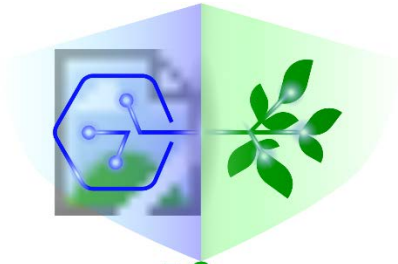


# „PNRR: Fonduri pentru România modernă și reformată!”



## DTEclimate

**Digital Twin Earth Intelligence for Climate Changes**

**DTEClimate, ctr. nr. 760008/30.12.2022**

**D5-3.4. INTERDISCIPLINARY REVIEW AND APPRAISAL OF DRIVERS, DYNAMICS AND IMPLICATIONS OF DIFFERENT ENVIRONMENTAL FACTORS.**

|             |                                                                        |            |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| Prepared By | Cara Irina, Calistru Anca, Aostăcioaei Tudor - George                  | 31.03.2026 |
|             | UNIVERSITATEA PENTRU ȘTIINȚELE VIEȚII “ION IONESCU DE LA BRAD” DIN IAS | Date:      |
| Reviewed By | Țopa Denis - Constantin                                                | 31.03.2026 |
|             |                                                                        | Date       |
| Approved By | Jităreanu Gerard                                                       | 31.03.2026 |
|             |                                                                        | Date       |

© **Restriction of Disclosure:** All rights reserved. No part of this document may be reproduced, in any form or by any means, without permission in written form by the DTEclimate Project Manager

„Conținutul acestui material nu reprezintă în mod obligatoriu poziția oficială a Uniunii Europene sau a Guvernului României”



USV 1842

„PNRR. Finanțat de Uniunea Europeană – Următoarea Generație UE”

<https://mfe.gov.ro/pnrr/>

<https://www.facebook.com/PNRROficial/>

Eroare! Nume proprietate document necunoscut.  
DTEclimate, ctr. no. 760008/30.12.2022  
5.3.4.

ID DTECLIMATE-VEBDISEASE-USV-5.3.4  
Issue 1.0  
Date 31.03.2026  
Eroare! Nume proprietate document necunoscut.

## DOCUMENT CHANGE RECORD

| Issue | Date       | Chapter | Change        |
|-------|------------|---------|---------------|
| 1.0   | 31.03.2026 | all     | First version |

## **Interdisciplinary review and appraisal of drivers, dynamics and implications of different environmental factors**

### **D5-3.4. Evaluare interdisciplinară a factorilor determinanți, dinamica și implicația diferiților factori de mediu**

Căpușele reprezintă vectori importanți pentru numeroase boli zoonotice (ex. boala Lyme, encefalita de căpușă), iar extinderea arealului lor geografic este strâns legată de modificările factorilor de mediu. O evaluare interdisciplinară permite înțelegerea complexă a interacțiunilor dintre factorii climatici, ecologici, biologici și antropici care influențează dinamica populațiilor de căpușelor.

Factori de mediu determinanți în răspândirea căpușelor:

#### **1. Factori climatici**

Temperatura: creșterea temperaturilor medii favorizează supraviețuirea larvelor și nimfelor, extinzând sezonul de activitate al căpușelor.

Umiditatea: nivelurile ridicate de umiditate sunt esențiale pentru prevenirea deshidratării căpușelor, influențând densitatea populațiilor.

Schimbările climatice: determină deplasarea căpușelor spre latitudini și altitudini mai mari, anterior nefavorabile.

#### **2. Factori ecologici**

Tipul de vegetație: pădurile, zonele de tranziție (ecotonele) și vegetația densă oferă microhabitate favorabile.

Biodiversitatea: prezența gazdelor (rozătoare, cervide, păsări) influențează ciclul de viață și succesul reproductiv al căpușelor.

Fragmentarea habitatelor: poate crește contactul dintre căpușe, animale sălbatice și oameni.

#### **3. Factori biologici**

Ciclul de viață al căpușelor: dependența de mai multe gazde succesive face ca distribuția lor să fie strâns corelată cu dinamica faunei locale.

Adaptabilitatea speciilor: unele specii prezintă o capacitate crescută de adaptare la condiții noi de mediu.

#### 4. Factori antropici

Schimbările de utilizare a terenurilor: defrișările, urbanizarea și agricultura extensivă modifică ecosistemele naturale.

Mobilitatea umană și a animalelor domestice: facilitează dispersia pasivă a căpușelor.

Practicile de management al faunei: pot influența densitatea gazdelor și, implicit, a căpușelor.

Interacțiunea dintre factorii climatici și cei ecologici determină variații sezoniere și spațiale ale populațiilor de căpușe. Modelele de distribuție arată o creștere a densității în perioadele calde și umede, precum și o extindere progresivă a arealului în contextul schimbărilor climatice globale.

Condițiile climatice globale s-au schimbat în ultimul secol sub influența emisiilor de gaze cu efect de seră (în special dioxid de carbon și metan) provenite de la o populație umană în expansiune și avidă de energie și vor continua să se schimbe în acest secol, accelerând semnificativ fără eforturi globale eficiente de reducere a emisiilor (Field et al. 2014). Dacă emisiile de gaze cu efect de seră nu sunt reduse suficient pentru a menține încălzirea sub 2°C, efectele asupra planetei pot fi catastrofale. Cu o încălzire mai mare, există o probabilitate mai mare ca „punctele” climatice să fie depășite, rezultând schimbări bruște și ireversibile asupra planetei. Un exemplu este posibila pierdere completă a calotei glaciare din Groenlanda, care va duce la o creștere globală de 7 m a nivelului mării, inundând majoritatea orașelor de coastă din întreaga lume, inclusiv cele din estul Statelor Unite (Overpeck și Weiss 2009, Field et al. 2014).

Impactul schimbărilor climatice asupra bolilor transmise prin vectori a fost considerat posibil încă de când impactul schimbărilor climatice asupra sănătății a început să fie explorat (Kovats și Haines 1995, Githeko și colab. 2000). Studiile timpurii în acest domeniu s-au concentrat pe interacțiunea dintre oameni. În emisfera nordică a Europei, cea mai răspândită infecție transmisă de căpușe este borrelioza Lyme, a cărei incidență a crescut în cel puțin nouă țări europene în ultimul deceniu [1-3]. O cauză plauzibilă este schimbarea distribuției geografice, a densității și a activității principalului vector căpușă, *I. ricinus*, și/sau modificarea activității care aduce oamenii în contact cu căpușele.

Se știe că distribuția *I. ricinus* se schimbă în Europa, atât la extreme de altitudini și latitudini, cât și în cadrul arealului său anterior.

Motivele acestor schimbări sunt multiple, iar această lucrare își propune să analizeze forțele motrice ale schimbărilor în distribuția geografică a acestei specii de căpușe în Europa. Înainte de a lua în considerare aceste schimbări, totuși, este utilă rezumarea aspectelor biologice și ecologice ale ciclului de viață al *I. ricinus* care stau la baza impactului atâtor factori diferiți asupra supraviețuirii, activității sezoniere și diurne și distribuției sale.

Fiecare etapă activă de viață se atașează de o singură gazdă și se hrănește cu sânge timp de câteva zile înainte de a se desprinde și apoi a năpârli (larve și nimfe) sau a produce ouă (femelele adulte) [4]. Larvele nu se mișcă orizontal pe distanțe mari, așa că adesea rămân agregate în mediul lor în timp ce așteaptă o gazdă. Odată ce găsesc o gazdă, pot fi dispersate prin mișcarea gazdei în timp ce se hrănesc, înainte de a se dezvolta și a năpârli până la stadiul de nimfă; acest lucru se repetă la stadiul de adult. Prin urmare, transportul căpușelor care se hrănesc, în special de către păsări și mamifere mari, este crucial pentru dispersarea pe distanță scurtă și lungă. Toate etapele de viață ale *I. ricinus* caută gazde folosind o tehnică de „am bush”, prin care se cațără pe vegetație și așteaptă ca o gazdă să treacă pe lângă ele. În timpul căutării, căpușa pierde umezeală, așa că trebuie să coboare prin vegetație în stratul de așternut/covoraș pentru a se rehidrata. Revenirea în stratul de vegetație reduce probabilitatea de a intra în contact cu o gazdă și consumă rezervele de energie, fiind astfel dăunătoare pentru supraviețuirea căpușelor [5]. Adecvarea vegetației terestre, în principal în ceea ce privește gradul de umiditate pe care îl oferă, este esențială pentru supraviețuirea căpușelor în afara gazdei [4,6]. *I. ricinus* posedă celule sensibile la lumină [7], precum și organe senzoriale, organele Haller, la vârful apendicelor sale. Acestea îi permit să detecteze schimbările din mediu, cum ar fi nivelurile de lumină, temperatura, dioxidul de carbon, umiditatea și vibrațiile, indicând astfel cele mai bune momente pentru căutare și prezența unei gazde. Se hrănesc cu o gamă largă de gazde vertebrate cu sânge cald și rece, inclusiv rozătoare mici, șopârle, paserine, mamifere mai mari, cum ar fi aricii, iepurii de câmp, veverițele, mistreții, căprioarele și animalele domestice [8-16]. Stadiile imature ale *I. ricinus* se găsesc pe gazde de toate dimensiunile, de la mamifere mici și păsări, în timp ce stadiile adulte se hrănesc exclusiv cu gazde mai mari, cum ar fi bovinele și căprioarele. Prin urmare, gazdele mai mari sunt esențiale pentru menținerea populațiilor de căpușe, populațiile tinzând să fie mai mici în absența acestor animale [15,17,18]. Compoziția locală a faunei și abundența acesteia afectează în mare măsură numărul de căpușe hrănite.

Gazdele commune ale *I. ricinus* variază în diferite regiuni geografice iar habitatele și ratele de infestare variază în funcție de modelul sezonier al activității de căutare și de disponibilitatea gazdelor.

