



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**VADON ÉLŐ NÖVÉNYFAJOK *EX SITU* FENOLÓGIAI VIZSGÁLATA,  
ILLETVE AZ ADATOK ÖSSZEVETÉSE HAZAI ÉS NEMZETKÖZI  
ADATSOROKKAL**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Verbényiné Neumann Krisztina  
Gödöllő**

**2024**

## A doktori iskola

**megnevezése:** Környezettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Környezettudományok

**vezetője:** Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika  
az MTA doktora, egyetemi tanár, DSc  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Környezettudományi intézet,  
Talajtani Tanszék

**Témavezető:** Prof. Dr. Czóbel Szilárd Endre  
egyetemi tanár, PhD  
Szegedi Tudományegyetem, Mezőgazdasági Kar,  
Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet



.....  
Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
Prof. Dr. Czóbel Szilárd Endre  
A témavezető jóváhagyása

---

## 1. A munka előzményei, célkitűzések

---

A klímaváltozás komoly hatással van a földi életközösségekre (Peñuelas et al. 2017), ez a hatás Európa élővilágát is érinti (Begum et al. 2022). Kontinensünkön 2080-ra az edényes növényfajok több mint fele válhat veszélyeztetetté e hatások következtében (Thuiller et al. 2005). A klímaváltozás tehát beláthatatlan következményekkel bír ökoszisztémáinkra nézve. Korunkban az ökológia egyik fő célja annak előrejelzése, hogy a fajok és az ökoszisztémák hogyan reagálnak az éghajlatváltozásra. A fenológia a ciklikus biológiai folyamatokat, azok kiváltó és befolyásoló (biotikus és abiotikus) tényezőit, valamint az azonos vagy különböző fajok fenofázisai közötti kölcsönhatásokat vizsgáló tudomány (Lieth 1974). A növényfajok fenológiája érzékeny a klímaváltozásra, így jó indikátora annak (Sparks & Menzel 2002, Cleland et al. 2007, Schwartz 2013, Peñuelas et al. 2017). A fenológiai vizsgálatok mára előkelő helyet foglalnak el a globális klímaváltozás kutatásában, köszönhetően annak, hogy az így nyert eredményekkel lehetséges előrejelezni a ciklikus jelenségek bekövetkeztének idejét (Morellato et al. 2016). A klímaváltozás fenológiai modelleken keresztüli előrejelzésének lehetőségei azonban még mindig igen korlátozottak (Zhao et al. 2013), így nagyon nagy szükség van a további kutatásokra.

Bár fenológiai kutatásokat már az ókor óta végeztek (Schwartz 2013), jelentőségük akkor nőtt meg igazán, amikor a XX. században a klímaváltozás ténye és hatásai egyre nyilvánvalóbbá váltak (Chmielewski et al. 2013). A fenológiai kutatások száma az 1990-es évek óta rohamosan nő (Chmielewski et al. 2013, Piao et al. 2019), számuk az *app.dimensions.ai* tudományos publikációkat figyelő oldal (Dimensions Software 2018-) adatai szerint az utóbbi négy évtizedben többször megduplázódott, legutóbb az utóbbi 8 évben. A fenológiai témájú tudományos cikkek száma 2022-re meghaladta a 2700-at.

A világszerte végzett fenológiai kutatások többsége nem követi nyomon a vizsgált egyedek teljes éves fenológiai ciklusát (Katal et al. 2022), mivel utóbbit sokkal nehezebb vizsgálni, mint más, egyszeri adatfelvételezést igénylő növényi jellegeket (Wolkovich et al. 2014). Általánosságban véve a legtöbb fenológiai kutatás a fásszárúakra és a gazdaságilag hasznosított növényekre fókuszál (Katal et al. 2022, Horbach et al. 2023). Annak ellenére, hogy becslések szerint a világ növényfajainak több mint 50%-a (FitzJohn et al. 2014) és a mérsékelt égövi ökoszisztémák növényfajainak 85%-a nem fásszárú (Ellenberg 1996), a fenológiai kutatások, különösen a lombhullással és a levelek szenescenciájával kapcsolatban, hagyományosan a fákra és a cserjékre vagy a haszonnövényekre összpontosítottak (Chmielewski & Rötzer 2001, Vitasse et al. 2011, Panchen et al. 2014, 2015). A különböző életformák fenológiai mintázatának a környezeti hatásokra adott válaszai meglepően kevés kutatás tárgyát képezték.

A Kárpát-medence különösen érzékeny a klímaváltozás hatásaira (Pongrácz et al. 2009, Gálos et al. 2011, Hlásny et al. 2014, Antofie et al. 2015), így különösen fontos lenne fenológiai kutatásokat végezni a térségben. Ennek ellenére hazánkban nem sok fenológiai kutatás történt (Walkowszky 1998, Eppich et al. 2009, Szabó et al. 2016, Templ et al. 2017). Az Országos Meteorológiai Szolgálat által a XX. század második felében működtetett országos fenológiai adatgyűjtő hálózat is sajnálatos módon megszűnt (Hunkár et al. 2012). Magyarország egyetlen botanikus kertje sem csatlakozott eddig a nemzetközi fenológiai adatgyűjtő hálózatokhoz, így hazánkban jelenleg semmilyen szervezett keretek között végzett, összehasonlításra is alkalmas fenológiai adatgyűjtés nem történik.

Hazánkban tudomásom szerint ez idáig nem készült a Raunkiaer-féle életforma-osztályozás szerinti különböző életformákhoz tartozó, vadon élő fajok teljes éves ciklusát több éven át figyelemmel kísérő összehasonlító *ex situ* fenológiai kutatás. A kísérlet beállítása hazai viszonylatban szintén újszerű volt.

Általánosan elfogadott nézet, hogy a városi éghajlati viszonyok a változó globális éghajlati viszonyokhoz hasonlónak tekinthetők; ezért sok kutató az urbanizált területeket a globális klímaváltozás kis léptékű kísérleteiként vagy modelljeként tanulmányozza (Ziska et al. 2003). Ez lehetőséget ad a tér-idő helyettesítés („*space for time substitution*”) módszerének (Pickett 1989)

alkalmazására, melyben előrejelezzük a klímaváltozás fenológiára gyakorolt esetleges jövőbeli hatásait (Rötzer et al. 2000, White et al. 2002, Christmann et al. 2023). Az összehasonlító kutatásom számára kiválasztott két helyszín egyaránt egy-egy város területén található, azonban míg a budapesti helyszín egy sűrűn, többemeletes épületekkel beépített, forgalmas városi környezetben található, a gödöllői helyszín az egyetem kampuszának gyéren beépített területén, négyhektáros botanikus kertben, természetes erdőfolt közvetlen szomszédságában, és a tájvédelmi körzethez tartozó erdő közelében található. A budapesti helyszínen így érvényesül a nagyvárosi hőtöbblet hatása. Mivel a kutatások alapján a hőmérséklet tűnik a növények fenológiájára legjobban ható tényezőnek (pl. Cleland et al. 2007, Peñuelas et al. 2009), a fentieket figyelembe véve a kísérlet számára kiválasztott gödöllői és budapesti helyszín közti fenológiai eltéréseket részben tekinthetjük a jövőben várható fenológiai változásoknak.

A két eltérő mezoklimatikus kísérleti helyszínen a – lehetőség szerint – fajokként genetikailag azonos egyedeket – a meteorológiai paraméterek hatásának elkülöníthetőségét zavaró egyéb paraméterek minél hatékonyabb kizárása érdekében – azonos protokoll szerint helyeztem ki és gondoztam. Az adatgyűjtés heti rendszerességgel, szintén azonos protokoll szerint, a két helyszínen lehetőség szerint azonos napon történt. A kísérlet beállítása a nemzetközi fenológiai hálózatok állomásain alkalmazott protokollnak megfelel. Kutatásom tehát hiánypótlónak tekinthető. Jelen munkával a nemzetközi sztenderdeknek megfelelő, összehasonlító fenológiai kutatások fontosságára szeretném felhívni a hazai szakmai közönség figyelmét.

A fentiek alapján a következő célokat tűztem ki.

