

AZ *Aedes albopictus* SKUSE (DIPTERA: CULICIDAE) KÁRPÁT-MEDENCEI TERJEDÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ KLIMATIKUS TÉNYEZŐK ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A FAJ JÖVŐBELI ELTERJEDÉSÉRE A TÉRSÉGBEN

CLIMATE FACTORS AFFECTING THE SPREAD OF *Aedes albopictus* SKUSE (DIPTERA: CULICIDAE) IN CARPATHIAN-BASIN AND THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE SPREAD OF SPECIES IN THE FUTURE IN THE REGION

Trájer Attila János

Pannon Egyetem, Limnológia Intézeti Tanszék, Veszprém, Egyetem utca 10., 8200., attilatrajer@gmail.com

Összefoglalás. Az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*) állat- és közegészségügyi szempontból az egyik, ha nem a legfontosabb invazív szúnyogfajnak számít Európában és a világon. Kárpát-medencei megtelepedése kezdetének vagyunk jelenleg szemtanúi. Vizsgálatunk céljaul tűztük ki, hogy tisztázzuk, milyen klimatikus tényezők magyarázzák a szúnyogfaj előfordulását Horvátország és Szlovénia bizonyos területein és állandó jelenlétének hiányát a Kárpát-medence déli területein 2015 előtt. A kérdés tisztázására 2014-ben gyűjtőutat szerveztünk, érintve a magyar-horvát-szlovén hármashatár és Dél-Magyarország nagyobb folyóinak ártereit, beleértve a zágrábi Száva-árteret is. Elemeztük a dél-magyarországi és az északnyugat-balkáni elterjedés klimatikus okait. A faj jövőbeli és jelenlegi lehetséges elterjedésének becslésére klímaborító-modellezést végeztünk. Elemzésünk alapján az alacsony januári átlag- és minimumhőmérsékletek, valamint a kontinentális telekre jellemző alacsony csapadékmennyiség együttesen limitálta a faj elterjedését az észak-balkáni és a délpannoniai területeken. A nyári csapadék még a viszonylag forró és száraz nyarakkal jellemezhető tengerparti mediterrán klíma esetén sem jelent korlátozó tényezőt az Adria északi medencéjében. A lehetséges generációk maximális száma évenként jelenleg öt lenne a hőmérséklet-függő egyedfejlődési modell alapján Magyarországon. A klímaborító modellezés eredményei szerint a faj expanziója várható a Kárpát-medencében a klímaváltozás hatására enyhébbé váló telek következtében.

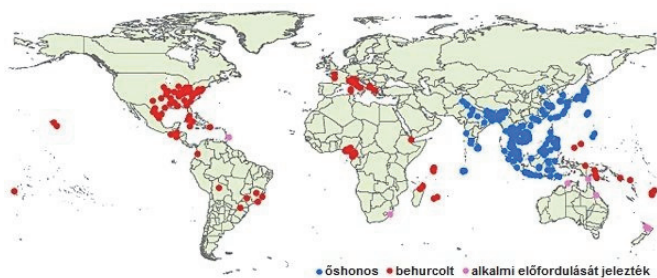
Abstract. The Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) is one of the most important invasive mosquito species in Europe and the most important vector of several human and veterinary diseases. We are witnessing the spread of the mosquito in the Carpathian Basin. Our aim was to clarify the climatic factors that explain the occurrence of the mosquito in Croatia and Slovenia and the lack of its permanent presence in the southern regions of the South Carpathian Basin before 2015. To solve this problem, we organized a collecting route in 2014, touching the Hungarian-Croatian-Slovenian triple border and larger rivers in South Hungary, including the Sava floodplain in Zagreb. We analysed the climatic causes of the spread pattern of the mosquito in South Hungary and the North-West Balkan region. The prediction of the future and the estimation of the current potential occurrence of the Asian tiger mosquito were performed. According to the climatic analysis, the low mean and minimum temperatures and the low January precipitation sums under continental climatic conditions limit together the spread of the species in the Northern Balkan and Southern Pannonia. The summer precipitation is not a limiting factor in the Northern Adriatic basin, even in the hot and dry summer climatic conditions of the Mediterranean coastal areas. The temperature-based development model predicts that the maximum number of possible imago generations per year would be about five in Hungary. According to the results of the climate envelope modelling, the extension of the species is expected in the Carpathian Basin due to climate change.

Irodalmi áttekintés. Az ázsiai tigrisszúnyog elterjedése.

Az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*; Skuse, 1894) a gyötrő szúnyog-félék humán egészségügyi szempontból egyik legfontosabb faja. Ázsia keleti, délkeleti területeiről származik, ahol eredetileg elsősorban trópusi, szubtrópusi területeken volt őshonos. Természetes elterjedési területe észak-déli irányban Honsútól és Dél-Koreától Timorig, kelet-nyugati irányban a Fülöp-szigetektől Afganisztánig terjedt. Ma már megtalálhatók populációi Európa számos országában, az Amerikai Egyesült Államok keleti felén, Közép-Amerikában elszórtan, Brazíliában, Madagaszkáron, Afrikában a Guineai-öböl egyes országaiban és Pápua-Új Guineában is. Az újonnan meghódított területek klímája, ahogyan az eredeti elterjedési terület esetében is látható, igen változatos. A faj Kelet-Ázsiában és a Hinduszáni-alföldön nedves kontinentális (Dfa, Dwa) és nedves szubtrópusi (Cfa-Cwa) klímán, Délkelet-Ázsiában és a Hinduszáni félsziget déli területein trópusi szavanna (As, Aw), trópusi monszun (Am) és trópusi esőerdő (Af) klímán tenyészik. Európában és Észak-Amerikában elsősorban a nedves kontinentális (Dfa) és a nedves szubtrópusi (Cfa)

klímán fordul elő, de megtalálhatók egyedei a forró nyarú mediterrán (Csa), és óceáni (Cfb) klímájú zónákban is. Mind az Egyesült Államokban, mind Európában a faj északi elterjedési határa a kontinentális területeken nagyjából a nedves kontinentális hemiboreális Dfb és a melegebb nyarú Dfa klímazónák határán húzódik. Jelenleg Európában állandósult populációi élnek Spanyolországban, Franciaországban, Olaszországban, Szlovéniában, Horvátországban, Bosznia-Hercegovinában, Montenegróban, Bulgáriában, Görögországban, Törökország európai területén, Délnyugat-Oroszországban és Grúziában. Alkalmi előfordulásait észlelték több kontinentális klímájú országban is (Benedict et al., 2007; Bocková et al., 2013; Kalan et al., 2011; Klobučar et al., 2006; Merdić, 2011; Petrić et al., 2001, 2006; Šebesta et al., 2012; Scholte and Schaffner, 2007). Az elmúlt két-három évtizedben mind az ázsiai tigrisszúnyog, mind az általa terjesztett kórokozók gyors terjedésének lehetett szemtanúja az emberiség (Knudsen et al., 1996; Mitchell, 1995; Urbanelli et al., 2000). Az 1. ábra az ázsiai tigrisszúnyog eredeti és behurcolás útján keletkezett előfordulása-it mutatja.

Járványügyi jelentősége. Az ázsiai tigrisszúnyog potenciális terjesztője a Chikungunya-, a Dengue-, a Zika-láznak, a sárgaláznak, a Saint Louis encephalitisnek (agyvelőgyulladásnak), a nyugat-nílusi láznak, valamint a *Dirofilaria* fajok okozta fertőzéseknek (Bonialuri et al., 2008; Cancrini et al., 2003; Hochedez et al., 2006; Grard et al., 2007; Gratz 2004; Ibáñez-Bernal et al., 1997; Knudsen et al., 1996; Moore and Mitchell, 1997; Sardelis et al., 2002; Wong et al., 2013). A Chikungunya-láz nevének megfelelően magas lázzal, fejfájással, hányingerrel, ízületi és izomfájdalmakkal, általánosságban influenza-szerű tünetekkel jár. A Dengue-láznak létezik egy klasszikus kiütéses és vérzéses formája. Általános tünetei a Chikungunya-lázéhoz hasonlítanak, azonban az izom- és ízületi fájdalmak sokkal súlyo-



1. ábra: Az ázsiai tigrisszúnyog elterjedése és őshonosságát illető státusza a világon (a Landcare Research nyomán)



2. ábra: A: az ázsiai tigrisszúnyog hímje (lásd: tollas csápok) laterális és B: dorzolaterális irányból a fajra jellemző fehér sávval (2014, Zábráb; gyűjtötte: Trájer Attila, Tanczos Balázs és Hammer Tamás; fotó: Trájer Attila és Vass Máté).

