

103



Nationaal Onderzoeks-  
en Ontwikkelingsprogramma  
op het gebied van de

**ECONOMIE  
VAN DE AFVALSTOFFEN  
EN VAN DE SECUNDAIRE  
GRONDSTOFFEN**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

Programme National  
de Recherche et de Développement  
dans le domaine de l'

**ECONOMIE DES DECHETS  
ET DES  
MATIERES PREMIERES  
SECONDAIRES**

RAPPORT SCIENTIFIQUE

DIRECTORAAT VAN DE EERSTE MINISTER

PROGRAMMATIE VAN HET WETENSCHAPSBELEID

Wetenschapsstraat 8

1040 BRUSSEL

SERVICES DU PREMIER MINISTRE

PROGRAMMATION DE LA POLITIQUE SCIENTIFIQUE

Rue de la Science 8

1040 BRUXELLES

P



De wetenschappelijke verantwoordelijkheid  
voor de inhoud van dit dokument berust  
bij de onderzoeksleider.

La responsabilité scientifique du contenu  
du présent document est assumée par le  
Chef de l'unité de recherche.

Reproductie zonder toelating van de  
Diensten voor Programmatie van het Wetenschapsbeleid  
8, Wetenschapsstraat - 1040 Brussel, verboden.

Bij elke verwijzing naar dit rapport moet de bron  
vermeld worden.

Reproduction interdite sans autorisation des  
Services de la Programmation de la Politique Scientifique  
8, rue de la Science - 1040 Bruxelles

Toute référence au présent rapport doit comporter  
la mention des sources.



PERSPECTIVES DU RECYCLAGE DES RESIDUS DE L'AGRICULTURE ET DES  
INDUSTRIES AGRICOLES EN BELGIQUE - LE 06 SEPTEMBRE 1978

PERSPEKTIEVEN IN BELGIE VOOR RECYCLAGE VAN AFVALSTOFFEN AFKOMSTIG  
VAN DE LANDBOUW EN DE AGRO-INDUSTRIELE SEKTOR - 06 SEPTEMBER 78

---

Recyclage van landbouwafvalstoffen door voedselketens

---

Prof. PERSOONE, Rijksuniversiteit Gent, Nationaal R-D Programma  
"Afvalstoffen"



NATIONAAL ONDERZOEKS- EN ONTWIKKELINGSPROGRAMMA  
OP HET GEBIED VAN DE  
ECONOMIE VAN DE AFVALSTOFFEN  
EN VAN DE SECUNDAIRE GRONDSTOFFEN

RECYCLAGE VAN BIODEGRADEERBARE AFVALSTOFFEN  
DOOR AQUATISCHE VOEDSELKETENS

Prof. Dr. G. PERSOONE  
(algemene coördinatie)

Dr. Ir. E. JASPERS (coördinatie I.Z.W.O.)  
Dr. N. DE PAUW (leiding onderzoek algen en Daphnia)  
Dr. P. SORGELOOS (leiding onderzoek Artemia)  
Dr. C. CLAUS (leiding onderzoek Mollusken)

Medewerkers :

L. DE LEENHEER (landbouw ing.)  
E. BOSSUYT (landbouw ing.)  
E. BRUGGEMAN (technisch ing.)  
H. VERLET (technisch ing.)  
M. DOCHY (technicus Al)

RIJKSUNIVERSITEIT GENT  
Laboratorium voor Biologisch  
Onderzoek van Waterveront-  
reiniging en Marikultuur  
J. Plateaustraet 22  
9000 Gent

INSTITUUT VOOR ZEEWETENSCHAP-  
PELIJK ONDERZOEK  
Prinses Elisabethlaan 69  
8401 Bredene



# 1. PROBLEEMSTELLING

## 1.1. BIO-INDUSTRIELE AFVAL

Tijdens de laatste jaren is de veestapel niet alleen in België maar ook in andere geïndustrialiseerde landen toegenomen terwijl het aantal bedrijven sterk is afgenomen. Deze schaalvergroting heeft geresulteerd in het ontstaan van grote vee-teeltcomplexen, de zgn. "bio-industriën", die dagelijks enorme hoeveelheden dierlijke afvalstoffen (mest) produceren waarvan de vervuilingskracht zeer groot is.

Volgens een prognose zal in 1980 de verontreiniging door deze bedrijven teweeg gebracht, deze van de huidige belgische bevolking (huishoudelijke afval) circa 5 maal overtreffen (cf. Boddez et al., 1971, Verstraete et al., 1973) wat met zich uiteraard ernstige milieuproblemen meebrengt.

In vele gevallen kan bodempositie slechts gedeeltelijk de geproduceerde hoeveelheden opvangen en alternatieve oplossingen om deze nutriëntenrijke bio-degradeerbare afvalstoffen te elimineren of te recyclen zijn derhalve noodzakelijk. Rechtstreekse lozing van deze afvalstoffen die zeer rijk zijn aan stikstof- en fosforzouten vormt een ernstig gevaar voor onze oppervlaktewateren niet het minst i.v.m. eutrofiëring.

De idee om afvalwater te reinigen via aquakultuur wint de laatste jaren meer en meer veld (Walrath en Natter, 1976 ; Goldman en Ryther, 1976 ; Waygood, 1976 ; e.a.) als gevolg van de hoge kostprijs van chemische zuivering. De opbouw van korte gecontroleerde voedselketens gebaseerd op het recyclen van dierlijke afvalstoffen opent op lange termijn interessante perspectieven gezien de wereldvraag naar meer proteïnen en de nood aan een betere bescherming van ons leefmilieu.



Het recycleren van mest via aquatische voedselketens kan langs twee wegen verlopen : rechtstreeks als voedsel voor bepaalde organismen zoals kleine crustaceeën en vissen (Hepher en Schroeder, 1977) en zelfs mollusken die in staat zijn het particulier organisch materiaal te benutten, hetzij onrechtstreeks, na bakteriële mineralisatie en inbouw van de anorganische zouten in algenmateriaal dat op zijn beurt weer voedsel is voor andere konsumenten (Ryther, 1971 ; De Pauw en De Leenheer, 1977 ; De Pauw et al., 1978).

## 1.2. THERMISCHE EFFLUENTEN

Naast het gebruik van bio-industriële afval bij de opbouw van aquatische voedselketens is ook de benutting van een andere "verloren energie" nl. die aanwezig in thermische effluenten, in ons studieprogramma opgenomen. Van alle verloren warmte die via talrijke wegen uiteindelijk in de oppervlaktewateren terecht komt is deze afkomstig van de electriciteit producerende industrie ongetwijfeld de voornaamste.

De actuele efficiëntie van een thermische centrale met fossiele brandstof bedraagt 38 tot 40 %, en de meeste nucleaire centrales hebben slechts een rendement van 30 tot 35 %. De af te voeren warmte naar de omgeving is dus 1,5 à 2 maal hoger dan de energie die gegenereerd wordt.

Krenkel en Parker (1969) hebben getracht een prognose te maken van de hoeveelheid elektrische energie die in de komende decennia zal geproduceerd worden met het % rendement en de hoeveelheid "thermische pollutie" die ze zal veroorzaken. (cf. Tabel 1).

TABEL 1

| Jaar | Produktie in<br>$10^{18}$ cal/jaar | Rendement<br>in % | Verloren energie<br>(thermische effluenten)<br>in $10^{18}$ cal/jaar |
|------|------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1970 | 1.11                               | 34                | 2.15                                                                 |
| 1980 | 2.27                               | 37                | 3.86                                                                 |
| 1990 | 4.24                               | 41                | 6.11                                                                 |
| 2000 | 7.20                               | 46                | 8.42                                                                 |
| 2010 | 10.99                              | 53                | 9.78                                                                 |
| 2020 | 16.28                              | 61                | 10.42                                                                |



Uit een rapport opgesteld door Traction et Electricité (1975) voor de Belgische toestand blijkt dat eind 1975, voor het opwekken van circa 9000 MW electriciteit,  $1/3$  van het koelwater afkomstig is van de stromende wateren en  $1/3$  van koeltorens; de rest betreft gemengde systemen + water uit de estuaria.

In de land- en tuinbouwsector worden warmwatereffluenten reeds aangewend voor de irrigatie van gewassen en de bescherming ervan tegen de vorst, opwarming van de grond via draineerbuizen, verwarming en controle van de relatieve vochtigheid van broeikassen, de verwarming en klimatisatie van stallingen.

Ook in de sector van de aquakultuur zijn reeds veel voorbeelden van gebruik van warmwatereffluenten te noemen voor de versnelling van de groei van aquatische organismen door ze te kweken bij hun optimale temperatuur. Niet alleen op pilotschaal maar ook reeds op grote schaal worden thans met goed succes warmwatereffluenten gebruikt voor de kweek van oesters, kreeften, garnalen en verschillende zoet- en zoutwatervissen zoals karpers, zilverkarpers, graskarpers, paling, forel, regenboogforel, tong, tarbot, catfish, tilapia, enz. (cf. o.a. Nash, 1969 ; McNeil, 1970 ; Meske, 1973).

## 2. EIGEN ONDERZOEKINGEN MET ENKELE RESULTATEN

### 2.1. INLEIDING

In het kader van het Nationaal R-D programma "Economie van de afvalstoffen en van de secundaire grondstoffen" is in ons laboratorium aan de R.U.G. in samenwerking met het I.Z.W.O. aan de kust, momenteel onderzoek aan de gang op twee types van korte voedselketens :

- een zoetwaterketen met recyclage van varkensmest om watervlooien (Daphnia) te kweken, hetzij rechtstreeks, hetzij onrechtstreeks via algenkweek; de watervlooien kunnen ofwel geoogst worden, ofwel levend vervoederd aan vissen.
- een mariene keten, waarin varkensmest wordt omgezet in mikros-



kopische algen die vervolgens vervoederd worden aan mollusken (mosselen, oesters en "clams") of aan pekelkreeftjes (Artemia salina).

In de twee types van voedselketens wordt het kweekmilieu artificieel opgewarmd als simulatie van het gebruik van thermische effluenten.

In al onze experimenten wordt gebruik gemaakt van beluchte mengmest, afkomstig van grote varkenskwekerijen zoals bv. te Beernem en te Hamme. Na aereren gedurende 2 tot 3 weken, met het oog op mineraliseren en stankvrij maken van de mest, wordt dit substraat in verdunde toestand zonder verdere behandeling rechtstreeks gebruikt als voedingsmedium. Het aereren van de mest is trouwens van belang van epidemiologisch standpunt voor het elimineren van pathogene bakteriënsoorten.

Onderzoekingen zijn trouwens eveneens aan gang via samenwerking met andere laboratoria over het voorkomen en de mogelijke accumulatie van zware metalen en virussen in de verschillende schakels van de voedselketens die worden uitgetest.

Tabel 2 geeft een idee van de nutrientenstamenstelling van de gebruikte mest :

Tabel 2

|         | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>2</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N | Ortho-P | N:P |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-----|
| max.    | 1055               | 21 <sup>(*)</sup>  | 37                 | 19.4    | 420 |
| min.    | 173                | 0.0                | 0.8                | 2.6     | 22  |
| gemidd. | 573.3              | 3.3                | 13.7               | 6.1     | 144 |

Alle waarden in mg N of P per liter

(\*)

Indien nitriet, dat toxisch is voor de meeste organismen, in de beluchte mest wordt opgemerkt, wordt de beluchting gedurende enige tijd stopgezet, om het gevormde nitriet door denitrificatie te elimineren.



## 2.2. RESULTATEN

De onderzoeken omvatten 3 fasen :

- a) op laboratoriumschaal worden de verschillende parameters (biologische en technologische) die de overleving, groei en produktie van de aquatische organismen bepalen onderzocht en wordt een optimalisatie van de kulturen nagestreefd ;
- b) geschikte kweektechnologiën worden op laboschaal ontworpen en uitgetest ;
- c) kleine "out-door" pilootinstallaties worden gebouwd en op hun bruikbaarheid uitgetest.

