

COOL INSEKTER ER I GOD BALANCE

Insekter har gennem evolutionen tilpasset sig til et liv i næsten alle miljøer på Jorden. Dansk forskning viser, at deres imponerende evne til at (over)leve i kolde og tempererede miljøer er knyttet til deres indre ion- og vandbalance

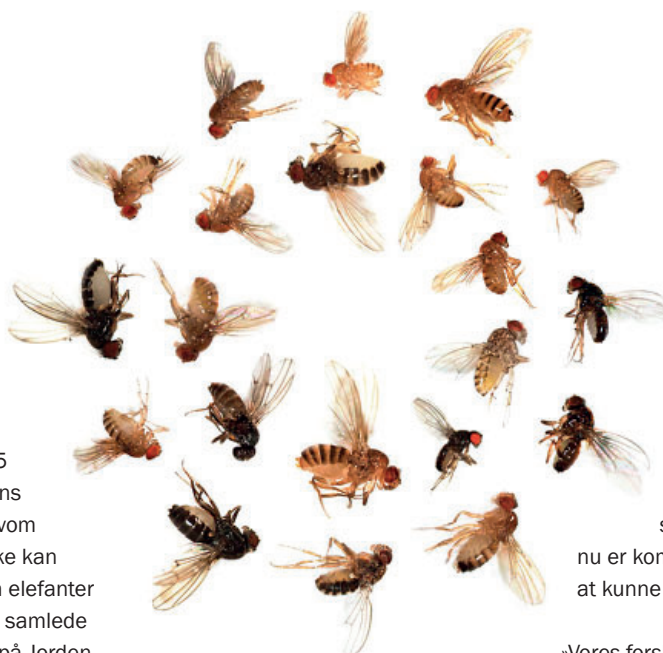


Foto: Heath MacMillan

Insekter udgør 75 procent af verdens dyrearter, og selvom de individuelt ikke kan måle sig med hverken elefanter eller blåhvaler, er den samlede biomasse af insekter på Jorden større end nogen anden dyregruppe. Deres økologiske og samfundsmæssige rolle er også enorm, blandt andet fordi insekter står for bestøvningen af mange planter og er centrale for mange økosystemers energikredsløb. I nogle tilfælde er insekter dog også dybt problematiske for samfundet, fordi de spiser afgrøder eller er i stand til at overføre sygdomme. Tænk bare på malaria.

Insekternes store succes på vores lille blå planet kan i høj grad tilskrives deres imponerende evne til at tilpasse sig alle de tænkelige temperaturforhold, som Jorden præsenterer dem for. Der findes insekter i nogle af klodens koldeste egne og insekter i ørknernes skoldhede varmegrader. Nogle insekter kan man fryse ned med flydende kvælstof og senere vække til live

igen ved at tø dem op. I den anden ende af spektret kan insekter som ørkengræshopper overleve op til 55 graders varme, og der findes myrearter, som ligefrem lukrerer på, at andre insekter ikke kan tåle ekstreme varmegrader. De har simpelthen tilpasset sig til at indsamle insekter, der er døde af varme, og trække dem tilbage i tuen.

Selvfølgelig kan alle insekter ikke leve overalt, men alle insekter har et spænd af temperaturer, som de er komfortable indenfor. Indtil nu har forskere dog ikke haft en særlig god forståelse for, hvad der er afgørende for et insekts temperaturtolerance. Noget skyldes simpel adfærd – at nogle arter simpelthen gemmer sig under Jorden eller i andre mikrohabitater, når det bliver for varmt eller for koldt. Noget andet er den artsspecifikke fysiologiske

temperaturtolerance, som danske forskere nu er kommet meget tættere på at kunne forstå.

»Vores forskning går ud på at forstå de fysiologiske tilpasninger, der gør, at nogle insektarter er i stand til at tåle kuldegrader, som andre insekter ikke kan. En bedre forståelse af disse fysiologiske tilpasninger gør os også bedre i stand til at forstå insekternes udbredelse, og det er meget vigtigt at have styr på, i takt med at Jordens klima skifter. Vi kan i fremtiden komme i situationer, hvor klimaet er ændret så meget, at det forskubber insekternes tilstedeværelse i givne områder med alle de konsekvenser, som det kan have for både landbrug og naturlige økosystemer,« fortæller professor Johannes Overgaard fra Biologisk Institut ved Aarhus Universitet.

