprezentálására történő használhatóságát.

Herbáriumi példányok nemcsak az adventív fajok megtelepedési idejének, terjedési sebességének rekonstruálására, hanem az újonnan kolonizált területeken bekövetkező fenotipikus változások regisztrálására is alkalmasak. BUSWELL et al. (2011) Ausztráliába behurcolt 23 növényfaj 150 év során gyűjtött, több mint 1900 herbáriumi példányán vizsgálták 4 jellemző (hajtás-magasság, fajlagos levéltömeg, levélfelület és levélalak) változását. A vizsgált fajok 70 százaléka legalább egy tulajdonság tekintetében szignifikáns változást mutatott. Leggyakrabban (21-ből 8 faj esetében) a hajtás magassága változott, 6 esetben csökkent. A magasság csökkenését főként Új-Dél-Wales nyugati részének száraz, tápanyagban szegény termőhelyi feltételei között tapasztalták. Egy faj esetében csökkent a levél fajlagos tömege, öt faj esetében a levél alakja és három faj esetében a levél területe. E változások mértéke meglepően jelentős volt (100 év alatt 125%-os). Ugyanilyen időtávlatban az Ausztráliában őshonos fajok, illetve a behurcolt fajok az eredeti elterjedési területükön szignifikánsan kisebb mértékű változást mutattak. A szerzők ezt a behurcolt növényfajok gyors evolúciójaként interpretálták, de nem szolgáltatottak bizonyítékot a változások genetikai rögzítettségére.

Környezetszennyezés

A herbáriumi példányok kémiai összetételének vizsgálata lehetőséget kínál különböző emberi tevékenységek következtében a környezetbe kerülő szennyező anyagok, például policiklikus aromás szénhidrogének (FOAN et al. 2010) és nehézfémek (LEE és TALLIS 1973, HERPIN et al. 1997, PEÑUELAS és FILELLA 2002, SHOTBOLT és ASHMORE 2007) mennyiségi változásának időbeli nyomonkövetésére. A 20. század második felében – mikor az antropogén nitrogén-fixáció és -mobilizáció jelentősen megnövekedett – herbáriumi példányok elemösszetételének vizsgálata révén dokumentálták szárazföldi ökoszisztémák növekvő mértékű eutrofizációját Nagy-Britanniában (PITCAIRN és FOWLER 1995), Spanyolországban (PEÑUELAS és FILELLA 2001) és Dél-Afrikában (WILSON et al. 2009).

A légköri CO₂-koncentráció emelkedésének bizonyítását követően azonnal vizsgálni kezdék az élőlények e változásra adott válaszait. E téren WOODWARD (1987) ismerte fel a herbáriumi példányok jelentőségét és alkalmazhatóságát. 8 mérsékelt övi fafaj 200 év alatt gyűjtött herbáriumi példányain (azok levelein) megfigyelhető sztómasűrűség 40%-os csökkenéséről számol be. Annak bizonyítására, hogy ezt a változást a légköri CO₂-szint emelkedése okozta, élő növényeken kontrollált körülmények közt kísérletesen is igazolta a jelenséget.

240 éves időtávlatban gyűjtött példányok stabilizotóp-arányának változásáról számolt be PEÑUELAS és AZCÓN-BIETO (1992). A vizsgált időszak során (1750–1988) csak az utolsó 6 éves intervallumból származó példányok $\Delta^{13}\text{C}$ aránya mutatott szignifikáns csökkenést a korábbihoz képest. C3-as és C4-es fotoszintézis-utat követő fajok esetén azonos tendenciát mutattak ki. A szerzők a stabilizotóparány változásának magyarázatát abban látják, hogy mindkét asszimilációs út rátája emelkedett, illetve a sztóma konduktanciájának csökkenése miatt nőtt a víz felhasználásának határfoka az utóbbi évtized során. PEDICINO et al. (2002) szintén a stabilizotóp-arány csökkenésére hoznak példát, ám tapasztalataik szerint a különböző fajok különböző mértékben mutatják ezt a választ. Továbbá az adatok nagy szórást

is mutatnak, ami a mikroklíma nagymértékű szezonális, illetve évenkénti változatosságára vezethető vissza. Hogy a CO₂-szint emelkedése pontosan milyen fiziológiai válaszokat vált ki, annak tanulmányozására alkalmasabbnak vélik az évgyűrűk vizsgálatát.

Kísérletes eredmények szerint a légköri CO₂-koncentráció a növények ásványi összetételét is befolyásolja. Amint arról PEÑUELAS és MATAMALA (1993) beszámolnak, a növények recens Al-, Ca-, Cu-, Sr-, Fe-, P-, Mg-, Mn-, K-, Na-, S- és Zn-tartalma alacsonyabb, mint bármikor az elmúlt 250 év során, amiért véleményük szerint szintén a CO₂-koncentráció emelkedése tehető felelőssé.

A globális változások sorában az UV-sugárzás mértékének emelkedése is tettenérhető herbáriumi példányok vizsgálata során. HUTTUNEN et al. (2005) 10 szubarktikus moha-faj 1926–1996 közt gyűjtött példányai UV-B-t elnyelő vegyületeinek mennyiségét vizsgálták. Kérdésük az volt, hogy az UV-B-t abszorbeáló vegyületek herbáriumi példányokban mérhető koncentrációja tükröz-e változást ez alatt az időszak alatt. A fajok gametofiton testének átlagos vegyület-tartalma alapján felállított sorrendje és a fajlagos felületre jutó UV-B-elnyelő vegyület mennyisége korrelált a lelőhelyekre jellemző nyári napi sugárzással és földrajzi szélességgel. A vizsgálat során alapul vett fajok közül több is indikátornak bizonyult, de az 1920–1990-es évek közti időszak során csak a *Sphagnum capillare* példányok esetében volt tapasztalható e vegyületek koncentrációjának szignifikáns csökkenése. LOMAX et al. (2008) korpafűvek (*Lycophyta*) herbáriumi példányai spórafalainak kémiai összetételét célzó vizsgálata során kimutatták, hogy az ultrabolya-B sugárzást elnyelő anyagok koncentrációja a sarkvidékek felé erősen korrelál az UV-B-sugárzás történeti változásával. Grönlandi minták elemzésével rekonstruálták az ózonkoncentráció és UV-B-sugárzás történeti változását 1907 és 1993 között. OTERO et al. (2009) a *Jungermannia exsertifolia* subsp. *cordifolia* nevű májmoha Észak-Európában gyűjtött 135 herbáriumi példányból kivont 5 UV-abszorbeáló komponens elemzése révén rekonstruálták a sztratoszférikus ózon koncentrációjának változását 1850 és 2006 között. Az UV-sugárzás ebben az időszakban, júniusban erőteljesebb volt, mint júliusban és augusztusban, de az 1918 és 2006 közötti időszakban nem detektálták az ózonkoncentráció jelentős időbeli változását. Az Antarktiszon gyűjtött *Bryum argenteum*-minták UV-abszorbeáló flavonoid-tartalmának vizsgálata alapján RYAN et al. (2009) megállapították, hogy a luteolin/apigenin arány jobb előrejelzője lehet az ózonkoncentráció változásának, mint az összes flavonoid-tartalom.

Fenológia és klímaválasz

Egy-egy taxon fenológiai jellemzésére is alkalmazható a herbáriumi anyag, ha megfelelő mennyiségben állnak rendelkezésre napra pontos gyűjtési dátummal megjelölt példányok, melyek fenológiai stádiuma is meghatározható. RIVERA és BORCHERT (2001) az elsők közt használtak ilyen célra herbáriumi adatokat, akik 25, Costa Rica területén előforduló faj szinkronizált nyílási periódusát határozták meg terepi és herbáriumi adatok alapján. Adatsoraik közvetett bizonyítékkal szolgálnak számos trópusi faj virágzásának fotoperiodikus indukálására. Eredményeik szerint alacsony szélességi körön (ahol a nappalok hosszúsága csak kismértékű évi változatosságot mutat), a virágzás indukálásához elegendő a fotoperiodus 30 perces vagy annál kisebb mértékű csökkenése.

A földi légkör CO₂-koncentrációjának emelkedését vizsgáló tanulmányokat követően (vö. WOODWARD 1987, PEÑUELAS és AZCÓN-BIETO 1992, PEÑUELAS és MATAMALA 1993,

PEDICINO et al. 2002) az ezzel egyidejű klímaváltozást és annak növényekre gyakorolt hatását taglaló vizsgálatok sem vártak magukra sokat. E tanulmányoknak elsősorban azért fontos adatforrásai a múzeális gyűjtemények, mert 200–250 éves időtávlatban nem állnak rendelkezésre direkt fenológiai adatsorok. A recens adatokat azonban jól kiegészítik a herbáriumi példányokról nyert történeti adatok. Növények klímaválasztát elsőként PRIMACK et al. (2004) tanulmányozták 1885–2002 közti herbáriumi adatok alapján. Ebben az időszakban Boston évi középhőmérsékletében 1,58 °C-os emelkedés volt tapasztalható. Ez egyes fajok nyílási idejének előremozdulását vonta maga után, különösen február, március, április és május hónapokban. A hosszabb nyílási idejű fajokat alkalmasabbnak találják a hőmérsékletváltozásra adott válasz értékelésére, mint a rövid nyílási idejűeket. Eredményeiket MILLER-RUSHING et al. (2006) is megerősítették.

