

## 9825 有用微細藻類のフォトバイオリアクターによる大量培養に関する研究

助成研究者：平林 征四郎 (社)国際農業教育研究開発協会)

共同研究者：ヘゼルト・ゲハラ(元フィリピン大学 ロサリス校 自然科学部)

有用微細藻類のフォトバイオリアクターによる効率的野外大量培養技術の開発を目的として、新型のフォトバイオリアクターの設計試作および培養試験を行った。

従来の藻類野外大量培養は全て巨大な開放型の培養池方式で行われており、1) 他生物のコンタミンにより単独培養が困難なため高品質のバイオマス生産が難しい、2) 培養濃度を高く維持できないため生産性が低い、3) 大量培養に広大な面積を要する、4) 大量の培養液の攪拌に多量のエネルギーを要する、5) 温度のコントロールができない、6) 特殊な藻類のみしか培養できない。等のため生産性は低く、生産コストも高い。

そこで、これらの欠点を解決し、他の有用微細藻類を高濃度・単独大量培養できる以下のような構造の新型フォトバイオリアクター(バイオドーム)を試作・開発した。構造は、外面形状を半球型ドーム状とし、直径の異なる半球型ドームを二重に重ね、上下の半球ドーム間にできる空間に培養液を入れる。底部周囲に空気を供給するための注気口を配置した。外側半球ドームの上部には空気および光合成により発生する酸素(O<sub>2</sub>)を放出する排気筒を配置した。その他、空気による培養液攪拌機構、簡易な冷却および人工照明等の機能も備えたリアクターである(本文図-1参照)。このような構造・機能を有するバイオドームを試作して、淡水性緑藻(PC, 雪藻の一種で、多価不飽和脂肪酸のアラキドン酸を多量に含有)と海洋性藻類(Nanno, 有用餌料生物)の野外大量培養を行った。

その結果、1) 淡水性緑藻(PC)を約4~5g/Lの高濃度にまで野外培養することができ、かなり高い生産性の値を得、また多価不飽和脂肪酸のアラキドン酸を約4.0~6.0%(対乾物)含有するバイオマスを得ることができた。本種は培養細胞の成熟が進むにつれて全脂肪酸の含量は約20%程度まで高まり、アラキドン酸の含量もそれと共に増加することが判明した。2) 海洋性藻類(Nanno)については、バイオドームによる野外培養を冬季(1月~4月)に行い最も厳しい培養環境の冬季においてもバイオドームを用いることによりこの海洋性藻類の安定培養を行うことが可能であることが判明した。今後は更に培養条件(培地組成)および野外環境条件(季節変化等)が上記有用藻類の生産性や脂肪酸組成に与える影響等についてバイオドームを用いて引き続き研究を行う。



## 9825 有用微細藻類のフォトバイオリアクターによる大量培養に関する研究

助成研究者：平林 征四郎（社）国際農業教育研究開発協会

共同研究者：ヘセル・T・ゲハラ（元フィリピン大学 ロサバ学校 自然科学部）

### 1. 研究目的

本研究は、有用微細藻類（海洋性及び淡水性）を野外において単独大量培養するための培養装置（フォトバイオリアクター）に関するものである。

従来微細藻類の野外大量培養はすべて巨大な開放型の培養池を用いて行われている。そのため、①不純物、他生物の混入等により高品質のバイオマス生産が困難である。②培養濃度を高くできないため生産性が低い。③大量培養には広大な面積を必要とし、生産物の収穫に大量の培養液処理を要する。④培養池の攪拌に多量のエネルギーを要する。⑤温度環境をコントロールできない。

これらのことから、従来方式では生産性は低く、生産コストも高い。また、特殊な性質を有する藻類（クロレラ、スピルリナ、ドナリエラ）のみしか培養できないという欠点がある。

本研究はこれらの欠点を解決し、他の有用な微細藻類の高濃度・単独・大量培養を可能にするための新しいタイプのフォトバイオリアクターを開発し、それを利用して海洋性および淡水性の有用微細藻類を高濃度大量培養し、その生産性を比較検討し、これらの有用藻類が生産する有用物質、例えば高度不飽和脂肪酸のアラキドン酸、DHA、EPA、有用色素のアスタキサンチン等の効率的な大量生産システムを研究する。

### 2. 研究方法

#### 2. 1 フォトバイオリアクターの試作

##### 2. 1. 1 基本コンセプト

太陽エネルギーと空気・炭酸ガスを利用して生産性の高い、野外高濃度大量培養を可能にするため、次のような基本的機能を備えたフォトバイオリアクターを設計した。

#### ①太陽エネルギーを効率的に利用できる形状・材質

微細藻類の物質生産は基本的にはその光合成能によって支えられている。そのため藻類の光合成効率を高め、高濃度培養を可能にするため、太陽光の受光効率の高い、形状・材質であること。

