



UPPSALA  
UNIVERSITET

# Havsförurningens negativa påverkan på vingsnäckor (*Pteropoda thecosomata*)

Kim Frieberg

---

Independent Project in Biology  
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, höstterminen 2015  
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

# Havsförsurningens negativa påverkan på vingsnäckor (*Pteropoda thecosomata*)

Kim Frieberg

Självständigt arbete i biologi 2015

## Sammandrag

Ökande halter av CO<sub>2</sub> i atmosfären surgör ytvattnet i världshaven och medför att mättnadsgraden av kalciumkarbonat minskar, framförallt i kalla vatten närmast polerna. Kalciumskelettbildande organismer i kalla vatten kommer snart att leva i en korrosiv miljö på grund av en allt lägre mättnadshalt av CaCO<sub>3</sub> (aragonit). Särskilt utsatta är små planktoniska vingsnäckor (*Pteropoda Thecosomata*) som bildar mycket tunna skal av aragonit. Vingsnäckor är en viktig del i näringsväven och det globala flödet av kol och karbonater. Studier påvisar sönderfall av vingsnäckors skal redan när vatten närmar sig omättade aragonitförhållanden. Trots att vingsnäckor inte dör direkt av frätskador på skalens yta påverkas troligen deras generella fitness negativt och leder till sämre överlevnad. Följden av fortsatt försurning i haven är osäker men troligen skulle ett eventuellt bortfall av vingsnäckor ur näringsväven få effekter för hela ekosystemet.

## Inledning

Att förbränning av fossilt bränsle håller på att förändra klimatet på vår planet är idag ett accepterat faktum. Ökade halter av växthusgaser som koldioxid i atmosfären ökar jordens medeltemperatur och leder till snabba förändringar i miljön. Under många tusen år innan den industriella revolutionen varierade koldioxidhalterna i atmosfären mellan 180 och 300 ppmv (parts per million volume) (Siegenthaler *et al.* 2005). I år har månadsvisa medelvärden av koldioxidhalten passerat 400 ppmv (Tans & Keeling 2015) och stiger med 0,5 % år<sup>-1</sup> (Forster *et al.* 2007). Kanske är det inte lika väl känt hos allmänheten att en stor del av koldioxiden i atmosfären hamnar i haven. Det uppskattas att haven tagit upp en tredjedel av CO<sub>2</sub>-utsläppen sedan industrialiseringen (Sabine *et al.* 2004). Utan denna koldioxidsänka skulle de atmosfäriska halterna av koldioxid i atmosfären idag vara ca 55 ppmv högre än vad som observeras (Sabine *et al.* 2004). Men vad innebär denna ökade tillförsel av CO<sub>2</sub> för den marina miljön?

Framför allt innebär de ökade halterna av löst CO<sub>2</sub> i haven (känt som hyperkapni) att vattenkemin förändras och miljön blir allt surare. Hyperkapni påverkar marina organismer på flera sätt; dels genom metabola störningar av syra-basbalans och dels via minskade mättnadshalter av kalciumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>). (Fabry *et al.* 2008). Denna text ämnar främst hantera det sistnämnda.

Många studier pekar på att den förändrade vattenkemi som ökade halter av atmosfäriskt CO<sub>2</sub> orsakat har negativa effekter för flertalet kalciumskelettbildande organismer (Fabry *et al.* 2008, Green *et al.* 2009, Bednarsek *et al.* 2012). En studie uppvisar direkt negativa effekter av havsförsurning hos 15 av 22 undersökta kalciumskelettbildande arter (bland andra mollusker och ekinodermater, tagghudingar) (Doney *et al.* 2009). *Pteropoda Thecosomata*, eller vingsnäckor, är små planktoniska skalbärande mollusker (djurplankton) som bildar ett mycket tunt skal av kalciumkarbonat (Lalli & Gilmer 1989). De bildar sina skal av en mycket lösform av kalciumkarbonat, aragonit, som på grund av sänkta pH-förhållanden i haven blir allt mer svårtillgänglig (Caldeira & Wickett 2003). Detta medför att vingsnäckor som grupp kommer att bli bland de första organismerna som upplever negativ effekt av havsförsurning (Fabry *et al.* 2008).

För att undersöka hur havsförurning kan komma att påverka näringsväven i det marina ekosystemet ämnar denna text besvara följande frågor. Vad har vingsnäckor för roll i näringsväven? Hur och varför blir världshaven surare? Hur ser förurningsutvecklingen ut? Hur påverkas vingsnäckor av förurning? och slutligen vilka följder kan ett eventuellt bortfall av denna organismgrupp få för ekosystemet?

## Vingsnäckor och deras roll i det marina ekosystemet

Pteropoder eller vingsnäckor är en grupp planktoniska skal försedda mollusker (av klass gastropoda, ordning thecosomata) som återfinns i alla världens hav. De refereras ofta till som havsfjärilar på grund av att deras molluskfot (gastro-pod) utvecklats till vingar (ptero-) att simma med. Vingsnäckors livscykel varierar från ett till två år (Hunt *et al.* 2008). De lever hela sitt liv i den fria vattenmassan och samlar föda genom att utsöndra ett slem-nät. Slem-nätet fångar upp växt- och djurplankton och samlas in och silas genom munnen för att utvinna föda. (Lalli & Gilmer 1989)



Figur 1. Vingsnäckan *Limacina helicina*

Arter kan skiljas åt via totalstorlek och skalform; konliknande, nålliknande, spiralformade eller runda (*Limacina helicina*, Figur 1) med olika form och antal varv på utbuktningen av mittpartiet av spiralen i skalet (Bednarsek *et al.* 2012b). Ordningarna Pseudothecosomata och Euthecosomata skiljs åt då det sistnämnda taxat har skal genom hela livet medan det förstnämnda taxat bär skal i varierande omfattning genom livscykeln (Lalli & Gilmer 1989).

Mångfalden är likt många andra djurgrupper som störst i tropiska vatten medan de största populationsdensiteterna återfinns i kalla vatten nära polerna. De har en helt pelagisk livscykel och lever i ytvattnet ned till ca 200 meters djup (några arter lever djupare än så). De är som regel mycket små och skaldimetern varierar mellan arter från 1 till 15 mm och skaltjockleken mellan 6 och 100 µm är ofta så tunn att skalet är genomskinligt. (Lalli & Gilmer 1989)

Populationsdensiteten av olika arter vingsnäckor i haven varierar över säsong och i vatten där de förekommer i stora mängder är de en betydande del i den planktoniska biomassan. Variation i populationsdensitet över säsong beror på att olika arter lever av betning växtplankton, andra arter betar på mindre vingsnäckor eller andra djurplankton och är således beroende av näringsvariationer i ekosystemet för tillväxt. (Hunt *et al.* 2008) De är en viktig födokälla för andra djurplankton, fisk, havsfåglar (Hunt *et al.* 2008) och lax (Armstrong *et al.* 2005).

