

岡山県産水産物の品質評価と高付加価値化に関する研究

村山 史康

Quality Evaluation and Increasing Added Value of the Marine Products Manufactured in Okayama Prefecture, Japan

Fumiyasu MURAYAMA

SUMMARY

Chapter I . Quality evaluation and increasing added value of nori *Pyropia yezoensis* The relationships between the nutrient concentration in the seawater, the color tone (L^* and a^* values) of fresh thalli and dried nori using color difference meter, and unit prices of dried nori were investigated in the coastal area of Okayama prefecture. The limiting factor for discoloration of nori in these ocean areas was dissolved inorganic nitrogen (DIN). If its concentration falls decreased to or below $3 \mu\text{M}$, the color tone of fresh thalli was found to deteriorate sharply. A good correlations were observed between the DIN concentration (a) and fresh thalli L^* (b) and a^* values (b') ($b = -7.7 \log(a) + 64.1$ and $b' = 3.0 \log(a) + 2.2$); between fresh thalli L^* and a^* values and dried nori L^* values (c) ($c = 11.5e^{0.01b}$ and $c = 34.4e^{-0.04b'}$); and between dried nori L^* values and unit prices of dried nori in 2011 (z_1), in 2012 (z_2) ($z_1 = 4.2 \times 10^3 \times c^{-1.8}$ and $z_2 = 9.6 \times 10^2 \times c^{-1.7}$).

The relationship between the quality of dried nori (*Pyropia yezoensis*), harvested in the Bisan Strait in 2017–2018, and its unit price was examined. The dried nori used in this study was classified as 1st, 2nd, and 3rd grades. Instrumental analysis and sensory evaluations were used to evaluate nori quality objectively, and to investigate the consistency of these techniques. The color, the soluble attribute in the mouth, and the taste of the nori were measured by instrumental analysis. The results had correlation with the unit price of them. Multiple linear regression analysis of the data showed that the umami of dried nori was significant in establishing its price. The results from the Tensipresser[®] and taste-sensing system corresponded reasonably well with those from the sensory evaluations. This suggested that instrumental analysis can evaluate the quality of dried nori objectively so it can then be used to determine an appropriate price.

Koji is commonly used in manufacturing Japanese fermented products and promotes enzymatic degradation. In recent years, a seaweed *koji* has been developed by culturing *Aspergillus oryzae* on nori *Pyropia yezoensis*. In the present study, we prepared *nori koji* by culturing *A. oryzae* on high and low quality *noris* and then mixing this preparation with additional dried *nori*. Suitable fermentation conditions for increasing the taste-active components of the *nori* mixed with *nori koji* were investigated. The mixture of *nori* and *koji* prepared from high quality *nori* with added water cultured for 120 d at 10°C provided the greatest increase (7 times) in free amino acids. The changes in taste after culturing the *nori* and *koji* mixture were evaluated using a taste-sensing system. The sourness score of the *nori* and *koji* mixture increased significantly, but the scores for other attributes such as bitterness and umami richness did not increase after culture. The present study has demonstrated a clear increase in the free amino acid contents of *nori* and a modification in the taste score by aging the culture with *nori koji*. These results will encourage the development of 'aged seaweed', a novel value-added product with nutritional and taste elements modified using

seaweed *koji*.

Chapter II. Monthly changes and yearly comparisons in the taste of Pacific Oysters (*Crassostrea gigas*) cultured in the Okayama Prefecture Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) cultured in the Okayama Prefecture were evaluated using a taste sensing system to assess potential monthly changes and year-on-year comparisons in their taste. The system revealed significant seasonal differences in the taste values of bitterness, umami, saltiness, and umami richness. Principal component analysis and cluster analysis applied to the data revealed that oysters harvested from September to March were relatively rich in umami. Furthermore, the system revealed that the taste values of saltiness and umami richness were relatively high in the three experimental years and corresponded to the sensory evaluation. These results indicate clear monthly changes in the umami and saltiness taste attributes of Okayama-grown Pacific oysters. Moreover, Okayama-grown oysters are believed to possess higher saltiness and umami richness than oysters grown in other prefectures.

Chapter III. Quality evaluation of shellfishes A difference in the taste of the meat of hard-shelled, ovigerous and soft-shelled swimming crabs *Portunus trituberculatus* was investigated. To quantify taste, hot-water extracts were prepared and then a sensory test and a taste-sensing system analysis were performed. Sensory test revealed that the ovigerous and soft-shelled crabs were inferior in umami and overall taste as compared with the hard-shelled crabs, and this result corresponded well to the findings using the taste-sensing system. Additionally, to examine the factors determining differences in umami and sweetness, we analyzed the proximate composition, free amino acids and nucleic-acid-related compounds in the crab meat. The amounts of free amino acids and inosinic acid in the meat of crabs of the different shell types were judged to cause the significant differences detected in those tastes, with larger amounts resulting in a better taste.

Changes in the gonadosomatic index, nutritional quality and taste of elongate ilisha, *Ilisha elongata*, were examined monthly in the year 2018 at Harima-Nada, Japan. To determine nutritional quality, proximate composition and free amino acids were measured in the dorsal muscle tissue of fish. The gonadosomatic index showed that the elongate ilisha spawned from June to August. The proportions of lipid and total free amino acids in fish muscle tissue showed significant seasonal variation, with maximum lipid content (1.3%) occurring in January and maximum free amino acids (376.2mg/100g) occurring in November. An electric taste-sensing system revealed that umami and umami richness peaked in October and April, respectively. The results for the umami taste were consistent between the instrumental taste evaluation and a sensory evaluation. A principal component analysis revealed that the umami taste in elongate ilisha was strongest during spring and autumn and may be influenced by free amino acids, whereas the dominant taste during winter may be influenced by lipids. During the summer spawning period, lipids and free amino acids were reduced, which may result in a lighter taste.

目 次

緒言	4
第1章 乾海苔の品質評価と高付加価値化	
第1節 栄養塩濃度およびノリの色調と乾海苔単価の関係	4
第2節 乾海苔の品質と単価の関係	10
第3節 熟成海苔の開発	16
第2章 マガキ品質の季節変化および年変化	25
第3章 魚介類の品質評価	
第1節 ガザミの品質評価	29
第2節 ヒラの品質評価	37
総合考察	46
要約	51
謝辞	52
文献	52

緒 言

現在、世界的な動向として、食料確保を目的とした水産物への依存が急速に高まっている。我が国においては、古来より水産資源を貴重なタンパク源として位置付けた生活が営まれ、食文化が育まれてきた。しかし、戦後は食生活の西洋化が進むとともに沿岸環境の悪化に伴う資源量および漁獲量の減少が水産業を直撃しており、我が国における水産業は大きな曲がり角に立ちつつある¹⁾。

このような状況は岡山県においても見られていることから、本県では限られた資源を有効活用するために水産物の付加価値を向上させて生産額を増加させる取組が行われている。ノリ *Pyropia yezoensis* に関しては、岡山県漁業協同組合連合会（以下、岡山県漁連）が最も品質が優れたノリを「新の頂」として販売するなど、差別化による付加価値向上の取組が行われている。その他にも、カキ *Crassostrea gigas* については、岡山県かき流通対策協議会が県内で獲れたカキを「岡山かき」として販売、ブランド化を図っており、ガザミ *Portunus trituberculatus* については品質が良いものだけを選別してタグを付与し、差別化して販売する取組が行われている。また、ヒラ *Ilisha elongata* については、岡山県では古くから食習慣があるものの、「骨切り」で調理に手間がかかるなどの理由によって、現在では低利用魚として扱われていることから、民間企業を中心に魚食普及の拡大による単価向上の取組が試みられている²⁾。

しかし、これらの魚種を対象に品質評価を行った事例は少なく、差別化の根拠に乏しいのが現状である。各魚種の呈味特性を明らかにし、それをもとにブランド化および加工品開発を行うことで、付加価値の向上が見込まれるとともに、品質評価結果をもとに美味しい時期、銘柄や新たな利活用をPRするなど、魚食普及ツールとして活用することで、需要の増加にともなう単価の上昇および漁業生産額の増加も期待できる。このように、水産物の付加価値を向上させることで、漁家所得の増加が図られ、安定的かつ持続的な養殖および漁業生産が可能となる。

以上のことから、持続的な養殖および漁業生産を行うためには、水産物の品質評価による単価向上について論ずることが必要であると考えた。これまでに、品質評価および単価向上に係る研究として、異なる海域で生産されたノリに含まれる遊離アミノ酸量の比較³⁾、養殖方法が異なるカキの成分比較⁴⁾、短期畜養における軟甲ガザミの商品価値向上試験⁵⁾ といった知見があるものの、水

産物の品質評価を行い、それをもとに加工品開発や需要の拡大を図り、単価向上に寄与した研究事例は少ない。

そこで、本研究では品質評価による水産物の付加価値向上を目的として、岡山県において重要な水産物であるノリ、カキ、ガザミおよびヒラの品質評価試験を行った。第1章ではノリを対象として栄養塩濃度、ノリの色調および単価をそれぞれ調べ、栄養塩濃度と単価の関係を明らかにした。また、ノリの価格形成に影響を与える要因について品質の面から評価した。さらに、近年開発された海藻麴を用いてノリの熟成発酵試験を行い、ノリに含まれる遊離アミノ酸を増加させた「熟成ノリ」の試験開発を行った。第2章ではカキにおける呈味の季節変化および年変化を明らかにした。第3章では脱皮および抱卵ガザミの品質評価をもとにした資源管理型漁業の提言に寄与するとともに、低利用魚であるヒラの呈味特性を明らかにして魚食普及による需要の刺激および付加価値向上に言及した。総合考察では第1～3章の結果をふまえ、品質評価の可能性および水産物の高付加価値化を図るうえで必要な技術開発や現場への普及方策についても言及しながら整理した。

第1章 乾海苔の品質評価と高付加価値化

近年、岡山県における乾海苔の生産額は減少傾向にあるため、持続的なノリ養殖を行うためには単価の向上が必要不可欠である。そのため、乾海苔の付加価値向上に関する知見の集積は重要な課題である。

本章では、まず栄養塩濃度、乾海苔色調および乾海苔単価の関係を調査し、栄養塩濃度の見直しによる単価向上の可能性を明らかにすることを目的とした。また、乾海苔品質の客観的評価により、単価形成に影響を与える要因を明らかにするとともに、海藻麴を開発し、それを用いて乾海苔の呈味を改善させて付加価値を向上させる手法についても検討を行った。

第1節 栄養塩濃度およびノリの色調と乾海苔単価の関係

瀬戸内海の沿岸域では、浮流し方式のノリ養殖が行われているが、近年では海域の栄養塩濃度の低下に伴うノリの色落ちが頻発し^{6,7)}、大きな被害が発生している^{8,9)}。ノリの色落ちとは、ノリ葉体に含まれるクロロフィルa、フィコシアニン、フィコエリスリンおよびカロテノイドといった光合成色素が減少し、本来黒褐色であるノリの色調が薄くなる現象であり、色落ちしたノリから作られた乾海苔単価は著しく低い^{10,11)}。東京湾では溶存無機態リン (DIP)¹²⁾、有明海では溶存無機態窒素 (DIN) の減

少が色落ちの原因とされ¹³⁾、瀬戸内海でもDINの減少に伴って色落ちが発生するとされている¹⁴⁾。さらに、色落ちが発生するDIN濃度は産地および海域で異なり、有明海では $7\mu\text{M}$ ¹⁵⁾、瀬戸内海東部では経験的に $3\mu\text{M}$ とされている¹⁶⁾。

しかし、色落ちが発生するDIN濃度の根拠は明確でない。ノリの色調および乾海苔単価との関係も明らかになっていない。この関係を評価するためには、まず色落ちの原因が現場海域のDIN濃度の減少であることを確認したうえで、DIN濃度と生ノリの色調、生ノリと乾海苔の色調、乾海苔の色調と乾海苔単価の関係をそれぞれ調べる必要がある。

これまでの研究では、栄養塩濃度と生ノリの色調関係^{17, 18)}、生ノリと乾海苔の色調関係¹⁹⁾、生ノリの色調と乾海苔単価の関係を限定的に示した例はあるものの¹⁶⁾、これら3つの関係を一貫して調べた例は少ない。

そこで、本節では養殖漁場における栄養塩濃度と生ノリの色調、生ノリと乾海苔の色調、乾海苔の色調と乾海苔単価の関係をそれぞれ明らかにし、栄養塩濃度と乾海苔単価との関係を明らかにした。

材料と方法

調査海域とDINおよびDIP濃度の測定 調査は備讃瀬戸と播磨灘北西部のノリ漁場 (Fig. 1-1a) で行った。DIN濃度、DIP濃度および生ノリの色調調査を行った黒島漁場 (Fig. 1-1b) は河川の影響を直接受けにくい漁場である²⁰⁾。DINおよびDIP濃度の測定は、2010年12月6日～'11年1月27日 (2010年度) に16回、'11年12月12日～'12年2月13日 (2011年度) に10回、'12年12月3日～'13年2月4日 (2012年度) に12回、Fig. 1-1b) に示した黒島漁場西端のノリセット内の3定点において表層水を採水し、栄養塩分析に供した。採取した海水は、岡山県農林水産総合センター水産研究所 (以下、岡山県水産研究所) に持ち帰った後にWhatmanGF/Cフィルターで濾過し、濾液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NH}_4\text{-N}$ をオートアナライザー (QuAAtro 2HR, BL-Tech株式会社製) で分析した。また、同様に $\text{PO}_4\text{-P}$ も分析した。なお、本節では $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計をDIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ をDIPとした。

生ノリの色調調査 採水調査とあわせて黒島漁場の3定点で生ノリを採取し、色調調査に供した。採取した生ノリは直ちに岡山県水産研究所に持ち帰り、定点ごとに損傷のないものを20枚選び、水分を含んだ状態で先端部をスライドガラスに乗せ、白色校正板の上で色彩色差計

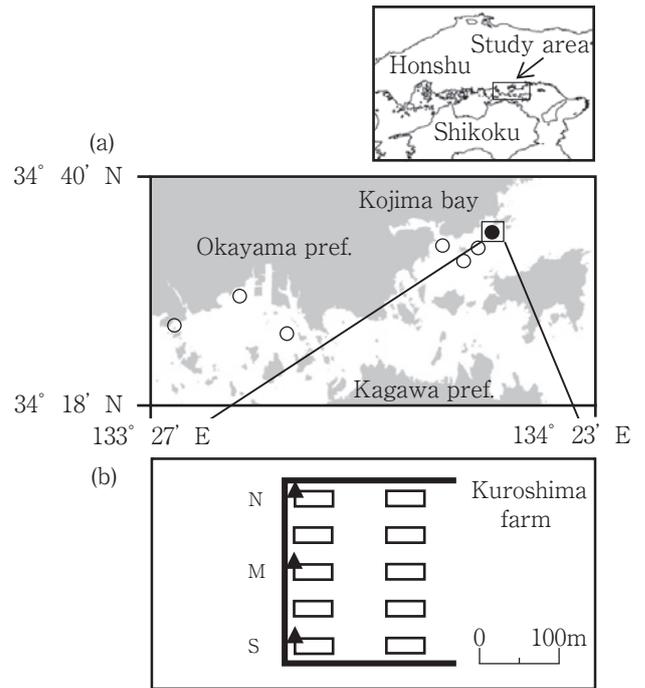


Fig. 1-1 Location of the observation area. Open circles in the sub-panel (a) indicate the research stations for the relationship between dried and fresh thalli colors. Open rectangles in the sub-panel (b) indicate the aquaculture facilities of nori in Kuroshima farm. Solid triangles indicate sampling stations of fresh thalli and sea water.

(CR-200, コニカミノルタ株式会社製) を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* 値および a^* 値を測定した。 $L^*a^*b^*$ 表色系はJISZ8279に規定されており、 L^* 値は明るさ、 a^* 値は赤みを示す。

生ノリと乾海苔の色調調査 2011年12月12日～'12年1月21日 (2011年度) に12回、岡山県のノリ養殖漁家10経営体から生ノリおよび乾海苔を採取した。生ノリはFig. 1-1a) に示した7定点のノリ養殖漁場から採取したもので、乾海苔は同漁場で獲れた同ロットの生ノリから製造されたものを用いた。生ノリおよび乾海苔は採取後直ちに岡山県水産研究所に持ち帰り、生ノリについては先に示した方法で、乾海苔は1枚当たり30か所の L^*a^* 値を測定した。

乾海苔の色調と乾海苔単価の調査 2011年12月15日～'12年3月29日 (2011年度) に8回、2012年12月14日～'13年3月31日 (2012年度) に8回、岡山県漁連で行われたノリ共同販売 (以下、入札) に出品された乾海苔を1回につき、20～60枚採取した。なお、採取した乾海苔は前述の7定点の漁場を含む岡山県内すべての漁場で製造されたものであり、前述の方法で L^*a^* 値を測定した。

結 果

黒島漁場におけるDINおよびDIP濃度、生ノリの色調の推移 黒島漁場の3定点で採取した海水中のDINおよびDIP濃度の平均値の推移を年度ごとにFig. 1-2に示した。2010年度のDIN濃度は12月6日には調査期間中の最高値となる $9.2\mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、1月24日には最低値となる $0.2\mu\text{M}$ となった。DIP濃度は12月6日に最高値となる $0.79\mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、1月27日には最低値となる $0.12\mu\text{M}$ となった。2011年のDIN濃度は12月19日に最高値となる $12.5\mu\text{M}$ を示したが、

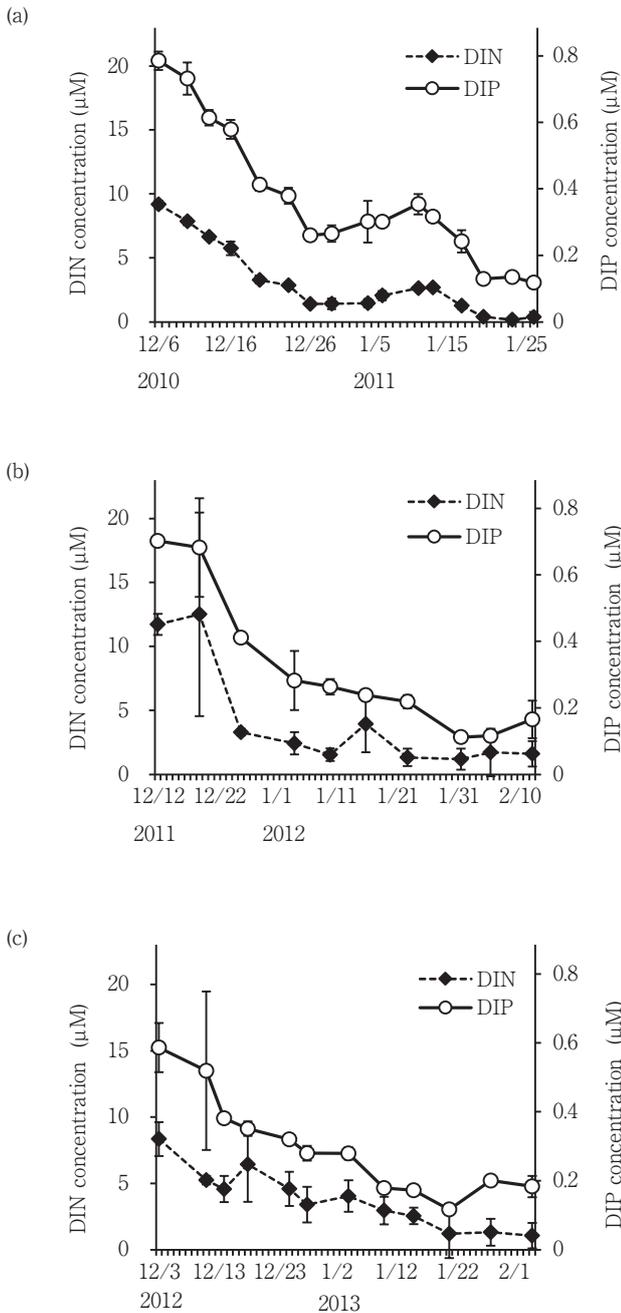


Fig. 1-2 Temporal changes of mean DIN and DIP concentrations in (a) 2010, (b) 2011 and (c) 2012. Bars indicate standard deviations.

その後は減少し、2月1日には最低値となる $1.2\mu\text{M}$ となった。DIP濃度は12月12日に最高値となる $0.69\mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、2月1日には最低値となる $0.11\mu\text{M}$ となった。2012年度のDIN濃度は12月3日に最高値となる $8.4\mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、2月4日には最低値となる $1.1\mu\text{M}$ となった。DIP濃度は12月3日に最高値となる $0.59\mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、1月21日には最低値となる $0.12\mu\text{M}$ となった。

黒島漁場の3定点で採取した生ノリの L^*a^* 値の平均値の推移を年度ごとにFig. 1-3に示した。2010年度の L^* 値は12月6日に最低値となる46.0を示し、1月27日には

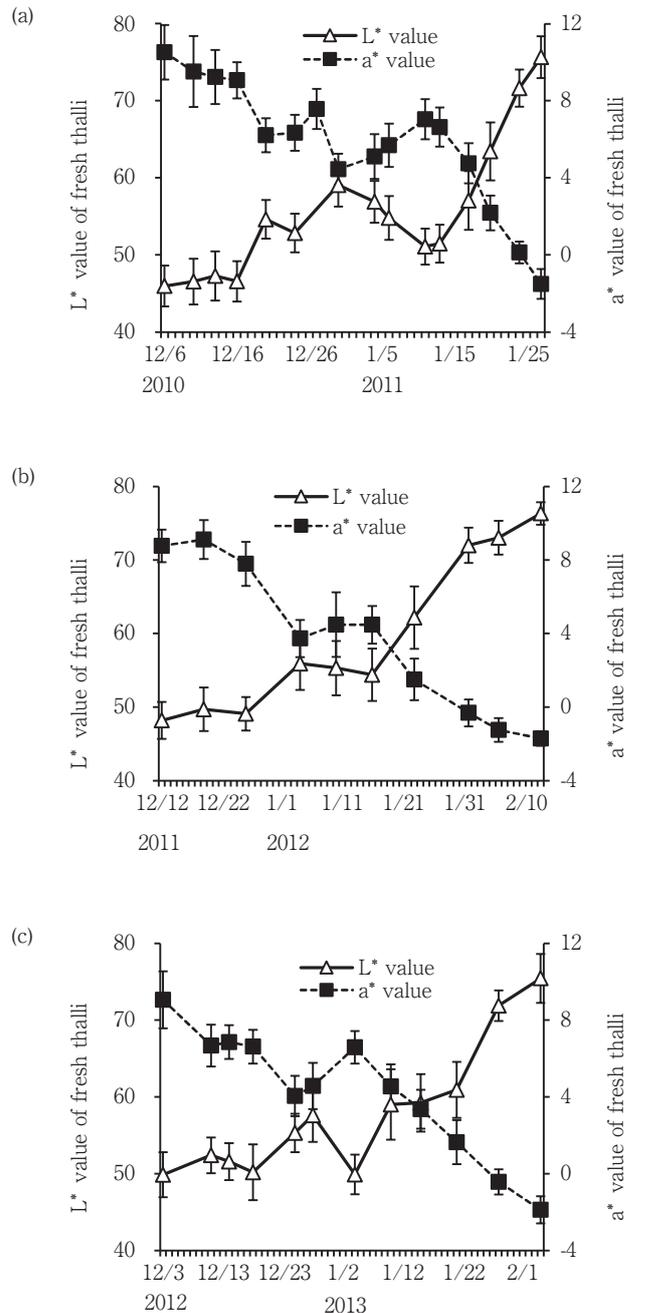


Fig. 1-3 Temporal changes of the fresh thalli color in (a) 2010, (b) 2011 and (c) 2012. Bars indicate standard deviations.

最高値となる75.6を示した。また、 a^* 値は12月6日には最高値となる10.5を示し、1月27日には最低値となる-1.5を示した。2011年度の L^* 値は12月12日に最低値である48.2を示し、2月13日には最高値となる76.4を示した。また、 a^* 値は12月19日に最高値となる9.1を示したが、その後は減少し、2月13日には最低値となる-1.7を示した。2012年度の L^* 値は、12月3日に最低値となる49.9を示した後は増加し、2月4日には最高値となる75.5を示した。また、 a^* 値は12月3日に最高値となる9.1を示した後は減少し、2月4日には最低値となる-1.9を示した。

DIN濃度と生ノリの色調との関係 年度ごとのDIN濃度と生ノリ L^* a^* 値の関係をFig. 1-4に、その相関行列をTable 1-1に示した。2010年度のDIN濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ $y = -7.2 \log(x) + 60.5$ ($r = -0.95$), $y' = 2.8 \log(x) + 4.0$ ($r = 0.94$) となり、DIN濃度と L^* 値、 a^* 値の間にはいずれも有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。2011年度のDIN濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ $y = -8.8 \log(x) + 66.9$ ($r = -0.78$), $y' = 3.8 \log(x) + 0.7$ ($r = 0.88$) となり、DIN濃度と L^* 値、 a^* 値の間にはいずれも有意な相関が認められた ($P < 0.05$ および $P < 0.01$)。2012年度のDIN濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ $y = -11.3 \log(x) + 70.9$ ($r = -0.90$), $y' = 4.6 \log(x) - 1.0$ ($r = 0.95$) となり、DIN濃度と L^* 値、 a^* 値の間にはいずれも有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。

3年間の結果をすべてプロットした結果をFig. 1-4dに示した。DIN濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ、 $y = -7.7 \log(x) + 64.1$ ($r = -0.81$), $y' = 3.0 \log(x) + 2.2$ ($r = 0.81$) となり、いずれも有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。

生ノリおよび乾海苔の色調の相互関係 2011年度に採取した生ノリと乾海苔の L^* a^* 値の関係をFig. 1-5に、その相関行列をTable 1-2に示した。生ノリ L^* 値 (x) と乾海苔 L^* 値 (y) との関係式は $y = 11.5e^{0.01x}$ ($r = 0.85$) となり、有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。また、生ノリ a^* 値 (x') と乾海苔 L^* 値 (y) との関係式は $y = 34.4e^{-0.04x'}$ ($r = -0.82$) となり、有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。一方、生ノリ a^* 値と乾海苔 a^* 値、生ノリ L^* 値と乾海苔 a^* 値との間には相関が認められなかった。

乾海苔の色調と乾海苔単価との相互関係 2011年度、2012年度に採取した乾海苔の L^* 値と乾海苔単価との関係式をFig. 1-6に示した。2011年度における L^* 値 (x) と乾海苔単価 (y) の近似曲線は $y = 4.2 \times 10^3 x^{-1.8}$ ($r =$

-0.91) となり、有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。2012年度における L^* 値 (x) と乾海苔単価 (y) の近似曲線は $y = 9.6 \times 10^2 x^{-1.7}$ ($r = -0.80$) となり、有意な相関が認められた ($P < 0.01$)。なお、ノリの最高値が18円、最低値が3円であったため、 $3 \leq y \leq 18$ とした。

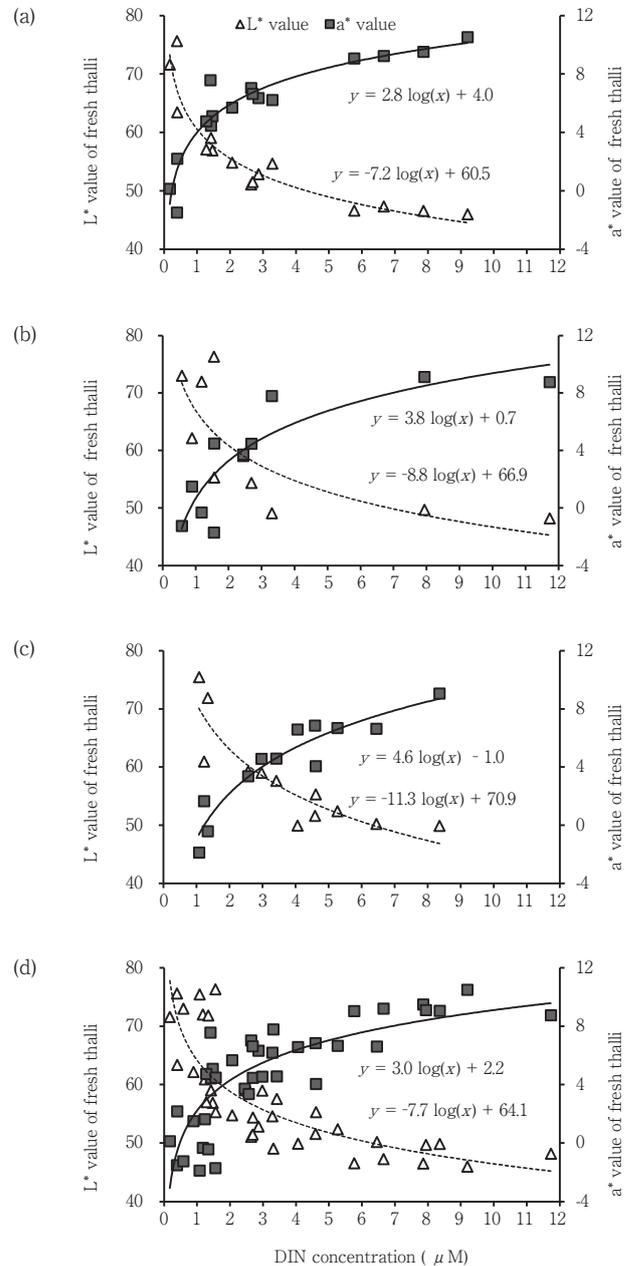


Fig. 1-4 Relationship between the fresh thalli color and DIN concentration in (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012 and (d) 2010–2012. Open triangles and solid squares indicate the L^* and a^* values of fresh thalli, respectively. Broken and solid lines indicate fitted curves of L^* and a^* values of fresh thalli with respect to DIN concentration, respectively.

Table 1-1 Correlation coefficients between fresh thalli color and DIN concentration in (a)2010, (b)2011, (c)2012 and (d)2010-2012

Analysis of quality (2010)		(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	I		1		
a* value (fresh thalli)	II		-0.99**	1	
DIN	III		-0.95**	0.94**	1
Analysis of quality (2011)		(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	I		1		
a* value (fresh thalli)	II		-0.97**	1	
DIN	III		-0.78**	0.88**	1
Analysis of quality (2012)		(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	I		1		
a* value (fresh thalli)	II		-0.96**	1	
DIN	III		-0.90**	0.95**	1
Analysis of quality (2010-2012)		(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	I		1		
a* value (fresh thalli)	II		-0.97**	1	
DIN	III		-0.81**	0.81**	1

* 5% Significance level, ** 1% Significance level

考 察

養殖サビノリ葉体における窒素とリン含有量のモル濃度比は、26:1と報告されており²¹⁾、ノリの健全な生長には前述の比率が必要と仮定して、Fig. 1-2の結果から比率を算出したところ、DIN/DIP比は各年度とも26を超えることはなかった。また、ノリの増殖制限となるDIN濃度を半飽和定数(3.9-13.1 μM)の2倍値と考えた場合¹²⁾、調査期間中のDIN濃度は0.2-12.5 μM であり、ほぼすべての時期において半飽和定数の2倍値以下であった。

また、東京湾ではノリの色落ちDIP閾値は0.5 μM ¹²⁾、有明海の福岡県海域では色落ちDIP閾値は0.4 μM であるとされており²²⁾、そのときのDIN濃度は東京で10.0 μM (N/P = 20)、福岡で20.0 μM (N/P = 50)であった。一方、瀬戸内海東部で経験的に色落ちが発生するとされているDIN濃度3.0 μM のときDIP濃度は0.40 μM (N/P = 8)であった。このことから、本県の海域はDINが不足している状況であり、他の2海域の結果はDINが十分に存在し、DIPが相対的に少なくなった結果であると考えられた。さらに、DIN濃度と生ノリのL*a*値はともに高い相関を示し、DIN濃度の低下に伴って生ノリの色調も低下していた (Figs. 1-2, 1-3)。これらのことから、

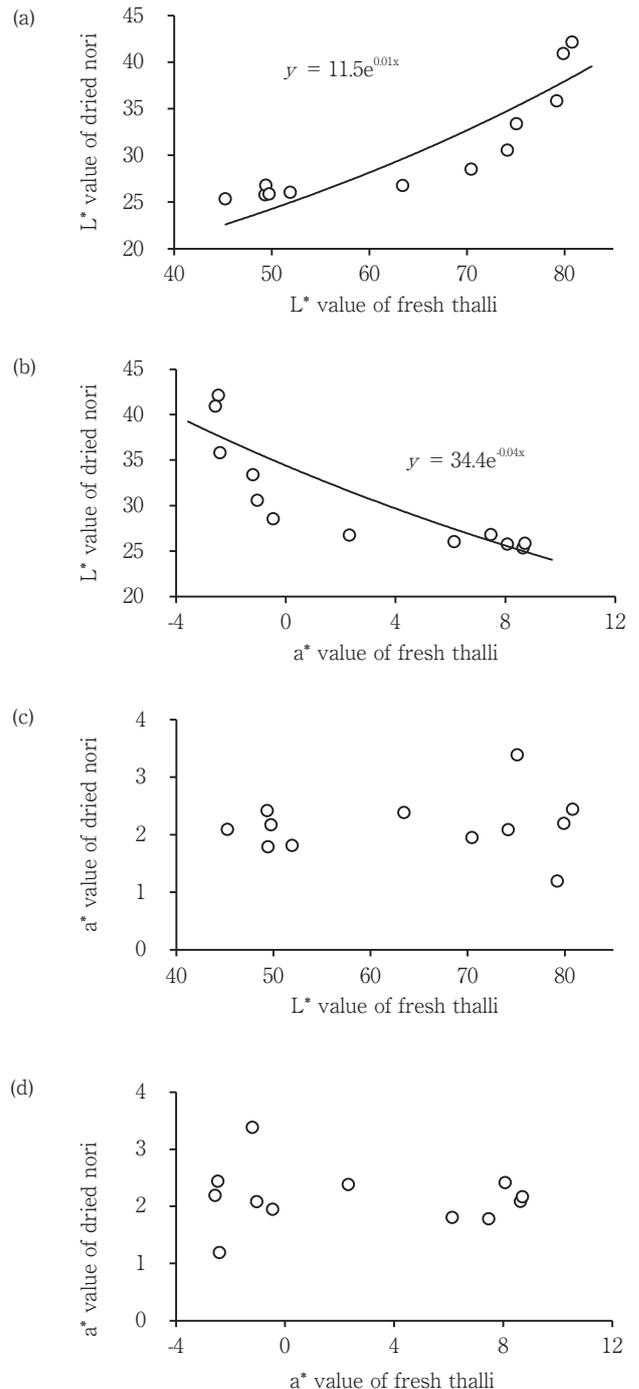


Fig. 1-5 Relationship between fresh thalli and dried nori color. Solid line indicates a linear approximation. (a) L* value of fresh thalli and L* value of dried nori, (b) a* value of fresh thalli and L* value of dried nori, (c) L* value of fresh thalli and a* value of dried nori, (d) a* value of fresh thalli and a* value of dried nori.

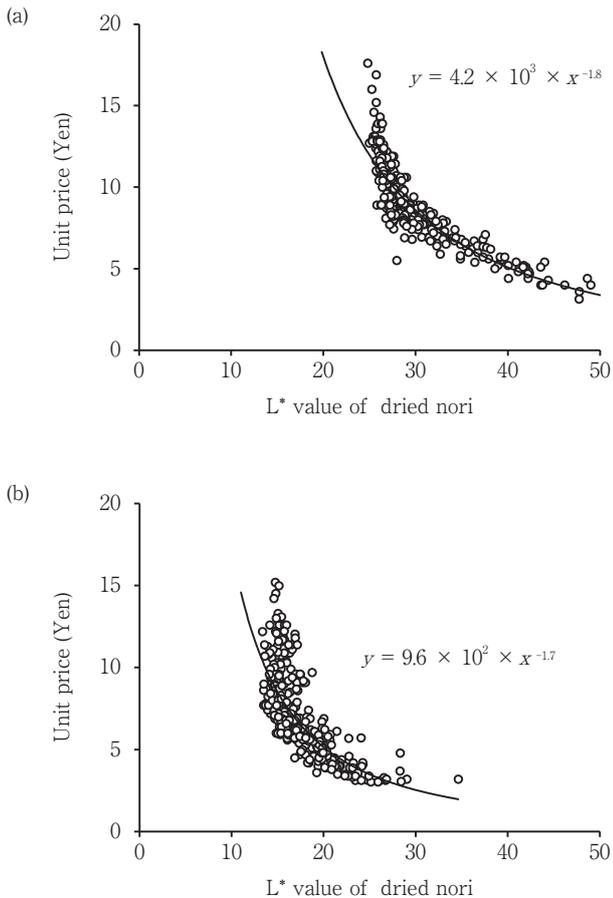
本海域におけるノリの色落ちの制限要因はDINと考えられ、小谷ら²³⁾ および藤澤ら²⁴⁾ の結果からも支持される。

Fig. 1-4dの結果をもとに、DIN濃度と生ノリ色調および色差の関係をTable 1-3に示した。色差値は2色間のL*a*b*値のそれぞれの差を2乗した総和の平方根であ

Table 1-2 Correlation coefficients between fresh thalli and dried nori color in 2011

Analysis of quality (2011) (symbol)	I	II	III	IV	
L* value (fresh thalli)	I	1			
a* value (fresh thalli)	II	-0.99**	1		
L* value (dried Nori)	III	0.86**	-0.82**	1	
a* value (dried Nori)	IV	0.11	-0.09	0.11	1

* 5% Significance level, ** 1% Significance level

**Fig. 1-6** Relationship between the L* value of dried nori and unit price of dried nori (Yen) in (a) 2011, (b) 2012. The solid line indicates a fitted curve.

