

カジメ種苗生産における鉄イオン溶出体の有効性

相川英明・神山公男・杉本幹生・木下淳司

The effectiveness of iron ion elution bodies in *Ecklonia cava* seedling productionHideaki AIKAWA^{*a}, Kimio KAMIYAMA^{*}, Mikio SUGIMOTO^{**}, and Junji KINOSHITA^{*b}

緒 書

神奈川県水産技術センター(以下、「当センター」)では磯焼け対策として、藻場造成に用いる早熟性カジメを陸上水槽において浮遊培養している^{1~3)}(図1)。この培養に着手した2020年に、全長35cmのカジメ葉状部に穴あきが発生し(図2)、生長が停滞して茎状部のみとなり枯死する現象が認められた(図3)。

海藻の葉状部の穴あきについて、養殖ワカメでは環境悪化によりワカメの生理活性が低下した結果、水中に常在する細菌の感染により引き起こされることや⁴⁾、アラメでは基質への個体の密集による光や栄養塩の不足が原因と考えられている⁵⁾。

他方、海藻にとって鉄は必須微量元素の一つであり⁶⁾、アカモクでは溶存性鉄の濃度の増加に伴い、光合成速度が増加すること^{7, 8)}、スサビノリでは窒素やリンが十分量存在する条件下であっても、鉄欠乏によって色落ち現象が生じること⁹⁾が報告されている。さらに、溶存性鉄の減少が磯焼けの原因の1つとされており¹⁰⁾、実海域における海藻類の生育にとって溶存性鉄の供給が重要であると考えられている¹¹⁾。

しかし、海水中の鉄のほとんどは藻類に利用されにくい3価(Fe³⁺)の粒状水酸化鉄として存在しており、藻類が利用し易い2価(Fe²⁺)の溶存性鉄は不足がちである¹⁰⁾。このため、沿岸域に溶存性鉄を供給する手法が検討されているが¹²⁾、従来の手法に見られる鉄と炭素との混合物のコンクリート製魚礁等にあつては、最初の内は鉄イオンが溶出されるものの、時間の経過

とともに鉄の表面に硬質の酸化被膜が形成されて、それ以後の効率的な鉄イオンの溶出を持続させることができないという問題がある¹³⁾。一方で、鉄イオン溶出体(PAT.5258171:杉本幹生)¹³⁾は水中では鉄表面に酸化被膜を形成せず、藻類が利用し易い2価の鉄イオン(Fe²⁺)を継続的に溶出する特性があり¹⁴⁾、ワカメ養殖での使用において生長促進効果が認められている¹⁵⁾。そこで、当センターにおけるカジメの浮遊培養水槽に鉄イオン溶出体を設置して種苗生産を行ったところ、穴あきの低減と良好な生長が認められたので報告する。

材料および方法

鉄イオン溶出体

鉄イオン溶出体¹³⁾(商品名リ・ボーン)は、鉄と高純度炭素が1:1の割合で構成された1辺が約5cmの密着体であり、1個当たりの重量は100gである。鉄イオン溶出体を直接水中に投入することで2価鉄イオンを効率的に溶出させることができる¹⁴⁾。

カジメ種苗

試験に供したカジメ種苗(葉長0.5~2cm)は、水産技術センター相模湾試験場において、2019年10月1日に三浦市諸磯で採取した早熟性カジメの母藻から分離したフリー配偶体(令和元年諸磯株)をもとに育成した株である。これらを2021年5月12日および2021年12月7日に当センターに受け入れた後、陸上のパンライト水槽で浮遊培養を行った。

2025. 8.13 受理 神水セ業績 No. 25-003

脚注 * 企画研究部資源管理課

a 現所属: 内水面試験場

b 現所属: 水産課

**無有産(MOVE)研究所

〒759-0207 山口県宇部市大字際波 616 番地

試験区

試験は鉄イオン溶出体を設置した Fe 区と、鉄イオン溶出体を収容しない対照区を設定した。さらに Fe 区は、鉄イオン溶出体の形状を変えた以下の 2 つの条件で試験 1、2 を実施した。

試験 1 では鉄イオン溶出体 1 個 (100 g) を粉砕せずにそのまま 100 L パンライト水槽の底面に設置し、対照区と Fe 区にそれぞれ湿重量 200 g (300 個体相当) ずつカジメを収容し、2022 年 2 月 7 日から 3 月 15 日まで 36 日間浮遊培養を実施した。

