

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 (2020年度)

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 (during Fiscal year 2020)

Yasuko SHIMIZU and Koji KUSAKA

近年、秋季の高水温がノリ *Pyropia yezoensis* 養殖へ及ぼす悪影響が全国的な課題となっており、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 水産研究・教育機構（以下、水研機構）が高水温に適応した育種素材を開発した¹⁾。岡山県水産研究所では、これら水研機構が開発した高水温適応育種素材 4C および 6C について、2018年度に 4C²⁾、2019年度には 6C³⁾ の岡山県の浮き流し式養殖漁場における特性評価試験を行ってきた。ノリの幼芽を高水温下で培養した場合に波状隆起、肥厚、くびれ等の形態異常が生じることが知られていることから^{4,5)}、試験では高水温に対する適応性の指標として、育苗期に葉体に葉幅の 2/3 以上のくびれが生じた個体数の割合を形態異常発生個体率として測定した。この結果、4C は対照品種の U-51 よりも形態異常発生個体率が低かったが、6C は U-51 と同程度であり、4C の方が育苗期に生じる形態異常への抵抗性が優れていると判断した。そして、養殖品種に求められる高生長性を 4C へ付与すべく、養殖試験中の 2018 年 11 月に、4C のうちノリ網内で葉長の長かった 10 個体を選抜してフリー糸状体として保存した。2020 年度は、まずこれら岡山県海域に適応した 4C の選抜株について室内培養によりスクリーニ

ングしたうえで、2019 年度に続き本県海域の浮き流し養殖漁場において特性評価試験を行った。

材料と方法

室内培養試験 室内培養による特性評価試験には、2018 年 11 月 29 日に養殖漁場において葉長に着目して選抜した高成長を示す 10 個体のうち 5 株および育種素材（元株）の 4C を用いた。それぞれの糸状体から殻胞子をクレモナ単糸に着生させ、容量 1 L の枝付き丸型フラスコで通気培養した。培地は GF/C グラスフィルター（ワットマン社製）でろ過した滅菌海水を用いて作製した NPM 培地を使用した。培養条件は光量 3,000 lux、光周期は 10 時間明期：14 時間暗期とし、水温は 23℃ から 6 日間経過ごとに 1℃ 低下させた。30 日後にそれぞれの株について 30 枚の葉長、形態異常発生個体率、葉体 1 枚当たりのくびれ数を測定した。

漁場養殖試験

1. 水質環境調査 育苗期および養成期を通じ、試験期間中の水温は養殖漁場から約 2 km の瀬戸内市地先に設置してある水温・塩分自動観測装置により測定した（図 1）。葉体の採取時には 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ライザー（BL-Tech 社製

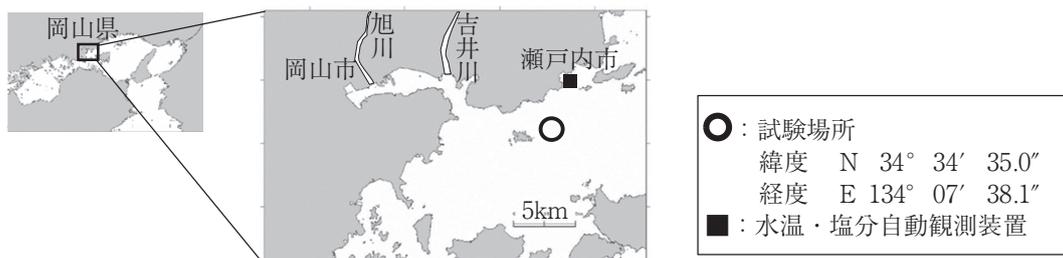


図 1 試験位置

QuAAtro2HR)により栄養塩濃度(溶存態無機窒素: DIN)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 をそれぞれ測定した。

