

紅藻タオヤギソウの孢子発生に及ぼす温度と照度の影響

三枝 美穂^{*1}・熊野 芳明^{*2}

Effects of Temperature and Light Intensity on the Spore Development
of the Red Alga *Chrysymenia wrightii*

Miho SAIGUSA^{*1}, Yoshiaki KUMANO^{*2}

キーワード：紅藻，タオヤギソウ，孢子発生，温度，照度

タオヤギソウは、紅藻綱マサゴシバリ目マサゴシバリ科に属する紅色をした海藻で、北海道、本州、四国、九州、朝鮮半島、中国に分布している¹⁾。藻体は高さ15～30cm、径は太さ2～3mmと報告されており、中は粘液で満たされ、分岐する枝を多数もっている(図1)。宮城県気仙沼湾では、養殖ガキや垂下ロープ等に着生しているものが見つかりやすく、一部の漁業者からは“オオバフノリ”とも呼ばれ、湯通しして酢の物等の食材として利用されている。やや粘り気を持ちながらしゃきしゃきとした歯ごたえがあり、美味な海藻である。そのため地元漁業者から地域特産物として安定生産が望まれ、宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場では2001年から養殖技術の開発を行ってきた。特に、安定した種苗生産のため人工種苗生産技術の確立が重要である。

タオヤギソウは野外では同型同大の雌雄配偶体と四分孢子体が同時に採取でき、それぞれ果孢子と四分孢子が形成され、放出後、果孢子は四分孢子体になり、四分孢子は雌雄配偶体になる紅藻植物一般のイトグサ型生活史を反復すると考えられる²⁾。またタオヤギソウ孢子の発生についても明らかになっており、果孢子と四分孢子の発生様式は同じであることが報告されている³⁾。気仙沼湾におけるタオヤギソウの成熟は主に7～8月にかけて

確認されており^{4,5)}、2001年には果孢子及び四分孢子を用いて初めて人工採苗に成功し、孢子発生から盤状体形成までの育苗が可能になった⁴⁾。さらに2003年には、18～20℃の海水、1500lxの照度条件、ノリ糸状体培養試薬の添加による栄養強化によって、果孢子を用いて採苗から約3ヵ月後には盤状部分から4～6mmの直立体を形成させることに成功している⁶⁾。これらの研究によって人工種苗生産が可能となったが、タオヤギソウの孢子発生に及ぼす温度や照度の影響について観察した報告はない。孢子発生から直立体形成までの最適な温度、照度条件が把握されれば、育苗期間の短縮等、より効率的な種苗生産方法を確立することができる。



図1 タオヤギソウの押し葉標本

^{*1}農林水産部農林水産政策室, ^{*2}水産技術総合センター環境資源部

そこで本研究では、タオヤギソウの四分孢子を異なる温度、照度条件で室内培養し、孢子発生から直立体形成までの適切な温度、照度条件を把握することを目的とする。

材料と方法

母藻のタオヤギソウを、2008年8月18日に気仙沼湾階上で採取し、試験には四分孢子(以下孢子)を用いた。孢子を、先端の細いパスツールピペットを用いてピペット法(洗浄法)⁷⁾により分離し、滅菌海水を数滴滴下した滅菌スライドガラス上に移植した。孢子が着生したスライドガラスを栄養補強海水である Provasoli's enriched sea water (PES) 40ml を入れたふた付きの滅菌シャーレ(直径 90mm, 材質ポリスチレン)に移し、発生実験を以下に述べる温度と照度を設定し、8月21日に開始した。その時スライドガラス上の孢子は、1細胞または2細胞に分裂した状態で、スライドガラス(1試験区)あたりの孢子の数は10~22個であった。

温度試験を10, 15, 20, 25, 30°Cの5試験区で行い、照度条件を2000lx(明期12時間, 暗期12時間)に設定し、培養庫(日本医科器械製作所 TG-100-ADCT)内で行った。温度を小型防水温度データロガー(ティアンドデイ TR-51S)で60分毎に室温を記録し、照度をデジタル照度計(トプコンテクノハウス IM-2D)を用いて調整した。照度試験を、室内が20°Cになるように設定した部屋で60, 500, 1000, 2000, 3000, 4000lxの6試験区(明期12時間, 暗期12時間)で行った。