り、NBS単位で「0.5-1.5がわずかに異なる」、「1.5-3.0が感知しうるほど異なる」、「3.0-6.0が著しく異なる」としている²⁵⁾。ここで、黄色味を表すb*値を一定値とし、DIN濃度1 μ M単位で生ノリ色調の変化を見ていくと、DIN濃度が6 μ M以上では色調の差はほとんど認められず、3 μ M以下になると色調に著しい差が認められた。この結果は現場で色調低下が認識されるDIN濃度(3 μ M以下)とした目視結果¹⁷⁾とも一致した。また、黒島漁場におけるノリの養殖品種について漁協へ聞き取り調査を行ったところ、各地で使用されている登録・未登録の

Table 1-3 Relationship between DIN concentration, L* and a* values of fresh thalli, color difference value in 2010-2012

DIN concentration	Fresh thalli		Color difference value
	a* value	L* value	
1	2.2	64.2	5.7
2	4.3	58.8	
3	5.5	55.7	3.4
4	6.4	53.5	
5	7.0	51.8	2.4
6	7.6	50.4	
7	8.0	49.2	1.3

品種を混合して養殖しており、本報で採取した生ノリも様々な品種を含んでいた。したがって、今回DIN濃度および生ノリ色調に有意な相関が認められたということは、Fig. 1-4dに示した関係式はノリの一般的な生理現象を反映したものと解釈でき、他海域においても成り立つ可能性が高いと考えられた。

生ノリ色調と光合成色素の含有量との間には高い相関があり²⁶⁾、そのうち主要な光合成色素であるフィコシアニンとフィコエリスリンはタンパクから合成されるため、色素タンパクとも呼ばれる²²⁾。ノリを含む海藻類は、海水から吸収した栄養塩を新組織の形成に用いるとともに、余剰分を遊離アミノ酸や色素タンパクとして貯蔵するが^{27, 28)}、飽和状態になると合成しない²⁹⁾。一方、窒素欠乏下では、窒素源のプールとして機能するフィコエリスリンが減少するため、色素量は急激に減少する³⁰⁻³³⁾。これらのことから、DIN濃度が6 μ M以上で色調に差が認められなかったのは、十分量の窒素が供給されて色素タンパクが飽和状態となったためであり、逆に3 μ M以下で色調が急激に低下したのは、ノリが栄養塩欠乏状態となり、フィコエリスリンなどの色素タンパクが減少したためと考えられた。

生ノリL*a*値と乾海苔L*値との間には高い相関が認められたが³⁾(Fig. 1-5)、乾海苔a*値と生ノリL*a*値との間には相関関係が認められなかったため、乾海苔についてはL*値を用いて議論を行う。乾海苔L*値と乾海苔単価は2011年、2012年度ともに高い相関を示したが(Fig. 1-6)、年度ごとに近似式は異なっていた。一般的に、乾海苔の入札における乾海苔単価は、色調の他にも、光沢や味、硬さ、香りなどの品質、在庫状況および他産地の相場などの要因によって決定されるが^{34, 35)}、これらの影

響は年度ごとに異なる。

このように乾海苔単価は年変動が大きいいため、DIN濃度と乾海苔単価の関係式を導くことは困難であると考えられたが、DIN濃度と生ノリの色調、生ノリの色調と乾海苔の色調、乾海苔の色調と乾海苔単価との間には、それぞれ高い相関が認められた。したがって、DIN濃度の低下は生ノリの色調および乾海苔単価の低下、ひいてはノリ養殖業者の収入の低下につながると考えられた。このことは、原田³⁶⁾が海域のDIN濃度と乾海苔生産額には相関があることを示したことから支持される。

瀬戸内海の水質は改善されたという意見がある一方³⁷⁾、ノリ養殖にとっては適切なレベルを下回っている可能性が高い。このことは本県に限らず、隣接する海域においても、栄養塩および乾海苔生産額の減少が報告されていることから示唆される³⁸⁻⁴⁰⁾。DIN濃度を人工的に管理するために、施肥⁴¹⁾、ダム放流量の上乗せ⁴²⁾、下水処理場の管理運転⁴³⁾、海底耕耘⁴⁴⁾などが試みられているが、海洋環境への悪影響の懸念、社会的なコンセンサスが得られないこと、効果が限定的であることから、根本的な解決策の立案が求められている。そのためには、藤原ら⁴⁵⁾が指摘しているように、海域ごとに適正な栄養塩濃度を検討することで、乾海苔単価が向上し、持続的なノリ養殖が可能になると考えられた。

第2節 乾海苔の品質と単価の関係

岡山県の沿岸域では、浮流し方式のノリ養殖が行われているが、経営体数の減少および高水温によるノリ漁期の短縮といった影響により、その生産枚数は年々減少傾向にある²⁾。さらに、生産額においても色落ち^{6,9,14)}や消費の低迷などに起因する乾海苔の単価低下により、減少傾向となっている。そのため、限られた生産枚数のなかで、いかに単価を向上させて漁家経営を安定させるかが今後のノリ養殖において重要であると考えられる。

乾海苔の価格形成においては、まず各産地の入札会場にて、品質評価項目に基づいた乾海苔の格付け作業が検査員によって行われる。買い付け業者はその格付けを参考に入札金額を提示し、一般競争入札によって乾海苔の単価が決定される。この際、色調、光沢、口どけの良さ、呈味および香りなどで乾海苔が評価され^{34,35)}、この評価が高いと等級も高くなるが、これらは官能的に行われるため、人によって評価が異なるなどの問題が生じることがある。さらに、岡山県漁連では摘採回数が少ない乾海苔を「新の頂」や「岡山若のり」として差別化し、品質が良いことをアピールして売り出しており²⁾、品評会や

試食会などで高い評価を得ているものの、品質の良さが客観的に評価されていないため、単価に反映されていないのが現状である。これらのことから、現場では客観的な品質評価およびそれに基づいた単価向上手法の開発が求められている。客観的な品質評価が可能になることで、乾海苔の品質が適正に評価され、単価向上の一助になることが期待できる。

一般的に、乾海苔の単価は前年度の在庫状況やロット数などの外的要因に左右され、さらには前述のとおり官能的な品質評価によって決定される。このように、複雑かつ多数の要因に影響されるため、品質と単価の関係に関する報告事例は少なく、硬さと単価の関係⁴⁶⁾、遊離アミノ酸総量と単価の関係⁴⁷⁾、色調と単価の関係⁴⁸⁾など、限定的に調べた事例しか見当たらない。乾海苔の品質と単価の関係を詳細に調べるためには、複数の品質項目を同時に数値化して解析を行う必要がある。

そこで、本節では色彩色差計、テンシプレッサーおよび味覚センサを用い、乾海苔の色調、口どけおよび呈味を同時に分析して乾海苔品質における客観的な評価を試みるとともに、品質や入札回数と単価の関係についても検討を行った。

材料と方法

乾海苔のサンプリングおよび色調測定 備讃瀬戸海域にあたる岡山県児島湾沖のノリ養殖漁場 (Fig. 1-7) で2017年度漁期に生産され、岡山県漁連へ出品された1等級から3等級 (以下、上位等級) の乾海苔53ロット (4枚/1ロット、計212枚) を入札回ごとに入手し、試験に供した (Table 1-4)。入手した乾海苔は白色校正板の上に載せ、色彩色差計 (NF-333、日本電色工業株式会社製) で1ロットあたり10か所の色調 ($L^*a^*b^*$ 表色系) を測定し、その後180℃の平板電熱器 (CHP-250AN、アズワン株式会社製) の上に置き、鉄板で押さえて10秒間焙焼処理した⁴⁹⁾。その後、焼海苔の色調を同様の方法で再度測定した。なお、 $L^*a^*b^*$ 表色系はJISZ8279に規定されており、 L^* 値は明るさ、 a^* 値は赤み、 b^* 値は黄色みを示す。さらに、彩度を示す C^* 値について、 a^* 値と b^* 値をそれぞれ2乗した和の平方根で表した⁵⁰⁾。

食感分析 色調測定後、各ロットのうち焼海苔1枚を食感分析に供した。すなわち、1枚当たり5か所から直径30mmの円形になるように試料を切り出し、食感測定器 (TENSIPRESSER My Boy II SYSTEM、タケトモ電機製) に供した。受け皿 (直径45mm、深さ5mm) には常温 (24℃) の蒸留水3mLおよび切り出した試料

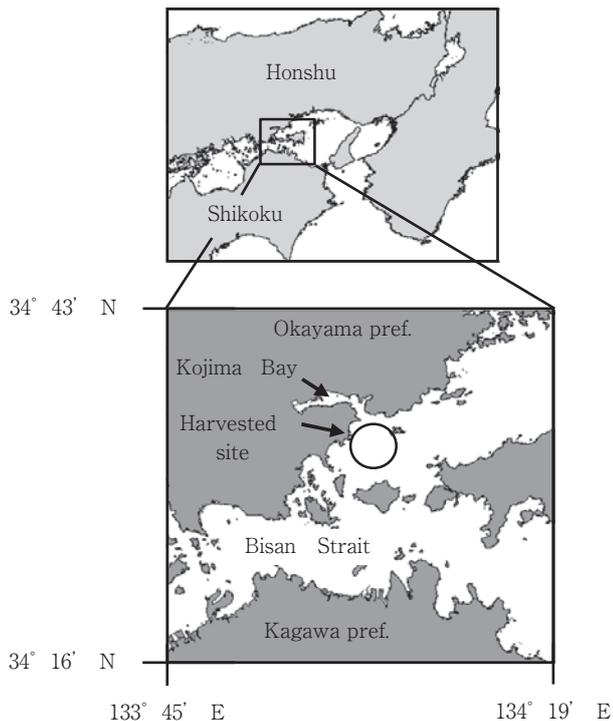


Fig. 1-7 Location of Bisan Strait in the Seto Inland Sea, Japan, and the allow indicate Kojima Bay, open circle indicate the harvested site for nori *Pyropia yezoensis*.

を1枚入れ、多重積算バイトプログラムによる測定を行った。これは人が奥歯で咀嚼する動きを模したプログラムであり、荷重を連続して繰り返し、焼海苔が溶解するまでにかかる咀嚼回数（以下、咀嚼値）を計測するものである。なお、本節ではプランジャーは直径36mmの円柱型、試料台速度は2mm/sec、クリアランスは1mmとした。

味覚センサ分析 残りの焼海苔3枚を一括してハサミで裁断した後、常温の蒸留水を混合して40倍希釈を行い、ミキサーで30秒混合した。その後、試料溶液を3mmメッシュ、1mmメッシュの順で二段階ろ過したものを抽出エキス（以下、エキス）とした。これをロットごとに味認識装置である味覚センサ（TS-5000Z、株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー製⁵¹⁻⁵³）に供し、分析中は室温を24℃に保った。ここでは5種類の脂質膜センサを使い、8種類の呈味を評価した。すなわち、C00センサは苦味および苦味後味を、AE1センサは渋味および渋味後味、AAEセンサは旨味および旨味後味を、CT0センサは塩味を、CA0センサは酸味を評価した。先味および後味については、郡山ら⁵⁴の報告に基づき、先味は口に含んだ直後に感じる味、後味は口に含んだ後の持続性のある味と定義した。なお、本節では味覚センサ分析マニュアル⁵⁵に従い、旨味先味のみ純水で320倍に

Table 1-4 The number of lot for dried nori samples collected in Okayama prefecture

Bidding number	Sampling date	1 st grade	2 nd grade	3 rd grade	Total
1 st	2017.12.17	3	3	2	8
2 nd	2017.12.25	3	2	3	8
3 rd	2018.1.10	3	3	3	9
4 th	2018.1.28	-	-	-	-
5 th	2018.2.7	1	2	3	6
6 th	2018.2.18	2	2	2	6
7 th	2018.3.3	2	3	3	8
8 th	2018.3.18	3	3	2	8
Total		17	18	18	53

- indicate no sample

希釈したエキスを分析した。これらは320倍の希釈倍率と比較して正常か否かを最適な希釈倍率を決定した。分析は1ロットにつき4回計測し、そのうち1回目を除く2～4回目のデータを解析アプリケーションVer.1.6.5で解析した。解析後に得られた値はセンサの出力値を基に人間が感じる味覚強度に変換させた推定値であり、基準となるエキスとの呈味の強さの差を表している。なお、本節では第8回入札会に出品された3等級の計測値を基準値（0）とし、他のサンプルの値も補正して解析を行った。ここでは、基準値よりも呈味が強いとプラス、弱ければマイナスの値をとり、値が1異なると濃度差が20%あることを示している⁵⁶。この濃度差はWeber-Fechnerの法則を根拠に、人が味の強度差を認識できると推定される最小の濃度差である^{57,58}。また、付属の基準液（酒石酸0.045gおよび塩化カリウム2.24gに純水を加えて1Lに調整したもの）を無味とし、これより値が高かった呈味項目については呈味評価が可能であると判断した。

単価およびロット数調査 サンプルで用いた乾海苔の入札単価およびロット数について、岡山県漁連に聞き取り調査を行った。

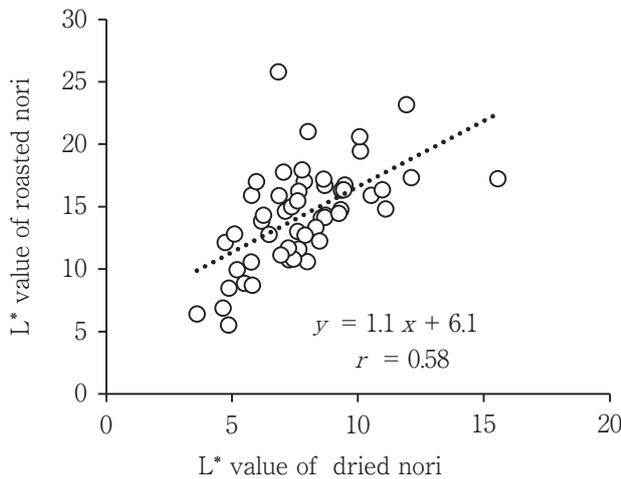
官能評価 20～50歳代の岡山県水産研究所職員14名（男性13名、女性1名）を対象に官能評価を行った。官能評価方法は2点嗜好試験法⁵⁹にて、2種類の焼海苔（第1回入札の1等級および第7回入札の3等級）を用いて、旨味および口どけを評価した。なお、余剰サンプルの都合上、上記2種の焼海苔を試験に供した。試料は直径30mmの円形に切り抜き、1等級および3等級を左右に並べて配置し、左の試料に対して旨味が強ければ+1点、同等であれば0点、弱ければ-1点で判断させた。口どけも同様に、左の試料に対して口どけが良ければ+1点、同等であれば0点、悪ければ-1点の点数で判断させた。

なお、ここでは柳沢ら⁶⁰⁾の報告に基づき、咀嚼による焼海苔のほぐれ具合を「口どけ」と定義し、飲み込むまでに要する咀嚼回数が少ないほど口どけが良いとした。

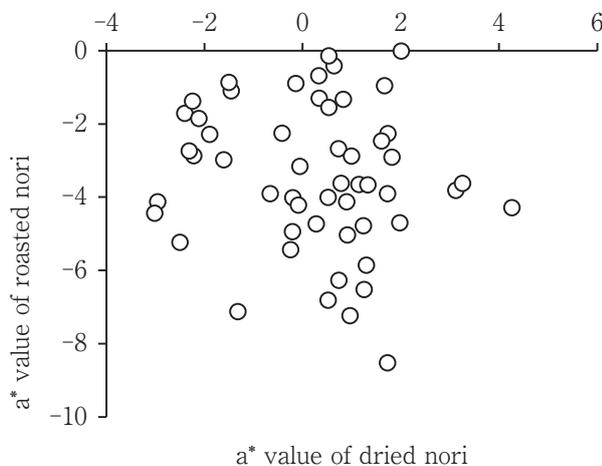
統計処理 色調測定、食感分析および呈味分析における有意差の検定および重回帰分析にはエクセル統計 (Bell Curve for Excel, 株式会社社会情報サービス製) を用いた。官能評価については、どちらか片方が選ばれる回数は $P = 1/2$ の 2 項分布に従うことを用いて、2 者間で有意差の有無を検定した。なお、有意性のための棄却域は 5% ($P = 0.05$) および 1% ($P = 0.01$) とした。

結 果

乾海苔と焼海苔の色調の関係 乾海苔と焼海苔の色調の関係を Fig. 1-8 に示した。乾海苔 (x) と焼海苔 (y) の色調の関係について、L* 値 (xl, yl) は $yl = 1.1 xl + 6.1$ (a)



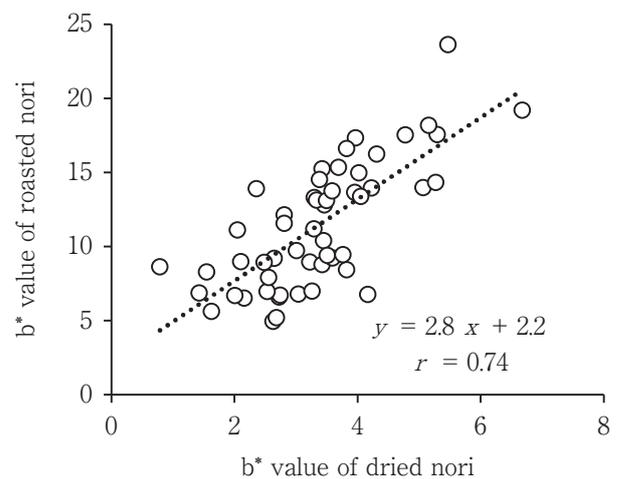
(b)



($r = 0.58, P < 0.01$), a* 値 (xa, ya) は $ya = -0.2 xa - 3.4$ ($r = 0.13, P > 0.05$), b* 値 (xb, yb) は $yb = 2.8 xb + 2.2$ ($r = 0.74, P < 0.01$), C* 値 (xc, yc) は $yc = 2.8 xc + 1.7$ ($r = 0.68, P < 0.01$) となり、L* 値、b* 値および C* 値で有意な正の相関関係が認められた。

品質と単価の関係 乾海苔の色調と単価の関係を Fig. 1-9a ~ d に示した。乾海苔の色調 (x) と単価 (y) の関係について、L* 値 (xl) は $y = -0.3 xl + 15.4$ ($r = -0.50, P < 0.01$), a* 値 (xa) は $y = -0.6 xa + 12.9$ ($r = -0.69, P < 0.01$), b* 値 (xb) は $y = -0.7 xb + 14.9$ ($r = -0.48, P < 0.01$), C* 値 (xc) は $y = -0.6 xc + 14.9$ ($r = -0.45, P < 0.01$) となり、L* 値、a* 値、b* 値および C* 値と単価の間で有意な負の相関関係が認められた。

焼海苔の咀嚼値と単価の関係を Fig. 1-9e に示した。咀嚼値 (x) と単価 (y) の関係は、 $y = 3.1 \times 10^{-2} x + 15.2$ (c)



(d)

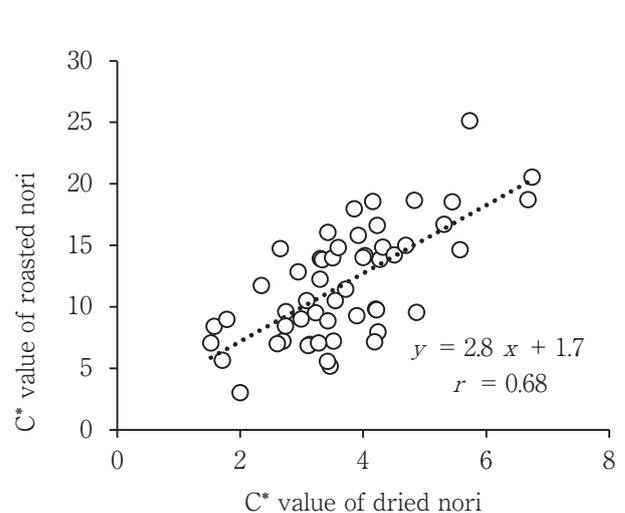


Fig. 1-8 The relationships between color of dried nori and roasted nori. (a) L* value, (b) a* value, (c) b* value, (d) C* value, respectively.

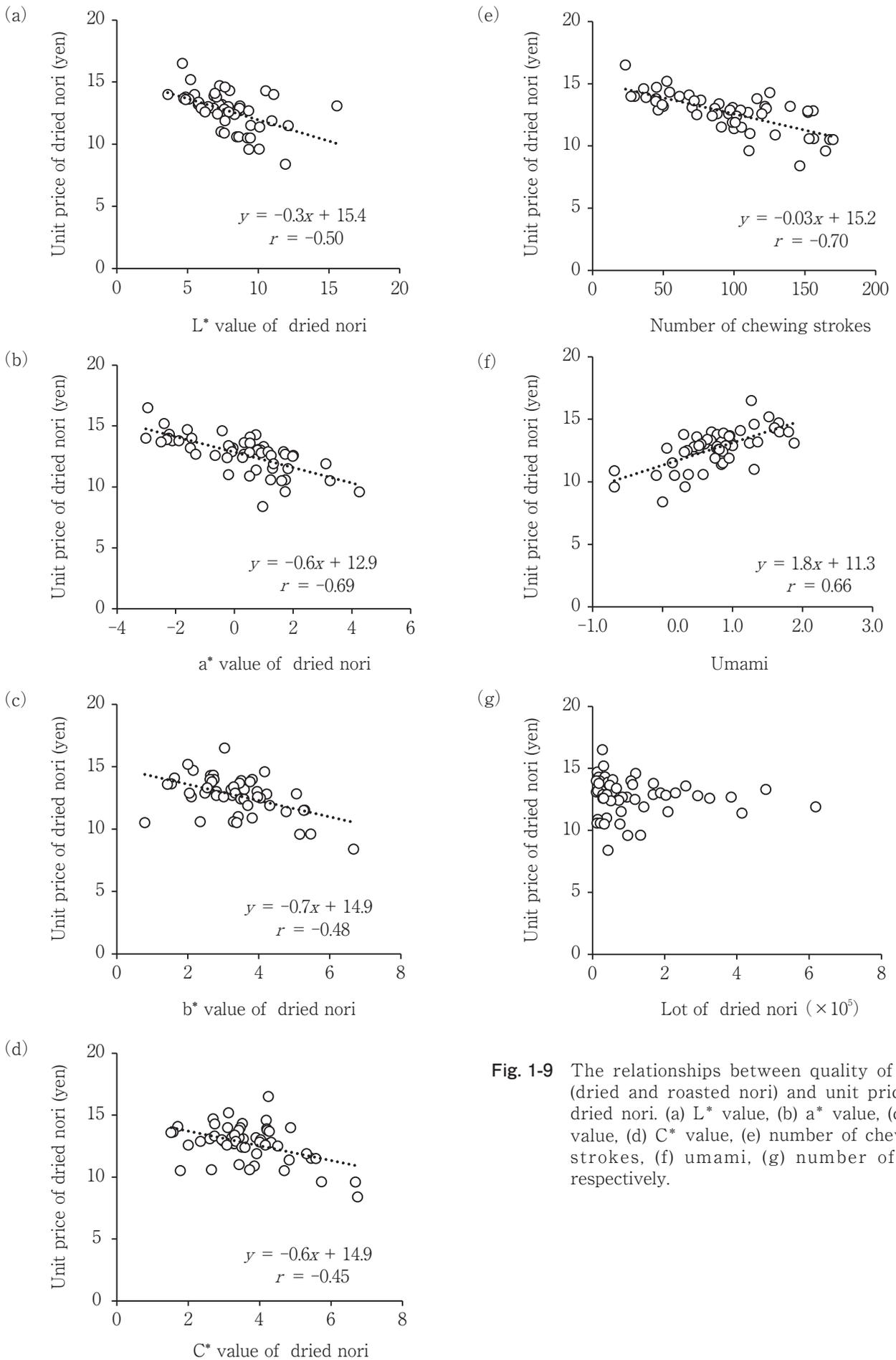


Fig. 1-9 The relationships between quality of nori (dried and roasted nori) and unit price of dried nori. (a) L* value, (b) a* value, (c) b* value, (d) C* value, (e) number of chewing strokes, (f) umami, (g) number of lot, respectively.

Table 1-5 Result of sensory evaluation compared 1st grade dried nori with 3rd grade

	1 st grade	3 rd grade
Umami	10	3
Chewing score	13**	1

** indicate significant differences ($P < 0.01$)

= -0.70, $P < 0.01$) となり、咀嚼値と単価の間で有意な負の相関関係が認められた。

味覚センサによる呈味分析結果と単価の関係をFig. 1-9fに示した。今回、8項目の呈味（苦味先味、苦味後味、旨味先味、旨味後味、渋味先味、渋味後味、塩味および酸味）について分析したところ、酸味を除く7項目が基準液より高い値を示したため、7項目は評価可能であると判断した。このうち、単価との間に有意な相関関係が認められたものは旨味先味のみであり、旨味先味(x)と単価(y)の関係は $y = 1.8x + 11.3$ ($r = 0.66, P < 0.01$)であった。

乾海苔のロット数と単価の関係をFig. 1-9gに示した。乾海苔のロット数(x)と単価(y)の関係は、 $y = -1.0 \times 10^{-6}x + 12.8$ ($r = 0.09, P > 0.05$)となり、乾海苔のロット数と単価の間で有意な相関関係は認められなかった。

官能評価 焼海苔を用いた官能評価結果をTable 1-5に示した。旨味については、1等級が10点、3等級が3点となり、1等級が高い傾向であった。口どけについては、1等級が13点、3等級が1点となり、1等級が有意に高かった ($P < 0.01$)。

考 察

本節では機器を用いた色調測定、食感分析および呈味分析により乾海苔品質の数値化を試みるとともに、入札回数および単価との関係についても分析を行った。

色調測定の結果、L*値、b*値およびC*値について、乾海苔と焼海苔の間には有意な正の相関が認められた一方、a*値では有意な相関は認められなかった (Fig. 1-8)。これは、焙焼処理によりフィコエリスリン構成分子の一部が変性して赤色が失われたため³³⁾と考えられた。しかし、それ以外の色調は相関関係が維持されていたことから、焼海苔における色素量の分解率はフィコエリスリンを除いて一定であった可能性が高く、サンプルの焼き加減にばらつきがあったとは考えにくい。さらに、遊離アミノ酸は熱変性に強く⁶¹⁾、硬さも乾海苔と焼海苔の間には正の相関があることが報告されているため⁶⁰⁾、加熱による呈味成分および硬さへの影響は少ないと考えられた。したがって、本節では、焼海苔は乾海苔の品質

を反映しているものとして分析に供した。

乾海苔の色調 (L*値、a*値、b*値およびC*値) と単価については、それぞれ有意な負の相関関係が認められた (Fig. 1-9a-d)。L*a*b*表色系において、L*値は高いと明るい色調を、低いと暗い色調を示す。一方、C*値は高いと鮮やかな色調を、低いと黒などの色みがない無彩色を示す⁵⁰⁾。今回、L*値およびC*値が低いほど乾海苔の単価が高かったため、黒い乾海苔ほど単価が高いことが示唆された。このことは、久野ら¹⁹⁾が乾海苔等級と色調の間に、村山ら⁴⁸⁾が乾海苔単価とL*値の間にそれぞれ有意な相関があることを示していることから支持される。さらに、a*値およびb*値も単価との相関係数が高かったため、赤みおよび黄色みが強いほど単価が高くなることも示唆された。

乾海苔のテクスチャーについては、硬さおよび口どけが重要とされている⁶⁰⁾。硬さは第一咀嚼に感じる強さを指す一方、口どけは第二咀嚼以降の崩れやすさを指し、これが早いほど口どけが良いと感じる⁶²⁾。乾海苔の硬さについては、これまでに機器測定による報告があるものの^{46, 63)}、機器による口どけを数値化した事例は少ない。今回、荷重を連続して加えることで反発力の限界値を分析し、乾海苔の崩壊性による口どけを評価した。その結果、咀嚼値と単価との間に有意な負の相関関係が認められた (Fig. 1-9e)。したがって、口どけが良い海苔ほど単価が高いことが示唆された。

乾海苔の入札においては、乾海苔の枚数をまとめてロット数を大きくすることにより、単価が向上するとされている³⁴⁾。このようにロット数は品質との関連性は低いものの、単価形成への影響を検討するうえで重要な要因の一つである。しかし、今回の試験では乾海苔単価とロット数の間には有意な相関関係は認められなかった (Fig. 1-9g)。この要因として、ロット数が大きいサンプルが不足していたことなどが考えられる。したがって、今後は同一等級でロット数が異なるサンプルを収集し、より詳細に単価との関係を調べる必要がある。

味覚センサ分析値と単価の関係について、旨味先味と単価の間に有意な相関関係が認められた (Fig. 1-9f)。玉野ら⁶⁴⁾や川村⁴⁷⁾は遊離アミノ酸総量と単価の間には有意な正の相関関係があることを示しており、旨味先味に遊離アミノ酸などが関与していると考えられた。しかし、本節では遊離アミノ酸分析を行っておらず、また、旨味には遊離アミノ酸のほかにも核酸関連物質であるイノシン酸なども関与しているため⁶¹⁾、今後これらも併せて分析する必要がある。

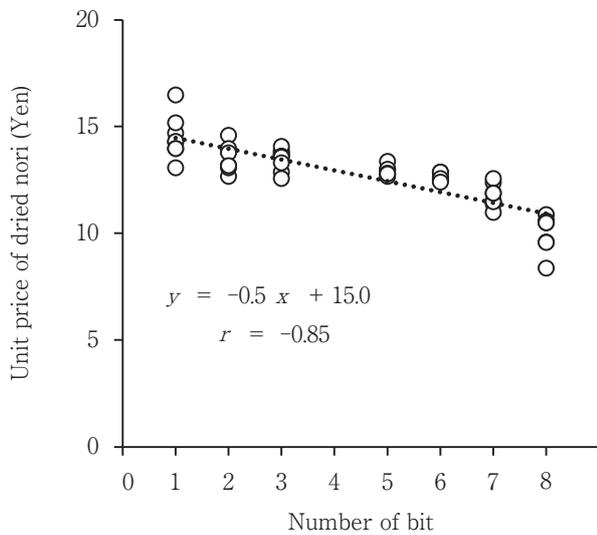
官能評価の結果、1等級は3等級に比べて旨味が強い傾向が認められ、さらに口どけは有意に優れていた (Table 1-5)。一方、官能評価に用いた焼海苔を味覚センサで分析したところ、旨味先味は1等級1.9、3等級が0.4であり、1等級は3等級に比べて高い値を示した。さらに、テンシプレッサーによる咀嚼値は1等級が43.8±6.4、3等級が73.6±12.8であり、1等級は有意に低かった ($P < 0.01$)。これらの結果は官能評価の結果と一致しており、味覚センサおよびテンシプレッサーは官能評価の結果を反映していると考えられた。これらの結果か

ら、機器を用いることで、乾海苔品質を客観的に評価できる可能性が示唆された。

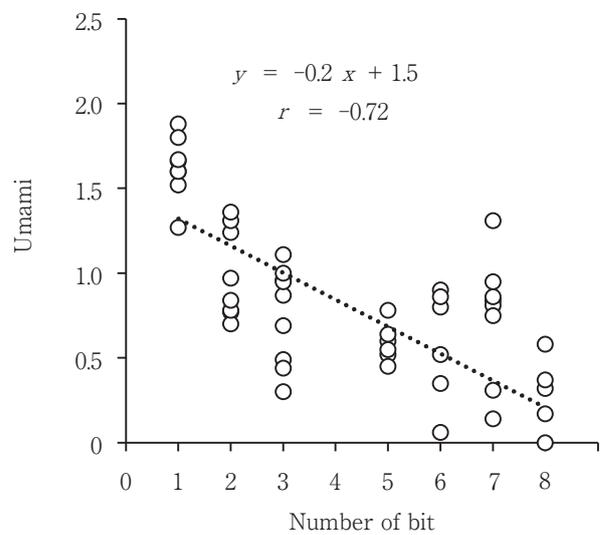
このように、機器の有用性および乾海苔における品質の数値化が示唆されたため、品質、入札回数および単価の関係式が得られると考えられた。したがって、以下からは得られた結果を用いて入札回数と単価の関係について考察するとともに、単価形成に影響を与える要因について検討を行った。

まず、入札回数 (x) と単価 (y) の関係を調べたところ、 $y = -0.5x + 15.0$ ($r = -0.85$, $P < 0.01$) となり、有

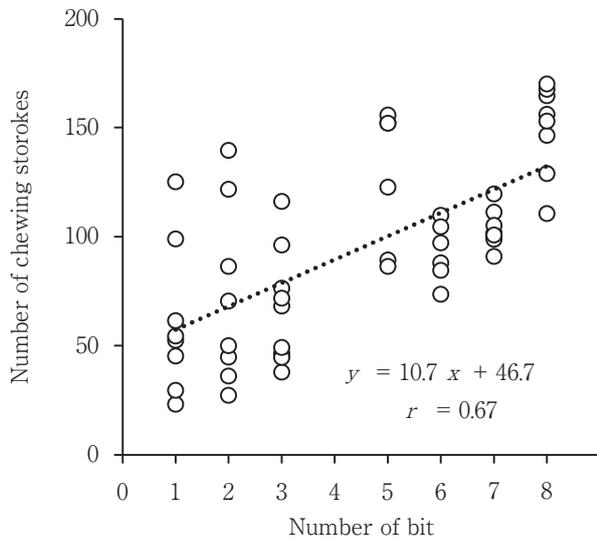
(a)



(c)



(b)



(d)

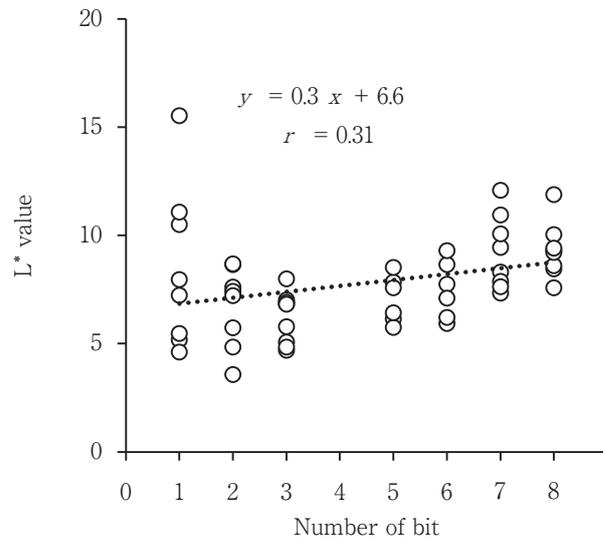


Fig. 1-10 The relationships between unit price, color (L^* value), number of chewing strokes, umami and number of nori bit organized by the Okayama prefectural branch of the Japan Fisheries Cooperative. (a) unit price, (b) number of chewing strokes, (c) umami, (d) L^* value, respectively.

