

Försurning av haven

– nytt problem i klimatförändringens spår

JON HAVENHAND, MIKE THORNDYKE & SAM DUPONT, GÖTEBORGS UNIVERSITET

Försurning av haven har länge uppfattats som en omöjlighet på grund av havsvattnets förmåga att neutralisera försurande ämnen. Men i klimatförändringarnas spår har man nu upptäckt att tillförseln av försurande ämnen går snabbare än vad haven kan hantera. Haven absorberar den atmosfäriska koldioxiden, och den kolsyra som då bildas sänker vattnets pH. Vilka konsekvenser försurningen får för ekosystemet vet vi inte med säkerhet. Klart är dock att haven försuras snabbare än de gjort på 55 miljoner år.

■ Det är svårt att föreställa sig hur stora haven är. De innehåller mer än en triljon (10^{18}) ton vatten. För att få lite perspektiv på detta kan man tänka sig att om varje människa på vår planet tar en lång, skön dusch tre gånger var, så skulle det förbruka en miljard ton vatten. Redan detta är en stor mängd, men för att komma upp i en triljon ton vatten skulle alla dessa människor behöva upprepa duschen varje dag i nio miljoner år. Så mycket vatten är nästan omöjligt att föreställa sig, och det är ännu svårare att förstå att människan ska kunna förändra de kemiska egenskaperna i denna enorma vattenmassa. Men det är precis vad vi gjort.

Koldioxid blir försurande kolsyra

Sedan vi storskaligt började förbränna fossila bränslen för hundrafemtio år sedan har halterna av koldioxid i atmosfären ökat med femtio procent. När halterna av atmosfärisk koldioxid ökar, löses den i havsvattnet och det bildas kolsyra. Kolsyran sänker vattnets pH och ökar lösligheten för kalciumkarbonat. Sedan början på den industriella revolutionen har den atmosfäriska

koldioxiden orsakat en minskning av pH i haven på 0,1 enheter. Detta kanske inte låter särskilt alarmerande, men eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär denna minskning i själva verket en ökad surhet på cirka 25 procent.

Dessutom ökar försurningstakten. Beräkningar visar att surhetsgraden kommer att vara cirka två gånger högre inom några decennier. Detta kommer troligen att få förödande konsekvenser för världshavens djur och växter, med förlust av korallrev, genomgripande förändringar av ekosystemens funktion och utdöende av

många arter. Men eftersom havens neutraliserande förmåga tidigare bedömts vara i stort sett obegränsad, har effekterna av försurning i haven studerats mycket sparsamt, och vår förmåga att förutsäga den framtida utvecklingen är därför begränsad.

Lägst värden på 55 miljoner år

Mätningar som gjorts under de senaste tjugo åren i ett område i Atlanten utanför Bermuda visar att pH har minskat stadigt med ungefär 0,012 enheter per årtionde. I svenska kustvatten är trenden ännu tydli-



Foto: Ablestock



Den stora depån av kalciumkarbonat som finns lagrat på havens botten kunde fungera som buffert och neutralisera tillförseln av försurande ämnen.

