



Brug Botanisk Have
i undervisningen



Brug Botanisk Have i undervisningen
Redaktion: Dorte Hammelev og Rikke Macholm

© Anne Adsersen, Henning Adsersen, Jens I. Find, Signe Frederiksen,
Dorte Hammelev, Bo Johansen, Henning Knudsen, Peter Krogstrup,
Jørgen Lobedanz, Ole B. Lyshede, Rikke Macholm, Kirsten Bruhn
Møller, Jette Dahl Møller, Gitte Pedersen, Ole Seberg, Ulrik Søchting,
Marten Sørensen og Bioformidling

Omslagsfoto: Jan Herrstedt

Vignetter: Jette Dahl Møller (kap. 6), Jørgen Lobedanz (kap. 10),
Henning Knudsen (kap. 12) og Ulrik Søchting (kap. 13). Alle andre:
Jan Herrstedt.

Illustrationer til Kapitel 2: Peter Krogstrup

1. udgave, 1. Oplag 2010
ISBN 978-87-994278-0-2
Oplag 1.000 eksemplarer

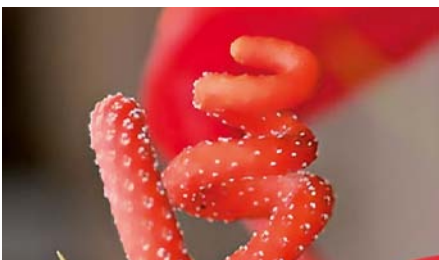
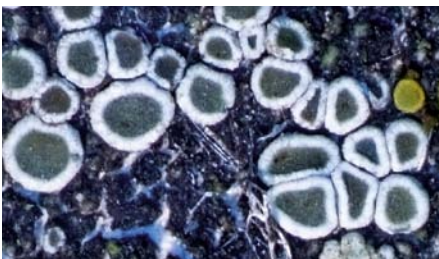
Udgiver: Bioformidling, Dorte Hammelev
Sønderengen 112, 2870 Dyssegård
e-mail: dorte@centrum.dk

Hæftet er produceret med støtte fra Erik Birger Christensens Fond

Grafisk tilrettelægning: Indtryk, 8639 8580
Tryk: Økotryk

Det er tilladt at citere artiklerne med tydelig kildeangivelse. Kopiering
fra dette hæfte må kun finde sted på institutioner, der har indgået
aftale med Copy-Dan og kun inden for de i aftalen nævnte rammer

Forsidebillede: Storkenæb (*Geranium* sp.), "Blomsten og bien"



INDHOLD

Brug Botanisk Have i undervisningen	1
Botanisk Have som Noahs ark for planter	5
Planter bevæger sig	11
Blomster i forplantningens tjeneste	16
Genetisk styring af blomsterdannelsen	22
Planters overlevelsesstrategier	27
Eksotiske krydderier	31
Plantestoffer i krig og kærlighed	37
Jagten på plantestoffer	40
Tropisk regnskov – Hvorfor er den vigtig?	45
DNA og stamtræer	50
Svampe i Botanisk Have	55
Laverne i Botanisk Have	60

Brug Botanisk Have i undervisningen

Dorte Hammelev, lektor, cand. scient., dorte@centrum.dk

Rikke Macholm, lektor, cand. scient. Gentofte HF kursus, rim@hillerod.dk



1

I hjertet af København ligger Botanisk Have og Museum. Her finder vi Danmarks største samling af levende planter, mere end 23.462 fordelt på 313 familier og 12.287 arter (fra havens hjemmeside). Planterne er udvalgt, så de repræsenterer store dele af plantesystemet og mange forskellige lande og klimatyper. Nogle vokser på friland, hvor variation i lys, temperatur, fugtighed, næringsindhold og jordstruktur giver forskellige vækstbetingelser. Andre vokser i væksthuse, hvor forskellige klimatyper kan efterlignes. Endvidere er der væksthuse for endemiske planter, som har en meget begrænset og specifik udbredelse i verden. Derfor er de særligt udryddelsestruede. Her findes også en genbank, der indeholder frø af vilde danske

planter, frø fra havens egne samlinger og frø samt nedfrosne vævskulturer og DNA-sekvenser, der har en særlig forskningsmæssig interesse.

I Botanisk Have ligger Botanisk museum, hvor Danmarks største samling af konserverede planter og svampe har til huse. Det gør også Botanisk Centralbibliotek, som rummer speciallitteratur om botanik og mykologi (svampe).

Haven er et levende museum og de mange forskellige planter – alle med specielle dyrkningskrav – har brug for individuel pasning. Det kræver ekspertviden. Botanisk Have er derfor en travl arbejdsplads. Haven har ligget forskellige steder i København og dens historie går mere end 400 år tilbage. Det nuværende anlæg blev færdiggjort i

Formålet med Botanisk Have

Overordnet er havens formål at bidrage til en øget viden og forståelse for planterigets mangfoldighed, og derigennem fremme kendskabet til planter og interessen for nationale og globale naturværdier og deres bevarelse. For at kunne opfylde dette formål, skal Botanisk Have:

- opretholde og forvalte en righoldig, levende plantesamling på friland, i væksthuse og i genbank og stille plantesamlingen og den information, som knytter sig til den, til rådighed for forskning, undervisning og formidling,
- drive forskning, fortrinsvis i fagdiscipliner med relationer til samlingerne, og deltage i universitetsundervisningen ved at vejlede specialestudierende, ph.d.- studerende og stipendiater inden for havens forskningsområder,
- formidle kendskab til botanik ved at opretholde en offentlig udstillingsvirksomhed med dertil knyttede aktiviteter af oplysende og igangsættende karakter og ved samarbejde med andre institutioner på disse områder (fra "Botanisk Have 400 år" side 2).



Figur 1. Palmehuset i Botanisk Have. (Foto: Omar Ingerslev).



Figur 2. Darwins orkide (Angraecum sesquipedale) vokser på Madagaskar. Slægtnavnet betyder "epifyt". Artsnavnet relaterer til den meget lange honningsspire, og Darwin forudsagde, at blomsten kun kunne bestøves af en natsværmer med en specielt lang snabel, som man på det tidspunkt ikke kendte. Han fik senere ret. Mere information i haven ved planten. (Foto: Jette Dahl Møller).

1874 på de gamle forsvarsvolde. Søen er faktisk en del af den gamle voldgrav. Planterne er indsamlet i hele verden over flere hundrede år. Det nuværende anlæg indeholder også planter – eller aflæggere af disse – der oprindeligt stod i de ældre haver. Så der er tale om en uvurderlig samling af levende træer og urter fra hele verden. Derfor er det også vigtigt, at gamle træer ikke fældes, før man har en velvoksede aflægger.

Forskning, og formidling

Verden står overfor meget store udfordringer som klimaændringer, forureningsproblemer, ødelæggelse af naturområder, sult og mangel på ressourcer. Planter er umådelig vigtige for os. Vi lever af dem, planterne udgør første led i græsningsfødekæderne. Andre plantestoffer er udgangspunkt for bl. a. medicin fremstilling og krydderier. Desuden forsyner planterne os med vigtige råstoffer til fremstilling af byggematerialer, kemikalier og biobrændsel.

Vi skal have et indgående kendskab til planterne, for at kunne matche de forskellige udfordringer, vi står overfor. Derfor er forskning i planter udseende, opbygning og vækstkrav, indholdsstoffer og slægtskab med andre planter (taxonomi og systematik) så vigtig. Det er bl. a. sådanne forskningsprojekter der foregår i haven og på museet. Et væsentligt fundament for forskningen er den gennem generationer opbyggede viden, ekspertise og dokumentation.

Artsdiversiteten er truet over hele verden. De bo-

taniske haver har i følge Washington- og Rio-konventionen en særlig opgave i bevaringen af truede vilde planter og plantegenetiske ressourcer og i forskning i biodiversitet. I denne forbindelse spiller Botanisk Have i København også en væsentlig rolle og deltager aktivt i det vigtige internationale samarbejde.

Formålet med dette hæfte

Man skal kende sine planter, de vilde såvel som de dyrkede, og deres slægtskab med andre planter. I gymnasiesammenhæng er det uhyre vigtigt at introducere eleverne til videnskaben om planternes taxonomi, som er uundværlig når områder skal biologisk kortlægges. Hånd i hånd med dette er viden om planternes vækstkrav og indholdsstoffer også værdifuld, fordi det kan fortælle noget om mulige fremtidige afgrødeplanter i en verden med en meget større befolkning og færre dyrkningsarealer. Evolution, biodiversitet og bevaring af truede planter indgår som væsentlige emner i den gymnasiale undervisning. Haven kan, med sine mange levende eksempler på biologiske "løsninger" af miljømæssige udfordringer, være med til at visualisere disse eller være baggrund for en eksperimentel tilgang til at undersøge problemstillinger med naturvidenskabeligt indhold. Hæftet er derfor tænkt som en hjælp til at afbøde manglen på undervisningsmateriale, specielt i den gymnasiale undervisning, inden for de mange forskellige naturvidenskabelige områder, som kan berøres med udgangspunkt i hæftets kapitler.

Hæftets kapitler

De enkelte kapitler er først og fremmest tænkt som appetitvækkere til forskellige botaniske-, biokemiske-, plantegeografiske- eller tværfaglige, tematiske emner og problemfelter, før et besøg i Botanisk Have.

Tilpasning til de forskellige økologiske nicher er et vigtigt emne i naturvidenskabsundervisningen. I kapitel 3, *Planter bevæger sig* gives eksempler på, hvordan planter justerer væksten afhængig af forskellige påvirkninger i miljøet. Kapitel 8, *Plantestoffer – i krig og kærlighed* giver eksempler på, hvordan produktionen af forskellige såkaldte sekundære indholdsstoffer sætter planterne i stand til at overleve der hvor de nu en gang er. De kan jo ikke flygte. Og det kræver sin mand (eller plante) at overleve, for konkurrencen er hård. Desuden giver kapitel 6, *Planters overlevelsesstrategier* flere eksempler på, hvordan planter er udviklet, så de kan overleve eksempelvis tørke, høje eller lave temperaturer og lidt eller meget lys. Hvad gør vi, når økologiske systemer er brudt sammen? Kapitel 2, *Botanisk Have - Noahs Ark for planter* beskriver bl. a. arbejdet med at opformere og opbevare truede planter for evt. genudsætning, og der gives eksempler på, hvordan planter bliver udryddelses-truet, hvis bestøveren af forskellige grunde forsvinder. I kapitel 10, *Den tropiske regnskov, hvorfor er den vigtig?* behandles forskellige tilpasninger til livet i netop dette økosystem. Samtidig anvises der muligheder for at måle forskellige parametre, der er af stor betydning for regnskovens planter. Forplantning er vigtig for levende organismer – og naturligvis også for planter. I kapitel 4, *Blomsten i forplantnings tjeneste* behandles blomsters bygning, der nøje er tilpasset bestøvningsformen. Insekter spiller en stor rolle for blomsters bestøvning, og blomsterplanter og insekter er da også udviklet parallelt – co-evolutionært. Kapitel 5 *Genetisk styring af blomsterdannelsen* beskriver hvordan udviklingen af blomstens forskellige bestanddele hver for sig styres, og hvad der sker, hvis generne ikke fungerer som de skal.

Vi lever af planter

Der er skrevet rigtig mange, glimrende bøger om forskellige planters ernæringsmæssige betydning, så derfor handler hæftet her ikke om dette. Smag og lugt har imidlertid stor betydning for fordøjelse af maden. Kapitel 7, *Eksotiske krydderier* fokuserer på de krydderier, som specielt kommer fra de tropiske områder i verden og deres historie. I kapitel 9, *Jagten på plantestoffer* behandles flere eksempler på, hvordan man kan anvende plante-

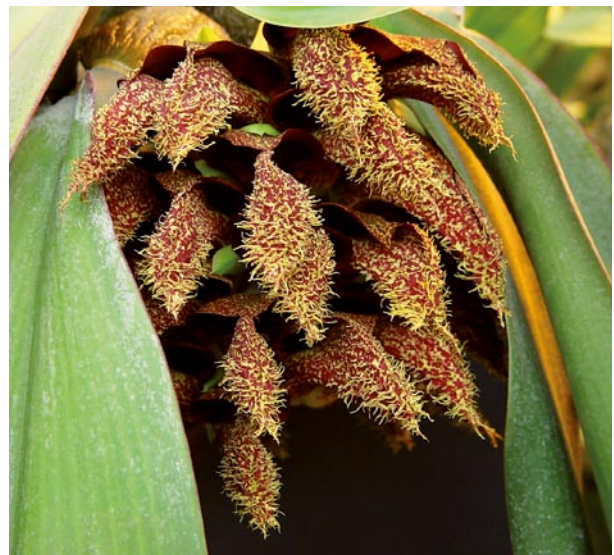
stoffer i slægtskabs- og medicinsk forskning samt i evolutionsforskningen, hvor DNA-undersøgelser ikke kan bruges. Kapitel 11, *DNA og stamtræer*. *Kan vi se skoven for bare træer?* forklarer derimod, hvordan DNA-undersøgelser bidrager til en bedre forståelse af slægtskabsforholdet mellem forskellige planter.

”Andre beboere” i Botanisk Have

Botanisk Have er som navnet siger en have, hvor der gror specielt udvalgte planter. Men andre organismer – alger, laver og svampe er også flyttet ind i haven og sætter deres præg på den på forskellig vis. Kapitel 12 *Svampe i Botanisk Have* og kapitel 13 *Laver i Botanisk Have* handler om dette.

Øvelsesmateriale

Som inspiration til eksperimenter og undersøgelser der kan foregå i Botanisk Have eller derhjemme efter et besøg, udarbejdes der fortløbende materiale, der kan findes på adressen: <http://snm.ku.dk/gymnasieportalen/>. Samme sted kan uddybende materiale til artiklerne mv. findes. I øvrigt henvises til Botanisk Haves hjemmeside – <http://botanik.snm.ku.dk/>.



Figur 3. Bulbophyllum fletcherianum er en af de sjældne og meget specielle orkideer, som vokser i Botanisk Have. Blomstestanden består af 21 blomster i spættede rødbrune farver, og så lugter den af råddent kød, når den blomstrer. Den bestøves også af insekter, der normalt lever af ådsler på Ny Guinea, hvor planten hører hjemme. Så for dem er lugten helt rigtig, men de bliver altså snydt. (Foto Jette Dahl Møller).

Tak for hjælpen

Ideen til hæftet startede i forbindelse med et kursus for gymnasielærere, hvor Jette Dahl Møller og Ole Hamann (Havens tidligere direktør) beredvilligt stillede sig til rådighed med deres store viden om Botanisk Have. Under evalueringen af kurset blev manglen på undervisningsmateriale om haven til brug i den gymnasiale undervisning fremhævet. Det lykkedes at skaffe penge til flere lærerkurser via Undervisningsministeriet. Samtidig fik vi kontakt til Erik Birger Christensens Fond, som gjorde det muligt at påbegynde udvikling af undervisningsmateriale med udgangspunkt i vores erfaringer fra kurserne. Dette hæfte var ikke blevet til noget, uden den store interesse og økonomiske støtte, vi har modtaget fra Erik Birger Christensens Fond. Stor tak til cand scient Suzanne Gravesen fra fondet for hendes store hjælp og støtte bl.a. som flittig korrekturlæser. Også en stor tak til Jette Dahl Møller og Ole Hamann samt Per Mølgaard, lektor på det farmaceutiske fakultet

for undervisning, inspiration og mangel en god snak. Tusind tak til alle jer der skrev og illustrerede jeres kapitler. Med stor tålmodighed har I taget udfordringen op og formidlet forskningsresultater, så de kan forstås af en bred offentlighed. Desuden tak til Jan Herrstedt for mange gode fotos. Mange gymnasielærere har på forskellig vis bidraget med inspiration og gode ideer. Det skal I have tak for. En særlig tak skal gå til Thomas Bundgaard, Karin Frykman, Birthe Hermansen, Birthe Zimmermann og Lene Vagn Rasmussen, samt til Inge Feldbæk og Lars Hasholt for konstruktiv kritik og korrekturlæsning. Også tak til Stefan Detreköy, vores layout'er, for stor kreativitet og en aldrig svigtende tålmodighed. Vi håber, at hæftet vil være inspirerende og medvirke til, at endnu flere får lyst til at besøge Botanisk Have med deres elever og sætte de spændende problemstillinger, der belyses i hæftet på dagsordenen – kort sagt at *bruge Botanisk Have i undervisningen!*



Figur 4. Paradisfugl (Strelitzia reginae), eller Crane Flower (traneblomst) som den kaldes på engelsk. Denne prægtige "blomst" er i virkeligheden en blomsterstand. Når en af blomsterne i blomsterstanden visner, erstattes den af en ny, som vokser frem fra hjørnet af et orangefarvet højblad. Derfor bliver blomstringen ved i flere uger. Planten stammer fra Sydafrika. (Foto: Jan Herrstedt).

Botanisk Have som Noahs ark for planter

Jens I. Find, lektor, ph.d. Vævs Kulturlaboratoriet*, jensf@snm.ku.dk

Peter Krogstrup, kurator, ph.d., Botanisk Have og Museum*, peterk@snm.ku.dk

*Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet



2

De fleste er enige om, at det er vigtigt at bevare en spændende og mangfoldig natur med så mange forskellige arter af dyr og planter som muligt. Ofte kommer den gode vilje dog i konflikt med, at mennesker også gerne vil udnytte jorden til andre formål. Derfor er antallet af arter af dyr og planter på jorden faldet i løbet af de sidste 20-30 år, og nogle undersøgelser viser, at over 10 % af de kendte arter af planter er forsvundet i denne periode. Nogen mener ligefrem, at vi befinder os i en global biodiversitetskriser, hvor arter af dyr og planter uddør hurtigere, end vi kan nå at beskrive dem.

Grundlæggende er der to forskellige muligheder for at bevare truede planter og dyr. Ved *in-situ* (latin: 'på stedet') bevaring prøver man at oprettholde eller genskabe det oprindelige levested, så arterne kan overleve i de områder, hvor de hører til. Ved *ex-situ* (latin: 'væk fra stedet') bevaring prøver man at sikre arternes overlevelse uden for det oprindelige levested. *In-situ* bevaring betragtes normalt som den bedste løsning, men det er ikke altid muligt at bibeholde de oprindelige levesteder. Derfor er *ex-situ* bevaring ofte den eneste realistiske mulighed.

Botaniske haver har en vigtig rolle i bevaringsarbejdet, fordi de fungerer ligesom en slags Noah's ark for arter af planter, der er ved at forsvinde i naturen. Botanisk Have i København kan derfor betragtes som en genbank, hvor der vokser et stort antal meget sjældne planter, hvoraf nogle er uddøde i naturen. Derudover er der etableret andre typer for genbanker (se senere), hvor materiale fra sjældne arter af planter kan opbevares.

Planter som naturressourcer

Mange af de smagsstoffer og lægemidler, som vi bruger i hverdagen, stammer oprindeligt fra planter. Medicinalindustrien er derfor konstant på udkig efter planter, som indeholder nye stoffer, der kan bruges i fødevarerindustrien eller til medicin.

En sjælden art af planter, der indeholder et særligt stof kan derfor blive meget værdifuld, og der er en risiko for, at den vil blive indsamlet ulovligt i naturen (se eksempel 1 side 6).

Man er begyndt at opfatte planter som en naturressource på linje med andre ressourcer som f.eks. olie og mineraler. Brugsretten til en sjælden art af planter tilhører den lokale befolkning i området, hvor planten oprindeligt vokser. Lidt kynisk er der nogen som hævder, at udryddelsestruede arter af planter og dyr kun vil overleve på længere sigt, hvis de har en form for brugsværdi – 'use it, or lose it'. Brugsværdi skal i denne forbindelse nok forstås temmelig bredt som direkte økonomisk værdi, videnskabelig interesse eller naturmæssig værdi.

På den baggrund prøver vi i dag, at etablere et samarbejde med oprindelseslandet om at bevare og evt. bruge sjældne planter. Materiale fra genbankerne i botaniske haver (*ex-situ*) bruges i stigende grad i fælles projekter med oprindelseslande, med det formål at genetablere planter på deres oprindelige voksesteder (*in-situ*).

Denne artikel giver nogle eksempler på, hvordan vi på Vævs Kulturlaboratoriet i Botanisk Have arbejder med naturbevarelse ved at formere og etablere genbanker med sjældne arter af planter.

Hvorfor bliver en art af planter udryddelsestruet?

Nogle arter af planter er meget gode til at tilpasse sig til omgivelserne, og kan hurtigt sprede sig til nye områder. Det gælder f.eks. de fleste af de arter, vi betragter som ukrudt på marker og i haver. Andre arter af planter er endemiske, dvs. at de er specialiserede, og har tilpasset sig til helt bestemte omgivelser. Disse arters udbredelse er begrænset til et meget snævert geografisk eller økologisk område.

Voksestedet forsvinder

De endemiske arter forsvinder, hvis deres voksested forsvinder. Det kan f. eks. ske, hvis skove fældes, vådområder drænes eller hvis der indføres landbrug, hvor man opdyrker jorden eller holder køer og geder i de områder, hvor en endemisk planteart vokser (se eksempel 2). En anden årsag kan være, at nyindførte planter spreder sig ind over samme niche, som den endemiske art er specialiseret til. Man kalder denne type planter for 'invasive arter'. Den endemiske art bliver ud-konkurreret af den nye art og forsvinder dermed.

Nogen gange kan det være sværere at gennemskue, hvorfor en art forsvinder. Der kan f.eks. være tale om mere indirekte årsager, som at de

arter af dyr, som bestøver planterne forsvinder (se eksempel 3).

I de senere år, er vi blevet opmærksomme på, at klimaet ændrer sig. Det betyder, at miljøet forandres i områder, hvor endemiske arter hidtil har vokset. De meget specialiserede arter har svært ved at tilpasse sig de nye forhold eftersom miljøændringerne sker for hurtigt, og da de heller ikke kan 'flytte sig' til andre områder, er de i fare for at forsvinde helt.

Indsamlinger

Sjældne planter er også truet, fordi de bliver for-handlet på samme måde som sjældne frimærker. Der er et stort marked for sjældne planter. Sjældne

Eksempel 1

Hoodia gordonii

I Kalahariørkenen i det sydlige Afrika vokser planten *Hoodia gordonii*. Planten ligner en kaktus, men det er den ikke. Den tilhører Singrønfamilien (iflg. Mabberley). *H. gordonii* er udryddelsestruet og dermed er det forbudt at indsamle den og at udføre den fra Sydafrika uden særlig tilladelse.

Planten er i århundreder brugt af San-folket (tidligere blev de kaldt for 'buskmænd') til at undertrykke sult og tørst under lange vandringer i ørkenen. Det har vist sig, at planten indeholder et stof, der for nemheds skyld kaldes P57, som

undertrykker sultfølelsen. Der findes 13 arter af *Hoodia*, men kun *H. gordonii* indeholder P57. Virkningen af stoffet er ikke endelig bevist, men man mener, at det binder sig til de samme receptorer som glukose. Derfor mærker man ikke, at niveauet i blodsukker falder, og man føler ikke sult. Hvis denne hypotese er rigtig, vil stoffet være meget effektivt som slankemiddel. Overvægt og fedme er et af de helt store sundhedsproblemer i dag, og interessen fra store medicinalfirmaer er let forståelig.

Der sælges et utal af slankeprodukter, som reklamerer med at de

indeholder stoffet P57. Det har vist sig, at være svært at syntetisere P57 på laboratorier, og selv om mange af produkterne nok ikke indeholder P57, er der et meget stort marked for ulovligt indsamlede planter. På Vævskulturlaboratoriet har vi udviklet metoder til *in vitro* formering af planten, hvilket kan mindske presset på de vilde planter.

A: Et stykke af planten i vævskultur. Til højre er der dannet et nyt skud, som kan skæres af og danne en ny plante.

B: En lille plante med blomster fra det oprindelige voksested.





Eksempel 2

Dorstenia gigas

Dorstenia gigas, som hører til Figenfamilien, er endemisk på klippeskråninger 600-1.100 m over havet på øen Socotra, som ligger ca. 350 km ud for Yemens kyst. Den kan blive op til 2,5 m høj med en stamme på næsten 1 m i diameter. Stammen indeholder en gul latexholdig mælkesaft, som bruges i folkemedicin til behandling af hudproblemer. Planten er blevet meget sjælden, fordi dens voksested også bliver brugt til græsning for køer og geder, og fordi man i tørre år indsamler de

vandholdige planter som foder til dyrene. Planten er blevet populær hos samlere, fordi den med sin tykke stamme og læderagtige blade ligner en skulptur, og ulovlig indsamling er et stigende problem. Vi prøver i øjeblikket at etablere et samarbejde med Yemen om at genudsætte planter på det oprindelige voksested.

A: Plante inden bladene springer ud.
B: Blomsterne er små og ikke særligt iøjnefaldende.
C: Planter produceret i vævskultur (*in vitro*).

Eksempel 3

Brighamia insignis *Brighamia insignis*, som hører til Klokkefamilien, er endemisk på Hawaii, hvor den vokser på tørre og stejle klippeområder langs kysten. Man har tidligere kendt andre populationer i området, men i dag kendes kun én population med under 100 individer. En væsentlig årsag til, at *Brighamia* har svært ved at overleve i naturen er sandsynligvis, at en meget specialiseret type insekt, som tidligere bestøvede blomsterne, nu er forvundet. De vilde planter producerer derfor kun meget få frø. Man kender ikke insektet, men tror at det var en art

af møl, som var specialiseret i at suge nektar fra netop denne art af planter.

