

溶存態無機リン欠乏がスサビノリ (*Pyropia yezoensis*) に及ぼす影響

小池 美紀¹・瀧上 哲²
(¹研究部・²有明海研究所)

近年、福岡湾内においてノリ養殖期間中のDIP(溶存態無機リン)不足が深刻である。DIP欠乏によると思われる色落ちが毎年発生しているが、ノリ養殖とDIPの関係についてはこれまでほとんど知見がない。そこで、DIP欠乏がノリ養殖に与える影響について基礎的知見を得ることを目的とし、室内培養によるDIP欠乏試験を行った。

その結果、成葉期で色調が低下すること、育苗期、成葉期ともに生長が鈍化し細胞が委縮すること、その後の回復試験では細胞が異形化することなど、DIP欠乏の影響が確認された。さらに、DIN(溶存態無機窒素)欠乏との比較試験で、DIP欠乏がDIN欠乏に比べ色落ち速度が遅いことから、早期摘採を促すのではなく、漁場の栄養塩状況により判断するのが適当と考えられた。

キーワード：ノリ、DIP欠乏、色落ち

福岡湾は福岡市に面した都市化の進んだ半閉鎖的の海域である。福岡市内に存在する河川の大部分が福岡湾に流入しており、栄養塩が豊富なことから従来よりノリ養殖が盛んに行われてきた。現在では、湾奥西部海域の室見川河口部を中心に、浮き流し式のノリ養殖が行われており、当漁場において生産されたノリ製品は、固定客がつくなど一定の評価を受け、冬季の重要漁業となっている。しかし、2006年にリン不足が原因と思われる葉状体の色落ちが発生し、その後、縮れやねじれ等の生育異常が起き、生産量・生産額共に大きな影響を受けた。¹⁾それ以降、毎年のようにリン不足が原因と思われる色落ち等の問題が発生しており、対応策が急務となっている。²⁾

ノリ養殖において、生産の行方を決める育苗期(殻孢子期、幼芽期)の健苗育成は最も重要な課題である。また、成葉期の色落ちはノリ製品の品質に大きく影響することから、品質の良いノリを生産する上で、漁期を通して栄養塩の安定供給は必須である。しかし、近年当漁場において漁期を通して、経験的にノリ養殖の溶存態無機リン(以下DIPと略す)下限値と言われている $0.4 \mu\text{mol/L}$ を下回ることが多々あり、検出限界値の $0.02 \mu\text{mol/L}$ になることもある。

一方で、ノリへの栄養塩欠乏による影響に関する報告はDIN欠乏では本県有明海区³⁾、さらに兵庫県⁴⁾や佐賀県⁵⁾等に多くの報告がある。しかし、DIP欠乏による影響については石井ら⁶⁾の報告があるのみで、DIP欠乏がノリの各成長ステージ(殻孢子期、幼芽期、成葉期)にどのような影響を与えるか詳しい報告はない。

これらのことから、ノリの各ステージにおけるDIP欠乏の影響を明らかにするため、室内培養試験を行い、生長や細胞の状況を比較した。また、栄養塩の違いによる成葉期への影響を比較するために、溶存態無機窒素(以下DINと記述する)欠乏で試験を行った。

材料及び方法

1. 供試した品種

試験には、品種判別等試験時に基準品種とされているアマノリ属のスサビノリ U-51(水産総合研究センター西海区研究所より分与)を用いた。

2. 基本的培養条件及び供試培養液の作製

温度 18°C 、塩分30、照度 $4,000\text{lux}$ 、日長周期11L:13D、通気量約30回転/分の条件とし、栄養強化人工海水(人工海水パーフェクトマリン+栄養剤ESS₂⁷⁾)を用いた(以下、基本的培養条件と略す)。栄養強化人工海水中のDIP源は、グリセロリン酸ナトリウムで、DIN源は硝酸アンモニウムであり、規定量添加することで、培養液中の総DIP濃度は $40 \mu\text{mol/L}$ 、総DIN濃度は約 $650 \mu\text{mol/L}$ になる。今回、試験に用いる培養液は、対照区となる基本的培養条件の培養液と、試験区として用いるDIP欠乏培養液、異なるDIP濃度の培養液、DIN欠乏培養液の3種類である。培養液の作製時に基本的培養条件からグリセロリン酸ナトリウムを除くことで、DIP濃度 $0 \mu\text{mol/L}$ の培養液を作製し、DIP欠乏培養液を作製

した。さらに、このDIP欠乏培養液に適宜、グリセロリン酸ナトリウムを加え、異なるDIP濃度の培養液を得た。DIN欠乏培養液はDIP欠乏培養液と同様に、基本的培養条件から硝酸ナトリウムを除き、DIN濃度がほぼ $0 \mu\text{mol/L}$ の培養液を作り、DIN欠乏培養液とした。基本的培養条件に用いる人工海水中にあらかじめ $3 \mu\text{mol/L}$ 程度のDINが含まれているため、DINを完全に $0 \mu\text{mol/L}$ に設定できなかった。しかし、対照区の基本的培養条件はDIN濃度を約 $650 \mu\text{mol/L}$ に設定しているため、欠乏培養液として有効であると判断した。

