

Mer koldioxid i atmosfären **gör haven surare**

ANDERS OMSTEDT, MOA EDMAN & JON HAVENHAND, GÖTEBORGS UNIVERSITET

Hur klimatförändringarna som orsakas av ökade utsläpp av växthusgaser kommer att påverka våra svenska havsområden är en högst relevant frågeställning idag. För att vi ska kunna skydda kusthavens ekosystem, och de viktiga tjänster de levererar, är det viktigt att veta hur denna påverkan kan komma att se ut. Kommer haven att bli både surare och mer övergödda, på samma gång? Klart står att det krävs en framgångsrik förvaltning som inbegriper både minskade koldioxidutsläpp, och minskad övergödning, för att minska stressen på havens ekosystem.

■ Havsvattnets pH är, tillsammans med syre, en av de viktigaste faktorerna för livskraften i de marina ekosystemen. Vattnets pH bestäms av balansen mellan oorganiskt kol och vattnets buffringsförmåga, det vill säga förmågan att stå emot försurning. Ju bättre buffringsförmåga desto mindre försurat blir vattnet. I ett förändrat klimat väntas koldioxiden i atmosfären öka samtidigt som tillrinningen från älvar och vattendrag till havet ökar i norr men minskar i söder, vilket i sin tur påverkar Östersjöns pH-balans. Det tillrinnande vattnets buffrande förmåga varierar stort i Östersjöns avrinningsområde. I norr är den relativt låg eftersom Norrlandsälvarna

rinner genom kalkfattiga områden medan den ökar längre söderut och i öster där avrinningsområdena är kalkrika.

Modeller kan ge svar

Globala klimatmodeller och mer detaljerade modeller som inkluderar land, atmosfär, vegetation och hav i Östersjöområdet visar att en väntad försurning i första hand beror på atmosfärens koldioxidhalt. Klimatförändringarna i sig, det vill säga temperaturförändringar och förändringar i nederbörd, spelar i jämförelse en mindre roll.

Den ökade övergödningen i Östersjön ger sämre syreförhållanden och dessutom en kraftigare säsongsvariation av pH,



Foto: Janis/Shutterstock

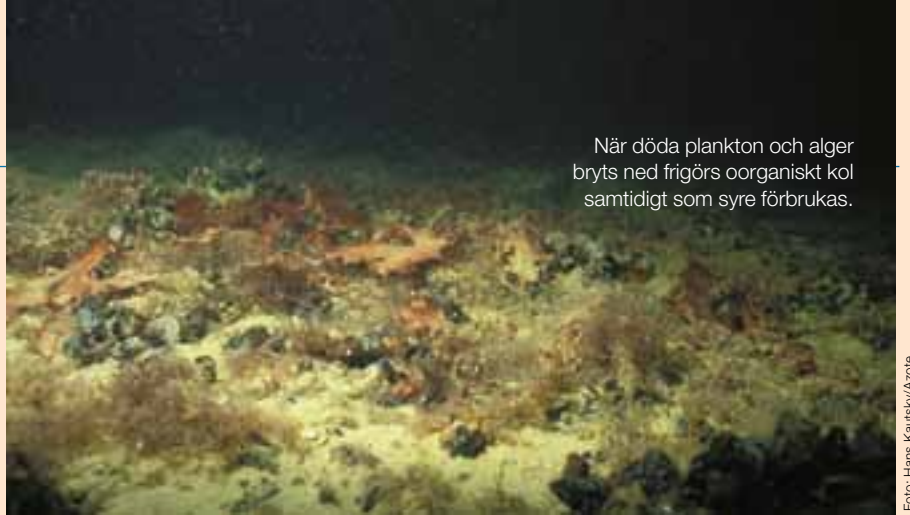
HAVETS pH

Havets pH bestäms av den totala koncentrationen oorganiskt kol i vattnet och av vattnets buffertförmåga. Oorganiskt kol bildas på flera olika sätt:

- När koldioxid från atmosfären löser sig i havets ytvatten.
- När kalk löses ut i älvar, sjöar och havet.
- När biologiskt material bryts ned, till exempel döda marina organismer och organiskt material i vattendragen.

