

アカウニ養殖における地先海藻給餌による生殖巣の品質変化

豊福太樹*

The quantity and quality changes of gonad in red sea urchin *Pseudocentrotus Depressus* by feeding algae of the Coastal Area of Gengai Sea, Saga Prefecture

Taiju TOYOFUKU

The factors affecting market value of the red sea urchin *Pseudocentrotus Depressus* are their gonad quantity and quality. It has been known that they are influenced by consumed algae, however little research has examined the influence of each algae species on gonad in the red sea urchin. We sought to conduct the feeding experiment for three months to examine the effects of four diets, 5 mixed Hondawara (genus *Sargassum*), Arame (*Eisenia bicyclis*), Hiziki (*Sargassum fusiforme*) and dry Makonbu (*Saccharina japonica*), on the gonad index, color and taste. The Arame significantly produced the higher gonad index 15.6% than any other algae 9.1 to 9.9%. All of algae except for dry Makonbu produced desired yellow colouration which expressed b-value of 31.5 to 33.6 and L-value 48.4 to 50.1. Panelists evaluated higher sweet and lower bitter taste of gonads by Arame and 5 mixed Hondawara. This high evaluation was supported by the high contents of the sweet and umami free amino acid glycine, alanine and Glutamic acid, and the lower content of the bitter free amino acid valine, leucine and isoleucine. Therefore, this study concludes that Arame is useful for improving both quantity and quality of red sea urchin.

キーワード：アカウニ，ホンダワラ類，ヒジキ，アラメ，乾燥マコンブ，生殖巣指数，色彩，官能評価，遊離アミノ酸

アカウニ養殖は安定した生産が期待できることから、佐賀県玄海地区の海士漁業者の重要な収入源となっている¹⁾。養殖アカウニは主に板ウニとして出荷されるが、市場では生殖巣の大きさ、色彩、呈味の3項目で評価されている^{1,2)}。一般的にこれらの特性は、摂餌海藻によって大きく変化するため³⁻⁶⁾、海藻種ごとの生殖巣の特性変化を把握することは、高単価な養殖ウニを生産するうえで重要である。

筆者らは前報⁷⁾において、玄海地区の地先海域で容易かつ安価で入手できるアラメ、養殖マコンブおよび乾燥マコンブを用いたアカウニへの給餌試験を行った結果、アラメ給餌で身入りが優れ、呈味はアラメと養殖マコンブともに優れることを明らかにした。一方養殖現場では、春から初夏にかけて流れ藻として大量に入手できる多種のホンダワラ科、春季に潮間帯に密に繁茂し採集が容易なヒジキも複合的に利用されているが、アカウニの身入りや、色彩、呈味への影響を評価した知見はない。

そこで本研究では、給餌海藻の違いによるアカウニ生殖巣の品質変化を把握するために、多種混合のホンダワラ科海藻、ヒジキ、前報⁷⁾で評価の高かったアラメ、評価の低かった乾燥マコンブについて、出荷サイズに達したアカウニへの給餌試験を行い、身入り、色彩、呈味の3項目について定量的な評価を行ったので報告する。

材料と方法

供試個体

試験に供するアカウニは、平成26年10月に佐賀県玄海水産振興センター波戸庁舎（以下、当センターという）で人工採苗した種苗を、トリカルネット製飼育容器60×60×30cm（以下、飼育カゴとする）に収容し、濾過海水かけ流しの15m³水槽内で育成したものをを用いた。育成期間中の餌料は、当県玄海地区沿岸で採集した流れ藻、自家培養した不稔性アオサ、あわび用配合餌料1～3号（九州農産）を使用した。

* 現 佐賀県有明水産振興センター

表1 給餌試験の餌料系列

試験区	給餌海藻	給餌湿重量 (kg)	給餌期間											
			5月		6月		7月		8月					
			中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
混合ホンダワラ区	アカモク	26.3	← 47日間 →											
	フタエモク	3.8							← 31日間 →					
	マメタワラ	6.8							← 52日間 →					
	エンドウモク	4.2							← 52日間 →					
	オオバモク	1.2										← 24日間 →		
ヒジキ区	ヒジキ	44.9	← 56日間 →											
	冷凍ヒジキ	8.5										← 43日間 →		
アラメ区	アラメ	20.5	← 99日間 →											
乾燥マコンブ区	乾燥マコンブ	ND	← 99日間 →											

