

## (12) ふくいのワカメ養殖最適化

(農林水産漁業者等提案型共同研究)

中嶋 登・原 誠二

倉 有里恵 (嶺南振興局林業水産部水産漁港課)

### 1 目的

ワカメ *Undaria pinnatifida* は福井県で大規模に養殖が行われている唯一の海藻で、主に嶺南地方の沿岸部で養殖されている。近年になってワカメの収穫量が年によって変動するようになってきたとの意見が養殖業者から聞かれるようになってきたことから、福井県水産試験場では、平成 28 年から本格的に原因の調査を開始した。平成 30 年度から令和 3 年度にかけては、研究事業「ふくいの海藻増養殖技術開発事業 (ワカメの生産量安定化)」にて、ワカメ養殖の生産量安定化を目的として養殖試験を実施し、養殖に使用する種糸が由来する産地によって、ワカメの成長が異なること<sup>12)</sup>、種糸の沖出し時点で幼葉の成長が不十分であると、養殖期間中の生残率が低下し、また成長も遅延し、逆に通常の沖出しの方法では十分に成長しない種糸であっても、陸上水槽における一時蓄養を 1-2 週間行った後、養殖に使用することで、生残率と成長が改善することが示された<sup>34)</sup>。一方、養殖現場ではこれまで様々な産地の種糸を用いて養殖が試みられてきたが、収穫量や品質が良い種糸産地について、科学的に比較が行われた事例は上記の試験を除き、皆無であった。特に、ワカメの味に関わる遊離アミノ酸組成やポリフェノール、歯ごたえに関わる葉の厚さ (以下、「葉厚」) や破断強度の比較はこれまで実施されていない。

そこで本研究では、複数産地の種糸を用いて養殖試験を行い、収穫量の違いを明らかにするとともに、食用となるワカメの葉をサンプルとして種々の成分分析を行い、また、葉厚と破断強度測定を行って品質の“見える化”を行った。尚、本事業では生ワカメおよび塩蔵ワカメを対象として品質評価を行うこととしているが、本稿では令和 4 年度末時点で分析が完了している生ワカメについてのみ結果を記載する。塩蔵ワカメの品質評価については、次年度事業報告書にて結果を報告する予定である。

### 2 方法

#### 1) 養殖試験

令和 4 年 11 月 1 日にサカイオーバックス株式会社 (福井県福井市) から宮城県産の種糸 (以下、「宮城産」) を購入し、ふくい水産振興センター育成研究棟内にて種糸の一時蓄養を行った (図 1)。蓄養の方法は「ふくいの海藻の増養殖技術開発事業」において令和 2,3 年度に実施した養殖試験に準拠した<sup>34)</sup>。また、蓄養しない対照区用として、11 月 15 日にも再度宮城産種糸を購入した。11 月 17 日に、上記の 2 種類の種糸を 3 cm 間隔に切り、養殖ロープに約 40 cm 間隔で差し込んだ後、小浜市志積地先のワカメ養殖場の水深約 2 m に設置した。

