

富山湾深層水を用いた紅藻ミリン *Solieria pacifica* の成長と体色改善

Growth and Improvement of Thallus Color of a Red Alga *Solieria pacifica* Cultured in Toyama Bay Deep Seawater

小林美樹¹・小川晃弘¹・熊谷敬之²・藤田大介¹

Miki KOBAYASHI, Akihiro OGAWA, Takayuki KUMAGAI and Daisuke FUJITA

Abstract

Solieria pacifica is a warm temperate red alga with fleshy thalli, harvested in southern Japan. When this alga was cultured in a tank (100 l in volume) with running Toyama Bay deep seawater (DSW) warmed up to 14°C after pipelined from a depth of 397 m at Nyuuzen, a 26-fold in fresh weight was obtained in 130 days. During culture in DSW, thallus color of *S. pacifica* was kept red while wild thalli in nature turned yellow from late spring to summer. To examine the factor responsible for red color retention, further culture experiment was designed using four types of enriched seawater: modified Grund Media without NaNO₃ (MGM-N), without Na₂HPO₄ · 12H₂O (MGM-P), without NaNO₃ and Na₂HPO₄ · 12H₂O (MGM-NP) and with 1/10 concentrations of NaNO₃ and Na₂HPO₄ · 12H₂O (MGM*1/10NP). Yellowed thalli (ca. 12 g/thallus) were cultured in separate flasks (300 ml in volume, n=3/medium, weekly exchange of medium) in an incubator with the following conditions: 20°C, 14L : 10D and 30-40 μmol photons m⁻² s⁻¹ for 34 days. Thallus color was evaluated with the naked-eye, measurement of L* a* b* values using colorimeter (CR-400, Konica Minolta) and quantification of chlorophyll *a* (Chl *a*) and phycoerythrin (PE) using photospectrometer (U-3310, Hitachi). Results showed thalli turned yellow in MGM-N after 28 days but kept more or less deepened red in MGM-P, MGM-NP and MGM*1/10NP. These color changes were supported by the increase of L* value (lightness) as well as decrease of a* value (degree of redness). Chl *a* and PE significantly increased with MGM-P (and MGM*1/10NP in PE) but decreased with MGM-N and MGM-NP, showing that the presence of nitrogen improved thallus color. Warmed DSW will be an ideal tool not only to enhance the stock but also to keep or improve the thallus color of *Solieria pacifica*.

Key Words: Culture, Deep seawater, *Solieria pacifica*, thallus color, yellowing

要 旨

ミリン *Solieria pacifica* は南日本で採取されている食用の肉質の紅藻である。千葉県館山産ミリンを富山県入善町で取水・加温した海洋深層水（14°C）を用いて藻体 93 g を流水培養した結果、極めて成長が良く 130 日目には 2458.5 g（26 倍）となった。また、館山市の生育地ではミリン藻体が春から夏にかけて黄化したが、深層水培養藻体は紅色に保たれた。そこで、黄化の原因を探るため、4 種（窒素無添加、リン無添加、窒素・リン無添加および窒素・リン 1/10 濃度添加）の栄養添加海水（Grund 改変培養液）で培養した結果、窒素無添加区のみで黄化が認められ、紅色の維持に窒素が不可欠であることが明らかになった。黄化藻体では、色彩色差計の L* 値の増加と a* 値の減少、藻体中のクロロフィル *a* およびフィコエリスリンの減少が認められた。加温深層水はミリンの生産の増大のみならず体色の改善にも役立つことが示された。

