

駿河湾深層水を用いたサガラメ *Eisenia arborea* の 0.1-1 kL 水槽規模での培養

Culture of sporophytes of Sagaramé *Eisenia arborea*
in 0.1-1 kL tanks by using deep seawater from Suruga Bay

野田 浩之¹・二村 和視²・岡本 一利³

Hiroyuki NODA, Kazumi NIMURA and Kazutoshi OKAMOTO

Abstract

We attempted to develop a tank culture method for growing Sagaramé *Eisenia arborea* by using deep seawater from Suruga Bay; For this purpose, we employed the mass-culture method using free-living sporophytes. Five experimental setups were created in the laboratory; the sporophytes were cultured at various cultivation densities (1.65-4.80 kg/kL) and had leaves of various blade lengths (19-50 mm). They were grown in polycarbonate tanks of 0.1 kL, 0.5 kL and 1 kL volume under natural daylight conditions for 28-48 days. Blade lengths and wet weights of all the culture samples under different setups were found to have increased, and the wet weights of cultures in each setup increased by 3.55-7.62 kg. Cultivation densities and the relative growth rates in blade lengths or wet weights showed negative linear correlations (blade length: $y = -0.40x + 3.81$, $r = 0.64$, $p < 0.05$; wet weight: $y = -0.73x + 9.66$, $r = 0.79$, $p < 0.01$) under same daily light quantity level. On the basis of these results, we think that tank culture of this kelp species with a high growth rate is possible if it is cultured at the density of 2 kg/kL or less.

Key Words: *Eisenia arborea*, Suruga-Bay deep seawater, Mass culture, Growth, Cultivation Density

要 旨

駿河湾深層水を用いたサガラメ *Eisenia arborea* の陸上養殖技術の開発を目的に、駿河湾深層水をかけ流し、通気によって孢子体を浮遊させた状態で 0.1-1 kL 規模の水槽を用いた培養を試み、培養密度と生長率の関係について調べた。材料にはフリー配偶体から生産したサガラメ孢子体を用い、開始時の葉長 (19~50 mm) 及び培養密度 (1.65~4.80 kg/kL) の異なる 5 試験区を設定した。自然光の差し込む屋内で容量 0.1 kL から 1 kL の水槽を用い 28~48 日間培養した。いずれの試験区も培養期間の経過に伴い葉長と湿重量が増加し、培養終了時には開始時から 3.55~7.62 kg 増重した。日積算光量の平均値が同様の 2 期間において、培養密度と葉長および湿重量の各相対生長率の関係を検討した結果、負の相関が認められた。以上のことから、駿河湾深層水を用いた浮遊培養によるサガラメの養殖は可能であり、培養密度を 2 kg/kL 以下に保つことで高い生長率を維持できると考えられた。

キーワード：サガラメ *Eisenia arborea*, 駿河湾深層水, 大量培養, 生長, 培養密度

¹静岡県水産技術研究所駿河湾深層水水産利用施設 (〒425-0032 静岡県焼津市鰐ヶ島 136-24)

²静岡県水産技術研究所利用普及部 (〒425-0033 静岡県焼津市小川 3690)

³静岡県産業部水産資源室 (〒420-8601 静岡県静岡市葵区追手町 9-6)

1. 緒 言

サガラメ *Eisenia arborea* は、国内では駿河湾西岸から紀伊半島西岸および徳島県の伊島に分布し、沿岸域で海中林を形成する（川嶋，1993）。静岡県では、かつて御前崎市および牧之原市を中心として分布し（長谷川，1996a, 1996b），食用として利用されてきた。しかし，近年，サガラメやカジメ *Ecklonia cava* が減少する磯焼けとなり（長谷川，1996a, 1996b），これに伴いサガラメの漁獲がない状態が続いている（長谷川，1999）。このため，人工種苗移植によるサガラメ海中林の復元が試みられているとともに（二村ら，2007a），養殖生産によるサガラメの増加が望まれている。

