

OTEC 排水高度利用のためのスジアオノリ養殖技術開発

鹿熊 信一郎^{*1}, 甲斐 哲也^{*2}, 白樫 美来^{*3}, 照屋 清之介^{*2}

Developing *Ulva prolifera* aquaculture technology for utilization of OTEC discharges

Shinichiro KAKUMA^{*1}, Tetsuya KAI^{*2}, Miku SHIRAKASHI^{*3} and Shinnosuke TERUYA^{*2}

^{*1}Institute of Ocean Energy University of Saga 1-Honjo machi, Saga-shi, Saga, 840-8502, Japan

^{*2}Okinawa Deep Seawater Research Center 500-1 Maja Kumejima Okinawa, 901-3104, Japan

^{*3}Agriculture, Forestry and Fisheries Engineering Division, Miyako Office, Okinawa Prefectural Government 1125 Nishizato, Hirara, Miyakojima-city, Okinawa, 906-0012, Japan

Abstract

OTEC discharges nutrient rich deep seawater. The rich nutrient is beneficial for seaweed aquaculture but has negative impacts to coral reefs. Since culturing expensive, fast grow seaweed is efficient and effective way to retrieve nutrient from OTEC discharge, we have studied the technology to culture green algae *Ulva prolifera* at Okinawa Deep Seawater Research Center. For the seedling production technology, we improved the existing techniques to accelerate the maturation of algae. We developed the Water-bath System in which beakers containing fragmented algae are cooled using deep seawater in an outdoor environment with high UV light. As a result, we were able to obtain a large number of zoospores. For efficient aquaculture technology, we conducted cultivation experiments under different conditions using four sets of tanks of 30L, 500L and 2 tons. The growth rate of *U. prolifera* was intensively influenced by water temperature, light intensity, maturation and density. We found that if these conditions were appropriate, the speed of growth of the algae could be extremely fast, exceeding 100% daily growth rate.

Key words : OTEC discharge, Nutrient rich, Seaweed aquaculture, *Ulva prolifera*, Seedling production, Growth rate

1. 結 言

太陽光の届かない海洋深層水（以下、深層水）の深度では、植物プランクトンは光合成ができず、有機物の分解だけが進むため栄養塩濃度は高くなる。沖縄県海洋深層水研究所が取水した深層水では、2020年と2019年、硝酸態窒素濃度はそれぞれ0.45, 0.35mg/L（以下、単位は全てmg/L）で表層水の20~30倍以上だった。リン酸態リンは0.065, 0.059で表層水の約30倍だった。深層水に含まれる高濃度の栄養塩は、海藻養殖には有利であるが、造礁サンゴには悪影響を与える。沖縄県衛生環境研究所の調査では、沖縄でサンゴが50%以上の被度（海底で生きているサンゴの面積の割合）を保つ濃度は、全窒素0.08以下、全リン0.01以下となった。この値は、環境基本法の基準、それぞれ0.2, 0.02以下よりも2倍以上低い。

高濃度の栄養塩がサンゴに悪影響を与える理由は、間接的には次の3つである。1) 光をめぐってサンゴと競争関係にある海藻を増やす。2) 植物プランクトンが増え海水が濁り、サンゴ内の共生藻の光合成を阻害する。3) オニヒトデ幼生の餌料となる植物プランクトンが増え食害種の大発生につながる。直接的にも、生理的な影響があるという報告があるが、最近、リンが稚サンゴの骨格形成を阻害することがわかってきた (Iijima et al., 2019)。

2016~2018年度に、沖縄県海洋深層水研究所にて栄養塩が稚サンゴの生育に及ぼす影響を試験した。種苗生産したウスエダミドリイシ (*Acropora tenuis*) の稚サンゴを、(1)深層水で熱交換して冷やした表層水、(2)深層水を混ぜて冷やした表層水、(3)表層水で熱交換して暖めた深層水で飼育した（水温は同じ）。稚サンゴの生残率は、(1)表層水>(2)混合水>(3)深層水の順で、栄養塩濃度が高いほど低く推移した（鹿熊他, 2019）。