¹東京海洋大学（〒108-8477 東京都港区港南4-5-7）

²富山県入善漁業協同組合（〒939-0667 富山県下新川郡入善町芦崎 338）

キーワード：培養，海洋深層水，*Solieria pacifica*，体色，黄化

1. 諸 言

ミリン *Solieria pacifica* (Yamada) Yoshida は、真正紅藻綱スギノリ目ミリン科の紅藻で、主に本州太平洋岸中南部、瀬戸内海、九州および朝鮮半島に分布し、低潮線付近から潮下帯に生育する（吉田, 1998）。ミリン科の紅藻では藻体が膜状のトサカノリ *Meristotheca papulosa* (Montagne) J. Agardh が最も盛んに漁獲され、海藻サラダ向けの高級食材として利用されている（大野, 2003）。これに対して、ミリンは多肉質で粘性に富むのが特徴的で、現在、食用として採取されているのは九州沿岸に限られるが、美味であることから、今後、利用の普及や拡大が期待される。そこで、著者らは、千葉県館山市沖ノ島で採集した藻体を用い、窒素やリンなどの栄養塩が豊富なことで知られる海洋深層水（富山湾深層水）での成長を明らかにする目的で培養を試みた。また、生育地の沖ノ島では、ミリンを収穫すべき春から夏に藻体が黄色味を帯びる現象が確認されているが、海洋深層水を用いた培養ではこのような体色の黄化が起こらないことが判明した。これに関連して、ミリンの体色の黄化やその改善に関わる成分を明らかにする目的で、成分を調整した栄養塩添加海水を用いて培養試験を行い、体色変化の定量化と色素分析も試みた。ここでは、これらの結果について報告する。

2. 方 法

海洋深層水で培養したミリンは、2004年4月に館山市沖ノ島でSCUBA潜水により水深3～4mから採集し、採集後、直ちに富山県入善町の海洋深層水活用施設に輸送し、翌日には培養水槽に収容した。培養に用いた水槽は同施設のあわび養殖棟内の窓際に設置された100l容水槽（製品名：アルテミア孵化槽、ポリカーボネート製）で、1基にミリン藻体93gを入れて、加温深層水（14°C）を用い、

130日間、天然光で流水培養を行った。なお、この施設では、表層海水が取水されていないため、表層海水との比較培養験は行わなかった。

成分を調整した培養液による室内培養試験は、2009年7月8日に採集したミリンの黄化藻体を用い、実験開始まで栄養塩無添加の滅菌濾過海水で予備培養した。培地としては、Grund 改変培養液（以下、MGM）(McLachlan, 1973) をもとに、① NaNO_3 を除いた MGM 添加海水（以下、MGM-N）、② $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ を除いた MGM 添加海水（以下、MGM-P）、③ NaNO_3 と $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ を除いた MGM 添加海水（以下、MGM-NP）、④ NaNO_3 と $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ の濃度を1/10にした MGM 添加海水（以下、MGM*1/10NP）の培地を作製した（Table 1）。これらの培養液は、それぞれ滅菌濾過海水1lに、調製した MGM 原液1mlを加えて使用した。なお、MGMにはこれらの窒素源やリン源のほかに、 Na_2EDTA 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、および Vitamin B₁₂ の各成分が添加されている (McLachlan, 1973)。上記の各培養液について黄化したミリン1藻体（約12g）を入れた300ml容の通気フラスコを3組ずつ用意し、2009年7月17日～8月20日の34日間、培養を行った。培養条件は、温度20°C、光周期14L:10D、光量30～40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とし、培養液の交換は1週間毎に行った。

ミリンの体色は、コニカミノルタ色彩色差計(CR-400)を用い、 L^* 値、 a^* 値、 b^* 値を測定して評価した。 L^* 値は明度を、 a^* 値は緑～赤色を、 b^* 値は青

Table 1. Four types of media modified from Grund Medium (McLachlan, 1973) for the culture experiments of *Solieria pacifica* in the laboratory

Medium	Precipitation
MGM-N	Free from NaNO_3
MGM-P	Free from Na_2HPO_4
MGM-NP	Free from NaNO_3 and Na_2HPO_4
MGM*1/10NP	NaNO_3 and Na_2HPO_4 at 1/10 concentration

～黄色を表す数値であり、 a^* 値が高いほど赤味が強く、 b^* 値が高いほど黄味が強い（池田、1980）。藻体の体色の測定では、藻体毎に測定する部位を1箇所定め、毎週同じ部位で色彩値を測定した。

色素分析用の材料は、実験前後で枝を数本採取して乾燥させ、測定時まで冷凍保存した。色素は、クロロフィル a （以下、Chl a ）とフィコエリスリン（以下、PE）を Jones *et al.* (1996) の方法で抽出し、分光光度計（HITACHI U-3310）で吸収スペクトルを測定した。得られた特定波長における比吸光係数の値を用い、それぞれ Jeffrey and Humphrey (1975) および Beer and Eshel (1985) に基づいて算出した。

培養液間の比較は、一元配置分散分析および Duncan's Multiple Range Test (DMRT) により有意差の有無を検定した ($p = 0.05$)。全ての統計分析には SPSS software version 11.5 を用いた。