Vingsnäckor har en geokemisk betydelse för de marina ekosystemen då de binder in  $\text{CaCO}_3$  i sina skal och introducerar således kalcium i näringsväven. När de dör sjunker de till botten och bidrar till organiskt material i sedimenten. Med tid då snäckorna bryts ned blir de en viktig komponent i flödet av kol då djupvattenströmmar når kontinentalhyllor. Det då näringsrika vattnet kommer upp till ytan och blir tillgängligt för nytt liv. Det estimeras att vingsnäckorna bidrar 20-42 % av kalciumkarbonatproduktionen i världshaven (Bednarsek *et al.* 2012b). Organismer som bildar skal av kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) är beroende av mättnadsgraden ( $\Omega$ ) av det mineral som utgör byggstenar i deras skal. När koldioxid löser sig i ytvattnet ökar lösligheten av  $\text{CaCO}_3$  och förutsättningarna för att bilda skal försämras drastiskt.

## Kemi i havet

### Kalciumkarbonat

Det finns två former av  $\text{CaCO}_3$ , kalcit (eller kalkspat) och aragonit, som marina organismer använder i sin skalbildning. De två mineralernas kristallformer skiljer sig från varandra och aragonit är den form av kalciumkarbonat som flest kalciumskelettbildande organismer som till exempel mollusker och koralldjur använder sig av. Aragonit är inte lika stabil som kalcit och har således högre löslighet/lägre mättnadsgrad i haven och är då jämförelsevis mer obeständig än kalcit (Levinton 2014).

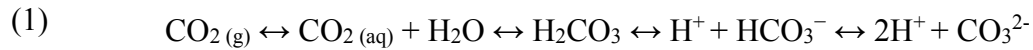
Det enklaste sättet att se om förändring av vattenkemin kommer att påverka kalciumskelettbildande organismer i marina miljöer är att titta på den rådande aragonitmättnaden.  $\Omega < 1$  betyder att lösningen är omättad och  $\Omega > 1$  betyder att lösningen är övermättad (Levinton 2014). För skalbärande organismer innebär omättade förhållanden att mineralen går i lösning och deras skal sönderfaller eller ”fräts” bort.

Just nu råder generellt gynnsamma mättnadsförhållanden i världshavens ytvatten, det vill säga  $\Omega$  är större än 1. Men det finns indikationer på att det ökande halterna av  $\text{CO}_2$  i haven håller på att förändra detta (Levinton, 2014). Med rapporter om omättade ytvatten från 2008 i Arktis efter stora mängder is smälte (Yamamoto-Kwai 2009) och längs med Kaliforniens kust efter att försurat kustnära vatten blandas med uppåtströmmar från djuphaven (Feely *et al.* 2008). Djupet för mättnadsgränsen, den vågräta horisont i vattenpelaren vid vilken  $\Omega$  går under ett, varierar (med en rad faktorer) över världshaven men rör sig allt närmare ytan som följd av koldioxidens förändring av vattenkemin (Fabry *et al.* 2008). I Stilla havet ligger till exempel mättnadsgränsen runt 1000 meter runt  $30^\circ\text{S}$ , minskar till 300 meter vid ekvatorn för att sedan djupna till 550 meter vid  $30^\circ\text{N}$  och stiger till omkring 100 meters djup norr om  $50^\circ\text{N}$ . I norra Stilla havet flyttar sig mättnadsgränsen mot ytan med en meter per år. (Feely *et al.* 2006)

### Koldioxid, försurning och kalciumkarbonat

De ökade halterna koldioxid i atmosfären står i jämvikt med halten löst koldioxid i haven enligt kolsyracykeln (Figur 2, 1) som resulterar i fyra former av löst oorganiskt kol (DIC);  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  och  $\text{CO}_3^{2-}$ . Vid tillsats av  $\text{CO}_2$  fungerar dessa föreningar som ett buffertsystem varvid  $[\text{H}^+]$  och således pH kan hållas stabilt (då  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ). (Doney *et al.* 2009)

I marina ytvatten ligger pH normalt på ca 8,1 och andelarna oorganiskt kol är ca 90 % bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), 9 % karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) och endast 1 % löst koldioxid. Men då halten  $\text{CO}_2$  nu ökar i atmosfären förskjuts jämvikten och andelarna av karbonat- och vätejoner ökar i ytvattnet. Detta förskjuter i sin tur reaktion två i Figur 2, vilket leder till minskade koncentrationer fria karbonatjoner, utfällning av  $\text{CaCO}_3$  samt lägre pH (Doney *et al.* 2009).



$$(3) \quad \Omega = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] / K_{\text{sp}}$$

Figur 2. Reaktionsschema över kolsyracykelns jämvikt med atmosfären (1). Kalciumkarbonats jämvikt med fria kalcium- och karbonatjoner (2) samt mättnadsgraden av kalciumkarbonat ( $\Omega$ ) som är beroende av produkten av fria kalcium- och karbonatjoner över löslighetsprodukten  $K_{\text{sp}}$  (3) (Doney *et al.* 2009).

Bildning- och sönderfallshastigheten av kalciumkarbonat beror av dess mättnadsgrad ( $\Omega$ ) som definieras som produkten av fria kalcium- och karbonatjoner över löslighetsprodukten  $K_{\text{sp}}$  (Figur 2, 3).  $K_{\text{sp}}$  är beroende av alkalinitet, salinitet, temperatur, tryck och mineralens partikulära fas men då  $[\text{Ca}^{2+}]$  är nära relaterat till salinitet beror  $\Omega$  mest av  $[\text{CO}_3^{2-}]$ . (Donley *et al.* 2009). Sammanfattningsvis medför detta att kalciumkarbonat har hög mättnadsgrad/låg löslighet i grunda tropiska vatten nära ekvatorn och låg mättnadsgrad/hög löslighet i kalla vatten nära polerna och på stora djup (Feely *et al.* 2004).