11 月 29 日にはふくい水産振興センターから徳島県鳴門市産の種糸 (以下「鳴門産」) を購入し、12 月 9 日に宮城産と同じ方法で養殖場に沖出しした。

さらに、上記の養殖試験用の種苗に加え、志積の養殖ワ

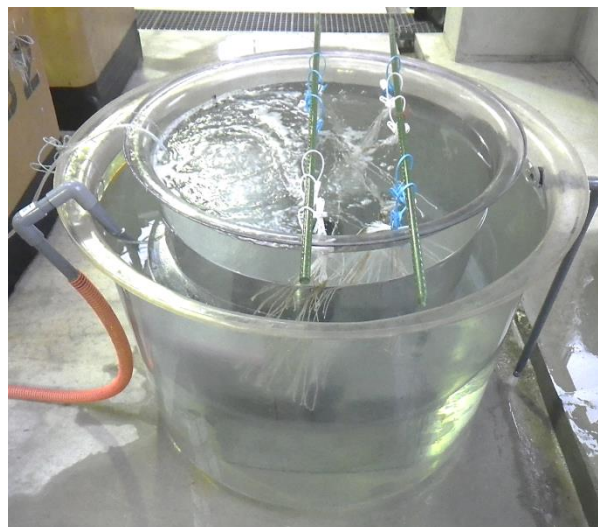


図 1 種糸の蓄養水槽外観

カメ（徳島県小松島市産 以下、「小松島産」）についても同様の調査を実施した。

1月20日、2月17日および3月8日に養殖試験中のワカメ藻体の全長測定を実施した。1月20日は養殖ロープをボート側面に持ち上げ、ワカメの全長（幹縄から葉状体の先端まで）を測定した。測定後は、海中に戻した。2月17日は、養殖場にて十分に成長している藻体を各試験区10個体ずつ根元から切り取り、保冷しながら持ち帰って全長と藻体全体の湿重量（以下、「総重量」）の測定を行った。さらに3月8日には各試験区20個体ずつ持ち帰り、全長と藻重量の測定その他、中肋と葉を切り離し、葉の湿重量（以下、「葉重量」）の測定も行った。

志積の養殖場にて、養殖用の幹縄に光量子計（DEFI2-L, JFE アドバンテック株式会社）を固定し、30秒ごとに養殖水深における光量子量を記録した。同じく、流行流速計（AEM-USB, JFE アドバンテック株式会社）を幹縄に固定し、15分ごとに流行・流速および水温を記録した。

各測定時のワカメの全長、総重量および葉重量を一元配置分散分析により全試験区間で比較し、有意差 ( $p < 0.05$ ) があつた場合は、Scheffe の多重比較検定を行った。

## 2) 生ワカメの品質評価

2月17日に測定したワカメのうち、宮城対照区を除く3試験区のワカメの裂葉を成分分析用サンプルとし、一般成分、遊離アミノ酸、ポリフェノールの各成分分析を、株式会社いであに委託して行った。全長等の測定に用いた各試験区10個体から5個体前後を無作為に抽出し、藻体の中間部付近の葉を切り出し、まとめてチャック付きポリ袋に入れて-30℃で凍結した後、冷凍で郵送した。成分分析は表1の方法で実施した。

表1 成分分析項目と分析方法

分析項目	分析方法	
一般成分	修正アトウォーター法 エネルギー換算係数 蛋白質：4 kcal/g、脂質：9 kcal/g、炭水化物：4 kcal/g	
	水分	常圧加熱乾燥法
	蛋白質	ケルダール法 窒素-たんぱく質換算係数：6.25
	脂質	メタノール・クロロホルム抽出法
	炭水化物	差し引き法 水分、蛋白質、脂質及び灰分の合計 (g) を 100 g から差し引く
	灰分	直接灰化法
	ナトリウム食塩相当量	原子吸光法 (ナトリウム量に 2.54 を乗じて算出)
遊離アミノ酸 (20項目)	80%メタノール抽出、蛍光プレラベル化法 (HPLC 分析)	
ポリフェノール	フォーリンチカルト法 (アスコルビン酸量を除く)	

葉厚・破断強度測定は、3月8日に測定したワカメのうち、宮城対照区を除く3試験区のワカメ各10個体を無作為に抽出し、福井県立大学海洋生物資源学部海洋生物資源学科食品工学研究室が所有するレオメーターを用い、小野寺(2007)の方法を改変して行った。ワカメの葉厚や破断強度は、藻体の部位によって差が大きい<sup>6)</sup>。そこで、個体間で測定条件をそろえるため、測定部位は藻体の中間部の裂葉の中央付近とした。藻体から裂葉を切り出し、φ3mmの円形プランジャーを装着したレオメーターを用いて葉厚→破断強度の順に測定した。破断強度測定の際には、φ13mmの穴を開け、滑り止めとして紙やすりを貼り付けた木盤2枚で試料を挟み、4ヶ所をボルトナットで固定した。ナットを締める際には1Nに設定したトルクレンチを用い、強度が一定になるようにした。葉厚、破断強度とも、テストスピードは0.5 mm/secとした。

測定結果より求めた、葉厚あたりの破断強度を一元配置分散分析により全試験区間で比較し、有意差(p<0.05)があった場合は、Scheffeの多重比較検定を行った。

### 3 結果

#### 1) 養殖試験

養殖試験におけるワカメの全長の推移を図2に示した。1月19日時点では、宮城蓄養と小松島が、宮城対照と鳴門に対して有意に大きくなっていたが、2月17日時点では急速に成長した小松島と鳴門が宮城蓄養よりも大きくなり(宮城対照は欠測)、3月8日には宮城蓄養が小松島および鳴門と同程度まで成長し、宮城対照を除く3試験区の間で有意差は無くなった。藻体の総重量(図3)も2月17日時点では小松島>鳴門>宮城蓄養であったのに対し、3月8日には3試験区の間には差は無くなった。また、3月8日時点での葉重量の測定結果も3試験区間に有意な違いは無く、総重量に占める葉重量の割合も同じく有意差は無かった(表2)。