タオヤギソウの孢子は放出直後は球状で(図2-A)、その後4細胞や8細胞(図2-B)まで分裂すると、次に柔細胞が突出し周囲に伸長する形で発生が進み(図2-C)、その後、ほぼ円形の盤状体が形成される(図2-D, E)。さらに発生が進むと盤状部分の中央付近から直立体が形成される(図2-F)。そこで発生段階を、盤状体前のものをI段階、盤状体をII段階、直立体をIII段階とした。試験区ごとに任意の10個体の発生段階を観察し、そのうち最も多い発生段階を記録した。観察は8月21日から9月19日まで30日間の間、2~4日に1回行い、その際にPESも交換した。また15日後、20日後、26日後には全数の発生段階を記録した。試験終了日の9月19日には、

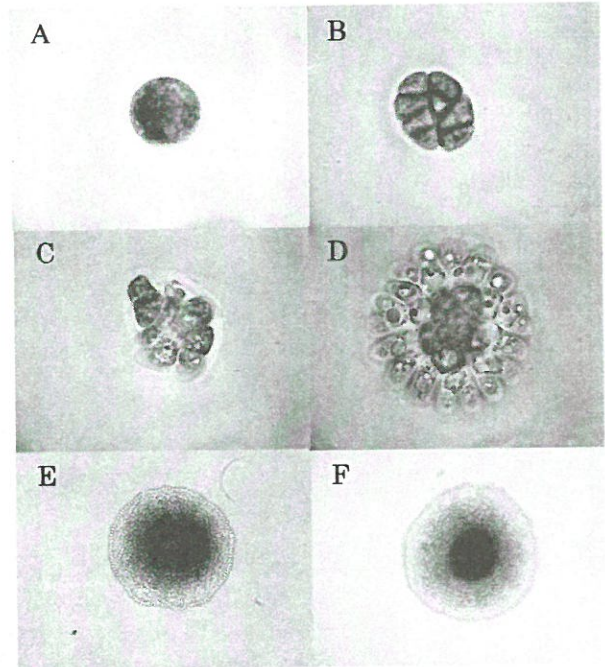


図2 四分孢子の発生
A:四分孢子 B, C:盤状体前 D, E:盤状体
F:直立体(中央に形成)

全個体の盤状部分(盤状体)の直径と直立体の全長を測定した。盤状体はほぼ円形を示したので、盤状体の大きさについてはその直径を測定することで把握した。

結果

1 温度試験

試験期間中の各試験区の室温は、10°C試験区では平均9.8°C(推移範囲8.0~10.9°C)、15°C試験区では平均14.5°C(推移範囲13.8~14.9°C)、20°C試験区では平均20.1°C(推移範囲19.4~20.4°C)、25°C試験区では平均24.9°C(推移範囲24.6~25.5°C)、30°C試験区では平均29.1°C(推移範囲28.2~30.3°C)であった。

発生段階を図3に示した。10°C試験区では2日後には4細胞から8細胞の状態が多く観察され、6日後までは盤状体前の状態の個体が多かったが、8日後以降は盤状体が多く観察された。15°C試験区では、2~4日後には周囲に伸長した状態(図2-C)の個体が多く観察され、6日後以降に盤状体が多かった。20, 25, 30°C試験区では、2日後から盤状体が多く観察され、20, 25°C試験区で11日後に、30°C試験区では20日後に直立体が観察

