

Éghajlatkutatás herbáriumi anyagokból

A Földön napjainkban zajló klímaváltozásra érhető módon a növényvilág is válaszol. A világ egyik vezető ökológiai folyóirata, a Journal of Ecology nemrégiben közölte egy debreceni kutatócsoport cikkét, amelyben a hazai orchideák évszázados herbáriumi anyagainak felhasználásával elemzik, hogy mely fajokra milyen módon hat az éghajlatváltozás, és mutatják meg, hogy Magyarország sem mentesülhet a klímaváltozás hatásai alól.

Napjainkra nyilvánvalóvá vált, hogy korábban nem tapasztalt sebességű klímaváltozás zajlik bolygónkon. A legutóbbi évtizedekben számos különböző élőlénycsoport esetében elemezték a globális változás hatásait. A növények klímaváltozása különböző szinteken és módokon érzékelhető. A változások különösen látványosak sarkvidéki és hegyvidéki környezetben: például magashegységekben felfelé tolódott a fahatár. Az Alpok hegycsúcsainak 70 százalékán nőtt a fajgazdagság, a boreális erdőzónában nőtt a fajok növekedési üteme, illetve a fák magassága és fatömege. Jelentősen növekedett az antarktusi sédbúza nevű pázsitfűfaj állományainak nagysága.

Ám a változások egyrészt korántsem korlátozódnak ezekre a régiókra, másrészt nem feltétlenül örömteliek. A flóra dinamikus változásban van: míg egy-egy őshonos faj visszaszorulása drámai mértékű, addig gyors generációs idejű, behurcolt növények (köztük számos gyom és allergén faj) intenzíven terjednek. Nagyszámú, 1700 növény- és állatfaj elterjedésének vizsgálata alapján kimutatták, hogy a fajok elterjedési területei átlagosan évtizedenként 6,1 kilométerrel tolódnak a pólusok felé. Az eltolódás azonban nemcsak térben, hanem időben is bekövetkezik. Az élőlények életszakaszai különböző szakszokra (fenofázisokra) oszthatók, például a virágos növények esetében a kihajtásra, virágzásra, termésérlelésre stb. Ezek időzítésével, és tartamával a fenológia tudománya foglalkozik. Európában a legutóbbi évtizedekben a vegetációs periódus az 1960-as évek óta átlagosan 11 nappal hosszabbodott meg, a korábbi lombfakadás és a későbbi lombhullás következtében. 677 faj (lepkék, madarak, békák és növények) 62 százaléka pozitív választ adott a tavasz korábbi érkezésére, azaz az éghajlatváltozásra fenofázisai (például rajzás, tavasz érkezés, peterakás, virágzás) korábbra tolódásával reagáltak. A klíma-

változás hatásainak megértése szempontjából különösen értékesek azok az esetek, amikor nagyobb időtávlatban vannak megfigyelések élőlények bizonyos fenofázisairól. A méhészet szempontjából igen nagy jelentőségű fehér akác virágzásáról hazánkban rendelkezésre álló évszázados adatok alapján a legutóbbi 150 év alatt virágzása átlagosan több nappal korábbra tevődött és ez a változás összefügg a tavasz átlaghőmérséklet emelkedésével.