2. 採苗 供試株として4C, 4Cの元品種であるアオクビ, 4Cから選抜した選抜株のうち4C-5, 対照品種としてU-51を用いた。2020年5月12日に4C, アオクビ, U-51の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。4C-5は7月5日から恒温室内でカキ殻糸状体に散布し, 平面培養して育成, 成熟させた。10月5日から18日の間に, 屋外水槽で水車式採苗法により5枚重ねにしたノリ網(第一製網株式会社製 1.6×21.3m)に各供試株の殻胞子を採苗し, 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℃で試験開始まで冷凍保存した。

養殖試験は本県瀬戸内市地先で浮き流し養殖が行われている漁場において実施した(図1)。養殖品種の作出を目的とした特性評価に当たっては, 現在営まれている養殖と同様の管理により育成することが望ましいため, 養殖施設の設置, ノリ網の育成管理等の養殖作業は同漁場の区画漁業権を管理する牛窓町漁業協同組合に依頼した。

3. 育苗期 10月25日に供試株ごとにノリ網を10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17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⁶⁾に準じた(表1)。また, 形態異常発生個体率および葉体当たりのくびれ数を測定した。

育苗終了後のノリ網は, 脱水機で水分を除いた後に風乾し, ポリエチレン袋に入れて-20℃で当日を含めて5日間冷凍保存し, 供試株ごとにそれぞれ2枚ずつを養成漁場に張り込んだ。

4. 養成期 11月22日にノリ網を養殖区画に張り込んで養成を開始した。養成期間中は3~7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, 育苗期と同様に葉長等を測定した。また, 12月4日の第1回摘採前, 12月13日の第2回摘採前および2021年1月5日の第4回摘採前にそれぞれ網糸7本を採取して着生したノリ葉体の湿重量からノリ網1枚当たりの収量を換算した。第1回摘採前および第4回摘採前にはそれぞれ葉体10枚の色彩を色見本票で測定するとともに, 色彩色差計(コニカミノルタ社製 CR-200)によりL*a*b*表色系によるa*値を測定した(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。

本試験の測定値については, (株)社会情報サービスのエクセル統計を用いて統計解析を行い, 有意水準0.05未満を統計的に有意として評価した。

結果と考察

室内培養試験 養殖試験中の4C群から葉長に着目して選抜した10個体の平均葉長は380mmで, 4C全体の平均葉長232mmよりも大きかった。保存した10株の糸状体のうち5株は珪藻等の混入により枯死したため, 残る5株を供試した。4Cと4C選抜株5株(4C-2, 3, 5, 6, 7)の30日間培養後の葉長を図2に示した。4C選抜株5株のうち4C-5, 6, 7の3株の葉長は27.1,

表1 育苗期におけるノリ葉体の測定項目

形質	項目	時期	計測方法	統計検定方法
生長性	葉長	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	育苗終了時	〃 葉幅	
葉形	葉長葉幅比(葉長/葉幅)	〃	〃 葉長葉幅比	-
	外形	〃	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)	〃	網糸2.2mmの長さに付着した親芽と単孢子発芽体数	χ^2 二乗検定
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30個体の形態異常発生個体率	

表2 養成期におけるノリ葉体の測定項目

形質	項目	時期	計測方法	統計検定方法
生長性	葉長	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	〃	〃 葉幅	
	葉長葉幅比 (葉長/葉幅)	〃	〃 葉長葉幅比	
葉形	外形	〃	あまのり外形模式図を標準とした外形	-
	葉厚	〃	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, 4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	〃	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	第1, 2, 4回摘採前	8cmの網糸7本に付着した葉体の30分後湿重量から換算	-

