

# A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖZÖSSÉGÖKOLÓGIAI HATÁSAINAK ELEMZÉSEI

*Hufnagel Levente – Kúti Zsuzsanna – Hlaszny Edit –  
Reiczigel Zsófia – Molnár Marianna – Homoródi Réka –  
Flórián Norbert – Gergócs Veronika – Türei Dénes –  
Ladányi Márta*

## **Bevezetés**

Tanulmányunkban összegezzük a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR/-2010-0005 kutatási program során, illetve azt megelőzően, megalapozásként – számos kolléga és doktorandusz hallgató bevonásával – kidolgozott új módszertani eredményeinket, továbbá a klímaváltozás ökológiai hatásairól szóló szimulációs modelljeinket. Kutatásaink eredményeképpen a várakozást tisztázó-igazoló elméleti téziseket fogalmazunk meg, valamint a gyakorlatban is alkalmazható módszereket, illetve prognózisokat ismertetünk a *Vitis vinifera* fajták jelentős fenológiai eltolódására, illetve rothadási érzékenységére, valamint egyes *Lepidoptera* fajok gradációjára, geofiton közösségek fenológiájára, illetve fito- és zooplankton közösségek cönológiai mintázatára vonatkozóan.

A TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR/-2010-0005 kutatási program egyik célja a Középmagyarországi Régióban (KMR) mint modellterületen a fenntartható fejlődés ökológiai kereteinek feltárása, a lehetséges fejlődési folyamatok elemzése, illetve módszertani ajánlások kidolgozása. Tanulmányukban ennek fényében foglaljuk össze a legfontosabb kutatási eredményeinket, amelyeket a TÁMOP-projekt keretében, illetve az azt megelőző időszakban értünk el, de amelyekre jelen munkánkban is támaszkodtunk, kiemelve munkánk módszertanilag új megközelítéseit és hangsúlyozva azok közvetlen vagy közvetett alkalmazási lehetőségeit a klímaváltozás hatásainak feltárásában.

A klímaváltozás ökológiai hatásainak elemzésével kapcsolatos tudományos eredményeink megközelítési módjukat tekintve az alábbi hat fő csoportba oszthatók:

1. Az elméleti várakozások tisztázása stratégiai modellezéssel.
2. Lehetséges hatások mértékének behatárolása Magyarország vonatkozásában, földrajzi analógiai megközelítéssel.

3. Nagy monitoring adatbázisok elemzése a már bekövetkezett változási tendenciák feltárására.
4. Természetközeli populációk és ökoszisztémák várható változásainak elemzése taktikai modellezéssel és statisztikai elemzésekkel.
5. A klímaváltozás agroökoszisztémákra gyakorolt hatásai
6. Új, hatékony és a korábbiaknál általánosabban használható bioindikátor-rendszer kidolgozása.

A továbbiakban eredményeinket ezen felosztás szerinti csoportosításban ismertetjük.

## Az elemzések eredményei

### **Stratégiai modellezési eredmények**

A klímaváltozás lehetséges közösségökológiai hatásainak elméleti megközelítéseként kidolgoztuk az ún. TEGM modellt, amely egy 30 fajból álló guild (azonos forráson élő, csak hőmérsékleti reakciógörbében különböző fajegyüttes) kompetíciós viszonyait írja le, egysejtű algaközösségként elképzelve, amely kizárólag az elérhető fény mennyiség, mint nem készletezhető forrás és a hőmérséklet, mint nem forrás jellegű, szaporodási sebességre ható környezeti tényező által limitált.

A TEGM modellt futtattuk historikus (meteorológiai állomások által mért), modell-baseline és különböző klímaszcenárióknak megfelelő klímamodell becslésből származó hőmérsékleti adatokkal. A jövőbeli klímák vizsgálatára a *Hadley Centre (HC)*, illetve a *Max Planck Intézet (MP)* által kidolgozott globális klímamodelleket használtuk az A2 és B2 SRES forgatókönyvek feltevéseivel, különböző éghajlati karakterű rácspontokra, három változatban: HC-A2, HC-B2 és MPI-A2, valamint néhány korábbi közismert modellkísérlet eredményét is különböző tudományos műhelyektől. A modell gyorsabb és lassabb sebességi tényezők alkalmazása esetén is enyhe diverzitásemelkedést mutatott a klímaváltozás hatására, lényegében nem változó (vagy fluktuáló, csökkenő) összabundancia mellett (*Drégelyi-Kiss et al., 2008, Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2009*).

Amikor a TEGM modellt régebbi klímamodellekkel (és az azokhoz kapcsolódó szcenáriókkal) futtattuk, azt találtuk, hogy a modernebb klímaszcenáriók (HC-A2, HC-B2 és MPI-A2) inkább csökkenést, míg a régebbi szcenáriók (UKLO, UKHI, UKTR, GFDL2, GFDL5) növekedést mutatnak az évi összabundanciában. A legmagasabb abundanciát a Bungui equatoriális trópusi éghajlatra kaptuk, míg az erősen kontinentális (Ulanbator) vagy hideg (Sodankyla) éghajlatra vonatkozó adatsorok csökkenést eredményeztek, ami felhívta a figyelmet arra, hogy a modellt nem csupán a hidegedő vagy melegedő tendencia, hanem a nagyobb vagy kisebb változékonyság (évi hőingás és napok közötti változékonyság) is befolyásolja (*Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2009*).

A TEGM modellt vizsgálójelekkel tesztelve megállapítottuk, hogy egységimpulzus hatására a beavatkozás előtti és utáni egyensúlyi kompozíciók eltérnek, ha az impulzus nagysága egy küszöböt meghalad. Egységugrás hatására a produktivitás leesik, majd helyreáll.

Egységsebességre folyamatos fajcserélődést kapunk. Konstans átlaghőmérsékletre felhelyezett zajszerű hőmérsékleti ingadozások, a zaj növekedésével egy ideig nem befolyásolják a produktivitást, majd egy küszöb felett hirtelen összeomlást mutat a közösség. A küszöb alatt viszont állandó produktivitás mellett fajcserét figyelhetünk meg a specialista dominanciától a szupergeneralista abszolút dominancia felé. A diverzitás mindeközben a *Köztes Diszturbancia Hipotézist (IDH)*, vagyis közepes zavarásnál mutatja a legnagyobb sokféleséget. Kismértékű zaj vagy kismértékű szinuszos ingadozás egyaránt diverzitásnövelő hatású az egyensúlyi közösségre.

A referenciaidőszakra és a jövőbeli időszletekre vonatkozó adatsorokból egy 1960-2100-ig terjedő idősort állítottunk elő, és megvizsgáltuk a TEGM modell közösségének a viselkedését. A teljes idősort tekintve az éves összproduktivitás drasztikus csökkenése figyelhető meg. Mindeközben a diverzitás is csökkenő tendenciát mutat, de sokkal nagyobb változékonysággal, fluktuációkkal (*Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2011*).

### ***A klímaváltozás ökológiai hatásainak lehetséges mértékének elemzése faunisztikai, földrajzi analógiai, área-klíma elemzési módszerekkel***

A klímaváltozásnak a magyar faunára gyakorolt hatásának elemzéséhez indikátorcsoportnak a *Lepidoptera* rendet választottuk, mert fajai érzékenyen és gyorsan, erős szezonális dinamikával reagálnak a klimatikus változásokra (*Kocsis és Hufnagel, 2011*). Munkánkban a biodiverzitásra gyakorolt hatás szempontját emeltük ki, és klímaszcenáriókra vonatkozóan a földrajzi analógiák módszere alapján elemeztük a várható következményeket.