Bananfluer fortæller om kuldetilpasning

Historisk har forskning i insekters kuldetilpasning fokuseret på de få, men fascinerende, arter, der tåler

Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com



DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Henrik Grum Kjærgaard. Læs mere på www.dff.dk

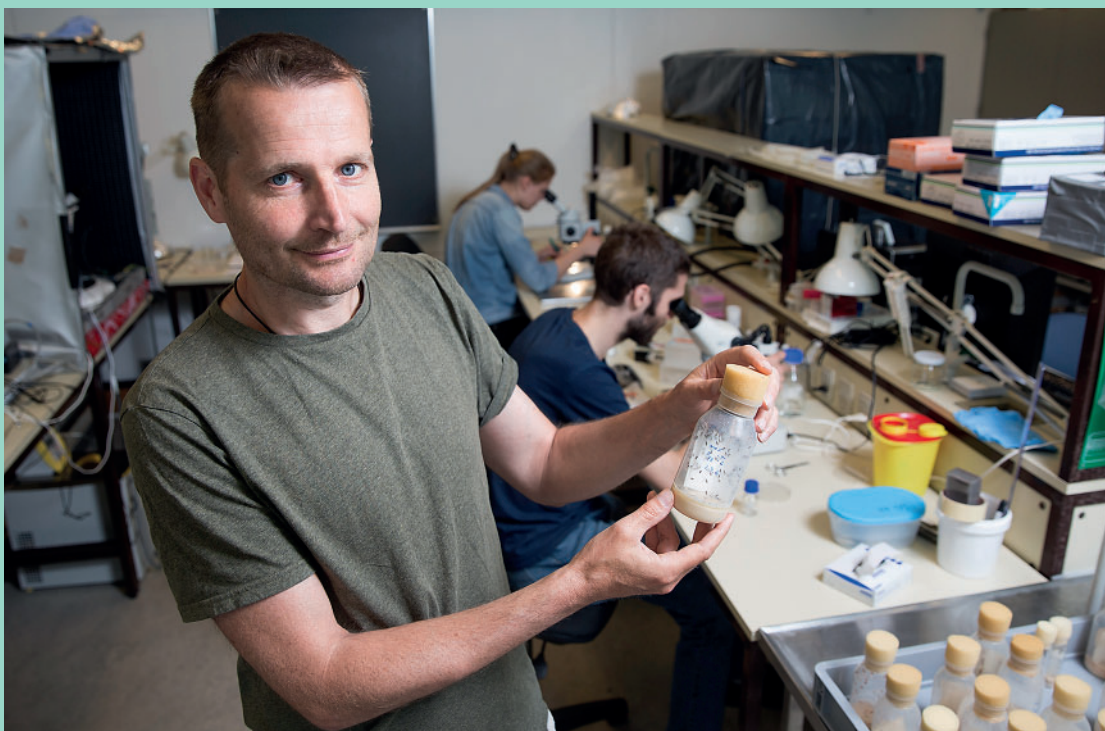


Foto: Lars Kruse, AU foto

Johannes Overgaard

Johannes Overgaard er professor ved Institut for Biologi, Aarhus Universitet, hvorfra han også er oprindeligt uddannet. Forskningen i insekters kuldebibliologi har været en central aktivitet i laboratoriet, hvor Johannes arbejder med støtte fra blandt andet Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers og i samarbejde med flere internationale grupper. Bevillingerne har også støttet uddannelsen af tre ph.d.-studerende og to postdocs, der har

studeret insekters kuldefysiologi. Alle fem er nu ansat ved andre Universiteter i Danmark, Canada eller Norge.

