

新たなノリ色落ち対策技術開発

ワカメの色落ち現象機構の解明と対策

中西達也・棚田教生・酒井基介・平野 匠・住友寿明^{*1}・加藤慎治^{*2}・上田幸男

本県沿岸では冬季の水温の上昇と栄養塩の減少に伴い、アマノリとワカメの色落ちの発生頻度が高まっている。とりわけ、アマノリと比べ色落ちが発生する栄養塩濃度が低いとされているワカメにも色落ちが多発している。

ワカメ色落ちの対策技術開発を目的に、平成22年度には、色落ちの目安となる色調の測定方法として機器の検討及び測定部位、並びに評価基準として葉緑素計SPAD値が有効であることを明らかにした。さらに室内および野外で色落ちが発生した時に生長やSPAD値にどのような変化がみられるかを調べた。

平成23年度は、色落ちの評価基準であるSPAD値を実際の養殖ワカメに適用し、生産者が「色落ち」と判断するSPAD値を明らかにする。また、室内によってワカメの色落ちからの回復、異なる光条件下における色落ちの発生や回復、並びに生長について調べた。

を測定した。

2. 養殖ワカメのSPAD値と形態別窒素濃度の関係

小潮時に粟田・里浦両養殖漁場において採水して形態別窒素濃度を測定し、左記1のSPAD値との相関性を調べた。

3. SPAD値に基づく色落ち有無の判別

2011年2月16日、3月1日、3月30日に里浦漁場で採取した養殖ワカメ標本について、生産者に「色落ち無し」、「軽度色落ち」、「色落ち」の3段階に選別を依頼した。

生産者により選別された標本の葉長と基部SPAD値の2変数について線形判別分析をおこなった。

4. 室内試験における色落ち回復試験

色落ちしたワカメをDIN濃度が異なる条件下で培養し、色落ちからの回復状況に差が現れるかを明らかにするため、止水下で6日間培養して人為的に色落ちさせたワカメを光量8,000lux下で、止水区、くみ上げ濾過海水のかけ流し区及び施肥区の3試験区で培養した。1区あたり葉長

材料と方法

1. 養殖ワカメのSPAD値

播磨灘沿岸の鳴門市粟田漁場および紀伊水道沿岸の同市里浦漁場（図1）の養殖ワカメを定期的にサンプリングするとともに生産者から色落ちの状況を聞き取りした。標本は個体ごとに葉長、基・中央・先端各部（図2）のSPAD値



図1. ワカメサンプリング漁場位置図

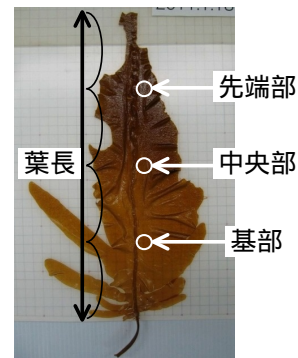


図2. SPAD値の測定部位



図3. 色落ちワカメの色回復試験。写真奥から止水区、かけ流し区及び施肥区

^{*1} 農林水産総合技術支援センター企画研究課

^{*2} 農林水産部ブランド戦略総局水産課

105mm～390mmのワカメ藻体5～6個体を培養し、葉長、先端部および基部のSPAD値の推移を調べた（図3）。

くみ上げ濾過海水のかけ流し区では、200L/時間の流量で海水をかけ流した。施肥区では、汲み上げ濾過海水に、アマノリ系状体培養用除藻栄養剤“ポルフィラン-コンコ”を定量ポンプで添加し、DIN濃度が120μmol/L程度に

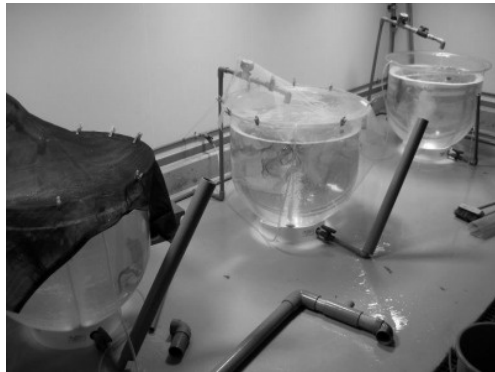


図4. 異なる光量下でのワカメの色落ちおよび色落ちからの回復試験。写真奥から光量8,000lux, 5,000lux, 及び2,000luxに設定された試験区。手前水槽（2,000lux区）は寒冷紗で光量を調整した