3. 結 果

(1) 海洋深層水での培養

2004年4月から11月まで実施したミリンの培養結果を Fig. 1 に示した。ミリンは、初期重量 93.3 g から、28日後には 204.5 g、65日目には 820.4 g、95日目には 1250.7 g、130日目には 2458.5 g（初期重量の 26倍）にまで成長した。

Figs. 2a～b にミリンの培養開始前後の海中生育時の様子、Fig. 2c に培養 130 日後の藻体を示した。

生育地において、藻体は春まで Fig. 2a に示した

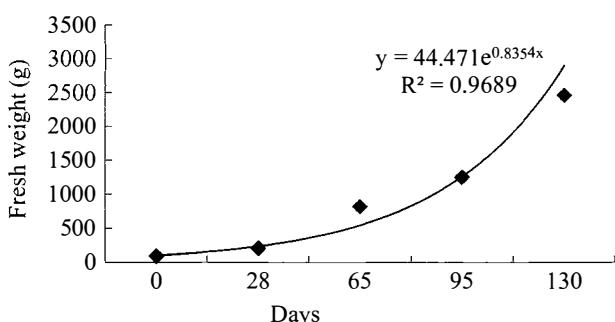


Fig. 1. Growth of *Solieria pacifica* culture in a tank with running deep seawater warmed up to 14°C after pumped from a depth of 397 m at Nyuzen in Toyama Bay.

ように紅色を示していたが、培養開始当初には枝の先端を中心にやや黄化していた。この後、藻体の黄化は顕著となり (Fig. 2b)，8月には大半の藻体が枯死した。一方、培養藻体では、培養 28 日後にはすべて紅色となり、以後、黄化は全く認められず、130日後、すなわち天然藻体が消失してから 3カ月が経過した後も枯死せずに鮮やかな紅色を呈していた (Fig. 2c)。

(2) 成分調整培養液による培養試験

目視観察の結果、MGM-N で培養したミリン藻体は 28 日間で黄化が進行した。MGM-P で培養した藻体は 16 日目には著しく体色が赤味を帯び、MGM-NP および MGM*1/10NP で培養した藻体も赤味が増した。34 日目の藻体の様子を Fig. 2d に示した。

色彩を示す $L^*a^*b^*$ 値のうち、明度を表す L^* 値の推移を Fig. 3 に示した。 L^* 値は MGM-N でのみ 1.2 倍にまで増加し、MGM-NP および MGM*1/10NP で 0.7 倍、MGM-P で 0.6 倍にまで減少した。MGM-N で培養期間中、28 日目から有意に高くなり ($F = 3.137, p < 0.05$)、藻体の体色が明るくなったことが示唆された。MGM-P においても有意差があり ($F = 15.151, p < 0.05$)、16 日目まで低下し続け、体色が暗くなつたことが示唆された。MGM-NP および MGM*1/10NP では期間を通して有意差が見られなかった ($p > 0.05$)。また、培養 34 日目の結果について 4 種の培養液間で分散分析を行った結果、培養液間で有意な差が認められ ($F = 8.743, p < 0.05$)、Duncan の多重比較においても、MGM-N とそれ以外の培養液との間に有意差があり、MGM-N で培養すると L^* 値は高くなることが明らかとなった。

緑～赤色を表す a^* 値の推移を Fig. 4 に示した。34 日後、 a^* 値は MGM-N で最も低く 1.1 倍、MGM-P で最も高く 2.6 倍、MGM-NP で 1.8 倍、MGM*1/10NP で 2 倍となった。MGM-P では培養期間中の変化に有意差が認められ ($F = 8.306, p < 0.05$)、5 日目から有意に高くなり、赤味の増加が示唆された。MGM*1/10NP においても有意差が認められ ($F = 6.864, p < 0.05$)、5 日目から有意に高くなり、赤味が増したことが示唆された。MGM-N および MGM-