Foruden forskningen i insekters temperaturfysiologi arbejder Johannes Overgaard og hans gruppe med projekter omhandlende insekter som protein og energikilde eller med insekter som nyttedyr i fødevarerproduktionen, hvor de fungerer som skadedyrsbekæmpelse.

ekstremt lave temperaturer. Sådanne arter har helt specielle temperaturltilpasninger, som for eksempel tillader dem at overleve, selv når insekternes kropsvæsker fryser til is. Andre arter overlever ekstrem kulde ved at omdanne deres kropsvæske, så den populært sagt virker som antifrostvæske i biler. Så undgår de isdannelse og kan dermed overleve selv den koldeste vinter.

»Sådanne tilpasninger til livet under frysepunktet forklarer dog ikke, hvorfor nogle insekter dør allerede ved 15 eller 10 grader. Forskellene mellem tropiske arters temperaturltolerance og tolerancen i tempererede egne som Danmark har derfor sjældent noget med is at gøre, og det er omdrejningspunktet i vores forskning,« siger Johannes Overgaard.

Johannes Overgaard forklarer, at problemstillingen fint er illustreret i det komparative system, der udgør rygraden i hans egen forskning, nemlig bananfluen.

De fleste kender bananfluer (*Drosophila*) som små fluer, der er tiltrukket af gæret frugt og alkohol og summer rundt ved kompostbunken eller vandrer nysgerrigt på kanten af et vinglas på middagsbordet. Der findes mere end 1.500 arter af bananfluer, og langt de fleste lever i tropiske miljøer, hvor de aldrig oplever temperaturer under 10-15 grader.

Bananfluens evolutionære oprindelse er tropisk, men over de seneste 50 millioner år har flere arter af bananfluer udviklet evnen til at

overleve i koldere egne, således at visse arter kan findes så langt nordpå som Finland eller Canada.

»Ved at studere og sammenligne disse arters fysiologi kan man få indsigt i de fysiologiske tilpasninger, der er centrale for kuldetolerance – og i sidste ende derfor også udbredelsen af arterne,« forklarer Johannes Overgaard.

Kuldetolerance styres af ionbalance

Et centralt begreb i fysiologi er homøostase – altså evnen til fysiologisk at opretholde et ensartet og hensigtsmæssigt miljø for organismens celler trods variationer i omgivelserne.

For varmblodede dyr som menne-

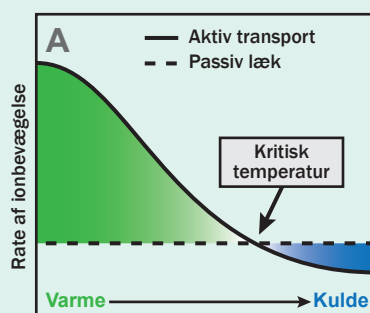
Kuldeskader og fysiologiske processer

Figuren viser en model af fysiologiske processer, der leder til kuldeskade i insekter. Modellen illustrerer, hvordan forskellige fysiologiske systemer er integrerede: Kapaciteten i et fysiologisk system (ion og væskeregulering af insekternes "nyre" og tarm) bestemmer forudsætningerne for funktionen af andre fysiologiske systemer.

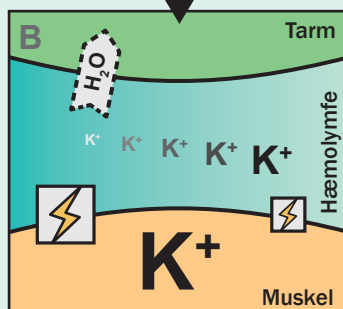
Den illustrerer også vigtigheden af at bevare homøostase – at organismens celler bedst fungerer, når der er stabile betingelser i deres omgivelser (ekstracellulær-væske).

Endelig illustrerer modellen, hvordan lave temperaturer sænker hastigheden af biokemiske og fysiologiske processer. Insekter, der er evolutionært tilpasset kulde, kan bedre opretholde homøostase ved lave temperaturer, fordi deres kapacitet for aktiv transport er bedre forsvaret ved lave temperaturer.

