

Både-og. Dyr kan bevæge sig og indtage føde. Planter lever af sollys og næringsstoffer. De fleste organismer har valgt side, men hvorfor ikke kombinere det bedste fra de to verdener? Det er, hvad mange af havets encellede organismer på spektakulær vis gør.

Plankton med helgardering

Af LASSE TOR NIELSEN

Post.Doc.

OG THOMAS KIØRBOE

Professor, Centre for Ocean Life,
DTU Aqua

Hvordan kender man dyr fra planter? De fleste vil nok fremhæve, at dyr, i modsætning til planter, kan bevæge sig. Planter lever af sollys, vand og uorganiske næringsstoffer, gødning, mens dyr i stedet lever af at spise andre organismer. Encellede mikroorganismer med en mikroskopisk størrelse på mellem 0,002 og 0,2 millimeter står for langt hovedparten af planteproduktionen i havet, og en overraskende stor del af disse mikroorganismer lever på fascinerende vis som en blanding af dyr og planter. Det giver dem store fordele.

Vi kalder disse organismer *mixotrofe*, fra græsk *mixo* = »blandet« + *trof* = »ernæring«. De kan både ernære sig som planter ved at omdanne CO₂ til sukker ved hjælp af fotosyntese og som dyr ved at æde andre organismer. Fænomenet kendes fra kødædende landplanter. I Danmark har vi for eksempel tre arter af Soldug, og både de og andre kødædende planter findes overvejende i næringsfattige miljøer som højmoser. Det skyldes, at landlevende, kødædende planter primært bruger byttfangsten som et tilskud af uorganiske næringsstoffer, altså som en slags gødning, hvorimod det organiske stof, kulstoffet, især kommer fra fotosyntesen.

Havets mikroorganismer står imidlertid i



Soldug vokser oftest i næringsfattige miljøer som højmoser; ved at fange og æde insekter får de et tilskud af organiske næringsstoffer til det kulstof, de optager via fotosyntese.

FOTO: ERIK TRAMPE

en anden situation. De er ofte stærkt begrænsede af lysmængden, og for planteorganismerne betyder det begrænset adgang til organisk kulstof – den basale energikilde. Derfor udnytter havets mixotrofer ofte byttfangsten til også at skaffe sig organisk kulstof i tillæg til uorganiske næringsstoffer. Således er de små, svømmende, byttædende dyr grønne, så de også kan fungere som en plante, når der er tilstrækkeligt med sollys.

MIXOTROFI hos encellede mikroorganismer blev første gang dokumenteret i 1987 af Diane Stoecker og hendes medarbejdere på Woods Hole Oceanographic Institution,

USA. Tidligere observationer af fotosynteseorganer – kaldet grønkorn eller kloroplaster – i encellede dyr var blevet opfattet som madrester, men Diane Stoecker kunne dokumentere, at kloroplasterne er aktive og laver fotosyntese. Siden da er mixotrofi blevet fundet hos mange arter, og det anses nu nærmest for at være reglen blandt dominerende grupper af encellede organismer i havet.

De første encellede organismer på jorden var ikke i stand til at lave fotosyntese. Kloroplaster, og dermed evnen til at lave fotosyntese, kom først til senere. Det skete ved, at én encellet organisme spiste en anden; men i stedet for at blive nedbrudt levede

fødeorganismen videre inde i værtscellen. Med tiden udviklede fødeorganismen sig til et organel – en specialiseret afdeling af cellen – der stod for at lave fotosyntese. Sådan udvikledes også andre organeller med andre funktioner, og simple bakterier blev til mere komplekse encellede organismer. Det tog et par milliarder år. Først senere blev livet flercellet, og grupper som (ægte) planter, svampe og dyr udvikledes.

Den evolutionære historie er kompleks, og kloroplaster er blevet vundet og tabt mange gange i tidens løb. Derfor kan det være svært at afgøre, om moderne mixotrofer er planter, der har lært at æde, eller dyr, der har lært at lave fotosyntese. Men sikkert er det, at de fleste mixotrofe organismer har opnået deres kloroplaster i en fjern fortid, og at de nu eksisterer som selvstændige mixotrofe organismer.

