

A sárgaláz szúnyog populációk múltbeli, közelmúltbeli és jövőbeli éghajlati stabilitásának vizsgálata Európában

Trájer Attila János

Pannon Egyetem, attilatrajer@gmail.com

DOI: 10.56474/legkor.2022.1.6

A sárgaláz szúnyog az egyik legjelentősebb ízeltlábú vektor. A 19. század és a 20. század fordulóján a Földközi-tenger partvidékén behurcolt formában elterjedt volt. Jelenleg Európában csak a Fekete-tenger mellékén lelhető fel. Jelen tanulmány a faj múltbeli, referenciaidőszakot illető és a várható jövőbeli elterjedésének modellezése volt a kontinensen. A múltira és a közelmúltira vonatkozó modellezett éghajlati alkalmasság-értékek összevetése alapján állítható, hogy a faj jelenlétének nincsen jelenleg klimatikus korlátja a Földközi-tenger partvidékén. A jövőben a faj számára Európa déli részének éghajlati körülményei jelentősen javulni fognak és akár a Kárpát-medence déli területeinek klímája is alkalmassá válhat a faj fennmaradása számára.

Investigation of the past, the recent and future climate stability of yellow fever mosquito populations in Europe

The yellow fever mosquito is one of the most significant arthropod vectors. This mosquito was widespread on the Mediterranean shores at the turn of the 19th and 20th centuries. It is currently found in Europe only on the Black Sea. The present study was performed to model the past, the reference period, and the expected future distribution of the species on the continent. A comparison of modelled climatic suitability values for the past and recent periods show that there is no climatic limit to the presence of the species on the Mediterranean coast. In the future, the climatic conditions of the Southern regions of Europe will improve significantly for the Yellow fever mosquito, and even the climate in the southern parts of the Carpathian Basin may become suitable for the species.

Bevezetés – A sárgaláz szúnyog közegészségügyi jelentősége

A sárgaláz szúnyog (*Aedes aegypti* Linnaeus, 1762) egy egyenlítői afrikai eredetű, a trópusi és szubtrópusi területeken a gyarmatosítás időszaka óta meghatározó humánegészségügyi kockázatot jelentő inváziós szúnyog faj. Olyan jelentős betegségek

terjesztője, mint amilyen a Chikungunya-, a dengue-, a Zika-láz, valamint a magyar nyelvben a faj névadó betegsége, a sárgaláz. A sárgaláz Afrika, Közép- és Dél-Amerika trópusi területein fordul elő, elsődleges vektora (aktív terjesztője) a sárgaláz szúnyog. Vírus okozza, a betegség szövdményei halálosak lehetnek; az általános halálozási ráta 3–7,5%, de akiknél a sárgaság kialakul,

a halálozási arány 20–50% (Monath, 2008). A dengue-láz egyik fontos terjesztője a sárgaláz szúnyog, de emellett az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus* Skuse, 1895), s még két rokon faj is lehetséges terjesztői, melyek azonban az ázsiai tigrisszúnyogtól eltekintve Európában nem fordulnak elő. Tekintve, hogy évente nagyjából 390 millió ember fertőződik meg dengue-vírussal, és körülbelül 20–25 ezren halnak meg az általa okozott betegségben (ECDC dengue factsheet), a dengue-láz halálozási rátája aránylag nem túl magas (0.01% körüli), hacsak ki nem alakul a súlyos, vérzéses kórállapottal jellemezhető forma. A betegség ma már több mint 100 országban endémiás Afrikában, Amerikában, a Földközi-tenger keleti részén, Délkelet-Ázsiában és a csendes-óceáni térségben. Európában Dél-Franciaországban (Gould *et al.*, 2010), Spanyolországban (Monge *et al.*, 2020) és Olaszországban (Lazzarini *et al.*, 2020) figyeltek meg helyi átvitelű dengue-láz eseteket. A Chikungunya-lázra Európában 2007-ben figyeltek fel, amikor augusztusban az olasz Emilia-Romagna tartományban helyi átvitelű (autochton) eseteket figyeltek meg (Watson, 2007). Mint kiderült, a betegséget egy India Kerala tartományából visszatérő nő hurcolta be Olaszországba (Rezza, 2018), ahova az *Ae. albopictus* már korábban behurcolásra került, és azóta is jelen van Dél-Európában a vírussal együtt, melynek a sárgaláz szúnyog is egy fontos, lehetséges terjesztője.