1. A Raunkiær-féle életforma-osztályozás hat életformájának (mikrofanerofiton, chamefiton, hemikriptofiton, geofiton, hemiterofiton, terofiton) életformáinként öt-öt, lehetőleg hazánkban őshonos, vadon élő fajának, két eltérő mezoklimatikus helyszínen három éven át tartó összehasonlító fenológiai vizsgálata.
2. *Ex situ* kísérlet beállítása két különböző mezoklimatikus helyszínen, a klimatikus tényezőket befolyásoló egyéb zavaró tényezők lehető legnagyobb mértékű kizárásával. Ennek érdekében a fajonkénti lehető legnagyobb genetikai azonosság szem előtt tartása, azonos talajkeverék alkalmazása, azonos méretű cserepek használata és azonos öntözési protokoll követése.
3. Adatgyűjtés a vizsgálatba vont fajok lehető legtöbb fenofázisáról a teljes naptári év során.
4. A fenológiai eltérések klimatikus paraméterekkel való összevethetősége érdekében az *ex situ* kísérlet helyszíneire meteorológiai állomások telepítése és meteorológiai adatok (hőmérséklet, csapadék, relatív páratartalom, légnyomás, szélerősség, napsugárzás és szélerősség adatainak) gyűjtése.
5. Rögzíteni a vizsgált fajok fenológiájának alakulását fenofázisonként, helyszínenként, valamint ezek alapján megállapítani a vizsgált életformák fenofázisonkénti fenológiai érzékenységét.
6. Rögzíteni a vizsgált fajok és életformák fenológiai mintázatában tapasztalható évenkénti eltéréseket a két eltérő mezoklimájú helyszínen.
7. Megállapítani a vegetációs időszak hosszának helyszínenkénti alakulását.

Fontos megjegyezni, hogy ugyan a kísérleti növényanyag beszerzésénél törekedtünk a fajonkénti lehető legnagyobb genetikai azonosság biztosítására, a különböző fajok nem azonos helyszínről kerültek a kísérletbe, így a fenológiai megfigyeléseknél csak a nevelési helyszín hatását vettük figyelembe, a származási helyszín hatásának figyelembe vétele nem volt a kísérlet célja.

---

## 2. Anyag és módszer

---

Az összehasonlító kísérlet két helyszínéül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Botanikus Kertjét továbbiakban MATE (Gödöllő, 47°35'36.2"N 19°22'06.2"E, 250 m tszf. magasság /Szirmai 2014/), valamint az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fűvészkertjét továbbiakban ELTE Fűvészkert, illetve Fűvészkert (Budapest, 47°29'05.6"N 19°05'05.7"E, 114 m tszf. magasság /Orlói 2019/) választottam. Mindkét helyszínen a kísérletben résztvevő 34 növényfaj, helyszínenkénti öt-öt ismétlését lehetőség azonos kitétséggű parcellákban helyeztem el. A vizsgált növényfajok nevezéktana, valamint életforma besorolása az Új Magyar Fűvészkönyvet (Király 2009) követi a disszertációban.

A MATE Botanikus Kert az Észak-Magyarországi-középhegység nagytáj, Cserhát-vidék középtájának Gödöllői-dombság kistájában (6.3.51) helyezkedik el. A terület mérsékelten meleg-száraz, az évi középhőmérséklet 9,7-10 °C, az évi átlagos napfénytartam 1950 óra, nyáron 780-790, télen 190 óra napsütés várható. Az évi átlagos csapadék 540-580 mm (Dövényi et al. 2008). A kísérleti helyszín általunk mért évi középhőmérséklete (2020., 2021. és 2022. átlaga) 11,35 °C volt. Az ELTE Fűvészkert a Nagyalföld nagytáj, Duna menti síkság középtáj, Pesti-hordalékkúp-síkság kistájában (1.1.12.) helyezkedik el, mely mérsékelten meleg, száraz éghajlatú terület. Az évi középhőmérséklet 10,2-10,6 °C. Az évi átlagos napfénytartam 1910-1940 óra, nyáron 770-780, télen 180 óra napsütés várható. Az évi átlagos csapadék 520-550 mm (Dövényi et al. 2008). A kísérleti helyszín általunk mért évi középhőmérséklete (2020., 2021. és 2022. átlaga) 13,16 °C volt.

Az említett két helyszínen kialakított kísérleti parcellákba a Raunkiær-féle életforma osztályozás (Raunkiær 1934, Turcsányi 1998, Király 2009) hat életformájának – (mikro)fanerofiton, chamefiton, hemikriptofiton, geofiton, hemiterofiton, terofiton –, életformánkénti öt fájának (1. táblázat), helyszínenkénti öt-öt megfigyelési egysége került elhelyezésre. A megfigyelési egységek azonos méretű műanyag cserepek voltak, melyek az adott faj minimum egy egyedét tartalmazták. A kísérleti növények kiválasztásánál törekedtem a fajonkénti lehető legnagyobb genetikai azonosságra. A fásszárúak fajonként klonálisan azonosak, a magról vetett fajok magjait egy növényről gyűjtöttem be, a további években az ezekből származó egyedek magjait használtam, a többi életformánál pedig a példányok fajonként egy helyről kerültek a kísérletbe, szaporításuk kertészetben, vegetatív úton történt. A szaporítás módszeréből adódóan a kertészetben szaporított növényegedek genetikai azonossága is biztosított volt.

A cserepekben elhelyezett kísérleti növények túlélése csak kiegészítő öntözés mellett volt biztosítható. A kísérletben használt talajkeverék vizsgálata alapján elmondható, hogy a kísérletben használt talajkeverék nem szennyezett, jó tápanyagellátottságú, 3% feletti humusztartalmú, homokos vályog (AK 34) talaj, mely a növények számára összességében megfelelő.

2020 novemberében mindkét kísérleti helyszínre meteorológiai állomást telepítettem. A meteorológiai adatok az ezt megelőző időszakból az Országos Meteorológiai Szolgálat meteorológiai állomásairól származtak. Az évi átlaghőmérsékleteket tekintve, a budapesti helyszínen mért hőmérséklet mindhárom vizsgált évben magasabb volt. A három év összesített átlaghőmérsékletének helyszínenkénti különbsége 1,81 °C. Ezt az értéket használtam fel a kísérleti növények (fajok és életformák) fenológiai érzékenységének megállapításakor. A fenológiai kutatásokban fontos mérőszám a fenológiai érzékenység, mely azt mutatja meg, hogy 1 °C hőmérséklet-változás mellett hány nappal tolódik el az adott fenológiai esemény (Cleland et al. 2012, Wang et al. 2015). A negatív érték korábbra tolódást, a pozitív érték későbbre tolódást jelez.

Az évi átlagos páratartalom mindkét évben magasabb volt a gödöllői helyszínen, annak ellenére, hogy mind 2021-ben, mind 2022-ben kevesebb csapadék hullott ott mint a budapesti helyszínen.

1. táblázat: A kísérletben résztvevő növényfajok életforma szerinti csoportosításban

<b>Fanerofitonok</b>	<b>Chamefitonok</b>	<b>Hemikriptofitonok</b>
<i>Cornus sanguinea</i> L.	<i>Dianthus plumarius</i> L.	<i>Euphorbia epithymoides</i> L.
<i>Prunus spinosa</i> L.	<i>Sedum album</i> L.	<i>Ajuga reptans</i> L.
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	<i>Vinca minor</i> L.	<i>Inula ensifolia</i> L.
<i>Cerasus fruticosa</i> Pall.	<i>Thymus vulgaris</i> L.	<i>Sedum acre</i> L.
<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	<i>Cerastium tomentosum</i> L.	<i>Briza media</i> L.
<i>Amygdalus nana</i> L.	<i>Globularia cordiflora</i> L.	
<i>Rosa spinosissima</i> L.		
<b>Geofitonok</b>	<b>Hemiterofitonok</b>	<b>Terofitonok</b>
<i>Iris pumila</i> L.	<i>Daucus carota</i> ** L.	<i>Hibiscus trionum</i> L.
<i>Polygonatum multiflorum</i> L.	<i>Dipsacus pilosus</i> ** L.	<i>Solanum nigrum</i> L.
<i>Convallaria majalis</i> L.	<i>Dipsacus laciniatus</i> ** L.	<i>Silene alba</i> Mill.
<i>Galanthus nivalis</i> * L.	<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	<i>Portulaca oleracea</i> L.
<i>Eranthis hyemalis</i> * L.	<i>Malva sylvestris</i> ** L.	<i>Consolida regalis</i> Gray
		<i>Papaver rhoeas</i> L.

\* az első év várható virágzási időszaka után kerültek a kísérletbe, így a virágzásuk csak 2021. évtől került feljegyzésre

\*\* életformájukból adódóan az első évben virágzás nem történt

A fenológiai adatgyűjtésre heti rendszerességgel került sor, mindkét helyszínen lehetőség szerint azonos napon. A vizsgált fenofázisok a következők voltak: rügyfakadás, bimbózás kezdete, virágzás kezdete, virágzás vége, termésképzés, lombszíneződés kezdete, lombhullás ill. szenescencia kezdete és a teljes lombhullás ill. teljes szenescencia, teljes visszahúzódás bekövetkezte. Kiegészítésképpen egyes életformák esetében rögzítettem az egyedek magasságát, valamint a fásszárúak esetében a levélfejlődést és a törzsátmérőt is.

