

【事業概要】

オキナワモズクの生産底上げ技術開発事業 (沖縄振興特別推進交付金対象事業)

須藤裕介*, 前兼久郁, 宇地原志帆

本県の主要な養殖品目であるオキナワモズクの養殖生産量は、過去 10 年間で 15,000~22,000 トンと大きく変動しており（沖縄県もずく養殖業振興協議会資料）、漁業関係者からは本種の生産安定が強く求められている。そのような中、前身事業の研究成果により、養殖初期の高水温がオキナワモズク養殖の不漁に影響を与える可能性が示唆された。また、本種養殖業の持続的な発展のためには、消費者から求められる品質の原料を供給することが不可欠である。そこで本事業では、高水温耐性を有し、かつ品質（太さ、機能性成分量等）の多様な養殖系統を複数選抜することを目的に研究を行う。

2023（令和 5）年度までの研究では、室内培養下において高水温下で生長の優れる MK 系統を選抜した上で、その養殖試験に着手した。そこで 2024（令和 6）年度は養殖試験の結果を基に（1）漁場における生産性、形質および高水温適応性の評価を行うと共に、（2）機能性成分量の評価および（3）ゲノム解析を実施した。一方で、本事業では複数の養殖系統を選抜することを目的としていることから、（4）室内培養下で高水温適応候補系統の探索を行った。

材料及び方法

（1）漁場における生産性と形質の評価

評価には、2023年に宮古島の3海域（狩俣、大浦、来間）で実施した養殖試験の結果を用いた。供試系統には選抜系統 MK と対照系統 C を用い、各海域において時期の異なる 2 回の試験を実施した。生産性は、各試験終了時における総湿重量から養殖網 1 枚当たりの単位収穫量を算出して評価した。各海域・試験回における系統間の比較には t 検定を用いた。また、試験全体における系統の効果を評価するため、単位収穫量を応答変数、系統を固定効果、海域および海域内の試験回を変数効果とする線形混合モデル（LMM）を用いて解析した。

形質の評価には、藻体の損傷が少なかった来間の第 1 回および第 2 回試験で得られた藻体を用いた。加工品質に係る形質として、主軸及び側枝の直径、枝の破断強度ならびに小枝の密度を測定した。破断強度はニュートン計を用いて枝に荷重をかけ、破断時の最大荷重（破断強度：N）を記録した。

また、養殖試験期間中の水温環境を把握するため、各海域に設置した水温計の記録から水温推移を整理した。特に養殖網の沖出しから本張りまでの苗床期間について、期間平均水温、最高水温および 25℃以上となった期間を確認し、室内培養試験で MK 系統の特徴が認められた高水温条件との対応を評価した。

なお、本養殖試験は宮古島漁業協同組合、宮古島市海業センターおよび宮古農林水産振興センター普及員の全面的な協力により実施した。

（2）機能性成分量の評価

供試サンプルは来間、大浦の 2 海域において 2024 年の 3 月から 5 月の試験終了時に得られた MK と C の養殖藻体を用いた。収穫時の藻体を冷蔵しながら速やかに水産海洋技術センターに搬送し、その後、回転式水切り籠で 60 回転/分の速度で十分水気を切った上で -20℃ で冷凍保存した。分析項目は、フコイダン成分として全糖量、ウロン酸、およびフコースの含有量、ならびにフコキサンチン含有量を分析した。なお分析では、全体の傾向の把握を目的としているため、分析検体数は各海域の 1 検体ずつとした。

（3）ゲノム DNA の構築（委託研究：福井県立大学）

本研究は福井県立大学の西辻准教授により進められた。供試系統は、水産海洋技術センターで単離した高水温適応候補の MK 系統の盤状体と藻体を用いた。今年度の研究では、新たに導入された解析機器（ロングリードシーケンサー）に対応し、適切な長さのゲノム DNA と RNA を抽出するための適切な条件を検討した。また、それらの条件により抽出したゲノム DNA と RNA をシーケンスし、塩基配列と発現遺伝子配列を取得した。