## ②効率的攪拌機構

高濃度培養においては、培養液の効率的攪拌は不可欠である。しかしながら、ポンプ等による強度な攪拌方式は、藻類の細胞を破傷するので好ましくない。そこで、空気の浮力を有効に利用した低エネルギー攪拌機構とする。

## ③培養温度制御システム

培養温度は藻類の生長・増殖に極めて重要である。従って、野外培養においてもある程度の温度制御が出来なければ、多種の藻類培養を連続長期に行うことは難しい。そこで、リアクター外部に簡易な散水（ウォーターカーテン）装置を設け、水の蒸発潜熱を利用して培養温度を制御する。

## ④コンタミ防止構造

他の生物、夾雑物等のコンタミを防止できる閉鎖型リアクターとする。

## ⑤人工照明

日本のような気候条件下では、時期によって日照不足が予想される。そこで、必要に応じて、人工照明も併用して、簡易に利用できる構造とする。

## ⑥リアクター内部の洗浄が可能

微細藻類は長期間培養を続けるとリアクター内面に藻類が付着しやすい。それによる光透過率の低下やバクテリアの繁殖が助長される恐れがある。そのため、必要に応じて、内部を容易に洗浄できる構造が必要である。

## ⑦スケールアップが容易

培養規模に応じて、容易に規模拡大ができるシステムであること

## ⑧従来技術に比べ、バイオマスの生産コストが低減できること

以上のような基本的機能を備えたリアクターを試作するための次のような構造のフォトバイオリアクターを設計した。

## 2. 1. 2 構造

### （形 状）

上記の基本コンセプトの①を満たす理由から、外面形状は半球型のドーム状とした。  
（内部構造）

Fig. 1 に示したように、直径の異なる半球型ドームを2重に重ね、上下半球ドーム間にできる空間に、培養液を入れる構造とした。底部周囲に空気供給のための注入口を配置する。

外側半球ドームの上部には空気および光合成により発生する酸素ガス（ $O_2$ ）を外部に放出するための排気管を配置。

(攪拌機構)

底部周囲に配置された空気供給用注入口から空気を注入し、その空気の浮力を利用して乱流を作り培養液を効果的に攪拌する。

(人工照明装置)

人工照明装置を内側半球ドームの下部にできる半球状空間内に設置することにより人工照明を、必要に応じて効果的に利用する。

(CO<sub>2</sub>ガスの注入)

底部周囲にCO<sub>2</sub>含有空気(CO<sub>2</sub>5~10%)供給用の専用注入口を配置し、吐出部には細孔ノズルを設け、細かい泡状のCO<sub>2</sub>含有空気を注入する。

(冷却装置)

外側半球ドームの上部から散水することにより容易に外側ドーム全面にウォーターカーテン膜を作り、これによって水の蒸発潜熱を利用して、培養温度の上昇をある範囲内にコントロールする。

(大きさ、容量)

大きさおよび容量は、組み合わせる2重の半球型ドームの直径を変えることにより、自在に選択できるものとする。

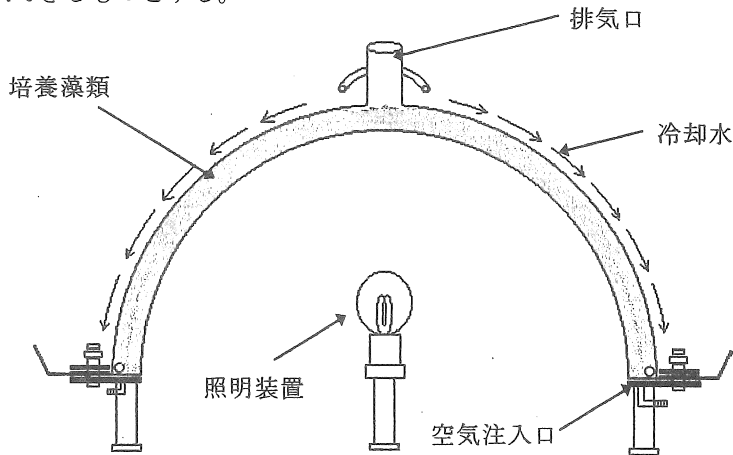


Fig.1 バイオドームの構造

以上のような構造を有するフォトバイオリアクター（以後、バイオドームと記す）の小型（底部外側直径 50cm、容量 8.5 ℓ）および大型（底部外側直径 120cm、容量 100 ℓ）のものを数基試作し、実験に供した。