## 2.3. OPBOUW ZOETWATERKETENS

### 2.3.1. WIERKWEEK

De bruikbaarheid van beluchte varkensmest als substraat voor de groei van verschillende zoetwaterwieren werd in een eerste stadium onderzocht.

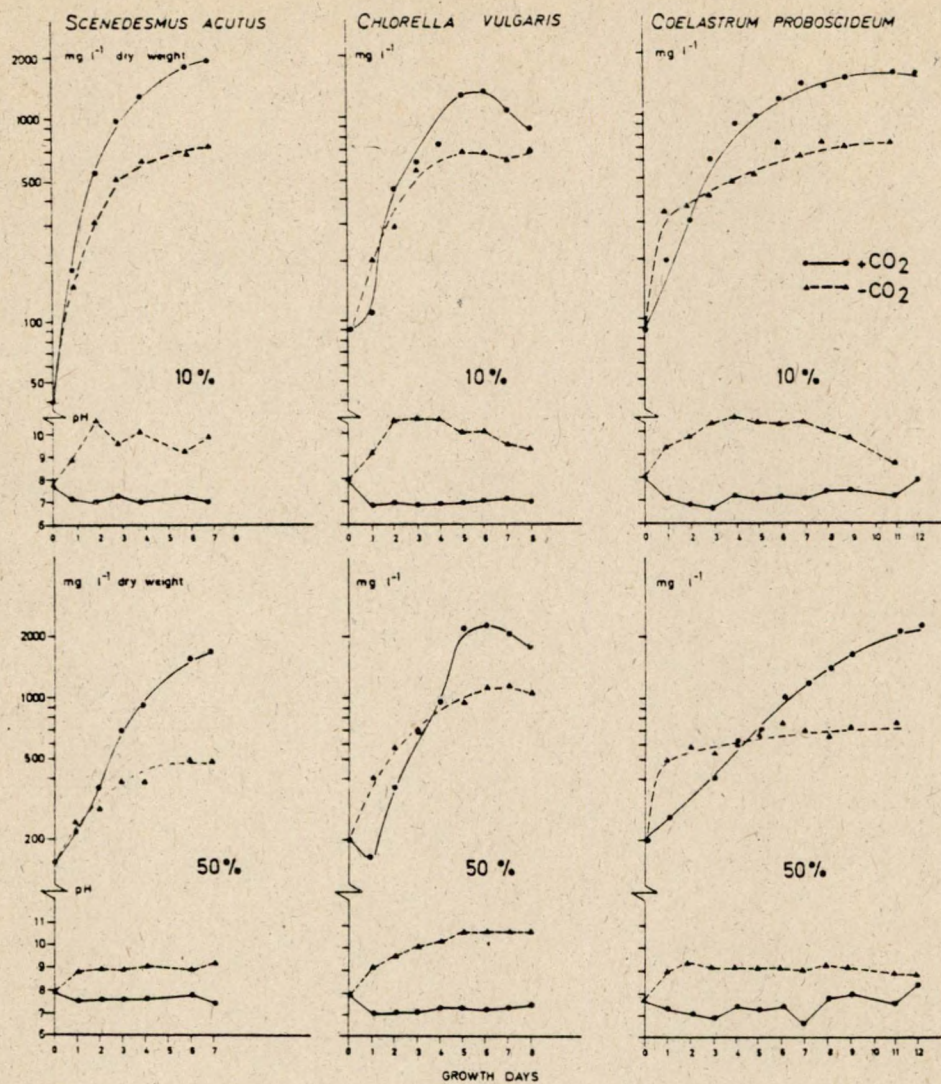
Uitgebreide vergelijkende groeiproeven werden verricht met verschillende soorten mikroskopische wieren. In kleine batch-kulturen (2 liter) werd de potentiële groei van Scenedesmus, Chlorella en Coelastrum in verschillende concentraties mest bestudeerd in goede temperaturen en belichtingsomstandigheden (De Pauw et al., 1978).

De invloed van pH stabilisatie (door toevoeging van  $\text{CO}_2$ ) op de groei van wieren werd in detail nagegaan. Fig. 1 geeft het resultaat van dergelijke experimenten.

De resultaten tonen aan dat beluchte varkensmest, een uitstekend substraat is voor de groei van diverse algen, in acht genomen dat zowel de nitrietconcentraties in de mest als de pH geen bepaalde waarde overschrijden.

Bij al de uitgeteste wiersoorten kwam tot uiting dat stabilisatie van de pH bij waarden gelegen tussen 7 en 8 de beste rendementen van algengroei garandeert.





Figuur 1

Groei en pH kurven van 3 wiersoorten in 2 liter flessen, op 10 en 50 % secundair gereinigde varkensmest, met en zonder CO<sub>2</sub>-aanrijking.



Vervolgens werd op grotere schaal de algengroei in openlucht kulturen onder natuurlijke temperatuur- en lichtomstandigheden gedurende de verschillende seizoenen van het jaar bestudeerd. Als kweektechnologie werd hier gebruik gemaakt zowel van race-ways uitgerust met ronddraaiende paddels (cf. Stengel, 1971) als van kweekbekkens met lucht-water pompen om de wiersuspensie in beweging te houden (Sorgeloos et al., 1977).

Eén van de voornaamste objectieven van ons onderzoek is het onderzoeken van de mogelijkheid om gedurende lange tijd semi-kontinue kulturen van Scenedesmus acutus te onderhouden met gemineraliseerde mest als enige nutriëntenbron. De criteria om dergelijke kulturen te sturen evenals de rendementen zijn begrijpelijkerwijze in de eerste plaats functie van de belichtingsomstandigheden (instraling) en de temperatuur.

Gedurende de wintermaanden vanaf december tot begin maart, werd praktisch geen algengroei vastgesteld als gevolg van de geringe insolutie waarden (minder dan  $400 \text{ J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) en de lage temperaturen. Tijdens twee winterseizoenen (1976-77 en 1977-78) werd daarom eveneens onderzocht in welke mate opwarmen van de kultuurvloei stof de wiergroei zou bevorderen. De experimenten werden uitgevoerd in een opgewarmde glazen serre bij ongeveer  $20^\circ\text{C}$ .

In tabel 3 zijn de bekomen opbrengsten per maand weergegeven, in relatie tot de instraling.

Tabel 3

| Maand    | 1976 - 1977                                                      |                                                                   | 1977 - 1978                                                      |                                                                   |
|----------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|          | gemiddelde<br>produktie<br>(g DS $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) | gemiddelde<br>instraling<br>( $\text{J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) | gemiddelde<br>produktie<br>(g DS $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) | gemiddelde<br>instraling<br>( $\text{J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) |
| December | 1.66                                                             | 188                                                               | 1.74                                                             | 169                                                               |
| Januari  | 2.10                                                             | 246                                                               | 1.90                                                             | 208                                                               |
| Februari | 2.88                                                             | 462                                                               | 2.73                                                             | 428                                                               |
| Maart    | 3.91                                                             | 866                                                               | -                                                                | -                                                                 |



De resultaten laten duidelijk uitschijnen dat licht dé bepalende limiterende factor is voor de algengroei; niettegenstaande de opwarming van de kultuurvloeistof tijdens de winterperiode werden immers geen wezenlijk hogere producties bekomen dan in niet opgewarmde bekkens. Dezelfde bevinding werd trouwens ook onlangs gedaan in de V.S. (Goldman, 1977) met mariene mikroskopische wieren.

De twee voornaamste praktische konklusies van dit experiment zijn dat massakweek van wieren in outdoor omstandigheden in België, slechts mogelijk is vanaf maart tot oktober - november (een bevinding die gedeeld wordt door Paelinck, 1978) en dat artificiële verwarming van de kweekbekkens voor de verhoging van de wierproduktie maar interessant wordt wanneer de lichtomstandigheden niet limiterend zijn.

Zonder artificiële opwarming varieerden de droge stof opbrengsten in onze experimenten vanaf maart tot juli - augustus, tussen 2.5 en 15 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, wat in overeenstemming is met andere literatuurgegevens (cf. o.a. Oswald, 1977).

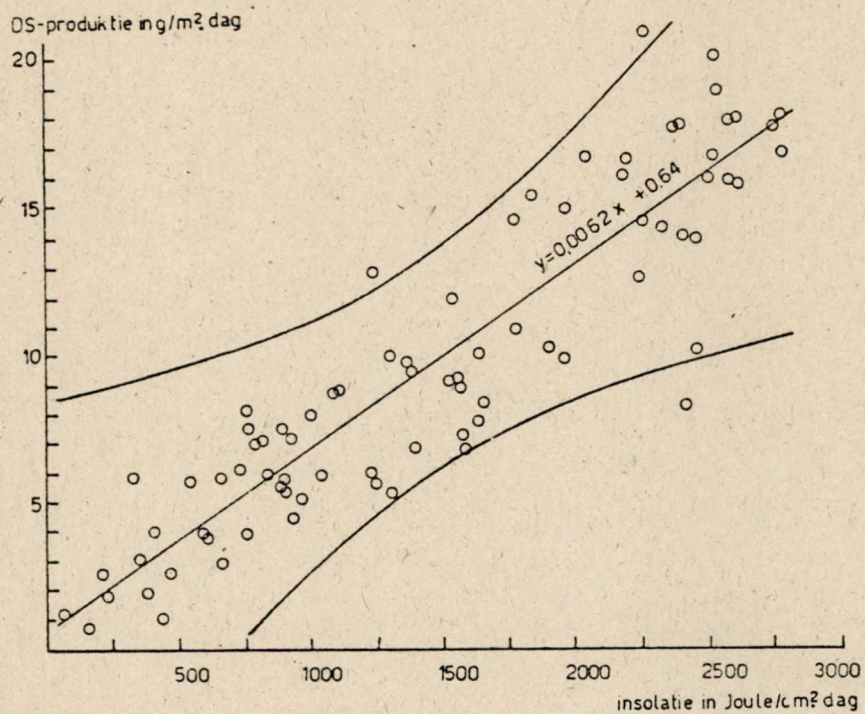
In een uitgebreide reeks proeven met Scenedesmus gekweekt op anorganische zouten heeft Paelinck (1978) de relatie tussen wierproduktie en insolatie voor onze Belgische klimaatomstandigheden onderzocht (Fig. 2).

De efficiëntie met dewelke het ingestraalde licht tot wierbiomassa wordt omgezet, bedraagt gemiddeld ongeveer 1.5 %, hetgeen aanzienlijk hoger is dan hetgeen bereikt wordt in de konventionele landbouw.

Zoals hoger reeds vermeld, was één van de doelstellingen van ons onderzoek, het op punt stellen van semi-kontinukulturen van wieren op mest. In Fig. 3 zijn bv. enkele resultaten van een dergelijk experiment weergegeven.

De hoeveelheid mest die regelmatig bijgevoegd worden wordt berekend op grond van de hoeveelheden N en P aanwezig in de mest, en in functie van de theoretische optimale N en P opname voor de wiergroei onder de heersende lichtkondities. De opbrengst

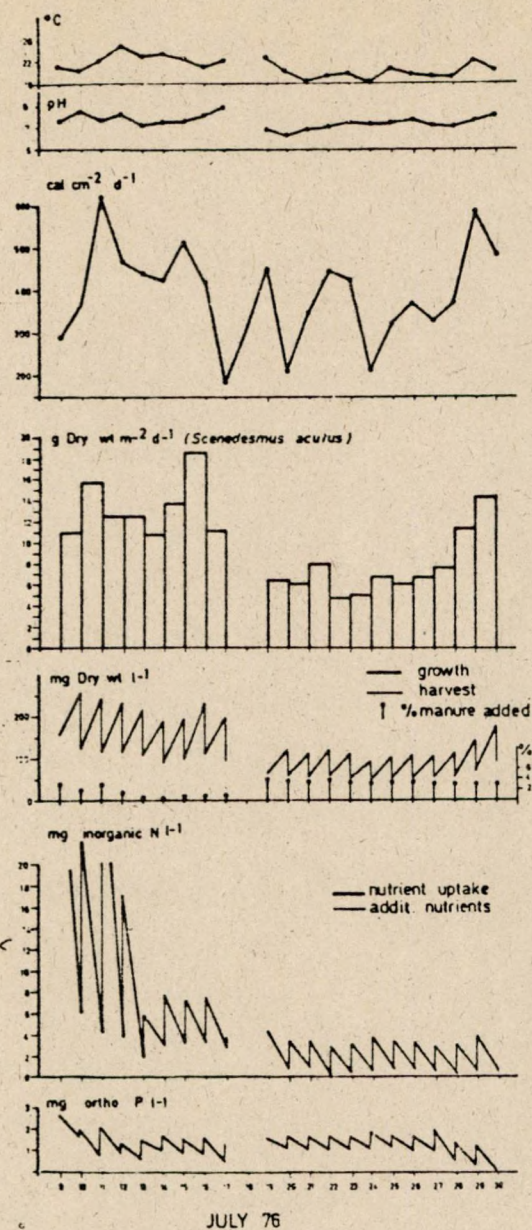




*Figuur 2*

Verband tussen de dagelijkse globale instraling (Joule/cm<sup>2</sup>.dag) en de dagelijkse biomassaproduktie (g/m<sup>2</sup>.dag) (uit Paelinck, 1978).





