



Honungsbi, dödskallesvärmare, kal skogsmyra, vårglimmerfluga och grön vårtbitare. Nedan: asiatisk jätteblålgeting. Svärmaren och getingen är ungefär i naturlig storlek men de övriga är mer eller mindre förstörade.
FOTO: Göran Liljeberg

Hur lär vi känna världens insekter?

Kunskapen om världens insekter ökar snabbt tack vare DNA-baserade metoder. Forskare vid Sveriges lantbruksuniversitet samt Naturhistoriska riksmuseet har tagit fram ett undervisningspaket för biologilärare som vill visa eleverna hur forskningen om insekter kan gå till, från sortering och laboratortekniker till DNA-streckkodning.

TEXT: Tomas Roslin, professor (tomas.roslin@slu.se), Nicolas Chazot, universitetslektor och Mariana Pires Braga, forskare, alla vid institutionen för ekologi och enheten för insektsekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) samt Elzbieta Iwaszkiewicz-Eggebrecht, forskare vid Naturhistoriska riksmuseet

Insekterna får jorden att gå runt: de sprider frön; pollinerar växter; håller koll på varandra; städar upp as, spillning och allt möjligt (se även artikeln *Naturens väv* på sidorna 16–19). Dessutom erbjuder de mat för andra djur. De flesta djur i naturen är faktiskt insektsätare, och det som får flyttfågeln att strömma till Sverige på sommaren är mängden insekter. Men trots mer än 250 år av flitigt arbete har forskarna fortfarande skrapat bara lite lätt på ytan av allt liv på planeten. Att hitta en ny insektsart är faktiskt lätt! Men arterna är så många och så sällsynta att vi måste gå igenom miljarder insekter från hundratusentals olika platser för att hitta dem alla. Precis hur svårt det kan vara kan man upptäcka genom att själv försöka

skilja mellan insekterna i bara ett litet prov från närmaste äng eller skog. De är hur många som helst, och de flesta av dem är små och väldigt lika varandra. Tänk dig då att sortera upp miljarder insekter från världens alla hörn!

Det här betyder att tidigare metoder för att styra upp mångfalden helt enkelt inte fungerar. Tills alldeles nyligen har vi varit tvungna att skärskåda varje individ och jämföra den med beskrivningarna av alla tänkbara arter för att fastställa vilken art det är. Det tillvägagångssättet infördes av Carl von Linné på 1700-talet. Han inledde det enorma arbetet med att beskriva och namnge alla världens arter, en efter en.

Att Linné alls vågade ge sig på den uppgiften har sin förklaring:

han trodde att naturen var mycket enklare än den är. Linné själv uppskattade att det fanns ungefär 1 000 insektsarter i Sverige, och totalt kanske 20 000 djurarter i hela världen. Men 250 år senare (år 2017) hade hela 27 384 insektsarter påträffats (och namngetts) i Sverige, och antalet insektsarter i hela världen uppskattats till omkring 5,5 miljoner*. Av dem är ungefär en miljon beskrivna av vetenskapen.

Att beskriva en ny art tar tid. För att inte olika arter ska blandas ihop krävs en ingå-

* Stork, N.E. (2018) How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63, s. 31–45