BOLMGREN és LÖNNBERG (2005) húsos és nem húsos termésű növények nyílási idejét hasonlították össze Svédországban. A herbáriumi fenológiai adatokat összevetették két (egymástól független) terepi fenológiai adatsorral. A herbáriumi adatok jól korreláltak a terepiekkel, és a terepiek is egymással. Ezzel kvázi validitást biztosítottak a herbáriumi adatsor számára. A herbáriumi és terepi (recens) adatok közti eltérést arra korlátozódott, hogy a kora tavasszal nyíló fajok későbbiek, míg a késő nyári virágzású fajok esetében korábbiak voltak a herbáriumi adatok, mint a terepiek, vagyis virágválaszt nem csak a kora tavaszi, de a késő nyári virágzású fajok is mutatnak. Azt tapasztalták továbbá, hogy a húsos termésű fajok korábban virágoznak, mint a nem húsos termésűek, s ezzel rámutatnak a nyílás időszakának evolúciós függetlenségére. MOLNÁR V. et al. (2012b) orchideák körében végzett vizsgálatai alapján a fajok klímaválasza nem filogenetikailag meghatározott, hanem bizonyos életmenet-jellemzőkkel (leginkább a megporzástípussal és az élettartammal) függ össze.

Kifejezetten a herbáriumi adatsorok validitásának kérdését feszegeti ROBBIRT et al. (2011) cikke. Herbáriumi és terepi adatok alapján vizsgálják a klíma és a virágzás csúcsideje közti kapcsolatot az *Ophrys sphegodes* példáján. A faj 1848–1958 között gyűjtött herbáriumi példányai és 1975–2006 között tett megfigyelések biztosították az adatsorokat. A nyílási idő tavaszi átlaghőmérsékletet követő változása a két adatsor alapján azonos volt, bár a herbáriumi adatok lényegesen nagyobb szórást mutattak. A recens adatok korábbi mivolta is megmutatkozik.

Hogy a herbáriumi fenológiai adatok alkalmazásakor tekintettel kell lenni a gyűjtőhelyek lokalitásaira, azt jól szemléltetik LAVOIE és LACHANCE (2006), valamint NEIL et al. (2010). A két észak-amerikai tanulmányban vizsgált fajok virágzási dátumai látványosan elmozdultak az utóbbi évtizedek során, ám ez a változás számos esetben csak az urban területeken, nagyvárosokban gyűjtött adatsorokban mutatkozik meg, vagyis a nagyvárosok területén érvényesülő „hőkupola-hatást” tükrözik.

A lokalitás mellett a mintavételi (gyűjtési) aktivitás és a mintázott populációk mérete is befolyásolja a herbáriumok által prezentált adatokat. Az egy-egy évben elsőként észlelt nyílási dátum nem független a populáció méretétől, az alacsony gyűjtési aktivitás pedig későbbre tolja az első virágzás-észlelés dátumát (MILLER-RUSHING et al. 2008). Eredményeik ezáltal is felhívták a figyelmet, hogy az első virágzás dátumánál ('first flowering date') célravezetőbb módszer az átlagos virágzási dátum ('mean flowering date') vizsgálata.

PRIMACK és MILLER-RUSHING (2009) a botanikus kertek klímaváltozás-kutatásban betöltött szerepét mutatták be, s mint szorosan kapcsolódó területre, a herbáriumok felhasználási lehetőségeire is kitérnek. E gyűjtemények alkalmazásának kritikája, hogy egy

adott példányról nem tudhatjuk, az adott fenofázis mely szakaszában lett gyűjtve (például nyílás időszakának elején, közepén vagy végén) (vö. MILLER-RUSHING et al. 2008). Viszont számos példa azt mutatja, hogy kellően nagy mintaszám esetén, különösen rövid ideig nyíló fajok esetén elfogadható becslést kapunk arra, hogy mikor van a virágzás csúcsideje (PRIMACK et al. 2004, BOLMGREN és LONNBERG 2005, ROBBIRT et al. 2011).

Míg az eddigi tanulmányokban kitérített figyelmet kapott a virágok nyílási ideje (annak időszaka, a nyílás csúcsideje, az első nyílás dátuma), újszerű, multi-fenofázisos megközelítést mutat be DISKIN et al. (2012). A *Rubus fruticosus* herbáriumi példányokról nyert fenológiai adatokat fenofázisuk szerint kategorizálták. Lineáris regresszió alkalmazásával értékelték a hőmérséklet és az első virág nyílásának dátuma, a teljes nyílás dátuma, az első termés megjelenésének dátuma, a teljes termésérés dátuma közti összefüggést. Az eredmények azt a tendenciát mutatták, hogy az emelkedő hőmérséklet az első virág megjelenését, a teljes nyílást és az első termés megjelenését is korábbra tolja.

A klímaváltozás nem csupán a növényfajok fenológiájában okozhat változásokat, hanem a populációk tengerszint feletti magasság szerinti elmozdulásában is. BERGAMINI et al. (2009) 61 mohafaj Svájcban 1880 és 1920, illetve 1980 és 2005 között gyűjtött 8520 herbáriumi példány esetében azt tapasztalták, hogy az átlagos gyűjtési magasság szignifikáns mértékben (89 ± 29 méterrel) emelkedett. A változás fő hajtóerejét a kriofil fajok szolgáltatták, amelyeket évtizedenként átlagosan 24 méterrel, összesen pedig 222 ± 50 méterrel magasabban gyűjtöttek.

Biotikus interakciók

A behurcolt növényfajok sikerére, inváziós képességére hatással lehet a természetes ellenségek kikerülése ('enemy release'). Kaliforniában a 18. és 19. század során az eurázsiai behurcolt pázsitfűvek vették át az őshonos fajok helyét. Feltételezések szerint ebben a folyamatban – mint a kompetíció közvetítői – szerepet játszhattak az árpa sárga törpeség vírus (BYDV) és a gabona sárga törpeség vírus (CYDV). Ez a hipotézis azonban csak akkor lehet igaz, ha a vírusok jelen voltak a területen az invázió idején. MALMSTROM et al. (2007) kaliforniai pázsitfűvek 1894 és 1958 között gyűjtött herbáriumi példányaiban vizsgálták – a virális RNS szekvenálásával – az árpa sárga törpeség vírus (BYDV) jelenlétét. Megállapították, hogy a vírus nagy valószínűséggel jelen volt az invázió idején a vadon élő pázsitfűvekben, és az akkori minták mutatnak néhány közös funkcionális jellemzőt recens izolátumokkal, tehát az eredmények támogatják az ellenségek kikerülése hipotézist. Bizonyítékot találtak a vírus terjedésére a 19. század végén Kaliforniából Ausztráliába, amely felveti az emberi tevékenység (a fellendülő világkereskedelem) szerepét a virális diverzifikáció előidézésében.

A herbáriumok további növényi virális kórokozók felbukkanásának (FAWCETT és JENKINS 1933), genetikai változatosságának (LI et al. 2007), sőt evolúciójának (FRAILE 1997) is tanúi, de fontos adalékokat szolgáltatnak természetett haszonnövények (RISTAINO et al. 2001) és vadon élő fajok (HOOD et al. 2010) gombaparazitáiról is.

Bár szórványosan korábban is használtak herbáriumi anyagokat specialista fitofág rovarok kutatása során (például ABBOTT et al. (1999) két *Eucalyptus* faj őshonos levélaknázó lepkefajainak terjedését elemezték több mint ötszáz herbáriumi példány vizsgálatával), de azt a tényt, hogy a herbáriumok jelentőségét mindeddig jelentősen alulbecsülték a növény-rovar interakciók, a herbivór diverzitás és az invázió fajok eredetének kutatása

terén látványosan illusztrálja LEES et al. (2011) tanulmánya, amely tisztázta az Európában csupán 1986 óta ismert vadgesztenyelevelé-aknázómoly (*Cameraria ohridella*) balkáni eredetét. Herbáriumi példányok leveleiben leprévelt lárvákat nukleáris és mitokondriális DNS segítségével azonosítottak és a parazita jelenlétét 1879-ig tudták visszavezetni, de genetikai variabilitásának változását és lokális elszaporodásait is dokumentálták 1961-ig.

