

Programområde: **Kust och Hav**

Undersökningstyp: **Primärproduktion**

Mål och syfte

Undersökningstypen *Primärproduktion* används för att beskriva tillväxthastighet och årscykler av växtplanktonproduktionen i havet. Växtplanktonproduktionen spelar en avgörande roll för kolets och närsaltarnas kretslopp i havet, eftersom det är genom denna process som oorganiskt kol och näringsämnena omvandlas till organiska ämnen. Dessa organiska ämnen utnyttjas i andra trofiska nivåer och i processen ingår också utbyte med atmosfärens koldioxid.

Primärproduktionen är länkad till eutrofiering och sedimentation av organiskt material. Därigenom har den också en stark knytning djupvattnets syrgaskoncentration. Genom primärproduktionsmätningar kan förändringar i miljötilståndet beskrivas.

Förändringar som kan observeras är naturlig och antropogen närsaltbelastning av havet.

Målen uppnås genom att **kontinuerligt** och med **tillräckligt hög provtagningsfrekvens** mäta primärproduktionen av växtplankton.

De viktigaste punkterna är

- * att i långt tidsperspektiv kunna påvisa förändringar i miljötilståndet.
- * att i kort tidsperspektiv kunna ange det rådande miljötilståndet.
- * att kunna ge en solid beskrivning av primärproduktionens årscykel inom provtagningsregionen.
- * att upptäcka eventuella produktionstoppar som orsakas av uppvällning eller extrema algbloomningar.

Att tänka på

Primärproduktionsundersökningar grundar sig på mätning av fotosyntetisk kolfixering med hjälp av radioaktivt kol (^{14}C). Arbete med radioaktiva isotoper kräver speciella tillstånd och stor noggrannhet krävs vid arbetet.

Undersökningar har visat att primärproduktionen av växtplankton kan ha en dygnsrytm, som kan resultera i att produktionen är lägre under natten. För att få jämförbara resultat bör primärproduktionsmätningarna koncentreras till dagtid.

Strategi

- * Avgörande för programmets framgång och meningsfullhet är **kontinuitet** och **långsiktighet**. Detta kräver en säker och långsiktig finansiering.
- * Mycket **höga kvalitetskrav** är viktigt för programmets meningsfullhet. Kvalitetskraven måste upprätthållas genom kontinuerlig **kontroll av materiel och analysinstrument**, samt **vidareutbildning**. Metoden skall vara kvalitetssäkrad vid det utförande laboratoriet och den bör vara ackrediterad (finns ännu inte i Sverige). Det är av stor vikt att noggrannheten i mätningarna är tillräckligt hög, eftersom variansen i datamaterialet bestämmer hur länge man måste mäta för att statistiskt kunna säkerställa en förändring.
- * Vid upprättandet av provtagningsstationer är det av vikt att stationens representativitet i området är undersökt.
- * Undersökningstypen **Primärproduktion** skall vara harmoniserad med och ha en stark koppling till undersökningstyperna **Klorofyll, Växtplankton total**, och **Hydrografi och närsalter**.
- * För att kunna utnyttja primärproduktionsdata krävs resultat som åtminstone anges i tidsskalan produktion per dag. För utnyttjandet av primärproduktionsdata i analysen av det lokala och regionala miljötillståndet kan det vara tillfyller att ange potentiell primärproduktion (produktion per timme vid ljusmättnad). Primärproduktionsdata från diskreta djup kan i vissa fall vara av intresse, men normalt är det vertikaltintegrerade primärproduktionsvärden som anges per ytenhet som är av störst nytta.

Statistiska aspekter

Beroende på den snabba variationen i tillväxthastigheten hos växtplankton kräver primärproduktionsmätningar i allmänhet en hög provtagningsfrekvens för att viktiga steg i successionen inte skall missas. För att täcka växtplanktonsuccessionen under året krävs 20 till 25 provtagningsstillfällen per år. För att få information om årscykler bör mätningar ske 10 till 15 gånger per år. I allmänhet kan man minska provtagningsfrekvensen något under vintermånaderna (speciellt i Östersjön) och i stället öka frekvensen under vår, sommar och höst.

