

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

清水 泰子・草加 耕司

Characteristics of a Nori (*Pyropia yezoensis*) Breeding Line with High Water Temperature 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、このうち水温については、松村らが岡山県海域における秋季の生産量は秋季の水温に関連し、水温が低い年ほど生産量が多いとしている¹⁾。本県では、長年の経験や知見から地区ごとに養殖開始水温が決められており、養殖漁場にノリ網を張り込み育苗を開始するのは23℃台、育苗後の本張りを開始するのは20℃以下が目安となっている。しかし、近年は、温暖化により秋季の水温の低下が緩やかで、2006年度には10、11月の高水温により育苗期に幼芽が傷み、生育に要する時間が伸びた、あるいは網の交換を余儀なくされた等、漁期が大幅に遅れたことにより減産した²⁾。2013年度には、11月中の高水温に大型珪藻 *Coscinodiscus* sp. の増殖に伴う栄養塩濃度の低下が重なって育苗開始が遅れ、さらに冬季に再び栄養塩が低下したため早期に終漁して、生産量は過去最低³⁾となった。

このような秋季の高水温によるノリ養殖への悪影響は全国的な課題であり、各地で高水温に適応した養殖品種の作出および改良が進められている。これらの取組の一つとして、農林水産技術会議による委託プロジェクト研究により、国立研究開発法人（以下、国研）水産研究・

教育機構が高水温に適応した育種素材を開発した⁴⁾。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特性評価試験を行った。

材料と方法

採苗 供試株は、(国研)水産研究・教育機構が開発した高水温適応育種素材 4C、4Cの元品種であるアオクビおよび対照品種として U-51を用いた。2018年4月20日に同機構から分与された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(栴日東製網製1.6×21.3m)に殻胞子を採苗し、屋内水槽で約6時間静置培養した後、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の長さに対し50~60個を目安とした。

養殖試験は、本県瀬戸内市地先で浮き流し式養殖が行われている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



図1 試験位置

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、漁業権を有する牛窓町漁業協同組合に依頼した。

育苗期 10月19日に供試株ごとにノリ網を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本採取し、網糸2本に着生した葉体のうち30個体を選択して、形質を測定した。測定方法は、ノリ品種登録時の特性評価方法とされている、あさくさのり、すさびのりの栽培試験方法を改変して2013年に公表された野外養殖試験実施要領⁵⁾に準じた(表1)。また、ノリの幼芽を高水温下で培養した場合、波状隆起、肥厚、くびれ等の形態異常が生じることが知

られている^{6,7)}ことから、高水温に対する適応性の指標として、葉体にくびれの生じた個体数の割合を測定した。

育苗終了後は、脱水機にかけてノリ網から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。

養成期 11月18日に供試株ごとに2枚の網を縦列して養殖区画に張り込み、養成を開始した。養成期間中は3から7日間隔で供試株ごとにノリ網から8cmの網糸を4本採取し、育苗期と同様に葉長等を測定した(表2)。

養成期間中は、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。

水質環境 育苗期および養成期を通じ、期間中は養殖施設に水温自動観測ロガー(ONSET社製 HOB0 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)を用いて試験場所の塩分を測定し、表層水を採取してオートアナ

表1 育苗期の測定項目

形質	項目	頻度	計測方法	統計検定方法
生長性	葉長(平均値±標準偏差, mm)	3, 4日ごと	8cmの網糸2本に付着した葉体のうち、葉長10mm未満は無作為、10mm以上は長い側から30個体の葉長	Tukeyの方法による多重比較検定
	葉幅(平均値±標準偏差, mm)	育苗終了時	〃 葉幅	
葉形	葉長葉幅比(平均値±標準偏差)	育苗終了時	〃 葉長葉幅比	-
	外形	育苗終了時	あまのり外形模式図を標準とした外形	
栄養繁殖性	単孢子発芽体量(二次芽/親芽, %)	育苗終了時	網糸2.2mmの長さに付着した親芽と単孢子発芽体数	χ ² 乗検定
健全性	形態異常個体率(%)	3, 4日ごと	8cmの網糸2本に付着した個体のうち100個体の形態異常発生個体率	