En type af mixotrofi er dog anderledes og mere spektakulær end de andre. Det er organismer, som ikke permanent har kloroplaster, men som erhverver dem på ny i hver generation. De stjæler dem fra deres bytte, når de spiser, og indbygger dem i deres egen organisme frem for at nedbryde dem. Fænomenet er blevet døbt kleptokloroplasti,

Kromosomer. X forandrer sig, og Y smuldrer. Hvad skal der blive af vores køn, og kan vi klare os uden kønskromosomer, hvis det bliver aktuelt?

Køn i forandring

Af IDA GUNDERSEN

Experimentarium Research

For omkring 300 millioner år siden opstod en mutation på et af vores forfædres kromosomer. Altså på en af de 46 arvemasseklumper, som ligger i hver eneste kropscelle og bærer på vores gener. Den lille mutation gjorde, at kønskromosomerne blev til. Det viste sig tilsyneladende at være smart med to forskellige køn. I hvert fald hang mutationen ved, og derfor har vi i dag hanner med et X- og et Y-kromosom og hunner med to X'er blandt næsten alle pattedyr.

I et studie, der for nylig blev offentliggjort i det videnskabelige tidsskrift *Nature*, ville genforskeren David Page og hans forskerhold fra Whitehead Institute for Biomedical Research i Cambridge undersøge, hvor meget det kvindelige kønskromosom, X'et, har forandret sig med tiden. Hypotesen var, at det ikke har ændret sig nævneværdigt, og at alle pattedyrs X-kromosomer dermed endnu ser stort set ens ud efter omtrent 300 millioner års evolution.

Med meget fint udstyr nærstuderede de et menneskes X-kromosom og sammenlignede det med X-kromosomet fra en mus. En lille gnaver, fra hvem vore genetiske veje skiltes for cirka 80 millioner år siden. Til forskernes overraskelse fandt de 340 nye gener på menneskets X, som de ikke fandt hos musen. Det betyder, at X-kromosomet er mere foranderligt end hidtil antaget.

»Man havde en idé om, at det kvindelige kønskromosom X er det mest konserverede kromosom, vi har. Det gør studiet delvist op med. I 2001 anslog man, at man havde kortlagt 90 procent af menneskets genom. Nu er endnu et par procent faldet på plads,« siger professor og genforsker fra Københavns Universitet Niels Tommerup.

Desuden viste det sig, at en stor del af de nyopdagede gener på det kvindelige kønskromosom er involveret i mænds sædproduktion.

»Det er interessant, at det kromosom, som man forbinder med kvindelighed, står for noget så maskulint som sædproduktion. Det viser, hvor komplekst kromosomerne er sat sammen.«

IKKE kun den kvindelige halvdel af kønskromosomerne er under forandring. X'ets mandlige modstykke, Y-kromosomet, er smuldrer de sidste mange millioner år. Det har man længe været klar over. Dengang mutationen fandt sted, og Y blev til, havde det 1.400 gener på sig. I dag er der omtrent 45 tilbage.

Når Y-kromosomet går i opløsning, skyldes det, at det ikke har en tilsvarende partner at rette fejl op imod.

Før de to kromosomer specialiserede sig som kønskromosomer, var X og Y et helt almindeligt, identisk kromosompar, nøjagtig ligesom de 22 andre kromosompar, som mennesker bærer. For at bevare genetisk diversitet og eliminere potentielt skadelige mutationer, bytter kromosompar gener med hinanden. Efter at Y blev til Y, havde det altså ingen partner at bytte oplysninger med, og eventuelle fejl kunne ikke rettes. Det førte til det hurtige genetiske forfald.

Den viden fik den australske genforsker Jennifer Graves til at dødsdømme det tilsyneladende svagelige Y for et par år tilbage. Hun er nået frem til den konklusion, at hvis Y

mitter gener i samme hastighed som hidtil, vil det ikke længere eksistere om fem millioner år. Hun kalder Y-kromosomet for en evolutionær fejltagelse.