Korai keletkezésű gyűjtemények biztosította adatok alapján becsülhető a diszturbancia herbivórokra gyakorolt hatása. A széleskörű emberi tájtalakítást megelőző időszakból, az 1800-as évekből származó herbáriumi példányokra alapozva MORROW és FOX (1989) becsülték a rovarok okozta kárt tölgy- és eukaliptusz fajokon Észak-Amerikában és Ausztráliában történelmi időkben. Mivel a herbáriumi példányok nem random mintái a herbivór kártételnek (a gyűjtők feltételezhetően előnyben részesítik a sértetlen példányokat, illetve hajtásokat), csak minimális kárbecslést biztosítanak. Feltételezve, hogy a botanikusok gyűjtési szokásai nem változtak, recens gyűjtésekkel történő összehasonlításra fel lehet használni ezeket az adatsorokat, mint korabeli minimum-becslést.

További ökológiai jellegű alkalmazások

Geokémiai feltárás céljából, például nikkeltartalmú (ultrabázikus) kőzetek elterjedésének térképezésére és a növényi nikkell-akkumuláció tanulmányozására is használható herbáriumi anyag. BROOKS et al. (1977) a *Homalium* (Salicaceae) és a *Hybanthus* (Violaceae) nemzetségek 232 fájának trópusokon és a meleg-mérsékelt övi területeken gyűjtött közel 2000 példányát vette alapul. Megerősítették 5 korábban hiper-akkumulátorként ismert faj státusát és 5 újabb új-kaledóniai fajról mutatták ki, hogy 1 gramm szárazanyagtartalomra vonatkoztatva több mint 1000 µg nikkelt akkumulálnak, azaz szintén hiper-akkumulálóknak tekinthetők. További 14 olyan fajról, amelyek esetében ez korábban nem volt ismert, bebizonyították, hogy erős akkumulátorok (100–1000 µg/g). Az akkumulátor fajok gyűjtési helyei ultrabázikus kőzetek elterjedését jelölték ki.

VAN DAM és MERTENS (1993) egy holland eutróf polder vízminőség-változásának jellemzéséhez használták 1934 és 1958 között gyűjtött makrofitonok herbáriumi példányaira tapadt kovamoszatokat, amelyeket 1989-es gyűjtésekkel vetettek össze. A kovaalgák nem jeleztek szignifikáns változást a víz szalinitásában. Az eutrofizáció következtében viszont a recens mintákban csökkent a ritka fajok száma és növekedett a mezo- és hyper-ethrafentikus fajok részesedése.

A herbáriumi példányok alkalmasak lehetnek a növényi propagulumok perzisztenciájának vizsgálatára is. Az egyéves pyrophyton *Geranium bohemicum* 10 (egyenként 3–200 éves) herbáriumi példányáról származó magjainak csíráképességét MILLBERG (1994) vizsgálta. A legidősebb minta, amelyben csíráképes magvakat talált (30%-os arányban) 129 éves volt. Ez az eredmény alátámasztja azt a feltételezést, hogy ez az egyéves faj a csíráképességüket hosszú ideig megőrző magjai révén képes a talaj magbankjából megjeleni erdőtüzek után. LEINO és EDQUIST (2010) 5 *Acacia*-faj Egyiptomban, 1856-ban gyűjtött és azóta szobahőmérsékleten tárolt magjait csíráztatta és két faj (*A. farnesiana* és *A. melanoxydon*) esetében tapasztaltak csírázást. A vizsgált fajok magjaiból kivont DNS vizsgálata alapján csak az *Albizia lebeck* magvaiban degradálódott az örökítőanyag.

A környezeti tényezők szerepét vizsgálták TAKÁCS et al. (2013) az *Elatine hungarica* elterjedésére a Pannon-medencében herbáriumi és irodalmi adatok, valamint terepi

megfigyelések alapján. Kimutatták a faj adatainak jelentős időbeli fluktuációját az utóbbi két évszázadban és a megjelenés összefüggését az adott év csapadék-mennyiségével és erős korrelációját a belvízi elöntés mértékével.

Természetvédelem, konzervációbiológia

Úgy tűnik, abban, hogy napjainkban a herbáriumi gyűjtés intenzitása jelentősen hanyatlik, komoly szerepe van a botanikusok egy része azon meggyőződésének, hogy a gyűjtés természetvédelmi szempontból nem kívánatos. Ráadásul a kérdésről a természetvédelmi hatóságok álláspontja sem egységes. Bár a herbáriumi anyag gyűjtésének vadon élő populációkra gyakorolt hatásait részletesen még nem vizsgálták, az egyértelműen látható, hogy a herbáriumoknak számos potenciális természetvédelmi-konzervációbiológiai vonatkozású alkalmazása létezik.

Az amerikai ginzeng (*Panax quinquefolius*) gyökerét az ázsiai gyógynövénypiac számára több mint 200 éve gyűjtik az Egyesült Államokban. Mivel a faj szerepel a Washingtoni Egyezmény II. függelékében, a ginzengkereskedelmet 1975 óta nyomon követik és a kereskedelmi célú gyűjtést nem találták károsnak. MCGRAW (2001) 17 herbáriumban található, 186 éves időtávtalban gyűjtött 915 példány esetében vizsgálta a példányok méretét. A vizsgált 11 kvantitatív jellemzőből 9 statisztikailag szignifikáns csökkenést mutat. A többváltozós elemzések pedig megerősítik a növény méretében tapasztalható általános visszaesést. Az északi populációkban nem csökkent a példányok mérete, középnugaton és Appalache-hegységben és délen viszont igen jelentősen. A gyors méretbeli változást környezeti változás vagy a kereskedelmi célú gyűjtés közvetlen vagy közvetett hatása magyarázhatja. Az amerikai ginzeng állományainak változását 19 állam területén 150 év során gyűjtött herbáriumi példányok alapján CASE et al. (2007) vizsgálták. Az időszakonként gyűjtött példányok számát a rokon, de kereskedelmi céllal nem gyűjtött fajokból gyűjtött herbáriumi példányok számához viszonyították és 6 északi államban bizonyították a populációk hanyatlását.

A pettyes gyásztárnics (*Swertia perennis*) lokális szintű kipusztulását befolyásoló tényezőket tanulmányozták LIENERT et al. (2002). 63 lelőhelyet azonosítottak és kerestek fel 5–127 éves herbáriumi gyűjtések alapján, amelyek mintegy negyedéről (24%) kipusztult a faj. A kipusztulás valószínűsége nem korrelált a herbáriumi példány korával. Az alacsonyabb tengerszint feletti magasságban, illetve az elterjedési terület peremén fekvő és az intenzív tájhasználattal jellemezhető termőhelyekről nagyobb valószínűséggel pusztult ki a faj, mint a magasabb hegyvidékekről, az área központi részeiről és a hagyományos módon kaszált vagy legeltetett lelőhelyekről. A 400 m²-nél kisebb kiterjedésű lápokról 75%-os valószínűséggel pusztult ki a növény. Mindezek alapján az intenzív mezőgazdasági művelés és az élőhelyek feldarabolódása nevezhető meg a *S. perennis* lokális kipusztulásait okozó tényezőkként. A kicsiny populációk nem képesek a hosszú távú fennmaradásra.

A fenti példa is mutatja, hogy a biológiai sokféleség eredetének megértéséhez és fenntartásához fontos annak tér- és időbeli, továbbá környezeti grádienseken keresztüli elterjedésének értékelése. Regionális léptékben a fajok két fő tulajdonságát lehet értékelni, amelyek betekintést nyújtanak a speciációs folyamatokba: földrajzi elterjedésüket és környezeti igényeiket. E célból GIMARET-CARPENTIER et al. (2003) az indiai Western Ghats endemikus fáinak nagyléptékű biodiverzitási mintázatának feltárásához használták a fajok herbáriumi adatainak kanonikus korreláció analízisét. Ennek eredményeként

azonosították a terület endemikus fajokban leggazdagabb (déli) területét, illetve dokumentálták a bennszülött fajok arányának csökkenését a tengerszint feletti magasság és a száraz évszak hosszúságának grádiense mentén. A környezeti gradienseket követő niche-szeparáció mintázata nemzetség- és család-specifikusnak bizonyult.

Burkina Faso területén végzett, herbárium adatokon és terepi megfigyeléseken alapuló országos léptékű biodiverzitás-térképezés eredményeit mutatta be SCHMIDT et al. (2005) cikke. Figyelemet fordítottak a mintavételből adódó torzításokra is (a gyűjtés intenzitása térben egyenetlen: útmenti területek, lakott és védett területek környéke túlreprezentált). A modellezett diverzitás dél felé nő a fásszárúak, a liánok és a hemikriptofitonok esetében, de ellenkező tendenciát mutattak az egyévesek. A pázsitfűfélék diverzitása erősen korrelál a hajtásos növények sokféleségével, míg a palkaféléké sokkal egyenletesebben oszlik el az ország területén. Diverzitási gócpontokat is kimutattak például a galajfélék esetében.

