

ホンダワラ類 8 種の初期成長に及ぼす温度と光量の影響

馬場将輔

Effects of Temperature and Irradiance on Germling Growth in Eight Sargassaceous Species

Masasuke Baba*

要約: ホンダワラ類 8 種 (ホンダワラ属 7 種およびジョロモク属 1 種) の初期成長に及ぼす温度と光量の影響を温度 (10~34°C) と光量 (10~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) の条件を組合せて室内培養により検討した。その結果, 発芽体の葉状部面積の成長率に基づく成長に好適な条件は, ジョロモクが 20~25°C, 100~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, アカモクとヨレモクが 25°C, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, ヤツマタモクが 25°C, 100~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, フシスジモクが 25°C, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, ヒジキ, イソモクおよびマメタワラが 25~30°C, 100~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。高温側 (30°C) での成長率の低下が, ジョロモク, アカモク, ヨレモク, フシスジモクで顕著であった。発芽体の生育上限温度はヤツマタモクが 34°C, その他の 7 種が 32°C であった。

キーワード: ホンダワラ属, ジョロモク属, 発芽体, 成長, 光量, 温度

Abstract: Growth responses of germlings in eight Sargassaceous species (seven *Sargassum* and one *Myagropsis*) collected from the middle part of Honshu, Japan were carried out in the laboratory conditions to determine the effects of different temperature (10-34°C) and irradiance (10-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). The optimum temperature and irradiance conditions, measured as relative growth rate of the leaf area of the germling, was *Myagropsis myagroides* (20-25°C, 100-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), *Sargassum horneri*, *S. siliquastrum* (25°C, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), *S. patens* (25°C, 100-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), *S. confusum* (25°C, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), *S. fusiforme*, *S. hemiphyllum* and *S. piluliferum* (25-30°C, 100-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Significant decrease of growth rate was found at 30°C in *M. myagroides*, *S. confusum*, *S. horneri* and *S. siliquastrum*. The upper critical temperature of the germling was 34°C for *S. patens* and was 32°C for the rest of seven species.

Keywords: *Sargassum*, *Myagropsis*, germling, growth, irradiance, temperature

まえがき

褐藻綱ホンダワラ類は日本各地の沿岸にガラモ場と呼ばれる大きな群落を形成し, 高い一次生産力を持ち, 魚介類の産卵場や保育場としての役割を果たすほか, 海域環境の保全機能などの観点からも注目されている (大野, 1985; 小河, 1987; 能登谷, 2003)。一方, 近年の海水温の上昇傾向が海洋環境に変化をもたらし, 海藻類の生育や藻場の種組成に影響を及ぼすことが懸念されている (谷口, 1991; 大野, 2003; 平岡ら, 2005)。

ホンダワラ類の発芽体は, 成長した大きな藻体に比べ環境変化に対して抵抗力が弱いと考えられている (De Wreede, 1978, Hales and Fletcher, 1989)。また, ホンダワラ類の藻場造成を行う際には, 種苗を効率的に確保するための栽培条件が検討されてきた (小河, 1987)。これまでにホンダワラ類の発芽体あるいは幼体について, 成長と環境要因の関係が室内培養により, フシスジモク *Sargassum confusum* (川越ら, 2005), シダモク *S. filicinum* (Yoshida *et al.*, 1999), ヒジキ *S. fusiforme* (小河ら, 1996), アカモク *S. horneri* (小河, 1986; 難波・奥田, 1993; 吉田ら, 1995;

(2006年 9 月 15 日受付, 2006年 11 月 21 日受理)

* 財団法人 海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜 4-7-17)

E-mail: baba@kaiseiken.or.jp

Yoshida *et al.*, 1999), ノコギリモク *S. macrocarpum* (吉田ら, 1997, 村瀬, 2001), タマハハキモク *S. muticum* (Norton, 1977a, 1977b; Hales and Fletcher, 1989; 小河, 1994; Steen, 2003, 2004; Steen and Rueness, 2004; 吉田, 2005), ヤツマタモク *S. patens* (松井・大貝, 1981; 月館, 1984; 吉田, 2005), マメタワラ *S. piluliferum* (Ohno, 1979), オオバモク *S. ringgoldianum* (新井・三浦, 1991), ヨレモク *S. siliquastrum* (月館, 1984), エゾノネジモク *S. yezoense* (小河ら, 1995), *S. echinocarpum* (De Wreede, 1978), *S. obtusifolium* (De Wreede, 1978), *S. polyphyllum* (De Wreede, 1978), ジョロモク *Myagropsis myagroides* (難波・奥田, 1993) などの種で報告されている。しかし、温度と光量の複合条件において、ホンダワラ類発芽体の成長特性を検討した例は少ない (吉田ら, 1997; Yoshida *et al.*, 1999; 村瀬, 2001; 吉田, 2005)。

本研究では、環境変化に対する海藻類の生育反応を予測するために必要な知見を得ることを目的として、新潟県および千葉県産ホンダワラ類8種の発芽体について、温度と光量に対する生育反応を室内培養により調査したので報告する。

材料と方法

供試材料 培養実験に用いたホンダワラ類の幼胚は成熟した雌性体から採取した。ヒジキは千葉県鴨川市の千葉大学海洋バイオシステム研究センター小湊実験場の地先で2004年5月6日に採集した。その他7種のうちフシスジモクは2000年5月2日、ヤツマタモクは2001年5月28日、ヨレモクとジョロモクは2002年4月29日、アカモクは2002年5月13日、イソモク *S. hemiphyllum* は2003年5月29日、マメタワラは2004年5月26日に、それぞれ新潟県柏崎市の岩礁域で採集した。採集時に藻体の成熟状況を観察し、生殖器床をつけた枝を切り取り海水を満たしたビニール袋に入れた。それをアイスボックスに収容して実験室に持ち帰った。
培養方法 付着生物を取り除いた生殖器床を滅菌海水で数回洗浄した後、滅菌海水を満たしたシャーレに入れた。生殖器床からシャーレ底面に自然落下した幼胚をパスツールピペットで集め、滅菌海水で数回洗浄したのちに、所定の培養容器に40個体ずつ入れて単藻培養を行った。実験開始時の各種の幼胚の大きさは、フシスジモクが196 μ m×

135 μ m (長径×短径を50個体の平均値で示す。以下同様)、ヒジキが170 μ m×136 μ m, イソモクが141 μ m×103 μ m, アカモクが288 μ m×219 μ m, ヤツマタモクが221 μ m×157 μ m, ヨレモクが269 μ m×203 μ m, マメタワラが231 μ m×160 μ m, ジョロモクが386 μ m×301 μ mであった。

発芽体の培養にはガラス製腰高シャーレ (直径6 cm, 高さ6 cm) を使用した。培養液は滅菌海水100mLに通常濃度のPESI培地を添加し, 7, 14日目に培養液の全量を交換した。培養実験は, 温度10, 15, 20, 25, 30, 32, 34 $^{\circ}$ C (ヤツマタモクではこれに加え36 $^{\circ}$ Cも設定した), 光量10, 25, 100, 180 μ mol/m²/sの条件をそれぞれ設定した植物インキュベーター (トミー精工製, CU-350およびCF-305) を使用し, 12時間明期:12時間暗期の光周期で20日間静置した。光源には白色蛍光ランプ (東芝ライテック製, FL40SS・EX-N/37-H) を使い, 光量は光量子センサー (LI-COR製, LI-190SA) を腰高シャーレの収容場所に置き測定した。