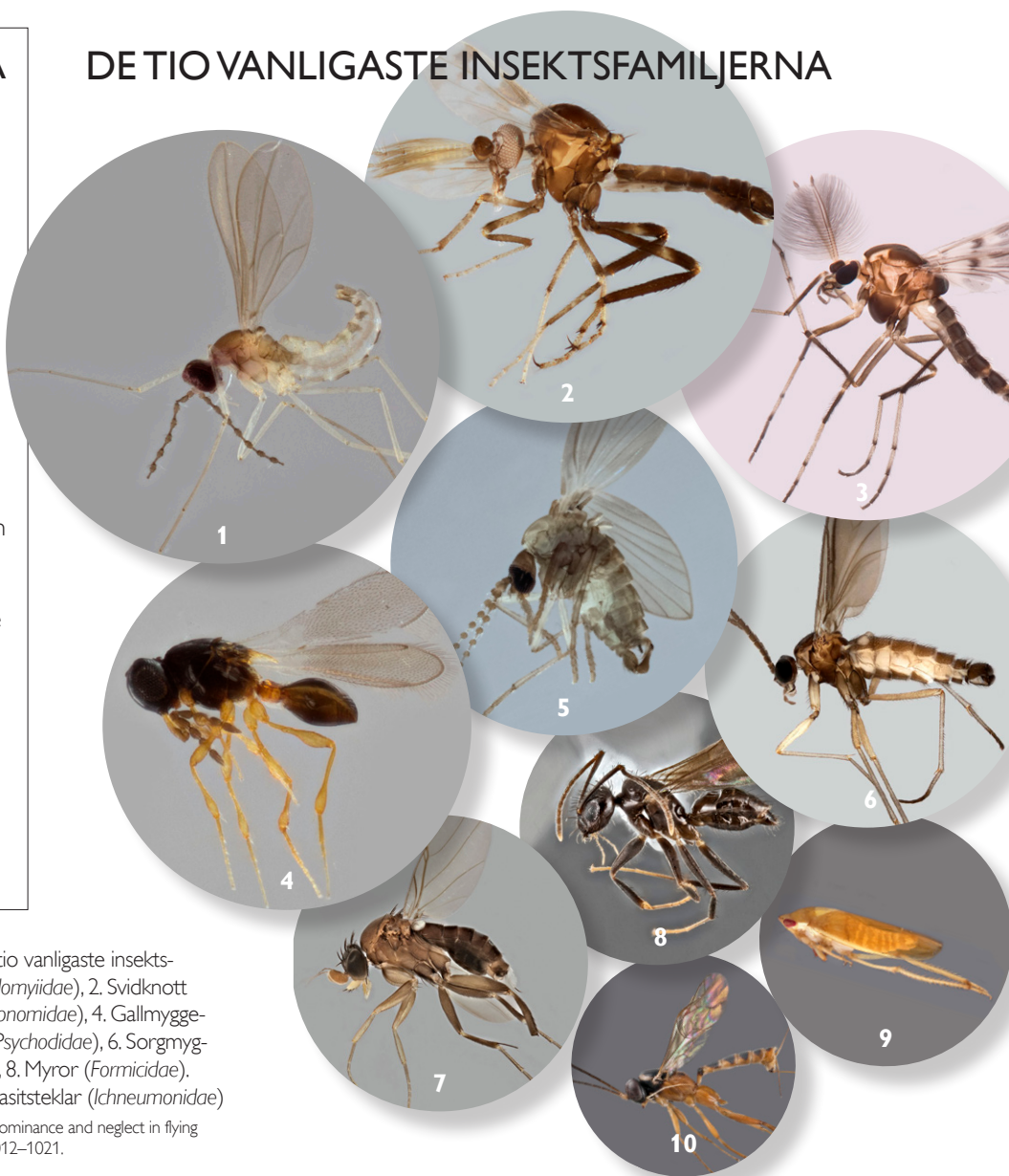


UTMANINGARNA

Det är framförallt tre utmaningar som gör det så svårt att få koll på alla insekter:

- **Många.** Insekterna är så många. En färsk studie visar att det går ungefär 250 miljoner myror på varje människa på jorden. Och myrorna är bara en insektsgrupp bland väldigt många.
- **Lika.** Många insekter är så lika varandra. De mest artrika och talrika insektsgrupperna består av arter som är små och snarlika varandra (se bilderna här bredvid). Tyvärr betyder det också att de allra vanligaste insekterna samtidigt är de minst studerade.
- **Sällsynta.** De flesta insekter är sällsynta. Av alla insektsarter på jorden har de flesta faktiskt bara påträffats på en enda plats, och ofta i en eller ett fåtal individer.