給餌試験

平成29年5月18日から8月25日までの99日間、当センターの15m³水槽内で餌料別の給餌試験を行った。水槽内には飼育カゴを計8基設置し、殻径45mm以上の供試個体を飼育カゴに各25個収容した。注水は砂濾過した自然海水の掛け流しとし、水温は温度ロガー Tr52i（エーアンドデイ製）を用いて1時間間隔で測定した（18.0～26.8℃）。試験を開始する2週間前からは、供試個体の腸管内に残留する餌料の影響を排除するため無給餌とした。

給餌試験に用いた海藻は、5種混合のホンダワラ科海藻（アカモク、フタエモク、マメタワラ、エンドウモク、オオバモク）、ヒジキ、アラメ、乾燥マコンブの計4餌料とした。5種混合のホンダワラ科海藻は玄海地区の海岸に流れ藻として着岸したものを採集して使用した。またヒジキとアラメは唐津市鎮西町波戸地区で潜水採集したもの、乾燥マコンブは中国産の市販品を使用した。これら4餌料を表1に示す餌料系列で、飼育カゴ2基ずつに週1～3回の頻度で飽食量を給餌した（以下、混合ホンダワラ区、ヒジキ区、アラメ区、乾燥マコンブ区とする）。なお、混合ホンダワラ区では、時期により流れ藻として採集される種が異なるため、その時期ごとに採集可能な5種を選定し、実際の養殖現場の使用実態に近いものとした。また、ヒジキについては7月14日以降生海藻での確保が困難となったため、これ以降は-20℃で冷凍保存したものを使用した。

生殖巣指数

各試験区の身入りを評価するため、給餌試験95～99日目である平成29年8月21～25日にかけて、生殖巣指

数（＝全生殖巣重量×100／個体重量）の測定を行った。生殖巣は供試個体の個体重量を測定後にすべて取り出し、紫外線照射海水で良く洗浄した後、キムタオル上で約5分間静置してから測定した。

色彩

給餌試験95～98日目である平成29年8月21～24日にかけて、渡邊²⁾の方法に従い各試験区の生殖巣の色彩測定を行った。方法は24ウェルプレートに生殖巣を入れ、丸棒でよくホモジナイズしてペースト状にした後、分光測色計（コニカミノルタ製CM-600d）を用いてプレート下部からb*値とL*値を測定した。b*値は黄色と青色の強さを表し、値が高いほど色鮮やかな黄色味を呈し、L*値は色の明るさ（明度）を表し、値が大きいほど明るい色（白色）を表す⁸⁾。

遊離アミノ酸分析

生殖巣指数と色彩測定に用いた各試験区の供試個体10個の生殖巣の一部を、-20℃で凍結保存した後、遊離アミノ酸分析に供した。分析に供した試料はミキサーで均一化したものを使用した。分析はHPLC Agilent 1100（アジレントテクノロジー社）により、Agilent Poroshell 120 EC-C18(3.0x150mm 2.7μm)カラムを用いて分析した。得られた遊離アミノ酸値については、小俣の報告⁹⁾に従いグリシンとアラニンを甘味値、グルタミン酸を旨味値、バリン、ロイシン、イソロイシンを苦味値として扱った。なお小俣はロイシン、イソロイシンを重要な苦味値とは定義していないが、一定の苦味値を呈す⁹⁾としていることから、本報では苦味値として定義した。

官能評価

生殖巣指数と色彩測定に用いた各試験区の供試個体を用いて官能評価を行った。パネラーは、アカウニ養殖業者2名と海士漁業者1名、県内寿司店従業員3名、当センター職員5名の計11名として、7段階評点法¹⁰⁾により行った。評価は、甘味、苦味、堅さの3項目について行い、甘味と苦味については「0＝全く感じない、1＝非常に弱く感じる、2＝弱く感じる、3＝普通、4＝少し感じる、5＝かなり強く感じる、6＝非常に強く感じる」とした。堅さについては、「0＝かなり柔らかい、1＝柔らかい、2＝やや柔らかい、3＝ちょうど良い、4＝やや堅い、5＝堅い、6＝かなり堅い」として点数化した。なお、評価にあたり各試験区の試料は記号化し、あわせて各試験区の生殖巣の味の特徴についても聞き取りを行った。

統計処理

得られた結果は、統計ソフトR (Ver 3.6.1) を用いて、Bartlett検定で等分散性の検定をした後、Turkey-kramer検定を行った。

結 果

生殖巣指数

図1に示した給餌試験95～99日目の生殖巣指数は、アラメ区 ($n=30$) が平均値15.6%で、他の3区 ($n=30 \sim 32$) よりも有意に高い値であった ($p < 0.01$)。一方、混合ホンダワラ区、ヒジキ区、乾燥マコンブ区の群間には有意な差はみられなかった ($p > 0.05$)。