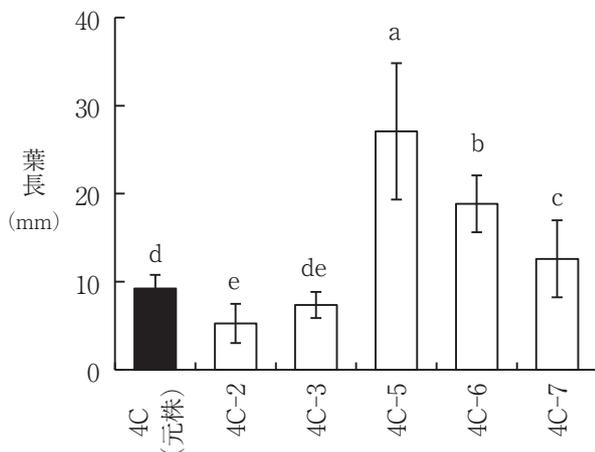


図2 育種素材4Cと4C選抜株5株の室内培養後（日齢30）の葉長

異なるアルファベット間で有意差あり
バーは標準偏差

18.9, 12.6mmで4Cの葉長9.2mmより大きかった。4Cと4C選抜株5株の培養後の形態異常発生個体率と個体当たり平均くびれ数を図3に示した。葉長が4Cよりも大きかった4C-5, 6, 7の3株の形態異常発生個体率はそれぞれ36.7, 43.3, 26.7%で4Cの50%よりも低かった。4C-5, 6, 7の個体当たり平均くびれ数はそれぞれ2.3, 1.6, 1.0か所で選抜株4C-5は4Cの1.7か所よりくびれ数が多かった。これらの結果から、くびれ数は多いが、形態異常発生個体率が比較的低く、葉長が大きい4C-5を今年度の養殖試験に供することとした。

漁場養殖試験

1. 水質環境調査 育苗開始時の10月25日の水温塩分自動観測装置による2m層の水温は21.7℃で、平年値

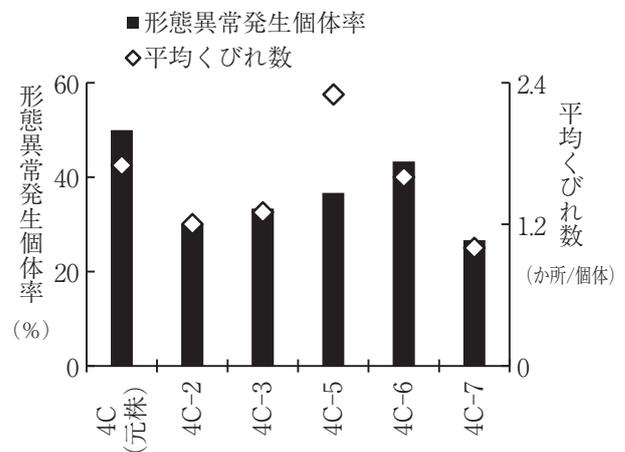


図3 育種素材4Cと4C選抜株5株の室内培養後（日齢30）の形態異常発生個体率と個体当たり平均くびれ数

(1981~2010年)と比較して0.1℃低かった。水温は育苗期間中は平年並みで停滞することなく降下したが、養成期間初期の11月中旬から12月中旬まで1.2~2.1℃高めで推移した。その後は再び平年並みとなったが、1月以降は平年値を下回り、1月中旬は0.7~1.4℃低かった（図4）。

試験期間中の養殖漁場の塩分は30.1~31.6で、試験期間を通じて上昇傾向で推移した。同期間における水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30.4~31.6で推移しており、試験期間中は平年並みか低めであった（図5）。

養殖漁場のDIN濃度は、試験開始直後から珪藻プランクトンの増殖等により1.5μMと低く、11月9日にはヤ

や上昇して $4.9\mu\text{M}$ となった。その後11月24日から12月13日までは $6.1\sim 10.0\mu\text{M}$ で推移したが、その後は再び珪藻プランクトンの増殖等により減少し、1月5日には $0.7\mu\text{M}$ と色落ちが生じる目安である $3\mu\text{M}^7$ 以下となった(図6)。

クロロフィル a は10月26日に $1.5\mu\text{g/L}$ で、11月5日に $0.6\mu\text{g/L}$ に減少した。以降は増減しながらも上昇傾向で推移し、11月30日以降は $1.0\mu\text{g/L}$ 以上で推移した(図7)。

2. 採苗 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4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ40, 82, 112, 68個体であった。