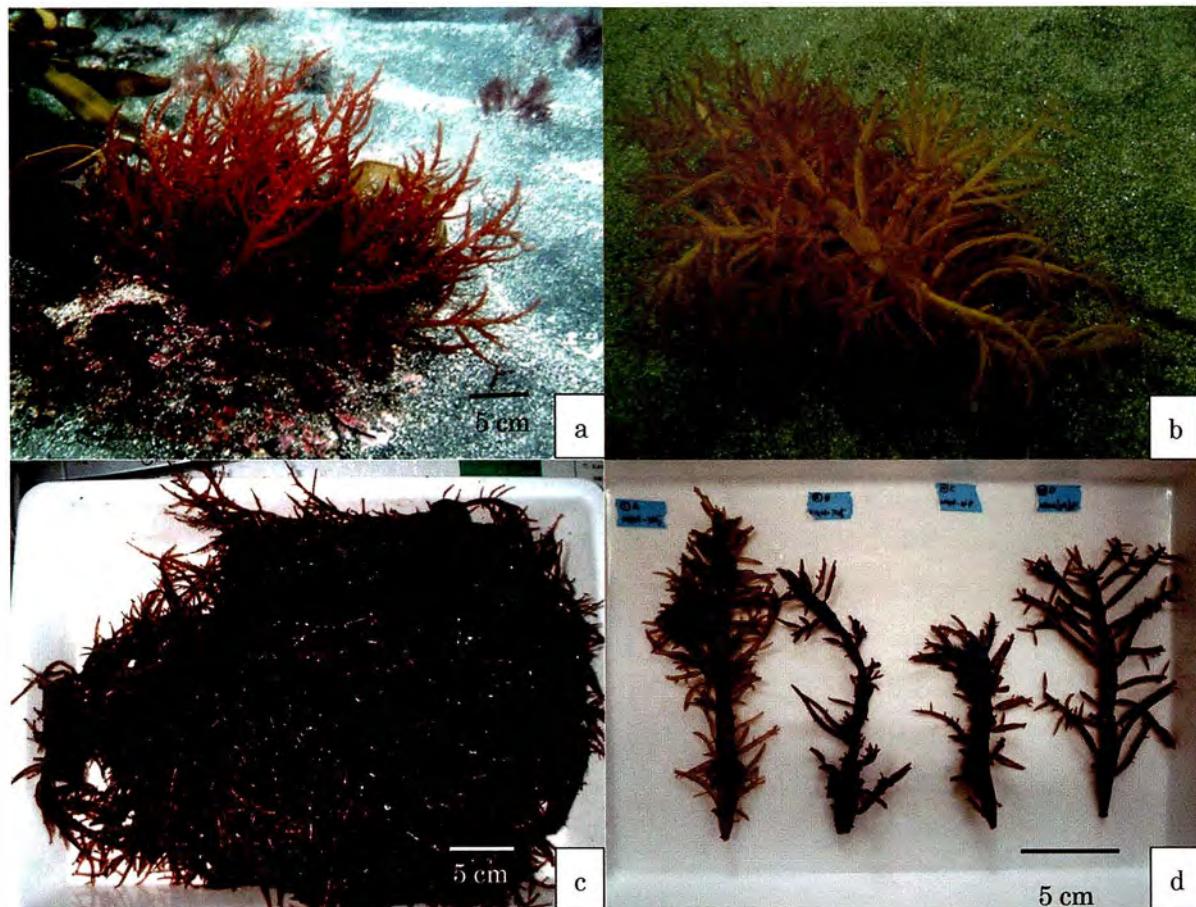


Fig. 2. *Solieria pacifica*; Above: natural habit at the sampling site off Okinoshima, Tateyama, in April (a) and June (b). Below: cultured thalli in tank with running deep seawater after 130 days (c) and those in flasks with four types of enriched seawater (modified Grund media, MGM-N, MGM-P, MGM-NP and MGM*1/10NP from left) after 34 days (d).

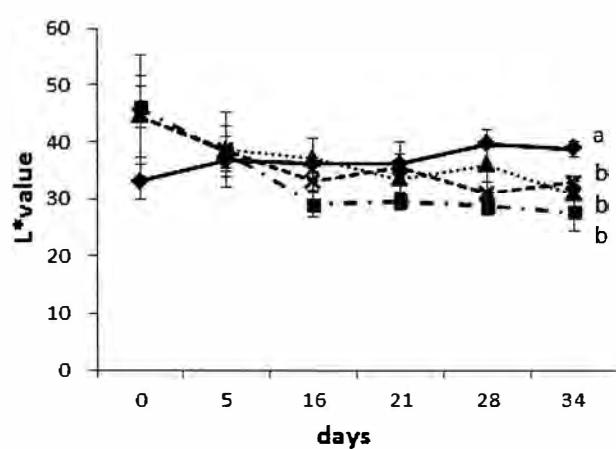


Fig. 3. Changes of L^* value (lightness indicated by a colorimeter, $n = 3$) in *Solieria pacifica* cultured in four types of enriched seawater (See Table 1). Differences were significant among values with different letters after 34 days ($p < 0.05$). Solid diamond: MGM-N, solid square: MGM-P, solid triangle: MGM-NP, solid cross: MGM*1/10NP.