DE TIO VANLIGASTE INSEKTSFAMILJERNA



Bilderna visar exempel på arter från de tio vanligaste insektsfamiljerna i världen: 1. Gallmyggor (*Cecidomyiidae*), 2. Svidknott (*Ceratopogonidae*), 3. Fjädermyggor (*Chironomidae*), 4. Gallmyggesteklar (*Platygastridae*), 5. Fjärilsmyggor (*Psychodidae*), 6. Sorgmyggor (*Sciaridae*), 7. Puckelflugor (*Phoridae*), 8. Myror (*Formicidae*), 9. Dvärgstritar (*Cicadellidae*), 10. Brokparasitsteklar (*Ichneumonidae*)

KÄLLA: Srivathsan A. m.fl. (2023) Convergence of dominance and neglect in flying insect diversity. *Nature Ecology & Evolution*, 7(7), s. 1012–1021.

ende beskrivning av alla artens kännetecken. Dessutom måste en typindivid utses, som man kan jämföra med om det uppstår oklarheter. Men även om vi hittar och beskriver en ny art om dagen skulle det ta oss drygt 12 000 år att beskriva de omkring 4,5 miljoner insektsarter som återstår.

Nya metoder

För att lägga i en högre växel övergår nu många forskare till helt nya och DNA-baserade metoder. Istället för att vrida och vända på varje insekt vill man inrikta sig på enkla och entydiga kännetecken som finns inskrivna i arternas genom. Fokus ligger på bestämda gensekvenser som varierar bara lite mellan olika

individer av samma art, men som skiljer sig mer mellan individer av olika arter – som den mitokondriella genen *cytokrom c-oxid subenhet 1 (COI)* för insekter och andra djur.

Genom att först avläsa (sekvensera) genen av intresse i det prov man vill identifiera kan man därefter matcha den mot samma gen hos olika arter. Principen är precis densamma som när man avläser en streckkod på en vara i butiken för att fastställa vad den är (och vad den kostar). Därför kallas tekniken DNA-streckkodning (läs mer om detta i Bi-lagan nr 1 2014).

Hur många gener man vill jämföra med är valfritt. Om bara sekvenseringsmetoderna utvecklas tillräckligt kan vi jämföra hela

genom, eller stora delar av dem.

Den hastighet med vilken man kan avläsa gener utvecklas faktiskt ännu snabbare än till exempel datorernas beräkningskapacitet och redan idag är det ganska billigt att sekvensera DNA. Vi kan läsa av de centrala generna för alla individer i ett prov på tusentals insekter för några hundra kronor.

När gensekvenserna ska jämföras med "streckkoder" för kända arter används stora referensbibliotek. Det största finns i en jättestor databas som är tillgänglig för alla: *Barcode of Life Data System (BOLD)*, se www.boldsystems.org. Det här biblioteket innehåller DNA-sekvenser från ungefär 15 miljoner individer och 1 miljon arter – men av dem saknar en del ännu formella vetenskapliga namn.



Tistelfjäril ovan, läderbagge till höger.
FOTO: Göran Lilljeberg

En fråga vi forskare som är verksamma inom detta område ofta får är vad vi gör med insekter som saknas i referensbiblioteket.

Om nu ungefär fyra av fem insektsarter inte ens hittats än, då är det ju garanterat så att alla större insektsprover kommer att innehålla kryp som vi inte kan matcha mot någon känd sekvens? Visst är det så – men vi kan fortfarande använda vår kunskap om hur mycket variation det förekommer i DNA-sekvenser mellan olika individer av samma art jämfört med variation mellan arterna. Utgående från den kunskapen kan vi dela in våra sekvenser i grup-