sabbak, a kiütések a kanyaró test szerte elszórt, apró kiütéseire emlékeztetnek. A nyirokcsomók megnagyobbodása kíséri az akut szakaszt. A vérzéses forma a bőr és a gyomor-bél rendszer érintettségét jelenti, és ha nem kezelik, az esetek kb. 10%-ában halálhoz vezet. A Zika-láz tünetei szintén a Chikungunya-lázhoz hasonlítanak, azonban, mint az a brazíliai járvány során nemrég nyilvánvalóvá vált, a fejlődő magzatok elhalását, megszületés esetén a csecsemők súlyos kisfejségét és mentális retardációját okozhatja. Ijesztő tény, hogy a megfertőződött, meleg-égyövi országokból hazatérő férfiak spermájában akár hónapokig megfigyelhető a fertőzőképes vírus (Mansuy et al., 2016). A 2015-ös brazíliai Zika-láznak nem volt ugyan elsődleges terjesztője, de az ázsiai tigrisszúnyog terjesztő szerepe egyértelműen beigazolódott (Grard et al., 2014, 2013). A sárgaláz tipikus trópusi betegség, ami influenza-szerű tünetekkel, lázzal, súlyos májgyulladással, valamint vérzésekkel jár(hat). Az esetek

15%-ában alakul ki az ún. toxikus forma, ami az emésztőrendszer érintettségének következménye, és 20–50%-ban halálos kimenetellel jár. Az ázsiai tigrisszúnyog számos fonálférget (nematodát) terjeszthet, ezek közül a ragadozókra veszélyes *Dirofilaria immitis* érdemel említést. A *D. immitis* a kutyák szívférgességének okozója, ami a Dél-Alföldön komoly állategészségügyi problémát jelent, és városi eloszlása a kutyák és a szúnyog-élőhely vizek együttes előfordulásának függvénye (Trájer et al., 2015). A kifejlődött betegség esetén 15–30 cm-es fonálférgék találhatóak a tüdő artériákban és a jobb szívfélben. A betegség potenciálisan halálos kimenetelű. Emberben ritkán okoz fertőzést, szívférgességet eddig nem figyeltek meg, de a tüdőben megjelenő, betokozódott lárvák tüdő áttét képét mímelve megtéveszthetik az orvosokat, felesleges műtéteket indikálva. Magyarországon egyelőre a tigrisszúnyog nem játszik szerepet terjesztésében.

Élőhely és megjelenés. Ismert, hogy az ázsiai tigrisszúnyog azokon a területeken képes önfenntartó populációkat létrehozni, ahol az évi átlaghőmérséklet eléri a 11 °C-ot, valamint a téli átlaghőmérséklet legfeljebb a fagypontra süllyed és a téli nyugalmi periódus nem haladja meg a 6 hónapot. Az évi csapadékösszegnek el kell érnie az 500 mm értéket (Medlock et al., 2006; Mitchell, 1995), de úgy tűnik, hogy az USA déli és belső területein akár még ennél alacsonyabb évi csapadékmennyiség mellett is fennmaradhatnak állományai. Az ázsiai tigrisszúnyog egyedfejlődése érzékeny a környezeti viszonyok alakulására. Lárvai elsősorban az ember által gyakran nem szándékoltnan létrehozott kisvizekben fejlődnek. Ilyen kisvizetek alakulnak ki az eldobott gumibroncsokban, műanyag cserepekben, vödörökben. Nevezetes a faj arról, hogy a peték és az abból kikelő lárvák óceánokat átszelve utaztak vízkultúrák dísznövény-szállítmányokban teherhajókon, szárazföldi elterjedésében pedig a használt gumibroncsok játszottak, játszanak ma is nagy szerepet. Az ázsiai tigrisszúnyog, hasonlóan a Magyarországon őshonos díszes szúnyoghoz (*Ochlerotatus (Finlaya) geniculatus*; Olivier, 1791) fekete-fehér csíkos színezetével feltűnő jelenség. Mindenképpen meg kell itt említeni, hogy az Európában és hazánkban szintén invazív szúnyogfajoknak számító *Aedes koreicus* (Edwards, 1917) és *Aedes japonicus* (Theobald, 1901) hasonló megjelenésűek. Az *Aedes albopictus* faji jellegzetessége a fej és a tor dorzális részén szaggitális irányban végighúzóódó páratlan fehér sáv (2. ábra).

A tanulmány háttere és célkitűzése. Számos közlemény foglalkozik az ázsiai tigrisszúnyog jelenlegi vagy várható jövőbeli terjedésével (Fischer et al., 2014; Caminade et al., 2012; Fischer et al. 2011; Roiz et al., 2011). A faj eredeti ázsiai elterjedési területének klímája (klímái) alapján nem lehet egyértelműen meghatározni a faj tartós megtelepedésének esélyeit Európában vagy Észak-Amerikában. Ennek egyik oka az, hogy igen széles klimatikus skálán fordul elő a faj Kelet- és Délkelet Ázsiában is. Vannak tipikus trópusi, rövidnappalos, áttelelést „nem ismerő” ökovariánsai és léteznek olyanok is, amelyek a hidegebb, északibb területeken pete formájában telelnek át, és a nappalok rövidülésével aktivitásuk csök-

ken. Ezen felül, Olaszországban megfigyelték, hogy az évek során a hűvösebb klímához alkalmazkodó szubtrópusi eredetű vonalak egyre inkább áttértek az imágó formában történő áttelelés helyett az áttelelő pete formájában történő átvészelésére a leghidegebb évszaknak, valamint minden egyedfejlődési fázis hidegtűrése javuló tendenciát mutat (Romí et al., 2006; Luciano et al., 2003). Mindezek ismeretében igen óvatosan kell fogadni azokat az eredményeket, amik nem a helyi vagy a közeli populációk klímaigényének vizsgálata során keletkeztek. Az említett okoknál fogva végeztük el szerzőtársaimmal – Tánczos Balázssal, Hammer Tamással, Bede-Fazekas Ákossal, Keeler Asheesh Ranviggal, Schoffhauzer Judittal és Padisák Judit professzor asszonnyal – az észak-balkáni tigrisszúnyog populációk klimatikus igényeinek elemzését. Elemzésünk során felhasználtuk szlovén és horvát szerzők gyűjtési eredményeit, valamint a 2014-es saját mintavételi utunk során szerzett eredményeket is. A gyűjtési pontokat a 3. ábra szemlélteti.

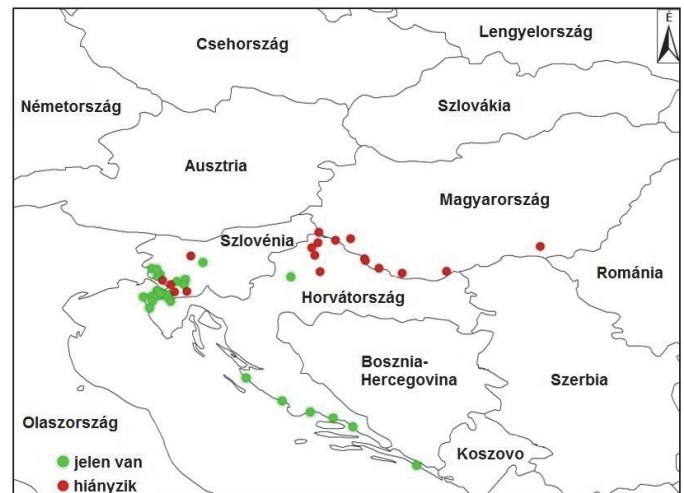
Anyag és módszer. Ez a tanulmány a szerző *Applied Ecology and Environmental Research* tudományos folyóiratban megjelent cikke alapján készült (Trájer et al., 2017b). További részletekkel kapcsolatban ajánlható a citált közlemény olvasása.

Az ázsiai tigrisszúnyog előfordulási adatai. A vizsgálatba vont előfordulások részben saját gyűjtéseinkből, részben más szerzők adatain alapultak. Összesen 49 saját gyűjtési helyet vontunk a vizsgálatba: 8 képviselte Dél-Magyarországot, 22 Szlovéniát és 19 Horvátországot. A begyűjtött lárvákat és bábokat a számukra kedvezőnek mondható körülmények között hazaszállítottuk, inkubáltuk és a begyűjtött imágókat a határozóbélyegek szempontjából kíméletes, shock-fagyasztásos módszerrel öltük le. A begyűjtött nagyszámú (2000 egyed feletti) imágó-anyagban az ázsiai tigrisszúnyogra jellemző anatómiai-morfológiai bélyegeket kerestünk. Kiegészítésként, az éjszakai szálláshelyeinken fénycsapdával is végeztünk gyűjtést. A további pozitív vagy negatív gyűjtési eredménnyel zárult helyeket Szlovénia esetén Kalan et al. (2011), valamint Merdić et al. (2011) közleményeiből nyertük. Mind a külföldi szerzők, mind saját adataink tartalmaztak sikeres és sikertelen gyűjtőhelyi adatokat is. Az előfordulásokhoz tartozó klímaadatok az E-OBS klímaadatbázis szerint 0,25°-os felbontásban kerültek megadásra. A klímaborító-modellezés számára az ázsiai tigrisszúnyog előfordulási adatokat VBORNET adatbázisból kaptuk NUTS3 (régio) szintű felbontásban (VBORNET, 2015).

