

紅藻カイガラアマノリの糸状体の生長, 球形細胞, 単列藻体および初期の葉状体形成における温度特性

阿部真比古^{1†}・村瀬 昇¹・中江美里¹・中山冬麻¹・中川昌大¹・鹿野陽介²

Water temperature characteristics in growth of filamentous thallus and formations of spherical cell, uniseriate and foliose thallus of *Pyropia tenuipedalis* (Miura) Kikuchi et Miyata

Mahiko Abe^{1†}, Noboru Murase¹, Misato Nakae¹, Toma Nakayama¹,
Masahiro Nakagawa¹, Yosuke Shikano²

Abstract : We investigated the water temperature characteristics in growth of filamentous thallus and formations of spherical cell, uniseriate and foliose thallus of *Pyropia tenuipedalis* with culture experiments. Optimal growth of filamentous thalli was observed at 20°C. Moreover, optimal water temperatures in formations of spherical cells, uniseriate and foliose thalli were 20°C, 15–20°C and 15°C, respectively. Optimal water temperatures of each life stage were different. At 10°C, the formations to uniseriate and foliose thalli were suppressed. At 25°C, almost of all thalli has caused morphological abnormalities. Furthermore, changing to 15°C from 20°C was promoted for forming to uniseriate and foliose thalli. It was thought that bad harvest in 2012 was resulted from suppressing of formation to uniseriate and foliose thalli at the condition of less than 10°C. The present results are able to contribute for improvement of the seedlings production techniques in *P. tenuipedalis* mariculture, and prediction of the development time of the mariculture plates in the waters.

Keywords : *Pyropia tenuipedalis*, filamentous thallus, foliose thallus, spherical cell, uniseriate thallus, water temperature

緒 言

カイガラアマノリ *Pyropia tenuipedalis* は紅藻綱ウシケノリ目に属するアマノリ類である。東京湾、伊勢湾、瀬戸内海と限られた場所でのみ分布し¹⁾、環境省のレッドリストに絶滅危惧Ⅰ類として記載されている²⁾。

カイガラアマノリは、春季に成熟した葉状体から果胞子が放出され、糸状体を形成し、夏を越す。本種は一般的に養殖されているスサビノリ *Pyropia yezoensis* を含む他のアマノリ類のように貝殻に穿孔した糸状体から殻胞子を放出し葉状体に生長するのではなく、貝殻に穿孔した糸状体上に形成された球形細胞から直接葉状体に生長する特異な生

活史を有する。秋季に糸状体上に形成された球形細胞は、縦一列に細胞が並ぶ単列藻体を経て、横方向への分裂を行い、葉状体となる^{1, 3, 4)}。カイガラアマノリでは、1個の球形細胞から1枚の葉状体しか形成されない。

本種の分布は、山口県では山口市樫野川河口域、秋穂湾および佐波川河口域^{4, 5)} や宇部市厚東川河口域⁶⁾ において確認されている。本種が自生する山口湾樫野川河口域では、以前より「アカノリ」と呼ばれ、漁業者によって採集され、自家消費されてきた⁵⁾。山口県では平成19年度より本種の試験養殖が行われ、平成20年度より地域特産品として商品化され、試験販売されている。

本種の養殖は平成19～23年度は山口湾で、平成24年度で

¹ 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

² 山口県水産研究センター内海研究部 (Inland Sea Division, Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center)

[†] 別刷り請求先 abemahi@fish-u.ac.jp

は山口湾と厚東川で、平成25年度以降は厚東川のみで行われている。平成19~22年度にかけてはカキ殻に穿孔させた糸状体を用いて養殖を行っていたが、平成22年度からはサンゴ砂や方解石などの炭酸カルシウムを表面に塗抹した増養殖プレートが開発され、これを用いた養殖が開始された⁷⁾。増養殖プレートの使用により生産量の向上が見られ、平成23年度の実産量は823kg(湿重量)に達したが、平成24年度の実産量は320kg(湿重量)と平成23年度に比べ半分以下となった。畑間ら⁸⁾の報告では、平成24年度の不作は12~2月の低水温による発芽不良と、摘採盛期である2月下旬の水温上昇による葉状体の早期流失が原因であると考えられている。特に、増養殖プレートの河口域への展開後、種苗として増養殖プレート上の糸状体に形成されている球形細胞や単列藻体が葉状体へ順調に形態変化しなければ、生産量に大きく影響する。カイガラアマノリは水温や塩分などの環境変動の大きな河口域に生育するため、様々な環境に対する生長特性を把握していく必要がある。本種の生長特性については、能登登ら³⁾やNotoya et al.⁹⁾が糸状体から葉状体までの各生活史段階の形態形成や生長と水温や日長との関係を、中山ら¹⁰⁾が葉状体と塩分との関係を調べている。しかし、東京湾産のカイガラアマノリは10℃で葉状体が生長しないが³⁾、本種が自生する山口湾では水温10℃付近で葉状体が確認される⁷⁾など、生育海域の違いによる特性の差について十分に知見が蓄積されているとは言えない。

