

フリー配偶体を用いた高水温耐性ワカメ作出の試み

長田 知大^{*1}・押野 明夫^{*2}・成田 篤史^{*3}・田邊 徹^{*1}

Attempt to produce high water temperature tolerant strains of *Undaria pinnatifida*
by using free-living gametophytes

Tomohiro NAGATA^{*1}, Akio OSHINO^{*2}, Atsushi NARITA^{*3}, Toru TANABE^{*1}

キーワード：ワカメ，フリー配偶体，育種

ワカメ (*Undaria pinnatifida*) は日本沿岸に広く生息するコンブ目チガイソ科の褐藻であり、九州から北海道までに及ぶ広い範囲で養殖が行われている。中でも宮城県での生産量は非常に大きく、2022年の生産量は22万トンと全国1位であり¹⁾、そのうち9割以上を南三陸町から気仙沼市にかけての宮城県北部での生産が占めている²⁾。

同種は日本の南北に広く生息することから、幅広い水温への適応性を有していると考えられているが³⁾、養殖を行う際には水温が非常に重要な条件の一つとなる。宮城県におけるワカメ養殖については、17℃～22℃程度の水温が養殖種苗を沖出しする際の水温として好適とされ⁴⁾、それ以上の水温では芽落ちと呼ばれる孢子体の枯死・脱落に繋がるとされている。これらの水温条件を基準として、種苗の漁場への仮植および本養殖への移行を行うことが推奨されているため、養殖の開始時期はその年の水温に大きく依存する。

しかし、近年では全国的に海水温の上昇が著しい。佐伯ら⁵⁾は秋季の宮城県浅海域から沖合までの全域の水温が上昇トレンドにあり、秋季の気温の上昇により表層海水温が下がりにくい海洋環境になっていると分析している。ワカメ養殖において秋季は養殖の開始時期に当たり、漁場に展開する小型の孢子体の枯死・脱落を避けるため海水温の低下を待つ必要がある。しかし、上述のような海水温の上昇により養殖開始が遅れ、十分な養殖期間が確保できず、生長の不足による収量の減少に繋がる

可能性がある。

こうした状況に対応すべく、秋季に水温の低下を待たずとも養殖を開始できる種苗の作出が求められている。気仙沼水産試験場では高水温環境への耐性や良好な生長を示すなど、優良な形質を有するワカメを探索しフリー配偶体として保存するとともに、これらの配偶体を用いた交配系統の作出を試みてきた。本報では、高水温・貧栄養といった環境変化への耐性を持ち、現在養殖に用いられている種苗と比較し早期に養殖を開始できる種苗の作出を目的として実施した試験の結果について報告する。

材料と方法

2011年から2017年にかけて、環境耐性や良好な生長を示す形質を持つワカメの探索および系統の作出を目的として、高水温耐性あるいは高生長が見込まれるワカメの配偶体の収集を行った。なお、県外に由来するワカメについては水産養殖管理協議会 (ASC) 認証取得を進めていく観点から一部海域への導入が難しかったため、県内で生息するワカメからのみ収集を行った。

実験に使用した系統

H系統 2011年5月に、宮城県気仙沼市階上地区沿岸に生息していた天然ワカメを採取した (図1)。この海域は当時東日本大震災の影響により堤防が崩壊し、海中に

^{*1}気仙沼水産試験場, ^{*2}元気仙沼水産試験場, ^{*3}食産業振興課

転落した瓦礫によって潮だまり状になっていたため、**気温や日射の影響による水温上昇や海水、陸水の流入による栄養塩供給が少なかったことに伴う貧栄養化が起きていたと考えられた。**この場所に生息する天然ワカメは高水温・貧栄養に暴露されたものと考え、配偶体を採取し、保存していたものをH系統とした。なお、採取時の母藻は全長約50 cm、胞子葉長約5 cmと小型であった。

K, UおよびS系統 2017年5月に、唐桑地区大沢、歌津地区港および志津川地区平磯の漁業者に協力を得、各漁業者が養殖に用いていたワカメのうち、特に生長が良好であったものを入手した(図1)。これらのワカメの胞子葉から配偶体を採取し、保存していたものを、それぞれK, UおよびS系統とした。宮城県では主として内湾域ではナルト型ワカメ(以下、内湾系ワカメ)、外洋域ではナンブ型ワカメ(以下、外洋系)の種苗を用いた養殖が行われており⁹⁾、宮城県北部では内湾系ワカメ種苗を内湾での葉と胞子葉(メカブ)の生産に、外洋系ワカメ種苗を外洋での葉の生産に用いているが、S系統の母藻は内湾系、K系統の母藻は外洋系の種苗を入手し養殖したものであった。なお、U系統の種苗の由来は不明であった。これらの母藻はそれぞれ全長約250 cm程度であった。

