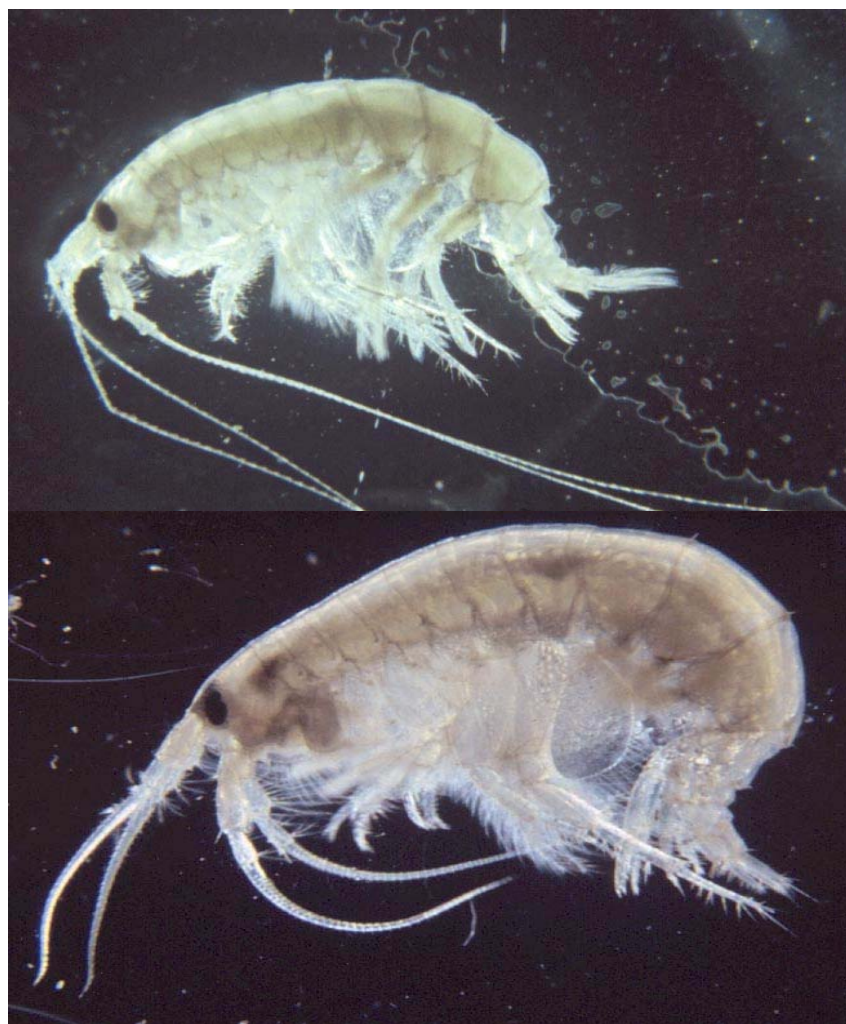
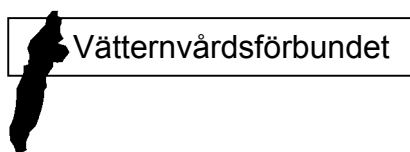


Vitmärlans reproduktion i Vänern och Vättern 2002



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



Vänerns vattenvårdsförbund



Vitmärlans reproduktion i Väneren och Vättern 2002

Utgiven av:

Vänerns vattenvårdsförbund, Rapport nr 24. 2003. ISSN 1403-6134

Vätternvårdsförbundet, Rapport nr 72. 2003. ISSN 1102-3791

Naturvårdsverket, 2003.

Tryck: Länsstyrelsen i Jönköping

Tryckår: 2003

Upplaga: Första upplagan 300 ex

Omslagsbild: Vitmärlor, Överst en hane, underst en hona (Foto Brita Sundelin)

Beställningsadress: Vätternvårdsförbundet
Länsstyrelsen
551 86 Jönköping
tel: 036-395000
fax: 036-167183
email: mans.lindell@f.lst.se

Jönköping den 28 Januari 2003

Rapporten har utarbetats av:

Brita Sundelin, Therese Börjesson, Ann-Kristin Eriksson-Wiklund, 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 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.

Tidigare har forskarna konstaterat att en för marina sammanhang välprövad bioindikator, embryonalutveckling hos vitmärlor (*Monoporeia affinis*), fungerar i Vänern och Vättern. Studien har ökat kunskapen om miljöförhållandena vid bottnarna i landets största sjöar. Författarna konstaterar att i föreliggande undersökning att man kommit ytterligare ett steg framåt i användandet av vitmärlor som miljöindikatorer. Forskarna har infört studier av olika fettsyror. Beroende på sjöns näringsgrad bygger vitmärlorna upp olika mängder av olika fettsyror. Dessa kan i sin tur användas för att förklara en del av störningarna i reproduktionen. Sålunda är det inte längre enbart "gifter" som påverkar embryonalutvecklingen utan även hur pass "beredd" en vitmärla är att sätta embryon till världen. Ju näringsfattigare, ju färre embryon, ju färre andel lyckade kläckningar och en lägre andel fettsyror som indikator på näringstillgången. Studien visar på hur viktigt det är att ha klart för sig orsak-verkan i miljöövervakning.

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

Innehållsförteckning

Förord	3
Innehållsförteckning	4
Sammanfattning	5
Vitmärlans reproduktion i Vänern och Vättern	6
Bakgrund	6
Material och metoder	6
Stationsval och Insamlingsmetodik	6
Biologisk och kemisk analys	7
Sexuell och hormonell utveckling hos vitmärlan, betydelsen av födans kvalitet	8
Resultat	9
Diskussion	20
Låg fekunditet beror på födobrist	20
Det finns ett samband mellan odifferentierade, döda ägg och födotillgång	20
Ökar miljögiftseffekterna i den näringsfattiga Vättern?	21
Kan kraftiga tillflöden till Vänern och Vättern ha orsakat störningar i vitmärlans sexuella mognad och parningsförmåga?	22
Slutsatser	23
Referenser	24

Sammanfattning

Vitmärlans (*Monoporeia affinis*) fekunditet (ägg/hona) är signifikant lägre i Vättern jämfört med Vänern under perioden 1999-2002. Under perioden 1996-2002 registreras dock en ökande fekunditet i Vättern. Resultaten måste emellertid betraktas som osäkra med tanke på en mycket högre fekunditeten under 2002 i Vättern, som kan ha påverkat trenden. Det finns ett starkt samband mellan fekunditet och näringstillgång. Fettsyresammansättningen i vitmärla skiljer sig mellan sjöarna under 2001 då fekunditeten var mycket låg i Vättern medan skillnaderna i fettsyresammansättning minskade under 2002. En högre näringstillgång i form av kiselalger i Vättern under 2001 skulle kunna vara förklaringen till den förändrade fettsyresammansättningen och högre fekunditeten hos vitmärlan i januari 2002 i Vättern.

Andelen odifferentierade ägg och döda äggsamlingar hos honan är högre i Vättern än i Vänern under perioden 1999-2002. Även under 2002 skiljer sig sjöarna. Fekunditeten är starkt negativt korrelerad till andelen odifferentierade och döda ägg i båda sjöarna och vår hypotes är att födobrist bidrar till uppkomsten av de odifferentierade äggen.

Missbildade embryon som ger ett mått på exponeringen för miljögifter skiljer sig inte signifikant mellan Vänern och Vättern under 1999-2002, eventuellt beroende på inhomogena prov. Under 2001 var provmängderna mer homogena och en högre andel missbildade embryon registrerades i Vättern jämfört med Vänern. Den högsta andelen missbildade embryon fanns på station 3 utanför Hjo där även den lägsta fekunditeten observerades. Det finns dock ingen korrelation mellan fekunditet och missbildade embryon. Under perioden 1996-2002 minskade missbildningarna i Vättern. Sedimenthalterna av metaller är genomgående högre i Vänern än i Vättern med undantag för Cd som visar jämförbara halter i båda sjöarna. Trots den högre exponeringen i Vänersediment registrerades en lägre frekvens missbildade embryon än i Vättern och vår hypotes är att den lägre näringsnivån i Vättern kan förstärka effekterna av miljögifter.

Under 2001 och 2002 observerades både honor och hannar av vitmärla som var minst 2 månader försenade i sin sexuella utveckling. Andelen vitmärlor med försenad sexuell utveckling var högre i Vänern än i Vättern och en ökning registrerades mellan 2001 och 2002. På den mest påverkade stationen i Vänern (stn 2) var 80 % av den vuxna populationen i avvikande utvecklingsfas. Hannarna var mer försenade i sin utveckling än honorna. Av de honor som inte befruktats utan fortfarande bar sina oocyter (ägganlag) hade en större andel degenererade oocyter, vilket innebär att befruktning inte längre är möjlig. Hormonnivåerna hos honor med degenererade ägganlag var mycket låga till obefintliga. Orsaken till de kraftiga reproduktionsstörningarna är oklara men skadorna har uppkommit under en period då både Vänern och Vättern tillförts mycket stora vattenflöden. En mängd olika substanser i tillflödena kan ha orsakat effekterna. Det är dock inte troligt att kraftigt hormonstörande ämnen tillförts Vänern då hormonnivåer i juvenila vitmärlor inte skilde sig jämfört med vitmärlipopulationer från Östersjön av samma årsklass och ålder. Effekterna är dock alarmerande och bör följas upp.

Vitmärlans reproduktion i Vänern och Vättern

Bakgrund

Vitmärlans embryonalutveckling har under snart 10 år använts som ett redskap inom miljöövervakningen i Östersjön för att detektera kontaminerade sediment. Genom att studera olika variabler relaterade till reproduktionscykeln hos vitmärlan vill vi få svar på hur substanser som är associerade till sedimentet påverkar reproduktionsutfallet. Metodiken har även prövats i sötvatten med gott resultat (Sundelin et al. 1999, 2001). Vi har nu genomfört studier under 4 år i Vättern och 3 år i Vänern. Kraftiga reproduktionsstörningar har observerats i både Vättern och Vänern i form av mycket låg fekunditet och döda och odifferentierade ägg och embryon i Vättern samt försenad sexuell utveckling i Vänern (Sundelin och Eriksson 1995, Sundelin et al. 1999, 2001). Föreliggande studie genomfördes i syfte att studera hur skadorna varierar i ett tidsperspektiv. För att få en uppfattning om den normala variationen krävs upprepade studier med relativt tät frekvens. Målsättningen är att visa skillnader i skadebild mellan olika stationer i tid och rum eller om skillnaderna på stationsbasis är små skillnader mellan sjöar eller områden. Vidare är målsättningen att förstå orsakssammanhangen, d.v.s. vilka omgivningsvariabler som orsakat respektive skada.

Kunskap om den naturliga bakgrundsvariationen för ingående variabler är väsentlig för att ge referensvärden och därmed bl. a. bedöma påverkansgraden i recipienter och kontaminerade områden. Missbildade embryon av *Monoporeia affinis* visar en förhållandevis låg spridning i de olika bassängerna i referensområdena i Östersjön. Studier i Östersjön visar att mediantiden, på stationsnivå för att upptäcka en årlig 5-%ig förändring med signifikansnivå $\alpha = 0.05$ är 8 år i Asköområdet och 7 år i Bottenhavet, och med en sannolikhet på 90 % skulle en förändring upptäckas efter 13 respektive 11 år. Dessa prediktioner är erhållna genom datorsimuleringar av regressionsanalyser baserade på medelvärden och spridningsmått från 4 års miljöövervakning i egentliga Östersjön och Bottenhavet. Resultaten grundar sig på andelen missbildade embryon (ca 3 %). Med samma beräkningsgrunder skulle vi med 90 % sannolikhet upptäcka förändringar redan efter 3-4 år om vi istället utgår från andelen normala embryon (ca 97 %), vilket innebär stora möjligheter att upptäcka effekter av miljöbelastning.