Foto: Bent Christensen/azote

VATTNETS CIRKULATION I VÄRLDSHAVEN

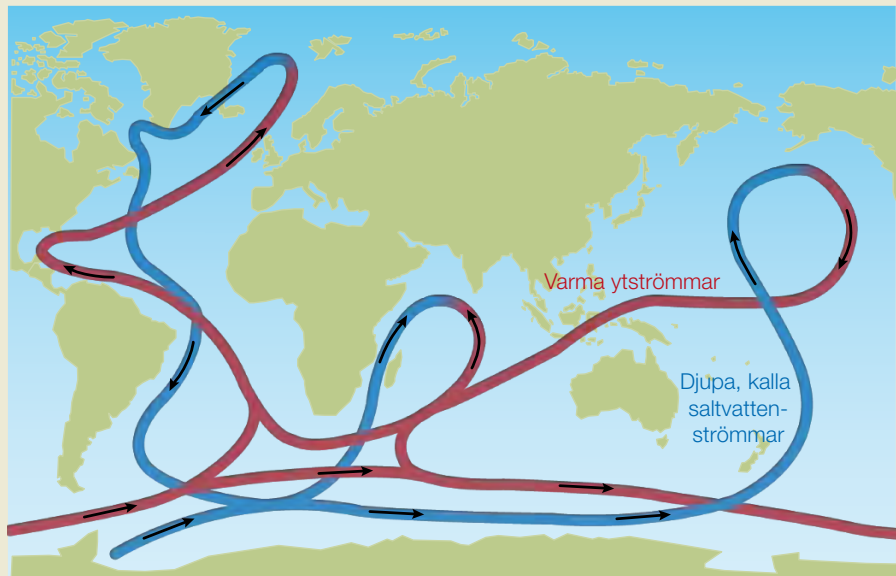
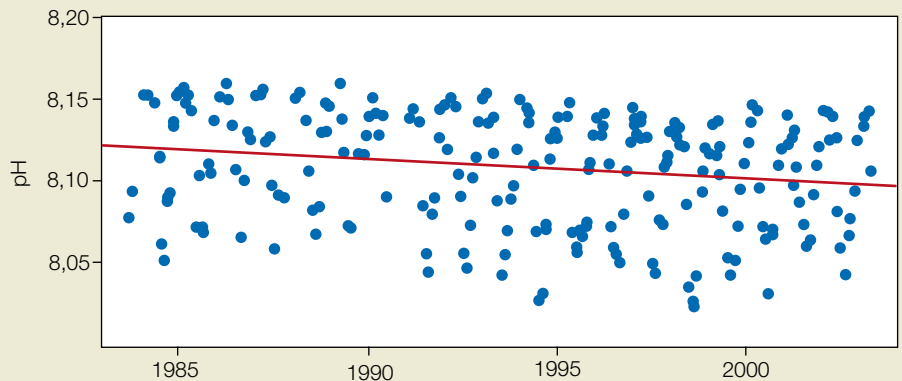


Illustration från UNEP/GRID Arendal.

➤ Cirkulationen i haven är en mycket långsam process, som sker på en tidsskala på ungefär tusen år. I förhistorisk tid har nivåerna av koldioxid varit högre än idag, men problem uppstår då koldioxidhalten stiger så snabbt att det surare ytvattnet inte hinner blandas med djupvattnet.

SJUNKANDE PH I ATLANTEN



Data från Bermuda Atlantic Time Series, Bermuda Institute of Ocean Sciences.

➤ I klimatförändringens spår tillförs försurande ämnen snabbare än vad haven kan hantera. Idag försuras haven snabbare än de gjort de senaste 55 miljonerna åren.

