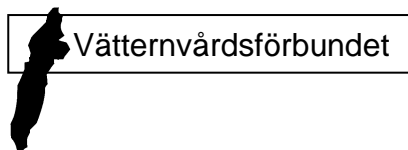
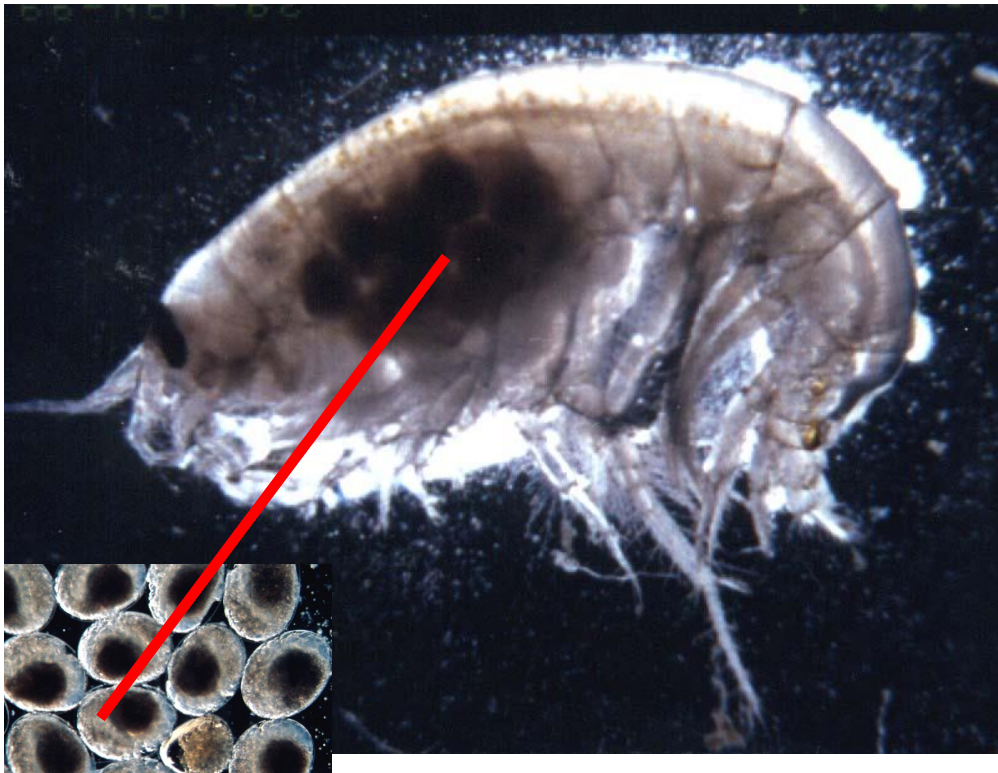


Embryonal utveckling hos vitmärta i fyra sjöar, Vänern, Vättern, Vågsfjärden och Rogsjön

*Brita Sundelin, Ann-Kristin Eriksson och Eva Håkansson,
Stockholms Universitet, Institutet för Tillämpad Miljöforskning
(ITM), 106 91 Stockholm*



Vänerns vattenvårdsförbund



Embryonal utveckling hos vitmärta i fyra sjöar - Vänern, Vättern, Vågsfjärden och Rogsjön

Utgiven av:

Vänerns vattenvårdsförbund, Rapport nr 8. 1999. ISSN 1403-6134

Vätternvårdsförbundet, Rapport nr 54. 1999. ISSN 1102-3791

Naturvårdsverket, 1999.

Tryck: Grunditz och Forsberg Tryckeri AB

Tryckår: 1999

Upplaga: 500 ex

Beställningsadress: Vänerkansliet
Länsstyrelsen
542 85 Mariestad
tel: 0501-60 53 85
fax: 0501-60 54 40
email: agneta.christensen@o.lst.se

Mariestad 1999-09-22

Rapporten har utarbetats av:

Brita Sundelin, Ann-Kristin Eriksson, Eva Håkansson
Institutet för Tillämpad Miljöforskning (ITM)
Stockholms Universitet
106 91 Stockholm

Förord

I Miljöövervakning används ofta växter och djur som indikatorer för påvisa miljöpåverkan. Om man vid vattenprovtagning enbart tar vattenprov och analyserar detta får man endast veta hur vattenkvaliteten var vid just det tillfälle då provet togs. Växter och djur ger emellertid en bild av de miljöförhållanden som förelegat under en längre tid. Man säger att bioindikatorer ger en mer integrerad bild av verkligheten. Bioindikatorer används därför ofta som ett viktigt komplement till kemiska parametrar och vice versa. Undersökningen av vitmärlors äggutveckling är ett exempel på en sådan bioindikator.

Föreliggande undersökning är en test i sötvatten av en i saltvatten väletablerad metodik. Författarna har undersökt hur ägg utvecklas hos vitmärlan, *Monoporeia affinis*, i fyra olika svenska sjöar. Genom att studera hur många av äggen som är missbildade respektive utvecklas till normala vitmärlor kan man få en bild av de miljöförhållanden som råder vid sjöarnas bottnar och andelen misslyckade ägg kan relateras till någon form av störning. Att vitmärlan testats i bland annat Vänern och Vättern beror på att den är en glacialrelikt och kräver stora djup (lever nära eller direkt på botten) samt sjöar under högsta kustlinjen.

Det är glädjande att forskarna konstaterar att metoden fungerar bra även i sötvatten. Studien har ökat kunskapen om miljöförhållandena vid bottnarna i fyra av landets större sjöar. Författarna konstaterar att undersökningen kan användas i fortsatt miljöövervakning i sjöar. Speciellt intresse finns av fortsatta studier i Vättern som hade oförklarligt hög andel missbildade ägg. I Vättern bör ytterligare studier utföras för att klargöra orsaken till den höga störningsgraden.

Undersökningen har genomförts med ekonomiskt bidrag från Naturvårdsverket. Föreliggande upplaga är en sampublication mellan Vänerens vattenvårdsförbund, Vätternvårdsförbundet och Naturvårdsverket. Författarna är ensamma ansvariga för innehållet i rapporten.

Måns Lindell
Vätternvårdsförbundet

Agneta Christensen
Vänerens Vattenvårdsförbund

Håkan Marklund
Naturvårdsverket

Innehållsförteckning

Inledning.....	6
Vitmärslans biologi och embryonalutveckling.....	6
Val av sjöar.....	7
Material och metoder.....	7
Provtagning.....	7
Rogsjön	
Bakgrund.....	8
Provtagning.....	8
Resultat.....	8
Diskussion.....	9
Vågsfjärden	
Bakgrund.....	10
Provtagning.....	10
Resultat.....	10
Diskussion.....	12
Vänern	
Bakgrund.....	12
Provtagning.....	13
Resultat.....	13
Diskussion.....	15
Vättern	
Bakgrund.....	16
Provtagning.....	16
Resultat.....	16
Diskussion.....	19
Jämförelse mellan Vänern och Vättern.....	19
Resultat.....	19
Diskussion.....	20
Slutsatser.....	20
Referenser.....	22

Sammanfattning

Vitmärlans (*Monoporeia affinis*) embryonalutveckling studerades i fyra insjöar, Vänern, Vättern, Vågsfjärden innanför Höga Kusten och Rogsjön i Dalarna. Resultaten visar att undersökningstypen embryonal utveckling hos vitmärla går utmärkt att applicera i limniska ekosystem. Reproduktionsperioden följer i princip den i Östersjön och trots skillnader i latitud skiljer sig inte reproduktionsperioden vilket innebär att sjöar i hela Sverige kan jämföras vid samma tidpunkt på året.

I de nordliga mindre sjöarna Rogsjön och Vågsfjärden, där isläggning i december försvårar provtagning i slutet av januari (den tid då embryoanalysen utförs i Östersjön) insamlades vitmärlor och sediment i november för inkubering i mikrokosmer fram till analysen i januari. Detta förfarande fungerade utmärkt.