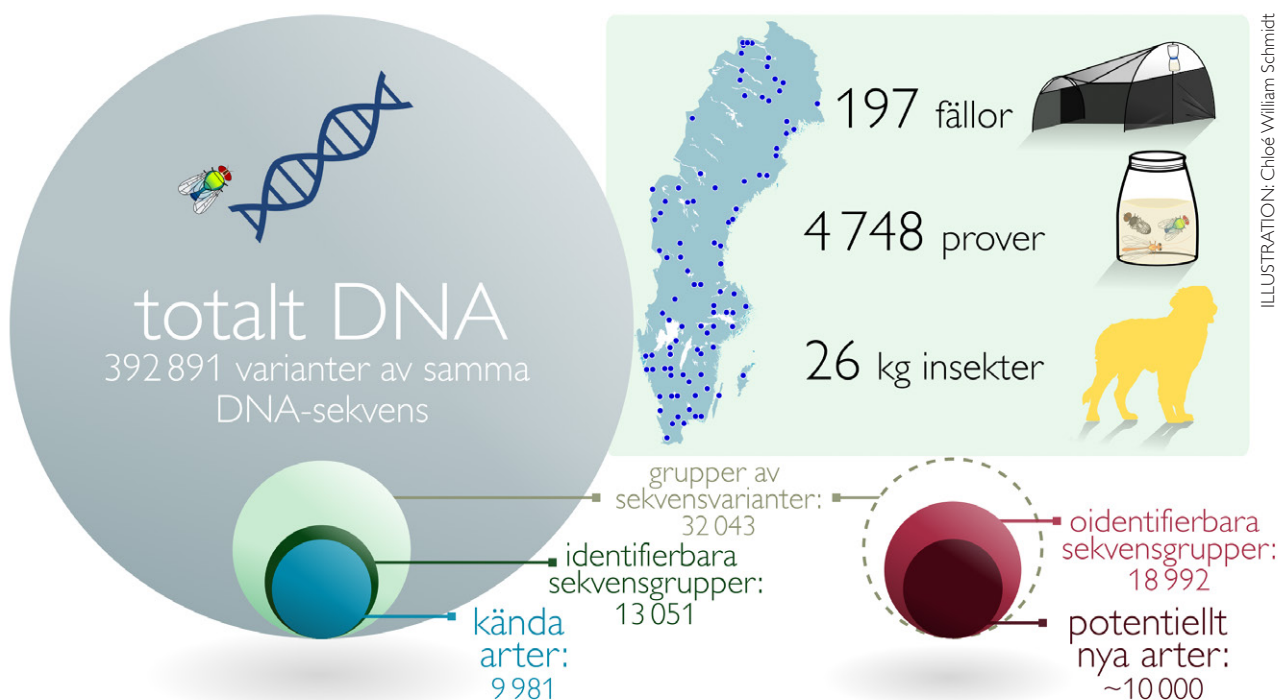
per som motsvarar arter. Bland dessa grupper kan vi sätta riktiga namn på dem som vi hittar i referensbiblioteket, medan de andra får provisoriska namn. Sedan kan de forskare som vill namnge nya arter inrikta sig på de sekvenser som saknar formella namn. Det här erbjuder ett helt nytt sätt att effektivt gå igenom världens biodiversitet.

Hur väl streckkoderna fungerar har vi visat med en jättestor studie av Sveriges insekter, som beskrivs i figuren nedan. På ett år hittade vi nästan 10 000 nya insektsarter i Sverige! Att det här är viktigt är lätt att begripa. Det betyder att vetenskapens uppfattning om Sveriges kanske viktigaste organismer är urusel – trots att faunan i Sverige är alldeles ovanligt välkänd jämförd med de flesta

andra delar av världen. Hur ska vi då kunna förstå hur naturen fungerar, följa miljöns tillstånd, uppskatta antalet hotade arter och så vidare? Samtidigt visar vår studie att allt detta äntligen blivit möjligt, tack vare våra nya metoder.