成長の測定 成長の指標として, 発芽体の葉状部面積, 初期葉数, 最大仮根長について1実験区につき40個体測定した。このうち, 発芽体の葉状部は実体顕微鏡で初期葉が重ならないようにトレースして, それを画像解析ソフト (NIH Image) で処理することにより面積を測定した。葉状部面積の相対成長率 (relative growth rates:RGR) は次式によって計算した。RGR = (lnA_t-lnA₀)/t×100, ここでA₀は開始時の幼胚の面積, A_tはt日後の発芽体の葉状部面積。相対成長率のデータは対数変換を行い, Scheffeの多重比較検定により各区間の比較を行った。なお, P<0.05を統計的に有意とした。

結 果

フシスジモク 発芽体は10~32 $^{\circ}$ Cで成長し, 34 $^{\circ}$ Cでは実験開始後2日以内にすべて枯死した (Fig. 1A)。葉状部の成長率は7.4~21.4%の範囲にあり, 25 $^{\circ}$ Cの100, 180 μ mol/m²/sにおいて, その他の実験区よりも有意に高い値を示した (P<0.001)。光量区別にみた葉状部の成長は, 10 μ mol/m²/sが15~30 $^{\circ}$ C, 25 μ mol/m²/sが20~30 $^{\circ}$ C, 100, 180 μ mol/m²/sが25 $^{\circ}$ Cにおいて, それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した (P<0.05)。

20日間の培養で形成された初期葉数は, 平均1.0~1.2枚であり実験区間でほぼ類似していた

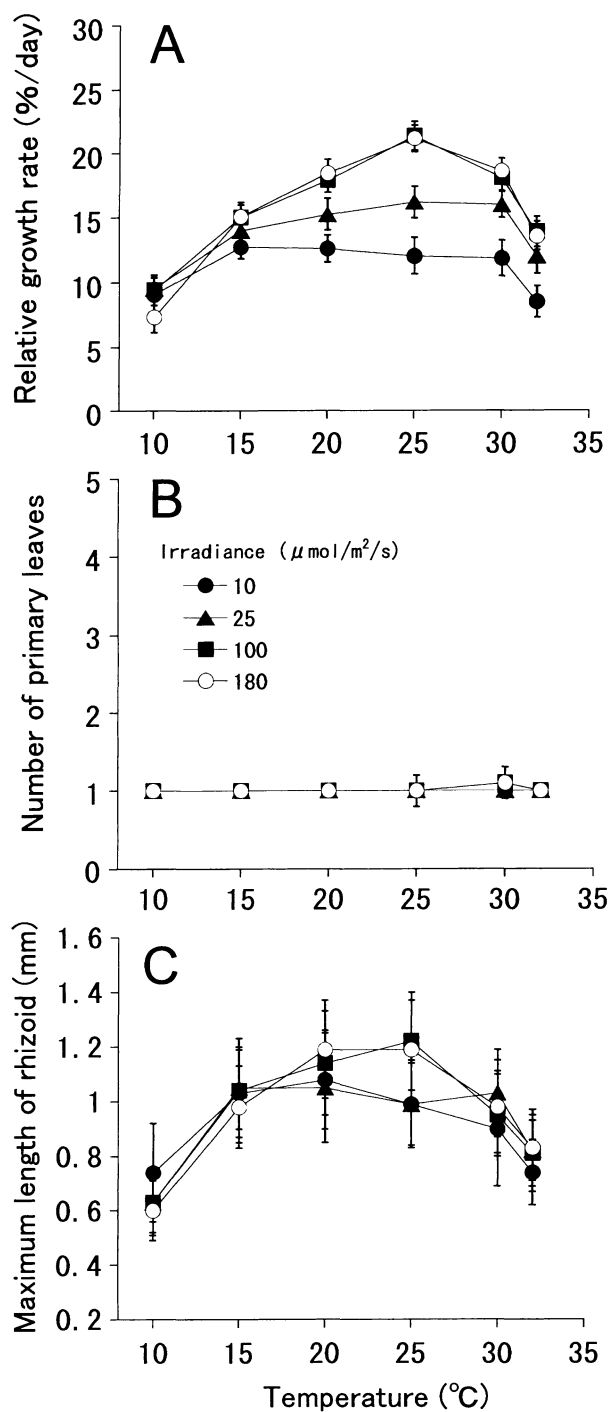


Fig. 1 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum confusum*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 1B.

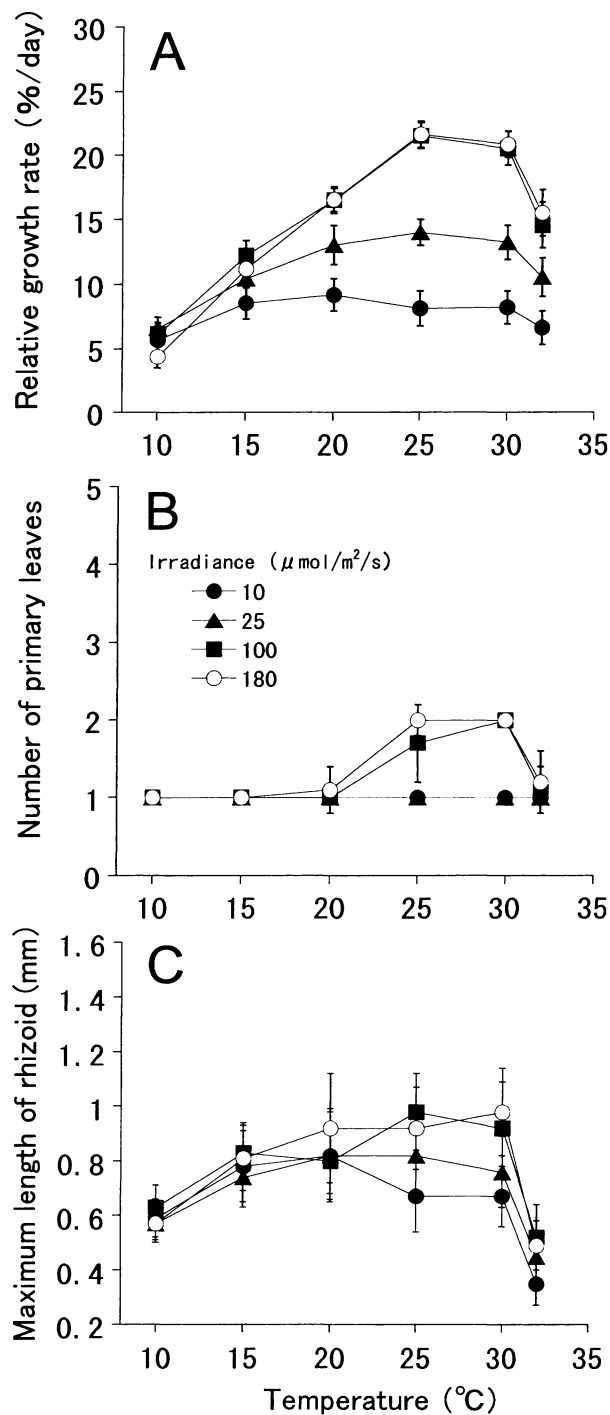


Fig. 2 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum fusiforme*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 2B.

