

高水温がノリの色落ちに及ぼす影響の定量的解析 ～色落ち指標を用いた室内培養実験による検証～

広島県立広島国泰寺高等学校 井上修佑 打明 直篤 中田 築希

1. 背景と目的

広島県福山市は年間約1億枚を生産する県下最大のノリ養殖地近年、ノリ葉体の色素（アロフィコシアニンなど）の減少により、ノリが黒色から黄色等に変色する「ノリの色落ち」が発生し、品質低下と価格低迷を招く要因となっている。この現象は瀬戸内海にとどまらず全国の養殖地で報告されており、ノリ養殖業において深刻な問題となっている。



※左：国立開発研究法人水産研究教育機構 阿部氏 右：三重県水産研究所 岩出氏提供

【従来】ノリの色落ちが引き起こされる要因
・栄養塩類（特に窒素やリン）の不足
・栄養塩類をめぐる植物プランクトンとの競合

【先行研究（尾田 2000）】栄養塩類や植物プランクトンの量に大きな変化がないにもかかわらずノリの色落ちが発生する事例の報告

色落ち発生年に『高水温』と『長日照時間』が記録されたことに着目【提示されていた仮説】
これらが要因となり、葉状体で生育する冬場にノリが過剰成長し、結果として栄養を多く消費し色落ちにつながったのではないかと？

しかし、この仮説を裏付ける実験的かつ定量的データは不足している
★「水温」のみに着目し「高水温がノリの色落ちを加速させる」という仮説を室内実験で検証
★ 3種類の色落ち指標を用いて評価

2. 方法

試料 試料は国産板海苔の原料であるスサビノリ（Neopyropia yezoensis）U-51株を使用。

(a) 馴致培養
・ノリの培養液(1/2改変SWM-III)の調整
地先海水1LにNaNO₃、Na₂HPO₄、Na₂EDTA、FeCl₃、PI-metal各1mLを溶解。これをノリの培養液(1/2改変SWM-III)とした。この培養液にスサビノリ90株を入れ、インキュベーターで培養。

温度	18℃
光量	枝付きフラスコの底に3500ルクス当たるよう配置。11時間連続照射。
通気量	1分間にスサビノリが約26回転
期間	7日間
株数	90株

(b) 本培養
馴致培養済の約90株から無作為に20株を選別し、2つの枝付きフラスコに10株ずつ分けた。各フラスコを条件①と条件②とおきインキュベーターで培養。

条件Iは有明海の冬場の平均水温である12℃に、条件IIは先行研究で色落ちが報告された条件に近い18℃に初期設定。培養期間中、自然環境下での水温の推移を再現するため、段階的に0.5℃ずつ温度を低下させ、14日間で合計2℃の低下となるよう設定。

	条件 I	条件 II
温度	12℃(1日目) 10℃(14日目)	18℃(1日目) 16℃(14日目)
光量	枝付きフラスコの底に3500ルクス当たるよう配置。11時間連続照射。 (光源：付属蛍光灯)	
通気量	1分間にスサビノリが約26回転	
期間	14日間	
株数	10株ずつ	

検証方法

① 色調評価

本培養を行った条件Iと条件IIの各10株について、色見本票を用いたブライントテストを行い、その結果を数値化して色調変化を比較。



② 原形質萎縮率評価

本培養を行った条件Iと条件IIの各10株から無作為に5株を選定し、葉体先端部を切り取り光学顕微鏡で細胞を観察。画像解析ソフトウェアを用いて細胞の大きさに占める原形質の占有率(原形質萎縮率)を算出し比較。

③ 分光光度計評価

本培養した条件Iと条件IIの各10株の葉の切片を乾燥後、リン酸緩衝液(0.05 mol/L, pH 6.4) 1 mLを添加し、乳鉢ですり潰した。これを2日静置して、色素抽出液を得た。遠心分離して上清の吸光度を測定し、ノリの色落ちの指標となるアロフィコシアニン、フィコシアニン、フィコエリスリンの含有量を定量し、色素濃度を算出した。色素濃度算出方法は、簡易定量法(平田 1978)を用いた。

$$\begin{aligned} 63.5x + 2.5y + 0.48z &= \varepsilon_1 \\ 45.0x + 65.0y + 1.45z &= \varepsilon_2 \\ 17.2x + 30.6y + 81.5z &= \varepsilon_3 \end{aligned}$$

x:アロフィコシアニン, y:フィコシアニン, z:フィコエリスリン
 ε_1 :650nmにおける吸光度
※ 63.5, 2.5, 0.48は650nmにおける各成分の吸光係数($\varepsilon_{\lambda}^{25}$)
 ε_2 :615nmにおける吸光度
※ 45.0, 65.0, 1.45は615nmにおける各成分の吸光係数($\varepsilon_{\lambda}^{25}$)
 ε_3 :563nmにおける吸光度
※ 17.2, 30.6, 81.5は563nmにおける各成分の吸光係数($\varepsilon_{\lambda}^{25}$)