A következőképpen jártunk el: meghatároztuk azt, hogy

- adott földrajzi hely (a jövőbeli klímával analóg mai terület) faunája milyen mértékben fed át a célterület jelenlegi faunájával, ezeket tekintettük nem érintett fajoknak;
- hány olyan faj van, ami jelenleg előfordul, de a jövőbeli helyzettel klíma-analóg helyen nem él, ezeket veszteségnek könyveltük el;
- hány olyan faj van, ami a vizsgált területen jelenleg nem él, de az analóg területen megtalálható, amelyek tehát a jövőben új bevándorló fajokként megjelenhetnek (*Bartholy et al., 2012, megjelenés alatt*).

Kutatómunkánk alapján összefoglalva azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az általunk vizsgált szcenáriók bekövetkezése esetén ennek hatása a magyar *Lepidoptera* fauna 55-81%-át nem érintené. A mai fauna vesztesége fajokban maximálisan 19-45% között lehet, ezek nagyrészt északias elterjedésű fajok. Ugyanakkor az új fajok megjelenésére maximálisan a mai lepkefauna mintegy 19-36%-át kitevő mértékben számíthatunk, ezen a fajok areája jellemzően délkeleti jellegű (1. táblázat).

Hasonló vizsgálatokat végeztünk különböző gerinces csoportok áreatérképei alapján oly módon, hogy értékeltük a fajoknak egy pontban vett áreahelyzetét (központi helyzet, peremhelyzet, áreán kívüli helyzet stb.), majd ez alapján értékeltük az adott földrajzi analógiával jellemzett klímaváltozás által nem érintett, kárt szenvedett és előnyben részesülő fajok arányát (1. táblázat).

Megállapítottuk, hogy a fauna jelenleg megfigyelhető éves változékonyságánál a szezonális változások és a területi különbségek is nagyobb mintázatgeneráló tényezőt jelentenek, vagyis az évek közötti eltérések kisebb varianciát okoznak, mint akár a szezonális változások akár a területi különbségek (*Petrányi et al., 2007; Nagy et al., 2011ab; Bartholy et al., 2012, megjelenés alatt*).

1. táblázat A klímaváltozás várható hatásai a fauna egyes komponenseire

Taxa	Nem érintett	Veszteség	Új fajok
Lepke	55-81%	19-45%	19-36%
Emlős	54-21%	36-48%	10-31%
Madár	78-23%	15-59%	8-18%
Hüllő	51-13%	18-21%	28-69%
Kétlábú	75-50%	17-25%	8-25%

### **Látunk-e máris változásokat a nagy monitoring rendszerek adataiban?**

Két nagy monitoring adatbázis-elemzésére nyílt lehetőségünk. A szárazföldi ökoszisztémák állapotváltozásait reprezentálhatja az *Országos Növényvédelmi és Erdészeti Fénycsapdahálózatok* adatbázisa, a vízi ökoszisztémákról pedig az *MTA MDÁ Dunai Fitoplankton Monitorozás* adatbázisa segített képet alkotni.

Az 1952-től napjainkig működő *Országos Növényvédelmi és Erdészeti Fénycsapdahálózatok* adataiban hosszú távú tendenciaként enyhe egyedszám-csökkenést, és ezzel összefüggésben enyhe diverzitásnövekedést észleltünk, ami a domináns fajok dominanciájának csökkenéséből származik. Megjegyezzük azonban, hogy a jelenség mögött élőhelyváltozás és monitoring-módszertani változások is állhatnak, bár a vizsgálatok során ezek hatását igyekeztünk kiszűrni (*Gimesi és Hufnagel, 2010*).

Az 1980-tól napjainkig működő országos gödi fitoplankton-monitoring adataiban hosszú távú tendenciaként szintén egyedszám-csökkenést és ezzel összefüggésben enyhe diverzitásnövekedést észleltünk, ami itt is a domináns fajok dominanciájának csökkenéséből származik. A jelenség mögött a Duna vízének tápanyag-túlkínálásában bekövetkezett változások is szerepet játszhatnak (*Verasztó et al., 2010*).

### **Taktikai modellezés és statisztikai megközelítés a természetközeli populációk és ökoszisztémák elemzésében**

#### *Vízi ökoszisztémák*

A klímaváltozás különösen érzékenyen érintheti a vízi ökoszisztémákat, így indokoltnak láttuk, hogy vízi rendszerekre is végezzünk modellezési esettanulmányokat. A probléma vizsgálatára diszkrét időszemléletű, determinisztikus modelleket fejlesztettünk, és

a modellek viselkedését (mint indikátorokat) vizsgáltuk eltérő klímaszenáriók és historikus adatsorok eseteire. Egyes zooplankton esettanulmányaink szerint a maximális egyedszám elérésének időpontja az évben egy-másfél hónappal előbbre tolódik, más esetekben például az évenkénti összes mennyiség alapján azonban nem tapasztalható semmilyen szignifikáns eltérés a szenáriók és a megfigyelt adatok között. Több tanulmány eredménye is a maximális egyedszámok korábbi elérését jósolja az alga biomasz-szában, azonban ez általában a biomasz növekedésével jár együtt, különösen a téli félévben. Míg az időzítés megváltozása bizonyos fitoplanktonikus csoportok esetén rendszerint a korábbi megjelenés irányába mutat, addig az alga biomasz növekedése mellett a produktivitás csökkenésére is találunk példákat, ebből következően az alga biomasz-változása különböző vízterekben más és más lehet.

A Szilas-patak vízipoloska fajainál (makrogerinctelen fajegyüttes) diszkrét időszemléletű determinisztikus szimulációs modellezéssel vizsgáltuk a klímaváltozás lehetséges hatásait. Az illesztéshez használt adatsor -2 és +2 fokos lineáris homogén manipulációjával, azt találtuk, hogy a hőmérséklet-csökkenés az egyedszám és biomasz-maximumokat nem csökkentené, sőt nyáron még növelhetné is, de az év során a nagy abundanciájú időszakot szűkítené, a melegedés viszont robbanásszerű növekedést eredményezne, ha más források nem limitálnának.

Amikor a lineáris manipulálás helyett klímaszenáriókat használtunk, hasonló eredményeket kaptunk, itt azonban az egyes szenárióknál a maximumhelyek elmozdulása is bekövetkezett a robbanásszerű abundancianövekedés mellett. Az elemzések azt mutatták, hogy a fajok arányában is jelentős változások mutatkoznak.