Den viktigaste faktor som kontrollerar fotosyntesen i havet (primärproduktionen) är tillgången på ljus. Ljustillgången avtar med djupet, vilket gör att produktionen i princip också avtar med djupet. Eftersom den vertikala fördelningen av växtplankton kan variera avsevärt med djupet och det inte är sällsynt att vissa växtplankton samlas i tunna skikt på bestämda djup kan en stor primärproduktion ske även på större djup. Problemet undanröjs genom att insamla sanna integrerade prov med hjälp av slang. Samtidigt kan det vara viktigt att mäta produktionskapaciteten av den växtplanktonpopulation som utvecklar en stor population i ett tunt skikt. Därför bör ett diskret prov tas på det djup, där ett planktonmaximum uppmätts med *in situ*-fluorescens.

Mätprogram

In situ mätning av primärproduktionen anses utgöra den mest pålitliga metoden för bestämning av planktonalgernas dagliga produktion. Av praktiska skäl och kostnadsskäl är *in situ* mätningar dock endast praktiskt genomförbara i mycket kustnära områden som fjordar, vikar och i närheten av ett laboratorium. I öppet hav och i områden som besöks av större forskningsfartyg är mätningarna normalt baserade på en laboratoriemätning i en ljusgradient vid en bestämd temperatur.

I denna anvisning prioriteras den senare metoden, dvs. mätning i inkubator i en ljusgradient. Långa tidsserier mätta med *in situ* metoden rekommenderas dock att fortsättas. De kan framledes utgöra en jämförelse och kalibrering för inkubatormetoden.

Primärproduktionsbestämning definieras således med två metoder:

- 1 Inkubatormetoden enligt det protokoll som föreslagits av ICES/HELCOM QUALITY ASSURANCE WORKING GROUP OF BIOLOGICAL METHODS och THE WORKING GROUP OF THE REVISION OF THE BALTIC MONITORING PROGRAMME.
- 2 *In situ* metoden

Provtagningsfrekvens

För att kunna beräkna den årliga primärproduktionen med tillräcklig noggrannhet krävs en provtagningsfrekvens av 20 - 25 gånger per år. Längs den svenska västkusten, där isvintrar är relativt sällsynt och där vinterblomningar kan förekomma krävs 25 provtagningar om året. I Östersjöområdet och framför allt Bottenhavet och Bottenviken kan 20 provtagningar per år vara tillfyllest, speciellt vid starka isvintrar.

För att få generell information om produktionscykelns olika stadier krävs en provtagningsfrekvens av 10 - 15 gånger per år. Perioden december-januari kräver i allmänhet färre provtagningar, medan vår och höst kräver tätare provtagning. I Östersjöområdet och framför allt Bottenhavet och Bottenviken kan 10 provtagningar per år vara tillfyllest, speciellt vid starka isvintrar. Provtagningsfrekvensen kan minska under vintermånaderna, men det är viktigt att påpeka att växtplankton kan utvecklas och även blomma under isen i slutet av vintern.

Stationsval

Olika kriterier styr valet av stationer och deras position inom respektive område. Områden med relativt snabb vattenomsättning och starka gradienter behöver fler stationer per ytenhet än områden där omsättningstiden är längre och gradienterna svagare. Vid val av positioner bör hänsyn tas till eventuella tidigare mätningar i området. Kan en äldre station återupptas eller fortsättas är detta en fördel då äldre data kan användas som jämförelsematerial, förutsatt att syftet med undersökningen kvarstår.