Med et X i forandring og et Y i forfald kunne man som udenforstående uden særlig viden om genforskning blive bekymret på kønnets vegne. Og dermed måske for hele menneskeheden. Hvad sker der, når kønskromosomerne ændrer sig og falder fra hinanden?

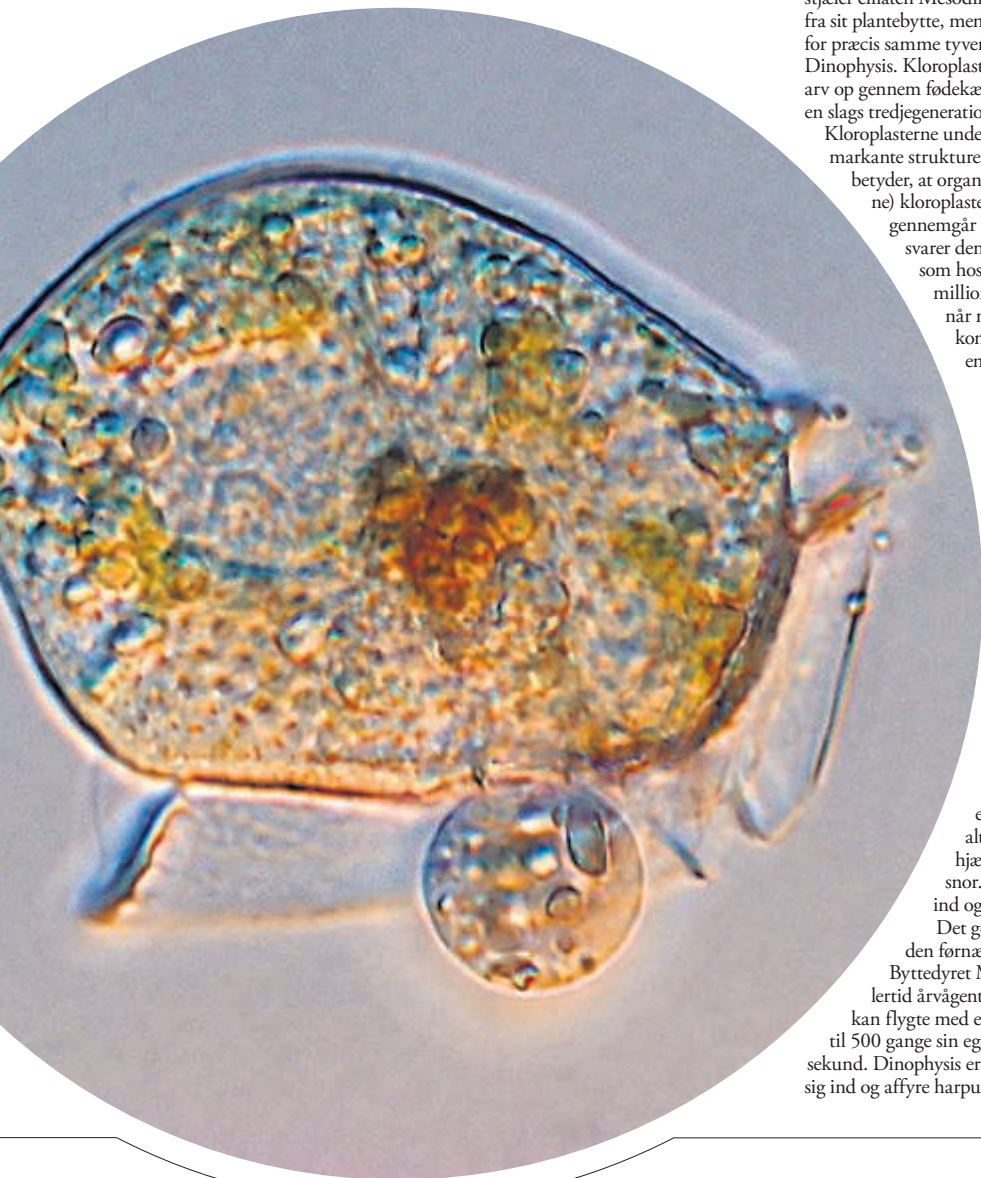
Ifølge Niels Tommerup skal vi ikke være bekymrede for et X-kromosom i forandring:

»Man kan ikke sige noget om, hvilken betydning det har for vores køn, at der sker ændringer i X-kromosomet. Det kan formentlig forandre sig mange år endnu, uden at det får konsekvenser for os. Og når det forandrer sig, kan man forestille sig, det er til noget evolutionært smartere. Ellers ville det nok ikke ske.«

Det skrattende Y-kromosom har formentlig også mange gode år endnu.

