

岡山県の浮き流し養殖漁場における養殖ノリの低栄養塩適応育種素材の特性

清水 泰子・草加 耕司

Characteristics of a Nori *Pyropia yezoensis* Breeding Line with Low Nutrient Tolerance in the Floating Culture Ground of Okayama Prefecture

Yasuko SHIMIZU and Koji KUSAKA

ノリ *Pyropia yezoensis* 養殖の生産量は、気象、水質環境等に左右されるが、このうち海域の栄養塩（溶存態無機窒素：DIN）濃度については、岡山県海面で主に支柱式養殖を行っていた1970年頃にはその重要性が認識され、漁場の選択や改良を目的として栄養塩濃度分布について研究が行われていた^{1,2)}。近年では、主に1月以降の漁期後半に栄養塩不足に伴いノリ葉体中の色素量が減少する色落ちが発生し、乾海苔に加工した製品価値の低下により生産停止または養殖自体の終了を余儀なくされ、生産量が減少する^{3,4)}年がある。DIN不足によるノリおよび藻類養殖への影響は瀬戸内海東部海域に広く共通するところであり、下水処理施設の栄養塩管理運転、海底耕うん、施肥等による栄養塩供給手法の開発が行われている⁵⁾。

このような水質環境の改良を目的とした取組と並行し、本県ではノリ葉体そのものを改良する試みとして、2016年度に低栄養塩海水中においても退色の進行が比較的緩やかな育種素材Aを開発した。育種素材を養殖品種として活用するには養殖漁場における生育状況の確認および特性の評価が必須となることから、本県海域の浮き流し養殖漁場において育種素材の養殖試験を行い、特性を評価した。

材料と方法

採苗 供試株は岡山県農林水産総合センター水産研究所が開発した低栄養塩耐性育種素材Aおよび対照品種として国立研究開発法人 水産研究・教育機構から分与を受けたU-51を用いた。2018年4月20日にフリー糸状体をカキ殻に散布し、屋内水槽で常法により垂下培養して育成、成熟させた。10月9日から14日の間に、水車式採苗法により、屋外水槽で3枚重ねにしたノリ網（株日東製網製1.6×21.3m）に殻胞子を採苗し、屋内の水槽で約6時間静置培養した後に水分を除き、ポリエチレン袋に入れて-20℃で冷凍保存した。採苗時の殻胞子付着数は、網糸2.2mmの長さに50~60個を目安とした。

養殖試験は瀬戸内市地先の浮き流し式養殖が行われている第一種区画漁業権漁場において実施した（図1）。特性の評価にあたっては、現在行われている養殖の実態に沿った育成管理を行うことが必要となることから、養殖施設の設置、ノリ網の育成管理等の養殖作業は、区画漁業権を管理する牛窓町漁業協同組合に依頼した。

水質環境調査 育苗期および養成期を通じ、養殖施設に水温自動観測ロガー（ONSET社製 HOBO U22-001）を設置して水温を計測するとともに、葉体の採取時にCTD（JFEアドバンテック社製 ASTD687）を用いて試



図1 試験位置

験場所の塩分を測定した。また、表層水を採取してオートアナライザー（BL-Tech社製 QuAAtro2HR）によりDIN濃度を、蛍光光度計（ターナーデザイン社製 10-AU型）によりクロロフィル *a* 量をそれぞれ測定した。

養殖試験 10月19日に株ごとにノリ網を9枚重ねて漁場へ張り込み、育苗を開始した。育苗は、開始日を第1日目として11月11日までの24日間行った。育苗期間中は、原則として毎日、午前6時頃からノリ網をポンプで洗浄した後に2時間程度人工干出した。

育苗期間中は3～4日間隔で各供試株のノリ網から8cmの網糸をそれぞれ4本ずつ採取し、網糸2本分の葉体のうち30個体を選択し、葉長、葉幅を測定した。育苗終了時には、網糸2.2mmの長さに着生している個体数および単胞子体発芽数を計測した。育苗後のノリ網は、脱水機にかけて水分を除いた後に風乾し、ポリエチレン袋に入れて-20℃で冷凍保存した。

11月18日に供試株ごとに2枚の網を縦列にして区画に張り込み、養成を開始した。養成期間中は3～7日間隔で供試株ごとにノリ網から8cmの網糸をそれぞれ4本ずつ採取し、うち2本に着生した葉体のうち長いものから順に30個体を選択し、葉長、葉幅および色彩色差計（日本電色工業株式会社製 NF-333）でL*a*b表色系による色調を測定した。また、第1回摘採前（11月29日、日齢38）に網糸12本、第2回摘採前（12月10日、日齢49）および第9回摘採前（2月15日、日齢116）に網糸7本に着生したノリ葉体から、ノリ網1枚当たりの収量を換算した。また、摘採期間中は、概ね10日間ごとに摘採船により葉体を摘採し、原則として摘採後に酸処理を行った。