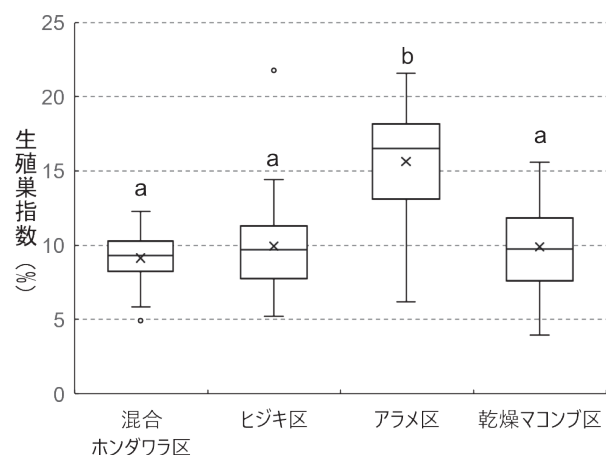


図1 生殖巣指数
異符号間で有意な差があることを示す ($p < 0.01$)。

色彩

肉眼視による各試験区の生殖巣の色彩は、いずれもアカウニ特有の薄黄色をしており、良好な色彩を呈していた。ただ乾燥マコンブ区は、やや黄色味が薄く、白い色彩を呈していた。色彩測定の結果、混合ホンダワラ区、ヒジキ区、アラメ区の b^* 値は、 $31.5 \pm 7.7 \sim 33.6 \pm 4.5$ ($n=27 \sim 30$) で群間に有意な差は見られなかったが ($p > 0.05$)、乾燥マコンブ区が 26.9 ± 3.5 ($n=26$) で、ヒジキ区とアラメ区に対して有意に ($p < 0.01$) に低い値であった (図2)。 L^* 値は乾燥マコンブ区、ヒジキ区、アラメ区、混合ホンダワラ区の順に高く、乾燥マコンブ区は 50.7 ± 3.4 で、混合ホンダワラ区 48.4 ± 3.3 に対して有意に ($p < 0.05$) に高い値であった (図2)。

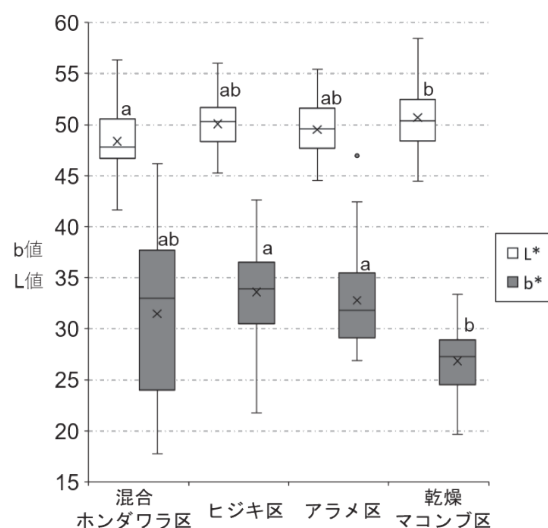


図2 生殖巣の色彩値
異符号間で有意な差があることを示す ($p < 0.05$)。

遊離アミノ酸組成

アカウニ生殖巣の遊離アミノ酸組成の特徴は、いずれの試験区においてもグリシン、アルギニン、アラニン、リシンが高い値を示した (表2)。呈味別の遊離アミノ酸量 (図3) は、甘味値 (アラニン、グリシン) はアラメ区、混合ホンダワラ区、乾燥マコンブ区、ヒジキ区の順に多く、最も高いアラメ区は、他の3区よりも80～120mg/100g 高い値であった。旨味値のグルタミン酸は、混合ホンダワラ区、アラメ区、ヒジキ区、乾燥マコンブ区の順に多く、混合ホンダワラ区は、最も低い乾燥マコンブ区の1.5倍量含有していた。苦味値 (バリン、ロイシン、イソロイシン) は、乾燥マコンブ区、ホンダワラ区、アラメ区、ヒジキ区の順に多く、最も高い乾燥マコンブ区は最も低いヒジキ区の3.8倍量含有していた。

表2 生殖巣の遊離アミノ酸組成

(mg/100g)