Herbárium példányok populációgenetikai elemzése is lehetséges. Ennek alkalmazása betekintést nyújthat a genetikai változatosság időbeli változásába, és kulcsfontosságú lehet a ritka és veszélyeztetett fajok evolúciós történetének megfelelő értelmezésében. Az *Anacamptis palustris* az Appenini-félszigeten a 20. század során nagyon visszaszorult, élőhelyeinek feldarabolása, degradációja és megszüntetése miatt. COZZOLINO et al. (2007) a megmaradt populációk egyedeinek genetikai változatosságát a 19. században és a 20. század elején gyűjtött herbárium példányokéval hasonlították össze (egy hipervariábilis kloroplaszt markert használva). A jelenlegi, kis populációkban megtalálható haplotípusok és allélok egykor jóval gyakoribbak voltak, másrészt az egykori populációkban megtalálható allélok egy része mára eltűnt. Emellett a populációk közötti genetikai távolság az idővel növekszik, valamint a történeti és recens populációk haplotípus-gyakorisága jelentősen eltér egymástól. Mindezek alapján az ember által okozott változások csökkentették a faj genetikai sokféleségét.

A fenyegető tényezők felderítésén és a diverzitás (és annak időbeli változása) térképezésén túl (és egyúttal ezek révén) a herbárium adatok értékes információkat szolgáltathatnak a növényfajok veszélyeztetettségi státuszának meghatározásához is. MACDOUGALL et al. (1998) New Brunswick-ben (Kanada) 46 család 161 taxonjának herbárium adatait vizsgálták. A herbárium gyűjtések települések, utak és ismert, fajgazdag lelőhelyek körül koncentráálódtak, amelyeken visszatérően, több hullámban gyűjtöttek. A gyűjtés intenzitása a botanikusok számának megfelelően időbeli változást is mutatott. Ritkaságuk szerint három kategóriába sorolták a veszélyeztetett fajokat (nem gyakori, ritka, nagyon ritka) a vizsgált területen valaha gyűjtött herbárium példányok száma, kora, a gyűjtőhelyek eloszlása, a faj feltűnősége és élőhelyeinek „hozzáférhetősége” ('habitat availability') alapján. A fajokat élőhely-preferenciájuk szerint is csoportosították, így az egyes termőhelytípusok természetvédelmi jelentőségét is meg tudták határozni.

Herbárium adatok nem csak a kanadai példán keresztül bemutatott regionális érvényű kategorizáláshoz, de egyes taxonok IUCN Vörös Lista kritériumok szerinti értékeléséhez is hozzájárulhatnak. WILLIS et al. (2003) tapasztalatai szerint a fajok veszélyeztetettségének értékelése során a leginkább használható jellemzők az előfordulások kiterjedése, fragmentációja, az állományok csökkenése és a szubpopulációk száma volt. Herbárium adatok alapján ezek nem, vagy legfeljebb következtlen és szubjektív döntések meghozatalával becsülhetők. A herbárium adatsorok mégis segíthetnek a feltárt ismerethiányok felszámolására irányuló terepi munka megtervezésében. Kifejtik továbbá, hogy a herbárium adatok alkalmasabbak a „ténylegesen foglalt terület” ('area of occupancy' – AOO)

meghatározására, mint a „jelenlét kiterjedésének” (‘extent of occurrence’ – EOO) megállapítására. Az AOO fontos paramétere a Vörös Listák különböző kategóriáiba történő besorolásnak, ám ennek megbízható kiszámítása a megfelelő módszer hiányában eddig nem volt egyszerű feladat. HERNÁNDEZ és NAVARRO (2007) a Chihuahua sivatag 10 kaktusz-fajának példáján mutattak be egy módszert (‘Cartographic method by Conglomerates’, CMC) az AOO becslésére herbáriumi adatok alapján. Az új eljárás által kapott átlagos AOO 3,5-ször, illetve 5,5-ször kisebb, mint a távérzékelési vagy kartográfiai módszerek által jelzett, mivel figyelembe veszi a fajok elterjedési területén belüli diszjunkciókat. A CMC előnye, hogy a Vörös Lista-kritériumokkal harmonikusabb eredményeket állít elő.

A recens ‘pollinációs krízis’ értékelését jelentősen nehezíti a mai adatokkal összehasonlítható archiv adatok hiánya. Ezen a téren számít úttörőnek PAUW és HAWKINS (2011) munkája, amely egy dél-afrikai orchidea (*Pterygodium catholicum*) reprodukciós sikerét vizsgálta egy városi védett területen. Rehidratált herbáriumi példányok virágaiban számszerűsítették a megporzó, egy olajgyűjtő méhfaj (*Rediviva peringueyi*) által eltávolított pollensomagok számát. Kimutatták a reprodukciós siker csökkenését, másrészt magprodukciónál erőteljesebben függő nem klonális orchidea-fajok visszaszorulását.

Molekuláris filogeográfia, filogenetika, taxonómia

A herbáriumi példányokból történő DNS-kivonás módszertanát mintegy 25–30 éve kidolgozták (ROGERS és BENDICH 1985, DOYLE és DICKSON 1987), de a PCR-amplifikáció sikeressége negatívan korrelál a példányok korával (STERN & ERIKSSON 1996). A módszer mégis jelentős legalább két ok miatt: egyrészt csak igen kis mennyiségű növényi szövetet igényel, így csökkentve a destruktív mintavétel elleni érvek (THOMAS 1994) érvényességét, másrészt a herbáriumi példányok használata a filogenetikai kutatásokban egyre inkább szükségessé válik, mivel egyes ritka fajok esetén az élő anyag beszerzése komoly nehézségekbe ütközik (SAVOLAINEN et al. 1995) vagy igen jelentős költségekkel jár. SAVOLAINEN et al. (1995) 2 és 151 év közötti példányokból vontak ki DNS-t, a 17 vizsgált mintából csak kettőben volt sikeres az amplifikáció szokványos körülmények között. Bemutatták a különböző PCR-gátló hatásokat és némely esetekben a gátló hatások kiküszöbölhetőek voltak polivinil-pirrolidon vagy szarvasmarha szérumból albumin (BSA) hozzáadásával. Néhány kivonatban a templát koncentrációja túl alacsony volt kielégítő eredmény eléréséhez, ez esetben szükséges egy második, belső primerekkel történő PCR-reakció (‘nested PCR’) a szekvenálható mennyiség eléréséhez. DRÁBKOVÁ et al. (2002) hét DNS-kivonási módot hasonlítottak össze eltérő korú *Juncus* és *Luzula* herbáriumi példányok felhasználásával. A DNS kivonása nagyon régi példányokban bonyolult, és ritkán eredményez jó minőségű kivonatot. A kivont DNS minőségét spektrofotométerrel, mennyiségét pedig fluoriméterrel mérték. Módosított CTAB-kivonást használtak hosszú kicsapási idővel, amivel sok esetben nagy mennyiségű DNS-t nyertek ki. Következtetésük, hogy mivel a PCR csak kis mennyiségű DNS-t igényel, a herbáriumi példányok egyre értékesebb források lehetnek a molekuláris filogenetikai tanulmányokhoz, habár a herbáriumi minták speciális kivonási módszert és körülményeket igényelhetnek. Fontos a szövet alapos feltárása, a hosszú kicsapási idő, a PCR-termékek kis mérete, több PCR-ciklus. A molekuláris genetikai módszerek potenciális felhasználását a herbáriumi példányok azonosításában CASTRO és MENALE (2004) is alátámasztották. Michele Tenore (1780–1861) gyűjteményéből származó *Pinus brutia* és *Pinus halepensis* herbáriumi példányok

nyokból sikerrel amplifikáltak 200 bázispárnál rövidebb cpDNS-szakaszokat. LISTER et al. (2008) egyszerű és megbízható módszert és egy sor primert írtak le herbáriumban tárolt búzapéldányok nukleáris DNS-ének vizsgálatához. A módszer 80 és 1030 bázispár közötti PCR-termékeket adott. A termékeket klónozták és szekvenálták. Kitűnő állapotú DNS-t találtak 49 és 107 év közötti példányok esetében, könnyen amplifikálható, legalább 350 bázispár hosszú szakaszokkal. A gyakran fragmentált, herbáriumi anyagokból származó DNS sikeresen alkalmazható mikroszatellit-elmezésekre (LAMBERTINI et al. 2008), amely felhasználható filogeográfiai kutatásokhoz, vagy közeli rokon fajok közötti viszony vizsgálatához.

