

A KLÍMAVÁLTOZÁS VÁRHATÓ HATÁSAI A SZÚNYOG VEKTOROK
SZAPORODÁSI KÖRÜLMÉNYEIRE: ELŐNY VAGY HÁTRÁNY?
MODELLKÍSÉRLET

THE POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE BREEDING
HABITATS OF MOSQUITO VECTORS: BENEFIT OR DISADVANTAGE?
MODEL EXPERIMENT

TRÁJER ATTILA JÁNOS²

¹Pannon Egyetem, Limnológia Intézeti Tanszék

²Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet

¹Department of Limnology, University of Pannonia

²Institute of Environmental Engineering, University of Pannonia

[DOI: 10.29179/EgTud.2018.1-2.85](https://doi.org/10.29179/EgTud.2018.1-2.85)

Összefoglalás:

Bevezetés: Általánosan elfogadott vélekedés szerint a klímaváltozás okozta felmelegedés kedvezően hat majd a Kárpát-medencében honos, azt meghódítani készülő vagy éppen elfoglaló szúnyogfajok áttelelésére, aktivitására, egyedszámukra és növelheti a szúnyogfajok számát. Számos szerző foglalkozott az invazív szúnyogfajok jövőben várható terjedésével és általában a pozitív összhatás mellett törtek lándzsát. Kevésbé ismert azonban, hogy melyek a szúnyogok számára negatív és pozitív hatások a klímaváltozás során.

Módszerek: Tanulmányomban a hőmérséklet jövőbeli hatását igyekeztem megbecsülni egy fontos vektormodellként szolgáló fajnak, az ázsiai tigrisszúnyognak a nyáron várható generációs számára. Értékeltem a változó nyári csapadékmennyiség és evaporáció hatását a potenciális szúnyogélőhelyet jelentő mesterséges kisvizek szempontjából. A vizsgálati területet Magyarország képezte. A nyári evaporációs és csapadékértékek változását a jövőben (2081-2100) a referencia-időszaki (1986-2005) nyári átlagértékekhez viszonyítva a CMIP5 projekt során készült RCP4.5 előrejelzési modellnek a GCAM klímamoddellen futtatott adatsora szolgáltatva, napi felbontásban. A történeti, referencia-klímaadatokat (1986-2005) a szintén az IPCC 5. jelentésben, a CMIP5 projektben publikált adatok adták.

EGÉSZSÉGTUDOMÁNY
HEALTH SCIENCE

2018;62(1-2): 85-107

Közlésre érkezett:

2018. február 22.

Submitted:

22 February 2018

Elfogadva:

2018. március 9.

Accepted:

9 March 2018

Levelezési cím/Correspondence:

Trájer Attila

H-8200 Veszprém, Egyetem utca 10.

attilatrajer@gmail.com

trajer.attila@mk.uni-pannon.hu

Eredmények: Azt találtam, hogy a 21. század végére a nyári, potenciális tigrisszúnyog-generációk száma 2-ről 3-ra emelkedhet, ami az általános felmelegedésnek a szúnyogpopulációk nagyságát növelő hatását illusztrálja. A szcenárió és az US EPA evaporációs egyenlet alapján a jövőben enyhe mértékben csökkenhet a szúnyogélőhelyként fontos, árnyékolt, védett helyen található mesterséges kisvizek stabilitása, permanens volta.

Következtetés: Összességében elmondható, hogy az olyan invazív szúnyogfajok számára, mint az *Aedes albopictus*, az általános felmelegedés valószínűleg inkább előnyökkel, mint hátrányokkal jár a Kárpát-medence területén.

Kulcsszavak: Culicidae, klímaváltozás, habitat, epidemiológia

Abstract:

Introduction: It is widely accepted that climate change will have a beneficial effect on the overwintering rate, activity, abundance and the diversity of invasive mosquito species. Many authors studied the potential future spread of invasive mosquitoes and usually found positive effects. However, it is less known which potential effects of climate change could be negative or positive on mosquito habitats.

Methods: In this paper the effect of increasing temperatures on the potential summer generation numbers of an important mosquito vector model, the Asian tiger mosquito were studied and estimated. The potential effect of changing summer rainfall and evaporation patterns on the stability of artificial mosquito habitats was evaluated. The study area was Hungary. The GCAM model provided the future climate data for 2081-2100 which was based on the moderate-medium emission scenario (RCP4.5), published in the IPCC 5th Assessment Report. CMIP5-AR5 model was used as the reference, historical climate model for the period 1986-2005.

Results: It was found that by the end of the 21st century, the potential number of tiger mosquito generations can increase from 2 to 3 during summer, illustrating the effect of general warming on the size of mosquito populations. Based on the scenario and the US EPA evaporation equation, the stability of artificial small waters was investigated. The model shows that climate change will cause a slight decrease of the stability of shaded, wind-protected small water habitats of mosquitoes.

Conclusion: Overall, in the case of invasive mosquito species such as *Aedes albopictus*, global warming probably seems to be more beneficial than disadvantageous in the Carpathian Basin.

Keywords: Culicidae, climate change, habitat, epidemiology

Bevezetés

A szúnyogok és más Diptera (kétszárnyú rovar) fajok számos emberre is veszélyt jelentő fertőzés forrásai, amelyek súlyos járványügyi és állatorvosi kockázatot jelentenek a Föld számos országában (1–8). Az emberi tevékenységek módosítják az atmoszférikus üvegházhatású gázok koncentrációját, ugyanakkor az emberi befolyás nagyban megváltoztatja a világ biotáinak, biológiai sokféleségének és tájainak képét is (9). Az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása és az intenzív mezőgazdasági célú földhasználat az ember által indukált globális változás két fontos eleme (10). A klímaváltozás módosítja az állatok számára rendelkezésre álló tápanyagforrások mennyiségét, szaporodási és túlélési rátájukat (11), és eltérő hatással lehet a rovarokra, fajuktól függő módon és mértékben (12). Az éghajlatváltozás a betegségterjesztő ízeltlábúak – ún. ízelt lábú vektorok – elterjedésének északi irányú, élőhelyeik magasabb tengerszint feletti magasságokba történő eltolódását, valamint a vektorok által terjesztett megbetegedések világszinten növekvő kockázatát eredményezi (13–17). Nagyon valószínű, hogy a szúnyog- és lepkeszúnyog vektorok, valamint az általuk terjesztett megbetegedések közelmúltban észlelt terjedése közvetlen összefüggésben áll a globális hőmérsékleti tendenciákkal.

Általánosan elfogadott elképzelés, hogy az ízelt lábú vektorok jövőben várható elterjedésének modellezése hasznos és értékes eszköz lehet az ízeltlábúak által hordozott betegségek megelőzése szempontjából (18–20). Azonban a modellezés a terepi gyűjtőmunka vagy a kísérleti bizonyítékok nélkül nem adhat megbízható eredményt, mert az éghajlatváltozás erősen befolyásolhatja a vizek hidrológiai és tápanyagkémiai tulajdonságait is (21).

A szúnyogok jellegzetes élőhelyei tekintetében két olyan típusal kell megismerkednünk, amelyeknek a klímaváltozás okozta változó fizikai feltételek mellett fontos szerepe lehet a jövőben, mint a honos és invazív szúnyog fajok élőhelyei.

Számos, invazív szúnyog faj képes *mesterséges kisvizekben* szaporodni, sőt, az invazív gyötrőszúnyogfajok többsége kifejezetten előnyben is részesíti ezeket a vizeket. A déli-délnyugati határainkon már megjelent ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus* Skuse, 1894) és az ázsiai bozótszúnyog (*Aedes japonicus* Theobald, 1901) például a mérsékelt övi területeken sokkal inkább a használt gumibelsőkből, edényekben tenyészik mint természetes kisvizekben. Az ázsiai tigrisszúnyog esetében ismert, hogy peterakási hely választását pozitívan befolyásolja a víztartó edények nagysága mellett egyes virágos növények, így a nyáriorgona (*Buddleja davidii* Franchett, 1887) jelenléte is (22). Ezért, az eldobott tárgyak nemcsak

esztétikai értelemben vagy balesetveszélyes voltuknál, illetve a honos kisemlősök csapdáiként veszélyesek, de jelentős szerepük lehet a szúnyogártalom feltételeinek megteremtésében is. Az ilyen, víztartóként funkcionáló mesterséges tárgyakat ökológiai szakkifejezéssel *technotelma*knak nevezik (1. ábra).



1. ábra: Mesterséges, kisvíz szúnyogéllőhely (ún. technotelma) in situ felvétele.

Fig. 1: The in situ photograph of a small water mosquito habitat (so-called technotelma).

A másik élőhelytípust azok a kisvizek képviselik, amelyek áramló vizek részleges kiszáradásával jönnek létre, úgynevezett *periodikus* vagy *intermittáló (időszakos) kisvizek*. Az ilyen kisvizek csak az év egy bizonyos, rendszerint száraz és meleg – tehát a szúnyogok szaporodása szempontjából kedvező – időszakában léteznek. Az erőteljes párolgás hatására állóvizek jönnek létre a kiszáradó parakmedrekben. A vizek részleges kiszáradása paradox módon előnyös lehet a szúnyoglárva számára. A víztérfogat csökkenése miatt tápanyagterhelés-növekedés, oxigénhiány állhat be, amit a víztest felmelegedése kísér. Ilyen körülmények között a víztestben ragadt halak és más predátorok elpusztulhatnak, ami igen előnyös feltételeket teremt a szúnyoglárva számára. Mivel a szúnyoglárva képtelenek egymást felfalni – szemben például több kétéltű faj lárváival –, a kiszáradással párhuzamosan egyedszámuk kannibalizmus révén nem csökken. Ezzel szemben, a különböző fajok lárvái eltérő módon ugyan, de jól alkalmazkodtak a kiszáradó kisvizekben való túléléshez (23, 24).