Inkubationsmetoden

Provtagningsmetodik

Principen för denna metod är att representativa prover av den naturliga växtplanktonpopulationen inkuberas i en ljusgradient för att erhålla ett samband mellan fotosyntes och ljus, en så kallad P / E mätning, där P betyder produktion (eller egentligen

photosyntetisk flux) och E ljusstrålning. Ur detta samband kan parametrarna P_{\max} (maximala produktionen) och α (initiala lutningen på P/E-kurvan) bestämmas. Fördelen med denna metod är att ekofysiologisk information om växtplanktonsamhället kan erhållas från P / E-kurvan. Vidare är det möjligt att beräkna den dagliga produktionen och ge ett mått på den årliga produktionen.

Provtagning

Ett prov som representerar den omblandade eufotiska zonen tas. Provet bör tas som ett integrerat prov med hjälp av siliconslang (Lindahl, 1986). Om slang inte används rekommenderas att blanda flera prover tagna med vattenhämtare (icke-transparent och icke-toxisk) från olika djup i den eufotiska zonen.

I områden med en stratifierad eufotisk zon rekommenderas ytterligare prover.

Provtagningen skall ske dagtid.

Innan prov för inkubationen tas bör CTD- och fluorescensprofilering ske för att klarlägga det omblandade skiktets djup och den vertikala fördelningen av växtplankton.

Inkubatorn

En standardiserad inkubator, rekommenderad av ICES skall användas (Colijn et al 1996). Inkubatorn består av en ljusdel med 10 fluoriserande ljusrör (TL33) och ett plastakvarium (akryl eller perspex) med tempererat vatten. Flaskorna sätts på ett hjul som får rotera i akvariet. Anpassningen av temperaturen till motsvarande den i havet kan ske med kylare och akvariepump, eller med flödande havsvatten från provtagningsfartygets pumpsystem. Flödet av vatten driver hjulets rotation.

Inkubatorn skall placeras så att omgivande ljus inte påverkar provflaskorna.

Kulturflaskor med en ungefärlig volym av 50 ml skall användas. För att de olika ljusintensiteterna i ljusgradienten ska uppnås skall flaskorna täckas med ett plastmaterial med tillsats av mörka pigment i olika mängd för de olika flaskorna (Colijn et al 1993, Zemoko, de Keyzer 1994). Det rekommenderas att använda ca 10 olika ljusnivåer, dvs. 10 olika flaskor för att skapa en godtagbar P / E-kurva.

Mycket noggrann rengöring av flaskorna krävs, för att föroreningar inte ska påverka processhastigheten.

Allt handhavande av prover före och efter inkuberingen skall ske i begränsat ljus.

Experimentflaskorna fylls så att det finns plats för tillsatsen av ^{14}C och en liten luftbubbla som underlättar omrörningen av provet.

^{14}C

^{14}C som används ska ha en alkalinitet på 1.5 mM och en specifik aktivitet av 4-20 $\mu\text{Ci/mL}$ (150-750 kBq/mL).

Inkuberingsteknik

- Inkuberingen skall påbörjas snarast möjligt efter provtagningen.
- ^{14}C tillsätts separat till varje provflaska med kalibrerade pipetter.

Arbetsmaterial : 1997-06-13

- Koncentrationen av ^{14}C i provflaskan skall vara tillräckligt stor för att radioaktiviteten skall kunna mätas med tillräcklig statistiskt noggrannhet.
- Inkubationstiden är 2 timmar och flaskorna skall rotera med en hastighet av ungefär 10 varv per minut.
- Inkuberingstemperaturen skall vara densamma som *in situ*-temperaturen. För prover i skiktade vatten kan det krävas 2 inkuberingar.
- Ljusintensiteten i inkubatorn skall vara så hög att ljusmättnad uppnås i den helt transparenta flaskan (upp till $400 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Efter inkuberingen skall vattenproverna filtreras genom GF/F-filter. Vakkum får ej överstiga 0.3 bar. Filterna placeras i scintillationsflaska, som utan lock får stå i 3 timmar i 40-50 °C, för att filtret skall torka och icke inkorporerat ^{14}C skall dunsta från filtret.