### Högre löslighet av CO<sub>2</sub> närmast polerna

Fördelningen av CO<sub>2</sub>-upptaget är inte jämt fördelad över oceanerna. Vattnets halt av redan löst oorganiskt kol, omrörning, temperatur och rådande vindförhållanden styr jämviktsförhållandet mellan mättnaden i atmosfären och upptaget i vattnet (Sabine *et al.* 2004). Haven i Nordatlanten och kring Sydpolen är de områden som har högst upptag av CO<sub>2</sub> och har de högsta uppmätta koncentrationerna av CO<sub>2</sub> i ytvattnet (Sabine *et al.* 2004). Det är också här forskare menar att försurningseffekter först kommer att bli märkbara (Orr *et al.* 2005) med omättade kalciumkarbonatförhållanden år 2050 vid sydpolen (Bednarsek *et al.* 2012) 2030 för omättade vatten vintertid (Sato-Okoshi *et al.* 2010) och redan 2016 i norr (Steinacher *et al.* 2009). I Arktis förväntas en ökning av  $[\text{H}^+]$  med 185 % vilket skulle innebära en skillnad i pH med -0,45 enheter (Steinacher *et al.* 2009).

### IPCC's "Business-as-usual"-modell

Den internationella panelen för klimatförändringar (IPCC) publicerade (1992) en rapport där man förutspådde framtida koncentrationer av koldioxid i atmosfären ( $p\text{CO}_2$ ) enligt en modell där inga drastiska åtgärder skulle antas för minskning av utsläppen. Denna rapport har gett data för förväntade värden på atmosfäriska koncentrationer av CO<sub>2</sub>, förväntade ökning av löst CO<sub>2</sub> i haven och således förväntade pH-förändringar. Som tidigare nämnt har haven i dagsläget absorberat ungefär en tredjedel av all utsläppt koldioxid sedan industrialiseringen vilket har lett till en minskning i pH med 0,1 enheter (Tabell 1) sedan förindustriella förhållanden (Orr *et al.* 2005). Medel-pH förutspås sjunka med ytterligare 0,4 enheter till slutet av århundradet med fortsatt ökande halter av CO<sub>2</sub> (Tabell 1, 3xCO<sub>2</sub>) (Caldeira & Wickett 2003).

Tabell 1: Visar förändringar i havets vattenkemi i form av DIC, pH och  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  som följd av ökat  $p\text{CO}_2$  i atmosfären över tid. Från förindustriella förhållanden till förväntade framtida förhållanden.

	Förindustriell tid	Nutid	2xCO <sub>2</sub>	3xCO <sub>2</sub>	$\Delta$ förindustriell tid vs 3xCO <sub>2</sub>	
$p\text{CO}_2^{\text{a)}$	280	380	560	840	200 %	Atmosfär
[H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ] <sup>b)</sup>	9	13	18	25	178 %	Hav
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] <sup>b)</sup>	1739	1827	1925	2004	15 %	
[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ] <sup>b)</sup>	222	186	146	115	- 48 %	
pH	8,2	8,1	8,0	7,8	- 0,4	
$\Omega_{\text{Aragonit}}$	3,4	2,9	2,3	1,8	- 47 %	

a) Medelvärde ppmv b) Koncentrationer angett i  $\mu\text{mol kg}^{-1}$

Omarbetad från Fabry *et al.*(2008).

### Kan havsförsurning förhindras?

Försurningsförloppet går tyvärr inte att hejda. Historiskt sett har halten av koldioxid i atmosfären varit högre än vad den är idag. Problemet är att koldioxidhalterna har stigit så snabbt att omrörningen av haven inte hinner neutralisera det sura ytvattnet. Omblandningen av yt- och djupvatten tar ungefär tusen år och därmed ansamlas koldioxid i ytvattnet och sänker pH. Även om den atmosfäriska halten av koldioxid varit högre tidigare under jordens historia har pH-värden jämförelsevis inte varit så låga på 55 miljoner år som de är idag. (Havenhand *et al.* 2008) Oavsett om koldioxidutsläppen minskas kommer försurningen i havet att bli allt kraftigare under den närmaste framtiden. Detta på grund av att det tar minst två år för gasen i atmosfären att gå i jämvikt med den lösta formen i havet. (Fabry *et al.* 2008) Över ett längre tidsperspektiv med succesivt lägre halter av koldioxid i atmosfären kan försurningseffekten självfallet bli lägre.

## Skalbildning och frätskador

### Skalbildning

Vingsnäckor bildar sina skal av CaCO<sub>3</sub>, aragonit, som vanligtvis finns mättat i ytvattnet. (Det vill säga  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  är större än 1.) Då  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  faller under 1 sker en upplösning av de flesta skalbärande organismers skal. Vattenmiljön verkar då korrosivt på skalerna och vingsnäckor kan vid för lång mättnadsgrad inte längre fälla ut aragonit och nybilda skal. (Bednarsek *et al.* 2012). Det finns olika rön om den lägsta mättnadsgraden vid vilken vingsnäckor kan nybilda skal,  $\Omega = 0,64$  enligt Comeau *et al.* 2010b,  $\Omega \approx 1$  (Bednarsek *et al.* 2012),  $\Omega > 0,8$  (Bednarsek *et al.* 2014b). Skalbildningsprocessen i sura miljöer handlar om en balans mellan hastigheten av sönderfall och netto-nybildning av skal. Bednarsek *et al.* (2014b) visar att även om nybildning av skal sker enligt Comeau *et al.* (2010b) är sönderfallshastigheten mycket större än nybildningen vid  $\Omega = 0,64$  och skulle över en period av 100 dagar beräknas innebära 50 % minskning av total skalmassa.

### Hur påverkas vingsnäckor av frätskador på skalerna

Vingsnäckor har temporalt och lokalt levt under korrosiva vattenförhållanden genom evolutionens gång men tycks inte ha utvecklat någon motståndskraft mot detta (Bednarsek *et al.* 2014). Liten eller obefintlig skalbildning under låga pH-förhållanden behöver inte betyda att snäckan dör direkt men ett liv utan skal gör snäckan sårbar (Comeau *et al.* 2010a).