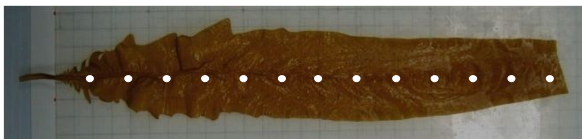


図5. 葉長の基部起点から20mm間隔で開けた孔。番号の付加は基部からNo. 1, 2の順にNo.13までおこった

なるように200L/時間でかけ流した。

5. 異なる光量下における色落ちおよび色落ちからの回復（室内実験）

光条件による色落ちの影響を明らかにするため、2,000, 5,000, 及び8,000luxの光量が異なる試験区を設け（図4）、止水下で1区あたり葉長278～138mmのワカメ藻体10個体を培養した。

藻体の部位ごとの生長量を測定するため、試験開始時、各藻体の葉長の基部起点から20mm間隔で直径1mmの孔（No.1～13）を開けた（図5）。試験期間中ほぼ毎日、各藻体の葉長、葉重、葉長基部起点から孔位置までの長さ、及び孔の位置におけるSPAD値を測定した。孔は藻体の生長とともに移動するので、培養10日目に基部の伸長した部分に新たな孔（No.-1）を追加した。

次に、培養開始から14日目に光条件はそのまま、培養水をくみ上げ濾過海水の掛け流し（200L/時間）に変更し、藻体の生長や色落ちからの回復を調べた。

培養14日目以降、藻体基部の伸長した部分に新たな孔（No.-2～-5）を追加し、各区の培養海水を毎日採水し、DIN濃度測定用に冷凍保存した。

結果と考察

1. 養殖ワカメのSPAD値

養殖ワカメを定期的にサンプリングし、個体ごとに基部・中央・先端部それぞれのSPAD値を測定した結果、生産者による色落ちの評価、及び環境中のDIN濃度の推移を図

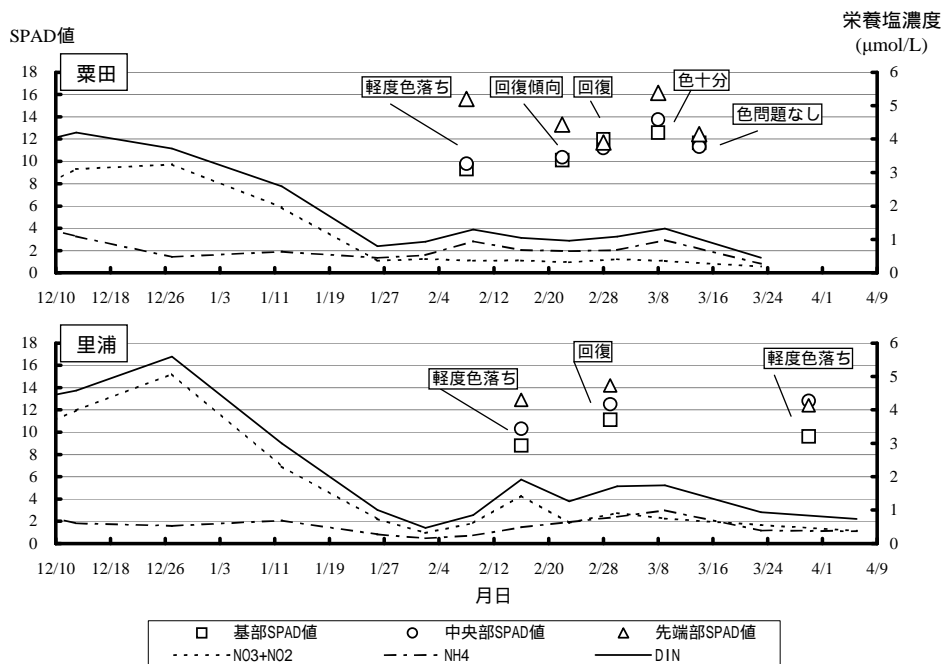


図6. サンプルの基部・中央・先端部それぞれのSPAD値と環境中の栄養塩濃度の推移。また、枠内に生産者による色落ちについての評価を示す（上段：粟田，下段：里浦）

6に示した。その結果、生産者が「色落ち」を認識するワカメの基部のSPAD値が10未満になることがわかった。

2. 養殖ワカメのSPAD値と形態別チッソ濃度の関係