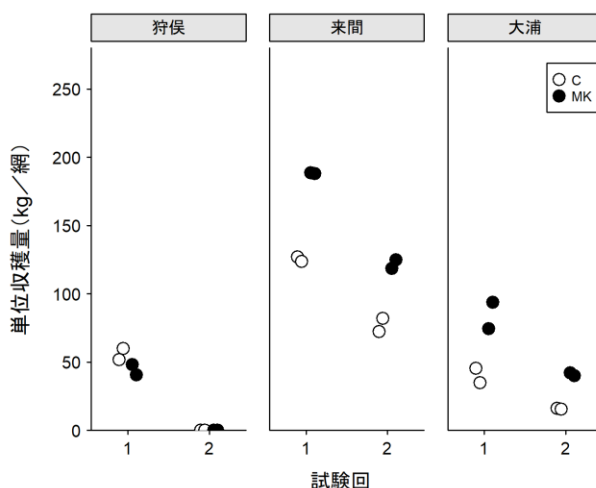


図1 宮古島の3海域における選抜系統 MK および対照系統 C の単位収穫量

各点は養殖網 5 枚の総湿重量を 1 枚当たりに換算した値（kg/網）を示す。

* E-mail : sudouysk@pref.okinawa.lg.jp 本所

(4) 室内培養下における高水温適応候補系統の探索

2023年から2024年にかけて実験に用いた代表的な10系統について、高水温環境下での生長適応性を評価した。供試系統は、本県で利用される主要な4系統(O, K, S, C)に加え、新たに評価対象とする計6系統(MK, Iz-1, M, Ng-5, A, Yn)とした。培養条件は、水温6段階(15~30℃)、光量2段階(110, 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)を組み合わせた計12条件とした。各条件に約2mmの幼芽を6個体収容し、14日間培養した。

個体ごとに、試験開始時と14日目の藻体長から日間生長率(DGR)を算出し、各条件におけるDGRの平均値、標準偏差および個体値の分布に基づき、各系統の温度応答を探索的に評価した。高水温適応候補系統の抽出に当たっては、27℃におけるDGR、23℃におけるDGRおよび両温度間のDGRの変化を総合的に評価した。

結果及び考察

(1) 漁場における生産性と品質の評価

一網当たりの単位収穫量は、来間の第1回および第2回試験ならびに大浦の第2回試験において、MK系統がC系統より有意に高かった(t検定, $p < 0.05$; 図1)。大浦の第1回試験でもMK系統が高い傾向を示した。一方、海域および試験回を考慮した線形混合モデルによる解析では、系統間に有意差は認められなかった。したがって、MK系統は来間および大浦の一部の試験で高い生産性を示したものの、その優位性は海域や試験時期によって変動し、本年度の試験全体を通じた一貫した系統差までは確認されなかった。

来間で得られた藻体の形質を比較した結果、MK系統はC系統より主軸および側枝の直径が大きく、破断強度も高かった(図2)。また、小枝密度は第2回試験でMK系統が低い値を示した。これらの結果から、MK系統は太く、破断しにくく、小枝密度が比較的低いという特徴を有すると考えられた。こうした形質が、来間および大浦の一部の試験で認められた高い収穫量に寄与した可能性が示唆された。