Az invazív szúnyogok közötti versengésben is szerepe lehet a vizek kiszáradásának, mivel ismert, hogy az egyes fajok petéi eltérő mértékben rezisztensek a kiszáradásra és ez attól is függhet, milyen élőhelyeken fordultak elő eredetileg, mielőtt terjedni kezdtek. *Sota* és

Mogi kimutatták, hogy a félszáraz (szemiárid) területek emberek által zavart környezetéhez adaptálódott *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 petéi sokkal jobban ellenállnak a kiszáradásnak, mint pl. a nedvesebb környezethez szokott *Ae. albopictus*é (25). Ugyanakkor az *Ae. albopictus* petéi sokkal ellenállóbbaknak mutatkoztak élőhelyük kiszáradása esetén, mint a nedves forró égövi területeken előforduló gyötrőszúnyog-fajokéi. Ami az *Ae. aegypti* és az *Ae. albopictus* viszonyát illeti, megfigyelték, hogy Floridában, ahol mindkét faj idegennek számít, a sűrűn beépült városközpontokban az első, kertvárosi övezetben a második faj vált dominánssá (26). Ugyanezt a szegregációs folyamatot írták le Délkelet-Brazíliában is (27).

A sekélyebbé, tápanyagban dúsabbá váló és felmelegedő vizekben elszaporodnak a mikrobiális szervezetek, amik a szúnyoglárvák elsődleges táplálékát adják. Úgy tűnik, a számos szúnyogfaj által okozott, de elsősorban a *Culex pipiens* L. okozta nyugat-nílusi láz elterjedésében jelentős szerepük van a száraz, forró nyaraknak, mivel a betegség nem található meg az atlanti és atlanti-mediterrán éghajlatú területeken Európában (28). Száraz, meleg nyarak esetén a kisebb patakok medre mentén ilyen gyöngysorszerűen sorakozó kisvizeteket találhatunk (2. ábra).



2. ábra: Visszamaradt pocsolya a részben kiszáradt Denke-patak medrében, Kistrákos, 2017. július 24.

Fig. 2: A residual puddle which was found in the bed of the partially dried up creek Denke in Kistrákos, 24 July 2017.

Modellkísérletben az ázsiai tigrisszúnyogot (*Aedes albopictus*) alkalmazom, és ezen a modellen keresztül mutatom be az emelkedő nyári átlaghőmérséklet hatását. Két kérdésre keresem a választ:

1. Várhatóan hogyan érinti majd a felmelegedés az invazív szúnyogok nyári generációinak számát?
2. Hogyan változik meg a kisvizes szúnyogtenyészhelyek elérhetősége és stabilitása a változó légköri viszonyok miatt?

Anyag és módszerek

Klímaadatok és feldolgozásuk

Magyarország nyári evaporáció- és csapadékértékeinek előrejelzése

A CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5) projekt során készült egy előrejelzési modell, az RCP4.5 (Representative Concentration Pathway 4.5), amely mérsékelt-közepesnek mondható kibocsátási értékekkel számolt (29). Ennek a scenárióján alapul a GCAM (Global Change Assessment Model) klímamoddellen futtatott adatsor (30). Ez utóbbi adatsor szolgáltatja a napi, nyári evaporációs és csapadékértékek változását a jövőben (2081-2100) várható és a referencia-időszaki (1986-2005) napi, nyári átlagértékek viszonylatában. A történeti referencia-klímaadatokat (1986-2005) az IPCC 5. jelentésben (30) közölt, CMIP5 alprojektben készült (5th Climate Model Comparison Project) adatsor adta (31). A kisvizek stabilitásának modellezése céljából egy kiskörei mérőállomás 2017 augusztusában mért adatait használtam.

A változó nyári potenciális generációszám és populáció nagyság meghatározása

A betegségterjesztő szúnyogok élőhelyeinek szempontjából lényeges, hogy milyen sebességgel száradnak ki a kisvizek, életfolyamataik, egyedfejlődésük is nagyban függ a környezeti hőmérséklet alakulásától. A magasabb átlaghőmérsékletnek a szúnyogok szempontjából pozitív hatásai közé tartozik a hosszabb szezon, párzasi időszak és a gyorsabb egyedfejlődés. Negatív körülmény lehet a kisvizek gyorsabb kiszáradása és az alacsonyabb páratartalom.

Calado és Silva (2002) kísérleti eredményei alapján ismert, hogy az *Ae. albopictus* egyes egyedfejlődési szakaszainak ideje hogyan függ a víz hőmérsékletétől (32). A faj ún.

konténerben szaporodó szúnyog, azaz ember alkotta tárgyakban szaporodik. Tekintve, hogy ezek általában kis térfogatúak, hőmérsékletük a víz nagy fajhője ellenére is jól követi a környezeti hőmérséklet változását. A petéből kikelés, a teljes lárvastádium minimális és a bebábozódás átlagos ideje a következőképpen számítható ki Calado és Silva (2002) szerint (32) (1, 2. és 3. egyenlet):

$$t_{p-1^\circ} = 82.171e^{-0.101T} \text{ if } 30^\circ\text{C} \geq T \geq 10.4^\circ\text{C} \quad (1. \text{ egyenlet})$$

$$t_{1^\circ-4^\circ} = 155.57e^{-0.114T} \text{ if } 30^\circ\text{C} \geq T \geq 10.4^\circ\text{C} \quad (2. \text{ egyenlet})$$

$$t_{b-i} = 34.05e^{-0.098T} \text{ if } 30^\circ\text{C} \geq T \geq 10.4^\circ\text{C} \quad (3. \text{ egyenlet})$$

Trájer és munkatársai (33) szerint a teljes egyedfejlődés a következő képlettel írható le (4. egyenlet):

$$\sum t_E = t_{p-1^\circ} + t_{1^\circ-4^\circ} + t_{b-i} \quad (4. \text{ egyenlet}),$$

ahol

$\sum t_E$: teljes egyedfejlődési idő,

t_{p-1° : a petéből kikelés időtartama,

$t_{1^\circ-4^\circ}$: az 1. és a 4. lárvállapot között eltelt idő,

t_{b-i} : a bábállapotban eltöltött idő az imágó kikelésig,

T : átlaghőmérséklet.

Megjegyzendő, hogy a nőtény szúnyogok egy rövid ideig még nem képesek a párzásra, így a fentebbi egyenletek alapján kapott eredmények csak az egyedfejlődésre vonatkoznak. Reálisabb képet kapunk, ha az egyenletet néhány további konstansnak tekinthető tényezővel is kiegészítjük. A bábból való kikelés, vagyis a rajzás kezdete és a megtermékenyülés között eltelt idő minimum 1,5 napra tehető. A megtermékenyüléstől számítva még legalább 2-3 nap szükséges ahhoz, hogy a nőtény vért szívjon. Megközelítőleg 3 nappal a vérszívást követően a nőtény már petét rakhat. A teljes generációs idő Trájer és munkatársai (34) szerint a következő módon számítható ki (5. egyenlet).

$$\sum t_G = \sum t_E + t_{r-m} + t_{m-vs} + t_{vs-pr} \quad (5. \text{ egyenlet}),$$

ahol

$\sum t_G$: a generációk között eltelt minimális idő,

$\sum t_E$: teljes egyedfejlődési idő,

t_{r-m} : a rajzás és a megtermékenyülés között eltelt idő,

t_{m-vs} : a megtermékenyülés és a vérszívás között eltelt idő,

t_{vs-pr} : a vérszívás és a peterakás között eltelt idő.

A fentebbiekből következően még mintegy 6,5 napot kell hozzáadnunk a teljes egyedfejlődési időhöz a minimális, két generáció között eltelt idő kiszámításához. Mindezek

ismeretében összehasonlíthatjuk a várható jövőbeli és a referencia-időszakbeli populációk nagyságát. A korlátlan (exponenciális) növekedés modellje szerint (ami a nyári szűnyogpopuláció-robbanás esetén jó modell lehet) egy tetszőleges kezdeti egyedszámból kiindulva a 6. egyenlet adja meg a „t” idő múlva észlelhető egyedszámot. Ez a megközelítés akkor alkalmazható, ha a táplálékforrások szűkössége és a predációs nyomás (a ragadozók által okozott elhullás) elhanyagolható szerepet játszik (az adott időszakban) a populáció méretének alakulásában (35):

$$N_t = N_0 e^{rt} \quad (6. \text{ egyenlet}),$$

ahol

N_t : a „t” idő múlva észlelhető populáció-méret,

N_0 : a populáció kezdeti nagysága,

e : az Euler*-féle szám,

r : a populáció pillanatnyi (aktuális) növekedési rátája (a Malthus**-paraméter), a születési és halálozási ráták különbsége ($b-d$),

t : a vizsgálati idő hossza.

Az arány számításának levezetését az „Eredmények” c. fejezet tartalmazza.