本研究では、山口県におけるカイガラアマノリ増養殖の安定生産に向けた知見を集積し、山口湾産カイガラアマノリの種苗となる糸状体から葉状体までの生育特性を把握するために、山口湾産カイガラアマノリの糸状体の生長と水温、球形細胞、単列藻体および葉状体のそれぞれの形成と水温との関係を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

材料には、平成23年2月15日に山口湾で採集されたカイガラアマノリの成熟藻体から糸状体を得て、水産大学校藻場生態系保全研究室において温度20℃、光量10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期12L:12Dで保存培養している株を用いた。

予備培養

保存培養しているカイガラアマノリの糸状体をシャーレ上でメスを用いて約0.3~0.4mmの長さに細断した後、

1/2SWM-III改変培地(SWM-III¹¹⁾からS-3vitamin、土壌抽出物、Trisおよび肝臓抽出物を除去、以下1/2SWM-III改変培地^{12, 13)}25mlで懸濁させた。パスツールピペットを用いて糸状体の断片が100個程度になるように15~20滴の懸濁液を60ml培養容器(greiner bio-one CELLSTAR[®] 690 170, 以下、培養容器)の底面に滴下した後、1/2SWM-III改変培地を5ml加え、培養容器底面に糸状体断片が均一となるように軽く攪拌させた。その後、温度20℃、光量8~10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期12L:12Dの条件下で3週間の静置培養を行い、培養容器の底面に糸状体を着生させた。糸状体の付着を確認した後、培養容器内の培養液を全て交換し、60mlとした。

糸状体生長実験

予備培養で得られた糸状体を用いて、温度10℃、15℃、20℃および25℃の5℃間隔、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期10L:14Dの短日条件下で7週間の培養実験を行った。光は培養容器の底面に照射されるように配置した。15℃、20℃および25℃は多室式温度条件試験器(東京理化学株式会社MTI-202B)、10℃は温度が安定するように光照射用恒温庫(TAITEC LX-2300F)内に水槽を設置し、水槽内に培養容器を固定して実験を行った。換水は1週間毎に培養容器内から培養液を30ml抜き取り、同量の1/2SWM-III改変培地と交換した。生長は1週間毎に糸状体の長さを測定した。各温度下の糸状体を28~32個体識別し、それぞれの糸状体を追跡観察した。これらの観察は、倒立顕微鏡(OLYMPUS IX71)とデジタルカメラ(OLYMPUS DP70)を用いて記録した。撮影した写真をパソコンに取り込み、画像処理ソフト(Lumina Vision OL ver.2.04)と画像解析ソフトImage J¹⁴⁾により糸状体の長さを求めた。生長は以下の式(1)を用いて、培養7週目(49日間)の相対生長率(% day⁻¹)として表した。

$$\text{相対生長率}(\% \text{ day}^{-1}) = \frac{\{\log_e(\text{測定日の糸状体の長さ} - \text{初日の糸状体の長さ})\}}{\text{培養日数}} \times 100 \quad (1)$$

球形細胞形成実験

予備培養で得られた糸状体を用いて、前項の糸状体生長実験と同様の試験区において7週間の培養実験を行った。各試験区には培養容器を2個ずつ設置した。換水は1週間毎に培養容器内から培養液を30ml抜き取り、同量の1/2SWM-III改変培地と交換した。球形細胞の形成数の計

測は、倒立顕微鏡 (OLYMPUS IMT-71) を用いて1週間毎に行った。なお、糸状体の断片から形成された一つの塊をコロニーとした (Fig. 1)。カウンターを用いて培養容器内の全ての糸状体のコロニー数と球形細胞を形成した糸状体のコロニー数を計測し、以下の式 (2) を用いて、球形細胞形成率 (%) として表した。

$$\text{球形細胞形成率 (\%)} = \frac{\text{(球形細胞を形成したコロニー数 / 培養容器内の全コロニー数)} \times 100}{(2)}$$