基部SPAD値とサンプリングの5～6日前(n=5, $r=-0.37$, $p>0.05$)及び6～7日前(n=3, $r=0.25$, $p>0.05$)のNO₂+NO₃の間には有意な関係は認められなかった(図7)。一方、基部SPAD値とサンプリングの5～6日前の間に有意な関係は認められなかったが(n=5, $r=0.45$, $p>0.05$), 6～7日前のNH₄の間には有意な関係が認められた(n=3, $r=0.99$, $p<0.05$, 図8)。今後もデータ数を増やして検

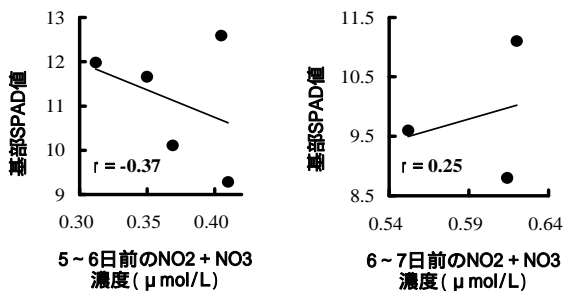


図7. サンプリング5～6日前および6～7日前のNO₂+NO₃濃度と基部SPAD値の関係(左:粟田漁場, 右:里浦漁場)

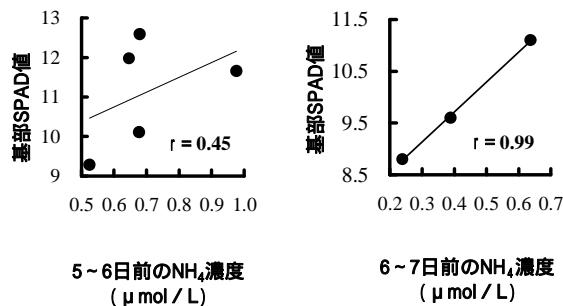


図8. サンプリング5～6日前および6～7日前のNH₄濃度と基部SPAD値の関係(左:粟田漁場, 右:里浦漁場)

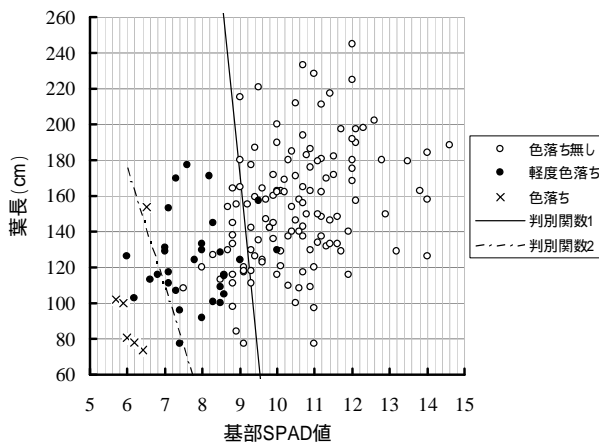


図9. サンプルの葉長と基部SPAD値間に適用された判別関数

証する必要がある。

3. SPAD値に基づく色落ち有無の判別

サンプルの葉長と基部SPAD値の2変数について線形判別分析の結果、「色落ち無し」と「軽度色落ち」を判別する判別関数は、 $z=0.567x+0.00275y-5.57$ で示され、基部SPAD値8.7～9.5がその境界となりうる事が明らかになった(図9)。全変動(群間変動+群内変動)に占める群間変動の割合を表し、値が0から1の間にあり、1に近いときに2群が離れていることを示す相関比は0.12であった。

同様に、「軽度色落ち」と「色落ち」を判別する判別関数は、 $z=0.810x+0.0121y-6.98$ で示され、基部SPAD値6.0～7.8がその境界となり(図9), 相関比は0.56であった。

4. ワカメ藻体の色落ちからの回復試験(室内実験)

