

Växtplankton i ett varmare klimat

Inledning

Att förstå hur vår planet jorden påverkas av de pågående klimatförändringarna är en av vår tids största och viktigaste frågor. För närvarande lever vi en tid med stora globala miljöförändringar och samhällsutmaningar. Många internationella avtal mellan ett flertal länder har skrivits för att bland annat minska utsläppen av växthusgaser. Vilka konsekvenserna blir av miljöförändringarna för människors hälsa är i många fall okänt, men alltmer tyder på att förändringarna av våra ekosystem påverkar människors hälsa och välbefinnande negativt. I många fall är kopplingen mellan miljöförändringar och hälsa väldigt uppenbara men de kan ibland också vara ganska otydliga. Kopplingen mellan globala miljöförändringar och människors hälsa varierar och är komplexa. Miljöförändringar och dess tillhörande hälsorisker påverkar samhällen väldigt olika. Fattigare samhällen som oftast har bidragit minst till miljöförändringarna är tyvärr de som kommer att drabbas oproportionerligt mest av dessa negativa effekter. De förändringar som utgör allvarliga hot mot människors hälsa idag kan oftast härledas till en stigande temperatur, havsnivåökning och växande koncentrationer av växthusgaser och luftföroreningar. Hälsoriskerna inkluderar en ökning i termisk stress och skador från översvämningar, stormar, spridning av vektorburna

sjukdomar och farliga mikrober. Luftföroreningar ger ökade kardiovaskulära åkommor och sjukdomar i andningsorgan. Dessutom sker till följd av dessa förändringar andra sekundära hälsoeffekter från förlusten av grödor och annan försörjning. Det man lätt glömmer bort är att många av de förändringar som människor åstadkommit har skett utifrån avsikten att förbättra hälsan. En stor del av förändringarna har varit utformade för att säkra matbehovet, vilket har skett genom att gräs- och skogsmarker omvandlats till marker för jordbruk.

Akvatiska ekosystem

Även om effekterna av de pågående klimatförändringarna oftast har fokus på livet på land så består jorden till största delen av vatten såsom hav, sjöar och vattendrag. Vi människor fångar till stor del vår föda ifrån havet som vi sedan äter för att överleva. De socioekonomiska tjänster som tillhandahålls av marina ekosystem är avörande för människors välbefinnande (Henson, Cael, Allen, & Dutkiewicz, 2021). Dessa tjänster kan bestå av alger, fiskar, musslor, räkor och stora marina djur såsom hajar och valar som lever i haven. Av jordens yta är ca 29 % land och 71 % hav och i haven så sker ca hälften av världens primärproduktion genom att växtplankton som lever i havet har förmåga att fånga kol-

dioxid (Hays, Richardson, & Robinson, 2005). Den del som består av sötvatten finns i sjöar och vatten bundet i isar men även som grundvatten och täcker endast en mindre del (3 %) av jordens yta (Ekelund & Sandström, 2018). Det sker på samma sätt som växterna gör på land genom processen som kallas fotosyntes. Trots att hälften av den primära produktionen sker i havet så är biomassan endast ca 1 % av växternas biomassa på land (Behrenfeld, 2014). Den här starka kontrasten mellan produktion och biomassa mellan hav och land visar på vilka skillnader det är mellan ekosystemen på land och i våra hav. Under de senaste decennierna har land och hav tagit upp en nästan konstant del (ca 56 % per år) av de koldioxidutsläpp som orsakats av mänsklig verksamhet (IPPC, 2022). Om inte detta av upptag av koldioxid hade skett via växtplanktonens fotosyntes så hade CO₂-halten i atmosfären idag varit betydligt högre. På grund av att haven kan lagra mycket av jordens totala kolinnehåll så är de också en av de viktigaste delarna i jordens klimatsystem. Haven har sedan starten av den industriella begynnelsen fungerat som en viktig sänka för antropogena utsläpp av kol. Om utsläppen av koldioxid kommer att fortsätta i framtiden så kommer fortfarande upptaget på land och i hav att vara av stor betydelse men de kommer antagligen inte klara av de ökningarna som pågår utan en stor del kommer fortsatt att vara kvar i atmosfären. Den globala uppvärmningen orsakar inte endast en ökning av koldioxid i atmosfären utan även ökning av havsnivån beroende på att stora landmassor av is smälter och att det sker en termisk expansion av vattnet. Havsnivåökningen kommer att