採取したこれらのワカメから得た胞子葉から、以下の

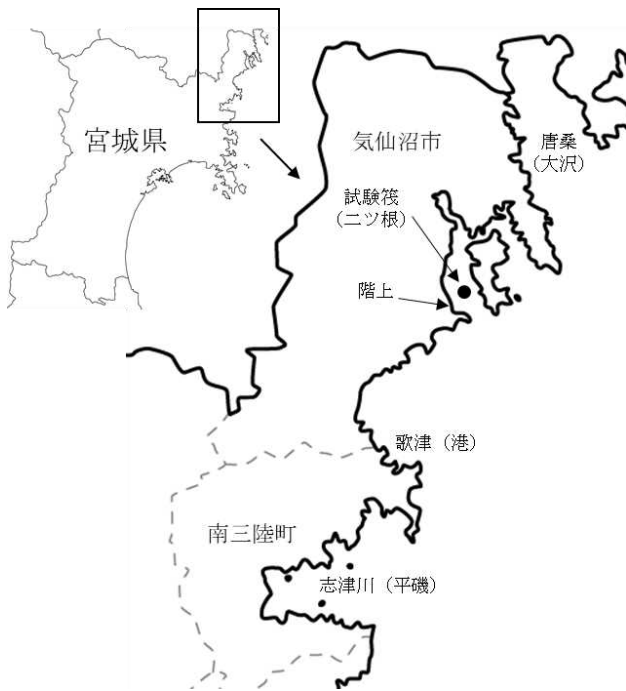


図1 各系統の母藻採取・養殖海域および試験2における試験筏の位置

手順で配偶体を収集・管理し、系統化した。なお、配偶体の収集・管理や試験1での培養、育苗は徳島県刊行のワカメ種苗生産マニュアル⁷⁾を参考に一部改変を加え実施した。すなわち、砂濾過海水で胞子体表面の汚れを洗い流して一晩陰干しした後、1 cm角に切り分け紙コップ中で砂濾過海水に浸漬し、遊走子の放出を促した。遊走子が放出された砂濾過海水を10倍、100倍、1000倍に希釈した上で、50 mlのプロバゾリの強化海水培地

(Provasoli's Enriched Sea water, 以下PESIと表記する)で満たしたプラスチックシャーレに1 mlずつ分注し、20 °C, 1000 lx, 12時間明暗(12L12D)の条件で3~4週間程度培養して配偶体を得た。配偶体は雌雄を確認した上で、1遊走子に由来する株として、PESI中で20 °C, 1500 lx, 12時間明暗(12L12D)の条件で保管した。保管中は約6か月に一度培地を交換した。

採取した系統の環境耐性を検証し、実際に養殖に供した際の漁場での生長を確認するため、以下の試験1および試験2を実施した。

試験1 高水温・貧栄養塩への耐性検証試験

保管した上記の4系統の配偶体の一部をそれぞれ三角フラスコに移し、PESI中で20 °C, 3000 lx, 12時間明暗の条件で通気培養を行った。培養中は2週間に一度培地を交換した。培養された配偶体を用いて、同系交配4系統(H系統, K系統, U系統, S系統の雌雄配偶体を用いて交配したもの、以下それぞれH♀♂交配区, K♀♂交配区, U♀♂交配区, S♀♂交配区)と異系交配6系統(H系統の雌性配偶体とK,UおよびS系統の雄性配偶体を用いて交配したもの、およびその正逆で交配したもの、以下それぞれH♀K♂交配区, H♀U♂交配区, H♀S♂交配区, K♀H♂交配区, U♀H♂交配区, S♀H♂交配区)の掛け合わせで採苗枠へ種付けした。採苗枠への種付けは、ホモジナイズした配偶体を雌雄2 gずつ混合し、約300 mlの滅菌海水で希釈し採苗枠(φ13 mmのポリ塩化ビニル製パイプを30 cm×40 cmで組んだ枠に、φ3 mm, 三ツ撚りのクレモナ糸約80 mを隙間なく巻き付けたもの)に市販の刷毛で塗布する方法⁸⁾により行った。育苗は、容量約100 Lのプラスチックコンテナに約90 Lの精密濾過海水(砂濾過海水を孔径50 μm, 10

μm, 5 μmのPP製フィルター（環境テクノス）および0.5 μmのメンブレンフィルター（株式会社GSユアサメンブレン）で段階的に濾過したもの）を入れ、配偶体を塗布した種枠をそれぞれ収容して約2か月間行った。育苗期間中は表1の通り、水温、照度、通気、栄養塩を設定した。添加する栄養塩には市販の藻類培養液