Az adatok rögzítése, tárolása és alapvető rendezése, előkészítése a Microsoft Excel 365 online verziójával készült, a statisztikai elemzések pedig az ingyenesen használható R statisztikai környezet 4.2.2 verziójának (R Core Team, 2022) segítségével az Rstudio szkriptszerkesztő programmal (RStudio Team 2015) készültek. A év napjainak sorszáma és a fenológiai esemény bekövetkeztének helyszínenkénti kapcsolatát egyutas varianciaanalízissel (ANOVA-val) állapítottuk meg, I-es típusú (szekvenciális) négyzetösszegek használatával, 0,05% – os szignifikanciaszint mellett (Zar 1984).

---

### 3. Eredmények

---

A vizsgált fenológiai eseményekről általánosságban elmondható, hogy a várakozásoknak megfelelően alakultak, összhangban voltak a korábbi kutatások eredményeivel (Chmielewski & Rötzer 2001, Fitter & Fitter 2002, Menzel et al. 2006, Wolkovich et al. 2012, 2014, Gallinat et al. 2015, Gill et al. 2015, Zhang et al. 2015, Zohner & Renner 2018, Piao et al. 2019). A bimbók megjelenése, a virágzás kezdete (első virág megjelenése) és a termések megjelenése a hat életformára nézve átlagosan a magasabb átlaghőmérsékletű budapesti helyszínen következett be korábban, míg a vegetációs időszak végét jelző teljes szenescencia állapota (különböző fajok és vagy életformák esetében: teljes lombhullás, teljes levélhullás és teljes szenescencia) az alacsonyabb átlaghőmérsékletű gödöllői helyszínen történt korábban.

A fásszárúak esetében a rügyfakadás a hét vizsgált fajból hat faj esetében mindhárom vizsgált évben a magasabb átlaghőmérsékletű budapesti helyszínen következett be hamarabb. A vizsgált cserjefajok rügyfakadásának összes átlagos fenológiai érzékenysége  $-3,87 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , mely hasonló érték az eddig publikált kutatási eredményekkel (Menzel & Fabian 1999, Chmielewski & Rötzer 2001, Menzel et al. 2006). A virágzás kezdetét tekintve a fásszárúak fenológiai érzékenysége  $-6,24 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , mely összhangban áll a korábbi kutatások eredményeivel (pl. Chmielewski & Rötzer 2001, Schieber et al. 2009, Morin et al. 2010, Chitu et al. 2020, Vander et al. 2022a, 2022b). A vizsgált életformák közül a fásszárúak virágzásának kezdete mutatta a jelentősebb előretolódást, így a virágzás kezdetét tekintve a fásszárúak fenológiai érzékenysége a legnagyobb. A lombosodás kezdetének és a lombhullás végének fenológiai érzékenysége hasonló, az előbbie  $3,73 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , míg az utóbbié  $3,96 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ . Ez illeszkedik a korábbi kutatások eredményéhez, hiszen a legtöbb kutatás kimutatta, hogy a magasabb hőmérséklet hatására az őszi fenofázisok későbbre tolódnak (pl. Menzel & Fabian 1999, Menzel et al. 2006, Schieber et al. 2009, Ibañez et al. 2010, Gill et al. 2015, Zhang et al. 2015, Vander et al. 2022a, 2022b, Xing et al. 2022), fenofázisok fenológiai érzékenységük azonban a tavaszi fenofázisokhoz képest kisebb (Menzel et al. 2006, Piao et al. 2019). A lombhullás végének időpontjából a rügyfakadás időpontját kivonva kiszámítottam a vegetációs időszak hosszát. A vegetációs időszak átlagos hossza ez alapján Gödöllőn 243,81 nap, míg Budapesten 257,65 nap volt. Tehát a várakozásoknak megfelelően a magasabb átlaghőmérsékletű budapesti helyszínen hosszabb volt. A különbség átlagosan 13,84 napot tett ki, mely alapján a vegetációs időszak hosszának fenológiai érzékenysége  $7,65 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ . Chmielewski és Rötzer (2001) fásszárúak esetében az 1969–1998 közötti időszakra  $5 \text{ nap}/1^\circ\text{C}$  fenológiai érzékenységet mutatott ki.

Érdekes jelenség, hogy az őszi fenofázisok, bár később következtek be a magasabb átlaghőmérsékletű budapesti helyszínen, az évek alatt összességében mégis mindkét helyszínen jelentős korábbra tolódást mutattak, mely a vegetációs időszak évek alatti rövidülését hozta magával. Ezzel együtt a rügyfakadás bár szintén a várakozásoknak megfelelően mindhárom évben a magasabb átlaghőmérsékletű helyszínen következett be korábban, az évek alatt meglepő módon mindkét helyszínen későbbre tolódott. Több kutatásban is azt tapasztalták, hogy a megváltozott tavaszi és nyári hőmérséklet hatása ellensúlyozza az őszi hőmérséklet szenescenciára gyakorolt hatását, tehát az őszi fenofázisok a magasabb őszi hőmérséklet ellenére korábbra tolódnak (Liu et al. 2019, Chen et al. 2020).

A vizsgált életformákkal kapcsolatban általánosságban elmondható, hogy a lágyszárú életformák esetében nagyobb fajok közti és fajon belüli szórás, mint a fásszárúak fenológiájánál (Horbach et al. 2023), mely tendencia a kísérletemben is megmutatkozott.

A geofitonok esetében a virágzás kezdetének összesített átlagos fenológiai érzékenysége  $-2,01 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , mely összhangban áll a korábbi kutatások eredményeivel (Renner et al. 2021). A virágzás vége (utolsó időpont, amikor virágok voltak észlelhetőek az adott fajnál) esetében nem volt megfigyelhető egyértelmű trend. A *Galanthus nivalis*, *Eranthis hyemalis* és *Polygonatum multiflorum* esetében később történt meg az alacsonyabb átlaghőmérsékletű gödöllői helyszínen, míg az *Iris pumila* és a *Convallaria majalis* esetében a budapesti helyszínen történt meg később.

A fajok szeneszcenciáját tekintve a teljes visszahúzódnak a két korai, hidegkedvelő faj (*Galanthus nivalis*, *Eranthis hyemalis*) esetében a magasabb átlaghőmérsékletű budapesti helyszínen korábban következett be, míg a későbbi, tavaszi fajok (*Convallaria majalis*, *Polygonatum multiflorum*) esetében a teljes visszahúzódnak az alacsonyabb átlaghőmérsékletű gödöllői helyszínen következett be hamarabb.

A terofitonok esetében a virágzás kezdete minden olyan fajnál, ahol megfelelő mennyiségű adat állt rendelkezésre az összehasonlításhoz, a budapesti helyszínen következett be korábban. A fenofázis fenológiai érzékenysége  $-5,38 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , mely jelentősen nagyobb érték a korábbi kutatások során megállapított értékeknél (Renner et al. 2021). Bár a terofitonok virágzásának fenológiai érzékenysége a fanerofiták és a chamaefiták után a harmadik legnagyobb a vizsgált életformák közül, a lágyszárúak közül pedig a második helyen áll, Fitter és Fitter (2002) megállapítása, miszerint az egyéves fajok virágzásának előretolódása jelentősebb, mint az évelőké, csak a hemikriptofitonokkal és a geofitonokkal való összehasonlításban állja meg a helyét. Annak ellenére, hogy a szeneszcencia kezdeténél és a teljes szeneszcencia állapotának elérésénél a fajok eltérő módon (eltérő irányban és mértékben) reagáltak, összességében mindkét fenofázis esetén megállapítható, hogy a fenofázisok az alacsonyabb átlaghőmérsékletű gödöllői helyszínen következtek be korábban.

A hemiterofitonok esetében a tavaszi fenofázisok a budapesti helyszínen következtek be korábban, a szeneszcencia kezdete szintén, míg a teljes szeneszcencia állapotát a gödöllői helyszínen érték el korábban. A virágzás kezdetének fenológiai érzékenysége  $-4,77 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , mely érték a szakirpdalmi adatokkal összeeseng (Menzel et al. 2006, Renner et al. 2021). A terofitonokhoz hasonlóan ennél az életformánál is gondot jelentett a sikertelen vetés, az egyedek pusztulása, és az életformájukból adódóan a hiánya az első évben. Ebből kifolyólag kevés volt a felhasználható adat.

A hemikriptofitonok virágzásának kezdete a fajok között eltérő módon alakult, ellentétes trendek és eltérő mértékű eltolódás volt megfigyelhető. Az ellentétes trendek következtében a fenofázis fenológiai érzékenysége igen alacsony, mindössze  $-0,47 \text{ nap}/^\circ\text{C}$  volt. Az őszi szeneszcencia esetében szintén a fajok közti ellentétes irányú és jelentősen eltérő mértékű eltolódás volt jellemző.

