

ノリ養殖場における設置型施肥剤による栄養塩添加技術の開発について

中原啓太・岩永卓也・山田秀樹・太田洋志・野口浩介

Development of nutrient salt addition method with a placement type fertilizer in laver cultivation

Keita NAKAHARA, Takuya IWANAGA, Hideki YAMADA, Hiroshi Ota and Kohsuke NOGUCHI

In the Ariake Sea area of Saga Prefecture, discoloration from the start of laver cultivation has become a problem. To address this issue, nutrient bottles were installed in laver cultivation facilities from October 28 to December 11, 2023. As a result, there was an increase in nutrient levels near the bottles. However, no rise was observed at other locations. The protoplasmic shrinkage rate showed no significant difference between the control area and the experimental area. As a cause, it is considered that the bottles were placed away from the cultivation nets. Therefore, there is a need to consider the placement of the bottles and the technology of directly adding nutrient salts to the laver.

はじめに

佐賀県有明海海域の主幹漁業であるノリ養殖では、毎年栄養塩不足による色落ちが問題となっている。ノリの色落ちとは、本来黒色であるノリが退色し、茶褐色となり、さらに進行すると黄色となる現象を指す。ノリの色落ちの原因は、漁期中の植物プランクトンの大量発生等による栄養塩濃度の低下であり、東京湾では溶存態無機リン（DIP）¹⁾、有明海と瀬戸内海では、溶存態無機窒素（DIN）^{2, 3)}の減少とされている。

佐賀県では、秋芽網期と冷凍網期の二期作でノリ養殖が行われている。3～5cm までノリを養殖し、養殖網の半分を冷凍網期用として-25～-30℃で冷凍する⁴⁾。採苗から冷凍網入庫までの期間は育苗期と呼ばれ、育苗期に色落ちが確認される事例は少なかったが、2020年～2023年まで4年連続で確認されている。健全なノリを冷凍入庫できなければ、冷凍網期の生産ができなくなるため、育苗期の色落ちを軽減することが課題となっている。佐賀県では、育苗期の栄養塩低下により、2～8細胞期の配列異常や原形質の萎縮による液胞割合の拡大が確認されており⁵⁾、その後の健全な生長にも影響すると考えられる。

そこで、育苗期の色落ちを改善するための栄養塩添加技術として新たに試験を実施したので、報告する。

方法

図1に示す当センターのノリ養殖試験漁場において



図1 ノリ養殖試験漁場

2023年10月28日～12月11日までの期間、試験を実施した。試験に使用した1.6m×18mのノリ網及び施肥剤は、図2に示すように設置した。

施肥剤は、徳島県の施肥による栄養塩供給実証試験⁶⁾を参考に10lのスクエアボトル（アズワン株式会社製）を容器として選定した。2か所ある浸出口の1か所のみ、直径2.5cmの穴をあけ、本体と蓋の間に4cm四方にカットした透析用セルローズチューブ（ヴィスキングチューブ、アズワン株式会社製）2枚と波浪で膜が破れることがないように4cm四方にカットした洗濯ネット（株式会社アイ