（KW21, 第一製網株式会社）を用いた。全長1~3 mm程度の孢子体に生長した時点で各交配区の孢子体を採苗枠から剥離し、栄養塩濃度を変えた培地を入れたプラスチックシャーレに、それぞれ9~15個体となるように収容した。なお、培地の栄養塩濃度は、三態窒素およびリン酸態リンを含まない人工海水（以下、希薄濃度区）に、PSEIを添加し三態窒素濃度を3段階に調整（約14 μg/L, 約25 μg/Lおよび約45 μg/L, 以下それぞれ低濃度区, 中濃度区, 高濃度区）した計4段階とした。これらのシャーレを20℃, 22℃, 24℃, 26℃の4段階に設定した温度勾配恒温装置（TG-180-5L, 株式会社日本医化器械製作所）にそれぞれ収容し、照度3000 lx, 光周期10時間明14時間暗（10L14D）の条件下で20日間培養した。培養期間中は各区約5日おきに計4回観察を行い、観察時の孢子体の正常度を3段階（図2）で評価した。孢子体に異常が無い場合をステージI, 孢子体の組織に異常は無いが退色が認められる場合はステージII, 完全に退色し組織が枯死する、孢子体組織が崩壊するなどの異常が認められる場合はステージIIIとし、ステージIおよびIIの個体数の合計を正常個体数として総個体数に占める正常率を求めた。

試験2 漁場での生長比較試験

試験1と同様の交配によりF1を作出し、表1と同様の条件で育苗した。これらの種苗を2022年10月27日に気仙

表1 育苗期間中の水温・照度・通気・栄養塩の条件設定

	第1週	第2週	第3週	第4週以降
水温	18℃	18℃	18℃	18℃
照度	2000lx	2500lx	3000lx	3500lx
通気	無通気	微通気	通気	強通気
栄養塩添加	無し	20ml	20ml	40ml



図2 孢子体の正常度評価段階（ステージI~III）

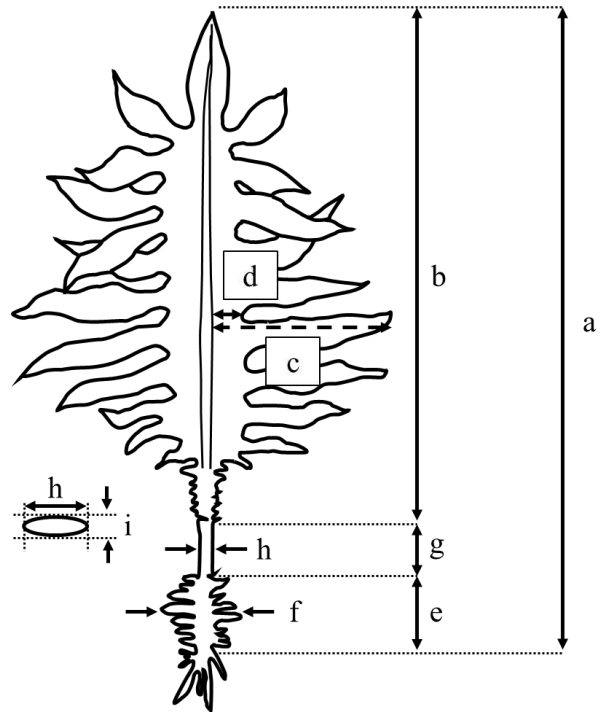


図3. ワカメ測定時の各項目の図示、記号はそれぞれ全長 (a), 葉長 (b), 葉幅 (c), 欠刻幅 (d), 孢子葉長 (e), 孢子葉幅 (f), 中肋長 (g), 中肋幅 (h), 中肋厚 (i) を示す

沼湾二ツ根地先の試験筏（図1）に仮植、同年11月15日に同筏に挟み込むことで本養殖を開始した。1株当たりの孢子体の本数は12本~15本程度としたが、H♀♂交配区のみ種系に着生する孢子体が少なかったため、1本~5本程度となった。12月, 1月, 2月には洋上で全長を測定し、3月には刈り取って図3に示す各部の長さ、および各部の湿重量を測定した。なお、上記の測定はいずれも各月上旬に行った。3月の各交配区の全長の生長差については、一元配置の分散分析を行った上で、ボンフェローニ法による多重比較検定を行った。なお、測定の際は各交配区とも30個体測定したが、H♀♂交配区については十分な数が得られなかったため、各月とも10個体を測定とした。また、その全てを採苗用の母藻として漁場に残したため、3月の測定項目は全長のみとした。養殖期間中の海洋環境を調査するため、養殖試験を実施した10月から3月の期間中、試験筏近辺（二ツ根）で1週間ごとに表層水温を計測し、1か月ごとに表層および2.5 m水深の栄養塩濃度（三態窒素およびリン酸態リン濃度）を測定した。また、仮植から本養殖までは約2週間の間に不定期に栄養塩を測定した。なお、水温の測定にはCTD（RINKO-Profiler, JFEアドバンテック株式会社）を用い、栄養塩濃度の分析にはオートアナライザー

