

養殖マガキ *Crassostrea gigas* の

呈味特性に関する食品化学的研究

2017 年 3 月

北岡 千佳

目次

第1章 序論	1
第2章 養殖方法および季節の異なるマガキの遊離アミノ酸組成の比較	
2-1 はじめに	10
2-2 方法	10
2-2-1 試料	10
2-2-2 殻付全重量およびサイズの計測	11
2-2-3 水分測定	11
2-2-4 試料エキスの調製	11
2-2-5 遊離アミノ酸分析	11
2-2-6 統計処理	11
2-3 結果および考察	12
2-3-1 サイズ、水分含量、殻付全重量、軟体部重量、軟体部率	12
2-3-2 遊離アミノ酸量	14
2-4 まとめ	17
図表	19
第3章 飼育年数の異なるシングルシードマガキの呈味成分の比較	
3-1 はじめに	29
3-2 方法	29
3-2-1 試料	29
3-2-2 殻付全重量およびサイズの計測	30
3-2-3 水分測定	30
3-2-4 試料エキスの調製	30
3-2-5 遊離アミノ酸分析	30
3-2-6 ATP 関連化合物分析	30
3-2-7 グリコーゲン測定	30
3-2-8 官能評価	30

3-2-9 統計処理	31
3-3 結果および考察	32
3-3-1 サイズ、水分含量、殻付全重量、軟体部重量、軟体部率	32
3-3-2 遊離アミノ酸量	34
3-3-3 ATP 関連化合物量	35
3-3-4 グリコーゲン量	35
3-3-5 官能評価	36
3-4 まとめ	37
図表	39

第4章 産地の異なる養殖マガキの呈味成分分析と味認識装置による評価

4-1 はじめに	46
4-2 方法	47
4-2-1 試料	47
4-2-2 殻付全重量およびサイズの計測	47
4-2-3 水分測定	47
4-2-4 HPLC 分析用試料エキスの調製	47
4-2-5 遊離アミノ酸分析	47
4-2-6 ATP 関連化合物分析	47
4-2-7 グリコーゲン測定	48
4-2-8 味認識装置による味分析	48
4-2-9 統計処理	49
4-3 結果および考察	50
4-3-1 殻付全重量、軟体部重量、軟体部率、サイズ、水分含量	50
4-3-2 化学成分分析（遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲン量）	50
4-3-3 味認識装置による味分析	51
4-4 まとめ	53
図表	54

第5章 収獲後飼育におけるエサおよび水温がマガキの呈味成分に及ぼす影響	
5-1 はじめに	60
5-2 方法	60
5-2-1 試料	60
5-2-2 軟体部率および水分の測定	61
5-2-3 HPLC 分析用試料とエキスの調製	61
5-2-4 遊離アミノ酸分析	61
5-2-5 ATP 関連化合物分析	62
5-2-6 グリコーゲン測定	62
5-2-7 官能評価	62
5-2-8 統計処理	62
5-3 結果および考察	63
5-3-1 軟体部率および水分含量	63
5-3-2 遊離アミノ酸量	63
5-3-3 ATP 関連化合物量	64
5-3-4 グリコーゲン量	64
5-3-5 官能評価	64
5-4 まとめ	66
図表	67
第6章 総合考察および総括	81
参考文献	84
謝辞	93

第1章 序論

カキ（牡蠣、Oyster）は二枚貝綱カキ目（ウグイスガイ目）に属し、食用として主にマガキ属（*Crassostrea* 属）およびイタボガキ属（*Ostrea* 属）が世界各地で供されている。日本ではほとんど食用とされていないが、オハグログキ属（*Saccostrea* 属）のクロヘリガキ（*S. echinata*）はタイやオーストラリア等東南アジアやオセアニアで供されている（Southgate and Lee, 1998）。日本には約 20 種類のカキが生息しているといわれ、マガキ（*Crassostrea gigas*）やイワガキ（*Crassostrea nippona*）、スミノエガキ（*Crassostrea ariakesis*）、イタボガキ（*Ostrea denselamellosa*）などが知られる（望月, 2005）。これらのカキは海中に卵を産み、孵化した幼生は海中に約 2 週間浮遊後、岩などに付着した後成長する。マガキは日本のほとんどの海域の潮間帯に生息している。イワガキは陸奥湾や日本海側の深海に生息する大型のカキである。スミノエガキは有明海の潮間帯下層に分布しており、イタボガキは瀬戸内海、東京湾等の内海・内湾の岩や小石等に着生している。イタボガキはマガキと異なり、塩分のやや濃い海域に分布しているのが特徴である（新川, 1988）。これらのカキのうち日本各地で最も多く流通しているのはマガキであり、イワガキも近年各地で養殖されるようになり、各地に流通されるようになってきている。一般的にマガキは冬～春が旬であるが、イワガキは夏が旬である（阿部, 2008, 荒川, 1977, 山中, 2011）。天然のカキは餌の少ない磯等に付着するため、養殖されたカキの方が味がよいとされる。そのためわが国で市場に出回っているカキの多くは養殖されたものであり、なかでもマガキの生産量が最も多い。

カキは各種栄養成分を多く含み、それらがバランスよく配合された食品である。これに良く似た食品としては牛乳があげられるため、「海のミルク」とも呼ばれている。なかでも亜鉛は 100 g あたり 13.2 mg と他の食品よりも圧倒的に多く含まれている（文部科学省科学技術学術審議会資源調査分科会, 2010）。亜鉛は味細胞である味蕾の形成に必要な物質であることから、不足すると味覚障害の恐れがある重要な成分である（阪上, 2005）。カキはカルシウム等その他のミネラルも豊富に含んでいるうえに、グリコーゲンやタウリンも豊富である。前者は、カキに多く含まれる炭水化物であるが、これは消化吸收されやすく、体内のエネルギー源になりやすい（細見ら, 2015）。後者のタウリンは血中コレステロール濃度の低下作用（Tsuji *et al.* 1979）等様々な機能が報告されている。これら様々な栄養成分を多く含むカキエキスも脂質低下作用（田中, 2015, 渡辺ら, 2006）をはじめとして、