2. 2. 供試材料

今回の培養試験に供した藻類は次の2種類である。

2. 2. 1. 淡水性緑藻類 (*Parietochloris incisa*, 以下 PC と記す)

本藻類は雪藻 (Snow algae) の一種で、1992 年、著者等が発見した新規な緑藻類である。本種は、細胞中に有用物質である多価不飽和脂肪酸の一種、アラキドン酸 (20:4 ω 6:母乳中に 0.5%含有) を多量に含有するユニークな特性を有する藻類である。

2. 2. 2. 海洋性藻類 (*Nannochloropsis oculata*, 以下 Nanno と記す)

本藻類は、分類学上真正眼点藻綱に属し、細胞は球形、大きさ 2~4 μ m で細胞中に有用物質として多価不飽和脂肪酸の一種、エイコサペンタノイック酸 (EPA) を含有する。

本種は現在、栽培漁業における種苗生産用の飼料生物として利用されている有用藻類である。

2. 3. 接種用藻類の調整

300ml のフラスコを用いて、温度 20℃、光強度 70 μ E/m<sup>2</sup>/s (連続照明) CO<sub>2</sub> 約 2%含有空気を通気した連続振盪培養器内で、無菌培養した上記 2 種の藻類を継続培養し、以後、順次拡大培養して実験に供した。

2. 4. 培地組成

淡水性緑藻 (PC) には改良 BG-11、海洋性藻類 (Nanno) には ASW を用いた。(Table 1)

BG-11		Artificial Sea water (ASW)	
Chemical Components	(g/L)	Chemical Components	(g/L)
	final concentration		final concentration
1. NaNO <sub>3</sub>	1.0	1. NaCl	35.1
2. CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.036	2. MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	6.6
3. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.020	3. MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	5.6
4. MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.075	4. CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1.5
5. K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.0305	5. KNO <sub>3</sub>	1.0
6. Fe-EDTA (solution)	微量	6. KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	
	0.070		
7. Micro elements	微量	7. Iron solution	微量
* adjust to pH 6.0		8. Micro elements	微量

Table 1 Medium for PC and Medium for Nanno

## 2. 5. 調査項目

バイオマス量（乾物量）…サンプル 10ml を重量既知のガラスフィルターを用いて、吸引過して、フィルター上に集めたバイオマスを 105℃、3 時間乾燥

クロロフィル含量分析（分析法略）

脂肪酸組成分析（分析法略）

## 3. 研究結果

### 3. 1. 淡水性緑藻 PC の特性調査

これまでの基礎的実験から PC の特性に関しては次のような点がすでに明らかにされている。それを要約すると以下の通りである。

#### 3. 1. 1. 温度反応

PC の温度に対する生長反応を調べるため、5℃から 34℃の温度範囲で培養を行った結果、ある雪藻の一種で、10℃以下の低温下でも生存できるが、生長・増殖の至適温度（Optimum temperature）はむしろ 25℃近辺にあった。

また、更に温度 15℃と 25℃下で培養した場合の生長曲線を調べ比較したところ、明らかに 25℃下で培養した方が生長・増殖は旺盛であった。

#### 3. 1. 2. pH の影響

培地の pH が PC の生長に与える影響を調べるため、培地の pH を 5.0、6.0、7.0、8.0 にそれぞれ調整し、培養を行った結果、pH が 5.0~6.0 の近辺で生長が良く、pH 8.0 では明らかに生長が抑えられた。

#### 3. 1. 3. 光強度の影響

光強度および光の利用効率は、微細藻類の大量培養においては、生理学的に最も重要な問題である。光はエネルギーの供給源として、生長率に影響を与えるばかりでなく、光合成器官および色素の構造と組成に対しても影響を与える。そこで、照射光の強度を、弱光（90  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ）、中庸光（150  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ）、強光（220  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ）の 3 段階に変えて、PC の生長に与える影響および細胞中の脂肪酸組成の変化を調べた。

その結果、生長に及ぼす光強度の影響を見ると、明らかに光強度が強い方が PC の生長を促進した。しかしながら、脂肪酸組成に対する光強度の影響を見ると、全脂肪酸中に占めるアラキドン酸（20:4  $\omega$  6）の比率は明らかに弱光下の方が比率が高かった。