Egy dunai zooplankton faj, a *Cyclops vicinus* diszkrét időszemléletű determinisztikus szimulációs modellezésén alapuló vizsgálatával összehasonlítottuk a *Hadley Centre A2 és B2*, valamint a *Max Planck Intézet A2 szenáriójának Budapestre* leskálázott adatait. Fő vonalakban azt találtuk, hogy mindegyik adatsor szignifikánsan különböző jóslást ad a *Cyclops* faj populációdinamikájára, ha a historikus meteorológiai adatokkal vetjük össze, ugyanakkor a szenáriók jóslatai nem különböznek lényegesen egymástól. Összefoglalóan elmondható, hogy vizsgálataink szerint egy ilyen klímaváltozás hatására az abundanciamaximum ideje mintegy másfél hónappal tolódna korábbra, továbbá az éves összegyedszám évek közötti fluktuációja válik jóval nagyobb mértékűvé a historikus adatok idő során megfigyelhetőkhöz képest (*Sipkay et al., 2007*).

Egy mesterséges kerti tavas rendszer négyelemű táplálékhálózatának monitoringjára kidolgozott szimulációs modell segítségével összehasonlítottuk a Budapestre leskálázott RegCM 3.1 regionális klímamodell 8 szenáriójának időjárás adat sorával szimulált ökológiai hatásokat. A vizsgálatok során azt találtuk, hogy a modelleknek a referencia időszakra (1961-1990) vonatkozó futtatásai nem különböztek szignifikánsan a historikus adatsorok futtatásaitól, de a különböző szenáriók jóslataitól legalább egy változóban mindig szignifikánsan különböztek. A cyclopoidák és a fitoplankton éves abundanciacsúcsának az ideje az enyhe változást leíró (UKTR, GFDL2 és GFDL5) klímamodelleknél nem változik lényegesen, míg a drasztikusabb változásokkal számoló (UKHI, UKLO, HC-A2, HC-B2, MPI-A2) modellek esetén jelentősen (160-280 nappal) korábbra tolódnak. Egy *Eudiaptomus* fajnál hasonló mintázatok mellett mindössze 20 na-

pos előretolódás figyelhető meg. Az *Ischnura pumilo* szitakötő fajnál az enyhe változást mutató klímamodellek 40 napos későbbre tolódást, míg a drasztikusabb scenáriók 40 napos korábbra tolódást mutatnak a megfigyelt és a referenciaidőszakra vonatkozó adatokhoz képest (Vadadi et al., 2009).

A dunai fitoplankton adatbázisra illesztett szimulációs modellünk alapján lineáris hőmérsékletemelések hatását elemeztük és megállapítottuk, hogy a felmelegedés csak az 1990 előtti évekre jellemző, kiemelkedően magas tápanyag-túlkínálatot feltételező szimulációkban vezet a nyári algaprodukciónövekedéséhez (Sipkay et al., 2010).

#### Szárazföldi ökoszisztémák populációi és fajegyüttese

Rovarok taktikai modellezése, korábbi fenológiai és populációdinamikai vizsgálatainkban

A platánfa-csipkésposloska szimulációs modellezésére alapuló vizsgálataink szerint az enyhébb klímaváltozást leíró scenáriók (GFDL2, GFDL5, UKTR) - a saját referencia időszakukhoz hasonlóan - a terepen megfigyelt időzítésű szezonális dinamikát eredményezik. Az összabundancia jelentős (csúcsnál négyszeres) megemelkedésével, a drasztikus klímaváltozást jósoló scenáriók (UKHI, UKLO) viszont a faj összeomlását jósolják, és a jelenlegi két nemzedékből kizárólag az első (az év 150. napja körüli) realizálódik, míg a 225. nap körül szokásos igazi nagy abundancia-csúcs teljesen eltűnik (Ladányi és Hufnagel, 2006).

Differenciaegyenleten és indikátoranalízisen alapuló populációdinamikai és főkomponens-regressziós modellek a Kis téliaraszoló (*Operophtera brumata*, Linnaeus, 1758) várható gradációs fenológiai változásaira regionális klímamodellek alapján

A KMR területén működő fénycsapdahálózati adatok alapján határozott kompozíciós és diverzitási átrendeződést igazoltunk az utóbbi 50 évben.

Egy egynemzedékes araszoló (*Geometridae*) lepkefaj, a kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* Linnaeus, 1758) populációdinamikai habitusát modelleztük. A felhasznált rajzási adatok az Országos Növényvédelmi és Erdészeti Fénycsapda Hálózat kilenc fénycsapdájának napi fogásaiból származnak az 1973-2000 időintervallumra vonatkozóan.

A csapdázási adatok feldolgozása után egy egyszerű,  $N_{t+1} = N_t * \exp\left(R_{\max} * \left(1 - \frac{N_t}{K}\right)^\theta\right)$

alakú Ricker-típusú diszkrét differenciaegyenlet-modellből indultunk ki, amelyben az  $R_t$  maximális szaporodási rátát, a  $K$  eltartókapacitást és a  $\theta$  sebességi tényezőt optimalizáltuk

az  $R_t = \ln\left(\frac{N_{t+1}}{N_t}\right)$  megfigyelési és becslési adataival számolt átlagos négyzetes eltérések minimalizálásával, ahol  $N_t$  a  $t$ -edik évi egyedszámot jelöli.

Ezután az OMSZ megfigyelt napi adataiból a rovar fenológiai fázisaitól függő klimatikus igényeinek megfelelően klimatikus indikátorokat definiáltunk, melyek lineáris

kombinációit additív tényezőként a modellhez adva  $R_t = R_{\max} - R_{\max} \left( \frac{1}{K} \right)^\theta N_t^\theta + \sum_k C_k I_k$

alakban finomítottuk azt, ahol  $I_k$  jelöli a klimatikus indikátorokat,  $C_k \in \mathbf{R}$  pedig az optimalizálandó súlyokat.

A modell bővítését stepwise módszerrel mindig a legerősebben korreláló új klimatikus indikátort bevonva addig folytattuk, amíg az Akaike információs kritérium Bayes-féle korrekciója el nem érte a minimumát. A modellek validálását követően a modellt a RegCM3.1 regionális klímamodell becslésével is futtattuk az 1961-1990-es referenciaidőszakra, valamint a 2021-2050, illetve a 2071-2100 prognózisokra vonatkozóan. A kapott eredményekre béta eloszlást illesztve elemeztük a jövőben várható változásokat. Eredményeink szerint a 21. század közepére még nem, ám a végére szignifikáns változásnak nézhetünk elébe: növekvő valószínűséggel várható a megfigyelt adatokhoz viszonyítva extrém magas egyedszámmal járó gradáció.

A kis téliaraszoló évi rajzáskezdetének és rajzashosszának logisztikus függvénnyel leírható kapcsolatát regresszió-analízissel igazoltuk. A változások magyarázatához a faj fenológiai fázisainak és klimatikus igényeinek, valamint a rajzásra gyakorolt hatásokra való érzékenységének megfelelően újabb klimatikus indikátorokat állítottunk elő. A szignifikáns magyarázó erővel bíró indikátorokat leválogattuk. Az egyes indikátorok korrelációját figyelembe véve több főkomponens-regressziós modellt hasonlítottunk össze. A modelleket a RegCM 3.1 klímamodell becsléseivel is futtattuk, és így a rajzáskezdetek 2021-2050-es és 2071-2100-as időszakra várható eloszlásáról is közelítő képet kaptunk. Az eredményül kapott eloszlásokat megfigyelve láthattuk, hogy mind a megfigyelt, mind pedig a becsült rajzáskezdetek eloszlása is kétszcúszú, ám a 2021-2050-es időszakra a megfigyelthez képest szignifikánsan több késői rajzáskezdet várható. A rajzáskezdetek várható terjedelme kilenc nappal nő a megfigyelthez képest. Az extrém késői (november közepi) rajzáskezdetek gyakorisága is várhatóan növekedni fog, ami valószínűleg igen rövid rajzashosszal párosul majd (Kúti *et al.*, 2010, 2011abc; Ladányi *et al.*, 2011e).