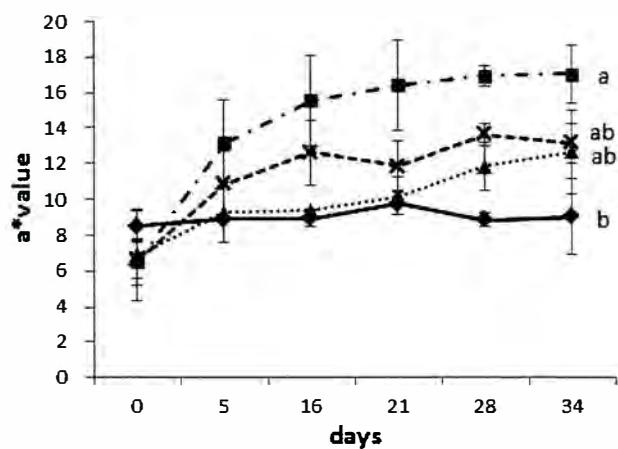


Fig. 4. Changes of a^* value (degree between blue and red indicated by a colorimeter, $n = 3$) in *Solieria pacifica* cultured in four types of enriched seawaters (modified Grund media). Differences were significant among values with different letters after 34 days ($p < 0.05$). Solid diamond: MGM-N, solid square: MGM-P, solid triangle: MGM-NP, solid cross: MGM*1/10NP.

NP では有意差が見られなかった ($p > 0.05$)。また、培養 34 日の結果について 4 種の培養液間で分散分析を行った結果、有意な差が認められた ($F = 6.188$, $p < 0.05$)。Duncan の多重比較では、MGM-N と MGM-P に他との有意差があり、MGM-N で培養すると a^* 値は低く、MGM-P で培養すると a^* 値は高くなることが明らかとなった。

青～黄色を表す b^* 値の推移を Fig. 5 に示した。 b^* 値は MGM-N で最も高く 1.2 倍、MGM*1/10NP で 1.1 倍となり、黄化の進行が裏付けられたのに対して、MGM-P で 0.8 倍と最も低く、MGM-NP で 0.9 倍と、黄化の軽減が示されたが、 b^* 値においては培養期間を通して、また、34 日目の培養液間では有意差が見られなかった ($p > 0.05$)。

培養開始前と培養 34 日後の Chl a 量を Fig. 6 に示した。Chl a 量は、培養 34 日後には MGM-N, MGM-P, MGM-NP, MGM*1/10NP でそれぞれ 0.5 倍、2.6 倍、0.6 倍、1.8 倍となり、MGM-N と MGM-NP で減少し、MGM-P と MGM*1/10NP で増加した。分散分析を行った結果、培養液の効果は有意で ($F = 12.714$, $p < 0.05$)、Duncan の多重比較によれば、MGM-P、次いで MGM*1/10NP となり、MGM-N と MGM-NP、すなわち窒素を全く添加しなかった

培養液で有意に低かった。

培養開始前と培養 34 日後の PE 量を Fig. 7 に示した。PE 量は、培養 34 日後には MGM-N, MGM-P, MGM-NP, MGM*1/10NP の順に、それぞれ元の藻体の 0.7 倍、4.1 倍、1.0 倍、1.8 倍となり、MGM-N で減少し、MGM-NP では変化がなく、MGM-P と MGM*1/10NP で増加した。分散分析を行った結果、培養液の効果は有意で ($F = 6.435$, $p < 0.05$)、Duncan の多重比較によれば、MGM-P とその他の培養液との間に有意差があり、窒素を最も多く含む MGM-P で培養すると PE が高くなることが確かめられた。