3. 結果と考察

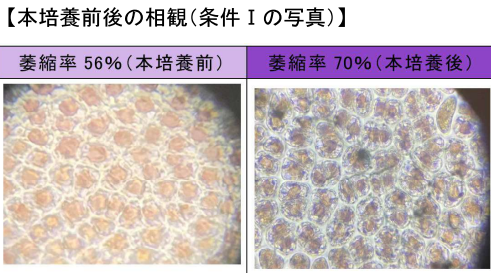
① 色調評価



	条件 I (低温条件)	条件 II (高温条件)
色相	2.777... (以下循環小数)	2.6
明度	L	LとMの間 (Jを1Nを5とすると3.2)

低温条件と高温条件のどちらもU-51株の色調とされている2-Mから大きく外れておらず色落ちの差は見られなかった

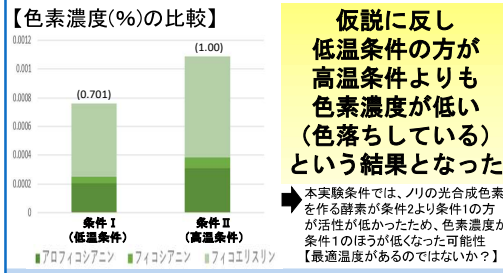
② 原形質萎縮率評価



	条件 I (低温条件)	条件 II (高温条件)
本培養前		
原形質萎縮率	56.58(%)	56.58(%)
本培養後		
原形質萎縮率	70.68(%)	70.18(%)

培養後の萎縮率は高温条件と低温条件でほぼ同じ(0.5%の差)色落ちの差は見られなかった

③ 分光光度計評価



仮説に反し低温条件の方が高温条件よりも色素濃度が低い(色落ちしている)という結果となった
本実験条件では、ノリの光合成色素を作る酵素が条件2より条件1の方が活性が低かったため、色素濃度が条件1のほうが低くなった可能性【最適温度があるのではないかと?】

4. 結論

- ① 色調評価
 - ② 原形質萎縮率評価
 - ③ 分光光度計評価
- 高温条件と低温条件の間でノリの色落ちの度合いに差は見られなかった
低温条件の方が高温条件よりもノリの色落ちが見られた

分光光度計で確認された倍の濃度差は原形質萎縮率の0.5%に相当すると考えられる

【新たにわかったこと】
今回の実験条件では、低温条件(12℃⇒10℃)の方が高温条件(18℃⇒16℃)よりも色落ちする傾向がある。

本実験からは「高水温がノリの色落ちを加速させる」という結果は得られなかった。

先行研究で指摘された色落ちの原因は「高水温の単独条件」ではなく「長日照の単独条件」や「両方の条件が揃った場合」に引き起こされている可能性も考えられる

5. 今後の展望と課題

今後は、今回の実験で設定した水温よりも高温条件(例:24℃)や低温条件(例:6℃)などでも実験を行い、ノリの光合成色素合成において最適温度があるのかについて検証していきたい。また、水温に関係なく培養前後で萎縮率に差が見られた理由についても詳細な調査を行いたい。さらに、今回の実験結果の再現性を確かめていくとともに、先行研究で指摘されている色落ちの要因である「高水温」と「長日照時間」の条件を再現できるように実験系を工夫して、その相関を調査したい。

参考文献 [1]尾田成孝(2000)「1988年度冷凍生産期に発生した養殖ノリの特微的な色落ちと環境条件」福岡県水産海洋技術センター研究報告 [2]小池美紀(2013)「溶存糖無機リン欠乏がスサビノリ(Neopyropia yezoensis)に及ぼす影響」福岡県水産海洋技術センター研究報告 [3]熊本大学くまもと水循環減災研究センターHP「海藻行着細菌による環境モニタリング」https://cwmd.kumamoto.ac.jp/shiminkouza/shiminkouza_h23/takioh [4]尾形英二(1970)「新しい海藻培養液SWM-IIIについて」薬類第18巻第3号 [5]独立行政法人水産総合研究センター(2014)「アマノリ養殖品種の特性」[6]平田孝(1978)「海苔フィコビル色素の簡易定量法」日本食品工業学会誌 第25巻 第10号 [7]久野勝利(2019)「養殖ノリにおける色落ちレベルと原形質萎縮との関係」佐賀県有明水産振興センター第29号