(Fig. 1B)。仮根長は100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、10~25 $^{\circ}\text{C}$ で温度が高くなるに従い増加し、30 $^{\circ}\text{C}$ 以上で低下する傾向にあった (Fig. 1C)。最大仮根長は20, 25 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で高い値を示した。

ヒジキ 発芽体は10~32 $^{\circ}\text{C}$ で成長し、34 $^{\circ}\text{C}$ では実験開始後4日以内にすべて枯死した (Fig. 2A)。葉状部の成長率は4.4~21.6%の範囲にあり、25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、その他の実験区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が15~30 $^{\circ}\text{C}$ 、25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20~30 $^{\circ}\text{C}$ 、100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25~30 $^{\circ}\text{C}$ において、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均1.1~2.0枚であり、25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で多くなる傾向を示した (Fig. 2B)。仮根長はいずれの光量区においても、10~20 $^{\circ}\text{C}$ で温度が高くなるに従い増加し、32 $^{\circ}\text{C}$ で著しく低下する傾向にあった (Fig. 2C)。最大仮根長は、25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で高い値を示した。

イソモク 発芽体は10~32 $^{\circ}\text{C}$ で成長し、34 $^{\circ}\text{C}$ では実験開始後7日以内にすべて枯死した (Fig. 3A)。葉状部面積の成長率は8.0~24.3%の範囲にあり、25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、他の実験区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10, 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が15~30 $^{\circ}\text{C}$ 、100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25~30 $^{\circ}\text{C}$ において、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均1.0~2.0枚であり、25~32 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で多くなる傾向を示した (Fig. 3B, 9A)。仮根長は10~25 $^{\circ}\text{C}$ の25~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において温度が高くなるに従い増加し、32 $^{\circ}\text{C}$ で著しく低下する傾向にあった (Fig. 3C)。最大仮根長は25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で最も高い値を示した。

アカモク 発芽体は10~32 $^{\circ}\text{C}$ で成長し、34 $^{\circ}\text{C}$ では実験開始後2日以内にすべての発芽体が枯死した (Fig. 4A)。葉状部面積の成長率は5.6~26.2%の範囲にあり、25 $^{\circ}\text{C}$ の100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が他の実験区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10, 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が15~25 $^{\circ}\text{C}$ 、100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25 $^{\circ}\text{C}$ において、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均1.0~3.8枚であり、25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で多くなる傾向を示した (Fig. 4B, 9B)。仮根長は、いずれの光量区においても10~15 $^{\circ}\text{C}$ と温度の上昇につれて増加したが、15~30 $^{\circ}\text{C}$ にかけて緩やかに低下し、32 $^{\circ}\text{C}$ で著しく低下する傾向にあった (Fig. 4C)。最大仮根長は、15 $^{\circ}\text{C}$ の100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で高い値を示したほか、25~30 $^{\circ}\text{C}$ においても100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ がその他の光量区よりも高い値を示した。

ヤツマタモク 発芽体は10~34 $^{\circ}\text{C}$ で成長し、36 $^{\circ}\text{C}$ では実験開始後2日以内にすべての発芽体が枯死した (Fig. 5A)。葉状部の成長率は3.1~20.4%の範囲にあり、25 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、他の条件よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20~30 $^{\circ}\text{C}$ 、25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25~30 $^{\circ}\text{C}$ 、100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25 $^{\circ}\text{C}$ において、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均1.0~2.4枚であり、25 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で多くなる傾向を示した (Fig. 5B)。仮根長は、いずれの光量区においても10~25 $^{\circ}\text{C}$ で温度が高くなるに従い増加し、25~30 $^{\circ}\text{C}$ がほぼ同程度、32 $^{\circ}\text{C}$ で低下する傾向にあった (Fig. 5C)。なお、34 $^{\circ}\text{C}$ ではいずれの光量区においても仮根の形成は観察されなかった。

マメタワラ 発芽体は10~32 $^{\circ}\text{C}$ で成長し、34 $^{\circ}\text{C}$ では実験開始後7日以内にすべての発芽体が枯死した (Fig. 6A)。葉状部の成長率は4.7~27.0%の範囲にあり、25, 30 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、他の条件よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10, 25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20~30 $^{\circ}\text{C}$ 、100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25~30 $^{\circ}\text{C}$ において、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均1.0~2.9枚であり、25~32 $^{\circ}\text{C}$ の100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で多くなる傾向を示した (Fig. 6B, 9C)。仮根長は、いずれの光量区においても10~25 $^{\circ}\text{C}$ で温度が高くなるに従い増加し、25 $^{\circ}\text{C}$ を超えると低下する傾向にあった (Fig. 6C)。最大仮根長は25 $^{\circ}\text{C}$ の100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ でもっとも高い値を示したほか、それ以外の温度区においても高光量条件で高くなった。

ヨレモク 発芽体は10~32 $^{\circ}\text{C}$ で成長し、34 $^{\circ}\text{C}$ では

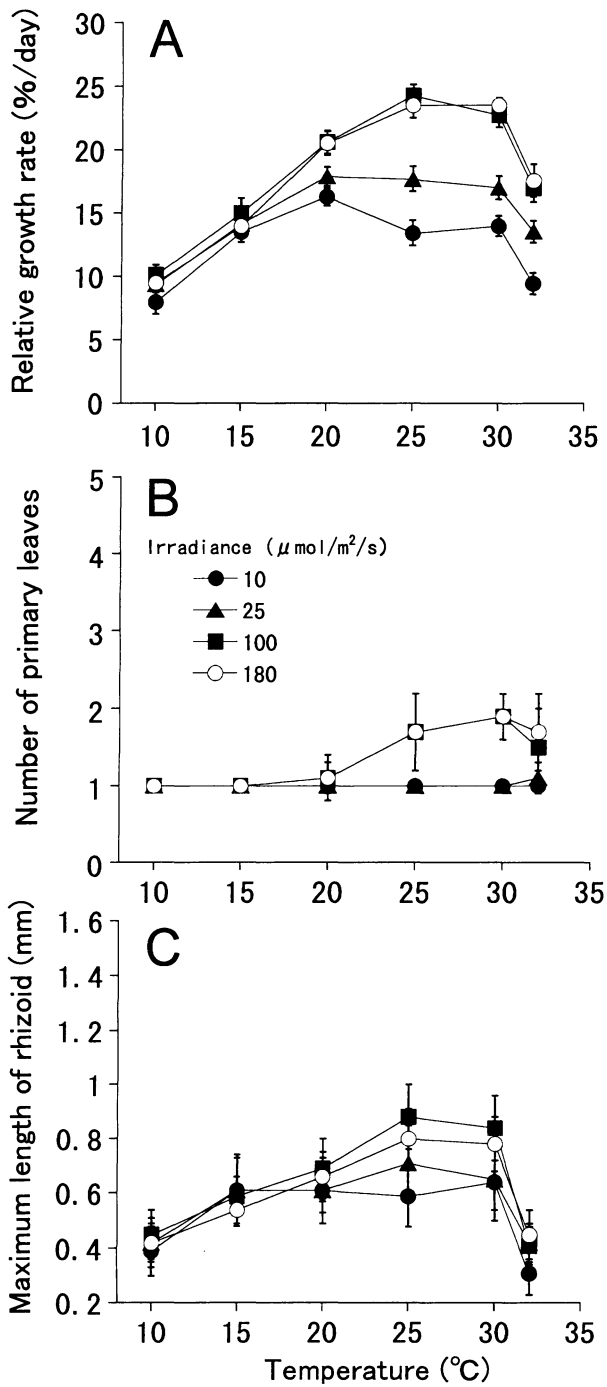


Fig. 3 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum hemiphyllum*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Length of the longest rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 3B.