様々な機能性が報告されている（細見ら, 2015, 佐藤ら, 2015, 松田, 2015）。

このように栄養豊富なカキであるが、一度何かに着生するとそこから一生動かない（新川, 1988）。そのため筋肉が退化し、身のほとんどを内臓が占めるようになり、その独特な味と食感から好き嫌いが分かれる食品の一つであると言える。味に関しては生産される地域の海の状況等により異なることが推測され、養殖環境や養殖地域による味の差を見出すことは学術的にも興味深いと思われる。

これまでに国内のカキの味に関する報告としては、北海道厚岸産のシングルシードマガキの呈味成分の季節変動（米田ら, 2012）や岩手県産イワガキの特性（田中, 2004）、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動及び年変動（内藤ら, 2014）等があり、季節による呈味成分の違いを調査している報告がいくつかある。一方、マガキの味は季節の影響の他にも養殖条件により変動することが考えられる。広島県や長崎県を中心とした各地域では、養殖条件を変更することによってマガキの品質を改良することが試みられている。マガキの呈味や外観をコントロールすることにより、新たなブランド養殖マガキの開発と産地化に繋がると考えられる。しかし、マガキの呈味は養殖中の飼育条件により変動することが報告されているが（山口, 1993）、マガキの呈味評価に基づいた化学的根拠に関する報告は少ない。そこで本研究では、養殖マガキの呈味特性を化学的に評価するために、養殖中および収穫後の各種飼育条件が呈味成分に及ぼす影響に関して食品化学的研究を行った。

カキの養殖方法

我が国のマガキ養殖の歴史は古く、記録によると最も古い養殖法は 1673 年（延宝元年）に広島県で始まった地まき式養殖法である（鬼木, 2013 b）。これは竹や石等で採苗された稚貝を剥ぎ取り、浅海底にまき養殖する方法である。次いで海底が泥質のところへひびを建て稚貝を付着させ養殖するひび建て式養殖法が出てくるが、これら 2 つの養殖方法は干潮時に露出するような水深 2～3 m の浅瀬で養殖する必要がある（中込, 1965）。

1920 年代に入ると、現在貝類養殖で主流になっている方式である、いかだを用いた垂下式養殖方法に関する試験研究が行われるようになった（水産庁, 2013）。この方法としては、一般にホタテの貝殻に穴を開けて長い針金またはロープに数十枚通したものをコレクター（採苗器）として使用し、カキの幼生が浮遊している時期に、コレクターを海に垂下し付着

させて稚貝とし、コレクター上で商品サイズにまで育てるというものである（鬼木, 2013 b）。この「垂下式養殖法」（以下、通常垂下法と表す）は、現在も長崎県諫早市小長井地区においても行われている（図 1-1A）。この場合、一枚のホタテの貝殻に多数の稚貝が付着し過密状態で育つため、成長した牡蠣殻の形状が細長くいびつになり、個体ごとの形もまちまちになる（図 1-2A）。

一方、近年導入されている比較的新しい養殖方法としてシングルシード法がある。この方法は、従来のようにホタテ貝殻に幼生を付着させたものを養殖するのではなく、人工採苗によって一定サイズにまで稚貝を育て、その後稚貝を 1 つずつ単体にしたものを網カゴに入れて養殖するものである（鬼木, 2013 a）。諫早市小長井地区では、マガキの夏場の大量斃死が数年おきに発生していることから（大橋ら, 2006）、長崎県総合水産試験場では耐夏性のマガキ養殖の研究が取り組まれており、2010 年に大橋らはこの従来のシングルシード法（厚岸漁業協同組合, 2001, 大橋, 2009）を改良して効率のよい採苗に成功した（大橋ら, 2010）。これにより、小長井産シングルシードマガキをブランドとして市場に送り出すことを可能にした。新たなシングルシード法は、粉碎した親牡蠣の殻片をプラスチック製のプレート（10 cm×10 cm）に固着し、海中でコレクターとしてマガキ幼生を付着させ 10 mm 程度の大きさになるまで育てた後、プレートから剥離し一つずつバラバラの状態です網カゴに入れて海に垂下する養殖法（大橋, 2011）である（図 1-1B）。この方法によって養殖されたマガキは左殻のふくらみも強く、丸みを帯びた良い形に成長し、身入りも良い（図 1-2B）。海外では一口で食べられる小ぶりのマガキが好まれる傾向にあるため、カキを供するオイスターバーが多い欧米やオーストラリアでは、シングルシードカキの生産が主流となっている（鬼木, 2013 b）。日本においては、カキは主にむき身の状態で販売されるが、近年オイスターバーの出店が増加し、殻の形の良いシングルシードカキの需要が高まっている。しかしシングルシードマガキは通常のマガキよりも小ぶりであり、日本では消費者のニーズから小さなマガキはほとんど市場で取引されていないのが現状である。そのため、諫早市小長井地区では市場で取引されるサイズに満たなかったシングルシードマガキは翌年まで海で飼育し続けている。これら 2 年もののマガキは、飼育期間が長い分の手間がかかっているが、1 年ものと区別されることなく出荷されているのが現状である。