原稿受付 2021年10月19日

^{*1} 佐賀大学海洋エネルギー研究センター（〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地）

E-mail of corresponding author: kakuma@ioes.saga-u.ac.jp

このため、沖縄や深層水と表層水の温度差が大きい熱帯のサンゴ礁域で OTEC を展開していくには、何らかの栄養塩対策が必要になる。深層水中の栄養塩を回収するには、高価な海藻（大型海藻・微細藻類）を養殖する方法が効率が高い。富栄養化した海域の環境改善や魚介類養殖排水中の栄養塩回収を目的とした海藻養殖の研究も行われている（平山他, 2020 ; Shpigel et al, 2019）。そこで、OTEC の排水を多段利用し、高価で生長の速いスジアオノリ（*Ulva prolifera*, Fig. 1）を養殖するとともに、排水に含まれる栄養塩を回収する技術の開発に取り組むことになった。

スジアオノリは、近年、主産地の徳島県、高知県が不作で価格が高騰しており、乾燥品でキロ 3~4 万円、生換算で 3~4 千円となっている。養殖海藻全体の平均価格はキロ 2~300 円、オキナワモズクの価格はキロ 1~200 円、価格の高いクビレズタ（通称ウミブドウ, *Caulerpa lentillifera*）はキロ約 2 千円である。生長もきわめて速く、日間生長率が平均約 40%と報告されている（Hiraoka and Oka, 2008）。1 週間の養殖で重量が 10 倍になる計算である（ウミブドウの日間生長率は約 4%）。ある試験では、スジアオノリの養殖により海水中の無機態窒素を 80%回収できた（平岡私信）。スジアオノリは、徳島県では網に遊走子を付着させ、それを河口域で養殖している。この方法とは別に、遊走子を集隕化させ、それを陸上のタンクで養殖する方法も開発されている（Hiraoka and Oka, 2008）。そこで、この方法を用い、沖縄の久米島に所在する沖縄県海洋深層水研究所において、佐賀大学海洋エネルギー研究センターと沖縄県海洋深層水研究所の共同研究として、スジアオノリ養殖技術の開発研究を実施した。

2. 試料および方法

2・1 種苗生産技術開発

既往知見に基づく方法：

- (1) 深層水と表層水で水温を 20~25℃に調整した室内の 30L 水槽（アルテミア孵化槽）でスジアオノリ母藻を培養した。
- (2) このスジアオノリ 20g（湿重量）と滅菌海水 80cc をミキサーに入れ細断した。細断時間は成熟状態により 30 秒~2 分（成熟するほど短くした）。
- (3) 300 μ m のふるいを使い細断した藻体を 5L の容器に収容し、水道水で 20 秒間 5 回洗浄した（成熟阻害物質を洗い流すため）。
- (4) 1L のビーカーに培養液（0.05%の栄養剤ポルフィランコンコを添加した滅菌海水）と藻体を入れた。
- (5) 22.5℃, 1 日 12 時間光のあたる環境の室内で、エアレーションをしながらビーカーを保存した（Fig. 2）。
- (6) 遊走子を大量に出したら（Fig. 3）、部屋を暗くし、LED ランプを使って遊走子を集め、ピペットで回収してシャーレに収容した。
- (7) 遊走子が発芽体になりシャーレの底で安定したら、培養液を入れ、12.5℃, 1 日 12 時間光のあたる環境で保存した。培養液は 2 ヶ月に 1 回交換した。

改良した方法：

- (1) 母藻の成熟を促進するため、紫外線（UV）の多い屋外の 30L 水槽でスジアオノリ母藻を培養した。
- (2) 細断した母藻の成熟を促進するため、洗浄後、10 分間水道水に浸け淡水刺激を与えた。
- (3) 細断した母藻の成熟を促進するため、ウォーターバスシステムを開発し、UV の多い屋外で藻体を入れたビーカーを収容した。

2・2 培養試験

- (1) シャーレに保存していたスジアオノリ発芽体を、プラスチックのスプーンと 300 μ m のふるいを使って 50 μ m のふるいにこし取った。
- (2) この発芽体を 1L のフラスコに培養液（0.1%の栄養剤ポルフィランコンコを添加した滅菌海水）とともに入れ（Fig. 4）、22.5℃, 1 日 12 時間光のあたる環境の室内で、エアレーションをしながら 17 日間以上培養した。
- (3) 十分大きくなった藻体を、屋外の 30L 水槽で 5~8 日培養した。水温は深層水と表層水を使い 20~23℃に調整した。

- (4) 以後、条件を変え、30L 水槽 (Fig. 5), 500L 水槽 (アルテミア孵化槽, Fig. 6), 2 トン水槽 (FRP 水槽, Fig. 7) をそれぞれ 4 つ使い、生長速度を比較する培養試験を行った。30L 水槽, 500L 水槽はポリカーボネイト製で、水槽の側面から光が入る。FRP 水槽は水槽の側面から光が入らない。培養日数は、それぞれ初回は 7 日、以後は 4 日間にした。2021 年 5 月からは、Onset 社の水温・照度ロガー-MX2202 を用い、水槽内外の水温と照度を測定した。湿重量は、網袋に入れた藻体を洗濯機で 1 分間脱水後計量した。生長速度は、次の式から日間生長率 (DGR: Daily Growth Rate) を計算し比較した。

$$DGR(\%) = [(Wt/W0)^{1/t} - 1] \times 100$$
 W0: 開始時の藻体湿重量, Wt: 終了時 (t 日後) の藻体湿重量.

