



Leif Pihl

Göteborgs Universitet  
Kristinebergs Marina Forskningsstation



*Effekter av fintrådiga alger på  
rekrytering av rödspotta*  
- en numerisk modell



Författare: Leif Pihl  
Göteborgs Universitet  
Kristinebergs Marina Forskningsstation  
450 34 Fiskebäckskil

Omslag: Cilla Odenman/Amelie Wintzell  
Foto: Mattias Sköld  
Rapportnr: 2001:44  
Projektnr: EU Life algae LIFE96ENV/S/380

## Förord

Denna rapport, *"Effekter av fintrådiga alger på rekrytering av rödspätta- en numerisk modell"*, har tagits fram inom projektet EU Life algae och ingår i projektets rapportserie, se omslagets bakre insida.

Rapporterna i serien redovisar arbete och resultat från delprojekt, seminarier och konferenser. Materialet har legat till grund för slutrapporteringen till EU Life, *"Final Report 2001"*, och en populärvetenskaplig sammanfattande broschyr på svenska och engelska; *"Alger i överflöd skördas för livet"* - *"Algae in excess - harvesting for Life"*. Författarna svarar för rapporternas innehåll och Projekt Management Unit för slutredigeringen. Rapporterna kan läsas på eller laddas ner från projektets webbplats; [www.o.lst.se/projekt/eulife-algae](http://www.o.lst.se/projekt/eulife-algae)

Projektets grundläggande idé och mål är att åter skapa en långsiktigt hållbar miljö i de grunda havsvikar som sedan flera år tillbaka under somrarna täcks av algmattor till nackdel för såväl fisk och andra organismer i områdena som friluftsliv och turism. Projektet har utvecklat och testat algskörd som en metod att restaurera dessa viktiga rekryterings- och uppväxtområden för fisk och ryggradslösa djur.

Problemet med utbredningen av fintrådiga alger på svenska västkusten är väl dokumenterat men de kvantitative effekterna på fiskens uppväxtmiljöer är dåligt kända. Rapporten *"Effekter av fintrådiga alger på rekrytering av rödspätta- en numerisk modell"* ger ny kunskap och ökar förståelsen av vikarnas roll och effekterna av fintrådiga alger på rekryteringen av rödspättan, en av de arter som är beroende av öppna grunda ler- och sandbottnar under sin uppväxt.

Projekt Management Unit

Harald Sterner  
Projektdirektör

Anna Jöborn/  
Mattias Sköld  
Projektledare

# Innehåll

## Sammanfattning 1

## Bakgrund 2

## Målsättning 2

*Larvtillförsel och bottenfällning 3*

*Täthet av rödspotta i uppväxtområden 3*

*Utbredning av fintrådiga alger i uppväxtområden 5*

*Interaktioner mellan fintrådiga alger och rödspotta 6*

*Numerisk modell för interaktionen alger-rödspotta 7*

*Beståndet i Skagerrak-Kattegat 8*

## Referenser 10

## Sammanfattning

Nordsjöpopulationen av rödspätta (*Pleuronectes platessa*) leker på utsjögrund i Nordsjön, Skagerrak och Kattegat. Efter att äggen har kläckts transporterar larverna till kustzonen med strömmar i den fria vattenmassan. I kustzonen bottenfäller sedan larverna i grunda vikar på mjuka botten och omvandlas (metamorfoserar) till juvenila rödspättor. Ansamlingen av unga rödspättor i grunda vikar i dessa uppväxtområden betraktas som en flaskhals för utvecklingen av populationen från larver till vuxna fiskar. Årsklassernas styrka, dvs. hur stor den årliga rekryteringen blir, beror på flera faktorer relaterade till kvaliteten och kvantiteten av uppväxtområdena.

På den svenska Skagerrakkusten bottenfäller rödspättans larver under våren (april-maj) på mjuka botten grundare än 1 m. De juvenila spättorna är stationära i dessa områden fram till augusti- början av september. Under de senaste 20 åren har en ökad förekomst av fintrådiga grönalger konstaterats i de grunda vikarna. Dessa algmattor kan under sommarmånaderna täcka mellan 30 till 50 % av den totala ytan av potentiella uppväxtområden.

Syftet med denna studie var att beräkna de kvantitativa effekterna av algmattor på rekryteringen av rödspätta från grunda vikar på den svenska Skagerrakkusten till den vuxna populationen. En numerisk modell konstruerades där ingående data var uppväxtområdenas storlek, tätheten av unga rödspättor i vikarna, naturlig dödlighet och minskning i täthet av rödspättor till följd av närvaron av algmattor. Resultaten av modelleringen visar att rekryteringen av rödspätta kan minska mellan 40 till 60 % med den täckning av alger som observerats under 1990-talet. Den största effekten på rekryteringen skedde vid liten tillförsel av larver när den naturliga dödligheten var låg. Effekterna av algmattor beräknades i 4 jämnt fördelade regioner från Göteborgsområdet till norska gränsen vilket också visade att effekterna inte är jämnt fördelade utefter kusten. I den norra regionen var effekterna störst och medförde 65 till 70 procents reduktion av rekryteringen. Insatser för att minska förekomsten av algmattor bör därför koncentreras till de norra delarna av kusten för att optimera effekterna av åtgärder.

## Summary

The propagation of the North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*) occur on off-shore spawning grounds in the North Sea and the Skagerrak-Kattegat area. After the hatching of eggs the larvae are transported to the coastal zone, where they metamorphose into juvenile fish and settle on shallow soft bottoms. This concentration of the early juvenile stages in defined nursery areas is considered as a bottle-neck during the recruitment to the adult stock. The year-class strength is determined by several factors which are related to both the quantity and the quality of the nursery grounds.

On the Swedish Skagerrak coast plaice larvae settle during spring (April-May) on soft bottoms with a water depth of less than 1 m. The juvenile fish are stationary in the shallow water until late August-early September. In these areas, an increasing occurrence of filamentous green algae has been observed during the last two decades. Algal mats can during the summer cover 30 to 50 percent of the total surface area of potential nursery grounds.

In this investigation the aim was to assess the quantitative effect of algal mats on the recruitment of plaice from shallow nurseries in the Swedish Skagerrak archipelago. For this purpose a numerical model was constructed, using data on nursery size, settling density of plaice, natural mortality and reduction in density due to algae.