* Leonhard Euler (1707/1708–1783): svájci matematikus, fizikus, csillagász és mérnök.

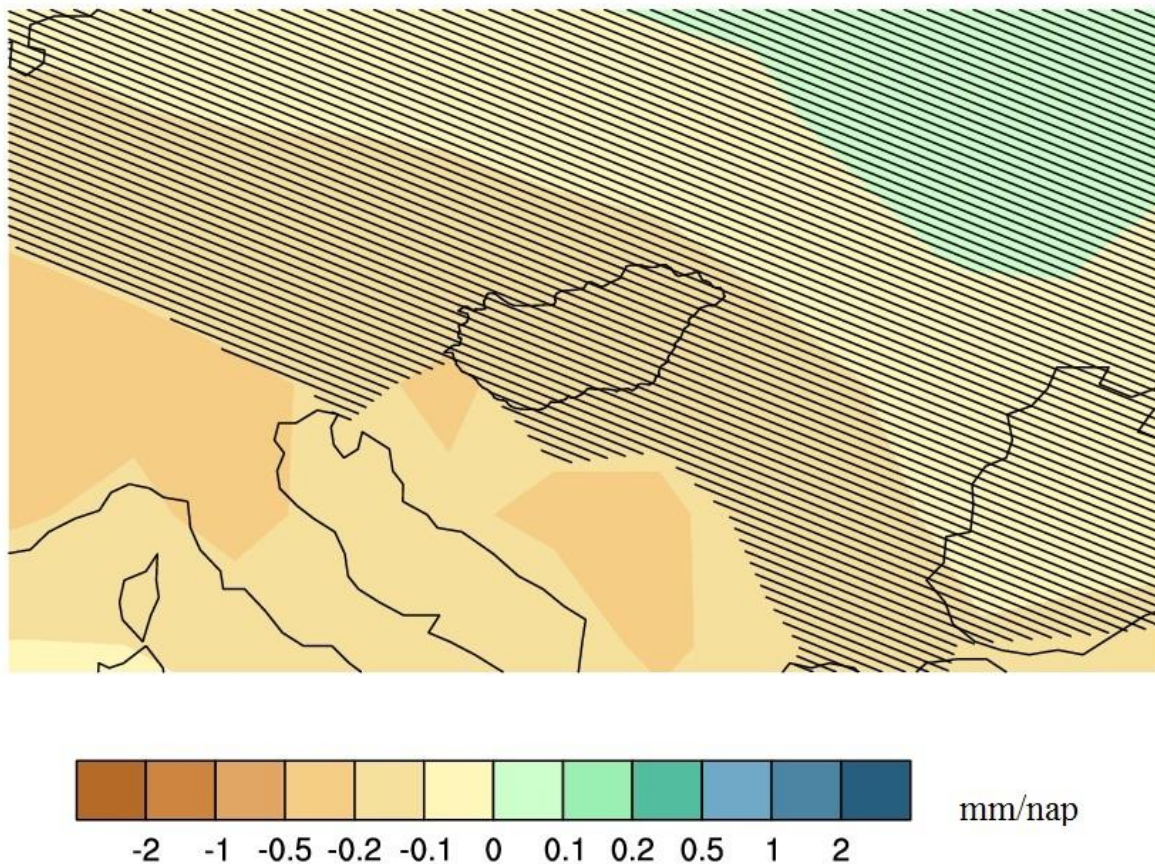
**Thomas Robert Malthus (1766–1834): angol demográfus, a politikai gazdaságtan egyik megalapítója.

A kisvizek stabilitásának változása

A kisvizek vízoszlopának állandósága kapcsán a mérleg pozitív oldalán a csapadék, a negatív oldalán az alacsony páratartalom és a magas hőmérséklet miatt emelkedett párolgás okozta vízvesztés szerepel. A párolgás több tényezőtől függ, így a vizek napnak és szélnek való kitettségétől, a páratartalomtól és a hőmérséklettől is. Az, hogy egy kisvíz mennyire tud permanens maradni általában, elsődlegesen függ a bejutó csapadékmennyiségtől, ami a mm-ben mért csapadékmennyiséggel megegyező vízoszlopnak felel meg egyenes aljzatú vízzáró falakkal és aljzattal rendelkező, felfelé teljesen nyitott tárgyban (pl. nyitott konzerves doboz). Ha a víztartó edénybe jutó csapadékvíz eléri az edény falát vagy annak falán adott magasságban a víz elszökését lehetővé tevő folytonossághiány van, akkor a vízoszlopnak van egy maximalizált magassága. A jelen tanulmányban egy olyan hipotetikus víztartó edénnyel számoltam, ami egyenes aljzatú, egyenes falú henger, s ami rendelkezik olyan vertikális mélységgel, ami lehetővé teszi, hogy a legmagasabb számításba vett vízoszlop esetén se valósuljon meg elfolyás. Természetes kisvizek esetén a helyzet bonyolultabb lehet, mivel aljzatuk esetenként nem tökéletes vízzáró (pl. föld mélyedésében kialakult pocsolyák), vagy a csapadékon kívül is kap utánpótlást (talajvizes pocsolyák). Ezekben az esetekben a

bemutatandó modell nem alkalmazható. Természetes körülmények között pl. a sziklák horpadásaiban (*litotelma*), fák nagyobb odvában (*dendrotelma*), a csigák házában (*malakotelma*) vagy a héjakút mácsonya *Dipsacus laciniatus* L. szárölelő levelei közt összegyűlő víz (*fitotelma*) viselkedhet hasonlóképpen, mint az ember alkotta tárgyakban összegyűlő csapadékvíz. A napsugárzás hatásától az egyszerűség kedvéért eltekintettem. Egy sűrű bozótosban és/vagy a fák lombkoronája alatt heverő edény esetében a környezeti feltételek hasonlóak lehetnek ehhez az ideális esethez, és ilyen szunyogélőhelyekkel gyakran találkozhatunk. A szomjazó állatok vízfogyasztása módosíthatja a vízszlop magasságát, ami azonban egy nehezen modellbe illeszthető faktor.

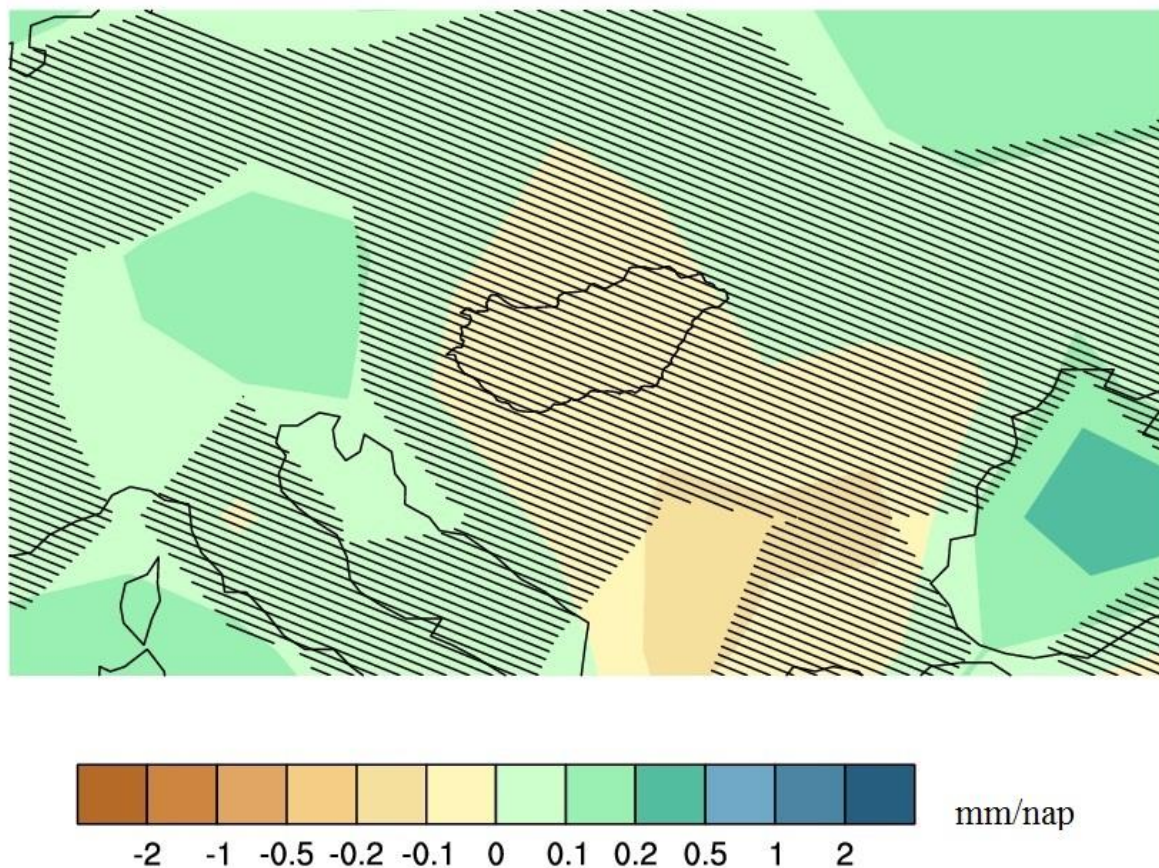
Az előrejelzés szerint a referencia-időszakhoz képest a nyári, napi, átlagos csapadékmennyiség értéke 0,1-0,2 mm-rel fog csökkenni, de a délnyugati területeken 0,2 mm-t meghaladó napi átlagos csapadékmennyiség-csökkenésre is lehet számítani (3. ábra).