- (5) 条件は、スジアオノリの産地と世代、水温、換水率 (栄養塩濃度)、UV 有無を変え、計 15 回培養試験を行った。



Fig. 1 *Ulva prolifera*.



Fig. 2 Cultivation of *U. prolifera* in beakers.

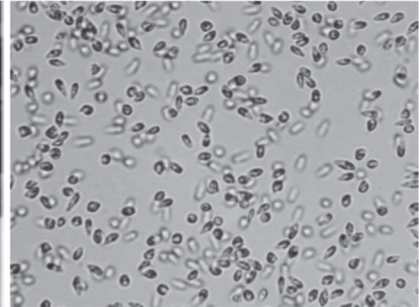


Fig. 3 Zoospores of *U. prolifera*.



Fig. 4 Cultivation of *U. prolifera* in a flask.

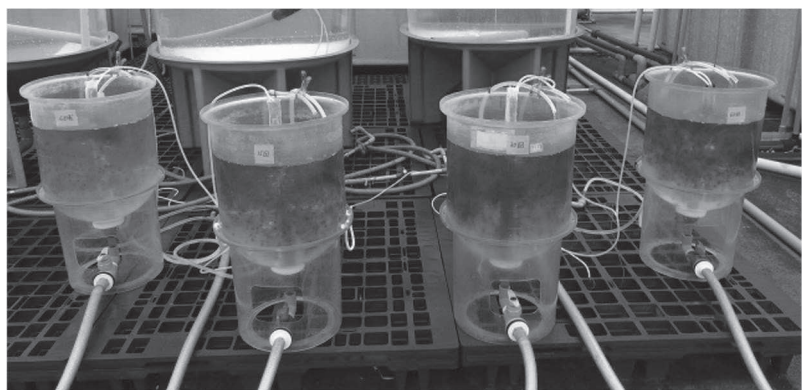


Fig. 5 Cultivation of *U. prolifera* in 30L tanks.



Fig. 6 Cultivation of *U. prolifera* in 500L tanks.



Fig. 7 Cultivation of *U. prolifera* in 2ton tanks.

3. 結果と考察

3・1 種苗生産技術開発

久米島産スジアオノリでは、既往知見に基づく方法で大量の遊走子を得ることができた。しかし、四国産のスジアオノリでは、2 ヶ月間、十数回種苗生産を試みたが全く遊走子を得ることができなかった。原因として、試験に使ったスジアオノリの株が非常に成熟しにくい可能性、スジアオノリの藻体を低温（12.5℃）で2年間保存したことにより、成熟しにくくなった可能性を想定している。藻体の形態も大きく変わり、培養すると分枝（ひげ状のごく細い藻体）がびっしり生えてきて、それが生長した。喜多他（2019）では、1 ヶ月以上20～25℃で保存したスジアオノリは、藻体表面を覆うほど無数の分枝が形成された。また、15℃で56日間保存したスジアオノリは、その後20℃で培養すると、20、25、30℃で56日間保存したスジアオノリや15℃で42日間保存したスジアオノリと比べて、成熟しにくくなっていた。スジアオノリの市場価格は、色（緑が濃い方がよい）と香りの違いで大きく異なると言われている。久米島産のスジアオノリは、四国産のスジアオノリと比べて色が薄いので、養殖技術の開発は四国産を優先するべきである。

このため、母藻の成熟を促進するために、培養中 UV を多くあてるとともに、細断・洗浄した藻体を10分間水道水に漬けて淡水刺激を与えるように方法を改良した。UV を多くあてるとは、予備試験で四国産スジアオノリを培養した際、UV カットされた屋内では遊走子を出さなかったのに対し、屋外では大量の遊走子を出したためである。淡水刺激は、培養中の雑藻（ケイ藻）対策として10分間水道水に漬けると、ケイ藻は消失するがスジアオノリは正常に生長することを確認していたためである。