駿河湾の水深 397 m および 687 m から取水される駿河湾深層水（以下，深層水）は，硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度が表層水に比べて高く（五十嵐，2004），サガラメの配偶体（二村ら，2005）および孢子体（二村ら，2007b）の培養に適していることが報告されている。一方，二村・岡本（2006）は，海藻類の生殖細胞を種糸等の基質に着生させることなく浮遊状態のまま成熟させて孢子体にする技術を開発し，その結果，サガラメを浮遊状態のまま生殖細胞から孢子体まで育成することが可能となった。そこで，本研究では，深層水を用いたサガラメ陸上養殖技術の開発を目的に，浮遊培養方式によるサガラメを 0.1–1 kL 水槽規模で培養し，適正な培養密度について検討した。

2. 材料及び方法

材料には静岡県御前崎市産サガラメに由来する配偶体を用いた（二村ら，2005）。これらの配偶体を培養液と共にミキサーで約 30 秒間細断し，表層海水をベースとしヨウ素を添加した Provasoli 栄養塩補強海水（以下，PESI とする，秋山・松岡，1986）を満たした 2–3 L フラスコの中で，スターラーで攪拌しながら培養した。その他の培養条件は，光量 $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，光周期 12 時間明期：12 時間暗期，水温 18°C とした。約 1 週間後，雌性配偶

体は卵を形成した。培養を開始してから 19–23 日後に，15 L プラスチック容器に移し，自然光があたる屋内もしくは野外にて，さらに 16–17 日間通気培養した。水温はウォーターバス方式で約 10°C に調整し，培養水は 1/10 濃度の PESI とした。

大量培養試験は，上記の培養孢子体を用い，静岡県水産技術研究所駿河湾深層水水産利用施設内で 2008 年 6 月 18 日から 8 月 5 日の期間中に実施した。培養開始時の葉長と湿重量の異なる A–E の 5 試験区を設けた（Table 2）。培養容器は容量 0.1 kL（実水量 0.1 kL），0.5 kL（実水量 0.4 kL），1 kL（実水量 0.8 kL）アルテミア孵化槽および 1 kL（実水量 1 kL）円形ポリカーボネート製水槽を用い，各試験区とも孢子体の生長に伴って，0.1 kL，0.5 kL，1 kL の順に培養容器を拡大した。

いずれの試験区も培養水には駿河湾の水深 397 m から取水した深層水を用い，換水率は 1 日 6–16 回転とした。光条件は屋内天然光とした。水槽底中央部に設置したエアーストーンから強めに通気し，水槽内に還流を発生させて孢子体を常時浮遊状態にして培養した（Fig. 1A）。試験期間中 9–10 日毎に，各試験区 30 個体の葉長および葉幅を測定するとともに，水槽から全ての孢子体を回収して湿重量を測定した。葉長は茎状部と葉状部の移行部から葉状部先端までとし，葉幅は葉状部の最も広い部分を 1 mm 単位で測定した（Fig. 1B）。湿重量は，ポリエチレン樹脂製のネットで作製した籠で十分に水切りしたのち，電子上皿天秤にて測定した。各測定日の葉長および湿重量と培養日数から，それぞれの相対生長率を次式より算出した。

Relative growth rate (RGR; %/day)

$$= 100t^{-1} \ln (V_a/V_b)$$

t：培養日数 V_a ：t 日後の測定値

V_b ：試験開始時の測定値

水温はデジタル温度計で毎日測定した。光量は，水槽周囲に設置したセンサー（Li192SA，Li-COR Biosciences）にデータロガー（Li-COR 1400，Li-COR Biosciences）を接続して，毎日日の出から日