David Page, som står bag det aktuelle studie, er godt træt af Jennifer Graves afskrivelse af det mandlige køn. Hendes teori stjæler fokus fra al anden kønskromosomforskning,

En *Dinophysis* har netop harpuneret og fanget en *Mesodinium*, og kan nu stjæle dens grønkorn. FOTO: LASSE TOR NIELSEN



og vi har fundet et særligt interessant tilfælde blandt havets mindste organismer. Her stjæler ciliaten *Mesodinium* kloroplasterne fra sit plantebytte, men er samtidig selv udsat for præcis samme tyveri fra dinoflagellaten *Dinophysis*. Kloroplasterne går på den måde i arv og gennem fødekæden for til sidst at blive en slags tredjegenerations genbrugsorganer.

Kloroplasterne undergår i dette tilfælde markante strukturelle ændringer, og det betyder, at organismene og deres (stjålne) kloroplaster i løbet af et par timer gennemgår en proces, der modsvarer den evolutionære proces, som hos andre mixotrofer tog millioner af år. Imponerende, når man tænker på, hvor komplicerede selv simple encellede organismer er.

I den mikrobielle verden kan der være overordentlig langt mellem potentielle byttedyr, og mange mixotrofe encellede organismer har udviklet avancerede metoder til at finde, fange og æde bytte. Organismene er oftest blinde, og i stedet følger rovdyret duftstoffer efterladt i vandet af byttedyret. En udbredt fangstmetode er at harpunere byttet, altså at fange det ved hjælp af en slags pil på en snor. Byttet kan så trækkes ind og ædes.

Det gør blandt andet den førnævnte *Dinophysis*. Byttedyret *Mesodinium* er imidlertid årvægent og lynhurtigt – det kan flygte med en hastighed svarende til 500 gange sin egen kropslængde per sekund. *Dinophysis* er derfor nødt til at snige sig ind og affyre harpunen på en vis afstand

for at få succes. Præcis hvordan det foregår, og hvordan den blinde *Dinophysis* formår at skyde i den rigtige retning, vides ikke. Det hele er meget småt (få tusindedele af 1 millimeter) og foregår meget hurtigt (i løbet af få hundrededele af et sekund) – men det forsøger vi for tiden at få rede på.

Mange mixotrofer har et usædvanligt byttevalg, og der er blandt andet eksempler på, at de æder dyr, der er større end dem selv. Dinoflagellaten *Fragilidium* spiser gerne den meget større *Ceratium* – og det vel at mærke ved at sluge den hel! Det kan lade sig gøre, fordi rovdyret *Fragilidium* er i stand til at deformere og forstørre sin egen celle markant i løbet af den halve time, det tager at indtage byttet. Vi har også fundet eksempler på encellede mixotrofe organismer, der angriber og – hvis de er mange – dræber vandløpper, der er 100 gange så store som dem selv. Normalt opfatter vi vandløppen som rovdyret, men de mixotrofe organismer kan undertiden vende helt op og ned på fødekæderne i havet.

Muligheden for at ernære sig som både plante og dyr giver en vis forsyningssikkerhed og kan derfor være en stor konkurrencefordel, men der er også omkostninger ved at vedligeholde to ernæringsmekanismer: Det koster at opretholde cellemaskinerier til både at lave fotosyntese og til at æde bytte. Derfor er mixotrofi en »Jack-of-all-trades«-strategi: Mixotrofer kan ikke opnå samme effektivitet i både fotosyntese og fødeoptagelse, som henholdsvis de rendyrkede planter og dyr kan. Det er især det omgivende miljø – lysforhold, fødemængde, etc. – der afgør, om specialist- eller generaliststrategien er mest fordelagtig.