I Botanisk Have i København har vi i dag mange eksemplarer. Oprindeligt var de alle fra samme klon, og dermed genetisk fuldstændig ens ligesom enæggede tvillinger. Ofte er det umuligt eller meget svært, at få planter fra samme klon til at bestøve hinanden, men for gartnerne i Botanisk Have lykkedes det at efterligne insektet ved hjælp af en lille pensel, og efterhånden er der i bedene spiret mange små nye planter. De små planter er nye genotyper.



planter kan være mange penge værd, fordi samlere vil betale store summer for at have et eksemplar af netop denne art i deres samling. Selv om det er ulovligt, bliver meget sjældne planter derfor indsamlet i naturen (se eksempel 4).

Opretholdelse af de levende samlinger i Botanisk Have

Man kan formere planter på flere forskellige måder. Hver metode har sine fordele og begrænsninger, og hver gang vi i Botanisk Have skal formere en sjælden art af planter overvejer vi, hvilken metode der er mest hensigtsmæssig.

- *Frøformering* er på mange måder den ideelle metode til at formere planter. Det er en billig metode og man bibeholder en stor genetisk diversitet i de producerede planter. Frøformering har også den fordel, at man på en let og billig måde kan opbevare frø i en frøgenbank. Desværre er frøformering ikke altid en mulighed, når man arbejder med meget sjældne planter. For det første er mange frø recalcitrante, hvilket betyder, at de ikke kan overleve i længere tid, hvis de ikke spirer med det samme. Man kan altså ikke opbevare dem i en frøgenbank. Et andet problem er, at det meget ofte er umuligt, at skaffe frø fra planterne. Det kan skyldes, at der er problemer med bestøvningen, eller at man kun har et enkelt eksemplar af planten osv.
- *Traditionelle metoder til vegetativ formering* f.eks. ved stiklinger eller podninger kræver ikke særligt udstyr, og det er også en billig metode, men for mange plantearter er det ikke. Ved vegetativ formering laver man planter som er genetisk identiske med den oprindelige plante. Problemet med vegetativ formering er, at alle nye planter er fra samme klon, dvs. genetisk ens ligesom enæggede tvillinger. Vegetativ formering fungerer for nogle arter, men er langt fra mulig for alle arter.
- *In vitro formering* er en avanceret form for vegetativ formering (Fig. 5B og C side 8 øverst). Det er en dyr metode, fordi man skal arbejde sterilt og have adgang til avancerede laboratoriefaciliteter. Det er også en svær metode, fordi man skal udvikle nye metoder for hver art, og man har desuden de samme problemer med en lav genetisk diversitet, som er nævnt ovenfor ved traditionel vegetativ formering.

In vitro formering er altså slet ikke nogen ideel metode til at formere sjældne planter, men nogen gange er det den eneste mulige metode. En fordel ved *in vitro* formering er, at det er en meget hurtig og effektiv metode, når man først har udviklet metoderne for en planteart.

På Vævskulturlaboratoriet i Botanisk Have i København er vi specialister i at udvikle metoder til *in vitro* formering af planter. På laboratoriet bliver der produceret planter til Botanisk Haves samlinger, men derudover har laboratoriet også en meget vigtig funktion som genbank for sjældne planter, og vi har i øjeblikket ca. 100 forskellige sjældne plantearter i kultur.

Genbanker

En botanisk have er ikke bare en park, hvor man kan se sjældne og mærkelige planter fra andre dele af verden. Det er også en arbejdsplads for forskere, der arbejder med planterne, og endelig er det også en genbank, hvor genetisk materiale fra sjældne plantearter opbevares. Ud over de levende planter, som man kan se i haven og i drivhusene, er der i Botanisk Have i København også andre typer af genbanker.

Botanisk Haves betydning i bevaringsarbejdet i fremtiden

Befolkningen på jorden vokser hurtigt, og der vil fremover blive stadig mere behov for landbrugsjord og andre naturressourcer. Endnu flere arter af planter vil derfor forsvinde i naturen, og der vil blive stigende behov for, at der arbejdes på at bevare noget af den mangfoldighed, der er ved at gå tabt.

Botaniske haver verden over spiller en betydningsfuld rolle i dette arbejde, fordi de kan fungere som genbanker og kan hjælpe med at genetablere planter i naturen. *In vitro* metoder bør opfattes som et vigtigt redskab til bevarelse af truede planter, som ikke kan formeres og vedligeholdes ved hjælp af mere traditionelle metoder. *In vitro* metoder kan også bruges til bæredygtig produktion af planter til økonomisk udnyttelse af planteressourcer, og derved forhåbentlig reducere illegal indsamling og handel med planter.



Eksempel 4

Euphorbia abdelkuri

Euphorbia abdelkuri, som hører til Vortemælkfamilien, er endemisk på en lille ø Abd al kuri (Yemen), der ligger ud for kysten af Somalia. Det er en stor buskagtig sukkulent (en meget vandholdig plante), med mange runde stængler, der vokser i et ørkenagtigt busklandskab. Stænglerne har ikke blade og de vokser i tætte klynger på op til 4 meter i højden og 5 meter i bredden. Der findes omkring 250 voksne individer, som alle vokser i et område på mindre end 10 km². Stænglerne har giftig mælkesaft som også er meget ætsende, og husdyr vil ikke æde af den. Den største trussel for denne art er sandsynligvis fra plantesamlere, som betragter planten som helt speciel.

En effektiv metode til at bevare *E. abdelkuri* i naturen kan være at reducere den illegale indsamling og handel med planterne. Det kan man gøre ved at bruge *in vitro* formering til at producere et stort antal planter, som kan sælges i blomsterbutikker og i supermarkeder. Samlerne mister nemlig interessen, hvis man kan købe planten i et supermarke-

det, og dermed bliver det nemmere at bevare den i naturen. Denne strategi kræver dog, at der etableres et samarbejde med myndighederne i Yemen, som skal give tilladelse til, at vi i fællesskab med et gartneri må producere og sælge planterne i stort antal.

A: Plante fra væksthuse i Botanisk Have.

B: Planter i vævskultur. Planterne flyttes til et nyt vækstmedium med en anden type plantehormoner for at inducere dannelsen af rødder og derefter overføres de til jord. For *E. abdelkuri* har det vist sig, at den kun vokser godt, hvis der iblandes en særlig vulkansk bjergart i jorden.



Eksempel 5

In vitro formering

In vitro kultur af en truet planteart vanskeliggøres ofte af to særlige problemer. For det første skal man udvikle nye metoder, som egner sig for netop denne art. For det andet er der oftest kun et meget begrænset plantemateriale til rådighed.

I praksis er det første problem, at rense og sterilisere det plantemateriale, som man får stillet til rådighed. Alle bakterier og svampesporer skal fjernes fra plantematerialet, ellers vil de hurtigt ødelægge planterne.

Når plantematerialet er etableret i sterile kulturer, prøver vi at finde en kombination af vækstregulatorer (hormoner), sukkerstoffer, vitaminer osv., som giver netop denne planteart de bedste vækstbetingelser. Formeringen af planter sker ved at planterne deles i mindre stykker, som hver indeholder skud, der kan danne en hel ny plante. Særlige vækstregulatorer bruges til at danne rødder på planterne. Planterne bliver dyrket under helt sterile forhold og de får tilført alle de



næringsstoffer, som de skal bruge. De er derfor meget sårbare, og de skal også have særlig pleje, når de igen skal udplantes i jord.

A: En laborant arbejder med plantekulturer i en sterilbænk, så der ikke kommer bakterier eller svampe ned i vækstmediet.

B: Udsnit af stængel med et lille skud, der er etableret i vævskultur.

C: Det nydannede skud er skåret fri og etableret i en ny kultur tilsat et medie der fremmer dannelse af rødder.



Eksempel 6

Genbanker i Botanisk Have

En botanisk have er i sig selv en genbank, hvor sjældne plantearter kan overleve, selv om de er forsvundet fra det oprindelige voksested. Derudover findes der i Botanisk Have i København, også andre typer af genbanker som:

- *Frøgenbanken.* Frø fra nogle planter kan opbevares i tørret tilstand. Frø fra andre plantearter overlever bedst, hvis de opbevares på køl eller nedfrosset.
- *In vitro* genbanken er en del af Vævskulturlaboratoriet. Her opbevares og formeres særligt spændende planter på vækstsubstrater under sterile forhold (fig. A). *In vitro* genbanken indeholder i øjeblikket ca. 100 forskellige plantearter. Hovedsagelig meget sjældne planter. Derudover er der en samling af kødædende planter, som bruges til produktion af planter til Havens udstillinger.
- *Kryogenbanken* er også en del af Vævskulturlaboratoriet. Her opbevares levende plantemateriale



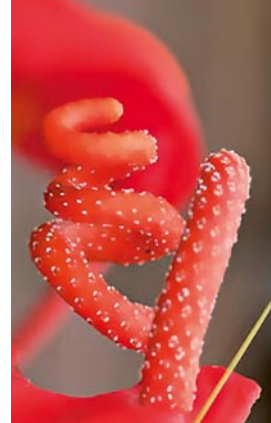
nedfrosset til $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ i beholdere med flydende kvælstof (fig. B). Det er en billig måde, at opbevare sit plantemateriale på, og materialet kan opbevares i meget lange perioder, uden at det kræver vedligeholdelse og uden fare for genetiske ændringer.

På tilsvarende måde kan man opbevare DNA-materiale fra planter og dyr. Der er ikke tale om levende væv,

men om prøver, der indeholder DNA med særlig videnskabelig interesse som forskere ønsker at opbevare i længere tid, uden risiko for at DNA-prøverne bliver ødelagt. Se f.eks. http://videnskab.dk/content/dk/forskerne_fortaller/dna-detektiv_pasporet. På Statens Naturhistoriske Museum er der etableret et Nationalt DNA Kryocenter, hvor forskere fra hele Danmark kan få opbevaret DNA-prøver.

Planter bevæger sig

Jette Dahl Møller, lektor, cand. scient.
Botanisk Have og Museum, Statens Naturhistoriske Museum
Københavns Universitet, Jatted@snm.ku.dk



3

Planter bevæger sig altid, men de fleste bevægelser er meget begrænsede, nogle er langsomme, andre er hurtige og dramatiske. Som følge af bevægelserne opnår de enkelte plantedele en mere hensigtsmæssig placering i rummet i forhold til forskellige miljøpåvirkninger. Nogle få planter kan desuden lave en hurtig og/eller større bevægelse, og nogle fanger derved et byttedyr. Visse plantehormoner – specielt auxin – er nødvendige for at en bevægelse finder sted.

Planternes bevægelse har fascineret mange. Charles Darwin og hans søn Francis udgav i 1880 bogen "The Movements of Plants". Foruden beskrivelsen af planternes bevægelse refereres en lang række forsøg, der viser mekanismen bag bevægelserne. Det er et meget grundigt arbejde, men fordi man på det tidspunkt ikke kendte til plantehormoner, kunne de kun beskrive bevægelserne men ikke forklare dem. Vi er nu nået meget længere i forståelsen af planternes bevægelse, selv om det må erkendes, at der stadig er mange uafklarede punkter.

Forskellige typer plantebevægelse

Planterne reagerer på mange forskellige stimuli, bl.a. lys, tyngdekraft, mekaniske stimuli og stressfaktorer som tørke. I naturen bliver planterne udsat for flere forskellige stimuli på samme tid, fx lys, tyngdekraft og mekaniske stimuli, og det kan derfor være meget vanskeligt at adskille reaktionerne fra hinanden. Derfor er det væsentligt at udføre forsøg med planter, som kun udsættes for en enkelt påvirkning ad gangen. Der findes forskellige bevægelsestyper:

1. Tropismer (vækstbevægelser) gør planterne i stand til at reagere på retningsbestemte stimuli som fx lys og tyngdekraft. Bevægelserne er langsomme og skyldes ændringer i vækstretningen.

2. Nastiske bevægelser er som regel langsomme "søvnbevægelser", men det kan også hos få planter være en hurtig reaktion på en mekanisk påvirkning. I begge tilfælde er bevægelsen uafhængig af retningen af stimulus.
3. Langsomme bevægelser styret af det 'biologiske ur'. De finder sted med en bestemt rytme i løbet af en periode på ca. 24 timer.

1. Tropismer

Tropistiske bevægelser er meget langsomme og begrænset til organer, der vokser. Det gælder skud- og rodspidser, samt knæ på græsser. Bevægelserne er samtidig retningsbestemte i forhold til den stimulus, planten modtager. Væksten medfører en bøjning enten mod (positiv tropisme) eller bort fra en stimulus (negativ tropisme). Der er mange former for tropismer. De har navn efter den givne type af stimulus. Her omtales de tre mest almindeligt kendte.

a) Fototropisme

Fototropisme er retningsbestemt vækst i forhold til retningsbestemt lys. Sikkert alle har iagttaget, at planternes skud vokser i en bue frem mod lyset (figur 1). Det kendes fra urterne i skovkanten og fra potteplanterne i vindueskarmen. Årsagen til den buede vækst er, at cellerne på den skyggede side af skuddet vokser mest, dvs. cellerne på den skyggede side er længere end cellerne på den solvendte side.

Darwin kunne ikke forklare, hvorfor cellerne i den ene side af stænglen vokser mere end i den anden. Det var først, da man i 1928 opdagede hormonet auxin (indoleddikesyre, IAA), at man fik mulighed for at give en forklaring, selvom Darwin allerede langt tidligere havde forudset dets eksistens. I dag kan vi formulere følgende teoretiske muligheder for auxins effekt:

- Lyset *nedsetter* cellernes *auxinfølsomhed* på den belyste side (således at cellerne her får nedsat vækst).



Figur 1. Fototropisme kan let demonstreres ved et forsøg med kimplanter af fx hvede. Kornene (tv.) spirer først i en potte ved normal belysning.

Når spirene har nået en højde på ca. 5 cm, sættes potten med spirene ind i en større potte eller en kasse, hvor planterne kun bliver belyst fra den ene side. Kimplanterne vokser ud mod lyset, fordi spirene nu vokser mere på skyggesiden og mindre på solsiden. Til slut tages potten med spirene ud, for at man kan se, at alle spirer er orienteret i én bestemt retning, nemlig hen mod lyset (th.). (Fotos: Jette Dahl Møller).

- Lyset *nedbryder* auxin (og cellerne på den belyste side vokser mindre).
- Lyset får auxin til at *akkumuleres* på skyggesiden, (hvor cellerne derfor vokser mest).

Eksperimenter har vist, at krumningen af skuddene hen mod lyset skyldes sidste mulighed; akkumulering af auxin på skyggesiden, altså en skæv fordeling af auxin i skuddet. Det er tilmed blevet vist, at den fototropiske respons især skyldes lys med bølglængder på 400-500 nanometer, altså blåt lys.

b) Gravitropisme

Gravitropisme er retningsbestemt vækst i forhold til tyngdekraften.

En meget vigtig mekanisme for planten er at registrere tyngdekraften som er forudsætning for, at rødderne vokser nedad og skuddene opad. Det er den proces, der kaldes gravitropisme. En frøplante vil normalt vokse med roden nedad (positivt gravitropisk) og skudspidsen opad (negativt gravitropisk). Hvis frøplanten lægges ned på siden, vil rodspidsen ændre retning, således at den stadig vokser nedad og skuddet opad (figur 2). Gravitropismen skyldes en øget auxinmængde i den del af cellen, der vender mod jorden. Der er nu to muligheder for auxins virkemåde: I) øget auxinmængde øger væksten, eller II) øget auxinmængde nedsætter væksten. Mulighed I) gælder for skud, og II) gælder for rødder. Derfor buer skuddet opad og roden nedad. Årsagen til vækstændringen er altså forskel i auxinkoncentrationen.

Hvordan registreres tyngdekraften af rod og skud, og hvordan bliver de påvirket? I specifikke, tyngdekraftregistrerende celler i rod og skud findes mange, store stivelseskorn, der som følge af tyngdekraften ligger nederst i cellen. Hvis



Figur 2. Gravitropisme. Tomatplantens skud vokser stadig opad, efter at potten med en opret plante er lagt ned. Det er negativ gravitropisme. De stivelseholdige celler i stænglen registrerer tyngdekraften, og skuddet vokser opad i en blød bue (øverst).

Hos græsser (nederst), her hvede, sker stængelvæksten i et lille område lige over bladfæstet, knæet, der kan ses som en fortykkelse af stænglen. Hvedestråene vokser opad, efter at potten er lagt ned, men vækstændringen sker kun i et begrænset område lige over "knæene". Det har stor betydning for kornafgrøder, især hvis kornet som følge af regn og blæst ligger hen langs jorden – kornet er "slået ned". (Fotos: Jette Dahl Møller).

plantens orientering ændres med fx 90°, ”falder stivelseskornene nedad” i en ny position i cellen og det registreres af cellen. I roden findes disse celler i den centrale del af rodhætten, der omslutter den yderste rodspids, og i skuddet danner cellerne med de store stivelseskorn et veldefineret cellelag i stænglen. Disse celler i roden – og de tilsvarende i stænglen – er genetisk programmeret som hhv. rod- og stængelceller. Derfor er de også programmeret til at reagere modsat på den forøgede auxinmængde. Undertiden ser man, at også overjordiske dele af træer vokser nedad. Det kendes bl.a. fra de såkaldte hænge- eller grædepile. Man regner med, at en mutation er årsag til den ”forkerte” vækst, da afkommet også har den karakteristiske vækst.

c) Berøringstropisme

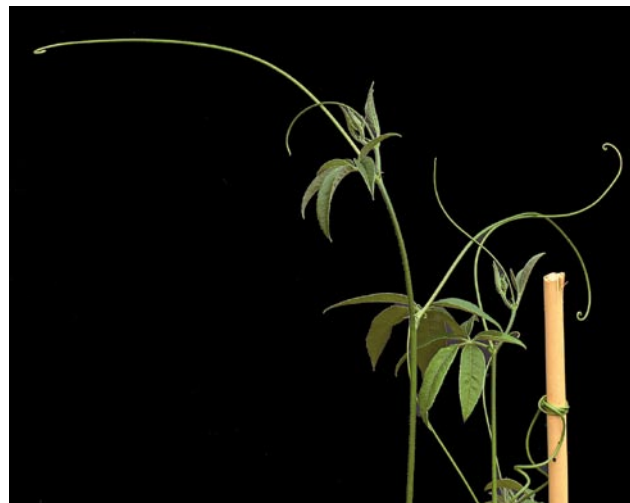
Berøringstropisme er retningsbestemt vækst som følge af berøring eller kontakt med et objekt. Pragtsnerlen (figur 3) er en slyngplante, som udnytter berøringstropismen. Dens skudspids udfører en cirkel-ellipseformet bevægelse i luften i et forsøg på at få et fast underlag, som den kan slynge sig opad. Den side af planten, som rører ved objektet, forkortes, ved at de enkelte celler bliver kortere. Omviklingen kan ske på mindre end en time!

2. Nastiske bevægelser

Nastiske bevægelser er plantebevægelser, der sker som en reaktion på en stimulus, men bevægelsesretningen er uafhængig af, hvilken retning stimulus kommer fra. Mest udbredt er de langsomme søvnbevægelser, men der er også få eksempler på blades bevægelser op og ned som reaktion på de daglige svingninger i lysmængden. I mørke (om natten) hænger disse blade nedad, mens de om dagen i lys er udspærrede, horisontalt stillede (figur 4). Dette er især almindeligt hos surkløver eller

Det er mindre kendt, at man ved at berøre en plante et par gange om dagen kan ændre dens vækstmønster. Forsøg med planten Gåsemad (*Arabidopsis*) har vist, at berøring stimulerer dannelse af hormonet ethylen, der nedsætter længdevæksten. Den berørte plante bliver derfor lavere!

Planter, der dyrkes i et drivhus, har en tendens til at blive højere og mere spinkle end de planter, der vokser udenfor, selv ved samme lysmængde. De er nemlig ikke udsat for blæstens påvirkning. På samme måde har træer på et forblæst bjerg en kortere stamme end et træ af samme art, der vokser beskyttet.



Figur 3. Pragtsnerlen. En slyngtråd har omviklet en plantepind. Længere oppe afsøger slyngtråde nye tilhæftningsmuligheder. (Foto: Jette Dahl Møller).



Figur 4. Surkløver – dag (tv.) – nat (th.). (Fotos: Jette Dahl Møller).



Figur 5.
Følsom mimose med vandret stillede, stærkt opdeltede blade før berøring (øverst). Efter berøring hænger småblade og bladstilk nedad (nederst).

Blot en let berøring af en del af bladet forårsager ikke alene en sammenklapning af bladene, men yderligere at bladene "falder nedad". På den måde bliver bladene mindre synlige og dermed mindre udsat for at blive spist. Bevægelsen skyldes ændring af saftspændingen i cellerne både ved basis af hvert af de små blade, der udgør bladet, og ved bladfoden. Ændringen i saftspændingen skyldes udstømning af kalium-ioner fra cellen ud i cellevæggen til rummet mellem cellerne. Det lavere ionindhold inde i cellerne får cellen til at afgive vand ud i cellevæggen og i mellemrummene mellem cellerne (osmose), hvorved cellerne mister saftspændingen. De bliver mindre, småblade klapper sammen og bladstilk "falder" nedad. Det er kun nødvendigt at berøre et enkelt småblad, fordi stimulus bevæger sig til andre dele af bladet og efterhånden til hele planten. Signaloverførslen er hurtig, den sker dels kemisk og dels elektrisk, ved at en impuls spredes i plantecellens membraner. Impulserne kaldes aktionspotentialer og ligner nerveimpulserne hos dyr. (Fotos: Jette Dahl Møller).

skovsyre (*Oxalis acetocella*), der vokser i bøgeskove, og hos planter, der hører til ærteblomstfamilien, fx bønne. Temperaturændringer får bladene hos rhododendron til at hænge nedad i frostvejr. Bevægelserne skyldes ændringer i saftspændingen i bestemte celler.

Nastiske bevægelser, som udløses af en mekanisk stimulering, en berøring eller en rystelse, kan også være meget dramatiske og hurtige. Bedste eksempel er den følsomme mimose (figur 5).

Fluefangeren (*Dionaea*)

Den kødædende plante, fluefangeren, er et spændende eksempel på en plante, der anvender hurtige nastiske bevægelser til at fange insekter. De to bladhalvdele klapper sammen på et halvt sekund (figur 6). Men hvad er det, der sker, når de to bladhalvdele lukker sig sammen? På hver



Figur 6. *En fluefanger fanger en lidt for nysgerrig skolopender. (Fotos: Jan Herstedt).*

bladhalvdel sidder tre triggerhår, der får fælden til at smække som en rævesaks ved berøring. Men forudsætningen for, at fælden lukkes om dyret er, at samme hår eller to forskellige hår berøres to gange inden for højst 30 sekunder! På den måde skelnes mellem levende byttedyr og tilfældige, ikke-dyriske objekter. Også her lukkes bladet, fordi et aktionspotentiale sendes fra det følsomme hår til de celler, der lukker bladet. Bevægelsen skyldes ændringer i saftspændingen i de bladceller, der ligger op til midtnerven. Efter knap et døgn er byttet fordøjet, og fælden åbnes igen.

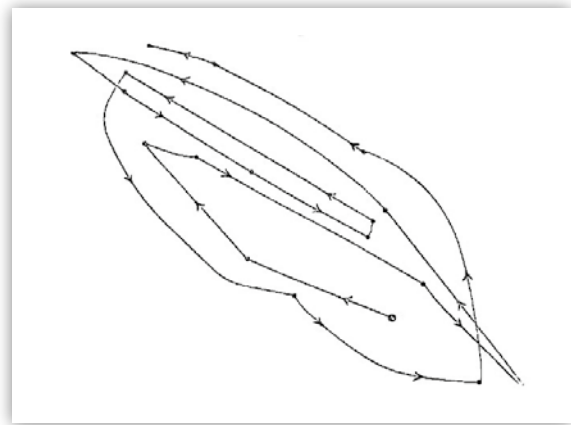
3. Langsomme bevægelser, der er styret af "det biologiske ur"

Bevægelserne, som foregår i alle retninger, finder sted med en bestemt rytme i løbet af en periode på ca. 24 timer. Det kan fx være lukning af blomster og blade om aftenen og åbning igen næste morgen. De fleste forskere mener, at der er tale om en indre døgnrytme, som er genetisk styret.

Circumnutation

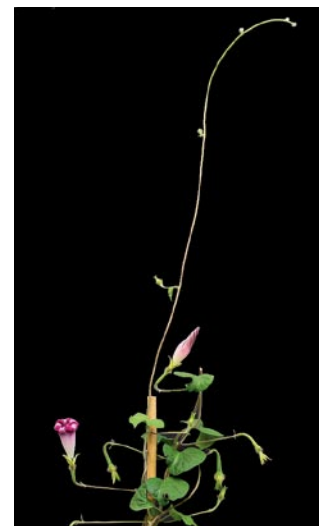
Planteorganer bevæger sig, mens de vokser. Man forestiller sig sikkert, at en skudspids vokser lige opad, men det er ikke helt tilfældet! Skudspidsen roterer (nuterer) omkring en central akse, den viser en skrueformet bevægelse, som kaldes circumnutation (circum = omkring, nutation = bøjning). Alle skud- og rodspidser nuterer. Bevægelsesudsvingene er ganske små og langsomme. Amplitude, periode og bevægelsens form afhænger af planteart, planteorganet og dets udvikling (alder). For en tulipan er bevægelsen begrænset, men den er meget større for skudspidsen af slyngplanter, som har behov for støtte i omgivelserne. Darwin lavede en række iagttagelser af planternes bevægelse, som han illustrerede ved at projicere bevægelsen på et ark papir. En af disse mange tegninger viser bevægelserne af skudspidsen af en ung kålplante (figur 7). Nu illustreres bevægelserne vha. film optaget med tidsforkortning.