Speciile *I. ricinus* sunt sensibile la condițiile climatice, necesitând o umiditate relativă de cel puțin 80% pentru a supraviețui în timpul perioadelor fără gazdă și, prin urmare, este limitat la zone cu

precipitații moderate spre abundente, cu vegetație care menține o umiditate ridicată (adică stratul de vegetație și solul rămân umede în timpul zilei). Nevoia unei astfel de vegetații, prezența gazdelor animale pentru toate etapele active și capacitatea de a se dispersa în interiorul și între habitate sunt premise importante pentru supraviețuirea *I. ricinus* într-un habitat și pentru finalizarea ciclului său de viață [20,21]. Habitatele tipice variază în Europa, dar includ de obicei păduri de foioase și conifere, mlaștini, pășuni accidentate, păduri și parcuri urbane. Din cele de mai sus rezultă că schimbările climatice vor avea un impact asupra supraviețuirii, abundenței și activității sezoniere a *I. ricinus*.

*I. ricinus* prezintă grade variabile de diapauză comportamentală în timpul iernării, când activitatea de căutare este închisă aparent prin scurtarea duratei zilei, în comun cu alte specii din acest grup taxonomic [22] și reîncepe odată ce temperaturile sunt suficient de ridicate în primăvară [23]. Iernile mai blânde/primăverile calde vor permite căpușelor să își desfășoare activitatea mai devreme în cursul anului, dar perioadele de căldură excesivă și uscăciune în primăvară sau vară determină căpușele să își întrerupă activitatea de căutare [24]. Populația de căpușe care își desfășoară activitatea scade în mod natural mai târziu în vară, pe măsură ce căpușele își găsesc gazde, iar următoarea grupă nu apare decât în toamnă [25]. Verile mai calde pot permite rate crescute de dezvoltare de la o etapă de viață la alta, dar impactul la capătul superior al intervalelor de temperatură naturale este mai puțin semnificativ decât la capătul inferior (adică efectul dependent de temperatură este neliniar). Speciile de căpușe din zonele temperate nordice sunt bine adaptate pentru a supraviețui la temperaturi sub zero grade, dar un strat de zăpadă îmbunătățit poate promova supraviețuirea căpușelor care ierneză prin prevenirea înghețului și dezghețului repetate, ceea ce poate fi mai dăunător. Iernile mai reci ar putea afecta supraviețuirea gazdelor mamiferelor mici în anul următor, ceea ce ar putea însemna mai puține gazde de sânge pentru căpușe [26].

Cu toate acestea, un strat de zăpadă îmbunătățit poate ajuta, de asemenea, la hibernarea mamiferelor mici, dar s-ar putea să nu fie atât de bun pentru animalele mai mari, cum ar fi căprioarele care se hrănesc cu crenguțe de vegetație [27]. I. ricinus se găsește în toată Europa, de la vest la est, din Irlanda până la Ural și de la nord la sud, din nordul Suediei până la Africa de Nord [28,29].

Cu toate acestea, căpușele I. ricinus continua să fie raportate în locații noi din Europa și există percepția că abundența sa a crescut în zonele endemice cunoscute. Această analiză se ocupă în mod specific de factorii cunoscuți și posibili ai schimbării în distribuția geografică a I. ricinus.

### **Sensibilitatea la vreme și climă a căpușelor și a bolilor transmise de căpușe**

În această secțiune, analizăm efectele climei asupra supraviețuirii și abundenței căpușelor, precum și asupra prezenței și eficienței ciclurilor de transmitere a agenților patogeni transmiși de căpușe. „Clima” face referire la măsurători medii pe termen lung (de obicei >3 luni) ale temperaturii și precipitațiilor relevante pentru ciclurile de viață ale căpușelor.

Schimbările climatice proiectate de modelele climatice sunt variabile regional; nu oferim detalii aici, care au fost rezumate în cel mai recent raport al Grupului interguvernamental de experți privind schimbările climatice (IPCC 2013). Cu toate acestea, în termeni generali, schimbările climatice proiectate sunt următoarele. Se așteaptă ca temperaturile medii să crească la nivel global, dar vor crește mai rapid în regiunile nordice ale emisferei nordice. Se așteaptă ca precipitațiile să crească în regiunile nordice ale emisferei nordice și în mare parte a Asiei și să scadă în sudul Americii de Nord, nordul Americii de Sud, regiunea mediteraneană și Australasia. Se așteaptă ca aceste schimbări să fie însoțite de o variabilitate climatică tot mai mare și de evenimente meteorologice extreme, inclusiv uragane și cicloane, furtuni severe, evenimente de căldură extremă, secete și inundații. Schimbările climatice (în realitate și în proiecțiile bazate pe modele) sunt de origine antropogenă și depind de căile socioeconomice, iar schimbările în utilizarea terenurilor și emisiile de gaze cu efect de seră se așteaptă să meargă mână în mână (Harrison et al. 2016). Prin urmare, este din ce în ce mai recunoscut faptul că efectele schimbărilor climatice și schimbările de utilizare a terenurilor care stau la baza emisiilor de gaze cu efect de seră trebuie luate în considerare simultan în proiectarea schimbărilor în ceea ce privește apariția și riscul bolilor transmise de căpușe (de exemplu, Li și colab., 2019).

## **Sensibilitatea la condițiile climatice a populațiilor de căpușe**

Clima poate determina prezența și abundența populației de căpușe fie prin efecte directe asupra ratelor de mortalitate și reproducere, fie prin efecte indirecte asupra supraviețuirii și reproducerii căpușelor, populațiilor gazdă și habitatului căpușelor. În laborator, căpușele expuse la temperaturi mult sub zero grade (mai puțin de  $-5^{\circ}\text{C}$ ) mor rapid (Lindsay, 1995, Burks și colab., 1996, Vandyk și colab., 1996, Ogden și colab., 2004). Cu toate acestea, unele specii pot tolera temperaturi scăzute sub zero grade datorită antigelului glicoproteinic din hemolimfă (Neelakanta et al. 2010). În natură, se pare că în habitatele împădurite stratul de umezeală poate oferi un refugiu pentru căpușe de la temperaturi mult sub zero grade, iar în unele studii, rata mortalității zilnice pe cap de locuitor a căpușelor nehrănite în timpul iernii a rămas similară cu cea din vară, chiar dacă temperaturile aerului au scăzut la mai puțin de  $-20^{\circ}\text{C}$  pentru perioade lungi (Lindsay et al. 1995; Brunner et al. 2012; Burtis et al. 2016a, 2019). Căpușele sunt rezistente fizic și fiziologic la deshidratare, dar, desigur, vor muri dacă sunt deshidratate (Lees 1946, Rodgers et al. 2007). Căpușele se rehidratează prin secreția de salivă higroscopică pe hipostom în medii umede. Saliva absoarbe apa din atmosfera umedă și, odată saturată, saliva este reingerată de căpușă (Alarcon-Chaidez 2014). Se crede totuși, că umiditatea ambientală scăzută are efecte indirecte asupra supraviețuirii căpușelor exofile căutătoare (adică acele specii/stadii incipiente care caută gazdă la suprafață, mai degrabă decât în cuiburi ale gazdei), determinându-le să coboare mai frecvent în stratul de exfoliere pentru a se rehidrata, ceea ce grăbește epuizarea rezervelor de grăsime și reduce probabilitatea de a găsi gazda cu succes (Lees și Milne 1951). Nivelurile scăzute de umiditate ambientală pot afecta populațiile de căpușe prin efectele asupra comportamentului și succesului căutării gazdei (Berger și colab. 2014, Burtis și colab. 2016b).

Atât temperatura ambientală, cât și umiditatea pot afecta activitatea căpușelor mai exact, căpușele exofile caută cu o frecvență mai mică atunci când temperaturile sunt scăzute și ridicate. În mod similar, ele petrec mai mult timp în stratul de resturi vegetale rehidratându-se atunci când umiditatea este scăzută și pot fi respinse din activitate de ploile abundente (revizuit în Eisen și colab. 2016). Presupunând că umiditatea ambientală nu este suboptimă, temperatura poate afecta supraviețuirea căpușelor prin determinarea proporției din fiecare zi și a duratei fiecărui an pe care o pot petrece căutând și, prin urmare, a probabilității de achiziție a gazdei. Deși efectele schimbărilor climatice asupra temperaturii și umidității ar avea efecte imediate asupra activității și supraviețuirii căpușelor, ele pot afecta, de asemenea, traiectoriile evolutive ale

populațiilor de căpușe prin schimbarea factorilor determinanți de mediu ai stării de sănătate. Un exemplu este oferit de variația ratelor mortalității pe cap de locuitor la *Ixodes scapularis* Say (Acari: Ixodidae) în diferite părți ale Statelor Unite. Ratele mortalității pe cap de locuitor sunt mai mari datorită stresului hidric mai mare în condiții mai calde din sudul Statelor Unite. Stresul de deshidratare ar fi putut acționa ca o presiune selectivă ce a dus la evoluția comportamentului de căutare a gazdei, în care imaturii rămân sub suprafața așternutului de frunze în populațiile sudice de *I. scapularis*, evitând astfel condițiile de deshidratare la suprafață (Ginsberg et al. 2017). Temperatura afectează rata de dezvoltare de la o etapă de viață la următoarea: de la femelă hrănită la o femelă depunătoare de ouă (perioada de pre-oviposiție), dezvoltarea ouălor (perioada de pre-ecluzare) și dezvoltarea larvelor și nimfelor hrănite la nimfe și adulți, respectiv (de exemplu, Ogden et al. 2004). În general, relația dintre durata dezvoltării și temperatură este neliniară, dezvoltarea având o durată din ce în ce mai lungă (sau oprindu-se complet) la temperaturi mai scăzute (de exemplu, Ogden et al. 2004). Având în vedere că temperaturile scăzute de iarnă nu limitează supraviețuirea populațiilor de căpușe atâta timp cât habitatul oferă un refugiu pentru acestea, s-a sugerat că efectele temperaturii asupra lungimii ciclului de viață, prin efectele asupra ratelor de dezvoltare interstadială, sunt esențiale pentru efectele încălzirii climatice asupra populațiilor de căpușe. Logica pentru aceasta este că, cu cât clima este mai caldă, cu atât ciclul de viață este mai scurt și, presupunând că ratele mortalității zilnice pe cap de locuitor nu sunt afectate de temperatură (în afară de efectele temperaturii asupra activității, ceea ce duce la epuizarea rezervelor de energie: Burtis et al. 2019), atunci mai multe larve supraviețuiesc pentru a deveni adulți reproducători (Ogden și Lindsay 2016).