Resultaten indikerar att fekunditeten är generellt lägre i limniska ekosystem än i Östersjön. Vänern avviker från övriga sjöar med betydligt högre fekunditet på alla stationer och några stationer i södra Vättern uppvisade mycket låg fekunditet. Mer specifika studier krävs emellertid för att kunna fastställa om olika förutsättningar för tillväxt/fekunditet råder mellan brackvattensystem och limniska ekosystem

Taggmärlan (*Pallasea quadrispinosa*) som förekommer i 3 av sjöarna (inga taggmärlor observerades i den individfattiga Rogsjön) uppvisar en likartad reproduktions- och livscykel samt en näst intill identisk embryonalutveckling, vilket innebär att vid effektövervakning i sjöar kan båda arterna studeras samtidigt.

Av de fyra sjöar som ingick i studien är Rogsjön mindre lämpad, som representant för en opåverkad sjö, på grund av en hög frekvensen missbildade embryon, vilket antyder någon form av antropogen påverkan. Rogsjön uppvisade dessutom en mycket låg individtäthet av vitmärla, vilket innebär mycket stora ansträngningar i samband med insamlandet av djur. Vänern och Vättern kan inte heller betraktas som opåverkade referenssjöar men är på grund av sin storlek och riksintresse viktiga att övervaka med tanke på effekter av miljögifter. Mycket kraftiga reproduktionsskador observerades på de södra stationerna i Vättern, där 40-90 % av äggen var skadade. Outvecklade/obefruktade (odifferentierade) ägg utgjorde merparten av de skadade äggen. Förutom den höga andelen odifferentierade ägg uppvisade stationerna dessutom en mycket låg fekunditet (ägg per hona), vilket innebär en mycket låg produktion på dessa botten. Det fanns en positiv koppling mellan låg fekunditet och andel odifferentierade ägg. Orsaken till skadorna är emellertid oklara och kompletterande studier krävs för att utreda orsakssammanhang.

Inledning

Undersökningstypen embryonal utveckling hos vitmärla har tidigare bara prövats i Östersjön med undantag för en studie i Vättern 1995 (Sundelin och Eriksson 1995). Genom ett gemensamt uppdrag från Naturvårdsverket och Vätternvårdsförbundet skulle möjligheten prövas att använda embryonal utveckling hos vitmärlan *Monoporeia affinis* (Lindström) även i limniska miljöer. Idag saknas delprogram för att studera effekter av miljögifter i sjöar, delvis för att biomarkörer och effektvariabler som används i Östersjön framför allt är utarbetade för marina eller brackvattenmiljöer.

Vitmärlans biologi och embryonalutveckling

Vitmärlan är en detritusätande amfipod (märlkräfta), som förekommer frekvent på sublittorala mjuka bottenar i Östersjön och i ett flertal djupare svenska insjöar över högsta kustlinjen (Enckell 1980). Beroende på djup, temperatur och näringstillgång har arten en generationstid på 1-3 år. Två-årig livscykel är vanligast på bottenar över 20m i egentliga Östersjön och södra Bottenhavet. Längre norrut är en 3-årig livscykel vanligt förekommande. Enligt Richard Johnson verkar en 3-årig cykel på de djupare bottenarna i Vättern vara sannolik. Vitmärlan har genom sin höga individtäthet och geografiska utbredning en stor betydelse för produktionen på mjuka bottenar och är dessutom en betydande födoorganism för större ryggradslösa djur och fisk (se referenser i Sundelin och Eriksson 1998). Arten är förhållandevis syrekrävande och drabbas hårt av syrebrist i områden med hög belastning av organiskt material. Amfipoder anses dessutom generellt mycket känsliga för olika typer av miljögifter, varför amfipoder ofta används som indikatorarter i av miljögifter opåverkade områden (Conlan 1994). I mjukbottenekosystem simulerande Östersjöns mjukbottenar innehållande makrofaunaarter som *Macoma balthica* (östersjömussla) och *M. affinis* samt det naturliga meiofaunasamhället har embryonalutvecklingen hos vitmärla visat sig vara ett mycket känsligt instrument för att detektera effekter av olika typer av miljögifter som kadmium, bly, arsenik, klororganiska föreningar, skogsindustriavloppsvatten, förorenade sediment samt sedimentextrakt från skogsindustrirecipienter och metallrecipienter (Sundelin 1983, 1988, 1989, 1992 och Eriksson *et al.* 1996). Signifikanta effekter kunde konstateras även vid koncentrationer där meiofaunasamhället var relativt opåverkat (Sundelin och Elmgren 1991).

Vitmärlans embryonalutveckling har även studerats i recipienter utanför olika industrier och en mycket stark korrelation till industriutsläppet har konstaterats för variabeln missbildade embryon medan andra embryovariabler som outvecklade/obefruktade (odifferentierade) ägg samt döda ägg ej är korrelerade till utsläppssituationen (Sundelin och Eriksson 1998). Laboratieförsök med förhöjd temperatur har påvisat ett samband med andelen odifferentierade ägg hos kallvattensarten *M. affinis*. Resultaten antyder att embryonalutvecklingen påverkas vid lägre temperaturer (ca 8-11°) än vad som i litteraturen anges som övre toleransgräns (14°) (Ekman 1915, Bousfield 1958), vilket antyder att embryon är känsligare än den vuxna individen.

Sedan 1994 ingår vitmärlans embryonalutveckling i det nationella övervakningsprogrammet i Östersjön och studeras i två referensområden utanför Askölaboratoriet och längs norra Bottenhavskusten. Metoden har i det marina programmet uppvisat god förmåga att kunna upptäcka en gradvis försämring i tiden och med en sannolikhet på 90 % skulle en förändring upptäckas efter 13 respektive 11 år. Inom undersökningstypen mäts även sulfider i sedimentet och syrekoncentrationen i bottenvattnet. Preliminära resultat visar att syreförhållanden men inte sulfider i sedimentet påverkar andelen döda ägg och äggsamlingar (Cederwall *et al.* 1998). De döda äggsamlingarna i sin tur är korrelerade till individtätheten (Cederwall *et al.* 1999, in press), vilket visar att genom att analysera olika variabler knutna till vitmärlans

embryonalutveckling kan vi få en uppfattning om dels påverkan av miljögifter, dels inverkan av abiotiska omgivningsvariabler som syrebrist och temperatur. Resultaten ger även indikationer om att reproduktionsvariabler på individnivå kan förklara populationsfluktuationer.

Val av sjöar

Uppdraget inkluderade studier i fyra svenska sjöar varav två var givna, Vänern och Vättern. Med hjälp av inventeringar och personliga kontakter med ett antal länsstyrelse valdes ytterligare två mindre sjöar ut i samråd med uppdragsgivaren. Vågsfjärden innanför Gaviksfjärden vid Höga Kusten, som varit föremål för riksintresse och Rogsjön i Dalarna, som är vattentäkt till Falu kommun. Målsättningen var att inkludera representativa bakgrundssjöar av dels nord-sydlig, dels kustnära- inland geografisk belägenhet.

Material och metoder

Provtagning

Med anledning av sjöarnas storlek och geografiska läge insamlades vitmärlor vid två perioder under embryonalutvecklingen. I de nordliga mindre sjöarna Rogsjön och Vågsfjärden, där isläggning normalt sker under december månad, insamlades vitmärlor i november. Isläggning skulle försvåra en provtagning i slutet av januari, den tid då embryoanalysen normalt utförs. Insamlade djur och ytsediment från respektive sjö transporterades under ca 4°-5° C till laboratoriet där testorganismerna inkuberades vid 4° C i speciella genomflödesakvarier, mikrokosms, vilkas funktion är utprovad sedan många år tillbaka (Sundelin 1983). Vattenflöde (filtrerat Mälardammen) avpassades till ca 40 ml per minut för att undvika syrebrist i akvarierna. Djuren analyserades sedan under stereomikroskop i mitten av januari enligt Handboken och Sundelin och Eriksson (1998). I Vänern och Vättern där öppet vatten normalt råder under januari insamlades gravida vitmärlor i slutet av januari (ett sent skede i embryonalutvecklingen).