De resultat vi erhållit i Vänern och Vättern antyder emellertid att vi inte kan betrakta dessa områden som helt opåverkade av antropogen tillförsel, vilket normalt innebär att spridningen för de olika variablerna är större och längre tid krävs för att upptäcka ev. tidstrender. En tätare provtagnings- och analysfrekvens, t.ex. på årsbasis innebär av förklarliga skäl att vi snabbare kan upptäcka eventuella trender.

Material och metoder

Stationsval och Insamlingsmetodik

Under vecka 4 år 2002 provtogs 4 stationer i Vänern (se Sundelin et al 1999 och 2001 samt Fig. 1). Sediment från 6 stationer i Vättern (Fig. 1) provtogs under vecka 5 med hjälp av en bottenskrapa (Blomqvist och Lundgren 1996). I studien 2001 inkluderades ytterligare en station vid Jungfrun i Vättern för att bättre täcka upp nord-sydlig riktning. Individtätheten var

vid tidigare studier relativt låg på några stationer i Vättern och för att erhålla ett erforderligt stort antal individer användes en bottenskrapa som medger insamling av ett högre antal individer istället för en Van Veen huggare som ger ett kvantitativt prov. Sedimentet sållades försiktigt (för att inte skada amfipoderna som vid tidigare studier i Vättern (Sundelin och Eriksson 1996, Sundelin et al 1999) visat sig vara i dålig kondition) genom 1mm såll för att tillhandahålla de gravida honorna samt juveniler, 1+ och 2+. Dessa överfördes till Vättern-respektive Vänernvatten för senare analys av reproduktionsskador.

Biologisk och kemisk analys

Analys av vitmärslans 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 analyserades enligt Sundelin och Eriksson (1998, se även Handboken för miljöövervakning) under ett stereomikroskop (80 x förstoring). Hos den adulta honan registreras yttre avvikelser som t.ex. parasitförekomst, samt fekunditet (ägg per hona). Embryonerna analyseras med avseende på andelen avvikelser från normal utveckling, missbildade, utvecklade/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 lipidrest (död äggsamling). Kvalitetssäkring sker genom att olika utförare upprepar analysen av ca 50 äggkullar för att kontrollera graden av felprocent. Eftersom gravida vitmärslor från Vättern visat sig vara i dålig kondition påbörjades den biologiska analysen redan på båten i samband med insamlandet. På grund av dåliga väderförhållanden i Vänern även under 2002 kunde inte Vänernamfipoder analyseras omedelbart. Amfipoder från Vänern transporterades vid +4° C och analyserades omedelbart vid framkomsten till laboratoriet. Hormonanalyser (ecdysteroider) i vitmärslan genomfördes med hjälp av RIA (radio immuno assay) enligt modifierad teknik av Chang et al (1979), se Börjesson (2002). Metallanalyser i sediment utfördes av SGAB Analytica (Luleå) som är ackrediterade för metoden. Den relativa sammansättningen av olika fettsyror (FA) utfördes av Geriatriska kliniken Uppsala (se metodik beskriven i Sundelin et al. 2001)

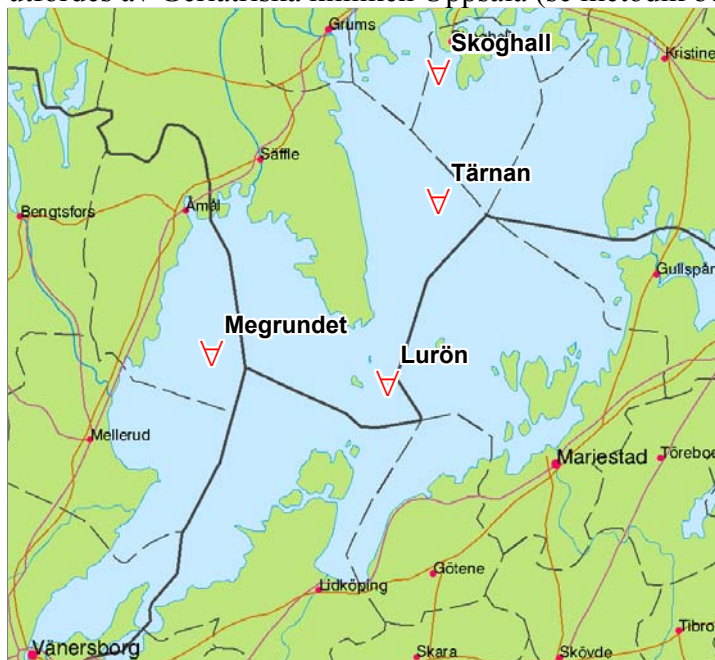


Fig. 1. Provtagningsstationer i Vänern (vä) och Vättern (hö).

Sexuell och hormonell utveckling hos vitmärlan, betydelsen av födans kvalitet

Reproduktionscykeln hos vitmärlan startar på sensommaren och initieras av det minskande dagsljuset (Segerstråle 1971). Vitmärlan och andra amfipoder (märlkräftor) med likartat reproduktionsmönster är beroende av depåfetter för att kunna utveckla de lipidrika oocyterna. Efter kiselalgsblomningen på våren ackumulerar vitmärlan triacylglycerider (TAG), som når ett maximum i vitmärlan under sommaren (Hill 1992, Eriksson et al. submitted). Lipiderna används under uppbyggnaden och mognaden av de fettrika gonaderna, ägganlagen (oocyterna) hos honan. Den sexuella mognaden fortgår under hösten till november då parningssäsongen startar. Innan parningen skalömsar honan en sista gång och ett benpar omvandlas och bildar en äggkammare (marsupium) dit de mogna äggen vandrar varefter befruktningen sker då hanen lämnar sin spermatorför i honans marsupium (Bregazzi 1973, Ward 1985, Steele and Steele 1986). Även hanens morfologi förändras under reproduktionsperioden. Antalet antennsegment ökar från ca 10 st. hos den juvenila hanen till ca 40 st. hos den sexuellt mogna hanen (Sundelin et al 2000). Antennlängden är vid detta tillfälle ca 2 gånger hanens längd. På antennsegmenten finns hos den juvenila hanen och honan ett fåtal kemoreceptorer s.k. aestetasker. Under hanens sexuella mognad utvecklas fler aestetasker på antennsegmenten. Dessa kemoreceptorer tros medverka till kommunikationen mellan könen under parningen och hanens kemoreceptorer noterar närvaron av honans utsända feromoner vilket underlättar kontakten. Den sexuella utvecklingen hos både honan och hanen är hormonellt styrd.

Ecdysteroider är en grupp steroidhormoner som är involverade i både tillväxt, sexuell utveckling, vitellogenesis, reproduktion och embryoutveckling hos både insekter och kräftdjur (Horn et al. 1985, Fingerman et al. 1987, 1998, Laufer et al 1998, Oberdörster et al. 2000). Neurohormoner (peptider) har även en betydelsefull roll för reproduktionen men man har ännu inte lyckats kemiskt identifiera merparten av dessa varför det inte är möjligt att kvantifiera halterna genom analys (för olika hormoners syntes och funktion se Tab. 4). Ecdysteroider syntetiseras via kolesterol och förs sen via hemolymfan till respektive målorgan t.ex. ovarierna (gonaderna). Ecdysteroiderna är involverade i kräftdjurs reproduktion via produktionen av guleprotein, den s.k. vitellogenesis. Vitellogenesisen involverar syntes och upptag av guleprotein. Under vitellogenesisen produceras lipovitellin i antingen hepatopankreas eller ovariet och transporteras till de obefruktade äggen där lipovitellinet klyvs till vitellin som utgör näringen för embryot. Födötillgången kan inverka på reproduktionsutfallet hos kräftdjurspopulationer genom att påverka honans storlek och mängden depåfetter som överförs till ägganlagen för förbrukning under embryogenesisen (Clarke et al. 1990, Wouters et al. 2001).

Det finns således ett mycket intimt samband mellan ecdysteroidnivåer och födotillgång (Snyder och Chang, 1986 och Anger and Spindler, 1987). Kolesterol, som krävs för hormonsyntesen kan inte syntetiseras av kräftdjur utan måste ingå i födan till skillnad från ryggradsdjur, som själva kan syntetisera kolesterol. Även om kolesterol framför allt är en animalisk produkt så finns små mängder kolesterol i kiselalger. Vidare har kiselalger en förhållandevis hög andel fleromättade fettsyror (PUFA) (Volkman et al. 1989). PUFA med långa kolkedjor (≥ 20 C) av linolenic ($\omega 3$) och linoleic ($\omega 6$) familjerna har visat sig betydelsefulla för tillväxt och reproduktion hos planktoniska kräftdjur (Brett och Muller Navarra 1997), bentiska copepoder (Norsker och Stöttup 1994, Ederington et al 1995) och bentiska evertebrater (D'Abramo and Sheen 1993, VanderPloeg et al. 1996). Särskilt eicosapentaensyra (EPA 20:5 $\omega 3$) och docosahexansyra (DHA 22: 6 $\omega 3$) har visat sig vara

viktiga indikatorer för högkvalitativ föda i plankton och EPA har visat sig vara precursor till hormoner som påverkar sexuell mognad och fertilitet (Sargent et al. 1995). Ägg och embryon innehåller enkelomättade fettsyror i högre grad än adulter och betraktas som det viktigaste bränslet under embryogenesen (Clarke et al 1985, Clarke et al 1990). För vidare information om vitmärlans födoresurs se Sundelin et al 2001.

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. Statistiska metoder som använts är Mann-Whitney för jämförelse mellan Vätern och Vättern, för jämförelser mellan stationer användes 2-vägs variansanalys (ANOVA), Kruskal-Wallis och Jonckhere Terpstra. För korrelationsstudier användes Pearsons test. För tidstrender har JonckHere Terpstra använts.

Resultat

Individtätheten av honor var högre på stationerna i Vättern även i årets studie jämfört med 1999 och även högre än 2001, vilket indikerar en högre populationsstorlek. Ett undantag är recipientstationen (station 4) utanför Aspa där individtätheten minskat under perioden 1999-2002. För att över huvudtaget erhålla några individer till analys har vi flyttat provtagningsstationen längre och längre bort från Aspa. Den högre tätheten på övriga stationer medförde dock att ett stort antal gravida honor kunde analyseras. I Vätern observerades en omvänd situation jämfört med 1999 och ett lägre individantal på stationerna registrerades både under 2001 och i årets studie jämfört med 1999. Dessutom observerades en hög andel vitmärlor som ej befruktats vilket medförde att antalet gravida honor till embryonalanalys minskade ytterligare.

Tabell 1. Antal honor och hannar analyserade på respektive station samt stationsdjup 2002.

