

Egyenesszárnyú rovarfajok (Orthoptera) lárvakeléskezdetének hosszú távú trendjei (1958–2009) az éghajlatváltozás következményeként Magyarországon

SZABÓ BARBARA¹, NAGY BARNABÁS² ÉS SZENTKIRÁLYI FERENC³

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Növényrendszertani, Ökológiai és Elméleti Biológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter s. 1/C. E-mail: szabo.barbara@okologia.mta.hu

²Magyar Természettudományi Múzeum Állattár, 1088 Budapest, Baross utca 13.

³MTA Agrártudományi Kutatóközpont, Növényvédelmi Intézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.

Összefoglalás. A klímaváltozás napjaink egyik legsúlyosabb környezeti problémája, melynek hatásai a hazai élővilágon is nyomot hagynak. Jelen munkánk fő célkitűzése az volt, hogy egyenesszárnyú rovarfajok lárvakelésének a regionális éghajlatváltozásra adott reakcióját jellemezzük. Vizsgálatunkhoz öt Orthoptera-faj (*Isophya costata*, *Isophya stysi*, *Isophya kraussii*, *Isophya camptoxypha*, *Saga pedo*) fenológiai megfigyeléseit és klimatológiai alapadatokat (1958–2009) használtunk fel. Statisztikai eljárásokat (trendelemzés, effektív hőösszeg módszere, keresztkorreláció) alkalmaztunk (1) a lárvakelés kezdetének a téli–tavaszi átlaghőmérséklettől és az Észak-Atlanti Oszcillációtól való függésének kimutatására, valamint (2) a lárvakelés időbeli eltolódásának megállapítására. Eredményeink alapján majdnem az összes vizsgált faj lárváinak tojásból való kikelési időpontja korábbra tolódott az elmúlt 50 év alatt. E fenológiai változás az *I. costata* esetében szignifikánsnak (2–3 nap/évtized) bizonyult. Az *I. stysi*, *I. kraussii*, valamint *I. camptoxypha* esetében is ilyen mértékű (2,3–3,3 nap/évtized), de nem szignifikáns eltolódás volt jellemző. E változások az Észak-Atlanti Oszcilláció közvetett és az emelkedő tavaszi átlaghőmérsékletek közvetlen hatásának tulajdoníthatók. A szezonálisan későbbi faj (*Saga pedo*) lárvakelés-fenológiájában nem volt szignifikáns változás.

Kulcsszavak: *Isophya* spp., *Saga pedo*, lárvakelés, effektív hőösszeg, Észak-Atlanti Oszcilláció

Bevezetés

A Föld története során fellépő klímaingadozások mindig is hatással voltak a flóra, illetve a fauna összetételére, a fajok tér-időbeli mennyiségi változásaira. Az éghajlatváltozás mellett (PARMESAN & YOHE 2003) azonban a nagy távhatású klimatikus kapcsolatok is hatással vannak az ökoszisztémákra. Ilyen oszcillációs jelenség az Észak-Atlanti Oszcilláció (NAO), mely légnyomáskülönbségei által befolyásolja az éghajlatot, így közvetett módon az élővilágot is (STENSETH et al. 2002). A NAO egyike az északi féltekén jelentkező nagy térléptékű légköri oszcillációs jelenségeknek, ami a tengerfelszíni légnyomásnak az izlandi alacsony és az Azori-szigeteken mért magas légnyomás közötti ingadozásával keletkezik. A NAO mértékét kifejező indexek szerint a jelenség nagy változékonyságot mutatott az elmúlt 100 évben (HURRELL et al. 2003). A NAO-index az 1900–1930 közötti időszakban

erősen pozitív volt (átlag feletti európai hőmérsékletek), míg 1940–1970 között a negatív értékek voltak a jellemzők (Európában a telek gyakran az átlagosnál hidegebbek voltak). 1980 óta a NAO-index értékei többnyire pozitív előjelűek és emelkedő trendet mutatnak. A pozitív előjelű téli NAO több és nagyobb nedvességtartalmú légtömeget indít el az Atlanti-óceán felől Ny- és É-Európa felé. Ennek hatásaként a téli és kora tavaszi időszakok egyre enyhébbek és csapadékosabbak Európában (MARSHALL et al. 2001).

A klímaváltozás rovarokra kifejtett közvetlen hatásai közé sorolják azokat, melyek élet-tani, viselkedésbeli folyamataikat változtatják meg, míg közvetett hatásai a táplálkozási láncokon keresztül érvényesülhetnek (ANDREW et al. 2013). Számos rovarfaj úgy alkalmazkodik a felmelegedéshez, hogy elterjedési területe északra vagy magasabb tengerszint feletti magasságokba tolódik (PARMESAN et al. 1999). A felmelegedés által megnövelt egyedfejlődési sebesség és a sikeresebb áttelelés következtében felgyorsulhat a populációk növekedése (BALE et al. 2002).

A rovarokkal kapcsolatos hatástanulmányok többsége a fajok olyan szezonálisan korábban bekövetkező fenológiai eseményeivel foglalkozik, mint a tojásból vagy bábból való kikelés, a bábozódás kezdete, az imágórajzás kezdete vagy csúcsa (ROBINET & ROQUES 2010).

A mérsékelt éghajlati övezetben a lepkéknek a felmelegedés hatására bekövetkező, az áttelelést követő egyre korábbi megjelenéséről gyűlt össze eddig a legtöbb evidencia (ROY & SPARKS 2000, FORISTER & SHAPIRO 2003). Az első tavaszi Lepidoptera-példányok lárva-keletési időpontjának átlagos, évtizedenkénti korábbra tolódásáról (nap/dekádban kifejezve) néhány tájékoztató adat: Írország (45 spp., 1974–2009): 11,8 n/d (O'NEILL et al. 2012); Egyesült Királyság (EK) (18 spp., 1976–1998): 2,8–3,2 n/d (ROY & SPARKS 2000); EK (32 spp., 1976–2008): 4,1 n/d (DIAMOND et al. 2011); Spanyolország (5 spp., 1988–2002): 4,7–32,6 n/d (STEFANESCU et al. 2003). Az észak-amerikai pillangók korábbi rajzáskezdetéről hasonló adatokat közölnek az Amerikai Egyesült Államokból: Kalifornia (16 spp., 1972–2002): 4,2 n/d (FORISTER & SHAPIRO 2003); Massachusetts (10 spp., 1986–2009): 3,2 n/d (POLGAR et al. 2013).

A Homoptera rend képviselői közül öt évtizedes (1955–2005) időszakban 29 levéltetű-fajra 1,6 n/d korábbi rajzáskezdet volt a jellemző (HARRINGTON et al. 2007). Számos levéltetűfaj szokásos évi migrációs repülésének kezdetét a téli átlaghőmérséklet 1°C-os emelkedése 4–19 nappal tolja korábbra (ZHOU et al. 1995).