Geophyta- és lepkefajok fenológiájának vizsgálata statisztikai megközelítéssel 93 geofita faj elemzése alapján a legfontosabb fenológiát befolyásoló tényezőnek a napi hőingás fajspecifikusan meghatározott időszakra vonatkozó időszakos átlaga bizonyult, második legfontosabb a fagyos napok száma mindhárom fenofázisra, tehát az első hajtás megjelenésére, a virágzásra és a termőre fordulásra is.

A kevésbé fontos tényezők már fenofázisonként eltérnek: az első hajtás megjelenésére nézve a napi maximum és napi átlaghőmérséklet, a virágzásra a napi minimum-hőmérséklet és a globálsugárzás hat szignifikánsan. Míg a csapadékos napok száma e két fenofázisra gyakorlatilag nincs hatással, a termőre fordulást éppen ez befolyásolja leginkább. Az időszak csapadékösszege pedig az a tényező, ami szinte sohasem korrelál, nem tűnik hatóképesnek. Meglepő továbbá, hogy a 10 °C feletti hatásos hőösszeg szinte sohasem bír jelentőséggel (Eppich *et al.*, 2009ab).

A geofitákra vonatkozó fenológiai elemzéseket több száz fényre repülő éjjeli lepkefajra is elvégeztük, és meglepetésünkre itt is a napi hőingások átlaga bizonyult a legfontosabb (legtöbbször erősen korreláló) tényezőnek. Mindkét csoportnál gyakran szignifikáns hatással bír még a napfényes órák száma. A Lepidopterákra összefoglalóan megállapítható, hogy fenofázisaik erősebb korrelációkat mutatnak a meteorológiai indikátorokkal, mint a geofiták esetén, ami megfelel a várakozásunknak. Azonban Lepidopteráknál fontos hatótényező a 0, 1, 2 és 3 °C feletti hőösszeg is, amely geofitákra nem hat. A geofitáknál azonban fontos a fagyos napok száma, valamint az átlagos napi átlag, napi minimum- és napi maximumhőmérséklet, amelyek viszont a lepkék fenológiájára nem hatnak (Ferenczy et al., 2010).

### **A klímaváltozás hatásai az agrárrendszerekre**

#### *Klimatikus profilindikátorok a kukorica- ökoszisztémák elemzésére*

A klímaváltozás kártevődinamikai viszonyokra gyakorolt hatását a kukorica-ökoszisztéma kártevői, kórokozói és gyomnövényei alapján elemeztük, többféle klímaszcenárió és modellfuttatás alapján, havi klimatikus profil-indikátorokkal.

A vizsgálat során az indikátor feltételeinek megfelelő évek gyakoriságának növekedését vagy csökkenését vizsgáltuk. Az egyes klimatikus profilindikátorokat azon fajokról neveztük el, amelyek az irodalmi adatai alapján az indikátorokat megfogalmaztuk. A továbbiakban, amikor fajokról vagy azok csoportjairól beszélünk, mindig a nekik megfelelő havi klimatikus profilindikátort értjük alatta, amikor pedig növekedésről vagy csökkenésről beszélünk egy fajjal kapcsolatban, az a profilindikátornak megfelelő évek gyakoriságának változását jelenti.

A vizsgált 37 fontos kórokozó és kártevő indikátora közül 9 mutatott erős növekedést a növekvő intenzitású klímaváltozási scenáriók irányában. Ezek a meleg tavaszt és nyarat igénylő, de csapadékra nem igényes fajok indikátorai, melyek a jelenleg tapasztalt 0-10% közötti relatív gyakoriságról 84-100%-ra növekedtek a legmelegebb scenáriókra.

11 olyan fajt találtunk, amelyek indikátorai kisebb mértékű növekedési tendenciát mutattak 35-61%-ig. Ezek az egész évben tavasztól őszi melegget és szárazságot igénylő fajok.

A potenciális kártételi veszélyhelyzetek kockázata mindkét csoport esetén várhatóan nagyobb lesz a historikus viszonyoknál tapasztaltaknál.

A maradék 17 faj nem mutatott lényeges változást, ezek azok a fajok, amelyek magas csapadékot igényeltek.

A változás tehát a kártevő fajok több mint 50%-át érinti.

A klímaváltozási scenáriók profilindikátorok által kiértékelt gyakorisági adatsorai egymással összehasonlítva a következő hasonlósági mintázatot mutatják: a historikus és a referencia időszak adatsorai egymáshoz közel helyezkednek el, tőlük legtávolabb a drasztikus változásokat mutató egyensúlyi UKLO, UKHI scenáriók állnak, és tőlük elkülönülve a modernebb HC-A2, HC-B2 és MPI-A2 scenáriók találhatók. A két szélsőség (a jelen és a távolabbi jövő) között helyezkednek el a mérsékelt változásokat mutató GF2, GF5 és UKTR scenáriók (Diós et al., 2008, 2009).



*A legfontosabb szőlőfajták fagy-, illetve rothadási érzékenységének indikátoranalízisen alapuló komplex osztályozásának módszertani alapjai*

A szürkerothadás (*Botrytis cinerea*) a szőlő olyan gombás megbetegedése, mely csapadékos, párás, hűvös viszonyok között alakul ki, és barnulást, illetve a szövetek elhalását okozza. Bár a fertőzés maga bizonyos körülmények között nemesrothadást, aszúsodást eredményezhet, a legtöbb esetben a termés nagy részét elpusztítja. Ilyen volt a 2010-es esztendő is, amikor a csapadékos ősszel kialakuló rothadás a termesztők számára súlyos károkat hozott.

A szürkerothadás kialakulásának körülményeit hozzávetőlegesen jól ismerik a szakemberek, bár azzal is tisztában vannak, hogy a fertőzés megjelenése, illetve annak súlyossága az időjárási körülmények igen sokrétű összetevőitől függ. Ismeretes, hogy az egyes fajták igen eltérő módon érzékenyek a szürkerothadásra, a fertőzés pontos körülményeiről mégis hiányosak az ismeretek. Ezért is tartottuk különösen fontosnak és időszerűnek, hogy tüzetesebben megvizsgáljuk, hogyan hatnak az egyes időjárási körülmények az egyes fajták esetében a szürkerothadás okozta károk mértékére.

Mivel a *Budapesti Corvinus Egyetem Szőlészeti és Borászati Intézetének Szőlészeti Tan-székén* több évtizedes adatok halmozódtak fel kézirat formájában, ezért égetően szükségesnek tartottuk ezeknek az adatoknak a digitalizálását, hozzáférhetővé tételét, feldolgozását, a rendelkezésre álló historikus meteorológiai adatokkal való összevetését, a tanulságok levonását.