3. ábra: A nyári, napi, átlagos csapadékmennyiség változása az 1986-2005-ös referencia-időszak és a 2081-2100-as a modellezett jövőbeli különbségeként. A sraffozott területeken a változás a régióban mért természetes variabilitáshoz tartozó standard deviáción belül marad (forrás: IPCC 5. jelentés).

Fig. 3: The modelled difference between the future (2081-2100) and the reference period's (1986-2005) daily mean summer precipitation sums (source: the 5th IPCC report). The hatching represents areas where the signal is smaller than one standard deviation of natural variability.

Az előrejelzés szerint a referencia-időszakhoz képest a nyári, napi, átlagos evaporáció mértéke 0-0,1 mm/nap értékkel fog növekedni (4. ábra).



4. ábra: A nyári, napi, átlagos evaporáció értékek változása az 1986-2005-ös referencia-időszak és a modellezett jövőbeli 2081-2100-as időszak különbségként. A sraffozott területeken a változás a régióban mért természetes variabilitáshoz tartozó standard deviáción belül marad (forrás: IPCC 5. jelentés).

Fig. 4: The modelled difference between the future (2081-2100) and the reference period's (1986-2005) daily mean summer evaporation values (source: the 5th IPCC report). The hatching represents areas where the signal is smaller than one standard deviation of natural variability.

A modell elméleti megalapozása

Annak eldöntésére, hogy az evaporáció mértékének növekedése és a csapadékmennyiség csökkenése a szűnyogélőhelyek szempontjából együttesen milyen következményekkel jár, ismernünk kell egy tetszőleges referencia-időszakbeli vízoszlop magasságának változását. A páratartalom és a hőmérséklet ismeretében a módosított US EPA evaporációs egyenlet felhasználásával a vízfelületről történő párolgás számítható (36). A korrekciós szorzókra azért

volt szükség, mivel az US EPA evaporációs egyenlet gallonban mért térfogatértéket ad meg, valamint mérföld/óra értékkel kalkulál, melyek nem SI mértékegységek (7. egyenlet):

$$PE = \frac{7,4 \times P \times A (0,44 \times W \times 2.2369)^{0,78}}{T + 459,67} \times 3.7854 \quad (7. \text{ egyenlet}),$$

ahol

PE : potenciális evaporáció (mm/m^2),

P : párányomás az adott hőmérséklet mellett (Hgmm),

A : a vízfelület nagysága (m^2) [praktikusan 1m^2 -rel számoltam],

W : a szélesség napi középértéke a vízfelület magasságában (m/s),

T : napi átlaghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$).

A vízoszlop napi magasságának számítási alapját az az elgondolás képezi, hogy a nap végére fennálló vízoszlop magassága függ a nap kezdetekor fennálló vízoszlop magasságától, az aznapi evaporációtól és a bejutó csapadékmennyiségtől. Miközben a párolgás miatti vízvesztés közelítően állandó nyáron, a víznyerés gradált, epizodikus jellegű (8. egyenlet):

$$H_k = H_{k-1} - E_k + P_k \quad (8. \text{ egyenlet})$$

H_k : a k-ik nap végén mérhető vízoszlop-magasság (mm),

H_{k-1} : a k-1-ik nap végén mérhető vízoszlop-magasság (mm),

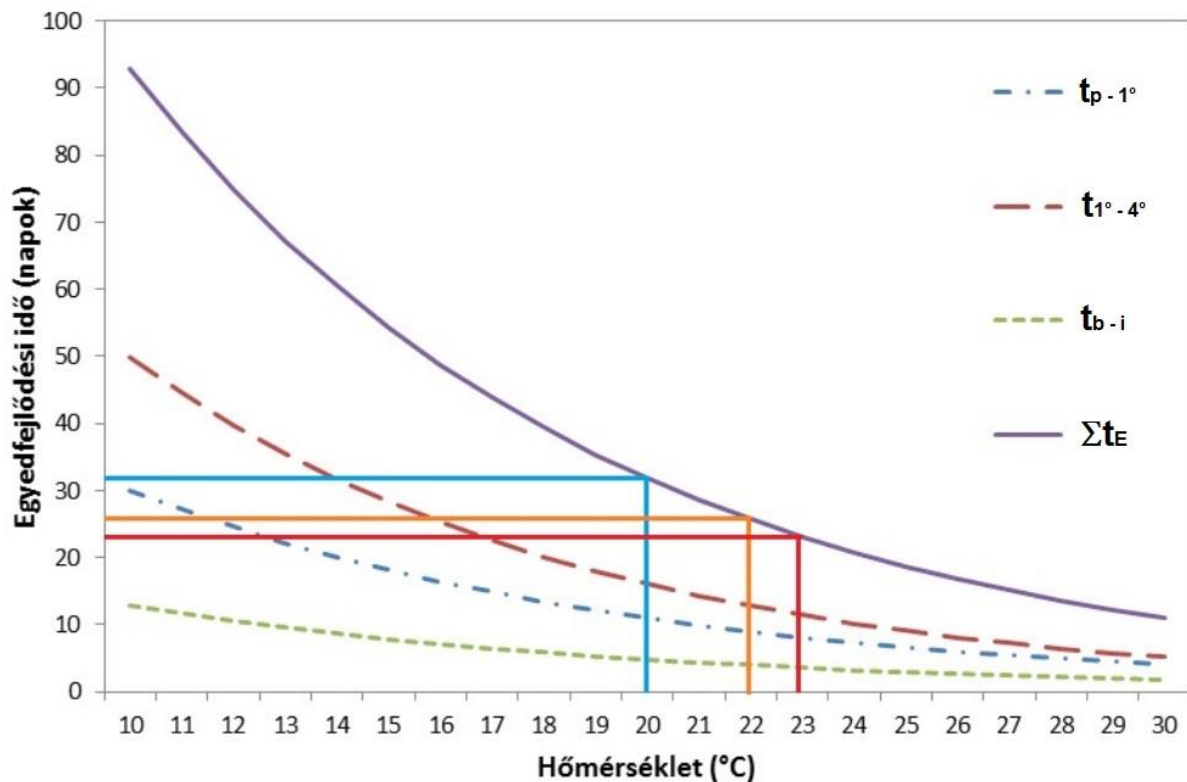
E_k : a k-ik nap során történt evaporáció (mm),

P_k : a k-ik napon esett csapadék mennyisége (mm).

Eredmények

Populációdinamikai változások

Az 1, 2. és 3. egyenlet szerint az *Ae. albopictus* teljes egyedfejlődésének ideje az 1986-2005-ös referencia-időszakban az északi szélesség 45.00 - 48.00° és keleti hosszúság 16.00 - 23.00° határoló koordináták által kijelölt területen $20,45^{\circ}\text{C}$ levegő-átlaghőmérséklet mellett $30,3$ nap lett volna. A jövőben várhatóan a 2081-2100-es időszakban ez az érték 2 , illetve 3°C hozzáadásával $5,8$ - $8,3$ nappal csökkenvén 22 - $24,5$ nap értékekre változik a nyár *folyamán* (5. ábra).



5. ábra: Az *Ae. albopictus* esetén számolt teljes egyedfejlődési idő értékei eltérő hőmérsékletek mellett az 1, 2, 3. egyenletek szerint Calado és Silva (2002) kísérleti eredményei alapján (Σt_E : teljes egyedfejlődési idő, t_{p-1° : a petéből kikelés időtartama, $t_{1^\circ-4^\circ}$: az 1. és a 4. lárvállapot között eltelt idő, t_{b-i} : a bábállapotban eltöltött idő az imágó kikelésig).

Fig. 5: The developmental times of *Ae. albopictus* in different temperatures according to the experimental results of Calado and Silva (2002) (the curves of: t_{p-1° : the hatching time, $t_{1^\circ-4^\circ}$: the total larval ontogeny time, t_{b-i} : the pupal time, tot dev: total development time).

A nyár első napján kezdve a szúnyogok egyedfejlődésének számítását arra az eredményre jutunk, hogy a referencia-időszakban 2 befejezett imágó- és 1 maradék lárvageneráció jött volna létre a szezon során. A +2°C-os nyári átlaghőmérséklet-emelkedéssel számolva már közel 3 befejezett imágógeneráció, +3°C esetén pedig 3 befejezett imágó- és 1 megkezdett lárvageneráció adódik nyáron.

Bár egész számú generációkkal számolva könnyen összehasonlítható az imágók populációinak relatív nagysága x generáció múlva, mégis érdemes levezetni a változó nyári szúnyogpopulációk méretarányának számítását. Mivel az „ r ” paraméter az exponenciális kitevőben található, a populáció nagysága érzékenyen reagál a Malthus-paraméter növekedésére. Ha kíváncsiak vagyunk arra, hogy a referencia-időszakbeli és a jövőbeli populációk aránya azonos populációméretből (N_0) kiindulva hogyan változik azonos idő alatt,

akkor az exponenciális növekedést leíró alapegyenletet (6. egyenlet) át kell rendeznünk (9. egyenlet):

$$\frac{N_{t2}}{N_{t1}} = \frac{N_0 e^{r2t}}{N_0 e^{r1t}} \quad (9. \text{ egyenlet}),$$

ahol

N_{t2} : a jövőbeli populáció nagysága „ t ” idő elteltével,

N_{t1} : a referencia-időszakbeli populáció nagysága „ t ” idő elteltével,

N_0 : a kiindulási populáció nagysága,

t : a vizsgálati idő hossza.