Beskrivelser af disse plantebevægelser er gjort mange gange senere, men forklaringerne på bevægelserne er modstridende. Hvordan kan man undersøge det? Man har både prøvet at dyrke planter i den dybeste, mørke mineskakt og på rundtur om jorden i satellit. Små planter af solsikke blev sendt i cirkulation ude i rummet. 93% af planterne havde stadig circumnutation mod 100% på jorden, og man konkluderede heraf, at circumnutation er et resultat af en indre proces, uafhængig af tyngdekraften. Også i forsøget med udelukkelse af lys i mineskikten fortsatte planternes skudspids med



Figur 7. Tegning fra Charles og Francis Darwins bog "Power of movement in plants", 1880. Forsøget blev udført over en periode på 10 timer og 45 min. og viser skudspidsens bevægelse set ovenfra, projiceret på et stykke papir.

Figur 8. Circumnutation hos Prægtsnerle. (Foto: Jette Dahl Møller).



at rotere om deres egen akse. Bevægelsen er altså også uafhængig af lys. Det er vigtigt at være opmærksom på, at forsøgsplanter altid er underlagt circumnutation som er genetisk bestemt og derfor ikke kan udelukkes ved opsætning af forsøg.

Efterskrift

Som det fremgår, er det vigtigt at få indsigt i planternes forskellige bevægelsestyper for dermed at forstå planternes reaktion på de påvirkninger, de er udsat for fra det omgivne miljø.

Litteratur

Raven, H. Peter et al. *Biology of Plants*. 6. ed. W.H. Feeman. New York. 1999.

Blomsten i forplantningens tjeneste

Kirsten Bruhn Møller, adjunkt, cand. scient.
Frederiksberg HF kursus, kbm-kic@mail.tele.dk



4

Blomsterplanterne, er den nulevende plante-gruppe, der har flest arter. De findes overalt på jordkloden og dominerer i næsten alle plantesamfund fra ækvators regnskove til de polare vegetationsstyper. De opstod i kridttiden (for 145-65 mio. år siden) og har siden da udviklet sig eksplosivt. Blomsten udvikledes især som et lokkeorgan, der skal tiltrække bestøvere - insekter m.fl., der skal bestøve blomsten. I de fleste tilfælde er blomster tvekønnede og når bestøverne besøger blomsten, får de plantens hanlige kønsceller (pollen/blomsterstøv) på sig og kan derfor overføre dem fra den ene plante til den anden. Disse nyskabelser forøger chancen for at en kønnet formering kan finde sted – for hermed forøges den genetiske variation - og det er en væsentlig del af forklaringen på de dækkede planters succes.

Blomstens opbygning

Blomsten er opbygget af flere kranser af blade, der i løbet af evolutionen har undergået en række forandringer. Yderst i blomsten sidder bægerbladene,

der oftest er grønne. Bægerbladenes funktion er almindeligvis at beskytte blomsten i knopstadiet. Dernæst kommer kronbladene, der har forskellig farve, mønstre og udformning i øvrigt. Især kronbladene fungerer som reklameapparat, som skal lokke bestøvere til. Inden for kronbladene sidder støvbladene, der er omdannet til en støvtråd med en pollenproducerende støvknop for enden, og inderst i blomsten sidder frugtanlægget. Frugtanlægget består af et eller flere frugtblade, hvis spids danner en griffel med støvfang. I frugtanlægget sidder en eller flere ægceller, den ♀ kønscelle.

Pollen fra støvknapperne (den ♂ del, dvs. planternes sædceller) overføres til støvfang på en anden plante af samme art, (den ♀ del). Denne proces kaldes bestøvning. De pollenceller der er landet på støvfanget vandrer nu ned gennem griffelen og bestøver ægcellerne. Figur 1 viser i skematisk form, hvordan blomsten hos en blomsterplante er opbygget.

Der findes planter der er selvbestøvere, men selvbestøvning har den ulempe, at det mindsker den genetiske variation. Hos nogle planter ses

Formering

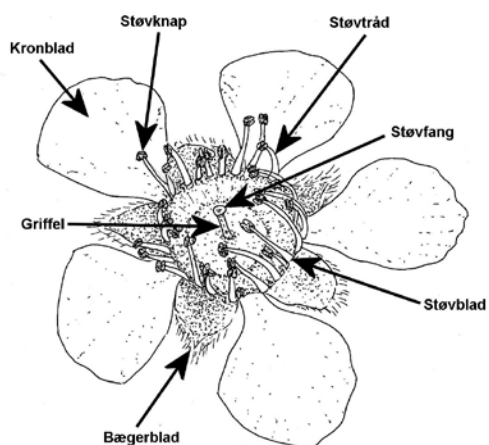
Blomsterplanter kan formere sig enten kønnet eller ukønnet (vegetativt). Vegetativ formering kender vi bl.a. fra nogle stueplanter, der sender udløbere ud med en lille ny plante i spidsen (dem tager vi som aflæggere). Besværligt ukrudt i haver har normalt en veludviklet evne til at formere sig ukønnet, det gælder f.eks. skvalderkål. I køkkenhaven danner jordbærplanten udløbere med nye små planter, og kartoflerne (dem vi spiser) kan spire til nye kartoffelplanter. Ved ukønnet formering er den nye plante og moderplanten genetisk ens, dvs. de udgør en klon med samme genetiske egenskaber. For at en plante skal få afkom med forskelligartede genetiske egenskaber, skal arveanlæggenes fra to individer blandes. Det sker ved den kønnede formering. De to køn er oftest placeret sammen i plantens blomst. Planten og blomsten er derfor tvekønnet. Nogle blomster er dog énkønnede og har kun enten hanlige eller hunlige kønsorganer.

tilpasninger, der skal hindre selvbestøvning og dermed sikres det, at kun pollen fra en anden plante kan bestøve det pågældende individ. Det er almindeligt, at støvblade med pollen og grifler med modtagelige støvfang udvikles tidsmæssigt forskudt i forhold til hinanden på det samme individ. Blomsterne kan være enten førsthanlige (eks. Kattehale (*Lythrum*), Kodriver (*Primula*), Gederams (*Chamerion*) eller førsthunlige (eks. *Berberis* og Gedeblad (*Lonicera*)). Endelig kan blomsten tillige være udformet, så pollenet ikke kommer i nærheden af støvfanget på den samme blomst (eks. Kodriver og Kattehale). Nogle individer har lange grifler og korte støvblade, mens andre individer af samme slags plante har korte grifler og lange støvblade. På denne måde afsættes pollenet fra den ene type af blomster på støvfanget af den anden types grifler.



Figur 1 øverst. *Leptospermum* blomst. (Foto: Knud Ib Christensen).

Nederst: Tegning af samme blomst med angivelse af blomstens forskellige dele.



Blomsten/blomsterstanden som reklameapparat

Blomsten eller en hel samling af blomster (en blomsterstand) skal lokke bestøberne til. Som nævnt er det normalt kronbladene, der er udformede, så de sender det rette signal til det dyr, der skal bestøve planten. Mange planter har dog udviklet blomsterstande, der i bestøvningsmæssig forstand fungerer som én blomst. I nogle tilfælde kan man ligefrem se en arbejdsdeling mellem blomsterne i blomsterstanden. Nogle af blomsterne (oftest de yderste) mangler støv- og frugtblade. De er med andre ord sterile/golde og virker kun som reklameapparat, medens de øvrige blomster er mindre iøjnefaldende - de skal "kun" bestøves, dvs. de er fertile. Eksempler på blomsterstande af denne type ses ofte i kurvblomstfamilien (eks. Gemserod (*Doronicum*), *Gerbera* og Okseøje (*Chrysanthemum*) se figur 2).

Blomstens tillokkende signal kan være farver, glans, mønstre eller saftmærker. Ofte har blomsterne også duftkirtler, der producerer duftstoffer, der virker tillokkende. Om det er duft eller udseende, der på afstand lokker insektet, kan ses på, hvordan insektet flyver til blomsten. Flyver insektet målrettet er det udseendet der lokker,



Figur 2. Spansk marguerit (*Osteospermum* sp.). Der er tydelig forskel på de yderste- og de centrale blomster. (Foto: Jan Herrstedt).



Figur 3. Saftmærker hos Stedmoderblomst, (*Viola sp.*). (Foto: Knud Ib Christensen).

medens en flyvning i zigzag skyldes at insektet leder efter den rigtige duft. Vel landet på blomsten kan der optræde forskellige dufte i blomsten, der f.eks. giver insektet information om, hvor pollen eller hvor nektar er placeret, se figur 3.

Farve

Insekter ser blomsternes farve på en helt anden måde, end vi gør. Insekter kan se ultraviolette farver, som det menneskelige øje ikke opfatter. Til gengæld er insekterne ikke i stand til at se røde farver (undtaget er dog dagsommerfugle).

Saftmærker

Saftmærker kaldes de mønstre på kronbladene, der som pile "viser vej" til honningen/nektaren. Nogle saftmærker er synlige for det menneskelige øje, men der findes også ultraviolette saftmærker, som kun det bestøvende insekt kan se.

Blomsterduft

Blomsternes duftstoffer varierer meget. Formålet med de fleste dufte/lugte er, at det bestøvende insekt skal kunne genkende duften/lugten fra besøg til besøg. Bier tager duftstofferne med sig hjem til

boet, hvorved bofællerne lærer hvilken duft, de skal opsøge. Nogle blomster har udviklet duftstoffer, der minder om råddent kød. Den ubehagelige lugt lokker de insekter til (ådsselfluer), der lægger æg på døde, halvrådne dyr for, at larverne senere har noget at leve af. Insektet bliver snydt af blomsten (hvis farve også ligner kød), lægger eventuelt æg eller flyver videre i sin søgen, men planten har opnået at blive bestøvet (eks. Slangerod (*Aristolochia*) som kan ses i Botanisk Haves væksthuse, eller Ådselblomst (*Staphelia*)).

Det attraktive ved blomsten

De bestøvende dyr skal imidlertid helst have noget ud af besøget. De kommer almindeligvis efter noget at spise. Nogle planter har udviklet honningkirtler, der producerer kulhydratholdig nektar. (Nektar er den afsondring, der forarbejdes til honning af bier). Nektarens placering og rigelighed afspejler hvilken type bestøver, der skal tilgodeses. Pollen er ligeledes næringsrigt. Men her er næringen ikke begrænset til kulhydrater. Pollen indeholder endvidere fedtstoffer, proteiner, vitaminer og mineraler. Nogle planter producerer store mængder pollen, selvom de ikke er vindbestøvede (se nedenfor). En del af "pollenoverskuddet" er beregnet til at "fodre bestøveren".

Der er dog også eksempler på andre formål med bestøverens besøg i blomsten. Forskellige arter af Flueblomst (*Ophrys sp.*) har blomster, der ligner hvepsehunner så meget, at den bestøvende hanhveps snydes og opsøger blomsten for at parre sig med "den falske hunhveps" (se Figur 4).

Blomstens udseende, bestøveren og co-evolution

Nogle insekter er generalister. De besøger flere forskellige arter for at samle pollen eller nektar. Andre insekter er specialister. De besøger kun blomster fra en art. Det er en væsentligt fordel for planten, at den bestøves af en trofast bestøver, der kun besøger planter tilhørende samme art. Det betyder en sikrere bestøvning og energien, der er blevet brugt til at producere nektar, bliver ikke spildt til utro generalister. Siden kridttiden, hvor blomsterplanterne dukkede op, er der sket en udvikling (evolution) af arter, der er tilpassede en speciel bestøver, der sikrer en succesfuld bestøvning. Bestøverne har i vekselvirkning hermed udviklet tilpasninger, der er med til at sikre, at kun den enkelte insektart kan få glæde af blomstens nektar eller pollen. Denne udvikling af blomster-

nes tilpasning til en bestemt bestøver eller gruppe af bestøvere og omvendt kaldes co-evolution/sam-evolution. Nogle arter har en så stærkt specialiseret blomsterbygning, at kun en enkelt insektart kan foretage bestøvningen. I det tidligere nævnte eksempel med Flueblomst er det endda kun det ene køn af insektet, der bestøver blomsten. Co-evolution har stor betydning for begge parter overlevelsesmuligheder som arter. Det er derfor muligt at se utallige tilpasninger mellem bestøvende insekter (og andre bestøvende dyr) og planter. Man kan se på blomstens bygning m.v., hvilken form for bestøvning den er tilpasset.

Denne succes har dog den svaghed, at et større antal planter af samme art helst skal stå indenfor en rimelig afstand fra hinanden for til fulde at kunne udnytte fordelene ved co-evolutionen. Hvis et stykke natur f. eks. en regnskov ryddes, så der kun er få individer af planten tilbage – muligvis spredt over et stort areal – kan det være vanskeligt for de specialiserede bestøvere at finde dem. Problemet kendes fra Vanilje, der dyrkes i plantager, eller *Brighamia insignis* som kun vokser på Hawaii og som her er udryddelsestruet, fordi det helt specielt tilpassede bestøvende insekt der er forsvundet (læs evt. eksempel 1.3 i kapitlet "Botanisk Have som Noahs ark for planter")

Bestøvningstyper

Overførslen af pollen fra et individ til et andet individs støvfang kan ske på forskellig vis. De hyppigste bestøvningstyper er insektbestøvning og vindbestøvning. Man formoder, at insektbestøvning er den først udviklede bestøvningstype og vindbestøvede planter er kommet til senere i blomsterplanternes evolution. Blomster kan bestøves af andre dyr end insekter (fugle, pattedyr), ligesom der findes blomster, der bestøves af vand/regn.

Insektbestøvning

Der er mange insektgrupper, der er tilpasset bestøvning af planter. Som nævnt tidligere er nogle generalister, medens andre er stærkt specialiserede og kun bestøver én specifik art. Her præsenteres et par eksempler på sammenhæng mellem bestemte blomsters udformning og bestøvere. Flere eksempler kan findes på nettet. Se litteraturlisten.

Bier

Honningbier – jordhumlebier - humlebier
Insektets tilpasninger: Kraftige, lodne med lang snabel.



Figur 4. Flueblomst (*Ophrys* sp.). I Norden findes kun en art af flueblomst, medens der findes mange arter i middelhavsområdet, hvor slægten er almindelig. (Foto: Dorte Hammelev).



Figur 5. En bi bestøver blomsterne i en Knopurt-blomsterstand. (Foto: Dorte Hammelev).



Figur 6. Tallerkenskæmmer (*Tropaeolum sp.*).
Nedenfor: Torskemund. Pilen viser hvor nektarrøveren er kommet ind i sporen.
(Fotos: Jan Herrstedt).



Blomstens tilpasning: Blomsten er "lukket" og svær at trænge ind i. Den kan endog have en pukkel, der lukker indgangen til kronrøret. Det kræver muskelkraft at være bestøver af denne slags blomster, der skal "erobres".

Nektarrøvere

En af biernes munddele kaldes snabelen eller tungen og det er den de bruger til at suge nektar op af blomsten med. Bierne har imidlertid ikke alle samme tungelængde. Indenfor samme art har arbejderbierne kortere tunger end bidronningen. Sammenligner man forskellige arter af bier, f.eks. honningbier, jordhumer og havehumer har de i nævnte rækkefølge stigende tungelængde. Det

betyder, at nektaren i blomster med et meget langt kronrør, kun kan opsuges af de bier, der har tilstrækkeligt lange snabler. En del blomsterarter har endda udviklet en lang udposning af kronrøret, der kaldes en spore, hvor nektaren gemmes. I sådan en blomst kan kun de meget langsablede bier "nyde" nektaren. Men nogle af de kortsnablede jordhumer har fundet en udvej for at få fat i den eftertragtede nektar. De snyder ganske simpelt blomsten ved at gnave hul i sporen udefra og røve nektaren uden at blomsten bestøves, som det jo er hensigten. Tallerkenskæmmer (*Tropaeolum sp.*) og Torskemund (*Linaria sp.*) er eksempler på planter, der har en lang spore, hvor nektaren findes. Man ser ofte torskemundplanter, hvor mange af blomsterne i blomsterstanden har et lille hul i siden på sporen. Her har der været nektarrøvere på spil (se Figur 5).

Fuglebestøvning

Fuglene, kolibrier og mange andre, har ofte langt, tyndt næb. I vores del af verden findes der ingen eksempler på planter, der bestøves af fugle. I troperne findes mange eksempler på, at fugle overfører pollen i deres søgen efter nektar. Mange af vores stueplanter er fuglebestøvede, da de ofte stammer fra troperne og subtropenerne. Blomsterne har ingen duft, da fuglene mangler lugtesans. Nektar dannes i store mængder for at tilgodese fuglenes store næringsbehov. Oftest hænger grifler og støvblade ud af blomsten. Eksempler: Fuchsia sp., Hawaiblostm (*Hibiscus sp.*), Kejserkrone (*Fritillaria imperialis*), Passionsblomst (*Passiflora sp.*), Lampepudser (*Callistemon*), Cigarretglød (*Manettia*) og Paradisfugl (*Strelitzia reginae*).

Vindbestøvning

Blomsterne har ingen kronblade til at lokke bestøverne med. De mangler duftstoffer, honningkirtler eller andre tilpasninger til dyrebestøvning, men producerer store mængder af pollen. Hos nogle vindbestøvede planter kan man dog se rudimenter af kronblade, der tolkes som rester fra den oprindelige insektbestøvning (eks. Hassel (*Corylus avellana*), Birk (*Betula sp.*), korn og andre græsser).

Pattedyrbestøvning

Når pattedyr medvirker til bestøvning skyldes det ofte en tilfældighed. Flagermus er dog en undtagelse.

Flagermusens tilpasning: De har en lang tunge med hår på spidsen. Flagermusen hager sig fast til blomsten med sine kløer.

Blomsternes tilpasning: De er kraftige eller samlet i store blomsterstande, da de skal kunne

bære flagermusens vægt. Danner store mængder nektar eller pollen. Da flagermus er natdyr er blomsterne ofte hvide og åbne om natten. Eksempler: Baobabtræ, Klokkeranke (*Cobaea scandens*), Mango (*Mangifera*), Banan (*Musa*), Kaktus- og Eucalyptusarter.

På <http://snm.ku.dk/gymnasieportalen/> findes flere specifikke eksempler på tilpasninger hos bestøveren og de blomster der skal bestøves.

Litteratur

- Holm Eigil, 1978. *Blomsterbiologi*. Gyldendals grønne håndbøger.
- Holm Eigil, 1978. *Bestøvningsbiologi*. Natur og Museum 18.
- Nørrevang, A. og Meyer, T.J., 1970. Danmarks Natur bind 8, Agerlandet. Politikens forlag.
- Yoko L. Dupont mf., 2004. *Fugleblomster på de Kanariske øer*. Naturens Verden 3: 2 - 11.



Figur 7. "Flyvende hunde", en af Australiens flagermus, hænger med hovedet nedad i Sydney's Botaniske Have – den er nataktiv. De bestøver bl.a. forskellige Eucalyptusarter. (Foto: Laura H Hammelev).

Genetisk styring af blomsterdannelsen

Signe Frederiksen, cand. scient.*, signef@snm.ku.dk

Bo Johansen, ph.d.*, boj@snm.ku.dk

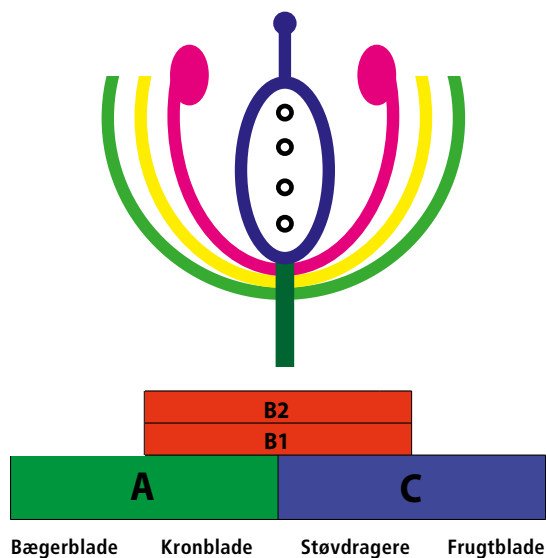
* Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet



5

Man regner med, at der er mellem 250.000 og 300.000 forskellige nulevende arter af blomsterplanter – derved er denne plantegruppe den største blandt landplanterne, der fx også omfatter mosser, bregner og nåletræer. Et enestående træk for gruppen er netop blomsten, der trods store forskelle i ydre alligevel altid er bygget over den samme grundmodel.

En blomst kan defineres som et skud med afsluttet længdevækst, opbygget af omdannede blade, der står i forplantningens tjeneste. De omdannede blade sidder i en bestemt rækkefølge, og anlæggene til disse ses i det unge blomsteranlæg som små buler. De første og nederste buler, der kommer til syne, bliver oftest til grønne bægerblade. De næste bliver til farvede kronblade. Disse



Figur 1. ABC-modellen. Blokkene læses fra venstre mod højre, således at den halve grønne blok svarer til det niveau på blomsteranlægget, hvor bægerbladene dannes, grøn + rød blok svarer til kronblade osv. (Tegninger: Bo Johansen).

to kranse kaldes tilsammen bløsterbladene. De næste buler der dannes bliver til støvdragere, der producerer pollen. Endelig bliver de sidste til frugtblade, der tilsammen danner frugtanlægget, som producerer frøanlæg, der efter befrugtning udvikles til frø. Blomsten består altså af i alt fire forskellige typer af omdannede blade, der altid er placeret i nævnte rækkefølge. Dog kan et eller flere af elementerne mangle i en blomst.

Hvordan udvikles selve blomsten? ABC-modellen

Hvorfor bliver bladanlæggene i blomsten forskellige, og hvorfor dannes de altid i samme rækkefølge, uanset hvor forskelligt blomsterne i øvrigt ser ud?

Omkring 1990 blev man opmærksom på, at disse spørgsmål i hvert fald delvis kunne besvares ved at studere en særlig gruppe gener, de såkaldte MADS-boks gener. Det er gener, der er karakteristiske ved at starte processer, som resulterer i dannelse af et bestemt organ på et bestemt sted i organismen. Hos blomsterplanterne har en særlig gruppe MADS-boks gener (de såkaldte MIKC-gener) vist sig at være centrale i forbindelse med udviklingen af blomster og blomsterstand, og det er den gruppe gener, hvis funktion man ved aller mest om. På basis af viden om disse gener – især fra gåsemad (*Arabidopsis*), en almindelig ukrudtsplante – blev hypotesen om den såkaldte ABC model for blomsterdannelse fremsat i begyndelsen af 1990'erne (figur 2). A-, B- og C-klasser generne tilhører hver sin undergruppe af MIKC-gener. Ved forsøg med mutanter (hvor de pågældende gener ikke blev udtrykt, som de skulle), blev det påvist, at bladanlæggene i blomsten udviklede sig til bægerblade, når kun A-klasse gener var aktive. De udviklede sig til kronblade, når A- og B-klasse gener var aktive samtidig, og til støvdragere, når B- og C-klasse gener var aktive samtidig. Når kun C-klasse generne var aktive, blev der dannet frugt-

Enkimbladede og tokimbladede

Hos blomsterplanterne kan to grupper erkendes – de enkimbladede og de tokimbladede. Navnene skyldes de første blade, der kommer frem, når et frø spirer. De kaldes kimblade, og de ser oftest anderledes ud end de efterfølgende blade. Karsefrø spirer med to kimblade og henregnes derfor til de tokimbladede. Løgplanter (fx tulipan) spirer kun med et kimblad og hører derfor til de enkimbladede. De enkimbladede udgør en forholdsvis beskedne gruppe på omkring 40.000 arter, mens alle andre blomsterplanter er tokimbladede. En af de mest iøjnefaldende forskelle på en- og tokimbladede er blomsten, der hos de enkimbladede næsten altid er 3-tallig (figur A) dvs. at blomsterne oftest har to kranse hver med tre kronbladslignende blosterblade, to kranse hver med tre støvdragere samt et frugtanlæg bestående af tre frugtblade, mens blomsten hos de tokimbladede ofte er 5-tallig (figur B). Inden for de enkimbladede findes en stor gruppe af arter, der er karakteristisk ved at have to kranse af ens eller næsten ens kronbladagtige blosterblade (bloster er en samlebetegnelse for de to yderste kranse i blomsten: bægerblade og kronblade), mens den overvejende del af de tokimbladede har en krans grønne bægerblade og en krans farvede kronblade.



A. Enkimbladet: Ridderstjerne (*Hippeastrum*), 3-tallig med to kranse kronbladagtige blosterblade, seks støvdragere anlagt i to kranse og en griffel, der er dannet ved sammenvoksning af tre frugtblade.