3. 各ステージ（殻胞子期、幼芽期、成葉期）のサンプル作製（前培養）

殻胞子嚢を形成させるため、フリーリビング糸状体を500ml枝付きフラスコで育成した。育成条件は基本的培養条件をもとに、温度 23°C 、照度 1500Lux に設定した。十分量の殻胞子嚢枝を確認後、温度 18°C 、照度 4000Lux に設定し、殻胞子を放出させた。殻胞子放出を確認後、10cmのクレモナ糸をフラスコに入れ、顕微鏡100倍（視野直径約 2.2mm ）で糸の中央部の1視野あたりの殻胞子数が平均15個程度になったところで糸を取り出し、これを試験糸とし、各生長ステージまで生長させた。各生長ステージのサンプル作製は以下の通りである。なお、全て基本的培養条件で行った。

（1）殻胞子期

試験糸の一部を、そのまま殻胞子期の試験に用いた。

（2）幼芽期

試験糸を1L枝付きフラスコで5日間培養し、幼芽を作製し試験に用いた。

（3）成葉期

試験糸を500ml枝付きフラスコに入れ培養し、葉状体が約3mm程度に生長したところでクレモナ糸から外し、5L三角フラスコで葉幅が1cm以上になるまで培養した。換水は2日に1回行った。得られた葉状体を試験に用いるために、直径8mmのポンチを用いて葉状体を打ち抜き、大きさと形を揃えた。同一葉状体の異なる部位による生長の違いには有意な差はないと言われているので、⁸⁾ 部位及び個体にかかわらずランダムに打ち抜いた。

4. 各成長ステージにおけるDIP欠乏の影響

前培養の結果から、殻胞子期及び幼芽期の5日間のDIP要求量が $1 \mu\text{mol/L}$ を下回ったため、これらの試験時のDIP十分量を $1 \mu\text{mol/L}$ に設定した。また、成葉期試験時のDIP十分量は $40 \mu\text{mol/L}$ に設定した。

（1）殻胞子期

試験糸3本を500ml枝付きフラスコで、5日間、無換水で培養試験を行った。DIP欠乏（ $0 \mu\text{mol/L}$ ）区を試験区として、DIP十分量（ $1 \mu\text{mol/L}$ ）を対照区とした。試験開始時、3、5日目の完全にクレモナ糸に残っている健全な殻胞子を、励起光を青色光（EX450-490）に設定した落射型蛍光顕微鏡（Nikon ECLIPSE E800）で計数し、試験開始時の健全殻胞子数に対する割合を百分率（生残率）で算出した。健全殻胞子は落射型蛍光顕微鏡で橙色に発光したものとした。

（2）幼芽期

試験糸1本を500ml枝付きフラスコで5日間、無換水で培養試験を行った。培養条件はDIP欠乏（ $0 \mu\text{mol/L}$ ）区を試験区として、DIP十分量（ $1 \mu\text{mol/L}$ ）を対照区とし比較した。試験糸上の幼芽30個体について落射型蛍光顕微鏡で観察し、縮れ、ねじれ、かま形、肥厚などの変形がみられる幼芽や、橙色に発光せず、強く黄色に発光する部位、または発光しない部位を含む幼芽を異常芽とした。これらの個数を計数し、観察個体に対する異常芽の割合を百分率で算出し、これを出現率とした。異常芽の計数は試験開始時、3、5日目に行った。また、生長を確認するため、各試験糸に着生する幼芽30個体の葉長を計測し、平均値で示した。

（3）成葉期

試験用の葉状体1枚を500ml枝付きフラスコに入れたものを4本用意し、試験を行った。試験区は、前培養の結果から、DIP欠乏（ $0 \mu\text{mol/L}$ ）区、DIP濃度 $0.2 \mu\text{mol/L}$ 区、 $0.3 \mu\text{mol/L}$ 区、 $0.4 \mu\text{mol/L}$ 区で、DIP十分量（ $40 \mu\text{mol/L}$ ）を対照区とした。換水は毎日行い、7日間の培養を行った。培養試験開始時、3、5、7日目の葉状体の生長と色調を測定し、その変化を比較した。さらに、落射型蛍光顕微鏡、光学顕微鏡による観察を行った。生長については、葉状体の直径を測定し、平均値を求めた。色調は分光測色計（コニカミノルタ CM-700 d）を用いて測定し、 $L^*a^*b^*$ 表色系で表した。色調の評価は、明度を表す L^* 値を指標とした。 L^* 値による色落ちレベルの評価は、小谷³⁾による有明海漁場における葉状体の色落ち指標を参考に、表1のように評価した。

表1 室内培養における色落ち評価

L^* 値	評価
63.0以上	重度
58.5以上 63.0未満	中度
49.5以上 58.5未満	軽度
49.5未満	正常

5. 各成長ステージにおける DIP 欠乏からの回復試験

DIP欠乏 ($0 \mu\text{mol/L}$) 状態で一定期間培養したノリを、続けてDIP十分量 ($40 \mu\text{mol/L}$) の培養液で培養し、回復試験をおこなった。

(1) 殻胞子期

4-(1) の条件で試験を行った試験糸を、続けてDIP十分量 ($40 \mu\text{mol/L}$) の培養液で回復試験を行った。試験は500ml枝付きフラスコを用い、適宜全量換水しながら25日間行った。試験終了時、試験糸に着生する幼芽30個体の葉長を計測し、平均値で示した。また、落射型蛍光顕微鏡で観察し、縮れ、ねじれ、かま形、肥厚などの変形がみられる幼芽や、橙色に発光せず、強く黄色に発光する部位、または発光しない部位を含む幼芽を異常芽とし、観察個体に対する異常芽の割合を百分率で算出し、これを出現率とした。なお、回復試験はDIP欠乏区 ($0 \mu\text{mol/L}$) のみで行った。