Station	Honor	Honor m.	Honor m.	Honor m.	Honar	Köns mogna	Omogna	Stations-
	totalt	ägg	friska gonader	degenererade gonader	totalt	hanar	hanar	djup
	N	n	N	N	n	n	N	m
Vättern 1	90	72	8	10	10	7	3	95
Vättern 2	91	62	8	21	44	33	11	90
Vättern 3	59	58		1	0			35
Vättern 4	9	9			0			20
Vättern 5	115	111	2	2	9		9	98
Vättern 6	75	70		5	5	3	2	98
Vätern 1	16	7	3	6	1		1	40-45
Vätern 2	60	16	9	35	40	18	22	76-79
Vätern 3	59	24	10	25	37	31	6	58-62
Vätern 4	35	19	5	11	9	4	5	76-78

Fekunditeten (ägg per hona); Under perioden 1999-2002 fanns signifikanta skillnader mellan sjöarna med lägre fekunditet i Vättern ($p < 0.0001$). Under 2002 hade emellertid fekunditeten ökat i Vättern jämfört med tidigare år. Även fekunditeten i Vänern var högre under 2002 (Fig.2). En jämförelse mellan Vänern och Vättern under 2002 visade att medelfekunditeten även detta år var signifikant högre i Vänern jämfört med Vättern ($p < 0.001$) trots att fekunditeten var mer än dubbelt så hög i Vättern 2002 jämfört med tidigare år. Även vikten hos juvenila vitmärlor var högre i Vänern 2002 (Fig. 3). En trendanalys visar även på ökande fekunditet i Vättern under perioden. I Vänern var fekunditeten av samma storleksordning som den vi finner i Östersjön. I både Vänern och Vättern fanns statistiska skillnader mellan stationer (Fig. 4). För båda sjöarna finns en positiv korrelation mellan fekunditet och halten fettysror Σ FA, PUFA, EPA och DHA ($p < 0.0001$)

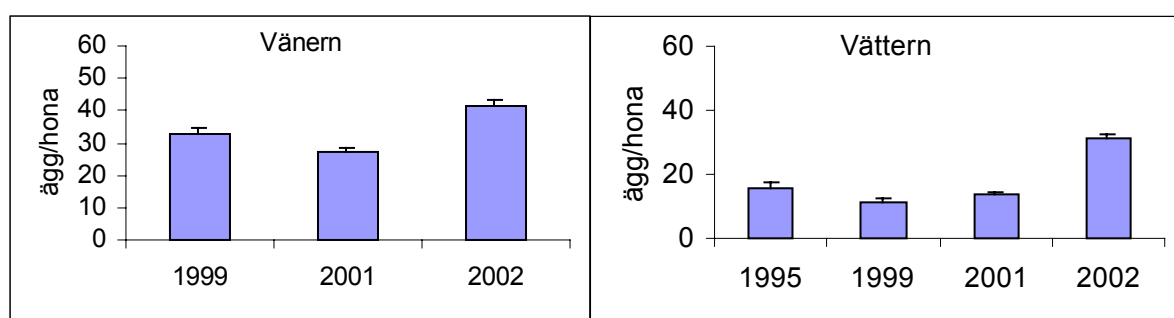


Fig. 2. Medelfekunditeten hos vitmärsla i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde per hona \pm 95 % CI.

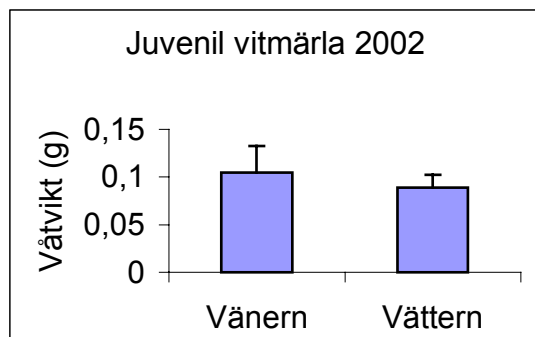


Fig. 3. Vätvikt hos juvenila vitmärslor (1+) i januari 2002.

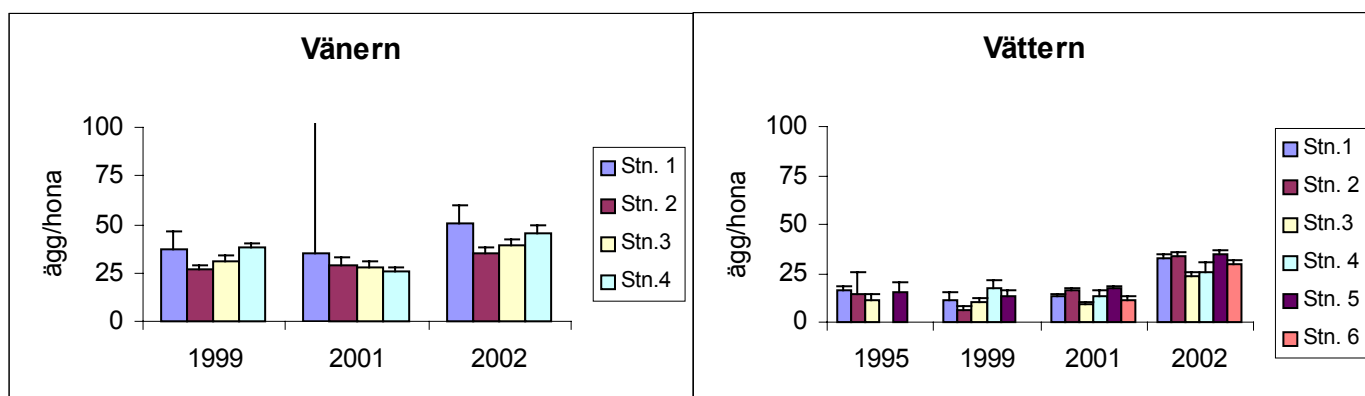


Fig. 4. Fekunditeten (ägg/hona) på de olika stationerna i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde \pm 95 % CI.

FA	Syranamn	Vänern 2001 %	Vättern 2001 %	Vänern 2002 %	Vättern 2002 %
14:0		7,01	3,84	6,61	6,59
16:0	Palmsyra	9,87	6,50	10,23	9,13
16:1 ω 7	Palmitinsyra	37,62	29,65	38,07	41,80
18:0	Stearinsyra	1,02	0,57	0,99	0,84
18:1 ω 9	Oleinsyra	10,64	6,76	10,05	9,41
18:2 ω 6	Linolsyra, LA	0,68	1,92	0,72	0,83
18:3 ω 3	γ -linolensyra, GLA	0,15	0,20	0,15	0,16
18:3 ω 3	α -linolensyra, ALA	0,60	1,35	0,27	0,58
18:4 ω 3	SA			0,66	0,86
20:4 ω 6	Arakidonsyra, ARA	0,41	1,46	0,72	0,66
20:5 ω 3	EPA	7,82	7,64	8,30	8,20
22:6 ω 3	DHA	1,13	3,54	1,09	1,32
	SAFA, %	17,9	11,9	17,8	16,4
	MUFA, %	48,26	36,41	48,12	51,2
	PUFA, %	10,8	16,11	11,8	12,6
	ω 3/ ω 6	6,9	3,3	6,5	6,5

Tabell. 2. Den procentuella fettsyresammansättningen (FA) samt SAFA (mättade), MUFA (enkelomättade) och PUFA (fleromättade, 2 eller fler dubbelbindningar) fettsyror i juvenila vitmärlor från Vänern och Vättern under 2001 och 2002. Samtliga FA är inte identifierade och inkluderade, varför summan inte blir 100 %.

Fettsyresammansättningen i vitmärla; Den procentuella sammansättningen skilde sig mellan sjöarna under 2001 (Tabell 2) medan inga stationsskillnader registrerades. Andelen mättade (SAFA) och enkelomättade (MUFA) fettsyror var lägre i Vättern än i Vänern medan fleromättade fettsyror (PUFA) som DHA (docosapentansyra) och ARA var högre i Vättern under 2001. EPA (eicosapentaensyra) skilde sig inte mellan sjöarna. Palmitinsyra (16:1 ω 7), som indikerar andelen kiselalger i födan (Ahlgren et al. 1992) var högre i vitmärlor från Vänern där även fekunditeten var högre. Under 2002 hade fekunditeten ökat kraftigt i Vättern och fettsyresammansättningen förändrades varför skillnaderna mellan sjöarna minskade. Kvoten mellan fettsyror av ω 3- och ω 6-familjen, som anses ge ett mått på födokvaliteten (Goedkoop et al. 2000) ger ett värde på 6.9 och 3.3 för Vänern respektive Vättern under 2001. Under 2002 var kvoten 6.5 för både Vänern och Vättern (Tab. 2). Tyvärr har vi inte kunnat erhålla kvantitativa analyser för 2002, vilket var avsikten då analyserna beställdes. Betydelsen av den relativa andelen FA i vitmärlan är mer svårtolkad och vid födobrist kan svultna djur innehålla högre andel PUFA även om totalhalten av de fleromättade fettsyrorerna är lägre. Vid provtagningen 2001 gjordes kvantitativa analyser (Fig. 5) och även om vi idag måste betrakta resultaten som osäkra med tanke på svårigheten att erhålla kvantitativa halter i djuren 2002 så är skillnaden i FA, EPA+DHA signifikant mellan sjöarna ($p < 0.05$) och indikerar en skillnad i vitmärlans fettsyrekonzentration i Vänern och Vättern.

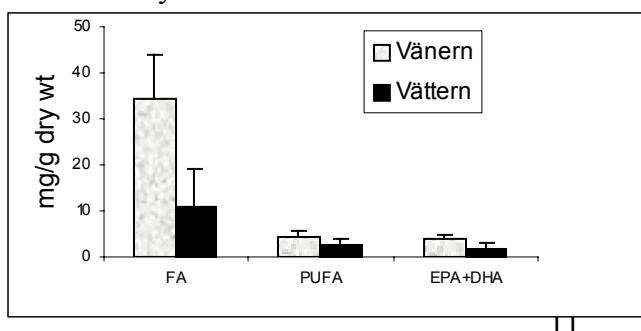


Fig. 5. Halten fettsyror (FA) i juvenila vitmärlor från Vättern och Vänern 2001.

Odifferentierade ägg (% per hona); Under perioden 1999-2002 är andelen odifferentierade ägg högre i Vättern än i Vänern. Även under 2002 fanns signifikanta skillnader mellan sjöarna ($p < 0.05$) (Fig. 6). I Vättern skiljer sig både åren och stationerna och under 2002 var andelen odifferentierade ägg lägre. I Vänern fanns inga skillnader vare sig mellan år eller mellan stationer. En signifikant negativ korrelation mellan fekunditet och odifferentierade ägg konstaterades i både Vänern ($p < 0.05$) och Vättern ($p < 0.0001$) (Fig. 7).

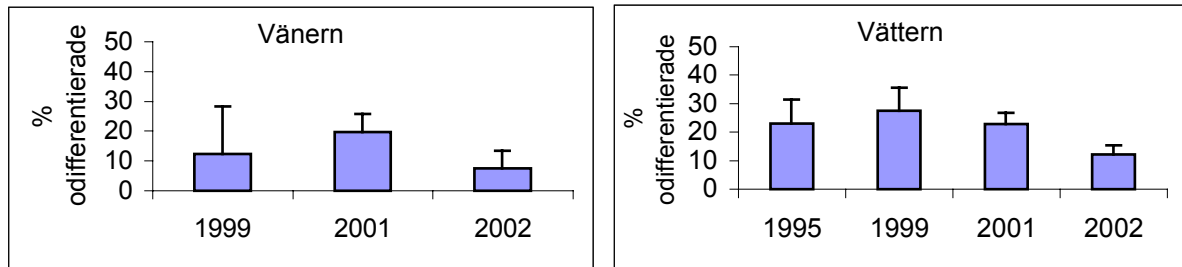


Fig. 6. Andelen odifferentierade ägg hos vitmärlan i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde \pm 95 % CI.

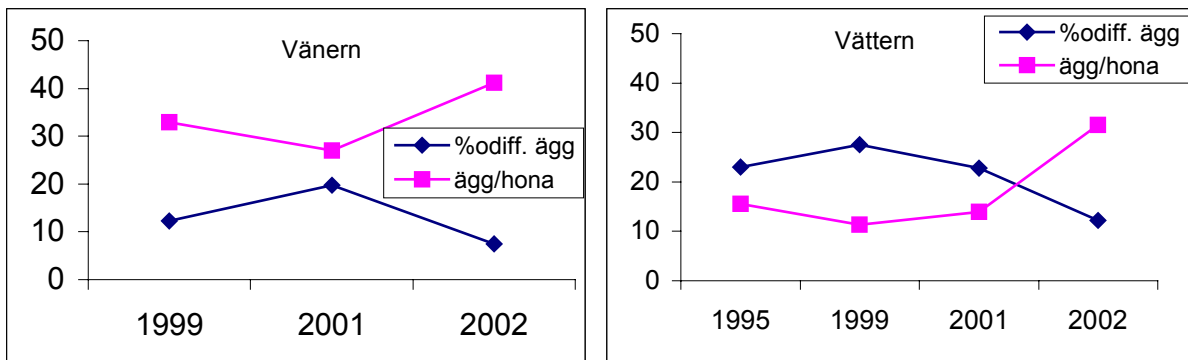


Fig. 7. Ett negativt samband mellan fekunditeten och odifferentierade ägg registrerades.