Történelmi kitekintés

A sárgaláz szúnyog eredetileg egy szilvaticus (erdei) faj volt. Az emberi környezet, az urbanizáció alkalmas élőhelyet biztosítanak a faj számára, ezért az erdei populációk mellett megjelentek az ember környezetében élő- és szaporodó (ún. peri-domestic) populációi is. A trópusi esőerdei élőhelyét valamikor a gyarmatosítás idején hagyhatta el, bár elképzelhető, hogy valamelyik középkori afrikai államban, pl. a Mali vagy a Kanem-bornu birodalomban kezdődött el a folyamat. Eredeti elterjedési területe trópusi klímájú élőhelyekre korlátozódott, de ma már előfordul szubtrópusi, sőt, meleg-mérsékelt övi területeken

is. A gyarmatosító európaiak révén eljutott Észak-, Közép- és Dél-Amerikába, Európába, Dél- és Délkelet-Ázsiába, Kelet-Ázsiába, Ausztráliába és Óceánia szigeteire. Az első jelentős, egyértelműen a sárgaláz által okozott járvány Közép-Amerikában 1647-ben történt (Chippaux és Chippaux, 2018). Érdeemes megjegyezni, hogy a sárgaláz vírus is afrikai eredetű, és ahogy a szúnyog maga cukornád tövekkel, úgy a kórokozó a rabszolgakereskedelem révén jutott el más kontinensekre.

Azonban nem csak a nedves trópusi területeken okozott gondot a sárgaláz szúnyog által terjesztett sárgaláz; súlyos járványokat regisztráltak pl. a nedves szubtrópusi klímájú (*Cfa* - a Köppen-Geiger-féle klímaosztályozás szerint) Buenos Airesben (Argentína) 1871-ben és 1793-ban Philadelphiában (Egyesült Államok). Európában a sárgaláz szúnyog széltehen elterjedt volt a 19. század második felében és a 20. század elején a Földközi-tenger és a Fekete-tenger térségében. Athénban, Görögországban 1881, 1889, 1895–1897, 1910 és 1927–1928 során sorozatban zajlottak dengue-láz járványok: a legsúlyosabb, ami pl. Athén lakosságának kb. a 90%-át érintette, az utolsó periódusban zajlott. Olyan északi területeken is terjesztett betegségeket a sárgaláz szúnyog, mint pl. Cardiff, Dublin, a bulgáriai Breszt és Odessza (Andrade, 2011). Hasonlóan a sárgaláz vírushoz, a dengue-vírus is súlyos, életveszélyes fertőzést képes okozni, ez utóbbi elsősorban a fiatalabb korosztályban. A sárgaláz szúnyog kiirtására Dél-Európából a második világháború után került sor. Ahonnan azonban kiirtani sosem sikerült az a Fekete-tenger délnyugati, a sárgaláz szúnyog szempontjából kedvező klímájú, a Kaukázus nyugati vonulataival határos öble. A grúziai Batumi klímája pl. ugyanúgy nedves szubtrópusi (*Cfa*), mint Buenos Airesé vagy Philadelphiáé. Azonban nagyon fontos kiemelni, hogy Grúzia tengerparti területei és Délnyugat-Oroszország Fekete-tengerrel határos zónája jelentik egyben a faj egyik legészakibb előfordulását is, mely tény meghatározó abból a szempontból, hogy az itt található ökotípus alkalmazkodhatott leginkább az európai, illetve általában a mérsékelt öv melegebb részének klimatikus körülményeihez.

Célkitűzés és háttér

A Fekete-tenger körüli sárgaláz szúnyog populációknak azért van kiemelt jelentősége, mert ha behurcolnák ezen előfordulási területéről a földközi-tengeri kikötőkbe, akkor feltehető, hogy lehetősége lenne arra, hogy Európa megfelelő klímájú területeit meghódítsa. Ez a meghódítható terület valószínűleg északi irányban jelentősebb lenne, mint amit egy melegebb területről származó sárgaláz szúnyogpopuláció kolonizálni lenne képes. Különös jelentőséget ennek a lehetőségnek ugyanakkor az ad, hogy az előrejelzések szerint 2071–2100-ra Közép- és Nyugat-Európa alföldi és dombosági területeinek nagy része a rosszabb energiavisszatartási forgatókönyvek teljesülése esetén magára ölhetheti a nedves szubtrópusi (Cfa) klimatikus viszonyokat (Beck *et al.*, 2018), ami maga után vonhatná a sárgaláz szúnyog északi irányú invázióját ezeken a területeken. E jövőbeli lehetőség miatt érdemes lenne előre jellemezni a sárgaláz szúnyog várható európai előfordulását a jövőben, azonban ennek előrejelzése számos technikai buktatót rejt magában. A jelen közlemény egy, a szerző tollából a Heliyon c. tudományos folyóiratban 2021-ben megjelent publikáció egyes elemein alapul (Trájer, 2021).