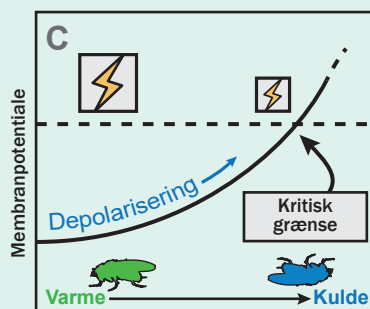
(A) Ved kritisk lave temperaturer vil insekters fysiologiske kapacitet for aktiv transport gradvist mindske, indtil de ikke længere er i stand til at modvirke den passive ion- og vand-transport over cellemembraner og mellem organsystemer.



(B) En utilstrækkelig fysiologisk kapacitet til at regulere ion- og væskebalance medfører ubalance (tab af homøostase), der blandt andet leder til en stigning i Kaliumkoncentrationen $[K^+]$ i ekstracellulær-væske.



(C) Stigning i ekstracellulær-væskens $[K^+]$ medfører et tab af den spændingsforskel, der forekommer over cellemembranen i muskel- og nerveceller. Denne "depolarisering" kortslutter cellernes evne til at danne aktionspotentialer og efterlader insekterne i et kuldekoma.



Illustrationen er lavet af Mads Kuhlmann Andersen, der i sin ph.d. har arbejdet med at klarlægge denne model for insekters kuldetolerance.

sker vil det for eksempel dreje sig om temperaturlbalance, væskebalance eller blodsukkerregulering, som vi løbende justerer via forskellige fysiologiske systemer som muskler, nyrer, lever osv.

Selvom insekter ikke regulerer kropstemperaturen fysiologisk, har deres organer også en vigtig regu-

latorisk rolle, så også deres celler oplever et passende stabilt miljø med hensyn til næringsstoffer, pH, tilgængelighed af ilt, ionkoncentration mm.

I sin forskning har Johannes Overgaard fundet ud af, at insekters kuldetolerance er særligt knyttet til insekternes evne til at opretholde

ionbalancen i den ekstracellulære væske, der er kropsvæsken, som omgiver de levende celler.

»Alle dyr bruger energi på at regulere deres kropsvæskers ionbalance, således at der skabes en reguleret, men uens, fordeling af ioner mellem rummet udenfor og indeni cellerne. Denne uens fordeling af ioner skaber grundlaget for den spændingsforskel over cellemembranen, der udnyttes i de elektriske signaler, som giver ophav til vores nervers og musklers funktion. Hvis ionkoncentrationerne i ekstracellulær-væske – altså væske der omgiver cellerne – ikke reguleres indenfor normale værdier, udfordrer det cellernes evne til at fungere normalt. Og det er netop her, at forbindelsen til kuldetolerance kommer ind i billedet,« fortæller Johannes Overgaard.

Kaliumbalance er essentielt for ikke at dø af kulde

Lige som de fleste dyr skal bananfluer også opretholde en høj koncentration af natrium og en lav koncentration af kalium i ekstracellulær-væske. Det er nødvendigt for at deres muskel- og nerveceller kan fungere. Denne balance er dog konstant udfordret, for eksempel i insekter der spiser plantebaseret kost, som er rig på kalium. Det vil sige, at insekterne i maven og tarmen har en høj koncentration af kalium, der hele tiden bevæger sig mod den ekstracellulære væske langs sin koncentrationsgradient.

Selv små ændringer i kaliumkoncentrationen i den ekstracellulære væske kan være meget problematiske. Det skyldes, at kaliumkoncentration og kaliumgradienten, altså forskellen mellem koncentrationer af kalium på hver sin side af en cellemembran, fastlægger membranpotentialet, der er den elektriske ladning hen over en cellemembran. Membranpotentialet er afgørende for, om cellerne overhovedet kan fungere. I gamle dage sprøjtede man eksempelvis kalium i hjertet på personer, der var dødsdømte. Det

var en simpel form for henrettelse, fordi det fik hjertet til at stoppe med at slå, i det øjeblik membranpotentialet i hjertets celler forsvandt.

