

海洋深層水を用いたスジアオノリの安定生産に向けた 陸上養殖条件の最適化に関する研究

Study on Optimization of Land-Based Aquaculture Conditions for Stable Production of *Ulva prolifera* Using Deep Seawater

秋田もなみ・阿部祐子^{*}・竹田匠輝^{*}・伊吹哲・堀田敏弘・山本浩
(^{*}高知県工業技術センター)

要旨

スジアオノリはその芳香と機能性から注目されるが、天然環境に依存するため季節変動や天候により生産の安定性が課題である。本研究は海洋深層水を利用した陸上養殖により、スジアオノリの安定生産を目指し、硫酸ナトリウムの添加や光質の最適化、また UV カットによる成長促進効果を検討し、さらに加工処理による官能特性の変化を検証した。硫酸 Na 添加は初期凝集と生長促進に寄与し、黄色・桃色 LED 光が生長を促進、また UV カットによる紫外線ストレス軽減が成長向上に有効であることを示した。乾燥処理ではフリーズドライがコスト的な課題があるものの香気と色調保持に最も優れることを明らかにした。これらの結果は効率的な生産技術体系の構築に向けた一助となると考えられる。

1. はじめに

スジアオノリはその高い栄養価と機能性から、食品および健康素材としての需要が拡大しているが、天然環境に依存した生産は季節変動や天候変化により安定性を欠く課題がある（團 (2015)、平岡 (2020)）。特に、温度や光、塩分濃度の季節間差や異常気象が生育不良や成長停滞を引き起こすことが指摘されている（團 (2015)）。

一方で、海洋深層水には豊富な無機栄養塩類が含まれており、この特性を活用した陸上養殖は、生育環境の制御精度向上および生産の安定性確保に寄与すると期待されている (Hiraoka (2004)、Oka et al. 2004)。しかしながら、これまで温度以外の複合的環境要因を体系的に解明し、養殖条件に反映させた包括的な研究は限られている。

本研究は、海洋深層水の物理・化学特性を活かして海藻の成長を促進し、かつ成長期の異常ストレスを低減しつつ、付加価値の高いスジアオノリ製品を安定的に生産するために必要な陸上養殖の条件最適化を目指すものである。特に、

硫酸ナトリウムの添加効果、光質の影響、さらに加工処理による官能特性の差異を明確化し、効率的かつ実用的な生産技術体系の構築を狙う。

2. 方法

2.1 硫酸 Mg/Na 添加による初期培養試験

市販の海洋深層水に硼酸 Mg および硼酸 Na を無添加、2 倍、5 倍濃度で添加し、スジアオノリの凝集体形成と生育を比較した。条件は、20°C前後で維持し、掛け流し養殖の移行前初期培養段階において 3 サンプル/条件で実施。培養期間中は凝集体の大きさを顕微鏡下で観察し、デジタル画像解析によりサイズ分布を定量化した。

2.2 光質および光量の影響評価

LED 光源として昼白色、白色、黄色および桃色の 4 種類を用い、LED のスペクトルと照度 (Lux) を統一条件に設定し、14 日間にわたり生長量を測定した (図 1)。生長量は乾燥重量の増加として評価し、各条件で 3 回の繰り返し試

験を実施した。

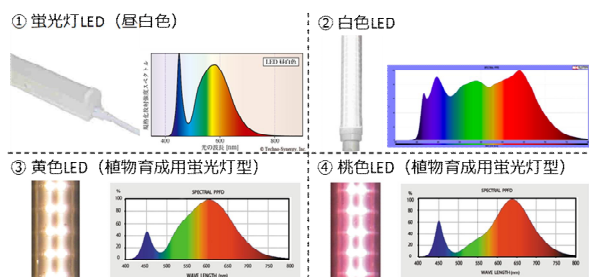


図1 試験で使用した4種類の光質（波長帯）

2.3 掛け流し養殖試験におけるUV管理

陸上養殖用の掛け流し槽内で、100 mL/minの水流を24時間循環させる循環系を構築。UVカットフィルターを設置した区と無設置区で生長および最終藻体乾燥重量を比較した。期間は2023年7月から2024年1月まで実験を継続し、紫外線の影響を複数回の試験期間にわたり追跡した。