(QuAAtro2-HR, ビーエルテック株式会社) を用いた。

結果

試験1

試験期間中の各交配区の正常率の推移を図4に示す。

H交配区同士の交配により得られたH♀♂交配区では、いずれの水温、栄養塩濃度区においても20日間正常を保った。

K系統を親に持つ交配系統のうち、K♀♂交配区は20℃では各栄養塩濃度区とも8日目まで異常個体は確認されなかったが、15日目にかけて希薄濃度区と低濃度区で正常率が低下した。また、水温22～26℃の範囲では、水温が高く栄養塩濃度が低いほど正常率の低下が急激であった。一方、H♀K♂交配区およびK♀H♂交配区については、いずれの水温、栄養塩濃度区においても20日間正常を保った。

U系統を親に持つ交配系統のうち、U♀♂交配区では8日経過後の水温20℃区で栄養塩濃度が低いほど正常率が低下する傾向にあり、水温22℃以上ではいずれの栄養塩濃度でもきわめて正常率は低く、正常個体は確認さ

れなかった。一方、H♀U♂交配区およびU♀H♂交配区については、いずれの水温、栄養塩濃度区においても20日間正常を保った。

S系統を親に持つ交配系統のうち、S♀♂交配区では水温20℃でも6日目以降に栄養塩濃度が低いほど正常率が低下する傾向にあり、水温22℃以上では10日目以降に正常率の低下が確認された。一方、H♀S♂交配区とS♀H♂交配区については、いずれの水温、栄養塩濃度区においても正常率の低下は確認されなかった。

試験2

養殖試験を実施した10月から3月の間の試験後近辺(二ツ根)の表層水温の推移を図5に示す。養殖試験中の表層水温は10月下旬の16.7℃から降温し、2月下旬には最も低く6.6℃となった。また、同期間中1か月ごとに観測した栄養塩濃度(三態窒素およびリン酸態リン濃度)の推移、および漁場への仮植から本養殖実施までの約2週間不定期に観測した栄養塩の推移を図6に示す。養殖試験中の三態窒素濃度は6.8μg/L～79.3μg/L(表層)および7.3μg/L～76.3μg/L(2.5m層)、リン酸態リン濃度は6.5μg/L～15.7μg/L(表層)および6.3μg/L～15.5μg/L(2.5m層)の範囲にあった。また、令和4年12月～