A chamaefitonok esetében kevés volt megfigyelhető fenofázis, csak a reprodukív fenológiai eseményeket lehetett rögzíteni. A virágzás kezdete mind az öt vizsgált esetén a bimbózás a budapesti helyszínen következett be korábban. A különbség négy faj esetében volt szignifikáns. A virágzás kezdetének fenológiai érzékenysége  $-5,86 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ , mely a fásszárúak fenológiai érzékenysége után a legnagyobb érték.

Az összes vizsgált életformát tekintve a virágzás kezdetének átlagos fenológiai érzékenységéhez ( $-4,12 \text{ nap}/^\circ\text{C}$ ), mely összhangban van a korábbi kutatások eredményeivel (Menzel et al. 2006, Renner et al. 2021).

Neil és Wu (2006) városi környezet fenológiára gyakorolt hatásait célzó kutatásai szerint a hőmérséklet tűnik a növények fenológiájára legjobban ható tényezőnek. Ilyen szempontból kísérletünkre is alkalmazhatóak a megállapításaik. Fitter és Fitter (2002) eredményeihez hasonlóan Neil és Wu (2006) is arra jutott, hogy a rovarmegporzású, a kora tavaszi virágzású, az egyéves, a rövid-életű és a lágyszárú fajok fenológiájára erősebben hat a városi környezet. Ezen eredményeket kísérletem csak részben igazolta.

Összességében elmondható, hogy a klímaváltozásra a különböző fajok (Root et al. 2003; König et al. 2018) és funkciós csoportok eltérően reagálnak (Lavorel & Garnier 2002, Ibañez et al. 2020), mely kísérletemben is megmutatkozott.



---

#### 4. Következtetések és javaslatok

---

A fenológiai kutatások többsége nem követi nyomon a vizsgált egyedek teljes éves fenológiai ciklusát (Katal et al. 2022). A legtöbb kutatás egyes fenofázisokat céloz meg, legtöbbször a virágzás kezdetét, vagy legfeljebb a reproduktív fenológiai eseményeit vizsgálja (pl. Menzel et al. 2006, Sherry et al. 2007) Ilyen szempontból jelen munka hiánypótló, hiszen három vegetációs időszakon át követtem hat életformához tartozó 33 faj szinte az összes mérhető fenofázisának alakulását. Tettem ezt két eltérő mezoklimatikus helyszínen, mely lehetővé tette az összehasonlításokat.

Általánosan elfogadott nézet, hogy a városi éghajlati viszonyok a változó globális éghajlati viszonyokhoz hasonlóan tekinthetők; ezért sok kutató az urbanizált területeket a globális klímaváltozás kis léptékű kísérleteiként vagy modelljeként tanulmányozza (Ziska et al. 2003). Ez lehetőséget ad a tér-idő helyettesítés („*space for time substitution*”) módszerének (Pickett 1989) alkalmazására, melyben előrejelezzük a klímaváltozás fenológiára gyakorolt esetleges jövőbeli hatásait (Rötzer et al. 2000, White et al. 2002, Christmann et al. 2023). Park és mtsai (2023) szerint az urbanizációra adott fenológiai válaszok feltárására szolgáló modellek, amelyek kizárólag a hőmérséklettel való kölcsönhatásra összpontosítanak, valószínűleg túlságosan leegyszerűsítettek. Ki kell emelni azonban, hogy a kutatások alapján a hőmérséklet tűnik a növények fenológiájára legjobban ható tényezőnek (Cleland et al. 2007, Peñuelas et al. 2009, Chuine 2010, Szabó et al. 2016). Számos kutató (Zhang et al. 2004, Neil & Wu 2006, Jochner & Menzel 2015, Lahr et al. 2018, Christmann et al. 2023) szerint a városi környezet bár nem tökéletes modellkörnyezet, de több jellemzője – megemelkedett hőmérséklet és CO<sub>2</sub>-koncentráció, valamint egyre súlyosbodó szárazságok – miatt alkalmas a növények klímaváltozásra adott jövőbeli válaszainak kutatására. Esetemben mindkét helyszín egy-egy város területén található, azonban míg a budapesti helyszín egy sűrűn, többemeletes épületekkel beépített, forgalmas városi környezetben található, a gödöllői helyszín az egyetem kampuszának gyéren beépített területén, négyhektáros botanikus kertben, természetes erdőfolt közvetlen szomszédságában, és a tájvédelmi körzethez tartozó erdő közelében található. Mivel mindkét helyszínen van közvilágítás, így a mesterséges fény jelenléte nem torzítja a hőmérséklet és egyéb tényezők hatását. A fentieket figyelembe véve a gödöllői és budapesti helyszín közti fenológiai eltéréseket részben tekinthetjük a jövőben várható fenológiai változásoknak. A pontosabb előrejelzéshez természetesen számos további számításra és hasonló, minél hosszabb távú kísérletek elvégzésére is szükség van. A jövőben beállítandó kísérleteknél mindenképp fontos szempont, hogy az összehasonlíthatóság érdekében minden kísérleti helyszínen a nemzetközi sztenderdeknek megfelelő *ex situ* kísérlet legyen beállítva.

Ahhoz, hogy a jövőben hasonló kutatásokat lehessen végezni, javasolt a MATE Botanikus Kertjébe és az ELTE Fűvészkertjébe állandó jelleggel, a sztenderdeknek megfelelő, több meteorológiai paramétert monitorozó, megbízható, folyamatos adatszolgáltatást biztosító meteorológiai állomásokat telepíteni.

A kísérlet három éve alatt hasznos tapasztalatokat gyűjtöttem az ilyen jellegű kutatásokban felhasználható életformák és fajok alkalmazhatóságával kapcsolatban. A legtöbb fenofázist a fanerofitonok esetében sikerült rögzíteni. A fásszárúak gondozása bizonyult a legegyszerűbbnek, nem vagy csak minimális gyomlálást igényeltek, az öntözésen kívül szinte semmilyen gondozást nem igényeltek. Hosszú élettartamuk miatt alkalmasak hosszú távú kísérletekben való részvételre, a sarjképző fajok alkalmazásával lehetséges több helyszínen genetikailag azonos egyedek vizsgálata. Mivel a legtöbb fenológiai kutatás fásszárúakkal kapcsolatban történt, a fásszárúakkal végzett kísérletek adatai jól összehasonlíthatóak. Több évtizedes tapasztalatok alapján jól kiforrott nemzetközi protokollok (pl. IPG kertek) léteznek, mely még jobban megkönnyíti az összehasonlíthatóságot. A fásszárúak fenológiai kísérletekben való alkalmazásának egyetlen hátránya, hogy a csemete korban kihelyezett egyedek az első egy-két évben nem vagy csak nagyon kevés virágot hoznak, a vegetatív fenofázisok azonban már ekkor is kiválóan megfigyelhetőek. Összességében elmondható, hogy a befektetett energia és