図 1-1 2種類のマガキ養殖方法
 A : 通常垂下法
 B : シングルシード法

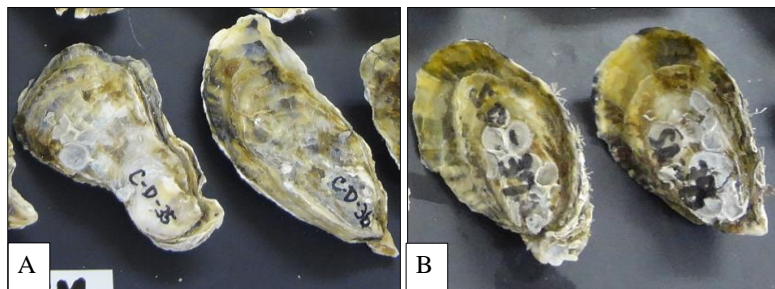


図 1-2 2つの方法で養殖されたマガキの形状
 A : 通常垂下法
 B : シングルシード法

呈味成分分析および官能評価

肉や魚介類といった動物性食品において、味を決めるうえで大きく関わっている成分は遊離アミノ酸、うま味に關与する ATP 関連化合物および塩類である。遊離アミノ酸は甘味中心のアミノ酸（グリシン、アラニン、トレオニン、プロリン、セリン、リシン、グルタミン）、苦味中心のアミノ酸（フェニルアラニン、トリプトファン、アルギニン、イソロイシン、ロイシン、バリン、メチオニン、ヒスチジン）、うま味中心のアミノ酸（グルタミン酸ナトリウム、アスパラギン酸ナトリウム）に分けられる(表 1-1, 味の素株式会社, 2003, 小俣, 1986)。そのほか、貝類においてはそれ自体に味はないがコクのように濃厚感やとろみを与え、全体をまとめる役割のあるグリコーゲンも重要な成分である（坂口, 1989, 渡辺ら, 1990）。

このように、マガキの味に関する化学成分の分析には高速液体クロマトグラフィー (HPLC) および分光光度法を用い、遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲンの定量を行なうことが多い。しかし、これら化学成分分析では成分を個別に定量するにとどまり、相乗効果や抑制作用など、食品中の呈味物質間における相互作用を検知することは出来ないため、ヒトが感じる味をそのまま評価していることにはならない（沖, 2015）。一方、ヒトは様々な化学成分を総合的に味としてとらえることができ、パネリストによる官能評価は味の特徴を判断する最も重要な手段である。しかし、官能評価は環境やパネリストたちの体調等さまざまな要因により変動する可能性がある（沖, 2015）。さらに、生まれ育った地域差、性別、年齢等によっても感じ方は変わるなど、個人差が大きい。そのため、わずかな差を客観的に識別する「分析型官能評価」では、パネリストを特別に訓練する必要があり、一方、嗜好調査等のパネリストの主観で評価を行う「嗜好型官能評価」では、多数のパネリストが必要となる（松本, 2012a）。そのため官能評価は設備や人手などコストが掛かる問題がある。

表 1-1 遊離アミノ酸の味

	甘味	塩味	酸味	苦味	うま味
Taurine					
Aspartic acid (Na)			+		+
Threonine	++			(+)	
Serine	++				(+)
Glutamic acid (Na)	(+)	(+)			++
Glutamine	(+)				(+)
Proline	++			++	
Glycine	++				
L-Alanine	++				
D-Alanine	+				+
β -Alanine	+				
Lysine	+			+	(+)
Arginine	(+)			++	
Phenylalanine				++	
Tryptophan				++	
Isoleucine				++	
Leucine				++	
Methionine				++	(+)
Valine	(+)			++	
Tyrosine				++	

小俣 (1986), 味の素株式会社 (2003) より引用。

++ : 強い味

+: やや強い味

(+): 弱い味

基本味とヒトの味覚受容メカニズム

1916 年、ドイツのヘニングは甘味、塩味、酸味、および苦味の 4 つを基本味とする説を提唱した (大越ら, 2009)。日本においては 1907 年池田菊苗氏が昆布のだし汁より L-グルタミン酸ナトリウムの単離に成功し、うま味の成分として提唱された。うま味という味覚の存在に関しては長らく議論が続けられていたが、舌の味蕾にある感覚細胞にグルタミン酸受容体が発見され (Chaudhari *et al.* 2000, Nelson *et al.* 2002)、4 基本味にうま味が加わり 5 基本味となった。今日ではうま味は「UMAMI」という用語で国際的に認知されるに至った。

最近の研究により、甘味、塩味、酸味、苦味およびうま味の 5 基本味を受容する味覚レセプターが舌の上にあることが明らかとなっている。ヒトの舌に存在する味蕾には脂質膜で構成された味細胞が多数存在し、うま味、甘味および苦味は細胞膜を 7 回貫通して細胞内の G タンパク質と相互作用する G タンパク質共役型受容体 (G protein-coupled

receptor, GPCR) ファミリーで受容される。GPCR は T1R1, T1R2, T1R3, T2Rs 等複数種類存在し、味覚変換に関与しており、うま味受容体は T1R1+T1R3 ヘテロ 2 量体、甘味受容体は T1R2+T1R3 ヘテロ 2 量体、苦味受容体は T2Rs であることが明らかとなっている (Chandrashekar *et al.* 2006, Reed *et al.* 1999)。一方、酸味および塩味はチャネル型受容体により受容される。味物質はこれらの味覚レセプターを通して受容され、味細胞先端の微絨毛膜に結合すると電位変化が起こり、その電気信号はセカンドメッセンジャー分子を介して神経回路網に伝達される (DeSimone *et al.* 2001, Zhang *et al.* 2003)。

味認識装置による分析

生体では、舌の味細胞の膜表面に呈味物質が吸着すると、細胞膜に電位変化が生じる。この電位変化は特性の異なる味細胞ごとに異なり、その信号が脳に伝達され、神経回路網での情報処理により味として認識され则认为られている (池崎, 2012)。味認識装置はこの生体機構を模倣し、ヒトの舌の細胞膜構造と類似した脂質膜センサを利用し、味を数値化して評価する装置である (都甲, 2006, 池崎ら, 2003)。