Döda ägg (% per hona) skiljer sig inte mellan sjöarna under perioden 1999-2002 (Fig. 8). Några skillnader mellan stationer finns inte heller. Vissa år (2001) har dock andelen döda ägg i honans äggkammare varit högre i Vättern än i Vänern men under perioden har andelen döda ägg minskat i Vättern. De döda äggen är negativt korrelerade till fekunditeten ($p < 0.05$).

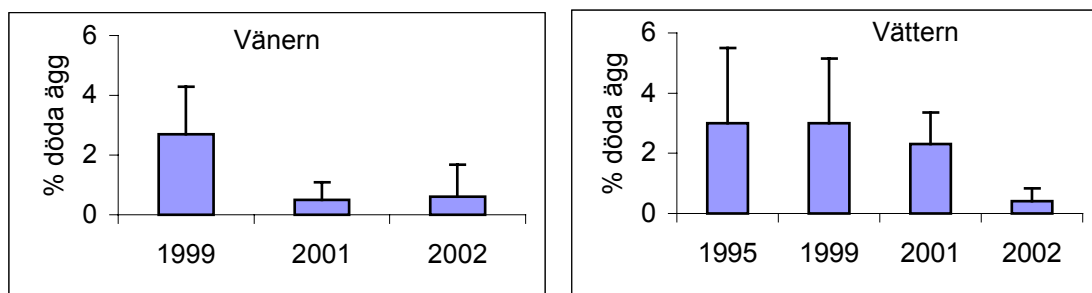


Fig. 8. Andelen döda ägg per hona i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde \pm 95 % CI.

Döda äggsamlingar hos honan är under perioden 1999-2002 högre i Vättern än i Vänern ($p=0.05$) (Fig. 9 och 10). Det finns dock inga skillnader mellan stationerna i varken Vänern eller Vättern.

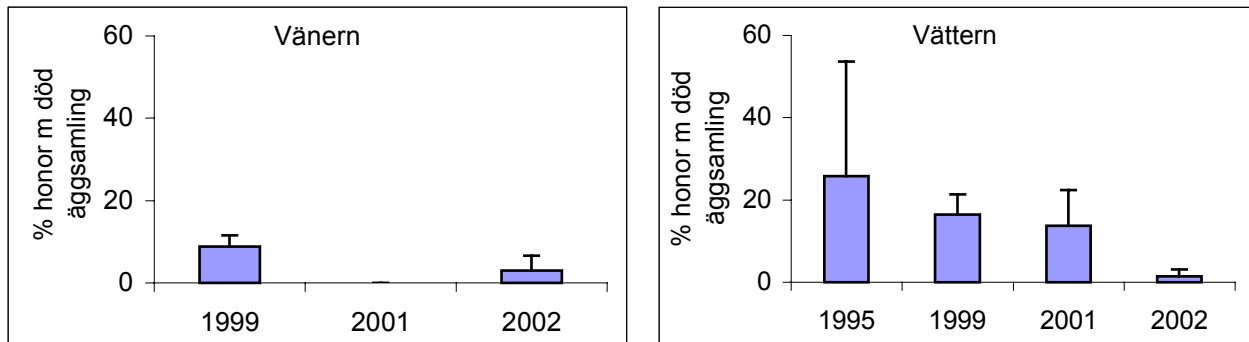


Fig. 9. Andelen honor med död äggsamling i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde \pm SD.

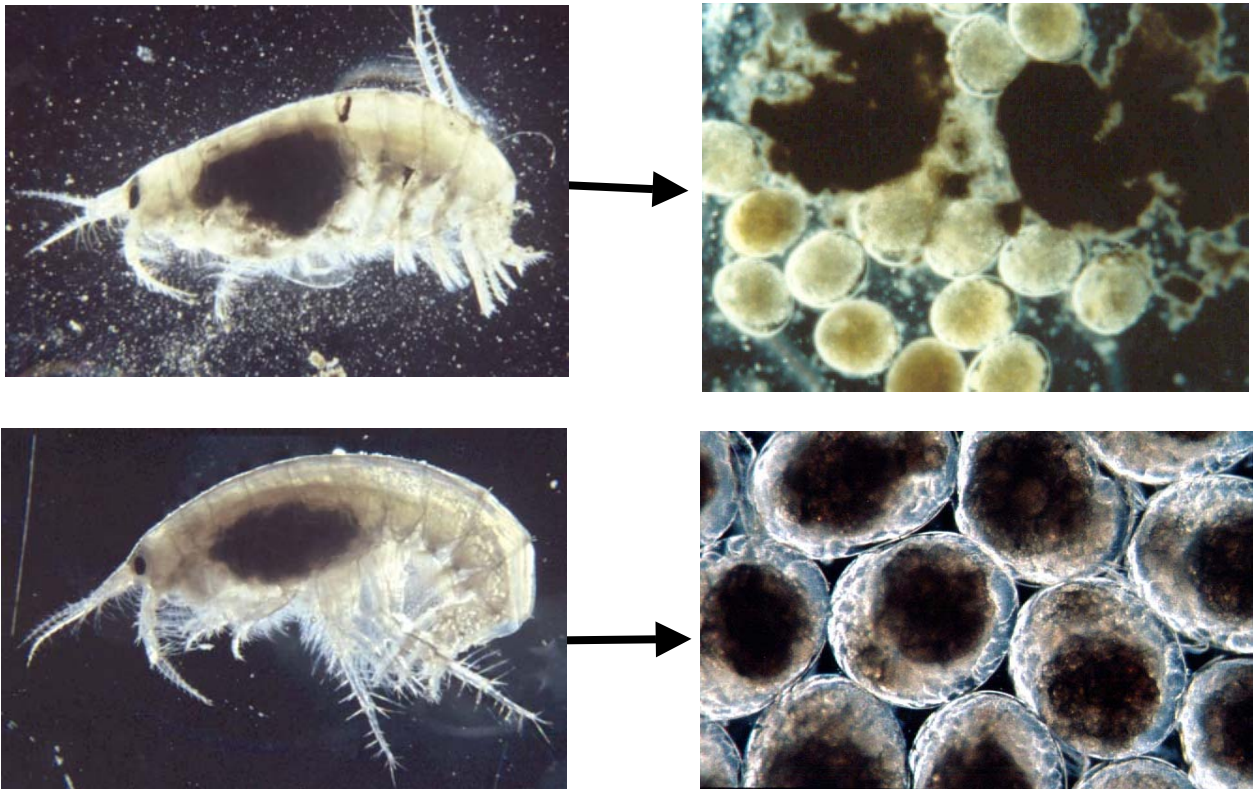


Fig. 10. Hona med död äggsamling ovan, hona med frisk äggsamling nedan.

Missbildade ägg (% per hona) skiljer sig inte mellan Vänern och Vättern under perioden 1999-2002 (Fig. 11). Andelen missbildade embryon minskar emellertid i Vättern medan en motsvarande trend ej kunde urskiljas i Vänern. På grund av ett ojämnt antal prov i sjöarna (ett färre antal gravida honor i Vänern under 2002 samt ett motsatt förhållande under 1999) minskar dock förutsättningen för att uppnå signifikanta skillnader, varför det är möjligt att vi med tillgängligt provtagningsmaterial inte upptäcker skillnader. Under 2001 var provmängden mer homogen och skillnader registrerades mellan sjöarna ($p < 0.001$). 2001 hade även en högre andel missbildade embryon i Vättern än övriga år ($p < 0.0001$). Det finns även skillnader mellan olika stationer, den högsta andelen missbildade embryon registrerades på station 3 vid Hjo (Fig. 12). I Vänern registrerades en högre andel missbildade embryon på recipientstationen utanför Skoghall (Fig. 12). Det finns inget samband mellan fekunditet och missbildade embryon.

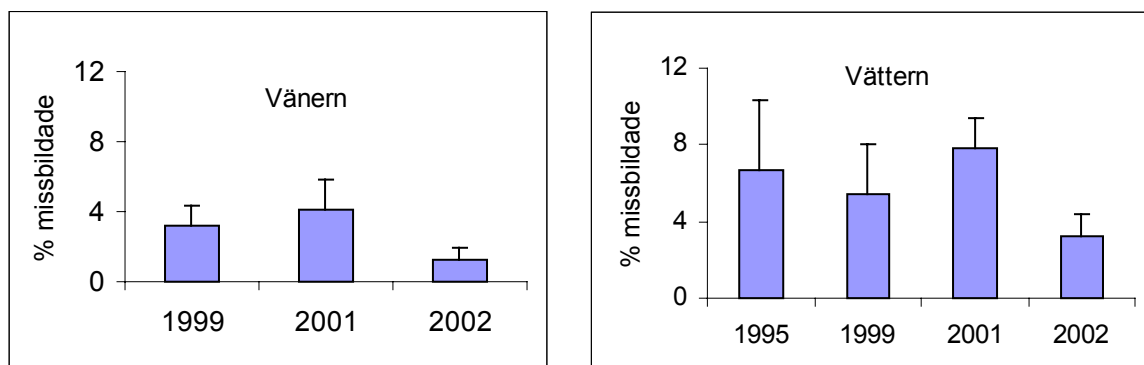


Fig. 11. Andelen missbildade embryon i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde \pm 95 % CI.

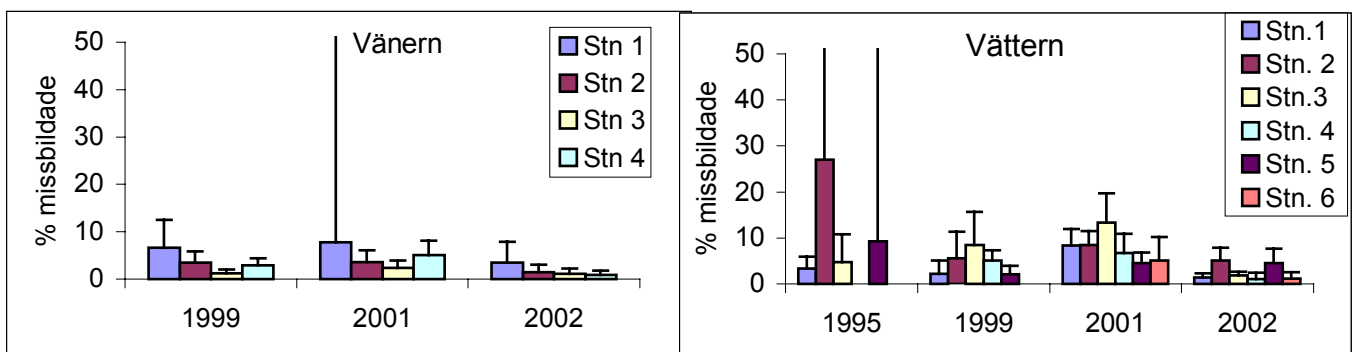


Fig. 12. Andelen missbildade embryon på de olika stationerna i Vänern och Vättern. Data är baserade på medelvärde \pm 95 % CI.

Sexuellt mogna honor och adulta hannar i olika utvecklingsstadier observerades både i Vänern och Vättern ca 2.5 månader efter normal parningssäsong under 2001 och 2002. En ökning av djur i en för normal reproduktionsperiod avvikande utvecklingsfas registrerades i båda sjöarna från 2001 då de första observationerna gjordes. På 3 av 4 stationer i Vänern hade år 2002 mer än 50 % av populationerna inte parat sig under normal parningssäsong, som infaller under november månad (Fig. 13). De sexuellt mogna honorna bar fortfarande oocyter (gonader eller ägganlag) av varierande kvalitet. Vid en fripreparering av oocyterna visade det sig att mer än hälften av honorna hade degenererade oocyter, som delvis upplösts (Fig. 14, 15). Adulta hannar dör normalt några veckor efter parningen i november och bör normalt inte förekomma i slutet av januari. I Vänern observerades både sexuellt mogna hannar som skalömsat en sista gång och således är färdiga för befruktning samt hannar i olika

utvecklingsstadier (omogna hannar) (Tabell 1, Fig. 16). De mogna hannarna hade fortfarande kvar sin pariga spermatorfor i bakre delen av kroppen vilket visar att parning av någon anledning ej ägt rum. Huruvida hannarna mognat under normal lektid och överlevt i detta tillstånd under flera månader eller om de helt enkelt är försenade i sin sexuella utveckling är osäkert eftersom inga provtagningar genomfördes under hösten. Eftersom hannar i olika stadier av sexuell mognadsfas förekommer på samtliga stationer i både Vänern och Vättern vid en period då parningen bör vara avklarad är det mer sannolikt att hannarnas sexuella utveckling är försenad och eftersom alla honor hade mogna oocyter av varierande kvalitet tycks hanarna vara mer försenade i sin utveckling.