A Hymenoptera renddel kapcsolatos fenológiai változások különös figyelmet érdemelnek az ökoszisztéma-szolgáltatásokban pollinátori szereppel bíró fajok miatt. Spanyolországban kimutatták (GORDO & SANZ 2006), hogy a méhek első tisztuló kirepülése az 1980-as évektől évtizedenként átlagosan 3–4 nappal korábban kezdődik. Lengyelországban a háziméhek kirepülésének 12 n/d korábbi kezdetét figyelték meg 1985–2009 között (SPARKS et al. 2010). Ugyanezen időszak alatt (1981–2009) az első rajzáscsúcs korábban kezdődött dekádonként 5,5 nappal a lódarázs, míg 9 nappal a német darázs fajok esetében (TRYJANOWSKI et al. 2010).

Diptera fajokon végzett grönlandi vizsgálatok szerint a 90-es évek közepétől egy évtized alatt a szúnyogok átlagban 17–22 nappal, három légy család fajt 4–30 nappal előbb jelentek meg (HOYE et al. 2007). Közép-Angliában húsz zengőlégyfaj közül háromnak az

imágói átlagban tízévenként 5,3 nappal korábban jelentek meg 1991–2007 között (GRAHAM-TAYLOR et al. 2009).

A növények és a rovarok fenofázisainak eltolódásai gyakran egyirányúak és időben szinkron mintázatot követnek, sőt oly mértékben kapcsolatosak lehetnek, hogy a növényi fenofázisok jól indikálják a rovarfajok fejlődési stádiumait. Így például az orgona virágzáskezdeti időszorából előre jelezhető volt egyes Orthoptera-fajok megjelenése (KEMP et al. 1991). Ugyanakkor rovaroknak és tápnövényeiknek az éghajlatváltozásra adott különböző mértékű fenológiai válaszai a közöttük lévő szinkron kapcsolatok időbeli szétválásához vezethet (BUSE et al. 2002), viszont egyes esetekben az adaptív genetikai folyamatok idővel helyreállíthatják a szinkronitást (ROBINET & ROQUES 2010).

A klímaváltozás rovarokra gyakorolt hatásaival kapcsolatos tanulmányok közül 2012-ig 29% a Lepidopterákat, 22% a Dipterákat vizsgálta, míg az Orthopterákkal alig 5% foglalkozott (ANDREW et al. 2013). Hazánkban kifejezetten a felmelegedés hatására bekövetkező, az egyenesszárnyú fajok–együttesek változásait érintő vizsgálatok még nem történtek. Ennek az lehet az oka, hogy többnyire rövidebb időtávú adatsorok állnak rendelkezésre, amelyek ilyen célú elemzésekre nem alkalmasak.

Vizsgálatunk célkitűzése az volt, hogy magyarországi, hosszú távú (1958–2009) adatsorok által kimutassuk, (1) természetvédelmileg értékes Orthoptera-fajok lárvakeletkezési kezdeteinek a téli–tavaszi átlaghőmérsékletektől, illetve az Észak-Atlanti Oszillációtól való függését, valamint (2) a lárvakelési időpontok korábbra tolódásának mértékét.

Anyag és módszer

Lárvakelési adatsorok

A második szerző terepi vizsgálatai során az 1950-es évektől rendszeresen gyűjtötte több sáska- és szöcskefaj (Orthoptera) példányait az életmódjuk tanulmányozása céljából. A tenyésztés és a lárvakelések megfigyelése Budán, az MTA Növényvédelmi Intézetének Állattani Osztályán történt. A példányok tartása üvegházi körülmények között, a fajoknak megfelelő vegyes növényi táplálékon történt. A tenyésztési–származási azonosítóval ellátott cserepeket az időjárás körülményeknek kitéve tartottuk éveken keresztül (1950–2014) a tojások kikeléséig. A vizsgált szöcskefajok lárvakelése ugyanis a tojásállapotban fellépő elnyújtott embrionális diapauza (szuperdiapauza) miatt 2–5 évig is elhúzódik (USHATINSKAYA 1984, INGRISCH 1985, 1986, INGRISCH & KÖHLER 1998, KOLICS et al. 2008). Vizsgálatainkhoz az alábbi öt, természetvédelmi szempontból kiemelt jelentőségű egyenesszárnyúfajt választottuk ki: fűrészlábú szöcske – *Saga pedo* (PALLAS, 1771) (védtett); magyar tarsza – *Isophya costata* BRUNNER VON WATTENWYL, 1882 (fokozottan védtett); Stys-tarsza – *Isophya stysi* CEJCHAN, 1957 (fokozottan védtett); erdei tarsza – *Isophya kraussii* BRUNNER VON WATTENWYL, 1878; kárpáti tarsza – *Isophya camptoxypha* (FIEBER, 1853) (védtett). A példányok a Kárpát-medencéből (Erdély, Kárpátok, Elő-Alpok, Burgenland), többségében hazai tájegységekből (középhegységek, Alpokalja, Mecsek, Nagyalföld) származtak. A kikelt lárvákra vonatkozó adatok a tenyésztési naplókba kerültek. Az elemzések során a diapauza hosszára, illetve a tojásrakó nőtények származási helyére vo-

natkozó információkat nem vettük figyelembe. Fenológiai alapadatként tehát a lárvák tojásból való kikeléseinek a dátumai, valamint egyedszámai szerepeltek. Az elemzések közé azokat a fajokat vontuk be, amelyek legalább 15 különböző évből származó adattal rendelkeztek. A legteljesebb időssorral az *Isopya costata* faj rendelkezett 46 évvel (1958–2008), ezt követte a *Saga pedo* 33 (1966–2009), majd az *Isopya kraussii* 24 (1960–2009), az *Isopya camptoxypha* 18 (1964–2009), végül az *Isopya styisi* 16 évi (1963–2009) megfigyelésekkel az feltüntetett időszakokból.

Klimatikus változók

A magyarázó változók képzéséhez a következő klimatikus jellemzők alapadatait használtuk. Egyrészt a Budán, az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) székházánál mért napi átlagos léghőmérsékletekből számolt havi (december–májusi időszakból: D, J, F, M, Á, M) és több havi (2, 3, 4, 5) időszakok átlagainak adatait (források: http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok_1901-2000/Budapest/), OMSZ Évkönyvei), másrészt a NAO évi index értékeit kezeltük magyarázó változóként (forrás: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/>). Az ún. téli NAO-index a december–márciusi (DJFM) időszakra vonatkozik, míg a szezonális NAO-indexek 3 havi (DJF, JFM, FMÁ, MÁM) periódusok normalizált légnyomáskülönbségein alapulnak (HURRELL et al. 2003). Jelen elemzéseinkben mind a téli (NAO_{DJFM}), mind a szezonális (NAO_{DJF}, NAO_{JFM}, stb.) indexek hosszú távú idősorait felhasználtuk.