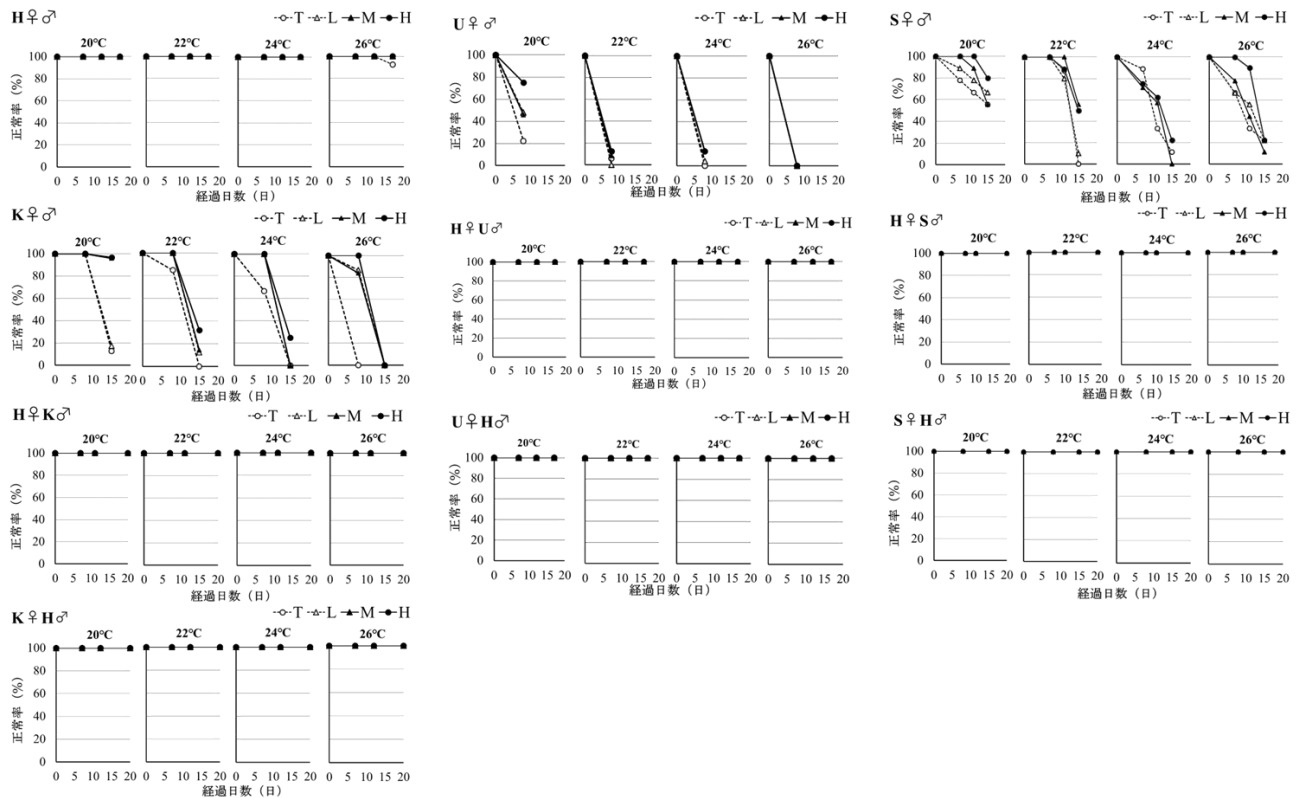


図4 各交配区の高水温・貧栄養塩耐性検証試験の結果 (各区n=9～15, Tは希薄濃度区, Lは低濃度区, Mは中濃度区, Hは高濃度区を示す)

フリー配偶体を用いた高水温耐性ワカメの作出の試み

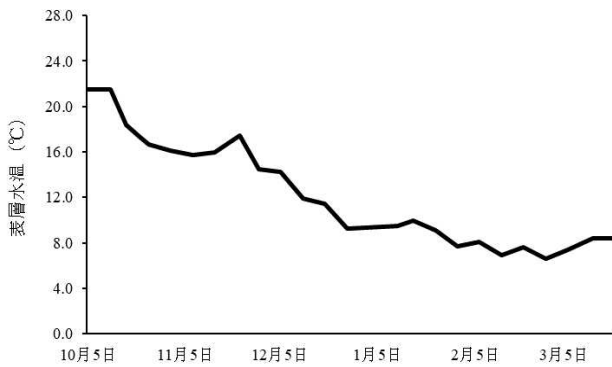


図5 養殖試験期間中の表層水温の推移

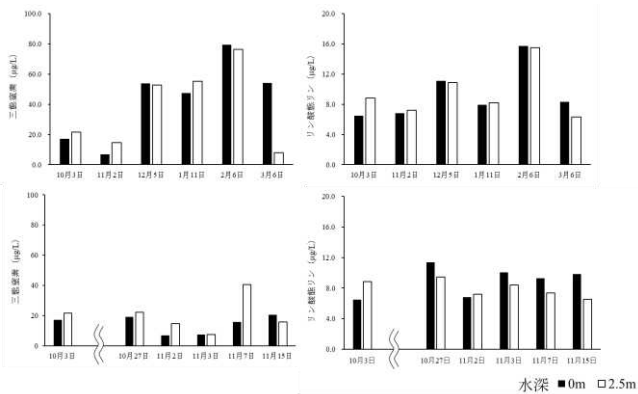


図6 養殖試験期間中の三態窒素濃度（左上）とリン酸態リン濃度（右上）および仮植から約2週間の三態窒素濃度（左下）とリン酸態リン濃度（右下）の推移

令和5年3月の各交配区の全長の推移を図7に示す。H♀♂交配区と比較した場合、U♀♂交配区を除く全ての交配区が有意に大きかった ($p < 0.05$)。また、K♀♂交配区、U♀♂交配区およびS♀♂交配区と比較した場合、それぞれの高生長系統と高水温耐性系統との交配区は、高生長系統同士の交配区と同程度 ($p > 0.05$)、もしくは有意に大きかった ($p < 0.05$)。

令和5年3月に行った精密測定の結果を表2に示した。各交配区における全長の平均値は93.1 cm~193.1 cm, 全重量の平均値は318.4 g~793.5 g, 胞子葉長の平均値は14.3 cm~34.1 cm, 胞子葉重量の平均値は56.9 g~202.7gの範囲にあり、それらの結果を測定項目ごとに順位付けする

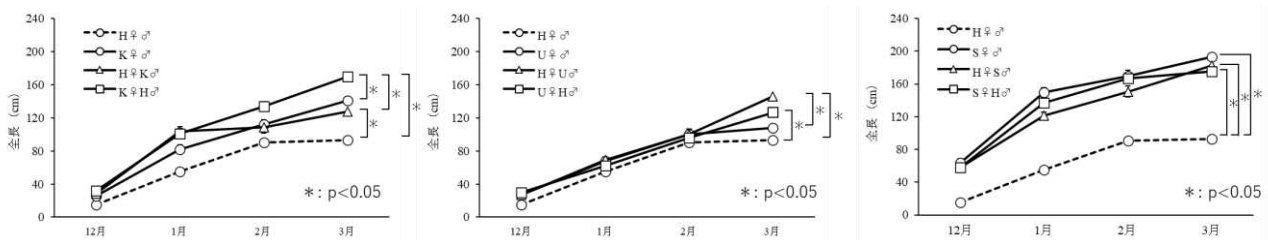


図7 養殖試験における各交配区の全長の推移、*は有意差を表す

と、葉や胞子葉（メカブ）の長さや重量のほか、葉幅など収量に関する項目の多くで上位を占めた交配区はS系統を親に持つ交配区（S♀♂, S♀H♂, H♀S♂）であった（表3）。

