

漁場生産力向上のための漁場改善実証試験 実証試験

池脇義弘・牧野賢治・西岡智哉・平野 匠

海域の栄養塩濃度，とくに無機態窒素の不足が原因と考えられる色落ち現象が，紀伊水道西部及び周辺海域のノリ・ワカメ養殖漁場において近年頻発している。養殖藻類の色落ちを防ぎ，回復させるための方策の一つとして，施肥が考えられる。そこで，さまざまな施肥剤の溶出特性，色落ちを回復させる効果などを調べ，より効果的な施肥剤そして施肥手法の開発を試みた。

なお，本試験の詳細は「平成27年度藻漁場生産力向上のための漁場改善実証試験報告書」を参照されたい。

材料と方法

(1) 新型施肥剤の溶出試験（肥料成分の拡散試験）

昨年度試作した肥料成分をゼラチンで固めた新型の施肥剤（以下，ゼラチン施肥剤）の溶出特性を室内試験で調査した。

まず，溶出した肥料成分の水中での拡散状況を次のような方法で調べた。0.5トンパンライト水槽の中央に，昨年度開発した穴あきケース入りのゼラチン施肥剤を吊し，図の丸で示したところから定期的に採水し，硝酸塩濃度を自動流れ分析装置(swAAt)で測定した（図1）。

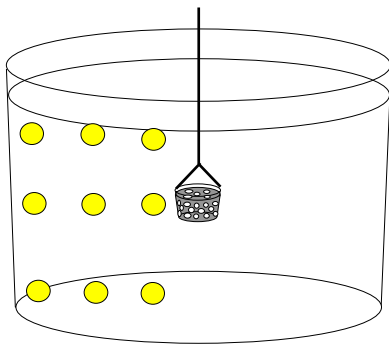


図1.ゼラチン施肥剤からの肥料成分の拡散試験方法.0.5トンパンライト水槽の中央に穴あきケース入り施肥剤を吊し，図の丸印の硝酸塩濃度を一定時間後に測定した。

(2) 施肥ケースの改良

(1)の拡散試験の結果をもとに，より施肥効果が見込めるように施肥剤を充填するケースの形状を改良した。

(3) 新しい施肥ケースによる溶出試験

(2)のケースに充填した施肥剤を海水を満たした0.5トンパンライト水槽の中央に吊し，施肥剤から溶出した硝酸塩の濃度を硝酸塩センサーで測定した（図2）。

試験は，止水条件と流水（換水率35回転/日）+エアレーションによる攪拌との2条件でおこなった。硝酸塩濃度は，試験開始前と開始8時間後に測定したが，止水条件では，溶出した成分が水槽の底に溜まっていることが想定されたので，8時間後の測定は，施肥剤を水槽から取り出した後数分間エアレーションにより攪拌してから行った。また，施肥剤のケース上部の空間に溜まった海水には，より高濃度の肥料成分が含まれていることが考えられたので，8時間後の測定の後，直ちに，施肥剤の入った広口瓶内部の海水を水槽内に注ぎ，数分間エアレーションで攪拌した後に硝酸塩センサーで硝酸塩濃度を測定した。

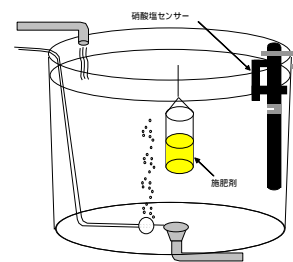


図2. 新型ケースによるの溶出試験の模式図

(4) 陸上水槽での色落ちワカメ回復試験

1トンパンライト水槽に施肥剤を吊し，また，色落ち誘導したワカメを3本吊した（図3）。水槽は，中央付近からエアレーションをおこない，1日17回転で換水をおこなった。ワカメと施肥剤は，エアストーンを挟むように配置した。また，施肥剤を吊さないこと以外は同条件にした対照区も設けた。施肥剤は，前述の200gの硝酸アンモニウムが含まれるもの以外に，150gの尿素を溶かしたものも作製し比較実験をおこなった。