味認識装置を用いた食品評価は、すでに茶やコーヒー、ワイン等の飲料類、肉類、だし汁等多岐にわたり報告されている (Toko *et al.* 2013a, Uchiyama *et al.* 2011)。まず、味認識装置の利点の一つとして、多数のパネリストの必要性がなく、一度に多くの検体数の食品を客観的に評価することができることが挙げられる (Hayashi *et al.* 2013)。また、Uchiyama *et al.* (2011) は、茶の発酵時間が長いほどうま味と苦味が増加し、渋味が減少する味の変化を味認識装置によって識別した。コーヒーでは、各産地に特有の酸味、渋味、苦味の値をもとに製造されるブレンドコーヒーの味の予測に味認識装置の応用が期待されている (Ishiwaki, 2013)。ワインの製造や品質管理の場面では、澱との接触により味が変化することを味認識装置で検証した (Totsuka, 2013)。さらに食肉の場合、牛の筋肉の生理的・生化学的特性の違いや豚肉の味に関わるうま味関連成分の違いを味認識装置で識別した (Fujimura *et al.* 2013)。また、かつお節とこんぶの各 2%だし汁よりも、かつお節とこんぶ各 1%の混合だし汁の方が相乗効果として味が濃いという結果が味認識装置で観測された (Doi, 2013)。一方、漢方生薬では味評価が規定されたが、有毒成分を含む附子は官能検査が困難である。そのため、Anjiki, *et al.* (2005) および Anjiki, *et al.* (2011) は、味認識装置を用いて生薬の味の特長を客観的に識別した。さらに、Miyanaga *et al.*

(2003) は味認識装置を用いて薬の苦味の抑制作用を評価するなど、味認識装置による味分析と官能評価との良好な適合性も認められた(都甲, 2002)。これら多くの知見から味認識装置の特徴は、①ヒトと同様に類似味に対して類似した応答をする、②閾値はヒトと同様の傾向を示す、③味センサから得られる情報は電位差に由来することから明確な単位を持つ、④呈味物質間の相互作用を検知する、ことなどが挙げられる (Kobayashi *et al.* 2010)。このように味認識装置がパネルに頼らず、客観的に味を評価することができるのは大きな利点と思われるが、最近の改良型センサにおいては、海産物やマガキの味について分析した報告はこれまでにほとんどない。

本論文の構成

本研究では養殖マガキの呈味特性を食品化学的に調べるために、養殖条件および水揚げ後の飼育条件が呈味成分におよぼす影響について研究することを目的とした。

第2章では、ホタテの貝殻を数十枚連ねたコレクターを用いて、海に浮遊しているマガキの幼生を付着させて一定サイズになるまで海に垂下する通常の垂下法で育ったマガキと、人工採苗して一定サイズまで育てたマガキ稚貝を1個体ずつバラバラの状態で網かごに入れて海に垂下するシングルシード法で育ったマガキを比較し、養殖方法の違いがマガキの味におよぼす影響について遊離アミノ酸を定量することによって検討した。その結果、通常垂下法で養殖されたマガキに比べてシングルシード法で養殖されたマガキの方が甘味やうま味が強いことが明らかとなった。

第3章では、シングルシードマガキの飼育年数の違いに着目した。シングルシードマガキは通常垂下マガキよりも小ぶりであり、出荷期中に出荷サイズに満たなかったマガキはもう1年海に垂下される。この収穫期2年目のマガキは1年目のマガキと区別されることなく販売されているのが現状である。養殖業者によると、収穫期2年目のシングルシードマガキは味が濃厚であるという。しかしながら、その味を科学的に調べた報告はない。そこで第3章では、飼育年数がシングルシードマガキの呈味成分に及ぼす影響を調べることを目的とした。うま味の相乗効果には ATP 関連化合物が関係している。また貝類にはグリコーゲンが多く含まれており、水分量とグリコーゲン量は逆相関の関係にあるという報告(木村, 2003)があることから、グリコーゲン量も測定した。さらに、化学成分分析だけでは総合的な味を評価出来ないため、ヒトによる加熱試料の官能評価も行なった。定量分

析の結果、収穫期 2 年目のマガキは 1 年目のマガキよりも甘味に関する遊離アミノ酸量が有意に低くなった。しかしながら官能評価においては同様の傾向はみられたが、有意な差は認められなかった。これらの結果から全体としては飼育年数によるシングルシードマガキの味の違いは大差ないと考えられるが、2 年目の方が甘味はやや劣る可能性が示された。

第 4 章では、通常垂下法で飼育された広島県産と長崎県産マガキの呈味成分を化学的に分析し、産地による呈味の違いを検証することを目的とした。さらに、味認識装置を用いてそれぞれの味を数値化し、相互作用を加味した総合的な味の評価を行った。味に関する成分として遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲン量の測定に加え、味認識装置による味分析を行ない、味認識装置のマガキの味評価に対する有用性を検討した。その結果、味認識装置では長崎県産マガキは広島県産マガキに比べて甘味、うま味および渋味が有意に高値を示し、苦味後味は有意に低値を示した。以上の結果より、産地により呈味が異なることが明らかとなり、これは餌となる植物プランクトンの違い等、環境要因の影響が考えられた。また本研究により、カキの呈味の新たな評価手段として、味認識装置が有効である可能性が示唆された。

第 5 章では、水揚げされた広島県産マガキに 3 種の植物プランクトン *Nannochloropsis* sp.、*Chaetoceros calcitrans* および *Chaetoceros gracilis* を給餌しながら、水槽で 5 日間飼育し、マガキの味上げ効果を調査することを目的として、呈味成分分析および生試料を用いた官能評価を行った。同時に飼育時の水温を 10°C および 20°C の 2 条件を設定し、水温の影響も検討した。その結果、10°C では数種の遊離アミノ酸量に有意な違いはみられたものの、生ガキを用いた官能評価では有意な違いは認められず、5 日間の飼育では明確な違いは得られなかった。一方 20°C での飼育は、どの餌料群も飼育前のコントロール群より多くの遊離アミノ酸量が減少した。特に *Nannochloropsis* sp.を与えた群でその傾向は強く、官能評価も化学分析結果と同様の傾向を示した。以上の結果から、飼育する場合の水温は 20°C より 10°C がよいと考えられ、飼育条件をさらに検討することにより、マガキの味が変動する可能性が推察された。

以上の研究結果から、養殖マガキの呈味特性と飼育の方法・期間、産地および収穫後飼育の条件（給餌用プランクトンの種類・水温）の生産要因による影響を食品化学的に明らかにした。