考 察

試験1より、高水温・貧栄養耐として用いたH系統を親に持つ交配区は、高水温・貧栄養塩条件でも正常な状態を保ち続けた一方、H系統を親に持たない交配区に関しては、いずれの交配区も高水温・低栄養塩環境では正常率が速やかに低下し、交配区によっては水温20℃、高栄養塩濃度の標準的な培養条件下でも正常率の低下が確認された。異なる系統のワカメの配偶体を交配に用い優良系統を作出する試みは日本各地で行われており、親系統が持つ形質が交配区の形質を左右することが認められている^{9) 10)}。また、本試験で高水温耐性系統として使用したH系統の母藻が採取時に生息していた場所は潮だまりに近い環境であり、水温が上昇しやすく、栄養塩濃度が低下しやすい環境と推察された。H系統の母藻はこうした環境に適応する形質を偶然持っていたため生存したものと考えられ、この形質が交配試験により作成したF1にも遺伝し発現したと思われる。また、内湾系種苗の母藻に由来するS系統とH系統の交配区だけでなく、外洋系種苗の母藻に由来するK系統とH系統との交配区においても高水温に対する耐性が確認されたことから、生長や成熟が内湾系のワカメと比較して遅い外洋系のワカメ系統¹¹⁾であっても、高水温耐性系統を交配することで早期養殖可能な種苗の作出に利用できるかもしれない。

加えて、交配区によっては水温20℃、高栄養塩濃度（三態窒素で約45 µg/L）のような標準的な範囲の水温・栄養塩環境でも正常率の低下が発生しており、これは採苗枠から試験用シャーレへ移動した際の環境変化による影響等が推察される。H系統を親に持つ交配区にはこうした現象は見られなかったことから、H系統は高水

温や低栄養塩環境に加え環境の変化への耐性も持ち合わせる可能性が示唆された。

試験2について、試験期間中は仮植から本養殖までの三態窒素濃度が、特に表層で6.7 µg/L~20.3 µg/Lと低く推移したものの、その後の期間では47.5 µg/L~79.3 µg/Lと高い値で推移した。また表層水温およびリン酸態リン濃度は養殖期間を通して生長に好適な範囲であり、全体的には好ましい条件で生長が進んだものと考えられる。

養殖試験における養殖密度については、H♀♂交配区を除く交配区の養殖密度は1 mあたり40個体から50個体とした一方、H♀♂交配区の養殖密度は1 mあたり約3個体から約16個体と大幅に低かった。佐藤らは、養殖密度によりワカメの形態には変化が生じ、1 mあたり80個体未満の低密度では、生長に利用可能な空間が十分に確保

加えて、H系統の母藻も配偶体を採取した時点で50 cm程度であったことから、H系統はワカメとしては矮性の系統であると推察される。

一方で、H系統と高生長系統であるK系統、U系統およびS系統の交配区は、いずれもH♀♂交配区と比較して有意に大きく生長し、高生長系統同士の交配区と比べても同程度、もしくは有意に大きくなる生長を示した。このことから、生長面については高生長系統の持つ形質がF1に遺伝し発現したものと推察される。

また、高生長系統として利用したいずれの系統の母藻も同程度の全長であったにも関わらず、全ての交配区の各部の長さや重量を比較した場合、製品としてのワカメやメカブの収量に関わる多くの項目でS系統を親に持つ交配区が上位を占めた(表3)。これについては、減数