Temperatura nu este, singurul factor determinant al ratelor de dezvoltare de la un stadiu la altul. Ratele de dezvoltare interstadială, precum și activitatea căpușelor, sunt, de asemenea, afectate de diapauză. Aici, facem distincția între „diapauză” și „lapse”. Efectele temperaturii și umidității scăzute sau ridicate asupra reducerii activității căpușelor reprezintă „lapse”, așa cum este descris mai sus (Belozarov 2009). Căpușele latente își reiau activitatea imediat ce temperatura și umiditatea revin la niveluri adecvate. În schimb, diapauza este o trăsătură genetică pentru dezvoltarea sau activitatea oprită, care rezultă din programarea internă a căpușei. Aceasta este de obicei activată și/sau dezactivată de factori precum durata zilei (adică fotoperioada), care ar fi putut evolua deoarece semnalează apropierea unor condiții nefavorabile. Cu toate acestea, la unele specii, temperatura poate, de fapt, avea un efect de modulare asupra diapauzei (Belozarov

1964, Cabrera și Labruna 2009). Două tipuri de diapauză pot influența ciclurile de viață ale căpușelor ixodide: 1) diapauză comportamentală în care căpușele nehrănite întârzie activitatea de căutare a gazdei, chiar dacă condițiile meteorologice pot fi favorabile; și 2) diapauză de dezvoltare (sau morfogenetică) în care ouăle sau imaturii hrăniți își întârzie dezvoltarea, iar femelele hrănite nu depun ouă decât la câteva luni după hrănire, perioade de timp suplimentare față de cele induse de efectele temperaturii asupra dezvoltării (Oliver 1989, Sonenshine 1993). Prin urmare, durata și momentul ciclului de viață pot fi influențate atât de latența activității și dezvoltării dependentă de temperatura ambiantă, cât și de diapauza comportamentală sau de dezvoltare indusă de durata zilei, independentă de temperatură. Nu toți membrii unei populații locale de căpușe pot avea capacitatea de a exprima diapauză. În America de Nord, populațiile de *Amblyomma americanum* (L.) (Acari: Ixodidae) par să cuprindă indivizi care prezintă și nu prezintă diapauză (Pound et al. 1993). Populațiile de *I. scapularis* par să varieze similar, existând diferențe interpopulaționale în ceea ce privește exprimarea diapauzei în diferite puncte ale ciclului de viață pe întreaga arie geografică de răspândire a căpușei (Sonenshine 1993; Belozarov și colab. 2002; Belozarov și Naumov 2002; Ogden și colab. 2004, 2018). Interacțiunea dintre mecanismele dependente de temperatură și factorii determinanți ai inducerii și încetării diapauzei independenți de temperatură în ciclurile de viață ale căpușelor trebuie luată în considerare la evaluarea impactului climei și al schimbărilor climatice (Ogden și colab. 2006, Ludwig și colab. 2016).

Schimbările climatice sunt susceptibile de a afecta abundența și distribuția populațiilor de căpușe prin efecte indirecte asupra 1) calităților habitatului care oferă refugii pentru căpușe de extremele meteorologice și pot sau nu proteja căpușele de agenți patogeni și prădători (Samish și Lekeev 2001, MacDonald 2018, Li și colab. 2019); și 2) abundența gazdelor, care poate fi, de asemenea, legată de schimbările de habitat sau de efectele directe ale schimbărilor climatice asupra supraviețuirii (Simon et al. 2014, Dawe și Boutin 2016). Este probabil ca extinderile/contractiile arealului de răspândire și modificările densităților/compozițiilor speciilor comunităților gazdă și de habitat să fie extrem de idiosincratice pentru diferite specii de căpușe. Dacă modificările distribuțiilor geografice ale climatului, habitatului și comunităților gazdă adecvate duc sau nu la modificări ale arealelor de răspândire ale populațiilor de căpușe va depinde de capacitatea căpușelor de a fi dispersate în afara arealelor de răspândire existente de către gazde.

## **Sensibilitatea la condițiile climatice a ciclurilor de transmitere a agenților patogeni transmise de căpușe**

Pe lângă efectul schimbărilor climatice asupra determinării distribuției geografice viitoare și a abundenței căpușelor, schimbările climatice pot influența apariția și forța infecției în ciclurile de transmitere a agenților patogeni, în trei moduri principale.

### **Efecte asupra sezonității diferitelor stadii de căpușe**

Modelele de activitate sezonieră ale căpușelor depind de efectele combinate ale climei asupra ratelor de dezvoltare de la o etapă de viață la alta, împreună cu modul în care clima influențează condițiile meteorologice potrivite pentru activitatea de căutare a gazdei (de exemplu, Ogden și colab. 2005). În general, se așteaptă ca modelele de încălzire din regiunile temperate să extindă (sau să avanseze) perioada în fiecare an în care temperaturile sunt potrivite pentru activitatea căpușelor (de exemplu, Moore și colab. 2014, Monaghan și colab. 2015). Evident, efectele temperaturii și umidității atmosferice de la suprafață vor fi mai importante pentru căpușele care prezintă un comportament exofil decât pentru căpușele nidicole care trăiesc în cuiburile sau vizuinile gazdelor lor, care pot avea microclimate ce permit dezvoltarea și activitatea pe tot parcursul anului (Bown et al. 2003). Cu toate acestea, așa cum s-a subliniat mai sus, este posibil ca schimbările climatice să ducă la dezvoltarea unui comportament nidicol la unele căpușe, cu o reducere (sau cel puțin o modificare) consecutivă a ciclurilor de transmitere a agenților patogeni (Ginsberg et al. 2017).

Pentru agenții patogeni transmiși de căpușe, menținuți prin transmitere transstadială (fără o componentă de transmitere transovariană), sincronizarea sezonieră a diferitelor stadii incipiente ale căpușelor poate fi un factor determinant important al forței infecției în ciclurile de transmitere. Pentru menținerea ciclurilor de transmitere prin transmitere transstadială, stadiul „infectant” (fie adult, fie nimfă) trebuie să infecteze gazdele rezervor, iar gazdele rezervor trebuie să rămână infecțioase și vii suficient de mult timp pentru a infecta un stadiu „receptor” (larve și nimfe dacă stadiul infectant este format din adulți;

doar larve dacă stadiul infectant este format din nimfe). Cu cât activitatea sezonieră a stadiului infectant și a celui receptor este mai sincronă, cu atât ciclul de transmitere va fi mai eficient. Efectele combinate ale temperaturii asupra dezvoltării și activității căpușelor pot însemna că, într-o oarecare măsură, sincronizarea sezonității diferitelor stadii ale căpușelor este

sensibilă la climă. Măsura în care astfel de efecte influențează ciclurile de transmitere depinde de durata infecției sau a infecțiozității la gazdă și, de asemenea, de speranța de viață a gazdelor cu viață scurtă, cum ar fi rozătoarele. Un exemplu este transmiterea virusului encefalitei transmise de căpușe (TBEV) de către căpușele *Ixodes ricinus* (L.) (Acari: Ixodidae) în Europa. Infecția la rozătoarele gazdă este extrem de scurtă (câteva zile), așadar sincronizarea sezonieră precisă a nimfelor infectante și a larvelor receptoare, care este sensibilă la climă, este un factor determinant important al intervalului geografic de risc de la TBEV și al modului în care acest interval se poate modifica odată cu schimbările climatice (Randolph și colab., 1999, Randolph și Rogers, 2000). Un grad ridicat de sincronizare sezonieră a etapelor de viață infectante și receptoare poate permite, de asemenea, transmiterea între căpușe care se hrănesc împreună, indiferent dacă gazda este sau nu infectată sistemic. În anumite circumstanțe, acest lucru poate fi crucial pentru menținerea ciclurilor de transmitere (Ogden și colab., 1997, Labuda și colab., 1996).

Mulți agenți patogeni transmiși de căpușe au dezvoltat strategii pentru infecția persistentă la gazdele rezervor. Cu toate acestea, în general, răspunsurile imune ale gazdei au ca rezultat o perioadă relativ scurtă (zile până la săptămâni) de parazitare ridicată și transmitere eficientă de la gazdă la căpușă pentru majoritatea agenților patogeni la majoritatea speciilor gazdă (*Babesia*, *Anaplasma*, *Theileria* spp.; Walter 1984, Randolph 1995, Young și colab. 1996, Ogden și colab. 2003, Levin și Ross 2004). Așadar, deși asincronia sezonieră a stadiilor incipiente de căpușe poate să nu împiedice existența ciclurilor de transmitere, o sincronie mai mare probabil amplifică transmiterea (Ogden și colab. 2008; ).

Este posibil ca efectele climatice și ale schimbărilor climatice să opereze indirect asupra populațiilor de căpușe pentru a produce variații geografice în fenologia activității căpușelor care au impact asupra ciclurilor de transmitere. În nordul Americii de Nord, nimfele și larvele de căpușă *I. scapularis* sunt asincrone sezonier (nimfe primăvara, larve la sfârșitul verii) în nord-est, în timp ce în Midwestul superior, aproximativ jumătate dintre larve sunt active în același timp cu nimfele primăvara, așadar pare să existe un gradient est-vest în ceea ce privește gradul în care larvele sunt active în același timp cu nimfele, iar acest lucru se corelează cu variabilele climatice (Gatewood et al. 2009). Cu toate acestea, studiile de teren și de modelare indică faptul că factorul determinant al sincronizării sezoniere în populațiile de *I. scapularis* din această regiune este mai probabil gradul în care căpușele prezintă capacitatea de diapauză independentă de temperatură

(Ogden et al. 2018). Prin urmare, este posibil ca impactul climei asupra sincronizării sezoniere să fie prin intermediul gradului în care trăsătura ereditară a diapauzei sporește supraviețuirea populațiilor de căpușe în diferitele condiții climatologice din Midwestul superior și nord-estul acestei regiuni (Ogden et al. 2018).