Herbáriumi példányokból kivont DNS-t kiterjedten használnak filogenetikai elemzésekben (lásd például BALDWIN et al. 1995, SAVOLAINEN et al. 2000, DAVIS és CHASE 2004, QIU et al. 2010). A molekuláris genetikai módszertan segíthet betekintést nyerni termesztett növényeink eredetébe is. AMES és SPOONER (2008) az Európában termesztett burgonya (*Solanum tuberosum*) homályba vesző eredetét vizsgálták. A faj először 1567-ben jelent meg Dél-Amerikán kívül, majd világszerte gyorsan elterjedt. Az Európában termesztett burgonya az utóbbi 60 évben leginkább elfogadott nézet szerint az Andok magasabb területeiről származik, más vélekedések szerint pedig Chile síkvidéki területeiről. 1705 és 1910 között gyűjtött 49 herbáriumi példány alapján az Andokból származó alakok voltak többségben a 18. században, de minden mai termesztett burgonya ősei a 19. században behozott chilei eredetű tájfajták voltak. A *Solanum* nemzetséggel egy másik, adventív fajhoz magyar vonatkozású kutatás is kapcsolódik. Egy Kitaibel Pál által mintegy két évszázaddal ezelőtt gyűjtött, vitatott rendszertani besorolású példányt PO CZAI et al. (2009) azonosítottak genetikai módszerekkel. Sikeresen amplifikálták és szekvenálták a példány nrITS2 szakaszát, amely a GenBank adatbázisában szereplő szekvenciák közül eggyel sem egyezett meg, viszont a *Solanum scabrum* fajjal igen. Érdekesség, hogy az utóbbi faj jelenlétét a magyar flórában korábban nem regisztrálták.

Farmakobotanika

A herbáriumi anyagok gyógynövényteni alkalmazása jelentős múltra tekint vissza, teljes áttekintésre itt sem vállalkozhatunk. Legjelentősebb felhasználási lehetőségnek a biológiailag aktív anyagok felderítése tűnik. WEILER et al. (1980) 250 *Solanum*-faj vizsgálata során kimutatták, hogy 0,5 mg herbáriumi minta több mint elegendő a *szolaszodin* nevű alkaloida mennyiségi elemzéséhez. Alkaloidok terén alkalmazott módszerek és technikák áttekintését PHILIPSON (1982) tárgyalta a Rubiaceae és Papaveraceae családok példáin keresztül. A fajon belüli különböző hatóanyagtartalmú 'kemotípusok' elterjedésének vizsgálatára COOK et al. (2009) szolgáltatott példát.

A különböző korú herbáriumi példányok alkalmasak növényi hatóanyagok tartóságának tesztelésére is. ELOFF (1999) a dél-afrikai *Combretum erythrophyllum* 92–12 éves herbáriumi példányainak hatását hasonlította össze friss mintákéval, 4 baktériumfaj (*Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) különböző törzsei esetében. A különböző korú minták minimális gátló koncentrációja tekintetében nem volt észlelhető különbség. A herbáriumi minták gombás fertőzése viszont erősen csökkentette a kivonatok biológiai aktivitását. A *Helichrysum pedunculatum* példányok vizsgálata azt mutatta, hogy a kémiai összetevők nem változtak 100 éves időszak alatt, és a biológiai aktivitás nem csökkent.

A herbáriumi adatok felhasználásának korlátai

Bármely herbáriumi anyagokra alapozott kutatás során fontos szempont, annak figyelembe vétele, hogy a gyűjtők nem feltétlenül voltak tisztában a gyűjtött anyag későbbi potenciális felhasználási lehetőségeivel. A mintavétel „ad hoc” jellege miatt nem biztos, hogy az minden szempontból reprezentatív. E tekintetben STERN és ERIKSSON (1996) összefoglalása a legteljesebb, amelyet módosításokkal és kiegészítésekkel itt is követünk.

- Néhány tényező (a gyűjtés időbeli intenzitásának ingadozása, herbáriumi gyűjtések hozzáférhetősége vagy elveszett példányok) torzíthatják az eredményeket (DELISLE et al. 2003; CHAUVEL et al. 2006, MILLER-RUSHING et al. 2008, DANIHELKA et al. 2009).
- Nem csak sokéves időtávlatban, de naptári éven belül is ingadozást mutathat a gyűjtési aktivitás: HARIPERSAUD (2009: 43.) szerint az esős, magas csapadékosságú évszakban lényegesen alacsonyabb a gyűjtési aktivitás, mint a szárazabb évszakokban.
- Bizonyos növényeket előnyben részesítenek (HARIPERSAUD 2009: 42., MOLNÁR V. et al. 2012a), míg például közönséges vagy gyakori, nagytermetű fajokat (különösen, ha steril állapotban találhatóak vagy fizikailag nehezen gyűjthetők, pl.: nád, bambuszok, pálmák) gyakran figyelmen kívül hagynak a gyűjtők (BRIDSON és FORMAN 1992). A vízinövényekkel általában igen kevés specialista foglalkozik, emiatt a gyűjtött példányok száma különösen jelentős ingadozásokat mutat (KAPLAN 2010, TAKÁCS et al. 2013).
- Egyes növények viszonylagosan ritkábbak lehetnek a herbáriumokban, mint a valóságban, amiatt is, hogy a gyűjtők logisztikai vagy politikai okból kevésbé tudták megközelíteni azokat a területeket, ahol megtalálhatóak. A könnyen elérhető helyek (például utak és folyók menté) viszont túlréprezentáltak lehetnek (ERIKSSON 1995, HUEBNER 2003, SCHMIDT et al. 2005, HARIPERSAUD 2009: 38-42.).
- Ugyanakkor a ritka és veszélyeztetett fajok szintén túlréprezentáltak lehetnek a gyűjteményekben (ezek ugyanis értékes csereanyagnak számítottak).
- Amennyiben egyazon fajnak számos példánya hozzáférhető különböző lelőhelyekről és különböző gyűjtőktől, még nem biztos, hogy a teljes alaktani variabilitást reprezentálják, különösen, ha a példányokat részben ugyanazon lelőhelyeken gyűjtötték.
- A vegetatív szervek intra- és inter-individuális változatossága gyakran ökológiai különbségekre utal, de hagyományosan kevésbé érdekelte a floristákat és taxonómusokat. Ez nehezítheti vagy lehetetlenné teheti például a fenotipikus plaszticitás mértékének vizsgálatát. Hasonló a helyzet a makroszkópikusan is észlelhető növény-herbivór interakciók esetében. MARQUIS és BRAKER (1993) beszámoltak arról, hogy néhány olyan növényfaj, amelyek lombzatát természetes állományokban, Costa Ricában jelentős mértékben (>50 %) károsítják növényevők, a harwardi herbáriumi példányok több mint fele sértetlen volt, és a defoliáció mértéke egy példányon sem haladta meg a 10%-ot. Ennek oka nyilván az, hogy a gyűjtők a legtipikusabb, legegészségesebb példányokat igyekeznek begyűjteni. A növény-parazita kapcsolatok herbáriumi kutatását tovább nehezítheti a példányok preparálás közbeni gondos letisztítása.

- Tekintettel kell lenni a gyűjtők döntő többségére jellemző szubjektív hozzáállásra, amely előnyben részesítette a 'legtípikusabb', 'legszebb', 'legkevésbé sérült' példányok begyűjtését, amely több nehézséget is okozhat (MORROW és FOX 1989).
- Az úgynevezett 'herbárium-érett' (azaz az adott taxon azonosításához ideális fenológiai állapotú) példányok gyűjtése befolyásolhatja – mégpedig taxononként eltérő mértékben – a különböző fenofázisú példányok arányát.
- A herbáriumi példányokból kivont DNS a példány korától, valamint tartósítási és tárolási körülményeitől függő mértékben degradálódott lehet (SAVOLAINEN et al. 1995, STERN & ERIKKSON 1996, DRÁBKOVÁ et al. 2002, CASTRO és MENALE 2004, LAMBERTINI et al. 2008, STAATS et al. 2011). Az így kivont örökítőanyag kétségkívül értékes (és mindaddig kevésbé kiaknázott) információk forrása filogenetikai és populációgenetikai kutatások terén, de használata komoly technikai felkészültséget igényel, és számos csapdát is rejteget (WANDELER et al. 2007). A herbáriumi példányok DNS-ének degradálódása nem csak az amplifikálható templát hosszát csökkenti, de téves szekvenciaadatokhoz is vezethet. STAATS et al. (2011) végeztek a DNS-károsodásra vonatkozó elemzést, amely során plasztisz-, mitokondriális és nukleáris DNS-ből származó ampikonokat szekvenáltak. A szálak törése által létrejött károsodás mértékét valós idejű PCR segítségével vizsgálták, négy pár, azonos fajhoz tartozó herbáriumi és friss példány DNS-ét használták a kinyerhető mennyiség meghatározására, rögtön tartósítás és hosszú idejű herbáriumi megőrzés után. Megállapították, hogy az örökítőanyag károsodása jórészt az egyedek hosszú távú tárolása során következik be. Nincs bizonyíték arra, hogy az organelláris DNS jobban károsodna, mint a sejtmagban lokalizálódó. Az idős herbáriumi példányok plasztisz-genomjában nagyobb mértékű CRT/GRA-tranzíciót figyeltek meg, amelyet a citozin hidrolitikus dezaminációjaként értelmeztek. A legidősebb herbáriumi példány, amelynek DNS-ét sikerrel amplifikálták, 144 éves volt. A gyakran fragmentált, herbáriumi anyagokból származó DNS sikeresen alkalmazható mikroszatellit-elmezésekhez (LAMBERTINI et al. 2008), de összehasonlításként ajánlatos friss minták bevonása, hogy a degradációból adódó hibákat, például a hamis polimorfizmusokat, ki lehessen szűrni. A herbáriumi minták adatai csak akkor használhatók fel, ha a kapott jel közel azonos erősségű és minőségű a friss mintákéval.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. Az utolsó szerző munkáját az OTKA K108992 pályázat támogatta. Köszönjük továbbá BALOGH LAJOS, valamint E. VOJTKÓ ANNA segítségét.