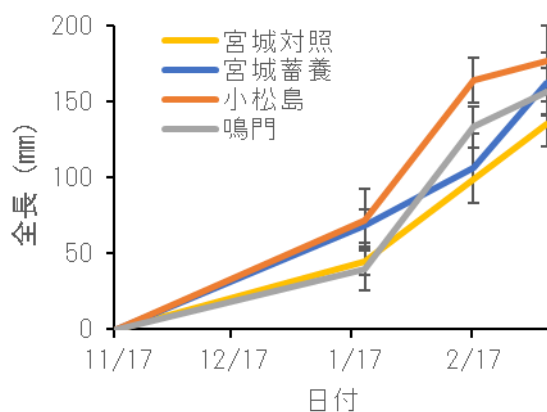


図2 ワカメの全長の推移

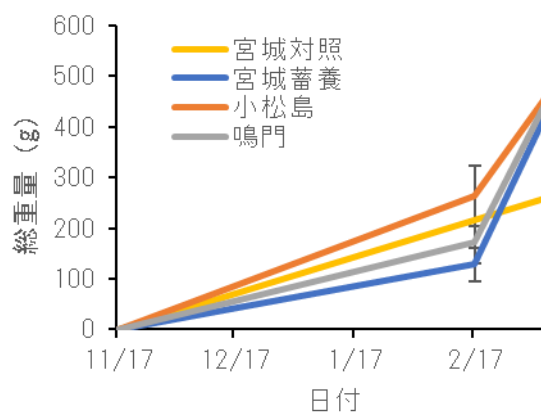


図3 ワカメの総重量の推移

表2 3月8日のワカメの測定結果(平均値±標準偏差)

試験区	全長 (mm)	総重量 (g)	葉重量 (g)	葉重量/総重量 (%)
宮城対照	135.5 ± 14.9	191.5 ± 40.5	262.0 ± 53.2	72.9 ± 3.0
宮城蓄養	161.9 ± 19.9	293.3 ± 83.1	436.8 ± 115.8	67.0 ± 4.4
小松島	177.1 ± 22.9	275.9 ± 57.9	466.7 ± 105.3	59.4 ± 3.7
鳴門	156.6 ± 15.8	305.4 ± 90.0	459.2 ± 137.5	66.8 ± 4.4

3月18日に採集したワカメの外観を図5に示した。



図4 収穫したワカメの外観

①：宮城対照 ②：宮城蕃養 ③：小松島 ④：鳴門

養殖期間における水温変化を図5に示した。最高水温は11月20日の19.4℃、最低水温は2月27日の9.1℃であった。養殖期間における潮流の変化を図6に示した。流速は平均13.7 cm s<sup>-1</sup>、最大187.8 cm s<sup>-1</sup>であった。養殖期間における光量子の変化を図7に示した。光量は平均67.1 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、最大3617.5 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>であった。