止水区の葉長は、日数の経過とともに伸長の値が小さくなった(図10)。かけ流し区と施肥区(DIN濃度120 $\mu\text{mol/L}$ 程度)の間では、DIN濃度の差が大きかったにもかかわらず、葉長の推移に大きな差は見られなかった。

また葉重は、止水区では培養5日目以降頭打ちとなったが、かけ流し区と施肥区の間では差が見られなかった(図11)。この結果から栄養塩の欠乏は生長を悪化させる

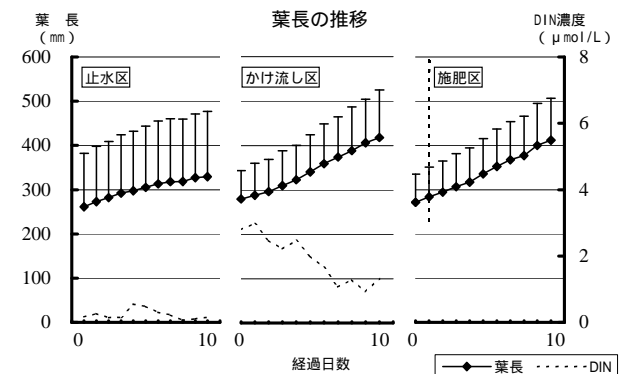


図10. DIN濃度と葉長の推移(範囲は標準偏差)

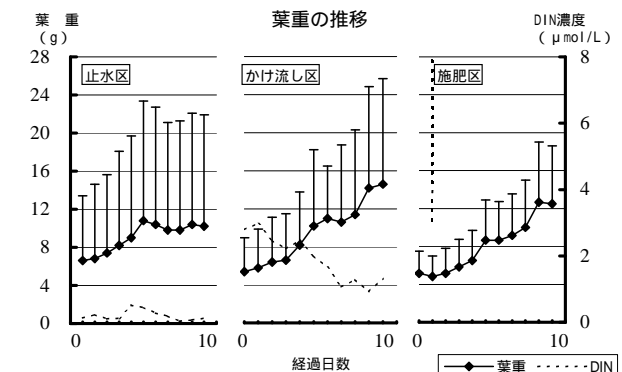


図11. DIN濃度と葉重の推移(範囲は標準偏差)

が、一定の栄養塩濃度以上では生長に差がないことが明らかになった。

止水区のSPAD値は、先端部、基部ともに低下し、基部では値がほぼ0となった(図12)。かけ流し区と施肥区の先端部のSPAD値は、栄養塩濃度が回復しても上昇しなかったが、値の低下は緩やかになった。かけ流し区と施肥区の先端部SPAD値の推移に大きな差は認められなかった。一方、基部SPAD値は、かけ流し区で培養4日目、施肥区で培養2日目から上昇傾向に転じ、施肥区は、かけ流し区と比べて顕著に上昇した。この結果から基部SPAD値はDIN濃度が高いほど回復が速いと考えられる。

基部SPAD値がほぼ0にまで低下した藻体に対し、DIN濃度120 μmol/L程度に施肥した結果を図13に示した。色落ちした藻体は十分なDIN濃度があれば、葉長が伸び、SPAD値は基部から大きく回復し、先端部SPAD値も横ばいからやや上昇傾向に転じた。

基部SPAD値がほぼ0になった藻体であっても、栄養塩が十分にあれば、葉長が伸び、色も回復することが明らかとなった。

5. 異なる光量下で培養したワカメの生長、色落ち及び色落ちからの回復試験(室内実験)

試験区ごとの孔の位置番号ごとの生長の推移を図14に示

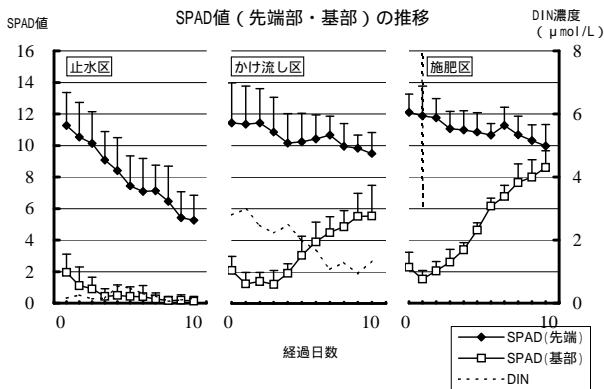


図12. DIN濃度と基部及び先端部SPAD値の推移(範囲は標準偏差)