megtérülés arányában a fanerofitonok alkalmazása bizonyul a legjobb döntésnek. A geofitonok a második legjobban kutatott életforma, fajaik évelők, a kísérletben is számos fenofázisukat sikerült rögzíteni, azonban gondozásuk több figyelmet igényel mint a fászfárúak esetében. A rendszeres öntözésen kívül gyomlálást igényeltek, ennek ellenére több faj több egyede elpusztult, az életben maradt egyedek pedig a közvetlen napfényt nem viselték jól. Az egyedek pusztulása és kondíciójuk romlása az *Eranthis hyemalis* és a *Galanthus nivalis* esetében már az adatgyűjtést és összehasonlíthatóságot is nagyban akadályozta illetve lehetetlenné tette. A hemikriptofitonok szintén öntözést és gyomlálást igényeltek, fajaik évelők, így többéves megfigyelésekre alkalmasak, a reproduktív fenofázisokon kívül a szeneszcencia is megfigyelhető volt esetükben. A *Sedum acre* egyedei egyik helyen sem érezték jól magukat, mindhárom évben mindkét helyszínen a virágzást követően elpusztultak, az *Ajuga reptans* egyedei közül pedig a budapesti helyszínen csak egy érte meg a harmadik év végét. Az életforma alkalmazását javaslom, főleg az *Euphyorbia epithymoides* és az *Inula ensifolia* fajokét, melyeknél a szeneszcencia is jól megfigyelhető. A *Briza media* is mindkét helyszínen jól érezte magát és mindhárom évben virágzott és magot hozott, azonban az őszi szeneszcencia jeleit csak részben mutatta (részleges levélszíneződés). Ezen kívül a harmadik évre láthatóan kinőtte a cserepeket, a szabadba való kiültetése után rohamosan fejlődni kezdett, tehát ha még egy évig tartott volna a kísérlet, nem biztos, hogy virágzott volna, vagy ha igen, nem biztos, hogy a helyszínek és/vagy évek közti különbséget a meteorológiai paraméterek okozták volna. A chamefitonok szintén öntözést és gyomlálást igényeltek, fajaik évelők, így többéves megfigyelésekre alkalmasak. Azt leszámítva, hogy a *Dianthus plumarius* egyedekből mindkét helyszínen pusztultak az évek során, Gödöllőn csak egyetlen egyed érte meg a kísérlet végét, az életforma fajtái jól teljesítettek, mindhárom évben mindkét helyszínen virágoztak, és a *Dianthus plumarius*on kívüli többi faj láthatóan jól érezte magát, terjedt, stb. Az életforma hátránya, hogy a fajok csak a virágzás megfigyelésére voltak alkalmasak. A magról vethető egy- és kétéves fajok kísérletben való alkalmazása az öntözésen és gyomláláson kívül értelemszerűen az évenkénti magfogást és vetést igényelte. Így az évelő fajokkal szemben az energia- és időráfordításon kívül még egy hátrány jelentkezik; a szigorúan vett genetikai azonosság nem tud érvényesülni. Ezen kívül a kétéves fajok nagy valószínűséggel az első évben nem hoznak virágot. A kísérletben azt tapasztaltam, hogy bár elvileg az összes vegetatív és reproduktív fenofázis megfigyelhető rajtuk, a valóságban nagyon sok egyed elpusztult, az életben maradt egyedek is a természetben előfordulóakhoz képest sokkal kisebbek, satnyábbak voltak. A fenti okok miatt magról vethető fajok fenológiai *ex situ* kísérletben való alkalmazását nem javaslom. A ráfordítás-megtérülés arány alapján a leginkább javasolt a fanerofitonok alkalmazása, ezt követi a hemiterofiták és geofitonok alkalmazása, a chamefitonok alkalmazása, végül a terofitonok és hemiterofitonok következnek.

A Kárpát-medence különösen érzékeny a klímaváltozás hatásaira (Pongrácz et al. 2009, Gálos et al. 2011, Hlásny et al. 2014, Antofie et al. 2015,), így különösen fontos fenológiai kutatásokat végezni a térségben. A fenológiai vizsgálatok mára előkelő helyet foglal el a globális klímaváltozás kutatásában, köszönhetően annak, hogy az így nyert eredményekkel lehetséges előrejelezni a ciklikus jelenségek bekövetkeztének idejét (Morellato et al. 2016). Ezen eredmények felhasználása a természetvédelem tervezésében azonban sajnos még gyerekcipőben jár (Morellato et al. 2016). A fentiek alapján javaslom az ország minél több pontján hosszú távú fenológiai megfigyelésre szolgáló *ex situ* kísérlet beállítását, és az eredmények felhasználását a természetvédelemben, például restaurációs ökológiai projektek tervezése vagy természetvédelmi kezelési tervek kidolgozása során.

Tekintve, hogy hazánk egyetlen egy a nemzetközi fenológiai hálózatokhoz (IPG, PhenObs, stb.) csatlakozott botanikus kerttel sem képviselteti magát, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálat által működtetett fenológiai megfigyelő hálózat is több mint húsz évvel ezelőtt megszűnt, égető szükség lenne egy vagy több a nemzetközi sztenderdeknek megfelelő, tehát összehasonlíthatóságokra és hosszú távú fenológiai megfigyelésekre alkalmas állomás létrehozása. Mivel egy független, kizárólag erre a célra létrehozott hálózat működtetése igen költséges,

valamint a nemzetközi hálózatok tagállomásai is botanikus kertekben működnek, javaslom a kísérletem helyszínéül szolgáló két egyetemi botanikus kert, a MATE Botanikus Kert és az ELTE Fűvészkert IPG hálózathoz való csatlakozását. Mivel a fásszárúakról áll a legszélesebb körű, leghosszabb időre visszanyúló adatsor a rendelkezésünkre, melyek az esetleges összehasonlítások alapját képezik, valamint a kísérletemben is megmutatkozott, hogy a fásszárúak gondozása és hosszú távú életbentartása a legegyszerűbb és ezen életforma képviselői szolgáltatják a legtöbb, legjobban felhasználható adatot, első körben a fásszárúakkal foglalkozó IPG hálózathoz való csatlakozását javaslom. Azonban mivel a klímaváltozás egyre komolyabb mértékben fenyegeti az európai biodiverzitást, alapvető fontosságú a lágyszárú fajok klímaváltozásra adott válaszainak megismerése is, mely célból a vadonélő lágyszárúakkal foglalkozó PhenObs kerthálózathoz történő csatlakozást javaslom.

Kiegészítésképpen javasolt a „közösségi tudomány” („*citizen science*”) elve alapján egy egyszerű megfigyelőhálózat létrehozása iskolákban. Ezen megfigyelési pontok egyszerre tudnának hozzájárulni az oktatáshoz, környezeti neveléshez, szemléletformáláshoz, valamint értékes fenológiai adatokat szolgáltatnának az ország különböző területeiről. Egy központilag kidolgozott protokoll alapján az iskolák megfigyelhetnének néhány könnyen gondozható, igénytelen, őshonos, évelő fajt (tapasztalataink alapján leginkább fásszárút, pl. kökényt, cserszömörécét, veresgyűrű somot), melyek rügyfakadását, virágzásának kezdetét és végét, lombszíneződésének kezdetét és végét rögzíthetnék, valamint egy egyszerű hőmérő segítségével naplózhatnák a hőmérsékletet. A felsorolt fenofázisok mindegyike várhatóan az iskolai tanítási időszakokra esik, a fajok könnyedén gondozhatóak és megfigyelhetőek az iskolaudvaron. Az eredmények alapján láthatóak lennének az ország különböző területein tapasztalható fenológiai különbségek (lásd. Walkovszky 1998), valamint az idő előrehaladtával az évek közt tapasztalható különbségek (lásd. Walkovszky 1998). Egy ilyen hálózat létrehozása annak tükrében, hogy több mint 20 éve nem létezik hazai fenológiai megfigyelőhálózat, különösen fontos lenne.

Ahhoz, hogy jobban megértsük a fenofázisokat befolyásoló tényezőket, és megbízhatóbban előre tudjuk jelezni a bekövetkezésüket, az átlaghőmérsékletre kiszámolt fenológiai érzékenység nem elég. Richardson és mtsai (2006) szerint a tavaszi fenofázisok idejét a felmelegedés akkumulált mértéke („*Heating Degree Days, HDD*”) határozza meg. A rügyfakadás, kizöldülés és virágzás idejének pontosabb előrejelzéséhez a jövőben célszerű lenne ezirányú számításokat végezni. Az őszi fenofázisokat illetően a lehűlés akkumulált mértékét („*Cooling Degree Days, CDD*”) érdemes figyelembe venni (Gill et al. 2015). Kutatások igazolják, hogy a tavaszi időszakban a fenológia érzékenyebben reagál a nappali időszakban bekövetkező hőmérséklet-emelkedésre, mint az éjszakaira, mind faj-, mind életközösség-szinten (Piao et al. 2015, Rossi & Isabel 2017). Figyelembe véve, hogy az elmúlt évtizedekben az éjszakai időszak melegedése gyorsabb volt, mint a nappalié (Davy et al. 2017) az aszimmetrikus melegedés fenológiai modellekből való hiányzása a tavaszi fenológia hőmérséklet-érzékenységének alulbecsléséhez vezethet (Piao et al. 2015). Az őszi fenofázisokat illetően lehetséges, hogy míg a magasabb éjszakai hőmérséklet későbbre tolja a lombszíneződés kezdetét, addig a magasabb nappali hőmérséklet a nagyobb arányú párologtatásból kifolyólag korábbra tolja azt (Wu et al. 2018, Chen et al. 2020). Eppich és mtsai (2009) az ELTE Fűvészkertben kb. negyven éven át gyűjtött, a bimbózás, virágzás és hervadás kezdetének időpontjait tartalmazó adatsor feldolgozásakor azt találták, hogy a nevezett fenofázisokra az átlagos napi hőingás, a hőösszeg és a fagyos napok száma volt a legerősebb hatással. A fentiekből kiindulva mind a tavaszi, mind az őszi fenofázisok alakulásának pontosabb megértéséhez célszerű lenne napi hőmérsékleti adatokkal (napi hőingás, HDD, CDD, nappali és éjszakai hőmérsékletek alakulása) is számításokat végezni. Mivel ezek igen bonyolult és időigényes műveletek, különösen, ha figyelembe vesszük a kísérlet adatbázisának óriási méretét (kb. 53000 soros Excel táblázat), be kellett látnom, hogy ezen számítások elvégzése jelen doktori munka kereteibe sajnos nem fér bele.