#### 3. 1. 4. 培養密度の影響

培養密度は、培養中各細胞が受ける受光効率およびその他の培養環境にも影響を与え、バイオマスの生産量および含有成分は、その培養密度によって大きく影響される。

連続大量培養を可能にするためには、最適な培養密度を把握する必要がある。そこで、まず培養密度 (Population density:  $\text{g L}^{-1}$ ) と生産性 (productivity:  $\text{g L}^{-1}\text{d}^{-1}$ ) との関係を探るため、培養密度を  $2.0\text{g L}^{-1}$  から  $7.5\text{g L}^{-1}$  まで変えて、小型バイオドームを用いて野外培養試験を行った。その結果を Fig. 3 に示した。

これからみると、この PC 緑藻の場合、最も生産性の高くなる最適培養密度は、 $4\sim 5\text{g L}^{-1}$  の範囲にあり、かなりの高濃度培養が可能であることが分かった。

従来方式の開放池による藻類培養では、培養濃度は  $0.3\sim 0.5\text{g L}^{-1}$  前後である。(クロレラ、スピルリナの場合)

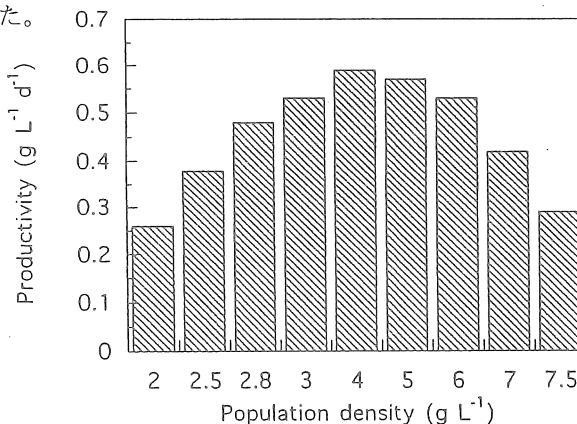


Fig. 3 The effect of the population density on the output rate

また、Fig. 3 は培養密度によって、その生産性が大きく変化することを示しているが、この生産性の変化の主な要因には、高濃度培養の場合、夜間の藻体の呼吸によるバイオマスの損失 (Night Loss) が考えられる。そこで、同時に夜間のバイオマス量の損失を調べた。(Fig. 4)

その結果、最も夜間損失量の少ない培養濃度は  $4\text{g L}^{-1}$  であり、それより濃度が少なくてもまた高くても夜間損失量が多くなることが示された。このことから、この緑藻類 PC の最適培養濃度、即ち、生産性が最も高くなる濃度は  $4\text{g L}^{-1}$  近辺であり、この時夜間の呼吸による損失量が最も低くなることが分かった。

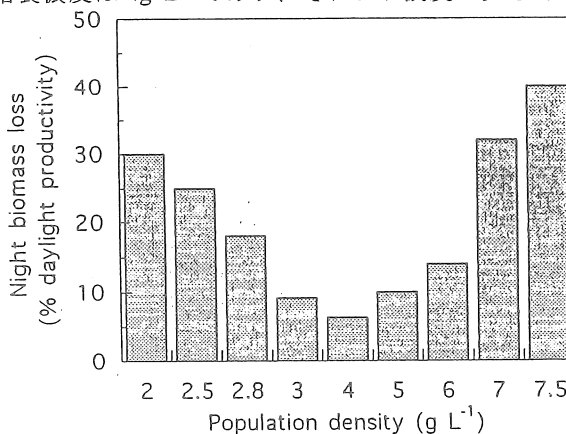


Fig. 4 The effect of the population density on the night biomass loss

一方、培養濃度の違いが細胞内の脂肪酸組成、特にアラキドン酸の含有割合にどのような影響を与えるかについて知るため、培養

濃度を3段階に変えて調べた。これによると、培養密度が高い程、全脂肪酸含量が高くなり、また全脂肪酸中に占めるアラキドン酸の比率も高まることが分かった。(Table 2)



Cell concentration Chl (mg/L)	Fatty Acid Composition (% of total fatty acids)															Fatty acid content (% d.w.)	
	16:0 $\omega$ 11	16:1 $\omega$ 9	16:2	16:3	18:0	18:1 $\omega$ 9	18:1 $\omega$ 7	18:2 $\omega$ 6	18:3 $\omega$ 6	18:3 $\omega$ 3	20:2 $\omega$ 6	20:3 $\omega$ 6	20:4 $\omega$ 6	20:5 $\omega$ 3	AA	TFA	
34.8	14.6	5.2	0.8	3.2	1.9	1.2	5.6	4.6	18.7	1.1	5.0	0.3	0.9	35.6	1.2	4.6	12.8
45.5	13.0	2.9	0.3	2.1	1.5	2.2	10.2	4.6	16.6	1.6	3.6	1.0	1.9	35.7	1.1	6.3	16.8
65.0	9.7	1.0	0.1	1.2	0.7	2.7	16.3	4.2	15.8	0.9	1.7	0.4	1.5	43.0	0.8	9.0	21.0