(2) 幼芽期

(1) と同様に4-(2) の条件で行った試験糸を用いた。試験は23日間行った。

(3) 成葉期

4-(3) で試験に用いた葉状体を、続けてDIP十分量 ($40 \mu\text{mol/L}$) の培養液に移した。試験は500ml枝付きフラスコを用い、葉状体を1枚ずつ入れ8日間培養試験を行った。換水は毎日行った。培養試験開始時、3、8日目の葉状体の色調、生長を測定し、変化を比較した。さらに、落射型蛍光顕微鏡、光学顕微鏡で観察した。

6. 成葉期におけるDIP欠乏とDIN欠乏との比較

成葉期におけるDIP欠乏試験と比較するために、DIN欠乏での試験を行った。DIN欠乏ではDIP欠乏に比べ、色調が低下する速度が速いため⁹⁾ 培養試験は5日間で終了した。また、続けて回復試験も行き、5日間行った。試験内容はDIP試験と同様に行った。

結 果

1. DIP欠乏が殻胞子と幼芽に及ぼす影響

(1) 殻胞子期

殻胞子の生残率の推移を図1に示した。DIP欠乏 ($0 \mu\text{mol/L}$) 区では3日目に生残率が30.5%に急激に減少し、5日目に19.7%となった。一方対照区では5日目に68.1%だった。

(2) 幼芽期

幼芽の異常芽率の推移を図2に示した。DIP欠乏 ($0 \mu\text{mol/L}$) 区では3日目で1.3%と開始時からほぼ変わ

らなかったが、5日目には16.0%に増加した。一方、対照区における5日目の異常芽率は3.3%だった。

葉長の推移を図3に示した。3日目、DIP欠乏 ($0 \mu\text{mol/L}$) 区は0.139mmで、対照区は0.279mmだった。5日目はそれぞれ0.268mm、0.542mmで、DIP欠乏 ($0 \mu\text{mol/L}$) 区は対照区の約1/2の生長だった。

4日目の蛍光顕微鏡観察の結果を図版1、2に示した。対照区は橙色に発光しているのに対し、DIP欠乏 ($0 \mu\text{mol/L}$) 区は強く黄色に光っており、細胞が委縮しているのが確認された。さらに、観察視野中に橙色もしく

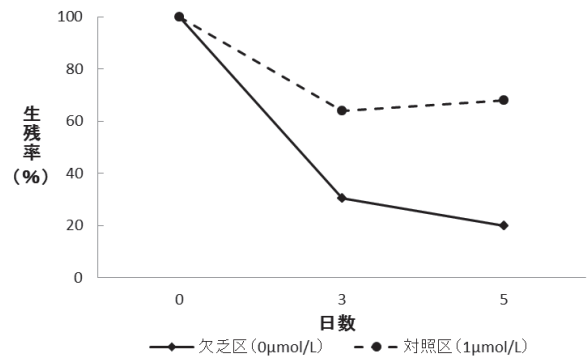


図1 殻胞子の生残率の推移

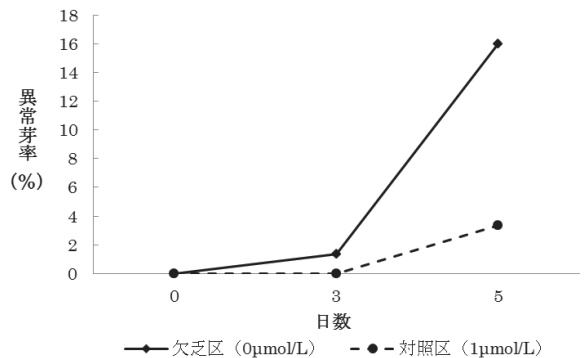


図2 幼芽期における異常芽率の推移

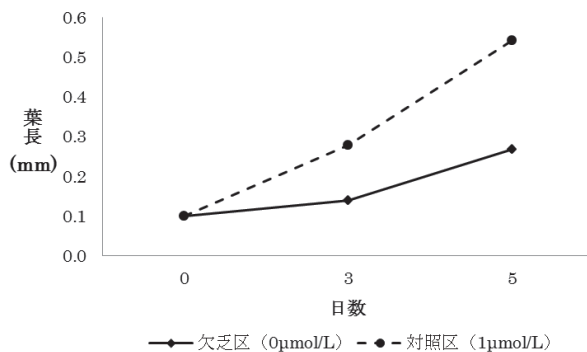


図3 幼芽期における葉長の推移

は黄色に発光しない部分があり、それを光学顕微鏡で観察すると、細胞壁はあるが細胞質を確認できなかったため、死細胞と判断した。

(3) 成葉期

葉状体の色調の推移を図4に示した。試験終了時の試験区のL*値は0.4μmol/L区(L*値53.17), 0.3μmol/L区(53.57), 0.2μmol/L区(59.89), DIP欠乏(0μmol/L区(66.16)の順に高かった。DIP欠乏(0μmol/L区は3日目に、その他の試験区は5日目に色落ち評価が軽度になり、7日目にはDIP欠乏(0μmol/L区が重度、0.2μmol/L区が中度、0.3, 0.4μmol/L区は5日目と変わらず軽度だった。一方対照区は7日間通して色落ち評価は正常であった。このように対照区以外は7日間で色調が低下し、色落ち評価が正常の範囲から外れたが、DIP濃度によって色落ちの進行速度が異なっていた。