Az adatok előkészítése. Az ázsiai tigrisszúnyog elterjedési VBORNET adatbázisból származó térképét, digitalizáltuk, ami a pixel- grafikus állományok vektorgrafikussá alakítását jelentette. Ehhez a térképek georeferálására volt szükség harmadrendű polinomiális transzformációval. Mivel az ázsiai tigrisszúnyog előfordulása az Európai Unió harmadik szintű közigazgatási egységei, a NUTS3-régiók szerint álltak rendelkezésünkre, ezért saját térképünk létrehozásához vektorgrafikus közigazgatási határokat (GISCO, 2012) használtunk fel. Végül jelenlét/hiány (presence/absence, 1/0 bináris) térképeket hoztunk létre.

Az éghajlati modellek. Két éghajlati modellt használtunk az eltérő célok érdekében. Az éghajlati adatokat a klímaborító modellezés számára a REMO regionális klímamodell szolgáltatotta, mely az ECHAM5 globális modell és az IPCC SRES A1B klímaszcenárió alapján készült, és Európát 25 kilométeres felbontású rácshálóval fedi. Az A1B scenárió gyors gazdasági növekedéssel és a Föld népességének századközepe tetőzésével számol, továbbá innovatív és hatékony technológiák megjelenését várja. A gyűjtési területek éghajlatának jellemzéséhez a *Climate Explorer of the European Climate Assessment & Dataset* adatbázis 0,25°-os térbeli felbontású klímaadatait használtuk fel, amit a Koninklijk Nederland Meteorologisch Instituut honlap Climate Explorer keresőeszközének használatával átlagoltunk és töltöttünk le (KNMI, 2014). Az átlagos és minimum januári hőmérséklet, az őszi-téli csapadékatlag és a nyári csapadékatlag-értékek átlagolása történt meg az 1950–2014-es időszakokra.

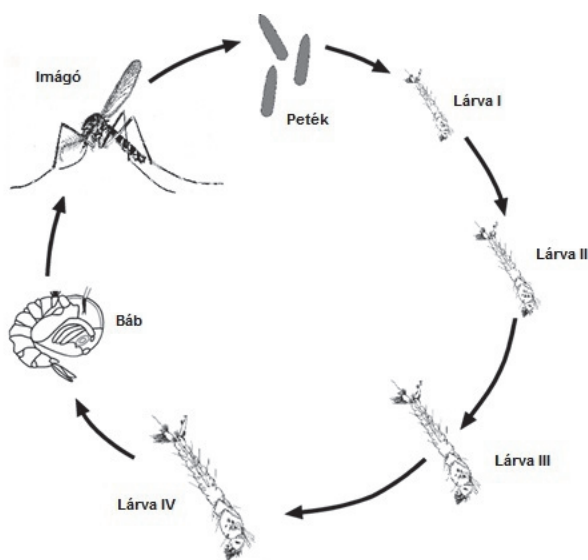
Az éghajlati modellek felhasználása. A REMO modell területi kiterjedéséből (32300 pont) kutatásunkba 25724 pontot vontunk be, ami Európa nagy részét lefedi. A következő



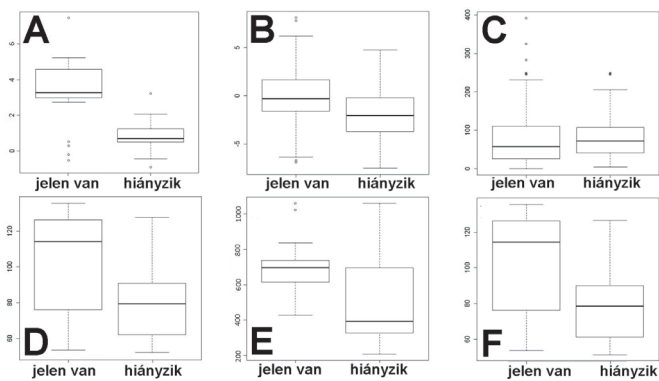
3. ábra: Az ázsiai tigrisszúnyog pozitív/negatív gyűjtési pontjai

36 klímamodellparamétert használtunk a modellezés során: a 12 havi középhőmérsékletek (T_{mean} , °C), minimumhőmérsékletek (T_{min} , °C) és havi csapadékösszegek (P , mm). Ezek mindegyike a harmincévi időszakokra (1961–1990, 2011–2040 és 2041–2070) lett átlagolva. Közvetett módon az évszakos periodicitás, a hőösszeg és a vegetáció is a modell részét képezi. Sőt, az éghajlati jellegzetességek miatt az edafikus tényezők, az eltérő fizikai és kémiai mállás is a modell indirekt, de nehezen differenciálható részét képezik. A szakirodalomban egyelőre nincs megegyezés azzal kapcsolatban, hogy a vegetáció nélkül a klíma önmagában elegendő-e az izeltlábú vektorok potenciális elterjedésének modellezésére (Dormann, 2007; Solano-Gallego, 2011; Colacicco et al., 2010; Ibáñez et al., 2006). Azonban nem szabad elfelejteni, hogy a klíma önmagában meghatározza a potenciális vegetációt is. Fontos továbbá, hogy a szélsőségek feltehetően a klimatikus átlagoknál nagyobb jelentőséggel bírnak a vektor fajok elterjedésének limitálásában, sajnos azonban olyan adatok, mint pl. a téli extrém hidegek előfordulása, nem álltak rendelkezésünkre a jövőbeli periódusokból.

Az évenkénti generációk számítása. Az évenként maximális generációs szám többgenerációs szúnyogok esetében a szúnyogok hőmérsékletfüggő egyedfejlődési idejének számításával modellezhető. Az elv alapja, hogy ismerni kell az egyedfejlődési minimum és maximum hőmérsékleti értékeket, valamint az egyes egyedfejlődési szakaszok hőmérsékletfüggő idejét. Az első komponens a pete érésének ideje, ami a pete lerakásától az első stádiumú lárva kikeléséig tartó időszakot jelenti. A második komponens a lárvák egymást követő stádiumainak hőmérsékletfüggő egyedfejlődési ideje. A harmadik komponens az



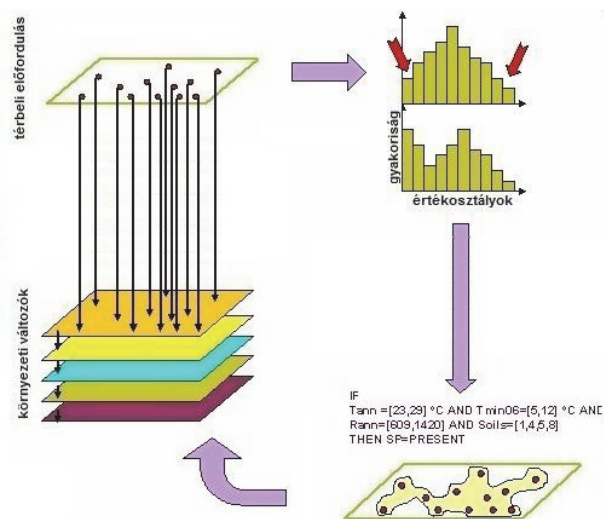
4. ábra: Az ázsiai tigrisszúnyog egyedfejlődésének sémája