The results from running the model showed that plaice recruitment could be reduced by 40 to 60 percent, when having an algal cover in the nurseries that was observed during the mid 1990ies. The largest effect on recruitment from algae was estimated during low larval settlement, when natural mortality is low. The effect of algae on recruitment was not evenly distributed among coastal regions, as 65 to 70 percent of the reduction in juvenile plaice occurred in the northern quarter of the investigated coastal area. Therefore, actions taken to reduce algal distribution should be concentrated mainly to the northern region, to optimize the cost-benefit of invested resources.

## Bakgrund

Rödspottans fortplantning äger rum på speciella lekplatser i Nordsjön, Skagerrak och Kattegat, huvudsakligen utomskärs på vattendjup mellan 40 och 60 m (Harding m.fl 1978, Nielsen m.fl. 1998). Efter det att äggen har kläckts förs larverna med strömmar in mot kusten. Transporten sker huvudsakligen med residualströmma, men sista sträckan in till den grunda kustzonen kan vinddriven ytström eller tidvatten vara en betydande faktor ( Creutzberg m.fl. 1978, Pihl 1990). Efter 40 till 50 dagar i den fria vattenmassan genomgår larvarna en metamorfos, då de omvandlas till fiskar anpassat för ett liv på botten. Larverna befinner sig nu i de ytliga vattenlagret och bottenfällningen sker i grunda områden (oftast < 3 m) med sedimentbotten. Det bentiska stadiet inleds under våren och fiskarna är då 10 till 15 mm långa (Riley 1966). De unga rödspottorna är relativt stationära under sommaren men vandrar till djupare vatten då temperaturen faller under hösten. De har då ökat ca 5 gånger i längd . Eftersom de unga rödspottorna efter bottenfällning koncentreras i grunda uppväxtområden med en begränsad yta, anses detta stadium i livscykel utgöra en flaskhals för populationen, där flera viktiga processer påverkar rekryteringen till det vuxna beståndet (Beverton 1984, 1995). Rekryterings (årsklassens) styrka påverkas emellertid inte bara av uppväxtområdets kvantitet utan också av dess kvalitet, där födotillgång, predationstryck , habitatstruktur och flera fysiska faktorer har en avgörande betydelse (Gibson 1994).

I Skagerrak och Kattegat sker bottenfällningen av rödspottans larver i regel på grundare vatten än 1 m (Pihl 1989, 1990). Grunda sedimentbottnar finns längs hela Bohuskusten i ett heterogent mönster tillsammans med klippbottnar. Sedimentets karaktär varierar från sand i

exponerade områden till gyttja i skyddade vikar, och halten av organiskt material i sedimentet har uppmätts till mellan 0.5 och 8 % av torrvikten (Pihl 1986). Grunda sedimentbottnar som potentiellt kan fungera som uppväxtområden för rödspotta har längs Bohuskusten uppskattats utgöra en total yta av 6700 hektar (Pihl m. fl 1997).

Under 1980 talet observerades en ökad förekomst av fintrådiga grönalger i grunda havsområden i Bohusläns skärgårdar (Pihl m.fl. 1995). Algerna förekommer under perioden maj till september då de tillväxer från sedimentytan, och kan i många områden bilda mattor som helt eller delvis täcker sedimentet . Utbredningen av dessa algmattor dokumenterades under 1994 till 1996 genom flygfotografering. Resultaten visade att 30 till 50% av de grundområden (0-1 m) som potentiellt kan utnyttjas av rödspottan som uppväxtområde kunde vara täck av alger under sommaren (Pihl m. fl. 1997). För att studera vilka effekter förekomsten av algmattor har för rekryteringen av rödspotta har ett flertal undersökningar genomförts på laboratorium och i fält under 1990 talet. Resultaten från dessa undersökningar används här för att konstruera en numerisk modell för sambandet mellan almattor och rekrytering av rödspotta.

## Målsättning

Avsikten med denna undersökning är att genom en numerisk modell kvantitativt beskriva effekterna av grönalger på grunda mjukbottnar för rekryteringen av rödspotta längs Bohuskusten.

## Larvtillförsel och bottenfällning

Rödspottans larver transporteras huvudsakligen med residualströmmar från lekplatser till uppväxtområden. Längs Bohuskusten sker denna transport främst med den Baltiska och Jutska ytströmmen. Införseln av larver i skärgården är till stor del beroende av klimatologiska förhållanden under våren, där vinden är den viktigaste faktorn. Perioder med pålandsvind är positivt relaterade till mängden bottenfällande larver i uppväxtområdena (Pihl 1990), och bottenfällningen är proportionell mot förekomsten av larver i vattenmassan utanför grundområdena (Wennhage 1999). Lokal vinddriven ytström påverkar både tidspunkten för rekryteringen och mängden larver som förs in och bottenfäller i uppväxtområdena (Modin & Pihl 1996). Låg salthalt i ytvattnet genom stor avrinning från land kan också påverka larvtransporten mot uppväxtområdena, men betydelsen av denna faktor är okänd på svenska västkusten.

En undersökning under 1998 med målet att studera geografisk variation i rekrytering, omfattande 32 grunda havsområden längs Bohuskusten, visade att tillförseln av rödspottans larver varierar för olika uppväxtområden (Pihl m.fl. 2000). Generellt sett var mängden bottenfällda rödspottor högre i den ytter jämfört med den inre skärgården. Detta förklarades av en uttunning av larver i vattenmassan längs en gradient från havet in i skärgården (Wennhage 1999). Skillnaden i täthet av bottenfällda rödspottor mellan ytter- och innerskärgård var tydligast i mellersta Bohuslän, som har den djupaste skärgården med reducerat vattenutbyten i de inre delarna. Tillförseln av larver kan emellertid variera lokalt i olika delar av skärgården, och skillnaden i täthet av nyligen bottenfällda rödspottor mellan två vikar som ligger endast 1 km ifrån varann

kan vara lika stor som mellan vikar i olika regioner separerade med 50 km. Hur rekryteringen varierar i tid och rum inom skärgården är svårt att förutse, då larvtillförseln styrs av lokala variationer i hydrografin. Man kan dock konstatera att alla uppväxtområden är potentiellt tillgängliga för rekrytering av rödspotta, men larvtillförseln är sannolikt generellt större i ytterskärgården som ligger närmare källan för larvernas ursprung. Undersökningen under 1998 visade vidare att rekryteringen av larver längs Bohuskusten generellt minskade från norr till söder. Detta geografiska fördelningsmönster verifierades i en liknande undersökning omfattande 16 grunda havsområden som genomfördes under 1999 och 2000 (Svensson & Pihl 2001). Den observerade geografiska variationen i rekrytering kan förklaras av den rådande strömbilden i Skagerrak, där tillskottet med fisklarver från Jutska strömmen ökar mot norr.