Radioaktivitetsmätning

Filternas radioaktivitet mäts i scintillationsräknare efter tillsats av scintillationsvätska. Proverna skall räknas så länge att resultaten har ett statistiskt fel på högst 3 %. Quench-kurvor skall göras och scintillationsräknarens effektivitet skall kontrolleras med "internal standard". Räkneeffektiviteten skall bestämmas genom regelbunden kalibrering med ^{14}C -standard.

Totalt koldioxid

Löst oorganiskt kol skall bestämmas enligt Strickland & Parsons (1972), eller beräknas med de relationer Buch (1945) uppställt.

Beräkning av kolupptaget

Det totala kolupptaget under inkuberingen beräknas enligt formler i HELCOM Guidelines (1988, nya kommer snart). Mörkervärden skall subtraheras från ljusvärden, men också redovisas separat.

Temperaturkorrektur är inte nödvändig om proven är inkuberade vid *in situ* temperatur.

Resultatet kan redovisas som POTENTIELL PRIMÄRPRODUKTION, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$.

Övriga nödvändiga mätningar för produktionsbestämning

- Ljusbildning i vattnet vid provtagningen skall ske med ett instrument som mäter PAR (Photosynthetic Active Radiation). Om ljusbildning inte kan göras kan Secchi-djupet omvandlas till ett approximativt värde på extinktionskoefficienten (HELCOM Guidelines 1988, nya kommer snart).
- Om den dagliga produktionen skall beräknas krävs data på den totala instrålningen i provtagningsområdet.
- Klorofyll
- Djup av klorofyllmaximum från fluorescensprofilering
- Salinitet, Temperatur, pH, om så önskas Alkalinitet

Beräkning av daglig primärproduktion

Omräkningen av kolupptaget per timme till daglig primärproduktion i vattenpelaren sker enligt metoder beskrivna i Gargas and Hare (1976), Aertebjerg and Bresta (1984) och Richardson (1987). Resultatet redovisas som DAGLIG PRIMÄRPRODUKTION, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$.

In situ-metoden

Principen för denna metod är att representativa prover av den naturliga växtplanktonpopulationen exponeras i havet på det djup där vattnet hämtades. Vid *in situ*-mätningar är exponeringstiden längd ett problem. För att erhålla värden på dygnsproduktionen där en naturlig korrektion för respirationen ingår krävs 24 timmars exponering. Mot detta står risken för så kallade flaskeffekter, vilket gör att man vill ha så kort exponering som möjligt. Ett annat skäl till att föredra korta exponeringar är kostnaden för fartyg. I denna beskrivning rekommenderas 4 timmars exponering förlagd till mitt på dagen.

Provtagning

Diskreta vattenprover tas med vattenhämtare (icke-transparent och icke-toxisk) från olika djup i den eufotiska zonen. Då primärproduktionen vanligen är högst nära ytan och ofta har en smal topp bör man ta täta prover i ytskiktet, för att sedan glesa ut dem. Rekommenderade provtagningsdjup är 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15, 20 meter. Ytterligare prov kan vara nödvändigt om växtplanktonpopulationer ligger koncentrerade i smala skikt på större djup. För att utvärdera detta bör fluorescensprofilering ske innan provtagningen.

Exponering

Vattenprover fylls på 50-100 mL flaskor av högkvalitativt glas eller polykarbonat. ^{14}C tillsätts och flaskorna exponeras i havet på det djup där vattnet hämtades.

Exponeringen skall ske kring middagstiden och skall vara 4 timmar (lämpligen 10 - 14).

Allt handhavande av prover före och efter exponering skall ske i begränsat ljus.

Experimentflaskorna fylls så att det finns plats för tillsatsen av ^{14}C och en liten luftbubbla, som underlättar omrörningen av provet.

^{14}C

^{14}C som används ska ha en alkalinitet på 1.5 mM/L och en specifik aktivitet av 4-20 $\mu\text{Ci/mL}$ (150-750 kBq/mL).