For at modvirke dette må insektet derfor bruge energi på aktivt at fjerne eller regulere kaliumtransporten via transportsystemer i insekternes "nyre" (kaldet det Malpighiske rør) og i tarmvæggen.

Her kommer temperaturen i spil, fordi den hastighed, som proteiner aktivt kan transportere ioner med, er temperaturafhængig. Når det er varmt, er der rigelig transportkapacitet til at modvirke den passive transport af kalium mod ekstracellulærvæsken. Men når insekternes kropstemperatur falder, mister de også deres regulatoriske kapacitet og i sidste ende også evnen til at opretholde en fysiologisk fornuftig ionbalance.

»Sker der et misforhold mellem den passive og aktive transport på grund af for store temperaturændringer, vil det i sidste ende betyde, at membranpotentialet svinger. Uanset, om vi har kigget på kakerlakker, fluer, græshopper eller andre insekter, vil deres kaliumbalance blive forstyrret, når vi udsætter dem for kulde. For nogle arter sker det ved nul grader, mens det for andre arter sker ved 10 grader,« forklarer Johannes Overgaard.

I forskningen har Johannes Overgaard undersøgt, hvordan iontransport mellem tarmen og de intra- og ekstracellulære væsker har betydning for insekters kuldetolerance. Den forskning viser blandt andet, at kuldeterante arter er langt bedre til at opretholde en aktiv transport af ioner ved lav temperatur.

»De er derfor bedre til at fastholde aktivitetsniveauer, men også transportere de rigtige ioner for at opretholde homøostase. Der er en direkte kobling mellem det at være god til at transportere ioner og dermed opretholde ionbalancen i den ekstracellulære væske og det at være kuldeterant,« siger Johannes Overgaard.



Mads Kuhlmann Andersen arbejder med fluerne under mikroskopet i laboratoriet.

En verden af insekter

Insekter er den mest succesfulde dyregruppe på planeten. Indtil videre har forskere identificeret og navngivet omkring 1,5 millioner organismer, og af dem er cirka to tredjedele insekter. Forskere er dog langt fra færdige med at finde og navngive nye arter af dyr, og det estimeres, at det sande antal af forskellige organismer på Jorden er tæt på ni millioner. Formentlig er 90 procent af dem insekter.

Af de mange insektarter er billerne den mest biodiverse gruppe med 380.000 beskrevne arter indtil videre. Det er omkring 40 procent af alle beskrevne insekter. Myrerne er dog den gruppe af insekter, som der formentlig er flest af. Det estimeres, at der for hvert menneske på Jorden findes 1,4 mio. myrer.



Et par eksemplarer af *Belgica antarctica* – en lille vingeløs flueart – som er det eneste insekt, der findes året rundt i Antarktis og dermed kan overleve de ekstreme forhold der. Foto: Public domain.