Nedbrytningen av biologiskt material kräver syre vilket ger minskande syrgashalter i vattnet. Oorganiskt kol i form av koldioxid tas upp av fotosyntetiserande alger och bakterier, och binds därmed in i födoväven. När dessa organismer dör och bryts ned förbrukas syre. Om stora mängder alger bryts ner bildas syrefritt bottenvatten samtidigt som alkaliniteten och halten organiskt kol ökar.

Den totala alkaliniteten, buffertförmågan, är ett mått på vattnets kapacitet att stå emot försurning. Alkaliniteten styrs av de kemiska reaktioner som kan ta upp vätejoner (H^+) och de som kan avge vätejoner. När exempelvis koldioxid i atmosfären blandas med vatten frigörs vätejoner och när kalk löses i vattnet binder den istället vätejonerna.



När döda plankton och alger bryts ned frigörs oorganiskt kol samtidigt som syre förbrukas.

Foto: Hans Kautsky/Azote

Övergödning skyddar inte

Det har funnits idéer om att ökad övergödning, som leder till ökad fotosyntes och därmed till ökat upptag av koldioxid, skulle kunna skydda mot framtida försurning. Dessutom skulle övergödningseffekter i form av mer syrefattiga botten kunna buffra mot försurning. Men undersökningar visar att även om våra hav blir mer övergödda kommer de ändå att bli surare. Det finns med andra ord inget skydd mot försurning, utan utsläppen av koldioxid i atmosfären måste begränsas.

Framtida försurning av haven

Genom att studera klimatmodeller ökar förståelsen för tänkbara miljöhot och även insikterna om vad vi kan göra för att minska dem. I modellerna ingår ett antal

förutsättningar, varav olika koncentrationer av växthusgaser utgör de viktigaste. Det är vanligt att både undersöka scenarios som bygger på att vi inte gör något alls och sådana där vi framgångsrikt genomfört åtgärder. Resultaten från de klimatmodeller som forskarna idag använder skiljer sig väsentligt från varandra, även när samma förutsättningar används. Därför är det nödvändigt att studera olika modeller för att se vad som har störst påverkan och ger störst osäkerheter i beräkningarna.

FAKTA

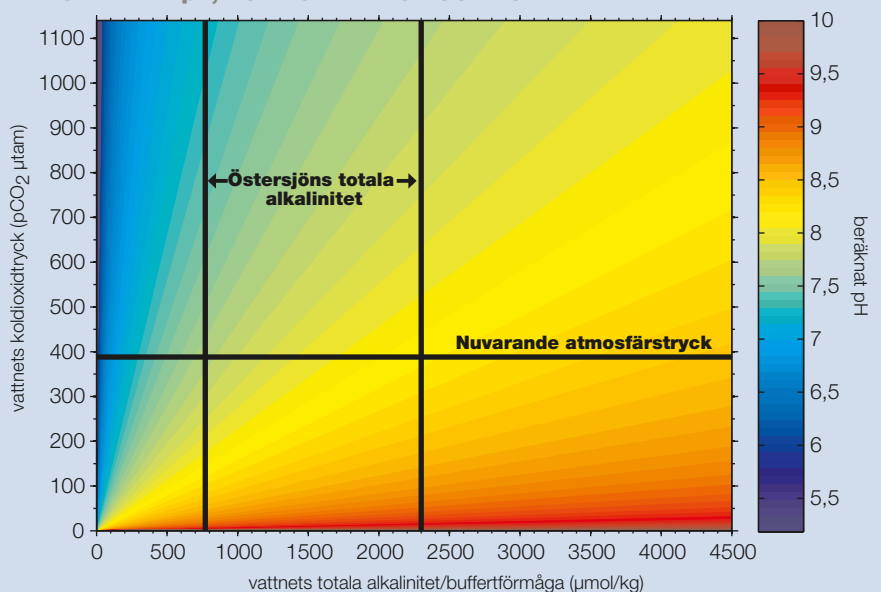
Östersjöns och Västerhavets pH-balans

Havens pH bestäms av jämvikten i det oorganiska kolsystemet. Jämvikten påverkas av mängden oorganiskt kol och vattnets totala buffertförmåga samt av havsvattnets koldioxidtryck, vilket syns i figuren. I havsområden med sämre buffertförmåga, till exempel i Bottniska viken, sker förändringen snabbare. Atmosfärens koldioxidhalt eller rättare sagt koldioxidtryck är idag cirka 390 μatm och det fortsätter att öka.