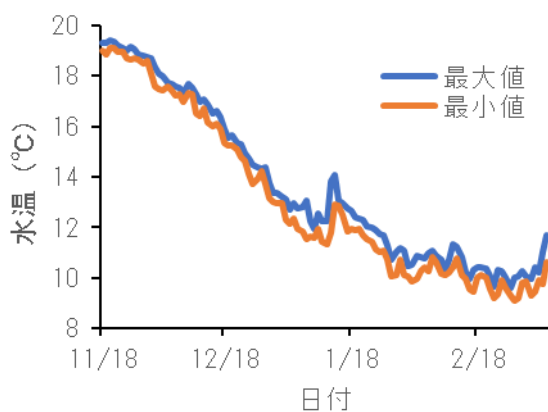


図5 水温の変化

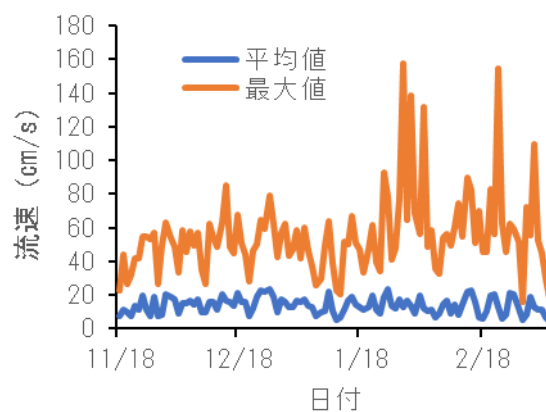


図6 流速の変化

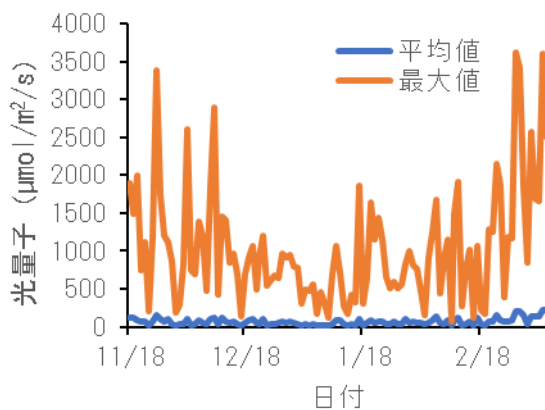


図7 光量の変化

2) 生ワカメの品質評価

一般成分、遊離アミノ酸、ポリフェノールの各成分分析結果を表2に示した。本研究では個体ごとに分析を行っていないため統計学的な比較ができないが、アスパラギン酸、メチオニン、グルタミン酸の量にやや違いが見られた。その他の項目については、試験区間で大きな違いは見られなかった。

ワカメの官能的特性である歯ごたえの強さの指標となる葉厚 (mm) あたりの破断強度 (N) について、図○に示した。3試験区の間には有意な違いはなかった。

表3 一般成分、遊離アミノ酸およびポリフェノール分析結果

	試料名	宮城	小松島	鳴門	
一般成分	エネルギー	kcal	27	27	28
	水分	g/100g	92.6	92.8	92.7
	たんぱく質	g/100g	1.4	1.7	1.8
	脂質	g/100g	0.5	0.6	0.6
	炭水化物	g/100g	4.3	3.7	3.8
	灰分	g/100g	1.2	1.2	1.1
	ナトリウム食塩相当量	g/100g	0.5	0.6	0.5
	遊離アミノ酸	アルギニン	mg/100g	0.1	0.1
リジン		mg/100g	0.1	0.2	0.1
ヒスチジン		mg/100g	0.0	0.1	0.1
プロリン		mg/100g	0.2	0.1	0.1
フェニルアラニン		mg/100g	0.3	0.3	0.3
チロシン		mg/100g	0.3	0.4	0.3
セリン		mg/100g	0.2	0.3	0.2
ロイシン		mg/100g	0.1	0.2	0.2
スレオニン		mg/100g	0.1	0.1	0.1
イソロイシン		mg/100g	0.0	0.0	0.0
アスパラギン酸		mg/100g	0.3	0.6	0.4
メチオニン		mg/100g	1.0	2.1	1.8
トリプトファン		mg/100g	0.2	0.2	0.2
バリン		mg/100g	0.0	0.1	0.1
シスチン		mg/100g	<1	<1	<1
アスパラギン		mg/100g	0.1	0.1	0.1
グルタミン		mg/100g	0.2	0.2	0.2
グリシン		mg/100g	0.2	0.2	0.1
アラニン		mg/100g	2.1	2.2	2.0
グルタミン酸		mg/100g	1.9	2.6	1.9
ポリフェノール		mg/100g	16	18	18

## 4 考察

### 1) 養殖試験

複数産地の種糸を用いた養殖試験においては、宮城対照区のワカメが他の試験区と比べ小さく、種糸を一時蓄養することで成長が改善する結果となったことは、過去の養殖試験と同様であった<sup>34)</sup>。宮城産種糸は購入時で幼葉が他産地の種糸と比べて著しく小さく、その分成長に時間がかかっていると思われる。宮城産種糸を養殖に用いる場合は、沖出し予定時期の2週間程度前に種糸を購入し、海水給水設備を有する施設において一時蓄養を行う必要がある。