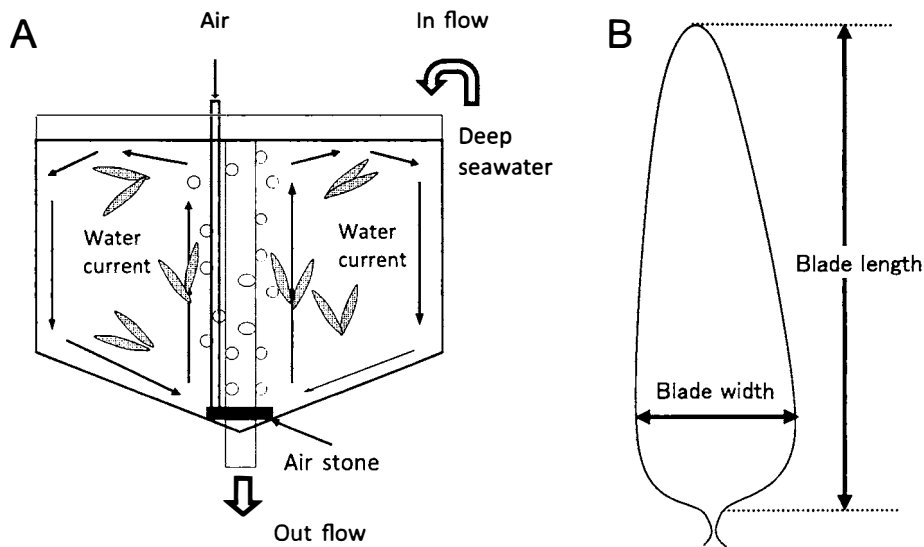


Fig. 1 (A) Float type Sagaramé *Eisenia arborea* culture tank. (B) Measurements of blade length and width of juvenile Sagaramé *Eisenia arborea* sporophytes.

の入りまで 30 分間隔で測定し、日積算光量を算出した。注水および培養水中の栄養塩濃度は、培養期間中 2 回（7 月 16 日、7 月 25 日）12 時前後に採水し、硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度を Parsons *et al.* (1984) に従い分析した。

3. 結果および考察

各測定日間の水温および日積算光量の平均値を Table 1 に示した。取水直後の深層水の水温は約 9 °C で安定していたが、培養水槽の平均水温は気温と換水率に影響を受けるため 10.4~14.1 °C の範囲にあった。日積算光量の平均値は 1.5~3.5 molm⁻² day⁻¹ の範囲にあり、培養期間の経過に伴い高くなった。

Table 2 に各試験区の開始時および終了時の葉長、

葉幅、湿重量、培養密度、葉長および湿重量の相対成長率を、Fig. 2 に培養期間中の平均葉長、平均葉幅および湿重量の推移をそれぞれ示した。試験区 A, B, C, D および E の試験開始時の平均葉長は、それぞれ 49.8±20.5 mm, 40.6±17.1 mm, 21.2±12.3 mm, 18.9±9.6 mm, 25.2±15.7 mm であり、終了時にはそれぞれ 123.1±35.7 mm, 110.6±44.6 mm, 65.3±16.2 mm, 88.7±42.9 mm, 77.8±31.9 mm に生長した。試験終了時の培養密度と期間中の増重量は、試験区 A で 9.42 kgkL⁻¹, 7.62 kg, 試験区 B で 7.20 kgkL⁻¹, 5.10 kg, 試験区 C で 5.95 kgkL⁻¹, 5.47 kg, 試験区 D で 11.38 kgkL⁻¹, 4.30 kg, 試験区 E で 4.75 kgkL⁻¹, 3.55 kg であった。いずれの試験区においても葉状部の先端部には珪藻の付着が僅かに見られたが、その他の付着物は肉眼では認められなかった。

Table 1. Water temperature and daily light quantity

Experiment period	Water temperature (°C) ^{*1}					Daily light quantity (molm ⁻² day ⁻¹) ^{*1}
	A	B	C	D	E	
18 th June-27 th June	11.0±0.9	11.3±0.7	10.4±0.6	11.5±0.6	—	1.5±0.8
27 th June- 7 th July	12.7±1.0	12.1±0.7	12.0±0.6	12.6±0.6	11.5±0.3	2.4±1.4
7 th July-16 th July	11.8±0.8	11.7±0.7	11.8±0.8	12.7±0.7	11.4±0.7	2.6±1.2
16 th July-25 th July	11.9±0.5	13.3±1.1	12.3±0.4	14.1±1.5	12.3±0.5	3.5±1.2
25 th July- 5 th August	12.0±0.2	—	—	13.2±0.8	—	3.2±0.7