生長の推移を図5に示した。生長はDIP欠乏(0μmol/L区で3日目以降確認されなかった。また、葉状体は試験開始時の原形を留めておらず、縁辺部や中央部に切れ目が入り、型崩れがひどかった。(図版3)その他の区は同じように生長し、順調であった。

落射型蛍光顕微鏡での観察結果を図版4に示した。DIP欠乏(0μmol/L区では、強く黄色に発光する部位が確認された。一方、対照区では黄色に発光する部位は観察されず細胞は正常だった。また、対照区以外で細胞の委縮や生殖細胞が確認された。(図版5)

2. DIP欠乏からの回復試験

(1) 殻胞子期

試験終了時のDIP欠乏(0μmol/L区の葉長は0.62cmで、異常芽の割合は96.7%と高い確率で確認された。それらを蛍光顕微鏡で観察すると、細胞は巨大化し不規則に並んでブドウ房状になっていた。

(2) 幼芽期

試験終了時のDIP欠乏(0μmol/L区の葉長は2.43cmで、殻胞子期よりも生長した。異常芽の割合は93.3%と高く、殻胞子期と同様に、細胞は巨大化し不規則に並んでブドウ房状になっているのが確認された。(図版6)

(2) 成葉期

L*値の推移を図6に示した。なお、DIP欠乏(0μmol/L区はDIP欠乏試験で葉状体が原形を留めていなかったため、回復試験で色調と生長の測定を行えなかった。

3日目の色調測定結果から、0.2μmol/L区、0.3μ

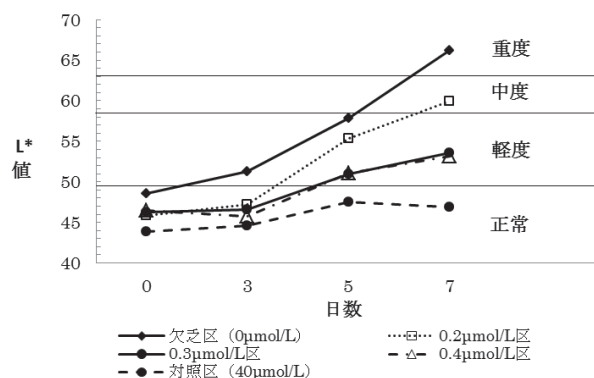


図4 DIP欠乏試験における葉状体の色調推移と色落ち評価

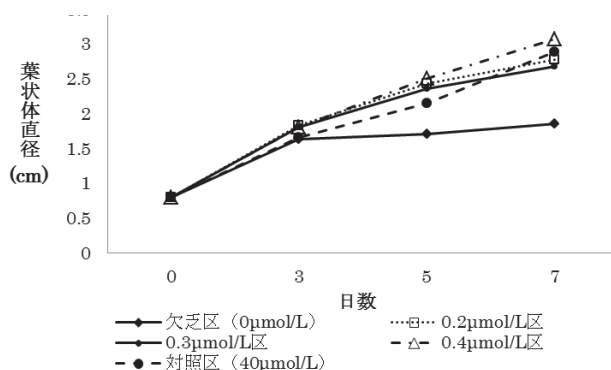


図5 DIP欠乏試験における葉状体の直径の推移

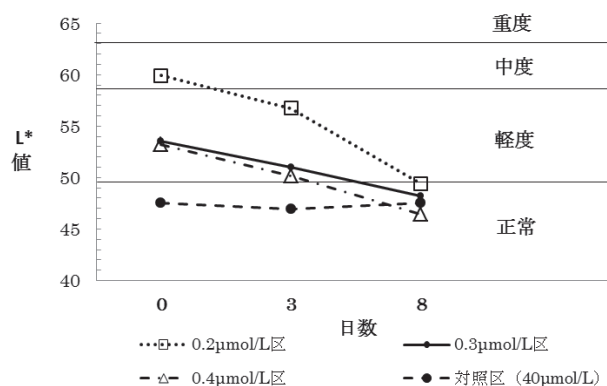


図6 回復試験における葉状体の色調推移と色落ち評価

mol/L区、0.4μmol/L区でL*値の低下が認められたが、色落ちの評価は軽度のままで、8日目に全ての試験区が正常に回復した。また、全ての試験区で生長が確認された。対照区は試験期間中、色落ち評価は正常のままであった。

光学顕微鏡観察の結果、対照区以外の全ての試験区で糸状体や生殖細胞、幼芽が確認された。また、対照区以外の全ての試験区で異形細胞が確認された。(図判7)

3. 成葉期におけるDIP欠乏とDIN欠乏との比較

葉状体の色調の推移を図7に示した。DIN欠乏区は3日目に色落ちの評価が重度(L*値67.68)になった。5日目にはL*値が75を超え、3日目よりさらに色落ちが進んだ。一方、対照区の色調は5日間正常のままであった。3日目の生長は、DIN欠乏区、対照区ともに2.33cmで変わらず、5日目にはDIN欠乏区で2.68cm、対照区は