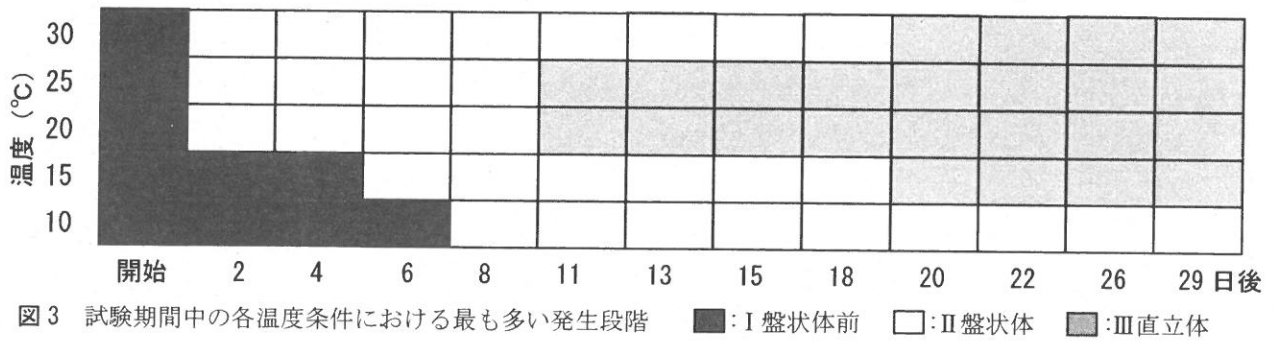


図3 試験期間中の各温度条件における最も多い発生段階 ■:I 盤状体前 □:II 盤状体 ▨:III 直立体

された。

15 日後、20 日後、26 日後の盤状体と直立体の割合を表 1 に示した。15 日後における直立体の割合は 10°C と 15°C 試験区では 0%，20°C と 25°C 試験区では 86～87%，30°C 試験区では 30% であった。20、25°C 試験区では 20 日後には全ての個体で直立体が形成された。30°C 試験区では 15 日後に 30% であったが、20 日後には 60%，26 日後には 90% と直立体の割合が増加した。15°C 試験区には 15 日後には全ての個体が盤状体であったが、20 日後には 61%，26 日後には全ての個体で直立体が確認された。10°C 試験区では 15 日後に 0% であった直立体の割合が 20 日後に 6%，26 日後には 29% と少しずつ増加した。

試験終了時の盤状部分直径の平均値は、10°C 試験区で 0.2mm と最も小さな値を示し、15°C 試験区では 0.4mm、20°C では 1.0mm、25°C では 2.1mm、30°C では 2.9mm と温度が高くなるほど盤状体は大きく生長した (図 4)。試験終了時の直立体の全長は、25°C 試験区で 9.5mm と最も大きい値を示し、次いで 20°C 試験区が 5.4mm を示したが、30°C 試験区では 2.0mm、15°C 試験区では 0.4mm といずれも小型であった (図 5)。

2 照度試験

試験期間中の室温は平均 19.0°C で、17.5～21.3°C の範囲で推移した。

表 1 各温度条件における 15、20、26 日後の盤状体(a) と直立体(b)の割合 (%) N:個体数

	15 日後		20 日後		26 日後	
	a	b	a	b	a	b
10°C (N=18)	100	0	94	6	71	29
15°C (N=18)	100	0	39	61	0	100
20°C (N=16)	13	87	0	100	0	100
25°C (N=13)	14	86	0	100	0	100
30°C (N=10)	70	30	40	60	10	90

実験開始 2 日後には、どの試験区も全ての個体が盤状体であった (図 6)。ただし、2000lx 試験区盤状体は発生が進むにつれ、他の試験区のもののが円形状であるのに対して、不規則な形態を示した。そのため観察は 11 日後以降、同じ条件で培養していた予備のサンプル (胞子 66 個体着生) に置き換えた。また 1000lx 試験区で他の藻類の増加が確認されたため 18 日後に試験を終了した。