^{*1} Data show mean±standard deviation

Table 2. Results of culture experiment of sporophytes of Sagaramae *Eisenia arborea* in 0.1–1 kL tanks by using deep seawater

Factor			A	B	C	D	E
Initial	Blade length* ¹	(mm)	49.8±20.5	40.6±17.1	21.2±12.3	18.9±9.6	25.2±15.7
	Blade width* ¹	(mm)	17.1±8.0	11.8±5.3	5.6±3.0	7.4±3.2	9.1±4.2
	Wet weight	(kg)	1.80	0.66	0.48	0.25	1.20
	Density	(kgkL ⁻¹)	4.50	1.65	4.80	2.50	3.00
Final	Blade length* ¹	(mm)	123.1±35.7	110.6±44.6	65.3±16.2	88.7±42.9	77.8±31.9
	Blade width* ¹	(mm)	25.7±7.5	26.3±9.1	14.0±4.0	22.7±10.5	21.7±7.7
	Wet weight	(kg)	9.42	5.76	5.95	4.55	4.75
	Wet weight gain	(kg)	7.62	5.10	5.47	4.30	3.55
	Density	(kgkL ⁻¹)	9.42	7.20	5.95	11.38	4.75
Experiment periods		(day)	48	37	37	48	28
Culture tank* ²	18 th June–27 th June		A2	A2	A1	A1	—
	27 th June– 7 th July		A3	A2	A2	A1	A2
	7 th July–16 th July		A3	A2	A2	A1	A2
	16 th July–25 th July		P	A3	P	A2	P
	25 th July– 5 th August		P	—	—	A2	—
Blade length RGR* ³	18 th June–27 th June		0.7	1.7	4.2	6.0	—
	27 th June– 7 th July		2.3	2.4	1.9	2.6	4.5
	7 th July–16 th July		(%day ⁻¹) 2.4	1.9	2.0	0.5	0.3
	16 th July–25 th July		2.9	4.9	4.2	3.5	7.2
	25 th July– 5 th August		1.2	—	—	3.5	—
Wet weight RGR* ³	18 th June–27 th June		2.7	5.6	6.2	2.6	—
	27 th June– 7 th July		6.7	6.7	9.3	9.2	6.5
	7 th July–16 th July		(%day ⁻¹) 4.1	6.1	5.8	4.3	6.1
	16 th July–25 th July		1.2	5.0	5.7	8.1	1.9
	25 th July– 5 th August		2.0	—	—	5.8	—

*¹ Data show mean±standard deviation
*² A1 Artemia hatch tank of 0.1 kL in volume
A2 Artemia hatch tank of 0.5 kL (net 0.4 kL) in volume
A3 Artemia hatch tank of 1 kL (net 0.8 kL) in volume
P Polycarbonate tank of 1 kL in volume
*³ Relative growth rate

6月18日から6月27日、6月27日から7月7日、7月7日から7月16日、7月16日から7月25日、7月25日から8月5日の試験区毎の葉長の相対生長率は、それぞれ0.7~6.0%day⁻¹、1.9~4.5%day⁻¹、0.3~2.4%day⁻¹、2.9~7.2%day⁻¹、1.2~3.5%day⁻¹の範囲にあり、試験区間のばらつきが大きかった。また、試験区A、B、C、D、Eの期間毎の相対成長率は、それぞれ0.7~2.9%day⁻¹、1.7~4.9%day⁻¹、1.9~4.2%day⁻¹、0.5~6.0%day⁻¹、0.3~7.2%day⁻¹の範囲にあり、試験期間によるばらつきも大きかった。さらに、湿重量の相対生長率についても同様の傾向を示した。この原因について考察するため、各試験区の水槽の形状が同一で、なおかつ日積算光量の平均値が同様であった、