I mitten av 1700-talet och industrialismens början var atmosfärens koldioxidtryck 280 μatm . Ökningen på 110 μatm fram till idag motsvarar en pH-sänkning med 0,1 pH-enheter i världshaven. Det troliga är att koldioxidtrycket i atmosfären kommer att öka i framtiden. Är dagens klimatmodeller riktiga kan vi dessutom förvänta oss en minskad buffertförmåga i Östersjön eftersom framtidsberäkningarna indikerar en ökad tillrinning i norr och minskad i söder.

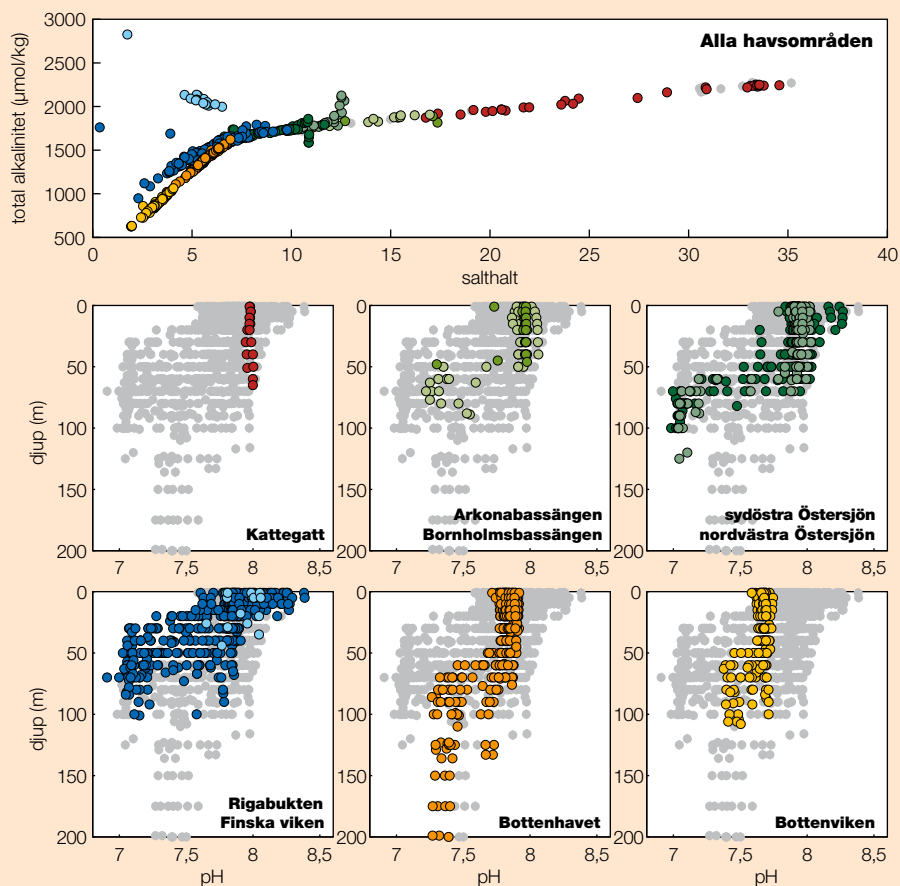
Koldioxidtrycket ges i enheten atm. 1 atm motsvarar normalt atmosfärstryck vid havsytan, oftast används mikro atm, eller μatm vilket illustrerar att trycket är mycket litet.

SAMBAND pH, KOLDIOXIDTRYCK OCH TOTAL ALKALINITET I HAVET



➤ Samband mellan pH, koldioxidtryck och den totala alkaliniteten i havsvatten. Stigande koldioxidtryck och minskad alkalinitet ökar försurningen av vattnet. Grafen baseras på teoretiska beräkningar.