母藻を屋外で培養するとともに細断した藻体に淡水刺激を与えた結果、少量の遊走子を出した。しかし、光に集まるほどの遊走子を得ることはできなかった。このため、UV の多い屋外でも細断した藻体が出ないよう、深層水と表層水で水温を調整した海水でビーカーを冷やすウォーターバスシステムを開発した（Fig. 8）。その結果、大量の遊走子を出すようになった。Fig. 9 に、大量の遊走子を出した24回の種苗生産について、藻体の細断後遊走子を出すまでの日数を示した。雨や曇りの日が続くと遅れることもあったが（最長9日後）、おおむね細断後4日目まで、多くは2日目に遊走子を出した。

なお、細断する藻体は、成熟して形状が平たく変化し、浮き上がった藻体を使う方が大量の遊走子を得やすい。また、遊走子を出したのを確認後、暗くした室内にビーカーを運びLEDの光で遊走子を集めるが、遊走子を出したタイミングによっては負の走光性を示すこともあった。

この種苗生産の技術は、沖縄県農林水産部の令和3年度普及に移す技術の概要に掲載される（照屋他，2022）。また、久米島でウミブドウを養殖している民間業者が、九州産スジアオノリを試験的に養殖しようとしたところ、当初は遊走子を得ることができなかったが、この技術によって大量の遊走子を得ることができるようになった。

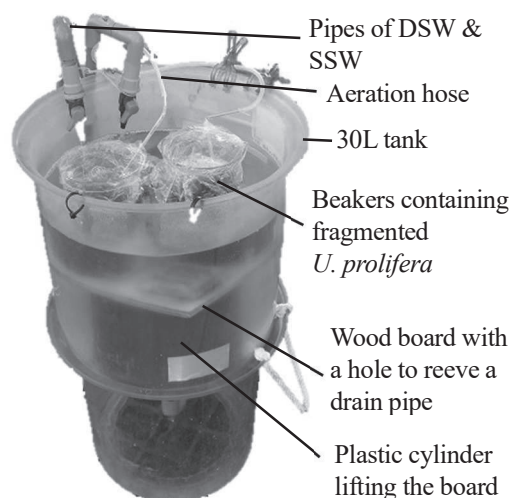


Fig. 8 Water-bath System.

DSW: Deep sea water, SSW: Surface sea water

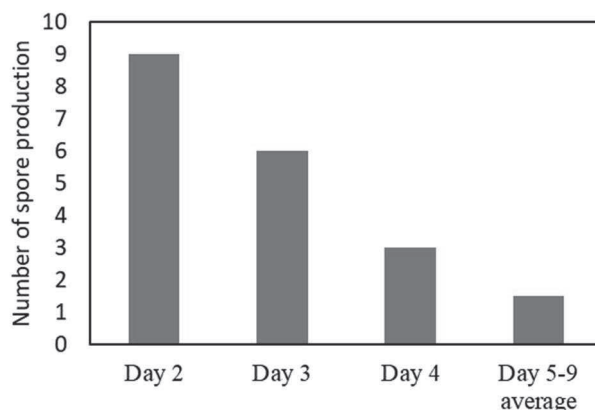


Fig. 9 Number of times when a large number of zoospores of *U. prolifera* was obtained.

3・2 培養試験

15 回の培養試験の概要を Table 1 に示した. スジアオノリの生長速度は, 水温, 光量, 成熟, 密度に強く影響された. これらの条件は複合的に働き (水温が高いと成熟しやすくなる等), 光量などコントロールが困難なものもあった.

Table 1 Outline of cultivation experiments.

NO	Year	Start date	<i>U. prolifera</i>	Variable	Max DGR	Illuminance (Lux)
1	2020	OCT 20	Shikoku 2nd	Temperature	500L 103%	
2	2020	NOV 9	Shikoku 2nd	Temperature	30L 114%	
3	2020	NOV 26	Shikoku 2nd	Nutrient	30L 87%	
4	2020	DEC 8	Shikoku 2nd	Nutrient	500L 79%	
5	2020	DEC 17	Shikoku 2nd	UV	500L 66%	
6	2021	JAN 19	Shikoku 2nd	Nutrient	30L 88%	
7	2021	FEB 4	Shikoku 2nd	Variance	2ton 99%	
8	2021	FEB 19	Shikoku 2nd	Variance	2ton 73%	
9	2021	MAR 20	Shikoku 2nd	UV	500L 111%	
10	2021	MAY 24	Shikoku 3rd	Temperature	2ton 83%	13,000
11	2021	JUN 10	Shikoku 3rd	Temperature	30L 93%	22,000
12	2021	JUL 5	Shikoku 2nd	Temperature	30L 132%	29,000
13	2021	AUG 10	Shikoku 3rd	UV	30L 137%	19,000
14	2021	SEP 3	Kumejima	Temperature	30L 114%	20,000
15	2021	SEP 21	Shikoku 3rd	Temperature	30L 119%	25,000