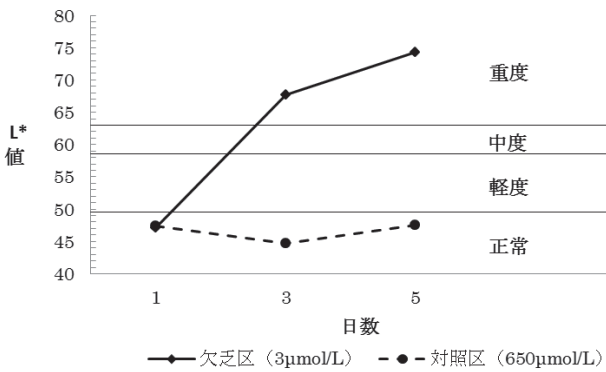


図7 DIN欠乏試験における葉状体の色調推移と色落ち評価

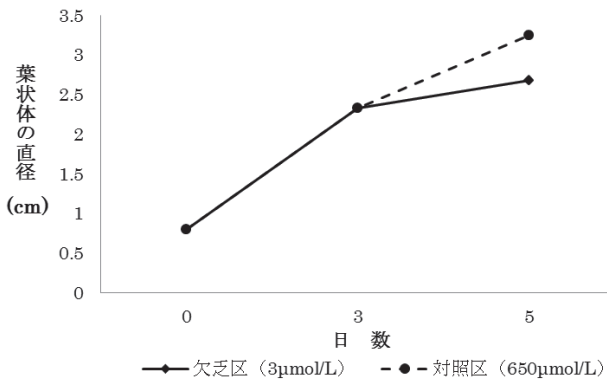


図8 DIN欠乏試験における葉状体の直径の推移

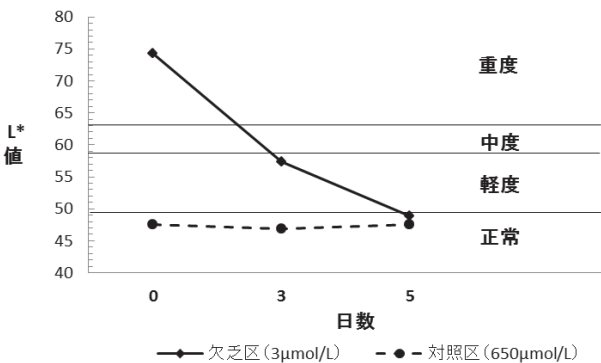


図9 回復試験における葉状体の色調推移と色落ち評価

3.25cmで、差が認められた。(図8, 図判8)

光学顕微鏡観察の結果、DIP欠乏試験同様、DIN欠乏区で細胞の委縮が確認された。また、蛍光顕微鏡観察で、DIP欠乏試験区同様、強く黄色に発光する部位が観察された。

回復試験の色調の推移を図9に示した。3日目に色落ち評価は軽度となり、5日目には色調は回復し、色落ち評価は正常になった。対照区は期間中、正常のままで変化はなかった。

光学顕微鏡観察の結果、DIP欠乏試験区同様、DIN欠乏区で異形細胞が確認され、対照区では異形細胞は確認されなかった。

考 察

今回、DIP欠乏によるノリへの影響について試験を行ったところ、DIP欠乏の影響が認められた。すなわち、欠乏試験で細胞が委縮したり、細胞が壊死していると考えられる部位が観察されることや、回復試験を行うことで異形化した細胞等が確認された。また、その影響の与え方はノリの生長ステージにより異なることがわかった。

殻胞子期、幼芽期ともにDIP欠乏区と対照区で差が認められ、DIP欠乏による影響が確認された。育苗期におけるノリ芽の生長不良や異形化の報告は、千々波ら¹⁰⁾や切田ら¹¹⁾等の報告があるが、DIP不足が要因であると報告されたものはない。前述の通り、育苗期はノリ養殖で重要な時期であることから、さらに、詳細な試験が必要であると考えられる。

成葉期に関しては、全試験区で、色調の低下および生長の鈍化が確認され、育苗期同様に細胞が壊死していると考えられる部位が観察された。さらに、回復試験で糸状体や生殖細胞、幼芽、異形細胞が見られた。

福岡湾の養殖現場では、DIP濃度が $0.4 \mu\text{mol} / \text{L}$ を下回ると色落ちは起こると言われている。今回、 $0.4 \mu\text{mol} / \text{L}$ 区で、欠乏試験5日目に色落ちが確認されたこと、欠乏試験で細胞が委縮し、回復試験で糸状体や生殖細胞等が確認されたことから、 $0.4 \mu\text{mol} / \text{L}$ 以下の状態が長く続くことはノリ葉状体にとって、厳しい環境であると考えられた。一般的にノリは環境変化にともない、形態を変化させることは知られているが、今回の結果もそれと同じことが考えられた。さらに、葉状体の表面に異形細胞が確認されていることから、DIP欠乏により細胞に何らかの影響が出たと推測される。

特徴的だったのが、DIP $0 \mu\text{mol} / \text{L}$ 区で、葉状体の

崩壊が見られたことである。成葉期のDIN欠乏試験でもDIP欠乏の結果と同じように色調の低下と生長の鈍化や、細胞壊死は確認されたが、DIP欠乏区と異なり、葉状体は原形を留めていた。また、回復試験においては、DIP欠乏区で糸状体や生殖細胞等が確認されたのに対し、DIN欠乏では認められなかった。ただし、異形細胞はDIP試験同様に確認されている。このことから、DIP欠乏はDIN欠乏より強い傷害を受けることが推測された。

色落ち速度について、 $0.4 \mu\text{mol/L}$ 区で欠乏試験5日目に色落ちが確認されたこと、回復試験では色調が正常の範囲まで回復するのに8日間要したことから、色落ち速度に対して回復速度が遅いことがわかった。これに対しDIN欠乏試験の結果を比較すると、色落ち速度、回復速度ともにDIP欠乏はDIN欠乏に比べて遅かった。これらの結果から、栄養塩の違いにより葉状体に及ぼす影響に差があることがわかった。