6月27日から7月7日と7月7日から7月16日のデータを用いて、葉長および湿重量の相対生長率と期間開始時の培養密度の関係を調べ Fig. 3 に示した。葉長の相対生長率と培養密度は負の相関を示し ($y = -0.40x + 3.81$; $r = 0.64$; $p < 0.05$)、培養密度が高いほど相対生長率が低くなる傾向があった (Fig. 3A)。湿重量の相対生長率と培養密度も負の相関を示し ($y = -0.73x + 9.66$; $r = 0.79$; $p < 0.01$)、培養密度が高いほど相対生長率が低くなる傾向があった (Fig. 3B)。一方、葉長および湿重量の各相対生長率と期間開始時の葉長との間には相関は認められなかった ($p > 0.05$)。
海藻養殖において海藻の生長に影響を与える主要因として考えられるのは、光量、水温および栄養塩

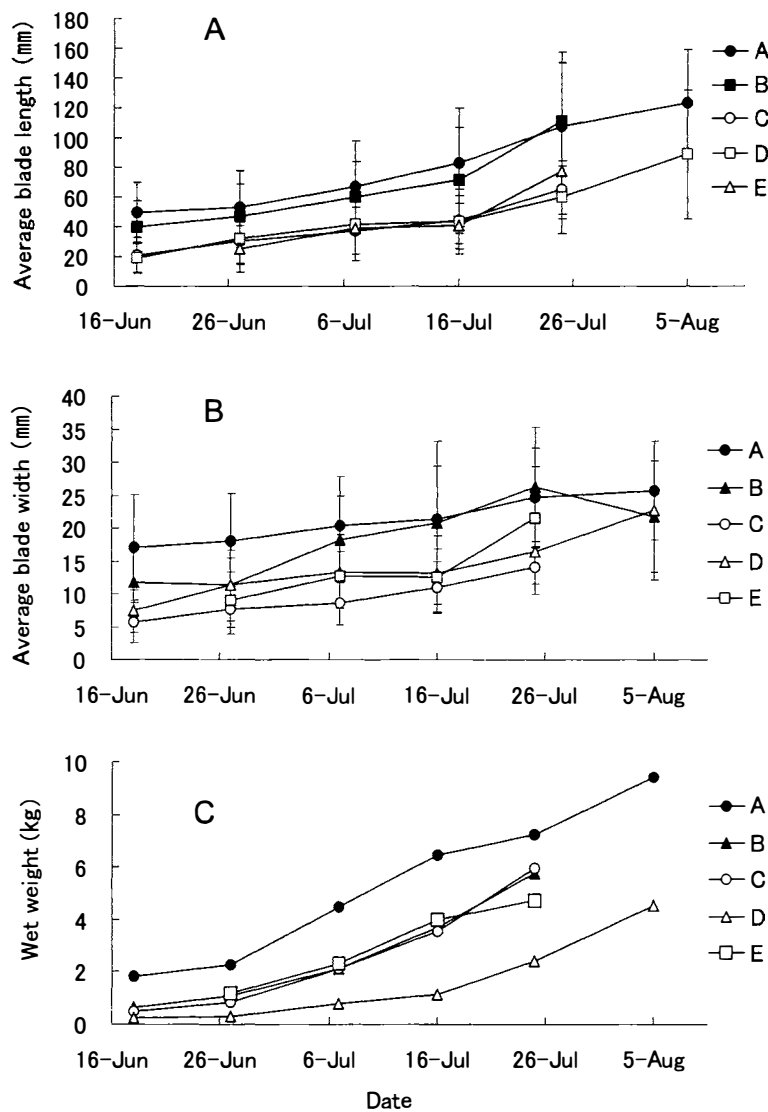


Fig. 2 Changes in blade length (A), blade width (B) and wet weight (c) of cultivated Sagaramé *Eisenia arborea*. Closed circle, Closed triangle, Open circle, Open triangle and Open square are indicate A, B, C, D, E, respectively (see Table 2 for detailed culture conditions). Data show mean±standard deviation (A and B).