(1) 水温と照度

水温推移の一例を Fig. 10 に, 照度推移の一例を Fig. 11 に示した. 水温は, 晴れて日射量が多くなると急激に上昇し調整が困難になった. 海水の換水率が低い場合には, 1 日に水温が 6℃ 変化したこともあった. 水槽の中の照度は, 水槽の外より低く推移した. 特に藻体が生長すると照度は低くなった.

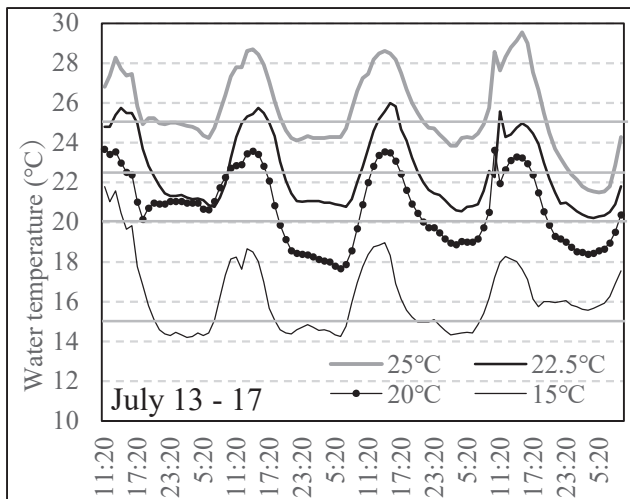


Fig. 10 Transition of water temperature in 4 tanks.

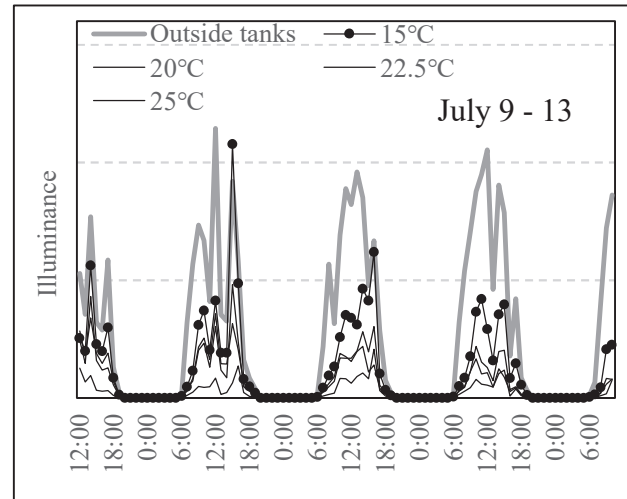


Fig. 11 Transition of illuminance in 4 tanks and outside tanks.

(2) 全般的な生長速度

全般的な生長速度は非常に速かった. 最も速かったのは 2021 年 8 月 10 日から 14 日, 30L 水槽で水温 25℃, UV カットして培養した四国産第三世代 (久米島に運ばれたものが第一世代, それから遊走子を取り培養したものが第二世代, さらにそれから遊走子を取り培養したものが第三世代) で, DGR は 137% だった. これまで報告されていた平均的な DGR より 3 倍以上高い. 1 週間の養殖で重量が 420 倍になる計算である. しかし, この培養試験は側面から光の入る 30L 水槽で行われたものであり, 実際の養殖の大部分は側面から光の入らない FRP 水槽で行われる. 2 トン FRP 水槽で DGR が最も高かったのは, 2021 年 2 月 12 日から 16 日に水温 20℃ で培養した四国産第二世代で, 99% だった. これも非常に高い DGR である. 1 日で重量が 2 倍, 1 週間の養殖で重量が 128 倍になる計算である. しかも, 2 月の太陽の角度は夏よりずっと低く, 水槽上面から入る光量はより少なかったと

考えられる（また、昼の時間も短い）。生長がこのように速い理由は不明だが、沖縄の光環境が四国と異なることや、成熟しにくくなったことと同様に藻体を低温で長期間保存したことが関係している可能性がある。