3. 育苗 育苗は11月17日まで行ったが、11月16日

時点ですべての株のほぼすべての個体で先端部が消失した。当漁場ではカモ類による食害が発生していたことから、試験網も同様に食害を受けたと判断した。このため、11月12日(日齢19)の測定値を育苗終了時として評価した。育苗終了時の特性評価結果を表3に示した。育苗終了時の親芽数は4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ26, 27, 41, 22と採苗時よりも株間のばらつきが小さくなった。栄養繁殖性は、同様にそれぞれ929, 69, 95, 14%で4C-5の単胞子放出数が多かった。

育苗終了時の平均葉長は4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ8.2, 7.7, 6.3, 6.9mmで4C-5と4Cが大きかった。平均葉幅は4C-5, 4C, アオクビ,

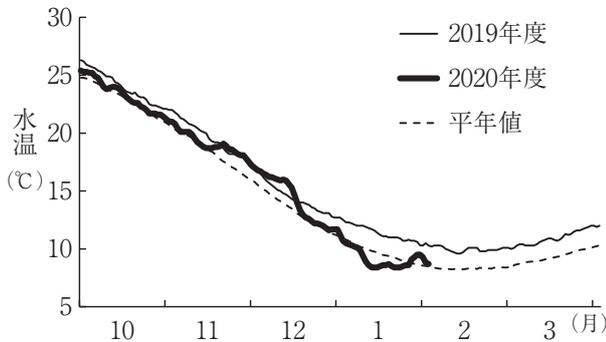


図4 試験海域周辺における水温の推移
(水温・塩分自動観測装置による 2m層)

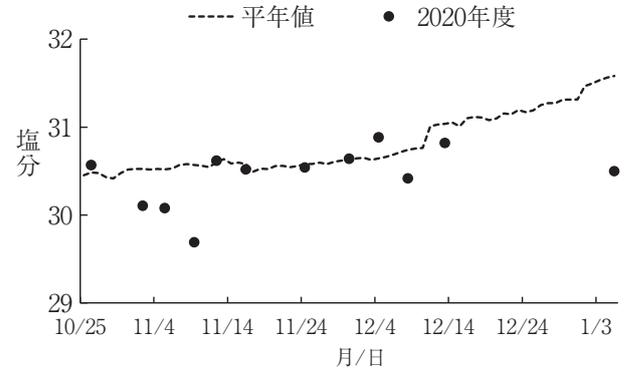


図5 試験期間中の養殖漁場における塩分および周辺海域の塩分平均値の推移
(平年値：水温・塩分自動観測装置 0.5m層)