Megbízható forrás

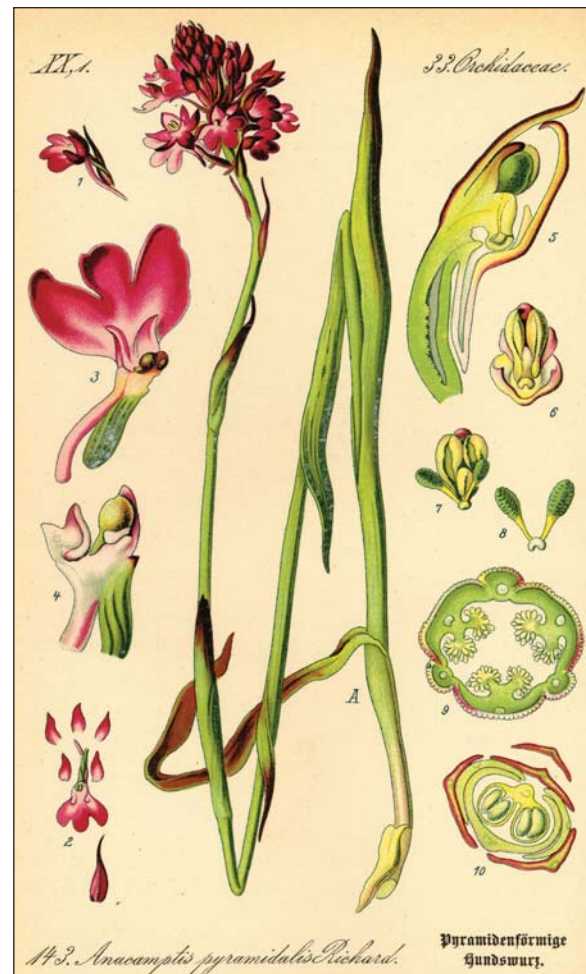
Több növénycsoport esetében is bizonyítást nyert, hogy a múzeumokban őrzött pontos gyűjtési helyű és időpontú herbáriumi lapok (amelyeken a növény pontos fenológiai állapota is azonosítható) kiváló lehetőséget biztosítanak a fajspecifikus klímaváltozás vizsgálatára. Egy tavaly megjelent tanulmány szerint a Dél-Angliában 1848 és 1958 között gyűjtött pókbangó példányok és az 1975 és 2006 között végzett terepi megfigyelések elemzésével kimutatták, hogy a tavasz hőmérséklet 1 Celsius-fokos emelkedésére a faj virágzása mintegy 6 nappal korábban kezdődik!

A növények klímaváltozásának megértése különösen fontos, mivel ezek azok az élőlények, amelyek a napfény segítségével szerves anyagot tudnak szervesanyagból létrehozni, amelyet azután az összes többi élőlény felhasználhat. Ennek az elsődleges termelői szerepüknek köszönhetően a növények alapvető alkotói majd minden földi ökoszisztémának. Ezzel összefüggésben a növényzet fenológiai változásai lehetnek a fő közvetítői a klímaváltozásnak az állatvilágra és az emberiségre gyakorolt hatásának is. Másfelől, a növényekre is hatnak egyéb élőlények (mint növényevők, élősöködők és megporzók). Míg a növényevőkkel és az élősöködők-

kel folytatott evolúciós játszmákban a növények hasznat húzhatnak a fenológiai eltolódásból, addig a növények és megporzók között keletkező bármely időbeli eltérés jelentősen csökkentheti a megporzás hatékonyságát és így a növények szaporodási sikerét. A napjainkban tapasztalható pollinációs krízis (rovarmegporzású növények és megporzók jelentős hanyatlása) néhány tanulmány alapján részben összefügghet a klímaváltozással.

Eszményi kutatási alanyok

Az orchideák ideálisak a megporzás és a virágzás-fenológia közötti kölcsönhatás tanulmányozására, mivel igen különböző megporzási módokat mutatnak: számos képviselőjük önmegporzó, mások a megporzókat (pollinátorokat) nektárral jutalmazták és a fajok mintegy harmada a megtévesztés különböző módjait alkalmazza. E változatosság miatt kideríthető, hogy a megporzás mennyire korlátozza, vagy éppen segíti a különböző növények klímaváltozásra adott választát. Hiszen ha különbséget kapunk az önmegporzó növények (amelyeknek nincsen szükségük rovar-pollinátorokra) és a rovarokat „alkalmazó” másik két csoport klímaváltozásában, akkor a megporzás folyamata valószínűleg nagy hatással van arra, hogy a növények mennyire rugalmasan reagálnak az éghajlatváltozásra. A növények melegeedésre mutatott reakciójában egy-