Figuur 3

Groei en nutriëntenopname van *Scenedesmus acutus* gekweekt op secundair gereinigde varkensmest in semi-kontinukulturen (250 liter) in openlucht, gedurende juli 1976.



in droge stof van wieren gekweekt op varkensmest ligt ongeveer 20 tot 30 % lager dan deze van referentiekulturen gekweekt op zuivere anorganische voedingszouten.

De praktijk heeft ons geleerd dat niet meer dan enkele procenten beluchte varkensmest mag toegevoegd worden, wil men de groei niet negatief beïnvloeden (o.a. door te hoge turbiditeit van de mestsuspensie).

Wanneer gewerkt wordt met weinig turbiede mest die voldoende N en P bevat, (in een goede N:P verhouding van ongeveer 6), blijken opbrengsten mogelijk te zijn die nagenoeg niet verschillen van deze bekomen op artificiële media.

### 2.3.2. DAPHNIA-KWEEK

De kweek van watervlooien is interessant zowel voor de oogst van deze organismen "in se", als levend voedsel voor andere konsumenten (vissen). Daphnia's bezitten immers een zeer hoge turn-over en hebben een hoog proteïnegehalte (meer dan 50 %).

In het laboratorium werden experimenten uitgevoerd om de invloed van verschillende factoren te bepalen op de overleving en reproductie van Daphnidenpopulaties. Zo werd de groei van Daphnia bestudeerd op een gemengd dieet van verdunde varkensmest en één-cellige wieren die gegroeid waren op dezelfde varkensmest. De ontwikkeling van Daphnia werd ook uitgetest op varkensmest als enige voedingssubstraat. Ten slotte werd ook de invloed van de verversing van het medium nagegaan op de vitaliteit van de populatie.

Een eerste interessante bevinding was dat watervlooien inderdaad kunnen gekweekt worden uitsluitend op een dieet van varkensmest. Dit betekent dat mits opwarming van het water (door gebruik van thermische effluenten) ook tijdens de koudere periode van het jaar (wanneer de instraling en dus de wierproductie gering is), de Daphnia-kweek verder kan gezet worden met varkensmest in concentraties van 1 tot 4 % mest per week.



Figuur 4 geeft de groei weer van D. magna in verschillende concentraties mest, al dan niet met verversing van het milieu. Met 1 à 4 % mest werden populatiedichtheden bereikt van 500 tot 1000 individuen per liter.

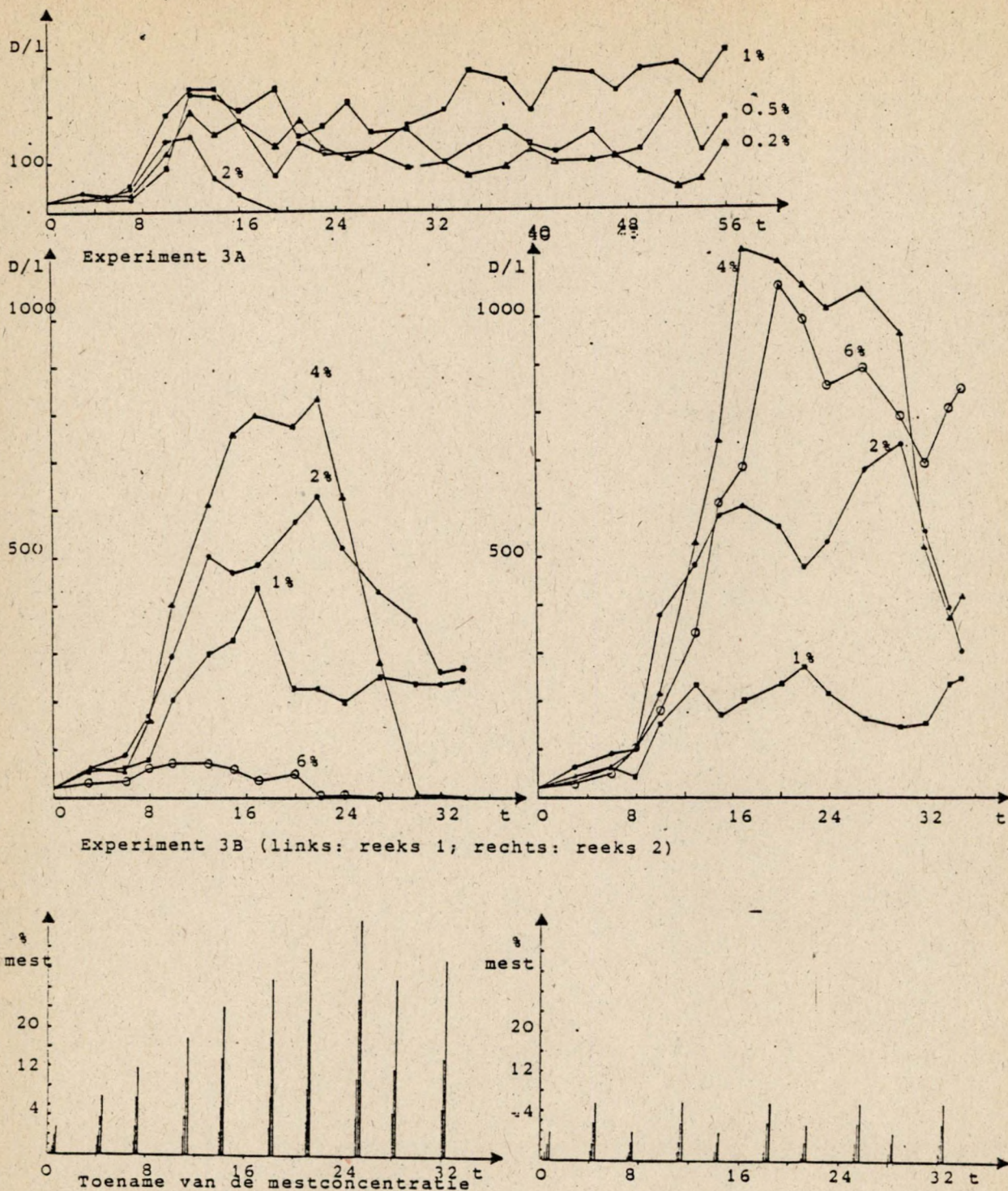
Op basis van toevoeging van 1 à 2 % mest per week blijkt verversing van het milieu weinig invloed te hebben binnen een periode van 3 weken op de groei van de populatie. Dit feit is van groot belang voor de toekomstige kweek in semi-continu en continu gezien de kostprijs van zoetwater.

Uit de vergelijking van de proeven met mest en mest plus wieren (Scenedesmus, Chlorella) (Fig. 5) blijkt duidelijk dat wieren een positieve rol spelen in het dieet van de Daphnia's. In batch cultuur experimenten bij 20°C met een dosis mest van 1 % per week en de aanwezigheid van ééncellige en filamenteuze wieren, werden populatiedensiteiten bereikt van nagenoeg 3000 indiv./l na drie weken t.o.v. 1000 ind./l op mest alleen. Een te sterke algenontwikkeling geeft echter aanleiding tot hogere pH's ( > 9), die ongunstig zijn voor Daphnia-kweek.

De laatste twee jaren hebben we ook Daphnia's gekweekt op grotere schaal, in ondiepe raceways van 3 tot 5 m<sup>3</sup> uitgerust met paddels of airliftpompen om het water in beweging te houden. Voor economische redenen werd de mengtijd beperkt tot 5 minuten per half uur wat bevredigende resultaten blijkt te geven. Als voedsel voor de daphniden werd wekelijks een kleine hoeveelheid beluchte varkensmest toegediend (ongeveer 10 liter per 2 m<sup>3</sup>). Gedurende die twee jaar is de populatie vitaal gebleven zelfs bij de laagste temperaturen, met weinig vorming van "Dauereir". Tijdens de zomermaanden werd regelmatig ongeveer 25 % van de populatie geoogst wat opbrengsten opleverde van enkele honderden grammen natgewicht per bekken per week.

Deze preliminaire proeven in outdoor bekkens zullen nu worden voortgezet in meer gecontroleerde omstandigheden in een rechthoekig bekken van 1 m diepte en 4 m<sup>3</sup> inhoud, uitgerust met lucht-waterpompen en dompolverwarmers om de temperatuur continu op 20°C te houden. Uit de literatuur blijkt immers dat een temperatuur van 20°C een maximale groeisnelheid van de water-vlooien oplevert.





Figuur 4

Evolutie van *Daphnia* populaties bij verschillende mestconcentraties.

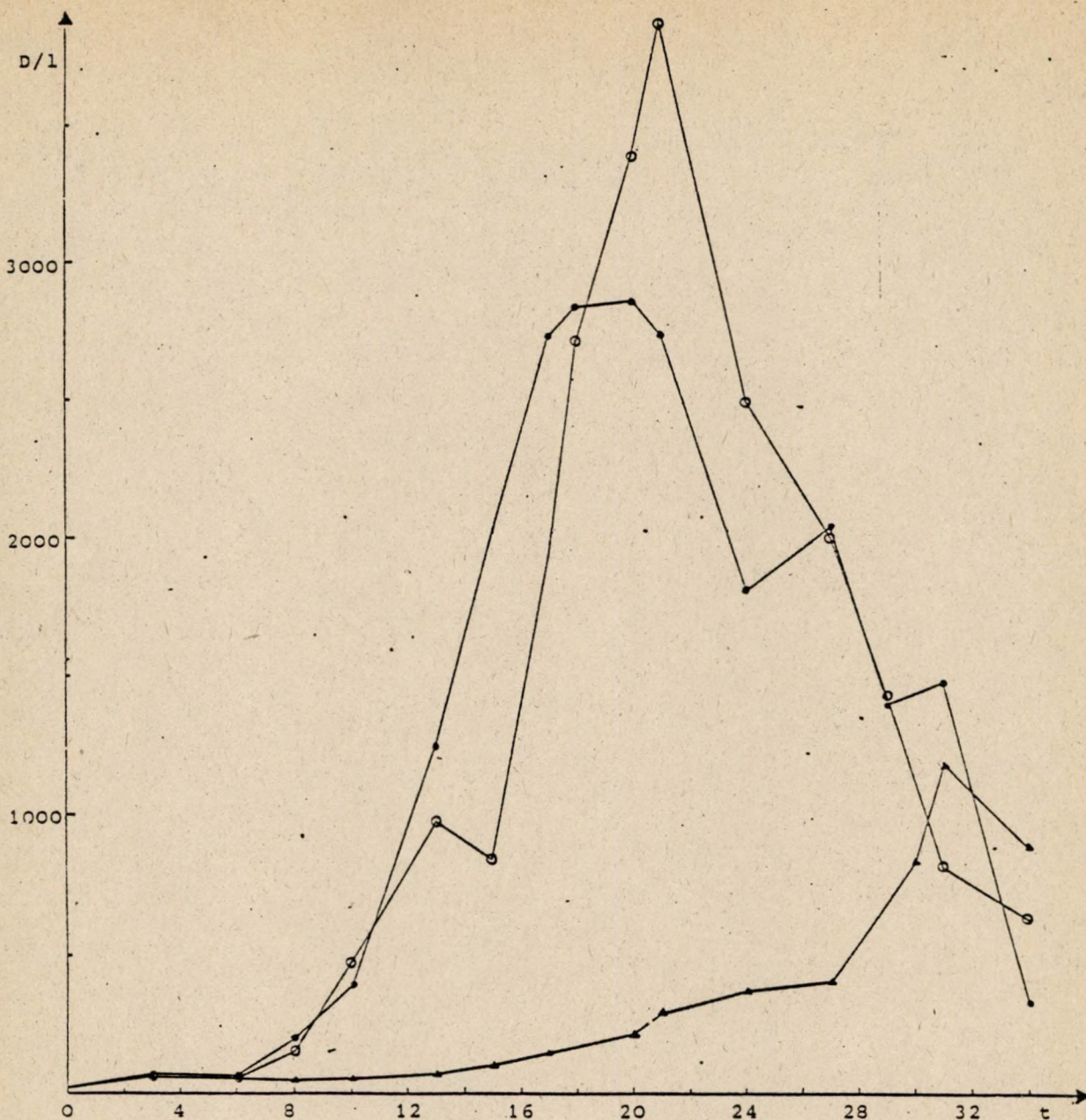
Exp. 3A : evolutie in 0.2, 0.5 en 1 % mest

Exp. 3B : evolutie in 1.2, 4 en 6 % mest

reeks 1 zonder verversing van het medium,

reeks 2 met wekelijkse verversing van het medium.