Tyngden från skalet påverkar snäckornas kapacitet att röra sig i vattenpelaren på ett energisnålt sätt (Comeau *et al.* 2010b). Ett tunt eller skadad skal gör att snäckornas dagliga och säsongsbetingade migration i vattenpelaren och även betning blir mer energimässigt kostsam (Comeau *et al.* 2010b). Snäckorna kan inte heller skydda sig mot predation genom att dra sig in i skalet och sjunka om skalet är obefintligt eller tunnare än normalt (Lalli & Gilmer 1989). Fortplantning kan också påverkas negativt då sperma lagras en tid i skalet innan ägget befruktas (Lalli & Gilmer 1989).

Förutom de ovan nämnda fysiska egenskaperna som skalen bidrar till i vingsnäckans livscykel, kan snäckorna påverkas genom förändrad energibudget, metabolism, vingslagsfrekvens samt drabbas av bakterieinfektioner och osmos-regulatoriska problem då skalet blir för tunt eller skadat (Green *et al.* 2009). Man vet att snäckorna inte kan överleva hur länge som helst utan skal men det är svårt att fastställa den exakta dödsorsaken (Comeau *et al.* 2010a).

### **Rapporter om frätskador från olika delar av världen**

Flera forskargrupper kan påvisa resultat där man observerat skador på befintliga skal och även minskad skalbildning hos vingsnäckor från Antarktis, Arktis och utanför Nordamerikas västkust (Bednarsek *et al.* 2012, Comeau *et al.* 2009, Bednarsek *et al.* 2014a) då de antingen utsätts för framtida förutspådda förhållanden i labbmiljö (enligt IPCC business-as-usual-modell) eller samlats in för direkt observation.

#### *Arktis*

De arktiska vattnen är det område där forskare menar att havsförsurning som följd av mänsklig påverkan kommer att bli tydlig först (Sabine *et al.* 2005). Vingsnäckor (*Limacina helicina*) i området samlades in och utsattes under fem dagar för  $\Omega = 1,9$  (pH 8,09) och  $\Omega = 1,0$  (pH 7,78) vilket resulterade i 100 % överlevnad, men enbart 30 % aktivt simmande vingsnäckor. Påbyggnaden av vingsnäckornas skal var 28 % mindre i gruppen utsatt för lågt pH än i gruppen utsatt för det högre. Om  $p\text{CO}_2$  når  $409\mu\text{atm}$  under minst en månad av året kommer hela vattenkolumnen vara omättad för aragonit ( $\Omega_{\text{Aragonit}} \leq 1$ ) i så mycket som 10 % av det arktiska havet (Comeau *et al.* 2009).

#### *Nordamerikas västkust*

Kusten utanför Oregon i norra Kalifornien har naturliga variationer i pH och  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  både horisontalt, vertikalt och temporalt som beror av säsongsvariationer i uppåtströmmar från djuphavet upp på kontinentalplattan (Hauri *et al.* 2013). Uppåtströmmarna för med sig näring men är också omättad på aragonit. Det estimeras att förindustriella förhållanden gav en omättad vattenpelare 10 % av tiden under sommaren då uppåtströmmarna är som mest frekventa (Harris *et al.* 2013). I och med dagens ökade  $\text{CO}_2$  utsläpp i kombination med uppåtströmmarna estimeras vattenpelaren vara omättad ca 30 % av tiden under samma säsong (Harris *et al.* 2013). Under sommarsäsongen, juni till oktober, varierar  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  mellan 0,8 - 3,8. Det ökande halterna  $\text{CO}_2$  och den förändrade vattenkemin beräknas förklara 10 - 20% av variationen i mättnaden av aragonit (Harris *et al.* 2013).

Här lever vingsnäckan *Limacina helicina* (*L. helicina*) och kan regionalt komma upp i populationsdensitet på 14 000 individer  $\text{m}^{-2}$ . Vid en samanställning av provtagningar gjorda under augusti 2011 från sjuutton provtagningsstationer fann man frätskador hos *L. helicina* på 14 av 17 provtagningsstationer alltså 87 %. Det estimeras att 20 % av frätskadorna skulle kunna vara normalt för sommarsäsongen under förindustriella förhållanden. Det uppskattas även att volymen omättat vatten ned till 100 meters djup i regionen har sexdubblats sedan

förindustriella förhållanden. I framtiden räknar man med att 72 % av vatten ned till 100 meters djup kommer att vara omättat baserat på IPCC modellens koldioxidutsläpp för 2050. Vilket skulle innebära att 70 % av vingsnäckorna i området skulle uppleva svåra frätskador på sina skal. (Bednarsek *et al.* 2014a)

### *Antarktis*

En studie (Bednarsek *et al.* 2012) samlade in levande vingsnäckor från Scotiahavet, norr om västra Antarktis, från sex insamlingsstationer. Där fann man inga eller måttliga frätskador på skalen från fem av insamlingsstationerna men från den sjätte, Su 9, hade samtliga infångade vingsnäckor måttlig till mycket svåra frätskador på skalen. Vattnen runt Su 9 hade  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  – värden runt 1 ända ned till 200 m djup trots att det sker en stor omrörning av djup och ytvatten i området. Bednarsek *et al.* menar att de låga  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  – värdena i området primärt kan förklaras av ett stort upptag av  $\text{CO}_2$  i ytvattnet som sedan blandas med uppåtströmmar och skapar låga  $\Omega_{\text{Aragonit}}$  värden långt ned i vattenpelaren.

Resultatet av studien påvisar upplösning av vingsnäckornas skal redan vid  $\Omega_{\text{Aragonit}} \approx 1$  och detta kan bekräftas av flera studier gjorda på infångade döda (Feely *et al.* 1988, Roberts *et al.* 2011) och levande (Comeau *et al.* 2009, 2010b, 2013) vingsnäckor. Att det inte kan påvisas någon skillnad i skalupplösning mellan döda och levande djur kan vara ett bevis för att levande vingsnäckor inte har någon möjlighet att skydda sig från effekterna av låg aragonitmättnad (Bednarsek *et al.* 2012).

Vingsnäckor kan i vissa områden kring sydpolen utgöra en fjärdedel av den totala djurplanktonmassan (Hopkins 1987, Boysen-Ennen *et al.* 1991) och vid vissa platser och tidpunkter överträffa krillen som det mest dominanta djurplanktonet (Cabal *et al.* 2002). Den mest dominanta arten av vingsnäckor i området *L. helicina* har en livscykel på ca 1-2 år och genomgår således utveckling (larvstadiet) under vintersäsongen (Hunt *et al.* 2008) och skulle påverkas mycket negativt av omättade vatten vintertid (McNiel & Matear 2008). Om  $\text{CO}_2$  utsläppen fortsätter enligt IPCC's buisness-as-usual prediktioner skulle det innebära att vingsnäckor i vattnen kring Antarktis enbart skulle ha ca 50-150 generationer på sig att anpassa sig till det korrosiva vattnet (Fabry *et al.* 2008). Jämförelsevis ännu kortare för vingsnäckor i Arktis där en omättad vattenpelare med avseende på aragonit förväntas framträda redan 2016 (Steinacher *et al.* 2009).