Trækker tarmen ud af insekterne

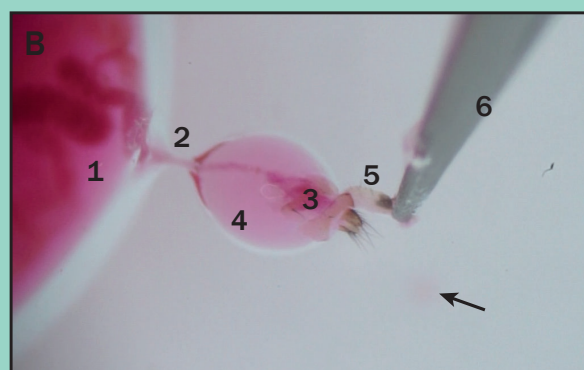
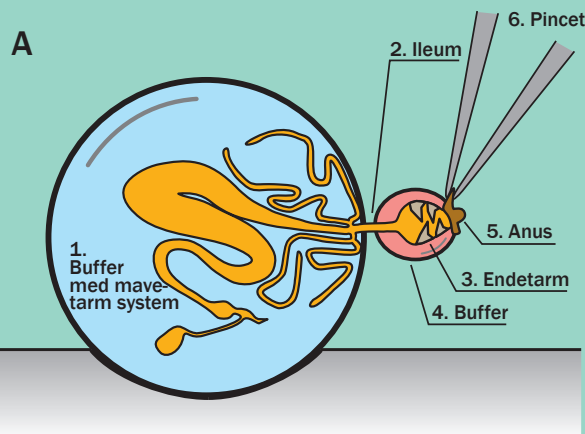
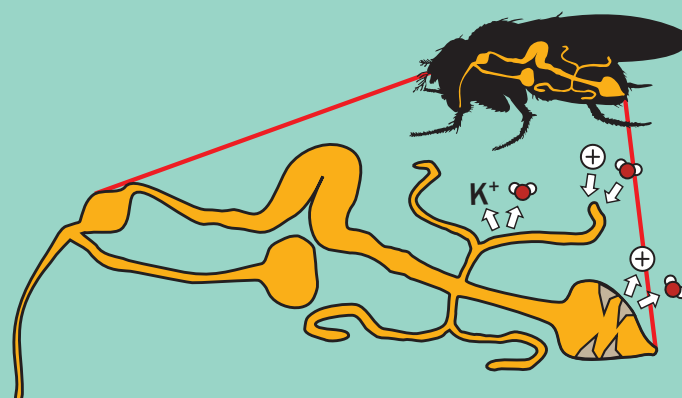
Når forskerne i Johannes Overgaards forskningsgruppe skal undersøge insekternes evne til at kontrollere kaliumtransporten ved forskellige temperaturer, gør de meget simpelt det, at de trækker tarmen ud af insekterne – fra bagenden til munden.

Derefter placerer forskerne tarmen i en lille boble af olie med den samme koncentration af ioner som i den ekstracellulære væske. Efterfølgende trækker forskerne den bagerste del af tarmen ud af boblen og placerer den i en anden væskeboble.

Sammen med den forreste del af tarmen sidder de såkaldte Malpighiske rør ("insekternes nyrer"), som primært fjerner ioner og vand, hvilket medvirker til at regulere ion- og væskebalancen. I den anden lille væskeboble er bagtarmen isoleret, og ved at måle, hvordan ionkoncentrationer og væskevolumen i den lille væskeboble ændrer sig, kan forskerne undersøge, hvor meget væske og hvor mange ioner, der re-absorberes. Denne metode kan dermed bruges til at studere de aktive og passive transportmekanismer, der regulerer insekternes homeøstatiske balance. De kuldesensitive arter mister hurtigt evnen til at transportere kalium, når temperaturen falder, mens de kuldetolerante arter bliver ved med at opretholde den.

Forskerne kan endda måle disse processer i selv meget små insekter som bananfluer (bananfluer vejer typisk fra 0,5 til 4 milligram), og de har fundet en meget klar sammenhæng mellem at kunne tåle kulden og være i stand til at opretholde kaliumbalancen hen over tarmen.

Figurer og foto: Mads Kuhlmann Andersen, der i sin ph.d. udviklede denne metode til at studere ion- og væsketransport over tarmen.



Johannes Overgaard har med sin forskningsgruppe udviklet en måde at undersøge, hvor gode insekter er til at opretholde ionbalancen ved forskellige temperaturer. Teknikken går ud på, at forskerne opererer tarmen ud af insekterne og studerer den under et mikroskop i forskellige væsker (se faktaboksen).

Kan sige noget om fremtidens udbredelse af insekter

Når der gælder fremtidens udbredelse af insekter, er der nogle, vi meget gerne vil beholde. Det gælder alle dem, som bestøver blomster og afgrøder. Dem kan vi ikke leve uden. Omvendt vil vi gerne

regulere bestanden af for eksempel malariamyg, der har millioner af menneskeliv på samvittigheden.