További átrendezéssel és egyszerűsítéssel (10. egyenlet):

$$\frac{N_{t2}}{N_{t1}} = e^{t(r2-r1)} \quad (10. \text{ egyenlet})$$

A Malthus-paraméter kibontásával (11. egyenlet):

$$\frac{N_{t2}}{N_{t1}} = e^{t((b2-d)-(b1-d))} \quad (11. \text{ egyenlet})$$

N_{t2} : a jövőbeli populáció nagysága „ t ” idő elteltével,

N_{t1} : a referencia-időszakbeli populáció nagysága „ t ” idő elteltével,

t : a vizsgálati idő hossza,

b_2 : a születések száma az jövőbeli populációban,

b_1 : a születések száma a referencia-időszakbeli populációban,

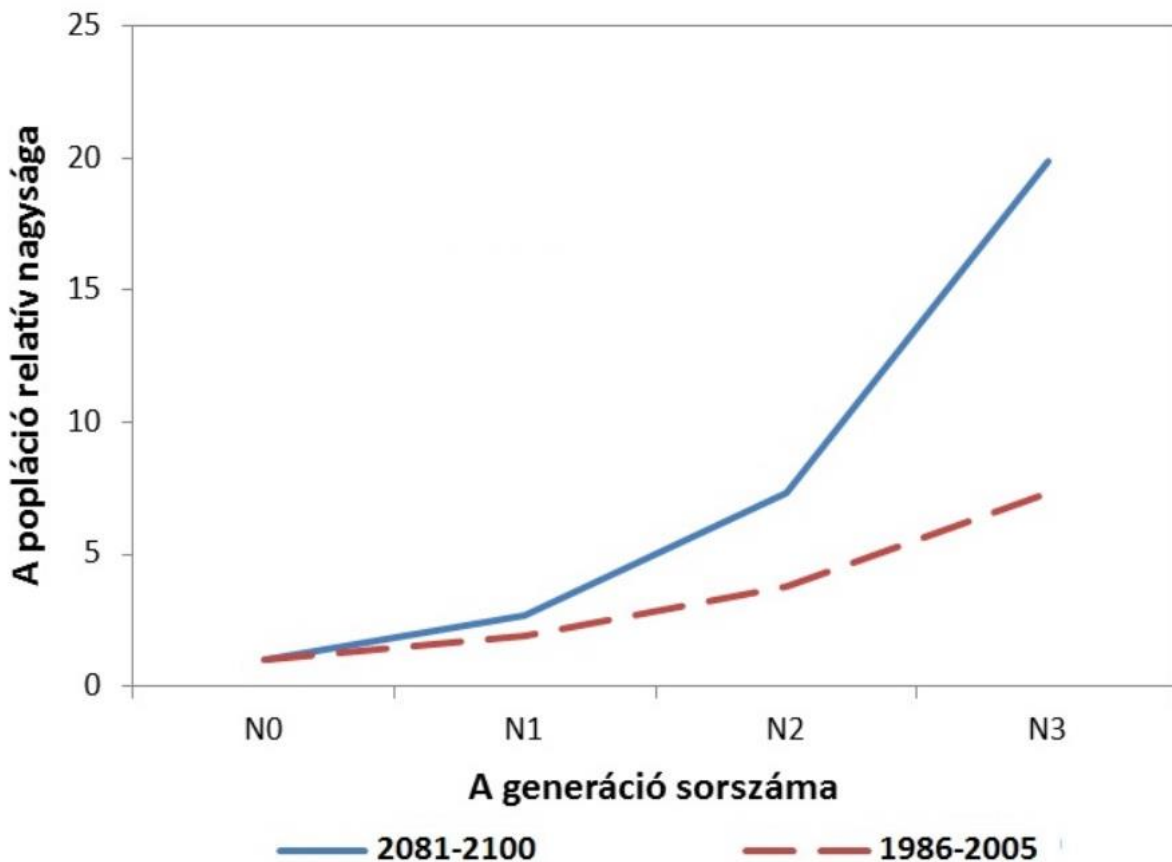
d : a halálozások száma.

Miközben a „halálozási” rátákat jó közelítésként vehetjük változatlanoknak, a „születési” ráta nő (miközben azonos fajról lévén szó az egyedenként létrehozott utódok számát változatlanoknak tekintjük). További egyszerűsítéssel a következő egyenletet kapjuk a halálozási számok azonosaknak vételével (12. egyenlet):

$$\frac{N_{t2}}{N_{t1}} = e^{t(b2-b1)} \quad (12. \text{ egyenlet})$$

A születési ráta („ b ”) az egységnyi idő alatt létrejövő utódok számát jelenti. Már tudjuk, hogy a jövőben a nyár során várhatóan 3, a referencia-időszakban egységnyi idő alatt csak 2 generáció jött volna létre. Viszonyszámokban kifejezve ez azt jelenti, hogy miközben a nyaranta 3 generációt produkáló jövőbeli szűnyogok a rájuk vonatkoztatott generációs időegységként egy, a két generációt produkáló hipotetikus múltbeliek az előzőhöz képest 0,666 generációt produkáltak volna, így 1/3-dal kisebb lett volna a szaporodási rátájuk. Ennek megfelelően a populációk nagyságának aránya egyedenként azonos utódszámot alapul véve a

nyár végére ez esetben az Euler-féle számmal megegyező lesz, mivel a születési rátában benne foglaltatott „ f ” időegység azonos a „ f ” szorzóval mindkét ráta esetében (6. ábra).



6. ábra: A tigrisszúnyog-populációk relatív méretnövekedésének összevetése az 1986-2005-ös referencia- és a 2081-2100 jövőbeli időszak esetén ($N_0=1$).

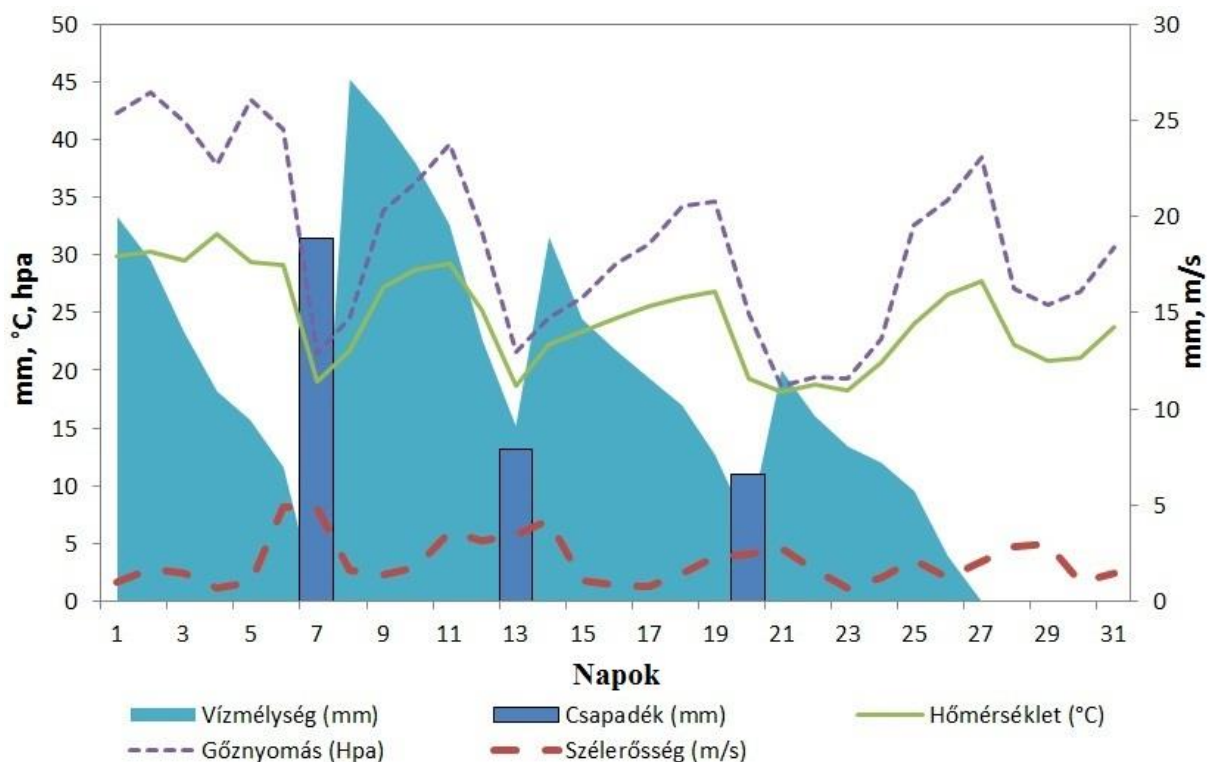
Fig. 6: Comparison of the increasing relative size of Asian tiger mosquito populations for the reference period 1986-2005 and the future 2081-2100 ($N_0=1$).