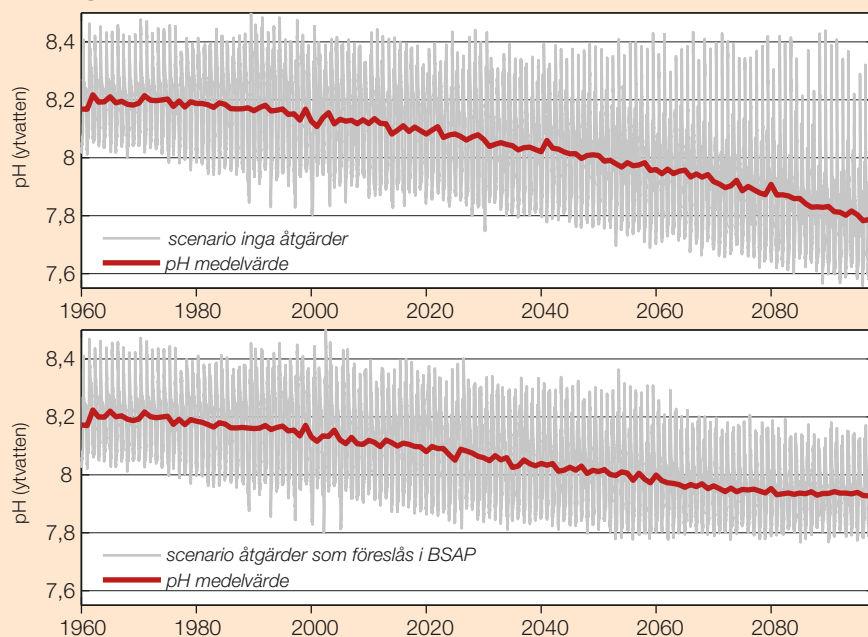
SÅ VARIERAR ALKALINITET OCH pH I SVENSKA HAVSOMRÅDEN



☞ Variationerna av den totala alkaliniteten och pH i Östersjön och Västerhavet. Färgerna representerar olika delar av Östersjön. Överst syns hur starkt salthalt och total alkalinitet hänger ihop, samt hur sambandet påverkas av varifrån vattnet kommer. Nedtill i figuren syns hur mycket pH varierar. pH varierar starkast mellan yt- och djupvatten, men även mellan olika havsområden.

Not: Observationerna är baserade på BONUS+ programmet Baltic-C som under tre år med hjälp av forskningsfartyg mätte Västerhavets och Östersjöns koldioxidhalter.

pH I ÖSTERSJÖNS YTVATTEN



☞ pH i Östersjöns ytvatten, två möjliga scenarios. Scenario utan åtgärder och scenario med framgångsrik förvaltning. Havsvattnets genomsnittliga pH minskar men säsongsvariationerna och förurningens dämpas med en framgångsrik förvaltning.

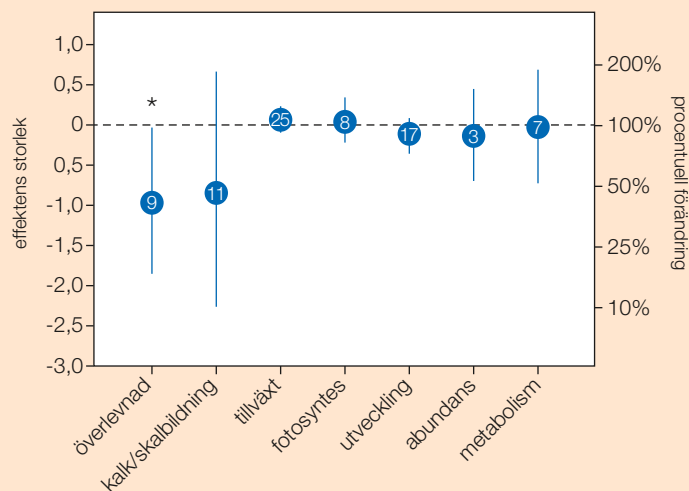
I den övre figuren ökar både utsläppen av koldioxid till atmosfären (till 850 µatm) och tillförseln av närsalter till Östersjön. I den nedre figuren råder framgångsrik förvaltning där de globala utsläppen av koldioxid till atmosfären planar ut på 550 µatm och den regionala närsaltstillförseln till Östersjön minskar enligt Baltic Sea Action Plan (BSAP).