意な負の相関関係が認められた (Fig.1-10a)。さらに、咀嚼値 (y) との間には $y = 10.7x + 46.7$ ($r = 0.67$, $P < 0.01$)、旨味先味 (y) との間には $y = -0.2x + 1.5$ ($r = -0.72$, $P < 0.01$) と、それぞれ有意な相関関係が認められた一方、 L^* 値 (y) については $y = 0.3x + 6.6$ ($r = 0.31$, $P < 0.05$) となり、正の相関関係が認められたものの、相関係数は低かった (Fig.1-10b ~ d)。一般的に、入札が進むにつれて摘採が進んだ乾海苔が出品される。したがって、入札回数は摘採回数を反映しているとした場合、摘採回数が少ないほど単価が高いことが示唆され、これは旨味の強さおよび口どけの良さといった品質が影響していると考えられた。このことは、摘採回数が少ないほどアミノ酸含有量が多いとされていること⁶⁵⁾からも支持される。

さらに、2017年度漁期に岡山県児島湾沖で生産された上位等級の乾海苔について、摘採回数以外にも価格形成に影響を与えた要因を検討するため、乾海苔の単価を目的変数、単価と有意な相関が認められた項目 (L^* 値、咀嚼値および旨味先味) を説明変数として重回帰分析を行った。なお、色調については、 a^* 値が単価と最も高い相関を示したものの、赤みを表す a^* 値より、明度を表す L^* 値のほうが乾海苔の色調を反映していると考え、 L^* 値を解析に用いた。乾海苔の単価 (y)、乾海苔の L^* 値 (x_1)、咀嚼値 (x_2) および旨味先味 (x_3) としたところ、 $y = -2.4 \times 10^{-1} x_1 - 1.0 \times 10^{-2} x_2 + 1.4 x_3 + 14.5$ ($r = 0.84$, $P < 0.01$) の関係式が得られた。さらに、目的変数への影響度を示す t 値は L^* 値が -3.8 、咀嚼値が -2.5 、旨味先味が 5.2 であったことから、価格形成において、最も影響が大きかったものは旨味であると考えられた。実際に、会場での入札において、買い付け業者は乾海苔の色調や産地、光沢を調べた後、焼海苔にして官能評価を行い、単価を決定していることが多く、一部地域では呈味が優れたものが単価に反映されている⁶⁶⁾。なお、大房⁶⁷⁾ は支柱式と浮流し方式で乾海苔の品質が異なることを示唆しており、本節では浮流し漁場の乾海苔を供したことから、今回の結果がすべての漁場の乾海苔において当てはまるとは限らないと考えられた。今後は複数年にわたって分析を行うとともに、乾海苔の対象等級についても増やす必要がある。さらに、等級によって香りが異なること⁶⁸⁾、品種の違いによっても遊離アミノ酸総量が異なることが示唆されているため⁶⁶⁾、これらについても今後検討する必要がある。

しかしながら、今回の結果から、機器による乾海苔品質の数値化が示唆され、色調や口どけおよび呈味といっ

た品質が良いほど単価が高いことが示唆された。したがって、今後は量だけでなく、品質についても優れた乾海苔を生産して単価を向上させる必要がある。また、本節で示したとおり、機器による客観的な評価を用いることで乾海苔品質が適正に評価され、単価の向上が期待できると考えられた。

第3節 熟成海苔の開発

発酵醸造文化は長い歴史を有するものの、これまでに海藻を原料とした発酵に関する研究開発はほとんど行われてこなかった^{69,70)}。しかし、近年では乳酸菌を用いた海藻の乳酸発酵を試みた事例⁷¹⁻⁷³⁾、好塩性乳酸菌を分離し⁷⁴⁾、スターターとして添加することによる海苔醤油の開発に成功した事例^{75,76)} および酵母を用いた海藻からのアルコール発酵の事例が報告されている⁷⁷⁾。これらの事例は海藻を発酵させることで新しい付加価値を持った食品開発の可能性を示唆しており、例えば前述の海苔醤油は遊離アミノ酸や有機酸を多く含み、海苔由来の特徴的な呈味を持つことが明らかとなっている。さらに、この海苔醤油は大豆や小麦といった穀物を含んでいないことから、アレルギーフリーの調味料として有用である。

一方、発酵食品の製造において欠かせない麹は大豆、米および小麦などにカビを増殖させて作られる。Uchida et al.⁷⁸⁾ は、この方法を応用し、乾海苔に黄麹菌 *Aspergillus oryzae* を付着・培養させることで海苔麹の開発に成功した。この海苔麹は海苔醤油を製造する際、酵素によって海苔のタンパク分解を促進するものであるが、海苔醤油以外で用いられた事例はない。一般的に、食品中に含まれるタンパク質は呈味に寄与しない一方、分解によって生じた遊離アミノ酸やペプチドは呈味に寄与するとされている。そのため、酵素によってタンパク質が分解されれば海苔の呈味が変化する可能性がある。さらに、市場価値が低いとされる色落ち海苔についても呈味を変化させることにより、新たな付加価値が期待できる。

本節では海苔と海苔麹を混合して熟成させることで、海苔の呈味を変化させた「熟成海苔」の開発を目的とした。ここでは高品質および低品質の海苔を用いて海苔麹および熟成海苔を作成するとともに、これらの混合物は異なる6種の条件下 (5℃, 10℃, 15℃および水の有無) で培養した。さらに、培養開始から0日、60日および120日後に発酵産物の成分 (タンパク質、全糖量および遊離アミノ酸)、酵素活性および生菌数を測定するとともに、味覚センサによる呈味評価を行った。

材料と方法

供試海苔 2種類（1等級；以下，高品質，6等級；以下，低品質）の乾海苔を岡山県漁連から購入し，試験に用いた。購入した乾海苔は $L^*a^*b^*$ 値を色彩色差計（CR-200）にて測定した後，シュレッター（株式会社アイリスオーヤマ製）にかけて 5×30 mmに細断した（以下，きざみ海苔）。このきざみ海苔は常法による一般成分分析を行った。すなわち，水分は 105°C 常温加熱乾燥法，灰分は 600°C 灼熱灰化法およびタンパク質はケルダール法により分析した。遊離アミノ酸は高速液体クロマトグラフィー（Prominenceアミノ酸分析システム，株式会社島津製作所製，以下HPLC）を用い，水分活性はLabMaster-aw evc-1（Novasina社製）を用いてそれぞれ測定した。

海藻麴の作製 黄麴菌*Aspergillus oryzae*を含む3種類の麴カビ（スリーダイヤ0.4g，宝菌0.4gおよびダイヤモンド-C1 0.2g；株式会社樋口もやし店製）を米粉15gとよく混合し，種麴として用いた。前述の各きざみ海苔500gに0.15gの種麴および水道水（高品質海苔には650mL，低品質海苔には850mL）を加え，よく混ぜた後，トレイ上に広げて濾布で包み，NFT自動麴作製機（長田機械株式会社製；以下，麴作製機）を使って湿度を90%以上に保ち，3日間培養を行った。培養中は混合物の温度を計測し，温度が 45°C を上回らないように途中で合計2回天地返しを行った。麴作製機のブローア温度は初期設定を 34.5°C とし，2時間後に 32.5°C に下げ，2回目の天地返しが終わった後は 30.0°C に変更した。なお，コンブ*Saccharina japonica*麴も同様の方法で作製した。すなわち，コンブ（北海道産，3等検）500gに0.15gの種麴および400mLの水道水を加え，麴作製機にて作製した。

酵素活性 3種類の麴（高品質海苔麴，低品質海苔麴およびコンブ麴）の酵素活性を測定した。すなわち，各海苔麴10gに50mM Acetate buffer（pH5.5）200mLを加え，スターラーで3時間攪拌した。混合液は $10,000 \times g$ で15分遠心分離した後，上澄みを同バッファーで24時間 4°C の透析を行い，得られた透析液は $10,000 \times g$ で15分遠心分離させ，上澄みを分析に用いた。多糖分解酵素活性は，0.4mLの酵素溶液に1mLの基質（0.5%デンプンまたは0.5%グルコマンナン）を入れ，0.6mLの200mM Acetate buffer（pH6.0）を加えた。混合物は 37°C で10分静置し，加熱によって酵素反応を停止させ，結果として減少した還元糖量をSomogyi-Nelson法にて計測した⁷⁹⁾。ここでは，酵素の1 unitは1分間に $1 \mu\text{mol}$ の各構成糖

（グルコースまたはマンノース）に相当する還元糖量が減少した量を酵素量とした。プロテアーゼ活性は，0.2mLの酵素溶液に1.3mLの100mM Acetate buffer（pH6.8，1%カゼイン入り）を加えた。混合物は 37°C で20分静置し，1.5mLの5%トリクロロ酢酸を加えて酵素反応を停止させた。混合物は $8,000 \times g$ で10分遠心分離させた後，その上澄みをLowry法⁸⁰⁾にて測定した。酵素の1unitは1分間に $1 \mu\text{mol}$ のチロシン相当量が生じる酵素量とした。なお，測定に用いたデンプン（試薬特級，トウモロコシ由来）およびカゼイン（試験用試薬，牛乳由来）は株式会社和光純薬から購入し，グルコマンナン（コンニャク*Amorphophallus konjac*由来）はSugiyama et al.⁸¹⁾の方法を用いて作製した。

麹菌生育量 各きざみ海苔および海苔麴について，Reissing et al.⁸²⁾の方法に基づき，*N*-アセチルグルコサミン（以下，GlcNAc）を測定した。すなわち，試料5gを高速振動粉砕機（Vibrating Sample Mill TI-10，C.M.T株式会社製）で粉状に粉砕した後，0.1gを遠沈管に入れ，50mM PB（pH7.0）1.5mLを加えて $15,000 \times g$ で20分遠心分離して上澄みを除去した。この作業を3回行った後，沈殿物に50mM PB（pH7.0）1.5mLおよびYatalase（タカラバイオ株式会社製）1.0mgを加えて 37°C の恒温振とう機で1時間培養した。その後，上澄み50 μL を採取し，GlcNAc量を定量した。なお，ここでは乾燥菌体量1mg当たりのGlcNAc量を $139 \mu\text{g}$ として換算し⁸³⁾，麹菌生育量を測定した。

適正発酵条件試験 適正発酵条件試験は加水の有無で試験区を設定し，それらを 5°C ， 10°C および 15°C の温度条件下で行った（ $n = 3$ ，Table 1-6）。すなわち，10gの高品質きざみ海苔に90gの高品質海苔麴および100mLの純水を加えたものを高品質海苔麴加水区（High-quality shredded *nori* with the *nori koji*-H and distilled water；以下，HKW区）とした。20gの高品質きざみ海苔に180gの高品質海苔麴だけ加えたものを高品質海苔麴区（High-quality shredded *nori* with the *nori koji*-H；以下，HK区）とした。10gの低品質きざみ海苔に90gの低品質海苔麴および100mLの純水を加えたものを低品質海苔麴加水区（Low-quality shredded *nori* with the *nori koji*-L and distilled water；以下，LKW区）とした。20gの低品質きざみ海苔に180gの低品質海苔麴だけ加えたものを低品質海苔麴区（Low-quality shredded *nori* with the *nori koji*-L；以下，LK区）とした。これらは白金耳でよくかき混ぜた後，20gを50mL遠沈管に分注し，カビおよび細菌の増殖を抑制するために窒素を

Table 1-6 Details of optimal fermentation condition test (OFC test) and taste improvement test

Test name	Group name	Group components			Cultured temperature (°C)
		Dried nori (g)	Koji (g)	Water (g)	
OFC test	HK	20 (H)	180 (H)	0	5, 10, 15
	HKW	10 (H)	90 (H)	100	5, 10, 15
	LK	20 (L)	180 (L)	0	5, 10, 15
	LKW	10 (L)	90 (L)	100	5, 10, 15
Taste improvement test	HW	100 (H)	0	100	10
	HKW	10 (H)	90 (H)	100	10
	HKKW	10 (H)	90 (K)	100	10
	LW	100 (L)	0	100	10
	LKW	10 (L)	90 (L)	100	10
	LKKW	10 (L)	90 (K)	100	10

H means high quality nori, L means low quality nori, K means 3rd grade kombu

封入した後、パラフィルムで密閉した。その後、インキュベーター（株式会社福島工業製）にて5℃、10℃および15℃で培養し、0日、60日および120日後に成分分析（タンパク質、全糖量および遊離アミノ酸）および生菌数検査を行った。

呈味向上試験 呈味向上試験は10℃および麴の有無で試験区を設定した（ $n = 3$, Table 1-6）。すなわち、10gの高品質きざみ海苔に100 mLの純水を加えたものを高品質海苔加水区（High-quality shredded nori with distilled water；以下、HW区）とした。10gの高品質きざみ海苔に90gのコンブ麴および100mLの純水を加えたものを高品質コンブ麴加水区（High-quality shredded nori with kombu koji and distilled water；以下、HKKW区）とした。10gの低品質きざみ海苔に100mLの純水を加えたものを低品質海苔加水区（Ligh-quality shredded nori with distilled water；以下、LW区）とした。10gの低品質きざみ海苔に90gのコンブ麴および100mLの純水を加えたものを低品質コンブ麴加水区（Low-quality shredded nori with kombu koji and distilled water；以下、LKKW区）とした。それらの試料は白金耳でよくかき混ぜた後、20gを50mL遠沈管に分注し、窒素を封入してパラフィルムで密閉した。その後、10℃で培養し、0日、60日および120日後に成分分析（タンパク質、全糖量および遊離アミノ酸）および生菌数検査を行った。これらは前述のHKW区（10℃）およびLKW区（10℃）の結果と比較するとともに、味覚センサを用いて0日および120日後の呈味評価を行った。

成分分析 タンパク質量は各試験区から試料0.4gを取り出し、全自動元素分析装置（vario MAX cube, エレ

メンター・ジャパン株式会社製）に供し、全窒素量を算出した。得られた全窒素量にタンパク係数6.25を乗じてタンパク質量とした。全糖量は各試験区から試料0.01gを取り出し、純水で1000倍希釈した後、グルコース溶液を標準試薬としたフェノール硫酸法にて測定した⁸⁴⁾。遊離アミノ酸量は0.2gのサンプルを1.8mLの純水とよく混合した後、15,000 × gで10分遠心分離し、上澄みを回収した。この作業を3回繰り返し、回収した上澄みは純水で5 mLにメスアップしてHPLCに供し、カラムはShim-pack Amino-Li（株式会社島津製作所製）およびUV検出には入力波長350nmおよび450nmにて測定した⁸⁵⁾。有機酸量は0.2gのサンプルを1.8mLの純水とよく混合した後、15,000 × gで15分遠心分離し、上澄みを回収した。この作業を3回繰り返し、回収した上澄みは純水で5 mLにメスアップしてHPLCに供し、カラムはShodex RSpac KC-811（株式会社スペルコジャパン製）およびUV検出には445nmで測定した⁸⁶⁾。

生菌数検査 各試験区から試料を取り出し、BCP培地（株式会社ニッスイ製）上で細菌数を計測した。すなわち、試料0.1gを取り出し、0.85%生理食塩水9.9mlを加えて100倍希釈液を作製した。さらに2 mLエッペンチューブにて希釈系列を作製し、10⁶倍および10⁷倍希釈液を作製した。その後、BCP寒天培地に0.2mLの各希釈試料溶液を乗せ、コンラージ棒で均等に塗抹した。これを希釈系列ごとに2枚ずつ作製し、24℃で14日培養後、出現した細菌および菌のコロニーの数を計数した。その平均値に希釈倍率を乗じて試料1 g当たりの生菌数を算出した。

味覚センサ分析 味覚センサによる呈味評価は第1章2節およびUchida et al.⁷⁵⁾の方法に基づき、試料を純水で40倍または320倍希釈したものを評価した。すなわち、旨味後味のみ320倍希釈、それ以外の呈味は40倍希釈でそれぞれ呈味分析を行った。得られた結果は0日後を基準値（0）とし、120日後と比較した。なお、データは1試験区につき2回（Tables 1-9, 1-12）および3回（Figs. 1-11, 1-12, Tables 1-7, 1-8, 1-10, 1-11）計測した。

統計処理 統計処理については一元配置分散分析（ANOVA）を行い、有意差が認められた項目については多重比較検定（Bonferroni）を行った（Figs. 1-11, 1-12, Table 1-10）。また、味覚センサで得られた結果については0日目と120日目における母平均の差の検定（Student-t検定）を行った。これらの検定はエクセル統計にて行い、有意差の検定値は $P < 0.05$ とした。

結 果

海苔 乾海苔の性状をTable 1-7に示した。高品質および低品質海苔のL*値は25.4±5.4および35.7±1.8, 水分は4.2±0.3および3.4±0.2%, タンパク質は54.0±2.2および24.8±5.2%, 遊離アミノ酸は4943.0±123.5および1758.2±152.2mg/100gであった。

酵素活性 海藻麹の酵素活性をTable 1-8に示した。高品質および低品質海苔麹のアミラーゼ活性は169.0±7.8および203.9±5.1units/g麹であった。プロテアーゼ活性は14.9±0.4および35.2±0.9units/g麹であった。コンブ麹のプロテアーゼ活性は高品質海苔麹と同程度であったが、アミラーゼ活性は見られなかった。マンナーゼ活性は低品質海苔麹で認められたが、高品質海苔麹およびコンブ麹では認められなかった。

麹菌生育量 海藻麹の麹菌生育量をTable 1-9に示した。高品質および低品質海苔のGlcNAcは0.4および0.3mg/g麹, 高品質および低品質海苔麹は7.5および10.7mg/g麹, コンブ麹は0.9mg/g麹であり, これらから

Table 1-7 Details of two types of dried nori *Pyropia yezoensis* used for the present study

	High quality	Low quality
Production date	2018.1.10	2018.3.18
Grade	1	6
Unit price (Yen / sheet)	13.62	3
L* value	25.4±5.4	35.7±1.8
a* value	2.4±0.1	2.4±0.6
b* value	1.1±0.1	11.6±1.4
Moisture (%)	4.2±0.3	3.4±0.2
Ash (%) ^a	12.2±0.1	2.5±2.0
Protein (%) ^a	54.0±2.2	24.8±5.2
Aw (%)	0.949	0.954
Free amino acids (mg/100 g)	4943.0±123.5	1758.2±152.2

^a Ash and protein contents are shown on a dry weight basis

Table 1-8 Enzyme activities of seaweed koji

Seaweed koji	Amylase activity (units/g koji)	Protease activity (units/g koji)	Mannanase activity (units/g koji)
Nori koji (high quality)	169.0±7.8	14.9±0.4	ND
Nori koji (low quality)	203.9±5.1	35.2±0.9	7.8±0.0
Kombu koji	ND	18.9±0.2	ND

ND means Not detected

推定した麹菌生育量はそれぞれ, 2.5, 1.9, 53.6, 76.8, 6.1 μg/g麹であった。

適正発酵条件試験 HK区(10℃)でのタンパク質は0日目では33.9±0.5%を示し, 120日目に35.6±0.8%と有意に増加していた($P < 0.05$)。一方, HKW区, LK区およびLKW区では有意な変化は見られなかった。全糖量については, HK区およびLK区が有意に減少し($P < 0.05$), HKW区およびLKW区は減少傾向が認められた。遊離アミノ酸量については, HK区は120日後においても変化しなかった一方, HKW区は0日目に2168.5±170.2mg/100gを示し, 120日目に5℃区は10287.1±1489.0mg/100gを, 10℃区では15229.6±335.4mg/100gを, 15℃区では12525.3±1021.1mg/100gを示し, 有意な増加が認められた($P < 0.01$)。LK区は0日後に2935.8±71.5mg/100gを示し, 120日後に5℃区は1106.3±177.8mg/100gを, 10℃区は1477.0±207.5 mg/100gを, 15℃区は1834.0±198.2mg/100gを示し, 有意な減少が認められた($P < 0.01$)。一方, LKW区は0日目に1801.5±170.2mg/100gを示し, 120日目に5℃区は3999.2±87.8mg/100gを, 10℃区は5341.0±103.3mg/100gを, 15℃区は4114.6±308.1mg/100gを示し, 有意な増加が認められた($P < 0.01$)。一般生菌数については, LKW区を除き, HK区, HKW区およびLKW区で120日後に有意に減少していた($P < 0.01$)。カビについては, HK区およびHKW区では120日後は有意に減少していた一方($P < 0.05$), LK区およびLKW区では5℃区を除いて有意な増減は認められなかった。

呈味向上試験(高品質海苔) 高品質海苔を使用した試験区における成分分析および生菌数の推移をFig. 1-11に示した。タンパク質量について, すべての試験区で120日後における有意な増減は認められなかった(データ未記載)。全糖量について, HW区では0日目に2.8±

Table 1-9 Results of *N*-acetylglucosamine measurement and quantitative estimate of koji mold contained in dried noris, nori kojis, and kombu koji

Sample	Quality	<i>N</i> -acetylglucosamine (mg/g koji)	Estimated mold cell quantity (μg/g koji) ^a
Dried nori	High quality	0.4	2.5
	Low quality	0.3	1.9
Nori koji	High quality	7.5	53.6
	Low quality	10.7	76.8
Kombu koji	Common quality	0.9	6.1

^a Quantitative estimate of koji mold was calculated from the *N*-acetylglucosamine (GlcNAc) value based on a parameter that 1mg of mold cell contains 139 μg GlcNAc.

0.3g/100gを, 120日目に0.8±0.4g/100gを示し, HKW区では0日目に1.7±0.1g/100gを, 120日目に0.7±0.2g/100gを示し, HKKW区では0日目に1.7±0.2g/100gを, 120日目に1.0±0.3g/100gを示し, すべての試験区で有意な減少が認められた ($P < 0.05$)。遊離アミノ酸量について, HW区では0日目に2386.8±417.2mg/100gを, 120日目に4099.2±235.9mg/100gを示し, HKW区では0日目に2168.5±170.2mg/100gを, 120日目に15229.6±335.4mg/100gを示し, HKKW区では0日目に2394.7±150.2mg/100gを, 120日目に12101.5±1042.5mg/100gを示し, すべての試験区で有意な増加が認められた ($P < 0.05$)。生菌数については, HW区は0日目の7.0±0.0 log cfu/gから120日目の7.4±0.2 log cfu/gに増加した。HKW区は0日目の9.1±0.1 log cfu/gから120日目の8.1±0.0 log cfu/gに有意に減少した ($P < 0.05$)。HKKW区は0日目の7.0±0.2 log cfu/gから120日目の8.7±0.2 logに有意に増加した ($P < 0.01$)。カビ数につ

いてはすべての試験区で120日後に有意な増減は認められなかった。総有機酸量をTable 1-10に示した。120日後における総有機酸量はそれぞれHK区が1413.3±402.2mg/100g, HKW区が3772.6±507.4mg/100g, HKKW区が4639.2±36.2mg/100gとなり, 特にクエン酸と酢酸の増加が顕著であった。

呈味向上試験 (低品質海苔) 低品質海苔を使用した試験区における成分分析および生菌数の推移をFig. 1-12に示した。タンパク質量について, すべての試験区で120日後における有意な増減は認められなかった(データ未記載)。全糖量について, LW区では0日目に5.6±0.9g/100gを, 120日目に1.1±0.3g/100gを示し, LKW区では0日目に2.5±0.7g/100gを, 120日目に2.0±0.7g/100gを示し, LKKW区では0日目に3.2±0.2g/100gを, 120日目に2.2±0.2g/100gを示し, LW区およびLKKW区で有意な減少が認められた ($P < 0.01$)。遊離アミノ酸量について,

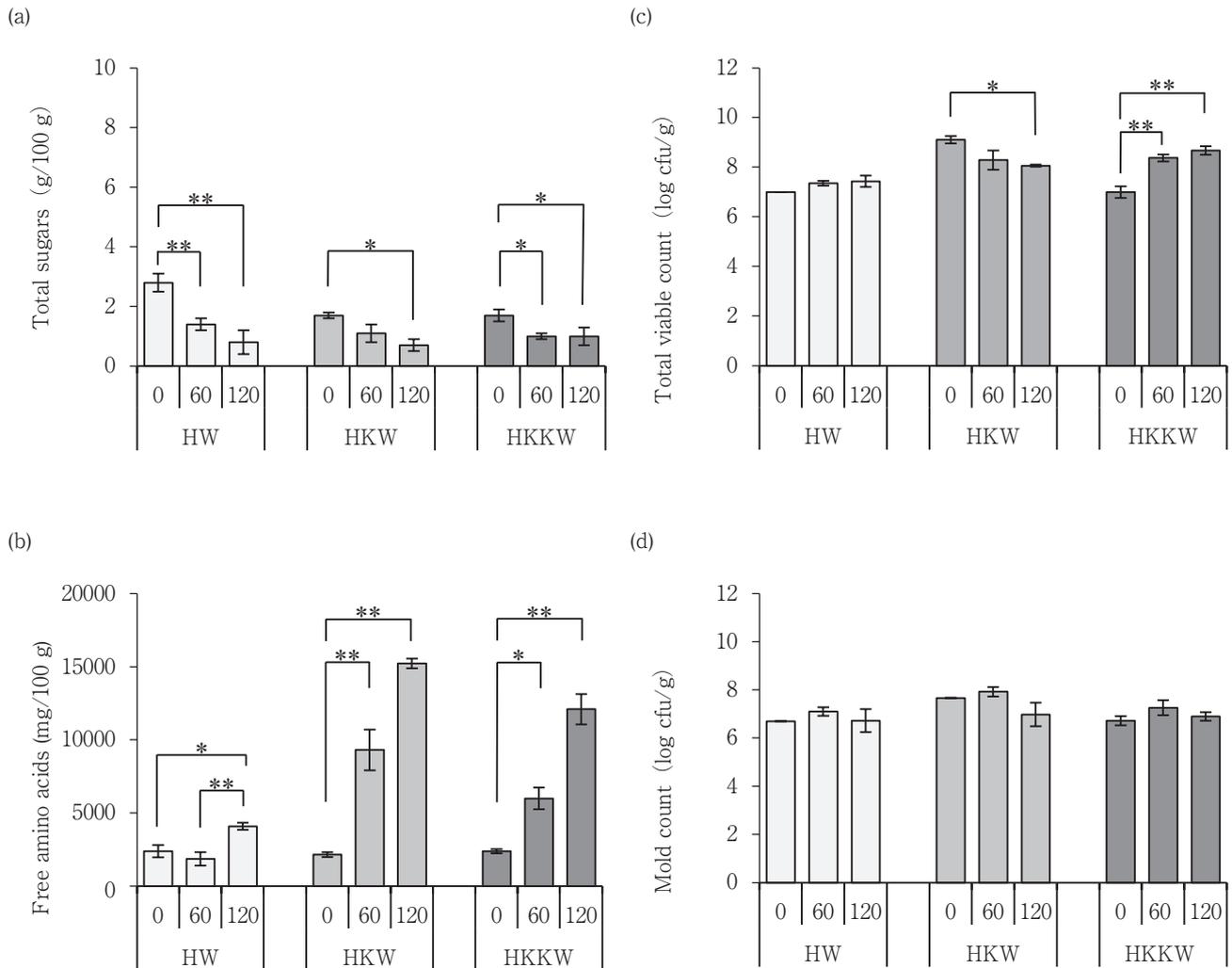


Fig. 1-11 Comparison of components (total sugars and total free amino acids contents) and viable count of *nori* in the taste improvement test using high quality *nori*. (a) total sugars, (b) total free amino acids, (c) total viable count, (d) mold count. Data are shown as mean (bar: SD) of triplicate tests. Asterisks (* and **) show significant difference ($P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively) against the initial sample. The data of HKW showed the result of OFC test (HKW cultured at 10°C) again for easy comparison.

Table 1-10 Organic acid composition of HW, HKW, HKKW, (upper table) and LW, LKW, LKKW (lower table) after 120d fermentation

Organic acids (mg/100 g sample)	HW	HKW	HKKW
Lactic acid	17.4 ± 13.7	489.7 ± 311.9	136.3 ± 53.6
Acetic acid	183.4 ± 85.1a	897.9 ± 102.0b	1945.6 ± 22.6c
Oxalic acid	628.6 ± 206.3	1062.5 ± 284.1	827.0 ± 22.4
Pyroglutamic acid	35.5 ± 16.1a	99.4 ± 15.4b	157.9 ± 9.5c
Malic acid	14.1 ± 11.6	18.3 ± 11.1	9.5 ± 4.0
Succinic acid	35.8 ± 19.5a	50.3 ± 4.7a	120.6 ± 4.7b
Citric acid	370.1 ± 119.6a	957.1 ± 148.9b	813.0 ± 28.0b
Formic acid	4 ± 3.5	8.9 ± 1.5	<0.1
Propionic acid	<0.1	<0.1	8.0 ± 13.9
Isobutylic acid	7.2 ± 8.8	12.8 ± 11.8	34.9 ± 15.8
n-Butylic acid	13.9 ± 17.9	5.5 ± 4.8	13.8 ± 12.0
Total	1309.9 ± 382.1a	3602.4 ± 619.6b	4066.6 ± 67.8b

Organic acids (mg/100 g sample)	LW	LKW	LKKW
Lactic acid	29.5 ± 47.6a	4085.1 ± 75.1b	3936.8 ± 317.8b
Acetic acid	14.5 ± 13.9a	475.2 ± 70.0b	384.3 ± 110.9b
Oxalic acid	442.9 ± 165.2a	966.5 ± 66.7b	1070.1 ± 270.3b
Pyroglutamic acid	18.7 ± 1.0	22.7 ± 0.3	19.3 ± 16.9
Malic acid	8.9 ± 8.0	<0.1	23.0 ± 39.9
Succinic acid	45.0 ± 31.9	60.9 ± 3.0	71.7 ± 28.6
Citric acid	493.8 ± 53.0	564.3 ± 6.4	546.4 ± 60.9
Formic acid	<0.1	2.2 ± 3.9	<0.1
Propionic acid	<0.1	<0.1	<0.1
Isobutylic acid	<0.1	<0.1	<0.1
n-Butylic acid	<0.1	<0.1	<0.1
Total	1053.3 ± 148.1a	6177.0 ± 210.4b	6051.6 ± 625.8b

Values are given as mean ± standard deviation

Different letters indicates a significant difference at $P < 0.05$

LW区では0日目に2685.1 ± 479.8mg/100gを、120日目に1358.8 ± 74.8mg/100gを示し、LKW区では0日目に1801.5 ± 212.0mg/100gを、120日目に5341.0 ± 103.3mg/100gを示し、LKKW区では0日目に2294.1 ± 176.7mg/100gを、120日目に5379.7 ± 62.1mg/100gを示し、LW区で有意な減少が ($P < 0.05$), LKW区およびLKKW区で有意な増加が認められた ($P < 0.01$)。生菌数について、LW区では0日目に7.0 ± 0.0 log cfu/gを、120日後に7.7 ± 0.1 log cfu/gに増加した ($P < 0.01$)。LKW区は8.1 ± 0.1 log cfu/gから8.3 ± 0.1 log cfu/gに増加した ($P < 0.05$)。LKKW区は7.0 ± 0.2 log cfu/gから8.2 ± 0.1 log cfu/gに増加した ($P < 0.05$)。カビ数についてはすべての試験区で120日後に有意な増減は認められなかった。120日後における総有機酸量は (Table 1-10), LW区が1080.8 ± 138.7mg/100g, LKW区が5378.8

± 172.0mg/100g, LKKW区が5259.52 ± 486.0mg/100gとなり、特に乳酸および酢酸の増加が顕著であった。

味覚センサ分析 呈味向上試験における味覚センサ分析結果をTable 1-11に示した。なお、ここでは0日後のデータを基準値 (0) とし、数値が1以上異なると濃度差が20%以上あることを示しており、官能評価においても差を感じることができるとされている⁸⁷⁾。アプリケーション解析の結果、苦味 (先味および後味), 旨味 (先味および後味), 酸味, 塩味, 渋味 (先味および後味) の8項目のうち、旨味先味を除く7項目が評価可能であると判断された。具体的には、旨味は40倍希釈で0.1, 320倍希釈で0.7と異常値を示したため、ここでは除外した。残りの7項目のうち、正常な値を示し、かつ0日後と120日後で差が1以上あった呈味項目は以下のとおり

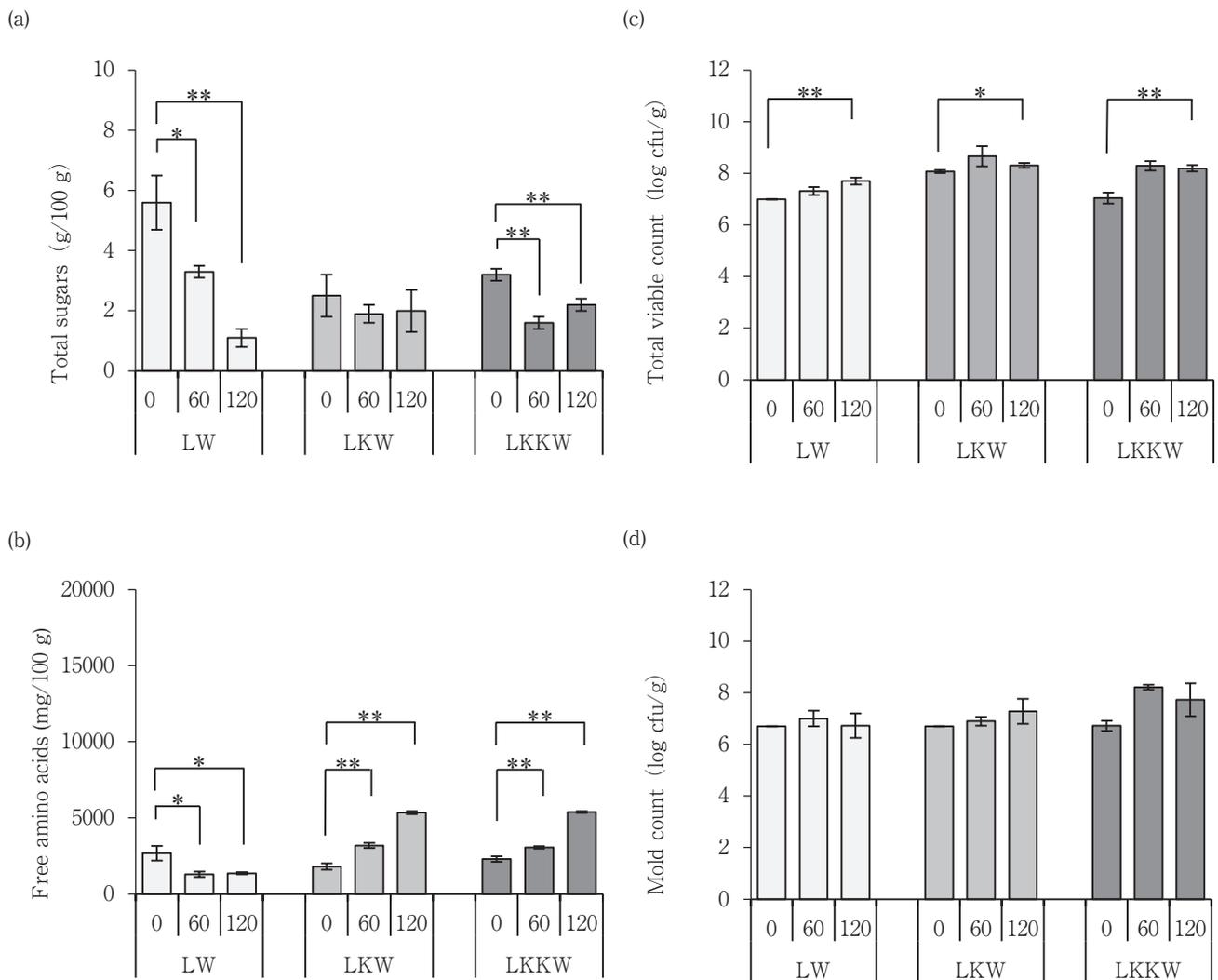


Fig. 1-12 Comparison of components (total sugars and total free amino acids contents) and viable count of *nori* in the taste improvement test using low quality *nori*. (a) total sugars, (b) total free amino acids, (c) total viable count, (d) mold count. The Data are shown as mean (bar: SD) of triplicate tests. Asterisks (* and **) show significant difference ($P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively) against the initial sample. The data of LKW showed the result of OFC test (LKW cultured at 10 °C) again for easy comparison.