### **Efecte asupra comunităților gazdă din rezervoare**

Este probabil ca populațiile gazdă din rezervoare de animale să fie afectate de schimbările climatice, deși în moduri care vor fi probabil idiosincratice pentru fiecare specie (de animale sălbatice), sistem de producție animală (pentru animalele domestice) și locație geografică. Modificările arealului geografic, extincțiile și invaziile determinate de schimbările climatice care afectează speciile și comunitățile individuale vor avea loc probabil, iar dincolo de unele modele generale, acestea pot fi dificil de prezis (Wilson et al. 2005, Simon et al. 2014, Urban 2015). Printre comunitățile gazdă din fauna sălbatică, este probabil ca speciile gazdă care sunt generaliste în ceea ce privește nișele lor ecologice să fie cele mai rezistente la schimbare, iar acest lucru poate duce la o diversitate redusă în regiunile tropicale și la o diversitate crescută în regiunile temperate, pe măsură ce generalistele tropicale își schimbă arealul geografic (Davey et al. 2013, Kortsch et al. 2015). Unii cercetători consideră că scăderea biodiversității gazdelor este asociată cu un risc crescut de agenți patogeni transmiși de căpușe, în timp ce creșterea biodiversității are un efect protector („efectul de diluție”; Keesing și Ostfeld 2015).

Cu toate acestea, măsura în care schimbările în diversitatea gazdelor vor afecta transmiterea agenților patogeni transmiși de căpușe este mult dezbătută (Wood și colab. 2014, Levi și colab. 2016), poate fi limitată și ar putea acționa pentru a crește sau a reduce riscul (Ogden și Tsao 2009).

### **Efecte asupra supraviețuirii agenților patogeni**

Pentru agenții patogeni transmiși de vectorii dipterieni, durata perioadei de incubație extrinseci (EIP: timpul necesar agenților patogeni ingerați pentru a se multiplica și a se răspândi din intestin la glandele salivare pentru transmiterea ulterioară) este un factor determinant important, dependent de temperatură, care determină momentul și locul în care poate avea loc transmiterea acum și în viitor, odată cu schimbările climatice. Cu toate acestea, deoarece dezvoltarea agentului patogen la căpușele are loc în timpul hrănirii cu gazda, la aproximativ temperatura corpului gazdei, și deoarece transmiterea are loc de obicei într-o etapă ulterioară a

vieții (adesea luni mai târziu), EIP nu este un factor determinant al locului și momentului în care pot apărea ciclurile de transmitere a agenților patogeni transmiși de căpușe (Ogden și Lindsay 2016). Inhibarea transmiterii agenților patogeni transmiși de căpușe prin temperaturi scăzute și amplificarea transmiterii prin schimbarea climei sunt, prin urmare, determinate de efectele asupra prezenței și abundenței căpușelor și a gazdei rezervor. Este posibil, totuși, ca temperaturile ridicate să poată inhiba transmiterea prin efectele asupra supraviețuirii agenților patogeni la căpușe. Creșterea *in vitro* care cauzează boala Lyme a fost suboptimală la temperaturi ridicate (Veinović et al. 2016).

### **Efectele schimbărilor climatice care pot reduce populațiile de căpușe și transmiterea agenților patogeni**

Temperaturile ridicate pot avea efecte negative asupra unor populații de căpușe și agenți patogeni. Temperaturile ridicate fac cuticula artropodelor mai permeabilă la apă, reducând rezistența lor la deshidratare (Beament 1959) și pot avea efecte asupra fecundării la unele specii (Fish 1993), astfel, temperaturile foarte ridicate pot limita populațiile de căpușe în anumite locații. Acest lucru ar putea determina căpușele să dezvolte un comportament diferit, așa cum s-a observat pentru *I. scapularis* în sudul Statelor Unite, rezultând o reducere a transmiterii agenților patogeni prin căpușe. Pentru sisteme căpușă-agent patogen mai specializate, efectele diferite ale schimbărilor climatice asupra fiecărei specii ar putea perturba transmiterea în anumite locații (Fernández-Ruiz și Estrada-Peña 2020), în timp ce modificările sincronizării sezoniere a diferitelor stadii incipiente ale căpușelor pot perturba transmiterea unor agenți patogeni, cum ar fi TBEV, în anumite locații (Randolph și Rogers 2000). Clima haotică și extremele meteorologice asociate cu o climă în schimbare pot afecta supraviețuirea căpușelor. În general, vremea și clima variabile pot fi mai letale pentru căpușe decât temperaturile absolute (Hermann și Gern 2013). Inundațiile extinse cauzate de ploi abundente pot ucide căpușele atâta timp cât inundațiile sunt prelungite (Bidder et al. 2019) sau acoperă căpușele cu nămol, împiedicând căutarea (Weiler et al. 2017), în timp ce secetele vor reduce probabil populațiile de căpușe din cauza desicării (Berger et al. 2014). Supraviețuirea căpușelor în unele habitate, care oferă refugii limitate față de extremele de temperatură și umiditate, poate depinde de stabilitatea modelelor meteorologice actuale.

De exemplu, \*I. ricinus\*, o specie obișnuită din habitatele împădurite, supraviețuiește pe terenuri înalte relativ sterile, pășunate de oi, în nordul și vestul Regatului Unit și Irlanda, în parte datorită iernilor blânde și precipitațiilor abundente pe tot parcursul anului (Gray 1998). condițiile climatice diferite, secete și perioade foarte reci și foarte calde, poate avea un impact deosebit asupra populațiilor de căpușe din astfel de habitate expuse.

## **Modificări ale distribuției I. ricinus la extreme: altitudine și latitudine mare**

### **Dovezi ale schimbării la altitudine**

Există o bază de date clară pentru abundența redusă a I. ricinus odată cu creșterea altitudinii, așa cum este documentat din transectele verticale efectuate între 620–1270 m deasupra nivelului mării în perioada 2002–2006 într-o regiune muntoasă din Republica Cehă [30,31]. Cea mai mare altitudine unde s-a înregistrat ovipoziția a fost la 1150m deasupra nivelului mării, fără nicio diferență între abundența ouălor la diferite altitudini. Rata de supraviețuire și eclozare a ouălor, a scăzut odată cu altitudinea, fără ouă eclozând la 1150 m deasupra nivelului mării și 33% eclozând la 1070 m deasupra nivelului mării în 2006. Variabilitatea numărului de ouă din fiecare lot a crescut odată cu altitudinea. Numărul de căpușe care năpârlesc de la larve la nimfe și de la nimfe la adulți în același an cu masa de sânge larvară/nimfală a scăzut odată cu creșterea altitudinii. Materna și colab. [31] sugerează că condițiile mai puțin optime întâlnite la altitudini mai mari ar putea explica acest lucru. Aceste „condiții mai puțin optime” trebuie să reflecte în mare măsură, dar nu exclusiv, temperaturi mai scăzute, cu o creștere exponențială însoțitoare a perioadelor de dezvoltare [32] și, prin urmare, o mortalitate interstadială totală mai mare, chiar dacă ratele zilnice de mortalitate nu se modifică [23]. De asemenea, vor exista mai puține gazde disponibile pentru căpușe la altitudini mai mari (vezi mai jos). Efectele suplimentare ale variabilelor microclimatice și diversitatea factorilor ecologici adaugă la complexitatea impactului pe care altitudinea l-ar putea avea asupra limitei verticale de supraviețuire a I. ricinus. Studiile din Elveția [33-36] au subliniat că aspectul unui versant muntos afectează, de asemenea, abundența căpușelor, chiar și la aceeași altitudine. I. ricinus este raportat până la 1450 m deasupra nivelului mării în siturile studiate din Elveția. Cu toate acestea, densitatea nimfelor diferă între versanții orientați spre sud și cei orientați spre nord. Densitatea a scăzut odată cu altitudinea pe versanții orientați spre sud [34], dar a crescut odată cu altitudinea pe versanții orientați spre nord [35]. Acest lucru a fost explicat prin diferența de

deficit de saturație la aceleași altitudini datorită microclimatului. În termeni reali, însă, a existat un număr mai mare de *I. ricinus* pe versanții orientați spre sud [36]. În Regatul Unit, studiile din sudul Țării Galilor au constatat că în timpul lunilor mai calde de vară, *I. ricinus* care se întreabă era mai frecvent pe versanții orientați spre est și vest [18], iar acest lucru se poate schimba în funcție de anotimpuri. Limita altitudinală a *I. ricinus* este în mod clar dinamică, deoarece altitudinea acționează în principal ca un determinant al climei, și, prin urmare, pragurile variază în funcție de latitudine în Europa. În Italia, căpușa devine mult mai puțin abundentă peste 1300 m deasupra nivelului mării [37]. Mai la nord, apare până la 1450 m deasupra nivelului mării în Elveția [34], 1560 m deasupra nivelului mării în Austria [38], 1080–1270 m deasupra nivelului mării în Republica Cehă [30] și 700m deasupra nivelului mării în Scoția, Marea Britanie [39]. La cealaltă extremă, în zonele aride ale Europei, tipice zonei mediteraneene, de exemplu în Grecia, nu s-au găsit căpușe *I. Ricinus* sub 600 m deasupra nivelului mării [40]. Dintre căpușele prelevate de la oameni în Grecia în perioada iunie-septembrie 2008 în zone de joasă altitudine, doar 1% (5/519) au fost *I. ricinus* [41]. În ceea ce privește Spania și Pirineii, există un gradient vest-est marcat la granița franco-spaniolă. În vest, probabil datorită influenței atlantice (adică umidității mai mari), căpușa se găsește la nivelul mării și până la 2000 m deasupra nivelului mării în jurul latitudinii de 2°E. Spre est, care este mai expus unei influențe mediteraneene și mai uscate, căpușa este prezentă doar la altitudini mari. La aproximativ 1°E, căpușa nu mai are populații permanente și doar grupuri izolate de căpușe pot fi găsite la aproximativ 1000 m deasupra nivelului mării (Estrada-Peña, comunicare personală). Există dovezi privind o extindere a arealului altitudinal al *I. ricinus*, provenite din studii efectuate în Bosnia și Herțegovina, Republica Cehă și Slovacia. Dovezile lui Omeragic [42] sugerează că pragul altitudinal al *I. ricinus* în Bosnia și Herțegovina în anii 1950 era <800 m deasupra nivelului mării, iar acesta a crescut la 900 m deasupra nivelului mării până în anii 1960 și la 1190 m deasupra nivelului mării până în 2010. Date istorice similare există și pentru Republica Cehă, din două lanțuri muntoase separate. În Șumava, cea mai înaltă limită de supraviețuire a căpușelor în studiile din 1957 a fost de 700 m deasupra nivelului mării. Până în anii 1990, căpușele erau găsite până la și peste 700 m deasupra nivelului mării în zone considerate anterior a fi lipsite de căpușe, iar până în 2001, aceasta crescuse la 1100 m deasupra nivelului mării [43]. În mod similar, în Krkonose, în anii 1950 și 1980, pragul a rămas la 700–750 m deasupra nivelului mării. În ciuda absenței oricărei schimbări notabile în utilizarea terenurilor pe o perioadă de 50 de ani [44], limita altitudinală a

crescut la 1180 m deasupra nivelului mării până în 2002 și la 1250 m deasupra nivelului mării până în 2006 [30,45]. În Slovacia, o schimbare similară este evidentă, cu o creștere de la 800 m deasupra nivelului mării la ~1200 m deasupra nivelului mării [46]. Deși strategiile de eșantionare au diferit între studiile din cadrul țărilor, toate cele trei exemple demonstrează dovezi clare ale unei expansiuni altitudinale a *I. ricinus*.