## Täthet av rödspotta i uppväxtområden

Bottenfällning av rödspottans larver startar i regel under april och de högsta tätheterna av unga fiskar i uppväxtområdena erhålls i slutet av maj till början av juni (Pihl 1990). Tätheten av nyrekryterade rödspottor har studerats årligen i ett uppväxtområde i Gullmarsfjorden sedan 1977. Årsklasstyrkan varierade i detta område från 0,2 till 10,0 individer  $m^{-2}$ , med ett långtidsmedelvärde av 2,2 individer  $m^{-2}$  (Pihl et al 2000). I en annan undersökning studerades rekryteringen under fem år i fyra olika uppväxtområden i Gullmarsfjorden. Variationen i rekrytering mellan åren var likartad i de fyra områdena och tätheten av bottenfällda rödspottor var i medeltal mellan 0,4 och 6,1 individer per  $m^2$ , med ett medelvärde för hela perioden av 2,1 individer per  $m^2$  (Wennhage 1999).

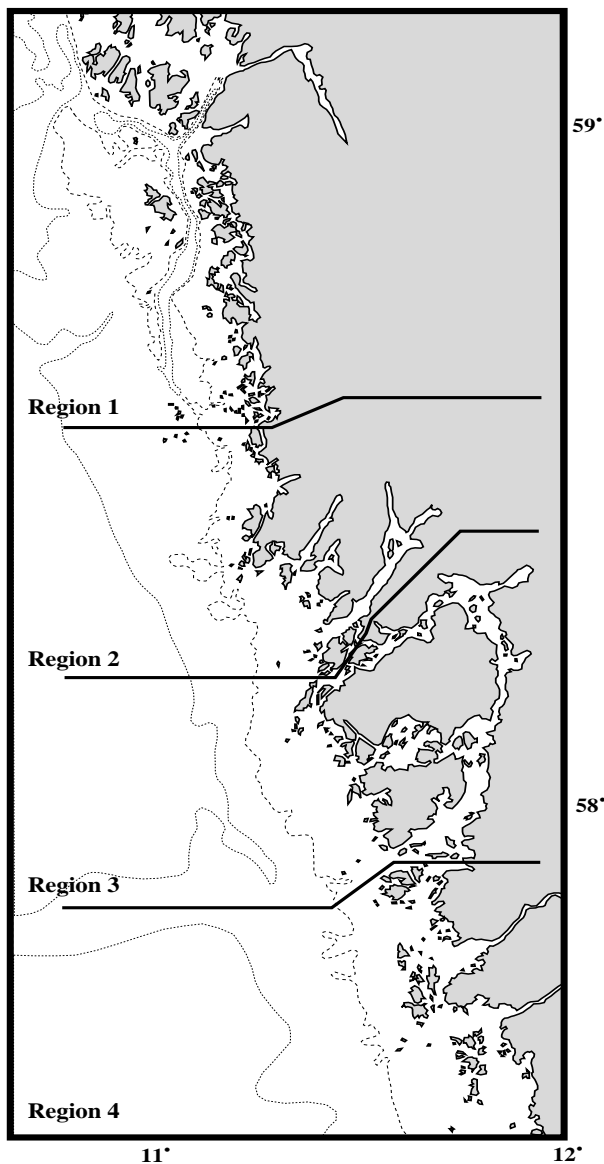


Fig 1. Kustregioner i Bohuslän

Båda undersökningarna visar således på en medeltäthet av nyrekryterade rödspottor i grunda uppväxtområden i maj av drygt 2 individer per m<sup>2</sup>. Tätheten 2,2 individer per m<sup>2</sup> har i denna studie valts som "normalrekrytering" för det undersökta området, då detta värde kommer från den längsta mätserien.

För att undersöka den geografiska variationen i rekryteringen längs Bohuskusten skattades tätheten av bottenfällda rödspottor i 32 grunda uppväxtområden under 1998. Tätheten varierade mellan 0,2 och 74,0 individer per m<sup>2</sup> för de undersökta områdena, med ett medelvärde för hela kusten av ca 9 individer per m<sup>2</sup> (Pihl m.fl. 2000). Tätheten av rödspottor varierade längs den undersökta kuststräckan, och vid en indelning av undersökningsområdet i fyra regioner, från norr till söder (se fig. 1), beräknades den genomsnittliga tätheten av rödspottor till 22,3, 7,1, 5,5, och 2,3 individer per m<sup>2</sup> i de fyra regionerna (Fig.2).

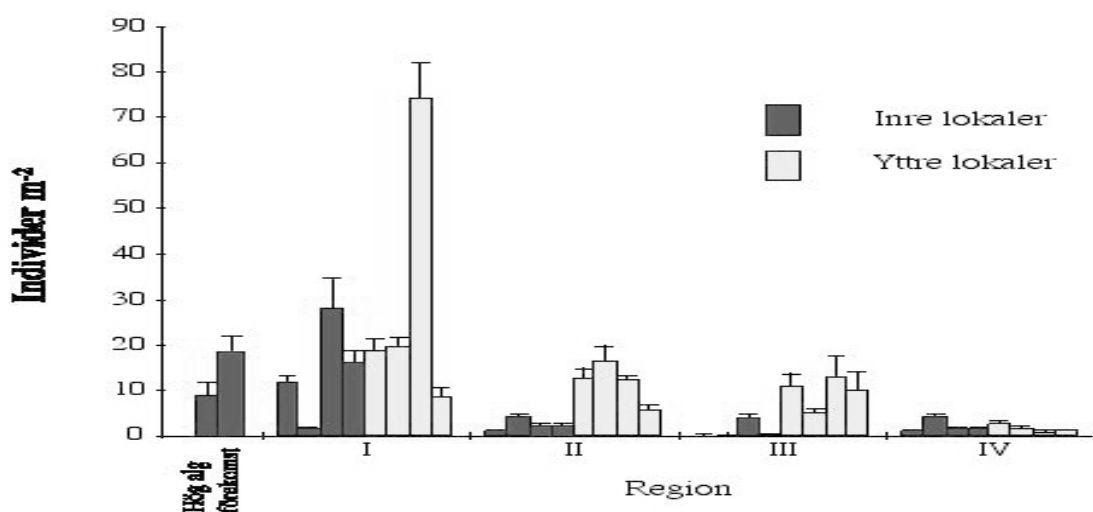


Fig.2 . Täthet av bottenfälld rödspotta i 34 grunda (0-1 m) uppväxtområden inom fyra kustregioner i Bohuslän. Regionsindelning se Pihl m.fl. 1997.