Figuur 5

Populatiegroei van Daphnia magna in een gekombineerd voedingsmedium van algen en mest.

- : Scenedesmus en 1 % mest
- : Chlorella en 1 % mest
- ▲: 1 % mest



## 2.4. OPBOUW MARIENE KETENS

### 2.4.1. MARIENE WIEREN

Naar analogie met de proeven met zoetwaterwieren, werd eerst op kleine schaal (2 liter baxterproeven) de geschiktheid voor kweek op bio-industriële afval (varkensmest) onderzocht van twee mikroskopische wieren : Dunaliella viridis, een fytoflagellaat en Chlorella sacharophilia, een niet-motiel groenwier. Uit deze proeven bleek dat zowel Dunaliella als Chlorella zeer goed groeien op ammonium houdende varkensmest. Bevat de mest echter veel nitriet dan wordt de groei van beide soorten gehinibeerd ; Chlorella is hiervoor gevoeliger dan Dunaliella. De pH blijkt een belangrijke rol te spelen bij de toxiciteit van  $\text{NO}_2^-$  ; bij verhoging van de pH tot 8 is nitriet namelijk veel minder toxisch dan bij een pH van 6.

In het kader van het gebruik van thermische effluënten leek het ons ook noodzakelijk na te gaan welke goedkope en commerciële anorganische meststoffen konden gebruikt worden als aanvulling of vervanging van varkensmest.

De uitgeteste combinaties waren :

1. Calciumnitraat met triple-superfosfaat
2. Calciumnitraat met fosforzuur
3. Ammoniumsulfaat met triple superfosfaat
4. Ammoniumsulfaat met fosforzuur

Behalve het technische fosforzuur zijn de vermelde produkten commerciële, in de landbouw veel gebruikte meststoffen.

Bij lagere pH's bleek triple-superfosfaat en ammoniumsulfaat de beste N en P bron te zijn, bij hogere pH's (7.5 à 9) fosforzuur en ammoniumsulfaat.

Op te merken valt dat de combinatie fosforzuur en ammoniumsulfaat gezien de zure reactie van die twee stoffen in het water het meest de pH van de kultuur zal doen dalen, wat een pluspunt is omdat hierdoor minder  $\text{CO}_2$  dient toegevoegd.



Zoals reeds gezegd bij de bespreking van zoetwateralgenkweek, is één van de voornaamste objectieven van ons onderzoek de mogelijkheid te onderzoeken om gedurende langere tijd semi-kontinu of kontinu-kulturen te onderhouden met gemineraliseerde mest als enige nutriëntenbron.

Een reeks proeven werden dan ook opgezet, eerst "indoor" later "outdoor" met de vermelde soorten evenals met een gemengd natuurlijk phytoplankton.

#### a) indoor-experimenten

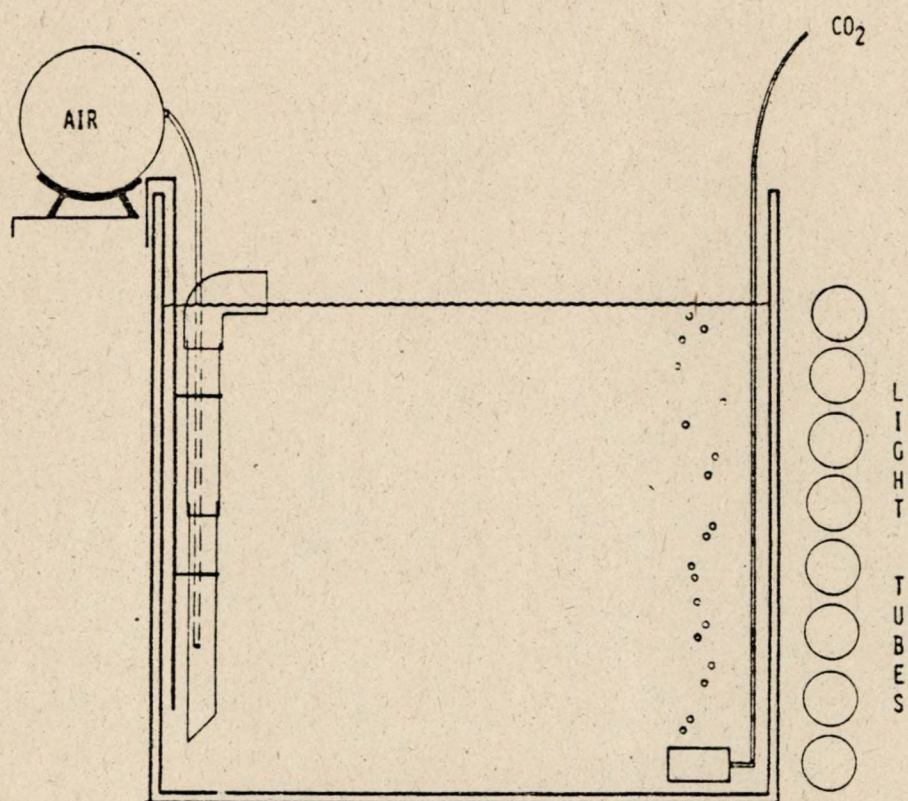
In het laboratorium werden wieren gekweekt in grote aquaria (100 liter) met artificiële belichting, eerst in een semi-kontinu-systeem, later in een kontinu-systeem. In de praktijk betekent dit dat hetzij diskontinu, hetzij kontinu een deel van de wier-kultuur geoogst wordt en de rest van de kultuur weer aangelengd wordt met zeewater samen met een bepaalde hoeveelheid nutriënten (mest).

Door het uitvoeren van chemische analyses op respectievelijk de mest en de kultuurvloei-stof is een goede sturing van de wier-kultuur mogelijk via dosering van de kwantiteit toe te voegen mest. De belichting was discontinu (16 uur licht - 8 uur donker) om de natuurlijke lichtcyclus na te bootsen.

Het uitgekozen kweekstelsel is gebaseerd op circulatie van de wiersuspensie door middel van een reeks zijdelings opgestelde lucht-water pompen (Fig. 6). Voor een meer uitgebreide beschrijving van het stelsel, verwijzen we naar Sorgeloos et al., 1977. CO<sub>2</sub> wordt kontinu aan de kultuur toegevoegd om de pH te stabiliseren.

Gekweekt op varkensmest bleek Chlorella saccharophila goed te groeien gedurende een aantal weken waarna de kultuur telkens in elkaar stortte. De groeistilstand van de kultuur, telkens waargenomen na een 3-tal weken viel steeds samen met een stijgend nitrietgehalte in de kultuur, al dan niet gevolgd door, of samen-gaande met een predatie door ciliaten. Zoals hoger reeds aange-toond is nitriet toxisch voor deze algen vanaf een zekere concen-tratie. De vorming van nitriet in de kultuur door nitrificerende





*Figuur 6*

Dwarse doorsnede door aquarium voor wierkweek  
uitgerust met lucht-waterpompen  
(uit Sorgeloos et al., 1977).



bakteriën werd vermoedelijk in de hand gewerkt door een te lang aangehouden retentietijd (> 7 dagen). Ook in andere proeven stelden we vast dat na verloop van tijd accumulatie van toxische stoffen boven een kritisch niveau, door te weinig oogsten en te veel mest toediening, de oorzaak kan zijn van een dalende wier-productie.

Bij kortere retentietijden waarbij nitrietvorming wordt vermeden, kon Chlorella echter gedurende meer dan twee maanden zonder problemen onderhouden worden in semi-kontinu kultuur.

Ofschoon Dunaliella een wier is dat zeer geschikt is voor de voeding van pekelkreeftjes, mosselen en oesters is het grote nadeel van deze soort dat ze zeer gevoelig is voor predatie door ciliaten en zoöflagellaten die de kultuur op korte tijd volledig kunnen leegvreten. Dit feit hebben we spijtig genoeg herhaaldelijk in onze proeven moeten vaststellen.

Veel onderzoek werd dan ook verricht om dit predatiefenomeen te bestuderen en te elimineren.

Een eerste resultaat was dat Dunaliella, een halofiele soort, die zeer hoge zoutgehaltes verdraagt gedurende lange tijd (verschillende maanden) in semi-kontinu of kontinu kulturen kan gekweekt worden wanneer de saliniteit van het medium gevoelig wordt verhoogd (90 ‰ tot 150 ‰).

Naast de preventieve mogelijkheden om predatie te vermijden, werd ook kuratief getracht de ontwikkeling van predatoren zoals ciliaten en zoöflagellaten af te remmen door toevoegen van kleine hoeveelheden formol (5 tot 30 dpm per dag).

Toevoeging van 10 dpm formol blijkt efficient te zijn voor het volledig elimineren van Ciliaten zoals Euplotes in de kultuur, waarbij Dunaliella slechts een tijdelijke groeistilstand kent van 1 dag.

Wat de zoöflagellaten betreft, zijn de concentraties formol die efficient zijn spijtig genoeg ook deze die de wierkulturen nadelig beïnvloeden.



In de kontinu-kulturen die moeten toelaten in de toekomst de kweek zoveel mogelijk te automatiseren, wordt eerst de optimale retentietijd opgezocht om een maximale produktie (volume oogst x concentratie wieren) te bekomen.

Wij zijn er reeds in geslaagd Dunaliella viridis succesvol te kweken in kontinu op basis van verdunde beluchte varkensmest, steeds onder voorwaarde dat bij zeer hoge saliniteiten van na-  
genoeg 150 ‰ gewerkt worden.

Kulturen met een dergelijke hoge saliniteit zijn echter enkel geschikt voor de kweek van Artemia salina.