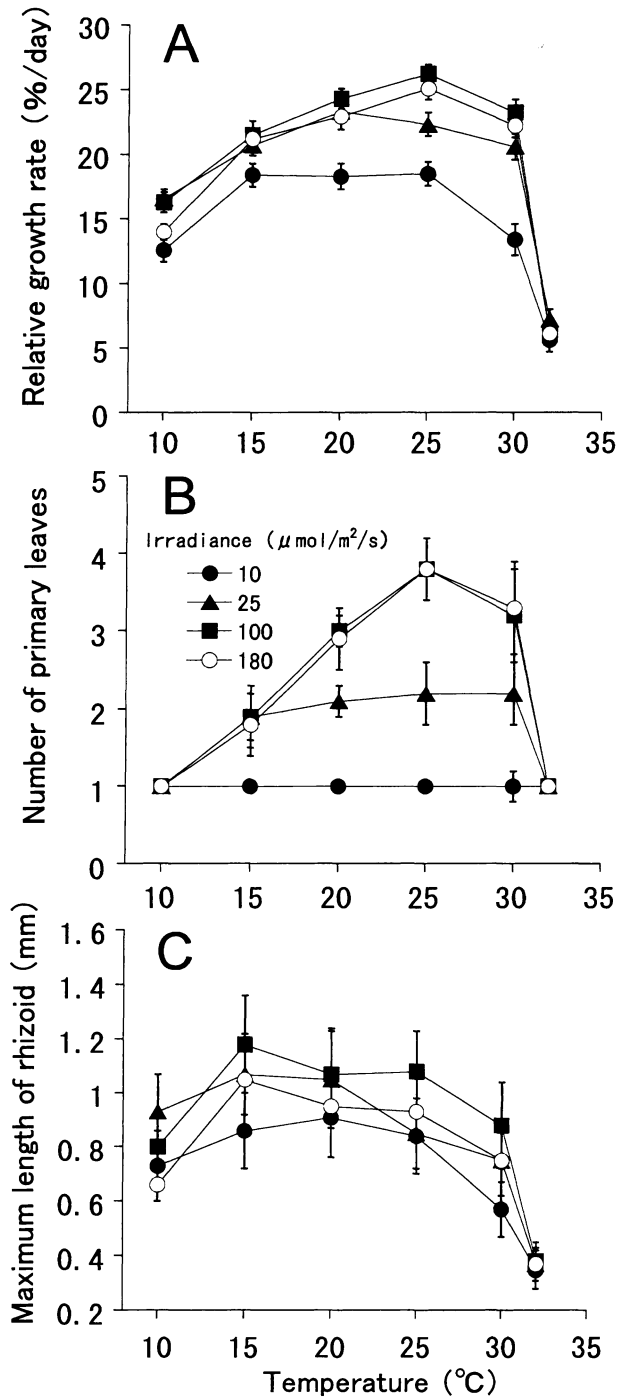


Fig. 4 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum horneri*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 4B.

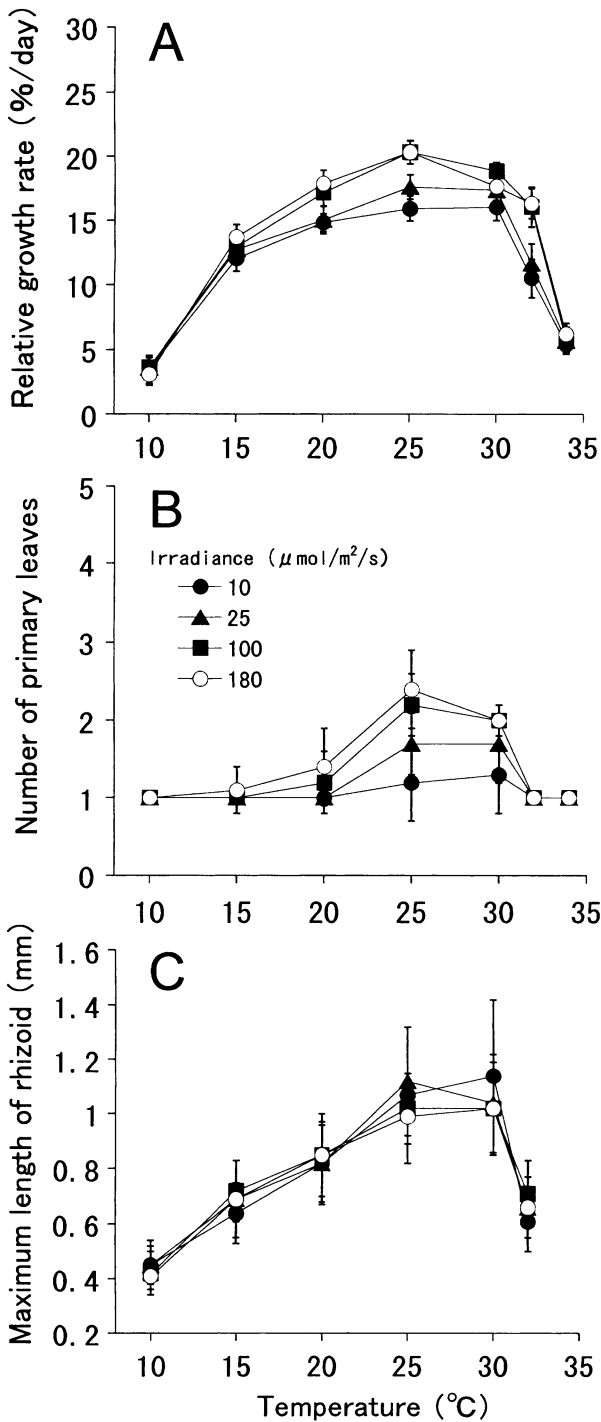


Fig. 5 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum patens*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 5B.