A kisvizek stabilitásának változása

A referencia-időszakban a nyári, átlagos csapadékmennyiség 2,04 mm volt, ami a három hónap során átlagosan mintegy 187,7 mm csapadéknak felelt meg. Mivel a nyári napi csapadékmennyiség 0,1-0,2 mm-rel (a délnyugati országrészben 0,2 mm-t meghaladó mértékben) csökkenhet a jövőben, ez megfelel 9,2-18,4 mm csapadékcsökkenésnek. Átlagosan a nyár során 178,2-169,0 mm csapadék fog hullani, de a jelenleg is meglévő nagy nyári csapadékmennyiség-különbségek miatt élőhelyenként mást jelent. A jövőben várható napi párolgás értéke 0-0,1 mm közötti értékkel fog emelkedni a referencia-időszakra jellemző értékekhez képest. Ha azt is tekintetbe vesszük, hogy a napi csapadék mennyisége szintén 0,1-0,2 mm-rel csökken, akkor ez 0,1-0,3 mm/nap relatív csapadékhiányt jelent a század végén a

referencia-időszakhoz képest. Ez az egész nyári időszakra átszámítva 18,4-27,6 mm relatív vízhiányt jelent.

A 7. ábrán egy kiskörei meteorológiai állomáson, 2017 augusztusában mért valós hőmérséklet-, csapadék-, párányomás- és széladatokat alapul véve az US EPA evaporációs egyenlet SI-mértékegységekkel kompatibilissá tett változata alapján számítottam ki a 10, 20, 30 és 40 mm kezdeti vízoszlopot tartalmazó edény vízoszlopának alakulását. Tételezzük fel, hogy július utolsó napjának végén a teljesen üres, sík talpú és egyenes falú, napsugárzásnak nem, de szélnek kitett edényben még 20 mm csapadékvíz volt. Látható, hogy a vízoszlop mintegy egy hét alatt elpárologt volna, ha újabb csapadékhullás nem történik. Az összesen 55,5 mm csapadék mintegy 20 napig tartotta volna fenn a vízoszlopot. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy egy kiadósabb felhőszerkezetet követően hosszú időre elegendő csapadék gyűlhet össze a víztároló edényben (7. ábra).

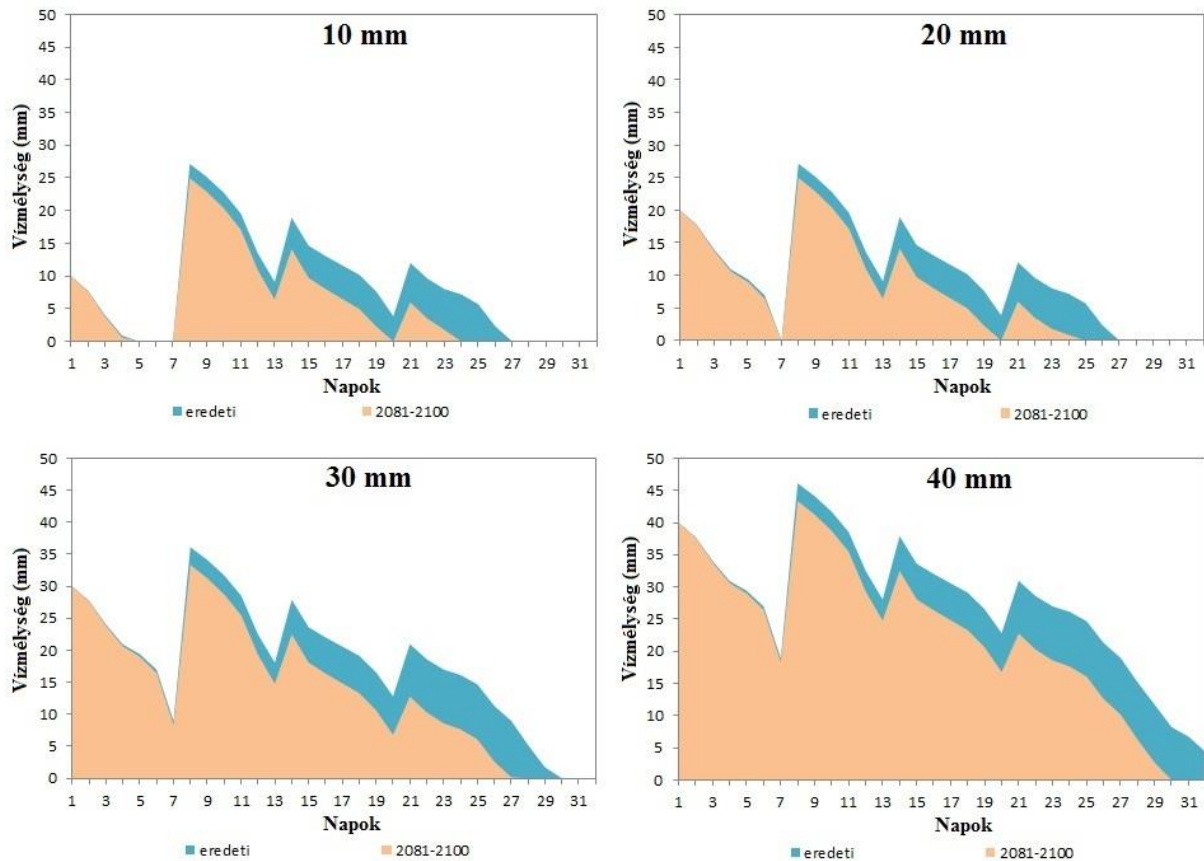


7. ábra: Egy hipotetikus víztartó edény folyadékoszlopának alakulása egy nyári hónap során.

Fig. 7: The evolution of a liquid column in a hypothetical technotelma during a summer month.

Amennyiben a fentebbi példában az alkalmazott klímamodell szerint az átlagos -0,2 mm/nap csapadékmennyiség-változás szerint egyenletesen levonjuk mind a három csapadékhullásból a 2 mm értéket ($30 \times -0,2$ mm alapján), valamint beleszámítjuk az átlagos 0,1%-os evaporációnövekedést is a modellbe, akkor összesen 5, 4, 2, 3 nappal hosszabbodik

meg a száraz időszak az alapesethez viszonyítva 10, 20, 30 és 40 mm kiindulási vízoszlop mellett a 31 nap alatt. A fentebbi példaszámítás azt mutatja, hogy az emelkedő hőmérséklet, csökkenő csapadék és páratartalom a kisvizek stabilitását megváltoztathatja, ami függ a kiindulási vízoszlop magasságától, de erősen függ a csapadékmennyiségtől is (8. ábra).



8. ábra. A 7. ábrán megjelenített, hipotetikus víztartó edény folyadékoszlopának alakulása egy száraz nyári hónap során az eredeti feltételek mellett és a jövőbeli, megváltozott klimatikus feltételek esetén. A számítás négy, különböző kiindulási folyadékoszlopot alapul véve történt.

Fig. 8: The evolution of a liquid column in a hypothetical technotelma shown in Figure 7 during a summer month under the original conditions and in the changed future climatic conditions. The calculation was based on four different starting water columns.

Megbeszélés

Az időszakosan kiszáradó kisvízfolyások dinamikájának megélénkült kutatása felvetette annak vizsgálatát, hogy a klímaváltozás okozta növekvő mértékű nyári aszályosodás és párolgás hogyan hathat a kisvizek stabilitására és élővilágukra (37–39). Mint láthattuk, a felmelegedés önmagában a meleg vizekben jól fejlődő szúnyogfajok egyedfejlődését képes

lehet felgyorsítani. A szúnyogok egyedszámának növekedése mellett a melegebb környezet a fertőző ágensek átadásának arányát is növeli, ami a szúnyogok által terjesztett fertőző megbetegedések incidenciájának emelkedéséhez vezethet (40). A generációk számában megmutatkozó, kicsinek tűnő eltérés valójában eggyel több szúnyoggenerációt takar a nyár folyamán, mivel a kiindulás, elméleti 2 nyári generáció átlagosan 3-ra változik a jövőben. Mivel egy nőstény szúnyognak sok utóda lehet, a jelentéktelennek tűnő különbség valójában jelentős egyedszámbeli különbséget takar az egyes generációk vonatkozásában. Ezenkívül ne felejtjük el, hogy a tavasz második és az ősz első felében is fennállnak a feltételek a szúnyogok szaporodásához és egyedfejlődésük lezajlásához. Ezért a számított potenciális generációs számok nem felelnek meg az éves teljes potenciális generációs számoknak, és a mindössze egy generációs számnyi különbség majdnem háromszoros populációmérethez vezethet a nyár végére.

Az ázsiai tigrisszúnyog csak egy – bár tagadhatatlanul az egyik legjelentősebb – invazív, betegségterjesztő szúnyogfaj (41). Tekintve, hogy más multivoltin (többgenerációs) szúnyogfajok egyedfejlődése is hasonló módon függ a kisvizek (és indirekt módon a levegő) átlaghőmérsékletétől, látható, hogy a szúnyoggenerációk enyhe növekedése várható a jövőben. Az invazív ázsiai tigrisszúnyog terjedését kisebb mértékben a hőmérséklet által meghatározott generációk száma, nagyobb mértékben inkább az antropogén faktorok határozzák meg (34).