Adatkezelések és a statisztikai értékelések

Az elemzéseinkben dátumok helyett a január 1-től az első lárva kikeléséig eltelt napok száma szerepel. Az elemzések többségét az eredeti, lárvakelés nélküli éveket (adathiány) is tartalmazó adatsorokkal végeztük. A trendelemzéseket becslési eljárással kompletté tett adatsorokon is elvégeztük, így elkerülve az adathiányokat, melyhez az effektív hőösszeg módszerét alkalmaztuk (YANG et al. 1995, SNYDER et al. 1999). A módszerhez a lárvakelési időkkel szignifikáns pozitív korrelációkat mutató havi átlaghőmérsékletek napi adatait használtuk, amelyeket elővizsgálatok alapján az *Isophya*-fajoknál január 1-től, a *Saga pedo* esetében pedig az előző év december 1-től vettük számításba. A vizsgált szöcskefajokra az irodalomban nem találtunk a fajokra jellemző, ún. kelési küszöbhőmérsékleteket (T_b), amely értékeknél nagyobb napi átlaghőmérsékletek eltérései kumulatív módon hozzájárulnak a lárvák tojásból való kikeléséhez. Ezért az ismert kelési időpontokhoz meghatároztuk az évi hőösszegeket. Mindezt úgy, hogy a -15 és $+10^\circ\text{C}$ közötti hőmérsékleti tartományban $0,1^\circ\text{C}$ -onként növelt T_b értékekkel képeztük a napi effektív hőmennyiségek kumulatív összegét az aktuálisan észlelt kikelés napjáig. Az egyes T_b értékekkel meghatározott évi átlagos effektív hőösszeggel megbecsültük az évenkénti lárvakelési napokat. Az így számított és a ténylegesen megfigyelt kelések idősorai közötti különbségek hibaszórását (RMSE: root mean square error) a növekvő T_b sorozat függvényében felvéve, a legkisebb RMSE mutatja a valódi T_b legjobb becslését (SNYDER et al. 1999, RUMML et al. 2010). RUMML et al. (2010) hasonlóan megbízható becslésnek találta a „null” módszert, azaz a 0°C T_b használatát, ami szintén alacsony RMSE értékeket adott. Az *I. costata* esetében ezt a módszert is alkalmaztuk a fenológiai idősorban levő hiányok pótlására.

1. táblázat. A növekvő évi átlaghőmérsékletek és a téli NAO függvényében az első lárvakelések szezonális eltolódásának kimutatására végzett lineáris regresszióanalízisek (1958–2009) eredményei öt szöcskefaj esetén. Az oszlopokban található regressziós együtthatók értékei az egységnyi klimatikus változásokra adott kelési kezdetek elmozdulását mutatják (a dimenziók T esetében: nap/1°C, NAO: nap/1hPa). Rövidítések, jelölések: T= átlagos havi hőmérsékletek; J, F, M, A= január–április között; NAO_{DJFM} = téli NAO-index, a regressziós együtthatók negatív előjelei a lárvakelések kezdetének korábbra tolódására utalnak; MRA= többszörös (stepwise) regresszióanalízis, K = kelési kezdet, P = szignifikanciaszint; a félkövén kiemelt értékek statisztikailag szignifikánsak P<0,05.

Table 1. Results of best linear regression models (1958–2009) between beginning of hatching time and climate variables (mean monthly temperatures (T) and indice of winter-NAO). Notes: T = mean temperatures from January to April (J, F, M, A); NAO_{DJFM} = indice of winter-NAO; MRA = multiple regression; K = hatching time; If the regression coefficient is negative and P≤0,05 : significant earlier hatching time by 1°C or 1hPa change of the climate variable.

Faj	T _J	T _F	T _M	T _A	T _{FM}	T _{JFM}	T _{JFMA}	NAO _{DJFM}	MRA egyenlet	P<
<i>S. pedo</i>	-2,48	-1,55	-2,63	-3,10	-2,70	-3,70	-4,80	-4,30	K=-0,43T _{FEB} -0,40T _{MÁJ} +196	0,05
<i>I. costata</i>	-2,50	-2,90	-4,00	-1,30	-4,60	-5,10	-6,40	-3,40	K=-0,49T _{FEB} -0,39T _{MÁR} +102	0,01
<i>I. stysi</i>	-3,00	-3,60	-4,40	+0,4	-4,70	-5,00	-5,60	-1,80	K=-0,71T _{FEB} +96,7	0,01
<i>I. kraussii</i>	-2,40	-3,30	-3,70	-0,90	-4,70	-4,70	-5,80	-2,20	K=-0,43T _{JAN} -0,52T _{FEB} +88,6	0,01
<i>I. camptoxypha</i>	-1,10	-0,80	-0,80	-0,90	-1,50	-1,90	-2,60	+0,30	K=-0,28T _{JAN} -0,15T _{APR} +103	0,40

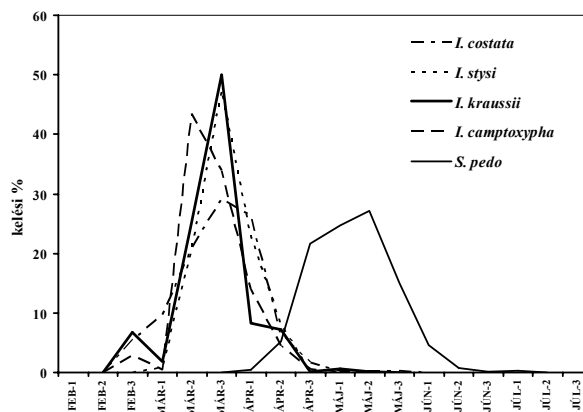
A lárvakelési és a klimatikus idősorok fluktuációs mintázatai közötti szinkronitás mértékének megállapítására keresztkorreláció számítást végeztünk. A fenofázis érzékenységét a különböző hőmérsékleti tényezők hatására (1°C hőmérséklet-emelkedés illetve 1hPa légnyomásváltozás okozta lárvakelési kezdeti eltolódás napokban), lineáris két- és többváltozós, stepwise regresszióanalízissel vizsgáltuk.