En spännande tid

Vad den senaste forskningen visat är att flertalet av världens arter är nästan helt okända. Speciellt gäller detta insekterna, som hör till naturens viktigaste organismer. Att styra upp nuläget kräver ny teknologi men också nya sätt för forskarna att samarbeta. Nu har vi äntligen båda delarna. Precis nu är den mest spännande tiden någonsin inom forskningen kring naturens mångfald!



SVERIGES OKÄNDA INSEKTER AVSLÖJADE MED STRECKKODER

I projektet *Insect Biome Atlas* (www.insectbiomeatlas.org), lett av professor Fredrik Ronquist vid Naturhistoriska riksmuseet, samlade vi insekter i hela Sverige. Totalt ställde vi ut 197 stycken så kallade Malaisefällor i olika delar av Sverige, och sedan bidrog 150 frivilliga naturentusiaster med att tömma fällorna varje vecka i ett helt år (2019). Totalt fick vi ihop 4 748 prover. De här proverna innehöll 26 kg insekter (lika mycket som vikten hos en större hund!), eller uppskattningsvis cirka 3,3 miljoner insektsindivider. Bland dem hittade vi 392 891 olika varianter av genen *cytokrom c-oxidas subenhet 1 (CO1)*. Sekvensvarianterna kunde vi dela upp i 32 043 grupper som ungefär motsvarar arter. Men av dessa kunde vi bara identifiera 13 051 grupper och 9 981 arter med hjälp av befintliga referensbibliotek. Sammanlagt saknades alltså cirka 20 000 grupper (eller "arter") i referensbiblioteken. Av dem är ungefär hälften sannolikt nya för vetenskapen. (Om vi hade fler fällor eller om vi kunde fortsätta under en längre tid så skulle vi naturligtvis hitta ännu fler nya insektsarter.)

UNDERVISNINGSMATERIAL SOM GER INBLICK I FORSKNINGEN

För att eleverna ska uppfatta de utmaningar som forskningen står inför – men också de metoder som dagens forskare använder för att förstå naturens myller – har vi sammanställt ett undervisningspaket med fyra moment. Först sorterar klassen insekter från den egna närmiljön. När eleverna sett hur svårt och tidskrävande det är går de över till molekylära metoder. Slutligen lär de sig identifiera gensekvenser genom att jämföra dem med ett referensbibliotek.

Bäst lämpar sig materialet för en gymnasieklass som redan vet vad DNA och gener är för något. Att köra igenom alla momenten tar 1–2 lektioner. Detaljerade instruktioner, lärarhandledning, presentationer och fördjupande material finns på webbplatsen www.slu.se/DNAinsekter.

1. Sortera insekter

För att få en uppfattning om insekternas mångfald börjar eleverna med att granska insekterna i några insektsprover insamlade i närheten av skolan. Hur man kan samla in insekter beskriver Mats Jonsell i Bi-lagan nr 3 2021. Se även vår webbplats för vidare handledning.

I klassrummet (eller i fält) får eleverna sortera upp insekterna i så många olika "arter" de kan urskilja. Om skolan har en sterolupp blir det extra spännande, för då kan eleverna se alla krypen på nära håll, och fundera på hur deras olika former och färger avspeglar hur de lever och vad de gör i naturen. Att tävla om att hitta flest brukar bidra till iver, och att få visa sina coolaste fynd för de andra!

2. Extrahera DNA

Här får eleverna utgå från en blandning av insekter och andra substrat med högt DNA-innehåll, och utvinna DNA med några enkla köksredskap. Resultatet blir en klar sträng av DNA som syns tydligt.