表2 養殖試験における各交配区の精密測定の結果

	全長 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	欠刻幅 (cm)	孢子葉長 (cm)	孢子葉幅 (cm)	中肋長 (cm)	中肋幅 (cm)	中肋厚 (cm)	全重量 (g)	葉重 (g)	孢子葉重 (g)	中肋重 (g)
H♀♂	93.1±10.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K♀♂	141.0±19.8	116.2±17.1	47.0±5.7	8.1±1.5	14.3±2.6	9.7±6.6	10.6±4.8	2.4±0.4	7.8±0.7	475.5±147.6	367.9±115.8	89.8±36.2	17.7±16.7
U♀♂	108.0±16.7	88.8±14.7	36.1±4.3	5.0±0.8	12.6±2.2	7.5±1.3	6.6±2.6	2.5±0.4	7.7±0.8	318.4±91.6	251.7±67.4	56.9±25.0	9.8±5.2
S♀♂	193.1±24.9	146.6±21.9	46.1±7.0	6.1±1.5	32.3±6.6	8.7±1.8	14.1±5.5	2.8±0.4	7.3±0.5	570.2±180.3	378.5±115.2	169.0±70.7	22.8±8.1
H♀K♂	127.7±28.3	106.8±23.4	46.1±8.6	4.8±1.3	17.6±5.5	8.1±2.1	4.4±3.1	2.3±0.3	7.1±1.2	450.8±216.4	352.1±150.0	94.7±73.7	5.2±3.7
H♀U♂	145.6±24.0	122.1±19.6	45.4±6.0	3.8±1.4	19.7±5.6	7.8±1.2	3.8±2.7	2.7±0.4	6.7±0.9	487.1±137.4	392.9±91.2	89.0±53.1	5.2±4.2
H♀S♂	182.6±22.3	153.1±21.3	48.7±5.9	4.6±1.1	27.7±5.1	9.0±1.4	3.6±1.6	3.1±0.3	5.9±0.8	793.5±199.2	600.3±154.4	184.6±54.2	5.1±2.3
K♀H♂	169.4±17.8	136.4±15.9	49.1±4.5	8.7±1.3	20.9±3.8	8.4±0.8	12.1±3.6	2.5±0.2	7.7±0.8	522.7±101.3	384.4±78.9	120.5±29.1	17.9±5.9
U♀H♂	126.4±12.6	105.1±11.5	37.9±3.6	4.9±0.9	15.9±1.8	7.0±0.7	5.3±1.8	2.4±0.2	6.8±0.8	411.6±84.7	330.6±70.1	70.8±17.3	6.3±2.3
S♀H♂	175.5±27.1	133.9±24.0	47.8±6.9	5.2±1.2	34.1±8.6	34.1±4.8	7.6±5.2	2.7±0.3	6.9±0.6	680.9±102.8	466.1±78.7	202.7±42.5	12.1±9.1

表3 精密測定の結果の順位付け (同項目のうちで1位, 2位, 3位, 4位のものをそれぞれ赤色, 緑色, 黄色, 青色で示す)

	全長 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	欠刻幅 (cm)	孢子葉長 (cm)	孢子葉幅 (cm)	中肋長 (cm)	中肋幅 (cm)	中肋厚 (cm)	全重量 (g)	葉重 (g)	孢子葉重 (g)	中肋重 (g)
H♀♂	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K♀♂	6	6	4	2	8	1	3	8	1	6	6	6	3
U♀♂	9	9	9	5	9	8	5	5	2	9	9	9	5
S♀♂	1	2	5	3	2	3	1	2	4	3	5	3	1
H♀K♂	7	7	6	7	6	6	7	9	5	7	7	5	8
H♀U♂	5	5	7	9	5	7	8	3	8	5	3	7	7
H♀S♂	2	1	2	8	3	2	9	1	9	1	1	2	9
K♀H♂	4	3	1	1	4	5	2	6	2	4	4	4	2
U♀H♂	8	8	8	6	7	9	6	7	7	8	8	8	6
S♀H♂	3	4	3	4	1	4	4	4	6	2	2	1	4

され避陰反応が抑制されるため、養殖密度が低いほど全長は大きくなると報告している¹²⁾。本研究における養殖試験では、H♀♂交配区の養殖密度が他交配区と比べ大幅に低かったにもかかわらず、生長は2月時点で頭打ちとなり、3月の時点でも平均全長は90 cm程度であった。

分裂により遊走子が産生される過程で備わるゲノムが遊走子ごとに異なるため、各系統の母藻から配偶体を採取・単離した際、最も生長面で優れた形質を発現する遺伝子を持っていたものが、今回用いたS系統の配偶体であったためと考えられる。一方で、K系統を親に持つ交

配区が、孢子葉の収量に関わる項目でS系統を親に持つ交配区と比較し劣っていた理由としては、K系統が外洋系の種苗に由来する系統であったことが挙げられる。宮城県北部でのメカブの生産には主に内湾系ワカメが用いられており、外洋系ワカメはメカブが大きくなる種苗として扱われている。今回の交配試験においてもこうした形質が遺伝し、交配区の孢子葉の大きさや重量に反映されたものと思われる。

また、養殖試験では、H系統そのものは矮性であるものの、他地区産の高生長を示す系統（特にS系統）との交配により、F1では生長が大きく改善されることが示唆された。なお、室内試験での環境耐性と海面養殖試験での生長はどちらにおいても交配の正逆による有意な差は認められず、生長面では雄配偶体の、形態面では雌配偶体の親藻の影響をより強く受けるという棚田ら¹³⁾の報告とは異なる結果となった。