---

## 5. Új tudományos eredmények

---

Új tudományos eredményeimet az alábbi pontokban foglalom össze:

1. A kísérlet során három vegetációs időszak alatt két eltérő mezoklimatikus helyszínen a Raunkiær-féle életforma osztályozás hat különböző életformájához tartozó 33, döntően hazánkban honos fajt vizsgáltam fenológiai szempontból. Ehhez hasonló, több életformát egyszerre vizsgáló, nemzetközi sztenderdeknek megfelelő *ex situ* kísérlet hazánkban ez idáig nem történt.
2. A hat életforma esetében meghatároztam a lehető legtöbb rögzíthető fenofázis (rügyfakadás, bimbók megjelenése, virágzás kezdete, virágzás vége, termések megjelenése, szeneszcencia kezdete, teljes szeneszcencia) fenológiai érzékenységét.
3. Meghatároztam a kísérletben szereplő hat életforma és azon belül 33 faj fenológiai eseményeinek helyszínek és évek közti változásait.
4. A fanerofitonok vizsgálatakor a vegetációs időszak kezdetét jelentő rügyfakadást és a vegetációs időszak végét jelentő teljes lombhullás állapotát is rögzítettem. Ezek alapján mindkét helyszínen, mindhárom évben meghatároztam a vegetációs időszak hosszát, a hőmérsékleti adatokkal való összevetésük alapján a vegetációs időszak fenológiai érzékenységét, valamint a vegetációs időszak kezdetének, végének és hosszának a helyszíneken az évek közt tapasztalható változásait.
5. A kísérletben szereplő hat életforma között *ex situ* fenológiai kísérletekben való alkalmazhatóságuk, és a ráfordítás-megtérülés arány alapján sorrendet állítottam fel, melyek megkönnyíthetik a jövőben hasonló kísérletek beállítását.
6. A kísérlet helyszínéül szolgáló két botanikus kertbe, a MATE Botanikus Kertbe és az ELTE Fűvészkertbe meteorológiai bázisállomást telepítettem. A két állomás segítségével két éven keresztül tízpercenkénti gyakorisággal gyűjtöttem meteorológiai adatokat, melyek a következők voltak: hőmérséklet, csapadék, relatív páratartalom, légnyomás, szélereősség, napsugárzás és szélereősség. Az adatok alapján megállapítottam a két botanikus kert átlaghőmérsékletét. A fenológiai kutatásokhoz elengedhetetlen a fenológiai adatok meteorológiai paraméterekkel való összevetése. A két botanikus kertben ez idáig nem történt hosszú távú, ilyen gyakoriságú, ennyi paraméterre kiterjedő meteorológiai adatgyűjtés.

### 6.1. Tudományos folyóiratokban megjelent, lektorált, teljes szövegű tudományos közlemények

#### *Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban:*

**Verbényiné Neumann, K.**; Baltazár, T.; Saláta, D.; Szirmai, O.; Czóbel, S. (2023): Comparative Study of the Phenology of Seven Native Deciduous Tree Species in Two Different Mesoclimatic Areas in the Carpathian Basin. *Forests* 14(5): 885. <https://doi.org/10.3390/f14050885>

Ordonez, J. S., Deák, B., Valkó, O., Szász, V., **Verbényiné Neumann K.**, Elhouda, Z. N., & Csergő, A. M. (2023). A long-term demographic study of *Salvia nemorosa* L. to determine the effects of landscape structure on the mechanisms of population persistence. *Palaeartic grasslands* 57 pp. 26-27.

Demeter A., Saláta D., Tormáné Kovács E., Szirmai O., Trenyik P., Meinhardt S., Rusvai K., **Verbényiné Neumann K.**, Schermann B., Szegleti Zs., Czóbel Sz. (2021): Effects of the Invasive Tree Species *Ailanthus altissima* on the Floral Diversity and Soil Properties in the Pannonian Region. *Land* 10: 1155. <https://doi.org/10.3390/land10111155>

#### *Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban:*

**Verbényiné Neumann K.**, Czóbel Sz. (2021): Comparative study of flowering phenology of selected plant life forms in urban and rural environments. Preliminary results, pp. 25-36 *Columella — Journal of Agricultural and Environmental Sciences* Vol. 8. No.1 (2021) p. 65, DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2021.8.1.25

**Verbényiné Neumann, K.**, Baltazár T., Meinhardt S., Szirmai O. (2023): “A Comparative Study of the Flowering Phenology of Wild Growing Geophytes in Two Different Mesoclimatic Areas in the Carpathian Basin”. *Review on Agriculture and Rural Development* 12 (1-2):3-14. <https://doi.org/10.14232/rard.2023.1-2.3-14>

### 6.2. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények

#### *Teljes szövegű közlemény, kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:*

**Verbényiné Neumann, K.**; Czóbel, S. (2021): Comparative Study of Flowering Phenology of Selected Plant Life Forms Located in Urban and Rural Environments in Central Europe. Preliminary Results pp. 1-9 In: Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Biological Diversity, Ecology and Evolution, 15–31 March 2021, MDPI: Basel, Switzerland, doi:10.3390/BDEE2021-09453

#### *Teljes szövegű közlemény, kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve:*

**Verbényiné Neumann, K.** (2021): Különböző növényi életformák fenológiai eseményeinek összehasonlító vizsgálata eltérő mezoklimatikus környezetben pp. 294-305 In: Molnár Dániel, Molnár Dóra (szerk.) „XXIV. Tavasz Szél Konferencia 2021 Tanulmánykötet I.” 773 p. Budapest 2021, Doktoranduszok Országos Szövetsége, ISBN 978-615-81991-1-7

***Egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló - előadás vagy poszter alapján - tudományos folyóiratban, vagy annak különszámában:***

- Verbényiné Neumann K., Czóbel Sz. (2021):** Ex situ flowering phenological study of three different plant life forms of wild plant species under different mesoclimatic conditions/Három különböző életformát képviselő vadon élő növényfaj ex situ viragzasfenológiai vizsgálata eltérő mezoklimatikus viszonyok között, pp. 118. In: Takács A. & Sonkoly J. (szerk.) XIII. Aktuális Flóra-és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében nemzetközi konferencia. Program és összefoglalók./13th "Advances in Research on the Flora and Vegetation of the Carpatho-Pannonian Region" International Conference. Programme and Abstracts., 2021. november 11-14., Debrecen, ISBN 978-963-490-342-0
- Verbényiné Neumann, K. (2021):** Különböző növényi életformák fenológiai eseményeinek összehasonlító vizsgálata eltérő mezoklimatikus környezetben pp. 170 In: Molnár Dániel, Molnár Dóra (szerk.) „XXIV. Tavaszi Szél Konferencia 2021 Absztraktkötet” 671 p. Budapest 2021, Doktoranduszok Országos Szövetsége, ISBN 978-615-5586-99-6
- Verbényiné Neumann K.; Czóbel Sz. (2021):** A fővárosi hőtöbblet hatása őshonos cserjefajok őszi fenológiájára, 12. Magyar Ökológus Kongresszus, 2021. 08. 24-26., Vác, pp. 215. In: Tinya Flóra (szerk.) „12. Magyar Ökológus Kongresszus Előadások És Poszterek Összefoglalói” Absztraktkötet, 219 p. Vácrátót, 2021. augusztus 1., Magyar Ökológusok Tudományos Egyesülete (MÖTE) és Ökológiai Kutatóközpont (ÖK), Digitális kiadvány:  
[https://mok12.ecology.hu/sites/default/files/12MOK\\_absztraktkotet\\_vegleges\\_0.pdf](https://mok12.ecology.hu/sites/default/files/12MOK_absztraktkotet_vegleges_0.pdf)
- Verbényiné Neumann K., Czóbel Sz. (2022):** Őshonos cserjefajok őszi fenológiájának összehasonlítása eltérő mezoklimatikus környezetben = Comparative study of autumn phenology of autochthon microphanerophytes in different mesoclimatic environments, In: Fodor Marietta , Bodor-Pesti Péter, Deák Tamás (szerk.) „A Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly (LOV) Tudományos Ülésszak tanulmányai [Proceedings of János Lippay – Imre Ormos – Károly Vas (LOV) Scientific Meeting]”, Budapest, Magyarország 2021.11.28. - 2021.11.28. (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem),MATE Budai Campus, pp 784-786
- Verbényiné Neumann K., Czóbel Sz. (2023):** Comparative study of the flowering phenology of wild growing geophytes in two different mesoclimatic areas in the Carpathian Basin, pp. 61, In: Gyalai I., Czóbel Sz. (szerk.) Book of abstracts, 20<sup>th</sup> Wellmann International Scientific Conference, 3<sup>rd</sup> April 2023 Hódmezővásárhely, Hungary, ISBN 978-963-306-924-0