検定は表計算ソフトによる

表2 養成期の測定項目

形質	項目	頻度	計測方法	統計検定方法
生長性	葉長(平均値±標準偏差, mm)	第1回摘採前	8cmの網糸2本に付着した葉体のうち長い側から30個体の葉長	Tukeyの方法による多重比較検定
	葉幅(平均値±標準偏差, mm)	第1回摘採前	〃 葉幅	
葉形	葉長葉幅比(平均値±標準偏差)	第1回摘採前	〃 葉長葉幅比	-
	外形	第1回摘採前	あまのり外形模式図を標準とした外形	
葉厚	葉厚(平均値±標準偏差, μm)	第1回摘採前	無作為10個体の葉体の中央部の厚さ	Tukeyの方法による多重比較検定
葉色	色見本票	第1回摘採前	無作為10個体をアマノリ葉状体の色調評価用の色見本票との照合	-
	L*a*b*表色系	第1, 9回摘採前	無作為10個体を色彩色差計で各個体3か所測定	Tukeyの方法による多重比較検定
収量性	重量(kg)	第1, 2, 9回摘採前	8cmの網糸12本または7本に付着した葉体の30分後湿重量から換算	

検定は表計算ソフトによる

ライザー (BL-Tech 社製 QuAAtro2HR) により栄養塩濃度 (溶存態無機窒素 : DIN) を、また、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 をそれぞれ測定した。

結果と考察

水質環境 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℃高かったが、その後は停滞することなく低下した。自動観測装置による2018年の育苗期間の水温は、平年値より約0.5℃高かった。また、試験期間を通じると平年値より約1.0℃高く推移した (図2)。

試験期間の養殖漁場の塩分は、28.1から31.3で推移した。同期間における温塩分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から31.9で推移しており、2018年度は約1.0低めであった (図3)。DIN は試験開始から12月27日まで5.8μM から11.8μM と高めに推移し、ノリの生育には十分量であったが、2019年1月以降は急減し、2.9μM から0.8μM と色落ちが生じ

る目安である3μM⁸⁾以下で推移した (図4)。クロロフィル a は0.37μg/L から5.07μg/L の間で増減したが、概ね2.00μg/L 以下で推移した (図5)。

ノリ生育状況調査

1. 採苗 供試株の採苗の結果、網糸2.2mm 当りの殻孢子付着数は、4Cが47.3個、アオクビが69.0個、U-51が70.7個であった。2007~2010年度に本県海域で実施した養殖試験⁹⁻¹²⁾では、殻孢子付着数の目安を10~20個としていたが、ポンプ洗浄の励行など近年の育苗管理行程の変化に伴う現場の実態に合わせ、付着数を多め (50個以上) に調整した。

2. 育苗 育苗終了時 (11月11日, 日齢21) の特性調査結果を表3に示した。育苗期間中に目立ったノリ芽の流失等はなく順調に伸長し、育苗終了時の平均葉長は4Cが21.3mm, アオクビが18.6mm, U-51が18.5mm と、供試3株のうち4Cの葉長が有意 ($p < 0.05$) に長かった (図6)。葉幅は4Cが1.6mm, アオクビが1.5mm, U-51が1.5mm で、葉長葉幅比は4Cが13.9, アオクビが12.9, U-51が12.5で葉幅、葉長葉幅比とも差はなく、葉形は全て線状倒披針形であった。育苗終了時の網糸2.2mm 当りの芽数は4Cが41個体, アオクビが147個体, U-51が106

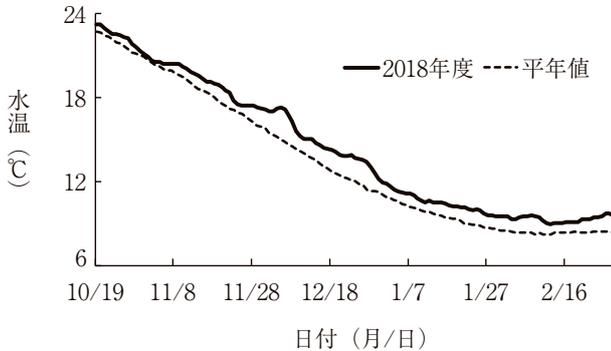


図2 試験期間中の水温の推移 (水温・塩分自動観測装置 2m層)