本実験は2回繰り返した。

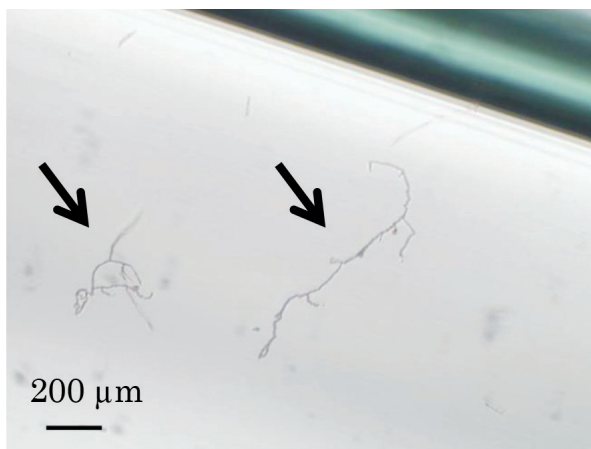


Fig. 1. The colonies of *Pyropia tenuipedalis* filamentous thalli. Arrows show the colonies.

単列藻体形成実験

予備培養で得られた糸状体を用いて、温度20℃、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期10L:14Dの短日条件下で4週間の培養を行い、球形細胞を培養容器1つあたり45~62個形成させた。培養容器は底面から光が照射されるように配置した。換水は1週間毎に培養容器から培養液を30ml抜き取り、同量の1/2SWM-III改変培地と交換した。

形成された球形細胞を用いて、温度10℃、15℃、20℃および25℃の5℃間隔、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期10L:14Dの短日条件下で7週間の培養実験を行った。各試験区には培養容器を2個ずつ設置し、光は培養容器の底面に照射されるように配置した。15℃、20℃および25℃は多室式温度条件試験器、10℃は光照射用恒温庫を用いて実験を行った。換水は1週間毎に培養容器内から培養液を30ml抜き取り、同量の1/2SWM-III改変培地と交換した。単列藻体の形成数の計測は、倒立顕微鏡 (OLYMPUS IMT-71) を用いて1週間毎に行い、以下の式 (3) を用いて単列藻体数の増加率 (%) として表した。

単列藻体数の増加率 (%) =

$$\frac{\{(\text{測定日の単列藻体数} - \text{初日の単列藻体数}) / \text{初日の球形細胞数}\} \times 100}{(3)}$$

葉状体形成実験

予備培養で得られた糸状体を用いて、温度20℃、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期10L:14Dの短日条件下で3週間静置培養を行い、培養容器底面に糸状体を着生させた。糸状体の着生を確認した後、培養容器内の全ての培養液を1/2SWM-III改変培地と交換した。その後、温度20℃、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗条件10L:14Dの短日条件下で4週間の培養を行い、球形細胞を形成させた。球形細胞の形成を確認後、温度15℃、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期10L:14Dの短日条件下で2週間の静置培養を行い、単列藻体を培養容器1つあたり29~58個形成させた。換水は1週間毎に培養容器から培養液を30mlを抜き取り、同量の1/2SWM-III改変培地と交換した。

形成された単列藻体を用いて、温度10℃、15℃、20℃および25℃の5℃間隔、光量40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期10L:14Dの短日条件下で4週間の培養実験を行った。各試験区には培養容器を2個ずつ設置し、光は培養容器の底面から照射されるように配置した。15℃、20℃および25℃は多室式温度条件試験器、10℃は光照射用恒温庫を用いて実験を行った。換水は1週間毎に培養容器内から培養液を30ml抜き取り、同量の1/2SWM-III改変培地と交換した。本実験では、縦一列に細胞が並んでいる単列藻体の細胞の一部が縦分裂を起し、横方向へ2列以上の細胞が並んだものを葉状体とした。葉状体の形成数の計測は、倒立顕微鏡 (OLYMPUS IMT-71) を用いて1週間毎に行い、以下の式 (4) を用いて、葉状体数の増加率 (%) として表した。

葉状体数の増加率 (%) =

$$\frac{\{(\text{測定日の葉状体数} - \text{初日の葉状体数}) / \text{初日の単列藻体数}\} \times 100}{(4)}$$

統計処理

糸状体の生長実験における相対生長率の測定値および球形細胞形成率の測定値は、各温度間についてTukey-Kramer法により多重比較検定を行った。

結 果

糸状体の生長に及ぼす水温の影響

Fig. 2 に、培養7週目（49日間）における温度10℃、15℃、20℃および25℃でのカイガラアマノリ糸状体の相対生長率を示す。培養初日における糸状体の長さは 0.73 ± 0.33 mm（平均値 \pm 標準偏差）であった。培養7週目における糸状体の相対生長率は20℃、15℃の順に良好であり、それぞれ $7.0 \pm 1.7\%$ day⁻¹、 $6.1 \pm 2.1\%$ day⁻¹であった。また、10℃では $5.1 \pm 1.9\%$ day⁻¹、25℃では $4.4 \pm 1.2\%$ day⁻¹と20℃や15℃に比べ低い値を示した。10℃と20℃、15℃と25℃および20℃と25℃との間では有意差が認められた（Tukey-Kramerの多重比較検定、 $p < 0.05$ 、 $n = 28 \sim 31$ ）。