Insamling av vitmärlor och sediment genomfördes med hjälp av en bottenskrapa, så kallad sedimentsläde (Blomqvist och Lundgren 1996), som insamlar sediment med tillhörande bottendjur på valfritt sedimentdjup (2 cm). En sedimentsläde ger ett betydligt större prov än en bottenhuggare, van Veen huggare, vilken rekommenderas för kvantitativ bestämning av bottenfauna (Leonardsson 1995) och enligt

Leonardsson och Sparrevik (1995) även rekommenderas i stora sjöar som Vättern i motsats till anvisning i Handbok för nationell miljöövervakning där Ekmanhämtaren rekommenderas. Eftersom vi hade uppgifter om relativt låga tätheter av vitmärlor i framför allt Rogsjön och avsikten inte var att göra en kvantitativ bestämning användes sedimentsläden. Det insamlade ytsedimentet sållades genom 1,0 mm såll och de frampreparerade vitmärlorna förvarades därefter vid en temperatur lägre än 5° C. På varje provtagningspunkt togs även en sedimentpropp, med hjälp av en modifierad Kajakhämtare, i vilken även mängden löst syre mättes i bottenvattnet. I det översta sedimentlagret togs även prov för analys av organisk halt (

% glödningsförlust). På grund av mycket goda syreförhållanden på samtliga stationer analyserades inte koncentrationen sulfider i sedimentet.

Embryoanalys

Analys av vitmärlans embryon sker företrädesvis under den senare delen av embryoutvecklingen (i slutet av januari) då det är lättare att identifiera även små förändringar från den normala utvecklingen. Embryonerna, som ligger i en avskild äggkammare (marsupium) friprepareras från den levande honan och analyseras enligt Sundelin och Eriksson (1998) under ett stereomikroskop (80 x förstoring). Hos den adulta honan registreras yttre avvikelser, samt fekunditet (ägg per hona). Embryonerna analyseras med avseende på andelen avvikelser från normal utveckling, missbildade, outvecklade/obefruktade (odifferentierade), samt döda ägg och äggsamlingar. Om äggen inte befruktats eller hela äggsamlingen dör i ett mycket tidigt skede kvarstår resterna av äggen som en oidentifierbar fettrest (död äggsamling). Kvalitetssäkring sker genom att olika utförare upprepar analysen av ca 50 äggkullar för att kontrollera graden av felprocent.

Statistisk analys

Eftersom sedimentsläden till skillnad från en bottenhuggare ej ger ett kvantitativt delprov från respektive provtagningspunkt eller sjö är alla beräkningar baserade på andel avvikande ägg per hona. Icke-parametriska statistiska metoder som använts är Mann-Whitney och Kruskal-Wallis).

Rogsjön

Bakgrund

Rogsjön är en oligotrof sjö två mil norr om Falun. Sjön är upp till 70 m djup och fungerar som vattentäkt till Falu kommun. Bottensedimentet är av varierande karaktär men en stor del av botten är sandig eller stenig. Både permanentboende samt fritidsbebyggelse förekommer runt sjön. Vi har inte kunnat hitta några uppgifter om tidigare gruvbrytning runt sjön, som skulle kunna ge upphov till gamla slagghögar på sjöbotten och sjön utvaldes på grund av låg förväntad antropogen inverkan och i området (sjöar med vitmärleförekomst i Dalarna och Värmland) jämförelsevis hög förekomst av vitmärla (2-6 ind. per Ekmanprov). Den faktiska individtätheten uppskattades emellertid till ännu lägre.

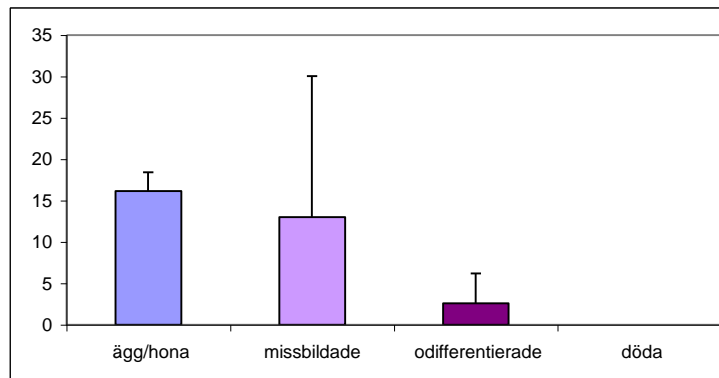
Provtagning

Provtagningen utfördes med hyrd medhavd båt försedd med hydraulvinsch för att möjliggöra användning av stor sedimentsläde. Vid sjön finns bra iläggsplatser för båt. Vi utförde provskrap över stora delar av sjön, men hittade trots detta endast extremt låga tätheter av *M. affinis*, varför sjön inte delades upp i olika provtagningspunkter. De högsta tätheterna för vitmärlan konstaterades på ca 20 m djup, varför största andelen djur insamlades på detta djup. Ett mycket lågt antal gravida honor insamlades trots en hel dags arbete. Djuren inkuberades därefter, som beskrivits ovan, i mikrokosmer fram till analys.

Resultat

Syrehalten i bottenvattnet var näst intill mättad och organisk halt var 20.3 % i den grundare delen av sjön där flertalet vitmärlor insamlades. Även i den djupare delen var den organiska halten 20.3 %. En viss dödlighet av det initialt låga antalet vitmärlor resulterade i 13 stycken överlevande honor vid analystillfället i mitten av januari endast, varför beräkning av medelvärde och spridningsmått men inga statistiska analyser utfördes. Fekunditeten (ägg per hona) var tämligen låg, 16 ägg/hona, jämfört med egentliga Östersjön och Bottenhavet.

Andelen missbildade ägg var mycket hög (Fig. 2), 13 %, medan andelen odifferentierade ägg var 2,58 %. Inga döda ägg eller embryon noterades (Fig. 1).



Figur 1. Rogsjön, fekunditet (ägg per hona), missbildade och odifferentierade ägg och embryon (%), spridningsmått: 95 % konfidensintervall.

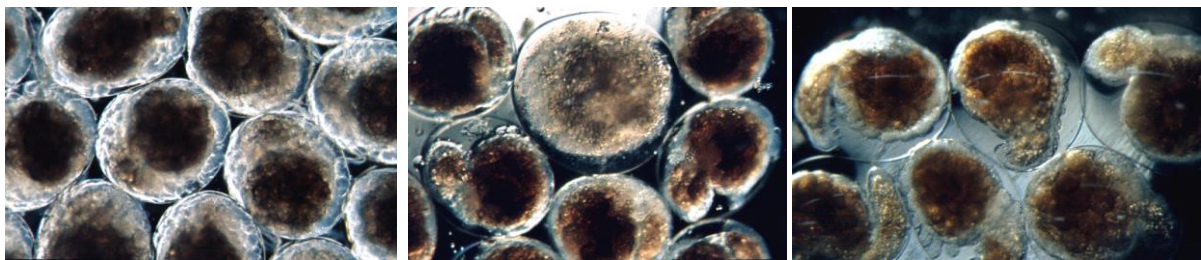


Fig 2. Normala (till vänster) samt missbildade (till höger) embryon av vitmärle från Rogsjön

Diskussion

En mycket hög andel missbildade embryon registrerades. En missbildningsfrekvens på 13 % är hög även vid en jämförelse med skogsindustrirecipienter (Sundelin 1992, Eriksson *et al.* 1996, Sundelin och Eriksson 1998). Den höga andelen missbildningar tyder på förekomst av toxiska substanser i sedimentet. Enligt Göran Lithner (ITM) har relativt höga metallhalter uppmätts i sedimentet. Det är möjligt att gamla varphögar, som läcker tungmetaller, finns på ett flertal sjöbottnar området. Sedimentanalyser rörande metallkoncentrationer måste emellertid utföras för att några samband om metalltoxicitet skall kunna fastställas. Fekunditeten är låg i jämförelse med vitmärlepopulationer på samma breddgrad i Östersjön. Kunskapen om dessa förhållanden i limniska miljöer är emellertid näst intill obefintlig. Så vitt vi vet har ingen tidigare studerat vitmärslans hälsotillstånd i sjösystem, men det förefaller sannolikt att en fekunditet på ca 15 ägg/hona är relativt låg även för limniska förhållanden. Fekunditeten är korrelerad till honans storlek (längd), som i sin tur beror på födotillgången. En hög organisk halt skulle kunna innebära en god födotillgång för sedimentlevande organismer, men preliminära studier inom övervakningsprogrammet i Östersjön har inte kunnat påvisa något samband mellan fekunditet och organisk halt (Sundelin och Eriksson 1998). Det är snarare kvaliteten på kolet som avgör dess betydelse som födoresurs. Den

organiska halten i Rogsjön var hög, vilket var lite förvånande med tanke på sjöns oligotrofa karaktär, och det är möjligt att den höga organiska halten i första hand beror på icke nedbrutna växtdelar eller tom. består av annan fauna som t.ex. oligochaeter, som förekom i riklig mängd i sedimentet.