Az elterjedési modellezés módszertani kérdései

Az elterjedés-modellezési problémák főként abból származnak, hogy Európa a sárgaláz szúnyog lehetséges elterjedési területének határvidékét jelenti, és a létező fekete-tengeri partvidéki populációk korlátozott földrajzi előfordulásúak. Az előrejelzés bizonytalanságát szemléltetik a faj jóslott előfordulási valószínűségi térképei és megfigyelt leírt elterjedése közötti eltérések. A modellek egy része például praktikusán nem jeleníti meg a fekete-tengeri előfordulást még akkor sem, ha azt figyelembe vették különben a modellezők. Az ilyen modellek (pl. Dickens, 2018) alapvető problémája az, hogy az adatbevitel során a számos egyenlítői, trópusi előfordulási adat mellett csak viszonylag csekély számú meleg mérsékelt övi megfigyelés kerül rögzítésre. Emiatt, a statisztikai

feldolgozás során – a neurális algoritmusok esetén azok, itt külön nem részletezhető belső törvényszerűségei folytán is – a peremterületi megfigyelésekhez köthető szélsőséges klimatikus értékek kiesnek, így a modellezett területek sem fedik ezeket a határterületeket. Ez a hiba kiküszöbölhető, ha kizárólagosan az európai és kis-ázsiai előfordulásokat vesszük figyelembe, azonban ekkor a faj teljes toleranciájára nézve veszünk adatokat. Ilyen esetben a félautomatizált és automatizált algoritmusok olyan térképeket eredményeznek, amik alaposan alul becsülik a faj előfordulását a déli területeken még a Földközi-tenger térségében is. A probléma megoldása céljából a modellezőnek szelektálni kell az adatok között abban a tekintetben, hogy mely faktor alsó, mely faktor felső szélső értékét vesszük tekintetbe a modellezéskor.

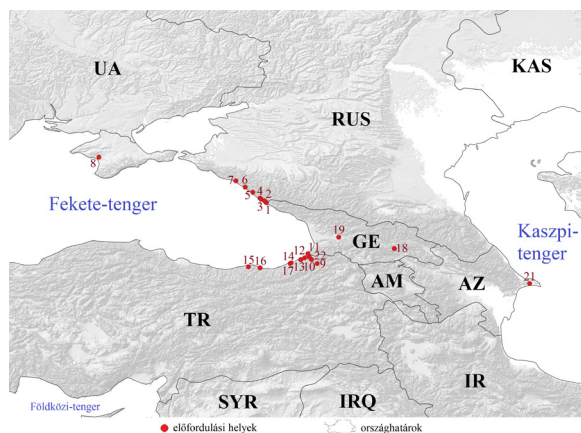
A sárgaláz szúnyog általános élőhelyi igényeinek és származási helyének megfontolása alapján állíthatók a következők:

1. Mivel a faj trópusi előfordulású volt eredetileg, ezért az északi elterjedési határ közelében általában az alacsony hőmérsékleti értékek limitálják a faj európai elterjedését.
2. Köszönhetően annak, hogy Európában olyan területek nincsenek, ahol az éves csapadékmennyiség 55 mm alatt lenne (Cabrerá and Selvaraj, 2020), ezért a csapadék-természetű faktorok alacsony értékei a kontinensen nem játszanak szerepet az elterjedés szempontjából.
3. A csapadék hűtő hatása miatt feltehető, hogy a kimondottan magas csapadék értékek Európában negatívan befolyásolják a faj előfordulását, azaz ebben az esetben a csapadék-alapú változók felső értékeit kell tekinteni elterjedési limiteknek. Ez egy olyan általános megfigyelés, ami más szubtrópusi előfordulású vektorokra, pl. lepkeszúnyogokra is alkalmazható (Trájer *et al.*, 2013).

A faj populációdinamikai indikátorai a legmelegebb negyedévre vonatkozóan kerültek modellezésre, mivel ez jelenti a faj fő aktivitási időszakát a mérsékelt övi területeken, így meghatározó a sárgalázszúnyog fennmaradása és terjedése, valamint betegségátviteli kockázata szempontjából.

Előfordulási adatok

Összesen 21, dokumentált, Fekete-tenger körüli előfordulási (7 délnyugat-oroszországi, 1 krími, 9 kis-ázsiai, 4 kaukázusi) adat és 7 hőmérséklet-alapú, valamint 7 csapadék-természetű bioklimatikus változó került felhasználásra az előfordulási modellezés céljából. Az 1979–2013-es időszak volt a felhasznált referencia időszak, melyből az elterjedési helyekhez kapcsolódó klimatikus adatok kinyerésre kerültek. A referencia-időszaki modell forrása a WorldClim 2.1 adatbázis volt (Fick and Hijmans, 2017). A viszonylag csekély számú ismert előfordulási hely és azok pozíciójának kellő pontosságú ismerete miatt az adott bioklimatikus faktorhoz tartozó legalacsonyabb és legmagasabb értékek kerültek felhasználásra. Az 1. ábra mutatja az előfordulási helyek eloszlását a Fekete-tenger tágabb környezetében.