2.4 乾燥処理および官能評価

収穫した藻体を冷風乾燥およびフリーズドライ（FD）処理にかけた。官能評価では専門パネルを用い、香り・色調・味わい・分散性に関するスコアリングを実施した。評価項目は5段階評価（1:非常に弱い、5:非常に強い）を基にし、意見も併記した。

3. 結果

3.1 硫酸 Mg/Na 添加の効果

試験結果では、硫酸 Na を添加した区で初期培養におけるスジアオノリの凝集体の平均サイズおよび生長率が有意に高くなった。写真撮影による凝集体群の画像では、硫酸 Na 添加区に大きな凝集体が多数形成された一方、硫酸 Mg 添加区は無添加区と差異が少なかった（図2）。養殖槽に移行後も硫酸 Na 添加区での藻体重の増加が顕著であった（図3）。

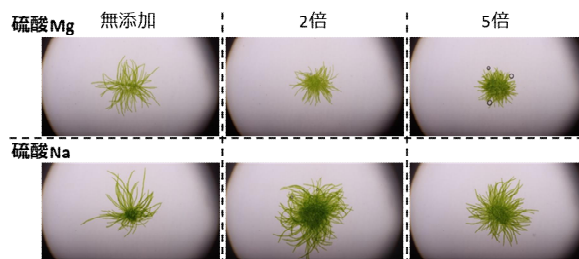


図2 初期培養時の各試験区における藻体集塊の顕微鏡図

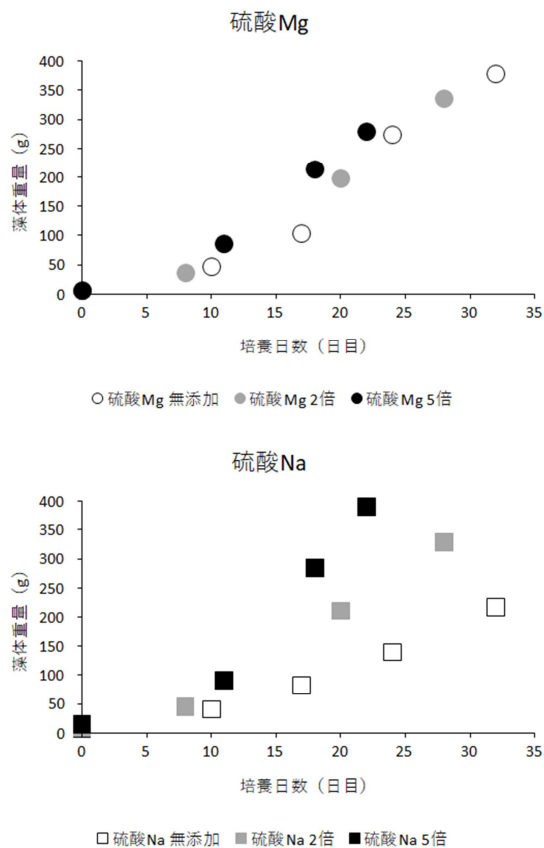


図3 掛け流し培養移行後の各試験区における藻体重量の変化

3.2 光質による生長促進効果

LED光源別の生長評価では、黄色LEDおよび桃色LEDの条件でそれぞれ日間生長率が43.09%、45.11%と最も高い値を示し、昼白色（28.04%）や白色LED（26.82%）よりも初期培養時における生長促進効果が高いことが確認された（表1）。また掛け流し培養移行後の成長率も高くなる傾向があった（図4）。

表 1 培養 14 日以内における日間生長量および日間相対成長率。

	日間生長量 (g)	日間生長率 (%)
① 蛍光灯LED	4.83	28.04
② 白色LED	2.85	26.82
③ 黄色LED	7.14	43.09
④ 桃色LED	8.90	45.11
(既報参考*) 蛍光灯	-	27.08
(既報参考*) 青色LED	-	26.11
(既報参考*) 赤色LED	-	24.20