第2章 養殖方法および季節の異なるマガキの遊離アミノ酸組成の比較

2-1 はじめに

長崎県諫早市小長井地区は有明海の支湾の一つである諫早湾におけるマガキの養殖生産が盛んである。この地区では、わが国の一般的な垂下法である、ホタテの貝殻を数十枚連ねたコレクターを海に垂下してマガキの幼生を付着させる通常垂下法により養殖されたマガキのほかに、人工採苗により一定サイズまで育てた稚貝を一つずつバラバラの状態に網かごに入れて海に垂下するシングルシード法によって養殖されたマガキが飼育されている。一般にシングルシードの方が、通常垂下によるマガキより外観がよく美味であるとされるが、2種類の養殖方法がマガキの味に関する化学成分に与える影響を調べた報告はこれまでにほとんどない。我々は、先行研究としてこれまでに冷凍状態で輸送された通常垂下法によって養殖されたマガキとシングルシード法によって養殖されたマガキ各6個体を用いて、味に関する化学成分である遊離アミノ酸組成の比較を行なった。その結果、甘味に関する遊離アミノ酸であるアラニンが通常垂下マガキに比べてシングルシードマガキで有意に多く含まれていた。呈味成分に関して違いがみられたことから、本研究では検体数を増やし、冷蔵状態でのマガキを用い、長崎県小長井地区において2012年12月および2013年3月に水揚げされたシングルシードマガキと通常垂下法によるマガキの遊離アミノ酸組成を分析し、養殖方法の味への影響を検討した。加えて、小長井地区における冬ガキと春ガキの上記成分を比較した。

2-2 方法

2-2-1 試料

試料には長崎県諫早市小長井地区にて通常垂下法およびシングルシード法によって養殖されたマガキ各10個体を用いた。長崎県小長井地区では、通常垂下マガキは水揚げの前年の7月～8月に宮城の海で採苗された稚貝を11月に小長井地区に搬入後、翌年4月まで抑制を繰り返し、5月から海に垂下して飼育されている。一方シングルシードマガキは3月に小長井の施設で人工採苗した幼生を、砕いた親ガキを付着させたプラスチックプレート上で一定サイズになるまで育てたあと、プレートから剥離して網かごに入れて7月より海に垂下して飼育されている。2012年12月および2013年3月に水揚げされたそれぞれ

の試料は、紫外線 (UV) 殺菌水槽にて 1 日処理後、保冷下で東京へ輸送し、実験室に到着後すぐに実験に供した。

2-2-2 殻付全重量およびサイズの計測

試料マガキを殻付状態で重量を測定した後、ノギスで殻高、殻長、殻幅を計測した。

2-2-3 水分測定

試料マガキの殻を開け軟体部を取り出し、余分な水分をキムワイプで軽く拭いて取り除いた後、1 個体ずつまな板の上でペースト状になるまで包丁で細切した。細切した試料の一部を 3 等分して約 1 g ずつ秤量し、60°C のオーブン (Drying Oven DX41、ヤマト科学、東京) で 48 時間以上加熱し、水分を蒸発させた。デシケーターで 30 分放冷後、精密天秤にて重量を測定し、水分の平均割合 (%) を求めた。なお、常法の 105°C 5 時間で行った場合と値は変わらないことを確認した。

2-2-4 試料エキスの調製

トリクロロ酢酸 (TCA) 抽出法を用いた。50 mL 容遠沈管に 5% TCA 溶液を約 30 mL 加え、そこに均一に細切した試料約 2.5 g を入れた。ホモジナイザー (ウルトラタラックス、IKA ジャパン、大阪) を用いてホモジナイズ後、4,620 × g、5 分遠心分離をして上澄みを得た。これを 0.45 μm のフィルター (Dismic-25CS、アドバンテック、東京) で濾し、50 mL に定容したものを試料エキスとした。

2-2-5 遊離アミノ酸分析

島津アミノ酸分析システム (島津製作所、京都) により分析した。カラムは Shim-pack Amino-Li を使い、反応試薬には OPA (オルトフタルアルデヒド) 試薬を使用した。測定条件は以下の通りに行った: 流速: 0.6 mL/min、カラムオーブン: 39°C、検出器: Shimadzu RF-535、励起波長 350 nm、蛍光波長 450 nm。

2-2-6 統計処理

得られたデータは t 検定により統計処理を行ない、 $p < 0.05$ を有意水準とした。

2-3 結果および考察

2-3-1 サイズ、水分含量、殻付全重量、軟体部重量、軟体部率

サイズ、水分含量、殻付全重量、軟体部重量および軟体部率の結果を図 2-1～図 2-10 に示す。2012 年 12 月のマガキにおいて、殻付マガキの殻高、殻長、殻幅はそれぞれ通常垂下マガキで 95.3 ± 3.4 mm (平均±標準誤差、以下同様)、 48.2 ± 1.0 mm、 25.5 ± 1.2 mm であり、シングルシードマガキはそれぞれ 69.3 ± 1.9 mm、 44.9 ± 0.9 mm、 25.5 ± 0.6 mm と、殻高および殻長は通常垂下マガキに比べてシングルシードマガキの方がそれぞれ約 27% ($p < 0.01$) および約 7% ($p < 0.05$) 有意に短かった。

2013 年 3 月のマガキでは、殻高、殻長、殻幅は通常垂下マガキでそれぞれ 100.3 ± 3.4 mm、 54.5 ± 2.0 mm、 30.9 ± 1.6 mm であり、シングルシードマガキではそれぞれ 71.3 ± 2.4 mm、 45.0 ± 1.1 mm、 24.7 ± 0.9 mm と殻高、殻長、殻幅全てにおいてシングルシードマガキの方がそれぞれ約 29%、17%、20%有意に短かった ($p < 0.01$, 図 2-1)。

以上の結果より、殻高および殻長は両方の時期でシングルシードマガキの方が有意に短かったことから、シングルシードマガキは通常垂下マガキよりもサイズは小さいことが示された。2012 年 12 月と 2013 年 3 月を比較すると、通常垂下マガキでは 2012 年 12 月より 2013 年 3 月で殻長および殻幅がそれぞれ約 13%、21%有意に長かった ($p < 0.05$)。一方、シングルシードマガキは季節による有意な差は認められなかった (図 2-2)。