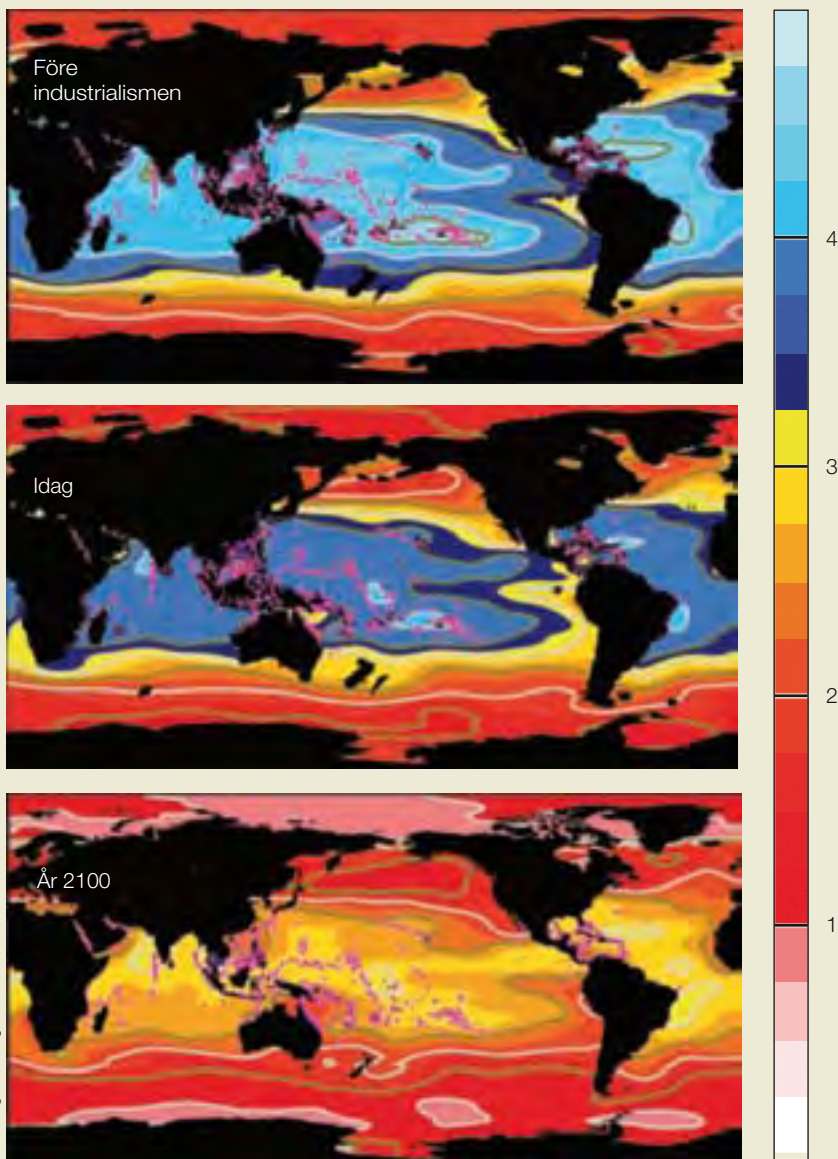
gare. Data från SMHI visar en minskningstakt på minst det dubbla sedan 1993. År 2005 kom en rapport från The Royal Society of London, världens äldsta, oberoende naturvetenskapliga akademi, som förutspådde att den globala försurningen med all sannolikhet kommer att fortgå, och att pH i världshavens ytvatten kommer att ha minskat med upp till ytterligare 0,5 enheter till och med år 2100. Så låga pH-värden har inte förekommit i världens hav på åtminstone 55 miljoner år.

Koldioxiden kvar i ytlagret

Orsaken till den extremt snabba minskningen av pH i världshaven är att halten av koldioxid i atmosfären för närvarande ökar mycket snabbt. I förhistorisk tid har nivåerna av atmosfärisk koldioxid faktiskt varit mycket högre än idag, men eftersom förändringarna då skedde så långsamt, hann ytvattnet blandas med de stora volymerna av djupvattnet. Detta gjorde att den stora depån av kalciumkarbonat som finns lagrat på havens botten kunde fungera

som buffert och neutralisera tillförseln av försurande ämnen. Idag och i den omedelbara framtiden uppstår problem eftersom nivåerna av atmosfärisk koldioxid stiger så mycket snabbare än cirkulationshastigheten i haven. Havens omblandade ytlager, som löser koldioxiden från atmosfären, är relativt isolerat från det kalla djupvattnet. Därför stannar den lösta koldioxiden i ytlagret tills omblandning med djupvattnet sker genom den så kallade termohalina cirkulationen. Det är en mycket långsam

MÄTTNADSGRAD AV ARAGONIT



Från Hoegh-Guldberg et al. 2007. Science, 318:1737-1742.

➤ I takt med att haven försuras sjunker mättnadsgraden av aragonit i havsvattnet. Aragonit är en kristallin form av kalk som används av många havslevande djur för sin skelettuppbyggnad. Vid en mättnadsgrad på under 3 upphör koraller att växa, och vid värden lägre än 1 löses skelett, exempelvis musselskal, upp.