pågå under mycket lång tid framöver eftersom uppvärmningen i de stora havsdjupen redan etablerats, vilket blir svårt att förhindra om vi människor inte drastiskt lyckas att minska den globala uppvärmningen. Emellertid så förutspås en fortsatt ökad temperatur men även ändringar av bland annat vindförhållanden och glaciala isavsmältningar som i nästa steg kommer att påverka sammansättningen och produktionen av växtplankton i haven.

Växtplankton

Växtplankton är mikroskopiska alger (t ex grönalger, kiselalger, cyanobakterier (tidigare blågrönalger), dinoflagellater) som antingen direkt eller indirekt bildar den flytande näringen för alla vattenlevande djurorganismer i sjöar och hav. Växtplankton kan indelas i tre storleksklasser: mikrop plankton (20–200 µm), nanoplankton (2–20 µm) och picoplankton (0,2–2 µm). Ordet plankton härstammar från det grekiska ordet 'planktos' som innebär drift eller glida och används för att beskriva en passiv förflyttning av växter eller djur i vattenmiljöer (Hays *et al.*, 2005). I vatten runt om Antarktis så har ca 500 arter av protister (encelliga eukaryota organismer) identifierats och av dessa är ca 350 växtplankton (Deppeler & Davidson, 2017). Eftersom växtplankton är basen i havens näringsväv så spelar växtplanktonen en stor roll i upprätthållandet av den rikedom och mångfald av liv som de stora haven är kända för. Stora djur som valar äter växtplankton genom att filtrera vattnet som de drar in i sina munnar. Även många fiskar och olika former av ryggradslösa djur som musslor, koraller och anemoner äter växt-

plankton. Ett upprätthållande av havens biologiska mångfald är därför avgörande för att ge motsståndskraft mot framida klimatförändringar (Henson *et al.*, 2021).

Tillväxt och fotosyntes

Växtplankton som är encelliga organismer kan föröka sig både asexuellt och sexuellt. Det normala är emellertid den asexuella förökningen som sker genom att cellerna delar sig. Vid denna celldelning omvandlas en cell till två celler, vilket innebär att de nya cellerna ser precis likadana ut som föräldracellerna. I näringsrika vatten kan antalet växtplanktonceller uppgå till flera miljoner celler i en liter vatten (Doney, 2006). När växtplankton förökar sig i stora mängder så kallas det för algblooming. Algblooming förekommer både i hav och i sjöar, men främst under högsommaren när temperaturen är hög och solinstrålningen stark. Algbloomingen är ett årligt förekommande fenomen och i Sverige sker det oftast i lugnt Östersjövatten när det är varmt och starkt solljus. Bloomingen sker genom att cyanobakterierna som har förmågan att ta upp kväve från luften tillväxer snabbt, vilket ger dem en konkurrensfördel gentemot andra växtplanktonarter. De olika alggrupperna tillväxer olika under året och för kiselalger som gillar lite lägre temperaturer så sker deras största tillväxt tidigt på våren och då kallas detta vårblomning. För upptaget av koldioxid är kiselalger mycket viktiga och spelar en stor roll i världens bindning av kol. Upptaget leder i sin tur till att kolet exporteras ner till djupare vatten när cellerna dör och sjunker ner mot botten.