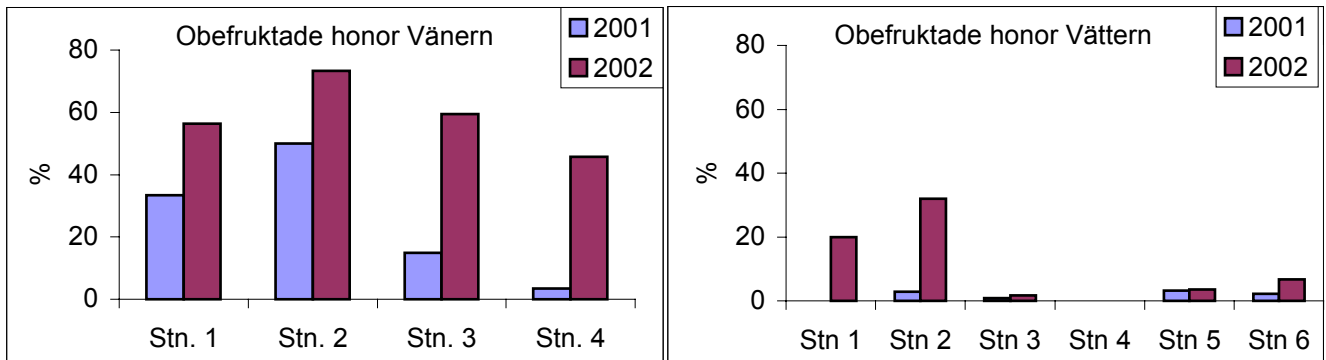


Fig. 13. Andelen adulta honor med ägganlag ca 2.5 månader efter normal parningssäsong.

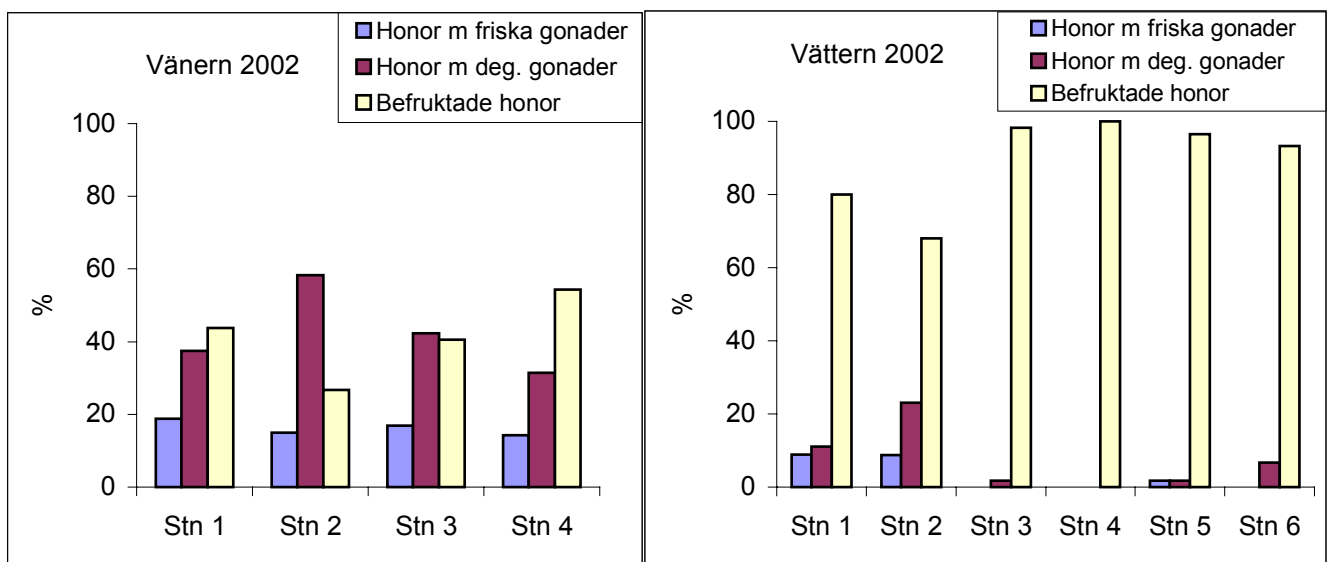


Fig. 14. Andelen adulta honor som har befruktats eller fortfarande bär friska, alternativt degenererade gonader (ägganlag) ca 2.5 månader efter normal parningstid i Vänern och Vättern.

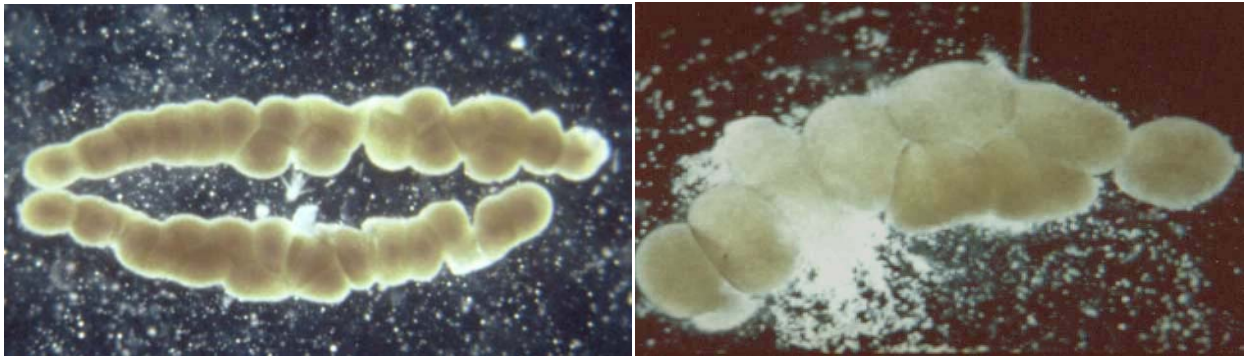


Fig. 15. Frisk parig oocyt eller (samling av obefruktade äggranlag) till två samt oparig oocyt under upplösning, s.k. degenererat äggranlag från Vänern.

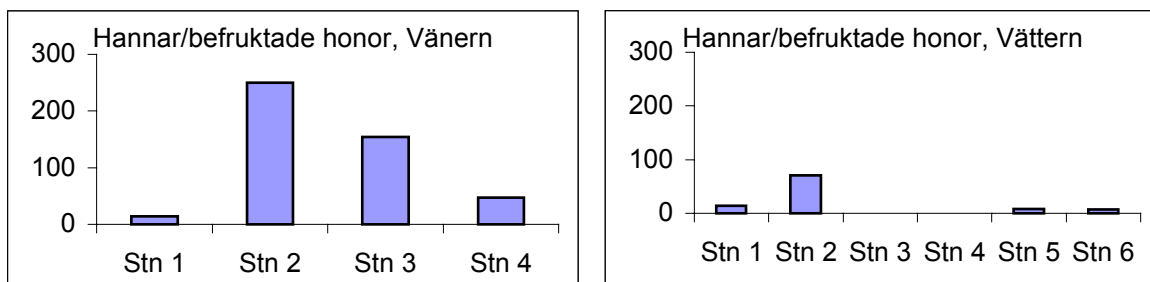


Fig. 16. Procentuell andel adulta hannar (olika utvecklingsstadier) av befruktade honor i Vänern och Vättern 2002. Under normala förhållanden skall den kvoten vara 0 eftersom hannarna dör strax efter befruktningen. När den procentuella andelen hannar överskrider 200 % av de befruktade honorna innebär detta att mer än halva populationen inte parat sig under normal parningstid.

Hormonnivåer hos vitmärlan i Vänern och Vättern. Analys av ecdysteroider med hjälp av RIA (radio immuno assay) har utvecklats vid laboratoriet för Akvatisk Ekotoxikologi, ITM. Vi har modifierat en metod utvecklad för analys av haemolymfa i större kräftdjur (Chang och O'Connor 1979) till att anpassas till heldjursanalys av små amfipoder. Eftersom ecdysteroiderna är involverade i både tillväxt (skalömsning) och reproduktion är det väsentligt att kartlägga den naturliga skalömsningscykeln. Ett stort antal juvenila vitmärlor i olika storleksklasser har därför analyserats tillsammans med embryon, obefruktade honor med friska gonader, sexuellt mogna hannar efter sista skalömsningen samt befruktade honor. Mycket låga hormonnivåer uppmättes i embryon, vilket är naturligt eftersom en inaktiv form av ecdysteroider förekommer i embryon (Fig. 17). Halten ecdysteroid i obefruktade honor var högre och signifikant skild från juveniler och befruktade honor, vilket indikerar att den förhöjda hormonhalten är förknippad med vitellogenesen som pågår i honor under oogenesen. Ecdysteroidhalten i juvenila vitmärlor (1+) från Vänern och Vättern har analyserats och skillnader mellan stationer i Vänern kunde konstateras där mycket låga nivåer uppmättes på station 4 (Fig. 18). Genomsnittshalterna är dock i paritet med juveniler av samma ålder från Östersjön (Fig. 19), varför det inte är sannolikt att ecdysteroidhämmande eller stimulerande ämnen tillförts Vänern och gett upphov till den låga parningsfrekvensen. En analys av de obefruktade honorna med degenererade äggranlag visade dock på mycket låga halter av ecdysteroider (Fig. 20). Det är dock svårt att uttala sig om huruvida dessa honor haft initialt låga hormonnivåer och därför misslyckats i parningen eller om hormonnivåerna minskat under äggranlagens uppluckring. Det senare alternativet är det troligaste.

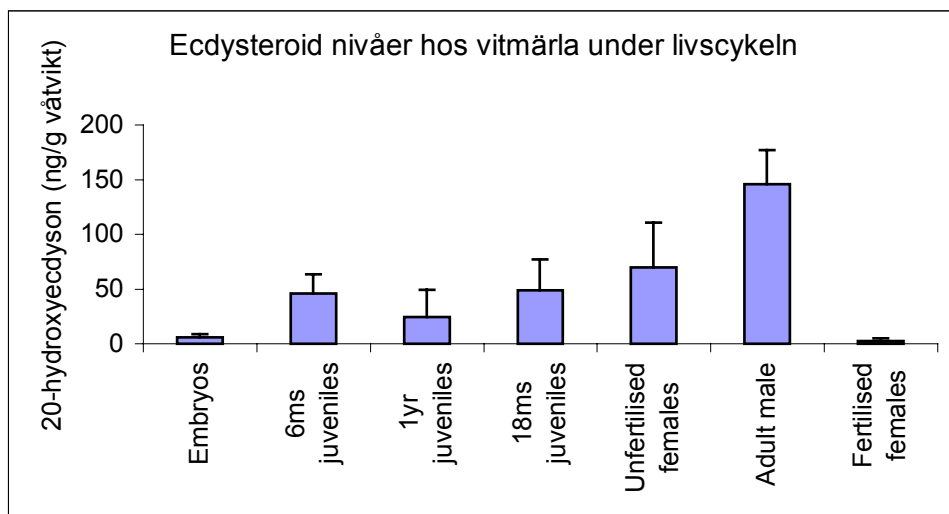


Fig. 17. Ecdysteroidnivåer (20-hydroxyecdysone) hos vitmärla under olika livsstadier. Data baseras på medelvärde \pm SD.