1. ábra. A sárgaláz szúnyog jelenlegi elterjedése a Fekete-tenger mellett Akiner et al. (2018), Ganushkina et al. (2016) és Riabova et al. (2005) adatai alapján (AM: Örményország, AZ: Azerbajdzsán, GE: Grúzia, IR: Irán, IRQ: Irak, KAS: Kazahsztán, RUS: Oroszország, SYR: Szíria, TR: Törökország, UA: Ukrajna). 1: Adler, 2: Khosta, 3: Sochi, 4: Mamayka, 5: Lazarevskoz, 6: Tuapse, 7: Dzhubga, 8: Priboj, 9: Artvin, 10: Borçka, 11: Hopa, 12: Arhavi, 13: Findikli, 14: Pazar, 15: Vakfikebir, 16: Trabzon, 17: Ardeşen, 18: Tbilisi, 19: Kutaisi, 20: Batumi, 21: Baku.

Populációdinamikai indikátorok

A kérdés, ami nyilván felmerül a történelmi tények ismeretében az, hogy ha a faj a közelmúltban is előfordulhatott volna a Földközi-tenger

vidékén, vajon a visszatérésének feltételei a közelmúltban és a jövőben milyenek lehettek, lehetnek ahhoz az időszakhoz viszonyítva, amikor a dél-európai országokban tényleg jelen volt. Ennek vizsgálatához a faj klimatikus elterjedési igényeinek vizsgálata önmagában nem elegendő, hanem a faj populációdinamikai indikátorait is meg kell vizsgálni. Ebből a célból a szúnyog faj teljes hőmérsékletfüggő egyedfejlődési ideje és túlélési rátája kerültek modellezésre Tun-Lin et al. (2000) egyenletei alapján.

Klímamodellek, klimatikus adatok

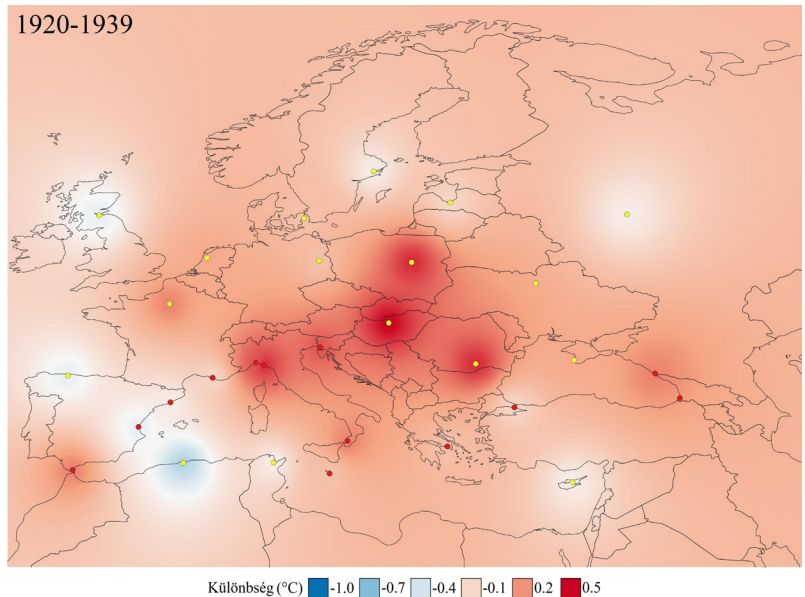
A felhasznált, közelmúltat reprezentáló és a várható jövőt jelentő térképes klímamodellek a WordClim1.4 adatbázisból (Hijmans et al., 2005) származtak. A modellkörnyezet, melyben a jövőt reprezentáló modelleket előállították, a Beijing Climate Center Climate System volt. Mind a két modellezett jövőbeli periódus (2041–2060, 2061–2080) és a várható koncentrációváltozás reprezentatív pályái (Representative Concentration Pathways) közül az RCP8.5 alapú modell került felhasználásra. A már korábban használt közelmúltbeli és jövőbeli időszakok kiegészültek egy 20 éves múltbeli időszakkal is a 20. század elejéről (1920–1939). Ennek indoklása az, hogy ebben az időszakban zajlottak Görögországban a legnagyobb, sárgaláz szúnyog által mediált dengue járványok, mint az már a bevezetőben említésre került. Azonban, e múltbeli időszak esetében nem rendelkezünk térképes klímamodellel, így azt elő kellett állítani. Az előállítás alapját 11 földközi-tengeri, 2 fekete-tengeri nagy kikötőváros, valamint 11 nagyobb európai város adatainak letöltése képezte a KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) Climate Explorer adatbázisból (Trouet and Van Oldenborgh, 2013). A letöltött hőmérséklet-értékek a vizsgált 20 éves időszak-hely párokra nézve átlagolásra kerültek, és az eltérés értékek az 1979–2013-es időszakhoz viszonyítva kiszámításra kerültek. Ezt követően, az eltérés-értékeket a megfelelő földrajzi koordináták szerint visszaírva, IDW (Inverse Distance Weighting) interpoláció révén egy közelítő különbség-modellt lehetett nyerni

a 20 éves periódusra a referencia időszakhoz mérten, majd a referencia időszakot ezekkel a most már folyamatos értékekkel módosítva létre lehetett hozni 1920–1939 közeli modellt a legmelegebb negyedév átlaghőmérsékletére vonatkozóan (2. ábra).