Processen som innebär att koldioxid

tas upp av växtplankton kallas fotosyntes (Ekelund, 2001). Fotosyntesen sker hos cyanobakterier, växtplankton och hos högre växter (Elsworth, Lovenduski, McKinnon, Krumhardt, & Brady, 2020) Fotosyntesen är nödvändig för att växtplankton skall kunna tillväxa och det sker genom att växtplankton fångar in energi från solljuset och omvandlar det till kemisk energi i form av kolhydrater. Förutom att koldioxid omvandlas till kolhydrater så bildas även syrgas i fotosyntesen som avges från växtplankton och växter. Syret som bildas genom fotosyntesen gör det möjligt för människorna att kunna andas och även alla andra syreandande organismer. Under jordens tidiga utveckling fanns inga levande organismer på jorden och det var först när fotosyntetiserande bakterier började att producera syrgas som växter och djur började utvecklas. Detta var endast möjligt på grund av att delar av det syre som bildades omvandlades till ozon. I och med att ozon bildades så skapades ett skydd mot den starka ultravioletta strålningen från solen. Den kortvågiga ultravioletta strålningen är farlig för alla organismer och när då ozonet bildades så gavs det möjlighet för djur och människor att utvecklas på jorden. Det var däremot de vattenlevande organismerna som utvecklades först eftersom även vattnet skapade ett skydd mot ultraviolet strålning. Hos växtplankton sker fotosyntesen i kloroplasterna som innehåller de klorofyllmolekyler som har förmågan att fånga in ljusenergin som sedan lagras i det biologiska systemet.

Växtplankton som simmar och temperaturskiktning

Eftersom växtplankton är väldigt små kanske många tror att de inte har en egen förmåga att röra sig och att de endast följer med vattnets strömmar. Men detta är inte riktigt sant eftersom många växtplankton har utskott som gör det möjligt för växtplankton att simma mot ljus och näring. Utskotten fungerar som åror som hjälper växtplanktonen att förflytta sig mot till exempel bättre ljusförhållanden för att kunna utföra fotosyntes (Ekelund, 1988, 2012b). Eftersom ljuset är starkast vid ytan simmar de upp mot ytan på dagarna och mot djupet på nätterna. Detta innebär att många växtplankton har en dygnsrytm som sker i takt med ljusets växlingar. De växtplankton som inte har utskott att röra sig med kan däremot lagra kolhydrater i cellerna i kombination med gasblåsor som gör att de sjunker till olika nivåer vattnet.

Det som påverkar växtplanktonens förmåga förutom ljus och näring är även vattnets temperatur och densitet. I nästan alla sjöar och hav bildas det under sommarmånaderna en gräns mellan ett varmare ytvatten och ett kallare djupvatten (Ekelund 2012a, Ekelund & Sandström, 2018). Detta känner man av om man dyker några meter ner under vattenytan. Gränsen kallas temperatursprångskikt och är som starkast under sommaren men försvinner under höst- och vintermånaderna när vindar och stormar gör att det blir en omrörning av vattnet som bryter skiktningen. Språngskiktet som innebär en skillnad i densitet gör det även svårare för växtplankton att simma och att förflytta sig mellan ytvatten och djupvatten. I sötvattenssjöar är densite-

ten som högst vid 4 grader C, vilket möjliggör att det uppstår en skarp gräns mellan djup- och ytvatten (Ekelund, 2012b).

Bildningen av språngskikt är en återkommande process som sker varje år men som under de senaste decennierna påverkats av jordens pågående uppvärmning. När temperaturen ökar så ökar även temperaturen i vattnet, vilket gör att språngskiktet startar tidigare och att språngskiktet består under en längre tid. Detta får till följd att näringsförhållanden förändras och att blandningen av näringsfattigt ytvatten inte sker med näringsrikt bottenvatten i motsvarande grad som tidigare. Ytterligare följer av denna förändring som kan uppstå av en ökad temperatur och ett förlängt språngskikt är att det sker en förändring av produktion och artsammansättning av växtplankton (Elsworth *et al.*, 2020). En ökad temperatur av jordens hav och sjöar påverkar även tiden för hur länge dessa miljöer täcks av is. På norra halvklotet så kan den tid då isen täcker vattnet vara ca 4–6 månader och om isen försvinner tidigare så kommer det att få till följd att växtplanktonproduktionen även startar tidigare (Ekelund & Sandström, 2018). Många studier har redan visat att tiden för istäcke har minskat och att den pågående klimatuppvärmningen kommer att förändra temperaturskiktningen i våra vatten som i sin tur leder till en förändring av blandningsförhållanden och växtplanktonsamhällen.