である。HW区では120日後に呈味の有意な増減は見られなかった。HKW区では苦味先味が -1.0 ± 0.1 ($P < 0.01$), 酸味が 8.2 ± 1.0 ($P < 0.01$), 塩味が -2.6 ± 0.2 ($P < 0.01$)であった。HKKW区では苦味先味が 4.6 ± 0.8 ($P < 0.05$), 旨味先味が 2.3 ± 0.2 ($P < 0.01$), 酸味が -3.0 ± 0.4 ($P < 0.01$), 塩味が -15.0 ± 2.4 ($P < 0.01$), 渋味先味が 3.9 ± 0.5 ($P < 0.01$)であった。HW区では酸味が 2.8 ± 0.8 ($P < 0.05$), LKW区では苦味先味が -1.6 ± 0.2 ($P < 0.01$), 旨味先味が -3.0 ± 0.1 ($P < 0.01$), 酸味が 40.6 ± 0.8 ($P < 0.05$), 塩味が -4.8 ± 0.3 ($P < 0.01$), 低品質海苔コンブ麹加水区では酸味が 23.0 ± 0.4 ($P < 0.01$), 塩味が -7.4 ± 1.4 ($P < 0.01$)であった。

考 察

本節では海藻麹を用いた発酵によって遊離アミノ酸が増加した「熟成海苔」の開発を試みた。開発にあたり、まずは高品質海苔、低品質海苔およびコンブからそれぞれ海藻麹を作製した。GlcNAc量を基に黄麹菌 (*A. oryzae*) が2種の海苔麹で生育していることを確認したものの、コンブ麹は海苔麹ほど生育していなかった (Table 1-9)。このように黄麹菌の生育に差が認められた原因として、海藻中に含まれる灰分が影響した可能性が高い。実際に、灰分は高品質海苔が12.2% (Table 1-7), 低品質海苔が7.8% (Table 1-7), コンブが23.8%であった (データ未記載)。著者らが行った簡易な試験では、海藻中の灰分が20%を超えると麹菌の生育が悪くなったことを確認している。

Table 1-11 Taste of HW, HKW, HKKW (upper table) and LW, LKW, LKKW (lower table) evaluated by a taste-sensing system

Taste	HW		HKW		HKKW	
	Day 0	Day 120	Day 0	Day 120	Day 0	Day 120
Bitterness (F)	0.0±0.1	0.0±0.1	0.0±0.1	-1.0±0.1**	0.0±0.1	4.6±0.8*
Bitterness (A)	0.0±0.1	0.1±0.1	0.0±0.0	-0.2±0.0*	0.0±0.0	-0.3±0.1*
Umami (R)	0.0±0.0	-0.4±0.0**	0.0±0.1	0.6±0.0**	0.0±0.1	0.0±0.3
Sourness	0.0±0.3	0.5±0.8	0.0±0.3	8.2±1.0**	0.0±0.2	-3.0±0.4**
Saltiness	0.0±0.5	-0.7±0.6	0.0±0.2	-2.6±0.2**	0.0±0.5	-15.0±2.4**
Astringency (F)	0.0±0.1	0.1±0.1	0.0±0.1	-0.2±0.1*	0.0±0.0	3.9±0.5**
Astringency (A)	0.0±0.0	0.1±0.0	0.0±0.0	0.1±0.0**	0.0±0.0	-0.3±0.1**

Taste	LW		LKW		LKKW	
	Day 0	Day 120	Day 0	Day 120	Day 0	Day 120
Bitterness (F)	0.0±0.1	0.0±0.1	0.0±0.2	-1.6±0.2**	0.0±0.2	-0.9±0.4*
Bitterness (A)	0.0±0.0	0.1±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	-0.2±0.0*
Umami (R)	0.0±0.1	-0.2±0.1	0.0±0.1	-0.8±0.2*	0.0±0.1	-0.1±0.1**
Sourness	0.0±0.2	2.8±0.8*	0.0±0.5	40.6±0.3**	0.0±0.1	23.0±0.4**
Saltiness	0.0±0.4	-2.6±1.3	0.0±0.7	-4.8±0.3**	0.0±0.3	-7.4±1.4*
Astringency (F)	0.0±0.1	0.6±0.4	0.0±0.3	-0.4±0.3	0.0±0.3	-0.2±0.7
Astringency (A)	0.0±0.0	0.1±0.0*	0.0±0.0	0.5±0.0**	0.0±0.1	-0.1±0.1

F means first taste, A means after taste, R means richness. Values are given as mean ± standard deviation

* indicates a significant difference at $P < 0.05$, ** indicates a significant difference at $P < 0.01$

For abbreviations, see Table 1-6

これら3種の海藻麴の性状を評価するため、アミラーゼ、プロテアーゼおよびマンナーゼ活性を調べた。Uchida et al.⁷⁸⁾ は本節と同様の方法で大豆麴と米麴の酵素活性を測定したところ、アミラーゼ活性はそれぞれ423.0および232.0units/g麴、プロテアーゼ活性は56.2および17.1units/g麴であったことを報告している。一方、本節における高品質および低品質海苔麴の酵素活性は、アミラーゼ活性がそれぞれ169.0および203.9units/g麴、プロテアーゼ活性が14.9および35.2units/g麴であり、大豆麴や米麴と同程度の活性を示した。また、高品質海苔麴と低品質海苔麴で酵素活性の差が認められたが、これは麴菌の生育速度の差によって生じたと考えられた。コンブ麴については、アミラーゼ活性が検出されなかったものの(0.01units/g麴以下)、プロテアーゼ活性は18.9units/g麴と、海苔麴と同程度であった。このように作製した海藻麴は性状を明らかにした後、熟成海苔の開発試験に用いて適正な発酵条件(海苔の品質、培養温度、培養期間および水分含有量)を調べた。

適正発酵条件試験におけるタンパク質量については、5℃および10℃のHK区を除いて120日後に有意な増減は認められなかった。このことは、試験期間中における全窒素量は一定であったことを示唆している。全糖量に

ついては、HK区、HKW区、LK区およびLKW区で120日後に減少していた。これは120日後におけるHKW区およびLKW区で乳酸が多く含まれていることが認められたため(Table 1-10)、乳酸発酵によって糖が減少した可能性が高い。遊離アミノ酸量については、HKW区およびLKW区で120日後に有意な増加が認められたものの、HK区およびLK区では顕著な増加は認められなかった。この原因として、プロテアーゼは加水分解によってタンパク質を分解する酵素であるため、水を加えることで分解が促進され、遊離アミノ酸量が増加したと考えられた。また、LK区は遊離アミノ酸量の減少が認められたが、これはタンパク質の分解が限界に達した可能性および微生物が遊離アミノ酸を消費した⁸⁸⁾可能性が考えられた。また、120日後の遊離アミノ酸量はHKW区では5℃で4.7倍、10℃で7.0倍、15℃で5.8倍となり、LKW区では5℃で2.2倍、10℃で3.0倍、15℃で2.3倍であった。これらの結果から、適正温度は10℃であると考えられた。このことはHKW区を除いて10℃区の一般生菌数が他の試験区よりも少なかったことから支持される(データ未記載)。さらに、水を加えることで遊離アミノ酸が顕著に増加すると考えられたものの、加水量が多すぎると今度は微生物が増加する恐れがあるため、適正な量につ

いては今後詳細に検討する必要がある。また、HKW区とLKW区は両者とも増加傾向を示したものの、遊離アミノ酸生成量は異なっていた。この理由として、基質に含まれるタンパク質量に左右されると考えられ、タンパク質量が多いほどアミノ酸生成量も多くなると考えられた。

10℃で120日間培養したところ、0日後に比べて有意に増加していたアミノ酸を昇順で以下に示した。HKW区においては、アラニン (4396.3mg/g)、アスパラギン酸 (1390.0mg/g)、ロイシン (1107.9mg/g)、グルタミン酸 (1112.7mg/g) およびバリン (911.6mg/g) であった。LKW区においては、アラニン (1966.0mg/g)、ロイシン (409.0mg/g)、バリン (346.1mg/g)、グルタミン酸 (322.2mg/g) およびグリシン (246.6mg/g) であった。さらに、遊離アミノ酸を旨味アミノ酸 (グルタミン酸およびアスパラギン酸)、苦味アミノ酸 (フェニルアラニン、チロシン、アルギニン、ロイシン、イソロイシン、バリン、メチオニン、ヒスチジンおよびリジン)、酸味アミノ酸 (アスパラギン) の3つに分類し⁸⁹⁾、0日後と120日後を比較したところ、HKW区では旨味アミノ酸は56.3から2459.9mg/gに、苦味アミノ酸は228.1から4531.4mg/gに、酸味アミノ酸は19.2から1.0mg/g以下となった。一方、LKW区では旨味アミノ酸は51.0から331.8mg/gに、苦味アミノ酸は111.8から1454.1mg/gに、酸味アミノ酸は424.3mg/gから1.0mg/g以下となった。このように、旨味および苦味アミノ酸は有意に増加したものの ($P < 0.05$)、酸味アミノ酸は減少しており、味覚センサの結果と一致していなかった (Table 1-11)。このような不一致が認められた原因として、有機酸の影響が考えられ、例えば味覚センサにおける酸味の増加は有機酸が影響している可能性が高い。このように有機酸による酸味の増加によって、味覚センサにおける旨味後味や苦味が抑制されたと考えられた。HW区、HKW区およびHKKW区とLW区、LKW区およびLKKW区で120日後における有機酸の生成量が顕著に異なっていた。これは、後者は前者に比べてサンプル中に含まれる全糖量が多く (Figs. 1-11, 1-12)、乳酸発酵によって糖が消費され、より多くの乳酸が生成されたためと考えられた (Table 1-12)。

適正発酵条件試験における生菌数はLKW区を除いて120日後に有意な減少が認められた。なお、本節ではカビと細菌の増殖を抑制し、かつ海藻麴のプロテアーゼによってタンパク質を分解させるため、好気条件下での発酵試験は実施しなかった。0日後におけるサンプル中には細菌とカビが確認されたが、60日後および120日後に

は減少していた。カビは好気性であるため、サンプルを入れた遠沈管の空き部分に窒素ガスを封入して培養を行ったところ、カビは減少傾向が認められた。一方、細菌は嫌気性および微好気性であるため、一部が生き残って増殖したと考えられた。この理由として、完全な窒素置換が行われておらず、酸素が一部遠沈管内に残っていた可能性が高い。また、120日後におけるサンプル中に細菌が $10^6 \sim 10^8$ レベルで含まれていたため、食品の安全性が高いとは考えにくい。そのため、熟成海苔を現場で普及させるためには、細菌の除去といった食品の安全性を高める必要がある。

呈味向上試験において、タンパク質量はすべての試験区で120日後に有意な増減が認められず、全糖量はHKW区を除いて有意に減少していた。遊離アミノ酸量はHW区では1.7倍、HKW区では7.0倍、HKKW区では5.1倍であった一方、LW区では増加は見られず、LKW区では3.0倍、LKKW区では2.3倍の増加が認められた (Figs. 1-11, 1-12)。このことは麴を加えることでタンパク質の分解が促進され、遊離アミノ酸が生成されたことを示唆しており、また、熟成に使う乾海苔および海藻麴の品質は遊離アミノ酸の生成量に影響すると考えられた。

120日後におけるHW区、HKW区、LW区およびLKW区におけるサンプルの物理特性について、L*値はそれぞれ21.2, 21.8, 19.5および21.3であった。a*値は3.9, 3.3, 1.4および0.2であった。b*値は0.8, 2.5, 3.1および2.0であった。水分は50.2, 60.2, 53.1および61.6%であった。灰分は5.6, 4.3, 3.8および2.8%であった。タンパク質は35.6, 18.7, 17.1および9.0%であった。このようにHK区とHKW区は供試した高品質海苔と比べて色調が赤くなり、LW区とLKW区は暗い緑色になった (Table 1-7)。さらに、サンプルの粘性を官能的に調べたところ、麴を加えることによって粘度が増加していた。以上のことから

Table 1-12 Chemical characteristics of sample extract after 10℃ 120 d fermentation

	pH	Salt	TFA (mg/100 mL)	Lactic acid (mg/100 mL)	Acetic acid (mg/100 mL)	Citric acid (mg/100 mL)
HW	6.8	1.7	102.5	0.4	4.6	9.3
HKW	6.9	1.9	380.7	12.2	22.4	23.9
HKKW	7.2	2.9	302.5	3.4	48.6	20.3
LW	5.8	0.2	34.0	0.7	0.4	12.3
LKW	4.1	0.5	133.5	102.1	11.9	14.1
LKKW	4.3	0.8	134.5	98.4	9.6	13.7

TFA means total free amino acid
TFA, Lactic acid, acetic acid, and citric acid contents estimated from Figs 1-11, 1-12, and Table 1-10

ら、120日後のサンプルは0日後に比べて色調や粘度が変化していた。

呈味向上試験における味覚センサ分析の結果、120日後においてHKW区、LKW区およびLKKW区は酸味の増加が、HKKW区では苦味と渋味が増加していた (Table 1-11)。これらのことから、120日後は0日後と比べて呈味に変化していたと考えられた。特に、低品質海苔麹加水区においては酸味の増加が顕著であり、実際に、エキス中におけるLKW区とLKKW区のpHは4.1および4.3と低い傾向が見られ、酸味も強かった。さらに、これらの区はLK区と比べて有機酸の量が多かった一方 (Table 1-12)、塩味は高品質および低品質グループ間で大きな差は見られなかった。

呈味向上試験終了後、岡山県水産研究所内にて研究員3名 (男性2名、女性1名; 37~58歳) で発酵産物の2点識別法による簡易的な官能評価を行ったところ、官能評価結果と味覚センサによる評価は概ね一致していた。つまり、HKW区およびHKKW区は海藻麹による熟成処理をしていないHW区に比べて旨味が強かった。これは総遊離アミノ酸および旨味アミノ酸の増加が影響していると考えられた。また、LKW区およびLKKW区はLW区に比べて酸味が強くなっていたが、これは総有機酸量の増加が影響していると考えられた (Table 1-10)。また、各試料とも熟成の前で塩分濃度の変化が認められなかったものにも関わらず、熟成後に塩味が有意に減少していたが、これについては総遊離アミノ酸や有機酸といった呈味成分が増加し、抑制効果によって塩味が低減したものと考えられた。味覚センサと官能評価の整合性については、農産物のほかに水産物、たとえばマガキ⁹⁰⁾やガザミ⁹¹⁾などの水産物においても報告されている。本節の官能評価は簡易的なものではあるものの、以上の結果は味覚センサの整合性を支持するものである。

今回、遊離アミノ酸を増加させた熟成海苔を開発するため、海苔麹以外にもコンブ麹を使って試験を行った。他の海藻麹、たとえばアカモク *Sarugassum horneri* 麹、ツルアラメ *Ecklonia stolonifera* 麹、アオサ *Ulva* sp. 麹などの海藻麹が開発されているため (未発表)、これらの麹をうまく海苔と組み合わせて熟成させることで、熟成海苔の呈味がさらに向上する可能性がある。

本節における主な目的は、熟成海苔を開発するうえで、海苔の発酵における最適な条件および熟成海苔の特徴を明らかにし、海藻麹を使うことによって海苔の呈味を改善することであり、完全な熟成海苔の開発を行うことは主目的ではない。結論として、海藻麹と熟成させること

で7倍の遊離アミノ酸を産生することに成功し、かつ呈味に変化したことを明らかにした。今回の結果から、海藻麹を用いた新たな産物「熟成海藻」の開発につながることを期待される。

第2章 マガキ品質の季節変化および年変化

マガキはイタボガキ科マガキ属の二枚貝で、日本や中国などに分布している⁹²⁾。岡山県では東部および西部の計6漁業協同組合で筏式によるカキの垂下養殖が行われ、2017年度は国内生産量の9%にあたる16,148t (殻付き換算) が生産されており、全国でも有数のカキ養殖産地となっている⁹³⁾。近年では、生産者で組織された岡なかき流通対策協議会が中心となって岡山県産カキを「岡なかき」と命名し、販売している。この「岡なかき」は、一元集荷による高鮮度出荷、トレーサビリティシステムの導入、衛生管理および赤潮貝毒監視体制を確立しており、生産組合と行政が連携して「安全・安心の岡なかき」として出荷し、ブランド化を図っている⁹⁴⁾。

しかし、これまでに「岡なかき」の呈味を評価した事例はなく、差別化を図るための手段が不足しているのが現状である。消費者に「岡なかき」の呈味特性をわかりやすく提示し、消費拡大を図るうえでも、呈味を明らかにすることは重要である。さらに、呈味特性を明らかにすることで、カキの呈味に応じた調理方法の提案も可能となる。

一般的に、呈味評価においては官能評価が有効であるものの、季節変化および年比較を評価する場合、毎月および毎年同じパネルを一定数確保することは難しく、官能評価の予備試験を毎月実施することも負担となる。さらに、サンプル数が多いとパネルに過度の負荷がかかり、評価が異なってくる可能性があるため、信頼性のあるデータを得るためには機器分析による客観的な数値評価を行う必要がある。

近年開発された味覚センサは、人の舌を模した人工膜を介して呈味の電位差を計測することにより、呈味を数値化することができる装置である⁹⁴⁾。この味覚センサを用いて、Kitaoka et al.⁹⁰⁾ は産地が異なるカキの呈味分析を行ったところ、成分分析の結果と概ね一致していたこと、村山ら⁹⁵⁾ はガザミの甘味と旨味において、味覚センサと官能評価結果が一致していたことを報告しており、味覚センサの精度は高いとされている。したがって、この味覚センサを用いることで、呈味の季節変化および年比較の差を客観的に評価できると考えられる。

そこで、本章ではカキからエキスを抽出し、味覚センサを用いて岡山県産カキの呈味の季節変化および2016～18年度における呈味の年比較を調べ、呈味特性について調べるとともに、味覚センサと官能評価との整合性についても検討を行った。

材料と方法

季節変化試験用試料 一年を通して各月のデータを比較するため、2016年1月から12月に岡山県瀬戸内市邑久町地先で養殖されたカキ（以下、邑久カキ）を毎月1回、10個体ずつサンプリングし、軟体部湿重量を測定するとともに、味覚センサ分析を行った。なお、試験に用いた邑久カキはすべて2014年8月に同海域で採苗後、養殖されたものである。これらは3、4個体を1ロットとして後述の熱水抽出処理に供した。なお、4月は生産漁期の関係上、欠測とした。

年比較試験用試料 3年間における呈味の変動を比較するため、2016年度（2017年2月15日～2月28日）、2017年度（'18年2月8日～2月15日）、2018年度（'19年2月8日～2月15日）において、岡山県内の5～7海域で生産されたむき身カキ（以下、岡山県産カキ）および比較対象として岡山県を除いた複数県の7～9海域で生産されたむき身カキ（以下、県外産カキ）をそれぞれ入手し、分析を行った。むき身カキの入手にあたっては、消費者の喫食段階を想定し、生産されて2日以内の加熱用水切りカキを直売所等で購入し、分析に供試した。なお、加熱用水切りカキを出荷していない海域においては、加熱用殻付きカキの軟体部を供試した。また、県外産カキの選定にあたっては、カキを購入後、車で当日中に岡山県水産研究所に持ち込める範囲内のものを用いた。これらは軟体部湿重量を計測後、海域ごとに5～10個体を1ロットとして熱水抽出処理を行い、ロットごとに味覚センサ分析に供した。2016年度は岡山県産カキが14ロット（ $n = 140$ ）、県外産カキが16ロット（ $n = 145$ ）、2017年度は岡山県産カキが21ロット（ $n = 210$ ）、県外産カキが21ロット（ $n = 210$ ）、2018年度は岡山県産カキが21ロット（ $n = 210$ ）、県外産カキが27ロット（ $n = 263$ ）であり、得られたデータ（計120ロット）は年度ごとに岡山県産および県外産カキで平均値を算出し、それぞれ比較を行った。なお、年比較試験については、事前にカキ生産者への聞き取りを行ったところ、2月のカキが最も美味しいとの意見があり、美味しい時期に他海域との呈味比較を行うべきとの意見があったため、岡山県産カキおよび県外産カキのサンプリングは2月に行った。

熱水によるエキス抽出処理 試料はロットごとにフードプロセッサーで裁断後、10gを50mL遠沈管に分注し、純水で5倍希釈を行った。その後、沸騰水中で10分間、加熱処理を行った。加熱後は氷水中に浸漬し、30分間冷却後、遠心分離（7,000rpm, 10分, 4℃）を行い、上澄みを1mmナイロンメッシュ（アズワン株式会社製）で濾過したものを熱水抽出エキス（以下、エキス）とした⁹⁶⁾。なお、加熱条件に係る予備試験として、5サンプルの温度を3回繰り返し計測したところ、 $79.9 \pm 0.4^\circ\text{C}$ （1回目）、 $80.2 \pm 0.5^\circ\text{C}$ （2回目）および $79.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$ （3回目）であり、有意差が見られなかったため、今回試験に供したサンプルの加熱最終温度はいずれも同一であったとみなした。

味覚センサ分析 得られたエキスを味覚センサに供した。分析条件および使用したセンサ電極の種類は第1章2節の条件と同様とした。

官能評価 '17年7月12日に年比較試験におけるエキスの官能評価を行った。すなわち、2016年度の年変化試験に供試したエキスの余剰分を用い、岡山県産カキ（14ロット）および県外産カキ（16ロット）からロットごとに20mLずつ抽出し、それぞれ混合して官能評価用の岡山県産および県外産カキのエキスを作製した。その後、 -80°C で冷凍保存し、官能評価当日に解凍してすぐに官能評価を実施した。実施に先立ち、古川⁹⁶⁾の方法により、五味識別テストに合格した岡山県水産研究所男性職員計12名（20～50代）をパネルとして抽出し、官能評価を行った。官能評価方法は2点嗜好試験法を用い、岡山県産および県外産カキのエキスにおいて、甘味、苦味、旨味、酸味および塩味における2者間の比較を行った。エキスは左右に1つずつ配置し、2者を比較して呈味が強いほうに+1を加点した。

統計処理 年比較試験における軟体部湿重量および呈味の年比較についてはStudentのt検定を行った。季節変化試験における軟体部湿重量および呈味の季節変化については一元配置分散分析（ANOVA）を行い、有意差が認められた項目についてはシェフェ（Scheffe）の多重比較検定を行った。さらに、呈味の季節変化において得られたデータについては、主成分分析およびクラスター分析を行った。これらの解析にはエクセル統計を用いた。官能評価の統計処理については、第1章2節と同様とした。なお、有意性のための棄却域は5%（ $P = 0.05$ ）および1%（ $P = 0.01$ ）とした。

結 果

季節変化試験 分析に先立ち、希釈系列を作製してセンサでの分析に適正な希釈倍率を推定したところ、5～80倍希釈が適正であると考えられたため、ここでは5倍希釈液を用いて味覚センサ分析を行った。各呈味の季節変化をTable 2-1に示した。補間加算処理の結果、苦味先味、渋味先味、旨味先味、塩味および旨味後味が評価可能であると判断された。なお、ここでは1月を基準値として、補間差分処理を行った。その結果、苦味先味は6月が 0.4 ± 0.5 と最も高く、7月 (-2.1 ± 0.1) および8月 (-2.1 ± 0.1) が最も低くなり、両者間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。渋味先味は6月が 0.3 ± 0.4 と最も高く、2月 (-0.1 ± 0.0)、3月 (-0.1 ± 0.1)、7月 (-0.1 ± 0.1) および8月 (-0.1 ± 0.0) が最も低くなったものの、両者

間で有意差は認められなかった。旨味先味は2月が 1.1 ± 0.1 と最も高く、6月が -2.2 ± 1.1 と最も低くなり、両者間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。塩味は7月が 1.3 ± 0.3 と最も高く、6月が -4.2 ± 2.1 と最も低くなり、両者間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。旨味後味は2月が 1.3 ± 0.3 と最も高く、7月が -2.6 ± 0.6 と最も低くなり、両者間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。このように、渋味先味を除いた4項目で有意な季節変化が認められ、苦味先味、旨味先味および旨味後味は1～3月に高く、5～8月に低くなる傾向が、塩味は5、6月に低く、7～9月に高くなる傾向が認められた。

年比較試験 各呈味の年比較を年度ごとにTable 2-2に示した。補間加算処理の結果、苦味先味、渋味先味、旨味先味、塩味および旨味後味が評価可能であると判断された。なお、ここでは岡山県産カキと県外産カキの比

Table 2-1 Monthly changes in the taste of Pacific oysters *Crassostrea gigas* evaluated by a taste-sensing system

2016 Month	Bitterness (F)	Astringency (F)	Umami	Saltiness	Umami (R)
1	0.0 ± 0.1 a	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.2 a	0.0 ± 0.1 a	0.0 ± 0.1 ab
2	-1.0 ± 0.1 ab	-0.1 ± 0.0 a	1.1 ± 0.1 a	-0.8 ± 0.2 a	1.3 ± 0.3 a
3	-1.1 ± 0.2 bc	-0.1 ± 0.1 a	0.3 ± 0.2 ab	0.0 ± 0.6 a	0.1 ± 1.3 ab
4	-	-	-	-	-
5	-0.7 ± 0.4 ab	0.0 ± 0.0 a	-1.5 ± 0.6 b	-4.1 ± 0.7 b	-1.9 ± 0.3 b
6	0.4 ± 0.5 ab	0.3 ± 0.4 a	-2.2 ± 1.1 bc	-4.2 ± 2.1 b	-2.2 ± 0.6 b
7	-2.1 ± 0.1 cd	-0.1 ± 0.1 a	-1.7 ± 0.7 bc	1.3 ± 0.3 a	-2.6 ± 0.6 b
8	-2.1 ± 0.1 cd	-0.1 ± 0.0 a	-1.0 ± 0.1 b	1.0 ± 0.2 a	-1.8 ± 0.2 b
9	-1.1 ± 0.3 b	-0.0 ± 0.0 a	-0.6 ± 0.0 ab	1.2 ± 0.2 a	-0.8 ± 0.1 ab
10	-1.8 ± 0.0 c	-0.0 ± 0.0 a	-0.5 ± 0.1 ab	-0.1 ± 0.5 a	-0.2 ± 0.1 ab
11	-1.9 ± 0.2 c	-0.0 ± 0.2 a	0.0 ± 0.4 ab	0.5 ± 1.2 a	1.0 ± 1.6 a
12	-0.9 ± 0.2 ab	-0.0 ± 0.0 a	-0.2 ± 0.1 ab	0.5 ± 0.2 a	-0.5 ± 0.3 ab

F means first taste, R means richness

Values are given as mean \pm standard deviation

Different alphabetical letters indicate significant difference at $P < 0.05$

Each month samples are $n = 10$

Table 2-2 Yearly comparisons in the taste of Pacific oysters *Crassostrea gigas* evaluated by a taste-sensing system

	Feb. 2016		Feb. 2017		Feb. 2018	
	Okayama	Others	Okayama	Others	Okayama	Others
Bitterness (F)	-0.3 ± 0.5	0.0 ± 1.2	-0.1 ± 0.3	0.0 ± 1.2	0.3 ± 0.4	0.0 ± 0.7
Astringency (F)	-0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.3	$-0.2 \pm 0.1^{**}$	0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.2	0.0 ± 0.5
Umami	$1.0 \pm 0.3^{**}$	0.0 ± 0.6	$-0.5 \pm 0.7^*$	0.0 ± 0.9	$0.5 \pm 0.4^{**}$	0.0 ± 0.4
Saltiness	$3.4 \pm 0.9^{**}$	0.0 ± 2.4	$1.6 \pm 0.8^{**}$	0.0 ± 1.3	$1.1 \pm 0.6^*$	0.0 ± 2.0
Umami (R)	$1.7 \pm 0.5^{**}$	0.0 ± 0.9	$0.5 \pm 0.3^{**}$	0.0 ± 0.5	$0.4 \pm 0.2^{**}$	0.0 ± 0.6

F means first taste, R means richness

Values are given as mean \pm standard deviation

* indicates a significant difference at $P < 0.05$, ** indicates a significant difference at $P < 0.01$

Okayama means Okayama-grown Pacific oysters, Others means other prefectures grown Pacific oysters

較を容易にするため、県外産カキにおける各呈味を基準値(0)として、補完差分処理を行った。2016年度の旨味先味、塩味および旨味後味は県外産カキと比べて有意に高く($P < 0.01$)、いずれも1以上の差が認められた。2017年度の塩味および旨味後味は県外産カキと比べて有意に高く($P < 0.05$)、このうち塩味のみ1以上の差が認められた。2017年度の旨味先味、塩味および旨味後味は県外産カキと比べて有意に高く($P < 0.05$)、このうち塩味のみ1以上の差が認められた。このように、塩味および旨味後味については、試験を行った3年間(2016~18年度)において、常に有意に高い値を示した。

官能評価 官能評価用エキスをを用いた官能評価の結果をTable 2-3に示した。2016年度における岡山県産と県外産カキのエキスを比較した結果、岡山県産は県外産より旨味($P < 0.01$)と塩味($P < 0.05$)が有意に高かった。一方、苦味、酸味および甘味については有意差が認められなかった。

考 察

本節では、呈味を数値化する味覚センサを用いて、岡山県産カキの呈味の季節変化および年比較について検討を行った。

季節変化試験において、有意な季節変化が認められた呈味項目は苦味先味、旨味先味、塩味および旨味後味であった($P < 0.05$, Table 2-1)。さらに、これらの項目は最高値と最低値の差が1以上であったため、官能的にも差が感じられる可能性が高いと考えられた。また、各呈味について、苦味先味は6月に最高値を、7、8月に最低値を示した。米田⁹⁷⁾は北海道産の養殖マガキについ

Table 2-3 Sensory evaluation of Pacific oysters *Crassostrea gigas* extracts

	Feb. 2016 Okayama	Feb. 2016 Others
Bitterness	6	8
Umami	14**	0
Saltiness	12*	2
Astringency	6	8
Sweetness	10	4

Records are for the number of people that identified the dominant taste of Pacific oysters as either bitterness, umami, saltiness, astringency or sweetness during the Okayama-grown oysters with other prefecture grown oysters.

* indicates a significant difference at $P < 0.05$,

** indicates a significant difference at $P < 0.01$.

て、苦味に關与するアルギニン⁸⁹⁾は6月に最高値を、9月に最低値を示したことを報告しており、本節における苦味先味の結果と概ね一致していた。このことから、カキの苦味にはアルギニンをはじめとした遊離アミノ酸の影響を受けている可能性がある。塩味は7~9月に高く、5、6月に低くなった。岡山県では9、10月に沿岸域から沖合域へ筏を移動させるため²⁾、塩分濃度の変化による塩味への影響が考えられたものの、時期が一致しなかったことから、塩味の変動要因については特定ができなかった。旨味先味は2月に高く、6月に低くなり、旨味後味は2月に高く、7月に低くなった。カキの呈味発現において重要なグリコーゲン量は10月から漸増して2月に最高値を、遊離アミノ酸は10月から漸増して1~3月に多くなったことがそれぞれ報告されている^{98,99)}。本

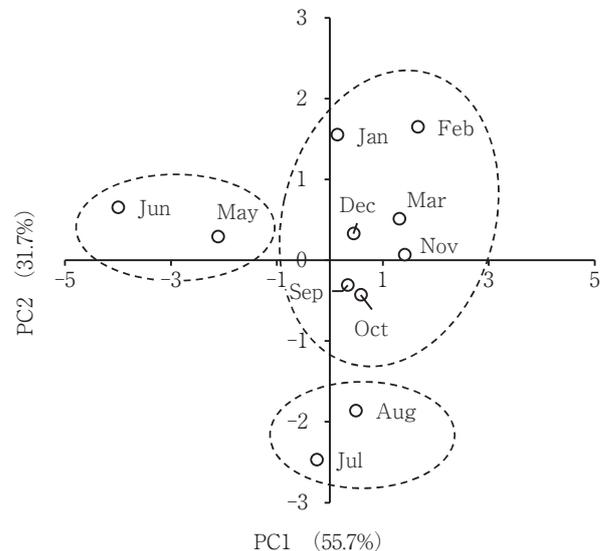


Fig. 2-1 Principal component analysis (PCA) and cluster analysis conducted using the results for taste sensing system (bitterness, umami, umami richness, astringency and saltiness).

Table 2-4 Eigenvalues, proportion of variation explained, and factor loadings based on the correlation matrix for taste

	PC1	PC2
Eigenvalue	2.8	1.6
Proportion (%)	55.7	31.7
Factor loading		
Bitterness (F)	-0.4	0.8
Astringency (F)	-0.9	0.3
Umami	0.8	0.5
Saltiness	0.8	-0.4
Umami (R)	0.7	0.6

F means first taste, R means richness

節では成分分析は行っていないが、これらの成分が増加する時期と今回の結果が一致していた。したがって、グリコーゲンや遊離アミノ酸量の増減に伴い、旨味も季節変化を示したと考えられた。

季節変化試験で得られた苦味先味、渋味先味、旨味先味、塩味および旨味後味の5項目の結果を集約し、呈味を総合的に検討するため、主成分分析により解析を行ったところ (Fig. 2-1)、第5主成分まで得られた。そのうち、第1および第2主成分の累積寄与率が80%を超えていたため (Table 2-4)、特徴を説明できると考えられた。主成分分析については、呈味5項目を変数とし、エクセル統計を用いて主成分負荷量を算出するとともに、クラスター分析 (ウォード法) を行った。第1主成分の固有ベクトルは旨味先味、塩味および旨味後味が正の値を示した。塩味は旨味の増強効果を持つことが知られているため¹⁰⁰⁾、第1主成分は旨味の強さを示していると考えられた。一方、第2主成分の固有ベクトルは苦味先味、旨味後味、旨味先味および渋味先味が正の値を示した。第2主成分は、塩味を除くすべての呈味が含まれていたことから、呈味の濃厚さを示していると考えられた。さらに、これらの数値をもとにクラスター分析を行ったところ、9~3月、7、8月および5、6月の3つのグループに分類できると考えられた。特に、9~3月は旨味が強く、かつ濃厚である傾向が見られた (Fig. 2-1)。岡山県においては、カキの旬は生産時期にあたる10~3月とされており、生産されていない9月を除くと、今回の結果と一致していた。したがって、味覚センサは旬の時期とそれ以外の時期における呈味の識別ができる可能性が示唆された。

次に、年比較試験において、2016年度における岡山県産カキは県外産カキと比べて旨味先味が1.0、塩味が3.4、旨味後味が1.7と、正の値かつ県外産カキとの差が1以上であった ($P < 0.01$, Table 2-2)。さらに、官能評価用エキスをを用いて官能評価を行ったところ、岡山県産カキは県外産カキと比べて旨味および塩味が有意に強かった ($P < 0.01$ および $P < 0.05$, Table 2-3)。このように旨味と塩味において、味覚センサの分析結果と官能評価の結果がほぼ一致していたため、味覚センサの精度は高いと考えられた。一方、酸味については味覚センサでは評価できず、かつ官能評価で有意差が認められなかったことから、酸味は発現していなかった可能性が高い。苦味については、岡山県産カキは県外産カキより低く、かつ官能評価でも苦味が少ない傾向が見られたものの、有意差は認められなかったため、苦味における味覚センサの精

度を明らかにすることはできなかった。渋味については官能評価を、甘味については味覚センサによる評価を実施していなかったため、これらについても味覚センサの精度を明らかにすることはできなかった。以上のことから、味覚センサによる旨味と塩味の評価は官能評価を反映していると考えられた。

2017年度は県外産カキと比べて塩味が1.6、旨味後味が0.5と正の値を示したものの、差が1以上であったものは塩味のみであった。また、2018年度は県外産カキと比べて苦味先味が0.3、旨味先味が0.5、塩味が1.1、旨味後味が0.4と正の値を示したものの、差が1以上であったものは塩味のみであった。このように、塩味は試験を行った3年間を通して有意に高い傾向が認められた。一方、旨味後味においては、1以上の差は見られなかったものの、試験を行った3年間はすべて正の値を示していた。したがって、年度ごとに県外産カキが異なるため、単純な比較はできないものの、年度が異なっても岡山県産カキは塩味および旨味後味が強い傾向にあると推察された。

以上の結果から、岡山県産カキの旨味や塩味は明瞭な季節変化を示すとともに、年度に関わらず、これらの呈味は強い傾向にあると考えられた。本章の結果により、岡山県産カキの呈味特性が明確になったことから、今後は時期ごとの呈味特性を活かした調理方法の提案や、消費者に「岡山かき」の呈味特性をわかりやすく提示し、消費拡大を図る必要がある。

第3章 魚介類の品質評価

岡山県における漁船漁業の経営体数は減少の一途をたどり、危機的状況にあるため、魚介類の単価向上によって経営を安定させることが必要不可欠である。そのため、漁船漁業の漁獲対象種であるガザミやヒラの付加価値向上に関する知見の集積は重要である。

本章では、まずガザミにおける通常個体、抱卵個体および軟甲個体の成分および呈味分析を行い、差を明確化するとともに、低利用魚として扱われているヒラの付加価値向上を目的として呈味分析を行った。

第1節 ガザミの品質評価

ガザミは青森県以南の本州、四国、九州および沖縄のほか、朝鮮半島や中国にも分布するワタリガニ科の甲殻類である¹⁰¹⁾。我が国におけるガザミ類の漁獲量は約2,100 t (2015年) となっており、漁船漁業における主要な漁獲対象種となっている¹⁰²⁾。岡山県においてもガザミは重

要な水産物で、沿岸域を中心に小型底びき網漁業で漁獲されているが¹⁰³⁾、近年は漁獲量が減少傾向にある¹⁰⁴⁾。そのため、資源の増大を目的として、腹肢に卵を持った抱卵ガザミ（以下、抱卵ガニ）^{105,106)} および脱皮から間がなく甲殻が柔らかい軟甲ガザミ（以下、水ガニ）^{107,108)} の再放流が行われている。一方、県西部地区では最終脱皮から一定期間経過して甲殻が硬くなったガザミ（以下、硬ガニ）^{109,110)} の品質基準を設定し、ブランド化の取組も行われている。

しかし、一部の地域において、抱卵および水ガニが硬ガニと混獲されて市場に流通する事例が発生し、資源管理型漁業およびブランド化を推進するうえで問題となっている。これまでにガザミの品質について、水ガニは市場での評価が低いため、安く取引されている事例^{5,111)} や、産卵期のガザミは筋肉成分の水分が増加し、品質が低下する事例などが報告されている¹¹²⁾。本県においても、経験的に抱卵および水ガニは硬ガニより呈味性が劣ると言われているものの、これらの呈味性を客観的に評価した事例は少ない。今後、ガザミ資源の有効利用やブランド化を図るためには硬、抱卵および水ガニの呈味性や品質の違いを把握しておく必要がある。

そこで、本節では硬、抱卵および水ガニの呈味性の違いを明らかにするため、これらの熱水抽出エキスを作製し、その呈味性を官能評価および味覚センサで調べた。この味覚センサは人間の味蕾細胞の機能を模倣した脂質膜を介し、電位の変化に基づいて呈味性を数値化する装置であり⁹⁴⁾、これにより呈味性の差を視覚的に把握することが可能となる。同時に、一般成分、遊離アミノ酸および核酸関連化合物分析を行い、呈味性の差の要因についても検討を行った。

材料と方法

試料 備讃瀬戸海域にあたる岡山県笠岡市地先（Fig. 3-1）で2016年7月1日に漁獲された抱卵ガニおよび同年9月13日に漁獲された水ガニを試験に供した。また、産卵および脱皮が終了した時期にあたる'15年12月22日に同地先で漁獲されたガザミを硬ガニとした。なお、この硬ガニは一般的に市場に流通しているものである。これらのガザミは笠岡市漁業協同組合（以下、漁協）に水揚げされた後、漁協職員が選別を行った。選別は漁協の基準に従い、硬ガニは甲殻を強く押しでもへこまないもの、抱卵ガニは黒色の卵塊を有するもの、水ガニは甲殻を押しでもへこむものとした。試験に供したガザミの甲幅と体重をTable 3-1に示した。平均甲幅および平均体重

は硬ガニが 184.3 ± 11.0 mmおよび 348.2 ± 58.7 g、抱卵ガニが 196.5 ± 21.5 mmおよび 415.9 ± 151.9 g、水ガニが 212.2 ± 7.9 mmおよび 526.7 ± 65.8 gであった。

試料の前処理 ガザミは雌のみを選別し、活かした状態で岡山県水産研究所に持ち込み、直ちに基節筋肉を取り出した。その後、3、4個体を1ロットとし、ロットごとにフードプロセッサーで筋肉を細断した後、分析に供するまで -80°C で冷凍保存し、計9ロットについて各種分析を行った。

一般成分分析 ロットごとに得られた筋肉のうち5gを取り出し、半解凍のまま一般成分分析を行った。水分は 105°C 常圧加熱乾燥法、灰分は 600°C 灼熱灰化法、粗タンパク質はケルダール法で求めた全窒素量に6.25を乗じた方法、脂質含量はエーテル抽出法を用いて分析した¹¹³⁾。

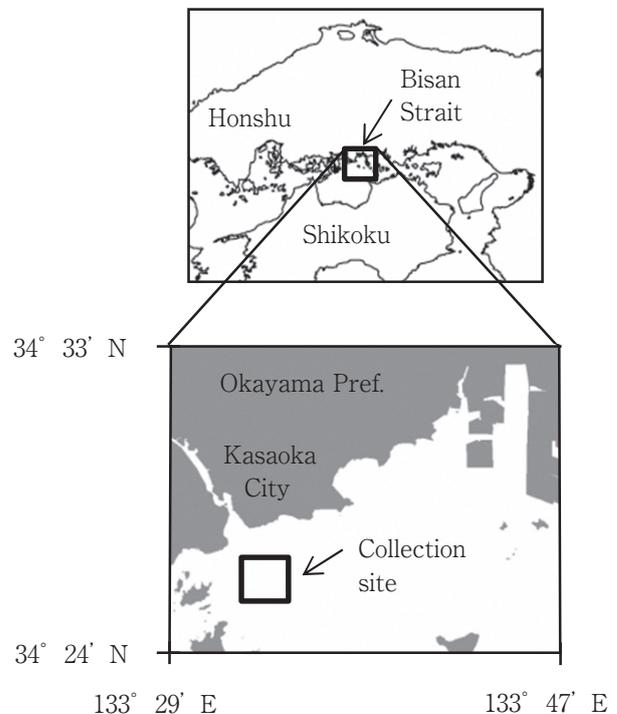


Fig. 3-1 Principal component analysis (PCA) and cluster analysis conducted using the results for taste sensing system (bitterness, umami, umami richness, astringency and saltiness).