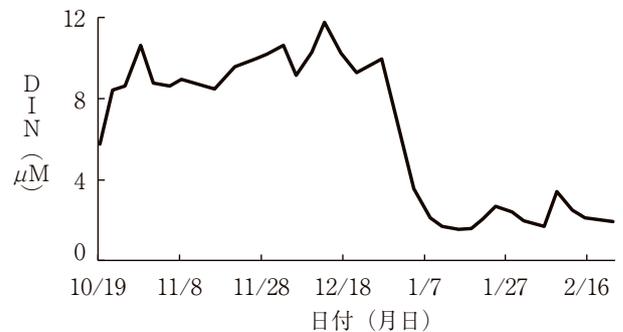


図4 試験期間中のDINの推移



図3 試験期間中の塩分の推移 (平年値: 水温・塩分自動観測装置 0.5m層)

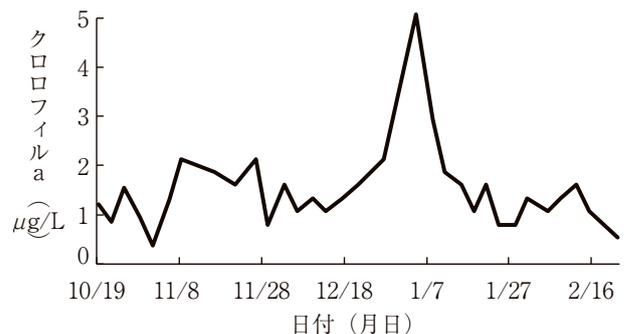


図5 試験期間中のクロロフィル a の推移

表3 育苗終了時の特性測定結果

形質	項目	日齢	品種または育種素材の名称			備考
			4C	アオクビ	U-51	
生長性	葉長 (平均値±標準偏差, mm)	21	21.3±4.2 ^a	18.6±3.0 ^b	18.5±1.9 ^b	
	葉幅 (平均値±標準偏差, mm)	21	1.6±0.4	1.5±0.3	1.5±0.4	有意差なし
葉形	葉長葉幅比 (平均値±標準偏差)	21	13.9±3.5	12.9±2.4	12.5±2.4	有意差なし
	外形	21	線状倒披針形	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, %)	21	6.0	4.8	3.9	有意差なし
健全性	形態異常個体率 (%)	21	21 ^a	34 ^b	60 ^c	

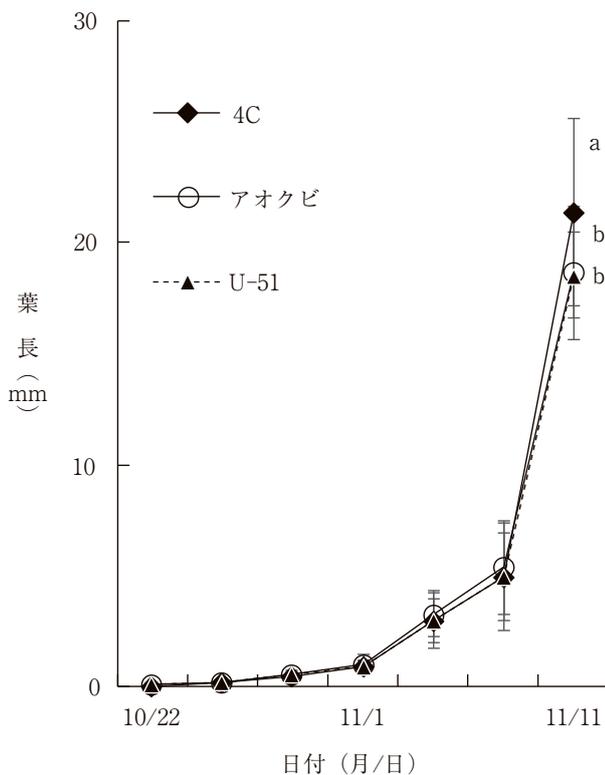
異なるアルファベット間で有意差あり ($p<0.05$)