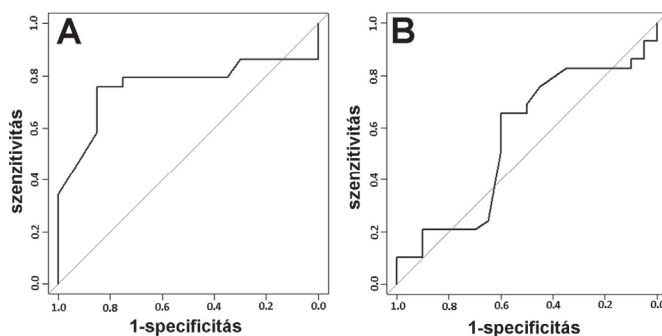
6. ábra: A: januári átlaghőmérséklet; B: januári átlagos minimum hőmérséklet; C: júliusi csapadékösszeg; D: a júliusi csapadékmennyiség értékeinek eltérése az átlagtól, ahol a januári átlagos minimum hőmérséklet az átlag alatt volt; E: januári minimum hőmérsékletek átlaga; F: a januári átlagos minimum hőmérséklet eltérése az átlagtól, ahol a júliusi csapadékmennyiség az átlag alatt volt

utolsó (IV.) stádiumú lárva bebábozódása és az imágónak a bából való kibújása között eltelt idő, ami szintén hőmérséklet-függő. Áttekintve az ázsiai tigrisszúnyog egyedfejlődését, a következő komponensekkel kell számolnunk: a pete-lárva, az I-II., a II-III., a III-IV. lárva alakok, valamint a IV. lárvaalak-bebábozódás-imágó kibújás között eltelt egyedfejlődési idők, melyek mindegyike hőmérséklet által meghatározott. Fontos, megemlíteni, hogy a generációk száma az első megközelítően 10 °C-os naptól indul, és a teljes egyedfejlődés befejezéséig tart (Delatte et al., 2009). Az egyes napokra egyedfejlődési részösszeg számítható, ami a korábbi értékhez hozzáadandó. A 4. ábra

szemlélteti vázlatosan az ázsiai tigrisszúnyog egyedfejlődésének menetét. Említést érdemel, hogy az összetettebb egyedfejlődési modellek még tekintetbe vesznek néhány további, a bából való kibújás és a peterakás között eltelt élettani időfaktort is. Ezek bevonására akkor van szükség pl., ha terjedési modelleket készítünk vagy terjedési sebességet számolunk generációként, eltérő klimatikus feltételek mellett (az ázsiai tigrisszúnyog esetében lásd: Trájer et al., 2017a). Az ázsiai tigrisszúnyog egyedfejlődési szakaszainak hőmérsékletfüggő minimális idejét Calado and Silva (2002) kísérletes eredményei alapján számoltuk ki.



5. ábra: A CEM módszerének elvi, logikai vázlata http://planet.botany.uwc.ac.za/nisl/Climate_change/page_198.htm



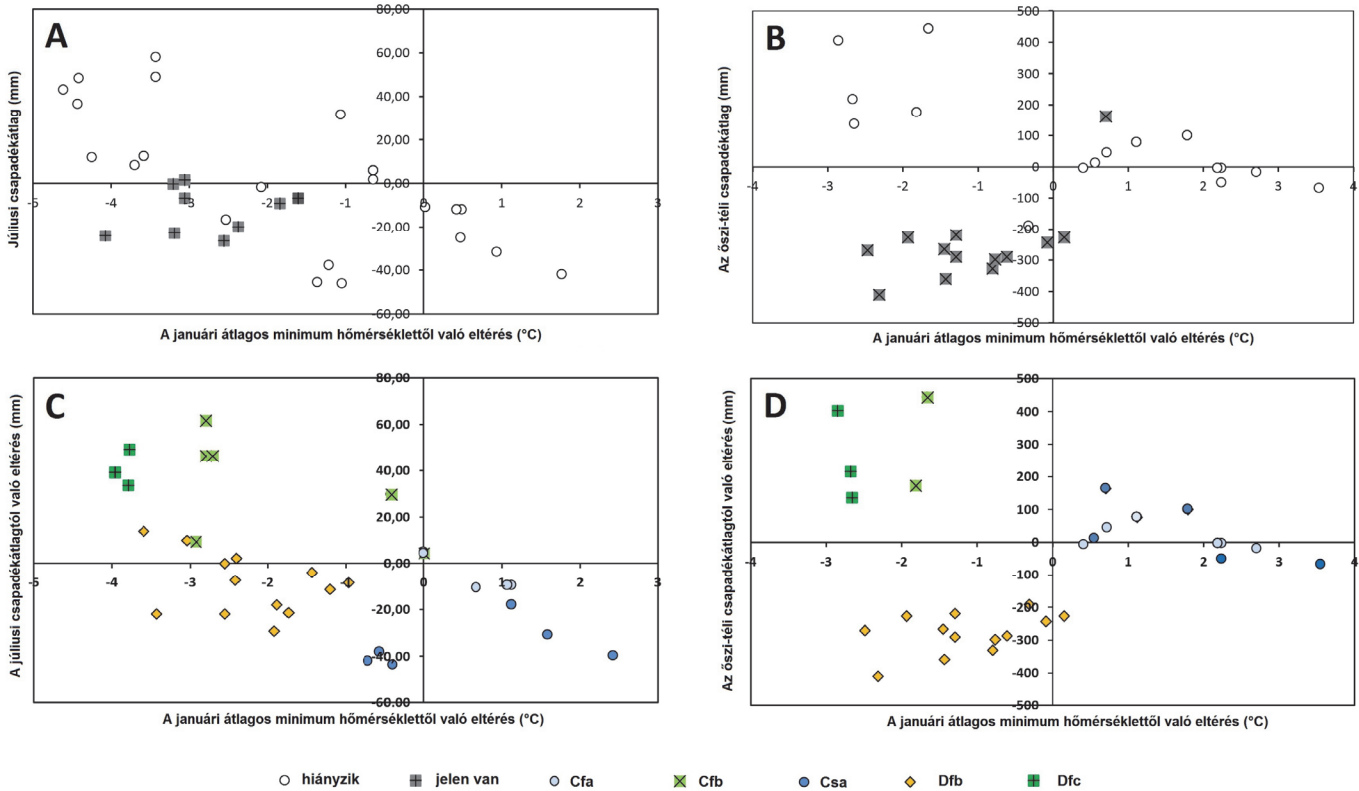
7. ábra: A sikeres és nem sikeres gyűjtési helyek ROC analízise a januári minimum hőmérsékletek és a júliusi csapadékösszegek szerint

Klímaforító modellezés. Kutatásunk során az adatok statisztikai előfeldolgozáson estek át, amivel az elterjedési térképek kis horizontális felbontásából és a tévesen bekerült klímaadatokból adódó pontatlanságokat sikerült mérsekélni az adatsorok néhány percentilisének elhagyásával. Microsoft Excel 2010 és PAST statisztikai program (Hammer et al., 2001) segítségével, iteratív modellezés futtatásával megállapítottuk, hogy a középhőmérsékletek alsó és felső 5-5, a minimum-hőmérsékletek alsó és felső 2-2, a csapadékok alsó 0 és felső 8 percentilisének elhagyásával kapjuk a legmegbízhatóbb modellt. A vázolt modellkalibrációs módszer hasonlít az ROC/AUC sta-

tisztikára, mely a valós pozitív és a téves pozitív esetek arányát vizsgálja (Hanley and McNeil, 1982), s így az arra tett észrevételek vonatkozathatók az általunk használt módszerre is. Térinformatikai szoftver (ESRI ArcGIS) segítségével az ázsiai tigrisszúnyog elterjedési területén a

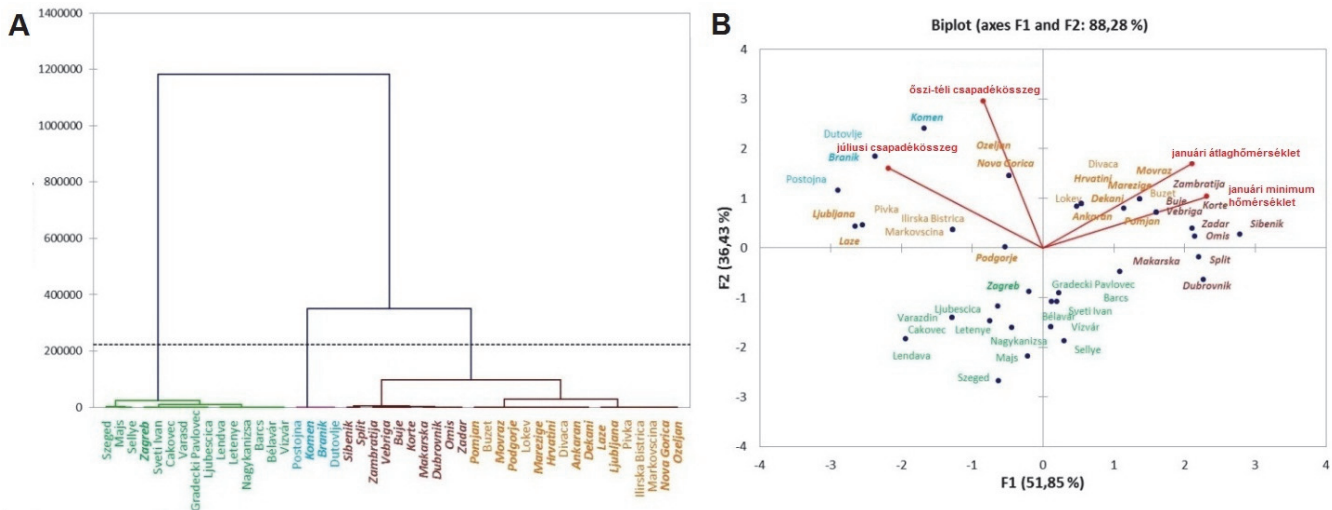
időszakbeli (validálás) és jövőbeli (projekció) klímadatsorokban.