Foto: Peter Parks/Imagequestmarine.com



process, som sker på en tidsskala av ungefär tusen år.

Löser upp kalkskelett

Med undantag av tropiska korallekosystem finns det idag mycket lite kunskap om vilka konsekvenser en framtida försurning kommer att få för sammansättning och funktion av havens ekosystem. Den befintliga kunskapen pekar dock mot långsiktiga och omfattande konsekvenser för livet i havet. Då koldioxid löses i vatten bildas

bikarbonat, som är en viktig del i växternas fotosyntes. En ökad mängd bikarbonat kan leda till en ökad produktion av växtplankton. Planktongrupper som bildar kalkinnehållande skelett kommer däremot att missgynnas, eftersom kalket blir mindre tillgängligt. Försurningen kommer därför troligen att leda till omfattande förändringar i artsammansättningen av växtplankton, som utgör en mycket viktig del i havets näringsväv.

Korallrev bryts ner

Den försvarade kalkinlagringen är ett generellt problem som kan få långtgående konsekvenser i den marina miljön. Många marina djurarter har ett yttre eller inre skelett som är uppbyggt av kalciumkarbonat – kalk. Dessa kommer generellt att drabbas av en försämrad reproduktion, tillväxt och överlevnad. Dessutom förekommer kalciumkarbonatet i två former, aragonit och kalcit. Eftersom aragonit är mer lösligt än kalcit, leder en sänkning

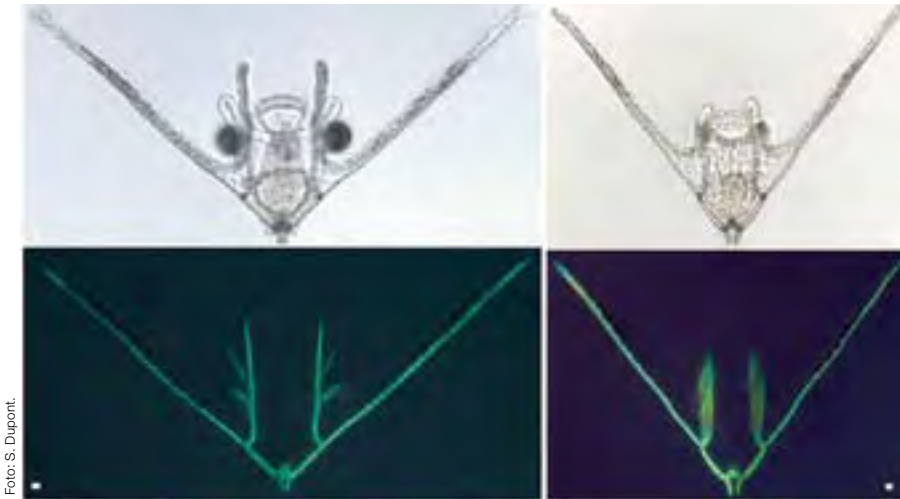


Foto: S. Dupont.



Foto: Lars-Ove Loo

➤ Larver av ormstjärna (*Ophiothrix fragilis*) som hållits i pH 8,1 (vänster) respektive pH 7,7 (höger). De nedre bilderna är tagna med polariserande mikroskop, och visar kalkitskelettet. Larver som hållits i lägre pH har kortare armlängd, mindre kroppstorlek och är sämre utvecklade.

av pH till att arter som bygger skelett med aragonit, exempelvis koraller, musslor och snäckor drabbas speciellt hårt. Nya studier visar att vissa tropiska korallarter upphör att växa vid en mättnadsgrad av aragonit lägre än 3. Detta är väldigt nära de värden som uppmäts idag i södra Stilla Havet. Vissa forskare förutspår därför att existerande tropiska korallrev kommer att brytas ned och kanske även utplånas inom så kort tid som 40 till 50 år. Effekterna av den framtida försurningen på djur som bygger sina skelett av kalcit, exempelvis tagghudingar och kräftdjur, förväntas vara mindre omfattande än på de som använder aragonit, men dagens kunskaper tillåter inte några säkra prognoser.