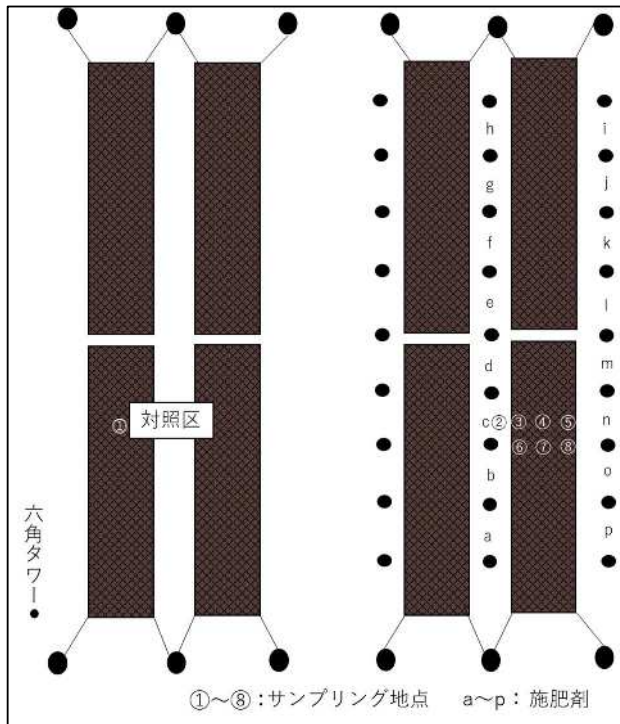


図2 サンプルング地点と施肥剤設置地点

セン製) 1枚を挟み、液漏れがないよう蓋をした。透析用セルローズチューブは、重なっているものを1枚にして使用した。作成した16基の施肥剤の容器には、硝酸と水道水で作成した50%硝酸溶液を満水(12l)になるよう充填した。また、施肥剤にフロート(タカラ樹脂工業株式会社製)を取り付け、ノリ養殖用支柱にロープを結び付けた浮動リングを通し、そのロープをフロートと結ぶことでコンポーズ間のノリ網から1.1mの距離に浮かぶように施肥剤を設置した(図2:a~p)。

試験開始前と試験終了後にDINの流出量を確認するためにオートアナライザー(ビーエルテック株式会社製QuAAtro型)によりアンモニウム態窒素(NH₄⁺), 亜硝酸態窒素(NO₂⁻), 硝酸態窒素(NO₃⁻)の測定を行った。試験開始前の施肥液は、施肥剤へ収容するために200lポリカーボネートタンク(株式会社田中三三郎商店製)に作成した192lの溶液からサンプルングしたものを使用した。施肥液のDIN濃度は、原液では高かったため、1,000,000倍と10,000,000倍に希釈し、平均化して求めた。

ノリと海水のサンプルングは、対照区のノリ網上と設置した施肥剤の直上、施肥剤と施肥剤を結ぶノリ网上的3点、ノリ養殖用支柱間を結ぶノリ网上的3点の任意の地点で実施した(図2:①~⑧)。①~⑧で海水を、②を除く7地

点でノリを毎週サンプルングした。ノリと海水のサンプルングは、試験開始日から2日目(10/30), 10日目(11/7), 17日目(11/14), 23日目(11/20), 30日目(11/27), 37日目(12/4), 44日目(12/11)に実施した。海水は、DIN濃度の分析を行い、ノリは、1地点につき10枚、細胞の原形質萎縮率を顕微鏡で目視により測定した。萎縮率は、レベル0(10%以下), レベル1(20~30%), レベル2(40%), レベル3(50%), レベル4(60~70%), レベル5(80%以上)を基準とした(図3)。また、試験区、対照区のノリ網の任意の個所でサンプルングしたノリの葉長の測定も行った。葉長については、冷凍入庫時期である11月24日と試験終了翌日の12月12日について、統計解析ソフトRを用いてMann-WhitneyのU検定により有意差を確認した。

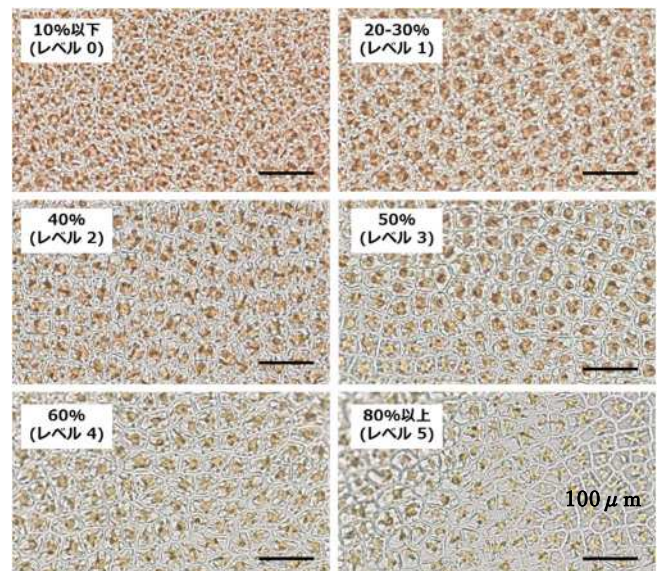


図3 ノリの基準萎縮率

結果

施肥剤中のDIN濃度

表1に試験終了時(44日目)の施肥剤のDIN濃度と試験期間中に施肥剤から流出したDIN濃度(初期DIN濃度-試験終了時DIN濃度)を示した。

希釈の失敗により、5基欠測となったが、すべての施肥剤において透析用セルローズチューブの損傷等による中身の流出は確認されなかった。試験期間中に施肥剤から $1.65 \sim 5.05 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ のDINが流出したと考えられる。