Blåmusslan påverkas mycket litet eller inte alls av ett surare hav, förutsatt att den har tillräckligt med mat som ger den energi och motståndskraft.

Foto: Tony Heim/Azote

FÖRSURNINGSPÅVERKAN MARINA ARTER



➤ Samlade effekter av havsförurning hos marina arter i Västerhavet och Östersjön. Intervallen visar sannolika effekter av havsförurning och intervallens storlek visar osäkerheten i data och/eller biologisk variation.

Not: Data är medel "Ln Response Ratio" $\pm$ 95-procentigt konfidensintervall för en pH-minskning om 0,2 – 0,4 enheter. Data hämtad från 39 studier om havsförurningens effekter på 19 olika arter i Västerhavet och Östersjön. Antal observationer/studier i varje kategori i blå rundel. Stjärna = enda effekten statistiskt skild från noll.

eftersom pH sjunker på vintern och ökar på sommaren. Modellerna visar också att försurningen kan dämpas med en framgångsrik förvaltning som innebär minskade koldioxidutsläpp till atmosfären.

Effekter på marint liv

Kunskapen om framtida effekter på marina arter i en försurd havsmiljö i Östersjön och Västerhavet har ökat det senaste decenniet. Men fortfarande vet vi alldeles för lite om hur marina ekosystem, i synnerhet i Östersjön, påverkas av försurning.

Även om det finns vissa uppenbara negativa effekter, är det tydligt att försurningen påverkar biologiska processer hos marina arter på olika sätt. De tydligaste förändringarna är ökad dödlighet i vissa arters livsstadier, som hos larver av ormsjärnor och Östersjömusslan. Dessutom varierar effekterna på skalbildande arter kraftigt.

Flera viktiga komponenter i Östersjöns näringsväv verkar dock vara motståndskraftiga mot den genomsnittliga försurningsgraden som förväntas under det kommande århundradet. Till exempel har torsken i Östersjön visat sig tåla lägre pH än torsk från Nordatlanten. Vi har inte fullständig kunskap om alla delar i Östersjöns

näringsväv. Endast för några få arter finns det en komplett bild av vilka effekter försurningen har under hela livscykeln. En viktig princip som har klarlagts är att havsförurningens negativa effekter kan ha litet, eller till och med inget, genomslag om det finns tillräckligt med mat och därmed energi för att motverka de negativa effekterna. Detta har visats hos flera arter i svenska vatten, till exempel hornkorall (*Lophelia pertusa*) blåmussla (*Mytilus edulis*) och havstulpan (*Balanus improvisus*).