Rekryteringen under 1998 var hög, vilket visas av att området som undersökts årligen sedan 1977 hade en täthet av nyrekryterade rödspottor på 8,9 individer m<sup>2</sup>.

Inom den norra regionen insamlades prover av rödspotta på ytterligare två lokaler i inneskärgården, vilka båda haft höga tätheter av fintrådiga alger under flera år på 1990-talet. Tätheten av rödspotta skattades i dessa två områden till 8,4 respektive 17,8 individer per m<sup>2</sup>.

Tabell 1. Förekomst och täckningsgrad av fintrådiga alger inom fyra kust-regioner i Bohuslän. Värdena är beräknade som ett genomsnitt av 6 provtagningar i juli och augusti 1994, 1995 och 1996. Förekomst är beräknat som andelen områden med > 5 % algtäckning. Täckningsgrad avser andel av botten som var täckt av alger inom algtäckta områden.

| Region | Förekomst, % | Täckningsgrad, % |
|--------|--------------|------------------|
| 1      | 83           | 72               |
| 2      | 65           | 42               |
| 3      | 63           | 47               |
| 4      | 67           | 44               |

## Utbredning av fintrådiga alger i uppväxtområden.

Förekomst och utbredning av fintrådiga grönalger har studerats i grunda havsområden inom fyra regioner i Bohuslän (sammanindelning som för rödspottans rekrytering) under 1994, 1995 och 1996 (Pihl m.fl. 1997).

Utbredningsmönstret studerades genom att algernas täckningsgrad bestämdes med hjälp av flygfotografering. Bohusläns skärgårdsområde indelades i 750 grundområden (0-1 m djup), vardera med en storlek av 2 - 20 ha. Flybilder togs på 150 -200 slumpvis utvalda områden, fördelade mellan de fyra regionerna, vid två tillfällen varje år (juli och augusti). Samtidigt med flyginventeringen insamlades prover i fält för att bestämma algernas biomassa. Algbiomassan i de undersökta områdena var i genomsnitt 80 g torrsvikt per m<sup>2</sup>, och skiljde sig inte åt mellan de tre åren eller mellan regionerna. Algernas förekomst och täckningsgrad inom hela skärgårdsområdet var likartad under de tre åren, med skiljde sig signifikant mellan regionerna. I genomsnitt under hela provtagningsperioden förekom fintrådiga grönalger i 83% av de undersökta områdena i den norra regionen, och i dessa områden täckte algerna i medeltal 72% av bottenytan (Tabell 1). Inom de tre övriga regionerna förekom alger i genomsnitt i drygt 60% av grundområdena under provtagningsperioden, och täckningsgraden var i medeltal drygt 40% (Tabell 1).

Fintrådiga grönalger beräknades täcka medan 30 och 50% av den totala ytan av grunda (0-1 m) sedimentbottnar i Bohuslän under 1994 till 1996.

## Interaktioner mellan fintrådiga alger och rödspotta.

Effekter av fintrådiga grönalger på ung rödspotta har studerats i laboratorieexperiment och genom fältundersökningar. Habitatval (beteende), utbredning, täthet, tillväxt och dödlighet har studerats i olika undersökningar hos larver och tidiga bentiska stadier av rödspotta.

Valet av habitat (substrat) hos rödspotta studerades i experiment på laboratoriet hos larver vid bottenfällning och hos tidiga bentiska stadier (ca 1 till 10 veckor gamla fiskar). I experimentet fick larvar och unga fiskar välja mellan sedimenttytor med och utan fintrådiga grönalger, och fördelningen registrerades. Hos de vegetationsklädda sedimenten var täckningsgraden av alger mellan 50 och 80 %. Resultaten visade att för larvar (11-15 mm) och tidiga bentiska stadier (16-26 mm) reducerades tätheten inom algtäckta sedimenttytor med mellan 60 och 80% jämfört med vegetationsfria ytor (Tabell 2)

(Wennhage & Pihl 1994). För större fiskar (26-52 mm) noterades inget signifikant habitatval. Dessa större fiskar hade tillbringat 5 till 10 veckor i de grunda uppväxtområdet, och det är således de tidigare stadierna (11-26 mm) kring bottenfällningen som aktivt undviker algtäckta sedimenttytor. Burexperiment i fält visade att dessa tidiga stadier av rödspotta hade signifikant lägre tillväxt och högre dödlighet vid exponering under 10 dagar för algtäckt sediment jämfört med algfritt sediment (Larsson 1997).

I flera fältundersökningar har tätheten av rödspotta jämförts mellan algtäckta och algfria områden. Pihl & van der Veer (1992) registrerade en ca 90 % reduktion av tätheten hos rödspotta i en havsvik täckt till 50 % av fintrådiga grönalger, jämfört med fem vegetationsfria närliggande vikar (Tabell 2). Inom samma grundområde uppmättes i en senare undersökning en reducering av tätheten av rödspotta med 93% där sedimentet var täckt till 80% av alger jämfört med vegetationsfritt sediment (Wennhage 1999). I en annan

Tabell 2. Täthet av ung rödspotta på algfri och algtäckt sedimentbotten. Reduktion i täthet på grund av alger är uppskattat för varierande vegetationstäckning.