球形細胞形成に及ぼす水温の影響

Fig. 3 に、温度10℃、15℃、20℃および25℃でのカイガラアマノリ糸状体の球形細胞形成率を示す。20℃および15℃では、球形細胞は培養1週目から確認され、形成率はそれぞれ $1.6 \pm 1.9\%$ と $0.2 \pm 0.4\%$ であった。培養7週目における球形細胞形成率は、20℃で $82.4 \pm 4.1\%$ と他の試験区と比べて有意に高く、次いで15℃で $54.7 \pm 17.0\%$ であった（Tukey-Kramerの多重比較検定、 $p < 0.05$ 、 $n = 4$ ）。20℃および15℃では、培養7週目まで球形細胞形成率が増加し続けた。10℃および25℃では球形細胞の形成は認められなかった。

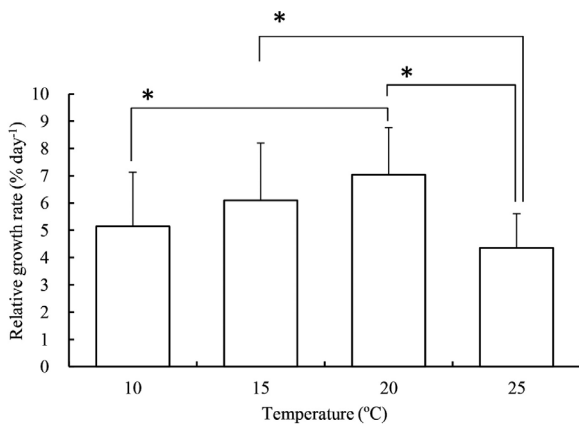


Fig. 2. Relative growth rate of *Pyropia tenuipedalis* filamentous thalli under 10, 15, 20 and 25°C in 49 days in culture. Vertical bars indicate standard deviations ($n = 28 \sim 32$). Asterisks indicate significant differences among the lines by Tukey-Kramer's multiple comparison ($p < 0.05$)

単列藻体形成に及ぼす水温の影響

Fig. 4 に、温度10℃、15℃、20℃および25℃でのカイガラアマノリ糸状体上に形成された単列藻体の増加率を示す。単列藻体の増加率は、15℃で培養2週目に $131.4 \pm 29.3\%$ 、3週目に $263.0 \pm 19.9\%$ と急激に増加し、他の温度区より単列藻体の形成が速かった。15℃では培養3週目以降、ほぼ横ばいに推移し、単列藻体の増加は認められなかった。20℃においては、培養期間中単列藻体は増加し続け、培養7週目には $352.9 \pm 74.8\%$ と最も高い増加率を示した。10℃においては、培養2～5週目にかけて $60.4 \pm 19.2 \sim 126.9 \pm 41.1\%$ と15℃や20℃に比べ緩やかに増加し、その後培養7週目まで横ばいで推移した。10～20℃においては、実験開始時に形成されていた球形細胞（Fig. 5-a）は、正常な形態の単列藻体（Fig. 5-b）となった。一方、25℃では、

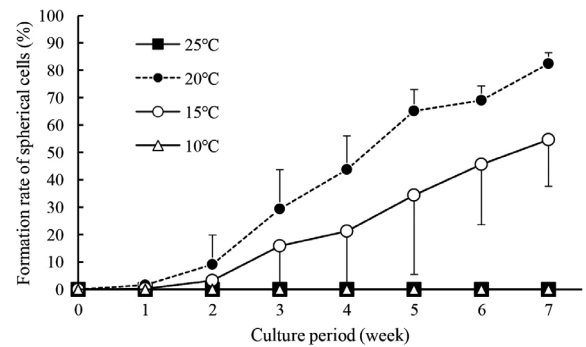


Fig. 3. Changes of formation rate of the colonies with spherical cells to whole colonies of *Pyropia tenuipedalis* filamentous thalli in culture vessel under 10, 15, 20 and 25°C. Vertical bars indicate standard deviations ($n = 4$).