Modellezési módszerünk az úgynevezett éghajlati burkológörbe-modellezés (ÉBM, climate envelope model,



8. ábra: A sikeres és nem sikeres gyűjtési helyekhez tartozó Köppen-Geiger-féle klímakategóriák (vagy biomok).

Júliusi csapadékösszeg és a januári átlagos minimumhőmérséklettől való eltérés (A), az őszi-téli csapadékmennyiség és a januári átlagos minimumhőmérséklettől való eltérés (B), a júliusi csapadékatlaltól való eltérés és a januári átlagos minimum hőmérséklettől való eltérés (C), valamint a őszi-téli csapadékatlaltól való eltérések és a januári átlagos minimum hőmérséklettől való eltérés koordináta tengelyei szerint ábrázolva (D)



9. ábra: A klaszteranalízis (A) és a főkomponens-analízis (B) eredményei az őszi-téli csapadékösszeg, a júliusi csapadékösszeg, a januári átlaghőmérséklet és a januári minimumhőmérséklet értéke alapján. A mintavételi települések a klímatispusnak megfelelően lettek színezve az 5. ábrának megfelelően. A pozitív gyűjtési helyek félkövér, dőlt betűvel kiemelten szerepelnek (narancs: Cfa, kék: Cfb, barna: Csa, zöld: Dfb klímák a Köppen-Geiger-féle klímatispusok szerint)

referencia-időszak (1961–1990) alatt az elterjedési területen jellemző éghajlati paramétereket listáztuk, majd a megfelelő számú percentilis elhagyásával e módosított paraméterek együttállását kerestük a referencia-

CEM, további ismert nevei: niche-alapú modellezés, korrelatív modellezés) volt. Ennek lényege, hogy a módszer az éghajlat hatását a fajok elterjedésére oly módon vizsgálja, hogy a jelenlegi elterjedési területen fellelhető kli-

maértékek köré burkológörbét húz, majd a jövőbeli időszakban megkeresi azokat a területeket, melyek klímája e tartományba esik (Harrison et al., 2006, Hughes, 2000). A mechanisztikus modellekkel ellentétben az ÉBM statisztikai összefüggést keres az éghajlati paraméterek és az elterjedések között (Guisan and Zimmermann, 2000; Elith and Leathwick, 2009), és rejtetten a vizsgált változók referencia-időszakbeli térbeli kapcsolatából azok későbbi időbeli kapcsolatára következtet. A módszer feltételezi, hogy a (referencia-időszakbeli és jövőbeli) elterjedést egyaránt (és azonos módon) a klíma határozza meg (Czúcz, 2010), mely csak fenntartásokkal fogadható el olyan vektor rovarfajok esetében, mint az ázsiai tigrisszúnyog (Shaw, 2007). Szerencsére, számos, más, hasonló eredményekre vezető tanulmány támogatja a megközelítés helyességét (Caminade et al. 2012; Fischer et al. 2011). Az 5. ábra a CEM elvét szemlélteti.

Eredmények. Az észak-balkáni és dél-magyarországi előfordulást limitáló éghajlati faktorok. A gyűjtőhelyeket, aszerint, hogy ott *Aedes albopictus* bármilyen egyedfejlődési formáját megfigyelték, megfigyeltük-e, két csoportba válogattuk. A Mood's median test alapján a két csoport között szignifikáns eltérések voltak észlelhetők a januári átlagos minimum hőmérséklet és az átlagos minimum hőmérséklet értékeiben; a júliusi átlagos csapadékmennyiség értékeinek (negatív) eltérése az átlagtól azon helyeken, ahol a januári átlaghőmérséklet az átlag alatt volt; valamint az őszi és nyári csapadékösszegek szerint ($p < 0,001$ volt mind a négy esetben). A két csoport értékei nem mutattak szignifikáns különbséget. A júliusi csapadékösszegek esetében ($p = 0,3541$) gyengébb összefüggést kaptunk. A januári átlagos minimum hőmérséklet értékei eltértek az átlagtól azon helyeken, ahol a júliusi csapadékmennyiség az átlag alatt volt ($p = 0,0185$; 6. ábra). A ROC analízis szerint a júliusi csapadékösszegek nem képeznek differenciáló tényezőt a sikeres és sikertelen gyűjtési pontok között (auc=0,5594, power=0,107, vágópont=66,14 mm). Ezzel ellentétben, a januári átlagos minimumhőmérséklet valódi differenciáló faktor a két csoport tekintetében (auc=0,7629, power=0,9194, vágópont=-1.2 °C). Itt érdemes megjegyezni, hogy Rochlin et al. (2013) arra a következtetésre jutottak, hogy -2 °C-os januári átlaghőmérséklet alatt már kizárható az ázsiai tigrisszúnyog túlélése egy területen (7. ábra).

Az elterjedési terület éghajlati típusai a Köppen-Geiger klíma klasszifikáció szerint. A sikeres és sikertelen gyűjtési helyek jól láthatóan elkülönülnek a különböző klimatikus értékek alkotta Descartes koordináta-rendszerekben. Az átlagnál melegebb nyarakkal jellemezhető mediterrán klímájú területeken és a mediterrán hegyvidéki területeken fordul elő elsősorban az ázsiai tigrisszúnyog a Balkán-félsziget északnyugati területein. A kontinentális előfordulások nem jellemzők. Jól megfigyelhető a meleg mérsékelt és a kontinentális mérsékelt övi helyek elkülönülése. A sikeres és sikertelen fogási helyek ábrázolása a diagramon láthatóvá teszi a tényt, hogy az ázsiai tigrisszúnyog a vizsgált időszakban csaknem hiányzott a kontinentális klímájú területekről (8. ábra). A klaszteranalízis szerint is jól elkülönülnek a sikeres és nem sikeres

gyűjtési helyek. A nedves szubtrópusi (Cfa), az óceáni (Cfb) – ideértve ez alatt térben a mediterrán hegyvonulatok alacsonyabb régióit, völgyeit az Észak-Balkánon –, és a forró nyarú mediterrán (tengerparti) területek (Csa) az ázsiai tigrisszúnyog élőhelyei a Balkán-félsziget északnyugati területein. A nedves kontinentális zónát (Dfb) egyedül Zágráb képviselte 2014-ben. Az ázsiai tigrisszúnyog itteni előfordulását nekünk is sikerült igazolnunk (1. ábra). A sikeres gyűjtési helyek klímáját elsősorban a magas januári átlag és minimum hőmérséklet különbözteti meg a nem sikeres gyűjtési helyektől (9. ábra).

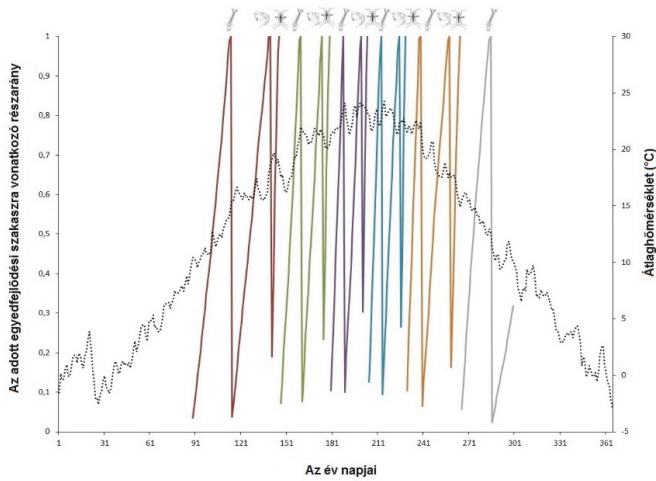
A generációk várható száma. A generációs szám-számítás alapján Magyarországon jelenleg maximum öt ázsiai tigrisszúnyog-generáció képzelhető el. A faj lárváinak egyedfejlődése legkorábban március elején venné kezdetét, az első, kirepülő imágókra azonban csak május elején lehetne számítani. A maximális egyedszám valószínűleg nyár végén-kora ősszel jelentkezne, mint más többgenerációs szúnyogfajok esetében is Magyarországon. A 6. generáció már nem bábozódna be, így összesen 5, kirepülő generációval lehet számolni (10. ábra). A felkeresett három ország maximálisan lehetséges évi generációs számait ábrázolva arra a meglepő következtetésre juthatunk, hogy a jelenlegi állandó előfordulási területek és a Magyarországra számolt értékek között nincsen különbség. Sőt, Szlovénia nem közvetlenül tengerparti területein alacsonyabb az évenként várható generációk száma, mint pl. a Dél-Alföldön. A modell felbontása azonban nem teszi lehetővé, hogy a domborzat hatását érzékelni tudjunk, inkább áttekintő jellegű eredményt ad (11. ábra).