### **Clima ca factor determinant al schimbărilor altitudinale**

Schimbările climatice din ultimii ani au fost înregistrate în toată Europa, inclusiv la altitudine mare în Republica Cehă. Daniel și colab. [47] sugerează că extinderea *I. ricinus* la altitudini mai mari s-a datorat creșterii temperaturilor și precipitațiilor anuale și sezoniere, și, în consecință, unei perioade extinse pentru a permite dezvoltarea căpușelor. Danielová și colab. [44,48] au raportat că în zonele muntoase Moravia din Republica Cehă, temperaturile din timpul primăverii/verii au crescut cu o medie de 2,8°C din anii 1960, creând condiții la altitudine similare cu cele întâlnite anterior la altitudini mai mici, astfel făcându-le posibil mai potrivite pentru susținerea populațiilor de *I. ricinus*. Aceștia sugerează că temperaturile crescute în lunile ianuarie și februarie vor influența, de asemenea, supraviețuirea gazdelor căpușelor, oferind suficiente gazde pentru mamiferele mici pentru stadiile imature. În Krkonose, Danielová și colab. [49] a raportat că la 1000 m deasupra nivelului mării, temperatura medie anuală a crescut cu 1,4°C între 1961 și 2005, cu o creștere a temperaturii de 3,5°C în timpul primăverii și verii. Creșterea temperaturilor va avea un efect disproporționat asupra populațiilor de căpușe în condițiile mai reci și limitative la altitudini mai mari, din cauza relației pozitive neliniare dintre ratele de dezvoltare și temperatură [32,50]. În același timp, sezonul de dezvoltare (adică cu temperaturi peste nivelul minim pentru dezvoltare) [30] și perioada permisivă pentru activitatea de detectare a căpușelor (adică peste un prag critic de temperatură) vor fi extinse. De exemplu, studiile din Ungaria au comparat debutul activității de toamnă a căpușei între anii 1950 [51] și 2000 [52], constatând că activitatea de toamnă a început și s-a încheiat o lună mai târziu și că activitatea căpușelor (deși scăzută) a fost înregistrată în timpul lunilor de iarnă, ceea ce nu a fost observat în studiul anterior. Schimbările climatice sunt de obicei considerate o tendință graduală pe o perioadă extinsă de timp, deși, de fapt, la latitudinile medii ale Europei, cea mai mare parte a acestei creșteri a avut loc brusc în 1989 [53] pentru rezultate detaliate pentru statele baltice, care se aplică și tuturor siturilor între 60 și 42°N examinate până în prezent - date nepublicate de Sarah Randolph); se vor aștepta în continuare diferențe interanuale mari în ceea

ce privește lungimea anotimpurilor și abundența căpușelor. La altitudini mari, stratul de zăpadă din timpul iernii poate îmbunătăți supraviețuirea căpușelor prin minimizarea înghețului și dezghețului repetat din straturile de așternut [27] (dimpotrivă, poate reduce disponibilitatea umidității), în timp ce verile mai calde pot contribui la scăderea mortalității căpușelor ca urmare a timpilor de dezvoltare mai rapizi [54]. În părțile mai aride ale Europei, în jurul Mediteranei, umiditatea este un factor de control în distribuția *I. ricinus*, exemplificat de studiile din Grecia care raportează o limită altitudinală mai mică de 600 m deasupra nivelului mării [40,41]. Clima nu poate acționa singură; în plus, *I. ricinus* nu poate urca fizic în altitudine fără un mod de transport. În mod clar, o astfel de mișcare este facilitată de gazdele care transportă căpușe în locuri care au devenit acum favorabile pentru supraviețuirea căpușelor [30]. Jaenson și colab. [55,56] sugerează că temperaturile medii crescute de iarnă la altitudini și latitudini mai mari și o perioadă de vegetație (VP) extinsă au permis căprioarelor (*Capreolus capreolus*) să se răspândească și să locuiască în zone anterior nepermisoare din Alpi și Scandinavia. Asemenea mișcări ale căprioarelor au permis ca *I. ricinus* să fie transportat spre nord, în Peninsula Scandinavă, rezultând o creștere semnificativă a ariei de răspândire a căpușelor în ultimii 30 de ani [56]. Schimbările climatice au redus, de asemenea, lungimea stratului de zăpadă (ceea ce, la rândul său, poate avea un impact negativ asupra supraviețuirii căpușelor) în zonele alpine utilizate anterior de căprioare doar în perioada de vară, diminuând astfel factorul limitativ semnificativ pentru distribuția și permanența căprioarelor la altitudine [57]. În plus, căprioarele tind să se deplaseze la altitudini mai mari primăvara, acționând astfel ca un mod de expansiune pentru *I. ricinus* [31]. Deplasarea căpușelor în zone noi nu duce neapărat la o populație stabilă, dar rata de succes poate fi mai mare în habitate mai puțin fragmentate, cu vegetație, climă și disponibilitate a gazdelor adecvate [58].

### **Schimbarea habitatului pentru căpușe și mamifere gazdă la altitudine mare**

În Italia au existat rapoarte similare privind creșterea temperaturii la altitudine mare încă din anii 1980, dar alți factori contribuie în mod evident la caracterul adecvat al habitatului pentru *I. Ricinus* la altitudine mare, în special schimbările în gestionarea pădurilor și a faunei sălbatice [59]. De exemplu, între 1950 și 2002, acoperirea forestieră a crescut cu 2,2%, suprafața de crăpături (prin care tulpinile tinere ale copacilor sunt tăiate în mod repetat până aproape de nivelul solului pentru a permite recoltarea lemnului) a scăzut cu 11,8%, iar pădurile înalte au

crescut cu 10,8%. În plus, în loc să fie gestionate exclusiv pentru cherestea, pădurile sunt acum considerate ecosisteme mai complexe. Toți acești factori, atât individual, cât și concertat, vor afecta habitatul disponibil pentru *I. ricinus*. În ceea ce privește animalele, a existat o creștere semnificativă și o repopulare a Alpilor cu căprioare începând cu anii 1940 [59]. Raportarea recentă a faptului că *I. ricinus* se hrănește cu specii de mamifere care locuiesc în condiții tradițional nefavorabile pentru căpușe (de exemplu, capra neagră, *Rupicapra rupicapra*) poate sugera posibilitatea unor cicluri alternative de interacțiune căpușă-gazdă (comunicare personală A. Rizzoli).

Modificări similare ale habitatului și căpușă-gazdă au fost raportate în Slovacia și Republica Cehă. În Slovacia, există dovezi în ultimii 20 de ani că zonele de terenuri cultivate anterior la altitudine mare au fost lăsate necultivate, oferind posibil habitat suplimentar atât pentru rozătoare sălbatice, cât și pentru *I. ricinus* (comunicare personală Maria Kazimirova), căpușele fiind găsite în noi regiuni ale Slovaciei, unde populațiile de *I. ricinus* nu erau înregistrate anterior [60]. În Republica Cehă, recoltarea populațiilor de cerbi la altitudine mare a crescut datorită abundenței lor crescute [61]. Această creștere a disponibilității gazdelor ar fi putut contribui la creșterea *I. ricinus* la aceste altitudini. În plus, în locurile nou colonizate de căpușe, populația locală de mamifere mici ar ajuta la menținerea stadiilor imature de *I. ricinus*.

### **Efecte climatice la latitudine mare**

În ceea ce privește extinderea nordică a arealului de răspândire al acestei căpușe, *I. ricinus* se găsește în părțile nordice ale Regatului Unit [62] și Danemarcei (ambele restricționate de Marea Nordului), precum și în părțile nordice ale Poloniei și statelor baltice (restricționate de Marea Baltică). Prin urmare, expansiunea latitudinală este o problemă importantă doar în Fennoscandia, deoarece se extinde mult mai la nord decât restul Europei. Diverse studii au monitorizat și explicat răspândirea spre nord a *I. ricinus* în Suedia [55,56,63-66]. Datele de teren și un studiu bazat pe chestionar au relevat o schimbare în distribuție în anii 1980 și 1990 [64]. Schimbarea a fost legată climatic de o reducere a numărului de zile sub  $-12^{\circ}\text{C}$  în timpul iernii, precum și de ierni în general blânde și sezoane prelungite de primăvară și toamnă. În această perioadă nu a existat nicio schimbare aparentă în utilizarea terenurilor care ar putea explica o astfel de expansiune a căpușelor, dar o creștere a numărului de căprioare a fost în general acceptată, iar o analiză recentă a susținut în mod convingător că extinderea populației de

căprioare și clima mai caldă sunt cei doi factori principali care permit *I. ricinus* să se răspândească atât de rapid și extensiv în multe localități din nordul Suediei care anterior nu aveau căpușe [56]. O climă în general mai caldă poate exercita un efect în moduri deja subliniate mai sus în ceea ce privește încălzirea la altitudini mari. *I. ricinus* a fost întâlnit frecvent în zonele în care PV a depășit 180 de zile, dar rareori unde a rămas sub 160 de zile. De asemenea, a existat o durată redusă a stratului de zăpadă. Cu mai puțin de 125 de zile de strat de zăpadă, *I. ricinus* a fost prezent în mod constant, dar peste 175 de zile de strat de zăpadă a fost absent în mod constant [66]. Iernile blânde favorizează, de asemenea, o supraviețuire mai bună, o abundență crescută și densități mai mari de cerbi (în special căprioare) - principala gazdă pentru căpușele adulte. Mai mult, o epidemie de râie sarcoptică în anii 1970 a redus drastic populația de vulpi, permițând o creștere dramatică a numărului de căprioare ai căror pui nu mai erau prădați de vulpi; în ciuda unui declin al numărului de căprioare odată ce populațiile de prădători și-au revenit în anii 1990, densitatea cerbilor a rămas mult mai mare decât înainte, ceea ce ar fi fost favorabil pentru populațiile de căpușe [56,65].