遊離アミノ酸	混合 ホンダワラ区	ヒジキ区	アラメ区	乾燥 マコンブ区
Asp	20	14	16	14
Glu	188	147	160	125
Asn	13	12	9	15
Ser	42	53	79	124
Gln	91	30	130	31
His	33	71	37	82
Gly	707	674	744	681
Thr	17	24	9	115
Arg	608	645	900	633
Ala	230	221	275	231
Tyr	165	123	138	215
Cys	4	4	4	5
Val	212	114	115	334
Met	22	20	21	38
Trp	34	32	19	83
Phe	16	16	9	51
Ile	129	55	52	256
Leu	197	75	125	360
Lys	332	326	165	496
Pro	61	27	49	41

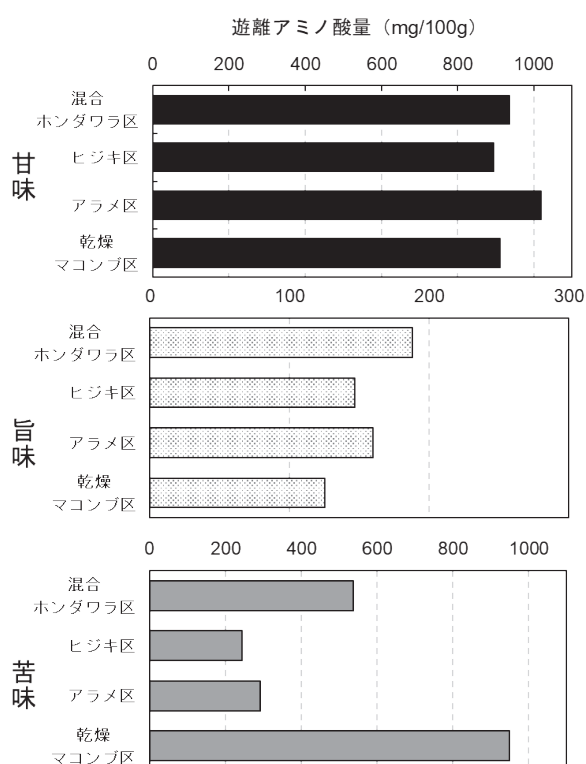


図3 呈味別の遊離アミノ酸量

官能評価

甘味は混合ホンダワラ区、アラメ区、乾燥マコンブ区、ヒジキ区の順に評価が高かった（表3）。また、パネラーからは「混合ホンダワラ区とアラメ区は、他2区よりも明らかに甘味を強く感じる」や「混合ホンダワラ区でウニ特有の風味を強く感じる」との意見があった。

苦味は乾燥マコンブ区とヒジキ区で苦味が強い評価であった（表3）。パネラーからは「乾燥マコンブ区は苦味が極めて強く、その苦味がしばらく舌に残り後味も非常に悪い」や、「ヒジキ区は乾燥マコンブ区よりも幾分か苦みは弱いが、それでも苦味の強さが気になってしまう」との意見があった。

生殖巣の堅さは、ヒジキ区が最も堅い評価になったが、評点間に大きな違いはみられなかった（表3）。またパネラーからの意見でも、各試験区の堅さについて違いを認識できた意見は得られなかった。ただ、アラメ区は生殖巣を箸で摘み上げる際、他の試験区と比較して明らかに柔らかく、生殖巣が崩れてしまうことが多々あった。

表3 官能評価の評点

	混合 ホンダワラ区	ヒジキ区	アラメ区	乾燥 マコンブ区
甘味	3.6 ± 1.3	1.9 ± 1.3	3.4 ± 1.5	2.9 ± 1.9
苦味	2.5 ± 1.8	3.3 ± 2.1	2.1 ± 1.7	4.1 ± 1.7
堅さ	3.0 ± 0.6	3.2 ± 0.8	2.9 ± 0.3	2.8 ± 0.6

平均値 ± SD

考 察

アラメ区の生殖巣指数は平均15.6%で、他の試験区の1.6～1.7倍の身入りで有意に高かった（図1）。ウニ類の生殖巣の発達と海藻種に対する嗜好性には正の相関があるとされ¹¹⁾、北海道地方で養殖されるエゾバフンウニでは、嗜好性の高い海藻ほど身入りがよくなるとされている⁶⁾。アカウニにおいては、アラメ（コンブ目コンブ科）とホンダワラ科海藻（ヒバマタ目ホンダワラ科）間での摂餌選択試験、アラメとオオバモク¹²⁾、ヨレモク¹³⁾、ヤツマタモク¹⁴⁾の混合給餌試験が行われており、いずれの試験においてもアラメへの摂餌選択が高いことが示されている。本報では摂餌選択試験は実施していないが、前述のアラメに対する高い選択性をふまえると、アカウニは試験に用いたホンダワラ科海藻のアカモク、マメタワラ、エンドウモク、フタエモク、ヒジキ、コンブ科の