Fig. 12 に 2021 年 7 月 5 日から 17 日に培養した四国産第二世代の生長の様子を示す。スジアオノリは指数関数的に生長するので、縦軸の藻体重量は指数表示としている。20℃、25℃で培養したものは、DGR が 40%で生長したと仮定した直線よりもかなり速い速度で生長している。DGR40%のものは、12 日間で重量が 4g から 230g になるのに対し、25℃は 7298g になった（1825 倍）。25℃の平均 DGR は 87%である。2 トン水槽において、最終収穫日の前日の 7 月 16 日にも計量を行った。25℃の 7 月 13 日～16 日の DGR83%は、7 月 16 日～17 日には 23%に下がった。これは、藻体が生長して密度が上がり、十分な光を受けられなくなったためである。スジアオノリは、藻体の重量が培養水の重量の 0.1%を超えると、生長が遅くなると報告されている（平岡・岡，2004）。7 月 17 日では、25℃のスジアオノリの密度は 0.36%になっており、そのために生長が遅くなったと考えられる。飽和状態に近いと考えられるので、生産効率を計算してみる。2 トン FRP 水槽の上部面積は 3 m²、4 日間で藻体重量が 974g から 7298g に生長したので、1 日平米あたり生産量は 527g-wet/m²・d になる。この値は、スジアオノリとは別の *Ulva* 属藻類で生長が速いと報告されているオオバアオサ（*Ulva lactuca*，平山他，2020）の値の 3～5 倍である。

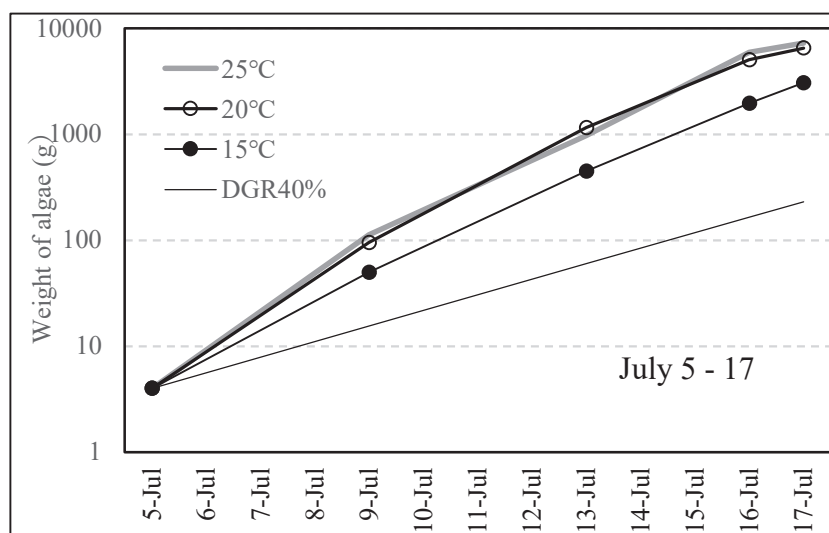


Fig. 12 Growth of *U. prolifera* with different temperatures.

生長が速いと、実際の養殖では養殖の回転数を上げ年間生産量を増やすことが可能になる。四国のあるスジアオノリ陸上養殖業者は、30L, 100L, 1 トン, 7 トンの水槽を使い、スジアオノリを 7 日間同時並行で培養している。年間最大 52 回転の養殖が可能な計算になる。7 トンの水槽で 12kg のスジアオノリが生産できる（密度はスジアオノリの重量が海水の重量の 0.17%）。仮に DGR が 40%から 80%に上がると、全く同じ初期投入量（100L10g, 1 トン 110g, 7 トン 1150g）で、4 日間で 12kg を生産できる計算になる。養殖サイクルは、年間最大 91 回となり、生産量は 1.8 倍になる。

(3) 成熟と生長速度

スジアオノリの生長速度は、成熟の影響を強く受け、成熟が進むと生長は遅くなった。藻体の色は薄くなり、太く平らになった。さらに成熟が進むと、遊走子を出し、藻体の先端から分解していった。成熟すると生長速度が遅くなるのではなく成熟の過程で遅くなった。生長に使うエネルギーを生殖細胞の分化に回すためと考えられる。種苗生産技術の開発の際明らかになったように、スジアオノリは UV を多く受けると成熟する。500L 水槽で成熟して生長が遅くなったものが、水槽の側面から UV の入らない 2 トン FRP 水槽では、成熟が進まなくなり、生長が速くなる現象が何回もおきた。