Factori abiotici și biotici similari se pot aplica și Norvegiei, deși forțele motrice din spatele unei expansiuni observate la 400 km spre nord a *I. ricinus* nu sunt la fel de clar definite și necesită studii suplimentare [67]. Diverse predicții pentru viitor sugerează că distribuția *I. Ricinus* în Fennoscandia se va extinde pe măsură ce sezoanele de iarnă devin mai scurte și mai blânde, PV crește și pădurile de foioase se extind [55,63,64,68,69]. De asemenea, se așteaptă o activitate crescută și pe tot parcursul anului (spre deosebire de sezonieră) a *I. Ricinus* în regiunile cele mai sudice și se așteaptă ca abundența să crească în majoritatea regiunilor până în perioada 2071–2100 [55]. Modificări ale distribuției *I. ricinus* în arealul său anterior: expansiunea gazdei și schimbarea habitatului

### **Expansiunea populațiilor de căpușe gazdă**

Argumentul de mai sus, conform căruia expansiunea cerbilor pare a fi o forță motrice majoră pentru extinderea arealului *I. ricinus* în unele părți ale Europei, este susținut de rezultatele unui sondaj cu chestionar în Regatul Unit [70] și de munca de teren din Danemarca. Se raportează că numărul căprioarelor a crescut de cinci ori în Danemarca în perioada 1941–2000 [71], iar căprioarele apar acum în zone noi, ceea ce ar fi putut duce la noi focare de *I. ricinus*. Motivele pentru aceasta sunt în mare parte anecdotice, dar se crede că se datorează unei combinații de evenimente: o adaptare comportamentală a căprioarelor în raport cu toleranța lor la

perturbările umane, împădurirea continua a țării cu 10-25%, schimbări în practicile Agricole (inclusiv hrănirea căprioarelor) și un declin al prădătorilor (datorită scabiei la vulpi). În mod similar, expansiunea lor în toate regiunile poate fi limitată de prezența solurilor nisipoase în unele regiuni ale țării [72]. Deși căprioarele sunt de obicei cel mai important animal sălbatic în susținerea populațiilor de *I. ricinus*, alte specii de vertebrate pot juca acest rol în unele localități. În anumite părți ale Germaniei, unde populațiile de căprioare au se pare că au rămas stabile, creșteri mari ale populațiilor de mistreț au fost asociate cu creșteri ale abundenței *I. Ricinus* [16]. Există date limitate în Europa cu privire la rolul mistrețului ca gazdă pentru *I. ricinus*. Pe unele insule mici izolate din Marea Baltică, cum ar fi Gotska Sandön și alte insule mici de-a lungul coastei canadiene Fennos, cervidele sunt absente, dar populațiile de *I. Ricinus* pot fi menținute de iepurii de munte (*Lepus timidus*), care sunt singura gazdă pentru toate stadiile active ale populațiilor de căpușe [73]. În alte zone în care cervidele sunt absente, animalele pot susține populațiile de *I. ricinus* [18].

Structura habitatului joacă un rol important în determinarea faptului dacă *I. ricinus* poate supraviețui și se poate răspândi în noi regiuni. În timp ce o perioadă de vegetație extinsă și extinderea pădurilor de foioase sunt importante la latitudinile nordice, există și numeroase inițiative de împădurire și conectivitate a habitatului în alte părți ale Europei, cu mult în aria de răspândire anterioară a *I. ricinus*. În Spania, există dovezi că schimbările pe termen lung și scurt în ceea ce privește adecvarea climatică permit unor zone ale țării să devină mai favorabile, iar altele mai puțin favorabile (posibil din cauza precipitațiilor mai scăzute) (Estrada-Peña, comunicare personală; Jose' Oteo, comunicare personală).

Configurația habitatului, adică gradul de conectivitate dintre habitate, este important în determinarea prezenței/absenței căpușelor și abundenței prin efectul său asupra gazdelor căpușelor [58,74]. Cu o *I. ricinus* mai abundentă, asociată cu o conectivitate mai mare între zone, orice reducere a distanței dintre zone (promovând astfel defragmentarea habitatelor) poate promova probabilitatea unei invazii reușite și a stabilirii *I. ricinus* în zone noi [58]. În Regatul Unit și în alte țări europene, schemele de agromediu încurajează de fragmentarea habitatelor prin furnizarea de coridoare de habitat între „zone” de habitat existent. Acest lucru oferă un coridor pentru dispersarea animalelor, refugii pentru răsăritul și depunerea lor (de exemplu, de către căprioare) și, în consecință, va afecta dispersarea *I. ricinus*. Se pare că a existat o extindere a ariei de răspândire a *I. ricinus* în sud-vestul Angliei în ultimul deceniu [62]. Acest lucru se poate

datora expansiunii căprioarelor dinspre sud-vest, dar schemele de agromediu ar fi putut și ele să fi jucat un rol. Datele de teren din Regatul Unit (Medlock, nepublicate) sugerează că *I. ricinus* exploatează „marginile câmpului” (adică marginile terenului arabil lăsate pentru fauna sălbatică), deși prezența căpușelor este influențată de habitatul învecinat (de exemplu, pădure versus arabil) și activitățile/mișcările locale și comportamentele zilnice de odihnă ale cerbilor. Zonele împădurite sunt, de asemenea, gestionate ca habitate mozaic, cu o gestionare activă a pajiștilor de pe marginea drumului (cunoscute în Regatul Unit sub numele de „ride”) din păduri, generând păduri compartimentate, în special în beneficiul fluturilor. Aceasta oferă vegetație însoțită pe marginea drumului pentru o gamă largă de animale și plante. Diverși factori, cum ar fi așternutul de frunze, înălțimea gazonului și prezența ferigile și a mărăcinilor, împreună cu o orientare favorabilă (adică orientarea) par să favorizeze abundența căpușelor [75,76]. În Regatul Unit, coridoarele verzi urbane facilitează deplasarea cerbilor în zonele urbane și au existat probleme repetate cu cerbi și căpușe în grădinile rezidențiale [62]. Modelarea populației de căpușe sugerează că o creștere a densității cerbilor de la un nivel inițial scăzut va duce la o abundență mai mare de căpușe care caută gazde (adică pericolul pentru oameni), în timp ce, dimpotrivă, același grad de creștere a populației de cerbi de la un nivel inițial ridicat va reduce abundența căpușelor care caută pe măsură ce acestea găsesc gazde mai repede [50]. Cu toate acestea, în ambele cazuri, populația generală de căpușe este sporită, permițând un potențial mai mare de transmitere a agenților patogeni. O nouă problemă este modul în care pot fi gestionați cerbii în zonele urbane, în special dacă căpușele continuă să devină o pacoste urbană și să transmit agenți patogeni.

### **Structura filogenetică a lui *I. ricinus* în Europa**

O altă complicație a argumentului dispersării și stabilirii locale a lui *I. ricinus* este dacă specia este generalistă, adaptată la o gamă foarte largă de condiții climatice sau există ca o serie de populații dinamice în diferite regiuni din Europa, adaptate condițiilor locale predominante. Singura analiză fenotipică asupra mai multor populații ale speciei a implicat utilizarea compoziției hidrocarburilor cuticulare pentru a caracteriza profilul chimic al diferitelor exemplare [77,78]. O astfel de analiză a arătat prezența unor clade bine definite de căpușe în funcție de principalele trăsături climatice din Europa.

Acest lucru nu este surprinzător, deoarece hidrocarburile cuticulare sunt principalii factori determinanți ai retenției de apă de către artropode.

Prin urmare, astfel de constatări în funcție de diferitele zone climatice de pe continent indică detectarea „grupurilor fenotipice”. Studiile secvențelor de ADN ale lui *I. Ricinus* în Europa conduc la opinii contradictorii; de la lipsa structurii genetice a speciei în zona țintă [79,80] la structura genetică a populațiilor, cu influențe sexuale, în condiții de teren [81], până la lipsa de consecvență între populațiile europene și africane de căpușă [82]. Unele studii sugerează că structura genetică a populațiilor de *I. ricinus* este legată de tipul de gazdă utilizată, care, la rândul său, este un indicator al tipului de habitat utilizat de specie [83]. În orice caz, există o nevoie urgentă de a înțelege relațiile filogenetice ale căpușei în Palearctica de Vest. Astfel de studii pot contribui la înțelegerea ratelor de evoluție ale căpușei, determinate de factorii de mediu, precum și a principalilor factori care determină asocierile dintre căpușă și agenții patogeni pe care îi transmit.

#### **Factori antropogenici generici, inclusiv schimbarea habitatului**

În Franța, *I. ricinus* este prezent cu excepția altitudinilor medii și mari. Nu au existat studii specifice care să urmărească răspândirea sa, la fel ca în aproape toate țările, cu excepția celor descrise mai sus. Cu toate acestea, este în general recunoscut faptul că a existat o creștere a abundenței *I. ricinus* în Franța (comunicări personale Olivier Plantard, Jean-Claude George).

Factorii naturali, sociali și antropogenici sunt în general acceptați de experții francezi în căpușe ca contribuind la o destabilizare a status quo-ului anterior, care ar fi putut duce la o creștere a abundenței căpușelor [84]. Cu toate acestea, o mare parte din informații sunt anecdotice, iar datele privind distribuția *I. ricinus* în Franța sunt prea fragmentare pentru a face evaluări ferme ale expansiunii speciilor. În mod similar, multe rapoarte nesolicitate din partea membrilor publicului larg, care compară lipsa unei probleme cu căpușele în perioada în care erau mici cu necesitatea de a proteja generația actuală de copii de expunerea la căpușe în timpul recreerii, indică o distribuție mai răspândită a căpușelor în Regatul Unit, în special în habitatele peridomestice (comunicare personală Sarah Randolph). Acest lucru se datorează probabil unei serii de cauze, dintre care unele pot avea o origine antropogenă.