|                    | Täckningsgrad<br>Fintr.alger | Storleksklass<br>rödspotta | Täthet<br>rödspotta<br>algtäckt<br>botten | Täthet<br>rödspotta<br>alfri<br>botten | Reduktion i<br>täthet av<br>rödspotta | Referens                 |
|--------------------|------------------------------|----------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------|
| <b>Experiment</b>  |                              |                            |   |  |                                       |                          |
| Beteende           | 50%                          | 11-15                      | 2.60                                      | 6.40                                   | 60%                                   | Wennhage & Pihl 1994     |
| (val av habitat)   | 80%                          | 11-15                      | 1.80                                      | 7.20                                   | 75%                                   | Wennhage & Pihl 1994     |
|                    | 70%                          | 16-26                      | 0.16                                      | 0.84                                   | 81%                                   | Wennhage & Pihl 1994     |
|                    | 70%                          | 26-52                      | 0.50                                      | 0.50                                   | 0%                                    | Wennhage & Pihl 1994     |
| <b>Fält studie</b> |                              |                            |   |  |                                       |                          |
| Täthet             | 50%                          | 16-38                      | 0.10                                      | 0.94                                   | 89%                                   | Pihl & van der Veer 1992 |
|                    | 80%                          | 17-34                      | 1.20                                      | 17.00                                  | 93%                                   | Wennhage & Pihl 1994     |
|                    | 40%                          | 14-36                      | 0.10                                      | 0.48                                   | 79%                                   | Pihl et al 1999          |

undersökning jämfördes tätheten av unga rödspottor i 8 algtäckta och 8 algfria havsvikar i fyra kustregioner längs Bohuskusten. Två par av närbelägna (<1000 m) vikar, där en vik hade alger och en var algfri, valdes ut inom varje kustregion. Algtäckningsgraden var i genomsnitt 40 % i de vegetationsklädda vikarna. Resultaten från undersökningen visade att tätheten av rödspotta var reducerad med 79% i vikar men vegetation jämfört med vegetationsfria områden (Svensson & Pihl 2000).

I samband med den storskaliga rekryteringsstudien i maj 1998 genomfördes undersökningar av rödspottans täthet i två områden belägna i inneskärgården i den norra regionen. Dessa områden har under flera år visat sig ha hög täckningsgrad av alger under sommaren. Vid provtagningen i början av juni var vikarna emellertid till största delen fria från alger (< 10% täckningsgrad). Tätheten av rödspotta i dessa två vikar var 8,4 respektive 17,8 individer per m<sup>2</sup>, vilket väl överensstämde med övriga vikar inom denna region under provtagningen i maj (Fig. 2). Vid provtagningar i juli var sedimentet i de båda vikarna täckt av fintrådiga alger till 70% respektive 80%, och tätheten av rödspotta hade minskat till 0.67 respektive 1.0 individer per m<sup>2</sup>. Detta motsvarar en reduktion i täthet med 92 till 94% under ca 4 veckor i de två vikarna. Vid provtagning i augusti påträffades inga rödspottor i någon av de två vikarna.

Sammanfattningsvis visar dessa fältundersökningar att tätheten av unga rödspottor kan vara reducerad med ca 80 till 90% i uppväxtområden där sedimentet är täckt till mellan 40 och 80% av fintrådiga grönalger, i jämförelse med vegetationsfria områden. Vidare visar dessa studier att områden med hög algtäckning under sommaren kan ha god tillgång på bottenfälda larver i maj.

## Numerisk modell för interaktionen Alger-Rödspotta.

Med utgångspunkt från information från ovanstående undersökningar om rödspotta och alger i grunda skärgårdsområden i Bohuslän har en numerisk modell konstruerats där följande parametrar ingår:

1. Uppväxtområdets yta fördelat på fyra regioner i Bohuslän.
2. Täthet av rödspotta efter bottenfällning vid hög, medel och låg larvrekrytering.
3. Naturlig dödlighet hos rödspotta i relation till täthet (maj-augusti)
4. Andelen grundområden med alger i varje region.
5. Täckningsgrad av alger i olika grundområden.
6. Reduktion av rödspottans täthet i algtäckta områden

Effekten av algförekomst på överlevnad av ung rödspotta simulerades i tre möjliga scenario: hög, medelstor och låg rekrytering av post-metamorfoserade rödspotta.

Rekryteringen till uppväxtområdena, dvs antal individer vid metamorfos, beräknades som produkten av yta och kända medelantal (individer m<sup>-2</sup>) inom varje region (Pihl et al. 2000). Momentan dödlighet (Mp) antogs vara beroende av det relativa antalet rekryter (R) och beskrevs som:

$$M_p = 0.008 + 0.0008 R \quad (\text{Pihl et al. 2000})$$

, där interceptet och lutningen motsvarar den täthetsberoende respektive den täthetsberoende komponenten i den sammanlagda dödligheten.

Momentan dödlighet pga algförekomst (Ma) antogs motsvara 90% efter tre månader (90 d) i områden med mer än 50% täckningsgrad av alger samt 80% i områden med mer än 40%

täckningsgrad (se Tabell 2). Andelen vikar med algförekomst och deras sammanlagda yta inom varje region beräknades från Pihl m.fl. (1997).

Reduktionen av antal individ inom varje region under tre månader (90 d) efter metamorfos beskrevs dels för områden utan algförekomst ( $O_p$ ) dels för områden med algförekomst ( $O_a$ ). Antalet individer inom varje område antogs följa en exponentiell överlevnad av antal rekryter. Det totala antalet döda ( $N_t$ ) blir summan av antal döda i områden med och utan alger :

$$N_t = O_p \times R \times [1 - e^{-(M_a \times 90)}] + O_a \times R \times [1 - e^{-(M_a \times 90 + M_p \times 90)}]$$

där  $R$  = antal rekryter  $m^{-2}$ ,  $O$  = områdets area i  $m^2$  och  $(1 - e^{-M \times d})$  = proportion döda.

Antalet döda pga algförekomst ( $N_a$ ) beräknades som antal döda i algområden vägda med proportionen momentan dödlighet i förhållande till total dödlighet:

$$N_a = O_a \times R \times [1 - e^{-(M_a \times 90 + M_p \times 90)}] \times \frac{M_a}{(M_a + M_p)}$$

Slutligen uppskattades antalet döda pga algförekomst inom varje region dels som en proportion av totalantalet döda i alla fyra regionerna dels som en absolut reduktion av antal rekryter  $m^{-2}$ . Beräkningen upprepades för varje scenario.