Table 3-1 Details of swimming crab *Portunus trituberculatus* samples collected from Bisan Strait, Japan

	Hard-shelled (n=10)	Ovigerous (n=10)	Soft-shelled (n=11)
Sampling date	Dec. 22, 2015	Jul. 1, 2016	Sep. 13, 2016
Carapace length (mm)	184.3 ± 11.0a	196.5 ± 21.5ab	212.2 ± 7.9b
Body weight (g)	348.2 ± 58.7a	415.9 ± 151.9ab	526.7 ± 65.8b

Values are given as mean ± standard deviation. Values in the same row followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

熱水抽出エキスの作製 残りの筋肉はロットごとに半解凍の状態では40gずつ取り出して純水160mLと混合し、第2章と同様の方法でエキスを作製した。得られたエキスは一部を官能評価に、残りを後述の分析に供した。

官能評価 パネルは事前に五味識別テスト⁵⁹⁾に合格した岡山県水産研究所職員12名を対象とした。官能評価方法は2点嗜好試験法を用い、硬、抱卵および水ガニのエキスにおいて2者間(硬ガニ-抱卵ガニ, 硬ガニ-水ガニ)で、甘味、苦味、旨味、酸味、塩味および呈味性の総合評価について比較を行った。エキスは左右に1つずつ配置し、右の試料に対する左の試料の評価を-1点、0点および+1点で判断させた。+1点の評価であれば左の試料に1点、-1の評価であれば右の試料に1点を加点した。

味覚センサ分析 残りのエキスを味覚センサに供した。分析条件は第1章2節の条件と同様とした。なお、本節では6種類の脂質膜センサを使い、9種類の呈味を評価した。すなわち、第1章2節に示したセンサに加え、甘味を測定するC01センサを用いた。得られた値は同アプリケーションによる主成分分析を行うとともに、エクセル統計にて、クラスター分析を行った。

遊離アミノ酸組成分析 エキス10mLを0.22 μ mシリンジフィルター(アズワン株式会社)で濾過し、0.5mLをHPLCに供し、ガザミ筋肉中における遊離アミノ酸量を測定した。なお、カラムはShim-pack AMINO-Liを用い、移動相および反応液はアミノ酸分析移動相キットおよび反応液キット(株式会社島津製作所)を用いて、1.0mL/minで分離し、励起波長350nm、蛍光波長450nmにて測定した。

核酸関連化合物分析 上記の濾過したエキスのうち0.5mLをHPLCに供し、ガザミ筋肉中における核酸関連化合物(アデノシン三リン酸:ATP, アデノシン二リン酸:ADP, アデノシン一リン酸:AMP, イノシン酸:IMP, イノシン:HxRおよびヒポキサンチン:Hx)の量を測定した。なお、カラムはSTR-ODS II(株式会社島津製作所製)を用い、0.2MNaH₂PO₄(pH7.0)を移動相として、1.0mL/minで分離し、検出波長250nmにて測定した。

統計処理 一般成分分析、味覚センサ分析、遊離アミノ酸組成分析および核酸関連化合物分析については一元配置分散分析(ANOVA)を行った。有意差が認められた項目についてはシェフェ(Scheffe)の多重比較検定を行った。官能評価の統計処理については、第1章2節と同様とした。

結 果

一般成分分析 一般成分分析の結果をFig. 3-2に示した。水分は硬ガニが76.2 \pm 0.9%, 抱卵ガニが77.8 \pm 1.1%, 水ガニが81.0 \pm 0.5%であり、水ガニは他の2群より有意に多かった($P < 0.01$)。灰分は硬ガニが1.78 \pm 0.07%, 抱卵ガニが1.84 \pm 0.09%, 水ガニが1.61 \pm 0.04%であり、水ガニは抱卵ガニより有意に少なかった($P < 0.05$)。脂質は硬ガニが0.06 \pm 0.03%, 抱卵ガニが0.10 \pm 0.05%, 水ガニが0.03 \pm 0.03%であり、有意差は認められなかった。タンパク質は硬ガニが18.9 \pm 0.8%, 抱卵ガニが18.4 \pm 1.7%, 水ガニが15.8 \pm 1.1%であり、水ガニは他の2群より有意に少なかった($P < 0.01$)。

官能評価 エキスの官能評価の結果をTable 3-2に示した。硬ガニと抱卵ガニのエキスを比較した結果、硬ガニは抱卵ガニより旨味が有意に強く($P < 0.01$)、さらに呈味の総合評価が有意に高かった($P < 0.05$)。一方、甘味、苦味、酸味および塩味については有意差が認められなかったものの、硬ガニは抱卵ガニに比べて甘味と塩味が強く、苦味と酸味は弱いと評価したパネルが多かった。また、硬ガニと水ガニのエキスを比較した結果、硬ガニは水ガニより呈味の総合評価が有意に高かった($P < 0.05$)。一方、甘味、苦味、旨味、酸味および塩味については有意差が認められなかったものの、硬ガニは水ガニに比べて甘味、旨味および塩味が強く、苦味は弱いと評価したパネルが多かった。

味覚センサ分析 味覚センサによるエキス分析結果をTable 3-3に示した。なお、分析に用いたエキスの温度は22.2~22.6 $^{\circ}$ C, pHは7.4~7.6であり、硬、抱卵および水ガニの間で有意差は認められなかった。アプリケーション解析の結果、甘味、苦味(先味)、旨味(先味)、旨味(後味)および塩味の5項目について評価が可能であった。甘味の数値は抱卵ガニが-2.6 \pm 0.2, 水ガニが-1.6 \pm 0.2であり、いずれも硬ガニ(0)より有意に低かった($P < 0.01$)。苦味(先味)は抱卵ガニが-3.2 \pm 0.8, 水ガニが-3.1 \pm 0.9であり、いずれも硬ガニより有意に低かった($P < 0.01$)。旨味(先味)は抱卵ガニが-1.5 \pm 0.3, 水ガニが-1.5 \pm 0.3であり、いずれも硬ガニより有意に低かった($P < 0.01$)。旨味(後味)は抱卵ガニが-9.1 \pm 0.8, 水ガニが-9.2 \pm 1.0であり、いずれも硬ガニより有意に低かった($P < 0.01$)。塩味は抱卵ガニが-1.7 \pm 0.2, 水ガニが-1.4 \pm 0.5であり、いずれも硬ガニより有意に低かった($P < 0.01$)。

さらに、甘味、苦味(先味)、旨味(先味および後味)、

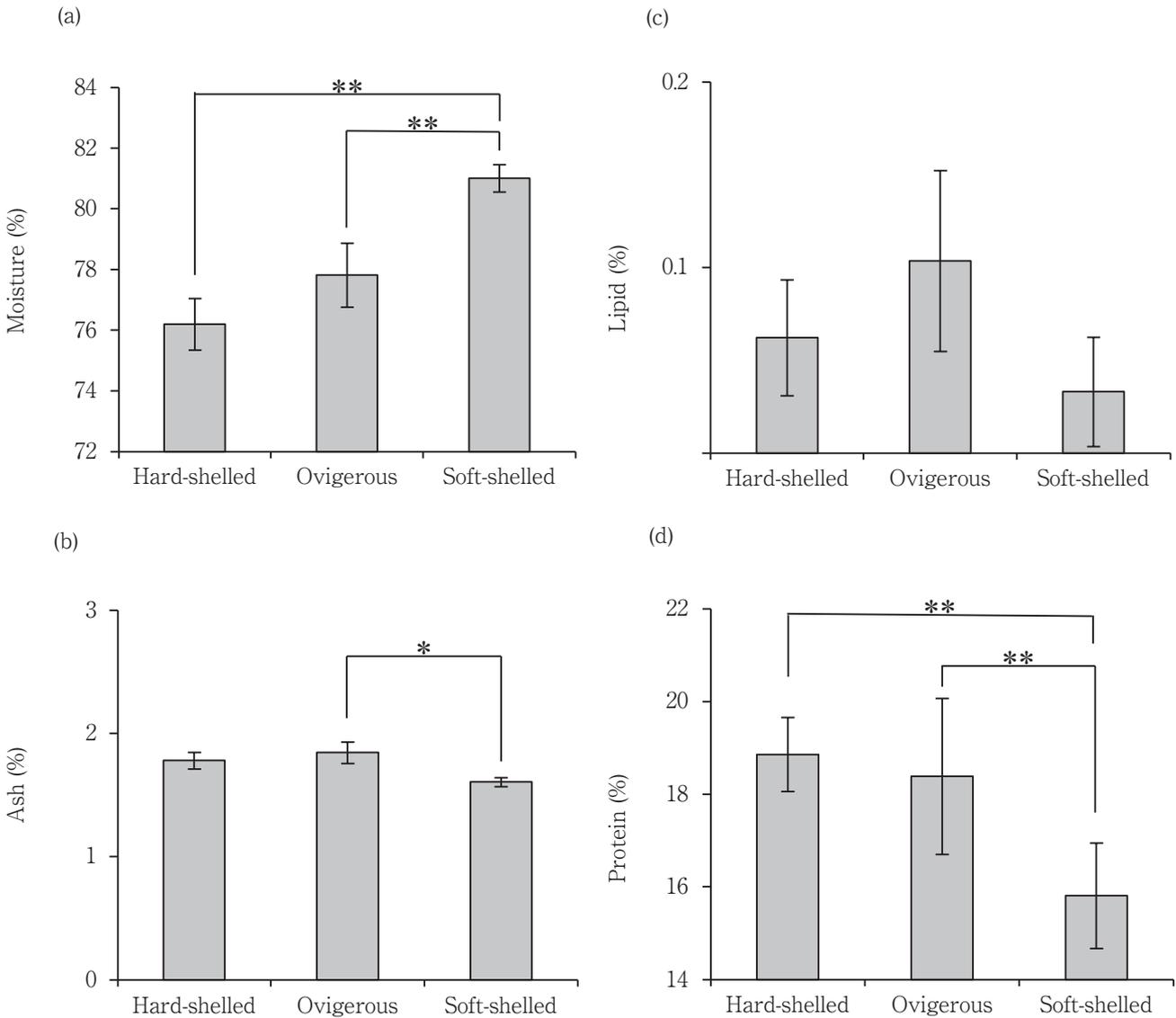


Fig. 3-2 The moisture, ash, lipid, and protein content in the meat prepared from hard-shelled, ovigerous and soft-shelled swimming crabs *Portunus trituberculatus* collected from Bisan Strait, Japan. Vertical bars indicate SD; * indicates a significant difference at $P < 0.05$, and ** indicates a significant difference at $P < 0.01$.

Table 3-2 Sensory test of swimming crab *Portunus trituberculatus* extracts

	Hard-shelled	vs Ovigerous	Hard-shelled	vs	Soft-shelled
Sweetness	9	2	7		3
Bitterness	1	2	2		5
Umami	11**	0	9		2
Sourness	0	3	1		1
Saltiness	4	1	3		2
Overall taste	10*	1	10*		1

The number of people who sensed a stronger taste in the extracts of one type of crab as compared with the other. Differences were significant at the level $P < 0.05$ (*) or $P < 0.01$ (**).

Table 3-3 The taste-sensing system analysis of swimming crab *Portunus trituberculatus* extracts

	Taste-sensing system evaluation	Hard-shelled (n=3)	Ovigerous (n=3)	Soft-shelled (n=3)
Sweetness	Available	0.0±0.0 a	-2.6±0.2 b	-1.6±0.2 c
Bitterness (F)	Available	0.0±0.0 a	-3.2±0.8 b	-3.1±0.9 b
Bitterness (A)	Not Available	0.0±0.0	-0.3±0.4	-0.3±0.4
Umami	Available	0.0±0.0 a	-1.5±0.3 b	-1.5±0.3 b
Umami richness	Available	0.0±0.0 a	-9.1±0.8 b	-9.2±1.0 b
Sourness	Not Available	0.0±0.0 a	3.4±0.3 b	3.8±0.7 b
Saltiness	Available	0.0±0.0 a	-1.7±0.2 b	-1.4±0.5 b
Astringency (F)	Not Available	0.0±0.0 a	-0.4±0.1 b	-0.3±0.2 b
Astringency (A)	Not Available	0.0±0.0	-0.1±0.1	-0.1±0.1

F denotes first taste; A denotes aftertaste. Values are given as mean ± standard deviation. Values in the same row followed by different letters are significantly different ($P < 0.01$).

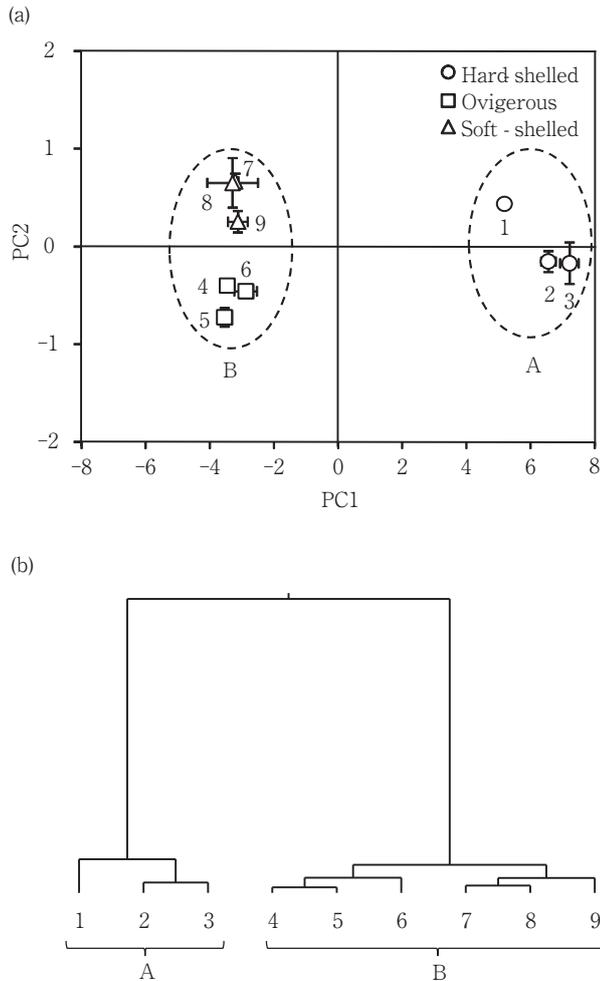


Fig. 3-3 Principal components analysis (PCA) and cluster analysis of the five taste factors. (a) PC1 and PC2 of evaluation scores for hard-shelled, ovigerous and soft-shelled swimming crabs *Portunus trituberculatus*. (b) Dendrogram of the cluster analysis of the five taste factors for hard-shelled, ovigerous and soft-shelled swimming crabs.

および塩味の5項目の値を用いた主成分分析の結果をFig. 3-3aに示した。第1主成分の寄与率は98.3%，第2主成分の寄与率は1.1%で，両者により全変動の99.4%が説明される (Table 3-4)。第1主成分の固有ベクトルは，旨味 (先味および後味)，甘味および塩味が正の大きな値を示した。一方，第2主成分の固有ベクトルは，旨味 (先味および後味) が負，甘味，塩味および苦味が正の大きな値を示した。また，第1主成分と第2主成分の主成分得点に基づくクラスター分析の結果，硬ガニと抱卵および水ガニの2グループに区分された (Fig. 3-3b)。

遊離アミノ酸組成分析 ガザミ筋肉中における遊離アミノ酸組成分析の結果をTable 3-5に示した。硬ガニはアルギニン (平均798.6mg/100g) が最も多く，次いでグリシン (586.3mg/100g)，プロリン (567.9mg/100g)，

Table 3-4 Eigen values, proportions and factor loadings on the correlation matrix of the taste factors

	PC1	PC2
Eigenvalue	21.7	0.3
Porportion (%)	98.3	1.1
Factor loading		
Sweetness	0.21	0.89
Bitterness (F)	0.02	0.16
Umami	0.16	-0.06
Umami richness	0.95	-0.25
Saltiness	0.15	0.34

F denotes first taste.

グルタミン (514.7mg/100g) の順に多かった。抱卵ガニはアルギニン (845.5mg/100g) が最も多く，次いでプロリン (630.1mg/100g)，グルタミン (556.1mg/100g)，グリシン (395.1mg/100g) の順に多かった。水ガニはアルギニン (578.8mg/100g) が最も多く，次いでタウリン (419.3mg/100g)，グリシン (359.0mg/100g)，グルタミン (185.1mg/100g) の順に多かった。このうち有意差が認められたものはアルギニン，プロリン，グルタミンおよびタウリンであった。

また，船津ら⁸⁹⁾の報告に基づき，遊離アミノ酸を甘味アミノ酸 (グリシン，アラニン，スレオニン，プロリンおよびセリン)，苦味アミノ酸 (フェニルアラニン，チロシン，アルギニン，ロイシン，イソロイシン，バリン，メチオニン，ヒスチジンおよびリジン)，旨味アミノ酸 (グルタミン酸，アスパラギン酸)，酸味アミノ酸 (アスパラギン) に分類し，それらの総量をFig. 3-4に示した。甘味アミノ酸量は硬ガニが 1711.2 ± 240.5 mg/100g，抱卵ガニが 1629.5 ± 30.9 mg/100g，水ガニが 679.1 ± 61.1 mg/100gであり，水ガニは他の2群より有意に少なかった ($P < 0.01$)。苦味アミノ酸量は硬ガニが 999.6 ± 104.4 mg/100g，抱卵ガニが 1036.6 ± 91.4 mg/100g，水ガニが 758.4 ± 48.1 mg/100gであり，水ガニは他の2群より有意に少なかった ($P < 0.05$)。旨味アミノ酸量は硬ガニが 12.6 ± 2.6 mg/100g，抱卵ガニが 4.4 ± 7.6 mg/100g，水ガニが検出限界値以下であり，水ガニは硬ガニより有意に少なかった ($P < 0.05$)。酸味アミノ酸は硬ガニが検出限界値以下，抱卵ガニが 89.6 ± 155.2 mg/100g，水ガニが 22.8 ± 39.5 mg/100gであり，有意差は認められなかった。

核酸関連化合物分析 ガザミ筋肉中における核酸関連化合物分析の結果をTable 3-6に示した。筋肉中のATPは硬ガニが 23.6 ± 1.4 mg/100g，抱卵ガニが 11.4 ± 2.2 mg/100g，水ガニが 39.4 ± 6.1 mg/100gであり，硬，抱卵および水ガ

Table 3-5 Free amino acid contents (mg/100 g) of the meats of swimming crab *Portunus trituberculatus* as calculated from meat-extract concentrations

Free amino acids	Hard-shelled (n=3)	Ovigerous (n=3)	Soft-shelled (n=3)
Phospho serine	37.3± 1.9 a	28.6± 6.6 a	15.2± 3.0 b
Taurine	356.3± 17.2 a	364.6± 21.7 a	419.3± 15.6 b
O-Phospho ethanolamine	–	–	0.3± 0.2
Aspartic acid	–	–	–
Hydroxyproline	13.2± 2.7 a	13.2± 4.1 a	4.3± 1.2 b
Threonine	10.0± 2.1	15.5± 6.7	13.8± 1.6
Serin	7.5± 1.0	13.3± 6.3	14.1± 2.3
Asparagine	–	89.6± 155.2	22.8± 39.5
Glutamic acid	12.6± 2.6 a	4.4± 7.6 ab	– b
Glutamine	514.7± 147.8 a	556.1± 94.6 a	185.1± 83.2 b
Proline	567.9± 56.7 a	630.1± 83.0 a	102.9± 15.5 b
Glycine	586.3± 33.7	395.1± 152.4	359.0± 77.3
Alanine	11.6± 2.0 a	6.3± 5.5 ab	– b
Valine	102.3± 38.9	120.2± 20.9	108.9± 24.0
Cystine	1.0± 0.9 a	1.7± 0.5 ab	– b
Methionine	11.5± 1.0	13.0± 3.7	12.4± 2.1
Isoleucine	11.2± 2.1	6.8± 2.4	8.4± 1.7
Leucine	4.9± 0.8	4.7± 1.1	5.8± 1.8
Tyrosine	13.8± 2.5	10.2± 0.8	12.6± 3.0
Phenylalanine	13.0± 1.9	8.2± 2.3	9.1± 2.6
β -alanine	0.2± 0.1	0.3± 0.1	0.4± 0.1
3-Aminoisobutyric acid	0.9± 0.4	0.9± 0.2	1.6± 0.3
4-Aminobutyric acid	1.4± 0.9	3.9± 2.8	3.8± 0.6
Histidine	0.4± 0.4	0.2± 0.3	–
3-Methylhistidine	11.3± 1.4	12.0± 1.7	14.3± 3.8
1-methylhistidine	8.6± 0.5	10.7± 2.2	7.1± 1.3
Anserine	–	–	0.3± 0.5
Hydroxylysine	0.6± 0.6	0.8± 0.8	0.4± 0.7
Lysine	43.8± 3.6 a	27.8± 10.5 ab	22.3± 1.3 b
Ethanolamine/Ammonia	0.5± 0.1	0.4± 0.1	0.5± 0.1
Arginine	798.6± 61.8 a	845.5± 86.2 a	578.8± 28.1 b
Total	3141.6± 363.3 a	3184.1± 166.4 a	1923.3± 121.8 b

–, Not detected.

Values are given as mean \pm standard deviation. Values in the same row followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

ニの間で有意な ($P < 0.01$) 差が認められた。ADPは硬ガニが $0.3 \pm 0.1 \text{mg}/100\text{g}$, 抱卵ガニが $0.8 \pm 0.2 \text{mg}/100\text{g}$, 水ガニが $4.7 \pm 2.9 \text{mg}/100\text{g}$ であり, 有意差は認められなかった。AMPは硬ガニが $19.4 \pm 2.8 \text{mg}/100\text{g}$, 抱卵ガニが $41.2 \pm 2.8 \text{mg}/100\text{g}$, 水ガニが $17.4 \pm 6.1 \text{mg}/100\text{g}$ であり, 抱卵ガニは他の2群より有意に多かった ($P < 0.01$)。IMPは硬ガニが $10.2 \pm 2.2 \text{mg}/100\text{g}$, 抱卵ガニが $3.0 \pm 0.4 \text{mg}/100\text{g}$, 水ガニが $0.9 \pm 0.3 \text{mg}/100\text{g}$ であり, 硬ガニは他の2群より有意に多かった ($P < 0.01$)。HxRは硬ガニが

$12.1 \pm 1.5 \text{mg}/100\text{g}$, 抱卵ガニが $9.2 \pm 0.5 \text{mg}/100\text{g}$, 水ガニが $3.7 \pm 0.9 \text{mg}/100\text{g}$ であり, 硬, 抱卵および水ガニの間で有意な差が認められた ($P < 0.01$)。Hxは硬ガニが $18.4 \pm 1.8 \text{mg}/100\text{g}$, 抱卵ガニが $18.5 \pm 1.2 \text{mg}/100\text{g}$, 水ガニが $24.7 \pm 9.6 \text{mg}/100\text{g}$ であり, 有意差は認められなかった。

考 察

本節では官能評価および味覚センサ分析を行い, 硬, 抱卵および水ガニの呈味性に違いがあることを明らかに

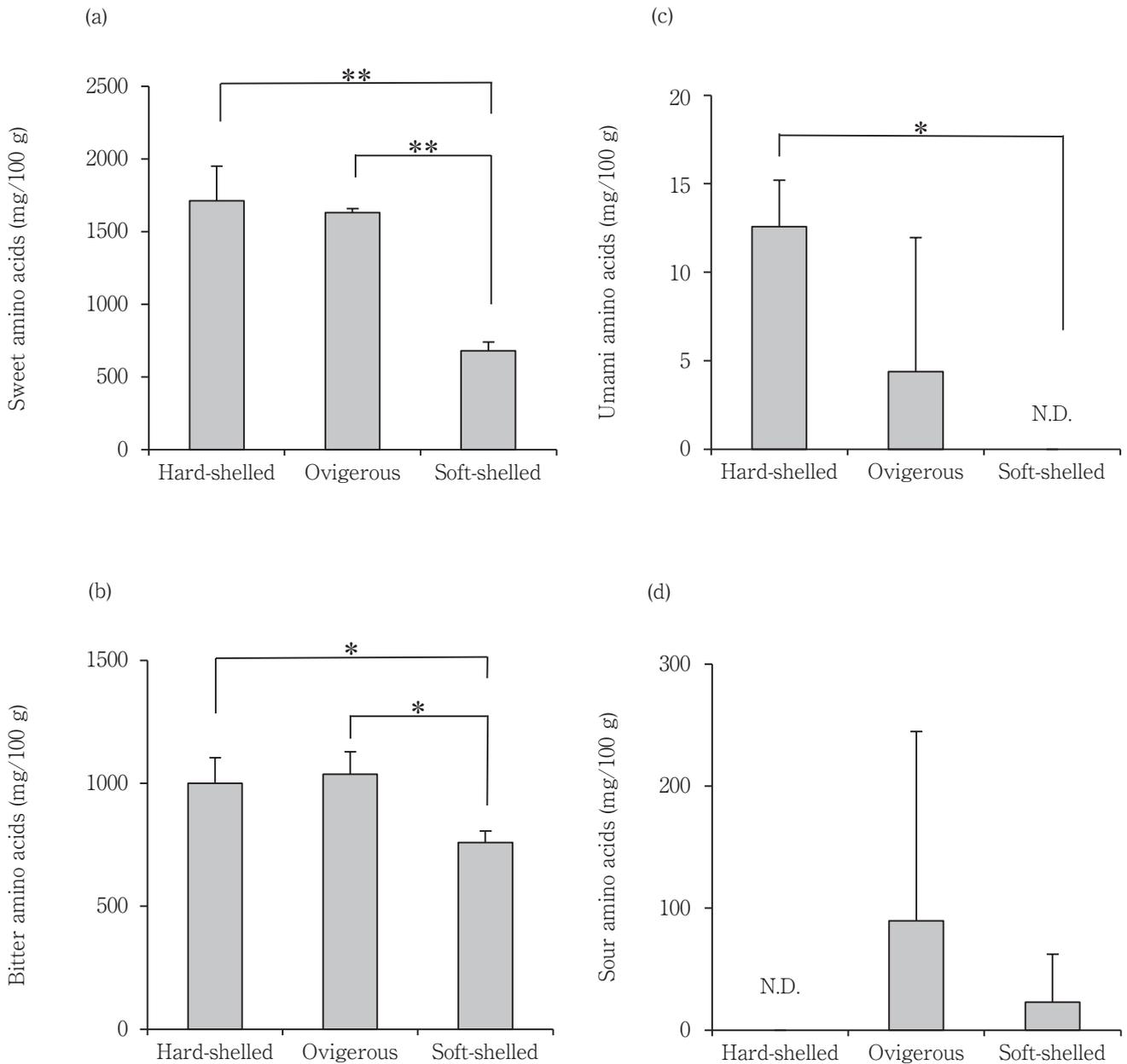


Fig. 3-4 Classification of the free amino acids into sweet, bitter, umami or sour-tasting, for the amino-acid contents of the meats of hard-shelled, ovigerous and soft-shelled swimming crabs *Portunus trituberculatus* as calculated from meat-extract concentrations. Sweet amino acid contains glycine, alanine, threonine, proline, and serin. Bitter amino acid contains phenylalanine, tyrosine, arginine, leucine, isoleucine, valine, methionine, histidine, and lysine. Umami amino acid contains glutamic acid and aspartic acid. Sour amino acid contains asparagine. Vertical bars indicate SD; * indicates significant a difference at $P < 0.05$, and ** indicates a significant difference at $P < 0.01$.

した。一般的に、魚介類の呈味は同一魚種であっても産地、部位、年齢および季節によって異なるとされている^{95,114,115}。実際に、岡崎ら¹¹⁶は産地によってハモ *Muraenesox cinereus*の食味が異なることを、郡山ら⁵⁴はメバチ *Thunnus obesus*の筋肉部位によって呈味が異なることを示唆しているが、本節で用いたガザミは同一漁場かつ同一部位の筋肉を試験に供したため、産地や部位によって呈味の差が生じた可能性は低い。さらに、有山¹¹⁷が示したガザミの成長曲線 ($W = 313.7 / 1 + e^{-0.8777(I-11.73)}$,

W は甲幅、 I は脱皮齢)から、本試験で供したガザミはすべて12齢であると推察されたため、年齢によって差が生じた可能性も低い。一方、ズワイガニ *Chionoecetes opilio*筋肉における水分の季節変動は脱皮が影響していること¹¹⁸、クロダイ *Acanthopagrus schlegelii*筋肉における遊離アミノ酸の季節変動は産卵による影響¹¹⁹が示唆されていることから、本節で用いたガザミは季節と関連が高い産卵や脱皮などの生活史に伴って、呈味に差が生じた可能性が高い。

Table 3-6 The content of nucleic acid related compounds (mg/100 g) of the meats of swimming crab *Portunus trituberculatus* as calculated from meat-extract concentrations

Nucleic acid	Hard-shelled (n=3)	Ovigerous (n=3)	Soft-shelled (n=3)
ATP	23.6±1.4 a	11.4±2.2 b	39.4±6.1 c
ADP	0.3±0.1	0.8±0.2	4.7±2.9
AMP	19.4±2.8 a	41.2±2.8 b	17.4±6.1 a
IMP	10.2±2.2 a	3.0±0.4 b	0.9±0.3 b
HxR	12.1±1.5 a	9.2±0.5 b	3.7±0.9 c
Hx	18.4±1.8	18.5±1.2	24.7±3.7
Total	84.0±7.2	84.0±3.3	90.9±9.6

ATP, ADP, AMP, IMP, HxR and Hx refer to adenosine triphosphate, adenosine diphosphate, adenosine monophosphate, inosinic acid, inosine and hypoxanthine, respectively. Values are given as mean±standard deviation. Values in the same row followed by different letters are significantly different ($P < 0.01$).