Växtplankton i en varmare värld

Eftersom haven spelar en stor roll i den globala kolcykeln kommer detta att påverka omfattningen av den pågående uppvärm-

ningen av jorden. Idag är stora delar av den globala ekonomin beroende av den marina produktionen som sker i haven och därför kan en klimatpåverkan orsakad av en förhöjd CO₂-halt få stora ekonomiska konsekvenser. Emellertid är det väldigt svårt att förutsäga vad som kommer att hända om CO₂-halten fortsätter att öka och pH i haven minskar under de kommande 50–100 åren (Hays *et al.*, 2005, Raven & Beardall, 2021). När pH sjunker innebär detta en försurning av haven, vilket kan försvåra upptaget av kalciumkarbonat för de växtplankton som är beroende av detta för att bygga kalkskal. Som det första steget i näringskedjan så kallas växtplankton primärproducenter och är de organismer som lagrar det kol som de fixerar när de tar upp CO₂. Detta benämns primärproduktion och blir den näring som senare kräftdjur (primärkonsument) äter och som sedan fiskar (sekundärkonsument) högre upp i näringskedjan äter. Om inga andra faktorer än temperaturen skulle förändras så stimuleras tillväxten hos gruppen växtplankton av en ökad temperatur. Tillväxten kommer att öka även om temperaturen kommer att överstiga växtplanktonens normala temperaturförhållanden. Även en ökad CO₂-halt som är löst i haven kommer att ge en signifikant ökning av tillväxten. Eftersom gruppen växtplankton består av tusentals olika arter innebär detta att vissa arter kommer att gynnas i sin tillväxt på bekostnad av andra arter (Raven & Beardall, 2021). De flesta växtplankton har olika temperatur optimum för sin tillväxt. Om temperaturen i haven förändras kommer därför i förlängningen även artsammansättningen av växtplanktongruppen att förändras (Raven & Beardall, 2021). Hur denna eventuella för-

ändring av växtplanktonens artsammansättning kommer att påverka organismer högre upp i näringskedjan är fortfarande väldigt osäkert att förutspå. Vi vet i nuläget ej heller hur klimatförändringarna påverkar organismer högre upp i näringskedjan och vilka följer detta kan få för växtplankton. Idag sker klimatförändringarna mycket snabbare jämfört med de historiska förändringar som tidigare förändrat vårt klimat, vilket till största delen är ett resultat av mänsklig påverkan. För att kunna anpassa sig till dessa snabba klimatförändringar så har växtplankton en fördel gentemot andra organismer eftersom växtplankton har en kort livstid som innebär att de kan reagera snabbt på förändringar i sin närmiljö jämfört med andra marina organismer som har en längre generationstid.

Det som naturligtvis är viktigt för växtplanktonens överlevnad är ljusinflödet ner i vattnet som är av betydelse för fotosyntesen. Ljusinflödet uppvisar stor variation från kustnära områden till områden långt ut i haven. Kustnära vatten är mer grumliga vilket beror på tillflöden från bäckar, åar och älvar som drar med sig finkornigt material, vilket i sin tur ger ett sämre ljusinflöde. Den globala uppvärmningen kommer att leda till ändrade nederbördsmonster och mängd översvämningar, vilket i framtiden kommer att påverka våra hav och sjöar och därmed tillväxten av växtplankton. En motsatt effekt kan däremot uppstå vid en minskning av havsisen, vilket kan ge ett ökat ljusinflöde ner på djupet i havet som i sin tur ger en ökad primärproduktion av växtplankton. Hur växtplankton reagerar på ökad CO₂-halt, ökad temperatur och minskat pH i haven är av stor betydelse eftersom växtplankton är en viktig kompo-