## **Fler komplikationer på grund av försurning**

Effekten av längre perioder med höga  $\text{CO}_2$  - och låga  $\text{CaCO}_3$  -förhållanden med minskad skal- och skelettbildningshastighet är idag inte helt kartlagd. Men kalkproduktionen har säkerligen multipla funktioner hos de organismer som bildar skal och skelett och en störd sådan skulle resultera i en minskad övergripande fitness för vingsnäckor och andra kalkproducerande organismer. (Fabry *et al.* 2008)

### **Beteendeförändringar**

Mollusker har balansorgan statocyster innehållandes statoliter som består av Ca-Mg-Fosfat (Fabry *et al.* 2008). Dessa organ skapar ett kommunikativt nätverk som genererar ett sinne för orientering genom gravitation, men tros även generera mer beteendebetingad information via nervsystemet som tycks styra deras jaktbeteende (Levi *et al.* 2004).

Med minskad tillgång på kalcium i försurade havsmiljöer finns det en risk att mollusker så som vingsnäckor inte bara blir negativt påverkade av yttre faktorer utan även upplever beteendeförändringar via kalciumbrist i balansorganet (Fabry *et al.* 2008).



### **Störd Syra-bas-balans**

Då partialtrycket för koldioxid ökar i haven ökar också nettoflödet av koldioxid, via diffusion, över biologiska membran på grund av den högre koncentrationsgradienten. Koldioxid diffunderar in och står i jämvikt i både intra- och extracellulära utrymmen och skapar precis som vid kontakt med havsvatten en sänkning utav pH. Passiv diffusion är den enda mekanismen som motverka pH-förändringar hos djur. Olika arter har olika buffertkapacitet för att förhindra förändringar i pH och kommer att uppleva skilda fluktuationer i internt pH (Fabry *et al.* 2008). Responsen hos olika arter kommer att bero på artens kapacitet att styra syra-bas-balansen runtomkring viktiga organ. Motverkan och elimination av den extra koldioxiden sker på samma sätt som metabolt producerad koldioxid; passiv buffring av kroppsvätskor, jon-transport och utbyte, transport via blodet eller reglerad metabol aktivitet i väntan på exkretion av CO<sub>2</sub>. Ökade koldioxidhalter kan leda till förändrad och kostsam energiförbränning och eventuellt reducerad fitness för utsatta organismer. (Fabry *et al.* 2008)

### **Habitat blir obeboeliga**

Områden som är lämpliga habitat för vingsnäckor kommer i framtiden att krympa med mättnadshorisonen för aragonit, först i djupled och sedan över latituder (Sabine *et al.* 2005). Detta innebär att ett eventuellt utdöende eller migration av vingsnäckor kommer att påverka ekosystemet både gällande bortfall av biomassa men även genom utebliven inbindning av kalcium i näringsväven. Till detta förloras även organiskt kol och kalciumkarbonat till sedimenten (Fabry *et al.* 2008). Studier som gjorts på tropiska rev där man manipulerat vattenkemin genom minskad aragonitmättnad har lett till att hela miljön har förändrats från att vara kalciumkarbonatdominerad till en miljö som domineras av organiska alger (Kuffner *et al.* 2008).

### **Synergistisk negativ effekt av försurning och andra klimatförändringar**

Lischka & Riebesell (2012) visar att vingsnäckor utsatta för låg aragonitmättnad i kombination med högre temperaturer ger en större negativ effekt på skalbildning än egenhändigt låg kalciumkarbonatmättnad. Ett exempel på andra organismer än vingsnäckor som är särskilt utsatta för just kombinationen av varmare vatten och minskad CaCO<sub>3</sub> – bildning är koraller som både bleks och får det svårt att bilda skelett som följd av klimatförändringar. Marina ekosystem nära kusten kan komma att behöva motstå flertalet antropogent orsakade störningar såsom varmare temperaturer, minskad CaCO<sub>3</sub>-mättnad och ökad tillförsel av sediment (via flodutlopp) och näringsämnen (övergödning) (Hoegh-Guldberg & Bruno 2010). Ekosystem i öppet hav måste förutom upptaget av CO<sub>2</sub> som surgör ytvattnet och minskar CaCO<sub>3</sub>-mättnad även hantera den ökade stratifieringen av de öppna haven som ett ökat CO<sub>2</sub>-upptag medför. Tillsammans med överfiske och ökad UV-strålning utsätts det öppna havslandskapet för sammanlagda prövningar som kan komma att förändra både populations- och näringsvävdynamiken i ekosystemet (Hoegh-Guldberg & Bruno 2010).

### **Diskussion**

Det verkar saknas kunskap om hur vingsnäckor och det marina ekosystemet kommer att påverkas långsiktigt av försurningen i världshaven. Kanske beror det på att forskning på vingsnäckor hamnar i skuggan av andra mer framträdande mesozooplankton, som till exempel krill, eller koralldjur i försurningssammanhang. Självklart finns insikten att utvecklingen inte är lovande och att den går alldeles för snabbt för att varken vingsnäckor eller andra kalciumskelettbildande organismer ska kunna ha tid att evolvera fram försvarsmekanismer eller alternativa strategier (Fabry *et al.* 2008). Den generella bilden av

följderna av havsförurning är att betydligt mer forskning krävs både gällande större processer och dynamik i det marina ekosystemet men också på respons hos specifika arter.

Hastigheten för nybildning av skal hos vingsnäckor verkar vara den dominerade faktorn för hur de kan motstå sönderfall av skalen i miljöer med låg CaCO<sub>3</sub>-mättnad (Bednarsek *et al.* 2014b). Detta är troligtvis inte något som kan regleras eller pressas att förändras dessa kemiska förändringar i havet sker väldigt snabbt ur ett evolutionärt perspektiv. Kan det vara möjligt att vingsnäckor kan fortleva utan skal? Skulle den förändring som sker nu kunna utgöra en flaskhals för en ny evolutionär riktning för vingsnäckor? Kommer de arter av vingsnäckor som är mest toleranta för den förändrade miljön att överleva och de andra kommer dö ut? Studier som påvisar överlevnad trots korrosiva förhållanden (Comeau *et al.* 2010a) indikerar ändå någonting om den möjligheten, i alla fall på kort sikt.