水分含量は、通常垂下マガキで 2012 年 12 月、2013 年 3 月の順に $81.0 \pm 1.2\%$ 、 $72.0 \pm 0.4\%$ であり、シングルシードマガキではそれぞれ $76.2 \pm 0.5\%$ 、 $72.0 \pm 0.4\%$ であった。2012 年 12 月では、通常垂下マガキに比べシングルシードマガキで約 6%有意に低かった ($p < 0.01$) が、2013 年 3 月では養殖方法による有意な差は認められなかった (図 2-3)。また、2012 年 12 月と 2013 年 3 月を比較すると、いずれの養殖方法も 2013 年 3 月の方が水分含量はそれぞれ通常垂下マガキで約 11%、シングルシードマガキで約 6%の割合で有意に少なかった ($p < 0.01$, 図 2-4)。

水分含量に関しては、12 月では養殖方法の違いによる差がみられたものの、3 月では養殖方法による差はみられず、いずれも養殖方法も 12 月よりも 3 月で有意に低い値を示していたことから、水分含量については養殖方法の違いよりも季節による差の方が大きいことが示された。

殻付全重量は、通常垂下マガキで2012年12月、2013年3月の順に 57.8 ± 3.4 g、 82.3 ± 0.9 g であり、シングルシードマガキでそれぞれ 37.2 ± 1.8 g、 38.4 ± 1.0 g であった。2012年12月、2013年3月ともにシングルシードマガキの方がそれぞれ約36%、53%有意に低い値を示した ($p < 0.01$, 図2-5)。2012年12月と2013年3月を比較してみると、通常垂下マガキでは3月の方が12月よりも約42%有意に高値を示した ($p < 0.01$)。一方、シングルシードマガキでは季節による殻付重量の差は認められなかった (図2-6)。

軟体部重量は、通常垂下マガキで2012年12月、2013年3月の順に 10.6 ± 1.0 g、 25.8 ± 0.8 g、シングルシードマガキでそれぞれ 8.9 ± 0.5 g、 12.7 ± 0.3 g であった。2012年12月では養殖方法による有意な差は認められなかったが、2013年3月では通常垂下マガキに比べてシングルシードマガキは約51%有意に低かった ($p < 0.01$, 図2-7)。2012年12月と2013年3月との比較では、通常垂下マガキが12月よりも3月で約143%有意に高値を示し ($p < 0.01$)、シングルシードマガキでも同様に3月の方が約43%有意に高値を示した ($p < 0.01$, 図2-8)。

軟体部率をみると、通常垂下マガキで2012年12月、2013年3月の順に $18.2 \pm 1.0\%$ 、 $31.3 \pm 0.8\%$ 、シングルシードマガキでそれぞれ $23.9 \pm 0.7\%$ 、 $33.1 \pm 0.9\%$ であり、2012年12月では通常垂下マガキに比べシングルシードマガキで約31%有意に高値を示した ($p < 0.01$)。2013年3月では養殖方法による有意な差は認められなかった (図2-9)。また、2012年12月と2013年3月を比較すると、いずれの養殖方法も2013年3月の方が軟体部率は高く、通常垂下マガキで約72%、シングルシードマガキで38%の割合で有意に高値を示した ($p < 0.01$, 図2-10)。

以上の結果より、シングルシードマガキは通常垂下マガキに比べて小ぶりであることが明らかとなった。さらに季節の違いでは、養殖方法に関わらず12月よりも3月の方が身は大きいことが示された。

通常垂下マガキはカキ同士がひしめき合って育つため、空いたスペースを求めて殻が縦に伸びる傾向にある。また、豊前海ではカキがムラサキイガイ等付着生物に被覆されることで細長い形となったという報告例もある (佐藤, 1999)。通常垂下法はコレクターを海に垂下した後は収穫期までそのまま垂下し続ける。そのため付着生物が多いが、シングルシード法の場合は、小長井においてはひと月に1回網かごを引き揚げ、網かごを取り換えるという手間がかけている (鶴田, 2015)。そのため付着生物が少なく、1つ1つ独立し

た状態で網かごに入れられるため、細長いいびつな形にはならなかったと推察した。

水分は季節により有意な差があった。いずれの養殖方法も3月の方が水分含量は少なかった。北海道厚岸産シングルシードマガキ(米田ら, 2012)や、広島県産マガキ(高田ら, 1996)においても水分含量は12月より3月で少ない傾向がみられており、同様の結果であった。水分含量とグリコーゲン含量は反比例の関係にあるという報告があることから(木村, 2003)、3月の方がグリコーゲン量は多い可能性が推察された。

殻付全重量は通常垂下マガキに比べてシングルシードマガキで有意に低い値を示した。通常垂下マガキは前年の7月に宮城で天然採苗された種苗を11月頃小長井に取り寄せ、カキを強くするために5~6か月潮が引く場所に吊るすという抑制の工程を経て5月頃より海に垂下している。一方、シングルシードマガキは3月に人工採苗されたものをプレート上で一定サイズになるまで飼育し、7月頃から網かごに入れて海に垂下している(鶴田, 2015)。このことから飼育期間の違いが殻付重量に影響していると考えられた。軟体部率では通常垂下マガキよりシングルシードマガキで12月のみ有意に高値を示した。3月では有意差はなかったものの、やや高い傾向がみられた。このことから、シングルシードマガキは小ぶりであるが、身入りは良いことが示唆された。佐藤(1999)はムラサキイガイの付着の有無により、軟体部重量に差がみられたと報告している。本実験においてシングルシードマガキの方が通常垂下マガキより軟体部率(身入り)が良かったことも付着生物が少なく、さらにカキ同士の密度も低いことで餌の競合が少ないことが要因のひとつであると推察された。季節による違いをみると、いずれの養殖方法も軟体部重量、軟体部率ともに3月の方が有意に高い値を示し、3月の方が身入りは良いことが明らかとなった。