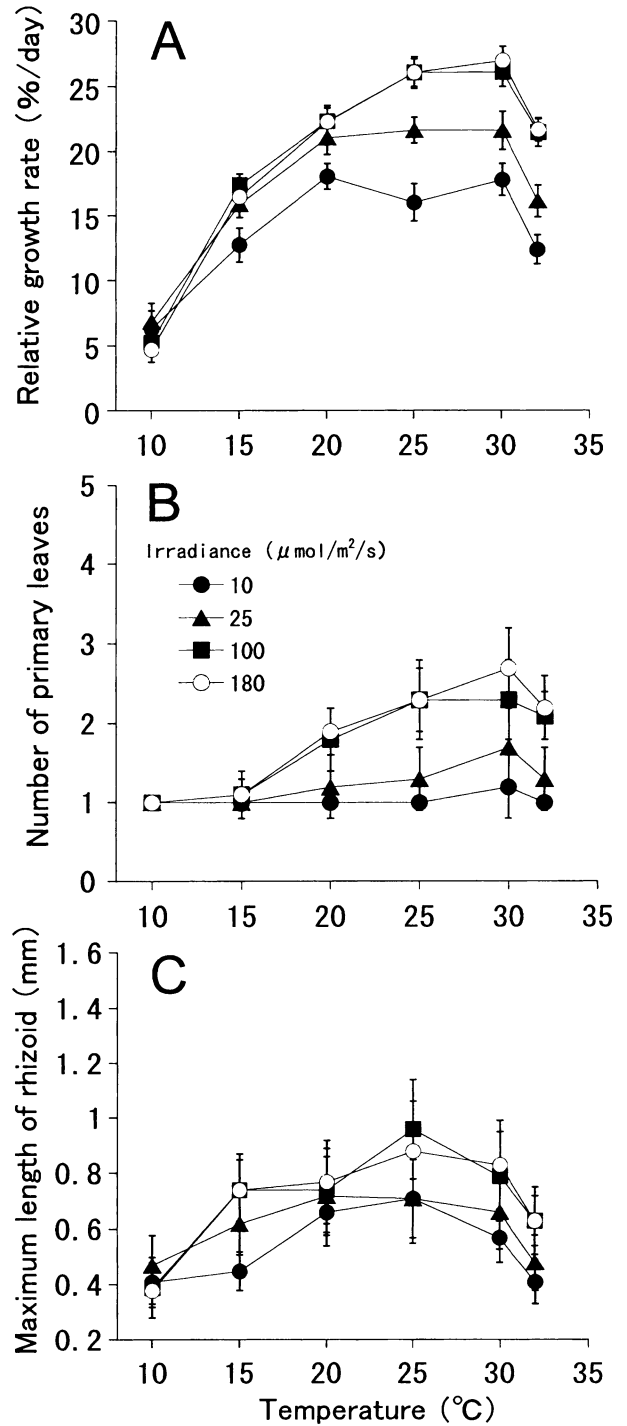


Fig. 6 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum piluliferum*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 6B.

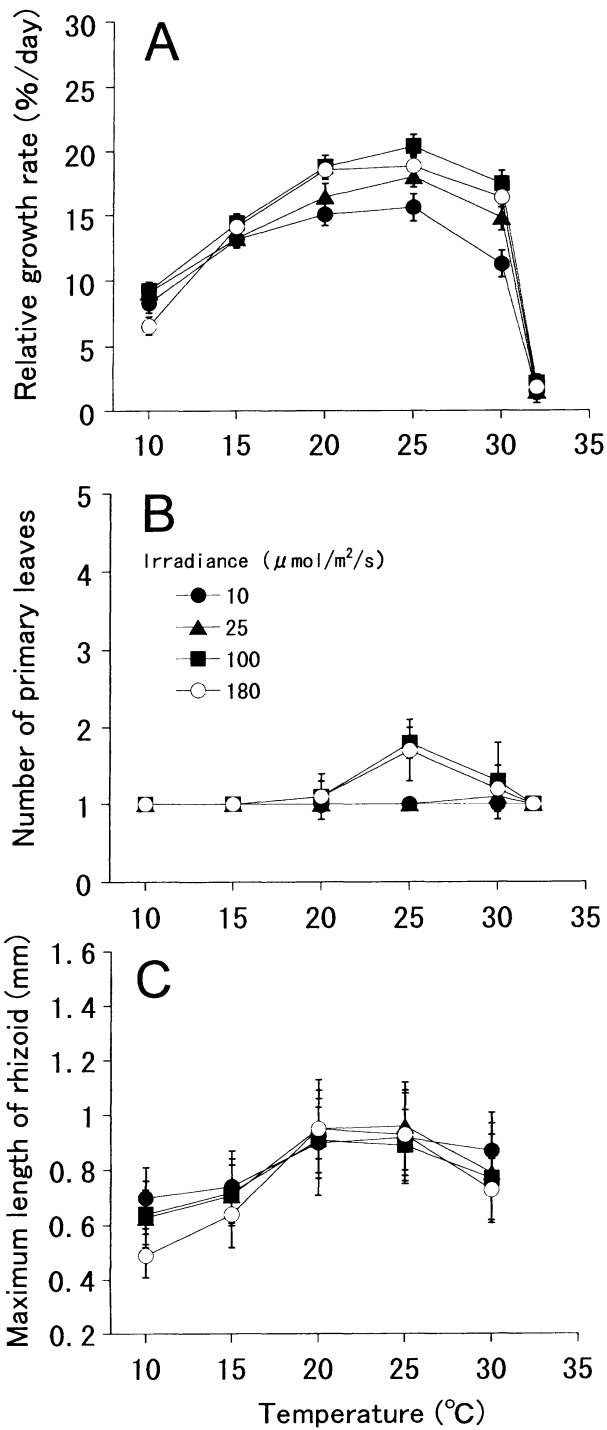


Fig. 7 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Sargassum siliquastrum*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 7B.