養殖試験におけるワカメの全長は、鳴門と小松島では1回目から2回目の測定にかけて急速に成長し、その後3回目の測定にかけてはやや停滞したのに対し、宮城は2回目から3回目の測定にかけて大きく成長した。一方、ワカメの総重量は2回目測定時には小松島が著しく大きかったのに対し、3回目測定時に鳴門と宮城がほぼ追いついた形となった。このように、全長や総重量の推移は、同じ養殖場で養殖を行った場合でも種糸の産地によって異なることが明らかとなった。このことは、養殖に用いる種糸産地によって、収穫時期が異なることを示唆している。福井県では、養殖の生ワカメの出荷時期は1月下旬以降であることが多く、特に早期に高値がつく傾向にあることから、生ワカメ出荷を目的とした養殖には早期に大きくなる傾向が見られた小松島や鳴門産の種糸が適していると言えるかもしれない。一方、塩蔵ワカメの加工ではワカメの葉の部分を中心に使用するため、養殖においては特に葉が大きく成長することが求められる。本試験において、葉重量、葉重量/総重量ともに、宮城対照を除く3試験区間で有意な差はなく、種糸産地間で収穫量に大きな差は発生しなかった。従って、種糸の蓄養や輸送・保管等の処理を含め、適切に養殖を行えば、種糸産地により収穫量が大きく左右されることはないと言える。

各試験区のワカメの形態的特徴についても、肉眼による産地判別が可能な程の差異は見出せず、むしろ、各産地とも個体差が非常に大きかった。測定作業等で養殖の状況を確認した際の印象としては、一つの種糸断片から発生した藻体の数が多く高密度であるほど、仮根から葉の最下部、所謂茎の部分の長くなるとともに、葉幅が小さいように感じられた。養殖ワカメの形態的特徴は、遺伝的要因と環境要因の両方の影響を受けるとされているが<sup>7,8,9,10)</sup>、本試験において、養殖ワカメの形態形成への影響は、遺伝的要因よりも環境要因の方が大きかったと推測された。

なお、本試験を行った志積地先の養殖場における、今シーズンの養殖ワカメの成長は例年と比べて悪く、養殖試験のワカメの平均全長は各産地とも過去の試験結果より小さかった<sup>23,4)</sup>。従って、今後はより大きく成長するような養殖条件下での比較も行う必要がある。水温、光量、流速等、ワカメの成長に影響する環境条件は年によって少なからず異なっており<sup>34)</sup>、ワカメ養殖の出来・不出来も年によって変わることが予想される。本試験のような種糸産地間での収穫量の比較を今後も行い、どのような環境条件でも安定して収穫量を得られる種糸を選択していくことが必要である。

### 2) 生ワカメの品質評価

養殖ワカメの成分分析を行った事例は過去にもあるが<sup>5,11)</sup>、複数産地の種糸を同一養殖場にて養殖し、収穫したワカメの成分を種糸産地間で比較した事例はこれまで報告されていない。本試験では、試験区間で各種成分比に大きな違いは見られなかったものの、遊離アミノ酸の中でも比較的割合が高かったグルタミン酸やメチオニンについては、試験区間で値が異なっていた。この違いが味覚に影響を及ぼす差であるかは食味試験を行っていないため不明であるが、同一環境下で養殖した場合でも、種糸由来によってワカメの成分に多少なりとも違いが見られたことから、ワカメの品質にも影響している可能性がある。しかしながら、本試験においては複数個体のワカメの葉を集めて一つのサンプルとして扱っているため、試験区間で統計学的な差を確認することができない他、個体差につ

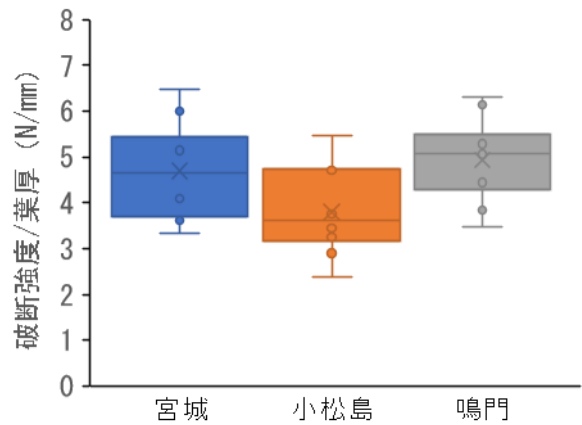


図8 葉厚あたりの破断強度  
最大値・第1四分位数・中央値・第3四分位数・  
最小値、×：平均値、○：測定値

いても検討できていない。個体間の成分比のばらつきも最終的な製品となった際の品質に影響することが考えられることから、今後は個体レベルでの成分分析も必要である。また、小野寺(2007)では1月から5月に亘って複数回ワカメの採集と成分分析を行っており、時期によって成分比が異なることも示されている。従って、時期毎にワカメの成分比の比較を行ったり、食味試験を実施することで、収穫適期の把握が可能かもしれない。