Az adatbázis alapján három eltérő érzékenységgű, más-más fajtakörből származó szőlőfajtára (Szürkebarát, Kékfrankos, Furmint) korrelációelemzéssel igazoltuk, hogy a szüret előtti utolsó három hét csapadékmennyisége, csapadékeloszlása és relatív páratartalma a fajtákra jellemzően más-más módon és mértékben (üzemi védekezés mellett), de minden esetben kiemelt szerepet kap a szürkerothadás kialakulásában. Az okozott kár súlyosságát, tehát a kockázat mértékét, illetve a védekezés eredményét nemcsak a védekezés módja határozza meg.

A szürkerothadás okozta károk mértékének indikátoranalízisen alapuló elemzésével, valamint többváltozós statisztikai módszerek komplex alkalmazásával meghatároztuk az egyes fajtákra a legfontosabb klimatikus hatótényezőket, melyek a szürkerothadás által okozott kár mértékét döntően befolyásolják.

A Kékfrankos fajtára megmutattuk, hogy adataink alapján valószínűsíthető, hogy az egyébként kevésbé érzékeny fajta esetében a szürkerothadás nemcsak klimatikus paramétereiktől, hanem az előző évi rothadás mértékétől is függ, mégpedig oly módon, hogy egy erős fertőzöttségű évet követően kevésbé kedvezőtlen időjárás is viszonylag nagy károkat okozó rothadást okozhat.

Kidolgoztunk egy olyan könnyen használható módszert, melynek segítségével a jövőbeli rothadási károk mértéke jól becsülhető. Ezt a módszert a klímaváltozás hatás-vizsgálatát célzó kutatásokban fenológiai és regionális klímamodellekkel összekapcsolva prognosztizálhatjuk a szürkerothadás kockázatának jövőbeli eloszlását, illetve annak változását a historikus adatokból becsült eloszláshoz képest. Ez új metodikai eredmény, mely további kutatásokat készít elő (*Ladányi et al., 2011ab*).

*Az egyes meghatározó szőlőfajták (Vitis vinifera, L.) rügyfakadását és fővirágzását leíró fenológiai modellek a várható fenológiai eltolódások mértékének regionális klímamodellek előrejelzései alapján történő becslésére*

A szőlőtermelés sikere nagyban függ az időjárás paramétereitől. A változó éghajlat hatásának már látható jegyei vannak az egyes fenológiai fázisokban. A szőlő fenológiai szakaszai közül a rügyfakadás és a virágnyílás modellezése fontos lehet a sikeres növényvédelem vagy a termesztési technológia tervezésének szempontjából.

Öt fehérborszőlő fajtát és klónjaikat (Hárslevelű, Szürkebarát, Rajnai rizling, Pinot blanc és Chardonnay) modelleztünk, melyekről a helvéci kísérleti ültetvényekben 2000 és 2004 között négy ismétlésben 25-25 tőből álló állomány rügyfakadási és virágzási adatai kerültek felvételezésre.

A fenológiai modellek azon az általánosan elfogadott feltevésen alapulnak, hogy a szőlő rügyfakadását a nyugalomban ért hideghatást követően elsősorban a növényt ért effektív akkumulált hőmennyiség határozza meg egy adott kritikus hőösszeg eléréseig. Ennek megfelelően a nyugalmi időszakot a mélynyugalom (*endodormancy*) és a kényszernyugalom (*ecodormancy*) időszakokra bonthatjuk. Mélynyugalom kezdetén és folyamán a rügyfakadás gátlásának oka a rügyekben fokozódó abszcizinsav termelés, melynek koncentrációja a mélynyugalom végére és a kényszernyugalom kezdetére fokozatosan lecsökken. Kényszernyugalomban a még nem megfelelő környezeti tényezők, elsősorban az alacsony hőmérséklet gátolja a rügyfakadást. A szakirodalomban számos szerző foglalkozik fenológiai modellezéssel különböző fajtákra és termesztési feltételekre. Szinte minden modellben közös, hogy egy adott időponttól kezdődően (legtöbbször ezt január elsejében rögzítik) egy adott bázishőmérséklet (sok esetben 10 °C) feletti hőösszegeket akkumulálnak egy kritikus érték eléréseig. Hasonló felépítésűek a virágzás kezdetét meghatározó fenológiai modellek is, ezeknél a modell indulását a rügyfakadás határozza meg.

A fent említett 10 °C-os bázishőmérséklet, valamint az akkumulálás január elsejei kezdete azonban ilyen tekintetben önkényes választás, és bár az évjáratok és terroárok összehasonlítására használhatók, a fajták összehasonlítására, különös tekintettel pedig a fenológiai időpontok becslésére nem alkalmasak. Érdemes továbbá azt is figyelembe venni, hogy bizonyos (felső bázis-)hőmérséklet felett a hóhatás nem segíti, esetleg gátolja is a fejlődést.

Kidolgoztunk egy matematikai modellt, mely a rügyfakadás és a fővirágzás kezdetére megbízható előrejelzést nyújt. A modell az általánosan használt kumulált hőösszegszámításon alapul, optimalizálását pedig a becsült időpontok napokban számított hibájára végeztük. Optimalizálással határoztuk meg a modellbe foglalt alsó és felső bázishőmérsékleteket külön a rügyfakadás és a virágnyílás kezdetének időpontjához. A modellt kiegészítettük az kényszernyugalom kezdetét reprezentáló paraméterrel, és az optimalizálás során ezt a paramétert is kalibráltuk.

A továbbiakban a *Kecskeméti Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet* hosszabb (1977-2003) fenológiai idősorát felhasználva finomítottuk a modellünket oly módon, hogy a mélynyugalom idején akkumulált 0 °C körüli (pozitív) hidegösszeg hatását is figyelembe vettük egy vörös és három fehérborszőlő fajtára (Kékfrankos, Hárslevelű, Szürkeba-

rát, Rajnai rizling). Hazánk klimatikus viszonyai között ugyanis elsősorban a megfelelő mennyiségű hideghatás következtében törik meg a mélynyugalom, és indul a kényszernyugalmi állapot. A hideghatás akkumuláló függvényét egy háromparaméterű, a mélynyugalmi állapotot követően a hőhatás akkumuláló függvényét pedig egy kétparaméterű exponenciális-típusú, értékeit a [0,1] intervallumon felvevő függvénnyel fejeztük ki. A felsorolt öt paraméterrel együtt a kényszernyugalomhoz szükséges kritikus hidegösszeg-, illetve a rügyfakadáshoz szükséges kritikus melegösszeg-értékeket optimalizáltuk a legkisebb átlagos négyzetes hiba eléréséhez.

A modellek validálását követően mindkét modellt a RegCM3.1 regionális klímamodell becslésével is futtattuk az 1961-1990-es referenciaidőszakra, valamint a 2021-2050, illetve a 2071-2100 prognózisokra vonatkozóan. Statisztikai vizsgálatokkal alátámasztott következtetéseket vontunk le a jövőben várható fenológiai változások irányáról és mértékéről fajtaspecifikus megközelítéssel (*Ladányi, 2010; Hlászny et al., 2012; Hlászny et al., 2011; Ladányi et al., 2010d, 2011c; Ladányi és Hlászny, 2010a; Persely et al., 2010bc*).