Inkuberingsteknik

- Inkuberingen skall påbörjas snarast möjligt efter provtagningen
- ^{14}C tillsätts separat till varje provflaska med kalibrerade pipetter.
- Koncentrationen av ^{14}C i provflaskan skall vara tillräckligt stor för att radioaktiviteten skall kunna mätas med tillräcklig statistiskt noggrannhet.
- Inkubationstiden är 4 timmar.
- Efter exponeringen skall vattenproverna filtreras genom GF/F-filter. Vakkum får ej överstiga 0.3 bar. Filterna placeras i scintillationsflaska, som utan lock får stå i 3

Arbetsmaterial : 1997-06-13

timmar i 40-50 °C, för att filtret skall torka och icke inkorporerat ¹⁴C skall dunsta från filtret.

Radioaktivitetsmätning

Filtrens radioaktivitet mäts i scintillationsräknare efter tillsats av scintillationsvätska. Proverna skall räknas så länge att resultaten har ett statistiskt fel på högst 3 %. Quench-kurvor skall göras och scintillationsräknarens effektivitet skall kontrolleras med "internal standard". Räkneeffektiviteten skall bestämmas genom regelbunden kalibrering med ¹⁴C-standard.

Totalt koldioxid

Löst oorganiskt kol skall bestämmas enligt Strickland & Parsons (1972), eller beräknas med de relationer Buch (1945) uppställt.

Beräkning av kolupptaget

Det totala kolupptaget under exponeringen beräknas enligt formler i HELCOM Guidelines (1988, nya kommer snart). Mörkervärden skall subtraheras från ljusvärden, men också redovisas separat.

Resultatet är PRIMÄRPRODUKTION, $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{exponeringstid}^{-1}$ (4 timmar)

Beräkning av daglig primärproduktion

Omräkningen av kolupptaget per exponeringstid till daglig primärproduktion i vattenpelaren sker enligt ljusfaktormetoden. Ljusfaktorn erhålls genom att dividera den uppmätta totala instrålningen under exponeringsdagen med instrålningen under exponeringstiden. Ljusfaktorn multipliceras med produktionsvärdet för exponeringstiden.

Övriga nödvändiga mätningar för *in situ*-produktionsbestämning

- Klorofyll
- Djup av klorofyllmaximum från fluorescensprofilering
- Salinitet, Temperatur, pH, om så önskas Alkalinitet

Bakgrundsinformation

Primärproduktionsprogram genomförs alltid tillsammans med program som innefattar klorofyll, hydrografi, närsalter och helst växtplankton, för att underlätta tolkningen av resultaten. Dessutom krävs i allmänhet ljustransmission i vattnet, alternativt siktdjup, samt väderinformation.

Utvärdering

Bearbetning av data sker först sedan rådata lagrats i databas. Dokumentation skall ske i enlighet med de regler som gäller för ackrediterade laboratorier (d.v.s. uppgifter om utförare (signering, beständig skrift, rutiner för lagring av protokoll m.m.). Kvalitetsgranskning och

*Handbok för miljöövervakning
Undersökningstyp*

sammanställning skall vara obligatorisk innan resultaten lämnas till uppdragsgivaren. Data som levereras till datavärd skall vara bearbetade, genomgångna och kvalitetssäkrade. För att felaktigheter ska kunna spåras bör vissa delar av rådata också levereras till datavärd. Årsrapporter skall produceras med en kortfattad sammanställning, inklusive bakgrundsinformation om årets resultat och händelser.

Databehandling

Data bör så snart som möjligt efter analys föras in i någon form av databas. En kvalitetskontroll (rimlighetskontroll) skall utföras så fort alla parametrar är analyserade. Jämförelse med normalvärden från området för aktuell årstid är ett sätt.

Det är mycket viktigt att säkerställa att spårbarhet kvarstår i datalagringen (avseende såväl analysmetoder/info som mätdata).