A kisvizek stabilitási vizsgálata kapcsán azt tapasztalhattuk, hogy a modellként használt kisvíz élettartama lerövidült. A modellben vizsgált 31 nap félig hipotetikus keretei között 2-5 nap veszteség lépett fel a kiindulási vízoszloptól függően. Hozzá kell tenni azonban, hogy a geometriai viszonyok és a napsugárzásnak vagy a szélnek való kitettségi viszonyok egyedi módon és nagyban befolyásolhatják a kisvizek élettartamát. A modellezett rendszer naptól védett körülmények között kapott 55,5 mm összes csapadékot augusztus során. Ha az edény alja nem vízszintesen, hanem ferdén fekszik a talajon, a vízoszlop magasabb lehet. Ha az edény vagy más, természetes víztartó forma (sziklaüreg, faodú) tölcsér alakú, egyfajta miniatűr vízgyűjtő területtel rendelkező mértani forma, akkor ennek a csapadékra nézve jelentős növelő hatása lehet. Ezért lehetnek stabilak pl. a fóliasátrak peremén összegyűlő kisvizek, ahol jóval nagyobb felületről érkezik a csapadékvíz, mint amekkora a befogadó területe.

Összességében megállapítható, hogy a klímaváltozás heterogén hatást fejthet ki a szúnyogok élőhelyeinek alapjául szolgáló kisvizekre. Eltérő lehet aszerint, hogy mi a víz befogadó közege, természetes vagy mesterséges, milyen a fajok lárváinak a környezeti igénye

abiotikus és biotikus faktorok szerint, milyen az aljzat stb. A felmelegedés, bár gyorsabb párolgást és kissé kevesebb csapadékmennyiséget eredményez, több potenciális nyári generációs számhoz vezet. A vizek felgyorsuló kiszáradása ezzel ellentétes hatással bír, és a lárvák pusztulását okozhatja a kisvizek idő előtti kiszáradása. Nem beszéltünk még azonban arról, hogy a klímaváltozás lehetséges hatásai között szerepel az extrém csapadékhullások és más extrém időjárási események, mint pl. hőhullámok frekvenciájának növekedése is, ami azt jelenti, hogy a hirtelen jött, nagy mennyiségű csapadékot produkáló felhőszakadásokat követő hosszú, forró nyári periódusok kiváló feltételeket teremthetnek a szúnyoglárvák fejlődése szempontjából. Mindemellett a szélsőséges időjárási események humán egészségügyi szempontból már önmagukban is komoly kockázati csoportot képeznek (42). Ez egy nehezen felmérhető, modellezhető lehetséges hatása a klímaváltozásnak (43), ugyanakkor már leírtak olyan esetet, ahol a szúnyogok által terjesztett megbetegedések hirtelen emelkedése egyértelműen extrém időjárási esemény következményeként jelentkezett (44). A szúnyogok által terjesztett megbetegedések szempontjából elsősorban a szúnyoggenerációk számának növekedése bír jelentőséggel, és csak másodlagos szerepet játszik a kisvizek elérhetőségének kérdése Európában.

Az ázsiai tigrisszúnyognak mint modellszervezetnek az alkalmazását az a tény is indokolta, hogy az ázsiai tigrisszúnyog európai terjedése folyamatos volt az elmúlt néhány évtizedben és jelenleg is tart. Az *Ae. albopictus* terjedése Európában a Chikungunya-, Zika- és Dengue-láz okozta fenyegetés valószínűségét is növeli az érintett területeken, ami azt jelenti, hogy ez az egyetlen faj önmagában felelős lehet a jövőben több, esetenként súlyos megbetegedést okozó fertőzés terjedéséért a kontinensen (45). Nem csak Európában okoz gondot a szúnyog vektorok által terjesztett megbetegedések növekvő jelentősége. Az Újvilágban például a Chikungunya-láz gyors térnyerését figyelik meg jelenleg (46). Különösen aggasztóak Rocklöv és munkatársainak (2016) azon eredményei, hogy nemcsak a latin-amerikai és az európai *Aedes* nemzetségbe tartozó kompetens Zika-vektorok klimatikus igényei mutatnak nagy hasonlóságot, de a fertőzött területekről Európába irányuló turizmus is akkor éri el a maximumát az öreg kontinensen, amikor a legnagyobb a valószínűsége a vírus átvitelének (47).

Köszönetnyilvánítás:

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Páldy Annának, aki hasznos javaslataival gazdagította közleményemet és Trájer Jánosnak, aki a kiskörei mérőállomáson mért adatokat szolgáltatta.

Szerzői nyilatkozat:

A szerző a dolgozatot korábban még nem publikálta, és nem áll más tudományos folyóiratban benyújtás alatt. A dolgozat nem sérti a Helsink Deklaráció (1975, revízió 2008) előírásait.

Anyagi támogatás:

A közlemény megírása, illetve az ehhez kapcsolódó kutatómunka anyagi támogatásban nem részesült.

Szerzői érdekeltségek:

A szerzőnek nincsenek a tartalmat érintő érdekeltségei.

IRODALOM REFERENCES

1. *Desjeux P.* The increase in risk factors for leishmaniasis worldwide. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2001;95(3):239-243.
https://www.researchgate.net/publication/11852309_The_increase_in_risk_factors_for_leishmaniasis_worldwide Elérve: 2018. 04. 11.
2. *Genchi C, Mortarino M, Rinaldi L, et al.* Changing climate and changing vector-borne disease distribution: the example of *Dirofilaria* in Europe. *Vet Parasitol.* 2011;176(4):295-299.
DOI: 10.1016/j.vetpar.2011.01.012.
3. *Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE, et al.* Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bull World Health Organ.* 2000;78(9), 1136-1147.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.560.4130&rep=rep1&type=pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
4. *Hayes J, Downs TD.* Seasonal changes in an isolated population of *Culex pipiens quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae): A time series analysis. *J Med Entomol.* 1980;17(1):63-69.
<https://doi.org/10.1093/jmedent/17.1.63>
5. *Hubálek Z, Halouzka J.* West Nile fever – a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe. *Emerg Infect Dis.* 1999;5(5):643. DOI: 10.3201/eid0505.990505
https://www.researchgate.net/profile/Zdenek_Hubalek/publication/12788003_West_Nile_Fever-a_Reemerging_Mosquito_Borne_Viral_Disease_in_Europe/links/0fcfd50bc6553037f9000000.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
6. *Mogi M, Miyagi I, Abadi K.* Inter- and intraspecific variation in resistance to desiccation by adult *Aedes* (*Stegomyia*) spp. (Diptera: Culicidae) from Indonesia. *J Med Entomol.* 1996;33(1):53-57.
7. *Szénási Z, Kovács AH, Pampiglione S, et al.* Human dirofilariosis in Hungary: an emerging zoonosis in central Europe. *Wien Klin Wochenschr.* 2008;120(3):96-102. DOI: 10.1007/s00508-008-0928-2.

8. World Health Organization 2010. International travel and health: situation as on 1 January 2010. World Health Organization.
https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=F5rbjviTV4cC&oi=fnd&pg=PR1&dq=International+travel+and+health:+situation+as+on+1+January+2010.+&ots=kYTU54gEC-&sig=MvDvGIDA7cIAmU6PguxWgWwmjXw&redir_esc=y#v=onepage&q=International%20travel%20and%20health%3A%20situation%20as%20on%201%20January%202010.&f=false Elérve: 2018. 04. 11.
9. Houghton RA. The worldwide extent of land-use change. *BioScience*. 1994;44(5):305-313. DOI: 10.2307/1312380 http://lasyre.dk/secure/litterature/Houghton_1994.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
10. Hansen AJ, Neilson RP, Dale VH, et al. Global Change in Forests: Responses of Species, Communities, and Biomes: Interactions between climate change and land use are projected to cause large shifts in biodiversity. *AIBS Bull.* 2001;51(9):765-779.
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)0510765:GCIFRO.2.0.CO;2%20](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)0510765:GCIFRO.2.0.CO;2%20)
<https://pdfs.semanticscholar.org/c04b/6a8fd154fafa0369fd41758bb47fa230280c.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
11. Hansen AJ, Rotella JJ, Kraska MPV, et al. Dynamic habitat and population analysis: an approach to resolve the biodiversity manager's dilemma. *Ecol Appl.* 1999;9(4):1459-1476. DOI: 10.1890/1051-0761(1999)0091459:DHAPAA.2.0.CO;2
<http://www.montana.edu/hansenlab/documents/downloadables/hansenetal1999.PDF> Elérve: 2018. 04. 11.
12. Musolin DL. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Glob Chang Biol.* 2007;13(8):1565-1585. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01395.x
13. Harvell CD, Mitchell CE, Ward JR, et al. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*. 2002;296(5576):2158-2162. DOI: 10.1126/science.1063699
14. Jaenson TG, Tälleklint L, Lundqvist L, et al. Geographical distribution, host associations, and vector roles of ticks (Acari: Ixodidae, Argasidae) in Sweden. *J Med Entomol.* 1994;31(2):240-256.
<https://pdfs.semanticscholar.org/ff3c/6186631832edc397df58e7e19dce71670a1f.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
15. Menne B, Ebi KL. Climate change and adaptation strategies for human health. Steinkopff Verlag, Darmstadt, 2006.
16. Morin CW, Comrie AC. Modeled response of the West Nile virus vector *Culex quinquefasciatus* to changing climate using the dynamic mosquito simulation model. *Int J Biometeorol.* 2010;54(5):517-529. DOI: 10.1007/s00484-010-0349-6
https://www.researchgate.net/profile/Cory_Morin/publication/45494957_Modeled_response_of_the_West_Nile_virus_vector_Culex_quinquefasciatus_to_changing_climate_using_the_dynamic_mosquito_simulation_model/links/56f16fc708ae4744a91eeecf/Modeled-response-of-the-West-Nile-virus-vector-Culexquinquefasciatus-to-changing-climate-using-the-dynamic-mosquito-simulation-model.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
17. Tälleklint L, Jaenson TG. Increasing geographical distribution and density of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in central and northern Sweden. *J Med Entomol.* 1998;35(4):521-526.
<https://doi.org/10.1093/jmedent/35.4.521>
18. Benedict MQ, Levine RS, Hawley WA, et al. Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2007;7(1):76-85. DOI: <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.0562>
https://www.researchgate.net/profile/Rebecca_Levine/publication/6404570_Spread_of_The_Tiger_Global_Risk_of_Invasion_by_The_Mosquito_Aedes_albopictus/links/00b49528a3e6be190c000000.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
19. Roiz D, Neteler M, Castellani C, et al. Climatic factors driving invasion of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) into new areas of Trentino, northern Italy. *PloS one.* 2011;6(4):e14800.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014800>
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0014800> Elérve: 2018. 04. 11.