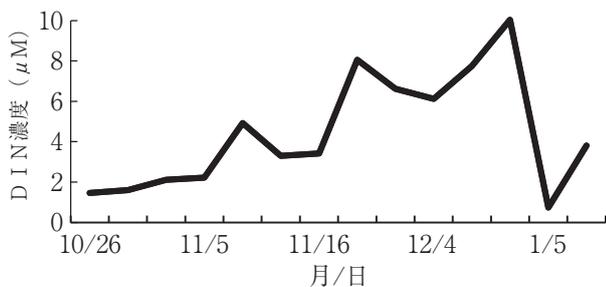


図6 試験期間中の養殖漁場におけるDIN濃度の推移

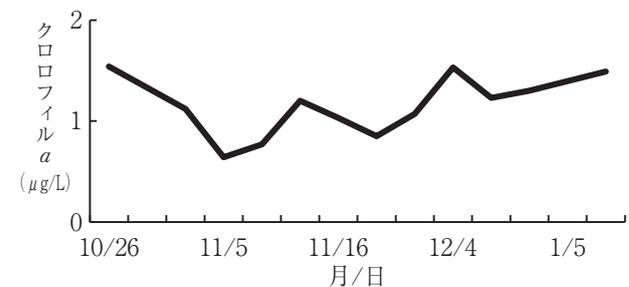


図7 試験期間中の養殖漁場におけるクロロフィル a の推移

表3 育苗終了時におけるノリ葉体の特性調査結果

形質	項目	月/日	日齢	品種または育種素材の名称				備考
				4C-5	4C	アオクビ	U-51	
生長性	葉長(平均値±標準偏差, mm)	11/12	19	8.2 ± 1.6^a	7.7 ± 1.2^{ab}	6.3 ± 0.8^{bc}	6.9 ± 1.5^b	
	葉幅(平均値±標準偏差, mm)	〃	〃	0.55 ± 0.13^a	0.46 ± 0.09^{bc}	0.41 ± 0.07^c	0.49 ± 0.14^{ab}	
葉形	葉長葉幅比(平均値±標準偏差)	〃	〃	15.7 ± 3.7	17.3 ± 4.6	15.7 ± 3.2	15.0 ± 5.4	有意差なし
	外形	〃	〃	線状倒披針形	線状倒披針形	線状倒披針形	線状倒披針形	-
栄養繁殖性	単胞子発芽体量(二次芽/親芽, %)	〃	〃	929 ^a	69 ^b	95 ^b	14 ^b	
健全性	形態異常発生個体率(%)	〃	〃	20 ^b	13 ^c	23 ^b	37 ^a	

異なるアルファベット間で有意差あり ($p<0.05$)

U-51がそれぞれ0.55, 0.46, 0.41, 0.49mmで4C-5が最も大きかった。葉長葉幅比は4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ15.7, 17.3, 15.7, 15.0で差はなく、葉体の外形はすべての株で線状倒披針形であった。

育苗終了時の形態異常発生個体率は、4C-5が20%, 4Cが13%, アオクビが23%, U-51が37%で4Cが最も低く、次いで4C-5とアオクビが低かった(図8)。個体当たりの平均くびれ数は4C-5, 4C, アオクビが1.0か所, U-51が1.2か所で, U-51が多い傾向にあった(図9)。

4C-5の育苗終了時における形態異常発生個体率は4Cより高いものの標準品種(U-51)よりも低く、また平均葉長も供試株中で大きい傾向にあり、養殖期間のうち最も水温が高い育苗期において比較的低い形態異常発生個体率と高い生長性を示したと言える。

4. 養成期 12月4日(日齢37)の第1回摘採前の特

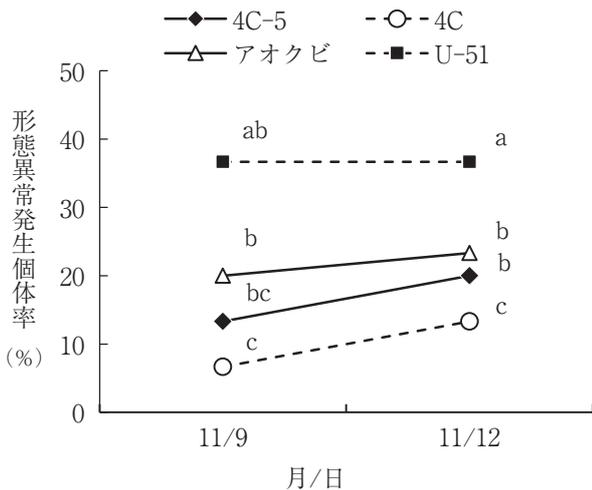


図8 育苗期間中のノリ葉体の形態異常個体率の推移
異なるアルファベット間では有意差あり

性調査結果を表4に示した。平均葉長は4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ, 123.5, 118.4, 103.3, 113.2mmで, 養成開始時はU-51が大きかったが, 第1回および第2回摘採時は4C-5と4Cが大きい傾向にあった(図10)。平均葉幅はそれぞれ20.4, 11.1, 42.8, 14.0mmでアオクビが最も大きく, 4C-5と4Cは差がなかった。葉長葉幅比はそれぞれ6.4, 11.7, 4.2, 9.8で4CとU-51が大きかった。葉形はすべて線状倒披針形であった。葉厚はそれぞれ27.3, 24.0, 26.3, 29.3 μ mで4C-5の葉厚はアオクビ, U-51と同程度であった。

第1回摘採前の色見本票による葉色照合結果は, 4CがF08, 4C-5とアオクビがF09, U-51がF10であった。色彩色差計によるa*値は4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ10.6, 12.0, 10.6, 10.1で4Cが最も高く, 赤色が強い傾向にあった。養殖漁場のDIN濃度が色落ちの目安である3 μ Mを下回った第4回摘採前(日齢69)