De mikroskopiske mixotrofe organismer i havet fremviser en rigdom af fascinerende og mærkelige adfærdstyper og tilpasning. I løbet af de seneste 25 år er vi blevet opmærksomme på, hvor almindelige de er, og hvor stor en del af planteproduktionen i havet de står for. De er vigtige brikker i havets økosystem, ikke bare sjove kuriositeter.

Hansen PJ, Nielsen LT, Johnson M, Berge T, Flynn KR: »Acquired phototrophy in *Mesodinium* and *Dinophysis* – a review of cellular organization, prey selectivity, nutrient uptake and bioenergetics.« *Harmful Algae*, 2013

mener han. Desuden påstår han at have modbevist hendes teori:

»Meget tyder på, at kurven er knækket. Y'et var i frit fald tidligere, og gener forsvandt i en vældig fart. Men farten er taget af, og det har klaret sig ganske godt lige siden,« sagde David Page i en artikel i *Nature* fra 2012.

Y'et klarer sig så godt, at det ikke har mistet et eneste gen de sidste 25 millioner år. Det kan man se ved at sammenligne det med Y-kromosomer fra pattedyr, som vi genetisk skiltes fra dengang. Om Y's forfald er gået helt i stå, lever vi ikke længe nok til at finde ud af. Niels Tommerup mener, der er mere aktuelle og selvforskyldte farer, som truer vores køn:

»Der sker en del mutationer i kønskromosomerne, der gør, at blandt andet mænd bliver infertile. Under naturlige omstændigheder ville de mutationer ikke blive givet videre, da infertile mennesker ikke formerer sig. Den naturlige udvælgelse forhindrer vi i dag delvist med kunstig befrugtning. Vi tager måske en genetisk set defekt sædcelle og tvinger den ind i et æg. På den måde føres uhensigtsmæssige mutationer videre.«

NIELS Tommerup er optimist:

»Medmindre kvinderne slår mændene ihjel eller omvendt, så tror jeg ikke, vi skal frygte for vores eksistens lige nu.«

Desuden har evolutionen mange år til at finde på nye løsninger. Det ser man andre steder i naturen:

»Stort set alle arter har en form for kønsfordeling. Sådan er det åbenbart smartest. Andre pattedyr har ligesom os et par kønsspecialiserede kromosomer. Men der er mange måder at gøre det på. Der er andre faktorer, som kan sætte den kaskade i gang, som skaber et han- og et hunkøn. Nogle dyr kan skifte køn og kan sommetider være han og andre gange være hun. Andre kan være begge dele på en gang.«

Det ses blandt andet hos nogle komodo-varaner, slanger og hajer. Det sker, at en af disse får unger ved en jomfrufødsel, altså formerer sig uden nogensinde at have set skyggen af en han. Derudover findes der mus, der ikke har noget Y-kromosom, men som alligevel kan være hankøn.

Har vi ikke tålmodighed til at vente på den



langsomme evolution, kan vi selv tage teten og formere os uden hjælp fra kønskromosomerne. Vi kommer tættere og tættere på at kunne klonе os selv. Alt, man skal bruge, er et æg fra en kvinde, en kropscelle og lidt forskelligt værktøj. Ligesom det skete med fåret Dolly for 15 år siden.

Den løsning mener Niels Tommerup ikke er holdbar:

»Køn er en god idé. To forskellige køn giver variation hos arten. Når to forskellige køn bidrager til et befrugtet æg, øger det diversiteten. Det sker ikke ved kloning. Dét tager man et komplet sæt gener, som man kopierer. Det ville øge risikoen for en fremtidig katastrofe, der kan udrydde arten. For eksempel en virusinfektion.«

Det store X- og det lille Y-kromosom. Y har modsat alle andre kromosomer ingen modsvarende partner, der kan fungere som tjekliste for det. Derfor forandrer det sig hurtigere end de andre kromosomer.

FOTO: SCANPIX