#### b) outdoor-experimenten

-----

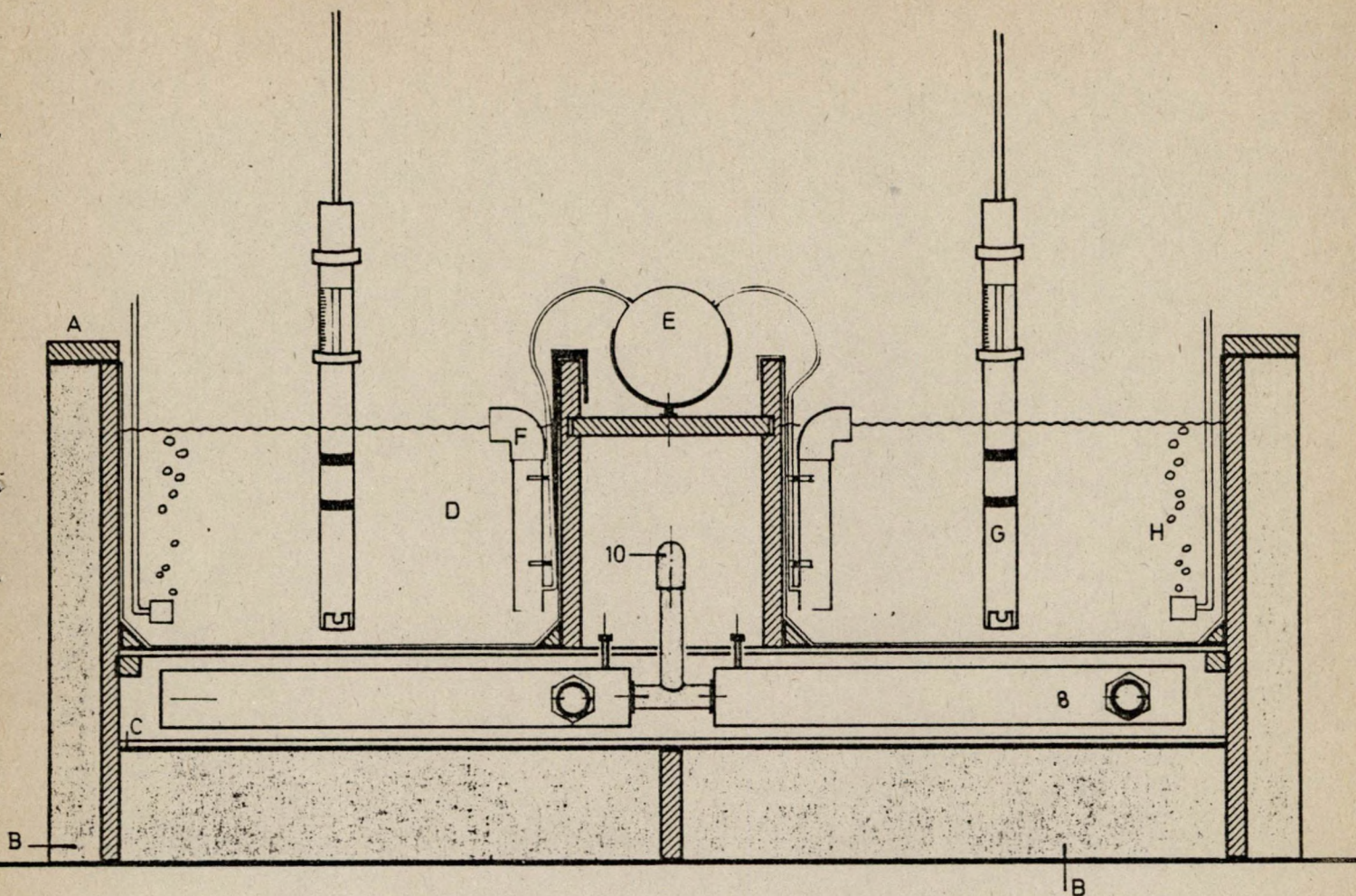
Op de terreinen van het Instituut voor Zeewetenschappelijk Onderzoek aan de Spuikom te Oostende, werd een kleine pilootinstallatie gebouwd voor de massakweek van mariene wieren onder natuurlijke lichtomstandigheden.

De installatie (Fig. 7) bestaat uit twee rechthoekige houten bekken, bekleed aan de binnenzijde met PVC-folie. Bij een diepte van 25 cm medium en een oppervlak van 1 m<sup>2</sup> bedraagt het volume van elke bak 250 liter. Lucht-water pompen zorgen voor de circulatie van de wieren. In de bodem van de bekken werd een verwarmingscircuit ingebouwd (als simulatie van het gebruik van thermische effluents) om de temperatuur van de kultuurvloei-  
stof op een konstante temperatuur te kunnen houden.

De CO<sub>2</sub> toevoer in de kulturen voor het stabiliseren van de pH wordt sinds oktober 1977 automatisch door middel van een speciale sturingseenheid geregeld die enkel CO<sub>2</sub> in de kultuur brengt wanneer een vooropgestelde waarde (7.5 - 8) overschreden is.

In een eerste experiment werd de groei van Chlorella saccharophila in semi-kontinu-kulturen bestudeerd onder natuurlijke lichtomstandigheden, met opwarming van de kultuurvloei-  
stof tot ongeveer 23°C. De groei op beluchte varkensmest werd steeds vergeleken met deze op een synthetisch medium.





Figuur 7

Dwarse doorsnede door prototype van "Outdoor" kweekstelsel voor mikroskopische wieren opgesteld aan de Spuikom.

- A houten bekisting
- B polystyreen isoleerlaag
- C aluminiumplaat
- D kweekbekken
- E expansievat
- F air-lift pompen
- G pH-elektrode
- H CO<sub>2</sub>-toevoer

- 1 voeding 220 V
- 2 hoofdverdeelkast met zekeringen
- 3 controlelampjes
- 4 ketel verwarmingsspiraal  
ketelthermostaat 50°C
- 5 circulatiepomp
- 6 aanvoerleiding warm water
- 7 afsluitkraan
- 8 radiator
- 9 thermokoppel
- 10 afvoerleiding water



Dit eerste experiment liep van juli 1977 tot januari 1978, hetzij ongeveer 6 maanden.

Het tijdstip van oogsten werd in deze semi-kontinu kulturen niet bepaald door een vast ingestelde retentietijd, maar wel door de bereikte optische densiteit. Het oogstritme tijdens de zomer was afhankelijk van een maximaal gestelde optische densiteit waarde ( $O.D. = 0.8$ ). Eens deze waarde bereikt, werd de kultuur voor 3/4 afgeoogst. Dit gebeurde ongeveer éénmaal per week.

Naar de winter toe werd deze hoge  $O.D.$  waarde niet meer bereikt binnen een redelijke tijdspanne, en werd de hoeveelheid oogst afhankelijk gemaakt van een vooropgestelde minimum  $O.D.$ . Het resterende deel van de kultuur werd dan terug aangelengd met gefiltreerd Spuikomwater (= kustwater van ongeveer 30 ‰), en voorzien van een bepaalde hoeveelheid verse beluchte varkensmest.

Per beurt werd maximaal 0.5 tot 1 % mest toegediend in functie van de N en P samenstelling van de mest en in functie van de te verwachten groei der wieren. Deze procedure waarbij de toegevoegde mest zorgvuldig in kleine kwantiteiten werd gedoseerd gaf zeer goede resultaten.

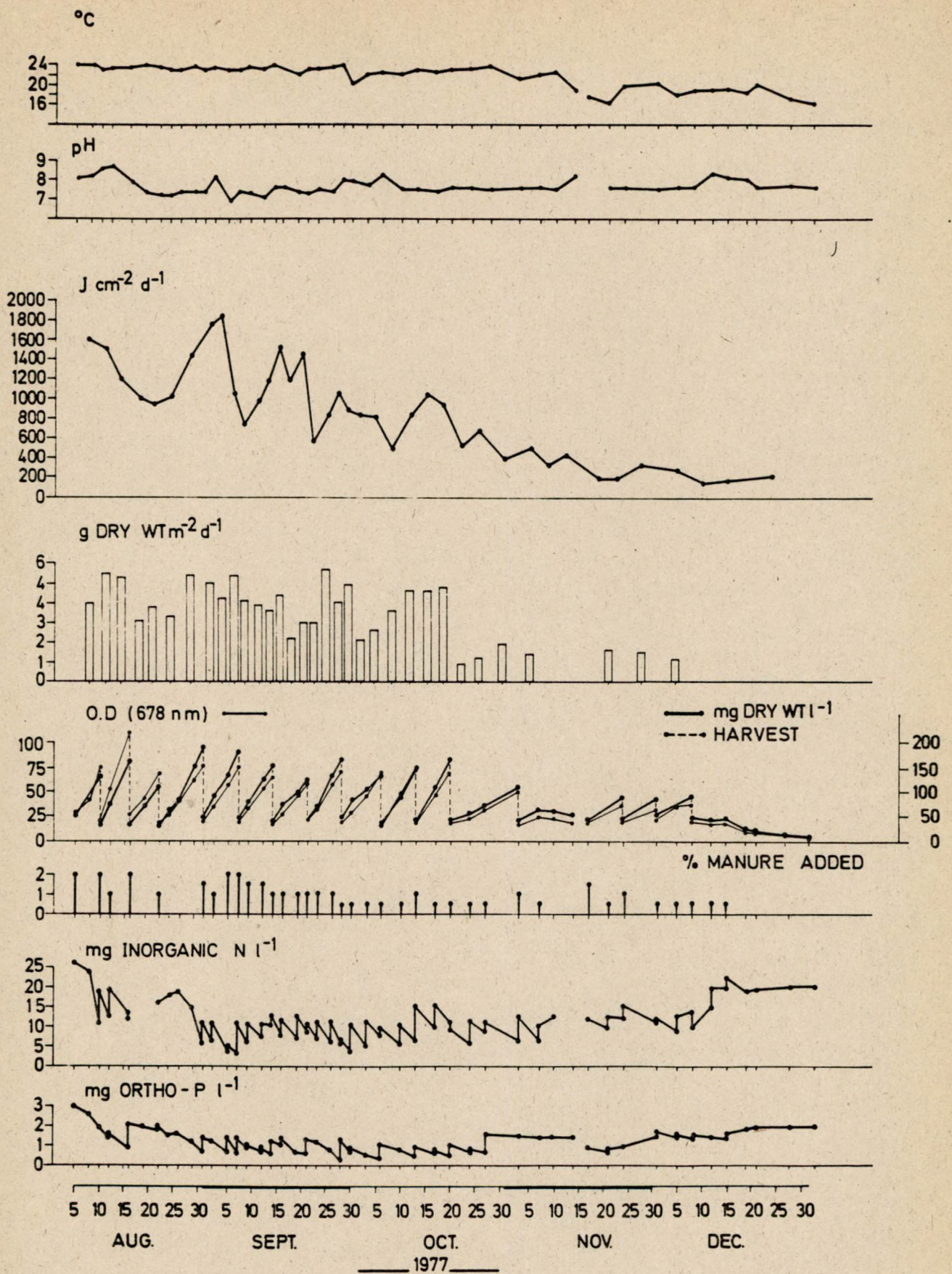
In tegenstelling tot de voorgaande "indoor" kulturen die meestal niet langer dan enkele weken konden in gang gehouden worden, liep deze kultuur meer dan 5 maanden, uitsluitend gestuurd op basis van beluchte varkensmest.

Figuur 8 visualiseert het productieverloop van deze proef, als-ook de opname der stikstof en fosfornutrienten.

Tabel 4 geeft een idee van de bekomen produkties en aangehouden retentietijden (2) gedurende het hele verloop van de proef.

De insolatiewaarden werden ook weergegeven ter vergelijking met de productiecijfers.





Figuur 8

Resultaten van 5 maanden semi-kontinu kweek van *Chlorella saccharophila* in outdoor kweekstelsel aan de Spuikom.