Table 2 Effect on cell concentration on fatty acid composition at the stationary phase of PC

3. 2. バイオドームによる PC の培養試験

上記の基礎的知見を基にして、試作バイオドーム（小型）を用いて室内および野外において連続培養試験を行い、その生産性および脂肪酸組成を調べた。

まず、室内において、人工照明（70  $\mu$  E/m<sup>2</sup>/s）下、温度 25℃下で、24 日間セミバッチ式による連続培養をした。その間 6 回、培養容量の約 50% を収穫し、生産性（productivity）を調べた。その結果、実験期間内での生産性は 0.310 g/L/day であった (Fig. 5)。また、27 日間上記条件下で培養した PC バイオマス中の脂肪酸組成を調べた。その結果、培養期間が長くなり、細胞の成熟が進むにつれて全脂肪酸含量は高くなり（約 20% 対乾物）、アラキドン酸の含量も最終的に乾物当たり約 10% までの高含有量に達した。また全脂肪酸中に占めるアラキドン酸（20:4  $\omega$  6）の比率も同様に細胞の成熟とともに増加し、3 週間後には 40% 以上になった。

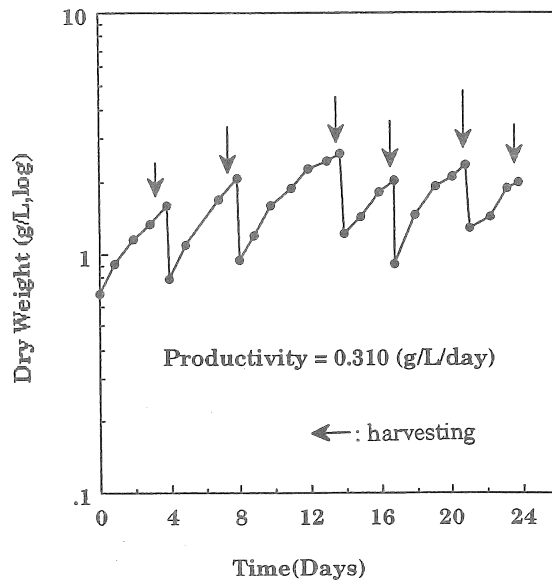


Fig. 5 Growth curve and harvesting regime of PC grown in small photobioreactor (indoor)

一方、野外においても同様に試作バイオドーム（小型）を用いて、4 週間連続培養試験を行った。その間 3 回、培養容量の約 50% の収穫を行い、その生産性を調べた。結果は Fig. 6 に示した。

これらの生産性の数値は従来方式の開放型培養池での数値（0.1~0.15 g L<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>）と比べ

るとかなり高い値を示している。(ただし、この場合、培養藻類の種類が異なるので厳密な比較は出来ない)

また Table 3 に示した野外培養バイオマスの脂肪酸組成分析の結果からもかなり高濃度のアラキドン酸(4~6%乾物当り)含有バイオマスがバイオドームを用いることにより生産できることが分かった。

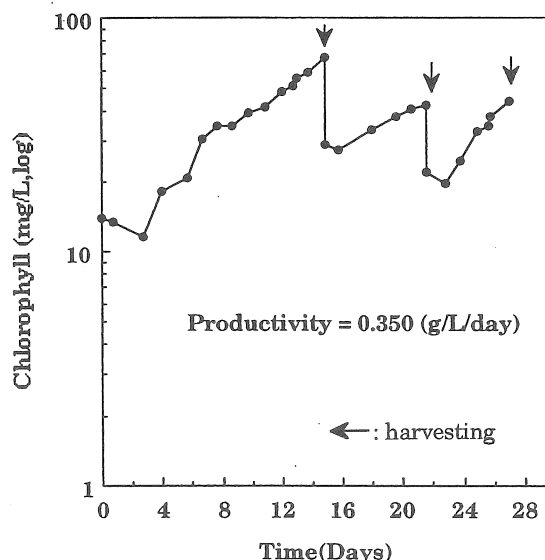


Fig. 6 Growth curve and harvesting regime of PC grown in small photobioreactor (outdoor)