A klímaborító modellezés eredményei. A CEM modell jól közelíti az ázsiai tigrisszúnyog megfigyelt elterjedését. A jövőre nézve a modell a faj terjedését Nyugat- és Dél-Európában is jósolja, de sokkal feltűnőbb az a potenciális elterjedési terület, ami lefedi Magyarország nagy részét, Bulgáriát és a Román-alföldet. A modell a jövőben a faj elterjedési területének további bővülését jelzi előre az említett területeken. Magyarországon és az Észak-Balkánon már jelenleg is lehetőség lenne a faj középtávú életben maradására. Fontos azonban kiemelni, hogy a ritka, de erős lehűlések hatását a modell nem képes megfelelően figyelembe venni. A 12. ábra mutatja a CEM modellezés eredményét.

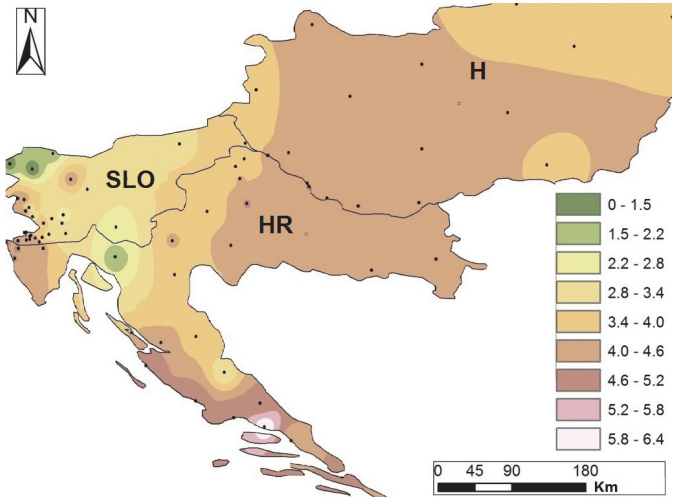
Következtetések. Az ázsiai tigrisszúnyog észak-balkáni elterjedését befolyásoló legfontosabb tényezői január hónap átlag- és minimumhőmérsékleti értékei. A faj trópusi-szubtrópusi eredete miatt a téli hidegek elterjedést korlátozó hatása nem meglepő. Már egy korábbi tanulmányban rámutattam szerzőtársaimmal arra, hogy a januári átlaghőmérsékleti értékek nagyon erősen limitálják a faj elterjedését a kontinentális területeken (Trájer et al., 2014). Mivel a faj eredeti elterjedési területe az egyenlítői forró trópusi esőerdőktől a nedves kontinentális zónáig terjed Kelet-Ázsiában, nem tudható biztosan, hogy eredetileg melyik ökológiai változatát hozták be Európába. Mind Kaliforniában, mind Hollandiában összefüggésbe hozzák megjelenését a Kínából behozott *Dracaena*

(sárkányfa) szállítmányokkal (Scholte et al. 2007; Linthicum et al., 2003). A távolsági kereskedelem forrásországainak figyelembevételével legvalószínűbbnek látszik, hogy a faj Kínából érkezhetett Európába, de ezt további genetikai vizsgálatok erősíthetik csak meg. A faj európai és észak-amerikai előfordulása megközelítően a nedves kontinentális területek határáig tart. Ezen túl ismertek szórványos megfigyelések is, amik azonban nem indikálják az ázsiai tigrisszúnyog állandó jelenlétét és hosszútávú fennmaradását is az adott területeken. Így kamion-tranzit állomásokon megfigyelték dél-morvországi alkalmi megjelenését is, holott az valószínű,

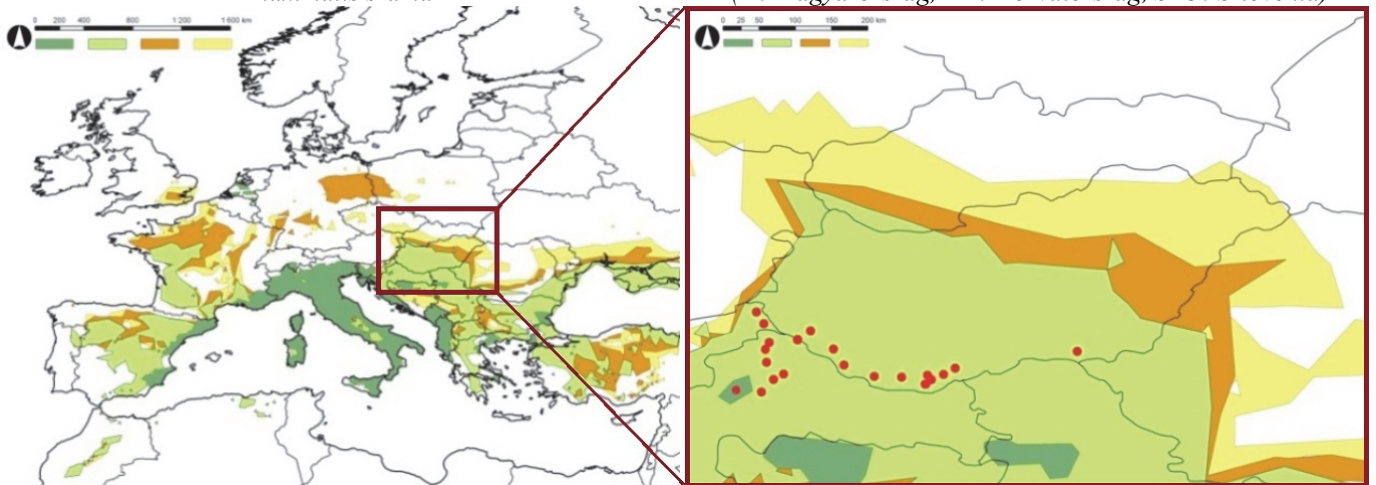
elő is fordul, szabadban nem lehetséges. Az bizonyos, hogy a hazai *Aedes* fajok jellemzően nem telelnek át barlangokban, ilyeneket a *Culex* és az *Anopheles* nemzetségekbe tartozó szúnyogok közt találhatunk. Az ázsiai tigrisszúnyog nőtényei petéiket a víz és a száraz felület határára helyezik. Az ember által eldobott, víztartóként funkcionáló tárgyakban előforduló kisvizék nagy előnye, hogy gyorsan melegek fel és ragadozók rendszerint nem jelennek meg bennük. Legfeljebb a hanyattúszó poloskák, különböző *Notonecta* fajok lehetnek predátoraik, ezt azonban inkább egy másik faj, az *Aedes aegypti* (L.) esetében figyelték meg (Ederly et



10. ábra: Magyarországon lehetséges tigrisszúnyog-generációk maximális száma



11. ábra: Az évenként várható generációk maximális száma (H: Magyarország, HR: Horvátország, SLO: Szlovénia)



12. Az ázsiai tigrisszúnyog valós elterjedési területe 2014-ben, potenciális elterjedése 1961–1990, 2011–2040 és 2041–2070 közötti időszakokban a REMO klímamodell szerint. A piros pöttyök a gyűjtési helyeinket jelölik. Színkódok: sötétzöld: megfigyelt, világoszöld: 1961–1990, narancssárga: 2011–2040 és világossárga: 2041–2070

hogy legfeljebb egynyári, behurcolt esetről lehetett szó (Šebesta et al., 2012). Az áttelelés esetén a külső környezeti tényezők alakulása akkor lényeges, ha nem az imágók átteleléséről van szó. Ismert pl., hogy az egyes maláriaszúnyogok (elsősorban az *An. messeae* és *An. maculipennis* s.s.) nőtényei fűtött vagy legalább hőszennyezett helyiségekben, az állatok hője által fűtött istállóknak vagy a földhő által fagypont feletti hőmérsékleten fűtött barlangokban képesek áttelelni (Thomas et al., 1991). Az ázsiai tigrisszúnyog az enyhe telekkel bíró mediterrán területeken imágóként is képes áttelelni, a kontinentális éghajlat mellett azonban ez kérdéses, és ha

al., 1999; Ellis and Borden, 1970). Mivel az emberi szemből képződő kisvíztartók vizet át nem eresztő anyagokból készültek (műanyag, üveg és gumi szemét), ezért a talajba nem szivároghat el az esővíz közvetlenül, ezért a csapadékvíz teljes egészében hasznosulhat a szúnyogok szempontjából. Hátrányuk, hogy a talajvíz utánpótlása nélkül rövid életű víztetek lehetnek és a természetes vizekkel ellentétben, kitettségük miatt, télen teljesen átfagynak és erősen lehűlnek. Ez magyarázhatja azt az észlelésünket, hogy a mediterrán hegyvidéki területek magas téli csapadékmennyiségei mellett a tigrisszúnyog olyan helyeken is előfordul, ahol kontinentális, száraz

telekenn azonos mértékű átlagos januári hidegek esetén már nem.