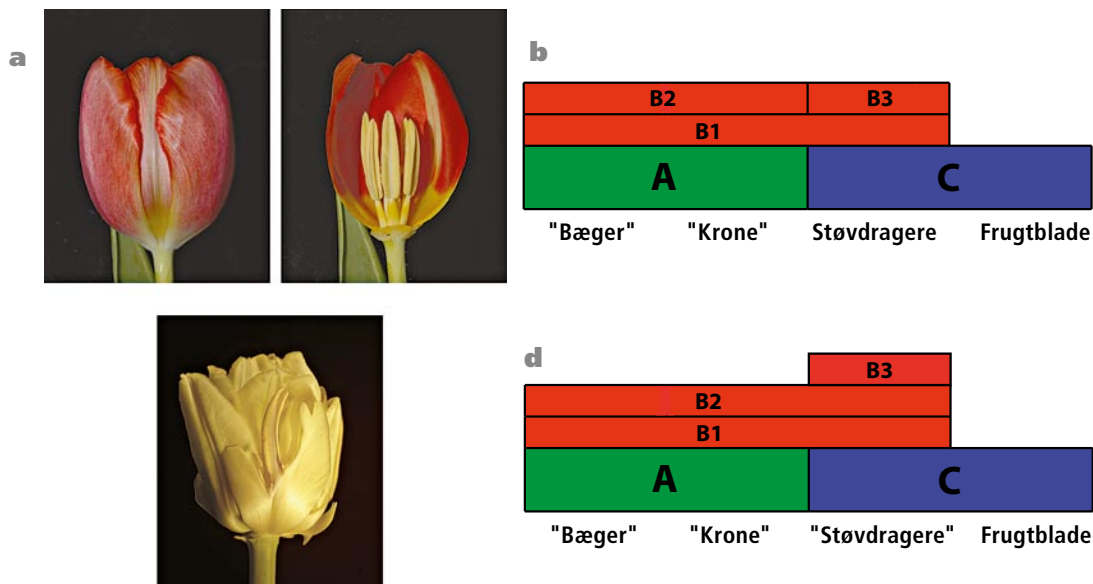
B. Tokimbladet: Hjulkrone (*Borago*), 5-tallig med en krans grønne bægerblade og en krans farvede kronblade. Støvdragerne omslutter griffelen, hvis yderste spids anes. (Fotos: B. B. Johansen og L. P. Frederiksen).

blade. Man blev desuden klar over, at der altid var to forskellige B-klassегener (her kaldt B1 og B2) i funktion samtidig. Senere har man opdaget, at flere MIKC-gener er nødvendige til dannelse af en normalt udviklet blomst, men vi holder os her til den enkle model.

Aktivering af MADS-boks gener startes altid af andre gener, der selv kan aktiveres af fysiske forhold som fx daglængde eller temperatur.

Hvad arbejder vi med?

De fleste undersøgelser af MIKC gener er foretaget på blomster fra planter, som opfattes som avancerede tokimbladede. Spørgsmålet er derfor: Kan ABC-modellen overføres til samtlige blomsterplanter fx også til mindre avancerede grupper som de enkimbladede, eller er der væsentlige forskelle? Studier af tokimbladede arter, der regnes for mindre avancerede end fx gåsemad, har påvist forskel-

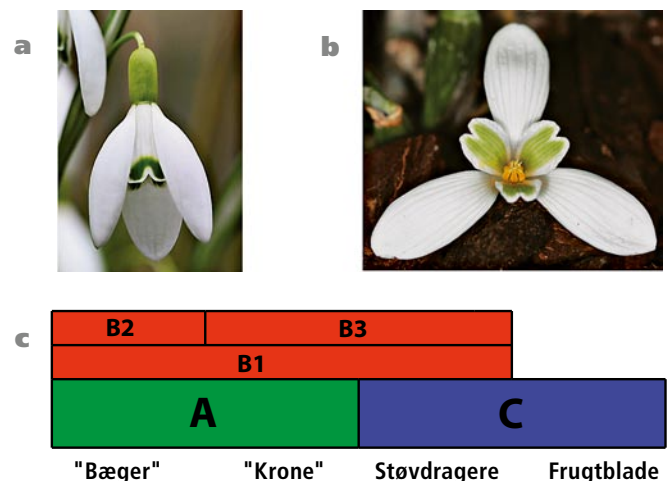


Figur 2. Tulipan.
 a. Normal blomst set fra siden og med de forreste blosterblade (bæger + kronblade) fjernet.
 b. Hypotetisk ABC-model for normal tulipan.
 c. "Fyldt" blomst set fra siden. De forreste blosterblade er fjernet, så man bl.a. kan se en blosterbladagtig støvdrager med veludviklet støvknop.
 d. hypotetisk ABC-model for "fyldt" tulipan. (Fotos: B. B. Johansen).

le, i hvert fald hvad angår B-klasse generne, hvor der er påvist mere end to B-klasser. Inden for de enkimbladede har man først og fremmest koncentreret sig om økonomisk vigtige arter som ris og majs, men græsblomsten er stærkt afvigende fra den normalt udviklede enkimbladede blomst, og dens elementer kan kun med vanskelighed sammenlignes med fx elementerne i en tulipan. Viden om MIKC genernes funktion i andre enkimbladede er stadig forholdsvis sparsom, men meget tyder på, at også i denne gruppe er deres funktion i forbindelse med blomsterdannelse lidt anderledes og her er der også påvist mere end to B-klasse gener.

Vi har valgt at arbejde med enkimbladede med veludviklede blomster, altså blomster med to kranse kronbladagtige blosterblade. Inden for disse findes fx liljer, vintergækker og tulipaner. Desuden udgør orkideerne en stor, veldefineret og spændende gruppe, der i blomsterbygning på mange måder ligner en tulipan, men som desuden har mange specialiserede træk, der måske også er styret af andre MADS-boks gener.

I denne gruppe enkimbladede planter kendes andre afvigelser i blomsterbygningen, som er ukendte eller sjældne hos de tokimbladede. Det drejer sig fx om ændring af støvdragere til mere eller mindre typiske blosterblade, således at der opstår "fyldte" ("dobbelte") blomster. Da B-klasse generne ifølge ABC-modellen er væsentlige for dannelse af kronblade og støvdragere, forestiller vi os, at der er en sammenhæng mellem variationer i blomsterbygning og flere forskellige B-klasse



Figur 3. Vintergæk.
 a. Blomst set fra siden.
 b. Blomst set ovenfra.
 c. Hypotetisk ABC-model. (Fotos: B. B. Johansen, L. P. Frederiksen).

gener. Vi har derfor fokuseret på B-klasse generne, og hos vores modelplante, orkideen *Cleisostoma racemiferum* (figur 4D), har vi foruden B1 og B2 fundet yderligere et B-klasse gen (B3).

En hypotese på basis af ABC-modellen

Betragter vi ABC-modellen (figur 1), kan man nemt forestille sig, at ændring til kronbladagtige

blade i begge blomstens ydre krans er opstået ved, at begge B-klasse generne også er aktiveret i den ydre krans. Dette er da også bekræftet af andre undersøgelser. Tulipanblomsten har normalt tre fungerende B-klasse gener, og vi forestiller os, at to af disse (B2 og B3 i figur 2a og b) udtrykkes efter hinanden, således at B1 og B2 sammen med A giver blosterblade, mens B1 og B3 sammen med C giver støvdragere.

Undertiden udtrykkes B-klasse gener længere end normalt. I en "fyldt" tulipan er støvdragerdannelse undertrykt til fordel for udvikling af flere blosterblade, men man kan ofte finde støvknapper på de blade, der sidder inden for de to ydre krans blosterblade (figur 2c). Dette kan formodentlig forklares ved, at både B1, B2 og B3 kommer til udtryk, der hvor der skulle dannes støvdragere (figur 2d). De unge støvdrageranlæg vil derfor blive mere eller mindre blosterbladsagtige.

En vintergæk har også to krans kronblads-

agtige blosterblade, men de er meget forskellige (figur 3a og b). Ved ændring af B-klasse genernes aktiveringstidspunkt, kan man opstille følgende hypotese: Ydre blosterbladskrans udvikles, når følgende gener kommer til udtryk: A-klasse gen og to B-klasse gener (B1 og B2). Indre blosterbladskrans kræver følgende gener: A-klasse gen og to B-klasse gener (B1 og B3), og støvdragerdannelse kræver to B-klasse gener (B1 og B3) og C-klasse gen (figur 3c).

Vores konklusion er derfor, at ABC-modellen kan anvendes som et overordnet skema, men i mindre avancerede plantegrupper som fx de enkeltbladede er der større genetiske variation end i de avancerede tokimbladede.

Kan sådanne hypoteser eftervises? Da MIKC generne koder for proteiner, vil det være væsentligt at kunne lokalisere disse i plantevævet. Indtil videre må vi imidlertid nøjes med at spore de tilsvarende mRNA-molekyler, der formodes at befinde sig i de samme celler som proteinerne.

Figur 4. Cleisostoma:

A. Længdesnit gennem blomst, farvede områder viser tilstedeværelse af det sporede mRNA.



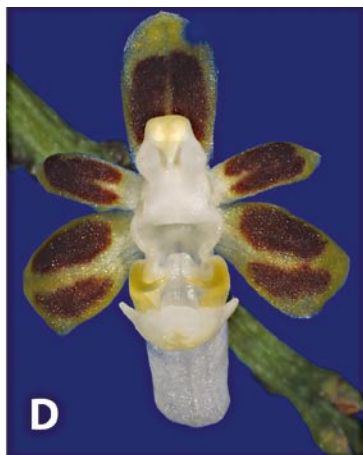
B. Negativ kontrol, hvor ændring fra mRNA til cDNA er udeladt i reaktionen.

C. Blomst set fra siden, den forreste del fjernet.

D. Blomst set forfra.

E. Spidsen af en ung blomsterstand behandlet som A.

(Fotos: B. B. Johansen).



Produktion af rene linjer

I dag foregår fremstilling af F1 hybrider på forskellige måder. Den mest arbejdskrævende er manuel bestøvning, hvor man fjerner støvdragerne i den unge blomst fra den ene rene linje for senere at tilføje pollen fra den anden rene linje. Denne procedure er nødvendig for at fremskaffe F1 hybrider hos fx tomat. Hos majs er det meget nemmere, fordi den har han- og hunblomster samlet i hver deres blomsterstande. Alle hanblomsterne sidder i en stor endestillet stand, som nemt kan fjernes, hvorefter kun ganske unge majscolber med ubestøvede hunblomster er tilbage. Pollen fås fra en anden linje, der plantes ved siden af, hvorefter vinden sørger for overførsel af pollen. Hos fx gulerod anvender man en hunlig (han-steril) stamme af den ene rene linje, hvorefter insekter kan overføre pollen fra en tvekønnet stamme af den anden rene linje. Det ønskede frø høstes herefter fra den hunlige stamme. Desværre kender man kun et begrænset antal han-sterile stammer, hvorfor mange F1-hybrider laves ved håndbestøvning. F1 planter giver erfaringsmæssigt meget større udbytte end forældregenerationerne. Søg evt. på nettet under "krydsningsfrodighed"

I forbindelse med undersøgelse af vores orkide (figur. 4c og d) har vi anvendt *In situ* PCR, en metode til opformering af DNA som gennemføres *på stedet*, altså i cellen = *in situ*. Imidlertid kræver lokalisering af et bestemt mRNA et stort forarbejde. Først ekstraheres ved en særlig metode mRNA fra unge blomsterknopper af forskellig størrelse og dermed udviklingsstadium. Ved en revers transkription oversættes mRNA til cDNA, der svarer til det normale DNA, men mangler introns. RNA er meget vanskeligt at arbejde med, fordi det hurtigt nedbrydes. I modsætning til RNA er DNA stabilt, det kan desuden anvendes i en PCR reaktion, hvorved der hurtigt og præcist kan skaffes store mængder af en bestemt DNA-streng. Men man skal kende basesekvensen af et passende stort stykke af det cDNA, man er interesseret i, så man kan konstruere primere, som kun sætter sig fast på denne streng. Primere er små DNA-stykker, der er komplementerende til områder på den cDNA-streng, man vil opformere. Primere bruges specielt i PCR processen (læs evt. mere om PCR i jeres lærebog). Alt dette foregår i eppendorfrør.

In situ PCR foregår herefter direkte på et tyndt snit af en blomsterknop, idet der laves en revers transskription efterfulgt af PCR-reaktionen. I forbindelse med denne PCR-reaktion anvendes en speciel nukleotidblandning, der indeholder nogle forbehandlede nukleotider, som man senere kan genfinde på sit snit, idet de ved passende behandling antager en mørk rødviolet farve (figur 4A, B og E).

Kan viden om MIKC-gener anvendes?

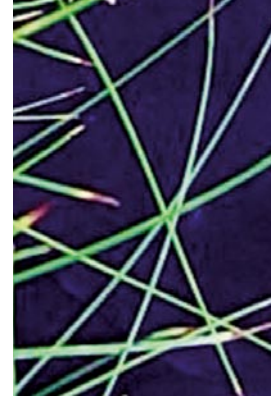
Det er vores håb, at den voksende viden om MIKC-gener kan være med til at afdække, hvorledes blomsten er opstået og har udviklet sig. Derudover kan viden om MIKC-gener også få praktisk betydning i forbindelse med forædlingsarbejde af kulturplanter, hvor mange dyrkede sorter er såkaldte F1-hybrider. En F1-hybrid opstår som en krydsning mellem to rene linjer, og der skal derfor laves kontrollerede bestøvninger mellem disse linjer. Kontrolleret bestøvning kan være meget arbejdskrævende. Men med et indgående kendskab til MIKC gener vil det være muligt at fremstille fx rene hunplanter ved at forhindre de MIKC gener, som er ansvarlige for støvdragerdannelse, i at komme til udtryk (knock-out). Dette kan gøres ved, at der indsættes en DNA sekvens i planten. Denne sekvens laver ved transkription, et stykke mRNA, som er komplementært til mRNA i det gen, man vil blokere – den såkaldte antisense metode. Da både B1 og B2 generne medvirker ved dannelsen af støvdragere, vil en plante, hvor et eller begge disse gener er sat ud af funktion, kun lave bægerblade og frugtanlæg – altså en rent hunlig plante. I princippet kan alle arter af blomsterplanter laves rent hunlige på denne måde.

Litteratur

Raven, H. Peter et al. *Biology of Plants*. (6. ed. W.H. Feeman. New York. 1999.

Planters overlevelsesstrategier

Ole B. Lyshede, lic. scient. oblysh@gmail.com



6

Der findes planter overalt på jorden fra arktis til troperne, fra de højeste bjerge til lavlandet, i ferskt vand og i havet. Planterne er stedfaste og kan ikke "krybe i skjul", når omgivelserne bliver barske. Voksestederne kan være våde, ekstremt fugtige, - tørre, - varme, - kolde eller en kombination af to eller flere af disse faktorer. Planterne har derfor måttet "opfinde" en række tilpasninger i deres opbygning og funktion for at kunne overleve på voksestedet.

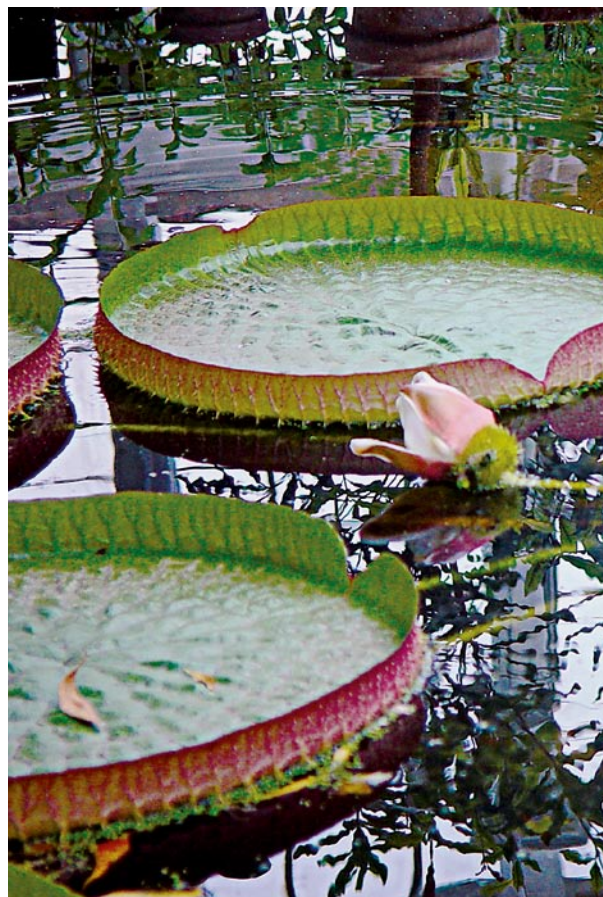
Planter laver fotosyntese i deres blades grønkorn, dvs. at de ved lysenergi danner sukkerstoffer af kuldioxid (CO_2) og vand. CO_2 kommer ind i bladene gennem spalteåbninger, som kan åbne og lukke ved hjælp af to *løbeceller*. De åbner, når det er lyst, og lukker i mørke samt ved vandmangel. Når de er åbne, kan CO_2 diffundere ind, men samtidig øges diffusion af vand ud af planten, den såkaldte *transpiration*. Denne er dog også vigtig for, at der kan foregå en transport af vand fra roden og op igennem planten via ledningsvævets veddel. I det følgende vil vi se eksempler på tilpasninger hos planter fra forskellige miljøer

Planter i vand

Planter neddykket i vand. Indholdet af CO_2 i vand er endnu lavere end i atmosfærisk luft. Neddykkede planter har ikke spalteåbninger. Det er derfor vigtigt, at bladene har et stort overfladeareal i forhold til rumfanget, hvorved diffusionen af CO_2 ind i planten forbedres. En del vandplanter har derfor stærkt fligede blade og tynde bladafsnit. Vandrøllike og Tusindblad er eksempler, og de findes især i stillestående vand i søer og damme. Andre neddykkede planter kan have lange tynde blade. De findes i vand i bevægelse, f.eks. Ålegræs og flere arter af Vandaks.

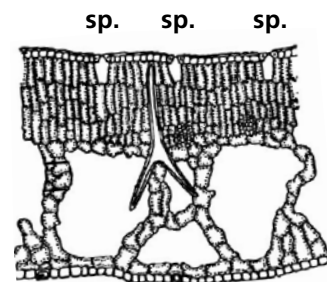
Planter med flydeblade. Åkander og andre har deres blade flydende på overfladen. Deres spalteåbninger findes på bladets overside, (figur 1 og 2).

Voks forhindrer vand i at blive liggende på bladene og blokerer for spalteåbningerne, hvis bladet bliver overskyldt. Det kan f. eks. ses på den store åkande *Victoria cruziana* i væksthuse. Arter af Vandra-nunkel har "sikret sig" ved at have både flydeblade og neddykkede fligede blade.

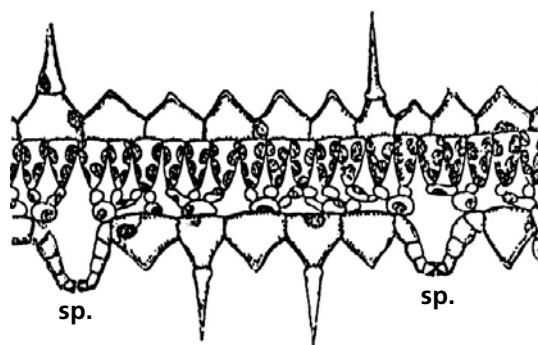


Figur 1. Kæmpeåkande, (Victoria cruziana). Store flydeblade med opkrænget rand, som dog har en revne, så vand, der måtte komme på oversiden, kan løbe ud igen. Spalteåbningerne vil findes på oversiden, da de af gode grunde ikke fungerer på undersiden. Her findes kraftige bladnerver, som afstiver bladet. (Foto: Jette Dahl Møller).

Figur 2. Tværsnit af flydeblad hos Åkande. Øverste epidermis indeholder spalteåbninger. Derunder 4 lag palissadeceller med grønkorn. Cellerne ligger tæt med 4 lodrette sider, da der kommer masser af lys på bladet. Den nedre del af bladet har mange store luftkanaler. Det omvendte "Y" er en sclereide, som afstiver bladet i bølgegang, (sp. = spalteåbninger).



Figur 3. Tværsnit af blad fra Ruellia, en regnskovsplante. Bladet er tyndt. Epidermis på både over- og underside har prismatiske celler, som bøjer lyset ind i bladet (se tekst). Spalteåbningerne ligger på puder, som rager over de almindelige epidermisceller. Hårene er levende (indeholder cellekerner) og øger dermed den transpirerende overflade. Palissadecellerne er kegleformede i kun 1 lag. Grønkornene ligger langs de skrå vægge og skygger ikke for hinanden.



Sumpplanter står med rødderne dybt forankret i slam på bunden af søer og vandløb. Da ilt er nødvendig for processerne her, har sumpplanter, og vandplanter i det hele taget, et veludviklet system af luftkanaler gennem hele planten. Eksempler er Papyrus, som ses i væksthuse 1. Dunhammer og Tagrør, som gror langs vandløb og søbredder bl.a. i Danmark er bygget på samme måde.

Planter fra regnskov

Her kan lyset være en begrænsende faktor for væksten. Regnskovsplanter har derfor ofte meget store og tynde blade for at kunne fange mest muligt lys. En plantes blade er desuden anbragt sådan, at de skygger mindst muligt for hinanden. De sidder i bladmosaik. Anatomisk kan epidermiscellerne – bladenes yderste lag af celler – være udformet så de danner prismer (tjek evt. ordet prisme på nettet). Herved afbøjes lysstrålerne, så de rammer grønkornene bedst muligt. Grønkornene er også anbragt, så de ikke skygger for hinanden. Da bladene er omgivet af tæt vanddamp, ser man ofte, at spalteåbningerne er anbragt på toppen af små cellepuder, som rager op over bladets almindelige overflade. Herved kan den nødvendige transpiration foregå mere effektivt (figur 3.).

En særlig type regnskovsplanter udgøres af epifytterne, som er planter, der lever højt oppe i træerne uden at snylte på dem. De får deres vand

fra regn, som løber ned ad træstammerne, eller deres rødder opsuger vandet fra grenvinkler, hvis ikke ligefrem at planten selv danner en skål, som deres rødder kan forsynes fra. Mange epifytter er sukkulente, hvilket vil sige, de opsamler vand i deres celler, så blade, stængler eller rødder bliver tykke og vandfyldte. Der kan så tæres på vandet, når der kommer perioder med tørke. Typiske epifytter finder vi hos Orkidé- og Ananasfamilierne, men her findes også tit bregner. I væksthuse er der mange eksempler på epifytter.

Planter fra ørkener og stepper

I ørkener og stepper er der ofte for lidt vand og for meget lys og varme. For planterne gælder det derfor om at formindske transpirationen. Mange planter her er sukkulente og opsamler en vandreserve i deres stængler eller blade. Her ophobes vandet i cellernes vakuoler (saftrum). Planten kan så tære på vandet i perioder med langvarig tørke. Desuden har planterne udviklet et eller flere af de følgende forskellige bygningstræk:

- Planternes overflade, hvorfra vandet transpirerer, formindskes. Det kan gøres ved at have små eller ingen blade og lade stænglen overtage fotosyntesen.
- Udvikling af et tykt beskyttende lag (kutikula) hæmmer sammen med et vokslag transpirationen fra plantens overflade.



Figur 4. Epifytter. Her ses eksempler på epifytter af Ananasfamilien. Markant i midten er Spaniolskæg, (Tillandsia usneoides). Den stammer fra det tropiske Amerika (N, M og S), hvor man også ofte ser den hængende i telefontråde. Planten næres fra støv i luften og er ved hjælp af særlige skjoldhår i stand til at optage vand fra regn og dug. Skjoldhårene løfter sig, når det er fugtigt, så vand kan komme ind, og sænker sig ved tørke, så transpirationen foregår langsommere. (Foto: Jette Dahl Møller).

- Spalteåbningerne er nedsænket under overfladen, således at der, selv når de er åbne, findes vandmættet luft over åbningen, som nedsætter transpirationen herfra. De kan ligge på bunden af en "skorsten", i bunden af furer



Figur 5. Forskellige sukkulenttyper. De flade ægformede stængelstykker tilhører kaktus-slægten *Opuntia*. Til højre en art af søjlekaktus og helt i baggrunden en kandelaberformet art af *Vortemælk*, (*Euphorbia*). Imellem disse to stikker en art af *Agave*-familien sine spidse grønne blade frem. (Foto: Jette Dahl Møller).

eller i indsænkede gruber, hvor indgangen er dækket af hår. Et hårlag bestående af døde luftfyldte celler kan på forskellig vis beskytte spalteåbningerne ved at dække indgangen til dem. Hårlaget kan også dække planten helt, så et vandmættet luftlag til stadighed findes lige over den egentlige overflade. Herved nedsættes transpirationen betydeligt.

Sukkulenter

Stort set hele kaktusfamilien er sukkulenter. Deres blade er reduceret til de stive hår, som omgiver de kraftige torne, der beskytter mod planteædere, og stænglen har overtaget fotosyntesen. Herved har planten reduceret sin transpirerende overflade mest muligt. Tillige har mange sukkulenter udviklet en særlig form for fotosyntese. Det gør, at de kan åbne deres spalteåbninger om natten for optagelse af CO_2 , som opløses i vandet i vakuolerne. Om dagen lukkes spalteåbningerne og CO_2 frigives fra vakuolerne til fotosyntesen. Herved nedsættes plantens transpiration betragteligt. Typiske ørken- og steppeplanter er således af kaktustypen

Andre strategier

Visse enårige planter har valgt en anden strategi. De overlever ved at fuldende deres livscyklus, inden den barske varmeperiode sætter ind og dermed oversommer de som frugt eller frø. Løg- og knoldplanter overlever ved, at deres overjordiske organer visner ned efter frøsætning. Deres løg eller knolde ligger i dvale i jorden, klar til at spire igen, når den ugunstige årstid er overstået. Andre planter har tilsyneladende ingen beskyttelse men kan tåle total udtørring, og vågner til live, når vand igen er til stede.