一般成分分析の結果、水ガニが他の2群より水分が多く、タンパク質が少なかった。また、脂質では有意差は認められなかったものの、灰分では水ガニに比べて抱卵ガニが有意に少なかった (Fig. 3-2)。脱皮直後の甲殻類は筋肉が未発達であるため、水分が多く、タンパク質が少ない¹¹²⁾。そのため蒸すと水分が蒸発し、身入りや食感が悪くなる¹¹⁸⁾。今回のガザミの結果においても、水ガニは水分が多く、タンパク質が少なかったため、他の2群より身入りや食感が劣る可能性が示唆された。

官能評価の結果、甘味は硬ガニが他の2群より高い値を示したため、甘味に差があると考えられた (Table 3-2)。さらに、この結果は味覚センサの結果とも一致しており (Table 3-3)、甘味アミノ酸量も硬ガニが水ガニより有意に多かった (Fig. 3-4a)。以上のことから、硬ガニと水ガニに甘味の差が出た要因は甘味アミノ酸の影響が大きいと考えられた。しかし、硬ガニと抱卵ガニに差が出た要因については今回明らかにできなかった。一般的に、水産物における甘味成分は遊離アミノ酸の他に糖¹²⁰⁾ やペプチド¹²¹⁾ が関与しているとされている。したがって、遊離アミノ酸以外の要因も甘味に影響している可能性があるため、今後はこれらを詳細に分析する必要がある。

苦味の官能評価では硬ガニが他の2群より低い値を示した (Table 3-2)。一方、味覚センサ (苦味先味) は硬ガニが他の2群より高い値を示し (Table 3-3)、これらの結果は一致しなかった。さらに、苦味アミノ酸量は水ガニが他の2群より有意に低かったため (Fig. 3-4b)、

硬ガニと他2群との苦味の差を明らかにすることができなかった。一般的に、遊離アミノ酸の中には複数の呈味を持つものが知られている。例えばプロリンは甘味を呈するものの、量によっては苦味も発現するとされている⁶¹⁾。実際に、本節で供した硬、抱卵および水ガニの上位に含まれていたプロリンの量はそれぞれ有意差が認められたことから (Table 3-5)、複数の呈味を持つ遊離アミノ酸の影響によって、硬、抱卵および水ガニに差が生じた要因の特定が困難になったと考えられた。今後はパネルを増やして官能評価を行うなど、硬、抱卵および水ガニに苦味の差があるのか明らかにする必要がある。

旨味の官能評価では硬ガニが他の2群より高い値を示したため、旨味に差があると考えられた (Table 3-2)。さらに、この結果は味覚センサ (旨味先味および後味) の結果と一致していた (Table 3-3)。また、旨味アミノ酸量は硬ガニが水ガニより有意に多く (Fig. 3-4c)、さらに旨味を呈するIMPも硬ガニが他の2群より有意に多かった (Table 3-6)。以上のことから、硬ガニの旨味が他の2群より強かった要因はこれらの呈味成分による影響が大きいと考えられた。

酸味の官能評価では硬ガニが抱卵ガニより低い値を示したものの、硬ガニと水ガニで差は認められなかった (Table 3-2)。さらに、味覚センサおよび酸味アミノ酸量においても有意差は認められなかった (Table 3-3, Fig. 3-4d)。一般的に、水産物における酸味はpHの影響が大きいとされているが¹²²⁾、本節では硬、抱卵および水ガニに有意差は認められなかったため、硬ガニと水ガニで酸味の差はなかった可能性が高い。しかし、酸味には有機酸も関与しているとされているため¹²³⁾、今後、詳細な官能評価および分析を行い、硬ガニと抱卵ガニの酸味の差を明らかにする必要がある。

塩味の官能評価では硬ガニが他の2群より高い値を示し、呈味に差があると考えられた (Table 3-2)。さらに、この結果は味覚センサの結果と一致していた (Table 3-3)。一方、灰分は硬ガニと他の2群との間で有意差は認められなかった (Fig. 3-2b)。一般的に、水産物の塩味は塩化ナトリウムなどの無機質に起因するとされている¹²⁴⁾。今回分析した灰分の結果からは、塩味との関係性を明らかにすることはできなかった。これは、灰分の中にはカリウムなど他の無機質も含まれていたことが原因と考えられる。無機質は呈味を発現する上で重要な要素の1つであることから¹²⁵⁾、今後詳細に検討する必要がある。

味覚センサで得られた甘味、苦味 (先味)、旨味 (先味および後味)、および塩味の数値を用いて主成分分析を

行ったところ、第1主成分の固有ベクトルは旨味（先味および後味）、甘味および塩味が正の大きな値を示した（Table 3-4）。ズワイガニの呈味発現においてはグリシン、アラニンおよびグルタミン酸などが重要であり¹²⁵⁾、これらの遊離アミノ酸はそれぞれ甘味と旨味を呈する。さらに塩味もカニの呈味発現に寄与していることから¹²⁶⁾、第1主成分は呈味の総合評価を示していると考えられた（Fig. 3-3a）。一方、第2主成分の固有ベクトルは、旨味（先味および後味）が負、甘味、塩味および苦味が正の大きな値を示したことから（Table 3-4）、第2主成分はほろ苦さを示していると考えられた（Fig. 3-3a）。

以上の結果から、官能評価において甘味、旨味および塩味で差が生じていたと考えられ、味覚センサの結果と一致していた。さらに、これらの味覚項目は第1主成分で述べたとおり（Table 3-4）、呈味への影響が大きい。実際に、官能評価において呈味の総合評価は硬ガニが他の2群より有意に高い値を示し（Table 3-2）、味覚センサによる主成分分析の結果においても、硬ガニは他の2群に比べて呈味の総合評価が優れている傾向が認められた（Fig. 3-3a）。さらに、旨味の官能評価では硬ガニと抱卵ガニの間では有意差が認められており（Table 3-2）、旨味は呈味の総合評価において、固有値が高かったことから影響が大きいと考えられる（Table 3-4）。以上のことから、抱卵および水ガニは硬ガニに比べて呈味の総合評価が劣っていると考えられ、その要因は旨味および甘味に関わる遊離アミノ酸とIMP含量の低さによる影響が大きいと考えられた。

呈味の発現については、遊離アミノ酸組成が異なると呈味も異なる¹²⁷⁾ほか、IMPによる旨味の増強効果¹²⁸⁾、グリシンによるウニの苦味の抑制効果などが報告されている¹²⁹⁾。さらに、光学異性体であるD-アミノ酸も甲殻類の呈味に寄与しているとの報告もある¹³⁰⁾。本節における官能評価および味覚センサ結果が呈味成分量と必ずしも一致していなかった理由として、このような呈味の発現における複雑な要因が影響した可能性が高い。一方、藤田ら¹¹⁹⁾は水産物におけるテクスチャーの重要性、原田¹²²⁾はガザミ筋肉のほか、卵巣および中腸腺も美味しさや品質を評価する上で重要な要因であると指摘しているため、筋肉以外の部位に関しても分析を行い、総合的に評価する必要がある。

しかしながら、抱卵および水ガニは硬ガニに比べ、筋肉由来エキスにおける呈味の総合評価が劣っていることが明らかとなった。また、味覚センサによる分析においても、官能評価の結果をある程度再現することができた。

さらに、硬、抱卵および水ガニの呈味の違いを数値化することができたため、漁業関係者に呈味の差を視覚的に伝えることができると考えられる。今後は、抱卵および水ガニが混獲された場合は再放流を実施し、呈味性や品質が向上した後に再度漁獲することで、資源の有効活用ができると考えられた。また、このような資源管理に対する取組を県内外へ向けて積極的にPRすることで他産地との差別化が図られるとともに、品質の向上によりブランド化が推進されることが考えられた。

第2節 ヒラの品質評価

ヒラは大阪湾以南の西日本沿岸から中国、東南アジアおよびインド洋を中心に分布するニシン目ニシン科の魚類であり、体はやや細長くて著しく側扁し、全長は70cm以上に達する¹³¹⁾。岡山県では江戸期から「ハレ」と「ケ」の食材としてヒラを食する習慣が定着しており¹³²⁾、酢で締めたものは岡山の郷土料理「ばら寿司」の具材として重宝されている¹³³⁾。本種はサワラ*Scomberomorus niphonius*やマナガツオ*Pampus argenteus*とともに、流し刺網漁業で漁獲されるほか、小型定置網漁業でも漁獲されており、本県における重要な漁獲対象種となっている。

しかし、近年は漁獲量および消費量は減少傾向にあるとされ、現場では早急な対策が求められている。水産物の資源量を増加させる対策として、産卵期における漁獲制限を実施するなどの資源管理型漁業の取組が^{134, 135)}、消費拡大の対策として、筋肉成分の季節変化パターンを明らかにし、呈味特性を広く消費者に周知させる手法がそれぞれ有効であるとされている^{136, 137)}。したがって、ヒラの持続的な資源利用および消費拡大のためには、生物学的特性および呈味特性を把握しておく必要がある。

瀬戸内海におけるヒラの生態については、益井ら¹³⁸⁾が年齢と成長の関係を明らかにしているものの、産卵期については周年調査されていない。また、魚介類における筋肉成分の季節変化については、クロダイ¹¹⁹⁾やガザミ⁹⁵⁾などの事例が報告されているが、呈味の季節変化を明らかにした事例はない。瀬戸内海におけるヒラの産卵期および呈味の季節変化を明らかにすることで、資源管理型漁業を行うための重要な基礎資料となり、さらには魚食普及や加工利用に係る消費拡大によって、漁家所得の向上も期待できる。

本節では、ヒラ資源のさらなる有効利用を目的として、生殖腺重量比による産卵期の推定を行うとともに、一般成分、遊離アミノ酸および味覚センサ分析に基づく呈味の周年変化を生物学的特性と併せて明らかにした。

材料と方法

供試魚 2018年1月から12月にかけて、播磨灘の漁場 (Fig. 3-5) において流し刺網漁業および小型定置網漁業で漁獲されたヒラを岡山県漁連から毎月1回購入し、雌のみを選別して9, 10尾ずつ分析に供した。これらは氷冷した状態で直ちに岡山県水産研究所に持ち帰り、標準体長 (cm) および体重 (g) を測定した。生物学的指標として、ここでは生殖腺重量比 (%) (= 生殖腺重量 / (体重 - 生殖腺重量) × 100) および肥満度 (= (体重 - 生殖腺重量) / 体長³ × 100) を算出した。同時に、ヒラの背鰭基部付近から普通筋肉約30gを採取し、3, 4尾の筋肉を1ロットとしてフードプロセッサーで裁断した後、成分分析に供した。

一般成分分析 試料はロットごとに、水分は105℃常圧加熱乾燥法、灰分は600℃灼熱灰化法、粗タンパク質は全自動元素分析装置を用い、燃焼法で求めた全窒素量に6.25を乗じた方法、脂質含量はエーテル抽出法により分析した。

遊離アミノ酸組成分析 試料約1gを秤量し、2%スルホサリチル酸9mLを加え、氷冷しながらホモジナイザーで磨砕した。冷蔵庫 (4℃) で約1時間静置した後、7,000rpmで10分間遠心分離し、得られた上清は0.22 μmシリンジフィルターで濾過し、0.5mLを純水で2倍希釈してHPLCに供した。なお、カラムおよび分析条件は第

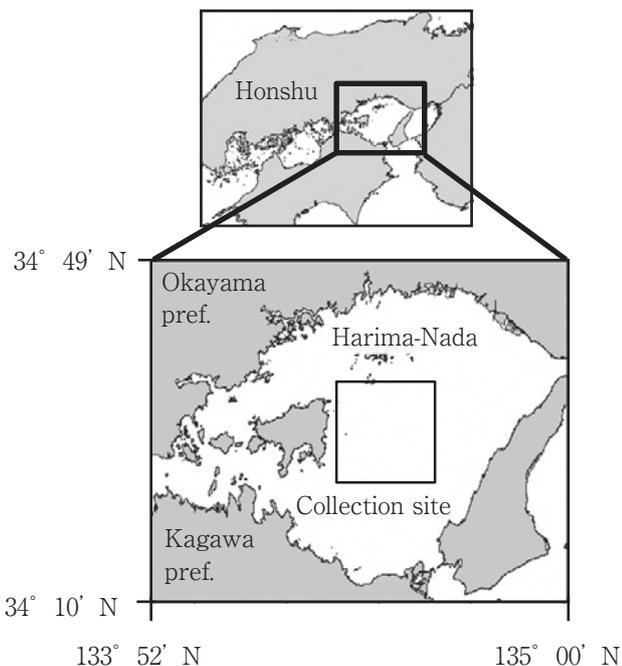


Fig. 3-5 Location of Harima-Nada in the Seto Inland Sea, Japan, and open rectangle indicate the collection site of elongate ilisha *Ilisha elongata*.

3章1節と同様とした。

熱水抽出エキス ロットごとに試料10gを50mL遠沈管に収容し、純水で5倍希釈を行った。その後の処理は第2章と同様の方法でエキスを作製した。

味覚センサ分析 得られたエキスは味覚センサに供した。分析条件は第1章2節の条件と同様とした。

官能評価 岡山県水産研究所職員12名 (20~50歳代) をパネルとして2点嗜好試験法による官能評価⁹⁾を行った。ここでは8月と10月のヒラを用い、前述の方法でエキスを作製して塩味および旨味の比較を行った。エキスは左右に1つずつ配置し、左の試料に対して旨味および塩味が強ければ+1点を加点し、同等であれば0点、弱ければ-1点で判断させた。

統計処理 外部形態、一般成分分析、遊離アミノ酸組成分析および味覚センサ分析においては一元配置分散分析 (ANOVA) を行い、有意差が認められた項目についてはシェフェ (Scheffe) の多重比較検定を行った。さらに、一般成分、遊離アミノ酸および味覚センサ分析で得られたデータについては、主成分分析およびクラスター分析を行った。官能評価については、どちらか片方が選ばれる回数は $P = 1/2$ の2項分布に従うことを用いて、2者間で有意差の有無を検定した。有意水準は5%とし、検定にはMS-Excelのアドインソフトであるエクセル統計を用いた。なお、ここでは藤田ら¹¹⁹⁾の報告に基づき、1~3月を冬季、4~6月を春季、7~9月を夏季および10~12月を秋季とし、季節ごとの統計処理については、3か月間のデータを一括して一元配置分散分析および多重比較検定を行った。

結果

外部形態 試験に供したヒラの各月における平均標準体長および体重をTable 3-7に示した。各月における標準体長は1月に最小値である 45.2 ± 1.2 cmを、8月に最大値である 50.8 ± 6.4 cmを示したが、有意差は認められなかった。各月における体重は10月に最小値である 606.0 ± 103.8 gを、6月に最大値である 1046.7 ± 149.2 gを示し、両者間で有意な差が認められた ($P < 0.05$)。

生殖腺重量比 生殖腺重量比の推移をFig. 3-6に示した。生殖腺重量比の経月変化について、1~5月の間は2.0%を下回って推移したものの、6月には有意に増加し ($P < 0.01$)、7月には最大値である9.3%を示した。しかし、8月以降は減少し、12月には2.0%となった。また、季節変化でみると、春季および夏季はその他の季節と比べて有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

肥満度 肥満度の推移をFig. 3-7に示した。肥満度は有意な経月変化が認められ ($P < 0.05$), 3月に最低値である0.61%を示し, その後増加して6月に最大値である0.79%を示した。その後, 7, 8月は減少したものの, 9月以降は高い値を示した。なお, 肥満度の有意な季節変化は認められなかった。

一般成分分析 一般成分の推移をFig. 3-8に示した。水分は7月に最大値である79.5±0.7%を, 10月に最小値である76.5±1.0%を示し, 有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。灰分は4月に最大値である1.9±0.1%を示し, 他の月と比較して有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。粗脂肪は1月に最大値である1.3±0.2%を, 7月に最小値である0.2±0.1%を示し, 有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。粗タンパク質は9月に最大値である22.7±1.4%を, 8月に最小値である19.6±0.7%を示したものの, 有意な経月変化は認められなかった。なお, 水分と粗脂肪においてのみ有意な季節変化が認められ ($P < 0.05$), 水分は夏季が有意に高く ($P < 0.05$), 粗脂肪は冬季に有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

遊離アミノ酸分析 遊離アミノ酸量の推移をFig. 3-9に示した。遊離アミノ酸総量は11月に最大値である376.2±25.6mg/100gを, 8月に最小値である176.5±12.9mg/100gを示し, 有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。さらに, 船津ら⁸⁹⁾の報告に基づき, 呈味別に

遊離アミノ酸量の合計値を算出したところ, 旨味アミノ酸量 (グルタミン酸およびアスパラギン酸) は, 9月に最大値である3.3±0.8mg/100gを, 5月に最小値である0.1±0.1mg/100gを示したが, 有意な経月変化は認められなかった。苦味アミノ酸量 (フェニルアラニン, スレオニン, アルギニン, ロイシン, イソロイシン, バリン, メチオニン, ヒスチジンおよびリジン) は, 9月に最大値である50.4±91.0mg/100gを, 4月に最小値である12.2±4.9mg/100gを示し, 有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。なお, これらの項目においては, それぞれ有意な季節変化が認められ, 遊離アミノ酸総量および苦味アミノ酸量は秋季が有意に高く ($P < 0.05$), 旨味アミノ酸量は夏季が有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

Table 3-7 Details of elongate *ilisha* *Lisha elongate*, samples collected from Harima-Nada, Japan

Month	<i>n</i>	Standard length (cm)	Total wet weight (g)	
Jan	9	45.2±1.2	668.1± 59.8	a
Feb	9	50.0±3.3	901.0±138.3	ab
Mar	10	46.8±2.9	645.6±155.5	a
Apr	10	45.5±3.0	626.8±111.6	a
May	9	47.4±2.6	811.4±196.1	ab
Jun	10	49.8±3.8	1046.7±149.2	b
Jul	9	47.9±1.9	756.6± 21.0	ab
Aug	9	50.8±6.4	853.6±276.8	ab
Sep	9	50.7±4.5	1029.5±159.2	b
Oct	10	46.8±2.3	606.0±103.8	a
Nov	10	46.8±2.1	774.7± 80.1	ab
Dec	10	48.7±2.9	831.5±113.3	ab

Results are represented as means±standard deviation (SD).

Different alphabetical letters (final column) indicate significant differences in the average weight of fish from each month ($P < 0.05$).

n indicates sample size.

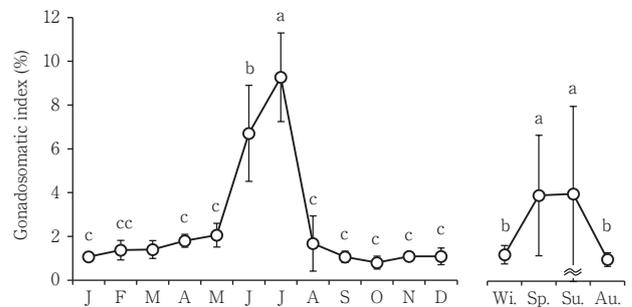


Fig. 3-6 Monthly (left) and seasonal (right) changes in the gonadosomatic index of elongate *ilisha* *Ilisha elongata* at Harima-Nada. Nine to ten adult female samples were analyzed each month. For statistical comparisons, seasonal data were used. Data are means±standard deviation (SD), and different alphabetical letters above each bar indicate significant differences ($P < 0.05$) among sample groups. Each season represent 3 months, winter (Wi), spring (Sp), summer (Su) and autumn (Au).

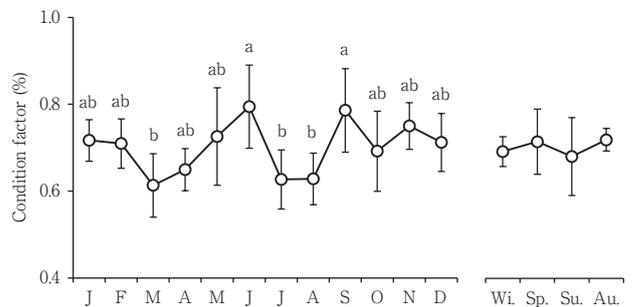


Fig. 3-7 Monthly (left) and seasonal (right) changes in the condition of elongate *ilisha* *Ilisha elongata* at Harima-Nada. Data are means±standard deviation (SD), based on 9-10 samples per month. Different alphabetical letters above each bar indicate significant differences ($P < 0.05$) among sample groups. Each season represents 3 months, winter (Wi), spring (Sp), summer (Su) and autumn (Au).

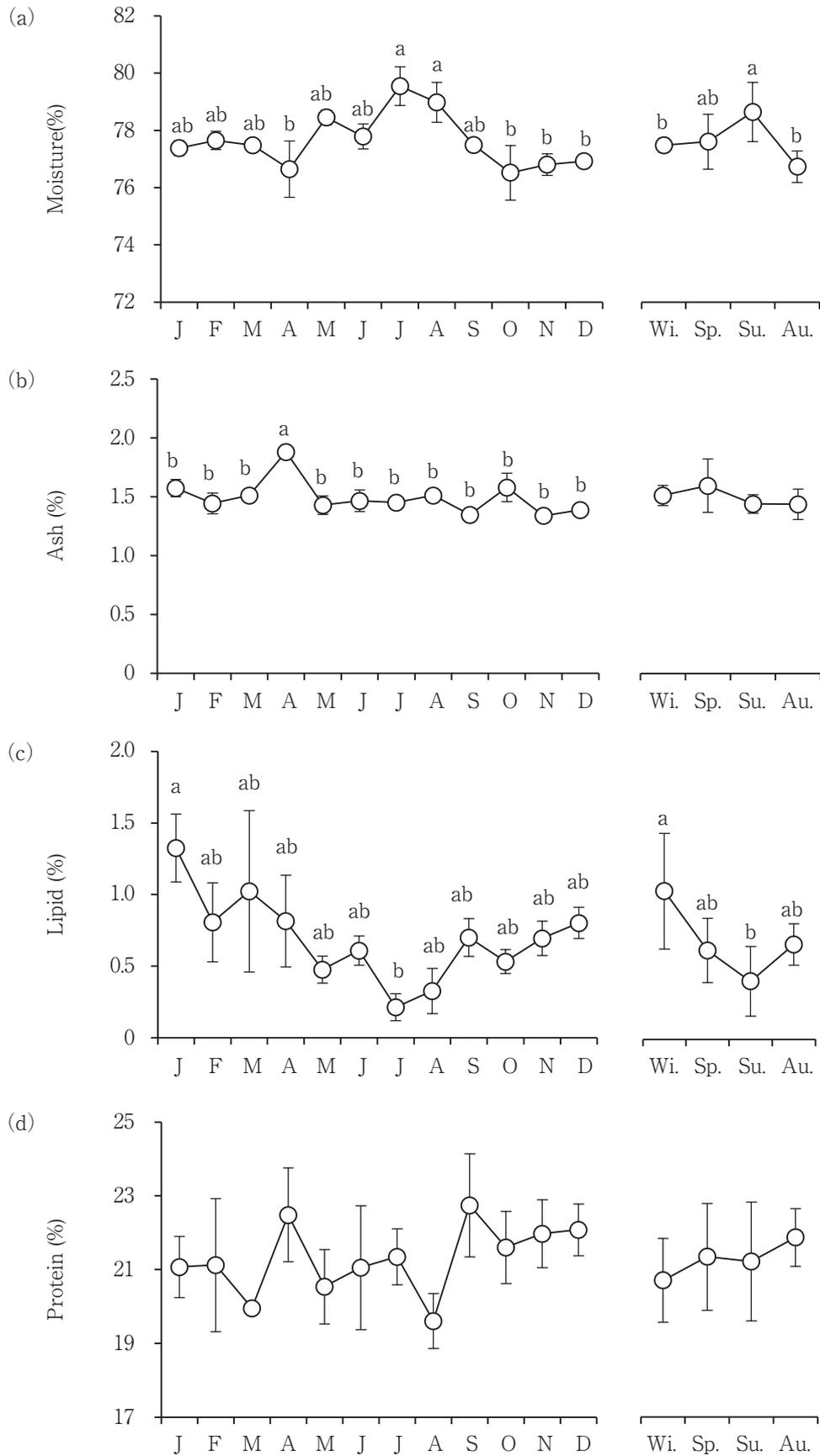


Fig. 3-8 Monthly (left) and seasonal (right) changes in the proximate composition of elongate ilisha *Ilisha elongata* at Harima-Nada for (a) moisture, (b) ash, (c) lipid and (d) protein, from muscle tissue. Data are means \pm standard deviation (SD), based on 9-10 samples per month. Different alphabetical letters above each bar indicate significant differences ($P < 0.05$) among sample groups. Each season represents 3 months, winter (Wi), spring (Sp), summer (Su) and autumn (Au).

味覚センサ分析 味覚センサ分析結果をFig. 3-10に示した。補完加算処理により、呈味の評価が可能であると考えられた項目は旨味先味、旨味後味、苦味先味および塩味であった。旨味先味は8月に最低値である 0.0 ± 0.0 を、10月に最大値である 2.8 ± 0.7 を示し、有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。旨味後味は6月に最低値である 0.0 ± 0.0 を、4月に最大値である 4.7 ± 2.0 を示し、有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。苦味先味は9月に最低値である 0.0 ± 0.0 を、3月に最大値である 0.7 ± 0.3 を示したものの、有意な経月変化は認められなかった。塩味は12月に最低値である 0.0 ± 0.1 を、4月に最大値である 4.6 ± 0.4 を示し、有意な経月変化が認められた ($P < 0.01$)。なお、これらの項目においては、それぞれ有意な季節変化は認められなかった。

官能評価 官能評価結果をTable 3-8に示した。8月と10月のヒラエキスを比較した結果、有意差は認められなかったものの、旨味については10月が7点と8月より4点高く、塩味については10月が3点で8月より1点低いものとなった。

考 察

本節では、播磨灘におけるヒラの産卵期と筋肉成分および呈味の季節変化を明らかにし、ヒラ資源の利用促進を目的として分析を行った。

魚体筋肉の成分については、体長差によって脂質やタウリンの量が異なることが示唆されているが¹³⁹⁾、試験に供したヒラの標準体長は月別で有意な差は認められなかったため (Table 3-7)、魚体差によって成分に差が生じた可能性は低い。さらに、産地および分析部位も統一していたことから、今回の結果は季節変化による影響が大きいものとして扱った。

生殖腺重量比は7月に最高値を示したことから (Fig. 3-6)、瀬戸内海東部海域における本種の産卵期は6～8月であると考えられた。このことは、益井ら¹³⁸⁾が周年の調査ではないものの、産卵期は6～8月と推定していること、備讃瀬戸において6～8月にヒラの魚卵が確認

されている¹⁴⁰⁾ ことから支持される。さらに、粗脂肪は冬季に多く、水分は夏季に多かった (Fig. 3-8)。一般的に、魚類は水温の低下に伴い、脂質をはじめとした栄養を体内に蓄積し、産卵期にはそれらをもとに生殖腺を発達させる¹⁴¹⁾。また、減少した脂質は代替として水分が補填されるため、両者は負の相関関係にあることが知られている¹⁴²⁾。実際に、ヒラにおいても筋肉中における水分 (x) は粗脂肪量 (y) と有意な負の相関関係 ($y = 1.9 \times 10^{-1} x + 15.4, r = -0.59$) が認められた ($P < 0.05$, Fig. 3-11)。したがって、冬季は脂質を蓄積し、それをもとに夏季に生殖腺を発達させたことで水分が増加したと考えられ、ヒラにおいても筋肉成分の季節変化は産卵期の影響を強く受けていることが示唆された。一方、有明海におけるヒラの産卵期は5～7月とされていることから^{143, 144)}、今回の筋肉成分の季節変化は海域によって若干異なる可能性がある。

肥満度は3月および7, 8月に有意に減少した (Fig. 3-7)。魚類における肥満度は摂餌量の減少にともなって低下する¹⁴⁵⁾。さらに、摂餌の低下は、低水温期および産卵期において認められることから^{146, 147)}、冬季にあたる3月は低水温の影響、夏季にあたる7, 8月は産卵による摂餌低下により肥満度が減少したと考えられた。一方、春季にあたる4～6月は連続した肥満度の増加傾向が認められたことから (Fig. 3-7)、摂餌が増加に転じたと考えられた。なお、今回の肥満度の結果は漁法の関係上、網の目合いを抜ける小型個体はサンプリングされておらず、体長が一定以上の漁獲個体群に対するものを反映しているため (Table 3-7)、小型個体を含む天然個体群の季節変化とは若干差異が生じている可能性がある。一方、遊離アミノ酸総量は夏季に低く、秋季に高かった (Fig. 3-9a)。このことは、夏季は産卵による摂餌および栄養状態の低下を、秋季は産卵後の回復のため、摂餌が活発になったことを示唆している。以上のことから、春季と秋季はヒラの摂餌が活発に行われている一方、冬季と夏季は摂餌が低下している可能性が高いと考えられた。

肥満度と粗脂肪量との関係については、冬季から春季にかけては有意な相関は認められなかった (Fig. 3-12 a)。これは、冬季は摂餌の低下にともなって蓄積していた栄養を消費していたため、春季は摂餌が活発に行われているものの、得られた栄養は主に性成熟のために消費していたため、相関が認められなかったと考えられた。一方、夏季から秋季にかけては有意な相関が認められたことから ($P < 0.05$, Fig. 3-12b)、産卵後については、摂餌によって得られた栄養はそのまま蓄積されていると

Table 3-8 Sensory evaluation of elongate ilisha *Ilisha elongata* extracts

	Aug.	Oct.
Umami	3	7
Saltiness	4	3

Records are for the number of people that identified the dominant taste of elongate ilisha as either umami or salty, during the month of August with October.

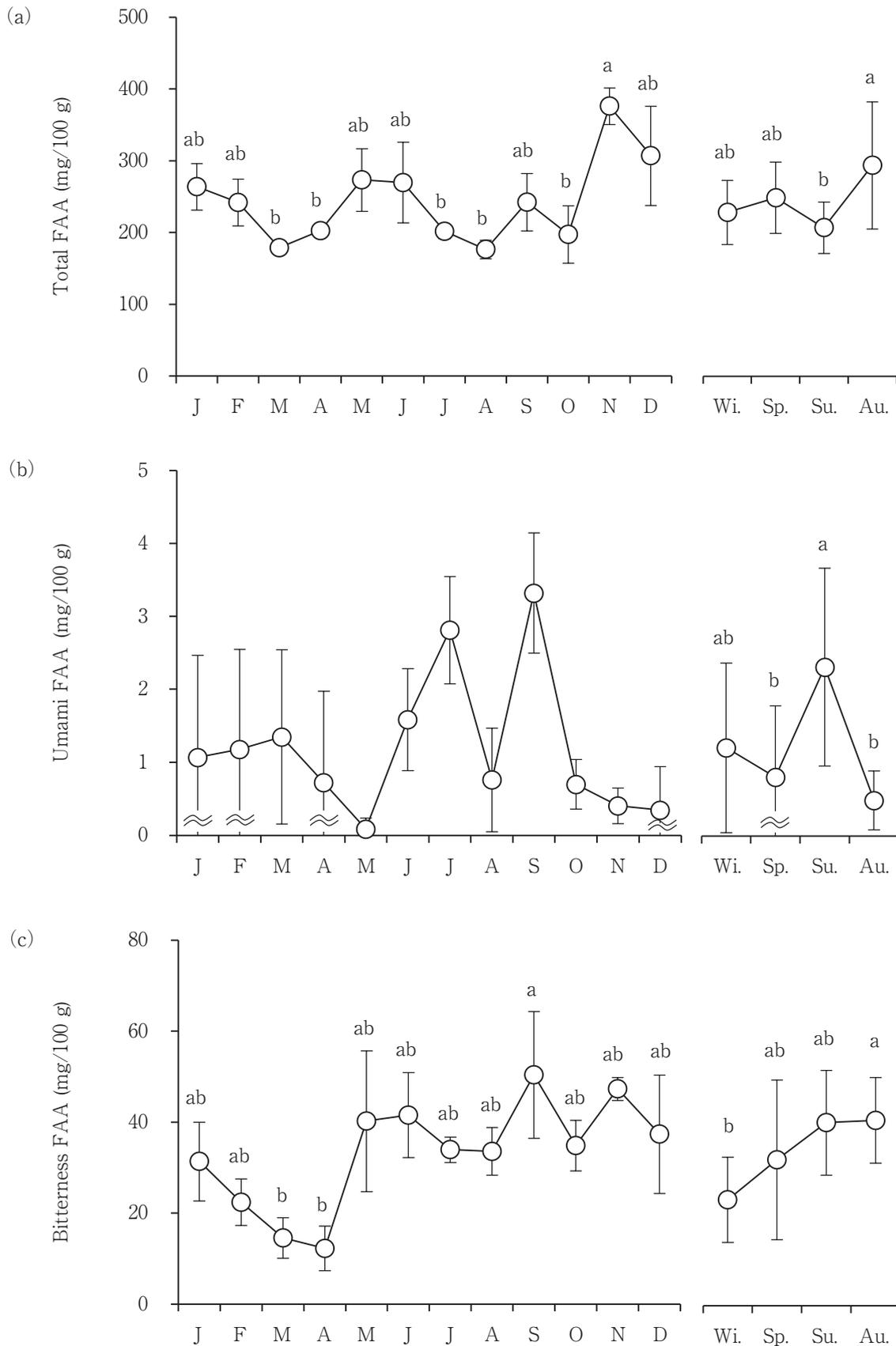


Fig. 3-9 Monthly (left) and seasonal (right) changes in the free amino acid (FAA) content of elongate ilisha *Ilisha elongata* at Harima-Nada. (a) Total free amino acids content, (b) free amino acids content of compounds related to the umami taste (glutamic acid and aspartic acid), and (c) free amino acids content of compounds related to bitterness (phenylalanine, threonine, arginine, leucine, isoleucine, valine, methionine, histidine and lysine). Data are means \pm standard deviation (SD), based on 9-10 samples per month. Different alphabetical letters above each bar indicate significant differences ($P < 0.05$) among sample groups.

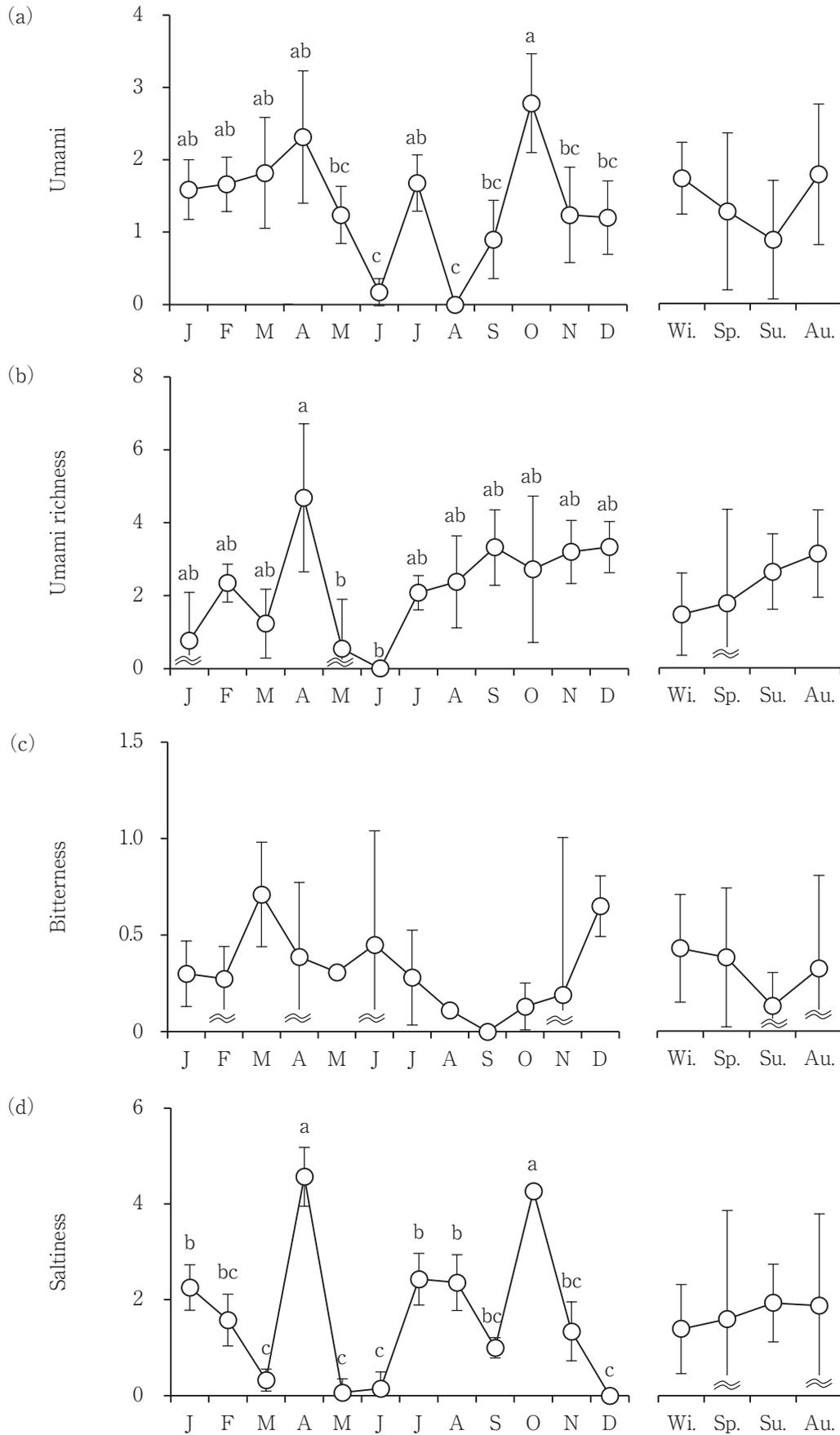


Fig. 3-10 Monthly (left) and seasonal (right) changes in the taste of elongate ilisha *Ilisha elongata* in Harima-Nada evaluated using an electronic taste-sensing system to detect (a) umami, (b) umami richness, (c) bitterness and (d) saltiness. Data are means \pm standard deviation (SD), based on 9-10 samples per month. Different alphabetical letters above each bar indicate significant differences ($P < 0.05$) among sample groups.

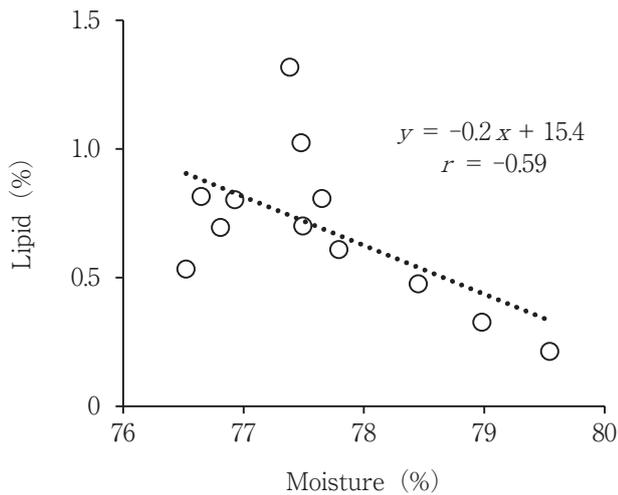


Fig. 3-11 Relationship between moisture and lipid content of muscle tissue in elongate ilisha *Ilisha elongata* at Harima-Nada.