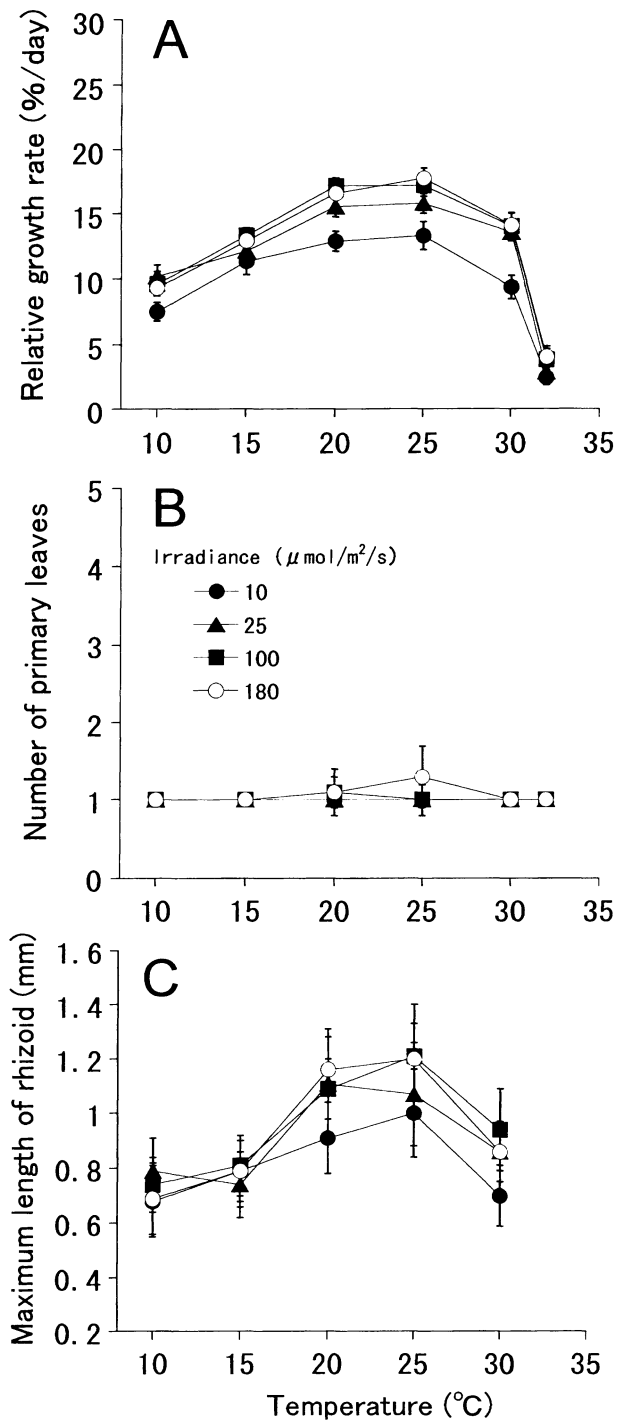


Fig. 8 Effects of temperature and irradiance on growth of germlings after 20 days culture period in *Myagropsis myagroides*. A: Relative growth rate of thallus area. B: Number of primary leaves. C: Maximum length of rhizoid. Vertical bars indicate standard deviations (n=40). Symbols of irradiance are given in Fig. 8B.

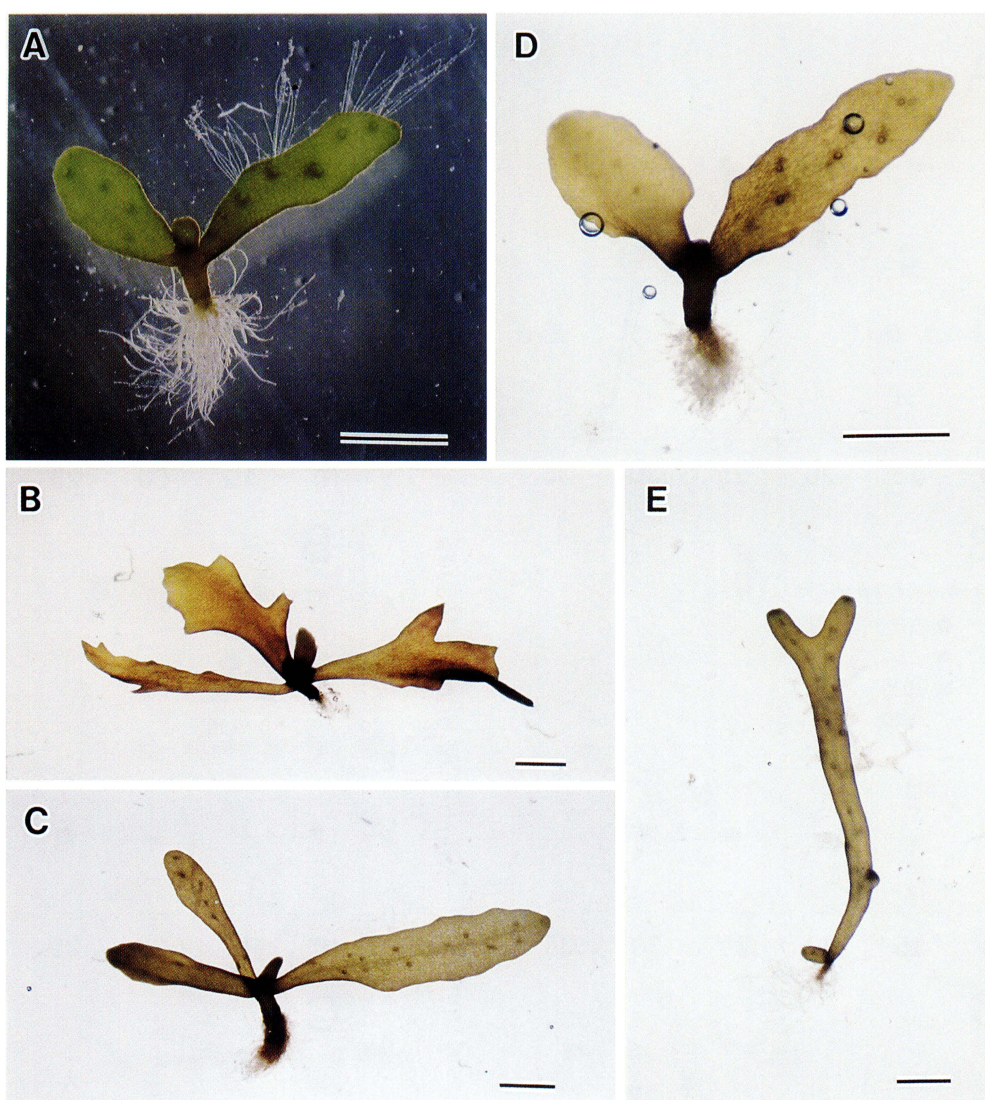


Fig. 9 Germlings of *Sargassum* and *Myagropsis* species cultured for 20 days. A: *S. hemiphyllum* (25°C, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), B: *S. horneri* (25°C, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), C: *S. piluliferum* (25°C, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), D: *S. siliquastrum* (25°C, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), E: *M. myagroides* (25°C, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Scale bars = 1mm.

実験開始後2日以内にすべての発芽体が枯死した (Fig. 7A)。葉状部の日間成長率は1.5~20.0%であり、25°Cの100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において他の条件よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20~25°C, 25, 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が25°Cにおいて、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均1.1~2.0枚であり、25°Cの100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で多くなる傾向を示した (Fig. 7B, 9D)。仮根長は、いずれの光量区においても10~20°Cで温度が高くなるに従い増加し、20~25°Cで同程度、30°Cで低

下する傾向にあった (Fig. 7C)。最大仮根長は20, 25°Cで高い値を示した。なお、32°Cでは仮根の形成は観察されなかった。

ジョロモク 発芽体は10~32°Cで成長し、34°Cでは実験開始後2日以内にすべて枯死した (Fig. 8 A)。葉状部面積の成長率は2.5~17.7%の範囲にあり、20, 25°Cの100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、他の条件よりも有意に高い値を示した ($P < 0.001$)。光量区別にみた葉状部の成長は、10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が15~25°C, 25, 100, 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20~25°Cにおいて、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

20日間の培養で形成された初期葉数は、平均

1.0~1.3枚であり、各区間で同程度であった (Fig. 8B, 9E)。仮根長はいずれの光量区においても、10~20°Cで温度が高くなるに従い増加し、20~25°Cで同程度、30°Cで低下する傾向にあった (Fig. 8C)。最大仮根長は20、25°Cの高光量区で高い値を示した。なお、32°Cでは仮根の形成は観察されなかった。