試験開始時にカジメには穴あき個体が認められ、各水槽に収容したカジメに対するその出現率は対照区、Fe 区でそれぞれ 93.3%、90.0% であった。

試験 2 では鉄イオン溶出体 2 個 (計 200 g) を木づちで 1 cm 前後の大きさに粉砕した。これらを水切りネットに収容して 500 L パンライト水槽の水面直下に吊るし、試験 1 と同様に湿重量 437 g (400 個体相当) のカジメを Fe 区、対象区にそれぞれ収容し、2022 年 2 月 14 日から 3 月 15 日まで 29 日間浮遊培養を実施した。

試験 1 と同様、試験 2 についても開始時のカジメの穴あき個体が認められ、その出現率は対照区、Fe 区でそれぞれ 90.0%、96.7% であった。

なお、試験 1 と試験 2 のどちらの水槽も屋根付きの屋外施設に設置し、ろ過海水をかけ流して (8.6 回転/日) 浮遊培養を行った。また、光条件は自然光のみとし、水槽上部の光量は日光が屋根で遮られている時は屋外の 10 分の 1 から 2 分の 1 であり、直射時は屋外と同等であった。

カジメの生長の評価

開始時と終了時に各水槽のカジメ 30 個体をデジタルカメラ (WG-60, RICOH) で撮影し、鈴木¹⁶⁾の方法に準じて、葉状部面積を測定した。個体の画像データをパソコンに取り込み、葉状部に生じた穴あき部分を Microsoft Windows 付属のペイントを用いて黒く塗りつぶした。面積測定ソフト (LIA for Win32)¹⁷⁾を用いて、黒く塗りつぶした部分 (穴あき) とそれ以外の葉状部の面積をそれぞれ求めた。個体ごとに穴あきの割合を以下の計算式によって求めた。

$$\text{個体ごとの穴あきの割合 (\%)} = (\text{穴あきの面積}) / (\text{葉状部の面積} + \text{穴あきの面積}) \times 100$$

また、同面積測定ソフトにより 30 個体の葉長を測定した。統計解析ソフト R (Ver4.0.5) を用いて、得られたデータについて Mann-Whitney の U 検定を行った。

また、各水槽のカジメの生育状態を把握するため、

終了時にカジメの総湿重量を測定した。

なお、培養水の水温と塩分は、当センターが取水している地先近傍に設置されたブイで連続観測されているデータのうち、午前 10 時の観測値を用いることとした。



図 1 浮遊培養時の全長 35 cm のカジメ



図 2 穴あきが認められた全長 35 cm のカジメ



図 3 穴あきが進行して枯死したカジメ

図 2 のカジメの培養を継続したところ、茎状部のみとなり枯死した

結 果

試験期間中の培養水の水温は13.9℃から17.0℃の間で変動し、平均水温は15.5℃であった。塩分は34.2‰から34.8‰で安定し、平均34.6‰であった（図4）。

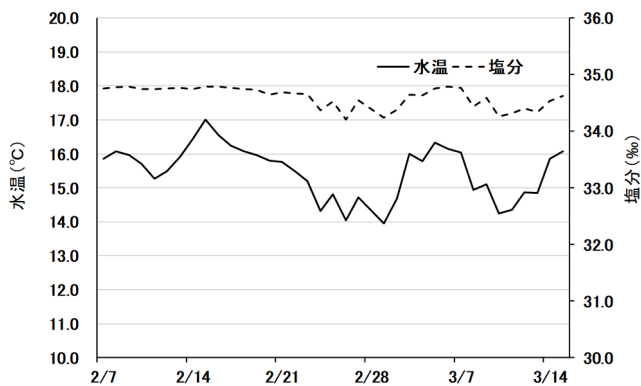


図4 試験期間の水温と塩分

試験1（表1）においては、開始時に葉長の平均値が対照区では9.0cm、Fe区では9.1cmで両者に差は無かったが、試験終了時には対照区が8.7cmであったのに対し、Fe区では10.5cmとなり大きく生長したことが確認された（ $p < 0.05$ ）。一方、葉状部に占める穴あきの割合の平均値は、開始時に対照区、Fe区でそれぞれ2.9%、2.7%と差は無かったが、終了時には対照区が7.0%であったのに対し、Fe区では0.1%と低かった

（ $p < 0.01$ ）。葉状部の面積の平均値も、開始時の対照区、Fe区はそれぞれ15.0cm²、15.4cm²で差は無く、終了時では対照区が26.9cm²に対し、Fe区は38.1cm²と大きかった（ $p < 0.01$ ）。試験終了時の穴あき個体の出現率は、対照区で90.0%、Fe区で76.7%とFe区の方が低かった。カジメの総重量は終了時に対照区では330gとなり、実験開始時の1.65倍になったが、Fe区では426gと2.13倍となり、より大きく生育した。