表 1 施肥剤中の試験終了時の DIN 濃度と試験期間中に流出した DIN 濃度

施肥剤	($\times 10^6 \text{mol/L}$)	
	試験終了時の DIN 濃度	試験期間中に流出した DIN 濃度
a	13.10	3.67
b	欠測	-
c	15.01	1.76
d	14.82	1.95
e	13.87	2.90
f	12.19	4.58
g	12.31	4.46
h	欠側	-
i	欠側	-
j	13.20	3.57
k	欠側	-
l	13.94	2.83
m	欠側	-
n	12.41	4.36
o	15.12	1.65
p	11.72	5.05

初期濃度：16.8

海水中の DIN 濃度

表 2 にサンプリングした海水中の DIN 濃度を示した。

地点①～⑧について、10月30日は1.51～3.84 $\mu\text{mol/l}$ 、11月7日は4.98～8.40 $\mu\text{mol/l}$ 、11月14日は0.27～3.23 $\mu\text{mol/l}$ 、11月20日は、②のみ4.77 $\mu\text{mol/l}$ 、それ以外の地点で0.00 $\mu\text{mol/l}$ （検出濃度限界以下）、11月27日は②のみ2.42 $\mu\text{mol/l}$ 、それ以外の地点で0.00 $\mu\text{mol/l}$ 、12月4日は、0.00～0.38 $\mu\text{mol/l}$ 、12月11日は0.00～1.48 $\mu\text{mol/l}$ であった。また、10月30日～11月27日は、施肥剤直上の②のDIN濃度が一番高い値であった。

表 2 海水中の DIN 濃度

		($\mu\text{mol/L}$)						
		10月30日	11月7日	11月14日	11月20日	11月27日	12月4日	12月11日
対照区	①	3.45	5.16	0.27	0.00	0.00	0.1	0.02
施肥剤直上	②	3.84	8.40	3.23	4.77	2.42	0.07	0.20
ノリ網上	③	3.26	5.07	0.39	0.00	0.00	0.38	0.11
	④	2.91	5.72	0.91	0.00	0.00	0.19	0.00
	⑤	1.94	5.14	1.18	0.00	0.00	0.38	0.00
	⑥	1.87	4.98	0.55	0.00	0.00	0.07	0.08
	⑦	1.51	5.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.48
	⑧	1.72	5.18	0.63	0.00	0.00	0.00	0.25

ノリの萎縮率

試験期間のノリ細胞の萎縮率について図 4 に示した。

10月30日は、対照区の①で50%レベル1、試験区の③～⑧で20%レベル1が確認された。11月7日は、①で30%、④で20%レベル1が確認された。11月14日は、①と⑥で20%、⑦で30%、⑧で40%レベル2、それ以外でレベル1が確認された。11月20日は①で50%、③で70%、④と⑦で30%、⑤で60%、⑥で10%レベル2、それ以外でレベル1が確認された。11月27日は①で40%レベル4、10%レベル3、20%レベル2、30%レベル1、③で40%レベル4、60%レベル3、④で10%レベル3、70%レベル2、20%レベル1、⑤で10%レベル3、10%レベル2、60%レベル1、⑥で50%レベル4、50%レベル3、⑦で30%レベル2、60%レベル1、⑧で30%レベル2、70%レベル1が確認された。12月4日は、①、④、⑧で70%、③、⑥で30%、⑤、⑦で40%レベル5、それ以外でレベル4が確認された。12月11日は、①、④で90%、③で70%、⑤、⑥、⑦で80%、⑧で60%レベル5、それ以外でレベ