Bár jelen tanulmányunk vizsgálódási területe más, meg kell említeni, hogy a magas júliusi csapadék és az atlanti területek óceáni klímájú nyaraira jellemző alacsonyabb átlaghőmérsékleti értékek szintén negatív hatással vannak a faj populációinak fennmaradására (Trájer *et al.*, 2014). Ne felejtjük el, hogy a júliusi csapadékösszegek előfordulást limitáló hatásának elmaradása az átlagokra érvényes, és külön elemzést igényel. Azt tudjuk, hogy a csapadéknak az egyes szúnyogfajok elterjedésére és egyedszámukra gyakorolt hatása függ a csapadékhullás évi eloszlásától és mennyiségétől és attól is, hogy milyen éghajlati övben tartózkodunk. A forró nyarakkal jellemezhető szubtrópusi, szemi-arid szavanna klímán a téli félév az egyetlen olyan évszak, amikor csapadék hullhat. A rá következő nyár forró és száraz, így állandó, de még intermittáló vízfolyások se nagyon fordulnak elő. Az ilyen területeken a nyári csapadék hiánya valóban korlátozhatja az egyes szúnyogfajok túlélését. Nagyjából ez az az éghajlati öv és a rákövetkező jelöli ki a faj elterjedésének déli határát a Földközi-tenger déli medencéjében a Szahara vagy Levantén a Negev-sivatag irányában. Ha kissé északabbra megyünk, akkor azt tapasztaljuk, hogy a forró nyarú mediterrán zónában a vízfolyások nagy része nem állandó, és még a nagyobbak is nyaranta kis tavak láncolatává válnak, vagy nyár végére teljesen szárazzá is válhat a medrük. Mint láttuk, az ázsiai tigrisszúnyog mégis kedveli az Adriai-tenger északi partvidékének klímáját. Valójában, az áramló víz megszűntével keletkező pangó kisvizetek remek élőhelyeket biztosítanak a honos szúnyogok számára. Az ázsiai tigrisszúnyog szempontjából inkább a kiszámíthatatlanul, nyaranta rendszertelenül, de gyakran előforduló felhőszakadások biztosítják fennmaradásuk alapját. Közép-Európában szintén a nyári záporok szolgáltatják a szaporodáshoz szükséges csapadékvizet. Mindenesetre az ismert, hogy a meleg mérsékelt övi területeken a záportározók és a csapadékvíz-elvezető csatornák remek élőhelyeket biztosítanak az antropogén környezetet kedvelő szúnyogfajoknak (Rey *et al.*, 2006; Kaufman *et al.*, 2005). Az ázsiai tigrisszúnyog esetében kevésbé tűnnek fontosnak ezek az élőhelyek, inkább az *Aedes aegypti* számára alkalmas élőhelyeknek (Arana-Guardia *et al.*, 2014). Az elmondottak alapján Európában általában a nyári csapadék hiánya nem lehet limitáló tényező, ami összhangban van eredményeinkkel. Az óceáni területeken a hideg és csapadékos nyarak nem kedveznek a faj fennmaradásának, de a vizsgált területen – beleértve hazánkat – a forró nyarak jellemzőek. Ez alól csak a hegyvidéki területek képeznek kivételt. Ez nem mond ellent annak, hogy különösen száraz nyarak esetén nehezen elképzelhető, hogy a faj populációinak nagysága lecsökken, azonban, ez a populációk nagyságának csökkenését és nem a faj elterjedésének összehúzódását vonja maga után. A számolt maximális évi generációs szám olyan, ami egy többgenerációs szúnyogfaj esetén elvárható és Magyarországon semmivel sem kevesebb, mint azokon az északnyugat-balkáni területeken, ahol már ma is stabil populációi élnek a fajnak.

Irodalom

- Arana-Guardia, R., Baak-Baak, C. M., Loroño-Pino, M. A., Machain-Williams, C., Beaty, B. J., Eisen, L., García-Rejón, J. E., 2014: Stormwater drains and catch basins as sources for production of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Acta tropica* 134, 33–42.
- Benedict, M. O., Levine, R. S., Hawley, W. A., Lounibos, L. P., 2007: Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector-borne and zoonotic diseases* 7(1), 76–85.
- Bocková, E., Kočíšová, A. and Letková, V., 2013: First record of *Aedes albopictus* in Slovakia. *Acta Parasitologica* 58(4), 603–606.
- Calado, D. C. and Silva, M. A. N. D., 2002: Evaluation of the temperature influence on the development of *Aedes albopictus*. *Revista de Saúde Pública* 36(2), 173–179.
- Caminade, C., Medlock, J. M., Ducheyne, E., McIntyre, K. M., Leach, S., Baylis, M. and Morse, A. P., 2012: Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios. *Journal of the Royal Society Interface*, rsif20120138.
- Cancrini, G., Frangipane, di Regalbono, A., Ricci, I., Tessarin, C., Gabrielli, S. and Pietrobello, M., 2003: *Aedes albopictus* is a natural vector of *Dirofilaria immitis* in Italy. *Veterinary parasitology* 118(3), 195–202.
- Czúcz, B., 2010: Az éghajlatváltozás hazai természetközeli élőhelyekre gyakorolt hatásainak modellezése. *Doktori értekezés*. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest
- Delatte, H., Gimonneau, G., Triboire, A. and Fontenille, D., 2009: Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. *Journal of Medical Entomology* 46(1), 33–41.
- Dormann, C. F., 2007: Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and Applied Ecology* 8, 387–397.
- Eggerly, J. S., Willey, M. S. and Livdahl, T., 1999: Intraguild predation among larval treehole mosquitoes, *Aedes albopictus*, *Ae. aegypti*, and *Ae. triseriatus* (Diptera: Culicidae), in laboratory microcosms. *Journal of Medical Entomology* 36(3), 394–399.
- Elith, J. and Leathwick, J. R., 2009: Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40, 677–697.
- Ellis, R. A. and Borden, J. H., 1970: Predation by *Notonecta undulata* (Heteroptera: Notonectidae) on larvae of the yellow-fever mosquito. *Annals of the Entomological Society of America* 63(4), 963–973.
- Fischer, D., Thomas, S. M., Neteler, M., Tjaden, N. B. and Beierkuhnlein, C., 2014: Climatic suitability of *Aedes albopictus* in Europe referring to climate change projections: comparison of mechanistic and correlative niche modelling approaches. *Eurosurveillance* 19(6), 20696.
- Fischer, D., Thomas, S. M., Niemitz, F., Reineking, B. and Beierkuhnlein, C., 2011: Projection of climatic suitability for *Aedes albopictus* Skuse (Culicidae) in Europe under climate change conditions. *Global and Planetary Change* 78(1), 54–64.
- Grard, G., Caron, M., Mombo, I. M., Nkoghe, D., Ondo, S. M., Jiolle, D., Fontenille, D., Paupy, C. and Leroy, M. E., 2014: Zika virus in Gabon (Central Africa)–2007: a new threat from *Aedes albopictus*? *PLoS Neglected Tropical Diseases* 8: e2681.
- Gratz, N. G., 2004: Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Medical and Veterinary Entomology* 18(3), 215–227.
- Guisan, A. and Zimmermann, N. E., 2000: Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147–186.
- Hammer, R., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001: PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 9.