---

## 7. Irodalomjegyzék

---

- Antofie, T., Naumann, G., Spinoni, J., Vogt, J. (2015): Estimating the water needed to end the drought or reduce the drought severity in the Carpathian region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19: 177–193.
- Begum R.A., Lempert R., Ali E., Benjaminsen T.A., Bernauer T., Cramer W., Cui X., Mach K., Nagy G., Stenseth N.C. et al. (2022): Chapter 1: Point of Departure and Key Concepts In IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2022)*: Pörtner H.-O., Roberts D.C. (Szerk.) Cambridge University Press: Cambridge, UK, Volume 1, pp. 123–181.
- Chen L., Hänninen H., Rossi S. et al. (2020): Leaf senescence exhibits stronger climatic responses during warm than during cold autumns. *Nat. Clim. Chang.* 10: 777–780. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0820-2>
- Chitu E., Paltineanu C. (2020): Timing of phenological stages for apple and pear trees under climate change in a temperate-continental climate. *Int J Biometeorol* 64: 1263–1271 <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01903-2>
- Chmielewski F. M., Rötzer F. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 108, Issue 2, Pages 101-112, ISSN 0168-1923, [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00233-7).
- Chmielewski F.M., Heider S., Moryson S., Bruns E. (2013): International Phenological Observation Networks - Concept of IPG and GPM (Chapter 8). In: Schwartz M.D. (Szerk.): *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer Science+Business Media B.V. Dordrecht, 2. Kiadás, 137-153 p.
- Christmann T., Kowarik I., Bernard-Verdier M. et al. (2023): Phenology of grassland plants responds to urbanization. *Urban Ecosyst* 26, 261–275 <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01302-y>
- Chuine, I. (2010): Why does phenology drive species distribution? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365: 3149–3160.
- Cleland EE, Allen JM, Crimmins TM, Dunne JA, Pau S, et al. (2012): Phenological tracking enables positive species responses to climate change. *Ecology* 93:1765–71
- Cleland, E.E.; Chuine, I.; Menzel, A.; Mooney, H.A.; Schwartz, M.D. (2007): Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol. Evol.* 22:357–365.
- Davy R., Esau I., Chernokulsky A., Outten S., Zilitinkevich, S. (2017): Diurnal asymmetry to the observed global warming. *International Journal of Climatology*, 37: 79–93. <https://doi.org/10.1002/joc.4688>
- Digital Science. (2018-) Dimensions [Software] available from <https://app.dimensions.ai>. Accessed on (DATE), under licence agreement.
- Eppich B., Dede L., Ferenczy A., Ferenczy Á., Garamvölgyi L., Horváth L., Isépy I., Priszter Sz., Hufnagel L. (2009): Climatic effects on the phenology of geophytes. *Applied Ecology and Environmental Research*. 7: 253-266. [https://doi.org/10.15666/aeer/0703\\_253266](https://doi.org/10.15666/aeer/0703_253266)
- Fitter AH, Fitter RS (2002): Rapid changes in flowering time in British plants. *Science*. 296(5573):1689-91. doi: 10.1126/science.1071617. PMID: 12040195.
- Gallinat AS, Primack RB, Wagner DL. (2015) Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends Ecol Evol.* 30(3):169-76. doi: 10.1016/j.tree.2015.01.004.
- Gálos B.; Jacob D.; Mátyás C.S. (2011): Effects of Simulated Forest Cover Change on Projected Climate Change—A Case Study of Hungary. *Acta Silv. Lignaria Hung.* 7: 49–62.
- Gill A. L., Gallinat A. S., Sanders-Demott R., Rigden A. J., Short Gianotti D. J., Mantooth J. A., Templer P. H. (2015): Changes in autumn senescence in northern hemisphere deciduous trees: A meta-analysis of autumn phenology studies. *Annals of Botany*, 116: 875–888. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv055>
- Hlásny T., Mátyás C.S., Seidl R., Kulla L., Merganicova K., Trombik J.; Dobor L., Barcza Z., Konôpka B. (2014): Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Cent. Eur. J.* 60: 5-18.
- Horbach S., Rauschkolb R., Römermann C. (2023): Flowering and leaf phenology are more variable and stronger associated to functional traits in herbaceous compared to tree species, *Flora*, Volume 300: 152218, ISSN 0367-2530, <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152218>.
- Hunkár M., Vincze E., Szenyan I., Dunkel Z. (2012): Application of phenological observations in agrometeorological models and climate change research. *Időjárás*. 116: 195-209.
- Ibañez M., Altimir N., Ribas A., Eugster W., Sebastià, M. (2010): Phenology and plant functional type dominance drive CO2 exchange in seminatural grasslands in the Pyrenees. *The Journal of Agricultural Science*, 158(1-2): 3-14. doi:10.1017/S0021859620000179
- Ibañez M., Altimir N., Ribas A., Eugster W., Sebastià, M. (2020): Phenology and plant functional type dominance drive CO2 exchange in seminatural grasslands in the Pyrenees. *The Journal of Agricultural Science*, 158(1-2): 3-14. doi:10.1017/S0021859620000179
- Jochner S, Menzel A. (2015): Urban phenological studies – past, present, future. *Environmental Pollution* 203: 250–261.
- Katal N, Rzanny M, Mäder P, Wäldchen J. (2022): Deep Learning in Plant Phenological Research: A Systematic Literature Review. *Front Plant Sci.* 13:805738. doi: 10.3389/fpls.2022.805738. PMID: 35371160; PMCID: PMC8969581.

- Király G. (Szerk.), Balogh L. Baráth K. & Barina Z., Bartha D., Bényeiné M., Csiky J., Dancza I. Dobolyi K., Facsar G., Farkas S., Fischer A., Király G. & Lájér K., Mesterhazy A., Molnár V. A., Nagy A., Németh, Cs., Papp L., Papp M., Virók V. (2009): Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei. Határozókulcsok. / New Hungarian Herbal. The Vascular Plants of Hungary. Identification keys, Jósavfő: Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság, 616 p.
- König P, Tautenhahn S, Cornelissen JHC, Kattge J, Bönsch G, Römermann C. (2018): Advances in flowering phenology across the Northern Hemisphere are explained by functional traits. *Global Ecology and Biogeography* 27: 310–321.
- Lahr EC, Dunn RD, Frank SD (2018): Getting ahead of the curve: cities as surrogates for global change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1882), 20180643. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0643>
- Lavorel S., Garnier E. (2002): Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16: 545–556.
- Lieth H. (Szerk.) (1974): Phenology and seasonality modeling. *Ecological studies* 8, Springer V., 444 pp <https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8>
- Liu G., Chen X., Fu Y., Delpierre N. (2019): Modelling leaf coloration dates over temperate China by considering effects of leafy season climate, *Ecological Modelling*, 394: 34–43, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.020>.
- Menzel A, Sparks T, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl A °, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatczak K, Ma°ge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remis'ova V, Scheifinger H, Striz M, Susnik A, van Vliet AJH, Wielgolaski FE, Zach S, Züst A (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Change Biol* 12 (10):1969–1976. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
- Menzel, A. Fabian, P. (1999): Growing Season Extended in Europe. *Nature*, 397: 659. <http://dx.doi.org/10.1038/17709>
- Morellato L. P., Cerdeira, B., Alberton, S. T. Alvarado, B., Borges E., Buisson, M. G., Camargo L., Cancian F., et al. (2016): Linking Plant Phenology to Conservation Biology. *Biological Conservation* 195: 60–72. doi:10.1016/J.BIOCON.2015.12.033.
- Morin X., Roy J., Sonié L., Chuine I. (2010) Changes in leaf phenology of three European oak species in response to experimental climate change. *New Phytol.*, 186: 900–910.
- Neil K, Wu J. (2006): Effects of urbanization on plant flowering phenology: a review. *Urban Ecosystem* 9: 243–257.
- Orlóci L., Kiszél P., Solymosiné László I., Papp L. (2019): *Delectus seminum sporarum plantarumque Horti Botanici Universitatis Hungariae. Eotvos Lorand Tudományegyetem, Botanikus Kertje Universitatis Scientiarum Hungariae de Lorand Eoetvoes Nuncupatae.*
- Panchen Z. A., Primack R. B., Gallinat A. S., Nordt B., Stevens A.-D., Du Y., Fahey R. (2015): Substantial variation in leaf senescence times among 1360 temperate woody plant species: Implications for phenology and ecosystem processes. *Annals of Botany*, 116(6): 865–873. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv015>
- Panchen Z. A., Primack R. B., Nordt B., Ellwood E. R., Stevens A.-D., Renner S. S., Willis C. G., Fahey R., Whittemore A., Du Y., Davis C. C. (2014): Leaf out times of temperate woody plants are related to phylogeny, deciduousness, growth habit and wood anatomy. *New Phytologist*, 203(4): 1208–1219. <https://doi.org/10.1111/nph.12892>
- Park D.S., Xie Y., Ellison A.M., LyraG.M., Davis C.C. (2023): Complex climate-mediated effects of urbanization on plant reproductive phenology and frost risk. *New Phytol.* 239: 2153–2165. <https://doi.org/10.1111/nph.18893>
- Peñuelas J., Ciais P., Canadell J.G., Janssens I.A., Fernández-Martínez M., Carnicer J., Obersteiner M., Piao S., Vautard R., Sardans J. (2017): Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period. *Nat. Ecol. Evol.*, 1: 1438–1445.
- Peñuelas J., Rutishauser T., Filella I. (2009) Phenology feedbacks on climate change. *Science*, 324: 887–888.
- Piao S, Liu Q, Chen A, et al. (2019): Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Glob Change Biol.*, 25: 1922–1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Piao S., Tan J., Chen A., Fu Y. H., Ciais P., Liu Q., Peñuelas J. (2015): Leaf onset in the northern hemisphere triggered by daytime temperature. *Nature Communications*, 6: 6911. <https://doi.org/10.1038/ncomms7911>
- Pickett S.T.A. (1989): Space-for-Time Substitution as an Alternative to Long-Term Studies. In: Likens, G.E. (Szerk.) *Long-Term Studies in Ecology*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7358-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7358-6_5)
- Pongrácz R., Bartholy J., Pieczka I., Hunyady A. (2009): Estimation of regional climate change in the Carpathian basin using PRECIS simulations for A2 and B2 scenarios. In *Proceedings of the EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vienna, Austria, 19–24 April 2009; p. 11794.
- R Core Team (2022) *R. A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, Available online: <http://www.R-project.org/> (hozzásférés: 2023. március 15.)
- Raunkiaer, C. (1934): *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Renner SS, Wesche M, Zohner CM. (2021): Climate data and flowering times for 450 species from 1844 deepen the record of phenological change in southern Germany. *Am J Bot.* 108(4):711–717. doi: 10.1002/ajb2.1643. PMID: 33901306.