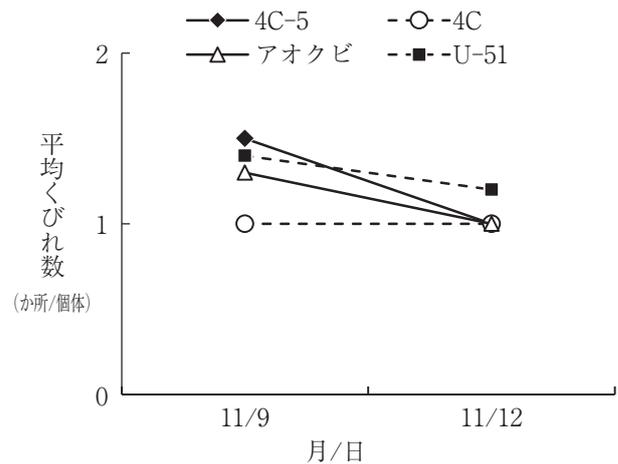


図9 育苗期間中のノリ葉体の個体当たり平均くびれ数の推移

表4 養成期間中におけるノリ葉体の特性調査結果

形質	項目	月/日	日齢	品種または育種素材の名称			
				4C-5	4C	アオクビ	U-51
生長性	葉長(平均値 \pm 標準偏差,mm)	12/4	37	123.5 \pm 26.9 ^a	118.4 \pm 32.5 ^{ab}	103.3 \pm 24.3 ^b	113.2 \pm 30.4 ^{ab}
	葉幅(平均値 \pm 標準偏差,mm)	〃	〃	20.4 \pm 4.6 ^b	11.1 \pm 3.5 ^b	42.8 \pm 30.4 ^a	14.0 \pm 5.4 ^b
葉形	葉長葉幅比(平均値 \pm 標準偏差)	〃	〃	6.4 \pm 2.1 ^b	11.7 \pm 5.0 ^a	4.2 \pm 2.8 ^b	9.8 \pm 5.8 ^a
	外形	〃	〃	線状倒披針形	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 \pm 標準偏差, μ m)	〃	〃	27.3 \pm 1.8 ^{ab}	24.0 \pm 1.75 ^c	26.3 \pm 2.1 ^b	29.3 \pm 1.2 ^a
葉色	色見本票	〃	37	F09	F08	F09	F10
		1/5	69	D13	D13	D13	D13
	L*a*b*表色系(a*値)	12/4	37	10.6 ^b	12.0 ^a	10.6 ^b	10.1 ^b
		1/5	69	0.3 ^b	0.4 ^{ab}	0.4 ^{ab}	1.1 ^a

各項目の異なるアルファベットは有意差あり(p<0.05)