În Portugalia, creșterea recentă a studiilor privind epidemiologia bolilor transmise de căpușe a dus la o mai mare conștientizare a apariției și distribuției spațiale a *I. ricinus*, dar acest lucru nu permite o cuantificare a expansiunii căpușelor și nici nu constituie o dovadă a expansiunii speciilor. Există factori antropici în Portugalia, cum ar fi schimbările în gestionarea terenurilor, schimbările în strategiile de control al dăunătorilor, distrugerea extensivă a

habitatelor prin incendii și o creștere a vânătorii, toate acestea putând contribui la orice schimbare reală (atât creștere, cât și scădere) a abundenței și distribuției *I. ricinus* [85]. Cuplate cu acești factori sunt reintroducerea și creșterea abundenței căprioarelor, precum și schimbările climatice [85]. Acestea din urmă, implicând un stres mai mare din cauza căldurii și a umidității asupra căpușelor, ar putea duce la o retragere a ariei de răspândire latitudinale a *I. ricinus* în părțile centrale și nordice ale țării.

În țările din Europa Centrală și de Est, reforma practicilor agricole după căderea dominației sovietice a dus la schimbări semnificative în ceea ce privește acoperirea terenurilor și utilizarea terenurilor, majoritatea acționând sinergic pentru a îmbunătăți habitatul căpușelor și a crește contactul uman cu căpușele. Efectivele naționale de bovine și ovine au scăzut (desi populația de capre a crescut), iar suprafața cultivate cu culturi de câmp a diminuat, permițând atât regenerarea naturală a vegetației erbacee și lemnoase [86], cât și reinvasia rozătoarelor, cerbilor și căpușelor (observații nepublicate ale lui Sarah Randolph). În același timp, utilizarea masivă la scară largă a pesticidelor a încetat, permițând o mai bună supraviețuire a căpușelor [86]. În același timp, proprietatea asupra pădurilor, fie ea statală sau nestatală, determină accesul publicului la păduri și, prin urmare, gradul de suprapunere a activităților căpușelor și umane, și, de asemenea, practicile de gestionare a pădurilor, cum ar fi tăierea rasă, care modifică habitatul pentru căpușe și, de asemenea, pentru recreerea umană. S-a demonstrat că acești factori afectează incidența bolilor transmise de căpușe în Letonia, dar nu într-un mod simplu [87].

### **Strategii pentru monitorizarea schimbărilor în distribuția *I. ricinus*– dovezi din întreaga Europă**

Adesea, opinia cu privire la creșterea numărului de căpușe în arealul lor de răspândire se bazează în mare măsură pe dovezi anecdotice, care sunt adesea greu de cuantificat. Hărțile publicate recent din Marea Britanie [62] au comparat datele de supraveghere sporită din perioada 2005–2009 cu datele istorice. Autorii recunosc că aceste date nu sunt perfecte și se bazează în mare măsură pe locul în care căpușele sunt trimise schemei de supraveghere. Cu toate acestea, rapoartele noi repetate din zone în care istoric nu existau rapoarte au fost interpretate ca dovezi ale răspândirii căpușelor. Avantajul acestui sistem este că este o opțiune viabilă din punct de vedere economic pentru toate țările europene, deoarece singurele costuri sunt timpul necesar pentru identificarea specimenelor și înregistrarea datelor. Schema trebuie, în mod clar, să fie publicată pe scară largă pentru a elimina prejudecățile geografice și pentru a genera suficiente

date care să permită tragerea unor concluzii rezonabile. Acest tip de „supraveghere” poate fi susținut și prin studii sub formă de chestionar privind rapoartele persoanelor nespecialiste privind creșterea abundenței căpușelor sau răspândirea acestora [70]. O abordare multi-sursă pentru a analiza schimbările în distribuție în Norvegia a implicat compararea surselor de date istorice privind distribuția căpușelor din anii 1930 și 1980 cu diverse surse din secolul XXI, inclusiv: date despre incidența borreliozei Lyme și babesiozei bovine și date observaționale privind apariția căpușelor de la medicii veterinari, de la public prin surse media și de la vânătorii de cervide [67]. În Portugalia, distribuția la nivel național a *I. ricinus* este cunoscută ca fiind neuniformă, deși un program portughez de supraveghere pentru căpușe și boli transmise de căpușe care prezintă interes pentru sănătatea publică (REVIVE) a fost implementat din 2011 [88]. Se așteaptă ca acest lucru să dezvolte o bază robustă a distribuției speciilor pentru a facilita studiile privind posibila expansiune a căpușelor. Datele istorice fiabile privind distribuția căpușelor sunt valoroase pentru evaluarea schimbărilor în populațiile de *I. Ricinus* [29]. Din păcate, foarte puține țări europene au astfel de date. În schimb, incidența mușcăturilor de căpușe sau a bolilor transmise de căpușe tind să sugereze că abundența/distribuția căpușelor se schimbă. În Olanda nu sunt disponibile date istorice, dar există dovezi ale unei creșteri a mușcăturilor de căpușe în rândul oamenilor [1]. Factorii contributivi posibili sugerați sunt extinderea rezervațiilor naturale, o abundență crescută a faunei sălbatice, o reducere a utilizării pesticidelor în agricultură și silvicultură și schimbările climatice. Cu toate acestea, o creștere a numărului de mușcături de căpușe sau a cazurilor de boli transmise de căpușe poate fi legată pur și simplu de creșterea abundenței, mai degrabă decât de o răspândire crescută și implică adesea alți factori importanți cum ar fi expunerea umană la căpușe, așa cum s-a demonstrat în Turcia [89] și în mare parte a Europei [90]. Pe lângă dovezile expansiunii *I. Ricinus* în interiorul țărilor, există dovezi recente ale expansiunii a *I. ricinus* în noi teritorii din largul coastei. În unele țări nu există dovezi raportate ale unei expansiuni a distribuției *I. ricinus*. În Estonia, de exemplu, au existat colecții extinse de *I. Ricinus* pentru detectarea agenților patogeni încă din anii 1980. Deși s-au observat fluctuații ale abundenței căpușelor, nu au fost efectuate studii specifice privind modificarea abundenței sau distribuției (comunicare personală Irina Golovljova). În Letonia, *I. ricinus* este considerat în mare parte absent din părțile estice ale țării (unde *I. persulcatus* este mai frecvent) și nu există dovezi ale unei răspândiri recente (comunicare personală Antra Bormane). Cu toate acestea, modificările peisagistice menționate mai sus (atât pădurile recent regenerate cât și în

pădurile existente) din Letonia ar putea continua să afecteze abundența și distribuția căpușelor în viitor. La nivel european, VBORNET a început să cartografieze distribuția *I. ricinus* pe baza înregistrărilor publicațiilor din ultimii 10 ani și va actualiza aceste hărți pe baza unei compilări de date existente din diverse surse furnizate și partajate de membrii rețelei. Această resursă cartografică unică va forma baza pentru o mai bună documentare a extinderii ariei de răspândire a *I. Ricinus* și a altor specii de căpușe relevante pentru sănătatea publică.

### **Concluzii**

În răspândirea latitudinală și altitudinală a *I. Ricinus* sunt implicați mulți factori, precum și în schimbările în distribuția zonelor sale endemice anterioare. Factorii determinanți pot fi împărțiți în cei direct legați de schimbările climatice, cei legați de schimbările în distribuția gazdelor de căpușe, sau alte schimbări ecologice și schimbări induse antropogen. Acești factori sunt puternic interconectați și adesea nu sunt bine cuantificați. O mai bună înțelegere și cartografiere a răspândirii *I. ricinus* (și a modificărilor abundenței sale) sunt, esențiali pentru a evalua riscul răspândirii infecțiilor transmise de această specie. Supravegherea sporită a căpușelor, cu abordări armonizate, va permite comparații mai bune cu modificările tendințelor de distribuție la nivelul UE. Acest lucru va contribui la îmbunătățirea mesajelor privind riscul pentru sănătatea publică al bolilor transmise de căpușe către factorii de decizie, și către publicul larg.

## **Bibliografie:**

1. Hofhuis A, van der Giessen JWB, Borgsteede FHM, Wielinga PR, Notermans DW, van Pelt W: Lyme borreliosis in the Netherlands: strong increase in GP consultations and hospital admissions in past 10 years. *Euro Surveill* 2006, 11(6): E060629.5.
2. Hubalek Z: Epidemiology of Lyme borreliosis. *Curr Probl Dermatol* 2009, 37:31–50.
3. Rizzoli A, Hauffe HC, Carpi G, Vourc'h GI, Neteler M, Rosà R: Lyme borreliosis in Europe. *Eurosurveillance* 2011, 16(27):19906.
4. Milne A: The comparison of sheep tick populations. *Ann Appl Biol* 1943, 30:240–250.
5. Gern L, Moran Cadenas F, Burri C: Influence of some climatic factors on *Ixodes ricinus* ticks studied along altitudinal gradients in two geographic regions in Switzerland. *Int J Med Microbiol* 2008, 298(Supplement 1):55–59.
6. Milne A: The ecology of the sheep tick, *Ixodes ricinus*: microhabitat economy of the adult tick. *Parasitol* 1948, 40:14–34.
7. Perret JL, Guerin PM, Diehl PA, Vlimant M, Gern L: Darkness induces mobility, and saturation deficit limits questing duration, in the tick *Ixodes ricinus*. *J Exp Biol* 2003, 206:1809–1815.
8. Humair PF, Turrian N, Aeschlimann A, Gern L: *Borrelia burgdorferi* in a focus of Lyme borreliosis: epizootiologic contribution of small mammals. *Folia Parasitol* 1993, 40:65–70.
9. Humair PF, Turrian N, Aeschlimann A, Gern L: *Ixodes ricinus* immatures on birds in a focus of Lyme borreliosis. *Folia Parasitol* 1993, 40:237–242.
10. Humair PF, Postic D, Wallich R, Gern L: An avian reservoir (*Turdus merula*) of the Lyme borreliosis spirochetes. *Zent Bl Bakteriol* 1998, 287:521–538.
11. Tälleklint L, Jaenson TGT: Transmission of *Borrelia burgdorferi* s.l. from mammal reservoirs to the primary vector of Lyme borreliosis, *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae), in Sweden. *J Med Entomol* 1994, 31(6):880–886.
12. Craine NG, Randolph SE, Nuttall PA: Seasonal variation in the role of grey squirrels as hosts of *Ixodes ricinus*, the tick vector of the Lyme disease spirochaete, in a British woodland. *Folia Parasitol* 1995, 42:73–80.
13. Olsen B, Jaenson TGT, Bergstrom S: Prevalence of *Borrelia burgdorferi sensu lato* infected ticks on migrating birds. *App Environ Microbiol* 1995,

61(8):3082–3087. Medlock et al. *Parasites & Vectors* 2013, 6:1 Page 9 of 11  
<http://www.parasitesandvectors.com/content/6/1/1>

14. Hubalek Z, Anderson JF, Halouzka J, Hajek V: *Borreliae* in immature *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) ticks parasitizing birds in the Czech Republic.