2-3-2 遊離アミノ酸量

遊離アミノ酸の測定結果を図2-11~図2-14に示す。総遊離アミノ酸量は通常垂下マガキで2012年12月、2013年3月の順に 1302 ± 121 mg/100g、 1890 ± 46 mg/100 g、シングルシードマガキでそれぞれ 1775 ± 53 mg/100 g、 1939 ± 60 mg/100 gであった。2012年12月では通常垂下マガキよりシングルシードマガキで約36%有意に多く含まれていたが($p < 0.01$)、2013年3月では養殖方法による有意な差は認められなかった(図2-11)。季節による違いをみてみると、2012年12月に比べて2013年3月で通常垂下マガキは約45%総遊離アミノ酸量が有意に多かったが、シングルシードマガキでは季節による有意な差は認められなかった(図2-12)。

12月のマガキではシングルシードマガキの方が遊離アミノ酸量は有意に多く、3月のマガキでは有意な差は認められなかったもののシングルシードマガキの方が遊離アミノ酸量が多い傾向がみられた ($p < 0.06$)。これらのことから、通常垂下マガキよりシングルシードマガキに遊離アミノ酸量は多く含まれることが示された。さらに養殖方法に関わらず、12月より3月のマガキの方が総遊離アミノ酸量が多いことが明らかとなった。

各種遊離アミノ酸の結果をみると、2012年12月で通常垂下マガキよりシングルシードマガキでアスパラギン酸、トレオニン、セリン、グルタミン酸、アラニン、 β -アラニン、リシンがそれぞれ約37%、139%、167%、70%、78%、81%、84%の割合で有意に多く含まれていた。2013年3月では、通常垂下マガキよりシングルシードマガキでグルタミン酸、グリシン、 β -アラニンがそれぞれ約26%、26%、32%の割合で有意に多く含まれており、アルギニンは約39%有意に少なかった (図2-13)。また、セリン、アラニン、 β -アラニン、グリシンは甘味を呈するアミノ酸として知られている。一方、グルタミン酸はうま味を示し、アスパラギン酸はわずかなうま味を示すとされる (小俣, 1986, 味の素株式会社, 2003)。これらのことから、通常垂下マガキに比べ、シングルシードマガキは甘味やうま味に関する遊離アミノ酸が多いことから、シングルシードマガキの方が甘味やうま味強いことが示唆された。

次に2012年12月と2013年3月のマガキの各種遊離アミノ酸量を比較した。図2-14に通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの結果を示す。通常垂下マガキは12月よりも3月でトレオニン、セリン、グルタミン酸、グルタミン、プロリン、アラニン、 β -アラニン、リシンおよびアルギニンがそれぞれ約254%、118%、61%、166%、68%、132%、101%、174%、195%の割合で有意に多く含まれていた。一方、アスパラギン酸とグリシンは12月よりも3月で約55%、29%の割合で有意に低い値を示した。シングルシードマガキでは、トレオニン、グルタミン酸、グルタミン、プロリン、アラニン、 β -アラニン、リシンおよびアルギニンで約34%、20%、57%、33%、65%、47%、100%、68%の割合で12月よりも3月のマガキに有意に多く含まれていた。一方、アスパラギン酸とグリシンはそれぞれ約62%、19%の割合で3月のマガキの方が有意に低い値を示した。

以上の結果より、いずれの養殖方法も12月のマガキよりも3月のマガキに遊離アミノ酸が多く含まれ、特に甘味やうま味に関する遊離アミノ酸が有意に多いことから、12月のマガキよりも3月のマガキの方が甘くてうま味強いことが示唆された。

Sakaguchi *et al.* (1989) は三重県産の通常垂下マガキの遊離アミノ酸含量はグルタミ

ン酸、アラニン、グリシン、プロリン、 β -アラニンが多く含まれていたと報告している。米田ら（2012）の報告によると、北海道厚岸産のシングルシードマガキでは、アラニン、プロリン、グリシン、グルタミン酸、アスパラギン酸が多く含まれていた。いずれの報告もマガキ中の遊離アミノ酸量の季節変動を分析しており、冬よりも春に遊離アミノ酸量が多く含まれる傾向がみられており、今回の結果と同様の傾向であった。しかし、両報告とも、通常垂下マガキまたはシングルシードマガキのみの比較であった。

遊離アミノ酸量に影響をおよぼす因子としては飼育時期や場所による植物プランクトン量、海水の塩分濃度、海水の温度等の環境要因が考えられるが、今回は同じ小長井の海で同時期に養殖されたものを比較しているため、塩分濃度や海水温の影響は考えにくく、餌のとり易さが何らかの影響をおよぼしている可能性が考えられた。

2-4 まとめ

長崎県小長井産マガキを用いて、養殖方法の異なるマガキの遊離アミノ酸組成を比較した。試料にはホタテ貝殻をコレクターとして飼育された通常垂下マガキと、1つずつばらした状態で網かごに入れて飼育したシングルシードマガキを用い、HPLCを用いて遊離アミノ酸組成を測定した。分析実験は2012年12月と2013年3月の2回行い、季節による違いも合わせて検討した。その結果、殻高および殻長は両方の時期でシングルシードマガキの方が有意に短かったことから、シングルシードマガキは通常垂下マガキよりも小さいことが示された。水分含量に関しては、12月のみ養殖方法の違いによる差がみられ、いずれの養殖方法も12月よりも3月で有意に低い値を示していたことから、養殖方法の違いよりも季節による差の方が大きいことが推察された。

殻付全重量および軟体部重量は通常垂下マガキに比べてシングルシードマガキで有意に低い値を示した。しかし、軟体部率ではシングルシードマガキの方が12月は有意に高値を示し、3月では有意差はなかったものの、同様の傾向がみられた。このことから、シングルシードマガキは小ぶりではあるが、身入りは良好であることが推察された。季節による違いをみると、いずれの養殖方法も軟体部重量、軟体部率ともに3月の方が有意に高い値を示し、3月の方が身入りは良いことが明らかとなった。

総遊離アミノ酸量は12月のマガキではシングルシードマガキの方が遊離アミノ酸量は有意に多く、3月のマガキでは有意な差は認められなかったものの同様の傾向がみられた。これらのことから、通常垂下マガキよりシングルシードマガキに遊離アミノ酸量は多く含まれることが示唆された。さらに養殖方法に関わらず、12月より3月のマガキの方が総遊離アミノ酸量は多いことが示された。