20. Medlock JM, Avenell D, Barrass I, et al. Analysis of the potential for survival and seasonal activity of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the United Kingdom. *J Vector Ecol.* 2006;31(2):292-304. [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2006\)31292:AOTPFS.2.0.CO;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2006)31292:AOTPFS.2.0.CO;2) https://www.researchgate.net/profile/Jolyon_Medlock/publication/6554588_Analysis_of_the_potential_for_survival_and_seasonal_activity_of_Aedes_albopictus_Diptera_Culicidae_in_the_United_Kingdom/links/5a030c16458515713b414b0d/Analysis-of-the-potential-for-survival-and-seasonal-activity-of-Aedes-albopictus-Diptera-Culicidae-in-the-United-Kingdom.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
21. Vörösmarty CJ, Meybeck M. Responses of continental aquatic systems at the global scale: new paradigms, new methods. In: *Vegetation, water, humans and the climate.* Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. pp. 375-413.
22. Davis TJ, Kline DL, Kaufman PE. *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) oviposition preference as influenced by container size and *Buddleja davidii* plants. *J Med Entomol.* 2016;53(2), 273-278. DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjv201>
23. Schäfer ML, Lundström JO. Different responses of two floodwater mosquito species, *Aedes vexans* and *Ochlerotatus sticticus* (Diptera: Culicidae), to larval habitat drying. *Journal of Vector Ecology.* 2006;31(1):123-128. [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2006\)31123:DROTFM.2.0.CO;2%20](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2006)31123:DROTFM.2.0.CO;2%20) http://www.sove.org/Journal/Entries/2006/6/1_Volume_31_Number_1_files/17schafer%20and%20lundstrom%2005-56.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
24. Becker N. Life strategies of mosquitoes as an adaptation to their habitats. *Bull Soc Vector Ecol.* 1989;14:6-25.
25. Sota T, Mogi M. Interspecific variation in desiccation survival time of *Aedes (Stegomyia)* mosquito eggs is correlated with habitat and egg size. *Oecologia.* 1992;90(3):353-358.
26. Braks MA, Honório NA, Lourenço-De-Oliveira R, et al. Convergent habitat segregation of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in southeastern Brazil and Florida. *Journal of Medical Entomology.* 2003;40(6):785-794. <https://faculty.sharepoint.illinoisstate.edu/sajulian/Documents/publications/braks%20et%20al%2003.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
27. Hornby JA, Moore DE, Miller JT. *Aedes albopictus* distribution, abundance, and colonization in Lee County, Florida, and its effect on *Aedes aegypti*. *Journal of the American Mosquito Control Association.* 1994;10(3):397-402.
28. Trájer AJ, Bede-Fazekas A, Bobvos J, et al. Seasonality and geographical occurrence of West Nile fever and distribution of Asian tiger mosquito. *Időjárás/Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service.* 2014;118(1):19-40. <http://www.met.hu/en/ismeret-tar/kiadvanyok/idojaras/index.php?id=366> Elérve: 2018. 04. 11.
29. Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, et al. RCP4. 5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change.* 2011;109(1-2):77. https://www.researchgate.net/profile/Ben_BondLamberty/publication/224832711_RCP45_A_pathway_for_stabilization_of_radiative_forcing_by_2100/links/00b49516d8abfe0bdb000000.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
30. Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, et al. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2014. p. 151. <https://epic.awi.de/37530/> Elérve: 2018. 04. 11.
31. Climate Change Atlas. https://climexp.knmi.nl/plot_atlas Elérve: 2018. 04. 11.
32. Calado DC, da Silva MAN. Avaliação da influência da temperatura sobre o desenvolvimento de *Aedes albopictus*. *Revista de Saúde Pública.* 2002;36:173-179. <https://pdfs.semanticscholar.org/b06c/eae16eeef481ef63bed0a1ec71487ad2ee0b.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.

33. *Trájer AJ, Tanczos B, Hammer T, et al.* The complex investigation of the colonization potential of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the South Pannonian Ecoregion. *Applied Ecology And Environmental Research*. 2017;15(1):275-298. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1501_275298%20
http://real.mtak.hu/45533/1/Trajera_etal_Bede_FA_AEER_OA.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
34. *Trájer A, Hammer T, Kacsala I, et al.* 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*. 2017;42(2):233-242.
<https://doi.org/10.1111/jvec.12263>
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jvec.12263> Elérve: 2018. 04. 11.
35. *Ly Y, Yuan R, Pei Y.* A prey-predator model with harvesting for fishery resource with reserve area. *Applied Mathematical Modelling*. 2013;37(5), 3048-3062. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.030%20>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X12004428> Elérve: 2018. 04. 11.
36. Evaporation Rates Equation: <https://www.scribd.com/document/348397799/Evaporation-Rates-Equation>.
Elérve: 2018. 04. 11.
37. *Jaeger KL, Olden JD, Pelland NA.* Climate change poised to threaten hydrologic connectivity and endemic fishes in dryland streams. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(38), 13894-13899.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1320890111>
https://www.researchgate.net/profile/Kristin_Jaeger2/publication/264866927_Climate_change_poised_to_threaten_hydrologic_connectivity_and_endemic_fishes_in_dryland_streams/links/5405b2ea0cf23d9765a724b4.pdf Elérve: 2018. 04. 11.
38. *Rahel FJ, Olden JD.* Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*. 2008;22(3):521-533. DOI: [10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x)
39. *Gasith A, Resh VH.* Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1999;30(1):51-81.
<https://pdfs.semanticscholar.org/db39/1d6c16ab31b349a95855ed65be54d97ab24b.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
40. *Paz S, Albersheim I.* Influence of warming tendency on *Culex pipiens* population abundance and on the probability of West Nile Fever outbreaks (Israeli case study: 2001-2005). *EcoHealth*. 2008;5(1):40-48. DOI: 10.1007/s10393-007-0150-0
<http://statistics.org.il/wp-content/uploads/2008/05/westnilefever.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
41. *Gratz NG.* Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Medical and veterinary entomology*. 2004;18(3):215-227. DOI: 10.1111/j.0269-283X.2004.00513.x
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.0269-283X.2004.00513.x> Elérve: 2018. 04. 11.
42. *Greenough G, McGeehin M, Bernard SM, et al.* The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States. *Environmental Health Perspectives*. 2001;109(Suppl 2):191.
<http://depts.washington.edu/envir202/Readings/Reading04.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
43. *Meehl GA, Zwiers F, Evans J, et al.* Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2000;81(3):427-436.
DOI: [10.1175/1520-0477\(2000\)081<0427:TIEWAC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<0427:TIEWAC>2.3.CO;2)
<https://pdfs.semanticscholar.org/b21e/6831774b1e5cd4bc6e509fc1d1ea4f0db3e7.pdf> Elérve: 2018. 04. 11.
44. *Paz S.* The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: the regional impact of climate change. *International Journal of Environmental Health Research*. 2006;16(1):1-13. DOI: 10.1080/09603120500392400
http://imedea.uibcsic.es/master/cambioglobal/Modulo_V_cod101625/Jimenez/WNV%20ISR%20Climat.pdf Elérve: 2018. 04. 11.

45. *Semenza JC, Suk JE.* Vector-borne diseases and climate change: a European perspective. *FEMS Microbiology Letters.* 2018;365(2):fnx244.
[DOI: 10.1093/femsle/fnx244](https://doi.org/10.1093/femsle/fnx244)
46. *Tjaden NB, Suk JE, Fischer D, et al.* Modelling the effects of global climate change on Chikungunya transmission in the 21st century. *Scientific Reports.* 2017;7(1):3813. DOI:10.1038/s41598-017-03566-3
<http://europepmc.org/articles/pmc5476675> Elérve: 2018. 04. 11.
47. *Rocklöv J, Quam MB, Sudre B, et al.* Assessing seasonal risks for the introduction and mosquito-borne spread of Zika virus in Europe. *EbioMedicine.* 2016;9:250-256.
[DOI: 10.1016/j.ebiom.2016.06.009](https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.06.009)
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4972550/> Elérve: 2018. 04. 11.