Hvis vi skal starte med dem, som vi gerne vil regulere, kan en mekanistisk forståelse af insekternes interne regulering af iongradierter pege på mål, som vi kan udnytte til at angribe dem på et meget artsspecifikt niveau. Blandt andet kan man forestille sig, at man kan angribe insekters nyrefunktion og dermed vandbalance med pesticider, som i essensen får insekterne til at udskille så meget vand, at de tisser sig selv ihjel. Andre danske forskere, for eksempel Kenneth V. Halberg fra Københavns Universi-

tet, forsker eksempelvis i udviklingen af sådanne typer pesticider. Den slags pesticider kan være meget interessante, fordi de meget præcist går efter en insekt-specifik funktion, endda i bestemte arter, og dermed er meget miljøvenlige og skånsomme over for de insekter, som vi ikke nødvendigvis vil af med.

På den anden side vil vi også meget gerne bevare langt størstedelen af verdens mangfoldighed af insekter. Deres økologiske funktion er simpelthen for vigtig, til at den må gå tabt. Kaster man et blik ud over Europa, ser det dog særdeles sort ud, da studier peger på at vi over de

sidste 30-40 år har mistet op mod tre fjerdele af insekterne (målt som total antal individer). Pesticider og skovrydning for at lave landbrug er formodentligt de primære årsager til denne tilbagegang. Fremadrettet kommer klimaforandringer dog til at sætte insekter under yderligere pres, og så er det vigtigt at vide, hvordan de enkelte arter er tilpasset til skiftende temperaturer for på den måde at kunne forudsige, hvilke arter der kommer særligt under pres.

Foruden de fysiologiske studier af temperaturtolerance arbejder Johannes Overgaard sammen med kollegaer på at udvikle matematiske modeller, der kobler insekternes temperaturtolerance sammen med modeller for fremtidens klimaforandringer. De modeller kan være med til at forudsige, hvilke insekter vi vil have i Europa om 20 eller 50 år, og hvilke vi desværre nok må sige farvel til. Derudover kan modellerne også give en indikation af, hvilke insekter der førhen har fundet Europa for koldt, som nu vil have mulighed for at kunne etablere sig her.



Bananfluer (*Drosophila*) bruges meget i forskning, da de er lette at holde i laboratorier og er gode til formere sig. Foto: Shutterstock.

»Ved at forstå grænserne for kuldetolerance kan vi lave bedre modeller for, hvilke arter der bør forventes at være i eksempelvis Europa i fremtiden. Disse modeller tager ikke kun de absolutte kuldetolerancer i betragtning, men også i hvor lang tid insekterne kan tåle at leve ved givne temperaturer. Et interessant perspektiv i den sammenhæng er, at der også er en direkte kobling

mellem insekters kuldetolerance, og hvor hurtigt en population af insekter vokser. Det kan godt være, at nogle insekter kan tåle meget lave temperaturer, men hvis det går så meget ud over de biologiske processer, som ligger til grund for populationens vækst, kan blot få graders ændring i temperatur betyde, at nogle arter knækker nakken,« siger Johannes Overgaard. ■

Videre læsning

J Overgaard, HA MacMillan; The integrative physiology of insect chill tolerance, Annual review of physiology 79, 187-208.

J Overgaard, L Gerber, MK Andersen; Osmoregulatory capacity at low temperature is critical for insect cold tolerance, Current Opinion in Insect Science 47, 38-45.



sdu.dk/ing #sduing

Girls in Engineering TECH Challenge for piger

I denne TECH Challenge dykker vi ned i ingeniørens verden og retter et særligt fokus på vindmølleindustri og -udvikling. Vi slår ned på flere aspekter af vindmølleproduktion, så uanset om man har interesse for specialiserede områder såsom materialeudvikling, vingedimensioner eller projektlederdelen med fokus på bredden, giver denne camp mulighed for at prøve kræfter med ingeniørernes verden i vindmølleindustrien.

Dagen er tilpasset almindeligt gymnasieniveau og er opbygget som en business case, hvor man kommer til at dyste om at skabe den bedste, mest innovative eller på en helt tredje måde mest interessante vindmølle. Deltagelse er gratis, og vi sørger for forplejning.

Hvornår? Lørdag den 6. november fra kl. 09.00-17.00.

Hvor? Afholdes på SDU i Odense og Sønderborg.

Tilmelding her: www.sdu.dk/gie