測定値については㈱社会情報サービスのエクセル統計を用いて、葉長、葉幅、単胞子発芽体量、収量はt検定、色調についてはχ²乗検定を行い、有意水準0.05未満を統計的に有意として評価した。なお、以下の試験についても同様に評価した。

若齢葉体の色調低下試験 養殖漁場における色落ちは1月下旬に日齢100程度の葉体において発生することが多いため、日齢30程度の若齢葉体について、低栄養塩濃度の漁場における色調の低下度合を調査した。

12月23日から屋内水槽において、育苗後冷凍した両株のノリ網をかけ流し海水で培養し、23日目の1月15日に葉体の色調が高い状態で、ポリ塩化ビニル管で作製した60×60cmの試験枠にそれぞれ張り付けて養殖漁場に設置した。設置以降は、1月21日から2月15日の間、3～4日ごとに試験枠の数か所から葉体を採取し、葉長の長い個体20枚を選択して色彩色差計で色調を測定した。

屋内水槽における色調回復試験 一旦色調の低下したノリ葉体について、屋内水槽において色調の回復速度を調査した。前述の若齢葉体の色調低下試験と同様にノリ網を張り付けた試験枠を作製して水槽内に設置した。エアレーションにより0.2m/secの流速を与えながら止水で培養して海水中の栄養塩を枯渇させ、葉体を色落ちさせた。2月6日に海水を交換して再び止水とし、農業用肥料（硫酸アンモニウム、リン酸）を添加してDIN濃度を5.1μMに調整した。それ以降、2月22日までの間、2～5日ごとに試験枠の数か所から葉体を採取し、葉長の長い20個体の色調を色彩色差計で測定した。

結果と考察

水質環境調査 別報⁶⁾に示したとおり、育苗開始時の養殖漁場の水温は23.9℃で、瀬戸内市地先に設置された水温塩分自動観測装置による平年値（1981～2010年、2m層）と比較すると1.2℃高く、試験期間を通して約1.0℃高く推移した。

養殖漁場の塩分は試験期間中28.1から31.3で推移した。同期間の自動観測装置による過去10年の平均塩分（2008～2017年、0.5m層）は30.4～31.9で、今年度は約1.0低めであった。

DINは試験開始から12月27日まで5.8～11.8μMと高めに推移し、ノリの生長には十分量であったが、2019年1月以降は急減し、2.9～0.8μMと色落ち限界である3μM⁷⁾を下回って推移した（図2）。クロロフィル *a* は0.37～5.01μg/Lを示し、増減を繰り返して推移した（図3）。

生育状況 各供試株の採苗を行った結果、網糸2.2mm当たりの殻胞子付着数はAが45.7個、U-51が70.7個であった。育苗終了時（日齢24）の特性調査結果を表1に示した。育苗終了時の平均葉長はAが28.2mm、U-51が18.5mmと、Aの葉長が有意に大きかった。葉幅はAが1.3mm、U-51が1.5mm、葉長葉幅比はAが22.6、U-51が12.5で葉幅はU-51が、葉長葉幅比はAが有意に大きかった。育苗終了時の網糸2.2mm当たりの芽数はAが977、U-51が106個体で、単胞子発芽体量はAが4.42と大きく、U-51は0.04で非常に小さかった。

11月29日の第1回摘採時（日齢38）の特性調査結果を表2に示した。平均葉長は、Aが183.0mm、U-51が168.5mmで差がなかった。葉幅はAが9.1mm、U-51が12.5mmでU-51が、葉長葉幅比はAが21.0、U-51が13.5でAが有意に大きかった。両株とも線状倒被針形であったが、AはU-51より細葉傾向であった。葉厚はAが20.5μm、U-51が24.5μmでU-51が有意に厚かった。第1回摘採時に網