マコンブよりも、アラメに対する摂餌選択性が高く、結果として生殖巣の肥大が起きたと推測された。

アカウニの色彩は、 b^* 値が23以上の個体が主に市場出荷され、肉眼視で色彩が良好なものほど b^* 値が高くなるとされている²⁾。本報では4試験区ともに b^* 値は23以上であり(図2)、肉眼視でも良好な薄黄色を呈していたが、乾燥マコンブ区はやや黄色味が薄かった。この色彩の薄さは測定値にも表れており、乾燥マコンブ区の b^* 値は最も低い 26.9 ± 3.5 で、逆に明度の L^* 値は最も高い 50.7 ± 3.4 となり、白色基調が強いことを示す結果であった(図2)。水に戻した乾燥マコンブは、ヨウ素等の色を呈する成分やアミノ酸等が溶出してしまうため^{15,16)}、これが生殖巣の色彩低下の要因ではないかと考えられた。またアカウニは、若齢個体ほど生殖巣の黄色味が強く、老齢個体ほど黒くなることが知られているが²⁾、当県のアカウニ養殖ではすべて1.5～3.5歳の若齢で出荷されるため¹⁾、年齢による色調低下の懸念はなく、本報で用いた乾燥マコンブを除く3餌料を用いれば、良好な色彩を呈することが期待される。

呈味は、官能評価の結果からアラメ区と混合ホンダワラ区の評価が高く、ヒジキ区と乾燥マコンブ区の評価が低かった。アラメ区と混合ホンダワラ区の評価が高かったのは、遊離アミノ酸の甘味値(937～1019mg/100g)と旨味値(160～188mg/100g)が高かったことが理由として考えられた(図3)。混合ホンダワラ区の苦味値は、538mg/100gと比較的高い値を示したが、前報⁷⁾の呈味評価の高かった生マコンブ給餌区でも、苦味値は669mg/100gであり、本試験の混合ホンダワラ区の苦味値は、呈味に悪い影響を及ぼす値ではないと考えられた。むしろこの苦味値は、混合ホンダワラ区に対する「ウニ特有の風味が強い」という意見に関与している可能性が考えられた。小俣⁹⁾はウニ特有の風味はメチオニンとバリンによるもので、これらを欠くとウニ特有の風味に乏しくなるとしている。混合ホンダワラ区とアラメ区におけるメチオニンは $21 \sim 22\text{mg}/100\text{g}$ でほぼ同値であるが、苦味を呈するバリンは、混合ホンダワラ区がアラメ区の約2倍量を含有しており、この違いがウニ特有の風味の強さに影響したと推察された。

乾燥マコンブ区は、強い苦味を呈したことから評価は低く、苦味値も950mg/100gと突出して高い値であった。ウニ類の苦味は性成熟に起因するもの^{17,18)}のほかに、魚肉餌料^{4,5)}や乾燥海藻^{4,6)}の給餌によっても引き起こされることが知られている。本試験は性成熟の進んでいない8月の旬時期であったにもかかわらず、乾燥マコンブ

で強い苦みを呈し、前報⁷⁾でも同様の結果であったことから、出荷を控えたアカウニへは給餌すべきでないだろう。ヒジキ区は、官能評価で乾燥マコンブに次ぐ低い評価となり、苦味の強さを指摘する意見も多かった。これは、甘味値が895mg/100gで4試験区の中で最も低いこと、旨味値も147mg/100gで低い値であったことが理由のひとつと考えられた。一方、苦味値は4試験区の中で最も低い値であり、官能評価の結果とは一致しなかった。現時点でこの理由については不明であるが、ウニ類は核酸⁹⁾や脂肪酸組成の呈味への影響⁹⁾、グリコーゲンによる各種呈味の調和効果⁹⁾によっても呈味の発現が異なるとされているため、他の成分の影響も考えられる。また本試験では、7月14日以降冷凍ヒジキを給餌しており、生海藻を給餌した混合ホンダワラ区とアラメ区とは条件が異なる。今後は生ヒジキが供給可能な7月までの給餌試験によって、前述の遊離アミノ酸以外の成分を含めた再評価をする必要があるだろう。