図6 育苗期間中の葉長の推移
異なるアルファベット間で有意差あり

個体で、採苗時に目安とした殻孢子付着数よりも多かった。また、供試3株の網糸2.2mm当りの単孢子発芽体量は4Cが6.0%、アオクビが4.8%、U-51が3.9%とごく小さく、葉体先端からの単孢子放出もほとんど観察できなかった。

育苗終了時の形態異常個体率は、4Cが21%、アオクビが34%、U-51が60%であり、4Cの形態異常個体率が有意 ($p<0.05$) に低かった (図7)。

育苗期間はノリ養殖において最も水温の高い期間であり、また、試験期間中の水温は平年値と比較して高めに推移した。今回の試験において形態異常の発生原因が水温の影響のみとは言えないが、4Cは他の2品種と比較

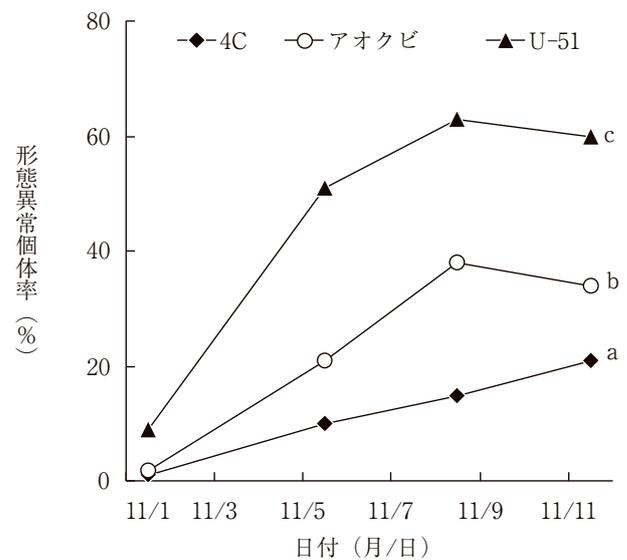


図7 育苗期間中の形態異常個体率の推移
異なるアルファベット間で有意差あり

して高水温への耐性が高く、育苗期の形態異常率の低減に寄与することが示唆された。

3. 養成期 第1回摘採時 (日齢38) の平均葉長は4Cが232.0mm、アオクビが240.1mm、U-51が168.5mmで、4C、アオクビの葉長がU-51よりも有意 ($p<0.05$) に大きかった。葉幅は4Cが10.4mm、アオクビが15.5mm、U-51が12.5mmとアオクビ、U-51、4Cの順に幅広であった。葉長葉幅比は、4Cが22.2、アオクビが15.5、U-51が13.5で4CがアオクビおよびU-51よりも有意 ($p<0.05$) に大きく、細葉傾向であった。葉厚は4Cが20.3 μ m、アオクビが20.7 μ m、U-51が24.5 μ mで、U-51が4Cおよびアオクビよりも有意 ($p<0.01$) に厚かった。色見本票による葉色照合結果は4CおよびアオクビがF10、U-51がF09でほぼ同系色であった。また、第1回摘採時および第6回摘採前の1月11日 (日齢81) に色彩色差計で測定したL*a*b*表色系による色調のうちa*値は、それぞれ4Cが12.8、6.0アオクビが11.7、5.7、U-51が13.7、6.2

で、第6回摘採時は漁場のDIN濃度の低下に伴い退色したものの、両日ともに供試3株間に色調の差はなかった。第1回、第2回摘採(12月10日、日齢49)および第9回摘採(2月15日、日齢116)前に、採取した網糸に着生したノリ葉体重量から換算したノリ網1枚分の収穫量は、4Cがそれぞれ41.4kg、58.6kg、59.1kgであった。供試3株とも摘採を重ねるごとに湿重量が増加した。また、本試験では4Cの収量性は、アオクビ、U-51と比較して