ment som ingår i det biogeokemiska kretsloppet som påverkar det globala klimatet (Raven och Beardall, 2021). När växtplanktonen dör så sjunker de till botten där det sker en nedbrytning av bakterier och då frigörs kol som sedan kan återanvändas i det biogeokemiska kretsloppet och på så sätt bli till näring för högre trofiska nivåer. Förutom kol så påverkas även ämnen som kväve, fosfor, järn, kisel och flera andra ämnen som är viktiga för växtplanktons tillväxt av en global uppvärmning. Alla dessa ämnen är också en del av det biogeokemiska kretsloppet som är viktiga komponenter i transporten av näring från djupare vatten till ytvatten (Raven & Beardall, 2021). Vid en ökad temperaturskiktning så försvåras antagligen denna transport av näring vilket påverkar växtplanktonsamhällena. Om det däremot sker en försurning så finns risken att till exempel korallernas och kiselalgerens förmåga att bilda kalkskelett försämras. I tropiska vatten förekommer ungefär 25 % av alla marina arter och de är associerade till koraller. Vissa planktonarter kan däremot öka sin tillväxt om koldioxidhalten ökar i haven. Detta indikerar att klimatförändringarnas effekter kommer att variera beroende på graden och sekvensen av dessa och i vilka regioner på jorden som de kommer att ske (Hays *et al.*, 2005, Raven & Beardall, 2021).

Ekosystemtjänster och geografiska analyser

Om växtplanktonens funktion på något sätt förändras eller försämras så får det konsekvenser för de ekosystemtjänster som växtplanktonen upprätthåller som biodiversitet, påfyllningen av näring till näringsked-

jan, föda för fisk och att vara en reglerande kraft i de pågående klimatförändringarna. Begreppet ekosystemtjänster är de mänskliga fördelarna som genereras av våra ekosystem och som bland annat kan innebära att träd och vegetation reglerar temperaturen, tar upp näring, binder koldioxid och ökar välmåendet hos oss människor när vi vistas i naturen. Idag ser vi drastiska effekter av den globala uppvärmningen i form av översvämningar, kraftiga stormar och värmeböljor. Variationen av dessa effekter är stora och skiljer sig beroende på vart man befinner sig geografiskt på jorden. Att förstå hur dessa klimatförändringar påverkar vår planet är därför en nyckelfråga. Redan nu så orsakar klimatförändringarna bland annat ökande havstemperaturer, förändringar i salthalt, pH, vindstyrka och havsisens tjocklek, vilket med stor sannolikhet kommer att påverka produktionen och sammansättningen av plankton. Följderna av uppvärmning och försurning kan även få biogeokemiska effekter såsom förändringar i kretsloppen för vatten, kol, kväve, fosfor men även effekter på förkalkningsprocesser. Kretsloppen för kol, kväve, fosfor är kopplade till vattnets kretslopp som till största delen utgörs av interaktionen mellan hav och atmosfär. Alla dessa kretslopp utgör ekosystemtjänster för haven (Bryhn, Lindegarth, Bergström & Bergström, 2015). Eftersom växtplankton utgör grunden för de biogeokemiska kretsloppen kan en förändring av vattnets kretslopp påverka mångfalden av växtplankton. Ökar till exempel havets temperatur så kommer det också att få effekter på vattnets kretslopp men även påverka de andra biogeokemiska kretsloppen. Ett förändrat planktonsamhälle kan i förlängningen få stora so-

cio-ekonomiska effekter beroende på att fiskindustrin till exempel kan påverkas negativt, vilket beror på att fiskyngel är beroende av plankton för sin överlevnad.

Vi människor måste därför alltmer försöka att planera våra samhällen utefter dessa förändringar och det måste ske snabbt. Växtplanktonsamhällen med sin höga genetiska mångfald möjliggör emellertid en god anpassning till förändrade miljöförhållanden. Ett flertal växtplanktonsamhällen är idag utsatta för stora variationer i sin miljö och de växtplankton som redan varit utsatta för stora variationer i sin miljö anses i sig vara mer toleranta och på så sätt mer kapabla att anpassa sig till framtida förändringar. Historiskt har de som arbetar med att bestämma eller utvärderat förändringar av planktonsamhällen varit biologer. Idag sker däremot kvalitativa och kvantitativa analyser av olika ekosystem av geografer som till sin hjälp använder fjärranalysteknik och geografiska informationssystem (GIS) (Soubry, Doan, Chu & Guo, 2021). Kortfattat innebär det att man kartlägger ekosystemens egenskaper och indikatorer. Med tekniker som fjärranalys och GIS ökar möjligheterna att följa förändringar och utbredningar av t ex vattendrag såsom åar, floder och sjöar på ett mycket mera tillförlitligt sätt än vad man kunde tidigare. När det gäller akvatiska miljöer kan man t ex avgöra förändringar när det gäller planktonblomningar. På så sätt går det sedan att relatera planktonblomningar till stressfaktorer som orsakat dessa blomningar t ex temperatur, näringshalt, salthalt etc. Fördelen med dessa tekniker är att det går att behandla mycket data på kort tid och att utvärdera förändringar av ekosystem under längre tidspe-