考 察

本研究ではホンダワラ類8種の発芽体について、葉状部および仮根部の成長に及ぼす温度と光量の複合影響を室内培養実験により明らかにした。ここでは、発芽体の成長率を比較した結果から、統計的に有意に高い値を示した温度と光量の範囲を成長好適条件とした。その複合要因下での発芽体の成長好適条件をTable 1に示す。成長に好適な温度は、ジョロモクが20~25°C、フシスジモク、アカモク、ヤツマタモク、ヨレモクが25°C、ヒジキ、イソモク、マメタワラが25~30°Cであった。また、成長に好適な光量はいずれの種も100~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の範囲にあった。ホンダワラ類発芽体の成長に及ぼす温度と光量の複合的な影響は、これまでにシダモク (Yoshida *et al.*, 1999)、アカモク (Yoshida *et al.*, 1999)、ノコギリモク (吉田ら, 1997; 村瀬, 2001)、タマハハキモク (吉田, 2005)、ヤツマタモク (吉田, 2005) の5種で報

告され、その成長に適した条件は種によりやや異なるが温度が20~25°C、光量が80~100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の範囲にあり、本研究とは光量条件および培養方法が異なるものの概ね類似した結果であった。このほか、ノコギリモク発芽体では成長に好適な温度範囲において、光量が強くなるほど成長に適した温度域が高くなることが指摘されている (吉田ら, 1997; 村瀬, 2001)。本研究においても、このような光量の増加に伴う成長好適温度の変化がすべての種で認められた。

培養を行ったホンダワラ類8種の発芽体について、その葉状部の成長好適温度において成長が最大になる光量は100~180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であることが分かった。これまでに、発芽体の成長に適した光量条件は、シダモクが400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (Yoshida *et al.*, 1999)、アカモクが100~200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (Yoshida *et al.*, 1999)、ノコギリモクが50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (吉田ら, 1997)、タマハハキモクが44 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (Hales and Fletcher, 1989) および200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (吉田, 2005)、ヤツマタモクが10,000 lux (月舘, 1984) および200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (吉田, 2005)、オオバモクが10,000 lux (新井・三浦, 1991)、ヨレモクが7,000~10,000 lux (月舘, 1984) であると、それぞれ報告されている。これらの培養実験では、温度、培養期間、測定方法等の条件が異なることから、種間の比較は単純には行えないが、シダモクの成長に適した光量がその他の6種よりも著しく高くなっ

Table 1 Comparison of maximum growth rates in 8 Sargassaceous species under their optimal growth conditions of temperature and irradiance

Species	Maximum growth rate (%/day)	Optimal growth condition*	
		Temperature (°C)	Irradiance ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
<i>Sargassum confusum</i>	21.2-21.4	25	100, 180
<i>Sargassum fusiforme</i>	20.5-21.6	25, 30	100, 180
<i>Sargassum hemiphylum</i>	22.8-24.3	25, 30	100, 180
<i>Sargassum horneri</i>	26.2	25	100
<i>Sargassum patens</i>	20.3-20.4	25	100, 180
<i>Sargassum piluliferum</i>	26.1-27.0	25, 30	100, 180
<i>Sargassum siliquastrum</i>	20.0	25	100
<i>Myagropsis myagroides</i>	16.6-17.7	20, 25	100, 180

* Experimental ranges of temperature and irradiance in this study were 10-34 (36) °C, 10-180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, respectively.

ている。また、アカモク、ヤツマタモク、ヨレモクについての本研究の結果は、これらの報告の光量範囲と概ね一致した。

本研究で培養中に形成された初期葉数はアカモクが最も多く、葉状部の成長率も初期葉の活発な形成とともに高くなる傾向がみられた。このアカモクの初期葉形成が速い理由について、漸深帯の比較的浅い場所に生育するアカモク発芽体は、他の小型海藻類との光をめぐる競争に優位に立つため、葉状部を速やかに発達させると推測されている（吉田，2005）。

本研究で培養したホンダワラ類8種の卵放出期の水温について、日本各地から次のように報告されている：フシスジモクが17～20℃（四井ら，1984；川井・田嶋，2003），ヒジキが19～28℃（四井ら，1984；寺脇，1985；横山ら，1999；長門・川口，2003），イソモクが18～20℃（四井ら，1984；横山ら，1999），アカモクが14～24℃（丸伊ら，1981；谷口・山田，1988；横山ら，1999），ヤツマタモクが17～26℃（四井ら，1984；横山ら，1999），マメタワラが19～26℃（四井ら，1984；横山ら，1999），ヨレモクが12～22℃（四井ら，1984；難波・奥田，1992，桐原ら，2003），ジョロモクが10～16℃（難波・奥田，1992）。ジョロモクを除く7種について、本研究で得られた発芽体の成長好適温度は、卵放出期の水温範囲の高温側か、あるいはその範囲よりも高くなる傾向が認められた。

吉田（2005）はホンダワラ類発芽体の培養結果から、高温条件（30℃）における成長特性を地理的分布との関連で比較し、南西諸島まで分布するヤツマタモクは、九州が分布の南限であるアカモク、タマハハキモク、ノコギリモクよりも高温下での成長阻害が少ないことを推測している。本研究では、この分布域による高温耐性の違いについて、ヤツマタモクとアカモクで確認できたほか、九州が分布の南限であるフシスジモク、ヨレモク、ジョロモクにおいても、吉田（2005）の見解を支持する結果が得られた。このほか、南西諸島まで分布し潮間帯に生育するヒジキ、九州が分布の南限であり潮間帯下部から漸深帯上部に生育するイソモク（吉田，1998）の2種において、30℃で成長がそれほど低下しないことが明らかになり、ホンダワラ類の高温耐性には地理的分布との関連に加え、生育場所に関する垂直分布による違いも影響することが確認された。

ホンダワラ類の温度に対する生育反応は、発育段階により異なることが指摘されている（Norton, 1977b; 松井・大貝，1981）。原口ら（2005）は山口県産ホンダワラ類9種の葉状部（枝の先端部）について成長好適温度と生育上限温度を調べているが、そのうち、アカモク、ヤツマタモク、マメタワラ、イソモク、ジョロモクの5種では、本研究で明らかになった発芽体の結果よりもやや低い温度範囲であった。

本研究でのホンダワラ類発芽体の生育上限温度は、ヤツマタモクが34℃であり、その他7種は32℃であった。松井・大貝（1981）はヤツマタモク発芽体が34℃で成長することを報告しているが、その他のホンダワラ類では発芽体の生育上限温度に関する知見はみられない。アカモクのように日本各地に分布する種では、産地により成長好適温度に差があることが知られている（小河，1986）。また、フシスジモクの成長に適した水温が北海道産と本州産で異なる可能性が示唆されている（川越ら，2005）。このような産地間の温度特性の違いを比較するためには、吉田（2005）が指摘したように光量を含む培養条件を統一して実験を行うことが望まれる。今後、発育段階および産地の違いによるホンダワラ類の生育反応を種別に比較するとともに、その結果から種間の違いを明らかにしていくことが重要である。

謝 辞

本論文を御校閲下さった東京大学名誉教授 平野禮次郎博士、東京大学名誉教授 沖山宗雄博士、（財）海洋生物環境研究所理事 城戸勝利博士、有益なご助言を賜った高知大学名誉教授 大野正夫博士に謹んで感謝の意を表す。ヒジキの採集にご協力いただいた千葉大学海洋バイオシステム研究センター小湊実験場 平野義明博士に深く感謝する。この論文は、経済産業省原子力安全・保安院から委託された温排水生物複合影響調査の報告のうち一部を許可を得て公表するものであり、関係各位に謝意を表す。

引用文献

新井朱美・三浦昭雄（1991）. オオバモク幼体の生長におよぼす塩分と照度の影響. 水産増殖, **39**, 315-319.