低かった(表4)。

第1回摘採時から1月31日(日齢101)までの摘採と生長を繰り返す間、4Cとアオクビは概ね同様の生長性を示した。4Cは高水温適応株であるが、低水温期にも元品種のアオクビと同等の生長性を示すことが分かった。また、葉長葉幅比は第1回摘採以降は低下し、幅広になる傾向にあった(図8)。なお、試験期間中に目立った病害は発生しなかった。

表4 養成期間中の特性測定結果

形質	項目	日齢	品種または育種素材の名称			備考
			4C	アオクビ	U-51	
生長性	葉長(平均値±標準偏差, mm)	38	232.0±47.8 ^a	240.1±41.4 ^a	168.5±35.2 ^b	
	葉幅(平均値±標準偏差, mm)	38	10.4±2.8	15.5±3.5	12.5±2.0	有意差なし
葉形	葉長葉幅比(平均値±標準偏差)	38	22.2±2.8 ^a	15.5±3.5 ^b	13.5±2.0 ^b	
	外形	38	線状倒披針形	線状倒披針形	線状倒披針形	-
葉厚	葉厚(平均値±標準偏差, μm)	38	20.3±1.1 ^b	20.7±1.1 ^b	24.5±2.7 ^a	
	色見本票	38	F10	F10	F09	-
葉色	L*a*b*表色系(L*, a*, b*)	38	42.7, 12.8, 12.9	43.3, 11.7, 12.3	43.0, 13.7, 12.4	有意差なし
		81	52.3, 6.0, 18.6	50.4, 5.7, 18.2	51.5, 6.2, 16.3	
		116	41.4 ^b	50.9 ^b	54.2 ^a	
収量性	湿重量(kg)	49	58.6 ^b	65.9 ^a	70.4 ^a	
		116	59.1 ^c	93.1 ^b	91.0 ^a	

各項目及び収量性の各日齢の異なるアルファベットは有意差あり(p<0.05)