A trendek kimutatására lineáris trendelemzéseket végeztünk, ahol a hosszú távú változási tendenciák irányát és mértékét a trendegyenesek meredekségének az előjele és nagysága jelezte. Az adatok normál eloszlását feltételezve a legkisebb négyzetek (LKN) módszert alkalmaztuk. A hiányos lárvakelési adatsorokon végzett normalitás teszt (Shapiro-Wilk W) eredménye miatt nem-parametrikus Mann-Kendall (MANN 1945) trend tesztet (MK) végeztünk. Ez 98%-os hatékonyságú teszt a legkisebb négyzetek módszeréhez viszonyítva (LIBISELLER & GRIMVALL 2002). A statisztikai elemzések a STATISTICA programmal történtek (STATSOFT INC. 2003).

Eredmények

Lárvakelési fenológiai jellemzői

A lárvakelési időpontok szezonális mintázatát az egyes fajoknál az 1. ábra illusztrálja. Az *I. costata* lárvák március középső dekádja és április első dekádja között keltek, a kelési csúcspont pedig március végére tehető. Az *I. stysi* kelések március közepe és április eleje között történtek, a kelési csúcspont pedig március végére esett. Az *I. kraussii* március közepe és vége között keltek, a csúcspont pedig március 24–25 körül volt. A *S. pedo* lárvái április és május utolsó dekádja között keltek ki, a kelési csúcspont pedig május 7–8 körüli napokra esett.

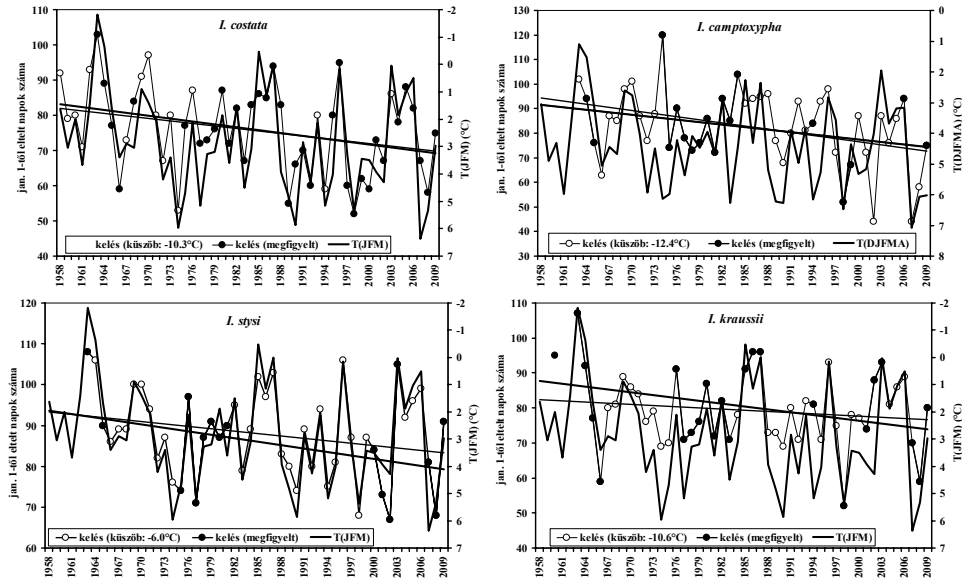


1. ábra. A vizsgált szöcskefajok (1958–2009) megfigyelt, összesített lárvakeléskezdeti időpontjainak tíznapenkénti szezonális megoszlása (%).

Figure 1. Seasonal distribution (%) by decades of the beginning of hatching time for the examined (*Isophya costata*, *I. stysi*, *I. kraussii*, *I. camptoxypha*, *Saga pedo*) grasshopper species (1958–2009).

A NAO közvetett és a hőmérséklet közvetlen hatása a lárvakelés kezdetére

A szezonális NAO-indexekkel a keresztkorrelációs koefficiens értékei alapján (r) két Orthoptera-faj mutatott szignifikáns korrelációkat. A NAO_{DJFM} -index idősrával az *I. costata* ($r = -0,63$), és a *S. pedo* ($r = -0,56$) esetében találtunk szignifikáns kapcsolatot. E korrelációk arra utalnak, hogy a téli NAO ingadozása közvetett hatással van a lárvakelésre a hóviszonyok meghatározásán keresztül.



2. ábra. Négy szöcskefaj (magyar tarsza, Stys-tarsza, erdei tarsza, kárpáti tarsza) lárvakelés-kezdetének, valamint a többhavi átlaghőmérsékletek ($T_{jan-márc}$, $T_{dec-apr}$) éves ingadozásai és trendjei (1958–2009). (Jelölések: üres körök az adott küszöbhőmérsékletből becsült, a telt körök pedig a megfigyelt kelési időpontok adatait jelölik. A hőmérsékleti adatok skálája megfordított a szinkron ingadozások bemutatása végett.) Az idősorok trendjének csökkenései jelzik az első lárvák megjelenésének korábbi időpontba tolódását (kikelési idősor trendje: vékony folytonos egyenes), valamint a kikeléssel legszorosabb korrelációt mutató átlaghőmérsékletek emelkedését (hőmérsékleti idősor trendje: vastag folytonos egyenes) a vizsgált időszakban.

Figure 2. Annual fluctuations and trends (1958–2009) for the beginning of hatching times and mean temperatures for several monthly ($T_{jan-mar}$, $T_{dec-apr}$) periods in case of four grasshopper species (*Isophya costata*, *I. stysi*, *I. kraussii*, *I. camptoxypha*). (Symbols: empty circles: hatching time estimated by temperature thresholds; bold circles: observed hatching time.)

Az átlagos havi hőmérsékletek (T) közül az *I. stysi* és *I. costata* lárvakelési T_{jan} , T_{feb} , $T_{már}$ idősoraival mutattak szignifikáns kapcsolatot, amelyek közül a T_{feb} esetében voltak a legerősebb korrelációk. A küszöbhőmérsékletből becsült *I. costata* elsőkelési adatsora szintén a T_{jan} , T_{feb} , $T_{már}$ idősoraival adott szignifikáns r értékeket, a legszorosabb kapcsolatot a márciusi hőmérsékletre ($r = -0,73$) kaptuk. A 2. ábra a négy vizsgált *Isophya*-faj megfigyelt (hiányos) és a becslési módszerrel kiegészített (komplettált) lárvakelési idősorok fluktuáci-

ős mintázatait és trendjeit mutatja. Feltűnő a kiegészített lárvakelési adatok szinkronitása a lárvakelésüket megelőző többhavi (T_{JFM} , T_{DJFMA}) átlaghőmérsékletek adataival.