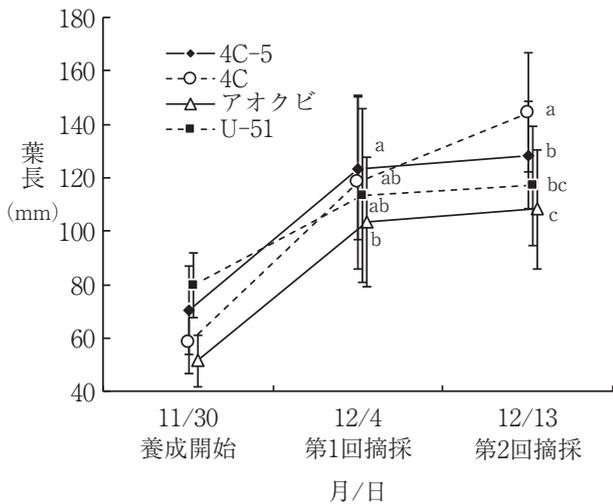


図10 養成期の第2回摘採（日齢46日）までの葉長の推移

12/4, 12/13の異なるアルファベット間では有意差あり
バーは標準偏差

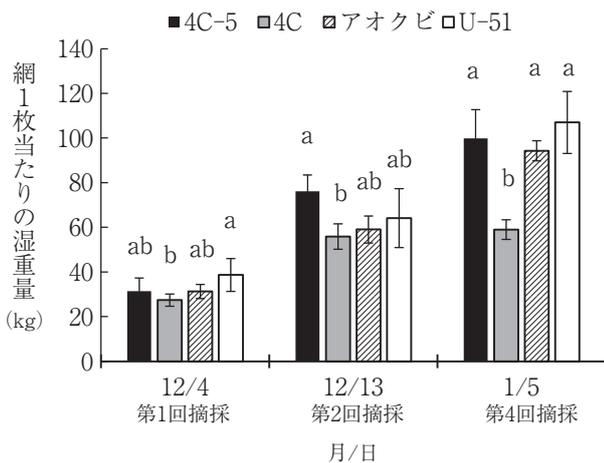


図11 養成期の第1, 2, 4回摘採時のノリ網1枚当たりの換算湿重量

異なるアルファベット間では有意差あり
バーは標準偏差

の葉色照合結果は、供試株すべてがD13であった。a*値は4C-5, 4C, アオクビ, U-51がそれぞれ0.3, 0.4, 0.4, 1.1で、肉眼的には供試株すべてが退色して黄緑色を帯びており、いわゆる色落ち状態であった。

第1回摘採および第2回摘採前のノリ網1枚当たりの換算収穫量は、第1回が4C-5, 4C, アオクビ, U-51でそれぞれ31.4, 27.4, 31.3, 38.7kg, 第2回はそれぞれ76.1, 55.8, 59.0, 64.1kgとなり、第1回, 第2回ともに4C-5が4Cよりも多かった。また、第4回摘採時には4C-5, 4C, アオクビ, U-51でそれぞれ99.9, 59.0, 94.3, 107.0kgとなり、それぞれ第2回から増加したが、

4Cは増加量が少なかった（図11）。

なお、育苗期および養殖期間中に目立った病害は発生しなかった。

以上、育苗期、養成期を通じて4C-5, 4C, アオクビ, U-51の特性を比較した結果、4C-5は育苗期の形態異常発生個体率が標準品種（U-51）よりも低かった。また、育苗期および養成初期の葉長は4Cと同程度であったが、第1回摘採時の葉幅、葉厚は4Cよりも大きく、また、ノリ網1枚当たりの換算湿重量が大きかったことから、収量性に優れている可能性が示唆された。4Cはアオクビから作出された株であるが、アオクビが比較的葉幅が広がる⁶⁾のに対し、4Cの葉幅は狭く、葉長葉幅比が大きい傾向にあった^{2,3)}。今回供試した4C-5は4Cよりも葉幅が広く厚い傾向にあり、アオクビ寄りの特徴を示している。一方、形態異常発生個体率はアオクビよりも低いことから、4Cの特徴である形態異常への抵抗性を維持しつつ、生長性を付与できたと考えられる。

今回、試験に対照として用いたU-51は1974年に千葉県でのノリ養殖漁場で単離されたもので^{8,9)}、典型的なナラワサビノリとされる⁶⁾。今後、硬さや呈味など、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、引き続き一般的な養殖ノリ品種との比較や、葉体の軟らかさ等の新たな特徴についても検討していく必要がある。

文 献

- 1) 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>.
- 2) 清水泰子・草加耕司, 2019: 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, 岡山水研報, **34**, 12-17.
- 3) 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), 岡山水研報, **35**, 19-23.
- 4) 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, 日水誌, **40**, 439-446.
- 5) 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, 日水誌, **42**, 387-394.

- 6) 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.
- 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) M.Ohme, Y.Kunifuji and A.Miura, 1986: Cross experiments of
the color mutants in *Porphyra yezoensis* UEDA, *The Japanese
Journal of Phycology*, **34**, 101-106.
- 9) 社団法人日本水産資源保護協会, 1980: 昭和54年度種苗特性
分類調査報告書, 14-15.