一方、苗床期間中の最高水温は3海域とも26.3℃に達したものの、期間平均水温は21.9~23.9℃であり、25℃以上の水

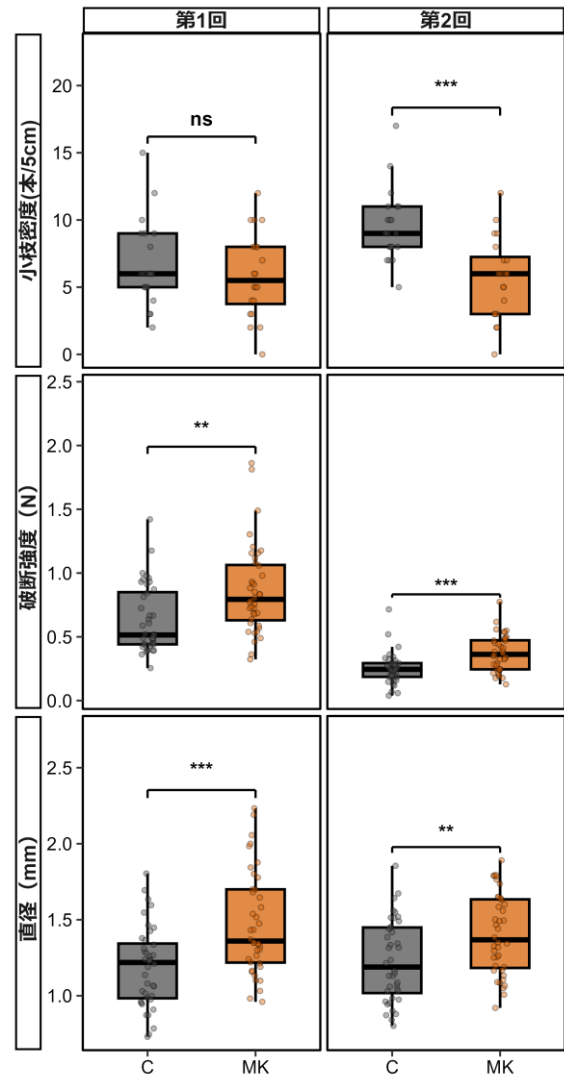


図2 宮古島来間の養殖試験における選抜系統MKおよび対照系統Cの形質の比較

第1回および第2回の試験について、小枝密度、破断強度および直径を示す。箱内の横線は中央値、箱の上下端は第1および第3四分位点、ひしは四分位範囲の1.5倍以内、点は各測定値を示す。*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, ns: 有意差なし(t検定)。