IRODALOM – REFERENCES

- ABBOTT, A., WILLS, A., BURBIDGE, T. 1999: Historical incidence of *Perthida* leafminer species (Lepidoptera) in southwest Western Australia based on herbarium specimens. *Australian Journal of Ecology* 24: 144–150.
- ALEXANDER, H. M., PRICE, S., HOUSER, R., FINCH, D., TOURTELLOT, M. 2007: Is there reduction in disease and pre-dispersal seed predation at the border of a host plant's range? Field and herbarium studies of *Carex blanda*. *Journal of Ecology* 95: 446–457.
- AMES, M., SPOONER, D. M. 2008: DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *American Journal of Botany* 95: 252–257.
- BALDWIN B. G., SANDERSON, M. J., PORTER, J. M., WOJCIECHOWSKI, M. F., CAMPBELL, C. S., DONOGHUE, M. J. 1995: The ITS region of nuclear ribosomal DNA: A valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. *Annals of Missouri Botanical Garden* 82: 247–277.
- BARÁTH, K., CSIKY, J. 2012: Host range and host choice of *Cuscuta* species in Hungary. *Acta Botanica Croatica* 71: 215–227.
- BERGAMINI, A., UNGRICH, S., HOFMANN, H. 2009: An elevational shift of cryophilous bryophytes in the last century: an effect of climate warming? *Diversity and Distribution* 15: 871–879.
- BOLMGREN, K., LÖNNBERG, K. 2005: Herbarium data reveal an association between fleshy fruit type and earlier flowering time. *International Journal of Plant Sciences* 166: 663–670.
- BRIDSON, D., FORMAN, L. 1992: *The herbarium handbook*. Ed. 2. Royal Botanic Gardens, Kew.
- BROOKS, R. R., LEE, J., REEVES, R. D., JAFFRÉ, T., 1977: Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration* 7: 49–57.
- BUSWELL, J. M., MOLES, A. T., HARTLEY, S. 2011: Is rapid evolution common in introduced plant species? *Journal of Ecology* 99: 214–224.
- CASE, M. A., FLINN, K. M., JANCAITIS, J., ALLEY, A., PAXTON, A. 2007: Declining abundance of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) documented by herbarium specimens. *Biological Conservation* 134, 22–30.
- DE CASTRO, O., MENALE, B. 2004: PCR amplification of Michele Tenore's historical specimens and facility to utilize an alternative approach to resolve taxonomic problems. *Taxon* 53: 147–151.
- CHAUVEL, B., DESSAINT, F., CARDINAL-LEGRAND, C., BRETAGNOLLE, F. 2006: The historical spread of *Ambrosia artemisiifolia* L. in France from herbarium records. *Journal of Biogeography* 33: 665–673.
- COCHRANE, V., PRESS, M. C. 1997: Geographical distribution and aspects of the ecology of the hemiparasitic angiosperm *Striga asiatica* (L.) Kuntze: a herbarium study. *Journal of Tropical Ecology* 13: 371–380.
- COOK, D., GARDNER, D. R., PFISTER, J. A., WELCH, K. D., GREEN, B. T., LEE, S. T. 2009: The biogeographical distribution of duncecap larkspur (*Delphinium occidentale*) chemotypes and their potential toxicity. *Journal of Chemical Ecology* 33: 643–652.
- COZZOLINO, S., CAFASSO, D., PELLEGRINO, G., MUSACCHIO, A., WIDMER, A. 2007: Genetic variation in time and space: the use of herbarium specimens to reconstruct patterns of genetic variation in the endangered orchid *Anacamptis palustris*. *Conservation Genetics* 8: 629–639.
- CSONTOS, P., VITALOS, M., BARINA, Z., KISS, L. 2010a: Early distribution and spread of *Ambrosia artemisiifolia* in Central and Eastern Europe. *Botanica Helvetica* 120: 75–78.
- CSONTOS P., VITALOS M., BARINA Z., KISS L. 2010b: Eddig feldolgozatlan herbáriumi adatok újraértelmezik a parlagfű felbukkanását és korai terjedését a Kárpát-Pannon térségben. *Botanikai Közlemények* 97: 69–77.
- DALTON, R. 2003: Natural history collections in crisis as funding is slashed. *Nature* 423: 575.
- DANIHELKA J., NIKLFELD, H., ŠIPOŠOVÁ, H. 2009: *Viola elatior*, *V. pumila* and *V. stagnina* in Austria, Czechia and Slovakia: a story of decline. *Preslia* 81: 151–171.
- DAVIS, C. C., CHASE, M. W. (2004): Elatinaceae are sister to Malpigiaceae; Peridiscaceae belong to Saxifragales. *American Journal of Botany* 91: 262–273.
- DELISLE, F., LAVOIE, C., JEAN, M., LACHANCE, D. 2003: Reconstructing the spread of invasive plants: taking into account biases associated with herbarium specimens. *Journal of Biogeography* 30: 1033–1042.
- DISKIN, E., PROCTOR, H. JEBB, M., SPARKS, T., DONNELLY, A. 2012: The phenology of *Rubus fruticosus* in Ireland: herbarium specimens provide evidence for the response of phenophases to temperature, with implications for climate warming. *International Journal of Biometeorology* 56: 1103–1111.
- DOYLE, J. J., DICKSON, E. E. 1987: Preservation of plant samples for DNA restriction endonuclease analysis. *Taxon* 36: 715–722.
- DRÁBKOVÁ, L., KIRSCHNER, J., VLČEK, Č. 2002: Comparison of seven DNA extraction and amplification protocols in historical herbarium specimens of Juncaceae. *Plant Molecular Biology Reporter* 20: 161–175.