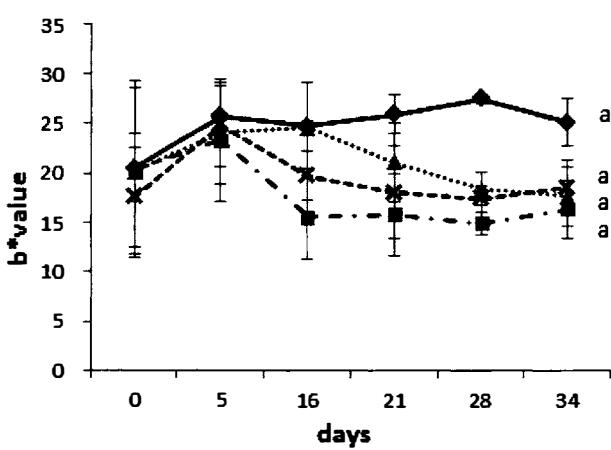


Fig. 5. Changes of b^* value (degree between green and yellow indicated by a colorimeter, $n = 3$) in *Solieria pacifica* cultured in four types of enriched seawater modified Grund Medium. No differences were significant among the culture media after 34 days ($p > 0.05$). Solid diamond: MGM-N, solid square: MGM-P, solid triangle: MGM-NP, solid cross: MGM*1/10NP.

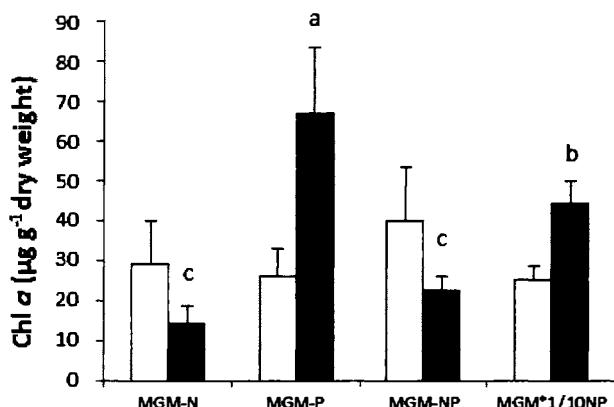


Fig. 6. Chlorophyll a level of *Solieria pacifica* ($n = 3$) before (white bars) and after 34 days culture in four types of enriched seawater (modified Grund media) (shaded bars). Differences were significant among values with different letters ($p < 0.05$).

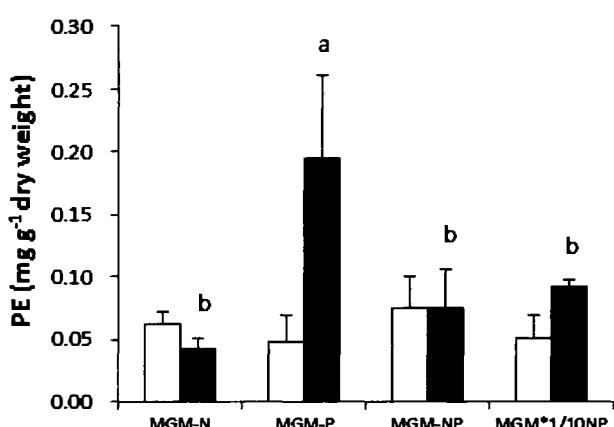


Fig. 7. Phycoerythrin level of *Solieria pacifica* ($n = 3$) before (white bars) and after 34 days culture in four types of enriched seawater (modified Grund media) (shaded bars). Differences were significant among values with different letters ($p < 0.05$).

4. 考 察

ミリン科の紅藻では、トサカノリが高級海藻サラダ用食材として早くから注目を集め、海域における養殖試験（喜田・谷口, 1992）のほか、海洋深層水でも培養が試みられている（大野ら, 2001）。本研究では、多肉質のミリンに注目し、海洋深層水で培養を行った結果、130日間で26倍（湿重量）の藻体が得られ、極めて成長が良いことが明らかになった。今回の報告には含めなかったが、同じ期間、隣接する同型、同水量の水槽でトサカノリ（初期重量は湿重量78.1g）を培養した結果、130日目でも4.1倍（同340.2g）に留まった。このことから、少なくとも今回用いた培養条件において、ミリンは、加温深層水を用いた養殖対象種としてトサカノリよりも有望であることが示唆された。