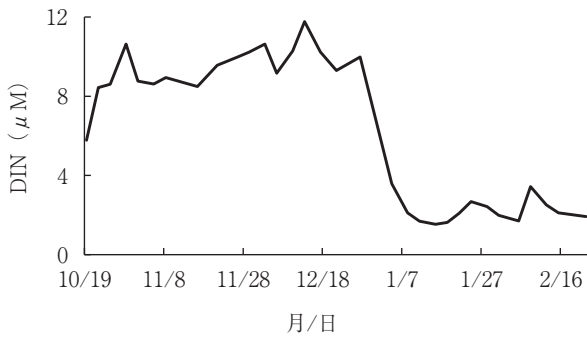


図2 試験期間中の養殖漁場におけるDINの推移

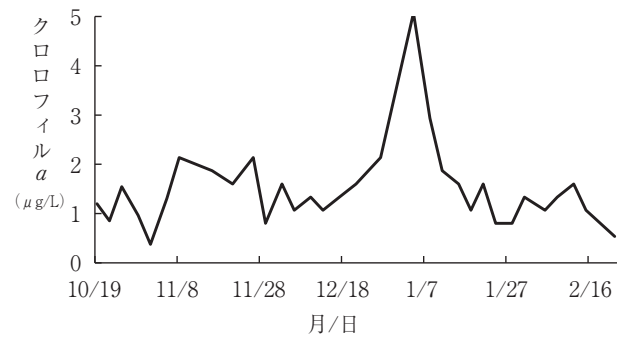


図3 試験期間中の養殖漁場におけるクロロフィルaの推移

表1 育苗終了時におけるノリ葉体の特性調査結果

形質	項目	品種または育種素材の名称	
		A	U-51
生長性	葉長 (平均値±標準偏差, mm)	28.2±7.6*	18.5±1.9
	葉幅 (平均値±標準偏差, mm)	1.3±0.3	1.5±0.4*
葉形	葉長葉幅比 (平均値±標準偏差)	22.6±8.8*	12.5±2.4
	外形	線状倒披針形	線状倒披針形
栄養繁殖性	単孢子発芽体量 (二次芽/親芽)	4.42*	0.04

*は有意差があることを示す

表2 第1回摘採時におけるノリ葉体の特性調査結果と養成期の収量性

形質	項目	品種または育種素材の名称		
		A	U-51	
生長性	葉長 (平均値±標準偏差, mm)	183.0±33.2	168.5±35.2	
	葉幅 (平均値±標準偏差, mm)	9.1±2.1	12.5±2.0*	
葉形	葉長葉幅比 (平均値±標準偏差)	21.0±6.2*	13.5±2.0	
	外形	線状倒披針形	線状倒披針形	
葉厚	葉厚 (平均値±標準偏差, μm)	20.5±1.3	24.5±2.7*	
		日齢38	36.7	54.2*
収量性	湿重量 (kg)	日齢49	77.5	70.4
		日齢116	74.8	91.0

*は有意差があることを示す

糸12本、第2回摘採前(12月10日,日齢49)および第9回摘採前(2月15日,日齢116)に網糸7本に付着したノリ葉体からノリ網1枚当たりの収量を換算した結果、各摘採回時の収量はそれぞれAが36.7, 77.5, 74.8kg, U-51が54.2, 70.4, 91.0kgで、第1回摘採時にはAよりU-51が有意に多かったが、第2回、第9回摘採時には差がなかった。

色調の推移 ノリ葉体のL*a*b表色系による色調のうち、a*値は海域のDIN濃度と正の相関があることが知られており、黒み度の指標として用いられている⁸⁾。11月29日の第1回摘採時のa*値は、Aが12.8、U-51が14.3で、U-51が有意に高かった。1月以降はDIN濃度が低下し、潮汐も小潮であったため1月15日の両株のa*値は4.4と

低下したが、その後はやや上昇し、1月21日にはAが9.0、U-51が6.6とAが有意に高かった。その後のDIN濃度は2月15日の調査終了時まで1.7μMから2.1μMの間で推移し、a*値はAがU-51よりも1.3程度高く推移した(図4)。このことから、養殖漁場のDINが2.0μM程度の場合には、AがU-51よりも色調を高く維持できることが示唆された。

若齢葉体の色調低下試験 低栄養塩環境において、両株の23日齢葉体の色調変化を測定したところ、試験開始時の1月21日のDINは2.0μMであり、両株のa*値はAが13.5、U-51が14.1であった。その後、DINは1.7~3.4μMの範囲で増減しながら推移した。この間、DINが減少したのは、1月24日から28日の2.7μMから2.4μM、2月

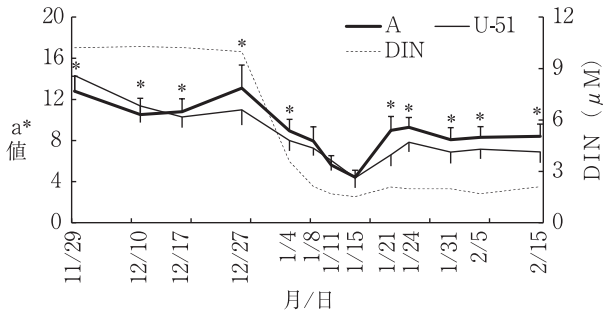


図4 養殖漁場での養成期におけるノリ葉体のa*値とDINの推移
*は有意差があることを示す
キャップ付きバーはAの、キャップなしバーはU-51の標準偏差を示す

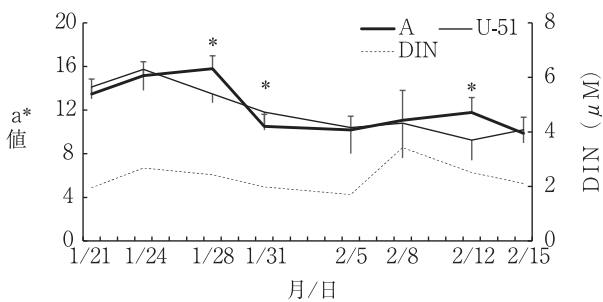


図5 養殖漁場でのノリ若齢葉体の色調低下試験におけるa*値とDINの推移
*は有意差があることを示す
キャップ付きバーはAの、キャップなしバーはU-51の標準偏差を示す