*J Med Entomol* 1996, 33(5):766–771. 15. Hoodless AN, Kurtenbach K, Peacey M, Nuttall PA, Randolph SE: The role of pheasants (*Phasianus colchicus*) as hosts for ticks (*Ixodes ricinus*) and

Lyme disease spirochaetes (*Borrelia burgdorferi*) in southern England. *Game Wildlife* 1998, 15:477–489.

16. Schwarz A, Maier WA, Kistemann T, Kampen H: Analysis of the distribution of the tick *Ixodes ricinus* L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information Systems. *Int J Hyg Environ Health* 2009, 212(1):87–96.

17. Gray JS, Kahl O, Janetzki C, Stein J: Studies on the ecology of Lyme disease in a deer forest in County Galway, Ireland. *J Med Entomol* 1992, 29(6):915–920.

18. Medlock JM, Pietzsch ME, Patel NVP, Jones L, Kerrod E, Avenell D, Los S, Ratcliffe N, Leach S, Butt T: Investigation of ecological and environmental determinants for the presence of questing *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on Gower, south Wales. *J Med Entomol* 2008, 45(2):314–325.

19. Parola P, Raoult D: Tick-borne bacterial diseases emerging in Europe. *Clin Microbiol Infect* 2001, 7(2):80–83.

20. Milne A: The ecology of the sheep tick, *Ixodes ricinus* L. Host relationships of the tick. *Parasitol* 1949, 39:173–197.

21. Gassner F, Van Vliet AJ, Burgers SL, Jacobs F, Verbaarschot P, Hovius EK, Mulder S, Verhulst NO, Van Overbeek LS, Takken W: Geographic and temporal variations in population dynamics of *Ixodes ricinus* and associated *Borrelia* infections in The Netherlands. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2011, 11(5):523–532.

22. Fourie LJ, Belozero VN, Needham GR: *Ixodes rubicundus* nymphs are short-day diapause induced ticks with thermolabile sensitivity and desiccation resistance. *Med Vet Entomol* 2001, 15:335–341.

23. Randolph SE: Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by Ixodid ticks as vectors. *Parasitol* 2004, 129:S37–S65.

24. Perret JL, Guigoz E, Rais O, Gern L: Influence of saturation deficit and temperature on *Ixodes ricinus* tick questing activity in a Lyme borreliosis endemic area (Switzerland). *Parasitol Research* 2000, 86:554–557.
25. Randolph SE, Green RM, Hoodless AN, Peacey MF: An empirical quantitative framework for the seasonal population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*. *Int J Parasitol* 2002, 32(8):979–989.
26. Tersago K, Verhagen R, Vapalahti O, Heyman P, Ducoffre G, Leirs H: Hantavirus outbreak in Western Europe: reservoir host infection dynamics related to human disease patterns. *Epidemiol Infection* 2011, 139(3):381–390.
27. Lindgren E, Jaenson TGT: Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. In *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Edited by Menne B, Ebi KL. Geneva: Springer, Darmstadt & WHO; 2006:157–188.
28. Estrada-Peña A: Forecasting habitat suitability for ticks and prevention of tick-borne diseases. *Vet Parasitol* 2001, 98(1–3):111–132.
29. Estrada-Peña A, Farkas R, Jaenson TG, Koenen F, Madder M, Pascucci I, Salman M, Tarres-Call J, Jongejan F: Association of environmental traits with the geographic ranges of ticks (Acari: Ixodidae) of medical and veterinary importance in the western Palearctic: A digital data set. *Exp Appl Acarol* 2012, 28 [epub ahead of print].
30. Danielová V, Rudenko N, Daniel M, Holubová J, Materna J, Golovchenko M, Schwarzová L: Extension of *Ixodes ricinus* ticks and agents of tick-borne diseases to mountain areas in the Czech Republic. *Int J Med Microbiol* 2006, 296(Supplement 40):48–53.
31. Materna J, Daniel M, Metelka L, Harcarik J: The vertical distribution, density and the development of the tick *Ixodes ricinus* in mountain areas influenced by climate changes (The Krkonose Mts., Czech Republic). *Int J Med Microbiol* 2008, 298(Supplement 1):25–37.
32. Campbell JA: The life history and development of the sheep tick *Ixodes Ricinus* Linnaeus in Scotland, under natural and controlled conditions. PhD thesis. Edinburgh: University of Edinburgh; 1948.
33. Jouda F, Perret J-L, Gern L: Density of questing *Ixodes ricinus* nymphs and adults infected by *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Switzerland: spatio-temporal pattern at a regional scale. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2004, 4(1):23–32.

34. Jouda F, Perret J-L, Gern L: Ixodes ricinus density, and distribution and prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato infection along an altitudinal gradient. *J Med Entomol* 2004, 41(2):162–169.
35. Burri C, Moran Cadenas F, Douet V, Moret J, Gern L: Ixodes ricinus density and infection prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato along a North-facing altitudinal gradient in the Rhône Valley (Switzerland). *Vector Borne Zoonotic Dis* 2007, 7(1):50–58.
36. Morán Cadenas F, Rais O, Jouda F, Douet V, Humair P-F, Moret J, Gern L: Phenology of *Ixodes ricinus* and infection with *Borrelia burgdorferi* sensu lato along a north- and south-facing altitudinal gradient on Chaumont Mountain, Switzerland. *J Med Entomol* 2007, 44(4):683–693.
37. Rizzoli A, Merler S, Furlanello C, Genchi C: Geographical information systems and bootstrap aggregation (bagging) of tree-based classifiers for Lyme disease risk prediction in Trentino, Italian Alps. *J Med Entomol* 2002, 39(3):485–492.
38. Holzmann H, Aberle SW, Stiasny K, Werner P, Mischak A, Zainer B, Netzer M, Koppi S, Bechter E, Heinz FX: Tick-borne encephalitis from eating goat cheese in a mountain region of Austria. *Emerg Infect Dis* 2009, 15(10):1671–1673.
39. Gilbert L: Altitudinal patterns of tick and host abundance: a potential role for climate change in regulating tick-borne diseases? *Oecologia* 2010, 162(1):217–225.
40. Papa A, Pavlidou V, Antoniadis A: Greek goat encephalitis virus strain isolated from *Ixodes ricinus*, Greece. *Emerg Infect Dis* 2008, 14(2):330–332.
41. Papa A, Chaligiannis I, Xanthopoulou K, Papiokim M, Papnastasiou S, Storiaki S: Ticks parasitizing humans in Greece. *Vector Borne Zoonotic Disease* 2011, 11:539–542.
42. Omeragic J: Ixodid ticks in Bosnia and Herzegovina. *Exp Appl Acarol* 2011, 53(3):301–309.
43. Daniel M, Danielová V, Kríz B, Jirsa A, Nozicka J: Shift of the tick *Ixodes ricinus* and tick-borne encephalitis to higher altitudes in central Europe. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 2003, 22(5):327–328.
44. Danielová V, Schwarzová L, Materna J, Daniel M, Metelka L, Holubová J, Kříž B: Tick-borne encephalitis virus expansion to higher altitudes correlated with climate warming. *Int J Med Microbiol* 2008a, 298(Supplement 1):68–72.

45. Materna J, Daniel M, Danielová V: Altitudinal distribution limit of the tick *Ixodes ricinus* shifted considerably towards higher altitudes in central Europe: results of three years monitoring in the Krkonose Mts. (Czech Republic). *Cent Eur J Public Health* 2005, 13(1):24–28.
46. Bullová M, Lukáš B, Peřko: Zmeny rozšírenia kliešť'a obyčajného *Ixodes ricinus* v Západných Karpatoch Slovenska pod vplyvom klimatických zmien. In *Ecology and Veterinary medicine VII. 7th International Scientific Conference. Univerzita veterinárskeho lekárstva v Košiciach*; 2008:82–88.
47. Daniel M, Danielova V, Kríz B, Kott I: An attempt to elucidate the increased incidence of tick-borne encephalitis and its spread to higher altitudes in the Czech Republic. *Int J Med Microbiol* 2004, 293(Supplement 37):55–62.
48. Danielová V, Kliegrová S, Daniel M, Benes C: Influence of climate warming on tickborne encephalitis expansion to higher altitudes over the last decade (1997–2006) in the Highland Region (Czech Republic). *Cent Eur J Public Health* 2008, 16(1):4–11.
49. Danielová V, Daniel M, Schwarzová L, Materna J, Rudenko N, Golovchenko M, Holubová J, Grubhoffer L, Kilián P: Integration of a tick-borne encephalitis virus and *Borrelia burgdorferi* sensu lato into mountain ecosystems, following a shift in the altitudinal limit of distribution of their vector, *Ixodes ricinus* (Krkonose mountains, Czech Republic). *Vector Borne Zoonotic Dis* 2010, 10(3):223–230.
50. Dobson ADM, Randolph SE: Modelling the effects of recent changes in climate, host density and acaricide treatments on population dynamics of *Ixodes ricinus* in the UK. *J Appl Ecol* 2011, 48(4):1029–1037.
51. Sréter T, Széll Z, Varga I: Spatial distribution of *Dermacentor reticulatus* and *Ixodes ricinus* in Hungary: evidence for change? *Vet Parasitol* 2005, 128(3–4):347–351.
52. Széll Z, Sréter-Lancz Z, Márialigeti K, Sréter T: Temporal distribution of *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus* and *Haemaphysalis concinna* in Hungary. *Vet Parasitol* 2006, 141(3–4):377–379.
53. Šumilo D, Asokliene L, Bormane A, Vasilenko V, Golovljova I, Randolph SE: Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. *PLoS One* 2007, 2(6):e500.