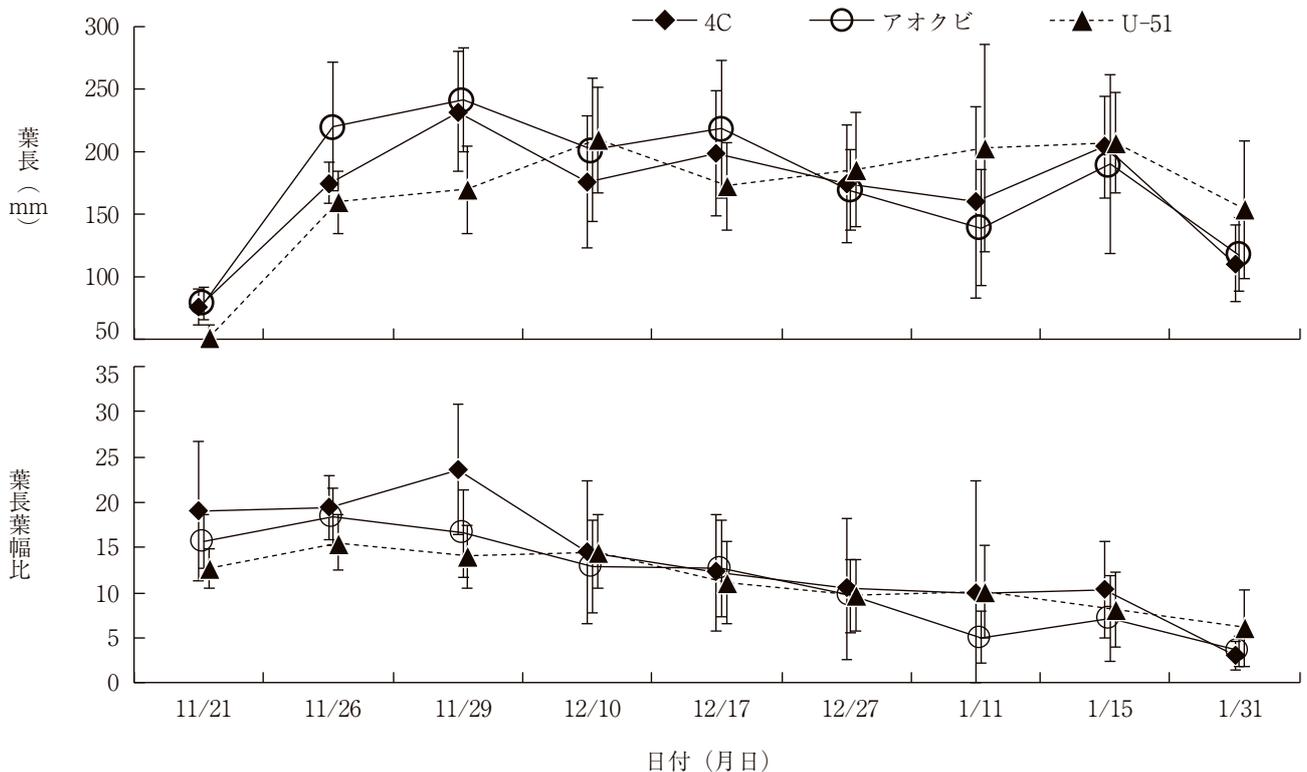


図8 摘採期間中の葉長と葉長葉幅比の推移

以上、育苗期、養成期を通じて、育種素材 4C と元品種のアオクビ、対照品種の U-51 を比較した結果、4C は育苗期の形態異常の発生個体率が供試 2 品種よりも低く、高水温期への適応に優れた特性を示した。その後、養成期の生長性は良いものの、試験開始時の網糸への殻胞子付着数が少なかったこともあり、収量性は供試 2 品種と比較して劣る結果となった。4C は単胞子発芽体の数も少ないため、網糸への着生数を増加させるといった改善策を検討する必要がある。また、アオクビと U-51 は現在の養殖品種として主流ではないため、硬さや呈味などの乾海苔への加工も含めた現場への普及可能性という評価を求めるには、一般的な養殖ノリ品種との比較も検討していく必要がある。

文 献

- 1) 松村眞作・藤澤邦康・篠原基之・杉野博之, 2003: 岡山県における水温とノリの秋芽網生産量の関係, 岡山水研報, **18**, 16-23.
- 2) 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.
- 3) 亀井良則・古村振一, 2014: 平成25年度ノリ養殖概況, 岡山水研 HP 資料, <http://www.pref.okayama.jp/uploaded/attachment/193495.pdf>.
- 4) 藤吉栄次, 2019: プロトプラスト選抜株への共生細菌添加等による高水温耐性ノリ育種素材の開発, 平成29年度委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動のための研究開発」最終年度報告書, <http://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/seika/2016/attach/pdf/seika2016-50.pdf>.
- 5) 藤吉栄次・玉城泉也・小林正裕・有瀧真人, 2014: アマノリ養殖品種の特性. 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎, 125-128.
- 6) 山内幸児, 1974: ノリ幼芽の生長におよぼす温度の影響—I 温度条件とノリ芽の初期生長および形態について, 日本誌, **40**, 439-446.
- 7) 山内幸児, 1976: ノリ幼芽の生長におよぼす温度の影響—II 温度変化とノリ芽の初期生長および形態について, 日本誌, **42**, 387-394.
- 8) 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.
- 9) 草加耕司・清水泰子・難波洋平, 2008: 岡山県の浮き流し養殖漁場における養殖ノリ 3 品種の特性, 岡山水試報, **23**, 20-28.
- 10) 草加耕司・清水泰子・岩本俊樹, 2009: 岡山県の浮き流し養殖漁場におけるスサビノリ 3 品種の特性, 岡山水試報, **24**, 118-124.
- 11) 草加耕司・清水泰子・岩本俊樹, 2010: 岡山県の浮き流し養殖漁場におけるスサビノリ 3 品種の特性 (平成21年度), 岡山水試報, **25**, 38-44.
- 12) 林 浩志・草加耕司・清水泰子・岩本俊樹, 2011: 岡山県の浮き流し養殖漁場におけるスサビノリ 3 品種の特性 (平成22年度), 岡山水試報, **26**, 60-65.