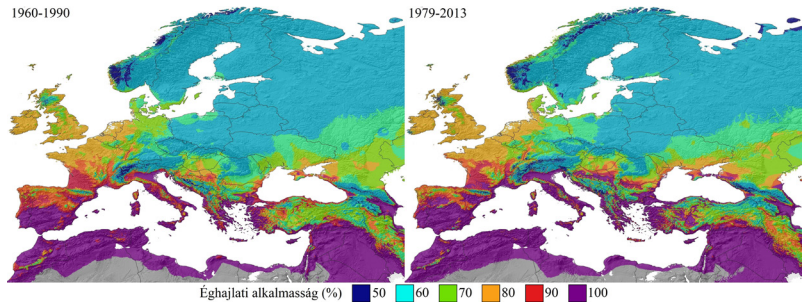
A létrehozott modellek (az éghajlati alkalmasság, az egyedfejlődési idő és a túlélési ráta) a legmelegebb negyedév hőmérsékleti értékeire alapulnak, melyek alapján a hőmérsékletfüggő egyedfejlődési idő és a túlélési ráta kiszámításra, illetve térképes megjelenítésre kerültek.

**Eredmények –
Éghajlati alkalmasság értékek**

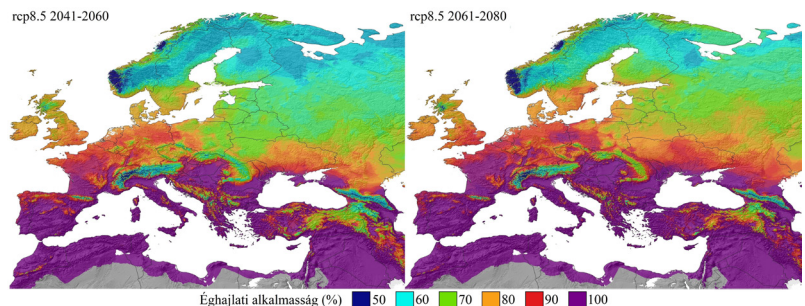
A modelleredmények alapján a sárgaláz szúnyog jelenleg látható előfordulási hiánya a földközi-tengeri térségben egyértelműen nem a klíma alkalmatlanságának következménye Dél-Európában, hanem feltehetően a 20. század derekán DDT-vel végzett szúnyog-eradikálási kampányok következménye lehet. A modell visszaadta a megfigyelt Fekete-tenger körüli elterjedést, ugyanakkor a Földközi-tenger partvidékén és az Ibériai-félsziget déli felén kiterjedt lehetséges elterjedési területeket mutat az 1960–1990-as időszakra nézve. Az 1979–2013-as időszak esetében azonban már lehetséges előfordulási területek tűnnek fel a térképen a Balkán-félsziget északi részén, a Román-alföldön és a Krím-félszigeten is (3. ábra).



2. ábra. Az 1979-2013 és az 1920-1939-es időszak legmelegebb negyedévi átlaghőmérséklet értékei között fennálló eltérés értékek IDW-interpolált térképei. (Az ábrán lévő piros pontok nagyobb földközi-tengeri kikötőket, a sárga pontok pedig egyéb európai nagyvárosokat jelölnek).

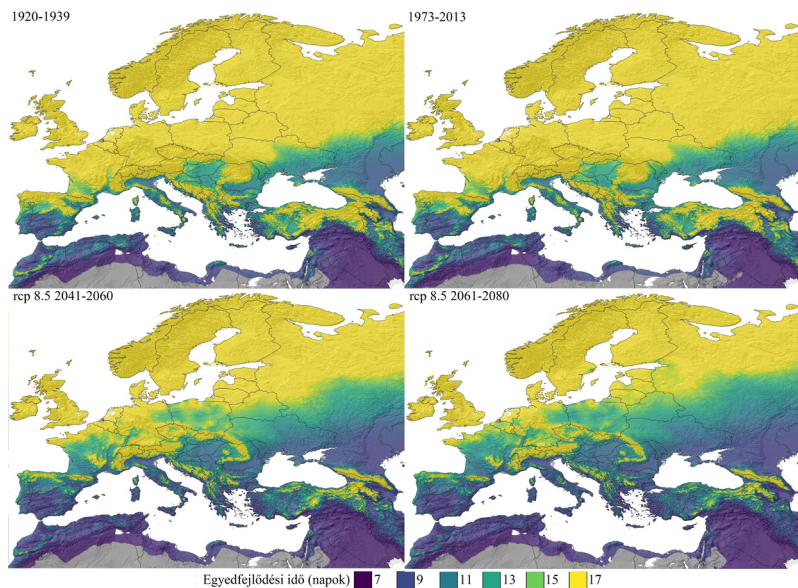


3. ábra. A sárgaláz szúnyog közelmúltbeli klimatikus alkalmasság értékei Európában és a Földközi-tenger mellékén.