Värden för ingående parametrar presenteras i Tabell 3. Från modellen kan effekten av alger på rödspottans rekrytering beräknas för olika nivåer av larvtillförsel och för områden med varierande andel av mattor av fintrådiga alger. Reduktion i rekrytering på grund av alger är fördelad på fyra kustregioner, och effekten kan jämföras mellan regioner. Modellen visar att mängden av unga

rödspottor (ca 6 månader gamla i slutet av augusti) som kan produceras inom grunda uppväxtområden i Bohuslän kan reduceras med mellan 42 och 62%, vid en algutbredning som rådde under åren 1994 till 1996. Störst procentuell reduktion i rekryteringen på grund av alger sker under år med liten tillförsel av larver till uppväxtområdena, eftersom den naturliga dödligheten då är lägre jämfört med vid hög larvtillförsel. Vidare framgår det av modellen att effekten av alger på rekryteringen är ojämnt fördelad mellan de fyra undersökta kustregionerna. Den norra regionen hade högst täthet av rödspotta och samtidigt den största utbredningen av alger (ca 50% av algerna i Bohuslän finns i norra regionen, Pihl m.fl 1997), och denna region svarar för mellan 65 och 70 % av den totala reduktionen i rekryteringen. Lägst andel av minskningen i rekryteringen hade den södra regionen, där både täthet av rödspotta och algutbredning var liten. Slutsatsen är att åtgärder för att minska utbredningen av alger i första hand bör vidtagas i Bohuslän norra skärgård för att uppnå största effekt av insatta resurser.

### Beståndet i Skagerrak-Kattegat.

Bestandsstorleken av rödspotta i Skagerrak och Kattegat har under åren 1980 till 1999 uppskattats till mellan 120 och 200  $\times 10^6$  individer (Internationella Havsforskningsråden (ICES) Annual report 2000). I denna uppskattning ingår individer som är 2 år eller äldre. Av den samlade populationen landades årligen 30 till 40  $\times 10^6$  individer under denna period, och rekryteringen av 2-grupp (årig) rödspotta till beståndet beräknades till mellan 25 och 70  $\times 10^6$  individer. Om man antar att de rödspottor som rekryteras till Skagerrak och Kattegat huvudsakligen växer upp i grundområden i Danmark och Sverige (Undersökningar från norska sydkusten indikerar att rödspottan inte utnyttjar

Tabell 3. Spatiala effekter av algförekomst på överlevnad av rödspotta vid tre olika scenarios: Hög, medelstor och låg rekrytering. Antal rekryterade fiskar per region minskar pga naturlig dödlighet och alginducerad dödlighet. Dödligheter redovisas dels som exponent dag<sup>-1</sup> dels som procent kummulativ död under 90 dagar. Naturlig dödlighet (främst predation) antas vara täthetsberoende (se text). Alginducerad dödlighet antas bero på täckningsgrad. Dödlighet (reduktion i antal) enbart beroende på algförekomst uttrycks dels i procent av total reduktion per region, dels som reduktion per m<sup>-2</sup>.

| Scenario                 | Region | Area<br>ha | Täthet<br>m <sup>-2</sup> | Rekrytering<br>10 <sup>-6</sup> | Naturlig död    |                   | Algförekomst |          | Alginducerad död |                   | Total reduktion  |       | Reduktion beroende på alger |        |                 |
|--------------------------|--------|------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|--------------|----------|------------------|-------------------|------------------|-------|-----------------------------|--------|-----------------|
|                          |        |            |                           |                                 | d <sup>-1</sup> | 90d <sup>-1</sup> | ha           | täckning | d <sup>-1</sup>  | 90d <sup>-1</sup> | 10 <sup>-6</sup> | andel | 10 <sup>-6</sup>            | % alla | m <sup>-2</sup> |
| Hög<br>rekrytering       | 1      | 1701       | 22,3                      | 379,32                          | -0,026          | 90%               | 1412         | 72%      | -0,03            | 90%               | 369,94           | 98%   | 155,11                      | 27%    | 9,12            |
|                          | 2      | 1179       | 7,1                       | 83,71                           | -0,014          | 71%               | 766          | 42%      | -0,02            | 80%               | 71,98            | 86%   | 29,03                       | 5%     | 2,46            |
|                          | 3      | 2187       | 5,5                       | 120,29                          | -0,012          | 67%               | 1378         | 47%      | -0,02            | 80%               | 100,74           | 84%   | 41,82                       | 7%     | 1,91            |
|                          | 4      | 1811       | 2,3                       | 41,65                           | -0,010          | 59%               | 1213         | 44%      | -0,02            | 80%               | 33,68            | 81%   | 16,52                       | 3%     | 0,91            |
|                          | alla   |            |                           |                                 | 624,97          |                   |              |          |                  |                   | 576,345          |       | 242,468                     | 42%    |                 |
| Medelstor<br>rekrytering | 1      | 1701       | 6,9                       | 117,37                          | -0,014          | 70%               | 1412         | 72%      | -0,03            | 90%               | 108,57           | 93%   | 61,85                       | 37%    | 3,64            |
|                          | 2      | 1179       | 2,2                       | 25,94                           | -0,010          | 58%               | 766          | 42%      | -0,02            | 80%               | 20,77            | 80%   | 10,00                       | 6%     | 0,85            |
|                          | 3      | 2187       | 1,7                       | 37,18                           | -0,009          | 57%               | 1378         | 47%      | -0,02            | 80%               | 29,24            | 79%   | 14,05                       | 8%     | 0,64            |
|                          | 4      | 1611       | 0,71                      | 11,44                           | -0,009          | 54%               | 1079         | 44%      | -0,02            | 80%               | 8,98             | 79%   | 4,70                        | 3%     | 0,29            |
|                          | alla   |            |                           | 191,92                          |                 |                   |              |          |                  |                   | 167,560          |       | 90,601                      | 54%    |                 |
| Låg<br>rekrytering       | 1      | 1701       | 0,69                      | 11,74                           | -0,009          | 54%               | 1412         | 72%      | -0,03            | 90%               | 10,36            | 88%   | 6,96                        | 43%    | 0,41            |
|                          | 2      | 1179       | 0,22                      | 2,59                            | -0,008          | 52%               | 766          | 42%      | -0,02            | 80%               | 2,00             | 77%   | 1,05                        | 6%     | 0,09            |
|                          | 3      | 2187       | 0,17                      | 3,72                            | -0,008          | 52%               | 1378         | 47%      | -0,02            | 80%               | 2,83             | 76%   | 1,46                        | 9%     | 0,07            |
|                          | 4      | 1811       | 0,07                      | 1,27                            | -0,008          | 52%               | 1213         | 44%      | -0,02            | 80%               | 0,98             | 78%   | 0,53                        | 3%     | 0,03            |
|                          | alla   |            |                           | 19,32                           |                 |                   |              |          |                  |                   | 16,17            |       | 9,99                        | 62%    |                 |

grundområden där) kan Bohuskustens grundområden grovt räknat stå för 1/4 av rekryteringen. Med en beräknad naturlig dödlighet på 20 respektive 15% under år 1 och år 2 skulle vid medelstor rekrytering ca  $45 \times 10^6$  individer komma från uppväxtområden i Bohusläns. Även om en viss andel av dessa individer sannolikt härstammar från populationer i Nordsjön, visar resultaten från den numeriska modellen att effekten av alger i uppväxtområden kan ha en signifikant påverkan på storleken av rekryteringen till beståndet i Skagerrak och Kattegat.