宮城県においては、ワカメ養殖の開始に適した水温は22℃以下とされている⁴⁾。本研究での養殖試験は水温が16℃程度まで低下した10月下旬から開始しており、高水温・貧栄養塩環境での耐性試験を実際の漁場で行ったわけではないため、早期養殖に使用した場合の情報が不足している。今後の実用化を考えるに当たっては更なる養殖試験が必要であるものの、以上の結果はワカメ養殖における今後の環境変動への対策の一つとして期待できるものである。

今後県内各地の需要に応じて、今回使用した高水温・貧栄養耐性系統や高生長系統のほか、孢子葉の形成に優れる系統や老化が遅く漁期の後半まで使用できる系統などを探索することが想定されるが、これらの新規系統を探索するにはH系統と交配し検定交雑を行うことにより、生長が期待できる系統の単離に繋がるかもしれない。

また、宮城県では過去にもフリー配偶体による種苗生

産により、形質の固定された早生系統作出の試みを行っているが¹⁴⁾、本研究のように形質が固定されていないF1を種苗として用いる方法をとることにより、F1の雑種強勢を期待できる⁹⁾とともに優良系統の流出の懸念が少ないことも優れる点である。様々な特徴を持つ系統の探索と選抜を繰り返し優良系統を収集することで、海水温上昇のみならず、幅広い状況・需要に応じた種苗の作出が可能となり得るため、今後の種苗開発手法として期待される。

要 約

- 1) フリー配偶体を用いて交配区を作出し室内試験に供した結果、試験の結果、高水温耐性系統を親に持つF1に高水温および貧栄養塩環境への耐性が認められた。
- 2) 交配区を養殖試験に供した結果、高生長系統を親に持つ交配区は、そうでない交配区と比較し有意に大きく生長した。また、高生長系統3株のうち、親系統として用いた場合の効果が最も大きいと思われる株が判明した。

謝 辞

系統探索に当たり、母藻の提供にご協力いただきました宮城県漁業協同組合唐桑支所、気仙沼地区支所、歌津支所、志津川支所に御礼申し上げます。また、養殖試験実施にあたり試験筏を貸与・設置いただきました宮城県漁業協同組合気仙沼地区支所菊田守氏、畠山義弘氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 水産庁（2023）令和4年度漁業・養殖業生産統計，海面漁業生産統計調査，https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html（2023.10.30）
- 2) 宮城県漁業協同組合共販実績（2023）ワカメ
- 3) 小河久朗（2004）ワカメ、有用海藻誌（大野正夫編著）．内川老鶴圃、東京、42-58
- 4) 黒木宗尚，秋山和夫（1957）ワカメの生態および養殖に関する研究．東北海区水産研究所研究報告10号，95-117

- 5) 佐伯光広, 稲田真一, 小野寺毅, 永木利幸 (2016) 宮城県沿岸における海水温の長期トレンド. 宮城県水産研究報告, **16**, 1-9
- 6) 日下啓作, 菊田輝 (2002) 気仙沼湾におけるワカメ養殖種苗の形態差. 宮城県水産研究報告, **2**, 1-6
- 7) 團昭紀 (2000) 新しいワカメの種苗生産マニュアル—フリー配偶体を使った種苗生産—. 徳島県水産試験場, 徳島
- 8) 棚田教生, 團昭紀, 日下啓作, 岡直宏, 浜野龍夫 (2015) 1遊走子起源のフリー配偶体を用いたワカメの大規模種苗生産法および養殖への実用化の実証. *Algal Resources*, **8**, 23-36
- 9) 原素之, 秋山和夫 (1985) ワカメのヘテロシス効果について. 東北区水産研究所研究報告, **47**, 47-50
- 10) 右田清治 (1967) アオワカメとワカメの雑種について. 長崎大学水産学部研究報告, **24**, 9-20
- 11) 谷口和也, 鬼頭鈞, 秋山和夫 (1981) ワカメの形態変異について I. 宮城県松島湾産ワカメ2型の生長と形態. 東北区水産研究所研究報告, **42**, 1-9
- 12) Yoichi Sato, Takayuki Fujiwara and Hikaru Endo (2023) Density regulation of aquaculture production and its effects on commercial profit and quality as food in the cosmopolitan edible seaweed *Undaria pinnatifida*. *Front. Mar. Sci.*, **10**, 1-10
- 13) 棚田教生, 團昭紀, 加藤慎治, 岡直宏, 浜野龍夫 (2015) 鹿児島県産天然ワカメと鳴門産養殖品種の雌雄フリー配偶体正逆交雑による品種改良の効果. *Algal Resources*, **8**, 103-112
- 14) 三枝美穂, 熊野芳明, 塚田輝夫 (2009) 気仙沼湾で継代養殖した対馬系ワカメ6世代の生長と形態特性. 宮城県水産研究報告, **9**, 25-32