Andelen odifferentierade eller döda ägg var däremot låg och tyder på att djuren inte är påverkade av andra typer av störningar, som exempelvis hög temperatur eller låga syrehalter under äggutvecklingen.

Vågsfjärden

Bakgrund

Vågsfjärden är en från havet avsnörd del av Gaviksfjärden Västernorrlands län. Sjön är måttligt oligotrof, framför allt i sjöns västra del, ca 60 m djup, och är delvis kantad av bebyggelse. Vi gjorde en motsvarande studie i Gaviksfjärden 1996, vilken vi har valt att jämföra med resultaten från Vågsfjärden. Eftersom studierna är utförda olika år och vissa variabler t ex fekunditeten uppvisar naturliga mellanårsvariationer (se miljöövervakningsrapporter från Östersjön och Bottniska viken) har vi valt att inte göra några statistiska utan endast grafiska jämförelser.

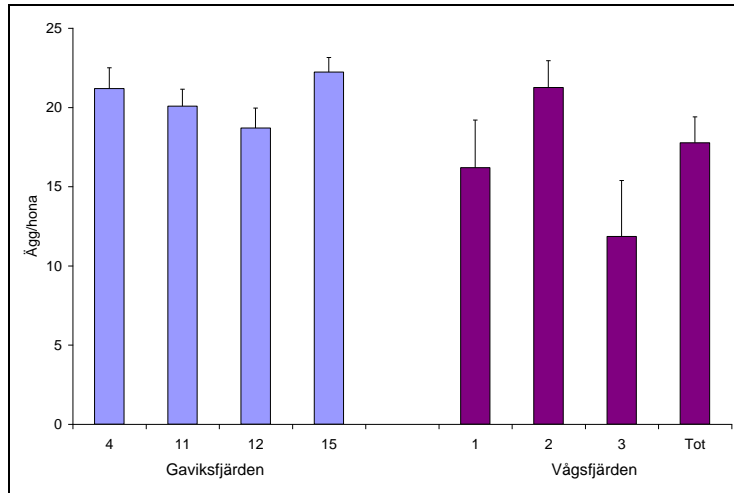
Provtagning

Provtagningen utfördes med hyrd medhavd båt med tillhörande vinsch för att möjliggöra användning av stor bottenkrapa. Höga tätheter av vitmärla observerades, varför prover togs på tre provtagningspunkter i sjön, Station 1 är belägen på 50 m djup i västra delen av sjön, medan Station 2 och 3 är belägna på 20 respektive 25 m djup i östra delen, dit bebyggelsen framför allt är koncentrerad. De insamlade vitmärlorna transporterades vid 4-5 ° C till laboratoriet och inkuberades i mikrokosmer fram till analysen i mitten av januari (se material och metoder).

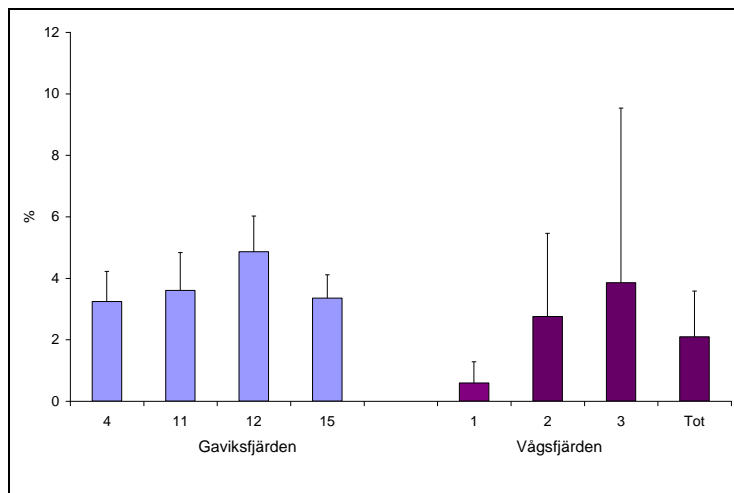
Resultat

Syrehalten i bottenvattnet var näst intill mättad och den organiska halten var 10.5%, 11.6 % och 12.9 % på Station 1, 2 och 3. Den högre halten organiskt material på Station 2 och 3 medförde att sedimentet är mer reducerat i djupare sedimentlager och endast 1-2 cm i ytskiktet var oxiderat. Det är möjligt att den tätare bebyggelsen i denna delen av sjön bidragit till ökade utsläpp av organiskt material som verkar syretärande.

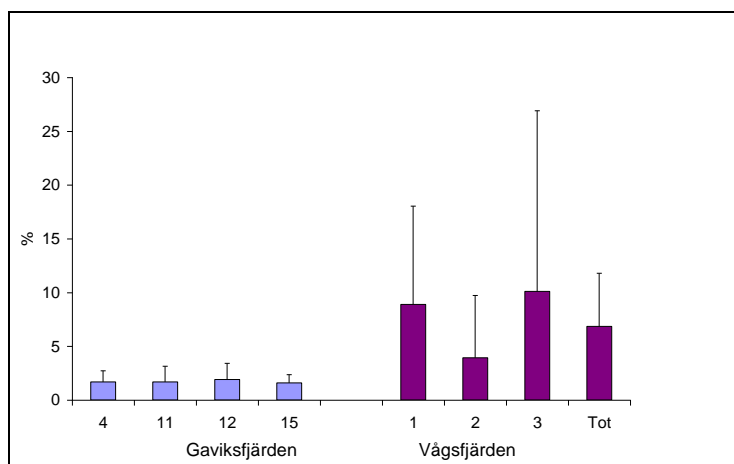
Antalet överlevande honor vid analysen i mitten av januari var 31, 36 och 13 d v s sammanlagt 80 stycken. Fekunditeten (ägg per hona) varierade mellan knappt 12 och upp till 21 ägg/hona vilket är något lägre än i Gaviksfjärden (Fig. 3). Andelen missbildade ägg överensstämmer väl med resultaten från Gaviksfjärden från 1996 och varierade mellan 0,59-3,85 % på provtagningspunkterna (Fig. 4). De lägsta frekvenserna registrerades i sjöns västra del där sedimentet uppvisade ett oxiderat skikt på över 20 cm. De odifferentierade äggens andel var högre, 3,94-10,1 % (Fig. 5). Endast ett dött ägg kunde noteras bland samtliga honor.



Figur 3. Fekunditet (ägg/hona) i Gaviksfjärden 1996 och i Vågsfjärden 1999, spridningsmått: 95 % konfidensintervall.



Figur 4. Andelen missbildade ägg och embryon i Gaviksfjärden 1996 och på tre provtagningspunkter samt totalt i Vågsfjärden 1999, spridningsmått är 95 % konfidensintervall.



Figur 5. Andelen odifferentierade ägg och embryon i Gaviksfjärden 1996 och på tre provtagningspunkter samt totalt i Vågsfjärden 1999, spridningsmått är 95 % konfidensintervall.