A klimatikus változásokra adott fenofázis-eltolódási mértékek, azaz a lárvák kikelésének klimatikus érzékenysége végezett lineáris kétváltozós (RA) és többszörös regresszióanalízisek (MRA) eredményeit az 1. táblázat tartalmazza. A növekvő NAO-index értékek függvényében az első lárvák kikelését vizsgálva mind a *S. pedo* (−4,3 nappal korábbra tolódás 1 hPa változásonként) mind az *I. costata* (−3,4 nap/1 hPa) esetén szignifikáns kapcsolatot mutattunk ki a szezonális NAO-indexekkel, a legerősebb kapcsolatot a téli NAO-val találtuk (1. táblázat).

A havi átlag hőmérsékletek függvényében a lárvakélesek korábbra tolódásait a regressziós egyenesek meredekségeivel (1. táblázat) számszerűsítettük. Ezek alapján a *S. pedo* kelési kezdetei a T_{jan} , T_{feb} , $T_{már}$, $T_{ápr}$ átlagokkal volt szignifikáns kapcsolatban. Míg az *I. stysi*, az *I. costata* és az *I. kraussii* a T_{jan} , T_{feb} , $T_{már}$ hőmérsékletekre reagáltak a legerősebben ($P=0,01$ körüli szignifikancia szinteken).

Az összevont több havi átlaghőmérsékletek függvényében (RA) is kimutattuk a lárvakeléskezdek korábbra tolódásait (1. táblázat). A *S. pedo* lárvái az összes hőmérséklet-kombinációra válaszul szignifikánsan korábbi időpontban keltek, a legerősebb korrelációt ($R^2=0,34$; $P=0,01$) a T_{DJFMAM} -el kaptuk. Az *I. kraussii* ezzel ellentétben az öt-hat havi átlaghőmérsékletekkel nem mutatott szignifikáns kapcsolatot, az *I. camptoxypha* pedig egyik hőmérsékleti változóval sem. Az *I. stysi* ($R^2=0,71$; $P=0,01$), és az *I. costata* ($R^2=0,64$; $P=0,01$) a vártnál megegyezően a T_{JFM} -el adta a legerősebb korrelációt.

Az MRA eredményei alapján (1. táblázat) a havi átlaghőmérsékletek közül a *S. pedo* első kelésére a T_{feb} és $T_{máj}$ hatott leginkább ($R^2=0,40$). Az *I. kraussii* és az *I. costata* esetén a T_{jan} és T_{feb} ($R^2=0,81$ és $0,80$), *I. stysi* esetében pedig a T_{feb} bizonyult a leginkább befolyásoló ($R^2=0,80$) klimatikus tényezőnek.

Trendek a lárvakelési idősorokban

A 2. táblázat tartalmazza fajonként a becsült kelési küszöbhőmérsékleteket (T_b) és az ezekkel számított effektív kelési hőösszegeket (Q). Meglepőnek tűnhet a három tarszafajnál (*Isophya* spp., kivéve *I. camptoxypha*) kapott jelentősen fagypon alatti T_b , azonban valószínűleg nem fejlődési küszöbhőmérsékletről van szó, hanem a lárvakelés időzítéséről. Ugyanis más fajok vizsgálatából tudjuk (INGRISCH 1985, 1986), hogy a diapauza feloldásához szükséges a hideg periódus, majd az erre következő kora tavaszi felmelegedés.

Az átlagos lárvakelési időpontokat, ill. azok trendjére vonatkozó eredményeket a 3. táblázat mutatja. Az összes faj fenológiai idősortrendjeinek meredekségei negatív előjelűek voltak (3. táblázat), vagyis az elmúlt 50 év során azok lárvakelés kezdetére egy fokozatos korábbra tolódási tendencia a jellemző. Az *I. costata* esetén mind a megfigyelt (46 év), mind a küszöbhőmérsékletekből (*I. costata*: 0°C ; $-10,3^\circ\text{C}$) becsült adatokkal komplettált (51 év) kelési idősorait szignifikáns ($P<0,05$) csökkenő meredekségek jellemezték ($-0,24$ – $-0,32$ nap/év). A küszöbhőmérsékletekből komplettált adataival az *I. camptoxypha* esetében is szignifikáns csökkenő trendet ($-0,42$ nap/év) kaptunk, vagyis évenként korábbra tolódott a lárvakelés időpontja. Az *I. stysi* és az *I. kraussii* lárvakelési idősorainak trend meredekségei az *I. costata*-éval azonos nagyságrendűek ($-0,23$; $-0,28$ nap/év) voltak, azonban a fenológiai eltolódások nem voltak szignifikánsak (3. táblázat). A tarszákhöz képest sokkal

később megjelenő *Saga pedo* lárvakelésének időzítésében eltolódásra utaló szignifikáns trend sem a megfigyelt, sem a komplettált idősorokban nem volt kimutatható.

2. táblázat. A vizsgált szöcskefajok lárvakelésének kezdetére vonatkozó küszöbhőmérséklet és effektív hőösszeg becslése az RMSE iterációs módszer szerint. Rövidítések: T_b = küszöbhőmérséklet; Q = effektív hőösszeg, a T_b feletti hőmérsékletek összege; RMSE = a kelési időpont becslésénél az átlagos négyzetes hiba gyöke; SD = a kelési időpontok szórása.

Table 2. Threshold and effective temperature of hatching times calculated by iteration method based on RMSE. Notes: T_b = temperature threshold; Q = effective temperature; RMSE = root mean square error; SD = standard deviation (expressed in days).

Faj	T_b (°C)	Q (°C)	RMSE	SD (nap)
<i>Isophya costata</i>	-10,30	928,30	7,43	12,41
<i>Isophya stysi</i>	-6,00	787,30	6,14	11,97
<i>Isophya kraussii</i>	-10,60	1010,10	7,80	13,21
<i>Isophya camptoxypha</i>	7,70	26,80	12,93	14,96
<i>Saga pedo</i>	3,70	451,30	12,16	14,52

Értékelés

Több hazai Orthoptera-faj lárváinak keléskezdeti időpontja az 1958–2009 közötti időszakban fokozatosan korábbra tolódott (2. ábra, 3. táblázat), közülük az *Isophya costata* esetében szignifikánsan (2–3 nap/évtized). Ilyen mértékű trendet találtunk az *I. camptoxypha*, küszöbhőmérsékletéből becsült adatokkal kiegészített idősorában is. Az ilyen adathiányokat kiegészítő, becslési eljárások eredményei persze nem függetlenek a klimatikus jellemzőktől, viszont az így kapott hosszabb idősorok statisztikailag megbízhatóbb információval szolgálhatnak a lárvakelés-időpontjának trendjéről.