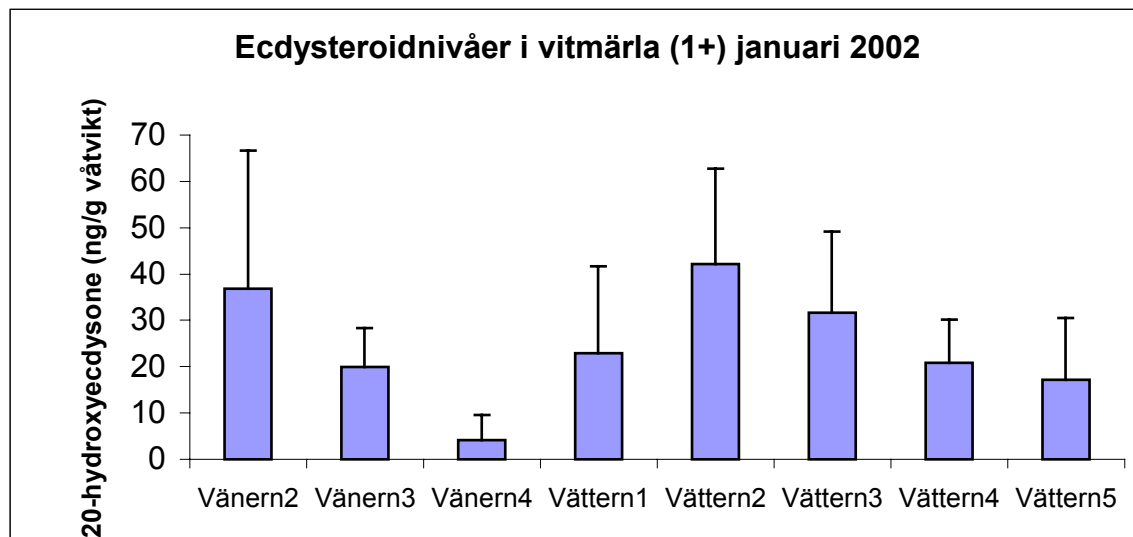


Fig. 18. Hormonnivåer hos vitmärla från olika stationer i Vänern och Vättern. Data baseras på medelvärde \pm SD.

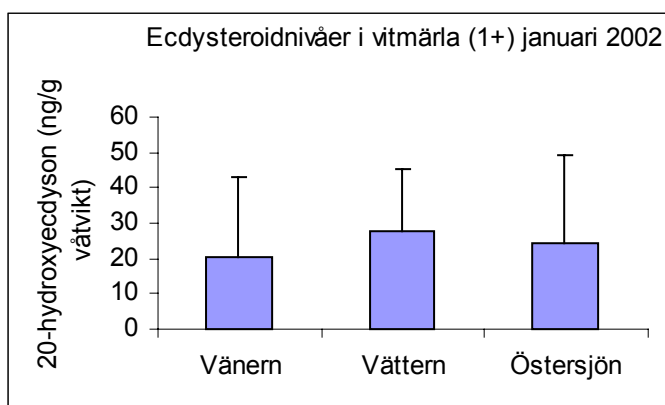


Fig. 19. Hormonnivåer i vitmärla från Vänern, Vättern och Östersjön. Data baseras på medelvärde \pm SD.

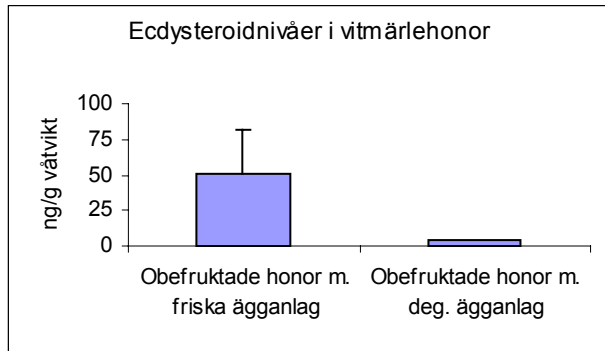


Fig. 20. Hormonnivåer i vitmärlehonors med friska ägganlag och honor med degenererade ägganlag från Vänern.

Metaller i ytsediment; De flesta metallerna skilde sig inte från bakgrundsvärden i referensområden. Mangan och zink var dock förhöjt på alla Vänernstationer och sedimenthalter av kvicksilver var förhöjda i norra Vänern, framför allt på recipientstationen (stn 1) utanför Skoghall (Fig. 21). Även i Vättern registrerades de högsta Hg-halterna i norra delen av sjön men halterna ligger dock i paritet med bakgrunds nivåer i referensområden i Östersjön. Även kadmium var förhöjt både i Vättern och Vänern, där halterna är av samma storleksordning på alla stationer. I Vättern registrerades större skillnader för olika områden och de högsta Cd-koncentrationerna uppmättes i norra Vättern men inte på recipientstationen (stn 4 vid Aspa). Även station 3 söder om Visingsö hade relativt höga koncentrationer medan stationerna i centrala Vättern uppvisade låga koncentrationer av både Cd och Hg.

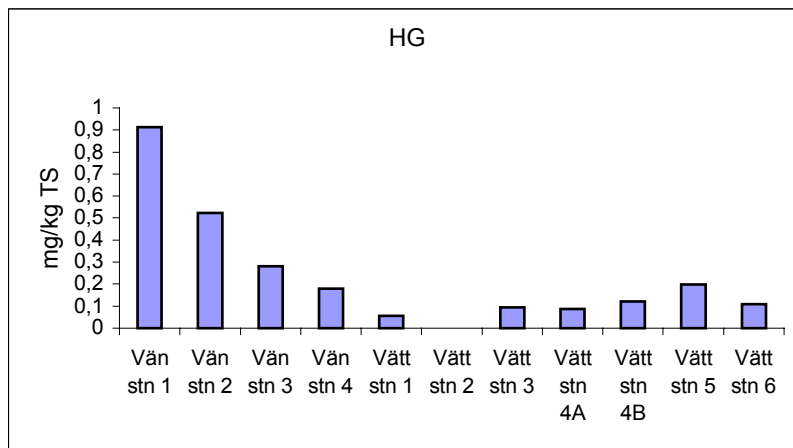
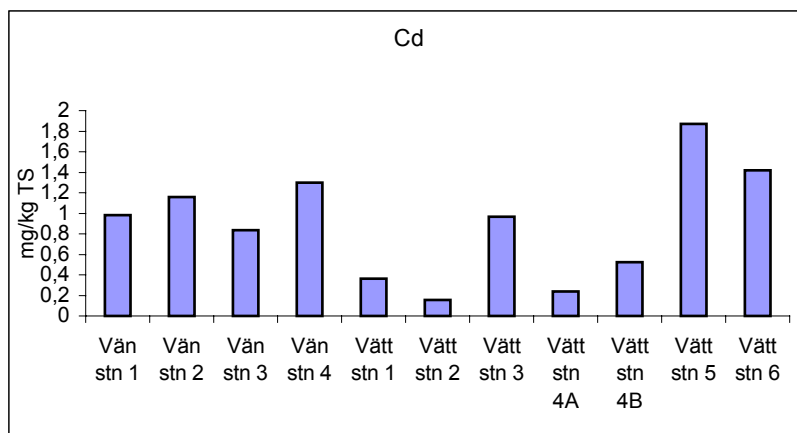


Fig. 21. Sedimentkoncentrationer av Hg (ovan) och Cd (nedan) från olika stationer i Vänern och Vättern 2002. Station 4A representerar stationen utanför Aspa där vi i årets studie inte hittade några vitmärslor varför vi fick ta prover 1 km längre söderut från Aspa (stn 4B).



Tabell 3. Orsaken till olika typer av embryoskador som samtliga leder till att embryot dör

Typ av embryoskada	Orsakas av
Missbildade embryon	Olika typer av miljögifter, metaller och persistenta organiska miljögifter (PHOCs)
Odifferentierade embryon, kan vara obefruktade eller stannat i utvecklingen innan gastrulationen	Syrebrist, förhöjda vattentemperaturer, födobrist
Döda ägg eller embryon	Syrebrist, förhöjda vattentemperaturer, födobrist
Döda äggsamlingar hos honan, äggen dör i ett mycket tidigt utvecklingsstadium och återfinns vid analysen som en oidentifierbar lipidrest	Syrebrist, förhöjda vattentemperaturer, födobrist

Tabell 4. Hormoners roll för skalömsning och reproduktion hos kräftdjur

Hormoner	Syntes	Målorgan	Påverkar
20-hydroxyecdyson, den aktiva form av ecdysteroider som dominerar i haemolymfan	Y-organ via modifikation av kolesterol till ecdyson som sedan aktiveras till 20-hydroxyecdyson	Endoderm, ovarier	Skalömsning, vitellogenesis, sexuell mognad, spermatogenes
Methyl farnesoate (juvenilt hormon)	Mandibularorganet	Hanens och honans gonader	Stimulerar gonadmognad hos båda könen, samt påverkar skalömsningens karaktär
Skalömsningsinhiberande hormon (MIH)	Sinuskörteln på ögonstjälken, x-organet	Y-organet	Inhiberar ecdysteroidsyntesen
Vitellogenininhiberande hormon (VIH)	Sinuskörteln på ögonstjälken	Ovarier	Hämmar vitellogenesisen
Androgen hormon	Androgenkörteln	Gonaderna	Reglerar den sexuella differentieringen
Mandibularorgan-inhiberande hormon	Sinuskörteln på ögonstjälken	Mandibular organet	Hämmar utsöndring av Methyl farnesoat

Diskussion

Låg fekunditet beror på födobrist

Årets studie har ytterligare bekräftat sambandet mellan näringstillgången och fekunditeten. Under 2002 ökade fekunditeten i Vänern och framför allt i Vättern jämfört med tidigare år. Vid en jämförelse med produktionsdata visade det sig att både Vänern och Vättern haft en hög produktion av kiselalger i vårblomningen 2001 (Sonesten 2002 a,b). I Vättern uppmättes det högsta årsmedelvärdet sen 1978. Även i Vänern uppmättes exceptionellt kraftiga kiselalgsblomningar under våren och försommaren 2001 (Sonesten 2002a,b). Produktionsnivåerna under 2001 är avgörande för fekunditeten hos de honor vi analyserar i januari 2002 (Eriksson et al. 2001) eftersom vitmärlan under vårblomningen ackumulerar lipider från kiselalgsblomningen som sedan används för uppbyggnad av gonader (se kapitel om sexuell och hormonell utveckling). Trots att kiselalgsblomningen var förhållandevis hög i Vättern 2001 var nivåerna endast 1/4 av nivåerna i Vänern och i båda sjöarna klassas produktionen som liten (Vättern) eller liten-måttlig (Vänern). Andelen palmitinsyra (16:1 ω 7) i vitmärlan anses indikera andelen av kiselalger i födan och den högre andelen som registrerades i vitmärlor från Vänern skulle kunna vara en markör för att påvisa den större andelen kiselalger i vårproduktionen som registrerats i Vänern jämfört med Vättern (Sonesten 2002 a,b). Tyvärr kan vi i dagsläget inte presentera kvantitativa halter av FA i vitmärlan utan endast den relativa halten vilket är mer svårtolkat. Förhoppningsvis kommer vi att kunna lösa detta analysproblem i framtiden och presentera dels halten totala lipider dels halten FA.