Diskussion

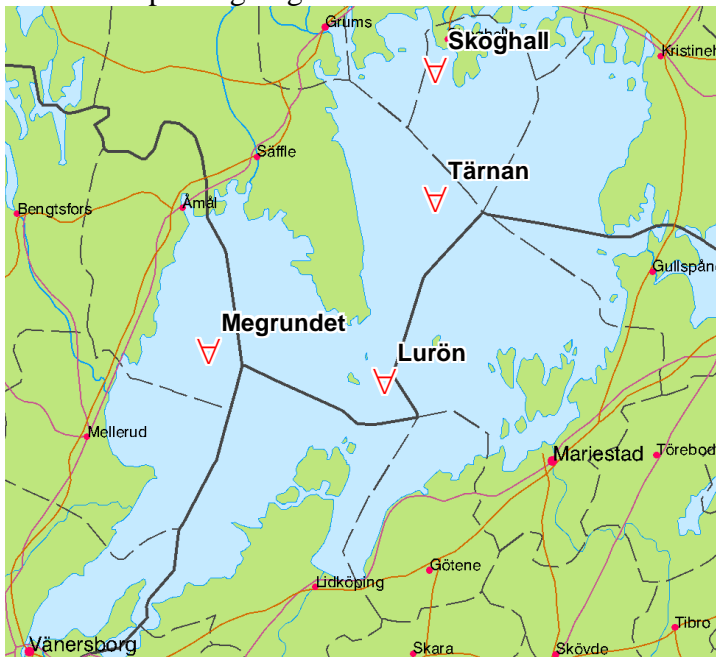
Fekunditeten är tämligen låg på framför allt Station 3 och är något lägre än i Gaviksfjärden. Det finns ingen positiv korrelation mellan organisk halt och fekunditet och den lägsta fekunditeten observerades på Station 3 med högst organisk halt. Andelen missbildade ägg i Vågsfjärden var låg och uppvisade samma nivå som i Gaviksfjärden 1996. Mycket låga frekvenser registrerades på Station 1, där eventuell antropogen inverkan kan antas vara lägst. Den sammantagna slutsatsen är att sjön måste betraktas som ett bakgrundsområde med ringa eller ingen inverkan av toxiska miljögifter. De odifferentierade äggens andel är högre i Vågsfjärden än i Gaviksfjärden och även måttligt förhöjd i jämförelse med andra områden i egentliga Östersjön och Bottenhavet. De odifferentierade äggen varierar mer mellan år och uppvisar i allmänhet en mycket större spridning än de missbildade äggen. Orsaken till odifferentierade ägg är delvis oklar, men i laboratorieexperiment där temperaturen höjts några grader över den normala under gonadmodning och embryonalutveckling ökade andelen odifferentierade ägg hos kallvattenarten *M. affinis*, som ett resultat av behandlingen (Eriksson och Sundelin, manus). Det finns emellertid ingen anledning till att tro att förhöjda temperaturer är orsaken till de odifferentierade äggen i Vågsfjärden, eftersom de lägsta frekvenserna observerades på Station 2 med ett djup på 20 m, där man till skillnad från 50 m på Station 1 skulle kunna förvänta sig en temperaturförhöjning under varma somrar.

Vänern

Bakgrund

Fyra stationer utvaldes i samråd med Vänerns vattenvårdsförbund. Tre av stationerna (Station 2, Tärnan, 3, Lurön, 4, Megrundet) överensstämmer med de som ingår i det ordinarie bottenfaunaprogrammet och den fjärde stationen, i närheten av Skoghall (Station 1) var av recipientkaraktär. Undersökningen utfördes med hjälp av seglätionsstyrelsens fartyg Polstjärnan.

Karta över provtagningsstationer i Vänern



Provtagning

Provtagningen utfördes under besvärliga väderleksförhållanden i under vecka 3 i januari. Individtätheten på Station 2 (Tärnan) och 4 (Meggrundet) var tämligen god medan den var något lägre på recipientstationen (1) och Station 3 vid Lurön. Vid provtagningen togs även några individer av glacialrelikterna, taggmärsla (*Pallasea quadrispinosa*, illustreras till vänster) samt sjösyrsan (*Gammaracantus lacustris*) tillvara. Några taggmärlor var gravida och analyserades med avseende på avvikande embryon. Taggmärlan har en reproduktionscykel som i stort sett överensstämmer med vitmärlan (Hill 1988), varför det är möjligt att analysera båda arterna vid samma provtagningstillfälle.



Resultat

Syremättnaden i bottenvattnet var hög. Antalet honor som studien baserar sig på och den organiska halten redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Antal honor av *M. affinis*, samt organisk halt

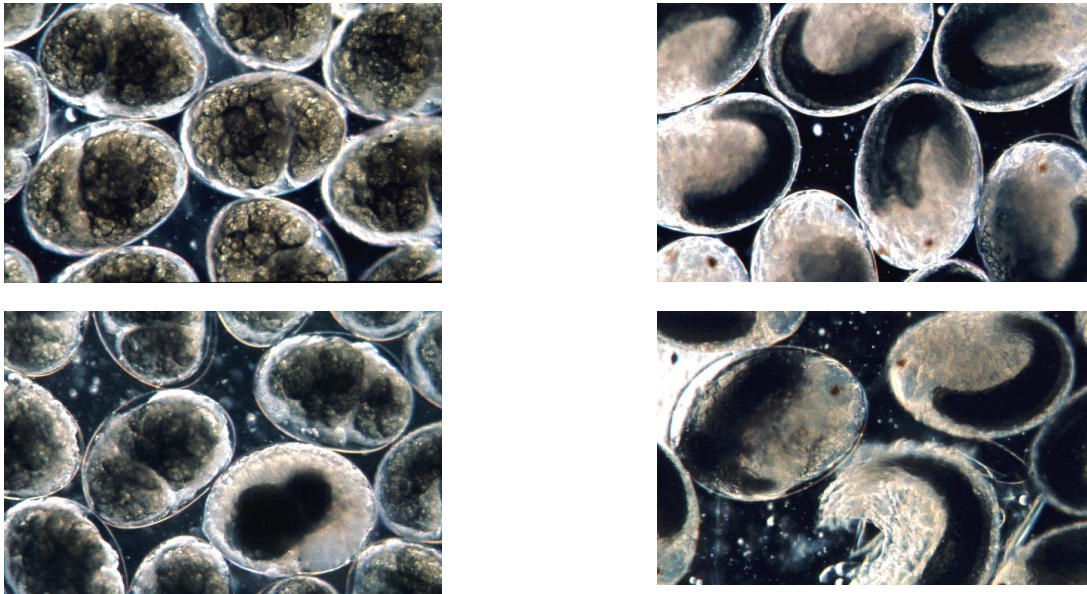
Station	n	djup m	organisk halt %
Recipient (1)	20	40-45	9.3
Tärnan (2)	90	76-79	9.7
Lurön (3)	33	58-62	8.9
Meggrundet (4)	104	76-78	7.5



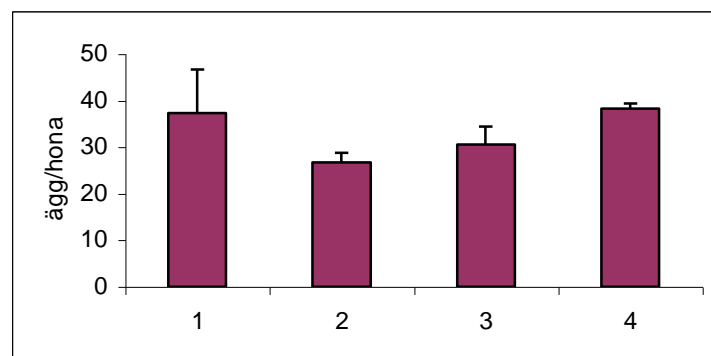
Fekunditeten var hög på recipientstationen och Meggrundet, 37,3 respektive 38,3 ägg/hona som var statistiskt skilda från övriga stationer (Fig. 7). Andelen missbildade ägg och embryon var låg på de tre referensstationerna och måttligt förhöjd på recipient stationen (Fig. 8). Betydligt högre var andelen odifferentierade ägg, 3,7-22,3 % (Fig. 9). Spridningen mellan olika honor var dock mycket hög varför det inte var någon statistisk skillnad mellan stationerna. Andelen döda varierade mellan 0 och 4,2 % (Fig. 10). En speciell typ av honor med opalescenta fläckar på skalet (till höger, normal hona till vänster) förekom i högt antal på samtliga stationer. Högsta antalet, 62 %, observerades på recipientstationen 1, medan 35 % av honorna på Station 2, 46 % av honorna på Station 3 och 33 % av honorna på Station 4 hade vita fläckar över hela skölden. Denna typ av avvikelse har även observerats i Östersjön hos enstaka exemplar. Orsaken och betydelsen för individens hälsotillstånd är okänt.