- ELOFF, J. N. 1999: It is possible to use herbarium specimens to screen for antibacterial components in some plants. *Journal of Ethnopharmacology* 67: 355–360.
- ERIKSSON, T. 1995: The genus *Athroisma* (Asteraceae, Heliantheae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 119: 101–184.
- ESSL, F., DULLINGER, S., KLEINBAUER, I. 2009: Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria. *Preslia* 81: 119–133.
- FAWCETT, H. S., JENKINS, A. E. 1933: Records of citrus canker from herbarium specimens of the genus *Citrus* in England and the United States. *Phytopathology* 23: 820–824.
- FOAN, L., SABLAYROLLES, C., ELUSTONDO, D., LASHERAS, E., GONZÁLEZ, L., EDERRA, A., SIMON, V., SANTAMARÍA, J. M. 2010: Reconstructing historical trends of polycyclic aromatic hydrocarbon deposition in a remote area of Spain using herbarium moss material. *Atmospheric Environment* 44: 3207–3214.
- FRAILE, A., ESCRIB, F., ARANDA, M. A., MALPICA, J. M., GIBBS, A. J., GARC-ARENAL, F. 1997: A century of tobamovirus evolution in an Australian population of *Nicotiana glauca*. *Journal of Virology* 71: 8316–8320.
- FUENTES, N., UGARTE, E., KÖHN, I., KLOTZ, S. 2008: Alien plants in Chile: inferring invasion periods from herbarium records. *Biological Invasions* 10: 649–657.
- FUNK, V. 2003: The importance of herbaria. *Plant Science Bulletin* 4: 94–95.
- FUNK, V. 2004: 100 Uses for an Herbarium (well at least 72). Division of Botany, The Yale University Herbarium, Peabody Museum of Natural History, Yale University. http://peabody.yale.edu/sites/default/files/documents/botany/100_uses.pdf (hozzáférés: 2013. február 10.)
- GIMARET-CARPENTIER, C., DRAY, S., PASCAL, J.-P. 2003: Broad-scale biodiversity pattern of the endemic tree flora of the Western Ghats (India) using canonical correlation analysis of herbarium records. *Ecography* 26: 429–444.
- GROPP, R. E. 2003: Are university natural science collections going extinct? *Bioscience* 53: 550.
- HARIPERSAUD, P. P. 2009: *Collecting biodiversity*. Universiteit Utrecht, Utrecht, The Netherlands, 144 pp.
- HERNÁNDEZ, H. M., NAVARRO, M. 2007: A new method to estimate areas of occupancy using herbarium data. *Biodiversity and Conservation* 16: 2457–2470.
- HERPIN, U., MARKERT, B., WECKERT, V., BERLEKAMP, J., FRIESE, K., SIEWERS, U., LIETH, H. 1997: Retrospective analysis of heavy metal concentrations at selected locations in the Federal Republic of Germany using moss material from a herbarium. *Science of the Total Environment* 205: 1–12.
- HOOD, M. E., MENA-ALÍ, J. I., GIBSON, A. K., OXELMAN, B., GIRAUD, T., YOCKTENG, R., ARROYO, M. T. K., CONTI, F., PEDERSEN, A. B., GLADIEUX, P., ANTONOVICS, J. 2010: Distribution of the anther-smut pathogen *Microbotryum* on species of the Caryophyllaceae. *New Phytologist* 187: 217–229.
- HUEBNER, C. D. 2003: Vulnerability of oak-dominated forests in West Virginia to invasive exotic plants: temporal and spatial patterns of nine exotic species using herbarium records and land classification data. *Castanea* 68: 1–14.
- HUTTUNEN, S., LAPPALAINEN, N. M., TURUNEN, J. 2005: UV-absorbing compounds in subarctic herbarium bryophytes. *Environmental Pollution* 133: 303–314.
- KAPLAN, Z. 2010: Hybridization of *Potamogeton* species in the Czech Republic: diversity, distribution, temporal trends and habitat preferences. *Preslia* 82: 261–287.
- LAMBERTINI, C., FRYDENBERG, J., GUSTAFSSON, M. H. G., BRIX, H. 2008: Herbarium specimens as a source of DNA for AFLP fingerprinting of *Phragmites* (Poaceae): Possibilities and limitations. *Plant Systematics and Evolution* 272: 223–231.
- LAVOIE, C. 2013: Biological collections in an ever changing world: Herbaria as tools for biogeographical and environmental studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 15: 68–76.
- LAVOIE, C., LACHANCE, D. 2006: A new herbarium-based method for reconstructing the phenology of plant species across large areas. *American Journal of Botany* 93: 512–516.
- LAVOIE, C., JODOIN, Y., DE MERLIS A. G. 2007: How did common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) spread in Québec? A historical analysis using herbarium records. *Journal of Biogeography* 34: 1751–1761.
- LEE, J. A., TALLIS, J. H., 1973: Regional and historical aspects of lead pollution in Britain. *Nature* 245: 216–218.
- LEES, D. C., LACK, H. W., ROUGERIE, R., HERNANDEZ-LOPEZ, A., RAUS, T., AVTZIS, N.D., AUGUSTIN, S., LOPEZ-VAAMONDE, C., 2011: Tracking origins of invasive herbivores through herbaria and archival DNA: the case of the horse-chestnut leaf miner. *Frontiers in Ecology and Environment* 9: 322–328.
- LEINO, M. W., EDQVIST, J. 2010: Germination of 151-year old *Acacia* spp. seeds. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57: 741–746.
- LELONG, B., LAVOIE, C., JODOIN, Y., BELZILE, F., 2007: Expansion pathways of the exotic common reed (*Phragmites australis*): a historical and genetic analysis. *Diversity and Distribution* 13: 430–437.

- LI, W., SONG, Q., BRLANSKY, R. H., HARTUNG, J. S. 2007: Genetic diversity of citrus bacterial canker pathogens preserved in herbarium specimens. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104: 18: 427–432.
- LIENERT, J., FISCHER, M., DIEMER, M. 2002: Local extinctions of the wetland specialist *Swertia perennis* L. (Gentianaceae) in Switzerland: a revisitation study based on herbarium records. *Biological Conservation* 103: 65–76.
- LINNAEUS, C. 1751: *Philosophia Botanica*. Godofr. Kiesewetter, Stockholmiae.
- LISTER, D. L., BOWER, M. A., HOWE, C. J., JONES, M. K. 2008: Extraction and amplification of nuclear DNA from herbarium specimens of emmer wheat: a method for assessing DNA preservation by maximum amplicon length recovery. *Taxon* 57: 254–258.
- LISTER, A. M. & Climate Change Research Group 2011: Natural history collections as sources of long-term datasets. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 153–154.
- LOMAX, B. H., FRASER, W. T., SEPHTON, M. A., CALLAGHAN, T. V., SELF, S., HARFOOT, M., PYLE, J. A., WELLMAN, C. H., BEERLING, D. J. 2008: Plant spore walls as a record of long-term changes in ultraviolet-B radiation. *Nature Geoscience* 1: 592–596.
- MACDOUGALL, A. S., LOO, J. A., CLAYDEN, S. R., GOLTZ, J. G., HINDS, H. R. 1998: Defining conservation priorities for plant taxa in southeastern New Brunswick, Canada using herbarium records. *Biological Conservation* 86: 325–338.
- MALMSTROM, C. M., SHU, R., LINTON, E. W., NEWTON, L. A., COOK, M. A. 2007: Barley yellow dwarf viruses (BYDVs) preserved in herbarium specimens illuminate historical disease ecology of invasive and native grasses. *Journal of Ecology* 95: 1153–1166.
- MARQUIS, R. J., BRAKER, H. E. 1993: Plant-herbivore interactions: diversity, specificity, and impact. In: *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rainforest* (Eds.: McDADE, L. A., BAWA, K. S., HESPENHEIDE, H. A., HARTSHORN, G.S.). Chicago, pp. 261–281.
- MCGRAW, J. B. 2001: Evidence for decline in stature of American ginseng plants from herbarium specimens. *Biological Conservation* 98: 25–32.
- MIHULKA, S., PYŠEK, P. 2001: Invasion history of *Oenothera* congeners in Europe: a comparative study of spreading rates in the last 200 years. *Journal of Biogeography* 28: 597–609.
- MILBERG, P. 1994: Germination of up to 129-year old, dry-stored seeds of *Geranium bohemicum* (Geraniaceae). *Nordic Journal of Botany* 14: 27–29.
- MILLER-RUSHING, A. J., PRIMACK, R. B., PRIMACK, D., MUKUNDA, S. 2006: Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. *American Journal of Botany* 93: 1667–1674.
- MOLNÁR V. A. 2009: *Növények és emberek. Egy szeretetre méltó tudomány története*. Kitaibel Kiadó, Biatorbágy, 200 pp.
- MOLNÁR, V. A., TAKÁCS, A., HORVÁTH, O., E. VOJTKÓ, A., KIRÁLY, G., SONKOLY, J., SRAMKÓ, G. 2012a: Herbarium Database of Hungarian Orchids I. Methodology, dataset, historical aspects and taxa. *Biologia* 67: 79–86.
- MOLNÁR, V. A., TÖKÖLYI, J., VÉGVÁRI, Zs., SRAMKÓ, G., SÜLYÖK, J., BARTA, Z. 2012b: Pollination mode predicts phenological response to climate change in terrestrial orchids: a case study from central Europe. *Journal of Ecology* 100: 1141–1152.
- MOLNÁR, V. A., KREUTZ, C. A. J., ÓVÁRI, M., SENNIKOV, A. N., BATEMAN, R. M., TAKÁCS, A., SOMLYAY, L., SRAMKÓ, G. 2012c: *Himantoglossum jankae* (Orchidaceae: Orchideae), a new name for a long-misnamed lizard orchid. *Phytotaxa* 73: 8–12.
- MOLNÁR, V. A., HORVÁTH, O., TÖKÖLYI, J., SOMLYAY, L. 2013: Typification and seed morphology of *Elatine hungarica* (Elatinaceae). *Biologia* 68: 210–214.
- MORROW, P. A., FOX, L. R. 1989: Estimates of pre-settlement insect damage in Australian and North American forests. *Ecology* 70: 1055–1060.
- NEIL, K. L., LANDRUM, L., WU, J. 2010: Effects of urbanization on flowering phenology in the metropolitan Phoenix region of USA: Findings from herbarium records. *Journal of Arid Environments* 74: 440–444.
- OTERO, S., NUÑEZ-OLIVERA, E., MARTÍNEZ-ABAIGAR, J., TOMÁS, R., HUTTUNEN, S., 2009. Retrospective bioindication of stratospheric ozone and ultraviolet radiation using hydroxycinnamic acid derivatives of herbarium samples of an aquatic liverwort. *Environmental Pollution* 157: 2335–2344.
- PAUW, A., HAWKINS, J. A. 2011: Reconstruction of historical pollination rates reveals linked declines of pollinators and plants. *Oikos* 120: 344–349.
- PEDICINO, L. C., LEAVITT, S. W., BETANCOURT, J. L., VAN DE WATER, P. K. 2002: Historical variations in $\Delta^{13}\text{C}_{\text{leaf}}$ of herbarium specimens in the Southwestern U.S. *Western North American Naturalist* 62: 348–359.
- PEÑUELAS, J., AZCÓN-BIETO, J. 1992: Changes in leaf $\Delta^{13}\text{C}$ of herbarium plant species during the last 3 centuries of CO_2 increase. *Plant, Cell and Environment* 15: 485–489.