水槽は，日当たりの良い野外に設置した。そして，1~3日おきに，ワカメの基部のSPAD値を測定し，施肥剤を吊し

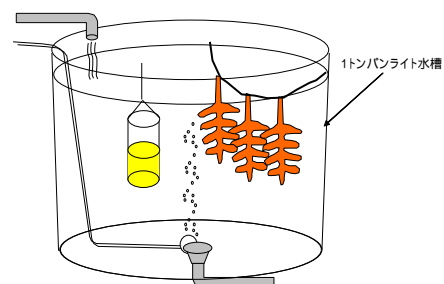


図3. 陸上水槽での色落ち回復試験の模式図。

た施肥区からは水槽内の水と施肥剤のケース内の水を，対照区からは水槽内の水を採水し，中に含まれる栄養塩の濃度を自動流れ分析装置(swAAt)で測定した。

(5) 野外試験 (水研鳴門庁舎前)

水研鳴門庁舎前に設置した表層水取水ポンプの周囲に，図4に示したように，施肥剤と色落ち誘導したワカメを吊した。施肥剤は水深約0.1mに，ワカメは，メカブがほぼ水面になるように設置した。そして，ワカメの基部のSPAD値を，2~5日おきに測定した。

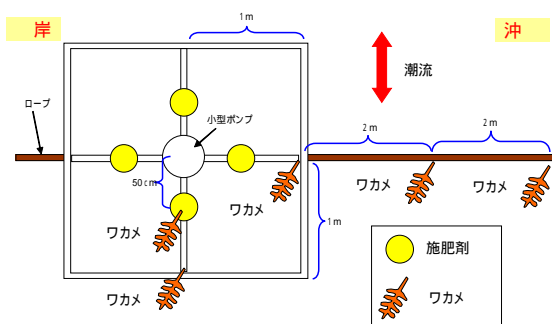


図4. 水研鳴門庁舎前で実施した野外施肥試験の模式図.

結果

(1) 新型施肥剤の溶出試験 (肥料成分の拡散試験)

肥料成分は，水槽内を真下に沈降し，横や上方向にはほとんど拡散しないことが明らかとなった (図5)。

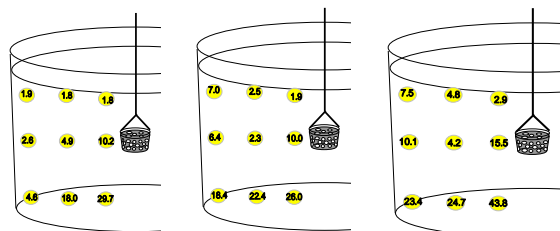


図5. 肥料成分の拡散試験結果. 左: 30分後, 中央: 1時間後, 右: 2時間後

(2) 施肥ケースの改良

肥料成分の拡散試験により，肥料成分は水中を速やかに沈降することが明らかとなったので，養殖漁場に吊した施肥剤から溶出する肥料成分を，効率的に藻体に接触させるには，施肥剤の開口部を上面のみにすべきと考えられた。そこで，広口サンプル瓶に肥料成分を充填する方法を用いることにした。3リットル瓶，2リットル瓶ともに中には，純水750m l，ゼラチン190 g，硝酸アンモニウム200 gからなる施肥剤を充填した (写真1)。充填した施肥剤上面からサンプル瓶の口までの空間は，施肥剤から溶出した成分がまずこの空間に高濃度で充満し，容器の揺れや，瓶の口付近の水流の影響により回りに拡散することを目論んだ

ものである。

この施肥剤を，以下，“広口瓶施肥剤”と呼ぶことにする。

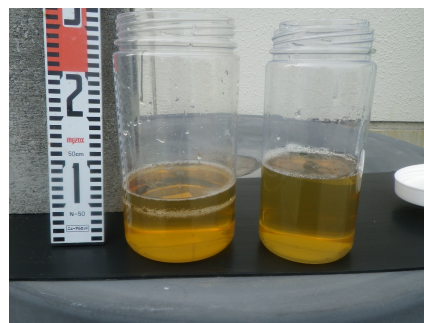


写真1. 広口サンプル瓶をケースに使った施肥剤 (広口瓶施肥剤). 左: 3リットル瓶, 右: 2リットル瓶.