A vizsgálatunkba vont időszak alatt nagyszámú észak-amerikai sáskafaj szignifikánsan korábbi (fajtól függően 3–28 nap) megjelenését tapasztalták a felmelegedés által erősebben érintett montán–szubalpin régióban (NUFIO et al. 2010). Japánban (ELLWOOD et al. 2012) ugyanakkor a *Gampsocleis buergeri* fajnál, tíz évenként 0,7 nappal későbbi megjelenést figyeltek meg a vizsgált (1961–2004) évek során. Egyesek szerint (GUO et al. 2009, NUFIO et al. 2010) a szezonálisan később megjelenő Orthoptera-fajok nagyobb fenológiai válaszreakciót mutatnak az éghajlatváltozásra. Eredményeink viszont FITTER & FITTER (2002) állítását támasztják alá, miszerint a szezonálisan korábban aktív fajok reagálnak érzékenyebben a felmelegedésre. Emiatt tapasztalhattuk a *Saga pedo* esetén (1. ábra, valamint 3. táblázat trendmeredekségei), hogy mivel általában 5–6 héttel későbbi lárvakelés jellemző rá, hosszú távú adatsorában nem volt trend (1966–2009).

3. táblázat. A vizsgált fajok lárvakeléskezdetének átlagai és szórása, valamint a lárvakelési idősorok (1958–2009) trendjeinek meredekségei. Rövidítések, jelölések: (A) = megfigyelt kelési idősor a hiányzó évekkel, (B) = 0°C kelési küszöbhőmérsékletből becsült adatokkal kiegészített idősor, (C) = -10,3°C kelési küszöbhőmérsékletből becsült adatokkal kiegészített idősor; P = szignifikanciaszint, LKN = legkisebb négyzetek módszere, MK = Mann-Kendall trend teszt; félkövér kiemelés = szignifikánsan csökkenő trend ($P \leq 0,05$).

Table 3. Mean, standard deviation and slope of the trends (1958–2009) of the hatching time for the examined grasshopper species. Notes: (A) = observed time series; (B-C) = iterated time-series based on (0°C or -10,3°C) threshold temperature; Átlagos lárvakelés = mean hatching time (day of the year); meredekség = slope of the trend (expressed in day/year); LKN = method of least square; MK = Mann-Kendall trend test. Bold values ($P \leq 0,05$) express significant trends in advancement of the hatching time.

Faj	Átlagos lárvakelés (napok jan 1.-től)	± SD (nap)	Megfigyelt lárvakelési idősor		Kiegészített lárvakelési idősor		
			meredekség (nap/év)	LKN $P \leq$	meredekség (nap/év)	LKN $P \leq$	MK $P \leq$
<i>I. costata</i> (A)	80,0	5,33	-0,320	0,05	–	–	–
<i>I. costata</i> (B)	–	–	–	–	-0,286	0,010	0,026
<i>I. costata</i> (C)	–	–	–	–	-0,241	0,045	0,05
<i>I. stysi</i>	91,3	6,19	-0,280	0,17	-0,195	0,092	0,077
<i>I. kraussii</i>	84,5	5,36	-0,230	0,22	-0,111	0,332	0,545
<i>I. camptoxypha</i>	88,2	5,25	-0,334	0,26	-0,424	0,008	0,038
<i>S. pedo</i>	128,8	7,85	-0,003	0,99	-0,225	0,202	0,226

A szöcskefajok életciklusára több évig is elhúzódó embrionális diapauza lehet jellemző (ORCI et al. 2007, KOLICS et al. 2008). A legtöbb rovarnak az áttelelési sikerességéhez megfelelő mértékű és tartamú hideghatásra van szüksége (BALE & HAYWARD 2010). Egy észak-amerikai sáska, a *Melanoplus borealis* (FIEBER), ha átteleléskor nem kapja meg a kívánt hidegstimulust, akkor az egyedei tavasszal egyáltalán nem, vagy csak jóval később jelennek meg a szokásoshoz képest (FIELDING 2008). Ilyen kedvezőtlen áttelelési jelenséget már a lepkéknél is megfigyelték, nevezetesen hogy a meleg időszak ellenére későbbi tavaszi fejlődés volt tapasztalható (ROY & SPARKS 2000).

Ismeretes a szöcskéknél, hogy a tavaszi kikelést megelőző őszre már teljesen kifejlett embriók találhatók a tojáshejben belül (N. B. tojásboncolásos megfigyelései alapján, nem publikált adatok), így a talajban uralkodó télvégi-kora tavaszi hőviszonyok nem az egyedfejlődést, hanem az optimális kikelés időpontjára adnak jelzéseket a lárváknak. A jelenlegi felmelegedéshez gyakran társuló extrém időjárási jelenségek azonban megzavarhatják a normális tojásdiapauza lefolyását és megnövelhetik a téli mortalitást is. Az eredmények értékelése során azt is figyelembe kellett venni, hogy a Budapest urbanizációjával együttjáró esetleges városi hőszigetelés is befolyásolta a lárvák kikelését. A Budán mért klíma adatainkat összevetve egy külterületi állomás (Gödöllő) adataival, a vártak megfelelően (MIKA

2012) azt kaptuk, hogy az előbbi helyre melegebb hőmérséklet jellemző. Ugyanakkor egyik átlaghőmérsékleti idősorban sem volt statisztikailag szignifikáns a melegedő léghőmérsékleti trend, emiatt az eredményeinkben nem a városi hősziget hatása mutatkozik, főleg mert az egyenesszárnyúakra vonatkozó adatok gyűjtése a város szélén (Adyliget) történt.

A NAO évenkénti ingadozásai nagy változékonyságot mutatnak az elmúlt évtizedekben (HURRELL et al. 2003), pozitív értékei esetén korábbra, ellenkező esetben későbbre tolódik számos fenológiai esemény (KALVANE et al. 2009). Kimutattuk, hogy Magyarországon a NAO-indexek pozitív értékeire a vizsgált Orthoptera-fajok korábbra tolódó lárvakeléssel reagáltak. Ugyanis az Észak-Atlanti Oszcilláció pozitív fázisában Európára melegebb téli-tavaszi időjárás a jellemző. A melegebb környezetben, az Arrhenius-féle tapasztalati törvénynek megfelelően (a fizikai és kémiai reakciók sebessége nő a hőmérséklet emelkedésével) az egyedfejlődési sebesség emelkedik, így az élőlények fenofázisai korábban következnek be az emelkedő hőmérsékletre adott válaszként. A jelen tanulmányunkban vizsgált szöcskefajok lárvakelései korábbra tolódási mértéke jól illeszkedik az európai taxonok fenológiai változásaihoz (NUFIO et al. 2010).