- PEÑUELAS, J., FILELLA, I. 2001: Herbaria century record of increasing eutrophication in Spanish terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 7: 427–433.
- PEÑUELAS, J., FILELLA, I. 2002: Metal pollution in Spanish terrestrial ecosystems during the twentieth century. *Chemosphere* 46: 501–505.
- PEÑUELAS, J., MATAMALA, R. 1993: Variations in the mineral composition of herbarium plant species collected during the last three centuries. *Journal of Experimental Botany* 44: 1523–1525.
- PHILIPSON, J. D. 1982: Chemical investigations of herbarium material for alkaloids. *Phytochemistry* 21: 2441–2456.
- PITCAIRN, C. E. R., FOWLER, D. 1995: Deposition of fixed atmospheric nitrogen and foliar nitrogen content of bryophytes and *Calluna vulgaris* (L.) Hull. *Environmental Pollution* 88: 193–205.
- POCZAL, P., TALLER, J., SZABÓ, I. 2009: Molecular genetic study on a historical *Solanum* (Solanaceae) herbarium specimen collected by Paulus Kitaibel in the 18th century. *Acta Botanica Hungarica* 51: 337–346.
- PRATHER, L. A., ALVAREZ-FUENTES, O., MAYFIELD, M. H., FERGUSON, C. J. 2004: The decline of plant collecting in the United States: a threat to the infrastructure of biodiversity studies. *Systematic Botany* 29: 15–28.
- PRIMACK, D., IMBRES, C., PRIMACK, R. B., MILLER-RUSHING, A. J., DEL TREDICI, P. 2004: Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston. *American Journal of Botany* 91: 1260–1264.
- PRIMACK, R. B., MILLER-RUSHING, A. J. 2009: The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 182: 303–313.
- PYKE, G. H., EHRLICH, P. R. 2010: Biological collections and ecological/environmental research: a review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews* 85: 247–266.
- PYŠEK, P. 1991: *Heracleum mantegazzianum* in the Czech Republic: dynamics of spreading from the historical perspective. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica* 26: 439–454.
- PYŠEK, P., PRACH, K. 1995: Invasion dynamics of *Impatiens glandulifera*: a century of spreading reconstructed. *Biological Conservation* 74: 41–48.
- QIU, Y-L., LI, L., WANG, B., XUE, J-Y., HENDRY, T. A., LI, R-Q., BROWN, J. W., LIU, Y., HUDSON, G. T., CHEN, Z-D. 2010: Angiosperm phylogeny inferred from sequences of four mitochondrial genes. *Journal of Systematics and Evolution* 48: 391–425.
- RISTAINO, J. B., GROVES, C. T., PARRA, G. R. 2001: PCR amplification of the Irish potato famine pathogen from historic specimens. *Nature* 411: 695–697.
- RIVERA, G., BORCHERT, R. 2001: Induction of flowering in tropical trees by a 30-min reduction in photoperiod: evidence from field observations and herbarium specimens. *Tree Physiology* 21: 201–212.
- ROBBIRT, K. M., DAVY, A. J., HUTCHINGS, M. J., ROBERTS, D. L. 2011: Validation of biological collections as a source of phenological data for use in climate change studies: a case study with the orchid *Ophrys sphegodes*. *Journal of Ecology* 99: 235–241.
- ROGERS, S. O., BENDICH, A. J. 1985: Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology* 5: 69–76.
- RYAN, K. G., BURNE, A., SEPPELT, R. D. 2009: Historical ozone concentrations and flavonoid levels in herbarium specimens of the Antarctic moss *Bryum argenteum*. *Global Change Biology* 15: 1694–1702.
- SALTONSTALL, K. 2002: Cryptic invasion by a non-native genotype of the common reed, *Phragmites australis*, into North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 99: 2445–2449.
- SAVOLAINEN, V., CUÉNOUD, P., SPICHIGER, R., MARTINEZ, M. D., CRÉVECOEUR, M., MANEN, J-F. 1995: The use of herbarium specimens in DNA phylogenetics: evaluation and improvement. *Plant Systematics and Evolution* 197: 87–98.
- SAVOLAINEN, V., FAY, M. F., ALBACH, D. C., BACKLUND, A., VAN DER BANK, M., CAMERON, K. M., JOHNSON, S. A., LLEDÓ, M. D., PINTAUD, J-C., POWELL, M., SHEAHAN, M. C., SOLTIS, D. E., SOLTIS, P. S., WESTON, P., WHITTEN, W. M., WURDACK, K. J., CHASE, M. W. 2000: Phylogeny of the Eudicots: A nearly complete familial analysis based on rbcL gene sequences. *Kew Bulletin* 55: 257–309.
- SCHMIDT, M., KREFT, H., THIOMBIANO, A., ZIZKA, G. 2005: Herbarium collections and field data-based plant diversity maps for Burkina Faso. *Diversity and Distributions* 11: 509–516.
- SHIH, J. G., FINKELSTEIN, S. A. 2008: Range dynamics and invasive tendencies in *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* in eastern North America derived from herbarium and pollen records. *Wetlands* 28: 1–16.
- SHOTBOLT, L. B. P., ASHMORE, M. R. 2007: Reconstructing temporal trends in heavy metal deposition: assessing the value of herbarium moss samples. *Environmental Pollution* 147: 120–130.
- STAATS, M., CUENCA, A., RICHARDSON, J. E., VRIELINK-VAN GINKEL, R., PETERSEN, G., SEBERG, O., BAKKER, F. T. 2011: DNA damage in plant herbarium tissue. *Plos One* 6: e28448.
- STADLER, J., MUNGAI, G., BRANDL, R. 1998: Weed invasion in East Africa: insights from herbarium records. *African Journal of Ecology* 36: 15–22.

- STERN, M. J., ERIKSSON, T. 1996: Symbioses in herbaria: Recommendations for more positive interactions between plant systematists and ecologists. *Taxon* 45: 49–58.
- SUAREZ, A. V., TSUTSUI, N. D. 2004: The value of museum collections for research and society. *Bioscience* 54: 66–74.
- TAKÁCS, A., LUKÁCS, B. A., SCHMOTZER, A., JAKAB, G., DELI, T., MESTERHÁZY, A., KIRÁLY, G., BALÁZS, B., PERIĆ, R., ELIÁS, P. jun., SRAMKÓ, G., TÖKÖLYI, J., MOLNÁR V., A. 2013: Key environmental variables affecting the distribution of *Elatine hungarica* in the Pannonian Basin. *Preslia* 85(2): 193–207.
- THOMAS, R. H. 1994: Molecules, museums and vouchers. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 413–414.
- VAN DAM, H., MERTENS, A. 1993: Diatoms on herbarium macrophytes as indicators for water quality. *Hydrobiologia* 269–270: 437–445.
- WANDELER, P., HOECK, P. E. A., KELLER, L. F. 2007: Back to the future: museum specimens in population genetics. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 634–642.
- WILLIS, F., MOAT, J., PATON, A. 2003: Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case study of *Plectranthus* from eastern and southern tropical Africa. *Biodiversity and Conservation* 12: 1537–1552.
- WILSON, D., STOCK, W. D., HEDDERSON, T. 2009: Historical nitrogen content of bryophyte tissue as an indicator of increased nitrogen deposition in the Cape Metropolitan Area, South Africa. *Environmental Pollution* 157: 938–945.
- WOODWARD, F. I. 1987: Stomatal numbers are sensitive in CO₂ from pre-industrial levels. *Nature* 327: 617–618.
- WU, S-W., REJMÁNEK, M., GROTKOPP, E., DÍTOMASO, J. M. 2005: Herbarium records, actual distribution, and critical attributes of invasive plants: genus *Crotalaria* in Taiwan. *Taxon* 54: 133–138.

NEW APPLICATIONS OF HERBARIA

A. Takács, L. Laczkó and A. Molnár V.

Department of Botany, University of Debrecen, H-4010 P.o.b.: 14., Hungary;
email (corresponding author): limodorum.abortivum@gmail.com

Accepted: 20 May 2013

Keywords: climate response, distribution, invasive plants, molecular taxonomy, natural history collections, nature conservation

The herbaria has been indispensable and unsurpassable in the range of tools of botanical research for centuries. Traditionally, natural history collections play an important role for example in representing nomenclatural types of taxa, and documenting their distribution. Nowadays, herbarium specimens are used as never before to document the impacts of global change. During the last decades applications of herbaria in research of invasion, environmental pollution, phenology, climate change, plant interactions, ecology, conservation biology, molecular taxonomy, phylogenetics and pharmacobotany proved a valuable tool. In this paper such utilizations of herbaria are reviewed briefly, based on data of 86 scientific publications. The multiple possibilities and limitations of herbaria are illustrated by some examples, unambiguously reinforcing the usefulness of collecting for scientific purposes.