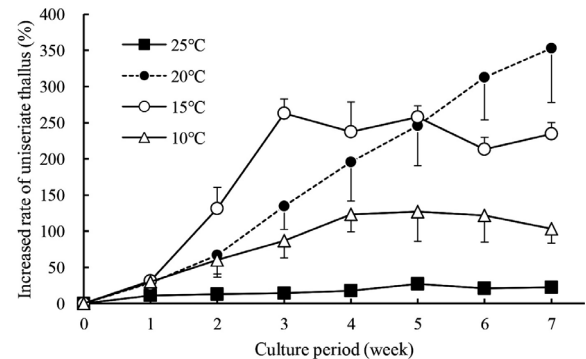


Fig. 4. Changes of increased rate of number of *Pyropia tenuipedalis* uniseriate thallus to number of those spherical cells in initial day in culture under 10, 15, 20 and 25°C. Vertical bars indicate standard deviations ($n = 2$). The data under 25°C showed the reference data because we could not identify the uniseriate thalli.

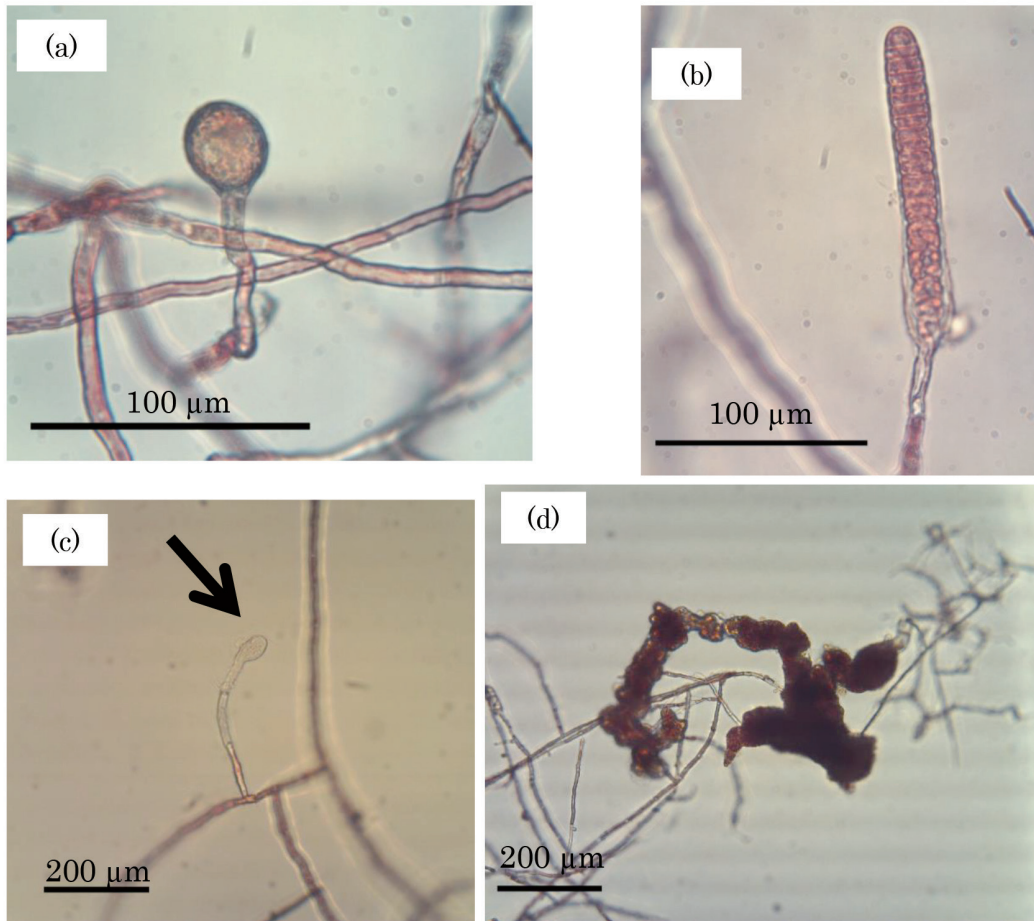


Fig. 5. Photographs of normal spherical cell under 10°C (a), normal uniseriate thalli under 15°C (b), bleached spherical cell under 25°C (c) and morphological abnormality of uniseriate thalli under 25°C (d) of *Pyropia tenuipedalis*.