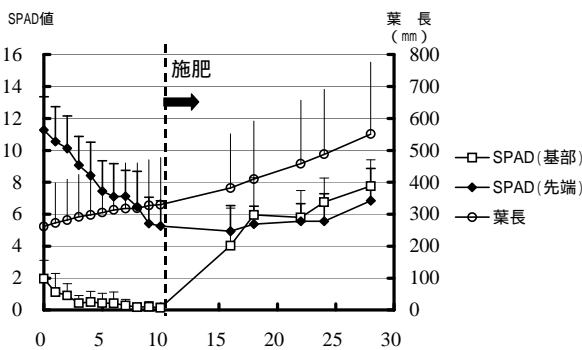


図13. 基部SPAD値がほぼゼロになった藻体の施肥後の葉長と基部および先端部SPAD値の推移(範囲は標準偏差)

した。止水培養中の生長は、5,000lux区、8,000lux区、2,000lux区の順に大きかった。いずれの区も生長点(基部)に近いほど生長の幅が大きい傾向が認められた。また、DIN濃度の低下とともに生長速度は低下した。

止水下における各試験区の孔の位置番号ごとのSPAD値の推移を図15に示した。止水下では8000lux区のSPAD値が最も速く低下するのに対し、2000lux区が最も低下が遅かった。3区ともにDIN濃度の低下とともに生長点や先端部ほど色落ちが速い傾向がみられた。

14日間止水で培養後、培養水をくみ上げ濾過海水の掛け流しへ変更し、その後の各試験区の孔の位置番号ごとの生長の推移を図16に示した。生長は、8,000lux区が最も速く、2,000lux区で遅かった。8,000lux区と5,000lux区とで大きな差はみられなかった。

一方、各試験区の孔の位置番号ごとのSPAD値の推移を図

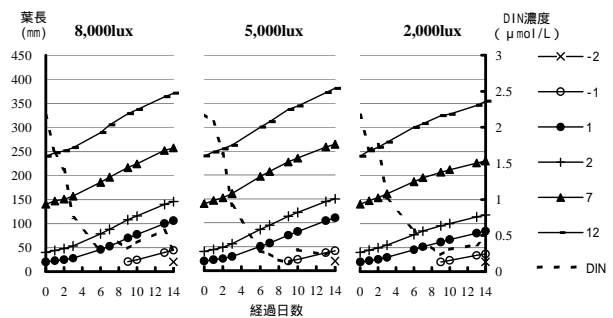


図14. 止水下における部位(孔の位置)別の生長とDIN濃度の推移

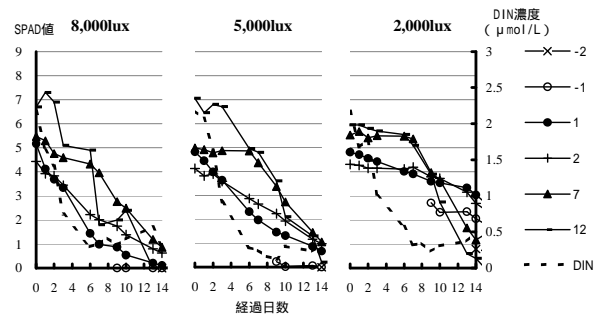


図15. 止水下における部位(孔の位置)別のSPAD値とDIN濃度の推移

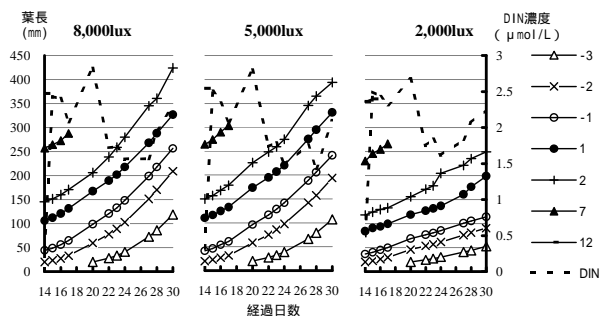


図16. かけ流し下における部位(孔の位置)別の生長とDIN濃度の推移

17に示した。SPAD値の増加は、生長点付近（孔No.-3～2）で大きかった。SPAD値の上昇は5,000lux区が最も速かった。2,000lux区では、生長点付近のSPAD値は他の2区と比べて低下していなかったが、値の上昇は他の区と比べて緩やかだった。各区とも培養22日目頃から再度、DIN濃度の低下によると考えられる色落ちがみられた。