色落ちの原因について、坂口ら¹²⁾がDIN欠乏時の色落ちについて、色調の低下と光合成色素の含有量に非常に強い相関関係が認められた、と報告している。光合成色素であるフィコシアニン、フィコエリスリンはタンパク色素とも呼ばれ、タンパク質から合成されている。タンパク質を構成している窒素が欠乏することにより、これらの光合成色素が合成されず、色落ちがおきるのではないかと考えられる。一方でリンはこれらの光合成色素の成分として含まれない。では、なぜDIP欠乏で色落ちが起きるのか植物を例に考えてみると、細胞を構成する生体分子の中で、リンが合成成分として使われている代表的なものに核酸があり、核酸はタンパク質合成を支配している。また、リンは生体のエネルギー通貨と呼ばれるアデノシン三リン酸（ATP）の成分として必須の元素である。¹³⁾ 今回の試験から、DIP欠乏で培養した葉状体は、DNAからタンパク質を合成する一連の流れが阻害され、タンパク質である光合成色素を合成できなくなったのではないかと推測される。また、DIN欠乏とDIP欠乏で色落ちの発現に差があることについては、DIN欠乏では窒素の不足が光合成色素の合成に瞬時に影響を及ぼし、色調低下するのに対し、DIP欠乏では、ノリが細胞内に保持しているリンを消費し、核酸の機能に影響がでるまでに時間差があるため、DIP欠乏で症状が遅れてくるのではないかと推測される。また、各成長ステージに共通して見られた欠乏試験で細胞が委縮し、回復試験で異形化する現象も、リンが消費され核酸の機能に影響が生じることで起こるのではないかと考えられるが、推測の域をでない。

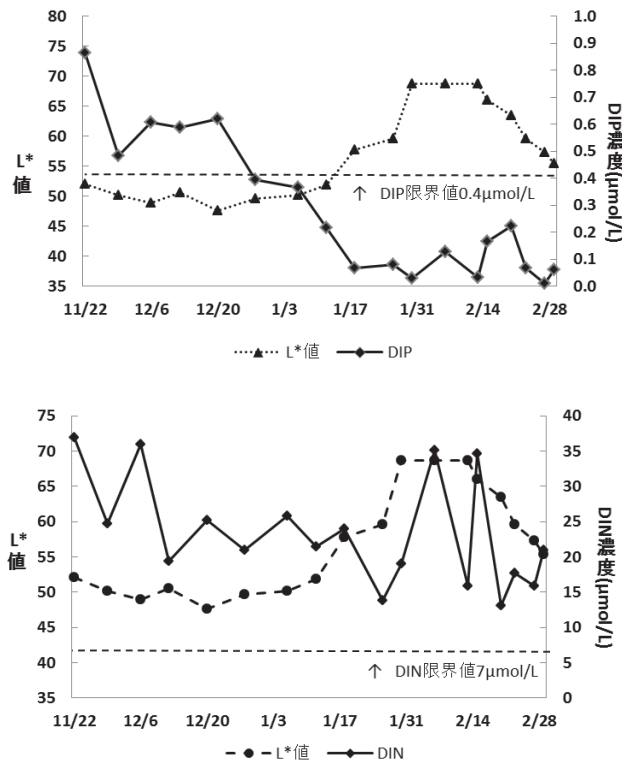


図10 葉状体の色調と栄養塩の関係

成葉期でのDIN欠乏による色落ちは、一般的に知られているが、DIP欠乏による色落ちは大阪湾などの限られた地域のみ報告がある。大阪湾と福岡湾が共通しているのは、都市化に伴う下水処理の高度処理が発達していることで、江藤ら¹⁴⁾もこれについて言及しており、近年同湾では、DIP濃度が定量限界値の $0.02 \mu\text{mol/L}$ に低下することがたびたび起こる。平成23年度漁期の葉状体の色調と栄養塩の関係を図10に示す。適採開始から横ばいで推移していたL*値が、DIP濃度が色落ち下限値の $0.4 \mu\text{mol/L}$ を下回った1月12日以降に上昇した。一方、窒素濃度は、ノリのDIN限界濃度の $7 \mu\text{mol/L}$ を下回ることにはなかった。これは、今回の室内培養試験と同様の傾向であら、漁場でのDIP欠乏が成葉期の色落ちに影響していると推測された。

最後に、DIP不足への対応策についてであるが、育苗期では短い期間でDIP不足の影響が現れることから、DIP不足時に養殖を開始することは生産に大きな影響を与えかねない。そこで、漁場のDIP濃度の動向により、採苗時期を調整することは有効な手段の一つと考えられる。しかし、近年同湾では、育苗期である10月中旬～11月上旬、さらに成葉期後半である1月以降、DIP濃度は低水準で推移する傾向にある。採苗時期を遅くした場合、摘採の最盛期も遅れ、1月以降のDIP欠乏時期に生

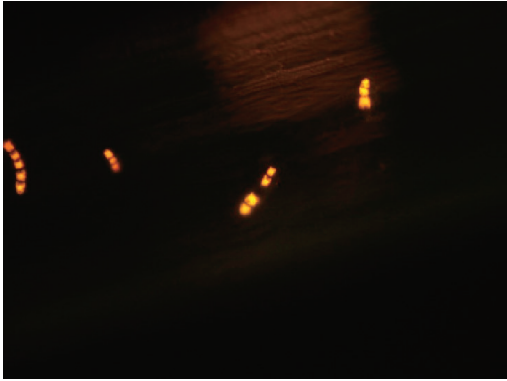
産期が重なることになり、生産量が低下する恐れがあり、極端な採苗時期の変更は困難である。成葉期については一般的に窒素起因の色落ちに対し早期適採を促しているが、今回の試験で、DIP欠乏はDIN欠乏に比べ色落ち速度が遅いことから、早期適採を促すのではなく、漁場の栄養塩状況からDIPの動向をみて判断したほうがよいと考えられる。