Kvalitetssäkring

Interkalibrering och parallellanalyser är ett absolut krav och bör utföras minst en gång per år. Detta bör ske dels nationellt (lokalt/regionalt), dels internationellt. På sikt bör ackreditering för provtagning och analyser i havsvatten avkrävas utföraren.

Rapportering och presentation

Kvalitetsgranskning och sammanställning skall vara obligatorisk innan resultatet lämnas till uppdragsgivare, datavärd m.fl.. Årsrapporter skall produceras med en kortfattad sammanställning, inklusive bakgrundsinformation, om årets resultat och händelser.

Datalagring, Datavärd

Datavärd för primärproduktionsdata är: SMHI Oceanografiska laboratoriet, Göteborg.

En årlig sammanställning av databasens status görs av datavärden, vilken innehåller statistik över databasens innehåll, vad som tillkommit under året respektive vilka dataleveranser som gjorts.

Kostnadsuppskattning

Båtkostnader utgör en betydande del av kostnaden för ett primärproduktionsprogram. Denna kostnad delas emellertid normalt med programmen för hydrografi, närsalter, klorofyll och växtplankton. Båtkostnaderna är beroende av det område som ska undersökas, samt hur viktigt det är att provtagningsstidpunkt kan hållas. Ett provtagningsprogram längs en öppen kust kräver större båtar och är därigenom dyrare än ett program inomskärs. Mycket grovt räknat kostar en 10 meters båt som kan arbeta i upp till 10 m/sek 500-600 kr/timme (januari 1997).

En typisk station inom ett kustkontrollprogram kostar årligen (25 mätningar) ca. 30.000 kr.

Provtagning, mätning och analys kostar ca 300 kr/djup. Kvalitetssäkringskostnader (som innefattar inköp av litteratur, deltagande i kurser och deltagande i interkalibreringar) kan grovt uppskattas till 1 500 - 3 000 kr per station.

Litteratur

- Aertebjerg. G. and Bresta. A.M. (ed). 1984. Guidelines for the Measurement of Phytoplankton Primary Production. Baltic Marine Biologists Publication No. 1. 2nd edition.
- Buch K. 1945. Kolsyrejämvikten i Baltiska Havet. Fennia, 68(5).
- Colijn. F., Kraay. G.W., Duin. R.N.M., Tillman. U. and Veldhuis. M.J.W. 1996. Design and test of a novel P_{\max} incubator to be used for measuring the primary production in ICES monitoring studies. ICES CM 1996/L3. DRAFT.
- Gargas.E. and Hare. I. 1976. User's Manual for estimating the Daily Phytoplankton Production measured in Incubator. Contribution from the Water Quality Institute. Danish Academy of Sciences. No. 2.
- HELCOM. 1988. Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third Stage; Part D. Biological Determinands. Baltic Sea Environment Proceedings No 27 D. Baltic Marine Environment Protection Commission. Helsinki Commission.
- Li. W.K.W and Maestrini. S.Y. (ed.). 1993. Measurement of Primary Production from the Molecular to the Global Scale. ICES Marine Science Symposia. Volume 197. ISSN 0906-060X.
- Lindahl. O. 1986. A dividable hose for phytoplankton sampling. ICES. C.M. 1986/L:26, annex 3.
- O'Reilly J.E. and Thomas J.P. 1983. A Manual for the Measurement of Total Daily Primary Productivity. Biomass Handbook No. 10. SCAR, SCOR, IABO, ACMRR.
- Richardson K. 1993. The ICES 14C Primary Production measurement intercomparison exercise. Mar. Ecol. Prog. Ser. 72: 189-201.
- Richardson. K. (ed). (1987). Primary Production: Guidelines for measurement by 14C incorporation. ICES. Techniques in Marine Environmental Sciences No. 5
- Strickland J.D.H. and Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada. Bull. 167. Ottawa. 310 s.
- Zemoko, de Keyzer. 1994. Irradiance Differentiation and Control in the ICES incubator. Maritiem technish bureau, Zemoko.