Tabel 4

| Maand   | Synthetisch medium          |        |      | gemid.<br>$\theta_H$<br>dagen | gemid.<br>insolatie<br>$J\ cm^{-2}d^{-1}$ | Medium met mest             |        |      | gemid.<br>$\theta_H$<br>dagen |
|---------|-----------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|--------|------|-------------------------------|
|         | g Droge Stof $m^{-2}d^{-1}$ |        |      |                               |                                           | g Droge Stof $m^{-2}d^{-1}$ |        |      |                               |
|         | min.                        | gemid. | max. |                               |                                           | min.                        | gemid. | max. |                               |
| Juli 77 | 4.1                         | 7.1    | 11.9 | 7.0                           | 1594                                      | 0.8                         | 2.0    | 3.0  | 7.9                           |
| Aug.    | 4.5                         | 8.9    | 14.5 | 4.1                           | 1477                                      | 3.1                         | 4.3    | 5.5  | 8.5                           |
| Sept.   | 3.5                         | 5.4    | 8.1  | 6.0                           | 1112                                      | 2.2                         | 4.1    | 5.7  | 10.3                          |
| Okt.    | 1.8                         | 3.3    | 5.6  | 12.4                          | 690                                       | 0.9                         | 2.8    | 4.8  | 15.1                          |
| Nov.    | -0.8                        | 1.4    | 2.5  | 15.5                          | 326                                       | 0.9                         | 1.6    | 2.8  | 21.4                          |
| Dec.    | -0.9                        | -0.02  | 0.7  | 49.5                          | 212                                       | -1.4                        | -0.03  | 1.1  | 39.6                          |
| Jan. 78 | -1.2                        | -0.03  | 0.7  |                               | 236                                       | -0.25                       | 0.3    | 0.75 |                               |

Zoals te zien uit deze cijfers, was de gemiddelde produktie met varkensmest meestal lager (20 - 30 %) dan deze met synthetische media. Dit zelfde feit werd eveneens reeds vastgesteld in onze proeven met zoetwaterwieren (zie hoger). Factoren hiervoor verantwoordelijk zijn de turbiditeit van de mest en de niet altijd optimale N:P verhouding.

Bij lage insolatiewaarden van  $250\ J\ cm^{-2}d^{-1}$  en minder, werd weinig of geen produktie bekomen. Integendeel, er wordt zelfs biomassa verbruikt voor het onderhouden van de endogene respiratie.

Wel kunnen we stellen dat het werken bij relatief hoge temperaturen (19-23 °C) een positieve invloed had op het in stand houden van de Chlorella-kultuur. Zowel tijdens de zomermaanden - als de wintermaanden bleef deze soort domineren en hadden we praktisch met een monokultuur te maken. In niet verwarmde kulturen daarentegen werd Chlorella tijdens de winterperiode vrij snel gedomineerd door Diatomeeën : Phaeodactylum, Skeletonema, Nitzschia.

Deze laatste soorten zijn echter ook een uitstekend voedsel voor jonge bivalven zoals mossels en oesters.



De gebruikte Chlorella soort waarop in Japan de rotifeer Brachionus plicatilis gekweekt wordt, een rotifeer veel gebruikt in de marikultuur als voedsel voor mariene vislarven, blijkt echter moeilijk verteerbaar te zijn door het pekelkreeftje Artemia en door Bivalven.

De nadruk van ons onderzoek wordt dan ook verschoven naar de produktie van gemengde natuurlijke fytoplanktonpopulaties op meststoffen.

Faktoren waarvan de invloed thans onderzocht wordt zijn : de temperatuur van het water, de retentietijd van de kultuur, de nutrientenbelasting (concentratie aan beluchte varkensmest of kommerciële meststoffen).

Recent werd het semi-kontinu systeem omgebouwd tot een kontinu-kultuur systeem dat in de optiek van schaalvergroting gemakkelijker zal te besturen zijn.

#### 2.4.2. ARTEMIA SALINA

Aan de Rijksuniversiteit Gent worden sinds ongeveer 10 jaar diverse aspecten van de kweektechnologie en het gebruik van het pekelkreeftje Artemia salina in de aquakultuur bestudeerd. De larven van dit pekelkreeftje zijn een onontbeerlijk voedsel voor de larven en juveniele stadia van praktisch alle vis-, garnaal-, kreeft- en krabsoorten die momenteel in diverse landen voor kommerciële doeleinden gekweekt worden.

Waar men in de intensieve veeteelt vanaf de geboorte de dieren kan voeden met inerte, vaak artificieel bereide diëten, moet men in de aquakultuur-hatcheries nog steeds een levend voedsel vervoederen aan de jonge larven wil men voldoende groei- en overleving garanderen tot het stadium waarop ze succesvol kunnen geadapteerd worden aan een inert voedsel.

Aldus worden per jaar ettelijke tientallen tonnen droge Artemia eieren verbruikt voor het produceren van een levende prooi voor diverse waterdieren.



Het inschakelen van het pekelkreeftje in voedselketens die aan de basis opgebouwd zijn met landbouwafvalstoffen kan leiden tot bijzonder interessante toepassingen in de aquakultuur:

#### 2.4.2.1. De kweek van Artemia op wieren geproduceerd op bio-industriële afval

---

In de aquakultuur-hatcheries worden momenteel alleen de nauplii (= larven pas ontloken uit het ei of cyste) vervoederd aan de predator ; nochtans is het bekend dat de voedselwaarde van oudere Artemia larven en adulten veel hoger is : het proteïne-gehalte bijvoorbeeld stijgt van 40 % van het drooggewicht in de naupliuslarve tot ongeveer 60 % in het adulte stadium. Bovendien zal de predator minder energie verspillen bij het eten van 1 grote larve dan bij het opnemen van ettelijke nauplii die tesamen een identieke biomassa vertegenwoordigen als de 1 grote larve.

Het ontbreken van een goedkoop voedsel voor Artemia evenals van een geschikte kweektechnologie, zowel voor 'batch'- als voor doorvloei-kweek zijn de voornaamste oorzaken geweest waarom Artemia larven niet werden opgekweekt in commerciële viskwekerijen. Enige tijd terug hebben we een eenvoudig systeem met luchtwaterpompen op punt kunnen stellen voor de kweek van Artemia in hoge densiteiten (tot 3.000 larven per liter). We hebben hierbij kunnen aantonen dat voor de batch-kweekmethode de verloren warmte van thermische effluënten zeer goed benut kan worden zodanig dat de verwarmingskosten om Artemia optimaal te kweken bij een temperatuur van  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ , tot een minimum kunnen herleid worden.

Proeven uitgevoerd op laboschaal hebben aangetoond dat diverse wiersoorten op laboschaal (zowel zoet als marien) die op afvalwateren kunnen gekweekt worden, door Artemia opgenomen worden. De beste resultaten voor groei en overleving worden bekomen met de mariene flagellaat Dunaliella : in minder dan 2 weken wordt het adulte stadium bereikt met een overleving van meer dan 90 %.



In afwachting dat een grotere pilootinstallatie voor de massakweek van wiercellen op bio-industriële afval functioneel wordt hebben we onze verdere research i.v.m. de doorvloeikweek van Artemia op wieren uitgevoerd aan het "St. Croix Marine Station" van de "University of Texas Marine Science Institute". Aan dit instituut op de Maagdeneilanden konden we dagelijks beschikken over ongeveer 20 m<sup>3</sup> wiersuspensie. De kweektechnologiën zoals ontworpen te Gent werden er op pilootschaal uitgetst en verbeterd.

Bij densiteiten van 4.000 adulten (> 1 cm) per liter wordt 90 % van de vervoederde wiercellen in een tijdspanne van 10 à 15 minuten opgenomen. Dit betekent dat met een Artemia kultuur van amper 200 liter inhoud dagelijks meer dan 10 m<sup>3</sup> wiersuspensie (celdensiteit  $\pm 5 \cdot 10^5$  per ml) in dierlijke proteïne kan omgezet worden. Deze omzetting gebeurt met een onvoorstelbaar hoge efficiëntie : 55 % (uitgedrukt in proteïne-N-konversie van de opgenomen wiercellen). In een 200 liter bekken kunnen aldus 3 gram cysten (dit is 2 gram nauplii met 40 % proteïnen) in een tijdsspanne van 2 weken omgezet worden in 6 kilogram (=  $\pm 600$  gram drooggewicht) adulte Artemia (60 % dierlijke proteïnen).

Met onze nieuwe kweekmethode kunnen we daarenboven de adulte dieren gedurende verschillende weken in hetzelfde kweekbekken houden en worden de geproduceerde nakomelingen (vrijzwemmende nauplii of inaktieve cysten) automatisch geoogst.

Alhoewel nog volop proeven aan de gang zijn kunnen we nu reeds de volgende produktie-ranges voorop stellen : met 3 gram cysten kunnen in een kweekbekken van 200 liter inhoud na een larvale groeifaze van ongeveer 14 dagen in de daaropvolgende weken dagelijks 2 à 5 miljoen nauplii of cysten geoogst worden hetgeen overeenkomt met een dagelijkse produktie van ongeveer 6 à 15 gram cysten.

Deze nieuwe gegevens openen belangrijke mogelijkheden voor die landen waar men voor de bevoorrading in Artemia cysten aangewezen is op import (aan  $\pm 30$  US dollars per kilogram, vracht niet inbegrepen). Met een minimum aan cysten zou men volgens deze nieuwe



toepassing aquakultuur-hatcheries kunnen bevoorraden met Artemia cysten of beter nog met levende of diepgevroren nauplii hetgeen voor de verbruiker een belangrijke besparing zou betekenen van tijd en energie die anders nodig is voor het ontkapselen der cysten en het laten uitkippen der larven.

#### 2.4.2.2. De kweek van Artemia op fijngemalen afvalprodukten van landbouwgewassen.

---

Op deze plaatsen waar de produktie van wieren niet rendabel is is men voor de kweek van het pekelkreeftje aangewezen op een inert voedsel. Tot voor kort gebruikten wij gedroogde Spirulina wieren die uit Mexico ingevoerd worden (aan 5 US dollars per kilogram, vracht niet inbegrepen). Aangezien Artemia een niet-selektieve partikel-eter is was de vraag of er niet een goedkoper voedsel kon gevonden worden in afvalprodukten van de landbouw waarvan de partikelgrootte voldoende gereduceerd wordt (1 à 60 mikron) om door Artemia te kunnen opgenomen worden. Diverse produkten werden uitgetest : kokosnotenmeel, rijstvoerschroot, melasse van suiker, garnalenkoppen en soyapellen. Met al deze voedsels kon Artemia tot het adulte stadium opgekweekt worden. Aangezien rijstvoerschroot ongeveer overal ter wereld als een zeer goedkoop afvalprodukt in enorme hoeveelheden beschikbaar is (aan  $\pm$  5 BF per kilogram, 10 BF na mikronisatie, hebben we in eerste instantie vooral deze voedselbron in detail bestudeerd.

Niettegenstaande de bijzonder geringe voedingswaarde voor diverse andere dieren (vee, vissen en kreeftachtigen) zijn de produktiegegevens voor Artemia op een uniek dieet van ricebran zeer goed : het adulte stadium wordt bereikt na minder van 14 dagen bij een overleving van meer dan 80 %.

Van de diverse batch-kweekproeven die met ricebran uitgevoerd werden op het laboratorium te Gent en aan het SEAFDEC - Aquaculture Institute of Tigbauan (Filippijnen) in kweekbekkens variërende van 300 liter tot 2.500 liter inhoud kunnen we de volgende gemiddelde produktie berekenen : na 1 week batch-kweek wordt per kubieke meter



kweekmedium 30 gram cysten ( $= \pm 20$  gram nauplii) omgezet in 1,2 kilogram ( $= \pm 120$  gram drooggewicht) adulte Artemia, die 60 % dierlijke proteïnen bevatten met een hoogwaardig aminozurenpatroon dat dit van eigeel sterk benadert (tabel 5).

Dit betekent dus dat men een waardeloos afvalprodukt zoals bijvoorbeeld ontvette rijstpellen kan omvormen tot een hoogwaardig dierlijk proteïne dat als een voedselrijke ingrediënt van het dieet van vis- of kreeftachtigen zou kunnen gebruikt worden of eventueel door de mens direct zou kunnen gekonsumeerd worden.

Momenteel wordt voor deze ricebran-Artemia voedselketen de bruto voedselkonversie berekend en wordt de technologie van doorvloei-kweek zoals uitgewerkt voor levende wieren uitgetest zowel voor de groei van de nauplii tot het adulte stadium als voor de kontinu produktie van nakomelingen.