### **Új bioindikációs perspektíva: Oribatida genuslisták**

Az oribatid atkák genuszlistái egyedülálló ökológiai indikációs eszközt jelentenek a klímaváltozás kutatásában az alábbi fő tulajdonságaik alapján:

- Egyedülállóan egyszerű, gyors és hatékony mintagyűjtést tesznek lehetővé (egy maréknyi talajban, avarban, mohában több tucat genuszhoz tartozó több száz – trópuson több ezer –egyed található), majdnem bármilyen habitat, majdnem bármilyen szubsztrátjából.
- A minta egyszerű fénymikroszkópos vizsgálattal feldolgozható, genusz szinten jól és gyorsan határozható.
- Jól szintetizált tudományos irodalma van.
- A genuszlista szezonálisan stabil, az egyedszámok sem mutatnak jelentős szezonális dinamikát.
- A kompozíció a biotóp fontos, alapvető tulajdonságaira reflektál, amely reflexió felülírja a zoogeográfiai mintázatok hatását.
- A genuszlisták távolságfüggvényeinek extrém magas az információtartalma.

Vizsgálatok megállapították, hogy a fajszintű listák a családszintű listákhoz hasonlóan, bár más okokból, indikációs vizsgálatokra kevésbé használhatók, mint a genuszlisták.

Elkészítettünk egy referencialistát, amely bármely két genuszlista közötti távolságfüggvény számértékének szakmai értékelését lehetővé teszi (Gergócs et al., 2010, 2011).

### **Összefoglalás és kitekintés**

Munkánkban a klímaváltozás lehetséges populáció- és közösségökológiai hatásait korábbi eredményeinkre támaszkodva igyekeztünk a lehető legátfogóbban, és ugyanakkor leginkább mélyrehatóan elemezni. Összefoglalóan az alábbi főbb megállapításokat tehetjük:

A jelen kutatásban elért stratégiai és taktikai modellezési eredményeink, valamint korábbi esettanulmányaink egyaránt arra mutatnak, hogy a klímaváltozás jelentős és mélyreható átrendeződésekhez vezethet úgy az ökoszisztémák felépítése és működése, mint a szezonális-dinamikai folyamatok időrendje és a biodiverzitási mintázatok vonatkozásában (*Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2010a,b,c, 2011; Ladányi és Horváth, 2010; Sipkay et al 2010; Bálo et al., 2012; Ladányi et al., 2011d*).

A különböző fajokra, populációkra és közösségekre a klímaváltozás nagyon különböző mértékű és irányú hatást fejthet ki, így a változások jellemzésére a nemzetközi szakirodalomban elterjedt „range shift” és „time shift” megfontolások csak nagyon korlátozottan alkalmazhatók (*Sipkay et al., 2010; Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2011*).

A várhatóan bekövetkező klímaváltozási jelenségek alapjaiban érintik hazánk mezőgazdaságát, erdőgazdálkodását, vízügyét, természetvédelmét, így az alkalmazott klíma-ökológiai és adaptációs kutatások felgyorsítása már nem sokáig halogatható (*Ladányi, 2011; Persely et al., 2010a; Sipkay et al., 2010; Szenteleki et al., 2010; Szenteleki et al., 2011ab; Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2011; Szenteleki et al., 2012; Szenteleki et al., megjelenés alatt; Ladányi et al., 2010b; Persely et al., 2011*).

Ismertetett eredményeink számos ponton rámutatnak azokra a jelenségekre és lehetőségekre, melyeknek kutatása az elkövetkező évtized legfontosabb stratégiai feladatai lehetnek, és melyeknek alapkutatási és társadalmi jelentősége egyaránt kiemelkedő (*Sipkay et al., 2010; Drégelyi-Kiss és Hufnagel, 2011; Ladányi és Hlásznyi, 2010b; Persely et al., 2010d; Ladányi et al., 2010ace*).

## **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR/-2010-0005 számú projekt támogatásával készült. Munkánkat az *MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja*, a *BCE kutató-asszisztensi ösztöndíja*, az *ALÖKI Alkalmazott Ökológiai Kutató és Igazságügyi Szakértői Intézet Kft.*, valamint a *BCE (korábban MTA TKI) Alkalmazkodás a Klímaváltozáshoz Kutatócsoportja* is támogatta. Köszönjük az alábbi résztvevők együttműködését: *Bálo Borbála, Bisztray György Dénes, Diós Nikoletta, Drégelyi-Kiss Ágota, Eppich Boglárka, Ertsey Imre, Fazekas István, Ferenczy Antal, Gaál Márta, Garamölgyi Ágnes, Gimesi László, Hajdu Edit, Hegedüs András, Hirka Anikó, Horváth Levente, Isépy István, Kecső Beáta, Kiss Keve Tihamér, Kiss Ottó, Kocsis Márton, Mézes Zoltán, Nowinszky László, Nyéki József, Pernesz György, Persely Szilvia, Petrányi Gergely, Priszter Szaniszló, Puskás János, Sipkay Csaba, Soltész Miklós, Szabó Tibor, Szabó Zoltán, Szabóki Csaba, Szenteleki Károly, Szentkirályi Ferenc, Vadadi-Fülöp Csaba, Varga Réka Dóra és Verasztó Csaba.*

## **IRODALOMJEGYZÉK**

Bartholy, J., Pongrácz, R., nagy,J., Pieczka, I., Hufnagel, L. (megjelenés alatt): Regional climate change impacts on wild animals living territory in Central Europe - Applied Ecology and Environmental Research 10(n): pp-pp

Bálo, B., Szűcs, E., Balga, I., Ladányi, M., Tóth, E., Zsófi, Zs. (2012) Érik a szőlő, de hogyan? XIII. Szőlészeti és Borászati Konferencia, Eger, 2012. január

Diós, N., Ferenczy, A., Hufnagel, L., Szenteleki, K. (2008): Klímaszcenáriók összehasonlító értékelése kukorica ökoszisztéma szempontjából klimatikus profil-indikátorokkal. VIII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia, 2008. július 1-2. Budapest, Összefoglalók 21. oldal (<http://www.biometria.uni-corvinus.hu/2008/index.html>)

Diós, N., Szenteleki, K., Ferenczy, A., Petrányi, G., Hufnagel, L. (2009): A climate profile indicator based comparative analysis of climate change scenarios with regard to maize (*Zea mays* L.) cultures. *Applied Ecology and Environmental Research* 7(3): 199-214.

Drégelyi-Kiss, Á., Drégelyi-Kiss, G., Hufnagel, L. (2008): Ecosystems as climate controllers, biotic feedbacks (a review). *Applied Ecology and Environmental Research* 6(2): 111-135.

Drégelyi-Kiss, Á., Hufnagel, L. (2009) Simulations of Theoretical Ecosystem Growth Model (TEGM) During Various Climate Conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 7, 71-78.

Drégelyi-Kiss Á., Hufnagel L. (2010a) Effects of temperature-climate patterns on the production of some competitive species on grounds of modelling. *Environ. Model Assess.*, 15(5):369-380 doi:10.1007/s10666-009-9216-4. (IF 2010: 0,916)

Drégelyi-Kiss Á., Hufnagel L. (2010b) Elméleti ökoszisztéma modell (TEGM) szimulációs kísérletei különböző hőmérsékleti mintázatok hatására. *Óbuda University e-Bulletin* 1(1): 293-300.

Drégelyi-Kiss, Á., Hufnagel, L. (2010c) Klíma-ökoszisztéma rendszer stratégiai modellezése egy elméleti fajegyüttes példáján. XV. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2010. március 25-26., pp. 83-86.