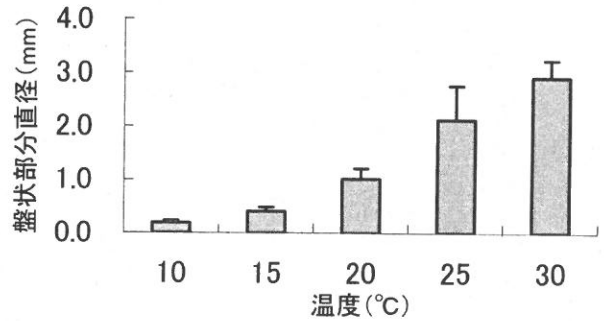


図 4 試験終了時の各温度条件における盤状部分の平均直径 (mm) 鉛直直線は標準偏差

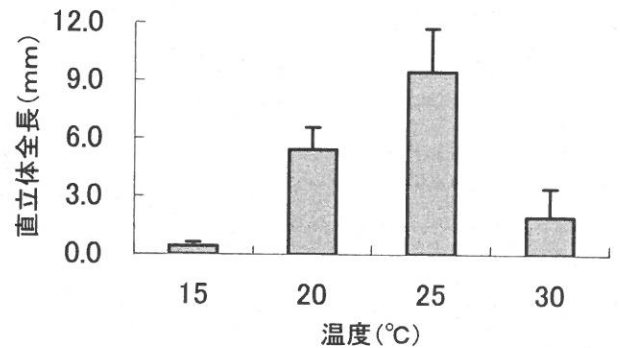


図 5 試験終了時の各温度条件における直立体の平均全長 (mm) 鉛直直線は標準偏差

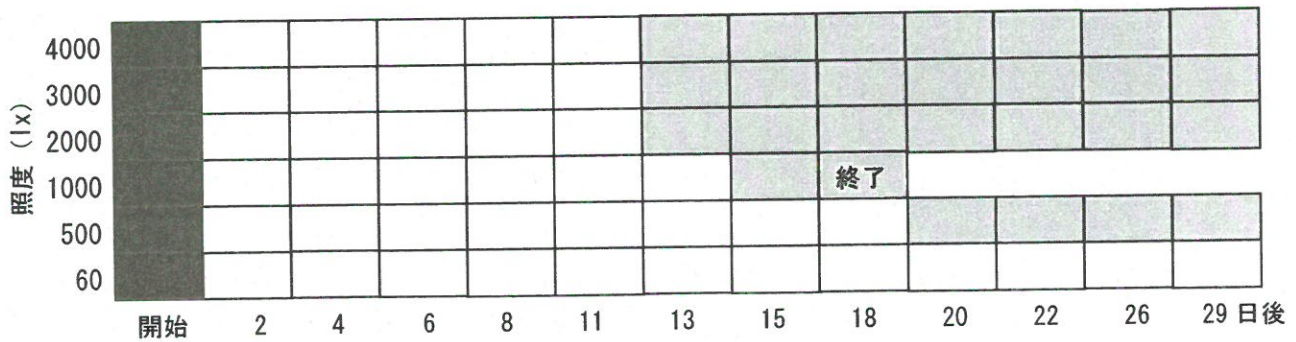


図6 試験期間中の各照度条件における最も多い発生段階 ■: I 盤状体前 □: II 盤状体 ▨: III 直立体

13日後には2000lx, 3000lx および4000lx 試験区で直立体が多く観察され、15日後に1000lx 試験区で、20日後には500lx 試験区で直立体が多く観察された。60lx 試験区では、2日後から試験終了時まで盤状体のままであった。

全個体数に占める直立体の割合は15日後では60lx と500lx 試験区では0%, 1000lx 以上の試験区では85~100%であった(表2)。500lx 試験区では20日後には50%で直立体の形成が認められ、26日後には95%とほとんどの個体で直立体が確認された。60lx 試験区は26日後でも全て盤状体で直立体の割合は0%であった。

試験終了時の盤状部分直径の平均値は、最も照度の低い60lx 試験区で0.1mmと最も小さな値を示し、500lx 試験区では0.8mm, 2000lx 試験区では1.4mm, 3000lx 試験区では1.6mm, 4000lx 試験区では1.5mmを示し、照度が高いほど大きくなる傾向を示したが、2000lx 以上ではどの試験区も同程度の盤状部分の大きさを示した(図7)。

試験終了時の直立体全長の平均値は、500lx 試験区で0.7mm, 2000lx 試験区では3.3mm, 3000lx 試験区では5.9mm, 4000lx 試験区では5.2mmと照度が大きくなるほ

ど大きな値を示したが、3000lx と4000lx 試験区では同程度の全長であった(図8)。

なお試験終了時、全ての個体が盤状体であった60lx 試験区を試験終了後9月22日より1000lx 条件で培養を継続した。その結果、11日後の10月3日には全個体が直立体を形成した。またその時の盤状部分の直径は平均0.6mmを示し、9月19日時点の0.1mmよりも大きくなった。