球形細胞の色素が抜け透明になる現象 (Fig. 5-c) や多層化などの形態異常 (Fig. 5-d) が観察された。形態異常を起こした藻体は、単列藻体としての判断が困難であったため、計測することができなかった。

葉状体形成に及ぼす水温の影響

Fig. 6 に、10°C、15°C、20°C および 25°C での培養において、単列藻体から形成された葉状体の増加率を示す。15°C では、培養期間中の葉状体の増加率が培養 2 週目で $99.9 \pm 13.8\%$ 、培養 4 週目には $106.5 \pm 9.1\%$ と最も速く、高かった。20°C および 10°C においては、15°C に比べ葉状体の形成が遅く、増加率も培養 4 週目で $65.2 \pm 17.6 \sim 65.5 \pm 24.4\%$ と低かった。10~20°C においては、正常な葉状体へと変化した (Fig. 7-a)。25°C においては、葉状体の増加率は培養 4 週目で $97.6 \pm 20.7\%$ と 15°C に次いで高い値を示したが、形成される葉状体のほとんどは多層化などの形態異常 (Fig. 7-b) が認められた。

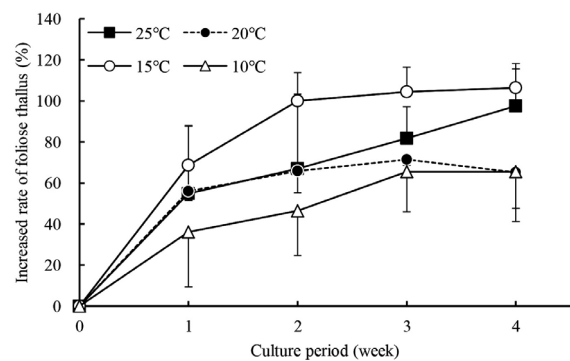


Fig. 6. Changes of increased rate of number of *Pyropia tenuipedalis* foliose thallus to number of uniseriate thallus in initial day in culture under 10, 15, 20 and 25°C. Vertical bars indicate standard deviations (n=2).

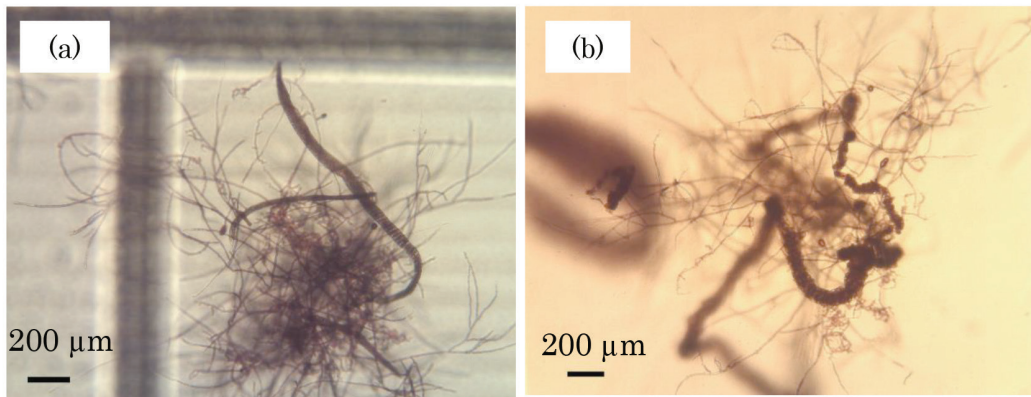


Fig. 7. Photographs of normal foliose thallus under 15°C (a) and morphological abnormality of foliose thallus under 25°C (b) of *Pyropia tenuipedalis*.

考 察

本研究はカイガラアマノリの不安定な増養殖生産量の要因の一つとして水温に着目し、糸状体の生長、球形細胞、単列藻体および初期の葉状体の形態形成への影響を調べた。カイガラアマノリの糸状体の生長は、20°Cで良好であり、次いで15°Cであった。10°Cや25°Cでは、糸状体の生長は抑制された。能登谷ら³⁾によると、糸状体の生長は20°Cで最も速く、24°C、15°C、10°Cの順であると報告している。20°Cで生長が良好であることは本研究結果と一致した。一方で、能登谷ら³⁾では24°Cで生長が良好であったが、本研究ではそれに近い25°Cにおいて生長が抑制された。これは24°Cと25°Cというわずか1°Cの違いが、糸状体の生長に影響を与えている可能性がある。藻類は、種、生育海域、水深などによって生長、成熟や高温耐性などが異なることが知られ、1°Cの温度変化が生長に影響する¹⁵⁻¹⁸⁾。東京湾産と山口湾産のカイガラアマノリでは、生育海域の違いにより特性が異なる可能性があり、より詳細な生育特性を把握するために今後高精度な温度管理下での培養実験が必要である。

球形細胞の形成は20°C、15°Cの順に良好であり、10°Cおよび25°Cでは球形細胞の形成は認められなかった。能登谷ら³⁾では、20°Cにおいて球形細胞の形成数が多く、次いで15°Cであったことから、本研究結果と一致した。また、10°Cで球形細胞は形成されなかったことも本研究結果と一致した。一方で、能登谷ら³⁾では24°Cで球形細胞が形成されたが、本研究では25°Cで球形細胞は形成されなかった。球形細胞の形成においても前述した糸状体の生長と同様に、24°Cと25°Cというわずかな温度差が影響していると考えられた。