A Kárpát-medence léghőmérséklete az elmúlt negyven év során minden évszakban szignifikánsan emelkedett (SPINONI et al. 2014), s a regionális éghajlati modellek további felmelegedést (éves átlagban 1,1°C) jeleznek (BARTHOLY et al. 2010). A korábban történt környezeti változások sebességéhez a fajok képesek voltak alkalmazkodni, míg az előttünk állóak várhatóan gyorsabban fognak bekövetkezni, így a fajok nagyobb kihívás elé néznek (SCHLESINGER 2006). Munkánk arra is felhívja a figyelmet, hogy az együttes- és közösség-szintű klimatikus hatásvizsgálatok mellett, érdemes fajsztintű elemzéseket végezni.

Köszönetnyilvánítás. Köszönet Dr. MATYASOVSKY ISTVÁNNAK (ELTE Meteorológiai Tanszék) és KÁDÁR FERENCNEK (MTA NKI, Állattani Osztály) a statisztikai értékelésekben, LEHOCZKY ANNAMÁRIÁNAK (Universitat Rovira i Virgili) a klimatológiai kérdésekben nyújtott tanácsaiért.

Irodalomjegyzék

- ANDREW, N. R., HILL, A. J., BINNS, M., BAHAR, M. H., RIDELY, E. V., JUNG, M-P., FYFE, C., YATES, M. & KHUSRO, M. (2013): Assessing insect responses to climate change: What are we testing for? Where should we be heading? *PeerJ* 1: e11.
- BALE, J. S. & HAYWARD, S. A. L. (2010): Insect overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology* 213: 980–994.
- BALE, J. S., MASTERS, G. J., HODKINSON, I. D., AWMACK, C., BEZEMER, T.M., BROWN, V.K., BUTTERFIELD, J., BUSE, A., COULSON, J.C., FARRAR, J., GOOD, J.E., HARRINGTON, R., HARTLEZ, S., JONES, T.H., LINDROTH, R.L., PRESS, M.C., SYMRNIODIS, I., WATT, A.D & WHITTAKER, J.B. (2002): Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1–16.
- BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., TORMA, C., PIECZKA, I., KARDOS, P. & HUNYADY, A. (2009): Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian Basin. *International Journal of Global Warming* 1: 238–252.

- BARTHOLY, J. & PONGRÁCZ, R. (2010): Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for 2050 and 2100. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 35: 43–51.
- BUSE, A., DURY, S. J., WOODBURN, R. J. W., PERRINS, C. M. & GOOD, J. E. G. (2002): Effects of elevated temperature on multi-species interactions: the case of Pedunculate Oak, Winter Moth and Tits. *Functional Ecology* 13: 74–82.
- DIAMOND, S. E., FRAME, A. M., MARTIN, R. A. & BUCKLEY, L. B. (2011): Species' traits predict phenological responses to climate change in butterflies. *Ecology* 92: 1005–1012.
- FIELDING, D. J. (2008): Diapause traits of *Melanoplus sanguinipes* and *Melanoplus borealis* (Orthoptera: Acrididae). *Annals of the Entomological Society of America* 101: 439–448.
- FITTER, A. H. & FITTER, R. S. R. (2002): Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296: 1689–1691.
- FORISTER, M. L. & SHAPIRO, A. M. (2003): Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global Change Biology* 9: 1130–1135.
- GORDO, O. & SANZ, J. J. (2006): Temporal trends in phenology of the honey bee *Apis mellifera* (L.) and the small white *Pieris rapae* (L.) in the Iberian Peninsula (1952–2004). *Ecological Entomology* 31: 261–268.
- GRAHAM-TAYLOR, L. G., STUBBS, A. E. & BROOKE, M. D. L. (2009): Changes in phenology of hoverflies in a central England garden. *Insect Conservation and Diversity* 2: 29–35.
- GUO, K., HAO, S.G., SUN, O.J. & KANG, L. (2009): Differential responses to warming and increased precipitation among three contrasting grasshopper species. *Global Change Biology* 15: 2539–2548.
- HARRINGTON, R., CLARK, S. J., WELHAM, S. J., VERRIER, P. J., DENHOLM, C. H., HULLÉ, M., MAURICE, D., ROUNSEWELL, M. D., COCU, N. & EUROPEAN UNION EXAMINE CONSORTIUM (2007): Environmental change and the phenology of European aphids. *Global Change Biology* 13: 1550–1564.
- HOYE, T. T., POST, E., MELTOFTE, H., SCHMIDT, N. M., & FORCHHAMMER, M. C. (2007): Rapid advancement of spring in the High Arctic. *Current Biology* 17: R449–R451.
- HURRELL, J.W., KUSHNIR, Y., OTTERSEN, G. & VISBECK, M. (eds) (2003): *The North Atlantic Oscillation: Climatic significance and environmental impact*. American Geophysical Union, Washington, D. C.
- INGRISCH, S. (1985): Effect of hibernation length on termination of diapause in European Tettigoniidae (Insecta: Orthoptera). *Oecologia* 65: 376–381.
- INGRISCH, S. (1986): The plurennial life cycles of the European Tettigoniidae (Insecta: Orthoptera) 1. The effect of temperature on embryonic development and hatching. *Oecologia* 70: 606–616.
- INGRISCH, S. & KÖHLER, G. (1998): *Die Heuschrecken Mitteleuropas*. Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 460 pp.
- KALVANE, G., ROMANOVSKAJA, D., BRIEDE, A. & BAKISENE, E. (2009): Influence of climate change on phenological phases in Latvia and Lithuania. *Climate Research* 39: 209–219.
- KEMP, W. P., BERRY J. S. & CAPRIO, J. M. (1991): Use of Ornamental lilac and Honeysuckle phenophases as indicators of rangeland grasshopper development. *Journal of Range Management* 44: 583–587.
- KOLICS B., NAGY B., KONDOROSSY E., PUSKÁS G. & MÜLLER T. (2008): A fűrészlábú szöcske (Saga pedo Pallas, 1771) életciklusa és magyarországi előfordulása. *Allattani Közlemények* 93: 39–52.
- LIBISELLER, C. & GRIMVALL, A. (2002): Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics* 13: 71–84.