rioder. De data som geograferna samlar in måste sedan omvandlas till biologiska/ ekologiska data för biologer/ekologer som inte är kunniga inom fjärranalys och GIS.

För närvarande är det alltför tidigt att veta om graden av klimatförändringar kommer att överstiga växtplanktons förmåga att anpassa sig. Det är dock oundvikligt att de klimatförändringar som pågår på något sätt i framtiden kommer att påverka dynamiken i havens näringsväv och dess biogeokemi.

Referenser

- Behrenfeld, M.J. (2014). Climate-mediated dance of the plankton. *Nature Climate Change*, 4, 880-887. DOI: 10.1038/NCLIMATE2349
- Bryhn, A., Lindegarth, M., Bergström, L., & Bergström, U. (2015). Ekosystemtjänster från svenska hav. Status och påverkans faktorer. *Havs- och vattenmyndighetens rapport, 2015:12*.
- Deppeler, S.L., & Davidson, A.T. (2017). Southern Ocean Phytoplankton in a Changing Climate. *Front. Mar. Sci.* 4:40. doi: 10.3389/fmars.2017.00040
- Doney, S.C. (2006). Plankton in a warmer world. *Nature*, 444, 7:695–696.
- Ekelund, N.G.A. (1988). "Ljusrörelser hos mikroorganismer." *Svensk Botanisk Tidskrift*, 82:333 – 336.
- Ekelund, N.G.A. (2001). "Växters fotosyntes vid förändrade miljöförhållanden." *Fauna och flora*, 96, 1:15–24.
- Ekelund, N.G.A. (2012a). Hur påverkar klimatförändringar sjöar och hav? The potential effects of global climate change on oceans and lakes. *Vatten – Journal of Water Management and Research*, 68:155–160, Lund, Sweden.
- Ekelund, N. (2012b). Växter som kan simma. *Havsutsikt*, 1, 8–9.

- Ekelund, N.G.A., & Sandström, J. (2018). Årstidsvariationer i sjöar vid klimatförändringar. Seasonal variations in lakes in Northern Sweden in a changing climate. *Vatten – Journal of Water management and Research*, 4:181–188.
- Elsworth, G.W., Lovenduski, N.S., McKinnon, K.A., Krumhardt, K.M., & Brady, R.X. (2020). Finding the Fingerprint of Anthropogenic Climate Change in Marine Phytoplankton Abundance. *Current Climate Change Reports*, 6:37–46. <https://doi.org/10.1007/s40641-020-00156-w>
- Hays, G. C., Richardson, A. J., & Robinson, C. (2005). Climate change and marine plankton. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 20, 6:337–344. [doi:10.1016/j.tree.2005.03.004](https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.004).
- Henson, S.A., Cael, B.B., Allen, S.R., & Dutkiewicz, S. (2021). Future phytoplankton diversity in a changing climate. *Nature Communications*, 12:5372. doi.org/10.1038/s41467-021-25699-w.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. *Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.*, [doi:10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).
- Raven, J.A., & Beardall, J. (2021). Influence of global environmental change on plankton. *J. Plankton Research*, 43, 6:779–800. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab075>.
- Soubry, I., Doan, T., Chu, T., & Guo, X. (2021). A Systematic Review on the Integration of Remote Sensing and GIS to Forest and Grassland Ecosystem Health Attributes, Indicators, and Measures. *Remote Sensing*, 13, 3262. <https://doi.org/10.3390/rs13163262>.

*Nils Ekelund Prof. Plant Physiology, Dept. Natural Sciences,
Mathematics, Society Faculty of Education and Society
Malmö University Nordenskiöldsgatan 10, 205 06 Malmö
E-post: nils.ekeland@mau.se*