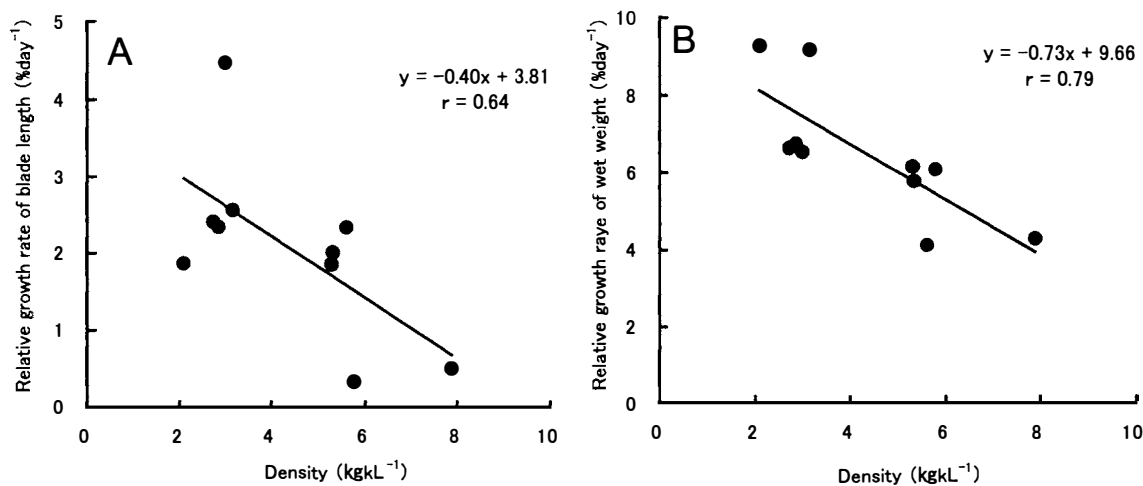


Fig. 3 Relationship between density and relative growth rate of blade length ($y = -0.40x + 3.81$; $r = 0.64$) (A) or wet weight ($y = -0.73x + 9.66$; $r = 0.79$) (B) from 27th June to 7th July and from 7th July to 16th July 2008.

Table 3. Nitrate and phosphate concentrations of the poured deep seawater (DSW) and seawater in each tank

Date	16 th July 2008						25 th July 2008					
	DSW (a)	Seawater in tank (b)					DSW (a)	Seawater in tank (b)				
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
NO ₃ - N (μ M)	26.7	17.2	6.6	16.9	17.3	16.7	20.4	17.7	15.4	16.4	9.7	14.7
a - b (μ M)		9.4	20.0	9.7	9.4	9.9		2.6	5.0	4.0	10.6	5.7
((a - b) $\times 10^2$)/a (%)		35.4	75.1	36.4	35.1	37.2		12.9	24.5	19.6	52.2	27.8
PO ₄ ³⁻ - P (μ M)	2.1	1.3	0.7	0.9	1.2	1.1	1.9	1.3	1.5	1.4	1.1	1.1
a - b (μ M)		0.8	1.4	1.1	0.9	1.0		0.5	0.4	0.4	0.8	0.7
((a - b) $\times 10^2$)/a (%)		37.2	65.7	54.3	42.9	48.6		28.3	19.4	22.3	43.2	40.3