- MANN, H. B. (1945): Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13: 245–259.
- MARSHALL, J., KUSHNIR, Y., BATTISTI, D., CHANG, P., CZAJA, A., DICKSON, R., HURRELL, J., MCCARTNEY, M., SARAVANAN, R. & VISBECK, M. (2001): North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology* 21: 1863–1898.
- MIKA, J. (2012): A globális klímaváltozás és a városi hősziget összefüggései. In: KERÉKES, S. & JÁMBOR, I. (szerk.): *Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj*. 1. kötet. Budapest, Budapesti Corvinus Egyetem, pp. 139–155.
- NUFIO, C. R., MCGUIRE, C. R., BOWERS, M. D. & GURALNICK, R. P. (2010): Grasshopper community response to climatic change: variation along an elevational gradient. *PLoS ONE* 5: e12977.
- O'NEILL, B. F., BOND, K., TYNER, A., SHEPPARD, R., BRYANT, T., CHAPMAN, J., BELL, J. & DONNELLY, A. (2012): Climatic change is advancing the phenology of moth species in Ireland. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 143: 74–88.
- ORCI, K. M., PECSENYE, K., SZÖVÉNYI, G., VADKERTI, E., NAGY, B., RÁCZ, I. A. & VARGA, Z. (2007): A magyarországi tarszafajok. In: FORRÓ, L. (szerk.): *A Kárpát-medence állatvilágának kialakulása*. Budapest, Magyar Természettudományi Múzeum, pp. 47–56.
- PARMESAN, C., RYRHOLM, N., STEFANESCU, C., HILL, J. K., THOMAS, C. D., DESCIMON, H., HUNTLEY, B., KAILA, L., KULLBERG, J., TAMMARU, T., TENNENT, W. J., THOMAS, J. A. & WARREN, M. (1999): Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579–583.
- PARMESAN, C. & YOHE, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- POLGAR, C. A., PRIMACK, R. B., WILLIAMS, E. H., STICHTER, S. & HITCHCOCK, C. (2013): Climate effects on the flight period of lycaenid butterflies in Massachusetts. *Biological Conservation* 160: 25–31.
- ROBINET, C. & ROQUES, A. (2010): Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology* 5: 132–142.
- ROY, D. B. & SPARKS, T. H. (2000): Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology* 6: 407–416.
- RUML, M., VUKOVIĆ, A. & MILATOVIĆ, D. (2010): Evaluation of different methods for determining growing degree-day thresholds in apricot cultivars. *International Journal of Biometeorology* 54: 411–422.
- SCHLESINGER, W. H. (2006): Global change ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 348–351.
- SNYDER, R.L., SPANO, D., CESARACCIO, C. & DUCE, P. (1999): Determining degree-day thresholds from field observations. *International Journal of Biometeorology* 42: 177–182.
- SPARKS, T. H., LANGOWSKA, A., GLAZACZOW, A., WILKANIEC, Z., BIENKOWSKA, M. & TRYJANOWSKI, P. (2010): Advances in the timing of spring cleaning by the honeybee *Apis mellifera* in Poland. *Ecological Entomology* 35: 788–791.
- SPINONI, J., SZALAI, S., SZENTIMREY, T., LAKATOS, M., BIHARI, Z., NAGY, A., NÉMETH, Á., KOVÁCS, T., MIHIC, D., DACIC, M., PETROVIC, P., KRŽIĆ, A., HIEBL, J., AUER, I., MILKOVIC, J., ŠTEPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., KILAR, P., LIMANOWKA, D., PYRC, R., CHEVAL, S., BIRSAN, M.-V., DUMITRESCU, A., DEAK, GY., MATEI, M., ANTOLOVIC, I., NEJEDLÍK, P., ŠTASTNÝ, P., KAJABA, P., BOCHNÍČEK, O., GALO, D., MIKULOVÁ, K., NABYVANETS, Y., SKRYNYK, O., KRAKOVSKA, S., GNATIUK, N., TOLASZ, R., ANTOFIE, T. & VOGT, J. (2014): Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology* DOI: 10.1002/joc.4059.
- STATSOFT, INC. (2003): *Statistica (data analysis software system), Version 6.1*. Tulsa, Oklahoma.

- STEFANESCU, C., PEÑUELAS, J. & FILELLA, I. (2003): Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology* 9: 1494–1506.
- STENSETH, N. C., MYSTERUD, A., OTTERSEN, G., HURRELL, J. W., CHAN, K.-S. & LIMA, M. (2002): Ecological effects of climate fluctuations. *Science* 297: 1292–1296.
- TRYJANOWSKI, P., PAWLIKOWSKI, T., PAWLIKOWSKI, K., BANASZAK-CIBICKA, W. & SPARKS, T. H. (2010): Does climate influence phenological trends in social wasps (Hymenoptera: Vespinae) in Poland? *European Journal of Entomology* 107: 203–208.
- USHATINSKAYA, R. S. (1984): A critical review of the superdiapause in insects. *The Annals of Zoology*, 21(1): 3–30.
- YANG, S., LOGAN, J. & COFFEY, D. L. (1995): Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree-days. *Agriculture and Forest Meteorology* 74: 61–74.
- ZHOU, X., HARRINGTON, R., WOIWOD, I. P., PERRY, J. N., BALE, J. S. & CLARK, S. J. (1995): Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology* 1: 303–313.

Long-term changes (1958–2009) in hatching time of grasshopper (Orthoptera) species – consequences of climate change in Hungary

BARBARA SZABÓ^{1*}, BARNABÁS NAGY² & FERENC SZENTKIRÁLYI²

¹Eötvös Loránd University, Department of Plant Systematics, Ecology and Theoretical Biology; Pázmány Péter sétány 1/C, H-1117 Budapest, Hungary. E-mail: szabo.barbara@okologia.mta.hu

²Hungarian Natural History Museum, Department of Zoology; Baross utca 13, H-1088 Budapest, Hungary.

³Plant Protection Institute of the Centre for Agricultural Research of the Hungarian Academy of Sciences; Herman Ottó út 15, H-1022 Budapest, Hungary.

ÁLLATTANI KÖZLEMÉNYEK (2014) 99(1–2): 45–59.

Abstract. Climate change is one of the most serious environmental problem in our time, with its fingerprint on the wildlife. Our goal was to evaluate responses of grasshopper species to regional climatic changes. Phenological observations of five Orthoptera species (*Isophya costata*, *Isophya stysi*, *Isophya kraussi*, *Isophya camptoxypha*, *Saga pedo*) and climatological data from Hungary were used (1958–2009) for the analyses. Statistical tests (trend analysis, calculation of effective heat summation method and cross-correlation) were applied to show (1) the influence of winter-spring mean temperature and North Atlantic Oscillation on the beginning of larval emergence, and (2) the rate of shift in hatching time. Based on our results, in case of almost all examined Orthoptera species the timing of larval hatching shifted earlier over the last 50 years. This shift was significant in case of *Isophya costata* (2–3 days/decade). Similar trends in advancement (2.3–3.3 days/decade, non-significant) of larval hatching were found in cases of *I. stysi*, *I. kraussi* and *I. camptoxypha*. The main reason for these changes were explained by the indirect effect of the North Atlantic Oscillation, as well as by the long-term increasing trend of spring temperature. The seasonally later species (*Saga pedo*) showed no shift in hatching time.

Keywords: *Isophya* spp., *Saga pedo*, hatching time, effective degree days, North-Atlantic Oscillation