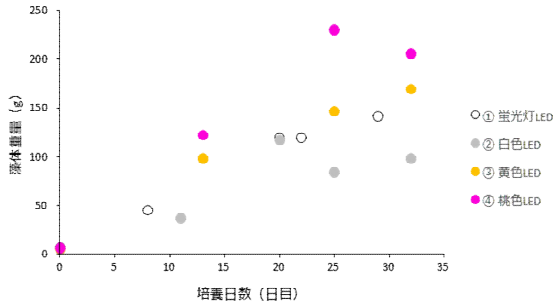


図 4 掛け流し培養移行後の各試験区における藻体重量変化。

3.3 陸上掛け流し養殖における UV カットの効果

UV フィルター設置区では藻体の最終乾燥量が明確に増加し、紫外線ストレスが成長を阻害していたことが示された (表 1)。スタート重量の減少を抑え、正常な生長が持続的に維持された。なお、無遮蔽区では褐変や生育障害の傾向も観察された。

表 2 UV 有りおよび無し区における藻体重量のまとめ

試験期間	スタート時重量 (g)	UV有り最終重量 (g)	UV無し最終重量 (g)
2023年7~8月	300	1,390	3,180
2023年9~10月	300	6,300	14,000
2023年12~2024年1月	200	5,090	4,520

3.4 乾燥処理ごとの官能評価

FD 処理した製品は香り・色調の均一性が高く、吸い込み時の香気の持続性も優れていた。冷風乾燥品は香りが薄く、吸い込み後の風味低下が指摘された (図 5)。また液体への分散も、FD 藻体が冷風乾燥藻体より早く、均一に分散した (図 6)。

結果	分散性	色	香り	味	黒ノリに近い香り	
					見た目	お吸い物の香り
①	3	3	1	2	2	少しある
②	3	3	2	2	2	ほとんどしない
③	1	3	3	2	1	全くしない

図 5 官能評価の結果。①はスジアオノリの抽出液を FD 後に粉末化し、FD ブロックと共に密封した物、②は冷風乾燥板ノリを粉末化し、FD ブロックと共に密封した物、③は通常の冷風乾燥板ノリ



図 6 冷風乾燥藻体 (左) および FD 藻体 (右) の湯中への分散の様子。

4. 考察

硫酸ナトリウムの適切な添加は、スジアオノリの初期凝集体形成を促進し、それに伴い掛け流し養殖段階での成長促進にも寄与することが示された。これは硫酸が細胞壁の形成や光合成物質の合成に重要な役割を担うことや、細胞附着性の強化に関連している可能性が示唆された。硫酸マグネシウムの効果が限定的であったのは、濃度依存性の閾値が異なるためと考えられ、今後濃度レンジや他の向き栄養塩との相互作用検証が必要とされる。

また光の波長依存性は、黄色・桃色 LED の光合成活性促進効果が高いことを示し、養殖照明の設計に際してはこれらの波長帯を中心に据えた選択が効率生産に資する。特に β -カロテンなど光合成付随色素の合成促進という生理的裏付けが考えられる。

さらに UV カットフィルターの有効性は紫外線による成長阻害やストレス軽減への直接的効果を示し、遮光技術の本格的導入が陸上養殖品質向上の鍵となる。水流循環も生産環境の均一化と物質循環の促進に貢献し、高密度養殖での持続可能性を高めると考えられる。

本研究ではスジアオノリ水揚げ後の加工法に

についても検討した。乾燥処理に関しては、FD 処理が製品香気や色調の保持に優れる一方でコスト・時間の高さが課題となる。冷風乾燥は効率的だが香気成分の喪失があるため、双方の長所を生かしたハイブリッド技術の開発や、香りを補填する工程の開発が望ましいと考えられる。

5. 引用文献

・ Oka, N., M. Hiraoka and T. Nishijima. The Japanese Journal of Phycology 52 (Supplement) 2004 年, Growth of abalone fed on *Undaria pinnatifida* (Alariaceae, Phaeophyceae) cultivated as free living form "germling cluster" in deep seawater.

・ 團 昭紀. 徳島水研報第 10 号 Bull. Tokushima. Pref. Fish. Res. Ins. No. 10, 15-24 (2015). アオノリ類の生理, 生態から見た養殖技術の検証 (総説)

・ Hiraoka, M., M. Ohno, A. Dan and N. Oka (2004) Utilization of deep seawater for the mariculture of seaweeds in Japan. Japan. J. Phycol., 52 (Supplement), 215-219.

・ 平岡 雅規. 海の環境 NPO 法人 OWS. Ebuheb Vol.77.(2020). 食卓から青海苔が消える? 海水温変動とスジアオノリの成長の関係