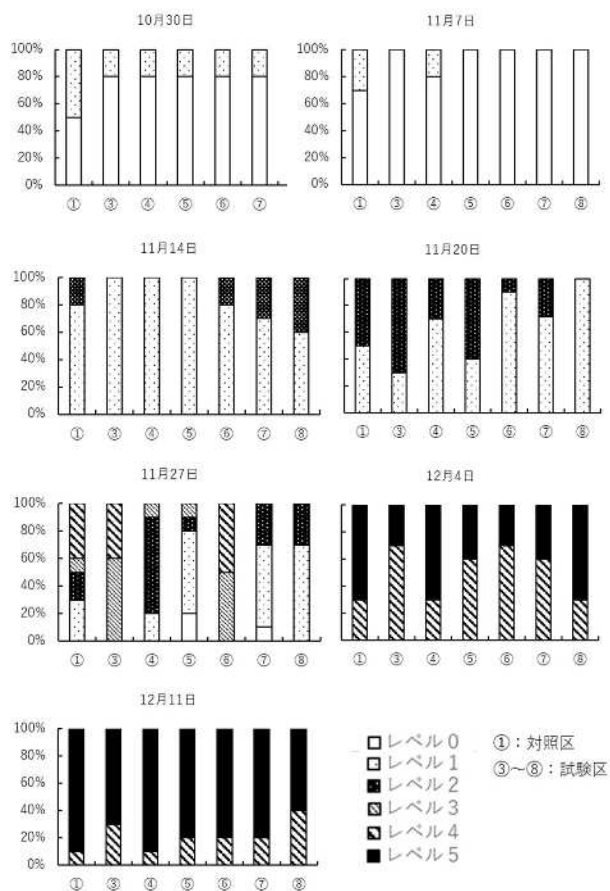


図 4 ノリの萎縮率

ル4が確認された。

葉長の測定

図5に試験期間中のノリの葉長について示した。

11月27日のみ対照区の葉長が試験区より大きくなったが、それ以外の測定日は、試験区が大きい傾向にあった。冷凍入庫時期の11月24日と試験終了時の12月12日の葉長については、試験区が対照区に対し、優位に大きい値となった ($p<0.05$)

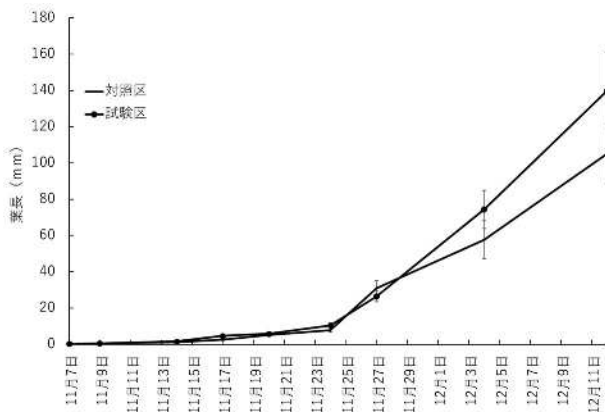


図5 ノリの葉長

考察

10月28日～12月11日までの間に施肥剤から $1.65 \sim 5.05 \times 10^6 \text{ mol/L}$ の DIN の流出が確認された。a～p までの施肥剤で、流出の程度に差があったが、試験開始4週目頃から確認され始めた施肥剤流出口付近の付着物が原因として考えられた (図6)。

①～⑧でサンプリングした海水の DIN 濃度は、10月30日～11月27日では、施肥剤直上の②が一番高い値となっ



図6 施肥剤流出口付近の付着

たため、その期間は DIN が流出していたと考えられる。12月4日、12月11日は、流出口付近の付着物が増えたため、流出が阻害されたと考えられる。

対照区の①とノリ網上の③～⑧の DIN 濃度の比較では、対照区の DIN 濃度は、10月30日が1番目、11月7日は3番目、11月14日は7番目、12月4日は4番目、12月11日は5番目に高い値で、11月20日と11月27日は対照区、試験区ともに $0.00 \mu\text{mol/l}$ であった。11月14日のみが、対照区の DIN 濃度が一番低い値 ($0.27 \mu\text{mol/l}$) であり、ノリ網上の DIN 濃度が高くなっていると考えられたが、窒素成分がノリ網に届いていたとしても、対照区の DIN 濃度と③～⑧の DIN 濃度差が $0.12 \sim 0.91 \mu\text{mol/l}$ であったため、施肥剤直上が $3.23 \mu\text{mol/l}$ であることを考慮すると、ほとんどの DIN 成分が施肥剤とノリ網の 1.1m 間に拡散していたと考えられる。香川県では、窒素成分を少量ずつ放出することができる施肥用パイプを使用することで、施肥用パイプから 1m の距離で数 $\mu\text{mol/l}$ の NH_4^+ 濃度の上昇が確認されている⁷⁾。そのため、本試験の効果範囲については不明だが、施肥材からの距離によっては、数 $\mu\text{mol/l}$ 程度の DIN 濃度が上昇していた可能性がある。