- Hanley, J. A., McNeil, B. J., 1982: The meaning and use of area under a receiver operating characteristics (ROC) curve. *Radiology* 143, 29–36.
- Hochedez, P., Jaureguiberry, S., Debruyne, M., Bossi, P., Hausfater, P., Brucker, G., Bricaire, F. and Caumes, E., 2006: Chikungunya infection in travelers. *Emerging Infectious Diseases* 12(10), 1565.
- Ibáñez, I., Clark, J. S., Dietze, M. C., Feeley, K., Hersh, M., LaDeau, S., McBride, A., Welch, N.E. and Wolosin, M. S., 2006: Predicting biodiversity change: outside the climate envelope, beyond the species–area curve. *Ecology* 87(8), 1896–1906.
- Ibáñez-Bernal, S., Briseno, B., Mutebi, J. P., Argot, E., Rodriguez, G., Martinez-Campos, C., Paz, R., de la Fuente-San Román, P., Tapia-Conyer, R. and Flisser, A., 1997: First record in America of *Aedes albopictus* naturally infected with dengue virus during the 1995 outbreak at Reynosa, Mexico. *Medical and Veterinary Entomology* 11(4), 305–309.
- Kalan, K., Kostanišek, R., Merdić, E. and Trilar, T., 2011: A survey of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) distribution in Slovenia in 2007 and 2010. *Natura Sloveniae* 12(2), 39–50.
- Kaufman, M. G., Bray, A. K., Makowski, D. and Walker, E. D., 2005: Mosquito production from storm water catchment systems in Michigan. *Impacts of Global Climate Change* 1–8.
- Klobučar, A., Merdic, E., Benic, N., Baklaic, Ž. L. and Krčmar, S. A., 2006: First record of *Aedes albopictus* in Croatia. *Journal of the American Mosquito Control Association* 22(1), 147–148.
- Knudsen, A. B., Romi, R. and Majori, G., 1996: Occurrence and spread in Italy of *Aedes albopictus*, with implications for its introduction into other parts of Europe. *Journal of the American Mosquito Control Association* 12(2 Pt 1), 177–183.
- Linthicum, K. J., Kramer, V. L., Madon, M. B. and Fujioka, K., 2003: Introduction and potential establishment of *Aedes albopictus* in California in 2001. *Journal of the American Mosquito Control Association* 19(4), 301–308.
- Luciano, T. O. M. A., Severini, I. F., Di Luca, I. M., Bella, I. A. and Roberto, R., 2003: Seasonal patterns of oviposition and egg hatching rate of *Aedes albopictus* in Rome. *J Am Mosq Control Assoc.* 19(1), 100.
- Mansuy, J. M., Dutertre, M., Mengelle, C., Fourcade, C., Marchou, B., Delobel, P. and Izopet, J., 2016: Zika virus: high infectious viral load in semen, a new sexually transmitted pathogen. *Lancet Infect Dis.* 16(4), 405.
- Medlock, J. M., Avenell, D., Barrass, I. and Leach, S., 2006: Analysis of the potential for survival and seasonal activity of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the United Kingdom. *Journal of Vector Ecology* 31(2), 292–304.
- Merdić, E., 2011: *Aedes albopictus*: Invasive species in Croatia (past, present, surveillance and risk assessment). Symposium: Emerging vector-borne disease, the role of *Aedes* mosquitoes, Cervia 9–10, May. [online publication] URL bib.irb.hr/prikazi-rad?lang=en&rad=625208 [accessed 22 Apr 2016].
- Mitchell, C. J., 1995: Geographic spread of *Aedes albopictus* and potential for involvement in arbovirus cycles in the Mediterranean basin. *Journal of Vector Ecology* 20(1), 44–58.
- Moore, C. G. and Mitchell, C. J., 1997: *Aedes albopictus* in the United States: ten-year presence and public health implications. *Emerging Infectious Diseases* 3(3), 329.
- Petrić, D., Pajović, I., Ignjatović-Čupina, A. and Zgomba, M., 2001: *Aedes albopictus* (Skuse, 1894), new mosquito species (Diptera: Culicidae) in entomofauna of Yugoslavia. *Biljni Lekar* 29(6), 547–548.
- Petrić, D., Zgomba, M., Ignjatovic Cupina, A., Pajovic, I., Merdic, E., Boca, I. and Landeka, N., 2006: In: *Costas, S.* (ed): Invasion of the *Stegomyia albopicta* to a part of Europe. 15th European SOVE meeting. Program and abstract book. *Prefecture of Serres, Center for Mosquito Abatement and CIVIC Protection of the Prefecture of Serres*, Serres, Greece, 10–14 May.
- Rey, J. R., O'Meara, G. F., O'Connell, S. M., Cutwa-Francis, M. M., 2006: Factors affecting mosquito production from storm-water drains and catch basins in two Florida cities. *Journal of Vector Ecology*, 31(2), 334–343.
- Rochlin, I., Ninivaggi, D. V., Hutchinson, M. L. and Farajollahi, A., 2013: Climate change and range expansion of the Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) in Northeastern USA: implications for public health practitioners. *PloS one* 8(4), e60874.
- Roiz, D., Neteler, M., Castellani, C., Arnoldi, D. and Rizzoli, A., 2011: Climatic factors driving invasion of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) into new areas of Trentino, Northern Italy. *PloS one* 6(4), e14800.
- Romi, R., Severini, F. and Toma, L., 2006: Cold acclimation and overwintering of female *Aedes albopictus* in Roma. *Journal of the American Mosquito Control Association* 22(1), 149–151.
- Sardelis, M. R., Turell, M. J., O'Guinn, M. L., Andre, R. G. and Roberts, D. R., 2002: Vector competence of three North American strains of *Aedes albopictus* for West Nile virus. *Journal of the American Mosquito Control Association* 18(4), 284–289.
- Scholte, E. J. and Schaffner, F., 2007: Waiting for the tiger: establishment and spread of the *Aedes albopictus* mosquito in Europe. In: *Takken W. and Knols B.G.J.* (eds). *Emerging pests and vector-borne diseases in Europe*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 241–260.
- Scholte, E. J., Jacobs, F., Linton, Y. M., Dijkstra, E., Fransen, J. and Takken, W., 2007: First record of *Aedes (Stegomyia) albopictus* in the Netherlands. *European Mosquito Bulletin* 22, 5–9.
- Šebesta, O., Rudolf, I., Betášová, L., Peško, . and Hubálek, Z., 2012: An invasive mosquito species *Aedes albopictus* found in the Czech Republic, 2012. *Eurosurveillance* 17, 43.
- Shaw, J., 2007: The leishmaniases – survival and expansion in a changing world. A mini-review. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 102, 541–547.
- Solano Gállego, L., Fernández Bellon, H., Serra, P., Gállego, M., Ramis, A., Fondevila, D. and Ferrer, L., 2003: Cutaneous leishmaniasis in three horses in Spain. *Equine Veterinary Journal* 35(3), 320–323.
- Thomas, G., Jaenson, T. and Ameneshewa, B., 1991: Prehibernation diet and reproductive condition of female *Anopheles messeae* in Sweden. *Medical and Veterinary Entomology* 5(2), 243–252.
- Trájer, A., Hammer, T., Kacsala, I., Tanczos, B., Bagi, N. and Padisák, J., 2017a: Decoupling of active and passive reasons for the invasion dynamics of *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae): Comparisons of dispersal history in the Apennine and Florida peninsulas. *Journal of Vector Ecology* 42(2), 233–242.
- Trájer, A. J., Tanczos, B., Hammer, T., Bede-Fazekas, Á., Ranvig, K. A. and Padisák, J., 2017b: The complex investigation of the colonization potential of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the South Pannonian Ecoregion. *Applied Ecology and Environmental Research* 15(1), 275–298.
- Trájer, A. J., Hammer, T. and Rengei, A., 2015: Trapping blood-feeding mosquitoes (Diptera: Culicidae) in the first lethal canine dirofilariasis site in Szeged, Hungary. *Folia entomologica hungarica* 76, 251–258.
- Trájer, A. J., Bede-Fazekas, Á., Bobvos, J. and Páldy, A., 2014: Seasonality and geographical occurrence of West Nile fever and distribution of Asian tiger mosquito. *Időjárás* 118, 19–40.
- Urbanelli, S., Bellini, R., Carrieri, M., Sallicandro, P. and Celli, G., 2000: Population structure of *Aedes albopictus* (Skuse): the mosquito which is colonizing Mediterranean countries. *Heredity* 84(3), 331–337.
- VBORNET, 2015: Current known distribution of *Aedes albopictus* [January 2016]. URL http://VBORNET.europa.eu/en/healthtopics/vectors/vector-maps/Pages/VBORNET_maps.aspx [accessed 22 Apr 2016].
- Wong, P. S. J., Li, M. Z. I., Chong, C. S., Ng, L. C. and Tan, C. H., 2013: *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse): a potential vector of Zika virus in Singapore. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7: e2348.