Arktiske og alpine planter

Planter, som vokser i højarktiske eller alpine områder har ofte samme problemer som ørken og steppeplanter. Selv om sommeren, hvor høje temperaturer kan nås, kan der være frost i jorden, hvorved vand ikke er tilgængeligt. Mange arktiske og alpine planter er derfor sukkulente eller har små blade.

Indstrålingen fra solen, som ofte reflekteres stærkt fra substratet, er voldsom. Det kræver beskyttelse, da grønkornene kan ødelægges ved stærkt lys. Mange alpine planters blade er røde, især på undersiden. Farven skyldes anthocyaniner, som findes i epidermiscellernes vakuoler, og det beskytter grønkornene mod for meget lys.

Eksotiske Krydderier

Marten Sørensen, lektor, lic. scient.
Københavns Universitet, ms@life.ku.dk



7

På verdensplan findes ialt omkring 70 eksotiske krydderiplanter, der dyrkes og handles både lokalt og internationalt. Krydderier er hele eller dele af planter. På grund af deres indhold af stærkt lugtende eller smagende stoffer - ofte æteriske olier - benyttes de til at give maden en behagelig, appetitvækkende lugt og smag. Ud over at tilføje maden smag anvendtes krydderier tidligere også, når fisk eller kød ikke længere var friskfanget eller -slagtet, så en fordærvet afsmag skulle skjules.

Indtil køleskab og fryzers indtog i husholdningerne var det svært at opbevare letfordærlige madvarer, specielt om sommeren. De eneste konserveringsmetoder var saltning og rygning.

Her var stærkt smagende krydderier som paradiskorn, (forløberen for sort peber), peber og ingefær fremragende. Med andre ord, jo dårligere kød jo mere peber. Samtidig var der status i at servere en stærkt krydret ret.

Som udgangspunkt er det ofte vanskeligt klart at afgrænse krydderier fra medicinplanter og planter, der anvendes i parfumer og kosmetik eller bruges til konservering. Adskillige krydderier havde oprindeligt deres store betydning i den traditionelle lægekunst og blev derfor ofte først kendt som følge af deres medicinske anvendelse snarere end for deres krydderi-egenskaber.

I den tidlige historie rangerede krydderier på



Figur 1. Kardemommemarker og nærbillede af plante med blomst og umodne frugter (Alta Verapaz, Guatemala). (Fotos: Marten Sørensen).

niveau med ædelstene blandt kongelige værdigenstande. De gjorde fyrster og lande umådeligt rige, fordi de fra tid til anden var stærke nok til at monopolisere handlen med bestemte eftertragtede krydderier. Dermed blev de afgørende for adskillige landes økonomi og politik. Der er ført mange, brutale krige for, at konger og fyrster kunne opretholde sådanne monopoler. Eksempelvis til lod hollænderne i 16-hundredetallet kun dyrkning af kryddernelliker på en bestemt ø, som var let at forsvare (se senere). Krydderier var også hovedårsagen til, at nye vandveje og endda nye kontinenter blev opdaget.

Krydderihandel er stadig en vigtig faktor i verdenshandelen af stor økonomisk betydning, ikke kun i de producerende lande, men også for de



Figur 2. Tegning af Ingefær fra Köhlers Medicinalplanzen – og Ingefær jordstængler til salg på markedet i Thailand. (Foto: Marten Sørensen).



lande, der importerer krydderier. Udover i fødevarereproduktionen bruges krydderier i medicinalindustrien samt i den farmakologiske-, parfume- og kosmetiske industri. I dag står følgende krydderier for 90% af verdenshandelen med denne varetype: Sort peber, ingefær, kryddernellike, kanel, muskat, allehånde og kardemomme.

Hvis man vil klassificere krydderier efter værdi pr. kilo, er safran uden sammenligning det mest kostbare med en butikspris pr. kg på 8-10.000 kr. Næst-dyrest er tonkabønner og vanilje, begge til omkring 1.000 kr. pr. kg. (Tonkabønner indeholder kumarin, der også kendes fra skovmærke og gulaks. Det er højeste mode at tilsætte krydderiet til chokoladedesserter). Derefter følger på fjerdepladsen muskatnød 320-340 kr. Femtepladsen deles af kryddernellike 130-150 kr. og kardemomme 160-70 kr.

Eksotiske krydderier kan defineres som krydderier, der oprindeligt stammer fra tropisk regnskov, som regel fra Ostindien, en betegnelse der specielt tidligere er brugt om de landområder, der svarer til nutidens Indonesien og Malaysia. I vore dage dyrkes mange af krydderierne forskellige steder i troperne. I Botanisk Haves væksthuse findes flere af dem f.eks. ingefær, galanga (stor galanga), gurkemeje og kardemomme samt peber, kanel, kryddernellike, vanilje og chilipeber, som denne artikel bl.a. handler om.

Krydderier i Ingefærfamilien

Alle er flerårige planter (stauder) med jordstængel, hvorfra rødderne og de overjordiske skud vokser frem. De overjordiske skud kan siges at ligne bambus, men har bladene siddende toradet (hvor bladene hos bambus sidder alsidigt). De er ikke, som hos bambus, træagtige – de vil i perioder med tørke visne ned. Når der så atter kommer regn, skyder nye skud frem fra den fortykkede jordstængel. Fælles for dem alle er, at de i forbindelse med nyplantning oftest formeres ved hjælp af jordstængelstykker. En plante, der stammer fra et stykke jordstængel, vil være klar til høst adskillige måneder før en tilsvarende frøformeret plante og være genetisk identisk med moderplanten. Så kender man med sikkerhed kvaliteten af produktet.

Ingefær

Indien er det mest sandsynlige oprindelsesland og er også den største producent med ca. 50% af verdens solgte ingefær. Der er tale om et af de længst anvendte krydderier, kendt af både antikens grækere og i det romerske rige. Handelsvejen

gik gennem Arabien og nåede til Tyskland og Frankrig i det 9. Århundrede, og til England og Danmark ca. 100 år senere.

Ingefær har umådeligt mange anvendelser – frisk, oftest revet i forskellige orientalske retter og til urtete og hel, syltet i sukkerlage/sirup igen til madlavning, men også i bagværk og marmelade. Derudover kan der udtrækkes olie af jordstænglerne, som bruges i både medicinal- og parfumeindustrien. Det er ikke mindst den medicinske anvendelse, der bringer ingefær op blandt de krydderier, der står for 90% af verdenshandlen med krydderier. Ingefær i tabletform er i dag værdsat som et meget almindeligt kosttilskud, der tilskrives en god virkning på ledsmerter (gigt-symptomer) og på generelle fordøjelsesproblemer. Der er dog ikke klinisk evidens for dette.

Paradiskorn

Paradiskorn – en meget stærktsmagende ”peber” fra Vestafrika tilhører også Ingefærfamilien. Da det blev introduceret i Europa, var det endog særdeles kostbart, men senere blev det væsentligt billigere end sort peber ved køb direkte på Guinea-kysten. Før i tiden kom sort peber til Europa via Sahara, og da paradiskorn pludselig kunne introduceres til en meget lavere pris, var det tæt på at trække tæppet væk under den etablerede krydderihandel, der havde betragtelige lagre af sort peber liggende. Derved gik store formuer tabt.

Forskellige plantedele anvendes forskelligt

Udover ingefær og paradiskorn tilhører galanga, gurkemeje, javaingefær, kardemomme, sort- og etiopisk kardemomme samme familie. Hos ingefær, galanga, gurkemeje og javaingefær er det jordstænglen, som høstes. Hos de forskellige arter af kardemomme og paradiskorn, er det frugten eller frøene i frugten (kapslen), der udgør krydderiet. Derudover er der størrelsesforskelle i væksthøjden (se skema på <http://snm.ku.dk/gymnasieportalen/>), og for et trænet øje er der også tydelige forskelle i blomsternes udseende.

Sort -, Grøn - og Hvid peber

Peber - sort, hvid, Madagascar, grøn eller rød - alle stammer de fra frugten fra den klatrende eller slyngende, stedsegrønne peberbusk, der oprindeligt er hjemmehørende i det sydlige Indien. Langt den største produktion finder stadig sted i Indien. Frugterne sidder tæt i hængende klaser eller hos nogle arter i kolber. Disse må ikke forveksles med grønne og røde peberfrugter.

ISO's definition på krydderier

Den Internationale Standardiseringsorganisation (ISO) har følgende definition på krydderier. Det er ”Sådanne naturlige plante- eller vegetabiliske produkter eller blandinger heraf, hele eller stødte (som pulver), der anvendes til at krydre fødevarer inklusiv drikkevarer ved at afgive smag, aroma og lugt.”

(Drikkevarerne kan f.eks. være sodavand (Ginger Ale) og alkoholiske drikke som f.eks. bitter (Gammel Dansk, Fernet Branca, Angustura) samt likører (Grand Marnier, Chartreuse og DOM som bl.a. tilsættes champagne).



Figur 3. Tegning af hhv. galanga (øverst) og gurkemeje (nederst). (Fra Köhlers Medizinalplanzen).

Til produktion af grøn peber høstes frugtklaserne, mens frugterne er umodne – de grønne frugter bliver herefter enten solgt friske i klaser, som det af og til ses i danske supermarkeder. Nogle bliver frysetørret med det samme eller de lægges i salt-, eddike- eller vineddikelage og sælges i små konserverdåser under navnet "poivre vert". Det sidste produkt bliver næsten udelukkende fremstillet på Madagascar, som også er et af de større peberproducerende lande.

Er det til sort peber, lader man frugterne modnes, til de begynder at blive rødlig, inden de høstes. Herefter bliver klaserne anbragt mørkt i store bunker i nogle timer for at sikre en enzymatisk fermentering (enzym-gæring), så smagstofferne udvikles. Endelig tørres de og nogle bliver også røget, før de pakkes til salg/eksport. Til fremstilling af hvid peber høstes de fuldt modne rødbrune frugter og frugtkødet fjernes, i reglen

efter opblødning. Herefter har man så den hvide sten (svarende til en kirsebærsten) tilbage med frøet indeni – faktisk indeholder selve stenen de fleste smagsstoffer. Igen tørres produktet, før det markedsføres. Hele, modne, rødbrune peberfrugter ses sjældent men kan dog købes, typisk i franske gourmetforretninger på internettet. Peber dyrkes i plantager, hvor der almindeligvis anvendes forskellige former for støttet træer, som peberbuskene kan klatre op ad. Når en ny plantage skal anlægges, vil det være sædvanligt at bruge stiklinger eller rodslåede aflæggere som nye planter. Dette sikrer, at den peber, der høstes fra en ny plantage, svarer til kvaliteten fra tidligere plantager – med andre ord, der er tale om kloner af udvalgte sorter og man bruger ikke planter fra frø, fordi kvaliteten i så fald vil være ukendt

Ceylonkanel og Kassiakanel

Begge former for kanel høstes som bark af yngre grene fra stedsegrønne træer, der tilhører Laurbærfamilien. Ceylonkanel stammer som navnet angiver fra Sri Lanka. Kassiakanel har derimod sin oprindelse i det syd-østlige Kina – barkstykkerne er meget tykkere og ses ofte herhjemme brugt i juledekorationer. Begge arter er mellemstore træer på indtil 18 m. Når en kanelplantage anlægges, kan man vælge enten at bruge frøformerede planter eller stiklinger. De unge træer beskæres og hyppes (dækkes med jord) for at fremme øget skuddannelse. Når de unge træer er 3-4 år gamle, høstes de 2-3 m lange vidjer (på engelsk kaldet 'quills', hvilket kan oversættes med 'fjerpenne'). Herefter høstes hvert andet år. Høsten foregår i regntiden, når de nye blade, der er røde i udspring, begynder at blive grønne – det er det tidspunkt, hvor barken lettest kan løsnes og tørres. Høst-udbyttet per hektar er ikke højt, kun 50-250 kg. Til at supplere indtjeningen høstes også blade til ekstraktion af æterisk olie, som primært anvendes i parfumeindustrien.

Kryddernellike

De op til 20 m høje, slanke, stedsegrønne kryddernellike-træer er oprindeligt hjemmehørende på Molukkerne og Ny Guinea. Da hollænderne erobrede Molukkerne fra portugiserne i 17-hundredetallet, voksede kryddernellike-træerne på adskillige øer i øgruppen, men for at kunne kontrollere markedet og dermed prisen, blev kryddernellike-træerne udryddet på alle øer på nær én, Ambon. I begyndelsen af det 19. århundrede



Figur 4. Peberplante med umodne frugter. Costa Rica. (Foto: Marten Sørensen).



Figur 5. Kryddernellike – umodne blomsterknopper, Guatemala. (Foto: Marten Sørensen).

lykkedes det englænderne at få brudt monopolen og introduceret kryddernelliker i Malaysia, Indien og Ceylon, men det var franskmændene, der fik plantet træer på Mauritius (dengang en fransk besiddelse), hvorfra de spredtes til Madagascar og Zanzibar – den sidstnævnte ø har længe været en af hovedproducenterne af den bedste kvalitet. Kryddernelliker er de næsten modne blomsterknopper, der høstes samlet i de blomsterstande, hvori de sidder, når blomstens bæger begynder at skifte farve fra grøn til lyserød. Det korrekte høsttidspunkt er kritisk for produktets kvalitet. Efter høst plukkes de enkelte knopper af blomsterstanden, hvorefter de soltørres i 4-5 dage (de må ikke som mange af de andre krydderier fermentere). Når de har mistet 60-70 % af deres oprindelige vægt og er blevet ensartet lysebrune, er de rede til at blive pakket og eksporteret. Ved etablering af kryddernellike-plantager anvendes småtræer udviklet fra frø, og høstudbyttet pr. hektar er ca. 200 kg, hvilket svarer til omkring ét kg tørrede kryddernelliker pr. træ!

Vanilje

Den eneste orkidé, der dyrkes for frugtens skyld! Vanilje-orkideen findes vildtvoksende i Mexico, Mellemamerika og dele af Caribien. Det er en 10-15 m lang, klatrende, stedsegrøn, urteagtig plante, der kræver tilstedeværelse af en hel bestemt biart til bestøvning, der er forudsætning for frugtudviklingen. Muligvis kan kolibrer også bestøve blomsterne. Først da en praktisk metode til at bestøve blomsterne med håndkraft blev udviklet,

kom der rigtig gang i kommerciel vaniljedyrkning i stor skala. Metoden blev først praktiseret på Reunion og hurtigt derefter på Madagascar. I dag er disse to øer, men også flere øer i Polynesien hovedleverandører af den bedste vanilje. Den største producent er Indonesien, men her er vaniljen af væsentlig ringere kvalitet, hvilket primært skyldes, at frugterne (ukorrekt kaldet bønner eller bælg) høstes alt for tidligt af frygt for tyveri!!! På flere andre steder, hvor vanilje produceres, bruger man at stemple (et stempel med nåle á la øretato-tering) de umodne bælg med et producentnummer, så tyveri undgås.

Frugten, der er en kødet kapsel, høstes ved første tegn på farveskift fra grøn til gullig-grøn. Når frugten at blive gul og måske med begyndende åbning i spidsen, falder værdien af den færdige vanilje markant. Efter høst sænkes frugterne ned i 80-90°C varmt vand i ca. 1 min. Herefter skal de have lov til at fermentere i et til to døgn. Herefter

Figur 6. A. Høstklare (umodne frugter) fra Vava'u, Tonga.

B. Frugter af Vanilie soltørres inden salg til grossist. (Fotos: Marten Sørensen).



soltørres de i 3-4 dage og endelig anbringes de i beholdere, indtil de fedtede frø i frugten når den fulde aroma efter 2-3 måneder. Når vaniljen sælges, må den maksimalt indeholde 25% vand. Som for flere af de øvrige krydderplanter gælder det, at til anlæg af en vanilje-plantage bruges stængelstiklinger og ikke frø.

Chili -, Cayenne- og Spansk peber

Slægten Capsicum tilhører Natskyggefamilien, der jo omfatter mange vigtige frugter som trætomat og ananaskirsebær, grøntsager som kartoffel og tomat, medicinplanter som pigæble og flere natskygge-arter som f. eks. Sort Natskygge, "Kartoffeltræ" "Talong-siam" og nydelsesplanter som tobak. Der er tale om delvist forveddede buske (0,3-1,5 m høje), som i reglen ved modenhed får røde oppustede bærfrugter. Alle stammer de fra de tropiske områder i Latinamerika. Blandt de 10 arter i slægten har 2-3 længe været dyrket af forskellige etniske indianske befolkningsgrupper og de har udvalgt et stort antal såkaldte landracer med meget forskellige egenskaber både stærke og ikke-stærke grøntsager som spansk – el. sød peber. Hvis de havde været markedsført, ville man have kaldt det for "sorter".

Det aktive indholdsstof med stærk peberaroma har navnet capsaicin og der er faktisk tale om en mild nervegift, det er muligt at vænne sig til – i modsætning til det stærksmagende stof i sort peber. I Mexico er det almindeligt at servere eddike-syltede, stærke chili i stedet for oliven til kølige drikkevarer!). Selvom chili-planten reelt er flerårig, dyrkes den oftest som enårig og man sår planten som frø til den næste afgrøde. Da chili-peber efter Amerikas opdagelse blev introduceret i Sydøstasien og Indien, udkonkurrerede den 'nye' "peber" ret hurtigt sort peber på grund af en hurtig og let produktion og dermed lav pris. Desuden har chili-peber en bakteriekontrollerende effekt, der muliggør, at sammenkogte retter forbliver spiselige i længere tid.

Krydderiers værdi, renhed og forfalskninger

Et krydderis værdi afhænger selvfølgelig af dets indhold af det for det pågældende krydderi karakteristiske indholdsstof og kan derfor til dels bedømmes ved lugt og smag. En nøjagtig bestemmelse af mængden af de virksomme stoffer var tidligere som regel yderst vanskelig: men i dag kan flere forskellige kemiske analysemetoder an-

vendes. For at undersøge om et krydderi er rent, friskt eller ikke, tjekkes renheden sædvanligvis ved hjælp af mikroskopanalyser. Derudover er et godt holdepunkt også at bestemme askeindholdet, idet stilke og skaller indeholder en betydelig større mængde mineralstoffer end selve den plantedel, blomst el. frugt, der egentlig skal udgøre handelsvaren.

Fristelsen for at blande forfalskninger i krydderier er meget stor på grund af værdien af produktet og fordi det i reglen er forholdsvis let at iblande urenheder. Den type forfalskning, der ofte er vanskeligst at påvise, er iblanding af samme krydderi, hvor de æteriske olier er helt eller delvis udtrukket. Ved hele krydderier anvendes ofte en farvning eller en iblanding af ens udseende, men værdiløse plantedele.

Ved pulveriserede krydderier anvendes oftest en tilsætning af vegetabiliske eller mineralske stoffer. Af vegetabiliske er mel hyppigst, men også stivelse, knust brød og mange forskellige plantedele, f.eks. knuste olieker, olivenkerner og andet og det såkaldte "matta". Det er et særligt pulver fremstillet til dette brug, bestående af tørrede pærer, hirseklid og andre værdiløse stoffer, farvet på forskellig måde efter de krydderier, de skal blandes i. Af mineralske stoffer har man i krydderier fundet så at sige alt anvendt til forfalskning. De nyere undersøgelsesmetoder har ganske vist trængt forfalskningerne betydeligt tilbage, men der føres dog stadig på dette område en kamp mellem de dygtige bedragerer og analytikerne. Safranforfalskninger er talrige. Man har eksempelvis fundet Gul Saflortidsel, Havemorgenfrue ("Feminell" kaldes et produkt af de tungeformede, kunstigt farvede kroner) og Almindlig Guldblomme blandet med ægte safranrifler. En forfalskning af nyere dato er småblomsterne fra tidslen Æselfoder farvet med madfarvestofferne Tartrazin og Ponceau 2R.

På <http://snm.ku.dk/gymnasieportalen/> findes ekstra information og -materiale til kapitlet samt et oversigtsskema – klar til udprintning – over de eksotiske krydderier, som dyrkes i Botanisk Have.

Litteratur

<http://eksotiskefrugter.emu.dk/>

Swahn, Jan Öjvind, 1999, *Alverdens krydderier*, Sesam.

Garland, Sarah, 1980. *Gyldendals store urte- og krydderibog*, Gyldendal.

Olsen, Claus Ib og Simonsen, Nanna 2009.

Alverdens krydderier og krydderurter, Gyldendal.

Plantestoffer i krig og kærlighed

Anne Adersen, lektor cand. pharm.*, Inst. for Medicinalkemi, aad@farma.ku.dk

Henning Adersen lektor emeritus, cand. scient.*, Biologisk Inst. adser@bio.ku.dk

*Københavns Universitet



8

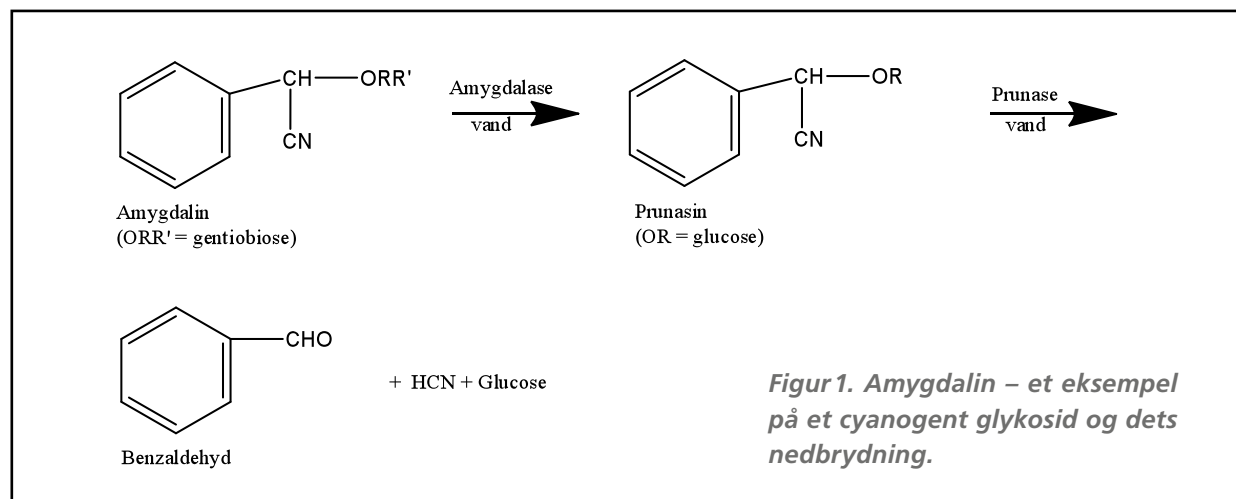
Sekundære indholdsstoffer i planter er stoffer, som ikke indgår i plantens almindelige stofskifte. Der er mange, og forskellige planter producerer forskellige sekundære indholdsstoffer i forskellige mængder. En af grundsætningerne i evolutionslæren er, at nedarvede træk, der ikke har positiv effekt for en population, før eller siden vil forsvinde ved naturlig selektion. Derfor er det også naturligt at stille spørgsmålet: Hvorfor indeholder planter sekundære indholdsstoffer? Det kan man naturligvis ikke spørge dem om, men biologerne har mange velbegrundede forslag til stoffernes funktion i planterne:

1. Planter har det problem, at de ikke kan flygte, når de udsættes for planteædere – store som små. Derfor har mange planter udviklet andre strategier for at overleve angreb, hvor produktion af giftige stoffer blot er en af dem. Der kendes mange eksempler på deres kemiske værn mod planteædere. Mange sekundære stoffer er stærke giftstoffer, andre er ubehagelige på grund af stærk duft eller smag. Mange planter er giftige for os, nogle dog i så ringe grad, at vi alligevel godt kan spise dem,

eller noget af dem. Man kan blot tænke på tomatplanter, hvor bærrerne = tomaterne er spiselige i rå tilstand, hvis de er modne (røde), de grønne er let giftige. Eller kartoflerne – samme familie – hvor det er de underjordiske stængelknolde, der er spiselige, hvis de ikke har fået lys og er blevet grønne. Resten af planten er giftig ligesom mange andre planter og plantedele i samme familie (Natskyggefamilien).

Cyanogene glycosider er en gruppe plantestoffer, som smager og dufter grimt. Mange af dem er egentlig ugiftige, men ved enzymatisk spaltning dannes hydrogencyanid (blåsyre) som er ekstremt giftigt og hurtigt virkende – der er tale om minutter før man dør. Der dannes desuden stoffer, som kan være giftige eller skarptsmagende. Virkningsmekanismen er altså ganske raffineret. I planten findes det uskadelige glycosid, men hvis et dyr tygger plantevævet og bringer stoffet i kontakt med hydrolyserende enzymer, så spaltes det i sine ubehagelige bestanddele.

Et eksempel er bitre mandler. De indeholder amygdalin som spaltes til benzaldehyd, glukose og hydrogencyanid. Hvis man kan se bort fra





Figur 2. Passionsblomt. Værtsplante for sommerfuglen *Heliconius*'s larver, som optager værtens giftstoffer. (Foto: Henning Heide-Jørgensen).

Mange planteædende insekter er specialister som har lært at holde sig fra giftige planter, men nogle udnytter giftene til egen fordel: Larver af *Heliconius*-sommerfugle fouragerer med forkærlighed på arter af Passionsblomst (*Passiflora*) skønt disse indeholder store mængder af cyanogene forbindelser. Larverne er nemlig i stand til at fjerne de cyanogene forbindelser fra fordøjelseskana-len og kan oplagre dem i andre dele af kroppen. Herved opnår dyret dels at få en foderplante næsten for sig selv, samtidig med at det selv bliver uspiseligt for rovdyr. *Heliconius*slægten lever i Sydamerika.

deres bitre smag, kan man faktisk på kort tid spise sig ihjel i bitre mandler. Lignende stoffer findes i højere eller lavere grad i æblekerner. Plantens strategi er tydelig: Spis bare frugtkødet, gerne langt fra stammen – men spyt de dele ud der er meningen med det hele, frøene.