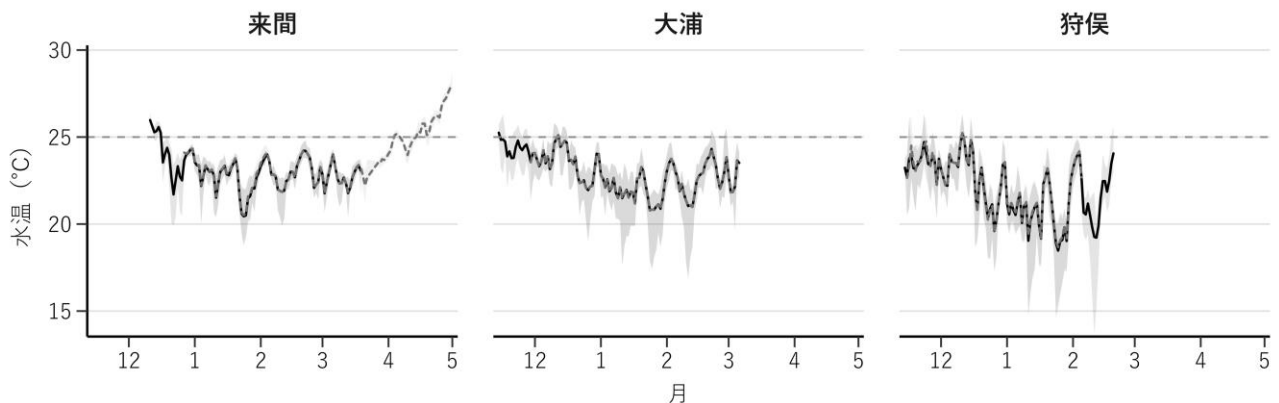


図3 宮古島の3海域における養殖試験期間中の水温推移

水温は各海域の日平均値を示す。図下部の実線および破線は、それぞれ第1回および第2回試験の実施期間を示す。

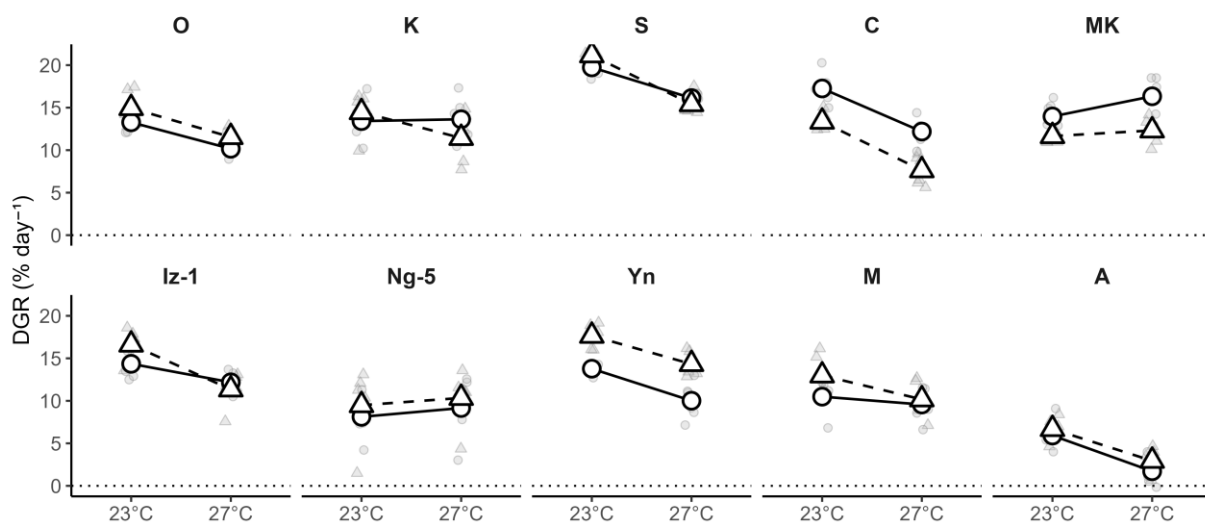


図4 23°Cおよび27°C条件におけるオキナワモズク各養殖系統の日間生長率 (DGR)

記号は各条件下における DGR の平均値を示し、低光量条件 (L: $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を丸 (○) および実線, 高光量条件 (H: $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を三角 (△) および破線で区別した. 灰色の点は各培養容器内の個体値を示す.

温は試験初期の限られた期間にのみ認められた (図3). 本試験では, 室内培養試験で MK 系統の特徴が認められた 27°C 付近の高水温条件が十分に持続しなかったことから, MK 系統の高水温適応性を検証することはできなかった.

以上のことから, MK 系統は来間および大浦において高い収穫量を示す場合があり, 太く破断しにくい藻体を形成するなど, 養殖および加工利用上有用な形質を有することが示された. 一方, 生産性の優位性は本年度の試験全体では統計的に確認されず, 高水温適応性についても十分に検証できなかった. 今後は複数年度の試験結果を蓄積し, 海域および試験時期による変動を考慮して MK 系統の生産性を再評価するとともに, 高水温条件を一定期間維持した試験により, その高水温適応性を検証する必要がある.

(2) 機能性成分量の評価

分析の結果, 全糖量, フコース, ウロン酸については系統間で明瞭な差異は認められなかった. 一方, フコキサンチン濃度では, MK 系統が C 系統に対し 11~32% 低い値を示した. 現時点で, 健康機能性成分の原料としての MK 系統の優位性は認められなかった. フコキサンチンは, 褐藻では光合成色素の一つとして機能している. 外観の観察から MK 系統は C 系統に比べ明るい色をしており, そのフコキサンチン濃度は外観上の色合いと同調していると考えられた. 一方, MK 系統は光合成色素量が少ないにも関わらず, 大きく生長するとともに高い生産性を示しており, 今後生理的な側面からの機能解明が求められる. 次年度は, サンプル数を増やし再現性を検証する.

(3) ゲノム解析 (委託研究: 福井県立大学)

条件検討の結果, 盤状体の試料から 20kb 以上の長さを含

む MK 系統のゲノム DNA が得られた. それらのゲノム DNA からシーケンスを行った結果, 約 50 Gbp のデータ量を取得した. また, 発現遺伝子配列については, 盤状体からは約 40 Gbp, 藻体からは約 50 Gbp のデータ量を取得した.

これらの基礎データにより, 次年度は MK 系統の全ゲノム解析と高水温発現遺伝子の特定を進めていく. さらに品判別のための遺伝子マーカーの開発につなげる計画である.

(4) 室内培養下における高水温適応候補系統の探索

各系統の DGR は, 水温および光条件によって異なる応答を示した (図4). C では 23°C 付近で比較的高い DGR を示し, 27°C では低下する傾向がみられた. 一方, MK では 27°C においても比較的高い DGR が認められ, 23°C から 27°C にかけて生長が維持または増加した. Ng-5 においても 23°C から 27°C にかけて DGR が維持または増加する傾向がみられたが, 23°C および 27°C における DGR の絶対値は比較的低かった.

以上から, 27°C における生長性と 23°C から 27°C への温度応答を総合的に評価した結果, MK は高水温下での生長性を再検証する有力な候補系統として抽出された. また, Ng-5 は高水温に対して特徴的な応答を示す系統として, 引き続き検討する必要があると考えられた. なお, 本試験は各条件につき培養容器 1 容器を用いた予備的なスクリーニングであるため, 候補系統の高水温適応性については, 独立した培養反復を設けた試験により再検証する必要がある. 今後は, 保有する未評価系統についても同様の評価を行い, 高水温環境下で良好な生長を示す候補系統の探索を進める.