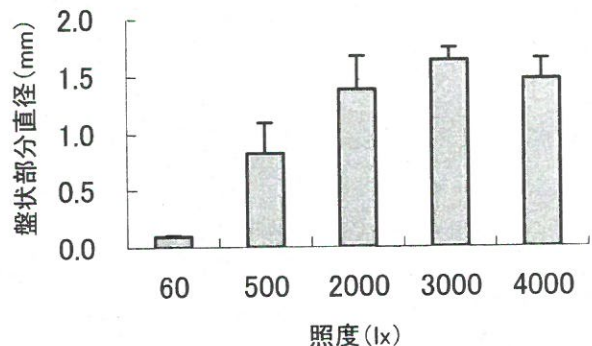


図7 試験終了時の各照度条件における盤状部分の平均直径(mm) 鉛直直線は標準偏差

表2 各照度条件における15, 20, 26日後の盤状体(a)と直立体(b)の割合(%) N:個体数

	15日後		20日後		26日後	
	a	b	a	b	a	b
60lx (N=17)	100	0	100	0	100	0
500lx (N=22)	100	0	50	50	5	95
1000lx (N=15)	15	85	-	-	-	-
2000lx (N=66)	9	91	2	98	0	100
3000lx (N=13)	8	92	0	100	0	100
4000lx (N=13)	0	100	0	100	0	100

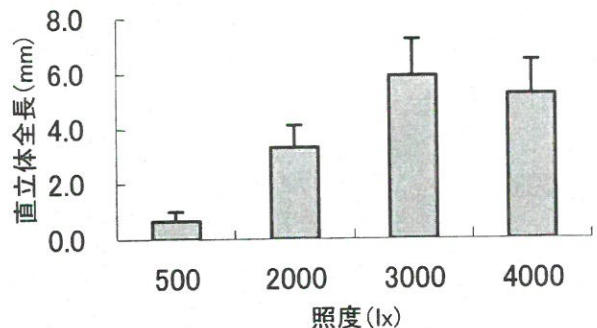


図8 試験終了時の各照度条件における直立体の平均全長(mm) 鉛直直線は標準偏差

考 察

今回の試験では、温度条件については直立体の形成が10~30°Cで可能であり、タオヤギソウ胞子の発生に関して温度への適応が幅広いことが明らかになった。ただし、10°C試験区の低温度条件では、26日後に29%の割合で直立体が確認されたものの他の試験区に比べて時間がかかる上、盤状体も小さく、色調も赤みが薄かった。一方、温度条件を最も高く設定した30°C試験区では、盤状部分の直径は最も大きくなるが、直立体は25°C試験区よりも小型であった。盤状体の大きさは温度が高いほど大きい値を示したが、直立体形成には25°C付近が最も適した温度帯であることが示唆された。今回の試験では直立体は20°Cと25°C試験区で早く形成されることがわかり、培養温度は20~25°Cが好適と考えられる。盤状体や直立体の生長も考慮すると、25°Cが最も適している温度条件と考えられる。気仙沼湾では、タオヤギソウの成熟は主に7~8月の最高水温期に確認される^{4,5)}。この時期の旬別の表面水温平均値(過去30年平均値)は16.7~21.5°Cを示しており、今回把握されたタオヤギソウ胞子の発生から直立体の形成まで可能な温度範囲にあるが、最適な温度帯よりはやや低めである。そこで、種苗生産を行う際は自然海水の温度でも可能であるが、それよりもやや高い温度で管理することにより、直立体の形成までの期間を短縮できると考える。

照度条件については、盤状体形成には60~4000lxで可能であり、必ずしも強い光が必要ではないことが明らかになった。しかし60lx試験区では直立体は形成されず、今回の試験では直立体は500lx以上で形成され、特に2000~4000lx試験区で最も早く形成された。直立体の全長は3000lxと4000lx試験区で2000lx試験区よりも大きくなったが、2000lx試験区では他の試験区よりも密度が高かったこともあり、それが直立体の生長に影響を与えた可能性を否定できない。また低照度試験区の60lxで培養したタオヤギソウの盤状体をその後1000lx条件に移して培養を行ったところ、その11日後には全ての個体が直立体を形成した。このことより、低照度で少なくとも1ヶ月程度は盤状体のまま保存することが可能であることがわかり、盤状体の保存が長期間可能になれば、種苗生産の時期を自由に選択できるようになる。