表1 試験1 100L水槽における培養結果

		開始時		終了時	
		平均±標準誤差	p	平均±標準誤差	p
葉長	対照区	9.0±0.56cm	0.549	8.7±0.48cm	0.032 *
	Fe区	9.1±0.49cm		10.5±0.50cm	
穴あきの割合	対照区	2.9±0.65%	0.411	7.0±1.48%	0.001 **
	Fe区	2.7±0.66%		0.1±0.05%	
葉状部の面積	対照区	15.0±1.73cm ²	0.374	26.9±1.96cm ²	0.002 **
	Fe区	15.4±4.48cm ²		38.1±2.89cm ²	

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

試験2（表2）において開始時に葉長の平均値が対照区では13.5cm、Fe区では14.0cmで両者に差は無かつ

たが、試験終了時には対照区が13.3cmであったのに対し、Fe区では16.9cmとなり大きく生長したことが確認された（ $p < 0.05$ ）。一方、葉状部に占める穴あきの割合の平均値は、開始時に対照区、Fe区でそれぞれ1.2%、1.1%と差は無かったが、終了時には対照区が6.6%であったのに対し、Fe区では2.3%と低かった

（ $p < 0.05$ ）。葉状部の面積の平均値も、開始時の対照区、Fe区はそれぞれ25.8cm²、27.4cm²で差は無く、終了時では対照区が40.3cm²で穴あきが進行したのに対し（図5-1）、Fe区は85.1cm²と大きく生長し（ $p < 0.01$ ）、側葉が発達した個体が多く認められた（図5-2）。試験終了時の穴あき個体の出現率は、対照区で100%、Fe区で96.7%と顕著な差みられなかった。カジメの総重量は終了時に対照区では666g、実験開始時の1.52倍となったが、Fe区では1,088gで2.49倍とFe区の方が生長は良好であった。

表2 試験2 500L水槽における培養結果

		開始時		終了時	
		平均±標準誤差	p	平均±標準誤差	p
葉長	対照区	13.5±0.57cm	0.836	13.3±0.55cm	0.014 *
	Fe区	14.0±0.74cm		16.9±0.88cm	
穴あきの割合	対照区	1.2±0.28%	0.660	6.6±0.88%	0.019 *
	Fe区	1.1±0.26%		2.3±0.35%	
葉状部の面積	対照区	25.8±1.54cm ²	0.511	40.3±2.85cm ²	0.001 **
	Fe区	27.4±1.70cm ²		85.1±3.88cm ²	

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$



図5-1



図5-2

試験2：終了時の対照区 試験2：終了時のFe区
対照区は穴あきが進行した。一方、Fe区では穴は小さく、側葉が発達していた

考 察

本研究では100Lパンライト水槽で実施した試験1で鉄イオン溶出体を用いることで、葉状部の穴あきの低減とカジメの生長が優れる結果が得られ、500L水槽で実施した試験2においてもその結果が再現された。

本研究ではFe区と対照区の溶存性鉄濃度を測定していないため、水槽間の差は明らかではない。これまでの研究で海水の溶存性鉄の濃度は、オホーツク海沿岸では2.4~2.6nM¹⁸⁾、藻場である大分県名護屋湾では5~84nM¹⁹⁾である。これらの値を本研究で用いたろ過海水の濃度の範囲と見なすと鉄イオン溶出体1個から98ppm (1.75×10^6 nM)¹⁴⁾の溶存性鉄が溶出することが期待できるので、Fe区のカジメに対し、対照区よりも顕著に高濃度の溶存性鉄が供給されていたものと考えられた。

湿重量1,159gのカジメを2t水槽に収容(湿重量289.8g/0.5t水槽)してかけ流し(7回転/日)で静置培養すると生長が停滞した事例¹⁹⁾があるが、本研究の試験2ではこれを超える収容密度で437gのカジメを0.5t水槽で培養したが、Fe区では実験開始時の2.49倍の1,088gとなり生長は良好であった。

このことは本研究において浮遊培養法を用いたことにより、静置培養法で生じる種苗の過密化を回避して種苗の減耗を大幅に減らせる効果²⁰⁾、溶存性鉄の供給による海藻の生長促進効果²¹⁾のほか、鉄イオン溶出体を粉砕し、水に触れる表面積が増加したことで溶出が促進した効果も現れたものと推察された。