単列藻体は15°Cで最も速く、20°Cで最も多く形成された。25°Cでは単列藻体の形成において形態異常が認められ (Fig. 5-d)、10°Cでは単列藻体の形成が鈍化した。15°Cでは、培養3週目の単列藻体数が培養開始時に形成されていた球形細胞数の約2.6倍となった。これは本研究で行った球形細胞を形成させるための培養温度である20°Cから実験温度である15°Cへの温度変化により、糸状体上で球形細胞と単列藻体の形成が同時、かつ比較的短期間で起こったためと考えられる。しかし、培養4週目からは新たな球形細胞の形成が抑制されたため、単列藻体数の増加は認められなかった。一定温度に維持された条件下では、15°Cにおける球形細胞の形成は、20°Cに次いで多い (Fig. 3)。しかし、生長段階の途中での温度変化は、単列藻体への形態形成を促進させる一方で、球形細胞の形成が徐々に抑制すると考えられた。20°Cでの単列藻体数の増加率は、培養期間中ほぼ一定に増加し続けたため、球形細胞と単列藻体の形成が安定的に起こっていることが示唆される。10°Cでの単列藻体数の増加率は最大 $126.9 \pm 41.1\%$ であることから、新たな球形細胞はほとんど形成されず、培養開始時に形成されていた球形細胞が全て単列藻体へ変化したと考えられた。

葉状体は15°Cで最も速く、かつ多く形成された。25°Cでは葉状体の形成において形態異常が認められ (Fig. 7-b)、10°Cでは葉状体の形成が鈍化した。15°Cにおける葉状体数の増加率は約100%であり、培養開始時に形成されていた単列藻体が全て葉状体へ変化したと考えられる。15°Cにおいては、培養期間中に新たな球形細胞の形成は認められなかった。これは先述したように温度変化により球形細胞の形成が抑制されたためと思われる。10°Cや20°Cでは、葉状体数の増加率が培養開始時に形成されていた単列藻体数の約60%にとどまった。10°Cでは、一定温度に維持された条

件下においても球形細胞が形成されないため、単列藻体から葉状体への形態変化が鈍化していると考えられる。一方、20℃では、一連の実験操作で15℃から20℃への温度変化に晒されたものの、培養2週目から糸状体上に新たに球形細胞の形成が認められた。このため、より長期に培養を行えば、単列藻体数や葉状体数が増加した可能性がある。能登谷ら³⁾は、東京湾産のカイガラアマノリ糸状体を用いた実験において、20℃では球形細胞から葉状体への生長は確認されなかったと報告している。また、Notoya et al.⁹⁾では、葉状体の生長は15℃で良好であり、20℃でも生長が認められている。本研究で用いた山口湾産のカイガラアマノリ糸状体は、20℃下でも球形細胞は単列藻体へと生長し、さらに単列藻体から葉状体の形成も確認された。このように、東京湾産と山口湾産では糸状体から葉状体への生長温度が異なることから、生育海域によって生活史段階の適水温を調べる必要がある。

本研究により山口湾産カイガラアマノリは、糸状体の生長適温は20℃、球形細胞の形成適温は20℃、単列藻体の形成適温は15℃～20℃、葉状体の形成適温は15℃であり、生活史段階が進むにつれて適温が低下していくことが明らかとなった。さらに、単列藻体および葉状体の形態形成は、20℃から15℃への温度変化により促進されることも示唆された。一方、10℃や25℃では形態形成の鈍化や形態異常が認められた。カイガラアマノリが自生する山口湾では通常10月下旬から11月上旬に20℃を、11月中旬から下旬に15℃を下回る（データ未公表）。また、天然では水温約10～15℃となる12月上旬に葉長数cmの葉状体が確認される¹⁹⁾。つまり、本研究結果は、自生地において20℃から15℃へ水温が低下していく時期に球形細胞、単列藻体および葉状体の形成が起こっていることを支持している。カイガラアマノリの増養殖における平成24年度の不作は、12～2月の低水温による発芽不良が原因のひとつとして考えられ⁸⁾、11～12月の水温が急激に降下すると葉状体の出現や生長に影響することも示唆されている¹⁹⁾。本種の増養殖では、11月下旬～12月中旬の干潮時に球形細胞や単列藻体が形成されている増養殖プレートを一斉に海域に展開する。不作であった平成24年度は増養殖プレートを展開した12月13日時点ですでに水温は10℃を下回り、前年度同時期よりも4℃程度低かった⁸⁾。本研究結果から水温が10℃付近の場合、単列藻体や葉状体の形成が鈍化する。また、平成24年度は2月まで10℃以下が継続していることから⁸⁾、長期に渡り単列藻体や葉状体の形成が停滞し、不作を引き起こしたと