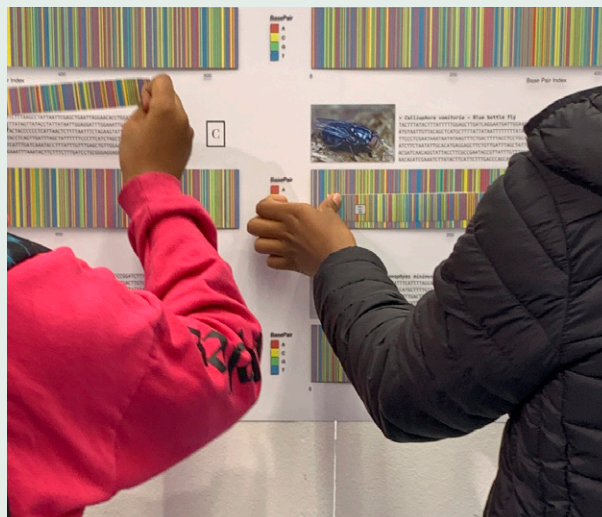
3. DNA-sekvensering

Här förklaras hur man sekvenserar DNA i en steg-för-steg-beskrivning.

Att sekvensera DNA är lättare än man tror. Idag kan man köpa en egen apparat att koppla till en vanlig bärbar dator – för bara 20 000 kronor. Vill man slå på stort och ta reda på miljarder sekvenser får man räkna med tilläggsutgifter på cirka 15 000 kronor. För väldiga mängder DNA-sekvenser från tusentals insekter kör de flesta forskare än så länge med dyrare utrustning.

4. Identifiera streckkoder

Genom att jämföra okända sekvenser med ett referensbibliotek får eleverna pröva på hur det går till att identifiera DNA-sekvenser. Det här är exakt detsamma som vi forskare gör för miljontals sekvenser, men då använder vi förstas datorer. Datorn gör detsamma som eleverna!



SciFest 2023. FOTO: Anna Lundmark

Erfarenheter och etik

Undervisningsmaterialet utarbetade vi för SciFest i Uppsala 2023. Evenemanget hade 6 200 nyfikna besökare, varav en god del stannade upp vid vår monter. För de grupper som tog sig tid gick vi igenom hela programmet som en helhet men det fungerade även bra att bara förklara enskilda delar:

Att sortera insekter intresserade ungdomar (och vuxna) i alla åldrar. Också streckkodningen väckte stort intresse – även om det var klart att den yngre publiken saknade den bakgrund som behövs för att koppla ihop de färgglada streckkoderna med DNA. Alla åldersgrupper tog sig dock glatt an uppgiften att matcha streckkoder med referensbibliotek och var stolta när de lyckades identifiera en art. För merparten av besökare var blotta upplevelsen av att titta på insekternas mångfald – eller att se en insekt under förstoring – en riktig ögonöppnare. Hos många (speciellt inom kompisgrupper) var spontanreaktionen "vad äckligt!", medan de därefter stannade kvar med uppenbar fascination.

Här fann vi det viktigt att fånga upp de frågor som väcktes, och att diskutera varför insekterna ser ut som de gör; att visa på skillnaden mellan insekter och andra leddjur (som spindlar), att förklara hur insekterna uppfattar världen med sina olika ögon och antenner; att peka på öron på konstiga ställen (som på gräshoppornas ben), att diskutera varför till exempel en spindel kan ha så många ögon (och hur den använder dem) och så vidare. Detta gällde alla åldersgrupper; och vi tror att just den här sortens frågor kan ge en intuitiv inblick i hur insekternas mångfald har uppkommit och hur många sätt det finns att vara en insekt.

Under SciFest visade vi insekter vi samlat på ängarna kring Uppsala och därefter frusit ner. En mindre andel besökare ställde frågor om hur berättigt det kan vara att döda insekterna för att studera dem. Liknande frågor kan förvisso väckas av de siffror som framgår i figuren på föregående sida. Att ta upp de här aspekterna ser vi som både viktiga och berikande infallsvinklar på modern naturvetenskap. På vår webbplats finns därför fördjupande material för en etisk diskussion, som lyfter fram olika aspekter av att arbeta med både levande och döda insekter. Med klassen går det förstås lika bra att titta på levande som döda kryp.