Tornyos sisakkosbor
(*Anacamptis pyramidalis*)

aránt kimutattak szezonális különbségeket a történeti fenológiai adatsorok vizsgálata során és kísérleti melegítési tanulmányokban. Általában a kora tavasszal virágzó növények reagálnak érzékenyebben a globális változásra, mivel ezek a fajok a változékonyabb tavaszi időjáráshoz alkalmazkodtak. Ezt a hatást erősítheti a hőmérsékletnek – az év többi időszakával összehasonlítva – nagyobb mértékű emelkedése a téli és tavaszi időszakban.

Az élőlények képességeit befolyásolhatják az életmenet jellemzői is, hogy a környezeti tényezők változását kövessék. Például a Brit-szigetek növényfajai közül az egyévesek virágzási ideje jóval korábbra vált, mint az évelőké. E megfigyelés lehetséges magyarázata, hogy a rövidebb élettartamú fajok generációs ideje rövidebb, és emiatt a változó körülményekhez gyorsabban tudnak alkalmazkodni, hiszen a rövidebb generációs idő általában gyorsabb evolúciós folyamatokat jelent. Másfelől, a hosszú életű növényfajoknak nagyobb mértékű lehet a fenotipikus plaszticitása, amely a klímaváltozással összefüggő környezeti tényezők követését pontosabbá teheti, mint a rövid élettartamú fajok esetében. Mindezek alapján a növények fenológiai válaszait leginkább befolyásolhatják a megporzási típus, az éven belüli aktivitás ideje és az élettartam.

Elkészítettük az összes hazai közgyűjteményben (18 herbáriumban) található valamennyi orchideapéldány adatbázisát. A későbbi részletes elemzésekbe 39 olyan fajt tudtunk bevonni, amelyekből kellő mennyiségű példány létezett. Az adatsor az 1837 és 2009 között hazánkban gyűjtött, napra pontosan datált, virágzó állapotú 5424 példányon alapul, amelyeket 1980 és 2011 között tett 2071 terepi megfigyeléssel egészítettünk ki. Egy fajról átlagosan 66 évből vannak adataink, amelyek azonban átlagosan 154 éves időszakot fognak át.

Mikor nyílnak?

Már Darwin is felismerte, hogy a különböző fajok faszzerű rokonsági kapcsolatban állnak egymással: léteznek fajok, amelyek közelebbi rokonságban vannak egymással, mint másokkal. Két faj azonban nemcsak amiatt hasonlíthat egymásra, mondjuk a klímaváltozásra adott válaszában, mert hasonló tulajdonságaik vannak, hanem azért is, mert közeli rokonok. Emiatt vizsgálatainkban filogenetikai kontrollt alkalmaztunk, vagyis ellenőriztük, hogy a kapott eredmények nem csupán a hasonló viselkedést mutató fajok rokonságából adódnak-e.

A meteorológiai adatok elemzése alapján a vizsgált időszakban a január és május közötti hőösszeg szignifikáns emelkedését tapasztaltuk. Az 1960 utáni időszakban ez az érték átlagosan 1,749 Celsius-fokkal magasabb, mint 1960 előtt. Az egyetlen évszak, amelyben a hőmérséklet szignifikánsan emelkedett, a tél volt, míg a havi átlaghőmérséklet csak februárban és márciusban nőtt jelentősen.

A vizsgált 39 orchidea közül 31-nek (79 százaléknak) az átlagos virágzási dátuma előbbre került, 9 esetben statisztikailag szignifikáns mértékben. A fennmaradó 8 faj átlagos virágzási dátuma viszont későbbre tolódott, igaz, nem számottevő mértékben. Az összes taxon tekintetében az 1960 előtti időszak átlagos virágzási ideje 3 nappal korábbi, mint a legutóbbi



50 éves időszaké. Ugyanez az érték 7,7 nap a szignifikáns eltolódást mutató csoportoknál. A legjelentősebb mértékű klímaváltozást a majomkosbor (*Orchis simia*) mutatta, ez a faj átlagosan 13,9 nappal korábban virágzik 1960 óta, mint azt megelőzően.