今回の試験では、DIP欠乏が各成長ステージに与える影響について基礎的知見を得ることができた。しかし、育苗期のDIP濃度別の試験や、色落ちしてから正常に回復できるDIP濃度と日数の関係は検討できていない。今後、福岡湾で安定してノリ養殖を行えるように、これらについて検討する必要がある。

文 献

- 1) 洲上哲 .2006年度漁期に福岡湾でみられたノリ葉体の生育異常, 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2008; **18**: 161-164
- 2) 小池美紀, 江崎恭志. 藻類養殖技術研究(1) ノリ養殖. 福岡県水産海洋技術センター事業報告2010: 61-63
- 3) 小谷正幸. ノリ葉体の色落ちの数値化, 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2000; **10**: 73-76
- 4) 西川哲也. 養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する生理生態学的研究, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告(水産編) 2011; **42**: 1-82.
- 5) 川村嘉応 .近年の生産動向・問題点, 日本水産学会誌2003; **69**(3): 422-423
- 6) 石井光廣, 長谷川健一, 松山幸彦. 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因: 栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生, 水産海洋研究2008; **72**(1): 22-29
- 7) 嵯峨直恒. 海草類の組織培養, 植物組織培養 1989; **6**(2): 55-62
- 8) 山本民次. スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体によるアンモニア態および硝酸態窒素の定速度取り込み, 広島大学生物生産学部紀要: Journal of the Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University 1992; **31**(2): 155-159
- 9) 白石日出人. ノリ葉体の色調変化に関する研究, 福岡県水産海洋技術センター研究報告2010; **20**: 131-134
- 10) 千々波行典, 川村嘉応, 大隈斉, 白鳥勲. 1991年度西・南部ノリ養殖漁場で育苗期から発生した色落ちと幼芽の異形化, 佐賀県有明水産試験場研究報告1993; **15**: 61-70
- 11) 切田正憲, 松井敏夫. ノリ幼芽の生長に及ぼす乾燥と浸漬海水の比重の影響, 水産増殖1993; **41**(3): 281-286
- 12) 坂口研一, 落合昇, Chan Sun Park, 柿沼誠, 天野秀臣. 色落ちノリの色調評価と硫酸アンモニウム添加海水への浸漬による色調回復, 日本水産学会誌 2003; **69**(3): 399-404
- 13) 大島海一, 中村経紀, 福岡秀雄, 松香光夫. 図説応用生物学の基礎, 講談社, 東京, 2000: 28-75
- 14) 江藤拓也, 片山幸恵, 江崎恭志 .2008年から2010年における福岡湾でのノリ, ワカメ養殖の不作要因について, 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2012; **22**: 33-40

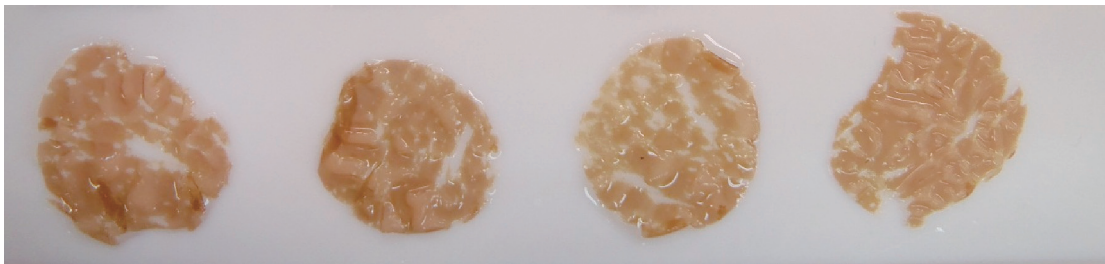
DIP欠乏がスサビノリに及ぼす影響



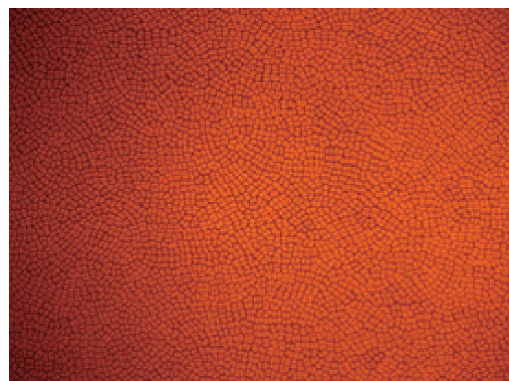
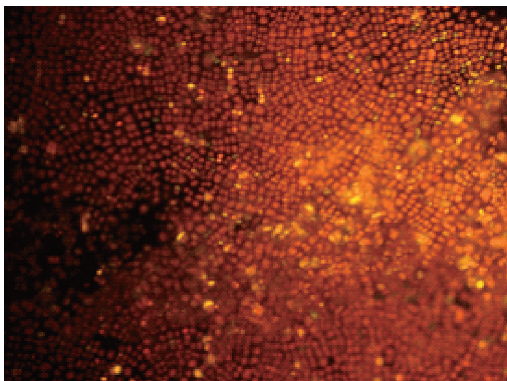
图版1 DIP欠乏 ($0 \mu \text{mol/L}$) 区 (200倍)