## Referenser

- Beverton, R. J. H. 1984. Dynamics of single species: Group report. In May, R. N. (ed) Exploitation of marine communities. Dahken Konferenzen. Springer Verlag Berlin. p 13-58.
- Beverton, R. J. H. 1995. Spatial limitation of population size; the concentration hypothesis. *Neth. J. Sea Res.* 34: 1-6.
- Creutzberg, D. H., Elting, A. T. W. G., van Nort, G. J. 1978. The migration of plaice larvae (*Pleuronectes platessa*) into the western Wadden Sea. In: McLusky, D. S. & Berry, A.J. (eds.) Physiology and behaviour in marine organisms. Pergamon Press, Oxford. p 243-251.
- Gibson R. N. 1994. Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes. *Neth J. Sea Res.* 32:191-206.
- Isaksson, I & L. Pihl. 1992. Structural changes in benthic macrovegetation and associated epibenthic faunal communities. *Neth. J. Sea Res.* 30: 131-140.
- Isaksson, I., L. Pihl & J. van Montfrans. 1993. Eutrophication-related changes in macrovegetation and foraging of young cod (*Gadus morhua* L.): A mesocosm experiment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 177: 203-217.
- Larsson, F. 1997. Survival and growth of plaice (*Pleuronectes platessa* L.) larvae and juveniles in mats of *Enteromorpha* sp.- The effects of algal exudates and nocturnal hypoxia. Master Thesis. Dept. of Marine Ecology. Göteborg University. 11 pp.
- Modin, J. B. & L. Pihl. 1996. Small-scale dispersal of juvenile plaice *Pleuronectes platessa* L and flounder, *Platichthys flesus* L in a shallow Swedish bay. *Journal of Fish Biology* 49: 1070-1085.
- Nielsen, E., Bagge, O. MacKenzie, B. R. 1998. Wind-induced transport of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the Skagerrak-Kattegat. *J. Sea Res.* 39: 11-28.
- Pihl, L. 1986. Exposure, vegetation and sediment as primary factors for mobile epibenthic faunal community structure and production in shallow marine soft bottom areas. *Neth. J. Sea Res.* 20(1): 75-83.
- Pihl, L. 1989. Abundance, biomass and production of juvenile flatfish in southeastern Kattegat. *Neth. J. Sea Res.* 24 (1): 69-81 .
- Pihl, L. 1990. Year-class strength regulation in plaice (*Pleuronectes platessa* L.) on the Swedish west coast. *Hydrobiologia* 195: 79-88.
- Pihl, L. & H. van der Veer. 1992. Importance of exposure and habitat structure for the population density of 0-group plaice, *Pleuronectes platessa* L., in coastal nursery areas. *Neth. J. Sea Res.* 29(1-3): 145-152.

Pihl L., I. Isaksson, H. Wennhage & P-O Moksnes 1995. Recent increase of filamentous algae in shallow Swedish bays: effects on the community structure of epibenthic fauna and fish. *Neth. J of Aquat. Ecol.* 29: 349-358.

Pihl, L. G. Magnusson, I. Isaksson & I. Wallentinus. 1996. Distribution and growth dynamic of ephemeral macroalgae in shallow bays on the Swedish west coast. *Journal of Sea Research* 35: 169-180.

Pihl, L., A. Svensson, Per-Olav. Moksnes & H. Wennhage. 1997. Utbredning av fintrådigrönalger i grunda mjukbottensområden i Göteborgs och Bohus län under 1994-1996. *Länstyrelsen i Göteborg och Bohus län* 22: 1-19.

Ryland, J.S. 1966. Observations on the development of larvae of the plaice, *Pleuronectes platessa*, in aquaria. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.* 30:177-195.

Veer, H. van der, L. Pihl & M. Bergman. 1990. Recruitment mechanisms in North Sea plaice *Pleuronectes platessa*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 64: 1-12.

Wennhage, H. & L. Pihl. 1994. Substratum selection by juvenile plaice (*Pleuronectes platessa* L): impact of benthic microalgae and filamentous macroalgae. *Neth. J. Sea Res.* 32(3/4): 343-351.

# Projektrapporter och andra publikationer

## EU Life algae rapportserie

### 1997

Pettersson, K. 1997. *Report from the work-shop on "Algal mats on shallow soft bottoms"*.

### 1998

Ascue, J. och Norberg, Å. 1998. Jordbrukstekniska institutet. *Kontinuerlig rötning av grönalger och källsorterat hushållsavfall, slutrapport 98-04-17*.

Berglund, J. 1998. *Kartering av makrofyter och drivande alger på grunda mjukbottenar i Ålands skärgård*.

Jöborn, A., Oscarsson, H. och Pihl, L. 1998. *A new approach to combat blooms of ephemeral opportunistic macro algae in Scandinavian coastal waters, ICES*.

Rönnberg, C. och Genberg, J. 1998. *Biologiska effekter av algskörd. Kontrollprogram på Åland 1997*.

### 1999

Stigebrandt, A. och Eilola, K. 1999. *Modelling filamentous algae mats in shallow bays*.

### 2000

Berglund, J. och Heikkilä, J. 2000. *Rapport över det biologiska kontrollprogrammet på Åland 1999, samt en jämförelse över 1997-1999*.

Jönsson, B. 2000. *Teknisk rapport för algskördare och skörd, under perioden 1997-2000*.