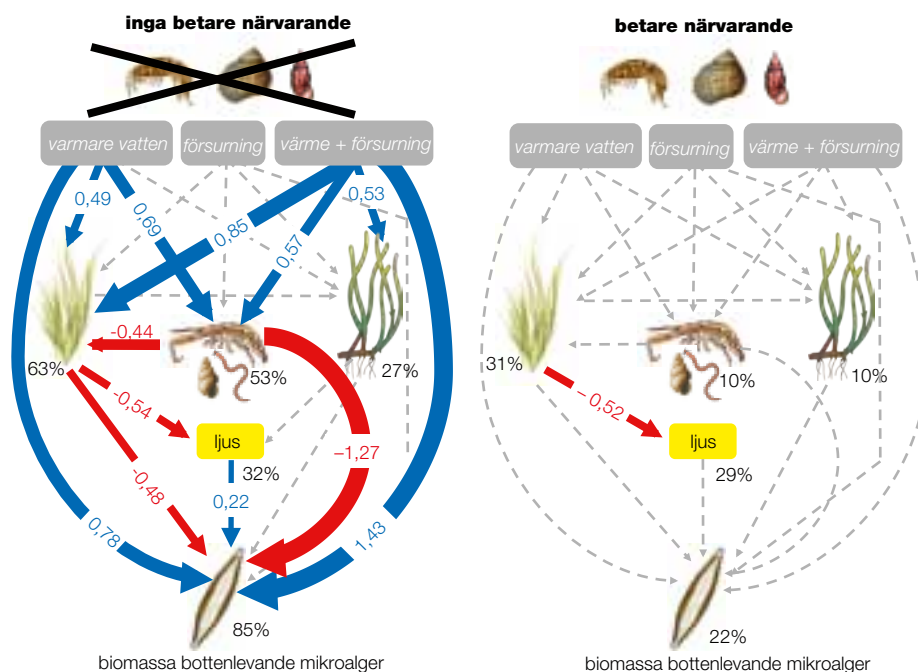
Men trots mycket forskning under de senaste åren vet vi fortfarande lite om hur framtidens havsförurning kan påverka marina arter i Sverige. Kunskapen om olika marina arters anpassningsförmåga, eller om någon art kan utveckla tolerans mot försurning, är mycket dålig. Det börjar nu komma mätningar och modellresultat med kraftiga dygns- och säsongsvariationer av pH. Men hur denna variation påverkar organismernas tolerans mot havsförurning vet vi väldigt lite om. Hittills har endast en studie undersökt effekter av naturliga, dygnsfluktuationer av pH i grunda kustområden. Studien som var på havstulpaner visade att tillväxten var högre och skalhårdenheten mindre när de levde i en miljö med varierande pH, jämfört

med under konstanta pH-förhållanden. Anpassning till nya förhållanden sker när naturlig selektion väljer ut de exemplar av samma art med genetiska egenskaper som klarar av extrem miljövariation bäst. Att majoriteten av forskningen hittills inte tagit hänsyn till denna variation i miljön är problematiskt. Det finns mycket kvar att göra.

Kombinationseffekter

En framtida försurning av havet samverkar med många miljövariabler. Kombinationer av övergödning, försurning, temperaturökning, syrebrist, föroreningar, förändrad salthalt, och ett ändrat resursutnyttjande, exempelvis fiske, kan orsaka många oväntade effekter på våra marina ekosystem. Trots att detta varit känt sedan länge har effekterna av även enkla kombinationer av klimatvariabler tillsammans med havsförurning sällan undersökts. Nya studier tyder på att effekterna kan vara betydande, i synnerhet när det gäller samverkan mellan pH och syrebrist. Om vi ska kunna förstå de vidare konsekvenserna av klimatförändringar i haven måste kombinationseffekter bli ett nyckelområde för framtida studier. Komplikationer på ytterligare en nivå orsakas av samspelet inom ekosystemen.

FÖRSURNING OCH VARMARE VATTENS PÅVERKAN PÅ EKOSYSTEMET



Figuren visar hur varmare vatten och försurning samt kombinationen av dessa två faktorer påverkar makroalger, bottenlevande fauna, ålgräs (*Zostera marina*), ljus, och bottenlevande mikroalger i ett experiment i Västerhavet.

Till vänster visas ett experiment utan betande djur. Här syntes tydliga direkta, positiva effekter (blå linjer) av värme samt kombinationen värme/försurning på bottenlevande mikroalger. Dessa effekter balanserades av negativa effekter (röda linjer) av makroalger och bottenlevande fauna. Dessa negativa effekter är "indirekta" eftersom värme och försurning påverkar en högre trofisk nivå som i sin tur påverkar bottenlevande mikroalger. Enbart försurning hade ingen påverkan utan endast tillsammans med ökad temperatur.

Till höger visas hur det såg ut när betare inkluderades i experimentet. Då försvann alla direkta och indirekta effekter av värme och försurning. Det här visar att en större komplexitet i ekosystemet, det vill säga med betare, kan buffra mot framtida klimateffekter.