異なる光量下で培養したワカメの葉長および葉重の推移とDIN濃度の推移を図18に示した。葉長、葉重ともに8,000lux区、5,000lux区の間に大きな差はみられなかった。2,000luxは葉長、葉重ともに他の2区と比べて値が小さく、生長が悪かった。

以上、生産者のワカメの色落ちに対する認識は、生産物の基部SPAD値が平均10を下回ると「色落ち」を認識すること、さらに細かな分析の結果、基部SPAD値が8.7～9.5が「色落ち無し」と「軽度色落ち」を判別する境界になりうるようになった。

色落ちしたワカメは貧栄養塩の状態が長期間続くと葉長の生長は頭打ちとなり、また葉の先端部や基部からSPAD値も低下した。その後栄養塩濃度が上昇すると、SPAD値が0

になった個体でもSPAD値が上昇すること、再度葉長は生長し、色は基部から回復することが明らかとなった。色落ちしたワカメの基部SPAD値は、栄養塩回復時の濃度の差により、上昇の速さ、上昇する値の程度が異なることが明らかになった。

貧栄養の下で色落ちしているワカメは、光量が少ない条件（2,000lux）では生長の速度は遅いもののSPAD値の低下を小さく抑えられることが明らかとなった。また、その後栄養塩濃度が上昇すると、生長は光量が多いほど速く、色の回復はそれまでの色落ちの程度によるものの、8,000luxよりも5,000luxで基部SPAD値の上昇の速さが速かった。

このことから、ワカメの養殖現場において、栄養塩低下時からワカメに当てる光量を制御することで、色落ちを抑制したり、その後の栄養塩回復時に色の回復を早めたりさせることができる可能性が示された。

次年度以降は、養殖期間を通じたSPAD値、栄養塩のモニタリング、色落ち有無の判別に係るデータの蓄積、及び養殖現場における光コントロール手法の検討などをおこなう予定である。

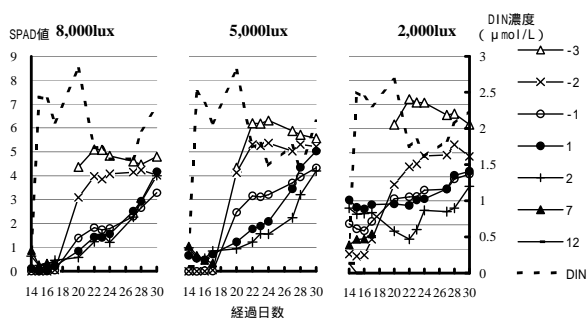


図17. かけ流し下における部位（孔の位置）別のSPAD値とDIN濃度の推移

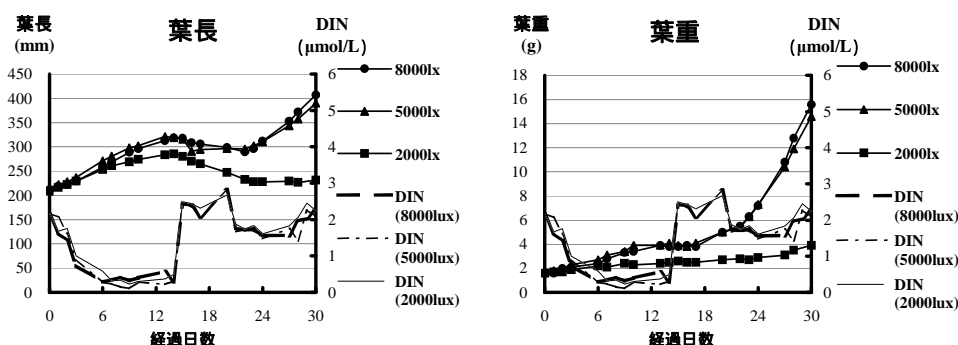


図18. 光条件が異なる培養条件下における葉長（左）および葉重の推移（右）。培養開始14日後に止水から濾過海水かけ流しに変更した