2. Sekundære indholdsstoffer spiller også en vigtig rolle i planternes økologi og bestøvningsbiologi. Blomsternes farver og duft medvirker til at tiltrække bestøvere, skyldes sekundære indholdsstoffer. Nogle af de vigtigste farvestoffer er anthocyaniner og betacyaniner, som i øvrigt ikke er kemisk beslægtede. Imidlertid giver de begge rødlige til violette farver. Betacyaninernes forekomst i plantesystemet er begrænset til få plantefamilier, mens anthocyaninerne er vidt udbredte. Begge stofgrupper forekommer aldrig i samme art. Fra et evolutionært aspekt kan dette næsten kun tolkes på en måde: Farvningen er vigtig, men hvis man har den ene stofgruppe er det nok - energimæssigt bliver det for "dyrt" for planten at producere dem begge.

Vi kan kun se farver indenfor det synlige område. Insekter kan i modsætning til os se stoffer som f.eks. flavonoider, der kun er "synlige" i det ultraviolette lysområde. Således vejledes bier ofte

til honninggemmerne af bestemte flavonoidholdige områder i blomsten.

Blomsterdufte skyldes i de fleste tilfælde flygtige stoffer der stammer fra planternes indhold af æteriske olier. Sammensætningen varierer meget fra art til art, og der er udviklet faste bestøvningsforhold på den måde, at bestemte arter udvikler et bestemt duftspektrum, som tiltrækker et bestemt udvalg af bestøvende dyr. Dette er et klassisk eksempel på co-evolution, altså det forhold, to forskellige organismer selekteres i samme retning til gavn for begge (læs evt. mere i kapitlet *Blomsten i forplantningens tjeneste*). Der findes plante-duftkombinationer der er specielt tilpasset natsværmere, flagermus, bier eller dagsommerfugle. Dette hænger naturligvis sammen med, hvornår blomsten er klar til bestøvning. De fleste kender sommerfuglebusken (*Buddleja*) som i eftersommeren trækker hundredevis af sommerfugle til. Den har et bredt spektrum af duftstoffer, men det er især to stoffer, der virker tiltrækkende på sommerfuglene.

Ådselsblomsten *Stapelia*, der har farve som råd-nende kød, indeholder duftstoffer, der i nogle arter består af store mængder af ildelugtende svovlforbindelser. De er bestemt ikke velduftende for mennesker, men for de fluer, der besørger bestøvningen er de tilsyneladende voldsomt tiltrækkende.

3. Planter må normalt konkurrere med andre planter om plads, lys, vand og næringsstoffer. Denne konkurrence sker ikke blot ved fysisk fortrængning eller udskygning. Mange arter udskiller aktivt – under eller over jorden – sekundære forbindelser, som hæmmer andre planter vækst, altså en form for kemisk krigsførelse. F. eks. har mange af de duftstoffer, som gør krydderplanter som basilikum og timian tiltrækkende for os, den effekt, at de hæmmer spiringen af konkurrerende arters frø.

4. Det ser ud til, at mange plantearter benytter udskillelse af visse stoffer som kommunikationsmiddel. Et af de førstkendte eksempler er ethylen, som udskilles af en del modnende frugter, og som har den effekt, at frugtmodningen fremskyndes, selv hos arter der ikke selv udskiller ethylen. Tilsvarende har man påvist, at en del nåletræer i tilfælde af insektangreb eller såring reagerer med udskillelse af flygtige kulbrinter. Det udløser produktion af andre stoffer der afskrækker insekterne - ikke blot i de angrebne individer, men i hele nåletræpopulationen. Her er der altså tale om et mobiliseringssystem, hvor træerne "taler sammen" ved hjælp af kemi.

5. I mange tilfælde er der knaphed på tilgængeligt kvælstof i naturen. Mange plantearter er derfor sparsommelige med deres N-indhold, f. eks. ved aktivt at trække N-holdige forbindelser ud af døende plantedele som det faldende løv. Mange sekundære indholdsstoffer, f. eks. alkaloider som morfin, nikotin og cyanogene glykosider eller amygdalin (omtalt under punkt 1) indeholder kvælstof, og det ser ud til, at nogle planter bruger disse forbindelser som en kvælstofreserve, der kan mobiliseres, hvis forsyningen svigter.

Det centrale spørgsmål fra indledningen "Hvorfor indeholder planter sekundære indholdsstoffer" er altså ikke simpelt at besvare. Til gengæld har forsøgene på at give svar været en forskningsmæssig udfordring. Det har ført til mange spændende forskningsresultater, især når man har set på spørgsmålet i et evolutionært lys. For blot et par hundrede år siden var svaret simple: planterne er skabt med de egenskaber og indholdsstoffer de har, for at menneskene skal udnytte dem. Og vi udnytter dem skam også: Pynter op eller gør kur med blomsternes farvepragt, nyder krydderiernes eller parfumernes vellugt, og stimulerer os på mere eller mindre fornuftig vis med koffein, nikotin eller det der er værre.



Figur 3. Trævlekrone (*Lychnis*) øverst, og *Pereskia* (nederst) fra Botanisk Have. Begge har lyslilla blomster, men hos *Pereskia* fra Kaktusfamilien skyldes farven betacyaniner, mens den hos trævlekrone fra Nellikfamilien skyldes anthocyaniner. (Fotos Henning Adsersen).



Jagten på plantestoffer

Anne Adersen, lektor cand. pharm.*, Inst. for Medicinalkemi, aad@farma.ku.dk

Henning Adersen lektor emeritus, cand. scient.*, Biologisk Inst., adser@bio.ku.dk

*Københavns Universitet



9

Planteprodukter spiller en langt større rolle for mennesket end de fleste tænker på. Vi lever af vegetabiliske stoffer som kulhydrater (stivelse og sukker), proteiner (mange livsvigtige aminosyrer kan ikke produceres af dyr), og fedtstoffer (planteolier). Vi er afhængige af vitaminer og mineraler som planter opbygger eller optager. Desuden udnytter vi i høj grad plantefibre både til tekstiler (bomuld og hør) og til mere industrielt brug (tømmer og tovværk). De nævnte stoffer indgår også i planternes normale stofomsætning og er derfor primære indholdsstoffer. Dette kapitel skal imidlertid handle om de sekundære indholdsstoffer, der ofte har markante fysiologiske virkninger. Mange plantearter har ved udvortes eller indvortes brug en biologisk virkning på os og dette er grunden til, at planter har været de vigtigste lægemidler fra de tidligste kulturtrin hos så godt som alle folkeslag. I nogle tilfælde skyldes effekten et enkelt eller få stoffer, men ofte beror virkningen på et samspil mellem mange indholdsstoffer i planten. Også i dag indgår mange rene

lægemiddelstoffer isoleret fra planter i konventionel medicin, mens mange planter og planteekstrakter anvendes i naturlægemidler og kosttilskud.

Lægeplanter, hvor findes de?

I Botanisk Have er der mange af sådanne lægeplanter. Galnebær (*Atropa belladonna*) og Almindelig pigæble (*Datura stramonium*), to gamle lægeplanter fra natskyggefamilien, indeholder blandt andre giftstoffet atropin – som virker pupil-udvidende (man får smukke, store øjne, deraf navnet belladonna). Desuden indeholder de scopolamin, der kan anvendes mod søsyge.

Catharanthus roseus og *Podophyllum peltatum* – ingen af planterne har danske navne – leverer stoffer til kemoterapi mod forskellige former for cancer. Tempeltræet (*Ginkgo biloba*), har en gunstig indvirkning på kredsløbet. Der er også planter fra den danske natur. Prikbladet perikon (*Hypericum perforatum*) er virksom mod lettere



Figur 1. *Atropa belladonna*. Medicin- og giftplante i Botanisk Have. (Foto: Henning Adersen).



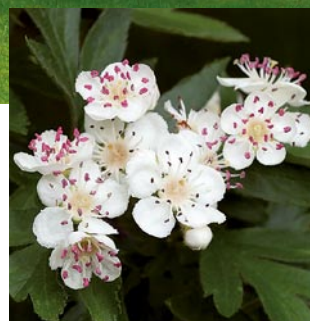
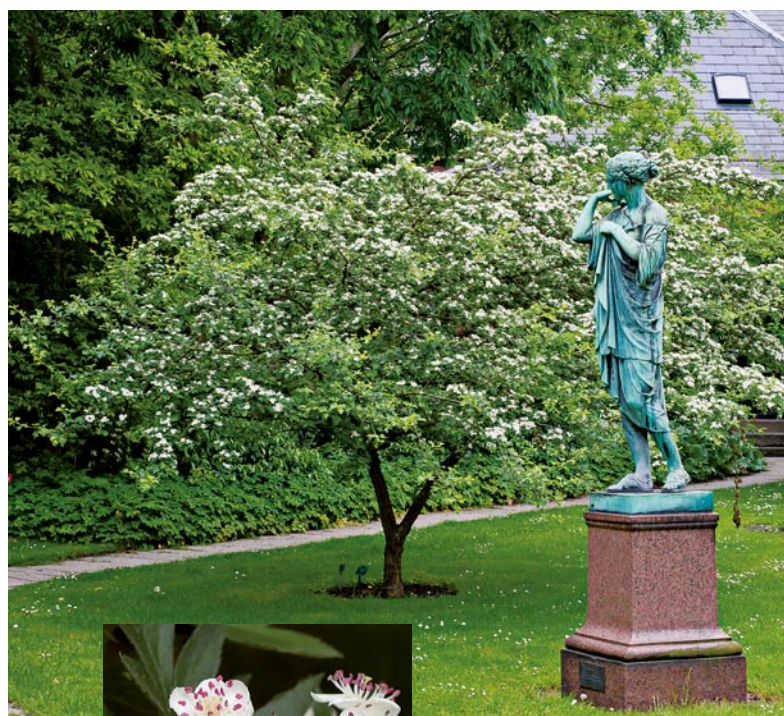
Figur 2. Blade af Tempeltræet (*Ginkgo biloba*) – meget anvendt i naturmedicin. (Foto: Jan Herrstedt).

depressioner, Læge-baldrian (*Valeriana officinalis*) mod søvnbesvær og Hvidtjørn (*Crataegus laevigata*) kan bruges mod aldersbetinget lettere nedsat hjertefunktion.

Den potentielle medicinske anvendelse af de aktive stoffer har forårsaget en veritabel jagt på nye forbindelser i planter. Der er stadig mange planter, som ikke er undersøgt, men efterhånden findes sådanne planter enten i afkroge af verden eller af planteriget.

Jo længere ud i krogene, desto dyrere bliver plantejagten, så der må lægges en strategi. En mulighed er at jage potentielle lægemiddelstoffer på steder, hvor der vokser mange arter, som ikke findes andre steder i verden.

Et godt sted at søge disse er på oceaniske øer, som aldrig har været en del af fastlandssoklen. Her har floraen sin oprindelse i arter, der har haft evne eller held til at passere oceanet og etablere en levedygtig bestand. Det lykkes kun for få af fastlandets arter, og sammensætningen af planter afspejler ikke artsfordelingen på fastlandet. Når der kun er få arter på en ø, skabes der mulighed for udvikling af nye arter. Derfor findes der mange endemiske arter på oceaniske øer – dvs. arter, som ikke forekommer andre steder – og disse arter kan være ret forskellige fra selv nære slægtninge på fastlandet.



Figur 3.
Hvidtjørn (Crataegus)
– stimulerer hjerte-
funktionen.
(Foto: Jan Herrstedt).



Figur 4. Bjergregnskov på Réunion. Indsat: *Embelia*, én af lægeplanterne fra skoven. (Fotos: Henning Adersen).

Hvordan tilrettelægger man bedst sine søgen efter nye planter med sekundære indholdsstoffer der er medicinsk vigtige for mennesket?

For os har strategien med at undersøge øfloraer ligget lige for, fordi det har været muligt at koble plantekemisk og farmakognostisk forskning sammen med økologiske og evolutionære projekter. Vi har haft mulighed for at arbejde med floraen på Galápagosøerne i Stillehavet og på Réunion i det Indiske Ocean. På Galápagosøerne findes der ca. 600 plantearter, hvoraf 40 procent er endemer, og på Réunion vokser ca. 1000 arter, hvoraf 50 procent er endemer.

Lægeplanter fra Réunion

På Réunion er der en rig tradition for brug af planter som lægemidler. Det skyldes ikke mindst den meget blandede befolkning, der kommer fra Indien, Afrika, Madagascar, Arabien og Europa, og alle grupper har taget deres folkemedicinske tradition med. Der er i størrelsesordenen 75 arter som i den traditionelle medicin er anset for at være vanddrivende og/eller blodtryksænkende. En sådan virkning kan skyldes hæmning af enzymet ACE (Angiotensin Converting Enzyme), som spiller en vigtig rolle i regulering af blodtryk og vandladning. Enzymet er ansvarligt for omdannelsen af et stof til et andet (angiotensin I til angiotensin II), der medfører karsammentrækning, øget perifer karmodstand, øget natrium- og vandtilbageholdelse og dermed øget blodtryk. ACE-hæmmere anvendes i dag i behandlingen af forhøjet blodtryk og de vigtigste farmakologiske virkninger er karudvidelse, øget natrium-udskillelse, øget urinproduktion og nedsat blodtryk.

Jagten på ACE-hæmmere – en arbejdsmetode

Vi satte os for at undersøge så mange som muligt af de planter, der bliver anset for at være vanddrivende eller have blodtryksænkende virkning. I løbet af fire måneder nåede vi at finde og indsamle 54 af de arter, som blev anvendt traditionelt. Det udgør ca. 72 %). For at have et sammenligningsgrundlag indsamlede vi derudover 26 arter som alle var endemiske arter uden traditionel anvendelse relateret til for højt blodtryk. De var jævnt fordelt på de samme planteordener som de 54 arter tilhørte. Af de traditionelt anvendte arter var 44 procent aktive dvs. der var en hæmmende effekt på enzymet ACE – det er et ret højt tal. Man må altså sige, at den folkelige medicin (etnofar-

makologien) har fat i mange aktive planter med påviselig medicinsk effekt, så man har stor mulighed for at finde nye lægemidler ved at undersøge de traditionelle lægeplanter.

Det viste sig, at af de endemiske arter, som ikke var anvendt i folkemedicinen, var hele 31 % aktive. Dvs. at de endemiske arter også kan være medicinsk interessante. Der kan være flere grunde til, at disse arter ikke er gået ind i folkemedicinen. Måske er det et tidsspørgsmål. Réunion er først blevet befolket for ca. 250 år siden, og naturligt nok er man startet med at bruge de planter, man kendte hjemme fra Madagascar eller Indien eller hvor man nu kom fra. Der er også en anden mulig forklaring. Mange af de virksomme arter indeholder også stærke giftstoffer. Ved brug af dem kan man måske nok lindre nogle sygdomme – for så efterfølgende at dø af forgiftning.

Øer - evolution og plantekemi

Studier af sekundære indholdsstoffer kan lede til bedre forståelse af dannelsen af endemiske arter på oceaniske øer. Det er et karakteristisk træk for evolutionen på oceaniske øer, at artsdannelsen i mange tilfælde sker som en voldsom forgrening af stamtræet. Derfor er der mange nærtstående arter med en fælles stamfar, som på et eller andet tidspunkt er immigreret til øen eller øgruppen. Således er halvdelen af de ca. 1000 endemiske plantearter på Hawaii fordelt på kun 20 plante-slægter. Og selv om der kan være sket flere immigrationer indenfor samme slægt, er der tale om voldsomt forgrenede stamtræer, der udgår fra få immigrerede arter.

Ofte er det svært at udrede, hvorledes stamtræerne er udviklet. For selv om der i mange tilfælde er betydelig morfologiske eller økologiske forskelle mellem arterne, så er variationsbredden inden for den enkelte art tit så stor, at det er svært at adskille arterne. Man har naturligvis forsøgt sig med DNA-analyser, men det har ofte vist sig, at den store morfologiske variation ikke er ledsaget af tilsvarende markante genetiske forskelle. Derfor kan analyser af sekundære indholdsstoffer være et vigtigt værktøj i taxonomien, læren om arternes slægtskabsforhold.

Scalesia fra Galápagosøerne – en evolutionsundersøgelse

Planteslægten *Scalesia* forekommer kun på Galápagosøerne, (figur 5A, B og C.) Den tilhører kurvblomstfamilien (som herhjemme bl.a. omfat-



A

Figur 5A, B og C. Eksempler på *Scalesia*-arter fra Galapagosøerne. Den største er *Scalesia pedunculata* (A) som dannede tætte skove på fire af øerne (B).

Det lille indsatte billede i A er en blomsterstand.

Busken er *Scalesia baurii* fra de nordligste øer (C). (Fotos: Henning Adrsersen).



B



C

ter mælkebøtter, tidsler og margueritter). Der er beskrevet 15 endemiske arter, som alle er buske eller træer (hvad der ret usædvanligt indenfor familien). Fire af arterne er vidt udbredte og ofte dominerende hvor de forekommer, men de fleste arter er sjældne og med meget begrænset udbredelse. Man kan sige, at de er en botanisk parallel til øernes berømte finker, Darwins finker (figur 6).

Deres morfologi og udbredelse og krav til omgivelserne er velbeskrevet, men man har ikke et overbevisende billede af, hvorledes slægtskabsforholdet er. DNA-analyser har hidtil ikke givet brugbare resultater.

Vi har derfor fokuseret på arternes indhold af æterisk olie. Vore tidligere undersøgelser tydede på, at sammensætningen af olien sammenholdt med de tilgængelige morfologiske og molekylære informationer kunne give et fingerpeg om arternes udviklingshistorie. For eksempel viser det sig, at de vidt udbredte og bestanddannede

arter, som af morfologiske grunde må anses for at være nærmest beslægtede med den fælles, uddøde stamfader har et bestemt stof (β -eudesmol) som hovedbestanddel af deres æteriske olie. I forbindelse med Galathea-ekspeditionen har vi indsamlet nyt materiale fra næsten alle arter og har nu et stort materiale, der dækker flere indsamlinger af de enkelte arter fra forskellige lokaliteter og forskellige årstider.

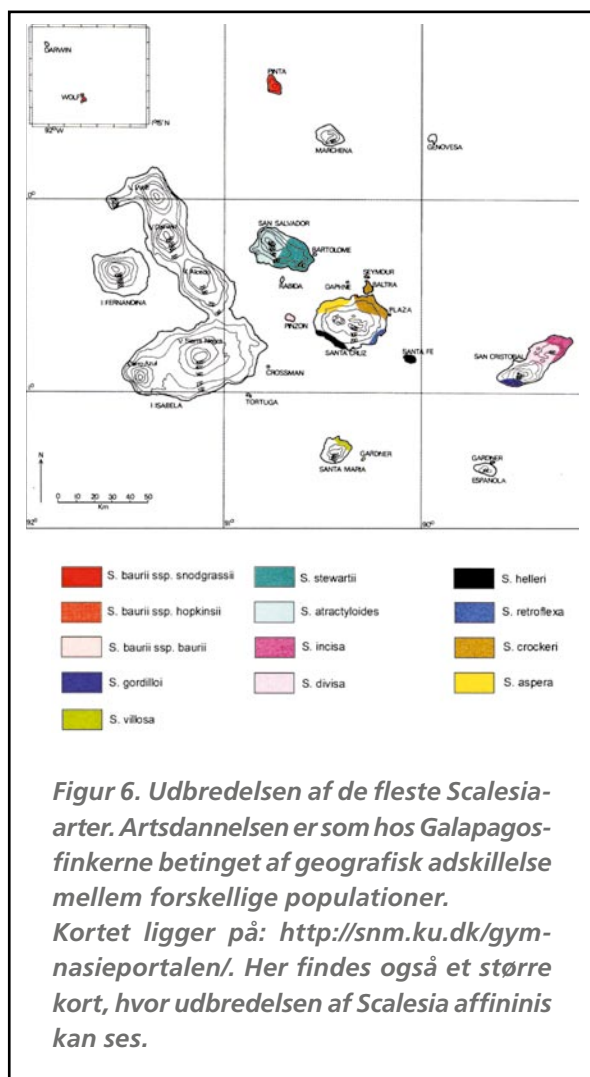
De foreløbige resultater af analyserne viser, at der er et artsspecifikt mønster i sammensætningen af den æteriske olie, og at de 15 arter kan placeres i fire grupper. Undersøgelsen antyder, at *Scalesia affinis* kunne være nærmest stamfaderen, og at de andre arter var udviklet herfra.

I forbindelse med arbejdet på Galapagos har vi indsamlet frø af mange af *Scalesia*-arterne. Mange af disse frø er blevet bragt til spiring i Botanisk Have med tre formål: Dels fordi vi så har frisk plantemateriale til vores studier, dels fordi planterne er så truede, at det er vigtigt at de overlever i kultur (ex-situ-conservation) – og dels for at vise publikum disse spændende planter. Prøv selv at besøge dem i Conservationhuset i Botanisk Have og fornem den balsamiske duft af *Scalesias* æteriske olie.

Efterskrift

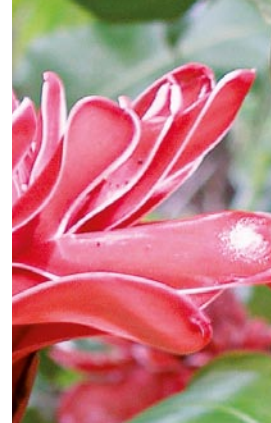
Studier af sekundære indholdsstoffer i planter fra øer har altså givet resultater på flere felter. Undersøgelserne på Réunion har bidraget med nye medicinskemiske data. De har vist, at mange planter anvendt i traditionel medicin indeholder aktive stoffer, der kan forklare den traditionelle anvendelse. Men det viste sig også, at i flere af de endemiske arter, som ikke er taget ind i folkemedicinen, fandtes der også virksomme stoffer. Så selv om det er oplagt at starte med at undersøge traditionelt anvendte plantearter, så kan det være givtigt også at undersøge andre arter, som ikke er undersøgt tidligere. Her kommer de endemiske arter ind.

Undersøgelserne på Galápagosøerne er med til at kaste lys over artsafgrænsningen inden for den største endemiske planteslægt. Da fredningsbestemmelserne og bestræbelserne for at leve op til Rio-konventionen og bevarelse af biodiversitet går ud på at beskytte og bevare truede arter, har dette praktisk betydning – men vi skal da ikke lægge skjul på, at en af vore drivkræfter er den akademiske interesse i at undersøge artsdannelsen på de øer, som var en vigtig inspirationskilde for Darwin i hans formulering af arternes oprindelse.



Tropisk regnskov Hvorfor er den vigtig?

Jørgen Lobedanz, lektor cand scient.
Tornbjerg Gymnasium. jlobedanz@gmail.com



10

Regnskoven er meget gamle og deres artsrigdom skyldes mange faktorer, blandt dem skovens høje alder. Sådanne oprindelige skove, der ikke er blevet forstyrret i løbet af deres udvikling, kaldes primærskove. Vegetationen har gennemløbet en række udviklingstrin og har nået et klimaksstadium, dvs. maksimal udvikling. Det betyder, at skoven består af det maksimale antal arter, der kan overleve sammen under de eksisterende betingelser. Men det betyder ikke, at der ikke sker ændringer i skoven. Af og til vælter et træ og skaber et stort lyshul i et ellers sammenhængende kronetag. Det giver ophav til nye nicher fordi lyset nu kan nå skovbunden. Og nu starter et sandt kapløb om lys blandt urter, buske og småtræer, der har stået på spring i skyggen. Nogle træer vinder og luk-

ker efterhånden lyshullet igen. Skovene er også i deres klimaksstadium i en evig dynamisk tilstand. Man regner med, at omkring 3-10 % af skoven er inde i en naturlig regeneration, som giver plads til pionérplanter. Det kunne være banan, som er en urt og træer som f. eks. Dovendyrtræ (*Cecropia*) og Balsa med det lette ved, vi bygger hobbyfly af. Til sidst vil klimakstræer igen erobre kronetaget. Nogle af pionértræerne og klimakstræerne kan ses i tropehuset i Botanisk Have.

Regnskoven – en skov i etager

Sollyset bestemmer regnskovens struktur og planternes livsformer. Træerne danner flere etager i kampen om lyset, der skal sikre energi til bladenes



Figur 1. Et lyshul i kronetaget efter træfald. (Foto: Hanne Lobedanz).

Figur 2. Skovens forskellige etager. Her ses de høje træer, luftrødder fra epifytter højere oppe på den forreste stamme samt en almindeligt forekommende epifyt (*Fin-gerfilodendron*) i øjenhøjde. (Foto: Jørgen Lobedanz).





Figur 3. Træ med brætrødder. (Foto: Jørgen Lobedanz, Fotogruppen TG).



Figur 4. *Cookenia*, en slægtning til vores Skarlaget-Bægersvamp, nedbryder døde grene i skovbunden. (Foto: Hanne Lobedanz).

fotosyntese. De højeste træer rager op som enlige giganter over den øvrige skov, og disse trækroner når en højde af 70 meter eller mere.