ノリの萎縮率については、10月30日と11月7日は、対照区の萎縮したノリの割合が高かったが、その他の測定日については、対照区と試験区で明確な差は確認できなかった。10月30日は、2細胞程度の大きさで対照区の DIN 濃度が $3.45 \mu\text{mol/l}$ 、11月7日は、 $300 \mu\text{m}$ 程度の大きさで対照区の DIN 濃度が $5.16 \mu\text{mol/l}$ であった。有明海においてノリ養殖に必要な DIN 濃度は $7.0 \mu\text{mol/l}$ とされているが、葉長が小さいほど生育には少量の DIN で十分であり、育苗期の必要量は、 $3.0 \mu\text{mol/l}$ 程度と考えられる。このことから、10月30日と11月7日は、ノリの生育には、十分な DIN 濃度であり、対照区と試験区での萎縮率の差は、測定誤差と考えられる。

ノリの葉長については、試験期間を通して試験区が大きい傾向にあった。萎縮率に差がなく、葉長に差があった理由として、施肥剤から流出していた少量の DIN を吸収していた可能性が考えられる。葉体が即座に少量の DIN を吸収したため、採水したノリ網上の試験区と対照区の DIN 濃度に差がみられなかった可能性がある。

本試験では、色落ちを軽減する効果が見込めなかった

め、DIN 添加方法の改善が必要となる。施肥剤に $16.8 \times 10^6 \text{mol/L}$ の硝酸溶液を収容していたにもかかわらず、最大流出量は、 $5.05 \times 10^6 \text{mol/L}$ と 3 分の 1 程度であった。流出量を増やすことができれば、より広範囲の DIN 濃度を上昇させることが可能となるため、2 枚重ねの透析用セルローズチューブを 1 枚にすることや吐出口の径を大きくするなどの改良をする必要がある。また、本来施肥はノリが色落ちしたときに実施する技術であるが、本試験の施肥剤は、色落ちが確認されない状況でも DIN を添加することとなる。そのため、施肥が不要な時は流出口に蓋をする、流出量を調整できるようにするなどの改良も必要となる。施肥剤直上でのみ $3.0 \mu\text{mol/l}$ 程度の DIN 濃度の上昇が確認されたため、施肥剤から流出直後の DIN をノリが利用することができれば、色落ちを軽減することが可能となる。本試験ではノリ網から 1.1m 離れた距離に施肥剤を設置していたため、ノリ網から数 cm もしくは直接ノリに添加する技術についても検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 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の影響. 水産海洋研究 2008;72:22-29.
- 2) 川口修, 山本民次, 松田修, 橋本俊也. 水質の長期変動に基づく有明海におけるノリ及び珪藻プランクトンの増殖制限元素の解明. 海の研究 2004 ; 13:173-183.
- 3) 渡辺康憲, 川村嘉応, 半田亮司. ノリ養殖と栄養塩ダイナミックス. 沿岸海洋研究 2004;42:47-54
- 4) 川村嘉応. 支柱式養殖のノリ生産基本マニュアル. 佐有水研報 18 号 1998 ; 37-52.
- 5) 久野勝利. 養殖ノリにおける色落ちレベルと原形質萎縮との関係. 佐有水研報 29 号 2019 ; 35-36.
- 6) 朝田健斗 (総括), 池脇義弘, 棚田教生, 笠井謙太郎, 嵐俊右, 廣澤晃. 3) 紀伊水道西部及び周辺海域のノリ・ワカメ養殖場における施肥による栄養塩供給技術実証試験. 令和 3 年度漁場環境改善推進事業「栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発」成果報告書 2021 ; 47-60
- 7) 宮川昌志, 松岡聡, 中國正寿, 末永慶寛, 多田邦尚. 香川方式施肥パイプによるノリ養殖漁場への新施肥技術. Nippon Suisan Gakkaisi 2023;89(6):537-545