Forskning som bedrivits har varit just kortare studier med simulerat kraftiga förändringar i pH eller direkta observationer från vatten med låg mättnadsgrad aragonit, inte gradvis förändring över längre tid. Detta gör det svårt att sja om långtidseffekter. Studier har till exempel visat att juvenila vingsnäckor kan överleva utan skal (Comeau *et al.* 2010a) efter 13 dagars behandling, men det finns inget som motsäger att de skulle kunna dö efter 15 dagar. Även om det finns bevis för att vingsnäckor kan överleva utan skal från studier som ovan nämnda måste ju den generella tankegången vara att det finns en evolutionär fördel och anledning till varför dessa mollusker anlade skal från första början. Något som visar sig i studier som påvisar minskad generell fitness hos vingsnäckor utsatta för höga CO<sub>2</sub>-förhållanden (Comeau *et al.* 2009, 2010a, 2010b).

Minskad fitness och eller reproduktionssvårigheter som följd av förurning har inte enbart påvisats hos vingsnäckor (Lalli & Gilmer 1989). Störd reproduktion eller larvutveckling har även påvisats hos andra CaCO<sub>3</sub>-skelettbildande, fylogenetiskt spridda, organismer som ormstjärnor (*Ophiothrix fragilis*) (Dupont *et al.* 2008), musslor (*Mercenaria mercenaria*) och även icke CaCO<sub>3</sub>-berodande hoppkräftor (*Acartia steueri*) (Fabry *et al.* 2008). Att inte bara fullt utvecklade organismer störs av förurningen är ett oroväckande tecken inför framtida rekrytering av marina djurpopulationer. Att det sedan även påvisar en minskning i lyckad reproduktion över så spridda djurgrupper är ett tecken på att förurningen kan få följder som sträcker sig längre än till kalciumskelettbildande organismer.

Det har fastställts att vingsnäckors skal (de arter man har inkluderat i studier) börjar upplösas redan i gränslandet av mättnadsgraden av aragonit,  $\Omega \approx 1$ , (Bednarsek *et al.* 2012, 2014a Comeau *et al.* 2009, 2010b, 2013) och att det, möjligen inte på individnivå, men på art- eller klassnivå av kalciumkarbonatbildande organismer rimligen kommer att finnas skillnader i responsen av minskade pH-värden och karbonatkoncentrationer. Detta skulle kunna leda till omformning av strukturer i näringsvävar på grund av arters ökade eller minskade fitness. Det är oerhört svårt att förutspå effekter över trofnivåer i det marina ekosystemet. I och med vingsnäckors roll i basen av näringsväven (Hunt *et al.* 2008) skulle ett bortfall av denna djurgrupp potentiellt kunna skapa en storskalig nedifrån-och-upp-effekt (bottom-up *eng*) och hota hela ekosystemet. Larkin (1996) menar att det är omöjligt att reglera eller åtgärda nedifrån-och-upp-effekter i det marina ekosystemet när det väl har uppkommit. Larkin (1996) menar också att modeller inom ekologin för populationsdynamik och trofiska kaskader är otillräckliga för att kunna förutspå och hantera förändringar i den biologiska dynamiken i haven. Doney *et al.* 2009 föreslår (tio år senare) att både övervakning och modellering måste förbättras och utvecklas för att bättre förstå långtidseffekten av havsförurning.

Ytterligare bevis på att förståelsen av det marina ekosystemet är begränsad är att andelen av den forskning som sker på effekter av klimatförändringar i haven bara ligger på 5 % av den totala forskningen som hanterar klimatfrågor. Detta kan självfallet bero på att haven täcker en stor del av vår planets yta och övervakning och provtagning är komplicerat jämfört med landliggande ekosystem. (Hoegh-Guldberg & Bruno 2010). På grund av att kunskapen om dynamiken i den marina miljön är begränsad bör mer resurser läggas på att fylla i kunskapsluckor men framför allt hindra ytterligare försurning när vi vet så lite om de långsiktiga effekterna.

Att försurningseffekterna blir störst närmast polerna (Sabine *et al.* 2005) är tragiskt då dessa områden drabbas hårdast av klimatförändringar via temperaturökningar och issmältning. Även om dessa havsområden inte hyser lika stor mångfald som tropiska vatten härbärgerar de ändå oerhörda mängder unikt liv som är av intresse att bevara både för kommersiellt intresse och för den biologiska mångfaldens skull. Migrerande djurgrupper och världshaven som helhet är ju beroende av att dessa ekosystem fyller sin funktion. Områden som har varit lämpliga habitat för vingsnäckor kommer att minska i omfattning (Sabine *et al.* 2005). Kommer vissa arter av vingsnäckor tvingas migrera för att överleva eller kommer de att dö ut? Migration begränsas av evolutionära processer som har anpassat vissa arter till särskilda temperaturer. Idag är den skiftande temperaturen en barriär för migration i både nordlig och sydlig riktning (Fabry *et al.* 2008). Detta kan tänkas förändras i framtiden om klimatförändringar jämnar ut skillnader mellan temperaturer i haven.

Kommer mer sydliga populationer av vingsnäckor tänkas migrera norrut för att undgå temperaturökningar? Det skulle i så fall leda dem mot en allt mer korrosiv miljö. Detta scenario skulle innebära att populationer av nordligt ursprung och migrerande populationer av sydligt ursprung potentiellt skulle hamna i en miljö som ingen av dem är anpassad för. Båda populationerna måste hantera den korrosiva miljön. Den nordligt anpassade populationen måste samtidigt kunna hantera varmare temperaturer, vilket enligt Lischka & Riebesell (2012) har påvisats vara än mer svårt att överleva än enbart låg aragonitmättnad. Om det nu ens är rimligt för en population där genomsnittstorleken ligger på en millimeter i diameter att migrera över sådana avstånd som det handlar om.