Næste etage skabes af træer, der danner skovens sammenhængende kronetag i 45 meters højde. De afgrænses nedad af træer, der rager 20 meter op og danner et skyggetålende mellemlag. Sidste etage udgøres af underskoven med få urteagtige planter og selve skovbunden. Hernede er ikke meget lys, så der vokser meget lidt. Men falder der et træ, vil skovbunden på meget kort tid

dækkes af urteagtige planter – der er masser af frø i jorden som først spirer, når en sådan lejlighed viser sig. Etagerne antal og udstrækning varierer i jordens forskellige regnskove, ligesom træhøjden aftager, når man går fra lavlandsregnskov til bjergregnskov. Man regner med, at ca. 70 % af alle arter i regnskoven er træer.

Livsformer og sammensætning

Forskellige livsformer har udviklet sig i kampen for at få del i lys, vand og næringsstoffer til deres vækst. Som nævnt ovenfor er den dominerende livsform træet, der danner skovens forskellige etager og struktur.

Træer er karakteriseret ved deres enkle stamme, som kan føre kronen op i lyset. Mange er forsynet med specielle brætrødder, der som trekantede støtteflader danner en bred platform med rodbasis i jordbunden. Støttefladerne kan løbe flere meter op fra stammen og brede sig tilsvarende flere meter horisontalt. Selve rodnettet, der optager næring, ligger i de øverste jordlag, hvor alle nødvendige næringsstoffer også ligger. Dødt plante- og dyremateriale nedbrydes hurtigt i det våde og varme klima, og omdannes af svampe og andre nedbryderorganismer til uorganiske næringsstoffer, der straks indgår i planterne igen som byggemateriale. Et veludviklet muldlag som vi finder det i en dansk bøgeskov, findes ikke. Man siger derfor at regnskovens jord er næringsfattig, idet alle uorganiske næringsstoffer hurtigt indbygges i planterne.

Svampe arbejder sammen med næsten alle planter, hvorved udvaskning af næringsstoffer forhindres. De indgår i et symbioseforhold (samliv), hvor planternes rodhår overvokses af svampehyfer. Desuden kan svampehyfer forgrene sig inde i planternes rodceller. Svampenhyferne er desuden vidt forgrenet i jorden og mangedobler således røddernes samlede overflade, så næringsstofferne let optages før de bliver udvasket. Til gengæld får svampen kulhydrater fra planterne. Dette kaldes mykorrhiza (svamperod). Flere former er repræsenteret her. Alle tropiske træer og mange af de øvrige planter har mykorrhiza, og man ved fra forsøg, at planter, der indgår i symbiosen vokser op til 30 gange hurtigere end planter uden mykorrhiza.

Urter vokser som epifytter (se senere) i træetagerne og almindelige urtevekster gror nede på



Figur 5. Blomstrende plante fra ingefærfamilien. (tv) og *Heliconia* (th) ses i skovens lysninger og langs stier. (Fotos: Hanne Lobedanz).

skovbunden. Fingerfilodendron ses som kæmpe-epifytter i grenhulninger, og mange af vores stueplanter finder vi på skovbunden i lysninger og langs stier. Et hurtigt rundkig i lavlands-regnskoven i Corcovado National-park, Costa Rica afslører f. eks., Peber, Banan, Ingefærfamilien, Balsamin, m.fl. Kødædende planter som Kandedbærer (*Nepenthes*) findes i Asiens skove både som epifytter og på skovbunden. De nævnte planter findes i Botanisk Haves væksthuse.

Lianer er træagtige klatreplanter med rodfæste i skovbunden. De støtter sig til eller slynger sig om træer og sparer selv på stammetykkelsen i spurten op efter lys. Til gengæld kan de opnå en længde på 70 meter, mens stammen blot er 15 cm i diameter. 90 % af alle lianer findes i troperne og er repræsenterede i forskellige plantefamilier. Lianernes stammer er specielt bygget anatomisk, så de tåler træk. Mange træer er gennemvævet af lianer, der holder sammen på grenene, når et stormuvejr raser i kronetaget. (ref. Marius Jacobs side 66). Dovensyr siges at sove i liansamlinger, som beskyttelse mod fjender. En god beskyttelse, for når et rovdyr jager, vil lianer sætte netværket i bevægelse, så dyret varsles.

Epifytter gror i eller på træer og har ikke kontakt med jordbunden i skoven. Deres livscyklus indledes med et frø, der via dyrespredning spirer i en grenhulning, hvor lidt plantemateriale er samlet. Er lysmængden rigelig, vil planten gro og udvikle sig optimalt. Ananasfamilien er rigt repræsenteret



Figur 6. Ananasfamilien ses mange steder repræsenteret som epifyt højt oppe på træernes grene. (Foto: Jørgen Lobedanz).

i de sydamerikanske regnskove. Planterne danner en tragt af blade, som opsamler regnvand under de daglige regnskyl. Da rodnettet ikke er jordfæstet, udnytter de vandet i bladtragten i de tørre timer, der varer indtil næste dag. Særlige hårceller i bladrosetterne ved bladenes basis er i stand til at optage vand og opretholde et passende vandtryk i resten af planten. Efter regnfald bager solen igen voldsomt med næsten ørkenlignende temperaturer. Bladene skal altså være bygget til at kunne overleve voldsomme skift mellem klimatiske set ekstreme situationer med hensyn til vand (fugtighed) og lys. Bladene er også læderagtige og tåler disse klimatiske udsving døgnet rundt.

Orkidéfamilien er tilsvarende talrigt udbredt blandt epifytter i skoven. Mange har særlige opsvulmede stængelafsnit, der fungerer som vandreservoir. Vanilleplanten er en epifytisk orkidé, hvis tørrede frugter bruges som krydderi i en lang række fødevarer. Endelig ser man utallige bregnearter - bl.a. den store hjortetaksbregne - og talrige mosser vokse epifytisk overalt, hvor der er rodfæste og tilgængeligt lys. Repræsentanter fra Bregne-, Ananas- og Orkidéfamilien findes i flere af Botanisk Haves væksthuse.



Figur 7. Stammen er overgroet af lianer og luftrødder som tilhører kvælerfigen. (Foto: Foto-gruppen TG).

Kvælere. Nogle epifytter (og lianer) er kvælere. Stuebirk tilhører figenfamilien. Nogle arter lever som epifytter, og andre som jordboende træer. Epifytterne starter højt oppe i et træs forgrening. Her udvikler planten sig til et lille træ, der sender luftrødder ned til skovbunden efter næring. De kaldes for kvælere, da de omvokser værtstræet for at placere sig optimalt i forhold til lyset. Til sidst er værten totalt overgroet og dør af mangel på lys og kun stuebirken står tilbage. Den kan også ses i Botanisk Haves største tropehus.

Regnskovens klima – vi undersøger skovens mikroklima

Den primære regnskov har sit eget klima kaldet mikroklimaet, der er betinget af beliggenheden i det tropiske område omkring ækvator. Hvis vi undersøger nogle af de forhold, der har betydning for planters vækst, viser det sig, at vindforhold, temperatur, luftfugtighed og lys danner et særligt tropisk klimamønster, der kendetegner skovens årsrytme og døgnrytme. Målinger fra Amazonas regnskov tæt på ækvator viser en gennemsnitstemperatur på 25-28 grader året igennem og kun små døgnsvingninger på ca. 5-8 grader. Regnmængden er over 2 meter om året og nogle steder op til 10 meter.

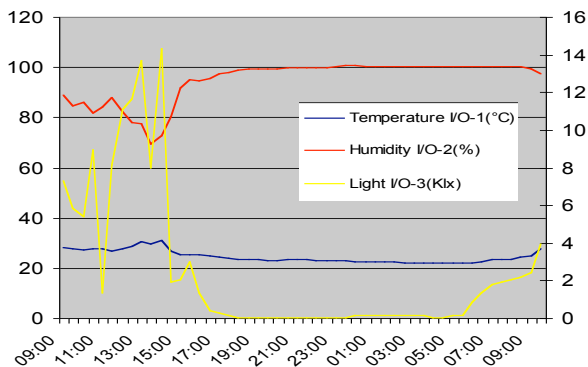
På en studietur til tropisk regnskov i Costa Rica har en gruppe gymnasieelever i et projekt undersøgt døgnsvingninger i Corcovado Nationalparken ved Stillehavet nær grænsen til Panama. De målte i deres undersøgelse, at luftfugtigheden faldt ret hurtigt fra morgenstundens næsten 100% til ca. 75% kl. 15. Herefter steg luftfugtigheden hurtigt igen. Lysmåling viste solopgang ca. kl. 7 og solnedgang ca. kl. 19. I dagtimerne kunne lokal tordenregn i området få stærk indflydelse på lysmængde, temperatur og fordampning.

Regnmængden er på stedet ca. 4-5 meter på årsbasis. Det betyder, at luftfugtigheden er høj i skovens forskellige etager, men der er store forskelle mellem skovbund og kronetaget. Temperaturen bestemmer, hvor meget vand luften kan indeholde. Ved stigende temperatur øges vandmængden, og planterne reagerer spontant på mætningsgraden afhængig af, hvordan de er tilpasset i livsform, anatomiske bygning og placering i regnskovens etager. Gennemsnitsmålinger giver nogle oplysninger. Men det er af lige så stor værdi at sammenligne de meget forskellige måleværdier foretaget i skovens forskellige træetager. Her er der store forskelle.



Figur 8. Deltagere på regnskovsstudietur fra Tornbjerg Gymnasium ved indgangen til stien med talrige farvestrålende Heliconia planter – deraf navnet på stien. Regnskovscentret Tropical Center. Corcovado Nationalparken. Fundacion Neotropica. (Foto: Hanne Lobedanz).

Figur 9. Diagrammet viser døgnvariation for temperatur, relativ luftfugtighed og lys for tropisk sekundær regnskov, ved Stillehavet i Costa Rica. Målestation Tropical Youth Center (TYC), Osa halvøen Corcovado Nationalpark. Biologi højniveau 3BI-2, Tornbjerg Gymnasium, Odense. 14.07.2003. Data MultilogPRO, excel.



Jorden ånder

Jordbunden i skoven er fuld af liv. Det er her, træer og urter henter de næringsstoffer, som bakterier og svampe producerer af dødt plantemateriale. Væltede træer, nedfaldne grene og blade omdannes af nedbryderne til simple mineraler bl.a. kvælstof- og fosfatforbindelser, der bruges af planterne som byggemateriale. Stofferne opløses i jordvandet og transporteres via rodnettet ind i planternes vandtransportsystem, som fordeler dem til stængler, stammer, blade og frugter. Svampe og bakteriers aktivitet i selve jordbunden kan måles i deres respirationsproces, hvor der nedbrydes organisk stof under iltforbrug. Respireres kulhydratet glukose, forløber processen på denne måde: glukose + ilt -> vand + kuldioxid + energi. Da aktiviteten er temperaturafhængig løber respirationen stærkt i forhold til en dansk bøgeskov. Døde blade omsættes på få måneder i troperne, mens det i Danmark varer over flere år. Man kan f.eks. opfange kuldioxid fra processen og på den måde undersøge hvor hurtigt organismene arbejder i tropeskov.

Hvis den primære regnskov ryddes?

Ryddes regnskoven, vil eventuel tilbagebleven vegetation gennemløbe en række udviklingsstadier, en succession, og danne ny skov kaldet sekundær regnskov. Men den ny skov er overordentlig længe om, måske mere end hundrede år hvis nogensinde, at genskabe den artsrigdom, der eksisterede i hårfin balance mellem planter, dyr og nedbrydere i primærskoven. Når træerne fældes og fjernes, udvaskes næringsstofferne hurtigt fra det super tynde muldrag, og mangel på levende rodsystemer til at opsuge regnen giver jorderosion. Jorden skylles ud i vandløb og floder, som farves lysebrune af lerpartikler, der skygger for og hæmmer plante-

og dyreliv i vandmiljøet. Samtidig brænder solen uhæmmet på den nøgne ufrugtbare jordoverflade og gør det næsten umuligt for frø at spire og slå rod i den hårde jordskorpe.

Litteratur og referencer

- BioNyt. 1990. *Regnskov-truslen mod jordens rigeste økosamfund*. Temanr. 3. 1990.
- Havemann, Kent mfl.. *Verdens Regnskove*. Skarv/Høst & Søn. 1992.
- Holst, Bengt (red.). 2003. *Verdens Dyreliv*. Forlaget Aktium.
- Licht, Henrik H. de Fine, 2010. *Myrer benytter bioreaktorer*. *Aktuel naturvidenskab* nr. 4
- Lobedanz, J. 1999. *Laboratoriet i regnskoven*. Skov og Folk, Nepenthes, 16. Årgang nr.3
- Nepenthes 1988. *Alle tiders regnskov*. Mellemløkeligt Samvirke.
- Trolle, Mogens, 2007. *Dovendyr, Myreslugere og Bæltedyr*. *Naturens Verden* nr.10. Årgang 90.
- Campbell, Neil A. et al., 2002. *Biology*. Benjamin Cummings. New York.
- Gargiullo, B. Margaret et al., 2008. *A Field Guide of Plants of Costa Rica*. Oxford Univ. Press.
- Jacobs, Marius, 1988. *The Tropical Rain Forest*. Springer Verlag.
- Newman, Arnold, 1990. *Tropical Rainforest*.
- Raven, H. Peter et al., 1999. *Biology of Plants*. 6. ed. W.H. Freeman. New York.
- Walter, Heinrich, 1979. *Vegetation of the Earth*. 2nd. ed. Springer Verlag.
- Whitmore, T.C., 1995. *An introduction to Tropical Rainforest*. Oxford.
- www.globalemiljoe.dk – www.nepenthes.dk
 www.kew.uk – www.nhm.ac.uk – www.fao.org
 www.tornbjerg-gym.dk

DNA og stamtræer

– Kan vi se skoven for bar træer?

Ole Seberg, professor*, oles@snm.ku.dk

Gitte Petersen, professor*, gittep@snm.ku.dk

* Botanisk Have og Museum, Statens Naturhistoriske Museum
Københavns Universitet



11

Hvis du møder et tilfældigt menneske på gaden, virker det absurd, hvis du påstår, at I er beslægtede med hinanden. Møder du derimod din egen moster, virker det som en ganske rimelig påstand. Begge udtalelser er dog principielt rigtige. På helt samme måde forholder det sig, når vi mere generelt taler om biologisk slægtskab: To helt tilfældige arter, fx hvid anemone og skov-fyr, er naturligvis beslægtede med hinanden på et eller andet niveau, fx er de begge frøplanter, mens slægtskabet mellem fx chimpansen og mennesket er meget nærmere og kan derfor beskrives meget mere præcist. De to arter er hinandens nærmeste slægtninge.

Når det handler om at afdække slægtskab mellem arter, hvis sidste fælles forfader levede for

måske 100 millioner år siden, er situationen ganske anderledes kompliceret. Her er vi henvist til at bruge metoder, der baserer sig på de spor, evolutionen har efterladt i organismernes, fx forskelle og ligheder i udseende, dvs. i dyrenes eller planternes morfologi, eller i deres arvemasse: DNA-sekvenser.

Men hvorfor er det vigtigt at vide hvem, der er beslægtet med hvem? Når det drejer sig om familierelationer, ved vi alle, at det kan være meget praktisk at vide hvem, der skal arve tante Agnete. Men hvorfor er det interessant at vide, at en torsk er nærmere beslægtet med en ko end med en sildehaj, eller at tomat er nærmere beslægtet med kartoffel end med solbær? Det vender vi tilbage til.

Fra DNA-sekvens til stamtræ

Vil man undersøge om udvalgte planter er beslægtet med hinanden, kan man fx sammenligne blomsternes bygning – det er den klassiske måde – eller man kan sammenligne variationen i DNA-sekvenser opformeret fx ved at bruge PCR-metoden – den molekylære – og mere moderne metode. Hvad er årsagen til, at molekylære data og især data relateret til variation i DNA-sekvenser har fået en altdominerende rolle for vores forståelse af evolutionen gennem de seneste 15-20 år? De vigtigste årsager er utvivlsomt, at sekvensdata er lette at fremstille, og at de findes i umådelige mængder!

Uanset hvor omhyggeligt man kigger på arterne i fx anemone-slægten (figur 2) og endda tager et mikroskop til hjælp, vil antallet af morfologiske karakterer, som kan iagttages, være begrænset, hvorimod antallet af molekylære karakterer potentielt vil være kolossalt meget større.

DNA findes hos planter i kernen, i mitokondrierne og i grønkornene (kloroplasterne). Alle tre former for DNA kan bruges til at give information om slægtskab. Det mest benyttede gen hos planter er *rbcl*-genet, som koder for en del af enzymet



Figur 1. Pinje (*Pinus pinea*) en almindelig fyrre-art i middelhavsområdet. (Foto: Gitte Petersen).

(RuBisCo), der medvirker ved fotosyntesen, og er placeret i planternes grønkorn. Selvom sekvenser fra grønkornenes DNA generelt har været de mest anvendte, er interessen for også at inddrage kerne-DNA og DNA fra mitokondrier i undersøgelserne støt stigende.

Er stamtræer baseret på DNA bedre end andre stamtræer?

Slægtskabsanalyser baseret på DNA-sekvenser er som nævnt nu mere almindelige end tilsvarende analyser baseret på andre karakterer som fx blomsternes bygning. For en lang række organismers vedkommende eksisterer der dog nu analyser baseret på begge typer af data. Hvor de to analyser viser det samme slægtskab mellem de undersøgte organismer, kan vi nok regne med at være tæt på sandheden, men ofte er de mere eller mindre i modstrid med hinanden. Det har afstedkommet en ophedet debat om, hvilken type af data, der er bedst. Men sandheden er nok, at begge typer af data er lige gode, og at man ved at lade de to typer data supplere hinanden sandsynligvis får en bedre mulighed for at opstille hypoteser om slægtskab mellem forskellige grupper af planter.

At bruge DNA fra organellerne har både fordele og ulemper. Da stort set alle celler hos planter indeholder både flere grønkorn og flere mitokondrier, der hver især indeholder flere kopier af genomet, er det ret nemt at opformere de ønskede DNA-sekvenser herfra. På den anden side nedarves både grønkornenes DNA – og for den sags skyld også mitokondriernes – oftest kun via moderplanten, og en hybrid vil derfor have en *rbcL*-sekvens, der er identisk med moderens, mens planten i andre træk, vil kombinere begge forældrenes karakterer. Dette kan være et problem da en række plantearter formodes opstået ved krydsning mellem forskellige andre arter og efterfølgende kromosomfordobling.

De morfologiske karakterer, som umiddelbart kan ses, har nogle helt indlysende fordele, som det er værd at tage med i overvejelserne, inden man laver drastiske ændringer i fx planternes klassifikation baseret på stamtræet. Det er unægtelig nemmere, at kommunikere om noget man kan se end om forskelle i DNA-sekvenser eller kemiske indholdsstoffer.

Figur 2. Hvid og blå anemone (*Anemone nemorosa* og *A. hepatica*) begge tilhørende anemone-slægten. (Fotos: Gitte Petersen).



A

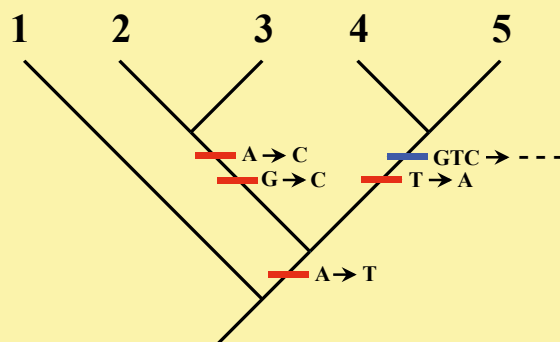
Art 1	T A AGT G CCAGT C TT T TTAG A A
Art 2	T T AGT C CCAGT C TT T TTAG C A
Art 3	T T AGT C CCAGT C TT T TTAG C A
Art 4	T T AGT G CCA---TT A TTAG A A
Art 5	T T AGT G CCA---TT A TTAG A A

Konstruktion af et stamtræ – ikke en hel let sag

A: Man sekvenserer de samme stykker DNA hos alle de arter, man ønsker at analysere, hvorefter sekvenserne opstilles under hinanden i en matrix. Det kaldes "alignment". Nu er det muligt at analysere ligheder og forskelle i mellem DNA sekvenserne fra de planter, der indgår i undersøgelsen. De – sorte - positioner i sekvensen, hvor baserne er ens hos alle arter, er uinteressante, når man skal konstruere et stamtræ. Kun de positioner, hvor baserne er forskellige (røde og blå) - kan have en slægtskabsmæssig information: De positioner, hvor der kun er én base, der afviger fra de andre (fx position 2, fortæller i første omgang kun, at Art 1 er forskellig fra Art 2-5, hvorimod de positioner, hvor der er flere arter, der har den samme base (fx position 6) fortæller, at der potentielt er 2 grupper: Én bestående af Art 2 og 3 og en bestående af Art 1, Art 4 og Art 5).

B: Man skal vide, hvilken karakter, der er primitiv. Hvis det fx er G på position 6, vil C støtte en hypotese om, at Art 2 og Art 3 er hinandens nærmeste slægtninge. På figuren opfattes alle de karakterer, der er hos Art 1 som primitive. Ingen af karaktererne er i modstrid med hinanden, da alle ændringer - fx ændringen G→C i position 6 - kun er sket én gang. Sådant er det ikke altid, og så må man vælge det stamtræ, der kræver, at så få ændringer som muligt er sket mere end én gang. Nogle gange består variationen blot i, at baserne på en bestemt position er forskellige, mens en række baser på andre positioner kan mangle eller være sat ind hos nogle arter.

B



Stamtræer og evolution

Et stamtræ viser hvordan forskellige organismer er beslægtede med hinanden. Samtidigt kan det med stor sandsynlighed bruges til at forudsige, hvilke karakterer en næsten helt ukendt organisme tilhørende stamtræet har. I 1992 blev et nyt pattedyr, Vu Quang-oksen, fundet i det nordlige Vietnam. Selvom man til at begynde med kun kendte dyrets skind og kranium, afslørede fx hårene på skindet, at der var tale om et pattedyr. Uden at have dissekeret en Vu Quang vidste man så også, at den med meget stor sikkerhed bl.a. føder levende unger og har dievorter. Dette ved man, fordi disse egenskaber er fælles for alle pattedyr, fordi pattedyr præcis er én og kun én udviklingsgren, der tillige omfatter alle dens medlemmer. En udviklingsgren, der bl.a. er karakteriseret ved ovennævnte karakterer. Stamtræer er helt essentielle for forståelsen af alle biologiske discipliner, idet ethvert biologisk fænomen er et resultat af evolutionen. Slægtskabsmæssig information er også nødvendig for forståelsen af fx adaptive tilpasninger, artsdannelse, uddøen, biogeografi, økologi og molekylær evolution.



Figur 3. Kan mitokondriegener overføres mellem epifytter eller parasitiske planter og deres vært? Øverst: Epifytter på et tropisk træ. Nederst: Misløbet (Viscum album) som parasit på et fyrretræ. (Fotos: Gitte Petersen).



Men stamtræer er også nyttige i en række andre sammenhænge. Har man fx fundet et farmaceutisk interessant produkt, eksempelvis et potentielt lægemiddel i en planteart, vil det utvivlsomt være en god ide at screene de øvrige arter i slægten, inden man kaster sig over arter i andre slægter og dermed helt andre steder i stamtræet. Helt den samme type argumentation kan bruges i søgning efter nye afgrøder, eller ved søgning efter gener til forbedring af eksisterende afgrøder. Hvis man eksempelvis er interesseret i at øge tørke-tolerancen hos dyrket byg, er det fornuftigt først at lede efter egenskaben hos en af de ca. 30 nært beslægtede arter i slægten.

Overraskende opdagelser

RNA-editering

De fleste plantestamtræer er til dato baseret på DNA-sekvenser fra grønkornene, og der findes mere end 27.000 *rbcL*-sekvenser i databaserne alene fra frøplanter. Inden for de seneste 3-5 år har der imidlertid været en støt stigende interesse for at anvende sekvenser fra dels kerne- og dels mitokondrie-genomet. I særdeleshed har studiet af mitokondrie-genomet vist sig at byde på en række overraskelser. Selvom det længe har været kendt (fx fra grønkornene), at der undertiden foregår ændringer af informationen i mRNA-strengen (RNA-editering) efter, at den er transkriberet, har det vist sig, at fænomet er langt hyppigere i mitokondrie-genomet end i de andre genomer. RNA-editering bryder radikalt med det klassiske dogme, at kender man sekvensen i DNA-strengen, kender man aminosyre-sekvensen i det protein, DNA-strengen koder for.

Horisontal genoverførsel

En anden forbløffende overraskelse har været, at det mitokondrielle genom hos en række plantearter tilsyneladende er i stand til at optage DNA-sekvenser fra andre plantearter. I de fleste tilfælde, hvor man har postuleret udveksling af DNA-sekvenser ved horisontal genoverførsel (genoverførsel mellem to planter), har det været mellem en værtsplante og en parasitisk plante, der delvis har groet inde i den, men der findes påstande om en massiv overførsel af DNA-sekvenser mellem en træart fra Ny Kaledonien og plantearter, der overgror dens stammer og blade (epifytter) (fig. 4). Planter overfører normalt DNA til næste generation via frødannelse (vertikal genoverførsel).

Fremtiden

Gennem de sidste 15-20 år har mængden af data (både antallet af arter og mængden af sekvens), der indgår i rekonstruktion af stamtræer været stærkt stigende, og konstruktionen af stamtræer er derfor blevet stadigt mere kompliceret og tidskrævende. Fordelen har været, at den store datamængde i reglen har givet os bedre funderede stamtræer og en dybere forståelse af fx genernes og organellernes egen evolution.