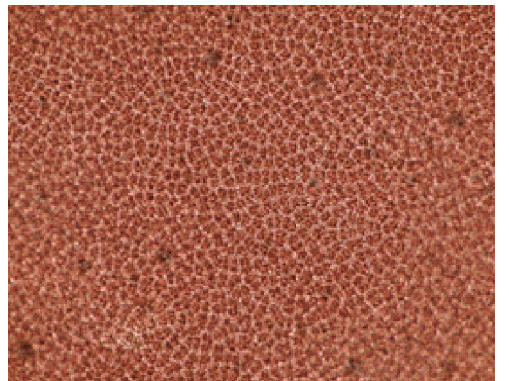
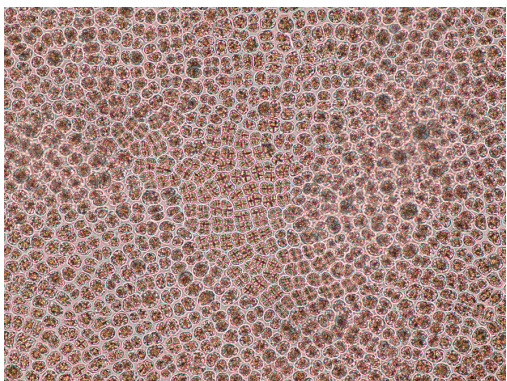
图版2 对照区 (100倍)



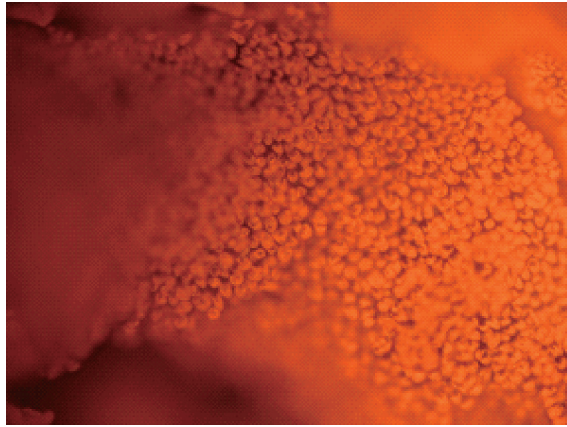
图版3 DIP欠乏 ($0 \mu \text{mol/L}$) 区



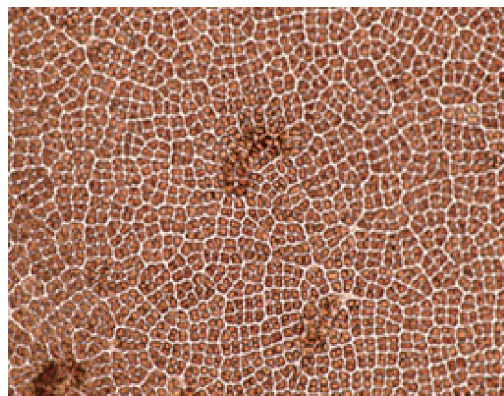
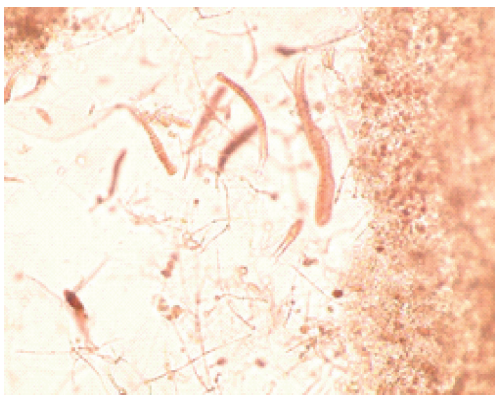
图版4 左: DIP欠乏 ($0 \mu \text{mol/L}$) 区 右: 对照区 (100倍)



图版5 左: DIP $0.2 \mu \text{mol/L}$ 区 右: 对照区 (200倍)

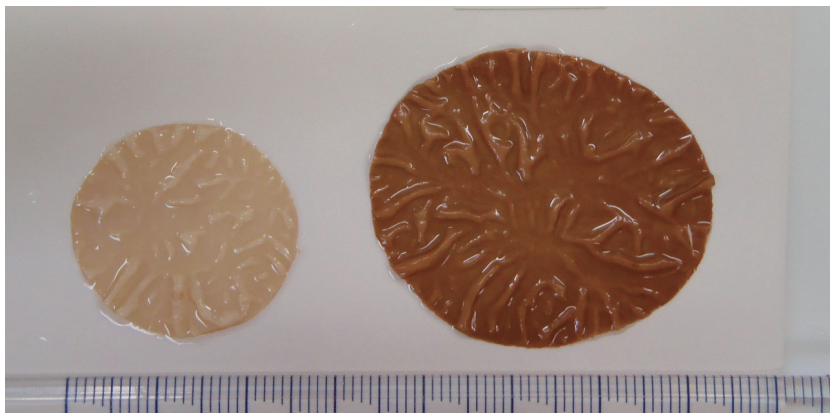


図版6 DIP欠乏 ($0 \mu \text{mol/L}$) 区回復試験後 (200倍)



図版7 DIP 欠乏区回復試験後

左： $0.4 \mu \text{mol/L}$ 区 (100倍) 右： $0.2 \mu \text{mol/L}$ 区 (200倍)



図版8 DIN 欠乏試験後

左：DIN 欠乏 ($3 \mu \text{mol/L}$) 区 右：対照区