Pallasea quadrispinosa

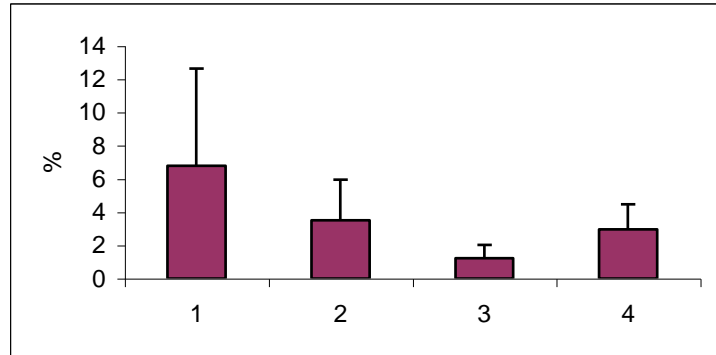
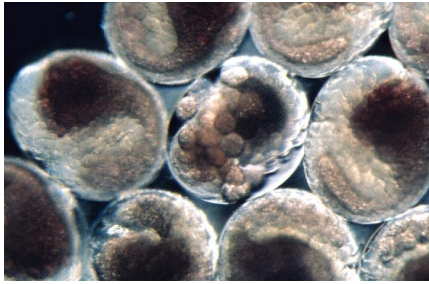
Taggmärslan har en reproduktionscykel som i stort sett överensstämmer med vitmärslan (Hill 1988). Nedan (Fig. 6) illustreras embryon av olika utvecklingsstadier, samt exempel på missbildade embryon. Vi kunde konstatera att embryonalutvecklingen hos taggmärslan och vitmärslan i stort sett är identisk och skiljer sig mindre än mellan vitmärslorna *Monoporeia affinis* och *Pontoporeia femorata*, som båda lever på Östersjöns mjukbotten. Taggmärslan har ett grönt pigment i reservfettet till skillnad från vitmärslan, vars lipider varierar mellan gult till brunrött.



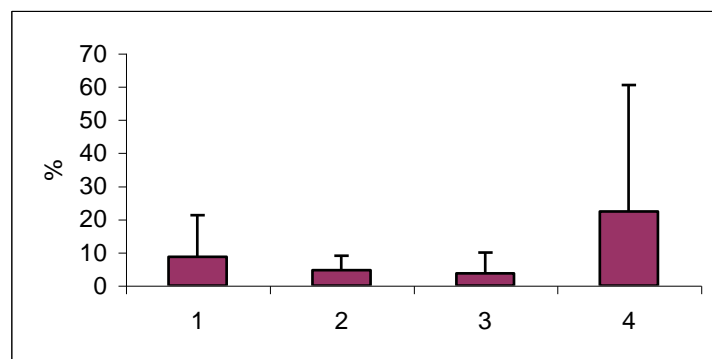
Figur 6. Olika utvecklingsstadier i normal embryonalutveckling hos *Pallasea quadrispinosa* ovan. Nedan illustreras missbildade embryon i samma utvecklingsstadier.



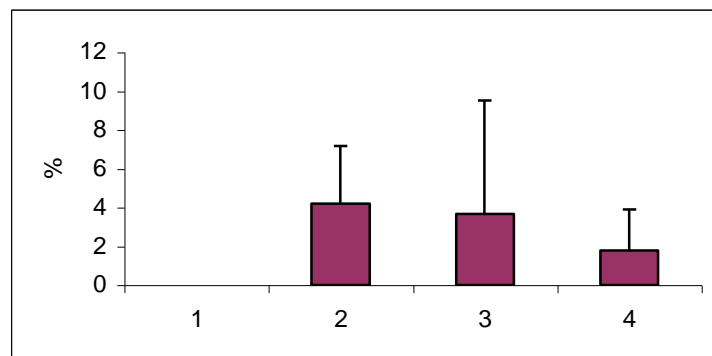
Figur 7. Fekunditet (antal ägg/hona) i Vänern spridningsmått: 95 % konfidensintervall.



Figur 8. Andelen missbildade ägg på fyra stationer i Vänern, spridningsmått: 95 % konfidensintervall. Missbildat embryo (mitten) från Station 1.



Figur 9. Andelen odifferentierade ägg på fyra stationer i Vänern, spridningsmått: 95 % konfidensintervall



Figur 10. Andelen döda ägg på fyra stationer i Vänern spridningsmått: 95 % konfidensintervall.

Diskussion

Den relativt höga fekunditeten antyder goda näringsförhållanden för vitmärlan i Vänern. Vitmärlans livnär sig i första hand på färskt kol från primärproduktionen (Lopez och Elmgren 1989). I Bottenhavet har vi kunnat konstatera en korrelation mellan kolet i vårblomningen och fekunditeten, medan kolinnehållet under andra tider under produktionsperioden har mindre betydelse (Sundelin *et al.* 1998). Inte heller i Vänern finns något samband mellan den organiska halten och fekunditeten. Andelen missbildade embryon ligger inom den normala

bakgrundsnivån på stationerna 2, 3 och 4, medan recipientstationen (Station 1) utanför Skoghall uppvisade skadefrekvenser som kan förekomma utanför skogsindustrier. Den stora spridningen medförde emellertid att signifikanta skillnader ej kunde fastställas. En Van Veen huggare hade möjliggjort statistiska beräkningar baserat på skadefrekvens per replikat av hugg istället för baserat på skador per hona vilket troligtvis hade inneburit betydligt lägre spridning. Med den höga tätheten av vitmärta som existerar i Vätern hade detta varit möjligt. Andelen odifferentierade ägg var av samma storleksordning som i Vågsfjärden förutom på station 4 där andelen odifferentierade ägg är förhöjd. Anledningen är oklar.

Vättern

Bakgrund

I Vättern undersöktes fem stationer varav fyra (Station 1, 2, 3, 5) med små avvikelser i position ingår i det ordinarie bottenfaunaprogrammet och den femte (Station 4), utanför Aspa bruk var av recipientkaraktär. Stationerna valdes i samråd med Vätterns vattenvårdsförbund, Måns Lindell. Undersökningen utfördes under två dagar i slutet av januari med hjälp av FMVs fartyg MS Taurus SFRT (*se bild, fotograf Måns Lindell*).



Provtagning

Undersökningen kunde genomföras i strålande väder. Individtätheten på stationerna var måttlig och överensstämde dåligt med de tätheter som uppmättes under SLUs bottenfaunaprovtagning i augusti 1997.

Resultat

Syremättnaden i bottenvattnet var mycket hög. Antal honor i undersökningen samt organisk halt redovisas i tabell 2

Tabell 2. Antal honor i undersökningen samt organisk halt angivet som % glödgningsförlust

Station	n	djup m	organisk halt %
1	17	95	10.6
2	26	90	6.4
3	39	35	7.9
4	18	20	8.4
5	21	98	9.5