以上の結果より、人工種苗生産を行う際の効率的な温度、照度条件を検討した。温度は20~25°Cで管理するのが最も効率的であり、20°Cより25°Cのほうが盤状体、直立体の生長が良いことが明らかになった。照度は温度20°C条件で、胞子発生から盤状体形成までは60lx以上で可能であるが、直立体の形成には500lx以上、特に2000lx以上で管理すると早く直立体が形成されることが明らかになった。なお、今回の試験には四分胞子を用いたが、果胞子も四分胞子と同様な発生様式を示す³⁾ので、果胞子を用いた種苗生産にも応用できると考える。

本研究では、培地にPESを使用し、適した温度、照度条件で管理することで採苗から約1ヶ月間で直立体形成まで可能であることが示され、種苗生産期間の短縮が可能となった。今後の課題としては、直立体形成までの培地の栄養塩条件の把握があげられる。また、タオヤギソウの成熟条件について明らかになれば、単種培養によってタオヤギソウの胞子だけを大量に得ることができる。そうすれば、他の生物の混入を防げるだけでなく、天然の母藻に依存せず比較的自由に種苗生産を行うことが可能になる。

要 約

タオヤギソウ四分胞子の発生から直立体形成までの適切な温度、照度条件を把握するために、温度試験は10, 15, 20, 25, 30°Cの5試験区で、照度試験は60, 500, 1000, 2000, 3000, 4000lxの6試験区で培養試験を行った。

- 1) 温度試験の結果、直立体形成は10~30°Cで可能ではあるが、10°C試験区では盤状体の色調の赤味は薄く、直立体形成まで時間がかかった。直立体は20, 25°C試験区で最も早く形成され、特に25°Cは盤状部分と直立体の生長がよかった。30°C試験区では盤状部分は大型になるが、直立体形成は20, 25°C試験区より遅かった。
- 2) 照度試験の結果、20°Cの温度条件ではどの照度条件でも2日後には全ての個体が盤状体であり、盤状体形成までは60~4000lxと幅広い照度条件で可能であった。直立体形成は500lx以上で認められ、特に2000lx以上で早く形成された。また、直立体形成に至らなかった60lx試験区を、試験終了後に1000lx条件で培養したところ、11日後に全個体で直立体が確認された。

- 3) 今回の実験結果より人工種苗生産を行う際は、温度は20~25℃、生長を考慮すると25℃の管理が効率的であり、照度は孢子発生から盤状体形成までは60lx以上で可能であるが、直立体は2000lx以上で管理すると早く形成され効率的と考えられる。
- 4) 今後の課題としては、孢子発生から直立体形成までの栄養塩濃度条件の把握があげられる。また、タオヤギソウの成熟条件の利用により、さらに効率的な人工種苗生産が可能になると考える。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、宮城県農林水産部水産業振興課の日下啓作技術主査にはタオヤギソウの種苗生産方法および本研究報告作成において、ご助言を賜り、心より感謝申し上げます。また母藻の採取に関しては、宮城県漁業協同組合の協力をいただき、厚くお礼申し上げます。また本研究推進にご協力いただいた気仙沼水産試験場職員諸氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 吉田忠生 (1988) 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, 845pp.
- 2) 堀輝三 編 (1993) 藻類の生活史集成 第2巻褐藻・紅藻類. 内田老鶴圃, 東京, 300-301pp.
- 3) 猪野俊平 (1947) 海藻の発生. 北隆館, 東京, 95-243pp.
- 4) 伊藤博・日下啓作 (2002) 新食材海藻マツモ, タオヤギソウの養殖技術開発試験. 平成14年度宮城県水産試験研究成果要旨集, 11-12.
- 5) 伊藤博・岡崎孝治・日下啓作 (2003) 新食材海藻マツモ, タオヤギソウの養殖技術開発試験. 平成15年度宮城県水産試験研究成果要旨集, 29-30.
- 6) 日下啓作・齋藤憲次郎・岡崎孝治 (2004) 新食材海藻マツモ, タオヤギソウの養殖技術開発試験. 平成16年度宮城県水産試験研究成果要旨集, 26-27.
- 7) 西澤一俊・千原光雄 編 (1979) 藻類研究法. 共立出版, 東京, 76-83pp.