- De Wreede, R. E. (1978) Growth in varying culture conditions of embryos of three Hawaiian species of *Sargassum* (Phaeophyta, Sargassaceae). *Phycologia*, **17**, 23-31.
- Hales, J. M. and Fletcher, R. L. (1989). Studies on the recently introduced brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. IV. The effect of temperature, irradiance and salinity on germling growth. *Bot. Mar.*, **32**, 167-176.
- 原口展子・村瀬 昇・水上 譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信 (2005). 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.
- 平岡雅規・浦 吉徳・原口展子 (2005). 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化. *海洋と生物*, **27**, 485-493.
- 川越 力・谷 敬志・J. R. Indy・水田浩之・安井肇 (2005). 異なる水温が北海道産フシスジモクの受精卵, 幼胚, 幼体に及ぼす影響. *水産増殖*, **53**, 181-187.
- 川井唯史・田嶋健一郎 (2003). 北海道日本海におけるフシスジモク群落の保全と利用方法. *水産工学*, **40**, 1-6.
- 桐原慎二・藤川義一・能登谷正浩 (2003). ヨレモク. 「藻場の海藻と増殖技術」(能登谷正浩編著), 成山堂書店, 東京, pp. 27-47.
- 丸伊 満・稲井宏臣・吉田忠生 (1981). 北海道忍路湾におけるホンダワラ類の生長と成熟について. *藻類*, **29**, 277-281.
- 松井敏夫・大貝政治 (1981). ホンダワラ類(ヤツマタモクとアカモク)の生長と水温. 大量温排水に対する水産環境アセスメント総合調査 昭和50~55年度総括報告書. 水産庁東海区水産研究所, 東京, pp. 213-217.
- 村瀬 昇 (2001). 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究. *水産大研報*, **49**, 131-212.
- 長門祐子・川口栄男 (2003). 主枝重量からみた九州北岸志賀島におけるヒジキの季節的消長. *日水誌*, **69**, 30-35.
- 難波信由・奥田武男 (1992). 福岡県津屋崎に生育するホンダワラ類5種の卵放出. *日水誌*, **58**, 659-663.
- 難波信由・奥田武男 (1993). 褐藻ジョロモクとアカモク幼胚の低照度下の生長. *日水誌*, **59**, 1289-1295.
- Norton, T. A. (1977a). The growth and development of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **26**, 41-53.
- Norton, T. A. (1977b). Ecological experiments with *Sargassum muticum*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **57**, 33-43.
- 能登谷正浩 (2003). 藻場の海藻と造成技術. 成山堂書店, 東京, x+267pp.
- 小河久朗 (1986). 海藻の初期発生におよぼす温度と塩分濃度の影響. II. アカモクの仮根形成. *藻類*, **34**, 137-141.
- 小河久朗 (1987). ホンダワラ類藻場. 「海藻資源養殖学」(徳田 廣・大野正夫・小河久朗), 緑書房, 東京, pp.219-230.
- 小河久朗 (1994). タマハハキモクの仮根形成に及ぼす温度と塩分の影響. *水産増殖*, **42**, 25-31.
- 小河久朗・金谷夏広・木内悦子 (1995). エゾノネジモクの仮根形成に及ぼす温度と塩分の影響. *水産増殖*, **43**, 445-448.
- 小河久朗・金谷夏広・木内悦子 (1996). 褐藻ヒジキの仮根形成に及ぼす温度と塩分の影響. *水産増殖*, **44**, 407-411.
- Ohno, M. (1979). Culture and field survey of *Sargassum piluliferum*. *Rept. Usa. Mar. Biol. Inst.*, **No.1**, 25-32.
- 大野正夫 (1985). 概論: ガラモ場—その環境と水産資源的効用. *海洋科学*, **17**, 4-10.
- 大野正夫 (2003). 地球温暖化に順応した藻場創生. *日本資源保護協会月報*, **No.460**, 9-12.
- Steen, H. (2003). Intraspecific competition in *Sargassum muticum* (Phaeophyceae) germlings under various density, nutrient and temperature regimes. *Bot. Mar.*, **46**, 36-43.
- Steen, H. (2004). Effects of reduced salinity on reproduction and germling development in *Sargassum muticum* (Phaeophyceae, Fucales). *Eur. J. Phycol.*, **39**, 293-299.
- Steen, H. and Rueness, J. (2004). Comparison of survival and growth in germlings of six fucoid species (Fucales, Phaeophyceae) at two different temperature and nutrient levels. *Sarsia*, **89**, 175-183.
- 谷口和也 (1991). CO₂気候変化と増・養殖漁業への影響. *藻類. 農業および園芸*, **66**, 215-220.

- 谷口和也・山田秀秋 (1988). 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. 東北水研研報, **No.50**, 59-65.
- 寺脇利信 (1985). 三浦半島小田和湾におけるヒジキの生長と成熟. 水産増殖, **33**, 115-118.
- 月館潤一 (1984). ヤツマタモクとヨレモクの幼体の最適生長条件について. 南西水研研報, **No.16**, 1-9.
- 横山 寿・石樋由香・豊川雅哉・山本茂也・鯨坂哲朗 (1999). 五ヶ所湾のガラモ場における生物群集の構造 II. ホンダワラ類の季節的消長と海藻類生産量. 養殖研報, **No.28**, 27-37.
- 吉田吾郎 (2005). 広島湾における褐藻アカモクのフェノロジーとその個体群間分化に関する研究. 水研センター研報, **No.15**, 27-126.
- 吉田吾郎・新井章吾・寺脇利信 (1997). 広島湾大野瀬戸産ノコギリモク幼体の成長に及ぼす光量・水温の影響. 南西水研研報, **No.30**, 137-145.
- 吉田吾郎・有馬郷司・内田卓志 (1995). 褐藻アカモクの初期生長に及ぼす日長, 照度, 水温の影響. 南西水研研報, **No.28**, 21-35.
- Yoshida, G., Murase, N. and Terawaki, T. (1999). Comparisons of germling growth abilities under various culture conditions among two *Sargassum horneri* populations and *S. filicinum* in Hiroshima Bay. *Bull. Fish. Environ. Inland Sea*, **No.1**, 45-54.
- 吉田忠生 (1998). 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, 1-25+1222pp.
- 四井敏雄・中村伸司・前迫信彦 (1984). 長崎県野母崎沿岸におけるホンダワラ属8種の成熟期. 長崎水試研報, **No.10**, 57-61.