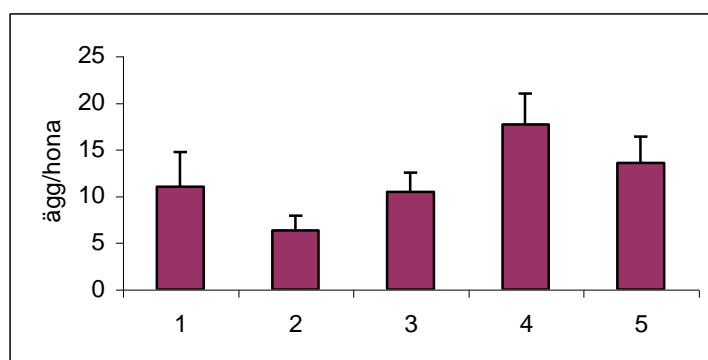


Vy över Vättern, Aspa bruk i horisonten, Foto, Måns Lindell

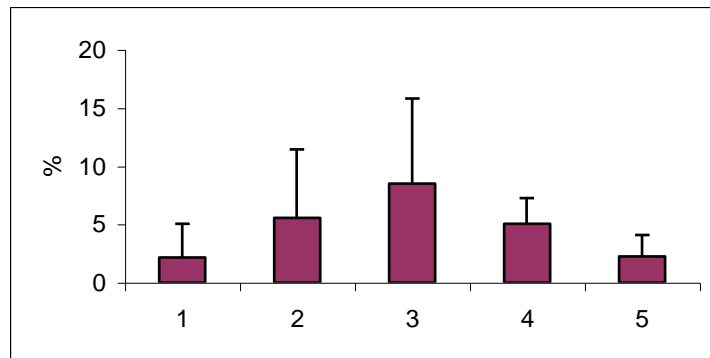
Provtagningsstationer i Vättern



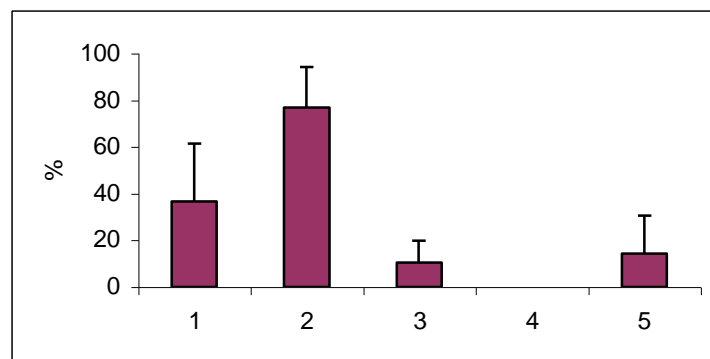
Fekunditeten på stationerna i Vättern var låg eller mycket låg, 6,3-17,7 ägg/hona och signifikanta skillnader föreligger mellan stationerna (Fig. 11). Den högsta fekunditeten noterades på recipientstationen utanför Aspa bruk. Andelen missbildade ägg var låg eller måttligt förhöjd på samtliga stationer (Fig. 12). Däremot uppvisar flera stationer hög eller extremt hög andel (77 %) odifferentierade ägg och den enda station där denna skadekategori saknas är på recipientstationen (Fig. 13). Döda ägg förekommer på tre av fem stationer och var som högst 10 % (Fig. 15).



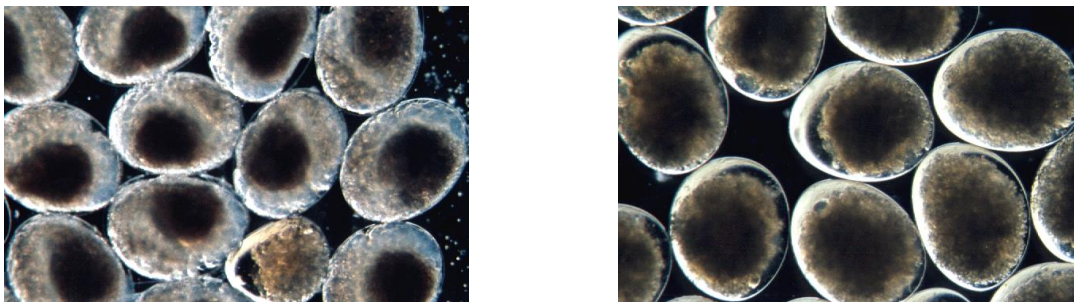
Figur 11. Fekunditet (antal ägg/hona) på fyra stationer i Vättern spridningsmått: 95 % konfidensintervall.



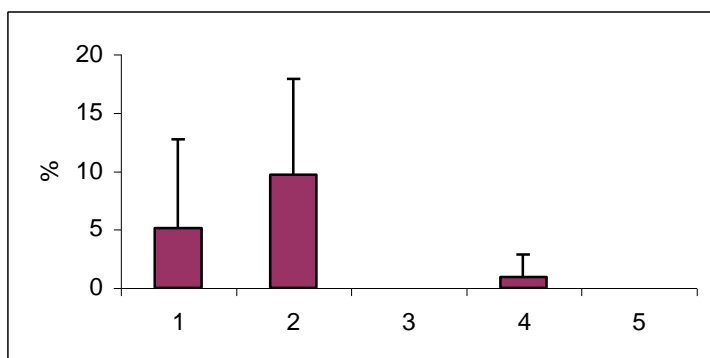
Figur 12. Andelen missbildade ägg på fyra stationer i Vättern spridningsmått är 95 % konfidensintervall.



Figur 13. Andelen odifferentierade ägg på fyra stationer i Vättern spridningsmått är 95 % konfidensintervall



Figur 14. I bilden till vänster illustreras ett odifferentierat ägg bland övriga normala. I bilden till höger är samtliga ägg i kullen odifferentierade och delvis degenererade.



Figur 15. Andelen döda ägg på fyra stationer i Vättern spridningsmått är 95 % konfidensintervall.

Diskussion

Reproduktionen på de södra stationerna i Vättern är kraftigt påverkad och på Station 2 uppvisade över 90 % av äggen någon form avvikelse. Andelen missbildade ägg är något högre än normalt i bakgrundsområden men bidrar endast med en mindre andel till reproduktionsskadorna.

Den huvudsakliga anledningen är att andelen obefruktade/outvecklade (odifferentierade) ägg är kraftigt förhöjd på samtliga stationer utom recipientstationen. De odifferentierade äggen har i tidigare undersökningar inte varit korrelerade till miljögifter (Sundelin och Eriksson 1998) utan snarare till andra omgivningsvariabler som temperatur och syrehalter (Eriksson och Sundelin manus). Även vid en undersökning 1995 i Vättern (Sundelin och Eriksson 1995) observerades en mycket hög andel odifferentierade och döda ägg på de södra stationerna, vilket ger en indikation på att den observerade skadan inte är en tillfällig händelse utan mer kronisk. Individtätheten var också betydligt lägre än vad som angivits från de årliga övervakningsundersökningarna, vilket antyder att vitmärlorna dött (de gravida honorna ?) sedan provtagningarna i augusti. Vi har emellertid inte gjort några regelmässiga kvantitativa bestämningar av individtätheten, men tog några van Veen hugg för att få en uppfattning om tätheten, och uppskattade den till betydligt lägre individtäthet än vad som angivits från provtagningen i augusti. Det finns en möjlighet att de gravida honorna av någon anledning dör i samband med reproduktionen. Den dåliga kvaliteten på äggen tycktes inverka även på honornas överlevnadsförmåga, vilka är döende redan efter något dygn efter insamlandet jämfört med i normala fall då en gravid hona kan förvaras upp till några veckor i en rent vatten innan analys. Eftersom Vätterns bottnar visar mycket hög syremättnad året om och temperaturen på 100 m djup aldrig överskrider ca 4°C, är det osannolikt att detta skulle vara orsaken till de odifferentierade äggen. Den mycket låga fekunditeten är anmärkningsvärd och avviker från övriga sjöar i undersökningen. I Vättern finns en koppling mellan låg fekunditet och andelen odifferentierade ägg. Materialet är dock för litet för att fastställa några statistiska samband och mer renodlade studier skulle krävas för att utreda orsaken till de mycket kraftiga skadorna.

Jämförelse mellan Vänern och Vättern

Resultat

Även om andelen missbildade och döda ägg synes högre i Vättern finns inga statistiska skillnader mellan sjöarna på grundval av detta material. En väsentlig skillnad mellan sjöarna är den betydligt högre fekunditeten som registrerades i Vänern jämfört med Vättern och den högre andelen odifferentierade ägg i Vättern.

Diskussion

Vår hypotes är att Vänerns högre näringsstatus avspeglar sig i en högre fekunditet. Fekunditeten är korrelerad till honans storlek (längd) (Leonardsson *et. al* 1988), som i sin tur beror på födotillgången. Vad vitmärlan egentligen äter är inte fullständigt utrett. Lopez och Elmgren (1989) har visat att vitmärlan i Östersjön livnär sig på de översta mm i sedimentets ytskikt. Vi har i ett flertal studier inte kunnat påvisa någon korrelation mellan fekunditeten och den organiska halten/kolet i sedimentet (denna studie, Sundelin och Eriksson 1998, samt övervakningsstudier i Östersjön). Detta påvisar framför allt att organiskt kol eller organisk halt är ett mycket oprecist mått och kopplar man istället fekunditeten till kolet i vårblomningen erhålls signifikanta samband (Sundelin *et al.* 1998). Det är således sannolikt att vitmärlan endast förmår att utnyttja det färska produktionsmaterialet medan ”äldrat” kol är relativt dålig föda för vitmärlan. I denna studie har vi inte haft möjlighet att dels speciera kolet i sedimentet eller vilket vore ännu mer värdefullt att korrelera fekunditeten till primärproduktionen under året i Vätern och Vättern.