考えられた。

遊離アミノ酸を呈味別に分類して解析を行ったところ、有意な経月変化は苦味アミノ酸で認められたが、旨味アミノ酸では認められなかった (Fig. 3-9)。一方、味覚センサによる呈味評価を行ったところ、有意な経月変化は旨味先味および旨味後味で認められたが、苦味先味では認められなかった (Fig. 3-10)。このように、遊離アミノ酸量と味覚センサにおいて整合性が認められなかった。これは、遊離アミノ酸以外にも旨味はイノシン酸⁶¹⁾が、苦味はヒポキサンチン¹⁴⁸⁾などが関与しているため、味覚センサの結果と一致しなかったと考えられた。したがって、今後は核酸関連物質など、遊離アミノ酸以外の呈味関連物質も分析し、整合性を検討する必要がある。

さらに、8月と10月のヒラエキスを官能評価にて比較した結果、旨味は10月に強く、塩味は同月に弱い傾向が認められた (Table 3-8)。一方、味覚センサ分析の結果、旨味先味は8月が 0.0 ± 0.1 、10月が 2.8 ± 0.7 であり、塩味は8月が 2.4 ± 0.6 、10月が 4.3 ± 0.1 であり、それぞれ10月のほうが有意に高く ($P < 0.05$)、旨味については官能評価の結果と一致していた。塩味の結果が一致しなかった理由については、塩味による旨味の対比効果により¹⁴⁹⁾、官能評価では塩味が感じにくくなっていた可能性がある。一方、旨味の官能評価で有意差が認められなかった理由として、先味と後味を区別せずに旨味を評価していたことが原因であると考えられた。実際に、味覚センサによる評価では、旨味後味は8月が 2.4 ± 1.3 、10月が 2.7 ± 2.0 であり、ほぼ同じ値を示していたため、旨味の差を感じにくくなっていた可能性が高い。そのため、今後は先味と後味を区別した官能評価を実施する必要がある。

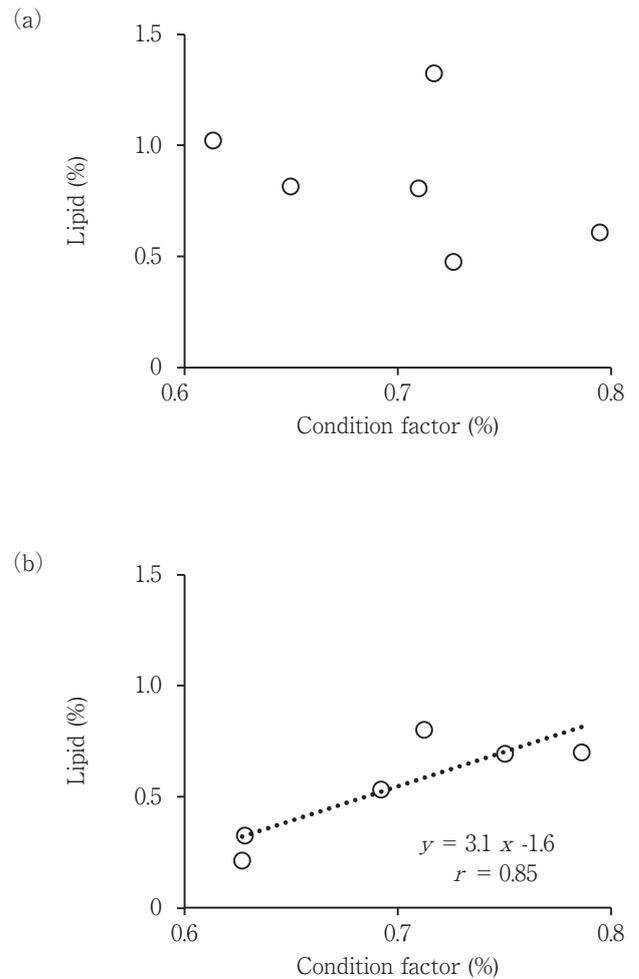


Fig. 3-12 Relationships between condition and lipid content in the muscle tissue of elongate ilisha *Ilisha elongata* at Harima-Nada, during (a) winter and spring, (b) summer and autumn.

る。しかしながら、官能評価では8月より10月の旨味が強い傾向が認められ、味覚センサにおいても同じ傾向が認められた。官能評価と味覚センサの整合性については、ガザミにおける旨味の評価が一致していた⁹¹⁾ことから支持される。したがって、味覚センサによる旨味は官能評価の結果と整合していると考えられたため、以下の分析に用いた。

有意な経月変化が認められた分析項目 (粗脂肪量、遊離アミノ酸総量、旨味先味および旨味後味) の結果を用いて主成分分析を行った (Fig. 3-13)。なお、水分は粗脂肪量と負の相関関係にあること (Fig. 3-11)、一般的に魚類筋肉中における灰分は経月変化を示さないことから、ここでは両者を除外して分析を行った。分析の結果、負荷量 (Table 3-9) における寄与率は65.6%であり、やや低い値を示したものの、第1主成分の固有ベクトルは旨味先味、旨味後味および粗脂肪量の順に高い正の値を示した。近年、脂については脂肪受容体が口腔内で観

察されたため、「脂肪味」が第六の呈味候補として考えられており¹⁵⁰⁾、脂の添加による甘味や旨味の増強効果が報告されている⁵⁴⁾。したがって、第1主成分は旨味の程度を反映していると推定した。第2主成分の固有ベクトルは粗脂肪、遊離アミノ酸総量および旨味先味の順に高い正の値を示したことから、総合的な呈味の程度を反映していると推定した。また、クラスター分析の結果、ヒラは呈味別に9月および11～3月(Aグループ)、4月および10月(Bグループ)、5～8月(Cグループ)の3グループに大きく分類され、このうちAグループは呈味が濃厚、Bグループは旨味が強い、Cグループはあっさりした呈味が特長であると考えられ、ヒラにおける月別の呈味特性が明らかとなった。

以上の結果から、筋肉成分および呈味は有意な季節変

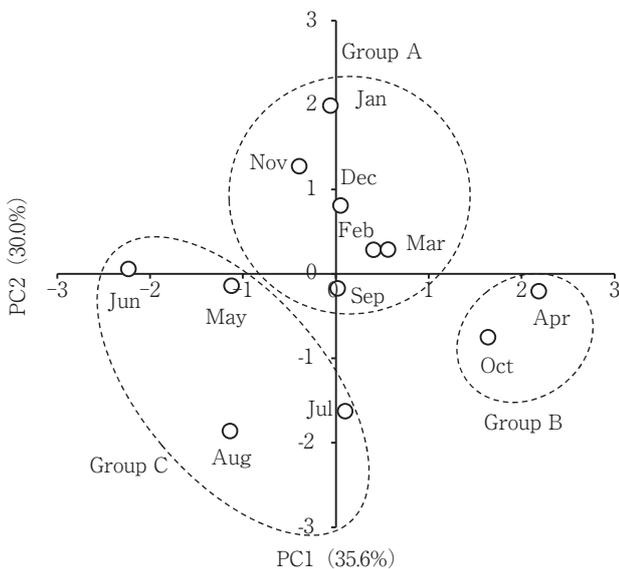


Fig. 3-13 Principal component analysis (PCA) and cluster analysis conducted using the results for lipid content, total free amino acid content, umami and umami richness in samples of elongate ilisha *Ilisha elongate*, for each month of sampling.

Table 3-9 Eigenvalues, proportion of variation explained, and factor loadings based on the correlation matrix for taste

	PC1	PC2
Eigenvalue	1.4	1.2
Proportion (%)	35.6	30.0
Factor loading		
Lipid	0.25	0.85
Umami	0.88	0.12
Umami richness	0.67	-0.12
Free amino acids	-0.35	0.67

化を示し、産卵期と密接な関係にあることがわかった。以下からはこれらの結果を用いて、ヒラの生物学的特性と筋肉成分および呈味の季節変化について考察した。

冬季における肥満度、粗脂肪量および遊離アミノ酸総量はそれぞれ減少傾向を示したことから、冬季は摂餌の低下および体内に蓄積した栄養が徐々に消費されている、いわゆる越冬期にあたると考えられた。呈味においては、冬季はAグループに該当しており、これは粗脂肪の影響によって「脂肪味」が加わり、呈味が濃厚になったためと考えられた。

春季は肥満度および遊離アミノ酸総量が増加に転じていたことから、摂餌行動が活発化したと考えられ、産卵準備期にあたると考えられた。呈味においては、4月(Bグループ)は旨味が強いことが示唆されたものの、5、6月(Cグループ)はあっさりした呈味になったと考えられた。これは、春季終盤から遊離アミノ酸が代謝に加えて性成熟のための栄養源としても消費されたため、呈味が変化したと考えられた。

夏季は産卵期にあたる考えられ、摂餌の低下により肥満度、粗脂肪量および遊離アミノ酸総量が減少に転じたと考えられた。特に、遊離アミノ酸は産卵のための栄養源として消費された可能性があり、そのため7月および8月(Cグループ)はあっさりとした呈味になったと考えられた。一方、9月の呈味はAグループに該当しており、遊離アミノ酸総量も増加に転じるなど、7、8月と異なる動向を示したことから、9月は産卵後の回復期にあたる考えられた。

秋季は遊離アミノ酸総量の結果から、摂餌が活発になったと同時に栄養蓄積も行われていたと考えられたため、越冬準備期に相当すると考えられた。呈味においても、この時期は粗脂肪および遊離アミノ酸総量が高い値を示したため、10月(Bグループ)は旨味が強く、11、12月(Aグループ)は呈味が濃厚になったと考えられた。

本節ではヒラの筋肉成分および呈味の周年変化を明らかにし、生物学的背景と関連づけて考察した。一般的に、魚介類における呈味の旬は、脂質をはじめとした各種成分が蓄積されて呈味が良好になる時期とされており、ヒラについては冬季から初夏が旬とされ、夏季はやや呈味が低下すると言われている。本節においてもヒラの呈味は冬季に濃厚になり、夏季にあっさりになるといった季節変化が認められたが、これは産卵期を中心とした筋肉成分の変化に起因することが示唆された。したがって、ヒラにおける呈味の旬は産卵を中心とした生物学的周期と密接な関係にあることが明らかとなった。今後、ヒラ

における資源管理型漁業の導入に寄与するとともに、呈味特性を活かした調理方法を考案するなど、消費拡大に向けた活動を実施する必要がある。また、岡山県では江戸期からヒラを食する習慣が定着し、かつ郷土料理の具材としても重宝されてきたことから、このような歴史的な背景と合わせて、本研究で明らかにしたヒラの呈味特性をPRすることで、より他県産との差別化が明確にできると考えられた。

総合考察

第1節 世界の漁業生産動向と岡山県の現状

世界の漁業生産量は1984年において8,786万tであったのに対し、2015年には19,977万tと、この30年間でおよそ2倍に増加している。さらに、これらを漁業種類別で比較すると、'15年における海面漁船漁業は8,229万tで'84年の1.1倍、内水面漁船漁業は1,141万tで2.0倍、海面養殖業は5,677万tで9.0倍、内水面養殖業は4,868万tで12.3倍となっている¹⁵¹⁾。このように、漁船漁業の増加率は頭打ちになっている一方、近年は養殖業が急激に増加していることから、今後は養殖業の重要性が増すと考えられる。特に、ノリやワカメなどの藻類養殖が養殖生産額全体の約56%を、カキやホタテガイなどの貝類養殖が約33%を占めていることから、これらの養殖対象種は今後も水産業を支えていくものと考えられる。

一方、我が国の漁業生産量は世界の動向と相反する形となっており、'84年に1,282万tのピークを示したものの、'16年には436万tと、この30年間で約6割減少している。その内訳について、沖合漁業は54%から44%へ減少したのに対し、海面養殖業は9%から24%、沿岸漁業は18%から23%へ増加していることから、我が国では海面養殖業および沿岸漁業の重要性が増しているといえる。さらに、漁業生産額においても減少傾向が認められており、'15年は'90年と比較して約4割減少している¹⁾。この減少傾向は岡山県においても例外ではなく、'98年における本県の漁業生産額は約104億円であったのに対し、'14年には約70億円にまで減少した。なお、'14年における漁業生産額約70億円のうち、ノリ養殖が約21億円、カキ養殖が約24億円、ガザミやヒラなどの魚介類が漁獲される沿岸漁船漁業が約24億円となっており²⁾、これらは岡山県における主幹漁業であると言える世界および我が国の動向から見ても、これらは今後も本県における漁業の中心的役割を担うものと予想されるものの、前述のとおり生産額は々県の減少傾向にあるため、現場からは水産物

の単価向上が強く求められている。そこで、本研究では主幹漁業の対象魚種であるノリ、カキ、ガザミおよびヒラについて、機器分析による品質評価を行い、単価向上の可能性について言及した。以降は本研究で得られた結果をもとに、品質評価の可能性および水産物の高付加価値化を図るうえで必要な技術開発や現場への普及方策について考察した。

第2節 乾海苔の高付加価値化

我が国におけるノリ養殖は有明海をはじめ、瀬戸内海や東京湾、伊勢湾などで行われており、そのほとんどはスサビノリ系統の品種を用いた養殖が行われている¹⁵²⁾。2017年におけるノリの生産量は304千tで、養殖総生産量のうち最も多い31%を占めている。また、生産された乾海苔は業務用として消費されるものが最も多く（70%）、次いで家庭用（26%）、贈答用（4%）の順となっており¹⁵³⁾、特に業務用として消費される乾海苔はコンビニ等で販売されているおにぎり用として使われることが多く、身近な食材として親しまれている。このように生産量が多く、かつ身近で消費される機会が多いことから、乾海苔は日本の食文化を支える重要な養殖対象種であるといえる。

一方、岡山県におけるノリ養殖の歴史は古く、1885年から木の枝や竹を垂直に立てた「粗朶ひび」を浅海に設置し、乾海苔が製造されるようになった。その後、海中に支柱を立てて網を張る「支柱式」が行われ、さらに沖合の漁場でも網を浮かべて養殖を行う「浮き流し養殖」によって生産効率が飛躍的に向上し、現在に至っている。しかし、近年では水温上昇にともなう生産期間の短縮¹⁵⁴⁾、消費低迷³⁴⁾ および色落ち被害¹⁵⁵⁾などが問題となっており、生産額は減少傾向にある。持続可能なノリ養殖のためには、漁家収入に直結する乾海苔単価の向上が必要不可欠であると考え、第1章では岡山県の年間漁業生産額のうち約26%を占めるノリに関して、栄養塩と単価の関係および単価形成要因と呈味特性を明らかにするとともに、加工品としての可能性を検討し、単価向上の可能性を模索した。

まず、栄養塩濃度の観点から栄養塩濃度の低下によるノリの色落ち被害は全国的にも深刻な問題となっているが⁴¹⁾、色落ちが発生する栄養塩濃度の根拠は明確ではなく、さらにノリの色調と乾海苔単価の関係についても明らかにされていなかった。そこで、第1章1節では栄養塩濃度の観点から乾海苔の単価向上の可能性について検討するため、栄養塩濃度、ノリの色調および乾海苔単価

の関係を一貫して調べた。その結果、3者間で有意な相関関係が認められたため、栄養塩濃度の上昇により乾海苔の単価が向上する可能性が示唆された。

栄養塩管理の在り方については、瀬戸内海環境保全特別措置法¹⁵⁶⁾の附則において、「政府は瀬戸内海における栄養塩類の適切な管理に関する調査を行い、その成果を踏まえ、栄養塩類の管理の在り方について検討を加える」旨が規定されている。それを受け、瀬戸内海の関係府県では施肥、海底耕耘および下水処理施設の栄養塩管理運転¹⁵⁷⁾など、栄養塩の供給によってノリの色調を回復・維持させる試験研究が試みられている。そのため、栄養塩濃度とノリの色調の関係を明らかにした本節の結果は、今後の栄養塩管理の在り方における調査および研究を行ううえで重要な基礎的知見であるといえる。一方、栄養塩濃度については、単純に増やせば良いというわけではなく、地元のコンセンサスや赤潮等への対策と並行して慎重に見直していく必要がある。以上のことから、本節の結果は今後の栄養塩濃度の適切な管理を検討するうえで重要な知見であり、さらに、赤潮対策等を立案しつつ栄養塩濃度を見直すことで、乾海苔単価の向上に寄与できると考えられた。

続いて、乾海苔の単価は色調、光沢、口どけの良さといった複雑かつ多数の要因に影響されるため、乾海苔品質と単価の関係は明確ではなく、そのため現場では高級海苔の品質の良さが単価に反映されにくいという問題があった。そこで、第1章2節では品質評価の観点から乾海苔の単価向上の可能性を検討するため、上位等級にあたる1等級から3等級における乾海苔の色調、咀嚼値および呈味を機器分析にて評価した。その結果、乾海苔の色調、咀嚼値および旨味先味と単価の間にそれぞれ有意な相関関係が認められ、口どけが良く、かつ旨味が強い乾海苔ほど単価が高いことが明らかとなった。このように、高級海苔を差別化するための知見が得られたため、今後はこの知見をもとに一般品との差別化を図っていく必要がある。一般品との差別化を試みた事例として、佐賀県では乾海苔のタンパク質含量が50%以上という基準を設けたブランド海苔「有明一番」を立ち上げ、データを基づいた乾海苔の差別化によって単価向上を図る事例が報告されている¹⁵⁸⁾。このように、本県のブランド海苔である「新の頂」についても、一般品と比べて色調が黒く、口どけが良くて旨味があるといった根拠をデータで示して売り出す必要がある。

また、今回の結果から、色調以外にも呈味が単価形成における重要な要因であることが明らかとなったため、

呈味の向上も単価向上のためには必要不可欠であると考えられた。乾海苔の生産工程における呈味向上の技術開発として、半田⁶⁵⁾は刈り取り時間を夜間から昼間に変更することで遊離アミノ酸含量が増加すること、森川ら¹⁵⁹⁾は採苗密度が低い網ほど、乾海苔中の遊離アミノ酸量が多くなり、かつ食味の評価が高くなることを報告している。さらに、川島¹⁶⁰⁾は、乾海苔の製造工程において、乾燥の温度と湿度を調整することにより、旨味成分であるイノシン酸含量を高め、旨味を増強した乾海苔製造の可能性を示唆している。このように、生産および製造工程において乾海苔の呈味が向上する可能性が示されていることから、これらの工程を改善することで旨味などの呈味が増強され、単価が向上する可能性がある。したがって、今後はこれまでの見た目（色調）重視の製法から、品質（呈味）重視の製法へと生産者および関係者の意識の方針転換を図るとともに、高品質の海苔の生産に注力して単価向上を図っていく必要がある。

岡山県では岡山県漁連が中心となって、前述の高級海苔「新の頂」のほか、過去には色落ち海苔を用いた佃煮の試作品開発が、現在では乾海苔を用いた加工品が開発されるなど、新たな商品開発による乾海苔の付加価値向上が図られている。このように、現場からは新たな乾海苔の需要を開拓するための加工品開発が求められている中、水産研究・教育機構が新たに開発した海藻麴を活用し、色落ちや規格外といった商品価値が低い乾海苔のタンパク質をアミノ酸に分解して呈味を増強させることで、新たな付加価値が付与された加工品が開発できると考えられた。そのため、第1章3節では呈味が優れた新たな乾海苔発酵食品を開発することを目的として、海藻麴を用いた熟成海苔の検討を行った。

熟成海苔を開発するにあたり、最適な発酵条件および最終産物の品質評価を行う必要があったため、1等級および6等級の乾海苔および海苔麴を混合して培養したところ、120日間10℃の条件下で最も遊離アミノ酸が増加しており、0日目と比較して1等級は約7倍、6等級は約3倍の増加が認められた。また、得られた熟成海苔の呈味を評価したところ、海藻麴を加えることによって酸味などの呈味が増強していた。このように、乾海苔を海藻麴とともに発酵させることで遊離アミノ酸が増加し、さらに旨味や酸味が付与され、梅肉に似たこれまでの乾海苔加工品にはない呈味が発現していたため、新たな発酵海苔食品としての可能性が示唆された。

近年、水産物における熟成手法の開発が注目されており、南ら¹⁶¹⁾は、長期熟成を行った魚介類の呈味成分お

よびテクスチャーを分析し、遊離アミノ酸の増加や水分含量の低下などが認められたことから、熟成によって新たな呈味特性が付与されたことを明らかにしている。また、キハダ *Thunnus albacares* 塩漬魚肉に食用白カビ *Penicillium. sp* を使用し、旨味が増した熟成魚肉が開発されるなど¹⁶²⁾、新たな付加価値が付与された事例が報告されている。したがって、本節で示した熟成海苔に関しても乾海苔の高付加価値化が期待できると考えられた。特に、海藻麴に関しては、アカモク麴などの新たな海藻麴が製造されており¹⁶³⁾、これらと乾海苔を混合して熟成させることで、新たな呈味を発現できる可能性がある。しかし、現段階では生菌数が多く、食品としての安全性が実証されていないなど、検討すべき課題が残されているため、今後も引き続き検討を行い、熟成海苔の製造技術を確立させる必要がある。

第3節 カキの高付加価値化

我が国におけるカキ養殖は瀬戸内海区をはじめ、太平洋北区や太平洋中区などで生産されており、2017年における生産量は174千tとなっている。これは養殖総生産量の約18%を占めており、ノリ養殖に次いで第2位の生産量となっていることから、カキは重要な養殖対象種であるといえる。なお、都道府県別では、広島県が最も多い103千t、次いで宮城県24千t、そして岡山県の14千tとなっている⁹³⁾。

岡山県におけるカキ養殖の歴史は、1800年代に干潟に石を並べ、そこで天然のカキを採取したという記録が残っている。その後、1950年頃に他県産の種苗を導入して簡易的な垂下養殖試験を行ったことをきっかけに、本格的なカキ養殖が始まったとされている。さらに、1970年代には筏式養殖への移行が進み、従来不可能であった沖合での養殖が可能になったため、生産量が飛躍的に増加した。しかし、現在では夏におけるへい死¹⁶⁴⁾、生産期における身入り不良¹⁶⁵⁾、採苗の不安定化¹⁶⁶⁾ および消費低迷¹⁶⁷⁾ といった問題が顕在化しており、経営の安定化が急務となっている。特に、産地間競争が激化している近年においては、差別化による単価向上は経営の安定化を図るうえでも重要であり、生産現場からもブランド力強化を求める声が上がっている。

第2章では岡山県産カキの品質評価を行い、差別化による岡山県では県内産のカキを「岡山かき」としてブランド化を図っているものの、呈味特性に関する知見がほとんどなく、多産地との差別化が困難であった。そのため、第2章では岡山県産カキにおける呈味特性を明らか

にするため、味覚センサを用いた呈味の季節変化および年度ごとに他県産カキとの呈味比較を行った。その結果、旨味先味を含む4つの呈味項目において有意な季節変化が認められた。さらに、年度が異なっても岡山県産カキは他県産カキより塩味および旨味後味が強い傾向が認められた。

自県産と他県産におけるカキの呈味を比較した事例は本研究以外にも報告されており、Kitaoka et al.⁹⁰⁾ は広島県、宮城県および長崎県で生産されたカキについて、Murata et al.¹⁶⁸⁾ は宮城県と他県で生産されたカキについて、それぞれ機器分析による客観的な評価を行うことで、自県産カキの呈味特性を明らかにし、差別化を図っている。このように、客観的な呈味評価をもとに差別化を図る事例が報告されていることから、本節の結果は岡山県産カキの差別化を図るうえで重要な知見になりうる。特に、宮城県では生産された「あまころ牡蠣」や「あたまっこカキ」は美味しさの根拠をデータで示し、それをパンフレットに掲載して消費拡大を図っている¹⁶⁹⁾。したがって、今後は得られた知見をパンフレット等で広く現場で普及させ、差別化による単価向上を図る必要がある。

一方、カキの呈味や成分は海域によって異なるとされ、これは海域環境、特に餌となるプランクトンの量や組成が大きく影響しているとされている¹⁷⁰⁾。しかし、カキの呈味や成分は海域によって異なるとされ、これは海域環境、特に餌となるプランクトンの量や組成が大きく影響しているとされている¹⁷⁰⁾。しかし、カキの呈味発現との関係は不明な点が多く、今回の結果においても呈味に差が生じた要因については明らかにすることができなかった。そのため、今後は呈味特性と餌料の関係についても検討を行う必要がある。

第4節 ガザミの高付加価値化

我が国における漁船漁業の漁獲量は、2008年には437.3千tであったのに対し、'18年には335.9千tと、ここ10年間で約2割減少している。この減少要因として、漁業者の高齢化、燃油などのコスト増、資源量の減少、および消費の低迷といった要因が挙げられる¹⁵¹⁾。なかでも資源量の減少と魚の消費低迷は特に重要な問題であり、現場からは出漁しても魚が獲れない、獲れても単価が安いなどといった声が上がっているため、早急に対策を打ち出す必要がある。

資源量の減少について、水産庁は資源調査を行った80系群の資源水準のうち、低位と評価された系群が約44%を占めており、資源量の悪化が深刻な状況になっている

ことを報告している¹⁵¹⁾。このような現状を鑑み、令和2年に施行された改正漁業法では「農林水産大臣は、資源評価を行うに当たっては、すべての種類の水産資源について評価を行うよう努めることとする」と規定され、これにともなって水産庁も'20年に「新たな資源管理の推進に向けたロードマップ」を策定した。そのなかで、水産庁は資源評価対象魚種を現行の50種から200種程度に拡大させるなど、新たな資源管理システムの推進によって令和12年度に漁獲量を444万tまで回復させることを目標としていることから、今後の漁船漁業は資源管理型漁業が重要視されると考えられる。

資源管理型漁業については、「水産物の安定供給の確保と水産業の健全な発展」を基本理念とした水産基本法に基づき、漁業者は水産資源の適正な保存および管理に関する様々な取組を行っている。岡山県においても、サワラの資源回復、底びき網の目合いの制限および小型魚の再放流といった様々な資源管理に係る取組が行われているが、なかでも重要な漁獲対象種の1つであるガザミは、において抱卵ガニの漁獲禁止および水ガニの再放流が積極的に行われている²⁾

しかし、一部の地域では抱卵および水ガニが硬ガニと混獲されて市場に流通する事例が発生しており、資源管理型漁業およびブランド化を推進するうえで障害となっている。そこで、第3章第1節では、品質評価に基づく資源管理型漁業の推進および単価向上を目的として、これらのガザミの品質評価を行ったところ、抱卵および水ガニは硬ガニに比べて旨味が有意に劣っており、かつ遊離アミノ酸やイノシン酸などの旨味に寄与する成分も有意に少ないことが明らかとなった。

ガザミの資源管理については、岡山県以外でも兵庫県¹¹²⁾や福岡県¹⁷¹⁾が稚ガニや抱卵ガニの再放流を行い、ガザミの資源保護に努めている。このように、他県でも再放流が行われていることから、本節の結果は岡山県のみならず、他県でも再放流の取組を推進するための根拠として活用できると考えられる。さらに、抱卵ガニにおける1回あたりの産卵量は200~300万粒とされており、かつシーズン中には数回産卵することから¹⁷²⁾、再放流を行うことで資源の回復が期待できる。また、夏季から秋季にかけて混獲される水ガニは再放流を行うことで、冬季に品質が改善された状態で再び漁獲される可能性があることから⁹⁵⁾、抱卵および水ガニは再放流することが望ましいと考えられた。

さらに、岡山県内の漁業協同組合の職員を対象に、ガザミの単価に関する聞き取り調査を行ったところ、抱卵

および水ガニの市場価格は硬ガニの約1/10になるといった回答が得られたため、これらは漁業所得への貢献度は低いと考えられた。また、他県では蓄養・天然を問わずにガザミの品質が不十分であるものは販売しないといった取組により、ブランド化を図っている事例が報告されている¹⁷³⁾。これらのことから、旨味などの品質が劣る抱卵および水ガニは再放流が適切であると考えられ、再放流を行うことで抱卵および水ガニの市場流通が抑制され、ブランド化による単価向上が図られるとともに、ガザミ資源の増加も期待できると考えられた。

このように市場流通を巻き込んで行うブランド化には漁業者のほかには漁業協同組合や市場関係者の協力が不可欠である。実際に、兵庫県ではガザミの再放流を促すポスターを作製し、漁業者に周知するとともに、市場関係者への啓発活動を行っている¹⁷⁴⁾。今回の知見をもとに、品質、価格および資源の増加を根拠にした再放流を促進するポスターなどを作製し、漁業者や市場関係者へ広く認知させ、市場へ流通させない体制を構築していくことが重要であると考えられる。以上のことから、本研究の結果は資源管理型漁業およびブランド化による単価向上を図るためのきっかけづくりになると考えられた。

第5節 ヒラの高付加価値化

前節で述べたとおり、漁船漁業における魚の消費低迷は大きな問題となっていることから、国は「第3次食育推進基本計画」を定め、学校給食における地場産物の使用割合を増やし、地元で獲れた魚の使用を積極的に取り入れるよう推奨するなど、地魚を中心とした魚食普及を消費拡大のための重要な起点として位置付けている。また、全国漁業協同組合連合会においても、漁師自らが自信を持って勧める水産物を「プライドフィッシュ」として認定して消費者に紹介するなど、魚食普及に資する取組が行われている。

岡山県でも12魚種のプライドフィッシュが選定されており、そのなかにはヒラも含まれている。ヒラはサワラやマナガツオとともに混獲され、岡山県では古くから県民に慣れ親しまれてきた地魚であるものの、近年では若年層を中心に認知度が低下しており、消費量も減少傾向にあるとされている。そこで、第3章2節では、次に低利用魚となったヒラの消費拡大および単価向上を目的として、旨味の季節変化を客観的に評価した。その結果、春季と秋季は遊離アミノ酸が増加していたため旨味が強くなり、冬季は旨味の発現を増強する「脂肪味」が加わったため旨味が濃厚になったと推察された。一方、夏季は

産卵によって筋肉中の粗脂肪および遊離アミノ酸を消費したため、あっさりとした呈味になったと考えられた。

魚類における体成分の季節変化を明確にして消費拡大につなげようとする事例は多く報告されており、大迫¹⁷⁵⁾は、長崎県産マアジ *Trachurus japonicus* における筋肉成分の季節変化を調べ、脂が少ない時期をすり身にするなど、季節別の呈味特性に応じた加工品の検討を行っている。また、広島県ではクロダイ筋肉成分の季節変化を明らかにするとともに¹¹⁹⁾、データに基づいた調理方法を提案するなど、積極的な魚食普及活動が行われている¹⁷⁶⁾。さらに、鳥根県では「どんちっちカレイ」における筋肉成分の季節変化を明らかにし、ブランド力向上のための基礎的な知見として活用する事例が報告されている¹⁷⁷⁾。このように、季節別における成分特性を明らかにすることで、特性に応じた加工や調理方法の提案が可能となるとともに、差別化を図るための基礎的な知見にもなりうる。

実際に、現在岡山県では民間企業や魚市場、飲食店を中心に組織された「ヒラ魚食普及ワーキンググループ」および「岡山水産物流通促進協議会」が地魚の魚食普及活動を精力的に行っている。そのなかで、本研究の結果に基づいたヒラの季節ごとの呈味特性およびそれに基づいた調理方法等を掲載したパンフレットが作製され、イベントや魚市場、飲食店を中心に配布されている。さらには、ヒラを使った加工品が開発され、飲食店等で販売されている。このように、客観的な呈味評価の結果を基に、呈味特性を活かした新たな調理方法や加工品開発の提案といった、新たな手法に基づく魚食普及を進めることで、需要の拡大による単価向上が見込まれると考えられた。以上のことから、本研究で得られた品質評価結果はブランド化や消費拡大を図るうえで重要な知見であり、さらに成果の一部はパンフレットとして現場で活用されているため、今後の魚食普及活動を推進するためのモデルケースとなりうると思われ、県産水産物の高付加価値化および消費拡大を図るうえで大きく貢献できると考えられた。

第6節 機器分析による品質評価の可能性と今後の展開

これまで、機器分析による品質評価結果をもとに、水産物の高付加価値化の可能性について述べた。機器分析に関しては、官能評価と合わせて評価を行った結果、味覚センサは官能評価と傾向が一致していた（第1章第2節、第3節、第2章および第3章）。このように、味覚センサは官能評価の結果を反映していたことから、味覚

センサを用いた手法は水産物の呈味評価において有効な手段であると考えられた。また、テンシプレッサーにおいても官能評価と結果が一致していたことから（第1章第2節）、これまで数値化が困難であった乾海苔の口どけを評価するうえで、テンシプレッサーは有用であると考えられた。これまで、水産物の呈味評価は成分分析や官能評価で評価することが一般的であったものの、今回の結果から、機器分析を導入することで客観的な呈味評価が可能であると考えられた。しかし、機器分析による評価においては問題点も明らかとなった。例えば第3章第1節および第2節で見られたとおり、必ずしも遊離アミノ酸量と味覚センサの結果は一致しなかった。これは遊離アミノ酸以外にも核酸や糖、ペプチドといった他の呈味成分による影響と考えられる。そのため、より詳細な成分分析を行う必要があり、そのうえで味覚センサおよび官能評価との整合性を検討すべきであろう。

一方、近年ではサンプル中に含まれる成分を網羅的に分析し、かつ解析を行う手法として、メタボロミクスが注目されている¹⁷⁸⁾。メタボロミクスとは、遊離アミノ酸や有機酸などの成分を網羅的に解析することで、生体内情報を客観的に評価できる手法であり、水産食品の分野においても研究事例が報告されつつある¹⁷⁹⁾。この手法を用いて味覚センサおよび官能評価の結果と代謝成分プロファイルの相関性を解析することにより、より詳細に呈味への影響度が高い成分を評価することができると考えられるため、今後の研究の発展が期待される。このような新たな技術開発を行ううえで、本研究で得られた成果は基礎的な知見として活用できると考えられるため、品質評価技術の発展に大きく寄与できると考えられる。以上のことから、機器分析による品質評価は有用であると考えられたため、本研究の結果は県産水産物の呈味特性および差別化を図るための客観的な根拠となりうる。

さらに、水産業協同組合法の一部が改正され、「組員の漁獲物その他の生産物の販売の事業を行う漁業協同組合の理事のうち一人以上は、水産物の販売等に関し実践的な能力を有する者でなければならない」と規定されることとなった¹⁸⁰⁾。販売専門員が理事として登用されることが義務付けられたことから、従来の獲る漁業から売る漁業へと方針転換が行われようとしており、今後、水産物の販路拡大はさらに重要度が増すと推察される。本研究で得られた成果は販路拡大の際、県産水産物の呈味特性を第三者に客観的にアピールすることができ、さらには他県産との差別化を図ることもできるため、消費の促進および漁家所得の向上にも貢献できると考えられる。

最後に、本研究では4魚種における具体的な事例を通じ、品質評価に基づく岡山県産水産物の付加価値向上の可能性について明示した。本研究で得られた成果は有用であると考えられたものの、これらの知見は生産現場や消費現場で活用されて初めて意味を成すものである。したがって、継続的な取組が必要であるものの、ブランド化や魚食普及は成果が表れるまでには相当の期間を要する。そのため、費用対効果だけを重視するのではなく、長期的な視野で取組を継続し、消費を拡大させていく必要がある。本研究の成果は現場のニーズに対応し、かつ将来の水産業の発展に向けた新たなブランド化のためのモデルケースとなりうる。今後も現場のニーズを重視し、かつ他機関との連携も強化し、新技術を導入しながらこの研究が継続され、岡山県における水産業の発展に少しでも寄与できることを願い、稿を終える。

要 約

岡山県においてはノリ、カキ養殖および漁船漁業が主幹漁業となっているが、近年は生産額が減少傾向にある。そのため、現場では差別化による付加価値向上および魚食普及の取組が試みられているものの、これらの魚種を対象に品質評価を行った事例は少なく、差別化の根拠に乏しいのが現状である。本研究では、代表的な岡山県産水産物であるノリ、カキ、ガザミおよびヒラの付加価値向上を目的として、味覚センサをはじめとした機器分析による客観的な品質評価を行うとともに、官能評価との整合性についても検討を行い、今後必要な技術開発や成果の普及方策について考察した。

第1章 海水中の栄養塩濃度と乾海苔単価との関係を探るため、岡山県ノリ漁場の栄養塩濃度を分析するとともに、色彩色差計を用いて生ノリおよび乾海苔の色調(L*値とa*値)を測定し、栄養塩濃度、ノリの色調および乾海苔単価の関係を調べた。その結果、本海域におけるノリの色落ちの原因はDINであり、濃度が3 μM以下になると生ノリの色調が急激に低下することが明らかになった。また、DIN濃度と生ノリのL*値とa*値、生ノリのL*値およびa*値と乾海苔のL*値、乾海苔のL*値と乾海苔単価に有意な相関が認められた。

2017年度に備讃瀬戸海域で生産された1等級から3等級の乾海苔について、色彩色差計による色調(L*a*b*表色系)、食感測定器による咀嚼回数(咀嚼値)および味覚センサによる呈味を調べ、品質と単価の関係を明らかにするとともに、官能評価との整合性についても検討

を行った。その結果、乾海苔の色調(L*値)、咀嚼値および旨味先味と単価の相関係数はそれぞれ $r = -0.50$ 、 $r = -0.70$ および $r = 0.66$ となり、有意な相関関係が認められた($P < 0.01$)。さらに、これらの数値をもとに重回帰分析を行ったところ、呈味が価格形成において重要であると考えられた。また、機器分析結果と官能評価結果が一致していたことから、機器による乾海苔品質の客観的な評価の可能性が示唆された。

1等級および6等級海苔から作成した海苔麴(海苔に黄麹菌を培養させたもの)に海苔を混ぜて培養し、遊離アミノ酸等が増加する最適な熟成条件を調べた。加水した1等級の海苔および海苔麴を120日間10℃の条件で培養したところ、0日目と比較して遊離アミノ酸が最大7倍増加していたことがわかった。また、得られた発酵産物を官能評価および味覚センサで評価したところ、麴を加えることによって酸味をはじめとした呈味が変化していたことが明らかとなった。このように、成分および呈味が変化していたことから、海藻麴を用いた新たな加工品開発による海苔の付加価値向上の可能性が示唆された。