Sample Name	Fatty Acid Composition (% of total fatty acids)													Fatty acid content (%d.w.)	
	16:0	16:1	16:2	16:3	18:0	18:1 ω 9	18:1 ω 7	18:2 ω 6	18:3 ω 6	18:3 ω 3	20:3	20:4 ω 6	20:5 ω 3	ARA	TFA
18-I	13.9	0.9	0.9	2.7	1.1	10.3	3.6	16.6	0.6	7.6	1.6	38.2	2.2	3.2	8.2
18-II	13.8	1.2	1.1	3.1	1.2	11.7	3.1	13.9	0.7	9.2	1.2	39.1	1.7	4.2	10.6
19-I	11.8	2.1	1.9	2.4	0.8	8.5	3.9	16.3	1.7	5.8	1.5	40.1	3.4	3.6	9.0
19-II	10.5	2.5	1.5	1.6	1.2	13.8	4.4	13.3	1.4	3.6	2.0	43.5	1.9	6.4	14.7
21-I	12.4	0.5	0.5	1.5	1.5	9.9	4.0	16.4	0.0	3.7	0.0	47.6	2.0	4.0	8.5
21-II	12.4	0.5	0.0	1.5	1.3	10.5	3.5	18.6	0.0	3.9	0.0	46.2	1.6	3.8	8.2
22-I	12.8	0.9	0.7	1.5	1.1	6.1	3.8	17.6	0.0	3.0	0.4	51.1	1.1	4.6	8.9
27-I	12.1	0.7	0.5	1.3	1.9	9.3	3.3	18.2	1.0	3.0	1.6	45.8	1.3	4.9	10.7

Table 3 Fatty Acid Composition of PC in outdoor culture (1998)

### 3. 3. 海洋性藻類の野外培養試験

大型バイオドーム (φ=120cm) を用いて海洋性藻類 (*Nannochloropsis*) の長期連続培養を野外太陽光下で行った。

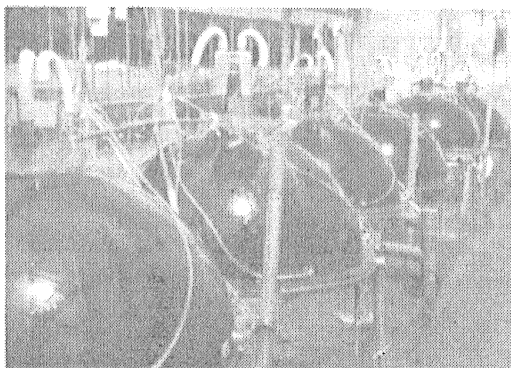
培養条件は、接種後培養濃度が約 1.5g L<sup>-1</sup> 以上に達した時点から、各バイオドーム中の培養液の約 35%を4日間間隔で収穫し、残りの培養液に新しい培地を添加した。その後の天候条件にもよるが、3日~4日後には元の培養濃度に戻り、培養を連続した。培地の pH は CO<sub>2</sub> 供給量によりコントロールし、約 7.5~8.5 に維持した。空気通気量は各バイオドーム当り約 20~25L/min とした。

培養期間は1月下旬～4月下旬の約3ヶ月。その間の生産性の推移をTable 4に示した。

Date	Ave. Biomass (g/L)	Ave. Productivity (g/L/day)	Highest Biomass (g/L)	Highest Productivity (g/L/day)
Jan 26-30	0.72-1.16	0.102	0.81-1.30	0.114
Jan 27-31	0.85-1.22	0.107	0.93-1.38	0.121
Jan 31-Feb 4	0.74-1.095	0.096	1.03-1.24	0.108
Feb 1-5	0.72-1.13	0.099	0.74-1.16	0.102
Feb 2-6	0.76-1.16	0.102	0.95-1.53	0.134
Feb 5-9	0.51-1.09	0.095	0.70-1.14	0.100
Feb 10-14	0.72-1.34	0.117	0.67-1.55	0.136
Feb 11-15	1.00-1.46	0.128	1.05-1.61	0.141
Feb 19-23	0.92-1.44	0.126	1.13-1.69	0.148
Feb 20-24	0.92-1.33	0.116	0.94-1.39	0.122
Feb 23-27	0.80-1.16	0.102	0.94-1.44	0.126
Feb 24-28	0.83-1.39	0.122	0.90-1.60	0.140
Mar 1-5	0.98-1.47	0.129	1.21-1.88	0.164
Mar 2-6	0.96-1.34	0.117	0.88-1.52	0.133
Mar 5-9	0.81-1.19	0.104	1.18-1.56	0.136
Mar 6-10	0.76-0.93	0.0814	1.10-1.38	0.121
Mar 15-19	0.98-1.37	0.120	1.34-1.81	0.158
Mar 16-20	0.96-1.24	0.108	1.29-1.52	0.133
Mar 19-23	0.84-1.26	0.110	1.20-1.75	0.153
Mar 20-24	0.74-1.20	0.105	0.95-1.43	0.125
Mar 24-28	0.85-1.18	0.103	1.16-1.63	0.143
Mar 25-29	0.79-1.15	0.101	1.03-1.51	0.132
Mar 29-Apr 2	0.85-1.19	0.104	1.16-1.60	0.140
Mar 30-Apr 3	0.78-1.10	0.096	0.98-1.41	0.123
Apr 5-9	1.06-1.64	0.135	1.18-1.92	0.168
Apr 19-23	1.33-1.82	0.159	1.41-2.04	0.178
Apr 24-28	1.40-1.93	0.169	1.43-2.33	0.204