水温は高い方が成熟しやすくなる。また、光量は多すぎると成熟を進めることがある。ある試験では、UV カットした 500L 水槽で一部のスジアオノリが成熟し遊走子を出したが、側面から光の入らない 2 トン水槽に移したところ、成熟が進まなくなり生長が速くなった。

(4) 水温別の生長速度

Fig. 13 に水温を変えて培養したスジアオノリの生長の例を示した。15℃では、22 回の培養試験の平均 DGR は 49.9%だった。20℃では 32 回で 75.7%，25℃では 29 回で 69.1%だった。いずれかの水槽でスジアオノリが成熟して明らかに DGR が下がった試験を除くと、15℃では、14 回の培養試験の平均 DGR は 53.9%，20℃では 21 回で 80.1%，25℃では 19 回で 82.6%だった。このうち 15℃、20℃、25℃の比較が可能な 14 セットでは、15℃と 20℃、15℃と 25℃の DGR には統計的に有意な差があった (Tukey, $p < 0.05$)。20℃と 25℃の DGR には有意な差はなかった。15℃では DGR は比較的低かったが、それでも 40%を下回することはほとんどなかった。四国において、さまざまな水温でスジアオノリを培養した試験では、DGR は 22℃で最も高くなった (Hiraoka and Oka, 2008)。22.5℃の水槽を含む試験を 2 回行ったが、20℃や 25℃よりも特に DGR が高くなることはなかった。20℃～25℃の範囲であれば、水温よりも、それ以外の要因の方が生長率に影響するものと考えられる。

久米島産スジアオノリでは、30L の試験の際、28℃で最も高い DGR114%を示した。25℃の DGR109%は、20℃の 65%よりかなり高かった。500L では、25℃、28℃は成熟して遊走子を出し、DGR は下がった。15℃の水槽では DGR は全般に低かった (Fig. 14)。より高い水温で DGR が高くなったのは、久米島の水温が四国より高いためだと考えられる。30L の試験における 25℃、28℃の DGR は非常に高いが、これは沖縄の光環境が発芽体を低温 (12.5℃) で 1 年以上保存したことが関係している可能性がある。発芽体を培養すると、四国産第一世代と同様に細い分枝が高密度に生えてきて、それが生長した。

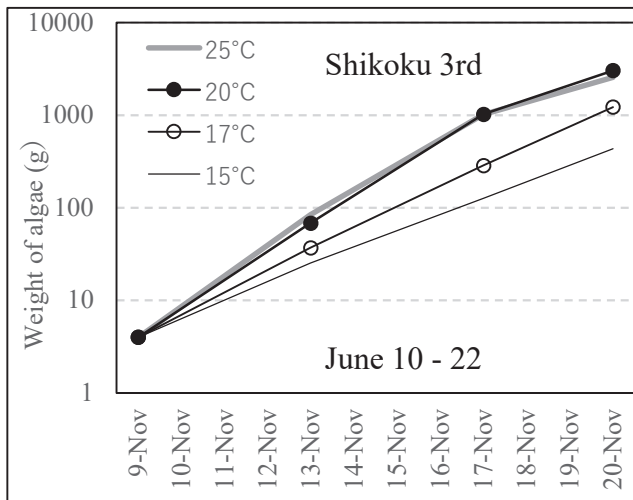


Fig. 13 Growth of *U. prolifera* with different temperatures.

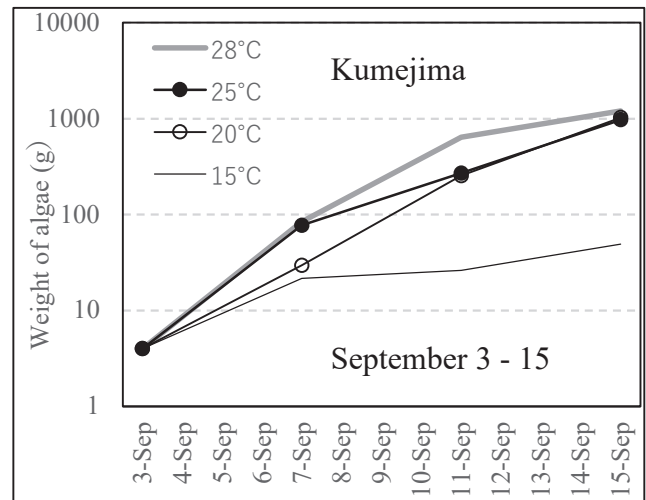


Fig. 14 Growth of *U. prolifera* with different temperatures.