Udviklingen af helt nye sekvenseringsteknikker, der ikke er baseret på PCR (såkaldt 2. generation sekvensering), har gjort, at datamængden er fortsat stigende, og at man ved en enkelt kørsel af 3-4 dages varighed kan frembringe mellem 500 MB og 2 GB DNA-sekvenser. Det er langt mere end det totale indhold af basepar i hele genomet hos grønkorn og de fleste mitokondrier hos planter, hvilket nødvendigvis må medføre radikale ændringer i den måde, vi håndterer vores data på. Faktisk er datamængden i dag så stor, at IT-teknologien har svært ved at følge med udviklingen, og forskerne har endnu ikke overblik over, hvad de skal bruge de enorme informationsmængder til!

Litteratur

- Damgaard, J., Petersen, G. & Seberg, O. 2004. *Livet skal sættes på strekkode*. *Aktuel Naturvidenskab* 6: 22-25.
- Frederiksen, S., Rasmussen, F. N. & Seberg, O. 1997. *Systematik og fylogenetisk rekonstruktion* s. 11-35 i Frederiksen, S., Rasmussen, F. N. & Seberg, O. *De højere planters evolution og klassifikation*. Gads Forlag.
- Petersen, G. & Seberg, O. 1999. *Molekulære data i biologisk systematik*. *Urt* 1: 19-23.
- Seberg, O. & Petersen, G. 1998. *Biologisk systematik - en videnskab i voldsom forandring*. *Urt* 4: 121-127.
- Seberg, O. & Frederiksen, S. 2007. *Hvorfor ændres klassifikationer?* *Urt* 1: 36-45.

Svampe i Botanisk Have

Henning Knudsen Lektor, cand. scient. Botanisk Have og Museum,
Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet
henningk@snm.ku.dk



12

En botanisk have adskiller sig fra andre haver ved at de planter, der dyrkes, er vilde planter, mens man i de fleste haver dyrker forædlede planter. I Københavns Universitets Botaniske Have dyrkes omkring 12.000 forskellige arter af planter til brug i undervisningen og forskningen i botanik.

De mange planter på et så lille areal udgør en kompliceret mosaik og kræver en konstant pleje, så de trives, men omvendt ikke bliver for store og tager pladsen fra hinanden. Selv om haven derfor overfladisk set ligner natur, er den generelt meget reguleret. Det medfører, at man godt kan finde mange forskellige svampe i haven, men ikke egentlige svampesamfund. Sådanne kræver større bestande af ens træer eller større og ensartede åbne arealer, hvor der med tiden vil opstå bestande af de svampearter, der kan trives på stedet. En svam-

pekender vil fx kunne forudsige en lang række af de svampe, der vil være i en bestemt bøgeskov, mens de svampe der vil være knyttet til havens få bøgetræer kun vil være et lille og tilfældigt udsnit af bøgeskovsarterne.

Botaniske haver verden over har en vidtgående udveksling imellem sig af planter og frø. Det betyder, at der med den tilførte jord også kan følge svampemycelium med af svampe, som ellers ikke findes i Danmark. Det ses tydeligst i væksthuse, der rummer planter fra varmere klimazoner, og dermed også nogle andre svampe. Den høje varme og fugtighed er godt for svampene, og her vil man ofte kunne finde tropiske arter af parasolhatte. Den hyppigste er Gul parasolhat, der også træffes i urtepotter, vinterhaver, beplantninger i akvarier og terrarier.



*Figur 1. Dele af træstammer og større grene bruges i haven som substrat og staffage for planterne. De nedbrydes også af svampe, som f. eks Alm. muslingesvamp (*Crepidotus mollis*). (Fotos: Dorte Hammelev).*





Figur 2A. En af de omtalte bøgestammer angrebet af Tøndersvamp. Her ses også demarkationslinien mellem Tøndersvampen og andre svampe, som ikke har udviklet frugtlegerne (foto: Jan Herrstedt).

Figur 2B. Randbæltet hovporesvamp (foto: Henning Knudsen).

Svampenes rolle i naturen – og i Botanisk Have

Planternes rolle i naturen er at opbygge organisk stof ved hjælp af fotosyntesen. Cellulose, lignin m. fl., der udgør størstedelen af planternes vægge, er sådanne organiske stoffer. Cellulose er overordentlig modstandsdygtig overfor nedbrydning, og kun få organismer kan klare de første trin i nedbrydningen, men det kan en række svampe. Deres funktion i naturen er derfor at nedbryde organisk stof til dets oprindelige bestanddele, så næringsstofferne atter kan frigøres og indgå i planternes vækst og på den måde holde naturen i gang.

Rådsvampe

Svampene har forskellige livsformer. De fleste er rådsvampe, som lever af at nedbryde dødt, organisk stof. Nogle vokser direkte på det, de nedbryder som dødt træ eller visne planter, mens andre lever af næsten opløst organisk stof i jorden – humus – og nogle få vokser på døde





Figur 3. Bredsået blækhat er almindelig i Botanisk Have, hvor den vokser på dødt træ og som her på begravede rødder. Den er let at kende på de små meget skrøbelige og plisserede hatte, der ofte står i hundredevis af. (Foto: Henning Knudsen).

dyr. Poresvampene er kraftige nedbrydere og vil efterhånden sammen med andre svampe og en række insekter og bakterier omdanne stammerne til humus. Denne nedbrydning ses let på de fem 2-3 m lange stykker af en bøgestamme, der ligger langs en af de store stier gennem haven, ikke langt fra hovedindgangen. De er angrebet af en række svampe, som hver for sig nedbryder træet eller dele af træet.

Flere af stammestykkerne er angrebet af Tøndersvamp, som laver store gråsorte, hovformede frugtlegermer på stammen. Den hører til hvidmulds-dannerne, dvs. den nedbryder både træets cellulose og dets lignin og efterlader en hvid, trøsket masse af fibre, som let kan pilles fra hinanden med fingrene. På en af stammerne findes også Randbæltet hovporesvamp, som er rødbrun med en tydelig lys rand. Den hører til brunmulds-dannerne, dvs. den nedbryder cellulosen, mens

ligninet bevares, og farver træet rødbrunt. Når der findes flere svampe i den samme stamme kæmper de om "maden", og afgrænser sig mod hinanden ved at omgive sig med et tyndt lag af sorte, tykvæggede hyfer. Zonerne ses som sorte linier i træet på stammernes endeflader.

Andre stærke nedbrydere er Puklet læderporesvamp og Broget læderporesvamp, som begge findes på den store bøgestub langs stien ved oplagspladsen. Det er fra svampe som disse, der udvindes enzymer til brug ved nedbrydningen af planteresters cellulose til sukkerstoffer, som derefter forgæres til 2. generations bioethanol. En anden stor og smuk poresvamp, der er fundet i haven er Skinnende lakporesvamp. Den vokser mest på store stubbe af elletræ og er sjælden. I Kina og Korea har den været dyrket i århundreder og anvendes i naturmedicin.

Forskellige hatsvampe

Haven ligger på det gamle voldareal omkring København, og jorden er næringsrig. Det betyder at haven rummer en række svampe, som kræver næringsrig jord. Hertil hører f.eks. champignoner, parasolhatte, blækhatte, keglehatte og mørkhatte. Det er svampe, som lever af næringsstoffer i jorden herunder humus, som de nedbryder. I græsplænerne kan man finde en række svampe, der formodentlig lever af dødt græs. Den almindeligste er Høsletsvamp, som findes i alle større danske græsplæner.

I haven er fundet den champignon, der dyrkes og sælges, Hvid have-champignon. Den dyrkes på hestegødning dækket med et tyndt lag jord, men kan også findes mere spredt i naturen på gødede steder. En anden art, Randskællet champignon, vokser under de gamle fyrretræer i græsset ved stien ved foden af bakken op mod observatoriet. Den er ret sjælden.

Blækhattene kendes let på den plisserede hat og de sorte sporer. De er ekstremt flygtige i forhold til andre hatsvampe, og de mindste, der kun

er få millimeter store og vokser på gødning, lever kun fra morgen til middag, så er sporerne kastede, og svampen klasker sammen. I haven er Bredsået blækhat en af de første svampe, der kommer efter regnen i sommermånederne. Den er kun 1 cm stor, men vokser i hundredevis på stubbene, hvor man også kan finde Glimmer-blækhat.

Nogle rådsvampe kan danne hekseringe. Den opstår fordi svampen starter et sted og spiser næringen op, hvorefter den langsomt breder sig radiært. Nogle af de hekseringsdannende svampe udsender under væksten store mængder blåsyre, der dræber græsset, og resulterer i en død, vegetationsløs ring på hekseringens inderside. Det blev tidligere taget som et tegn på at alfer og hekse havde trådt græsset ned i deres natlige dans. Et eksempel er Bleg hekseringshat, der er let kendelig med sin syrenlilla stok.

Mykorrhizadannere

En anden almindelig livsform er som mykorrhizadanner (= "svamperod"). Det er svampe som lever



Figur 4. Svovlporesvamp – eller det meget sigende engelske navn "Chicken-of-the-woods". (Foto: Henning Knudsen).

i et gensidigt positivt samliv (en symbiose) med træer, og som danner en tynd kappe uden om træernes rodspidser. Gennem kappen sender svampen vand og mikronæringsstoffer til træet, mens træet sender sukker fra fotosyntesen i bladene ned til rødderne og videre til svampen. Det er altså et samliv begge har fordel af, og for svampen er det obligatorisk: intet træ, ingen svamp. Træerne klarer sig bedre med mykorrhiza-forbindelsen end uden, og på tørre og næringsfattige steder kan træerne ikke leve uden partneren. Under egne i det nordvestlige hjørne kan man f.eks. finde Dråbepletet mælkehat og forskellige trævlhatte. Hvis jorden gødes, forsvinder mykorrhizaen. De fleste danske skovtræer danner mykorrhiza, og hos de fleste urter findes en anden form for mykorrhiza med svampe, som ikke laver synlige frugtlegemer.

Parasitter

Et mindre antal svampe ernærer sig som parasitter på andre planter eller dyr. På den største lind i haven vokser Kulsvampen på barken nær ved jordoverfladen, hvor den danner sorte, sprøde skorper og har været årsag til at linden måtte skæres ned til nogle få meters højde. Den har også medført, at den store ahorn ved p-pladsen ud for Ø. Farimagsgade 2 A er blevet skåret ned. Andre parasitter er fx den store og meget let kendelige Svovlporesvamp, der ses hvert år. Hvor kan den muligvis findes? Den vokser på mange slags træer, i Botanisk Have bl.a. på kirsebær og ask, tidligere er den også fundet på røn og piletræer. Det er en kraftig brunmuldsdanner, og den dræber de angrebne træer. De flotte gule "hatte" er spiselige så længe de er unge, og dens engelske navn er "chicken-of-the-woods". Frugtlegemerne sidder 3-4 uger på træet før de bliver skøre og falder af efter at have spredt millioner af sporer.

Hvert år ses Krumskællet skælhat, som er en stor knippevoksende hatsvamp. Den angriber syge og døende træer især af røn og æble, men den findes også på den store hængeask der står i stien kort efter de døde stammer. Svampene bryder frem ved basis af de levende stammer i oktober.

Mange parasitiske svampe er økonomisk vigtige, både for skovbruget og for landbruget, hvor man i mange år har sprøjtet mod rustsvampe og brandsvampe. De lever af kornets kerner eller af bladene og kan derfor fuldstændigt ødelægge en afgrøde eller et træ.

Likener

En anden almindelig livsform blandt svampene er de likeniserede svampe. Det er svampe, der har et samliv med en mikroskopisk alge, der holdes "fanget" i svampen. Disse svampe, ofte kaldet laver, er behandlet i kapitel 13.

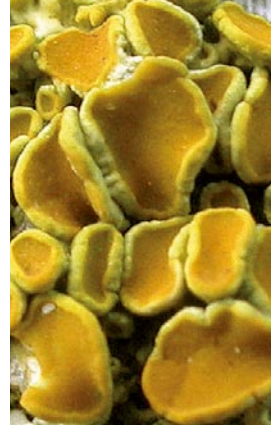
Hvor kan jeg finde mere viden?

Der er ikke foretaget nogen egentlig undersøgelse af havens svampe, men der er jævnligt samlet ind til Botanisk Museums herbarium og til brug for de biologistuderendes kurser. En liste over de indsamlede arter kan findes på www.snm.ku.dk, -> Botanisk Museum -> databaser -> svampe. Søg på lokaliteten "Botanisk Have" og "Botanical Garden". Haven er ca. 10 ha eller 0,1 km² stor. Fra andre undersøgelser ved man, at der på få kvadratkilometer med skov kan være mere end 1000 arter af svampe, men det kræver en systematisk indsamling gennem længere tid og i flere år at finde så mange, da nogle svampe kun laver frugtlegemer med års mellemrum, fx i særligt regnrige sæsoner.

Hvis du vil vide mere om de forskellige svampe eller finde ud af deres navne, kan du bruge en web-baseret bestemmelsesnøgle der hedder www.mycoskey.com.

Laverne i Botanisk Have

Ulrik Søchting, lektor cand. scient. ulriks@bio.ku.dk
Biologisk Institut, Københavns Universitet.



13

I Botanisk Have er der bede med planter. Planterne har etiketter og skilte og alle planterne står i havens database med navn, oprindelse osv. Der er styr på planterne. Men rundt omkring i haven er der organismer, som ikke er plantet og ikke er inviteret til at vokse i den frodige oase. De ubudne gæster, der vokser på jorden mellem de eksotiske planter kaldes ukrudt, og flittige gartnere gør deres bedste for at holde dem væk. Men også på træernes bark og på overfladen af sten og fliser vokser organismer, der ikke udgør en trussel mod den organiserede havekultur på grund af deres lidenhed. Det er alger, laver og mosser.

De vekselfugtige

Næsten alle planterne i Botanisk Have skal jævnligt have en dosis vand for at overleve og vokse. Omvendt forholder det sig med luftalgerne, laverne og mosserne. Når de tørrer ud går de i dvale og kan i den tilstand overleve dage, uger og måneder uden vand og fugtighed. Falder der dug eller regn på dem, liver de op, genoptager alle livsfunktioner og forsøger at vokse lidt inden de atter rammes af tørke. Faktisk behøver mange arter slet ikke frit vand. Høj luftfugtighed er fuldt tilstrækkeligt til at de kan vokse.

Algerne

De fleste træstammer i Botanisk Have har et grønligt skær. Deres bark er dækket af kugleformede grønalgeceller, især af slægten *Apatococcus*. I mikroskopet viser et afskrab grønne kugler, der ved deling ligner bløde julepakker med snor omkring. Algerne er friskgrønne, men ind imellem sidder blåligt grønne pulverbelægninger. Det er støvlav.

Laverne

En lav er en dobbeltorganisme der består af både en svamp og én – undertiden flere forskellige – alger. Algerne bliver holdt i fangenskab af svampe-

hyfer, som bestemmer både form og fysiologi. Det sukker, som algerne producerer ved fotosyntesen, suger svampen til sig; kun lidt bliver tilbage til algen. Til gengæld bliver algecellerne holdt i et net af svampehyfer, der sørger for deres optimale placering i forhold til lys, samt forbedret nærings-tilførsel og vandbalance. Laverne er som regel i stand til at vokse hen over de fritlevende alger.

Mosserne

Hvis forholdene er gunstige - især mere fugtige - kommer mosserne til. De er normalt i stand til at vokse hen over laverne, som bliver udkonkurrerede. Artiklen her vil ikke komme yderligere ind på de forskellige mosser.

Hvad lever de af?

Luftalger, laver og mosser får alle nødvendige stoffer fra luften. Ligesom grønne planter kan de i fugtig tilstand omdanne luftens kuldioxid til sukkerstoffer, når der er lys. Da de ikke har rødder er deres vækst dog helt afhængig af de uorganiske næringsalte, som de kan få fra luften. De vokser ikke særlig hurtigt og må klare sig med den næring, som kan opsamles fra støv og regnvand. De er fantastisk effektive til at opsuge kemiske forbindelser fra omgivelserne.

Da Botanisk Have var en lavørken

Lavernes effektive opsugning af kemiske stoffer fra omgivelserne er fin under normale omstændigheder. Men når luften er forurenset med gift kan den være katastrofal. Da industrialiseringen og udbygningen af København startede i slutningen af 1800-tallet, blev luften i stadig højere grad forurenset af svovldioxid (SO₂), som stammede fra forbrændingen af kul og olie. Luftmiljøet blev så dårligt, at man iværksatte en bekæmpelse i form af nedsat svovlindhold i fyringsolien, højere



Figur 1. Luftalger (*Apatococcus* spp.) danner en frisk grøn belægning. Der indgår en lang række forskellige slægter og arter, men de er meget vanskelige at skelne fra hinanden, selv med et mikroskop. Det er stort set de samme arter, man finder på bark, på mure og på tage. I modsætning til de alger, der lever i vand, kan luftalgerne tåle at tørre ud. Til gengæld vokser de meget langsomt, og er faktisk vanskelige at dyrke. De ynder skygge, fugtighed og næringsberigelse med fx ammoniak, men hvis de er fugtige om natten og tørre om dagen har fotosyntesen svært ved at holde trit med respirationen. I mikroskopet ses de karakteristiske algepakker, hvor cellerne har en grøn kloroplast. (Foto: Ulrik Søchting).



Figur 2. Almindelig støvlav (*Lepraria incana*) består bare af et pulver af kugler, hvor nogle få algeceller omspindes af svampehyfer. Pulveret spredes let med vind, vand og dyr, og støvlaven er da også nok den almindeligste art i haven. Dette skyldes tillige, at den ynder at vokse på skygget bark, bl.a. i revner og sprækker. Sprøjter man vand på den, preller det helt af. Den er nærmest vand-skyende. Til gengæld klarer den sig fint med fugtighed fra luften. Dens store tolerance mod luftforurening skyldes måske dens evne til at undgå at optage frit vand, fx. regndråber, der ofte er forurenede. Hvis man mikroskoperer pulveret i vand med en smule detergent, kan man tydeligt se både alge- og svampeceller. (Foto: Ulrik Søchting).



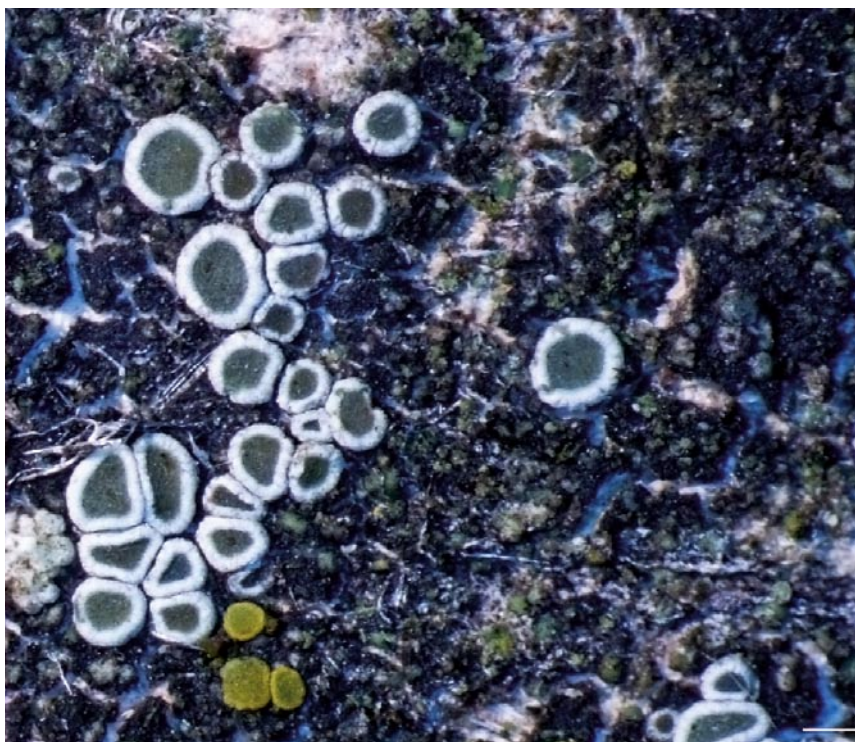
Figur 3. By-kantskivelav (*Lecanora conizaeoides*) fandtes på barken af alle stammer i 1970'erne, hvilket forklaret navnet, den fik. Så almindelig var den, at man knapt nok gad fotografere den. Nu findes den vistnok ikke mere i Botanisk Have, men kan stadig ses på stammer og kviste af nåletræer og birk fjernt fra byerne. (Foto: Ulrik Søchting).

Figur 4. Almindelig væggelav (*Xanthoria parietina*) var en af de første laver, der kom tilbage til byen. På grund af sin gulorange farve er den let kendelig. Når den vokser skygget, er det kun de skiveformede frugtlegerer, der er orange; resten bliver gråt. Farvestoffet, kaldet parietin, dannes som krystaller på oversiden og beskytter algerne mod for stærkt lys. Væggelaver er sejllivede. En slægtning, fjeldvæggelav, har tilbragt to uger i rummet frit eksponeret for kulde og kosmisk stråling. Ved hjemkomsten til jorden blev den vædet med vand og fortsatte livet som om intet var hændt. (Foto: Ulrik Søchting).



Figur 5. Randfliget kantskivelav (*Protoparmeliopsis muralis*) vokser på fliser og på ved af gamle drivbænke. Den danner store individer, som er tæt vokset sammen med substratet, men er 'tunget' i kanten. Den vokser ca. to mm om året, så det er let at regne ud hvor gamle individerne er. Datering af substrater vha. laver kaldes lichenometri. Det har været brugt til at tidsfæste gletcheres tilbagevækning, men også til at bestemme alderen af stenstøtterne på Påskeøen. (Foto: Ulrik Søchting).

Figur 6. Spredt kantskivelav (*Lecanora dispersa*) og liden æggeblommelav (*Candelariella aurella*) er to markante arter på beton, mørtel og eternit. De består næsten bare af skiveformede frugtleger, som dog er forbundet af svampetråde på substratet. Algerne sidder inde i kanten af skiverne, og i selve skiverne dannes der sporer. Sporerne bliver sprøjtet ud, når de er modne og kan starte forfra, hvis de lander på et passende substrat og møder en brugbar alge. (Foto: Ulrik Søchting).



Figur 7. Mangefrugtet væggelav (*Xanthoria polycarpa*) og spæd rosetlav (*Physcia tenella*) er indikatorer på den næringsberigelse fra luften, som forekommer overalt, men især i nærheden af landbrug med svinebesætninger. I Botanisk Have er de specielt hyppige på barken af hylde, der er næringsrig fra naturens side. (Foto: Ulrik Søchting).



skorstene og mere fjernvarme. Først i 1970'erne begyndte bekæmpelsen af virke og efterfølgende er svovldioxid-forureningen i Københavnsområdet blevet formindsket. Som følge af den stigende luftforurening forsvandt laverne fra København, og omkring 1970 voksede der kun to lavarter på barken af træerne i Botanisk Have: by-kantskivelav (*Lecanora conizaeoides*) og alm. støvlav (*Lepraria incana*). Støvlaven voksede mest i skygge og foretrak revner og sprækker i barken. By-kantskivelav, derimod, var voldsomt dominerende overalt. En så forarmet lavflora gav ophav til navnet *lavørken*. Lavørkenen med kun disse to arter dækkede hele det indre København ud til Utterslev Mose og Damhussøen.

Laverne vidner om ren luft

Med den renere luft er der skabt mulighed for lavernes genkomst og i dag er talrige arter vendt tilbage. Faktisk fortæller vores viden om laverne i Københavns centrum, at svovldioxidforureningen ikke har været mindre i over 100 år. Lavernes tilbagekomst er dog ikke gået lige hurtigt for alle arter. Det skyldes at luftforureningen har imprægneret træernes bark med svovl og syre, som kun langsomt forsvinder. Dertil kommer, at nogle arter har været trængt langt ud af byen og at arter med en ringe spredningsevne kun langsomt formår at vende tilbage.

Kulturklipper

Danmark er fattigt på klipper uden for Bornholm. Til gengæld er der menneskeskabte kalkklipper overalt, nemlig eternit, beton og mørtel. Sådanne substrater findes også i Botanisk Have, smukkeste udviklet – og i øjenhøjde – på betonrækværket foran Palmehuset. Her vokser en lille snes brogede lavarter, der ellers er hjemmehørende på hårde kalkklipper. Der er sorte skorper, og runde gule og orange frugtlegemer, men også bladformede, grå arter. Disse arter overlevede perioden med svovldioxid fordi beton og mørtel er basisk; I basisk miljø er svovldioxid meget lidt giftig, fordi den ikke kan trænge ind i cellerne.

Lavernes fremtid i Botanisk Have

Betonrækværket foran Palmehuset er netop restaureret, og man har viseligt undladt at afrense betonelementerne. Lav-vegetationerne her vil givetvis bestå i talrige år, og måske endda blive mere dominerende. På barken af havens træer

vil der langsomt indfinde sig flere og flere arter. Både dækningsgraden og artsrigdommen vil blive større fremover og bidrage til havens utæmmede biologiske mangfoldighed.

Litteratur

- Hørnell, A.L., Jeppesen, S. & Søchting, U., 2004. Laver i Tisvilde Hegn.
Søchting U., 1994. Lav og luftforurening, Kaskelot 102, 30 s.
Søchting U., 1994. Laver, Natur og Museum, 33 årg. Nr. 3. Naturhistorisk Museum, Aarhus
Søchting U., www.friluftsraadet.dk/files/pdf/Status_Danmarks_laver_2005.pdf
Søchting U., Laver i Tisvilde Hegn
Søchting, U & Alstrup, V., Danish Lichen Checklist. Ver. 2. 2008. <http://www.bi.ku.dk/lichens/dkchecklist>