Table 4 Nanno Production trial 4 days cycle - 35% harvest

この結果から見ると、本種の海洋性藻類にとっては最も生育環境条件の悪い冬季においても、バイオドームを用いる事により良好な培養を行うことが可能であり、3月の中・下旬から生産性の数値が高くなっていることから、外気温が高くなり、日照時間が長くなる春季および夏季においては、さらに高い生産性が期待される。



稼働中のバイオドーム

#### 4. 考察および今後の課題

フォトバイオリアクターによる有用微細藻類の効率的野外大量培養技術の開発を目的として、本年は、新しいタイプのフォトバイオリアクターを試作して、有用物質のアラキドン酸を多量に含有する新規な淡水性緑藻（PC）および栽培漁業の種苗生産において実用化されている、重要な飼料生物である海洋性藻類（Nanno）を供試材料として室内および野外での培養実験を行った。

新規な淡水性緑藻（PC）に関しては、すでに基礎的な室内実験において、その温度特性、至適 pH 及び光強度が生長及び脂肪酸組成にあたる影響等について明らかにされているので、今回バイオドームを用いた野外培養実験を行い、培養濃度とバイオマスの生産性及び多価不飽和脂肪酸のアラキドン酸含有量についての重要な知見を得た。即ち、本種は雪藻の一種であるが、生育適温は25℃であること、またアラキドン酸の生成に関しては強光が必要ではないこと、さらに高濃度培養下で全脂肪酸中のアラキドン酸含量が増加すること、そしてバイオドームを使った野外培養においてもかなりの高濃度の培養を長期間連続維持することができること。これらのことから、今後培養条件（特に培地）を改良することにより、更に多量のアラキドン酸を細胞中に含有させることも可能と考えられる。これまで、微細藻類の中でこれほど多量のアラキドン酸を含有する種はまだ発見されていない。

バイオドームに関しては、次の点が特に有効に作用したものと考えられる。

- ①本リアクターは半球型であることから受光面積はその占有面積の2倍ある。従って、高濃度培養した場合、藻類の光合成に光エネルギーが有効に使われる。
- ②特殊な攪拌方式により、高濃度培養液に効果的な乱流を作り出している。
- ③培養温度がある範囲内にコントロールされている。
- ④クローズ・システムなのでコンタミンを防いでいる。等

しかしながら、これらの効果についてまだ定量的な把握が十分に行われていないので、今後検討が必要である。また、これまでの予備実験で水溶性鉄塩が淡水性緑藻 PC の生長を促進することが認められている。こうした点についても今後更に研究を進めてゆきたい。

また、海洋性藻類に関しては、他の有用藻類、例えばフェオダキチラムやキートセラスなどの珪藻類やイソクリシス、パプロバ、テトラセルミス等栽培漁業にとって有用な藻類に関してもバイオドームによる大量培養試験を検討したい。

#### 5. 文献等

- Richmond, A. (1990). Large scale microalgal culture and applications. Progress in Phycological Research, Vol. 7 269-329
- Richmond, A. (1986 b). Microalgae of economic potential In: Handbook of Microalgal Mass culture pp. 199-244. CRC Press Boca Raton, FL.