Övergödning och starkt fisketryck resulterar i förhållanden som de i figuren till vänster, det vill säga ett system känsligt för framtida klimateffekter. Det är därför möjligt att tillfälligt lindra effekterna av ökad havsförsurning och temperatur genom minskad övergödning och fisketryck.

Blå linje = statistiskt signifikanta positiva effekter. Röd linje = signifikanta negativa effekter. Streckad linje = icke signifikanta effekter. Siffrorna visar relativ storlek av effekten.

Det är en välkänd ekosystemprincip att interaktioner mellan arter kraftigt kan påverka responsen på miljöförändringar. Detta kan illustreras av berättelsen om två trötta skogsvandrare som plötsligt träffar en aggressiv björn. Då den första vandraren börjar springa, ropar den andra "Varför springa? Du kan inte springa snabbare än björnen!" och den första svarar "Jag behöver inte springa snabbare än björnen, bara snabbare än du gör!" Om skogsvandrarna representerar två marina arter, tröttheten effekten av havsförsurning, och björnen en gemensam predator, är det lätt att se hur den negativa effekten av havsförsurning kan gynna den ena arten om det innebär att den andra löper större risk att inte klara sig.

Studier av ålgräsäng ger svar

Hittills finns endast en studie som behandlar ekosystemeffekter av havsförsurning på ett svenskt marint ekosystem i kombination med en annan miljövariabel. Studien gjordes på en ålgräsäng och resultaten visar att indirekta effekter av pH och temperatur – det vill säga effekter som förmedlas genom interaktioner i ekosystemet – var minst lika viktiga som direkta effekter. Ekosystemet svarar annorlunda på försurning när flera andra miljöfaktorer ändras samtidigt, än när bara en faktor förändras. Det bekräftar att kombinationer av miljövariabler kan ha oväntade effekter.

En viktig slutsats av ålgrässtudien är att havsförsurning och uppvärmning orsakar

ökad tillväxt av fintrådiga alger och därmed minskar ålgräsens "hälsa" och den biologiska mångfalden i ålgräsängen. Eutrofiering och överfiske orsakar liknande effekter i ålgräsängar. Färre stora rovfiskar leder till en kaskad av effekter, där antalet småfiskar ökar vilket orsakar ökad predation på de viktiga tångloppor som i sin tur betar ner de fintrådiga algerna. Det här leder slutligen till att ålgräsängarna riskerar att växa igen. Ett sätt att tillfälligt motverka effekterna av försurning och uppvärmning på ålgräsängar är därför att minska övergödning och fisketryck. Att göra detta skulle bromsa tillväxten av fintrådiga alger och samtidigt frigöra tånglopporna från stark predation och därmed återställa betningstrycket på de fintrådiga algerna.

Förutsägelser kräver mer kunskap

Högre halter av koldioxid i atmosfären kommer utan tvivel att påverka svenska havsområden, en påverkan som förväntas bli än större när den sker i kombination med andra miljöproblem, som exempelvis övergödning och hårt fisketryck. Forskningen har redan visat att vissa arter kommer att drabbas negativt medan andra kommer att gynnas. Men än så länge är det omöjligt att i sin helhet förutsäga koldioxidökningens påverkan på de svenska marina ekosystemen. För att göra det krävs mer forskning på hur miljövariabler samverkar på ekosystemnivå. Prognoserna som ger oss en vink om hur framtiden kan se ut måste också bli bättre. 🐟

LÄS MER:

Alsterberg C, Eklöf JS, Gamfeldt L, Havenhand JN, Sundbäck K (2013) Consumers mediate the effects of experimental ocean acidification and warming on primary producers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 8603-8608.

HELCOM (2013). *Climate change in the Baltic Sea Area HELCOM thematic assessment in 2013*. Baltic Sea Environment Proceedings No. 137, HELCOM, Helsinki, Finland.

Omstedt, A., Edman, M., Claremar, B., Frodin, P., Gustafsson, E., Humborg, C., Mörtz, M., Rutgersson, A., Schurgers, G., Smith, B., Wållstedt, T., and Yurova, A. (2012). *Future changes of the Baltic Sea acid-base (pH) and oxygen balances*. Tellus B, 64, 19586, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.19586>.