Lindahl, S. *Vägbankars inverkan på vatten-cirkulationen i grunda havsvikar*. SMHI.

Melin, Y. 2000. *Alternativ användning av marina fintrådiga makroalger*.

Olrog, L. 2000. *Fintrådiga alger som gödselmedel. Sammanställning av försök genomförda av Hushållnings-Sällskapet i Göteborg och Bohuslän 1997-99*.

Svensson, A. och Pihl, L. 2000. *Biologiskt kontrollprogram 1997-1999*.

Österling, M. och Pihl, L. 2000. *Effects of green algal mats on infaunal functional feeding*.

### 2001

Boman, U. *Försök med användning av alger och blåstång som gödselmedel i jordbruket. 1998-2000*.

Dåverhög, M. och Lindström, Å. 2001. *Remote sensing of filamentous algae in shallow waters along the Swedish West Coast*. Uppsala Universitet.

Harlén, A. och Zackrisson, A-C. 2001. *Ekonomisk analys för algskörd och användning av fintrådiga alger*.

Heikkilä, J. 2001. *Rapport över det biologiska kontrollprogrammet på Åland 2000*.

Jöborn, A., Sköld, M., Sterner, H. och Trefil Engström, M. 2001. *Final report*.

Jöborn, A., Oscarsson, H., Sköld, M. och Sterner, H. 2001. *Algae in excess - harvesting for Life*.

Melin, Y. 2001. *Can marine filamentous algae be used as fertiliser? An analysis of heavy metal and nutrient content*. Göteborgs Universitet.

Pihl, L. 2001. *Effekter av fintrådiga alger på rekrytering av rödspätta - en numerisk modell*.

Sterner, H. med flera. 2001. *Teknikbeskrivning*.

Sterner, H. med flera. 2001. *Rekommendationer för planering och förvaltning*.

Svensson, A. och Pihl, L. 2001. *Biologisk undersökning av grunda havsvikar - effekter av fintrådiga alger och skörd*.

Thulin Plate, L. med flera. 2001. *Rättsliga förutsättningar för att skörda alger och öka vattenflödet genom vägbankar*.

## Andra publikationer

Pihl, L., Svensson A., Moksnes P-O. och Wennhage, H. 1997. *Utbredning av fintrådiga grönalger i grunda mjukbottensområden i Göteborgs och Bohus län under 1994-1996*. Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, 1997:22.

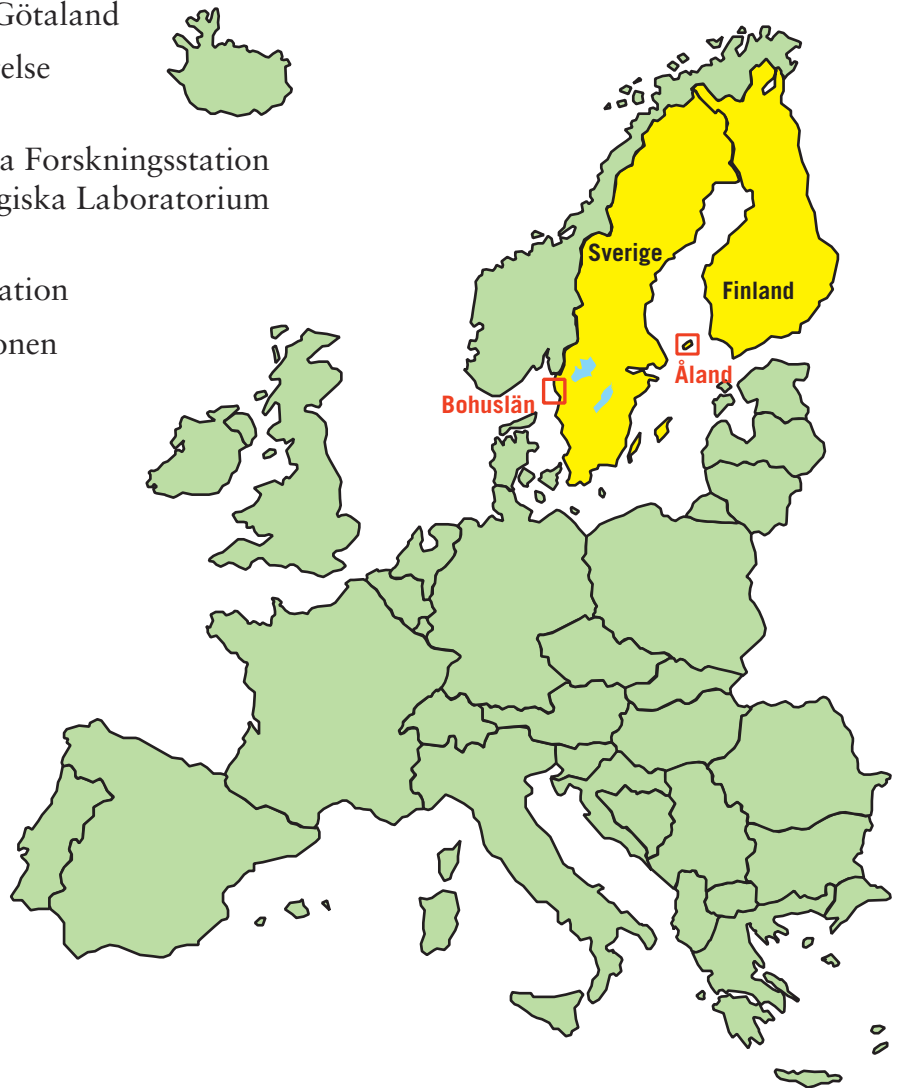
Pihl, L., Svensson A., Moksnes P-O., och Wennhage, H. 1999. *Distribution of algal mats throughout shallow soft bottoms of the Swedish Skagerrak archipelago in relation to nutrient sources and wave exposure*. Journal of Sea Research 41 (1999 281-294).





## Projektdeltagare

Länsstyrelsen Västra Götaland  
Ålands Landskapsstyrelse  
Göteborgs Universitet  
Kristineberg Marina Forskningsstation  
Tjärnö Marinbiologiska Laboratorium  
Åbo Akademi  
Husö Biologiska Station  
Västra Götalandsregionen  
Strömstads Kommun  
Fiskeriverket  
Vägverket



LÄNSSTYRELSEN  
VÄSTRA GÖTALAND  
ISSN 1403-168X  
Rapport 2001:44