現在、当センターのカジメの浮遊培養では、鉄イオン溶出体を用いることにより、穴あきでカジメが枯死する問題は解決し、この培養下でカジメが成熟することを確認している¹⁾。しかし、海藻が必要とする鉄の濃度は未解明であるので¹⁰⁾、今後、カジメの種苗生産の効率化を進めていくうえでは、鉄イオン溶出体の適切な添加量の検討が必要であろう。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、カジメの浮遊培養では当センター資源管理課の渡辺芳幸様、小師佳子様に変お世話になりました。ここに深く御礼申し上げます。神奈川県環境農政局農水産部水産課の小川砂郎水産振興担当課長と神奈川県水産技術センター内水面試験場の井塚隆場長には有益な助言と本稿の校閲をいただき、感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) 木下淳司, 蓑宮 敦, 相川英明, 春山出穂 (2024) : 早熟性カジメ由来人工種苗の1年目成熟率, 水産工学, **60**, 125-130.
- 2) 京都府 (2004) : 褐藻類幼体の剥離攪拌法による培養養成法, 特開 2004-187574.
- 3) 神奈川県水産技術センター (2024) : 令和5年度神奈川県水産技術センター業務報告, 28.
- 4) 木村喬久, 絵面良男, 田島研一 (1976) : 気仙沼湾におけるワカメあなあき症ならびにワカメ養殖環境の微生物学的検討, 東北区水産研究所研究報告, **36**, 57-65.
- 5) 今井 彩乃 (2012) : 藻類着床具の開発とアラメ・カジメ着生実験, 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科修士学位論文, **66**, 1-90.
- 6) 北辻政文 (2021) : 漁礁ブロックを用いた藻場再生の取組み, 農業農村工学会誌, **89**, 861-864.
- 7) 酒井裕司, 仲村芳徳, 長本英俊, 堀家茂一 (2010) : 海藻の光合成に及ぼす溶存鉄の効果の検討, 化学工学会第42回秋季大会研究発表講演要旨集, 191.
- 8) 仲村 芳徳, 酒井 裕司, 長本 英俊, 定方 正毅 (2009) 鉄形態別における海藻光合成速度に及ぼす影響の評価, 化学工学会第74年会研究発表講演要旨集, 534.
- 9) 植木知佳, 村上 明男, 加藤 敏朗, 嵯峨 直恆, 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.
- 10) 綿貫啓, 中嶋泰, 渡退耕平, 安藤亘, 井本有治, 西崎孝之, 中井壮洋 (2015) : 藻場における溶存態鉄の濃度, 2015 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 91-92.
- 11) 劉 丹, 山本 光夫 (2014) : 製鋼スラグと腐植物質を利用した藻場再生技術における鉄溶出の温度依存性と有機物の添加効果, 鉄と鋼, **100**, 1043-1047.
- 12) 加藤敏朗, 木曾英滋, 中川雅夫, 川西秀明, 渋谷正信, 山際 優, 植木知佳 (2009) : 鉄分供給ユニットによる藻場造成技術の検討, 日本水産工学会 学術講演会 講演論文集, 25-28.
- 13) 杉本幹生 (2013) : 鉄イオン溶出体, 特許公報 (B2), 特許第5258171号.
- 14) 佐々木剛, 杉本幹生 (2013) : 鉄イオン溶出体によるヘドロ底泥中の揮発性硫黄化合物除去, 自然環境復元研究, **6**, 17-21.
- 15) 畑中佐知子 (2021) : 二価鉄イオンの水域環境に対する効果, 豊かな海, **53**, 43-48.

- 16) 鈴木裕也 (2013) : 褐藻カジメ属 2 種カジメ, クロメの高温耐性, 三重大学大学院修士論文, 1-27.
- 17) 山本一清 (2008) : LIA for Win32 (LIA32), 名古屋大学大学院生命農学研究科 生物圏資源学専攻 資源生産生態学講座 : <https://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html> (2025. 1. 21 取得)
- 18) 工藤 勲, フローラン アヤ, 高田 兵衛, 小林 直人 (2011) : オホーツク海沿岸域の海洋構造と生物生産, 沿岸海洋研究, **49**, 13-21.
- 19) 阿部祐子, 荻田淑彦, 森山貴光, 内村真之 (2004) : 海洋深層水がカジメ (*Eckloniacava*) の生長に与える影響について, 高知県海洋深層水研究所報, **6**, 63-70.
- 20) 道家章生 (2006) : 褐藻類幼体の剥離攪拌法による培養養成法, 特許公報第 3769535 号, 日本国特許庁, 1-11.
- 21) 加藤敏朗, 小杉知佳, 木曾英滋, 鳥井孝一 (2014) : 転炉系製鋼スラグ資材を用いた海域藻場造成技術の開発, 新日鉄住金技報, **399**, 79-84.