(3) 新しい施肥ケースによる溶出試験

試験は2リットル型広口瓶施肥剤で行った。結果を，表1に示した。

止水条件では，溶出成分が広口瓶から外に出にくく，瓶内に高濃度で溜まり，換水していないにも関わらず，試験開始8時間後の硝酸塩濃度は，流水条件より低かった。一方，流水+エアレーション有りの条件では，広口瓶から外に溶出した肥料成分が流れ出し，結果として，水槽内の硝酸塩濃度は止水条件よりも高くなった。広口瓶内の空間にはおよそ1.25リットルの水が入るので，水槽の容積 (500リットル) との比から計算すると，試験開始8時間後の瓶内の水に含まれる硝酸塩の濃度は，止水条件が約200,000 $\mu\text{M/L}$ ，流水条件が約500 $\mu\text{M/L}$ と推定された。

表1. 2リットル型広口瓶施肥剤の溶出試験結果.

換水条件	エアレーション	測定条件	硝酸塩濃度 ($\mu\text{M/L}$)
止水	なし	施肥剤投入前の水槽水	1.4
		施肥剤投入して8時間後	3.9
		施肥剤を傾けてケース内の海水を水槽内に入れる	97.1
(水槽内の海水を全交換)			
流水 (35回転/日)	あり	施肥剤投入前の水槽水	2.0
		施肥剤投入して8時間後	6.8
		施肥剤を傾けてケース内の海水を水槽内に入れる	8.0

(4) 陸上水槽での色落ちワカメ回復試験

2リットル広口瓶施肥剤 (硝酸アンモニウム) を吊した試験の結果を図6, 7に示した。ワカメのSPAD値は，試験開始後3日目までは対照区が横ばいであるのに対して，施肥区ではわずかに上昇する傾向がみられた。しかしながら，試験開始4日目以降は，差がみられなくなった (図6)。これは，試験開始後3日目に大雨により水槽内に雨水が混入してしまったため，その影響が現れた可能性が考えられる。再度条件を整えて実験する必要がある。また，測定したDIN濃度をみると，施肥区では施肥剤の影響で水槽内のDIN濃度が上昇しており，ケース内にはさらに高濃度の溶

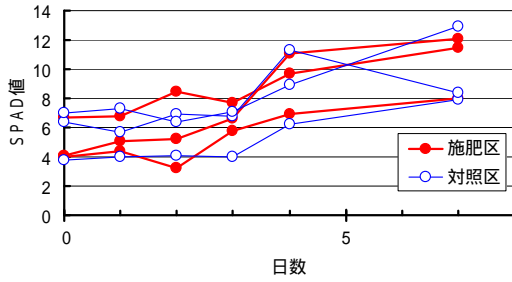


図6．広口瓶施肥剤（硝酸アンモニウム）による色落ちワカメ回復試験（陸上水槽）でのワカメのSPAD値の変化。

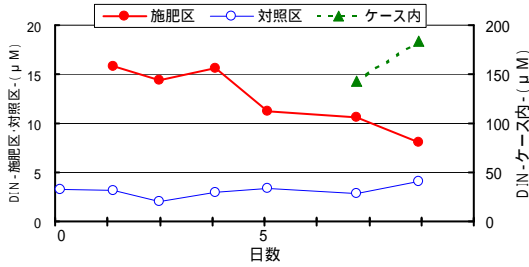


図7．広口瓶施肥剤（硝酸アンモニウム）による色落ちワカメ回復試験（陸上水槽）での各試験区水槽内と施肥剤を充填したケース内の水に含まれるD I N濃度の変化。

出成分が溜まっていたことがわかった（図7）

また、2リットル広口瓶施肥剤（尿素）を吊した試験の結果を図8, 9に示した。ワカメのSPAD値は、試験開始後4日目までは明確な違いは見られなかったが、試験開始後7日目以降は明らかに施肥区のSPAD値が高くなった（図8）。尿素は、ウレアーゼによって分解されないアンモニウムイオンとならないため、このことが、施肥剤の効果がやや遅れて出た要因の可能性が考えられ、今後、検証する必要がある。また、測定したNH₄⁺濃度をみると、施肥区では施肥剤の影響で水槽内のNH₄⁺濃度が上昇しており、ケース内にはさらに高濃度の溶出成分が溜まっていたことがわかった（図9）。なお、試験開始後5~7日は施肥区のNH₄⁺濃度が対照区と変わらないが、このとき、強風などの影響で、水槽内のエアストーンと施肥剤が水槽の両端に移動していた。そのとき、ケース内のNH₄⁺濃度が高かったことなどから、施肥容器の口にあたる水流が弱くなりそのため、肥料成分の拡散する量が少なくなっていた可能性が考えられた。尿素を溶かした施肥剤を用いたとき、水槽やケース内のNH₄⁺濃度は、硝酸アンモニウムを溶かした施肥剤よりも低かったが、これは、酵素がないと尿素からアンモニウムイオンへの分解しないことや薬剤そのものの溶出特性の違いなどが考えられ、今後の検討が必要である。