Med tanke på sjöarnas näringskaraktär och de kraftiga skillnaderna i fekunditet förefaller det dock sannolikt att Vätern erbjuder en rikare födoresurs än Vättern. Kunskapen om normala fekunditetsnivåer hos vitmärlan i limniska ekosystem saknas emellertid. Utifrån vår kunskap om vitmärlan i Östersjön synes den extremt låga fekunditet som observerats på framför allt Station 2 i Vättern anmärkningsvärd. Den stora andelen odifferentierade ägg bidrar ytterligare till att ett mycket lågt antal juvenila vitmärlor kommer att kläckas på de värst drabbade stationerna i södra Vättern. Det finns en positiv koppling mellan andelen odifferentierade ägg och fekunditeten i Vättern. Huruvida detta är ett naturligt resultat av låg näringshalt på bottenarna eller orsakat av någon antropogen störning vågar vi inte spekulera över. Så låg fekunditet har vi tidigare endast observerat i experiment med sediment från Molnbyggen där vitmärlor som exponerats för sediment från sjön erhöll mycket kraftiga endokrina effekter i form av utvecklade gonader och reducerat antal sexuella kemoreceptorer (Ryk 1999). Molnbyggen är en sjö i Leksands kommun där abborren inte förmår att utveckla gonader som en trolig effekt av läckage från soptipp (Noaksson *et al.* 1998). Erfarenheter från tidigare experiment och fältstudier i recipienter säger oss emellertid att inga traditionella miljögifter har orsakat de odifferentierade äggen och vi har inga förslag till hur ett samband mellan den låga fekunditeten och de odifferentierade äggen skulle förklaras. Genom att genomföra ett flertal provtagningar *in situ* under embryonalutvecklingen skulle vi kunna få ett svar på hur skadan uppkommer. För att reda ut orsaken skulle mer specifika sedimentstudier krävas där vi dels analyserar miljögifterna i sedimentet dels försöker speciera kolet. Genom att korrelera fekunditeten till produktionsmätningar under året skulle vi även kunna få ett svar på huruvida den låga fekunditeten är orsakad av näringsbrist eller beror av andra orsakssammanhang.

Slutsatser

- Studien har visat att undersökningstypen embryonal utveckling hos vitmärla går utmärkt att applicera i limniska ekosystem. Reproduktionsperioden följer i princip den i Östersjön och trots skillnader i latitud skiljer sig inte reproduktionsperioden vilket innebär att sjöar i hela Sverige kan jämföras vid samma tidpunkt på året.
- Av de fyra sjöar som ingick i studien är Rogsjön mindre lämpad som representant för en opåverkad sjö, dels med tanke på den höga frekvensen missbildade embryon, vilket antyder antropogen påverkan, dels med avseende på den mycket låga individtäteten. Vätern och Vättern kan inte heller betraktas som opåverkade referenssjöar men är på grund av sin storlek och riksintresse viktiga att övervaka med tanke på effekter av miljögifter.

- I denna studie användes en sedimentslåde för insamling av vitmärlor. Vid en återkommande övervakning rekommenderar vi att utvälja sjöar med tillräcklig individtäthet för att använda van Veen-huggare och därigenom få ut kvantitativa delprov att basera sina beräkningar på vilket stärker möjligheterna att hitta avvikelser. Metoden har i det marina programmet uppvisat god förmåga att kunna upptäcka en gradvis försämring i tiden. Alla sjöar utom Rogsjön uppvisade individtätheter som skulle möjliggöra användandet av en huggare istället.
- Mycket kraftiga reproduktionsskador i form av odifferentierade ägg registrerades hos vitmärlan på framför allt de södra stationerna i Vättern.
- Resultaten indikerar att fekunditeten är generellt lägre i limniska ekosystem än i Östersjön. Vänern avviker från övriga sjöar med betydligt högre fekunditet på alla stationer och några stationer i södra Vättern uppvisade mycket låg fekunditet . Mer specifika studier krävs emellertid för att kunna fastställa om olika förutsättningar för tillväxt/fekunditet råder mellan brackvattenekosystem och limniska ekosystem
- Taggmärlan (*Pallasea quadrispinosa*) som förekommer 3 av sjöarna (inga taggmärlor observerades i den individfattiga Rogsjön) uppvisar en likartad reproduktions-och livscykel samt en näst intill identisk embryonalutveckling, vilket innebär att vid effektövervakning i sjöar kan båda arterna studeras samtidigt.

Referenser

1. Bousfield, E. L. 1958. Fresh - water amphipod crustaceans of glaciated North America. *Canad. Field-Naturalist* 72: 55-113.
2. Blomqvist, S, Lundgren L 1996. A benthic sled for sampling soft bottoms. *Helgoländer Meeresunters* 50: 453-456
3. Cederwall. H., Sundelin, B., Eriksson, AK, Håkansson, E. Andersson.L. 1999. Bottenvatten och Bottenfauna. Östersjö 1998, Årsrapport från den marina miljöövervakning. Rapport från SMF.
4. Conlan K (1994) Amphipoda crustaceans and environmental disturbance: a review. *Journal of Natural History* 28: 519-554
5. Ekman, S. 1915. Vorschläge und Erörterungen zur Reliktenfrage in der Hydrobiologie - *Ark: Zool.* 9: 1-35
6. Enckell PH. 1980. Kräftdjur. – Signum. Lund
7. Eriksson, A-K., Sundelin, B., Broman, D., Näf, C 1996. Effects on *Monoporeia affinis* of HPLC-fractionated extracts of bottom sediments from a pulp mill recipient. In: Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. Servos et al (eds) p 69-78, St Lucie Press Florida..
8. Hill, C 1988. Life cycle and spatial distribution of the amphipod *Pallasea quadrispinosa*. *Holarct. Ecol.* 11: 298-304.
9. Leonardsson K, Sörlin T, Samberg H 1988. Does *Pontoporeia affinis* (Amphipoda) optimize age at reproduction in the Gulf of Bothnia? *Oikos* 52: 328-336
10. Leonardsson, K., 1995. Mjukbottenfauna i regional miljöövervakning längs Norrlandskusten, Utvärdering av tidigare program och förslag till framtida strategi. För Åtgärdsgrupp Nord ISBN 91-630-3398-4.
11. Leonardsson K., Sparrevik, E. 1995. Metoder för insamling och övervakning av glacialrelikta kräftdjur. Vättern, Förslag till program och undersökningstyper, Rapport nr 36.
12. Lopez G, Elmgren R 1989. Feeding depths and organic absorption for the deposit-feeding benthic amphipods *Pontoporeia affinis* and *Pontoporeia femorata*. *Limnol Oceanogr* 34(6): 982-991
13. Ryk, C 1999. Effects of endocrine disrupters on *Monoporeia affinis*. Master Thesis
14. Sundelin, B. 1983. Effects of cadmium on *Pontoporeia affinis* (Crustacea: Amphipoda) in laboratory soft-bottom microcosms. *Mar. Biol.* 74, 203-212.
15. Sundelin, B. 1988. Effects of sulphate pulp mill effluents on soft-bottom organisms - a microcosm study. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 20, No. 2, pp. 175-177.
16. Sundelin, B. 1989. Ecological effect assessment of pollutants using Baltic benthic organisms. Dissertation, Univ. of Stockholm, Dep. of Zoology 106 91 Stockholm.
17. Sundelin, B. 1992. Effect monitoring in pulp mill areas using benthic macro- and meiofauna. In: Environmental fate and effects of bleached pulp mill effluents. p. 371-380. SNV-rapport 4031.
18. Sundelin, B., A-K. Eriksson. 1995. Effekter på embryonalutvecklingen hos vitmärta (*Monoporeia affinis*) i Vättern. Miljöövervakning Vättern, Förslag till program och undersökningstyper, Rapport nr 36.
19. Sundelin, B., Eriksson, AK. Håkansson, E.1998. Vitmärslans embryonalutveckling. Bottniska viken 1997, årsrapport från den marina miljöövervakningen, rapport från UMF.
20. Sundelin, B., A-K. Eriksson 1998. Malformations in embryos of the deposit-feeding amphipod *Monoporeia affinis* in the Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 171: 165-180.