Megtévesztők és naiv megporzók

A statisztikai analízisek alapján a megporzástípus, az élettartam és az átlagos virágzási idő van a legnagyobb befolyással a fenológiai válaszra, de – korábbi tanulmányoktól eltérően – a filogenetikai rokonságnak nincs jelentős hatása. A legfontosabb fenológiai változást a viszonylag korai virágzású, önmegporzó vagy megtévesztő megporzású és hosszú életű fajoknál találtuk.

Az önmegporzó fajok – amelyek függetlenek a megporzó rovaroktól – virágzási ideje tolódott előbbre a leginkább, míg a rovarmegporzó kosborfélék klímaváltozásának mértéke jelentősen függ a megporzós módjától. A megporzó rova-

roktól független önmegporzó fajok virágzási idejének változása tisztán az éghajlatváltozásra adott válaszként értékelhető. Ellenben a rovarmegporzású fajok közül a megtévesztők gyorsabban reagálnak az éghajlatváltozásra, átlagos virágzási dátumuk sokkal jelentősebb mértékben tolódott korábbra, mint a nektártermelőké. Utóbbiak – feltehetőleg a megporzókkal való kiterjedt kapcsolatrendszer miatt – kevésbé tudnak reagálni a klímaváltozásra.

A jelenség másik lehetséges magyarázata, hogy a megtévesztő fajok intenzíven versengenek a naiv megporzókért, ezért ezek várhatóan nagyon érzékenyek a környezet változásaira, hogy képesek legyenek szinkronizálni a virágzást az első megporzók megjelenéséhez, azokban az években is, amikor nagyon korán tavaszodik. Ennek eredményeként e fajok könnyebben követhetik az éghajlatváltozást, mint a nektárral jutalmazókat.

A klímaváltozás másik fontos előrejelzőjének az egyedek élettartamát találtuk. Ellentétben előzetes várakozásunkkal és a korábbi eredményekkel, a hosszú életű fajok virágzási ideje nagyobb mértékben tolódott előbbre, mint a rövid élettartamúaké. Ez arra utal, hogy a fenotípusos reakció valószínűleg nagyobb szerepet tölt be az orchideák klimatikus válaszában, mint a genetikai alapú evolúciós változások.

Az a tény, hogy nem találtunk filogenetikai jelet, az a klímaváltozás-változók esetében azt jelenti, hogy a klimatikus hatások a magyarországi orchideákban fajspecifikus válaszokat idéznek elő. Elemzéseink azt mutatják, hogy a virágzás ideje nem határozza meg jelentősen az orchideák klímaváltozását. Ez különösen azért érdekes, mert más vizsgálatok esetében a virágzási időt a fenológiai választ jelentősen befolyásoló tényezőnek találták.

Eredményeink szerint Magyarországon az önmegporzó vagy megtévesztő rovarmegporzású, hosszú élettartamú, korai virágzású orchideák (például a majomkosbor vagy a tornyos sisakoskosbor) követik a változó éghajlatot a legjobban. Ugyanakkor a későbbi virágzású, a megporzó rovarokat nektárral jutalmazó és rövid élettartamú fajok (mint a zöldike ujjkosbor) a megporzókkal való kiterjedt kapcsolatrendszer miatt nem vagy kevésbé markánsan válaszolnak ezekre a változásokra.

**Molnár V. Attila, Tökölyi Jácint,
Végvári Zsolt, Sramkó Gábor,
Sulyok József, Barta Zoltán**

Képek: **Wikipedia**
(Élet és Tudomány – 2012/37 sz.)