8日から12日の $3.4\mu\text{M}$ から $2.5\mu\text{M}$ となった2回であった。DIN減少後のa*値はA、U-51でそれぞれ1月28日が15.8、13.5、2月12日が11.8、9.3で、両日ともU-51は低下したが、Aは逆に上昇しており、U-51よりも有意に高かった(図5)。詳細は室内試験において確認すべきであるが、DINが $3\mu\text{M}$ 程度から減少する場合、日齢の浅い葉体の色調の低下速度はAがU-51よりも緩やかであることが推察された。

屋内水槽における色調回復試験 屋内水槽において色調が低下した両株を栄養塩添加海水で培養し、色調の推移を測定したところ、試験開始時のa*値はAが4.1、U-51が4.4でU-51の方が有意に高い状態であった。DIN濃度は開始2日後の2月8日に $5.8\mu\text{M}$ であったが、2月12日には $4.3\mu\text{M}$ に低下し、その後 $4.0\mu\text{M}$ 程度で推移した。a*値は試験期間中を通して上昇し、AとU-51でそれぞれ2月8日に9.2、8.6、2月20日に14.5、13.5とAが有意に高かった(図6)。しかし、両株の色調について一貫した有意差は認められず、色落ちした状態からDINが十分量の環境に移された場合、Aの色調回復速度についてはU-51と差がないものと考えられた。

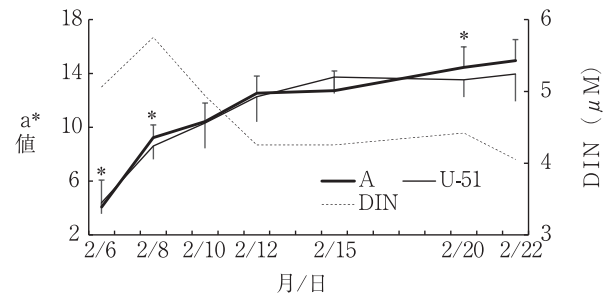


図6 屋内水槽でのノリ葉体の色調回復試験におけるa*値とDINの推移
*は有意差があることを示す
キャップ付きバーはAの、キャップなしバーはU-51の標準偏差を示す

育種素材としての評価 育種素材Aは浮き流し式ノリ養殖漁場において、U-51と同等の生長性を示すこと、DINがノリ葉体の色落ち限界以下である $2\mu\text{M}$ 程度の環境でもU-51より比較的長く色調を維持できること、さらに、日齢30程度で養殖漁場のDINが $2\mu\text{M}$ に減少しても色調の低下がU-51よりも緩やかであること等が示唆された。また、色落ち後にDINが十分量供給された場合の色調回復速度は、U-51と同等であることが示唆された。ただし、色調については、色彩色差計でのa*値の比較ではAがU-51よりも有意に高かったが、肉眼で色調の違いが識別できるほどの優位性は確認できなかったことから、乾海苔に加工した際の色調差も僅かと考えられ、今後更なる改良が必要であると考えられた。

文 献

- 1) 岡山県, 1969: ノリ低位生産性漁場優良化試験, 岡山水試事報, 3-7.
- 2) 畑 宏・平川諒三郎, 1970: 低位生産性漁場優良化試験, 岡山水試事報, 7-14.
- 3) 杉野博之・清水泰子・野坂元道, 2007: 平成18年度ノリ養殖概況, 岡山水試報, 22, 159-161.
- 4) 杉野博之・草加耕司・石飛弘敏, 2008: 平成19年度ノリ養殖概況, 岡山水試報, 23, 120-122.
- 5) 国立研究開発法人水産研究・教育機構, 2018: 平成30年度漁場回線推進事業「栄養塩から見た漁場生産力回復手法の開発」成果報告書, 1-71.
- 6) 清水泰子・草加耕司, 2020: 岡山県の浮き流し養殖漁場における養殖ノリの高水温適応育種素材の特性(2019年度), 岡山水試報, 35, 19-23.
- 7) 藤澤邦康・小橋啓介・野坂元道, 1999: 牛窓ノリ養殖場におけるノリ色素量変化と水質環境について, 岡山水試報, 14, 4-7.

- 8) 村山史康・清水泰子・高木秀蔵, 2015: 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調および乾海苔単価との関係, 日本水産学雑誌, **81**, 107-114.