Det finns ett samband mellan odifferentierade, döda ägg och födotillgång

Samtidigt som fekunditeten i Vättern ökade minskade andelen embryoskador i form av odifferentierade ägg och döda äggsamlingar och ett mycket starkt signifikant negativt samband mellan fekunditet och denna typ av embryoskador registrerades i båda sjöarna under provtagningsperioden (1999-2002). Vi har således i årets studie fått ytterligare belägg för vår hypotes att de odifferentierade och döda äggen uppkommer på grund av näringsbrist. Denna hypotes är trolig med tanke på lipiders betydelse för vitellogenesisen som innebär syntes och upptag av guleprotein (Oberdörster et al. 2000) samt dess betydelse för embryogenesisen. Ägg och embryon innehåller monoika (enkelomättade) fettsyror i högre grad än adulter och dessa betraktas som det viktigaste bränslet under embryogenesisen (Clarke et al 1985, Clarke et al 1990). Eftersom andelen av de monoika fettsyrorna, palmitinsyra (16:1 ω 7) och oleinsyra (18:1 ω 9) var signifikant högre i Vänern än i Vättern är hypotesen att tillgången till depålipider som krävs för vitellogenesisen och embryots tillväxt varit otillräcklig i Vättern under perioden 1996-2001. Halten fettsyror utgör ca 80 % av lipidhalten och ger därmed ett mått på totalhalten lipider. En dålig näringstillförsel under den kritiska oogenesisen (ägganlagens utveckling) skulle kunna resultera i skador på ägganlagen så att de inte utvecklas normalt. Att näringssituationen, t.ex. andelen kiselalger i vårproduktionen av alger, påverkar vitmärlans ägg och embryon ett halvår senare beror på att vitmärlan äter intermittert och lagrar depåfetter under produktionsperioden. Dessa lipider används sedan under gonadmognaden då lipider lagras in i gonaderna och senare utgör näringen under embryogenesisen. Kvoten mellan andelen fettsyror av ω 3 och ω 6 familjen, vilket anses indikera en lägre födokvalitet, var lägre i vitmärlor från Vättern under 2001 än 2002, (Goedkoop et al. 2000). Andelen kiselalger i vårblomningen är även högre i Vänern jämfört med Vättern vilket förstärker hypotesen. Andelen kiselalger i Vättern ökade markant under 2001, vilket resulterade i en lägre grad av odifferentierade ägg i vitmärlan året därpå. De fleromättade fettsyrorna EPA, DHA och ARA som anses vara markörer för högkvalitativ föda och även

väsentliga för sexuell utveckling var emellertid inte procentuellt lägre i Vättern jämfört med Vänern. Andelen DHA och ARA var tvärtom signifikant högre i Vättern, vilket försvårar tolkningen. Det är dock möjligt att det var en kvantitativ brist på PUFA i Vättern under 2001 eftersom kvantiteten av dessa fettsyror var lägre i Vätternamfipoder. Vår hypotes är dock att huvudorsaken till de odifferentierade äggen inte beror på en lägre födokvalitet eftersom skadorna minskade då kiselalgsproduktionen ökade. En mer trolig förklaring är istället en låg produktion av kiselalger som ger en betydligt lägre lipidhalt i vitmärslan och därmed en lägre halt av de essentiella fettsyror som krävs för vitellogenese, oogenese och embryogenese.

Ökar miljögiftseffekterna i den näringsfattiga Vättern?

Missbildade embryon skiljer sig inte mellan sjöarna under provtagningsperioden men under 2001 var missbildningarna högre i Vättern än i Vänern och den uteblivna signifikansen under hela perioden skulle kunna bero på inhomogena prov. Den låga befruktningfrekvensen i Vänern under hösten 2001 resulterade i ett lågt antal gravida honor för analys av missbildade embryon i januari år 2002 medan ett högre antal gravida honor analyserades i Vänern. Ett omvänt förhållande registrerades för Vättern 1999 då antalet gravida honor var lågt i Vättern och högre i Vänern (Sundelin et al. 1999). Även skillnaderna mellan sjöarna under perioden 1999-2002 inte är signifikanta så är dock andelen missbildade embryon i numerär högre i Vättern. En analys av spårmetaller i sediment från de olika stationerna i Vättern visade bakgrunds nivåer för de flesta metaller förutom Cd. I Vänern registrerades förhöjda sedimenthalter av både Mn, Zn, Hg och Cd. Trots att kvicksilverhalterna är relativt höga i Kattfjorden (den norra delen av sjön utanför en klor-alkalifabrik nära Skoghall) har utsläppen från fabriken minskat under de sista 20 åren (Lindenström 2001) och halterna är idag endast hälften av nivåerna 1994.

Sammantaget är således metallbelastningen högre i Vänern än i Vättern trots att andelen missbildade embryon tycks vara högre i Vättern.

Uppgifter rörande sedimentbelastningen av organiska miljögifter är mer begränsade. Det finns dock en studie över dioxinlika PCBer och dioxiner i Vättern i början av 90-talet (de Wit 1993) samt en studie över både metaller och organiska miljögifter (PCBer och EOCL) i Vänern 1996-1998 (Torstensson 1999). Sedimentkoncentrationer av dioxiner och PCBer i Vättern uppvisade 10-15 respektive 40 gånger de nivåer som uppmätts i referensområden (de Wit 1993). Dioxiner (TCDD ekvivalenter) i sediment från norra Vättern visade dubbla halten jämfört med övriga delar av Vättern (de Wit 1993). Sedimentdata över PCBer i Vänern och Vättern är svåra att jämföra men PCB halter i fisk är lägre i Vänern (Lindell et al. 2001), vilket skulle kunna indikera lägre sedimentkoncentrationer. Ett flertal faktorer styr biotillgänglighet och bioackumulation varför det är svårt att uttala sig om ev. sedimenthalter på basis av halter i fisk. För t.ex. dioxiner finns inga uppgifter i Vänern.

Eftersom en begränsad information över belastningen av organiska miljögifter i Vänern och Vättern finns tillgänglig, är det svårt att uttala sig huruvida risken för sedimenttoxicitet med avseende på organiska miljögifter är högre i Vättern eller Vänern. Det finns dock inga sedimentdata som klart förklarar den högre andelen missbildade embryon som registrerades i Vättern under 2001 då homogena provmängder underlättade den statistiska analysen. Metallhalterna i sediment är istället genomgående högre i Vänern än i Vättern. De högsta nivåerna för både metaller och organiska miljögifter analyserades i norra Vättern medan den högsta frekvensen missbildade embryon registrerades på station 3 vid Hjo där vitmärslan hade en mycket låg fekunditet. Det är möjligt att en viss belastning av miljögifter i kombination med lågt näringsinnehåll förstärker miljögiftseffekterna. Wiederholm et al (1987) rapporterar

att bottenfaunan uppvisar en högre känslighet för kontaminanter i oligotrofa sjöar och i laboratorieexperiment minskade toxiciteten vid födotillsats. Svultna kräfdjur har visat sig ackumulera mer Cd än välnärda (Styrishave and Andersen 2000, Styrishave et al 2000). Oligotrofa klarvattensjöar med låg halt organiskt kol och lång uppehållstid som Vättern är mer känsliga för kontaminering av POPs (persistent organic pollutants) beroende på lipofiliteten hos POPs (Lindell et al. 2001 och referenser häri). Vitmärslan har dessutom en låg eller ingen metabolism av t.ex. PCBer, vilket innebär att koncentrationen av PCB beräknad på lipidbasis ökar då lipidhalten går ned under vitmärslans reproduktion (Eriksson-Wiklund et al. submitted). Detta innebär att vitmärslan dels överför en stor del av ackumulerad PCB till avkomman dels att koncentrationerna på lipidbasis är högst under den känsliga reproduktionsperioden (Eriksson-Wiklund et al. submitted).

Kan kraftiga tillflöden till Vänern och Vättern ha orsakat störningar i vitmärslans sexuella mognad och parningsförmåga?

Vid studien 2001 observerades framförallt i Vänern en oroväckande stor andel av vitmärslapopulationen som inte parat sig under normal lektid i november. Även i Vättern observerades några enstaka exemplar av adulta vitmärslor som var försenade i sin sexuella utveckling. Andelen av populationen som inte parade sig ökade emellertid kraftigt i både Vänern och Vättern under 2002 och på station 2 i Vänern var endast 20 % av de adulta honorna befruktade. En övervägande andel av de obefruktade honorna hade degenererade oocyter, vilket betyder att en befruktning inte längre är möjlig. Eftersom vitmärslan bara parar sig en gång under livscykeln kommer dessa honor inte att lämna någon avkomma. Det är möjligt att honorna med friska ägganlag är försenade i sin sexuella utveckling medan honor med degenererade ägganlag var köns mogna i november men av någon anledning har kommunikationen mellan könen störts och parning har uteblivit. En annan möjlig orsak är att hanens utveckling av någon anledning störts och blivit asynkron i relation till honans (en stor del av de adulta hannarna är ännu inte köns mogna 2.5 månader efter normal parningssång), vilket skulle kunna leda till brist på möjliga partners under lektiden. Eftersom honor med omogna oocyter ej förekommer i populationerna är det sannolikt att hannarna är mer försenade än honorna.

Vilken mekanism i detalj som påverkats är svårt att uttala sig om innan fler studier under reproduktionsperioden har genomförts men resultatet är oroväckande och orsaken/orsakerna bör utredas. Mycket kraftiga tillflöden har drabbat framför allt Vänern och vattenståndet var i januari 2001 det högsta sen 1927 (info från Vänernkansliet). Även under sommaren 2000 bidrog de rikliga regnen till kraftiga flöden. Även om Vätterns vattenstånd i januari 2001 var det högsta sen 1940 (Sonesten 2002) beroende på extremt nederbördsrik höst/förvinter året innan så var årsmedelvattenföringen under 2001 lägre än 1999 men högre än 2000. De negativa effekterna i form av låg parningsfrekvens, sent utvecklade vitmärslor av båda könen samt hög frekvens honor med degenererade oocyter började uppträda vid provtagningen i januari 2001. Dessa kraftiga reproduktionseffekter hade inte tidigare noterats i Vänern eller Vättern vid de tidigare provtagningarna under 1996 och 1999. Enstaka individer med försenad utveckling har tidigare observerats i Östersjön där vi har en tendens till ökning men effekterna har inte varit av den omfattningen som observerats i framför allt Vänern. Exponering för sediment från sjön Molnbyggen resulterade i en försenad sexuell utveckling hos vitmärslan (Sundelin et al. 2000). Dessa effekter avviker emellertid från de vi ser i Vänern eftersom Molnbyggenexperimenten resulterade i att den sexuella utvecklingen avstannade och honor med oocyter i varierande utvecklingsgrad observerades.

Det verkar finnas ett tidsbundet samband mellan reproduktionseffekterna och mycket kraftiga tillflöden. Det är troligt att substanser har tillförts sjöarna i samband med den kraftiga nederbörden. Mycket preliminära analyser av ecdysteroidhalter i juvenila vitmärlor påvisar inte några effekter på hormonnivåer. För att vi med säkerhet skall kunna avskrivna den teorin måste vi emellertid analysera även könsmogna djur där en större andel av ecdysteroiderna används för reproduktion. Hos juvenila vitmärlor används ecdysteroiderna framför allt för skalömsning och tillväxt. Utebliven hormoneffekt på juveniler indikerar emellertid att ecdysteroidhämmande substanser ej tillförts Vänern. Det finns emellertid en mängd andra substanser i den kraftiga tillrinningen som kan ha orsakat effekterna och även andra reproduktionshormoner än ecdysteroider som kan ha påverkats. Mängden organiskt material har dessutom ökat och siktdjupet har minskat under de senaste åren (Wehenmeyer och Sonesten 2002). Även detta kan ha en negativ inverkan på vitmärlan som är beroende av en viss ljusperception för att upprätthålla en normal reproduktionscykel. Det finns även en möjlighet att vitmärlan exponerats för högre vattentemperaturer än normalt. Temperaturdata från stationsdjupet av studerade stationer saknas

Trots att kiselalgsblomningen varit mycket kraftig i Vänern under de sista åren så har individtätheten av vitmärlan minskat (Sonesten 2002). Det är dock naturligt att populationsstorleken minskar om nyrekryteringen minskar till 20 % på grund av utebliven parning, som skett på den mest påverkade station 2 i Vänern.