Drégelyi-Kiss, Á., Gimesi, L., Homoródi, R., Hufnagel, L. (2010) Examination the interaction between the composition of a theoretical ecosystem and the increase in the atmospherical CO<sub>2</sub> level. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, Vol. 38(2). pp. 201-206 (2010).

Drégelyi-Kiss, Á., Hufnagel, L. (2011): Changes in the Composition of a Theoretical Freshwater Ecosystem Under Disturbances In: Juan Blanco and Houshang Kheradmand (ed): *Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects*. InTech - Open Access Publisher, Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-307-419-1, URL: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/changes-in-the-composition-of-a-theoretical-freshwater-ecosystem-under-disturbances>

Eppich, B., Dede, L., Ferenczy, A., Horváth, L., Isépy, I., Hufnagel, L. (2009a) Időjárás hatása hagymás és gumós növények fenológiájára. LI. Georgikon Napok 197-206.

Eppich, B; Dede, L., Ferenczy, A., Garamvölgyi, Á., Horváth, L., Isépy, I., Priszter, Sz., Hufnagel, L. (2009b): Climatic effects on the phenology of geophytes. *Applied Ecology and Environmental Research* 7(3): 253-266.

Ferenczy, A., Eppich, B., Varga, R.D., Bíró, I., Kovács, A., Petrányi, G., Hirka, A., Szabóki, Cs., Isépy, I., Priszter, Sz., Türei, D., Gimesi, L., Garamvölgyi, Á., Homoródi, R., Hufnagel,

- L. (2010): Comparative analysis of the relationship between phenological phenomena and meteorological indicators based on insect and plant monitoring. *Applied Ecology and Environmental Research* 8(4): 367-376. (IF 2010: 0,547)
- Gergócs, V., Garamvölgyi, Á., Homoródi, R., Hufnagel, L. (2011): Seasonal change of oribatid mite communities (acari, oribatida) in three different types of microhabitats in an oak forest. *Applied Ecology and Environmental Research* 9(2): 181-195. (IF 2010: 0,547)
- Gergócs, V., Garamvölgyi, Á., Hufnagel, L. (2010): Indication strength of coenological similarity patterns based on genus-level taxon lists. *Applied Ecology and Environmental Research* 8(1): 63-76. (IF 2010: 0,547)
- Gimesi, L., Hufnagel, L. (2010): The possibilities of biodiversity monitoring based on Hungarian light trap networks. *Applied Ecology and Environmental Research* 8(3): 223-239. (IF 2010: 0,547)
- Hlaszny, E., Ladányi, M. (2010) A szőlő rügyfakadási idejének becslése. *Gazdálkodás* (54) 7 pp. 768-772.
- Hlaszny, E., Hajdu, E., Bisztray, Gy., Ladányi, M. (2012) Comparison of budburst models predictions for Kekfrankos. *Applied Ecology and Environmental Research* 10 (1): 75-86. (IF 2010: 0,547)
- Hlaszny, E., Ladányi, M., Pernes, Gy., Bisztray, Gy. (2011) A szőlő (*Vitis vinifera* L.) rügyfakadásának és fővirágzásának előrejelzése helvéciai megfigyelések alapján. *Szőlő és Klíma Konferencia, Kőszeg*. Szerk.: Puskás J. ISBN: 978-963-8481-12-2. pp. 1-15.
- Hufnagel, L., Drégelyi-Kiss, G., Drégelyi-Kiss, Á. (2010) The effect of the reproductivity's velocity on the biodiversity of a theoretical ecosystem. *Applied Ecology and Environmental Research* 8(2): 119-130. (IF 2010: 0,547)
- Kocsis, M., Hufnagel, L. (2011) Impacts of climate change on lepidoptera species and communities. *Applied Ecology and Environmental Research* 9(1): 43-72.
- Kúti, Zs., Hirka, A., Petrányi, G., Szabóky, Cs., Gimesi, L., Hufnagel, L., Ladányi, M. (2010) A kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* L.) aktivitásának modellezése abiotikus paraméterekkel. *Journal of Agricultural Informatics*. 2010 Vol. 1, No. 1: 40-46.
- Kúti, Zs., Hirka, A., Hufnagel, L., Ladányi, M. (2011a) A population dynamical model of *Operophtera brumata*, L. extended by climatic factors. *Applied Ecology and Environmental Research* 9(4): 433-447. (IF 2010: 0,547)
- Kúti, Zs., Hirka, A., Hufnagel, L., Szenteleki, K., Ladányi, M. (2011b) A kis téliaraszoló (*Operophtera brumata*, L.) rajzáskezdetének és rajzáshosszáinak elemzése, és várható változásainak becslése. *Agrárinformatikai Tanulmányok II.* pp.62-80. ISBN 978-963-87366-7-3.
- Kúti Zs., Hirka, A., Hufnagel, L., Szenteleki, K., Ladányi, M. (2011c) A kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* L.) rajzáskezdetének és rajzáshosszáinak és ezek várható változásainak elemzése. *Klíma-21 füzetek, Harnos Zsolt Emlékszám*. pp. 91-96.

Ladányi, M. (2011) A klímaváltozás hatásainak kockázati aspektusai a szőlészeti kutatásokban. Szőlő és Klíma Konferencia, Kőszeg. Szerk.: Puskás J. ISBN: 978-963-8481-12-2. pp 1-21.

Ladányi, M. (2010) Climate indicator analysis specialized for viticultural researches. In: *Advances in Environmental Modeling and Measurements* ISBN: 978-1-60876-599-7. D. T. Mihailovic and B. Lalic (Eds.) Nova Science Publishers, Chapter 23. pp. 255-264.

Ladányi, M., Hlaszny, E. (2010a) A model of full bloom starting date of some white *Vitis vinifera* L. varieties grown in Helvécia. *International Journal of Horticultural Sciences* 16(2) p.21-26.

Ladányi, M., Hlaszny, E. (2010b) Modellek vallanak a klímaváltozásról és hatásairól. *Agrofórum* 21 (7):98-101.

Ladányi, M., Horváth, L. (2010) A review of the potential climate change impact on insect populations - general and agricultural aspects. *Applied Ecology and Environmental Research* 8(2): 143-152.

Ladányi, M., Hufnagel, L. (2006) The effect of climate change on the population of sycamore lace bug (*Corythuca ciliata*, SAY, Tingidae Heteroptera) based on a simulation model with phenological response. *Applied Ecology and Environmental Research* 4(2): 85-112.

Ladányi, M., Persely, Sz. Nyéki, J., Szabó, Z. (2010a) From phenology models to risk indicator analysis. *Agricultural Informatics* (1) 2 pp. 8-16.

Ladányi, M., Persely, Sz., Nyéki, J., Szabó, T., Soltész, M., Szabó, Z. (2010b) Climatic indicators regarding the rest period of sour cherry. *International Journal of Horticultural Sciences* 16(4):49-52.

Ladányi, M. Persely, Sz., Szabó, T., Soltész, M., Nyéki, J., Szabó, Z. (2010c) Climatic indicator analysis of blooming time for sour cherries. *International Journal of Horticultural Sciences*. 16(1):11-16.