Tabel 5 : Aminozurensamenstelling (uitgedrukt in % van het drooggewicht) van rijstvoermeel, rijstvoerschroot, adulte Artemia salina (stam van San Francisco Bay, California, USA) gekweekt op rijstvoerschrooten en kippe-eieren.

|               | Rijstvoer-<br>meel (1) | Rijstvoer-<br>schroot (1) | <u>Artemia</u> (1) | kippe-ei (2) |
|---------------|------------------------|---------------------------|--------------------|--------------|
| ruw eiwit     | 11,6                   | 14,23                     | 60,0               |              |
| lysine        | 0,42                   | 0,58                      | 4,00               | 6,5          |
| histidine     | 0,27                   | 0,36                      | 1,18               | 2,6          |
| arginine      | 0,82                   | 1,11                      | 4,05               | 5,8          |
| aspartinezuur | 0,92                   | 1,21                      | 4,53               | 5,8          |
| theronine     | 0,42                   | 0,54                      | 2,50               | 4,5          |
| serine        | 0,49                   | 0,65                      | 2,52               | 6,3          |
| glutaminezuur | 1,40                   | 1,90                      | 6,41               | 11,7         |
| proline       | 0,52                   | 0,60                      | 3,5-4,0            | -            |
| cystine       | 0,16                   | 0,14                      | 0,90               | 2,3          |
| glycine       | 0,56                   | 0,72                      | 2,65               | 3,8          |
| alanine       | 0,64                   | 0,85                      | 3,50               | -            |
| valine        | 0,54                   | 0,72                      | 2,49               | 8,2          |
| methionine    | 0,24                   | 0,31                      | 1,39               | 4,0          |
| isoleucine    | 0,39                   | 0,52                      | 2,53               | 6,8          |
| leucine       | 0,73                   | 0,96                      | 3,40               | 8,2          |
| tyrosine      | 0,38                   | 0,50                      | 2,75               | 4,2          |
| phenylalanine | 0,49                   | 0,65                      | 2,84               | 6,0          |
| tryptophaan   | 0,08                   | 0,10                      | -                  | 1,7          |

(1) volgens analyses uitgevoerd door RADAR, Deinze

(2) volgens Schormüller (1965) in "Handbuch der Lebensmittelchemie. Band I. Die Bestandteile der Lebensmittell". Springer Verlag.



### 2.4.3. MOLLUSKEN

De "nursery"-kweek van jonge bivalven is een aspekt van de marikultuur dat slechts onlangs in volle belangstelling kwam te staan. Nu de praktijk van het kunstmatig winnen van het oesterzaad definitief ingang heeft gevonden, staan "de industriële hatcheries" voor het probleem, dat ze de grote hoeveelheden geproduceerd jong broed (enkele mm) niet kunnen voeden en opkweken tot ze groot genoeg zijn (1 - 2 cm) om in de natuurlijke oesterparken te worden uitgezaaid.

Nursery-kweek van mollusken heeft tot doel deze periode van enkele maanden op de meest optimale en voordeligste manier te overbruggen. Het knelpunt van deze fase is de produktie van grote hoeveelheden fytoplankton om aan de jonge bivalven te vervoederen, een probleem dat op wereldvlak thans zeer veel aandacht krijgt in de marikultuur.

In het kader van het nationaal R-D programma Afvalstoffen worden daarom de mogelijkheden onderzocht voor het aanwenden van verloren energieën voor nursery-kweek van bivalven : biodegradeerbare afval en afvalwarmte (thermische effluënten).

Onze onderzoeken spitsen zich toe op volgende punten :

- a) het gebruik van de warmte van thermische effluënten om de kweekinstallaties op optimale temperatuur te houden en zodoende gans het jaar door het produktieproces optimaal te kunnen uitvoeren.
- b) de mogelijkheid van rechtstreeks gebruik van vloeibare varkensmest als organische voedselbron voor jonge bivalven.
- c) het onrechtstreeks benutten van varkensmest als voedingsbron, via de massakweek van mikroskopische wieren gekweekt op de gemineraliseerde componenten van deze meststof.

Aangezien onze onderzoeken slechts recent gestart zijn (voorjaar 1978), zijn nog maar preliminaire resultaten beschikbaar en kunnen nog geen gegronde besluiten geformuleerd worden.



#### 2.4.3.1. Nurserykweek van mosselen, oesters en clams in opgewarmd zeewater met natuurlijk fytoplankton

---

Een nursery installatie op pilootschaal werd ontworpen en uitgewerkt in de laboratoria van het I.Z.W.O. aan de rand van de Spuikom te Oostende. Met een aanvoerpomp wordt zeewater rechtstreeks uit de Spuikom opgepompt in een voorraadtank van 600 liter. Een vlotter systeem in deze tank bedient het automatisch aan- en uitschakelen van de hoofdpomp. Vanuit de voorraadtank wordt het water kontinu doorgepompt naar een verdeelvat van 200 liter waar het met elektrische verwarmers opgewarmd wordt tot de gewenste temperatuur. Vanuit dit verdeelvat stroomt het water door graviteit via een PVC leiding naar de 20 kweekbakken van 35 liter inhoud. Het debiet wordt bepaald door het hoogteverschil tussen de uitstroomopening en het waterniveau in het verdeelvat, en door de diameter van de uitstroomopening. Alle elektrische onderdelen (pompen en verwarmers) zijn beveiligd tegen oververhitting veroorzaakt door het stilvallen van de watertoevoer en/of - circulatie.

In een eerste proef werd de groei gevolgd van jonge mosselen ( $\pm 1$  cm), oesters (3mm en 11mm) en clams (3mm en 11mm). De betrokken soorten zijn : Mytilus edulis, Ostrea edulis, Crassostrea gigas en Venerupis semidecussata, de 3 laatste afkomstig van de commerciële hatchery te Barfleur (Frankrijk). De proefdieren werden in 3 verschillende densiteiten in de kweekbakken uitgezet (1, 2 en 4 individuen per liter) bij 3 verschillende waterdoorstromingssnelheden (= 3 voedingsregimes), in totaal dus 9 combinaties. Een 10de kweekbak diende als controle en bestond uit de middenste combinatie, maar met niet opgewarmd zeewater.

De proef verliep over een periode van 8 weken (vanaf eind april 1978) waarbij wekelijks het gehalte aan droge stof, organisch materiaal en chlorfyl in de kweekbakken werd bepaald. De schaal-lengte van de bivalven werd om de 2 weken gemeten bij de mosseltjes, maandelijks bij de oesters en clams.



De temperatuur van het water in de kweekbakken was  $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . De temperatuur van het zeewater in de kontrolekweekbak steeg tijdens de duur van het experiment van  $8$  naar  $15^{\circ}\text{C}$  naar analogie met de stijgende temperatuur in het natuurlijk milieu (de Spuikom) (tabel 6).

Tabel 6 : Temperatuur Spuikomwater in de controle kweekbak

| Dag                      | 1   | 14   | 28   | 42   | 56   |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|
| t ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 8.0 | 11.0 | 14.0 | 14.5 | 15.0 |

Uit de uitgebreide reeks metingen die om de week op het seston van het instromend water worden uitgevoerd (drooggewicht, asgewicht, organisch materiaal en chlorofyl) blijkt dat de hoeveelheid droge stof (totaal en asvrij) in het instromend water en dus in de kweekbakken schommelt i.f.v. de tijd. Dit is voornamelijk te wijten aan de weersomstandigheden en bijgevolg de turbiditeit van het Spuikomwater. Opvallend is het soms zeer hoge asgehalte van het zeewater wat wijst op de aanwezigheid van grote hoeveelheden slib. Dit slib bezinkt gedeeltelijk in de kweekinstallatie wat zowel technische als biologische problemen schept. De hogere concentraties van chlorofyl van de 3de tot de 5de week van de proef weerspiegelen de voorjaarsbloei van het fytoplankton in de Spuikom.

Uit de vergelijking van de cijfers voor het instromend water en deze voor het water dat uit de controle- en de kweekbakken stroomt kunnen we volgende konklusies trekken :

- In geen enkel geval daalde het gehalte aan organisch materiaal en van het chlorofyl tot nul. Gemiddeld werd slechts 20 % van het gesuspendeerde organisch materiaal en 50 % van het chlorofyl opgenomen.
- Wat de stockeringsdensiteiten in de kweekbakken betreft werd zeker niet in limiterende omstandigheden gewerkt. Het enige significant effect is dit van de doorstromingssnelheid van het water, waarbij de grootste opname van chlorofyl gebeurt in de bakken met het kleinste debiet.



- Er is geen significant verschil waar te nemen tussen de voedselopname in de kweekbakken met opgewarmd water en de opname in de controlebak met niet opgewarmd water.

In de tabellen 7, 8, 9 en 10 zijn de schaallengten van de testorganismen als groeiparameter weergegeven.

Aan de hand van deze gegevens kan men het volgende afleiden :

- Zowel de stockeringsdensiteit van de mollusken als de doorstromingsnelheid van het water in het systeem blijken een significant effect te hebben op de groeisnelheid van de jonge mollusken. De kleinste toename in schaallengte wordt logischerwijze bekomen in de kweekbakken met het kleinste debiet en de grootste stockeringsdensiteit. Gemiddeld genomen is er echter slechts weinig verschil op te merken in tabellen 3 en 4 tussen de resultaten boven de diagonaal van links onder naar rechts boven in de resultaten - vierkantjes. De resultaten op deze diagonaal moeten theoretisch gelijk zijn vermits telkens bij een halvering van het waterdebiet ook de stockeringsdensiteit wordt gehalveerd. Onder deze diagonaal zijn de omstandigheden limiterend wat in de meest ongunstige combinatie leidt tot 70 % a 30 % remming van de groei in 8 weken. Bij alle geteste soorten is deze remming reeds waar te nemen vanaf de 1ste meting, na 2 of 4 weken. Vergelijkt men dit met de resultaten uit tabel 6, dan is deze remming alleen te korreleren met de grotere opname van chlorofyl in deze kweekbakken. Hieruit blijkt dat de mollusken in voedsellimiterende omstandigheden verkeerden, en wel in het bijzonder een tekort aan fytoplankton.
  - Een belangrijke vaststelling is, dat er nooit een significant verschil waar te nemen valt tussen de groei van alle oester en clamsoorten in de niet opgewarmde controlebak en deze in de kweekbak met de korresponderende combinatie van debiet en densiteit (middenste combinatie). Alleen voor de mosselen betekent de opwarming van het water een duidelijk winstpunt voor wat betreft de groeisnelheid.
- Ter vergelijking werden in de tabellen 8, 9 en 10 ook de schaallengten weergegeven van oester- en clambroed die in natuurlijke



Tabel 7 : Gemiddelde schaallengte (mm) en gemiddelde kumulatieve toename in schaallengte van mosselbroed (Mytilus edulis) gekweekt onder "indoor" (nursery) omstandigheden

|                                           |                      |   | Start                        |       |       | 2 weken                      |       |       | 4 weken                      |       |       | 6 weken                      |       |       | 8 weken                      |       |       |
|-------------------------------------------|----------------------|---|------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| DEBIET<br>(l/u)                           |                      |   | 35                           | 17.5  | 8.75  | 35                           | 17.5  | 8.75  | 35                           | 17.5  | 8.75  | 35                           | 17.5  | 8.75  | 35                           | 17.5  | 8.75  |
| SCHAALLENGTE<br>(mm)                      | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1 | 11.28                        | 11.19 | 11.23 | 15.63                        | 15.23 | 14.87 | 16.84                        | 17.37 | 15.39 | 18.78                        | 17.91 | 17.39 | 21.82                        | 20.93 | 18.79 |
|                                           |                      | 2 | 11.54 11.38 11.50<br>K=12.30 |       |       | 16.17 15.52 14.54<br>K=13.60 |       |       | 17.20 16.41 15.00<br>K=14.37 |       |       | 18.87 18.14 16.17<br>K=15.43 |       |       | 21.85 19.55 17.90<br>K=18.18 |       |       |
|                                           |                      | 4 | 11.83 11.16 11.60            |       |       | 14.80 14.24 13.76            |       |       | 16.25 15.22 14.55            |       |       | 18.42 15.98 15.20            |       |       | 20.71 17.85 17.07            |       |       |
| KUMULATIEVE<br>TOENAME IN<br>SCHAALLENGTE | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1 |                              |       |       | 4.35 4.04 3.64               |       |       | 5.56 6.18 4.16               |       |       | 7.50 6.72 6.16               |       |       | 10.54 9.74 7.56              |       |       |
|                                           |                      | 2 |                              |       |       | 4.63 4.14 3.04<br>K=1.30     |       |       | 5.66 5.03 3.50<br>K=2.07     |       |       | 7.33 6.76 4.67<br>K=3.13     |       |       | 10.31 8.17 6.40<br>K=5.88    |       |       |
|                                           |                      | 4 |                              |       |       | 2.97 3.08 2.16               |       |       | 4.42 4.06 2.95               |       |       | 6.59 4.82 3.60               |       |       | 8.88 6.69 5.47               |       |       |