今回のミリンの培養結果では、成長だけでなく、培養藻体の体色の面でも良好な結果が得られた。紅藻では、夏期に藻体が黄色味を帯びる黄化現象が古くから知られており、山田（1967）は、伊豆半島沿岸ではマクサ *Gelidium elegans* Kützing（ただし、*Gelidium amansii* Lamourouxとして）が主に水温の上昇と日射量の増加の相乗作用により黄化し、窒素またはリンを吸収させると体色が回復することを報告している。ミリンは、白色もしくは緑色に体色を調整して出荷されることもあるが、鮮紅色の藻体は色合いが重視される海藻サラダにおいては貴重な紅色の素材となる。紅色の素材として用いる紅藻では、脱色藻体の熱水抽出物（寒天）を利用するマクサの場合と異なり、黄化は商品価値を左右しうる重要な問題である。ミリンの黄化や体色の改善に関してはこれまでに全く知見がなかったが、今回、栄養塩調整培地を用いた培養により、また、紅藻の黄化に関して、初めて色彩色差計を用いることにより、変化の詳細を定量的に明らかにすることができた。

用いた4種の培養液の中で、体色改善の効果が最も大きかったのは窒素（N）を規定通りに添加しているMGM-Pで、培養した藻体の体色（目視）、色彩値、色素量の3項目すべてにおいて顕著に黄化の回復が認められた。これに対して、体色改善効果が

全く認められなかつたのは窒素（N）を添加しないMGM-Nで、上記の3項目のいずれにおいても黄化の進行が認められた。また、紅色化を示す色彩値a*値とPE量の増加率は、MGM-Pで最も高く、以下、MGM*1/10NP、MGM-NPの順となった。これらの結果から、ミリンの体色は培養液中の窒素の量に強く影響を受けており、黄化藻体の体色改善には窒素が不可欠であることが明らかになった。一方、リンについては、MGM-PやMGM*1/10NPにおいて紅色が維持されたことから、マクサの場合と異なり、リンの多寡が主要因となって体色に大きな影響を与えることはないと考えられた。

なお、今回の培養で、MGM-Nと同様に窒素を添加しなかつたMGM-NPにおいては顕著な黄化が認められず、これが少量加わったMGM*1/10NPと同様の体色が維持された。これについては、窒素やリンが十分ではなかつたために、十分な成長が起こらず、藻体では体色の維持が優先的に行われたためと考えている。今回の室内培養試験では、藻体の成長を測定しなかつたが、栄養供給・吸収が成長に追いつかない場合に黄化が起きると考えられており（山田, 1967），今後、同様の試験を行う場合には、藻体の成長にも留意する必要がある。

なお、紅藻の紅色は光合成の補助色素であるフィコビリタンパク質の1種フィコエリスリン（Lobban and Harrison, 1994）によるもので、このタンパク質の生産には窒素が不可欠である。フィコエリスリンは窒素の貯蔵物質として機能することが示唆されており（Martinez and Rico, 2002; Mizuta et al., 2002），海洋深層水において表層海水よりも多いとされる窒素、リン、ケイ素（松永, 2000）の中で窒素が最も有効であることは疑う余地がない。

本研究では、ミリンの体色の改善には栄養塩の中でも窒素が重要な役割をしていることが示唆された。今回の栄養塩調整培養試験では、MGM培養液を基調としたため窒素源として硝酸態窒素を用いたが、天然海水中にはアンモニア態窒素も比較的多く存在しているため、今後アンモニア態窒素を用いた培養液でも培養実験を行う必要がある。海洋深層水は、MGMよりは劣るが、大量に取水できるため、流水

培養にするか、頻繁に換水すれば、十分に体色の改善に利用できると考えられる。

窒素以外の成分について、微量元素 (Fe, Zn, Mn, Cu) やリンもクロロフィル *a* やフィコビリタンパク質の生産に必要不可欠であり、これらの元素の欠乏は色素の減少を招き、ノリの色落ちを引き起こすことが知られている (Zhang *et al.*, 2004, 2009; 植木ら, 2010)。富山湾の海洋深層水では、Zn, Mn, Cu はほぼ表層海水と同程度、Fe に関しては表層海水よりも低濃度であることが知られており (松永, 2000), 本研究ではミリンの黄化が認められなかったことから、富山湾の海洋深層水を用いた体色改善において上記の微量元素の添加は特に必要ないと考えられた。