考えられる。

本研究では、山口湾産カイガラアマノリの糸状体の生長、球形細胞、単列藻体および初期の葉状体形成における温度特性を明らかにすることができた。本研究結果は、カイガラアマノリ増養殖の安定生産に向けて温度変化を活用した種苗生産技術の改良および現場水温を考慮し増養殖プレートの展開時期の予測などに貢献できると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、農林水産省水産技術会議「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（平成27年度～29年度）」による成果である。関係者各位に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 能登谷正浩, 菊地則雄: *Porphyra tenuipedalis* Miura (カイガラアマノリ). 堀輝三 (編), 藻類の生活史集成, 内田老鶴圃, 東京 (1993)
- 2) 環境省: 植物II (藻類), 第4次レッドリスト (2015) <http://www.env.go.jp/press/files/jp/28077.pdf>
- 3) 能登谷正浩, 菊地則雄, 有賀祐勝, 三浦昭雄: 紅藻カイガラアマノリの室内培養における生活史, 東京, *La mer*, **31**, 125-130 (1993)
- 4) 岸岡正伸, 松野進, 多賀茂: カイガラアマノリ分布調査. 山口県水産研究センター, 平成13年度山口県水産研究センター事業報告, 145-149 (2003)
- 5) 宮後富博: 藻類優良品種養殖振興試験事業, 山口湾自生のカイガラアマノリについて—I. 山口県水産研究センター, 平成11年度山口県水産研究センター事業報告, 276-277 (2001)
- 6) 阿部真比古, 村瀬昇, 畑間俊弘, 鹿野陽介, 金井大成: カイガラアマノリの新産地～山口県厚東川河口域～, *J Nat Fish Univ*, **63**, 244-248 (2015)
- 7) 畑間俊弘, 金井大成, 松尾圭司, 原川泰弘, 鹿野陽介, 茅野昌大: カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業, 山口県水産研究センター, 平成22年度山口県水産研究センター事業報告, 45-46 (2012)
- 8) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 小川強, 原川泰弘: カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業, (1) プレート粗放管理試験. 山口県水産研究センター, 平成24年度山口県水産研究センター事業報告, 52-53 (2014)

- 9) Notoya M, Kikuchi N, Matsuo M, Aruga Y, Miura A: Culture Studies of Four Species of *Porphyra* (Rhodophyta) from Japan, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 431-436 (1993)
- 10) 中山冬麻, 阿部真比古, 村瀬昇, 鹿野陽介: 紅藻カイガラアマノリおよびスサビノリ葉状体の生長に及ぼす塩分の影響. 水産増殖, **65**, 321-330 (2017)
- 11) 尾形英二: 新しい海藻培養液SWM-IIIについて, 藻類, **18**, 171-173 (1970)
- 12) Fujiyoshi E, Kikuchi N: Growth of excised pieces containing elongated denticles from the lower marginal parts of *Porphyra tanegashimensis* and *P. haitanensis* gametophytes. *Bull Fish Res Agen*, **16**, 9-13 (2006)
- 13) 藤吉栄次・小林正裕・玉城泉也. 培養条件について. アマノリ類養殖品種の特性 (藤吉栄次・玉城泉也・小林正裕・有瀧真人編), 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎, pp. 24-28 (2014)
- 14) Rasband WS: Image J. <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>, accessed on 9 March.2016 (2008)
- 15) Morita T, Kurashima A, Maegawa M: Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol Res*, **51**, 154-160 (2003)
- 16) Morita T, Kurashima A, Maegawa M: Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnatifida* and *Undaria undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol Res*, **51**, 266-270 (2003)
- 17) 原口展子, 村瀬昇, 水上譲, 野田幹雄, 吉田吾郎, 寺脇利信: 山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と上限温度. 藻類, **53**, 7-13 (2005)
- 18) 村瀬昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 杉浦義正: 山口県沿岸のヒジキの生育適温と生育上限温度. 水大校研報, **63**, 238-243 (2015)
- 19) 阿部真比古, 村瀬昇, 畑間俊弘, 鹿野陽介, 金井大成: 山口県山口湾に自生するカイガラアマノリ *Pyropia tenuipedalis* (Miura) Kikuchi et Miyataの生育環境. 水大校研報, **65**, 19-29 (2017)