- Richmond, A. and Becker, E.W. (1986). Technological aspects of mass cultivation - a general outline, Handbook of Microalgal Mass Culture pp.245-263
- Torzillo, G., Sacchi, A. and Materassi, R. (1991). Effect of temperature on the yield and night biomass losses in *Spirulina platensis* grown outdoors in tubular photobioreactors. J. Applied Phycology 1. 3: 103-109
- Acien Fernandez, F.G., F. Garcia Camacho, J.A. Sanchez Perez et al Modeling of Biomass Productivity in Tubular photobioreactors for microalgal Culture : Effects of Dilution Rate, Tube Diameter, and Solar Irradiance. Biotechnology and Bioengineering. Vol 58, No.6, (1998) pp.605-615.
- Qiang Hu, Faiman, D. and Richmond, A. (1998). Optimal Tilt Angles of Enclosed Reactors for Growing Photoautotrophic Microorganisms Outdoors. J. Fermentation and Bioengineering Vol. 85, No2, 230-236 (1998)
- Richmond, A. and Hu Qiang. Principles for Efficient Utilization of Light for Mass Production of Photoautotrophic Microorganisms. Applied Biochemistry and Biotechnology vol. 63-65, 649-658 (1997).
- Gitelson, A. Hu Qiang and Richmond, A. Photic Volume in Photobioreactors Supporting Ultra high Population Densities of the Photoautotroph *Spirulina platensis*. Applied and Environmental Microbiology, Vol. 62. No. 5, 1570-1573
- 山村健治、末広文一、小島英嗣 : CO<sub>2</sub> 固定フोटバイオリアクターの開発、住友重機械技報 Vol. 144. No. 131. 13-16 (1996)
- Iain A.J., Ratchford & Howard J. Fallowfield. Performance of a flat plate, air-lift reactor for the growth of high biomass algal culture. J. Applied Phycology 4: 1-9 (1992)
- 渡部良朋、斉木博 : フोटバイオリアクターを用いた微細藻類の光合成生産. Nippon Nogeikagaku Kaishi Vol. 72. No.4 pp523-527 (1998)
- Richmond, A., Boussiba, S. Vonshak, A. and Kopel, R.: A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoors. J. Applied Phycology 5. pp327-332 (1992)
- Tredici M. R. and Materassi R.: From open ponds to vertical alveolar panels: The Italian experience in the development of reactor for the mass cultivation of photoautotrophic microorganisms. J. Applied Phycology, 4, pp221-231 (1992)
- Qiang, Hu, Guterman H., and Richmond, A. : A flat inclined modular photobioreactor for outdoor mass cultivation of photoautotrophs: Biotechnology and Bioengineering., Vol. 51, No.1 (1996)
- Qiang, Hu., Guterman H., and Richmond, A.: Physiological characteristics of *Spirulina platensis* (Cyanobacteria) cultured at ultrahigh cell densities, J. Applied Phycology 32, pp1066-1073 (1996)

## The Mass Culture of the Valuable Microalgae by Using the New-type Photobioreactor

Seishiro Hirabayashi (Society for Agricultural Education-Research Development Abroad)

Hazel T. Gevara (Former Dept. of natural Science, Los banos campus, Philippine University)

### Summary

A newly designed outdoor photobioreactor (named Bio-Dome) that can efficiently work to mass culture of the valuable microalge was developed and the mass cultivation of the two kind of microalgae (a fresh water algae and marine algae) was tested outdoors by using Bio-Dome.

Hitherto, microalgal mass production on a commercial basis have been operated in a huge open pond with a paddle wheel. However, there are many technical problems (contamination, low density culture, no temperature control, etc.) in this conventional way of microalgal mass-production and it is not able to have a high productivity, high quality products and a low cost performance.

Moreover, there is a limit in the microalgal species that can be cultured in the open pond system, since only few species (such as Chlorella, Spirulina and Dunaliella) with special biological and physiological characters (tolerance to high pH, high salt concentration etc.) can be cultured in the open pond. At present, in order to resolve above problems, we developed a practical and useful photobioreactor outdoors that can efficiently operate to mono-culture in any kind of microalgae to resolve the above mentioned problems.

In this study, we tested the outdoor mass culture of two kind of valuable microalgae, that is a fresh water green-alga (PC) which is a snow alga and contains a lot of polyunsaturated fatty acid, Arachidonic acid in it's cell, and a marine alga, Nannochloropsis, which is served as a live feed for aquaculture by using Bio Dome System.

- (1) The result in mass culture of PC by Bio Dome showed the possibility of high density culture (4-5 g/L) and high productivity in outdoor. And also the biomass of PC contained high content of Arachidonic acid in total fatty acid (30-40 %) and in the basis of dry weight (4-6.5 %).
- (2) The result in mass culture of marine alga (Nanno) by Bio dome showed the possibility of the stable productivity even in the winter season when is under very severe environmental conditions for this marine alga.

We are going to study the effects of culture conditions (medium etc.) and environmental conditions outdoor on the productivity and fatty acid composition of these valuable microalgae in next year.