なお、Godinez-Ortega *et al.* (2008) は、異なる波長の光で紅藻 *Halymenia floresii* を培養し、青色光および赤色光でフィコエリスリンが増加したことを報告している。また、Xu *et al.* (2008) は、*Gracilaria lemaneiformis* を養殖し、深度の増加につれて UVAC (紫外線吸収化合物) の減少により、クロロフィル *a* とフィコエリスリンが増加したと報告している。これらのことから、栄養塩以外に、光量や光質 (波長) が体色に及ぼす影響についても併せて検討する必要がある。

文 献

- Beer, S. and A. Eshel (1985) Determining phycoerythrin and phycocyanin concentrations in aqueous crude extracts of red algae. Aust. J. Mar. Freshw. Res., 36, 785–792.
- Godinez-Ortega, J. L. (2008) Growth and pigment composition in the red alga *Halymenia floresii* cultured under different light qualities. J. Appl. Phycol., 20, 253–260.
- Jeffrey, S. W. and G. F. Humphrey (1975) New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physiol. Pflanzen, 167, 191–194.
- 池田光男 (1980) 色彩工学の基礎. 朝倉書店, 東京, pp. 141–149.
- Jones, A. B., W. C. Dennison and G. R. Stewart (1996) Macroalgal responses to nitrogen source and availability: Amino acid metabolic profiling as a bioindicator using *Gracilaria edulis* (Rhodophyta). J. Phycol., 32, 757–766.
- 喜田和四郎・谷口三津夫 (1992) トサカノリ. 水产学シリーズ 88 食用藻類の栽培 (三浦昭雄編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 124–132.
- Lobban, C. S. and P. J. Harrison (1994) Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press, Cambridge, 366 p.
- Martínez, B. and J. M. Rico (2002) Seasonal variation of P content and major N pools in *Palmaria palmata* (Rhodophyta). J. Phycol., 38, 1082–1089.
- 松永明信 (2001) 深層水の成分及び清浄性. 21世紀の資源 富山湾深層水 (富山湾深層水利用研究会編), 桂書房, 富山, pp. 4–5.
- McLachlan, J. (1973) Growth media-marine. Handbook of Phycological Methods: Culture Methods and Growth Measurements (ed. by Stein, J. R.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 25–51.
- Mizuta, H., Y. Shirakura and H. Yasui. (2002) Relationship between phycoerythrin and nitrogen content in *Gloiopeletis furcata* and *Porphyra yezoensis*. Algae, 17, 89–93.
- 大野正夫 (2003) 海藻の資源開発と利用に向けて. 有用海藻誌, 内田老鶴園, 東京, 566 pp.
- 大野正夫・矢野誠・平岡雅規・岡直宏・谷口道子 (2001) 海洋深層水を用いた紅藻トゲキリンサイとトサカノリのタンク培養. 高知大学海洋生物研究報告, 20, 35–41.
- 植木知佳・村上明男・加藤敏朗・嵯峨直恵・本村泰三 (2010) 紅藻スサビノリの光合成色素と葉緑体微細構造における栄養欠乏応答. 日本水産学会誌, 76, 375–382.
- Xu, J. and K. Gao (2008) Growth, pigments, UV-absorbing compounds and agar yield of the economic red seaweed *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) grown at different depths in the coastal waters of the South China Sea. J. Appl. Phycol., 20, 681–686.
- 山田信夫 (1967) 寒天原藻テングサ類の施肥に関する研究. 静岡県水産試験場伊豆分場研究報告, 3, 78–88.
- 吉田忠生 (1998) 新日本海藻誌, 内田老鶴園, 東京, pp. 805–806.
- Zhang, J., T. Nagahama, H. Ohwaki, Y. Ishibashi, Y. Fujita and S. Yamazaki (2004) Analytical approach to the discoloration of edible laver 'Nori' in the Ariake Sea. Analytical Sciences, 20, 37–43.
- Zhang, J.・佐藤友規・丸山亮馬・高尾雄二・畠中佑・藤田雄二・山崎素直 (2009) 有明海のノリの色落ちと微量元素欠乏 – 特に鉄欠乏について. 日本海水学会誌, 63, 158–166.

(2012年9月13日受付；2013年1月16日受理)