第2章 岡山県産マガキの呈味特性を明らかにするため、月別および年別にマガキエキスを抽出し、味覚センサを用いて呈味の季節変化および年比較試験を行った。季節変化試験において、苦味先味、旨味先味、塩味および旨味後味で有意な季節変化が見られた。さらに、これらの数値をもとに主成分分析およびクラスター分析を行ったところ、9~3月は旨味が強い時期であると推察された。また、年比較試験では、年度によって各呈味の強さが異なっていたものの、塩味および旨味後味については年度が異なっても強い傾向が見られた。さらに、年比較試験で用いたエキスで官能評価を行ったところ、岡山県産は有意に塩味および旨味が強く、味覚センサの分析結果とほぼ一致していた。したがって、岡山県産カキの塩味や旨味は明瞭な季節変化を示し、かつ年度が異なってもこれらの呈味は強い傾向にあると考えられた。

第3章 甲殻が硬いガザミ(硬ガニ)と抱卵および軟甲ガザミ(抱卵および水ガニ)の呈味性の違いを調べるため、それぞれ熱水抽出エキスを作製して官能評価および味覚センサ分析を行った。官能評価の結果、抱卵および水ガニは硬ガニに比べて旨味および呈味の総合評価が有意に劣っており、味覚センサの結果とほぼ一致した。さらに、一般成分分析、遊離アミノ酸分析および核酸関連化合物分析を行ったところ、遊離アミノ酸量やイノシ

ン酸量が有意に少ないことが分かった。

ヒラ資源の有効活用を目的として、生殖腺重量比による産卵期の推定を行うとともに、筋肉中の一般成分、遊離アミノ酸および味覚センサ分析に基づく呈味の季節変化を調べた。その結果、産卵期は6～8月と推定された。また、粗脂肪量は冬季に、遊離アミノ酸総量は春季と秋季に高い値を示し、有意な季節変化が認められた。味覚センサ分析において、旨味先味は秋季にあたる10月、旨味後味は春季にあたる4月に最高値を示し、官能評価の結果と一致していた。これらの結果を用いて主成分分析を行ったところ、春季と秋季は遊離アミノ酸が増加していたため旨味が強くなり、冬季は呈味の発現を増強する「脂肪味」が加わったため呈味が濃厚になったと推察された。一方、夏季は産卵によって筋肉中の粗脂肪および遊離アミノ酸を消費したため、あっさりとした呈味になったと考えられた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、終始懇切なるご指導とご校閲を賜った福山大学生命工学部海洋生物科学科教授倉掛昌裕博士に深甚なる感謝の意を表す。また、本論文のご校閲をいただき、貴重なご意見を賜った同大学生命工学部海洋生物科学科教授有瀧真人博士に厚くお礼申し上げます。

共同研究においては、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所 石田典子博士および東畑 顕博士、国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区分水産研究所 内田基晴博士、(株)丸秀醤油 秀島信雄社長、三重大学教授 荒木利芳博士に様々なご指導・ご鞭撻を賜った。ここに謝意を表す。

供試魚の入手に際しては日生町・邑久町・伊里・牛窓町・寄島町・笠岡市漁業協同組合の職員の方々快くご協力いただいた。改めて感謝申し上げます。また、研究を進めるにあたり、有益なご助言を賜った岡山県漁業協同組合連合会 森下倫年元専務理事、上柏恒一所長、山本和弥次長、福寿司本店 窪田 悟氏、(株)長谷井商店 中島俊子氏、香川大学教育学部准教授 畦 五月博士、千葉県水産総合研究センター 川島時英博士には大変お世話になった。ここに感謝の意を記す。

本研究を遂行するにあたり、種々のご配慮やご指導をいただいた岡山県農林水産総合センター水産研究所長草加耕司博士、萱野泰久前所長、藤井義弘前所長、佐藤二郎副所長、近藤正美前室長、林 浩志室長に厚くお礼申し上げます。また、機器分析や官能評価を行うにあたり、

元谷 剛室長、高木秀蔵博士、清水泰子、中力健治、濱崎正明、小橋啓介、増成伸文博士、古村振一、泉川晃一、小見山秀樹、弘奥正憲、後藤真樹、山下泰司、竹本浩之、渡辺 新、仲村尚人、吉田創平諸氏、および他職員各位に多大なるご協力をいただいた。心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) 水産庁, 2019: 水産白書 令和元年版, 農林統計協会, 東京, pp. 269.
- 2) 岡山県農林水産部水産課, 2017: 岡山県水産振興プラン2017, 岡山, p. 28.
- 3) 吉江由美子・鈴木 健・白井隆明・平野敏行, 1993: 生産地ならびに価格の異なる乾のりの遊離アミノ酸および脂肪酸組成, 日水誌, **59**, 1769-1775.
- 4) 北岡千佳・品川 明・良永裕子, 2012: アミノ酸組成からみたシングルシード法および通常垂下法による養殖マガキの違い, 戸板女子短期大学研究年報, **55**, 27-30.
- 5) 山口忠則・伊藤史郎, 2007: 軟甲ガザミの短期畜養による商品価値の向上試験, 佐有水産報, **23**, 21-23.
- 6) 多田邦尚・藤原宗弘・本城凡夫, 2010: 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖, 分析化学, **59**, 945-955.
- 7) 杉野博之・草加耕司・石飛博敏, 2008: 平成19年度ノリ養殖概況, 岡山水試報告, **23**, 120-122.
- 8) 瀬戸内海漁業調整事務所, 2010: 平成21年瀬戸内海の赤潮, 兵庫.
- 9) 大山憲一・吉松定昭・本田恵二・安部亨利・藤沢節茂, 2008: 2005年2月に播磨灘から備讃瀬戸に至る香川県沿岸域で発生した大型珪藻*Chaetoceros densus*のブルーム: 発生期の環境特性とノリ養殖への影響, 日水誌, **74**, 660-670.
- 10) 有賀祐勝, 1980: スサビノリの色彩と色素, 遺伝, **34**, 8-13.
- 11) 天野秀臣, 2001: 有明海のノリに起きたこと～日本のノリ産業に大きな打撃を与えた“色落ち”とは?～, 化学と生物, **39**, 784-785.
- 12) 石井光廣・長谷川健一・松山幸彦, 2008: 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因: 栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生, 水産海洋研究, **72**, 22-29.
- 13) 川口 修・山本民次・松田 治・橋本俊也, 2004: 水質の長期変動に基づく有明海におけるノリおよび珪藻プランクトンの増殖制限元素の解明, 海の研究, **13**, 173-183.
- 14) 高木秀蔵・難波洋平・藤沢節茂・渡辺康憲・藤原建紀, 2012: 備讃瀬戸に流入する河川水の広がりやノリ漁場への栄養塩供給, 水産海洋研究, **76**, 197-204.
- 15) 渡辺康憲・川村嘉応・半田亮司, 2004: ノリ養殖と栄養塩ダイナミクス, 沿岸海洋研究, **42**, 47-54.

- 16) 川口 修・高辻英之, 2010: 広島県東部海域における溶存態無機窒素動態とノリの色落ちへの影響, 日水誌, **76**, 849-854.
- 17) 藤澤邦康・小橋啓介・林 浩志, 2000: ノリ養殖漁場における溶存態無機窒素とノリの色素量の関係について, 岡山水試報, **15**, 1-3.
- 18) 白石日出人, 2010: ノリ葉体の色調変化に関する研究, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, **20**, 131-134.
- 19) 久野勝利・川村嘉広, 2007: 養殖ノリにおける生ノリと乾ノリの色調評価およびその相互関係, 佐有水セ研報, **23**, 5-10.
- 20) 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・小林志保・藤原建紀, 2013: 安定同位体比を用いた河川からノリ漁場への栄養塩供給の評価, 日水誌, **79**, 1002-1008.
- 21) 川口 修・山本民次・橋本俊也, 2003: 養殖スサビノリ (*Porphyra yezoensis*) 葉体の炭素, 窒素, リン含有量. 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要, **42**, 7-9.
- 22) 小池美紀・測上 哲, 2013: 溶存態無機リンがスサビノリ (*Pyropia yezoensis*) に及ぼす影響, 福岡水海技セ研報, **23**, 33-42.
- 23) 小谷正幸・福永 剛・尾田成幸・測上 哲, 2002: 2000年度ノリ漁期における色落ちの発生状況, 福岡水海技セ研報, **12**, 117-122.
- 24) 藤澤邦康・小橋啓介・林 浩志, 1999: 牛窓ノリ漁場におけるノリの色素量変化と水質環境について, 岡山水試報, **14**, 4-7.
- 25) 村田幸男, 1980: 測定と色比較の方法「新編色彩科学ハンドブック」(日本色彩学会編), 東京大学出版会, 東京, p.244.
- 26) 坂口研一・落合 昇・CS. Park・柿沼 誠・天野秀臣, 2003: 色落ちノリの色調評価と硫酸アンモニウム添加海水への浸漬による色調回復, 日水誌, **69**, 399-404.
- 27) 大房 剛・荒木 繁・桜井竹鷹・斉藤宗勝, 1977: アマノリの日周変化に関する生理的研究 - I 室内培養下の藻体に見られた細胞の大きさ・生理活性および光合成色素量について, 日水誌, **43**, 245-249.
- 28) K.T. Bird, C. Habig and T. DeBusk, 1982: Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta), *Journal of Phycology*, **18**, 344-348.
- 29) 有賀祐勝, 2003: 有明海ノリ問題に関するコメント, 日水誌, **69**, 432-433.
- 30) 吉田吾郎・新村陽子・樽谷賢治・浜口昌巳, 2011: 海藻類一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビューーおよび瀬戸内海藻場の栄養塩環境の相対評価ー, 水産総合研究センター研究報告, **34**, 1-31.
- 31) I. Levy and E. Gantt, 1990: Development of photosynthetic activity in *Porphyridium purpureum* (Rhodophyta) following nitrogen starvation, *Journal of Phycology*, **26**, 62-68.
- 32) J.J. Vergara and F.X. Niell, 1993: Effects of nitrate availability and irradiance on internal nitrogen constituents in *Corallina elongata* (Rhodophyta), *Journal of Phycology*, **29**, 285-293.
- 33) 植木知佳・村上明男・加藤敏朗・嵯峨直恆・本村泰三, 2010: 紅藻スサビノリの光合成色素と葉緑体微細構造における栄養欠乏応答, 日水誌, **76**, 375-382.
- 34) 藤井直幹・池浦 繁, 2010: 福岡県有明海産ノリの共販価格低迷の原因, 福岡水海技セ研報, **20**, 119-125.
- 35) 右田清治, 1979: 乾海苔の光沢, 長崎大学水産学部研究報告, **46**, 11-16.
- 36) 原田和弘, 2013: 養殖ノリ生産期における播磨灘の溶存態窒素 (DIN) 濃度と養殖ノリ生産額の関係, 兵庫県農技総セ研報 (水産), **43**, 7-10.
- 37) T. Yamamoto, 2003: The Seto Inland sea-Eutrophic oligotrophic? *Marine Pollution Bulletin*, **47**, 37-42.
- 38) 高辻英之, 2005: 情島ノリ養殖漁場におけるノリの色落ち, 広島水試報, **23**, 27-29.
- 39) 永田誠一・名角辰郎・中谷明泰・鷺尾圭司・真鍋武彦, 2001: 近年の播磨灘主要ノリ漁場の環境調査結果, 兵庫水試報, **36**, 59-73.
- 40) 松岡 聡・吉松定昭・小野 哲・一見和彦・藤原宗弘・本田恵二・多田邦尚, 2005: 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリ色落ちと水質環境, 沿岸海洋研究, **43**, 77-84.
- 41) 川村嘉広・久野勝利・横尾一成, 2011: 佐賀県有明海で実施されている栄養塩添加の現状, 佐有水研報, **25**, 81-87.
- 42) 岩本俊樹・難波洋平, 2009: 児島湾周辺のノリ養殖漁場に及ぼすダム上乗せ放流を含む河川水の影響, 岡山水試報, **24**, 63-69.
- 43) 反田 實・原田和弘, 2013: 瀬戸内海東部海域の栄養塩環境の現状および改善に向けた取り組みと課題, 海洋と生物, **35**, 116-124.
- 44) 沼田祐二・中泉昌光・瀬戸口喜祥・吉村直孝, 2004: 泥質干潟における干潟走行機による耕耘(こううん)の栄養塩類溶出効果に関する実験的研究, 海洋開発論文集, **20**, 383-388.
- 45) 藤原建紀・渡邊康憲・樽谷賢治, 2009: 海の貧栄養化とノリ養殖, 海洋と生物, **31**, 111-172.
- 46) 小谷正幸・半田亮司, 1996: ノリの硬さに関する測定方法の検討と硬さの評価, 福岡水海技セ研報, **5**, 37-40.
- 47) 川村嘉広, 2017: 新・海苔ブック 基礎編, 海苔産業情報センター, 福岡, p. 65.
- 48) 村山史康・清水泰子・高木秀蔵, 2015: 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリ色調および乾海苔単価との関係, 日水誌, **81**, 107-114.

- 49) 永木利幸, 2017: 焙焼温度と時間が焼海苔の品質に及ぼす影響, 宮城水技セ研報, **17**, 2-7.
- 50) 篠田博之・藤枝一郎, 2007: 色彩工学入門, 森北出版, 東京, p. 122.
- 51) K. Hayashi, 1989: Sensing of umami taste and synergistic effects with synthetic lipid membranes, *Sens. Mater.*, **1**, 321-334.
- 52) N. Hayashi, R. Chen, H. Ikezaki, S. Yamaguchi, D. Maruyama, Y. Yamaguchi, T. Ujihara and K. Kohata, 2006: Techniques for universal evaluation of astringency of green tea infusion by use of a taste sensor system, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **70**, 626-631.
- 53) Y. Tahara and K. Toko, 2013: Electronic tongues-a review, *IEEE Sens J* **13**: 3001-3011.
- 54) 郡山 剛・木幡知子・渡辺勝子・阿部宏喜, 2000: メバチ筋肉の成分組成とその呈味におよぼす脂質の役割, 日水誌, **66**, 462-468.
- 55) 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー, 2018: ユーザーズサイト http://www.insent.co.jp/usersite/usersite_index.html, 2020年1月16日.
- 56) Intelligent Sensor Technology, 2011: Taste sensing system TS-500Z analysis application, Intelligent Sensor Technology, Kanagawa, Tokyo.
- 57) H.E. Ross and D.J. Murray, 1996: Weber on the tactile senses, 2nd edition, Taylor and Francis, Oxford, UK.
- 58) Y. Kobayashi, M. Habara, H. Ikezaki, R. Chen, Y. Naito and K. Toko, 2010: Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores, *Sensors*, **10**, 3411-3443.
- 59) 古川秀子, 2012: 続・おいしさを測る 食品開発と官能評価, 幸書房, 東京, pp. 30.
- 60) 柳沢幸江・大野美雪・川合正充, 1993: のりのテクスチャーにおける官能特性とその機器測定, 日本食品工業学会誌, **40**, 187-193.
- 61) 岸 恭一・木戸康博, 2010: タンパク質・アミノ酸の新栄養学, 講談社, 東京, p. 120.
- 62) 日下 舞・中村 卓, 2016: 油脂のおいしさと科学: メカニズムから構造・状態, 調理・加工まで, NTS出版, 東京, pp. 33-38.
- 63) 大野美雪・柳沢幸江・川合正充, 1993: のりのテクスチャーのテクスチュロメーターによる測定法の検討, 日本食品工業学会誌, **40**, 129-132.
- 64) 玉野まり子・北村廣志・佐々木裕・番場康夫・横山栄司・田中季幸・野田宏行, 1992: 乾のりの品質評価, 日本食品工業学会誌, **39**, 357-362.
- 65) 半田亮司, 1997: 有明海における高呈味性ノリ製品の生産技術の検討, 福岡水海技セ研報, **7**, 37-43.
- 66) 能登谷正浩, 1999: 海苔の生物学, 成山堂書店, 東京, pp.129-141.
- 67) 大房 剛, 1980: 海苔, 調理科学, **13**, 44-51.
- 68) T. Miyazaki, H. Ozawa, H. Banya, H. Tanaka, M. Usui and K. Hanaoka, 2014: Discrimination of excellent-grade nori, the dried laver porphyra spp., with analytical methods for volatile compounds, *Fish. Sci.*, **80**, 827-838.
- 69) K.H. Steinkraus, 1993: Comparison of fermented foods of the East and West, pp.1-12, in: Lee CH, Steinkraus KH, and Alan Reilly PJ (Ed.), *Fish fermentation Technology*, United Nations University Press, Tokyo.
- 70) N. Ishige, 1993: Cultural aspects of fermented fish products in Asia, pp. 12-32, in: Lee CH, Steinkraus KH, and Alan Reilly PJ (Eds.), *Fish Fermentation Technology*. United Nations University Press, Tokyo.
- 71) M. Uchida, H. Amakasu, Y. Satoh and M. Murata, 2004: Combinations of lactic acid bacteria and yeast suitable for preparation of marine silage, *Fish. Sci.*, **70**, 507-517.
- 72) M. Uchida and M. Murata, 2004: Isolation of a lactic acid bacterium and yeast consortium from a fermented material of *Ulva* spp. (Chlorophyta), *J. Appl. Microbiol.*, **97**, 1297-1310.
- 73) M. Uchida, M. Murata and F. Ishikawa, 2007: Lactic acid bacteria effective for regulating the growth of contaminant bacteria during the fermentation of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta), *Fish. Sci.*, **73**, 694-704.
- 74) M. Uchida, T. Miyoshi, G. Yoshida, K. Niwa, M. Mori and H. Wakabayashi, 2014: Isolation and characterization of halophilic lactic acid bacteria acting as a starter culture for sauce fermentation of the red alga *Nori (Porphyra yezoensis)*, *J. Appl. Microbiol.*, **116**, 1506-1520.
- 75) M. Uchida, H. Kurushima, K. Ishihara, Y. Murata, K. Touhata, N. Ishida, K. Niwa and T. Araki, 2017: Characterization of fermented seaweed sauce prepared from nori (*Pyropia yezoensis*), *J. Biosci. Bioeng.*, **123**, 327-332.
- 76) M. Uchida, H. Kurushima, N. Hideshima, T. Araki, K. Ishihara, Y. Murata, K. Touhata and N. Ishida, 2018: Preparation and characterization of fermented seaweed sauce manufactured from low quality nori (dried and fresh fronds of *Pyropia yezoensis*), *Fish. Sci.*, **84**, 589-596.
- 77) M. Uchida, T. Miyoshi, M. Kaneniwa, K. Ishihara, Y. Nakashimada and N. Urano, 2014: Production of 16.5 % v/v

- ethanol from seagrass seeds. *J. Biosci. Bioeng.*, **118**, 646-650.
- 78) M. Uchida, N. Hideshima and T. Araki, 2019: Development of koji by culturing *Aspergillus oryzae* on nori (*Pyropia yezoensis*), *J. Biosci. Bioeng.*, **127**, 183-189.
- 79) M. Somogyi, 1952: Notes on sugar determination, *J. Biol. Chem.*, **195**, 19-23.
- 80) O.H. Lowry, N.J. Rosebrough, A.L. Farr and R.J. Randall, 1951: Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275.
- 81) N. Sugiyama, H. Shimahara and T. Andoh, 1972: Studies on mannan and related compounds, in the purification of konjac mannan, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **45**, 561-563.
- 82) J.L. Reissing, J.L. Storminger and L.F. Leloir, 1955: A modified colorimetric method for the estimation of N-acetylamino sugars, *J. Biol. Chem.*, **217**, 959-966.
- 83) F. Fujii, K. Ozeki, A. Kanda, M. Hamachi and Y. Nunokawa, 1992: A simple method for the determination of grown mycelial content in rice koji using commercial cell wall lytic enzyme, yatalase, *J. Brew. Soc. Jap.*, **87** (10), 757-759.
- 84) M. DuBois, K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith, 1956: Phenol colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Anal. Chem.*, **28**, 350-356.
- 85) Shimadzu Corporation, 2007: Analysis of amino acids including brewing food LC analysis guide, Shimadzu Corporation, Kyoto, pp. 10.
- 86) JASCO Corporation, 2015: Analysis of organic acids including levulinic acid in soy sauce, LC application data, No.220060H, JASCO Corporation, Tokyo, pp 1-2.
- 87) 中村愛美・佐藤文華・吉田 智・熊谷昌則・鈴木靖志, 2010: ところみ調整食品添加に伴う味質変化の味覚センサによる評価, *日本食品科学工学会誌*, **57**, 380-388.
- 88) 萩野浩志・中山 清, 1967: 微生物によるアミノ酸の代謝 (第1報), *日本農芸化学会誌*, **6**, 271-275.
- 89) 船津保浩・小長谷史郎・加藤一郎・竹島文雄・川崎賢一・井野慎吾, 2000: マルソウダ加工残渣から調製した魚醤油と数種アジア産魚醤油との呈味成分の比較, *日水誌*, **66**, 1026-1035.
- 90) C. Kitaoka, J. Hosoe, T. Hakamatsuka, K. Araya, M. Habara, H. Ikezaki, N. Sato, A. Shinagawa, J. Yamamoto and Y. Yoshinaga, 2016: Taste component analysis of Pacific cultured in Konagai, Nagasaki and taste evaluation using a taste-sensing system, *Jap. J. Food Chem.*, **23**, 63-71.
- 91) 村山史康・佐藤二郎・東畑 顕・石田 典子, 2018: 抱卵および軟甲ガザミ筋肉から抽出したエキスの呈味評価, *日水誌*, **84**, 425-433.
- 92) 新川英明, 1988: 「カキの生物学」, 共文社, 東京, pp.12
- 93) 農林水産省, 2018, 都道府県別海面漁業生産統計調査, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/, 2020年12月24日.
- 94) 都甲 潔, 2002: 「味覚を科学する」, 角川書店, 東京, pp. 20.
- 95) 村山史康・泉川晃一, 2016: 岡山県海域で漁獲されたガザミの体成分及び遊離アミノ酸の季節変化, *岡山水研報*, **30**, 10-14.
- 96) K. Touhata, M. Habara, H. Ikezaki and N. Ishida, 2017: Applicability of a taste sensing system to objectively assess taste of seafood, The JSFS 85th Anniversary Commemorative International Symposium "Fisheries Science for Future Generations" Symposium proceedings, No.10021, http://www.jsfs.jp/office/annual_meeting/meeting-program/85th/proceeding/pdfs/10021.pdf, 2020年12月24日.
- 97) 米田千恵・笠松千夏・村上知子・香西みどり・畑江敬子, 2012: 北海道厚岸産シングルシード方式による養殖マガキ成分の季節変化, *日本調理科学会誌*, **45**, 339-345.
- 98) 内藤 剛, 2014: 筑前海区産養殖マガキのグリコーゲン及び遊離アミノ酸量の季節変化および年変動, *福岡水海技セ研報*, **24**, 33-40
- 99) M. Sakaguchi and M. Murata, 1989: Seasonal variations of free amino acids in oyster whole body and adductor muscle, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 2037-2041.
- 100) 三橋富子・野村歩, 2015: 塩味とうま味の相互作用, *日大生括科研究報告*, **38**, 81-91.
- 101) S. Tune, 1976: Crabs of Japan and the Adjacent Seas, Koudansha, Tokyo.
- 102) 農林水産省, 2017: 平成26年漁業・養殖業生産統計年報.
- 103) 唐川純一, 1999: 備讃瀬戸西部海域の小型底曳網漁場におけるガザミの生物学的特性, *岡山水試報*, **14**, 32-47.
- 104) 萱野泰久, 2010: 岡山県沿岸域におけるガザミ漁獲量の変動とその要因, *岡山水研報*, **25**, 10-13.
- 105) 関口秀夫, 2010: 汽水・沿岸域のカニ類の分布決定機構: メガロバ幼生の役割, *沿岸海洋研究*, **47**, 155-172.
- 106) 岡本一利・渥美 敏・高瀬 進・山内 悟・平井 享・柳瀬良介・石渡敏郎・大上皓久, 1995: タカアシガニ幼生の生残, 脱皮間隔におよぼす飼育水, 餌料, 底質, 水温の影響, *水産増殖*, **43**, 367-375.
- 107) 山崎 淳, 2000: 日本海西部ズワイガニ漁業における適正性比を実現するための水ガニの漁獲方法, *日水誌*, **66**, 221-227.
- 108) 山崎 淳・宮嶋俊明, 藤原邦浩, 2011: 京都府沖合における底曳網によるズワイガニ水ガニの入網数とリリース直後の生残率, *日水誌*, **77**, 372-380.

- 109) 今 攸・家接直人・木下仁徳, 1993: 若狭湾沖合におけるズワイガニ漁獲物の脱皮齡組成, 日水誌, **59**, 1831-1836.
- 110) 前田経雄・内山 勇, 2014: 夏季調査により推定された富山湾における若齢ベニズワイの脱皮時期, 富山水研報, **2**, 15-27.
- 111) 金澤孝弘・林 宗徳, 2002: 有明海におけるガザミの流通実態, 福岡水海技セ研報, **12**, 111-115.
- 112) 原田和弘, 2013: 播磨灘で漁獲された雌ガザミの品質特性, 兵庫県農技総セ研報(水産編), **43**, 1-6.
- 113) 堤 忠一, 1992: 食品全般についての定量法「食品分析法」(公益社団法人日本食品工業学会編), 光琳, 東京, pp.3-250.
- 114) 清水 亘, 1944: 蒲鉾, 生活社, 東京.
- 115) 清水 亘, 1949: 水産動物肉に関する研究(7), 日水誌, **15**, 32.
- 116) 岡崎孝博・吉本亮子・上田幸男・浜野龍夫, 2014: 徳島産および韓国産ハモの体成分の比較, 日水誌, **80**, 2-8.
- 117) 有山啓之, 1992: 水槽で飼育したガザミの脱皮と成長, 日水誌, **58**, 1799-1805.
- 118) 原田和弘・大谷徹也, 2006: ズワイガニの硬ガニおよび水ガニの品質評価手法に関する検討, 日水誌, **72**, 1103-1107.
- 119) 藤田辰徳・海野徹也・斉藤英俊・小櫃剛人・徳田雅治・奥宏海・吉松隆夫・石丸恵利子・陀安一郎, 2011: 広島湾における天然クロダイの筋肉成分の季節変化, 日水誌, **77**, 1034-1042.
- 120) 坂口守彦・佐藤健司, 1998: 魚介類のおいしさの秘密, 化学と生物, **36**, 504-509.
- 121) 伊藤光史・赤羽義章, 1999: マサバとマサバへしこの一般成分ならびにエキス成分の比較, 日水誌, **65**, 878-885.
- 122) 福家真也, 2007: 食品の味と酸味物質とpHの関係, アクアネット, 湊文社, 東京, **3**, 35-39.
- 123) 野村幸司・田子泰彦, 2016: 漁獲時期の異なるアユを用いたあゆなれずしの食味の比較, 日水誌, **82**, 948-950.
- 124) 坂口守彦, 1996: 水産食品における塩の役割・テクスチャーと風味の形成, 日本海学会誌, **50**, 378-381.
- 125) 林 哲仁・山口勝己・鴻巣章二, 1983: 第17回味と匂のシンポジウム論文集, 97.
- 126) 河合美佐子, 2011: 味を決めるアミノ酸, 生物工学会誌, **89**, 679-682.
- 127) M. Kawai, A. Okiyama and A. Ueda, 2002: Taste Enhancements between Various Amino Acids and IMP, *Chem. Senses*, **27**, 739-745.
- 128) 岡本成司・山口洋子・小山寛喜・中谷操子・米田千恵・渡部終五, 2012: 生息域を異にする涸沼川水系産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* のエキス成分および潮汁の食味の比較, 日水誌, **78**, 444-453.
- 129) 小俣 靖, 1964: ウニのエキス成分に関する研究-IV, 日水誌, **30**, 749-756.
- 130) 坂口守彦, 2001: 魚介類の含窒素低分子成分とおいしさ, 日水誌, **65**, 787-793.
- 131) 中坊徹次, 2013: 日本産魚類検索図鑑 全種の同定(第3版), 東海大学出版, 東京, pp.2428.
- 132) 畦 五月, 2016: 岡山県南部地域におけるヒラ, サツパ, コノシロの食習慣の変遷, 日本調理科学会誌, **49**, 362-370.
- 133) 岡山県郷土文化財団, 1984: おかやまの味, 日本写真印刷株式会社, 京都, p.27.
- 134) 高橋清孝・尾形政美・雁部聡明・佐伯光広, 2006: 仙台湾におけるマコガレイ親魚の保護による資源管理, 宮城水研報, **6**, 4-9.
- 135) 山本昌幸・小林靖尚, 2017: 瀬戸内海中央部におけるキジハタ *Epinephelus akaara* の産卵期と肉眼的観察による性判別の信頼性, 水産増殖, **65**, 165-169.
- 136) 村上 香・的場由美子・野田耕作・山田容子・藤井高任・篠原直哉・秋本恒基・片山(須川)洋子・片山真之, 2009: 福岡県筑前海産褐藻アカモク *Sargassum horneri* の栄養成分の季節変動, 水産増殖, **57**, 549-556.
- 137) 水産庁, 2017: 水産白書 平成29年版, 農林統計協会, 東京, pp.34-36.
- 138) 益井敏光・富山 毅・橋本博明, 2016: 瀬戸内海におけるニシン目魚類ヒラの年齢, 成長および成熟特性, 水産海洋研究, **80**, 129-135.
- 139) 佐藤 守, 1990: 魚肉の栄養成分とその利用, 水産学シリーズ, 恒星社厚生閣, 東京, pp.44-54.
- 140) 草加耕司・亀井良則・小見山秀樹, 2013: 播磨灘北西部における魚卵・仔稚魚の出現状況, 岡山水研報, **28**, 5-17.
- 141) 鹿山 光, 1985: 水産動物の筋肉脂質, 水産学シリーズ, 恒星社厚生閣, 東京, pp.68-76.
- 142) 金田尚志, 1984: 魚類脂質について, ビタミン, **58**, 151-161.
- 143) J. Zhang and T. Takita, 2007: Age and growth of *Ilisha elongate* (Teleostei: Pristigasteridae) in Ariake Sound, Japan: comparison among populations in western North Pacific Ocean, *Fish. Sci.*, **73**, 971-978.
- 144) J. Zhang, T. Takita and C. Zhang, 2009: Reproductive biology of *Ilisha elongate* (Teleostei: Pristigasteridae) in Ariake Sound, Japan: Implications for estuarine fish conservation in Asia, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **81**, 105-113.
- 145) T. Umino, H. Nakagawa and M. Takaba, 1996: Effect of ration size on biological characteristics and body constituents of young red sea bream, *Pagrus major*, *Aquacult. Sci.*, **44**, 479-485.

- 146) 高橋豊美・富永 修・前田辰昭, 1987: マガレイおよびマコガレイの摂餌と生存に及ぼす水温の影響, 日水誌, **53**, 1905-1911.
- 147) 萱野泰久・尾田 正, 1994: 人工生産したキジハタの成長と産卵, 水産増殖, **42**, 419-425.
- 148) 鴻巣章二, 1973: 魚介類の味 呈味成分を中心として, 日食工誌, **38**, 432-439.
- 149) 石川匡子, 2018: 総説特集「減塩食品の開発とうま味」味覚対比効果の減塩食品への応用, 日本味と匂学会誌, **25**, 117-122.
- 150) 成川真隆, 2016: 嗜好性味覚シグナルの多様性の検証, 東洋食品研究所研究報告書, **31**, 95-98.
- 151) 水産庁, 2020: 水産白書 令和2年版, 農林統計協会, 東京, p. 311.
- 152) 日本水産資源保護協会, 2004: わが国の水産業「のり」, 東京, pp. 15.
- 153) 水産物安定供給推進機構, 2015: 平成26年度国産水産物需要変動調整事業関係調査事業「事業実施水産物の需給動向等の把握(乾のり, さけ, すけとうだら)」報告書, p.17.
- 154) 反田 實・原田和弘, 2012: 瀬戸内海東部(播磨灘)の栄養塩環境と漁業, 海洋と生物, **34**, 132-141.
- 155) 首藤俊雄・松原 賢・久野勝利, 2009: 有明海の栄養塩環境とノリ養殖, 海洋と生物, **31**, 168-170.
- 156) 環境省, 2017: 瀬戸内海環境保全特別措置法の一部を改正する法律 https://elaws.e-gov.go.jp/document?law_unique_id=348AC100000110_20151002_427AC0000000078, 2020年12月24日.
- 157) 瀬戸内海区水産研究所, 2018: ノリ・ワカメ養殖場における栄養塩供給技術実証試験事例集, <https://www.jfa.maff.go.jp/j/koho/pr/pamph/attach/pdf/index-6.pdf>, 2020年12月24日.
- 158) 水産庁, 2020: 漁協の販売事業における取組事例, <https://www.jfa.maff.go.jp/j/keiei/gyokyou/hanbaijigyuu.html>, 2020年12月24日.
- 159) 森川太郎・三根崇幸・栢植圭介, 2019: ノリ養殖における採苗密度が乾海苔の生産に及ぼす影響, 水産増殖, **67**, 257-264.
- 160) 川島時英, 2018: 板のりの製造過程における呈味成分の変化に関する研究, 東京海洋大学博士論文.
- 161) 南 駿介・高取宗茂・白山 洗・沖田歩樹・中村柚咲・高橋希元, 2020: 長期熟成魚介類刺身の呈味成分およびテクスチャー, 日水誌, **86**, 418-426.
- 162) 静岡県水産海洋技術研究所, 2017: 食の都しずおかの微生物を用いた新しい発酵食品ビジネスの創出, https://fish-exp.pref.shizuoka.jp/03research/pdf/2018/h29_fin/h29fin_35.pdf, 2020年12月24日.
- 163) 内田基晴・秀島宣雄・荒木利芳・杉浦義正・村瀬 昇・村山史康・飯田愛美, 2020: 麹菌*Aspergillus oryzae*を生育させた海藻培養物の調整, 日本醸造学会誌, **115**, 589-603.
- 164) 平田 靖, 2011: 広島湾における2004, 2005, 2006年夏季の養殖マガキのへい死, 広島水技セ研報, **4**, 13-21.
- 165) 村山史康・濱崎正明・山下泰司・草加耕司, 2018: モニタリング調査から推定したマガキの身入り不良要因, 岡山水研報, **33**, 29-33.
- 166) 平田 靖, 2008: 広島湾のかき採苗不調と少雨の関係, 水産と海洋(広島水技セだより), **13**, pp. 1-2.
- 167) 水産庁, 2008: 水産白書 平成20年版, 農林統計協会, 東京, pp. 311.
- 168) Y. Murata, K. Touhata and R. Miwa, 2020: Correlation of extractive components and body index with taste in oyster *Crassostrea gigas* brands, *Fish. Sci.*, **86**, 561-572.
- 169) 国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所, 2018: 平成29年度中央水産研究所主要研究成果集 研究のうごき, **16**, p. 10.
- 170) 北岡千佳・山本純平・坂宮章世・矢野竹男・良永(加藤)裕子, 2016: マガキの収穫後飼育におけるエサおよび水温が呈味成分に及ぼす影響, 日本食品化学学会誌, **23**, 133-140.
- 171) 宮本博和・金澤孝弘, 2009: 標識放流からみたガザミ軟甲個体の移動と再放流効果, 福岡水海技セ研報, **19**, 7-12.
- 172) ガザミ種苗生産研究会編, 1997: ガザミ種苗生産技術の理論と実践, 日本栽培漁業協会, 東京.
- 173) 石谷 誠・尾田成幸・中川浩一, 2011: 漁業者によるガザミ選別の有効性の検討, 福岡水海技セ研報, **21**, 115-119.
- 174) 兵庫県漁業協同組合連合会(2020), ガザミふやそう会 <http://www.hggyoren.jf-net.ne.jp/Activity/Gazami-Fuyasoukai.html>, 2020年12月24日.
- 175) 大迫一史, 2005: マアジの水産加工原料適性に関する研究: とくにかまほこゲル形成能について, 長崎大学博士論文.
- 176) 福山市, 2017: 備後フィッシュガイドブック <https://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/uploaded/attachment/90431.pdf>, 2020年12月24日.
- 177) 秋廣高志・古田賢次郎・小酒由佳・大島朗伸・岡本 満・井岡 久, 2018: 浜田産カレイの体成分の季節変動, 日水誌, **84**, 809-817.
- 178) 大山憲一・大西茂彦・藤川 護・小川雅廣, 2019: オリーブ葉粉末を投与した養殖ブリ筋肉の水溶性成分の特徴, 日本食品化学学会誌, **26**, 99-105.
- 179) 馬淵良太, 2018: 魚肉の品質評価へのメタボロミクスへの応用, アグリバイオ, **4**, 368-371.
- 180) 農林水産省(2020) 水産業漁業協同組合法の一部改正について, https://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/tuti/t0000460.html, 2020年12月24日.