- Renner SS, Wesche M, Zohner CM. (2021): Climate data and flowering times for 450 species from 1844 deepen the record of phenological change in southern Germany. *Am J Bot.* 108(4):711-717. doi: 10.1002/ajb2.1643. PMID: 33901306.
- Richardson A.D., Bailey A.S., Denny E.G., Martin C.W., O'keefe, J. (2006): Phenology of a northern hardwood forest canopy. *Global Change Biology*, 12: 1174-1188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01164.x>
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, et al. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- Rossi S., Isabel N. (2017): Bud break responds more strongly to daytime than night-time temperature under asymmetric experimental warming. *Global Change Biology*, 23: 446–454. <https://doi.org/10.1111/gcb.13360>
- Rötzer T., Wittenzeller M., Haeckel H., Nekovar J. (2000): Phenology in central Europe -differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *Int. J. Biometeorol.* 44: 60–66. <https://doi.org/10.1007/s004840000062>
- RStudio Team (2023). RStudio: Integrated Development for R; RStudio Inc.: Boston, FL, USA, 2015; Online elérési út: <http://www.rstudio.com/> (hozzásférés: 2023. március 15.)
- Schieber B, Janík R, Snopková Z. (2009): Phenology of four broad-leaved forest trees in a submountain beech forest. *J. For. Sci.* 55(1):15-22. doi: 10.17221/51/2008-JFS.
- Schwartz M .D., Beaubien E. G., Crimmins T. M., Weltzin J. F. (2013): North America (Chapter 5). In: Schwartz MD (Szerk.): *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer Science+Business Media B.V. Dordrecht, 2nd Edition, 67-91 p.
- Schwartz M. D. (2013): Introduction (Chapter 1). In: Schwartz MD (Szerk.): *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer Science+Business Media B.V. Dordrecht, Berlin/Heidelberg, Germany 2nd Edition, Volume 1, pp. 1–5.
- Sherry R.A., Zhou X., Gu S., Arnone J.A., Schimel D.S. Verburg P.S., Wallace L.L., Luo Y. (2007): Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104: 198–202.
- Sparks T.H., Menzel A. (2002): Observed changes in seasons: An overview. *Int. J. Climatol.* 22: 1715–1725.
- Szabó B, Vincze E, Czúcz B (2016): Flowering phenological changes in relation to climate change in Hungary. *Int J Biometeorol.* 60(9):1347-56. doi: 10.1007/s00484-015-1128-1. Epub 2016 Jan 14. PMID: 26768142.
- Templ B., Templ M., Filzmoser P. et al. (2017): Phenological patterns of flowering across biogeographical regions of Europe. *Int J Biometeorol* 61: 1347–1358. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1312-6>
- Thuiller W, Lavorel S, Araújo MB, Sykes MT, Prentice IC (2005): Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 102(23):824 doi: 10.1073/pnas.0409902102. Epub 2005 May 26. PMID: 15919825; PMCID: PMC1140480.
- Thuiller W. (2007): Climate change and the ecologist. *Nature* 448: 550–552 <https://doi.org/10.1038/448550a>
- Turcsányi G. (Szerk.) (1998): *Mezőgazdasági növénytan, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, 555 p.
- Vander Mijnsbrugge K., Malanguis J.M., Moreels S., Turcsán, A., Van der Schueren N., Notivol Paino E. (2022b): Direct Phenological Responses but Later Growth Stimulation upon Spring and Summer/Autumn Warming of *Prunus spinosa* L. in a Common Garden Environment. *Forests*, 13: 23, <https://doi.org/10.3390/f13010023>
- Vander Mijnsbrugge, K.; Malanguis, J.M.; Moreels, S.; Turcsán, A.; Paino, E.N. (2022a): Stimulation, Reduction and Compensation Growth, and Variable Phenological Responses to Spring and/or Summer–Autumn Warming in *Corylus* Taxa and *Cornus sanguinea* L. *Forests*, 13, 654. <https://doi.org/10.3390/f13050654>
- Vitasse Y., Francois C., Delpierre N., Dufrene E., Kremer A., Chuine I., Delzon S. (2011): Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 969–980 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.03.003>
- Walkovszky A (1998): Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *Int J Biometeorol* 41:155–160 <https://doi.org/10.1007/s004840050069>
- Wang H., Ge Q., Rutishauser T., Dai Y., Dai, J. (2015): Parameterization of temperature sensitivity of spring phenology and its application in explaining diverse phenological responses to temperature change. *Sci. Rep.*, 5:8833.
- White MA, Nemani RR, Thornton PE, Running SW. (2002): Satellite evidence of phenological differences between urbanized and rural areas of the eastern United States deciduous broadleaf forest. *Ecosystems* 5: 260–273.
- Wolkovich E.M., Cook B.I., Allen J.M., Crimmins T.M., Betancourt J.L., Travers S.E., Pau S., Regetz J., Davies T.J., Kraft N.J.B. et al. (2012): Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature* 485: 494–497.
- Wolkovich E.M., Cook B.I., Davies T.J. (2014): Progress towards an interdisciplinary science of plant phenology: building predictions across space, time and species diversity. *New Phytol*, 201: 1156-1162. <https://doi.org/10.1111/nph.12599>
- Xing T., Lan G., Weihan W., Wen Z., Jing W., Jingru W., Linke L., Qiang Z., Honghai L., Yun L. (2022): Modelling alteration of leaf coloration peak date in *Cotinus coggygria* in a high-elevation karst region, *Agricultural and Forest Meteorology*, 323: 109044, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109044>
- Zar J.H. (1984): *Biostatistical Analysis*, 2nd ed.; Prentice-Hall International: London, UK, 718p.
- Zhang XY, Friedl MA, Schaaf CB, Strahler AH (2004): Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Bio* 10:1133–1145

Zhao Meifang, Peng Changhui, Xiang Wenhua, Deng Xiangwen, Tian Dalun, Zhou Xiaolu, Yu Guirui, He Honglin, and Zhao Zhonghui (2013): Plant phenological modeling and its application in global climate change research: overview and future challenges. *Environmental Reviews* 21(1): 1-14. <https://doi.org/10.1139/er-2012-0036>

Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka J (2003): Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 111:290–295

Zohner CM, Mo L, Renner SS. (2018): Global warming reduces leaf-out and flowering synchrony among individuals. *Elife*. 7:e40214., doi: 10.7554/eLife.40214.