K = kontrolebak (niet opgewarmd)



Tabel 8 : Gemiddelde schaallengte (mm) van broed van de Europese oester (*Ostrea edulis*) gekweekt onder "indoor" (nursery) en "outdoor" omstandigheden

|                     |                      |   | Start<br>(25/4/78) |                |      | 4 weken |                |      | 8 weken |                  |       | 10 weken |
|---------------------|----------------------|---|--------------------|----------------|------|---------|----------------|------|---------|------------------|-------|----------|
| DEBIET (l/u)        |                      |   | 35                 | 17.5           | 8.75 | 35      | 17.5           | 8.75 | 35      | 17.5             | 8.75  |          |
| INDOOR<br>(nursery) | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1 | 3.32               | 3.36           | 3.22 | 5.70    | 5.35           | 5.35 | 16.27   | 15.14            | 14.10 |          |
|                     |                      | 2 | 3.23               | 3.21<br>K=3.21 | 3.23 | 6.38    | 4.80<br>K=5.89 | 4.55 | 16.57   | 13.34<br>K=15.83 | 11.71 |          |
|                     |                      | 4 | 3.16               | 3.05           | 3.38 | 6.08    | 4.89           | 4.91 | 14.63   | 11.74            | 11.63 |          |
| OUTDOOR             | SPUIKOM              |   |                    |                |      | 5.65    |                |      |         |                  |       | 22.07    |
|                     | DEN HAAN             |   | 3.24               |                |      | 5.65    |                |      | 14.54   |                  |       |          |

K = kontrolebak (niet opgewarmd)



Tabel 1 : Gemiddelde schaallengte (mm) van broed van Japanse Westers (Crassostrea gigas), gekweekt onder "indoor" (nursery) en "outdoor" omstandigheden

|                             |                     |                      |   | START<br>(25/4/78)               | 4 weken                          | 8 weken                          | 10 weken |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------|
| Groter spat<br>(11-12 mm)   | DEBIET (l/u)        |                      |   | 35    17.5    8.75               | 35    17.5    8.75               | 35    17.5    8.75               |          |
|                             | INDOOR<br>(nursery) | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1 | 11.47   11.64   12.47            | 16.54   17.00   15.30            | 29.73   31.85   26.23            |          |
|                             |                     |                      | 2 | 11.29   12.02   12.09<br>K=11.96 | 15.70   16.65   14.58<br>K=14.38 | 30.40   32.47   22.73<br>K=26.74 |          |
|                             |                     |                      | 4 | 12.13   11.75   10.46            | 15.49   15.39   11.54            | 31.34   24.38   16.75            |          |
|                             | OUTDOOR             | SPUIKOM              |   |                                  | 17.07                            |                                  | 37.70    |
|                             |                     | DEN HAAN             |   | 11.73                            | 18.36                            | 30.40                            |          |
| Zeer klein spat<br>(3-4 mm) | DEBIET (l/u)        |                      |   | 35    17.5    8.75               | 35    17.5    8.75               | 35    17.5    8.75               |          |
|                             | INDOOR<br>(nursery) | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1 | 3.89    3.43    3.44             | 5.56    6.08    4.62             | 13.73   12.36   11.11            |          |
|                             |                     |                      | 2 | 3.58    3.54    3.53<br>K=3.53   | 7.55    5.48    4.97<br>K=5.28   | 14.87   12.90    8.99<br>K=11.52 |          |
|                             |                     |                      | 4 | 3.68    3.57    3.45             | 6.58    5.80    4.67             | 14.55    9.78    9.34            |          |
|                             | OUTDOOR             | SPUIKOM              |   |                                  | 6.00                             |                                  | 30.13    |
|                             |                     | DEN HAAN             |   | 3.24                             | 5.65                             | 14.54                            |          |

K = kontrolebak (niet opgewarmd)



Tabel 10 : Gemiddelde schaallengte (mm) van broed van de "clam" (Venerupis semidecussata) gekweekt onder "indoor" (nursery) en "outdoor" omstandigheden

|                                  |                     |                      |        | START<br>(25/4/78) |      |        | 4 weken |      |         | 8 weken                 |       |      | 10 weken |
|----------------------------------|---------------------|----------------------|--------|--------------------|------|--------|---------|------|---------|-------------------------|-------|------|----------|
| Ze<br>er klein broed<br>(2-3 mm) | DEBIET (l/u)        |                      |        | 35                 | 17.5 | 8.75   | 35      | 17.5 | 8.75    | 35                      | 17.5  | 8.75 |          |
|                                  | INDOOR<br>(nursery) | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1      | 2.60               | 2.76 | 2.86   | 3.44    | 3.62 | 3.22    | 8.38                    | 6.62  | 6.02 |          |
|                                  |                     |                      | 2      | 2.73               | 2.72 | 2.88   | 4.10    | 3.58 | 2.97    | 7.13                    | 8.03  | 5.34 |          |
|                                  |                     |                      | K=2.82 |                    |      | K=3.30 |         |      | K=7.45  |                         |       |      |          |
|                                  | OUTDOOR             | SPUIKOM              |        |                    |      |        | 3.50    |      |         |                         |       |      | 7.88     |
|                                  |                     | DEN HAAN             |        | 2.76               |      |        | 3.48    |      |         | 5.36<br>(+ mortaliteit) |       |      |          |
| Groter broed<br>(5-6 mm)         | DEBIET (l/u)        |                      |        | 35                 | 17.5 | 8.75   | 35      | 17.5 | 8.75    | 35                      | 17.5  | 8.75 |          |
|                                  | INDOOR<br>(nursery) | DENSITEIT<br>(ind/l) | 1      | 5.16               | 5.27 | 5.15   | 6.44    | 6.04 | 6.17    | 11.54                   | 9.67  | 9.10 |          |
|                                  |                     |                      | 2      | 5.37               | 5.28 | 5.25   | 6.66    | 6.44 | 5.50    | 10.25                   | 10.99 | 8.69 |          |
|                                  |                     |                      | K=5.30 |                    |      | K=6.20 |         |      | K=10.47 |                         |       |      |          |
|                                  | OUTDOOR             | SPUIKOM              |        |                    |      |        | 6.07    |      |         |                         |       |      | 10.45    |
|                                  |                     | DEN HAAN             |        | 5.26               |      |        | 6.38    |      |         | Mortaliteit             |       |      |          |

K = kontrolebak (niet opgewarmd)



omstandigheden werden uitgezet in de Spuikom te Oostende en in het zeewaterbekken van het Zeepreventorium te Den Haan. Opvallend is de gelijkenis tussen de groei in deze buitenomstandigheden en in de kweekbakken met niet-limiterende omstandigheden al dan niet opgewarmd.

De konklusie van deze eerste proef is dat in onze nursery opstelling, behalve voor de mossels, nog geen duidelijke winst werd gemaakt ten opzichte van de natuurlijke omstandigheden. De limiterende faktor blijft, zelfs bij opwarming, de kwantiteit voesel die ter beschikking wordt gesteld van de jonge bivalven. Er moet echter worden opgemerkt dat deze eerste proef ook een "inloop" fase van de gehele opstelling betrof en dat in de loop van het experiment nog verbeteringen werden aangebracht, o.a. van de watercirkulatie in de bakken en dus van de beschikbaarheid van het voedsel voor de jonge bivalven. In het komende koude seizoen (winter 78-79) zal de proef herhaald worden om de maximale capaciteit van de nursery op zeewater met seston (dus zonder extra-voedsel) te achterhalen.

#### 2.4.3.2. Laboratoriumproeven met juveniele en adulte Mytilus edulis rechtstreeks gevoed met vloeibare varkensmest

---

De proefopstelling bestaat uit een batterij van 12 aquaria van 2 liter inhoud voorzien van 2 lucht-waterpompen die zorgen voor de cirkulatie en aeratie van het water. De mosselen in deze aquaria worden kontinu gevoed met varkensmest via een peristaltische pomp. Vers zeewater wordt eveneens met een konstant debiet kontinu toegevoegd. In 24 u wordt op deze manier de inhoud van ieder aquarium 3 x verversd.

Uit een voorbereidende proef bleken 15, 5 en 2.5 % mest akueel toxisch te zijn voor de testorganismen. Uit de chemische analyses bleek dat dit te wijten was aan de veel te hoge  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_2^-$  gehalten in het water van de kweekbakken.



In een tweede proef worden momenteel volgende mestkoncentraties uitgetest : 1, 0.5 en 0.25 %.

Ofschoon na enkele weken slechts in de hoogste concentratie een zekere mortaliteit kan worden vastgesteld, is totnogtoe in geen van de kweekbakken enige groei van de mosselen waargenomen.

2.4.3.3. Nurseryweek van mosselen, oesters en clams met fytoplankton gekweekt op varkensmest in opgewarmd en niet-opgewarmd zeewater.

---

Uit de proeven beschreven onder 2.4.3.1. is het duidelijk dat betere resultaten zouden worden bekomen indien extra wieren aan het natuurlijk fytoplanktonisch voedsel zou worden toegevoegd. Dit zou tevens toelaten de bivalven in hogere densiteiten te stockeren met een lagere doorstroming van zeewater. De wieren die worden geproduceerd in de out-door pilootinstallatie voor wierproduktie op vloeibare varkensmest zullen binnenkort hiervoor worden aangewend.



## SLOTBESCHOUWING

Bij de bespreking van de verschillende uitgewerkte technologieën voor de opbouw van korte aquatische voedselketens zijn bij deze uiteenzetting geen economische beschouwingen weergegeven.

Een eerste algemene vaststelling van waaruit trouwens dit specifiek studieprogramma vertrokken is, is dat de verloren energieën waarmee gestart wordt, nl. biodegradeerbare afval en calorien van thermische effluenten per definitie aan een zeer goedkope zoniet kosteloze prijs zullen geleverd worden.

Een tweede vaststelling is dat de eliminatie van de betrokken afvalprodukten (zowel mest als de calorien in thermische effluenten) op een andere manier, een kostelijke aangelegenheid is, en dat in feite die kostprijs eveneens in de globale cost-benefit van de ontworpen voedselketens zou moeten in beschouwing genomen worden.

Uit de vorige bladzijden blijkt dat wij voor de meeste deelprogramma's de laboratoriumfase achter de rug hebben en dat wij de mogelijkheden en de beperkingen van ieder type van voedselketen hebben leren kennen.

Verschillende proefnemingen werden reeds uitgevoerd, en andere zijn nog volop aan gang met prototypes van kweekinstallaties op pilotschaal in out-door omstandigheden.

Uit de aangehaalde proefnemingen blijkt ontegensprekelijk dat met sommige recyclage voedselketens reeds zeer hoopgevende resultaten werden bekomen die ons insziens tamelijk snel tot een industrialisatie kunnen leiden.

Het is ons echter duidelijk geworden dat iedere prijsberekening van de ontworpen technologieën via extrapolaties uit proeven op kleine schaal zeer riskant is en dat een juiste cost-benefit analyse slechts mogelijk zal zijn wanneer wij van de huidige schaal van onze kleine outdoor prototypes (die meestal slechts enkele honderden liter tot 1 à 2 m<sup>3</sup> groot zijn), zullen kunnen verschakelen naar eenheden van minstens enkele tientallen m<sup>3</sup>.

Wij hopen dat wij met de financiële middelen die ons resten e schaalvergroting nog zullen kunnen ten uitvoer brengen.