既往の知見において、ワカメの官能的特性である歯ごたえの強さと有意な正の相関が確認された測定値は葉厚あたりの破断強度(N/mm)であった<sup>6)</sup>。そこで本試験においても、レオメーターを用いてワカメの裂葉の葉厚と破断強度を測定し、葉厚あたりの破断強度を種糸産地間で比較した。測定の結果、試験区間で測定値に有意な差はなかった。また本報告では示していないが、葉厚や破断強度個別の測定値についても試験区間で有意差は無かった。小野寺(2007)においては、天然と養殖の違い、あるいは海外産と国産の違いによって、ワカメの葉厚や破断強度は大きく異なっていたことから、本試験の3試験区の間には品質的な違いがほとんどなかったと推測された。

志積地先の養殖ワカメはそのほとんどが塩蔵加工されることから、本試験においても、塩蔵後の品質の比較が重要である。次年度には、塩蔵ワカメの成分分析、葉厚と破断強度の測定および食味試験により、塩蔵ワカメの品質評価を行う予定である。ここで試験区毎に何らかの違いが得られた場合はワカメの「品質」を、違いがなかった場合は、養殖における「安定性」や「種苗単価」を、種糸選択の基準とすれば良いと考えられる。

## 5 謝辞

本研究にあたり、養殖試験およびワカメの塩蔵加工にご協力いただいた志積ワカメ生産組合の上田功様、田辺光雄様、西川徹様、並びに小浜市志積地区の皆様にご感謝申し上げます。ワカメの葉厚および破断強度の測定に際し、多くのご助言をいただくとともに、大学設備利用にご尽力いただいた福井県立大学海洋生物資源学部海洋生物資源学科食品工学研究室の松川雅仁教授に感謝申し上げます。

## 6 文献

- 1) 仲野 大地・矢野 由晶 (2018): 種糸の由来が福井県での養殖ワカメ収穫量に与える影響. 平成 30 年度福井県水産試験場事業報告: 259-264
- 2) 中嶋 登・仲野 大地 (2018): ふくいの海藻増養殖技術開発事業 (ワカメの生産量安定化). 平成 30 年度福井県水産試験場事業報告: 191-196
- 3) 中嶋 登・谷保 文野・家接 直人 (2020): ふくいの海藻増養殖技術開発事業 (ワカメの生産量安定化). 令和 2 年度福井県水産試験場事業報告: 168-172
- 4) 中嶋 登・谷保 文野 (2021): ふくいの海藻増養殖技術開発事業 (ワカメの生産量安定化). 令和 3 年度福井県水産試験場事業報告: 151-153
- 5) 小野寺 宗伸 (2007): ワカメ (*Undaria pinnatifida*) の成分と加工特性に関する研究. 東京海洋大学. 博士論文
- 6) 吉本 亮子 (2005): 湯通し塩蔵ワカメの品質評価. 徳島県立工業技術センター研究報告: 30-33
- 7) 加藤 孝・中久 喜昭 (1962): 同一漁場に育った宮城産ワカメと鳴門産ワカメの形態の比較. 日本水産学会誌, Vol. 28, No. 10, 998-1004
- 8) 鬼頭 鈞・谷口 和也・秋山 和夫 (1981): ワカメの形態変異について II. 松島湾産 2 型を母藻とする養殖個体の形態比較. 東北水研研報, 42, 11-18
- 9) 石川 豊 (1991): 養殖ワカメの量的形質の解析と把握. 水産育種, 16, 19-24
- 10) 石川 豊 (1995): 藻類の量的形質の遺伝率の推定. 水産育種, 21, 3-13
- 11) 牧野 賢治・上田 幸男 (2018): 正常なワカメと色落ちしたワカメの一般成分および遊離アミノ酸含量の比較. 徳島水研報, 12, 1-5