Alternativt skulle vingsnäckor kunna tvingas migrera i djupled, bort från de korrosiva ytvattnen. Många arter av vingsnäckor rör sig redan upp och ned i vattenpelaren över dygnet och över vinter- och sommarsäsong (Hunt *et al.* 2008). Problemet här är att en migration i djupled skulle föra vingsnäckor bort ifrån födokällor vid ytan och de skulle då tvingas utveckla nya strategier för att samla föda. Dessutom går inte mättnadshorisonten för aragonit hur djupt som helst och vingsnäckorna skulle tillslut möta en korrosiv miljö även i djupled.

Det enda förutsägbara är att vänta sig oförutsägbara förändringar i de marina ekosystemen. För hur kan vi veta *allt* som en förändrad vattenkemi ställer till med för vattenlevande organismer? Deras livsmiljö erbjuder ingen att undkomma en förändrad vattenkemi där organismer konstant påverkas av diffusion. Ekosystemets respons blir svår att sia om då responsskillnader mellan arter rimligen kommer att vara framträdande. Alla marina organismer kommer att utsättas för förändring av deras livsmedium i en hastighet som inte kan matchas med någon annan tidsperiod i jordens historia. Under loppet av tvåhundra år har vattnet runt polerna förändrats till en miljö som ingen av de organismer som lever där är evolutionärt anpassade till.

## Tack

Tack till min handledare Anna Rosling och teamet av återkopplare; Hanna, Michelle och Luc för att ni bidrog med kloka förbättringsförslag och till att det blev en rolig och utvecklande skrivprocess. Även stort tack till Agneta och Klas Frieberg för ett till synes outtömligt stöd och fikaförråd.

## Referenser

- Armstrong JL, 2005. Distribution, size, and interannual, seasonal and diel food habitats of northern Gulf of Alaska juvenile pink salmon, *Onchhynchus gorbusha*. *Deep sea res.* **52**: Part II 247-265.
- Bednarsek N, Tarling G.A, Bakker DCE, Fielding S, Jones EM, Venables HJ, Ward P, Kuzirian A, Lézé B, Feely RA, Murphy EJ, 2012. Extensive dissolution of live pteropods in the southern ocean. *Nature Geoscience.* **5**:881–885
- Bednarsek N, Mořzina J, Vogt M, O'Brien C, Tarling CA. 2012b. The global distribution of pteropods and their contribution to carbonate and carbon biomass in the modern ocean. *Earth System Science Data*. DOI: 10.5194/essd-4-167-2012
- Bednarsek N, Tarling GA, Bakker DCE, Fielding S, Feely RA. 2014b. Dissolution dominating calcification process in polar pteropods close to the point of aragonite undersaturation. *PloS ONE.* **9**: DOI: 10.1371/journal.pone.0109183
- Bednarsek N, Feely RA, Reum JCP, Peterson B, Menkel J, Alin SR, Hales B, 2014a *Limacina helicina* shell dissolution as an indicator of declining habitat suitability owing to ocean acidification in the California current ecosystem. *Proceedings of the royal society B* **281**:1-6
- Boysen-Ennen E, Hagen W, Hubold G, Piatkowski U. 1991. Zooplankton biomass in the ice-covered Weddell Sea, Antarctica. *Marine Biology* **111**:227–235.
- Cabal JA, Alvarez-Marques F, Acuna JL, Quevedo M, Gonzalez-Quiros R, Huskin I, Fernandez D, de Valle CR, Anadon R. 2002. Mesozooplankton distribution and grazing during the productive season in the Northwest Antarctic Peninsula (FRUELA cruises). *Deep-Sea research part-II-topical studies in oceanography* **49**:869–882.
- Caldeira K, & Wickett ME. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* **425**:365-365
- Comeau S, Gorsky G, Alliouane S, Gattuso J. 2010a. Larvae of the pteropod *Cavolinia inflexa* exposed to aragonite undersaturation are viable but shell-less. *Marine Biology.* **157**:2341-2345
- Comeau S, Jeffree R, Teyssie J, Gattuso JP. 2010b. Response of the Arctic pteropod *Limacina helicina* to projected future environmental conditions. *PLoS ONE.* **5**:e11362 DOI: 10.1371/journal.pone.0011362
- Comeau S, Gorsky G, Jeffree R, Teyssie JL, Gattuso JP. 2009. Impact of ocean acidification on key Arctic pelagic mollusc (*Limacina Helicina*). *Biogeosciences.* **6**:1877-1882.
- Doney SC, Fabry VJ, Feely RA, Kleypas JA. 2009. Ocean acidification: The Other CO<sub>2</sub> Problem. *Annual Review Marine Science.* DOI:10.1146/annurev.marine.010908.16383
- Dupont S, Havenhand J, Thorndyke W, Peck L, Thorndyke M. 2008. Near-future level of CO<sub>2</sub>-driven ocean acidification radically affects larval survival and development in the brittlestar *Ophiothrix fragilis* *Marine ecology progress series.* **373**: 285-294
- Fabry VJ, Seibel BA, Feely RA, Orr JC. 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* **65**:414-432
- Feely RA, Sabine CL, Lee K, Berelson W, Kleypas J. 2004. Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science.* **305**:362–66
- Feely RA, Sabine CL, Byrne RH, Greeley D. 2006. Direct evidence for ocean acidification of the North Pacific Ocean. *EOS Transaction of the North American Geophysical Union* **87**(52), Fall meeting supplement, Abstract OS12B-04.