本報と前報⁷⁾を概括すると、佐賀県玄海地区で容易にかつ安価で入手できる海藻の中では、アラメがアカウニの身入りを最も向上させ、色彩と呈味はアラメ、生マコンブ、5種混合ホンダワラ科海藻(アカモク、フタエモク、マメタワラ、エンドウモク、オオバモク)で優れる結果となった。すなわち、アラメは3つの評価項目すべてにおいて優れる結果となったことから、本報のようにアラメを用いて約3か月間飼育すれば、高品質のアカウニの生産が期待できる。ただ、アラメ単体では生殖巣の崩れやすさや、ホンダワラ科海藻よりもウニ特有の風味が劣る傾向もみられたため、アラメを主体としてホンダワラ科海藻を混合給餌する方が、より高品質なアカウニが生産可能ではないかと考えられた。

一方、近年磯焼けによる藻場の減少が懸念されているなかで²⁰⁾、過剰なアラメの採集は天然資源への影響が危惧される。今後は現在行われているマコンブ養殖と合わせて、アラメ養殖についても検討する必要がある。

文 献

- 1) 岡山英史(2015):アカウニ海面養殖の現状と課題. 佐水振セ研報7, 121-125.
- 2) 渡邊庄一(2010):長崎県沿岸におけるアカウニの資源生物学的研究. 長崎水試研報36, 49-84.
- 3) 植村康(1987):キタムラサキウニ給餌飼育試験. 青森県水産増殖センター事業報告16, 256-270.
- 4) 植村康(1988):キタムラサキウニ給餌飼育試験. 青森県

- 水産増殖センター事業報告17, 223-235.
- 5) 干川裕・高橋和寛・杉本卓 (1998): キタムラサキウニ養殖における生殖巣の質に及ぼす魚肉給餌の影響. 北海道立水産試験場研究報告52, 17-24.
- 6) 町口裕二・高島国男・林浩之・北村等 (2012): エゾバフンウニの生殖巣の発達に及ぼす北海道東部海域に産する海藻(草)と給餌期間の影響. 水産増殖60 (3), 323-331.
- 7) 豊福太樹・吉田幸史 (2019): アカウニの身入りと呈味特性に及ぼす給餌海藻の影響. 佐玄水振セ研報9, 9-13.
- 8) コニカミノルタ株式会社: 色を読む話. 16-19.
- 9) 小俣靖 (1964): ウニのエキス成分に関する研究-IV. エキス構成々分の呈味性. 日本水産学会誌, 30 (9), 749-756.
- 10) 古川秀子・上田玲子 (2012): 「おいしさ」の測定方法. おいしさを測る-食品開発と官能評価, 幸書房, 25-29.
- 11) Larson BR, Vadas RL, Keser M (1980): Feeding and nutritional ecology of the sea urchin *Strongylocentrotus drobachensis* in Maine, USA. Marine Biology 59 (1) :49-62.
- 12) 今井利為・新井章吾 (1986): アカウニの食性と摂餌量について. 水産増殖, 34(3), 157-166.
- 13) 金丸彦一郎・荒巻裕・古川泰久 (2007): 陸上水槽における植食性ペンテス5種の海藻摂餌量の比較とその標準化による天然海域における摂食圧推定の試み. 佐玄水振セ研報4, 15-20.
- 14) 角田信孝・水津洋志・由良野範義 (1995): アカウニに対する褐藻類3種の餌料価値. 外海水産試験場研究報告25, 30-34.
- 15) 関本邦敏・星野信行・戸塚耕二・渡部昭・山下光雄 (1983): 水戻し処理による海藻中のミネラル類の溶出. 日本栄養・食糧学会誌, 36, 21-24.
- 16) 奥田弘枝 (1984): 乾燥マコンブの復水特性とその微細構造-2-. 広島女学院大学論集, 34, 215-236.
- 17) 鶴沼辰哉 (2009): 身入りの化学-栄養貯蔵と配偶子形成-. ウニ学, 東海大学出版会, 神奈川, 182-204.
- 18) Murata Y, Yokoyama M, Unuma T, Sata NU, Kuwahara R, Kaneniwa M (2002): Seasonal changes of bitterness and pulcherrimine content in gonads of green sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* at Iwaka in Fukushima prefecture. Fish Sci 68 (1) :184-189.
- 19) 河内正通 (1968): ウニ塩辛に関する研究 (VI) 生殖巣脂質の脂肪酸組成について. 水産大学校研究報告17 (1), 9-16.
- 20) 大津安夫・金丸彦一郎 (2013): 佐賀県玄海域における藻場の現状と変動傾向, 6, 81-88.