4. ábra. A sárgaláz szúnyog jövőben várható klimatikus alkalmasság értékei Európában és a Földközi-tenger mellékén.

A 2041–2060 és 2061–2080-as időszakokra vonatkozó modellek a sárgaláz szúnyog jelentős, északi irányú térhódítását jósolják, ami mindenképpen érinti Franciaország központi és déli területeit, a Kárpát-medencét, a Balkán-félsziget összes alacsony és közepes tengerszint feletti magasságú területét, a Fekete-tenger összes tengerpart menti területét és Kis-Ázsia nagy részét. Modelltől függően akár Közép-Európa és Nyugat-Európa északi területeit is elérheti a sárgaláz szúnyog a jövőben (4. ábra).

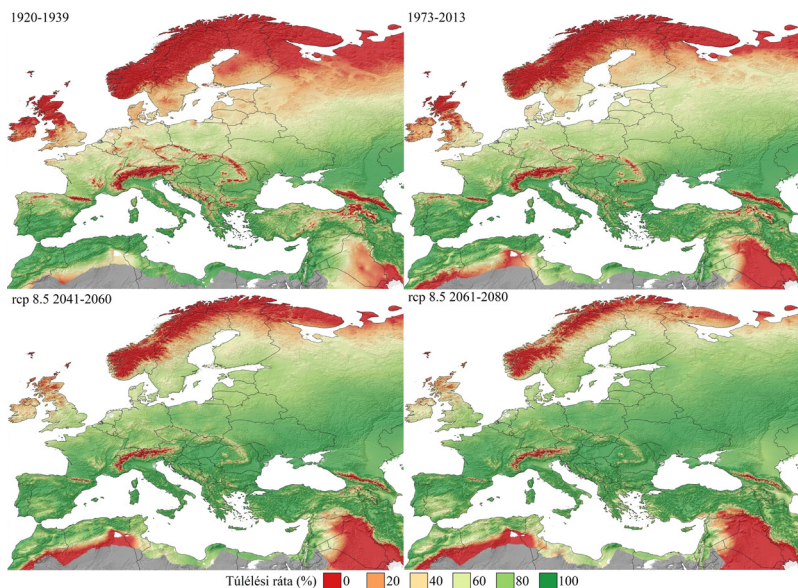


A modellezett populációdinamikai indikátorok

A modelleredmények alapján az látható, hogy a teljes hőmérsékletfüggő egyedfejlődési idő értékek nem mutatnak érdemleges eltérést az 1920–1939-es és az 1979–2013-as időszakok összevetésében. A jövőben a faj egyedfejlődési ideje Délnyugat- és Nyugat-Európa kontinentális részén jelentősen lerövidülhet, de a változás még feltűnőbb Kelet-Közép Európa és Kelet-Európa vonatkozásában, ahol az értékek dél-északi irányú eltolódása több száz kilométer nagyságrendűnek mutatkozik (5. ábra).

A hőmérsékletfüggő túlélési ráta értékek sem mutatnak érdemleges eltérést az 1920–1939-es és az 1979–2013-mas időszakok összehasonlítása alapján. A jövőben a faj egyedfejlődési ideje Nyugat-Európában is jelentősen lerövidülhet, de a változás – az előző indikátornál látottakhoz hasonlóan – ebben az esetben is sokkal nyilvánvalóbb és nagyobb mértékű Európa keleti felén. Ugyanakkor a hőmérsékletfüggő túlélési ráta csökkenése

5. ábra: A sárgaláz szúnyog hőmérséklet-függő egyedfejlődési ideje négy modellezett időpont példáján szemlélve a múltban, a közelmúltban és a lehetséges jövőben.



6. ábra: A sárgaláz szúnyog hőmérsékletfüggő túlélési rátája négy modellezett időpont példáján szemlélve a múltban, a közelmúltban és a lehetséges jövőben.

látható Észak-Afrikában és a Közel-Keleten az emelkedő átlaghőmérséklet miatt, ami azt jelenti, hogy ezek a déli peremsávok alkalmatlanná válnak a jövőben a faj lehetséges megtelepedése szempontjából (6. ábra).