Ladányi, M., Hlaszny, E. Pernesz, Gy., Bisztray, Gy. (2010d) Climate change impact study based on grapevine phenology modelling. VIII. *International Terroir Congress 2010 Soave (Vr) Italy* 14-18 June 2010.3. pp. 65-71.

Ladányi, M., Persely, Sz., Nyéki, J., Szabó, T., Soltész, M. & Szabó, Z. (2010e) Climatic indicators regarding the rest period of sour cherry. *International Journal of Horticultural Sciences* 16(4):49-52.

Ladányi, M., Kecő, B., Fazekas, I., Bisztray, Gy. (2011a) Klimatikus indikátorok hatása eltérő érzékenységű szőlőfajták (*Vitis vinifera*) szürkerothadására. Szőlő és Klíma Konferencia, Kőszeg. Szerk.: Puskás J. ISBN: 978-963-8481-12-2. pp. 1-13.

Ladányi, M., Reiczigel, Zs., Fazekas, I., Bálo, B., Bisztray, Gy. (2011b) Climatic risk factors of *Botrytis cinerea* infection from climate change aspect. *Proceedings of the 17th International GiESCO Symposium, Aug. 29th-Sept. 2nd, 2011, Asti –Alba, Italy, ISSN 0369-8173* pp. 403-406.

- Ladányi M., Hlaszny, E., Reiczigel, Zs., Fazekas I., Bisztray Gy. (2011c) A szürkerothadás megjelenése eltérő érzékenységű szőlőfajtáknál (*Vitis vinifera*) különböző évjáratokban. IX. Magyar Biometriai, Biomatematikai és Bioinformatikai Konferencia, Budapest. p.62.
- Ladányi M., Persely Sz., Nyéki J., Szabó Z., Szabó T., Ertsey, I. (2011d) Meggyfajták hozamkockázatának vizsgálata különböző módszerekkel (1999-2008) Klíma-21 füzetek, 64. 69-77.
- Ladányi, M., Kúti, Zs., Hirka, A., Hufnagel, L., Szenteleki, K., Bartholy, J.(2011e) A kis téliaraszoló (*Operophtera brumata* L.) rajzásdinamikájának elemzése és várható változásainak becslése. IX. Magyar Biometriai, Biomatematikai és Bioinformatikai Konferencia, Budapest. p. 61.
- Nagy, J., Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I., Hufnagel, L. (2011a) A klímaváltozás várható regionális hatása a vadon élő állatok élőhelyére a közép-európai térségben. Természet, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása 10. Nemzetközi konferencia, Szombathely, 2011. május 21.
- Nagy, J., Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I., Hufnagel, L. (2011b) Regional climate change impacts on wild animal's living territory in Central Europe, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria. 3-8. April 2011.
- Persely, Sz., Ladányi, M., Nyéki, J., Szabó, Z., Soltész, M., Ertsey, I. (2010a) Comparison of pear production areas from yield risk aspect. International Journal of Horticultural Sciences 16(4):25-28.
- Persely Sz., Ladányi M., Szabó T., Nyéki J., Ertsey, I. Szabó Z. (2010b) Fenológiai modellen alapuló indikátoranalízis a meggy virágzási idejére Kertgazdaság 42(3-4)pp.1-11.
- Persely Sz., Ladányi M., Szabó T., Nyéki J., Szabó Z. (2010c) A meggy virágzási idejére vonatkozó klimatikus indikátorok elemzése. Kertgazdaság 42(1) 18-26.
- Persely, Sz., Ladányi, M., Szabó, T., Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z. (2010d): Klimatikus indikátorok elemzése a meggy nyugalmi időszakában. Agriculture and Countryside in the Squeeze of Climate Change and Recession. IX. Wellmann Oszkár Nemzetközi Tudományos Konferencia, Hódmezővásárhely, 2010. április 22., 649-655. ISSN 1788-5345.
- Persely Sz., Ladányi M., Nyéki J., Ertsey, I. Szabó Z. (2011) Körtefajták és körte termőhelyek hozamkockázatának összehasonlítása különböző módszerekkel (1987-2009). Klíma-21 füzetek, 64. 32-37.
- Petrányi, G., Hufnagel, L., Horváth, L. (2007) A klímaváltozás és a biodiverzitás kapcsolata – földrajzi analógiai esettanulmány az európai lepkefaunára –"KLÍMA-21" Füzetek 2007 50. szám: 62-69.
- Sipkay, Cs., Nosek, J., Oertel, N., Vadadi-Fülöp, Cs., Hufnagel, L. (2007): Klímaváltozási szcenáriók elemzése egy dunai Copepoda faj szezonális dinamikájának modellezése alapján – "KLÍMA-21" Füzetek 2007 49.szám: 80-90.
- Sipkay, Cs., Drégely-Kiss, Á., Horváth, L., Garamvölgyi, Á., Tihamér Keve, K., Hufnagel, L. (2010) Community ecological effects of climate change. In: Suzanne W. Simard and



Mary E. Austin (Ed.) *Climate Change and Variability*. Sciyo. p. 139-162. ISBN: 978-953-307-144-2

Szenteleki K., Ladányi M., Gaál M., Hegedüs, A., Botos, E. P. (2010) Climate change impacts and product lines. *International Journal of Horticultural Sciences*. 16(1)79-83.

Szenteleki, K., Gaál, M., Ladányi, M., Mézes, Z., Szabó, Z., Zanathy, G., Bisztray, Gy. (2011a) A klímaváltozás hatásai a Közép-magyarországi régió szőlő-, meggy- és cseresznyetermesztésére és a termésbiztonságra. *Agrárinformatikai Tanulmányok III.* pp. 113-150. ISBN 978-963-87366-8-0

Szenteleki, K., Horváth, L., Ladányi, M. (megjelenés alatt) Climate risk and climate analogies in Hungarian viticulture. ISBN 978-1-84626-xxx-x. *Proceedings of 2010 International Conference on Chemical Engineering and Applications (CCEA 2012)*, Singapore, 26-28 February, 2012.

Szenteleki, K., Ladányi, M., Gaál, M., Bisztray, Gy., Zanathy, G. (2011b) A klímaváltozás egyes kockázati tényezői a közép-magyarországi szőlőtermesztésben. ISBN 978-963-9639-35-5. *53rd International Georgicon Scientific Conference, Keszthely, 2012.* szeptember 29-30.

Szenteleki, K., Ladányi, M., Gaál, M., Zanathy, G., Bisztray, Gy. (2012) Climatic risk factors of Central Hungarian grape growing regions. *Applied Ecology and Environmental Research*. 10(1): 87-105.

Vadadi-Fülöp Cs., D. Türei, Cs. Sipkay, Cs. Verasztó, Á. Drégelyi-Kiss, L. Hufnagel (2009): Comparative Assessment of Climate Change Scenarios Based on Aquatic Food Web Modeling - *Environmental Modeling and Assessment* 14(5) : 563-576

Verasztó, Cs., Kiss, K. T., Sipkay, Cs., Gimesi, L., Vadadi-Fülöp, Cs., Türei, D., Hufnagel, L. (2010) Long-term dynamic patterns and diversity of phytoplankton communities in a large eutrophic river (the case of river Danube, Hungary). *Applied Ecology and Environmental Research* 8(4): 329-349.