Slutsatser

Under de fyra år som vitmärlans reproduktion har studerats i Vättern har situationen förbättrats. Andelen odifferentierade ägg har minskat och fekunditeten har ökat, vilket medför att nyrekryteringen till vitmärlpopulationerna förbättrats. Orsaken till att skadorna minskat och fekunditeten ökat skulle kunna bero på en ökad primärproduktion under 2001. Vättern är emellertid fortfarande en mycket oligotrof sjö och även om kiselalgsblomningen ökade under 2001 så klassas produktionen som låg. Resultaten visar emellertid att Vättern klarar att upprätthålla sina vitmärlpopulationer trots sin näringsfattiga status och vitmärlan tycks kunna utnyttja resurserna väl. Andelen missbildade embryon som ger en uppfattning om miljögiftsexponering visar att Vättern ligger över bakgrundsnivåer uppmätta i bl.a. Östersjön. Det är möjligt att effekten av sedimentassocierade miljögifter blir förstärkta på grund av Vätterns oligotrofa karaktär. Kunskapen om miljögiftskontaminering i Vätterns botten sediment är emellertid begränsad. För att få en uppfattning om miljögiftssituationen krävs en mer omfattande studie över utbredningen av sedimentbundna miljögifter och även studier av biotillgängligheten för vitmärlan.

Vänerns vitmärlpopulationer har under 2001 och 2002 uppvisat mycket kraftiga effekter i form av försenad sexuell utveckling och hög andel av degenererade ägganlag. Det är troligt att effekterna beror av kraftiga flöden till Vänern under 2000 och 2001. Det är dock inte säkert att den försenade sexuella utvecklingen (där honan har friska gonader) och de degenererade gonaderna har uppkommit på grund av samma orsak. Även i Östersjön har vi en indikation på ökande andel vitmärlor som misslyckats att reproducera sig under normal parningstid. En ökad andel av honor med degenererade ägganlag har observerats på stationer i både Bottenhavet och Egentliga Östersjön. Populationsstorleken har även minskat drastiskt i framför allt Bottenhavet och vid mycket låga populationsstorlekar kan det uppstå problem med att hitta en partner, vilket skulle kunna innebära att ägganlagen hos de obefruktade honorna så småningom degenererar. Den övervägande andelen honor med degenererade ägganlag i Vänern beror dock troligtvis på en plötslig störning som skett i vitmärlans habitat.

Anledningen till att hannarna är försenade i sin utveckling kan emellertid inte förklaras av brist på partners och det är väsentligt att följa upp vitmärlepopulationerna i Vänern för att utreda om skadorna minskar vid normala vattenflöden eller om mer långsiktiga effekter kan ha uppkommit. Om skadorna kvarstår är det väsentligt att utreda orsaken/rna till den avvikande sexuella utvecklingen.

Kunskapen om vilka faktorer som styr vitmärslans populationssvängningar är delvis oklara och även om födans kvalitet för både tillväxt och reproduktion har uppmärksamats på senare år är det väsentligt att närmare utreda sambandet. Vi behöver även mer kunskap om hormonsyntes och sambandet mellan hormonella störningar och reproduktionseffekter.

Referenser

- Ahlgren, G. 1992. Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae. *J. Phycol.* 28: 37–50.
- Anger K. and Spindler K.D. 1987. Energetics, moult cycle and ecdysteroid titres in spider crab (*Hyas areaneus*) starved after the D₀ threshold: a critical point in the larval development of decapod crustaceans. *J Exp Mar Biol Ecol* 108: 15-30.
- Blomqvist, S, Lundgren L 1996. A benthic sled for sampling soft bottoms. *Helgoländer Meeresunters* 50: 453-456
- Bregazzi PK 1973. Embryological development in *Tryphosella kergueleni* (Miers) and *Cheirimedon femoratus* (Pfeffer) (Crustacea: Amphipoda) *Br Antracet Surv Bull* 32: 63-74
- Brett, M.T., and Müller-Navarra, D.C. 1997. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic food web processes. *Freshwat. Biol.* 38: 483–499.
- Börjesson, T. 2002. Using radioimmunoassay (RIA) for measuring ecdysteroids in *Monoporeia affinis*. Master thesis. Stockholm University.
- Chang E.S. and O'Connor J.D. 1979. Arthropod molting hormones. In Jaffe BM, Beherman HR. eds. *Methods of hormone radioimmunoassay*. P 797-814. Academic Press.
- Clarke A, Skadsheim A, Holmes LJ 1985. Lipid biochemistry and reproductive biology on two species of Gammaridae (Crustacea: Amphipoda). *Mar Biol* 88: 247-263.
- Clarke A., Brown J.H. and Holmes L.J. 1990. The biochemical composition of eggs from *Macrobrachium rosenbergii* in relation to embryonic development. *Comp. Biochem. Physiol.* 96B: 505-511.
- D'Abramo L.R., and Sheen, S.-S. 1993. Polyunsaturated fatty acid nutrition in juvenile freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 115: 63–86.
- De Wit, C. 1993. Studier av dioxiner och liknande substanser I Vättern. Vätternvårdsförbundet rapport 33.
- Dermott R.M., Corning K. 1988. Seasonal ingestion rates of *Pontoporeia hoyi* (Amphipoda) in Lake Ontario. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 45: 1886-1895.
- Ederington, M.C., McManus, G.B., and Harvey, H.R. 1995. Trophic transfer of fatty acids, sterols, and a triterpenoid alcohol between bacteria, a ciliate, and the copepod *Acartia tonsa*. *Limnol. Oceanogr.* 40:860–867.
- Eriksson-Wiklund, A-K., Håkansson, E., Sahl, P., Sundelin, B. 2001. Vitmärslans embryonalutveckling. *Bottniska Viken 2000, årsrapport från den marina miljöövervakningen*.
- Eriksson-Wiklund, A-K., Axelmann, J., Sundelin, B. Dynamics of lipids and polychlorinated biphenyls in two Baltic amphipods - A field study, submitted.
- Fingerman M. 1987. The Endocrine mechanisms of crustaceans. *Journal of crustacean biology* 7: 1 –24.

- Fingerman M., N. C. Jackson and R. Nagabhushanam. *Hormonally regulated functions in crustaceans as biomarkers of environmental pollution*. Comparative Biochemistry and Physiology: Part C. **120**: 343-350 (1998).
- Goedkoop, W., Sonesten, L., Ahlgren, G. and Boberg, M. 2000. Fatty acids in profundal benthic invertebrates and their major food resources in Lake Erken – Seasonal variation and trophic indications. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **57**: 2267–2279.
- Hill C 1992. Seasonal changes in lipid content and composition in the benthic amphipods *Monoporeia affinis* and *Pontoporeia femorata*. *Limnol Oceanogr* **37** (6): 1280-1289
- Horn D. H. S. and R. Bergamasco. 1985. *Chemistry of ecdysteroids*. In Kerkut, G. A. and L. I. Gilberts (eds). *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. **7**: 185-248.
- Laufer H., W. J. Biggers and J. S. B. Ahl. 1998. *Stimulation of ovarian maturation in the crayfish Procamburus clarkii by Methyl Farnesoate*. *General and Comparative Endocrinology*. **111**: 113-118.
- Lindell, M., G. Bremle, Broberg, O., Larsson, P 2001. Monitoring of persistent organic pollutants (POPs): Examples from Lake Vättern, Sweden. *Ambio* **30** (8): 545-551.
- Lindenström, L. 2001. Mercury in sediment and fish communities of Lake Vänern, Sweden: Recovery from contamination. *Ambio* **30** (8): 538-544
- Norsker, N.-H., and Støttrup, J.G. 1994. The importance of dietary HUFAs for fecundity and HUFA content in the harpacticoid *Thisbe holothuriae*. *Aquaculture* **125**: 155–166.
- Oberdörster E., Rice C.D. and Irwin L.K. 2000. Purification of vitellin from grass shrimp *Palaemonetes pugio* generation of monoclonal antibodies, and validation for the detection of lipovitellin in Crustaceans. *Comp. Biochem. Physiol Part C*: 199-207.
- Sargent, J.R., Bell, J.G., Bell, M.V., Hendersen, R.J., and Tocher, D.R. 1995. Requirement criteria for essential fatty acids. *J. Appl. Ichthyol.* **11**: 183-198.
- Segerstråle S.G. 1971. On summer-breeding in populations of *Pontoporeia affinis* (Crustacea Amphipoda) living in lakes of North America. *Comm. Biologicae* **44**: 1-18
- Sonesten, L. 2002 a. Vattenkvaliteten i Storvänern. Växtpankton i Storvänern, Botten djur på Storvänerns djupbotten. Årsrapport 2001 till Vänernkansliet
- Sonesten, L. 2002 b. Vättern och dess tillflöden 2001. Årsrapport till Vätternvårdsförbundet
- Snyder M.J. and Chang E.S. 1986. Effects of eyestalk ablation on larval molting rates and morphological development of the American lobster *Homarus americanus* *Biol Bull* **170**: 232-243.
- Snyder M.J. and Mulder E.P. 2001. Environmental endocrine disruption in decapod crustacean larvae: hormone titers, cytochrome P450, and stress protein responses to heptachlor exposure. *Aquat Tox* **55**: 177-190.
- Støttrup, J.G., and Jensen, J. 1990. Influence of algal diet on feeding and egg production of the calanoid copepod, *Acartia tonsa* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **141**: 87–105.
- Steele VJ, Steele DH (1986) The influence of photoperiod on timing of reproductive cycles in *Gammarus* species (Crustacea, Amphipoda). *Amer Zool* **26**: 459-467
- Støttrup J.G. and Jensen J. 1990. Influence of algal diet on feeding and egg-production of the calanoid copepod *Acartia-tonsa dana*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **141**(2-3): 87-105.
- Styrishave B., Andersen O. 2000. Seasonal variations in hepatopancreas fatty acid profiles of two colour forms of shore crabs, *Carcinus maenas*. *Mar Biol* **137**: 415-1222.
- Styrishave B., Petersen MF., Andersen O. 2000. Influence of cadmium accumulation and dietary status of fatty acid composition in two colour forms of shore crabs, *Carcinus maenas*. *Mar Biol* **137**: 423-433.
- Sundelin, B., A-K. Eriksson. 1995. Effekter på embryonalutvecklingen hos vitmärkla (*Monoporeia affinis*) i Vättern. Miljöövervakning Vättern, Förslag till program och undersökningstyper, Rapport nr 36.

- 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.
- Sundelin, B., Eriksson, A-K and Håkansson, E. 1999. Embryonalutveckling hos vitmärkla i fyra sjöar – Vänern, Vättern, Vågfjärden och Rogsjön. Report to Swedish EPA.
- Sundelin B., Ryk L., Malmberg G. 2000 Effects on the sexual maturation of the sediment-living amphipod *Monoporeia affinis*. Environ. Toxicol 15: 518-526
- Sundelin B. Håkansson E. and Sahl P. 2002. Effekter på vitmärklans reproduktion i Vänern och Vättern 2001. Vätternvårdsförbundets årsskrift 2001.
- Torstensson, H. 1999. Miljögifter och metaller i Vänerns sediment. Årsskrift 1999, Vänerns vattenvårdsförbund. Rapport nr 7, sid 15-40
- Vanderploeg H.A., Liebig J.R. and Gluck A.A. 1996. Evaluation of different phytoplankton for supporting development of Zebra mussel larvae (*Dreissena polymorpha*): The importance of size and polyunsaturated fatty acid content. J. Great Lakes Res. 22: 36–45.
- Ward PI 1985. The breeding behaviour of *Gammarus duebeni*. Hydrobiologia 121: 45-50
- Weyhenmeyer, G., Sonesten, L. 2002. Klimat och vattenstånd under 2001. Årsrapport 2001 till Vänernkansliet.
- Wiederholm T., Wiederholm A-M., Milbrink G. 1987. Bulk sediment bioassays with five species of fresh-water oligochates. Water Air and Soil Poll. 36: 131-154.
- Volkman, J.K., Jeffrey, S.W., Nichols, P.D., Rogers, G.I., Garland, C.D. 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 128: 219-240.
- Wouters R., Molina C., Lavens P. and Calderon. 2001. Lipid composition and vitamin content of wild female *Litopenaeus Ovannamei* in different stages of sexual maturation. J. Aquaculture 198: 307-323.