Következtetések

Összefoglalva az eredményeket elmondható, hogy a sárgaláz szúnyog egyáltalán nem becsülhető le, mint a jövő inváziós szúnyog faja Európában, még akkor se, ha a jelenlegi helyzet mást sugall. Nagyon valószínű az eredmények tükrében, hogy a klímaváltozás okozta felmelegedés elősegítheti a Földközi-tenger vidékének rekolonizációját a faj által, majd a század végén a sárgaláz szúnyog északi irányú invázióját. Tekintve, hogy az ázsiai tigrisszúnyog jelenlegi hidegtűrése jobb, mint a sárgaláz szúnyogé, amennyiben ez a helyzet a 21. század végén is fennál majd, nem lehet arra számítani, hogy szerepét tekintve megelőzné azt, de ettől eltekintve bizonyos európai területeken fontos vektorrá válhat. Az eredmények láttán felmerül a kérdés, hogy mi az oka annak, hogy ma nincs jelen a faj Dél-Európában, mikor semmilyen érv nem ismert, és a jelen cikkben bemutatott tanulmány sem mutatott fel olyan tényezőt, ami megmagyarázná a hiányát a mediterrán klímaövbén. Felmerül a szúnyog fajok közötti versengés lehetősége is. Annak ellenére, hogy ez a jelenség létezik (*Lounibos et al.*, 2002), ez nem jelenti azt, hogy a sárgaláz szúnyog és az ázsiai tigrisszúnyog együttes jelenléte azonos területen kizárnák egymást. Inkább gondolhatunk arra, hogy a sárgaláz szúnyog eredeti, egyenlítői afrikai származási helye és az ázsiai tigrisszúnyog délkelet-ázsiai eredete jelentős különbségekhez vezethet a fajok adaptációs képességeit illetően. Mivel a sárgaláz szúnyog populációi nem éltek olyan területen, ami a mérsékelt övi területekbe átnyúlt volna, ez magyarázhatja, hogy a hideg területek irányába esően kisebb alkalmazkodási lehetőségekkel rendelkezik, mint ázsiai társa. Arról sem szabad azonban megfeledkezni, hogy a két szúnyog faj Egyesült Államokbeli elterjedése között például egyáltalán nincs nagy különbség, ez nagyjából olyan szélességi eltérést jelent, mint Ohio állam észak-déli kiterjedése (*CDC*, 2018), kb. 340 km, ami léptékében hasonló Magyarorszag észak-déli kiterjedéséhez. Ha az észak-amerikai adatokat nem ismernénk, valószínűleg szkeptikusabbaknak kellene lennünk azzal kapcsolatban, vajon Európában a klímaváltozás

eredményezheti-e a faj terjedését. Azonban, azt tudnunk kell, hogy a Fekete-tenger mellékén tenyésző populáció filogenetikai adatok szerint utóda egy olyan populációnak, ami a gyarmatosítás korában megjárta Észak-Amerikát, majd onnan került vissza Európába (*Kotsakiozi et al.*, 2018). Ezért semmi okunk nincs feltételezni, hogy a faj európai populációinak más lehetőségei lennének, mint amerikai társaiknak. A Fekete-tenger melletti sárgaláz szúnyog populációk feltehetően már legalább száz éve megkezdték alkalmazkodásukat európai élőhelyükhöz. Hazai szempontból külön értékelendő az a körülmény, hogy már az 1979–2013-as időszakra vetített modell is azt indikálja, hogy a faj számára alkalmas lehet az észak-balkáni régió, továbbá a jövőbeli modellek is azt jelzik, hogy a 21. század második felében a klíma lényegében alkalmassá válhat a sárgaláz szúnyog számára. Mivel a sárgaláz szúnyog északi elterjedését, ha egyetlen klíma-típushoz kell kötni, az a nedves szubtrópusi (*Cfa*) kell legyen, ezért figyelemreméltó, hogy az IPCC negyedik összefoglaló jelentésének 2076–2100-as Köppen-Geiger klímaterképe is hasonló mintázatot mutat, mint amit a klimatikus alkalmassági térképen láthatunk (*Rubel et al.*, 2010). A faj vizsgált két populációdinamikai indikátora azt mutatja, hogy az emelkedő hőmérséklet ilyen szempontból is elősegíti a faj terjedését a jövőben, beleértve a Kárpát-medencét is.

Köszönetnyilvánítás. A cikkben bemutatott kutatás az NKFIH-471-3/2021 számú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalom

- Akiner, M.M., Demirci, B., Bedir, H., Öztürk, M., Demirtaş, R., Doğan, A.F., Gökdemir, A., Topluoğlu, S., Altuğ, Ü., Kurtcebe, Z.Ö., and Irmak, H.* 2018: Surveillance and control of invasive *Aedes* species in the Eastern Black Sea Area of Turkey. *Turk. Bull. of Hyg. & Exp. Biol./Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 75, 225–238. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2018.68736>
- Andrade, C.F.S.*, 2011: *Aedes aegypti* control-what to update in a subject with traditional solutions. In: 7th International Conference on Urban Pests-Ouro Preto, Brazil. <https://www.researchgate.net/publication/275567865>

- Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., and Wood, E.F., 2018: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci. Data* 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- CDC, The Panama Canal: https://www.cdc.gov/malaria/about/history/panama_canal.html
- CDC, 2018: Centers for Disease Control and Prevention. (2018). ESTIMATED Potential Range of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the United States, 2017.
- Cabrera, C.V.P. and Selvaraj, J.J., 2020: Geographic shifts in the bioclimatic suitability for *Aedes aegypti* under climate change scenarios in Colombia. *Heliyon* 6(1), e03101.
- Chippaux, J.P. and Chippaux, A., 2018: Yellow fever in Africa and the Americas: a historical and epidemiological perspective. *J. Venom. Animal. Tox. Tropic. Dis.* 24. <https://doi.org/10.1186/s40409-018-0162-y>
- Dickens, B.L., Sun, H., Jit, M., Cook, A.R., and Carrasco, L.R., 2018: Determining environmental and anthropogenic factors which explain the global distribution of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *BMJ Global Health* 3(4), e000801. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-000801>
- ECDC dengue factsheet: <https://www.ecdc.europa.eu/en/dengue-fever/facts>
- Fick, S.E. and Hijmans, R.J., 2017: WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. of Climat.* 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Ganushkina, L.A., Patraman, I.V., Rezza, G., Migliorini, L., Litvinov, S.K., and Sergiev, V.P., 2016: Detection of *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* in the Area of Sochi, Russia. *Vector-borne Zoon. Dis.* 16, 58–60. <https://doi.org/10.1089/vbz.2014.1761>
- Gould, E.A., Gallian, P., De Lamballerie, X., and Charrel, R.N., 2010: First cases of autochthonous dengue fever and chikungunya fever in France: from bad dream to reality! *Clinic. Microb. Infec.* 16, 1702–1704. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2010.03386.x>
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., and Jarvis, A., 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25, 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Kotsakiozi, P., Gloria-Soria, A., Schaffner, F., Robert, V. and Powell, J. R., 2018: *Aedes aegypti* in the Black Sea: recent introduction or ancient remnant? *Parasit. Vect.* 11, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2933-2>
- Lazzarini, L., Barzon, L., Foglia, F., Manfrin, V., Pacenti, M., Pavan, G., Rassa, M., Capelli, G., Montarsi, F., Martini, S., Zanella, F., Padovan, M. T., Russo, F. and Gobbi, F., 2020: First autochthonous dengue outbreak in Italy, August 2020. *Eurosurveill.* 25(36), 2001606. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.36.2001606>
- Lounibos, L.P., Suárez, S., Menéndez, Z., Nishimura, N., Escher, R.L., Connell, S.M., and Rey, J.R., 2002: Does temperature affect the outcome of larval competition between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*? *J. Vect. Ecol.* 27, 86–95.
- Monath, T.P., 2008: Treatment of yellow fever. *Antiviral Res.* 78, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2007.10.009>
- Monge, S., García-Ortúzar, V., Hernández, B.L., Pérez, M.Á.L., Delacour-Estrella, S., Sánchez-Seco, M.P., Fernández-Martínez, B., LucíaGarcía San Miguel, L.G., García Fulgueiras, A., Sierra Moros, M.J., and Dengue Outbreak Investigation Team, 2020: Characterization of the first autochthonous dengue outbreak in Spain (August–September 2018). *Acta Tropica* 205, 105402., <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105402>
- Rezza, G., 2018: Chikungunya is back in Italy: 2007–2017. *J. Tr. Medic.* 25(1), tay004. <https://doi.org/10.1093/jtm/tay004>
- Riabova, T.E., IuV, I., Ganushkina, L.A., Orabei, V.G., and Sergiev, V.P., 2005: Detection of *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* L. mosquitoes in Sochi city. *Meditsinskaia Parazitologiya i Parazitarnye Bolezni* 2005 (3), 3–5.
- Rubel, F. and Kottek, M., 2010: Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Zeits.* 19(2), 135.
- Trájer, A.J., 2021: *Aedes aegypti* in the Mediterranean container ports at the time of climate change: A time bomb on the mosquito vector map of Europe. *Heliyon* 7(9), e07981. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07981>
- Trájer, A.J., Bede-Fazekas, Á., Hufnagel, L., Horváth, L., and Bobvos, J., 2013: The effect of climate change on the potential distribution of the European *Phlebotomus* species. *App. Ecol. Environ. Res.* 11(2), 189–208. https://doi.org/10.15666/aecr/1102_189208
- Trouet, V. and Van Oldenborgh, G.J., 2013: KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. *Tree-Ring Research* 69(1), 3–13. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>
- Tun-Lin, W., Burkot, T.R. and Kay, B.H., 2000: Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland, Australia. *Med. Veterinary Entom.* 14, 31–37. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2915.2000.00207.x>
- Watson, R., 2007: Europe witnesses first local transmission of chikungunya fever in Italy. *Brit. Med. J.* 335(7619), 532–533., <https://doi.org/10.1136/bmj.39332.708738.DB>