- Feely RA, Sabine CL, Hernandez-Ayon JM, Ianson D, Hales B. 2008. Evidence for upwelling of corrosive “acidified” water onto the continental shelf. *Science* **320**:1490–92
- Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Berntsen T, Betts R, Fahey DW, Haywood J. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. *Climate Change 2007: The physical science basis*.
- Green MA, Waldbusser GG, Reilly SL, Emerson K, O'Donnell S, 2009. Death by dissolution: Sediment saturation state as a mortality factor for juvenile bivalves. *Limnology and oceanography* **54**: 1037
- Harris KE, DeGrandpre MD, Hales B. 2013. Aragonite saturation state dynamics in costal upwelling zone. *Geophysical Research Letters* **40**:2720-2725 DOI: 10.1002/grl.50460
- Hauri C, Gruber N, Vogt M, Doney SC, Feely RA. Spatiotemporal variability and long-term trends of ocean acidification in the California Current System. *Biogeosciences*. DOI:10.5194/bg-10-193-2013
- Hoegh-Guldberg O, Bruno JF. 2010. The Impact of Climate Change on the World’s Marine Ecosystems. *Science* **328**: 1523-1528
- Hopkins TL. 1987. Midwater food web in McMurdo Sound, Ross Sea, Antarctica. *Marine Biology* **89**:197–212.
- Hunt BPV, Pakhomov EA, Hosie GW, Siegel V, Ward P, Bernard K, 2008. Pteropods in southern ocean ecosystems. *Progressive Oceanography* **78**:193-221.
- Kuffner IB, Andersson AJ, Jokiel PL, Rodgers KS, Mackenzie FT. 2008. Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nature geoscience*. **1**:114-117
- Lalli CM & Gilmer RW. 1989. *Pelagic Snails: The Biology of Holoplanktonic Gastropod Mollusks*, kap 4, Stanford University Press, Stanford, CA.
- Larkin PA. 1996. Concepts and issues in marine ecosystem management. *Reviews in fish biology and fisheries*. **6**:139-164
- Levi R, Varona P, Arshavsky Y, Rabinovich M, Selverston A. 2004. Dual sensory-motor function for a molluscan statocyst network. *Journal of neurophysiology*. **91**:336-345
- Levinton JS. 2014. The oceanic environment. *Marine Biology* 4<sup>th</sup> edition, ss. 32-33. Oxford University Press, New York.
- Lischka S, Riebesell U. 2012. Global change biology: Synergistic effects of ocean acidification and warming on overwintering pteropods in the Arctic. *Global Change Biology*. **18**:3517.
- McNeil B, and Matear RJ. 2008 Southern Ocean Acidification; A Tipping point at 450ppm atmospheric CO<sub>2</sub>. *PNAS* **105**: 181860-181864.
- Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, Bopp L, Doney SC, Feely RA, Gnanadesikan A, Gruber N, Ishida A, Joos F, Key RM, Lindsay K, Maier-Reimer E, Matear R, Monfray P, Mouchet A, Najjar RG, Plattner GK, Rodgers KB, Sabine CL, Sarmiento JL, Schlitzer R, Slater RD, Totterdell IJ, Weirig MF, Yamanaka Y, Yool A. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* **437**:681–86
- Roberts D, Howard WR, Moy AD, Roberts JL, Trull TW, Bray SG, Hopcroft RR. 2011. Interannual pteropod variability in sediment traps deployed above and below the aragonite saturation horizon in the Sub-Antarctic Southern Ocean. *Polar Biology* **34**:1739-1750
- Sabine CL, Feely RA, Gruber N, Key RM, Lee K, Bullister JL, Wanninkhof R, Wong CS, Wallace DWR, Tilbrook B, Millero FJ, Peng T-H, Kozyr A, Ono T, Rios AF. 2005. The Oceanic Sink for Anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science*. **305**:368-371
- Sato-Okoshi W, Okoshi K, Sasaki H, Akiha F. 2010. Shell structure of two polar pelagic molluscs, *Arctic Limacina helicina* and *Antarctic Limacina helicina antarctica* forma *antarctica*. *Polar biology*: DOI 10.1007/s00300-010-0849-1
- Steinacher M, Joos F, Frölicher TL, Plattner GK, Doney SC. 2009. Imminent ocean

- acidification in the arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences*. **6**: 515-533
- Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, *et al.* 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- Tans P, Keeling R. 2015 NOAA/ESRL ([www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)) Scripps Institution of Oceanography ([scrippsco2.ucsd.edu/](http://scrippsco2.ucsd.edu/)). Hämtat 2015-12-01
- Yamamoto-Kwai M, McLaughlin FA, Carmack EC, Nishino S, Shimanda K. 2009. Aragonite undersaturation in the Arctic Ocean: Effects of ocean acidification and sea ice melt. *Science* **326**:1098-1100
- Figur 1: [https://en.wikipedia.org/wiki/Limacina\\_helicina](https://en.wikipedia.org/wiki/Limacina_helicina). Hämtat 2015-12-09

## **Havsförurningens negativa påverkan på vingsnäckor (*Pteropoda thecosomata*): etikbilaga**

Havsförurning är bara en i raden av effekter utav industrialiseringen av samhället. Klimatförändringar och andra föroreningar i naturen har hittills tillåtits vara ett nödvändigt ont av samhällsutveckling och en ökad livskvalité för några utvalda, inte alla (men det är en annan historia) människors liv. Människans självutnämnda högre status jämt mot andra organismer på planeten har lett till att ekosystem rubbats, habitat minskats och djur har undantryckts och utnyttjas utefter människans behag. Nu står vi på branten inför ett av de största massutdöenden i jordens historia. Vem ska ta ansvar för det?

Vem är det som ska bestämma hurvida en art är "värd" att rädda? Eller ett ekosystem "unikt" nog att bevara? Finns det ett egenvärde i mångfald i sig eller handlar det om att bevara arter som är samhällsnyttiga och till exempel forma ekosystem utefter människans behov? Är vi tillräckligt säkra på att vi har en sådan kunskap och näringsvävar inte bara kollapsar?

Vingsnäckor är en mycket liten organism vars betydelse och roll i den marina näringsväven må vara lika oklar som den soppa av plankton som de är en del av. Men denna djurgrupp kommer antagligen att utrotas om inga åtgärder tas mot att motverka förurningen av haven. Mycket av den klimatforskning som utförs idag är på terrestra ekosystem och utredning av marina ekosystem hamnar i skymundan. Dels för att den marina miljön är jämförelsevis mycket större, men också för att näringsvävar är mer komplexa och svårare att övervaka. Kanske beror de kunskapsluckor som finns kring vingsnäckor på just ovan nämnda faktorer. Hela jordens klimat påverkas av växthusgaser och mer resurser bör därför läggas på att utreda hur *hela* biosfärens påverkan av klimatförändringar. Att lägga resurser på forskning inom områden som enbart gynnar samhället (till exempel hur man ska vidhålla stabilitet i specifika fiskebestånd för fiskeindustrin) känns fel då vetenskapen borde ta hänsyn till hela den marina miljön.

Under arbetets gång har jag förstått det så att det endast verkar vara en handfull forskare i världen som i olika konstellationer ägnar sig åt problematiken med försurade hav och försämrade förhållanden för vingsnäckor. Mitt arbete hade blivit mer tillförlitligt om forskningsfältet inom området varit större och min samanställning kunnat baseras på fler studier. Men jag anser ändå att de artiklar jag refererat till är trovärdiga och jag har försökt presentera ny forskning i så lång utsträckning som möjligt för att försöka ge en tydlig bild av nuvarande kunskapsnivå inom ämnet.