（5）野外試験（水研鳴門庁舎前）

吊したワカメのSPAD値の変化を図10に示した。施肥剤のすぐ横に設置したワカメのSPAD値は、試験期間中順調

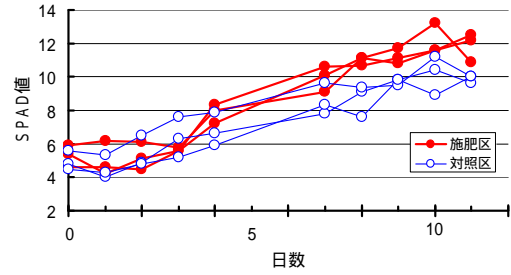


図8．広口瓶施肥剤（尿素）による色落ちワカメ回復試験（陸上水槽）での、ワカメのSPAD値の変化。

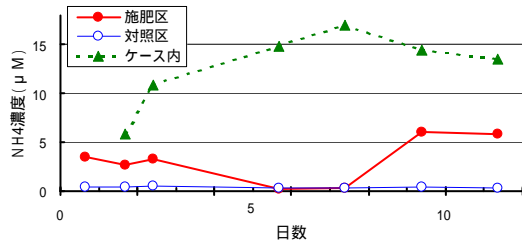


図9．広口瓶施肥剤（尿素）による色落ちワカメ回復試験（陸上水槽）での各試験区水槽内と施肥剤を充填したケース内の水に含まれるNH₄⁺濃度の変化。

に上昇し、試験開始後2週間で他の供試したワカメと明らかに異なる値となった。ワカメ以外のワカメも、周囲の海水から供給された栄養塩により試験開始後数日から10日頃までSPAD値の上昇がみられたが、その値の上昇はワカメの次に施肥剤に近いワカメの方が施肥剤から遠いワカメよりも高いわけではなく、どちらかといえばその逆の傾向が見られた。これは、試験開始後14日目にさらに顕著になったが、このときの、藻体の状態は、ワカメがとくに悪いことから、試験を棧橋から数mしか離れていないところでおこなったため、岸に近いところほど、流れも弱いなどワカメの生育場所として適していなかったことが影響した可能性が考えられた。試験場所については、

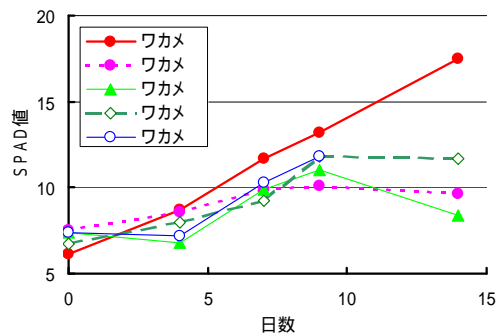


図10．水研鳴門庁舎前で実施した施肥試験での、ワカメのSPAD値の変化。なおワカメは、試験開始後9~14日の間に流失した。

今後改善する必要がある。

試験は、施肥剤の効果が施肥剤の周囲どのくらいの距離まで及ぶのかを調べる目的で行った。そのため、試験で使った施肥剤は、より広範囲に効果が及ぶように3リットル瓶と、取り扱いを考慮すると最大限に近い大きさにした。しかしながら、施肥剤の効果は、施肥剤のすぐ近くに限られることが示唆された。ただし、ワカメのメカブに抱き合わせるように施肥剤を設置すれば、色落ちは速やかに回復しており、このことから、次のような施肥手法を用いることが有効であることが考えられた。

施肥剤の大きさを、1リットル瓶など小型化する。1本の種糸から成長したワカメのメカブの塊に直接1個ずつ施肥剤を付ける。施肥の効果は速やかに現れるので、施肥剤を設置するタイミングは、収穫1、2週間前に色落ちしてしまった場合に限って1回とする。今後、野外試験で、このような手法の効果を検証してゆく。また、養殖に際して、種糸を挟み込む間隔は、1個の種糸から収穫されるワカメの重量を左右すると考えられるので、どれくらいの間隔にすれば1個の施肥剤からより多くの効果が得られるのかも検討する必要がある。