(5) 換水率, UV と生長速度

換水率 (1 日に水槽内の海水が入れ替わる回数) を変えて生長速度を比較した。換水率が高いと供給される栄養塩の量が増える。1 日に 6 回, 15 回, 30 回海水が入れ替わる試験を 2 回, 水槽の大きさに応じて 6 回～40 回海水が入れ替わる試験を 1 回行った。換水率を変えてもスジアオノリの生長率に違いはなかった。1 日 6 回転以上で生長に必要な栄養塩は得られているものと考えられる。ただし、藻体の色は、6 回転のものは他より緑がやや薄かった。30L 水槽で換水率を 1 日 6 回転にすると、注水量は非常に少なくなくなり温度調整は難しくなった。6 回転以下の換水率に設定することは困難だった。

四国のスジアオノリ陸上養殖業者は、深層水だけを 1 日 3 回転の換水率で注水している。深層水には、表層水の数十倍の栄養塩が含まれている。試験を行った季節で培養水の水温を 20℃に保つには、深層水と表層水をほぼ同量注水する必要がある。1 日 6 回転は、栄養塩の点では深層水だけを 1 日 3 回転させるのと同様である。

UV の試験は、UV をカットした試験区 2 つ, UV をカットしない試験区 2 つで比較する試験を 3 回行った。UV のカットは、透明の UV カットシートで水槽を覆うことで行った。このシートは UV を 99%カットできる (光量子は 30%カットする)。UV をカットしてもスジアオノリの生長率に違いはなかった。ただし、UV をカットすると成熟を抑制するので、UV をカットしなかった水槽でスジアオノリが成熟し遊走子を出したケースでは、UV カットした水槽の方が DGR は高かった。

4. 結 言

OTEC 排水の高濃度栄養塩を回収する技術の一つとして、高価で生長速度の速いスジアオノリの種苗生産技術と効率的な培養技術の開発に関する研究を行った。種苗生産技術に関しては、既往知見に基づく方法を改良し、UV を十分あてることなどにより、成熟しにくくなっていた四国産スジアオノリから大量の遊走子を得ることができるようになった。効率的な培養技術に関しては、水温、光量、成熟、UV などをコントロールすることで、きわめて生長率の高い培養が可能になることがわかった。

文 献

- Hiraoka, M., Oka, N., Tank cultivation of *Ulva prolifera* in deep seawater using a new “germling cluster” method (2008), pp.97-102, *Journal of Applied Phycology*, Springer.
- 平岡雅規・岡直宏, 室戸海洋深層水によるスジアオノリ養殖事業化実証試験, 高知県海洋深層水研究所報第 6 号 (2004), pp. 122-123.
- 平山 伸・田代修一・井上公平・浦田和也・飯間雅文・池上康之, 不稔性アオサ属植物の長期培養での生産性評価, 日本海水学会誌, 74 (2020), pp. 249-253.
- Iijima, M., Yasumoto, K., Yasumoto, J., Yasumoto-Hirose, M., Kuniya, N., Takeuchi, R., Nozaki, M., Nanba, N., Nakamura, T., Jimbo, M., Watabe, S., Phosphate Enrichment Hampers Development of Juvenile *Acropora digitifera* Coral by Inhibiting Skeleton Formation (2019), pp.291-300, *Marine Biotechnology*, Springer.
- 鹿熊信一郎・照屋清之介・石川貴宜, 深層水を利用した有性生殖法によるサンゴ種苗生産技術の研究ー深層水の高濃度栄養塩が稚サンゴに与える影響ー, 沖縄県海洋深層水研究所研究業務報告第 18 号(2019), pp.24-26.
- 喜多郁弥・團昭紀・浜野龍夫・齋藤 稔・岡直宏, 藻体抽出液を細断細胞に添加するスジアオノリ種苗生産法, *Algal Resources*12 (2019), pp. 11-20.
- 照屋清之介・甲斐哲也・鹿熊信一郎・白樫美来, 海洋深層水を利用したスジアオノリ種苗生産における孢子放出に関する一知見, 令和 3 年度普及に移す技術の概要, 沖縄県農林水産部(2022), 印刷中.
- Shpigel, M., Guttman, L., Ben-Ezra, D., Yu, J., Chen S., Is *Ulva* sp. able to be an efficient biofilter for mariculture effluents? (2019), *Journal of Applied Phycology*, Springer.