濃度である。光量および水温については、サガラメ幼体は日積算光量 $2.5 \text{ molm}^{-2}\text{day}^{-1}$ 以上、水温範囲 $10\sim 18^\circ\text{C}$ で良好な生長を示すことが報告されており（二村ら，2007b），本試験の6月27日以降の水槽設置箇所の光量と水温は、サガラメの培養に好適な条件であったといえる（Table 1）。一方、栄養塩濃度については7月16日および7月25日の栄養塩測定結果を Table 3 に示した。7月16日と7月25日の注水の硝酸態窒素濃度はそれぞれ $26.7 \mu\text{M}$ 、 $20.4 \mu\text{M}$ であり、各試験区の培養水の濃度は $6.6\sim 17.7 \mu\text{M}$ の範囲にあった。7月16日と7月25日の注水のリン酸態リン濃度はそれぞれ $2.1 \mu\text{M}$ および $1.9 \mu\text{M}$ であり、各試験区の培養水のリン酸態リン濃度は $0.7\sim 1.5 \mu\text{M}$ の範囲にあった。培養水中の硝酸態窒素濃度およびリン酸態リン濃度の注水に対する減少率は7月16日のB区を除き、注水に対して概ね半分以下であった。駿河湾の397 m から取水した深層水の硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度は24 m から取水した表層水の5倍程度であることから（五十嵐，2004），硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度の減少量は少なく、培養水中に十分含まれていたと考えられる。

浮遊培養では水面や水槽側面部等の光量に比べて水槽底面や内部の光量は少なく、培養密度が高くなるほどその傾向が著しい。Table 1 に示したように、水槽に照射される光量は十分であったとしても、個々の胞子体が受ける光量は不足する可能性がある。したがって本試験において培養密度と相対生長率に負の相関が認められた理由としては、培養密度の増

加に伴い個々の胞子体に照射される光量が減少したと推測される。

今回、駿河湾深層水をかけ流してサガラメ胞子体を浮遊培養することによって、容量1 kL の水槽で最高 9.42 kg 、容量400 L の水槽では 4.55 kg までの培養が可能であった。しかし、日積算光量が同様な期間において、開始時培養密度 $2\sim 8 \text{ kgkL}^{-1}$ の水槽の湿重量相対生長率は $4.1\sim 9.2\%\text{day}^{-1}$ を示し、培養密度と生長率には負の相関が認められた。したがって、培養密度が 2 kgkL^{-1} を超える前に培養水槽の拡大や分槽を実施することで高い生長率が維持できると考えられる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、培養にご協力頂いた静岡県水産技術研究所駿河湾深層水水産利用施設職員の方々に深く感謝いたします。

文 献

- 秋山和夫・松岡正義（1986）ワカメ。浅海養殖，資源協会，東京，pp. 541-566.
- 長谷川雅俊（1996a）サガラメ異変。伊豆分場だより，264，2-8.
- 長谷川雅俊（1996b）御前崎の潜水漁業と磯焼け。伊豆分場だより，265，2-6.
- 長谷川雅俊（1999）漁獲量から見た磯焼けの影響—榛南の事例。伊豆分場だより，278，2-9.
- 五十嵐保正（2004）陸上取水した駿河湾深層水中の主要成分の変動。平成14年度駿河湾深層水利用可能性調査報告書，1-2.

- 川嶋昭二 (1993) 日本産コンブ類図鑑 (川嶋昭二編), 北日本海洋センター, 札幌, pp. 122-123.
- 二村和視・岡本一利 (2006) 海藻類の種苗生産方法. 公開特許広報, 特開 2006-262823 号.
- 二村和視・岡本一利・高瀬 進 (2005) サガラメ *Eisenia arborea* Areschoug (Phaeophyceae) 配偶体の生長・成熟に及ぼす駿河湾深層水の影響. 海深研, 6, 31-35.
- 二村和視・高辻裕史・増田 傑・嶋本淳司 (2007a) 静岡県榛南海域へ移植したカジメ・サガラメ種苗の生長・成熟とアイゴによる食害. 水産増殖, 55, 541-546.
- 二村和視・岡本一利・高瀬 進 (2007b) 駿河湾深層水・光量および水温がサガラメ *Eisenia arborea* (Phaeophyceae) 幼体の生長に及ぼす影響. 水産増殖, 55, 199-204.
- Parsons T. R., Y. Maita and C. M. Lalli (1984) Nutrients. In "A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis" (ed. by T. R. Parsons, Y. Maita and C. M. Lalli), Pergamon Press, Oxford, pp. 3-33.
- (2009 年 8 月 3 日受付; 2009 年 11 月 9 日受理)