Forskning på unga behov

Det finns mycket få studier kring effekter av försurning på arter som förekommer i svenska hav. I en norsk studie hölls vuxna blåmusslor, *Mytilus edulis*, i försurat havsvatten. De fick minskad tillväxt och överlevnad, men bara då koncentrationerna av koldioxid låg på de nivåer som förväntas först år 2400.

Det är dock i djurens tidiga utvecklingsstadier som de största effekterna förväntas uppkomma. I den genomgång av kunskapsläget kring försurning i havet som gjordes år 2005 påpekade The Royal Society of London att det finns ett stort behov av forskning med inriktning mot vad små förändringar av koldioxidhalter har för effekt på marina djurs reproduktion. Denna typ av experiment har påbör-

jats, och forskargrupper från Sverige tillhör de världsledande inom området.

Små förändringar kan ha stor effekt

Forskningen visar att redan så små förändringar i pH som 0,2 enheter kan orsaka snabb och hundra procentig mortalitet hos larver av ormstjärnan *Ophiothrix fragilis*. Märkligt nog har samma förändring i pH inte samma starka effekt på larver av den nära släktingen *Amphiura filiformis*, även om det även här finns en tydlig negativ effekt. Detta tyder på att effekterna av försurning kan variera kraftigt även mellan närbesläktade arter. Svensk forskning har även visat att små förändringar av pH kan leda till ökad generationstid för hoppkräftan *Acartia tonsa*, och förändrad överlevnad och tillväxthastighet hos sjöpongsarterna *Ciona intestinalis* och *Asciidiella aspersa*.

Nedsatt befruktning

För närvarande undersöks även effekterna av försurning på det allra tidigaste utvecklingsstadiet, nämligen befruktningen. Dessa studier visar bland annat att befruktningens framgång för sjöborrar kan reduceras med upp emot 25 procent. Detta kanske inte framstår som en speciellt stor förändring, men om man betänker att befruktningens framgång är den enskilt viktigaste faktorn för många populationers livskraft förstår man att en sådan förändring är dramatisk. Om dessa resultat skulle visa sig vara representativa kommer försurningens effekter på befruktningen

➤ Många arter med kalkskelett, såsom koraller, har nyckelroller i ekosystemet. Försurning av havet drabbar dessa arter hårt.

att få långtgående konsekvenser för de marina ekosystemens struktur, och för deras förmåga att tillhandahålla varor och tjänster som är nyttiga för mänskligheten.

Vad händer i framtiden?

Kan vi då förutsäga hur försurningen kommer att påverka de svenska marina ekosystemen? Vi vet att många arter med kalkskelett, såsom koraller, sjöstjärnor, kräftdjur och musslor, är mycket vanliga och har nyckelroller i ekosystemen både i Östersjön och Västerhavet. Eftersom de utgör livsmiljö eller föda för många andra arter, kommer effekter på dessa nyckelarter att påverka många andra arter. Växtplanktonproduktionen förväntas stimuleras av en ökad tillgänglighet av bikarbonatjoner, och växtplanktonsamhällets sammansättning förväntas förändras radikalt.

Ännu är vår förståelse otillräcklig för hur effekter på olika arter kommer att samverka. Kombinerar man hittills uppnådda forskningsresultat med de observerade trenderna av sjunkande pH i svenska kustvatten är det svårt att inte dra slutsatsen att det kommer att få allvarliga konsekvenser. Det är till och med troligt att försurningen redan har fått negativa effekter, och att dessa effekter kommer att bestå, eller till och med accelerera under kommande decennier. Men exakt hur försurningens effekter kommer att se ut och hur snabbt de kommer att få genomslag är idag omöjligt att förutsäga med hög tillförlitlighet. 🐟