各種遊離アミノ酸では、2012年12月において通常垂下マガキよりシングルシードマガキでアスパラギン酸、トレオニン、セリン、グルタミン酸、アラニン、 β -アラニン、リシンが有意に多く含まれていた。2013年3月では、通常垂下マガキよりシングルシードマガキでグルタミン酸、グリシン、 β -アラニンが有意に多く含まれており、アルギニンは有意に少なかった。これらのことから、通常垂下マガキに比べ、シングルシードマガキは遊離アミノ酸量が多く、なかでも甘味やうま味に関する遊離アミノ酸が多いことから、シングルシードマガキの方が甘味やうま味が強いことが示唆された。

2012年12月と2013年3月のマガキの各種遊離アミノ酸量を比較したところ、通常垂下マガキは12月よりも3月でトレオニン、セリン、グルタミン酸、グルタミン、プロリ

ン、アラニン、 β -アラニン、リシンおよびアルギニンが有意に多く含まれており、アスパラギン酸とグリシンは有意に低値を示した。シングルシードマガキでは、トレオニン、グルタミン酸、グルタミン、プロリン、アラニン、 β -アラニン、リシンおよびアルギニンが 12 月よりも 3 月のマガキに有意に多く含まれており、アスパラギン酸とグリシンは有意に低値を示した。これらのことからいずれの養殖方法も 12 月のマガキよりも 3 月のマガキに遊離アミノ酸が多く含まれ、特に甘味やうま味に関する遊離アミノ酸が有意に多いことから、12 月のマガキよりも 3 月のマガキの方が甘くてうま味が強いことが示唆された。

本研究により、同じ地域で養殖されていても、養殖方法の違いによりマガキの身入りや味に違いが出るということが明らかとなり、シングルシードマガキは小ぶりではあるが身入りは良く、甘味やうま味が強いことが示された。また、12 月のマガキよりも 3 月のマガキの方が甘味やうま味が強いことが示され、一般的な評価と合致した結果が得られた。

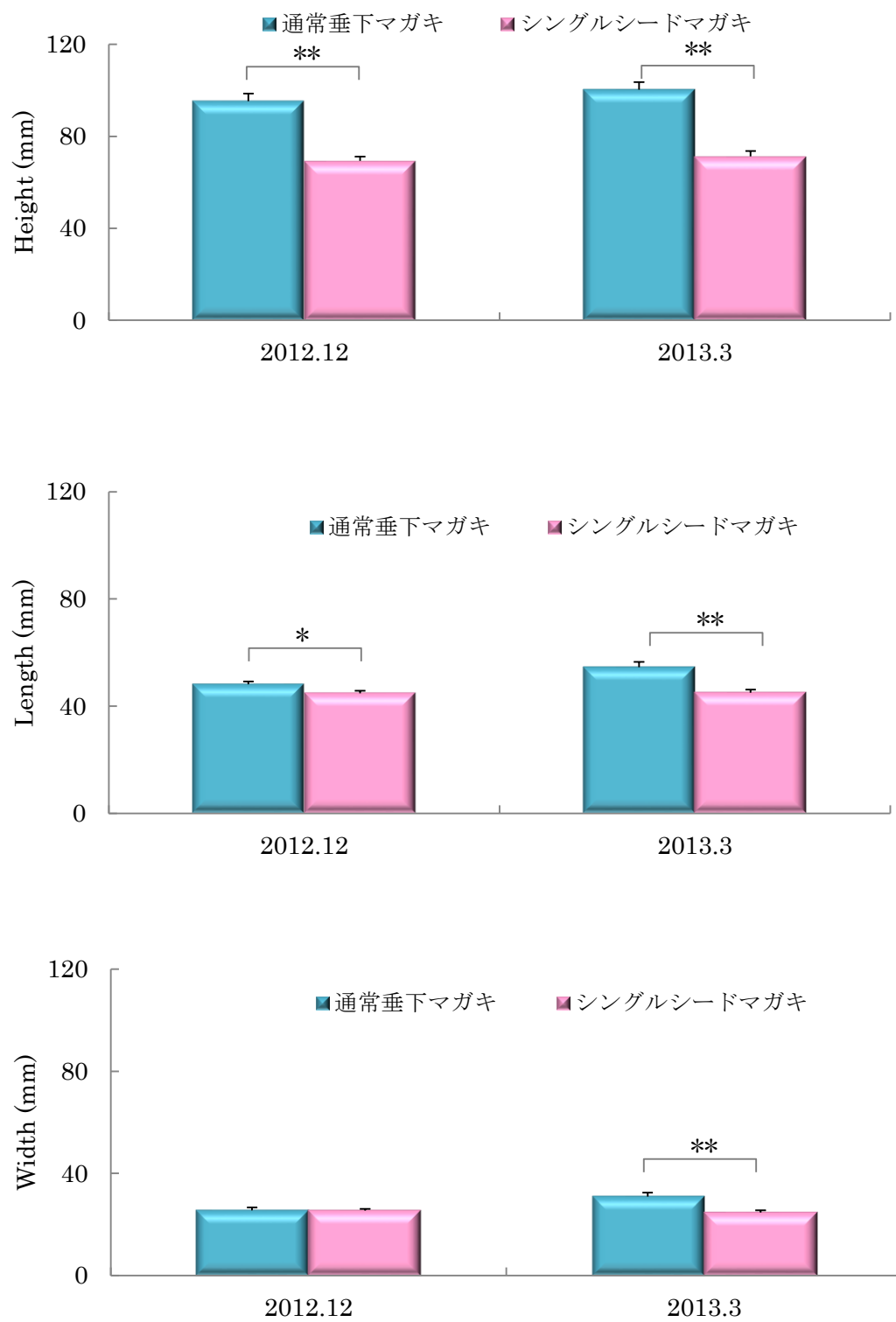


図 2-1 養殖方法の異なるマガキのサイズの比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.05$)。

**: 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

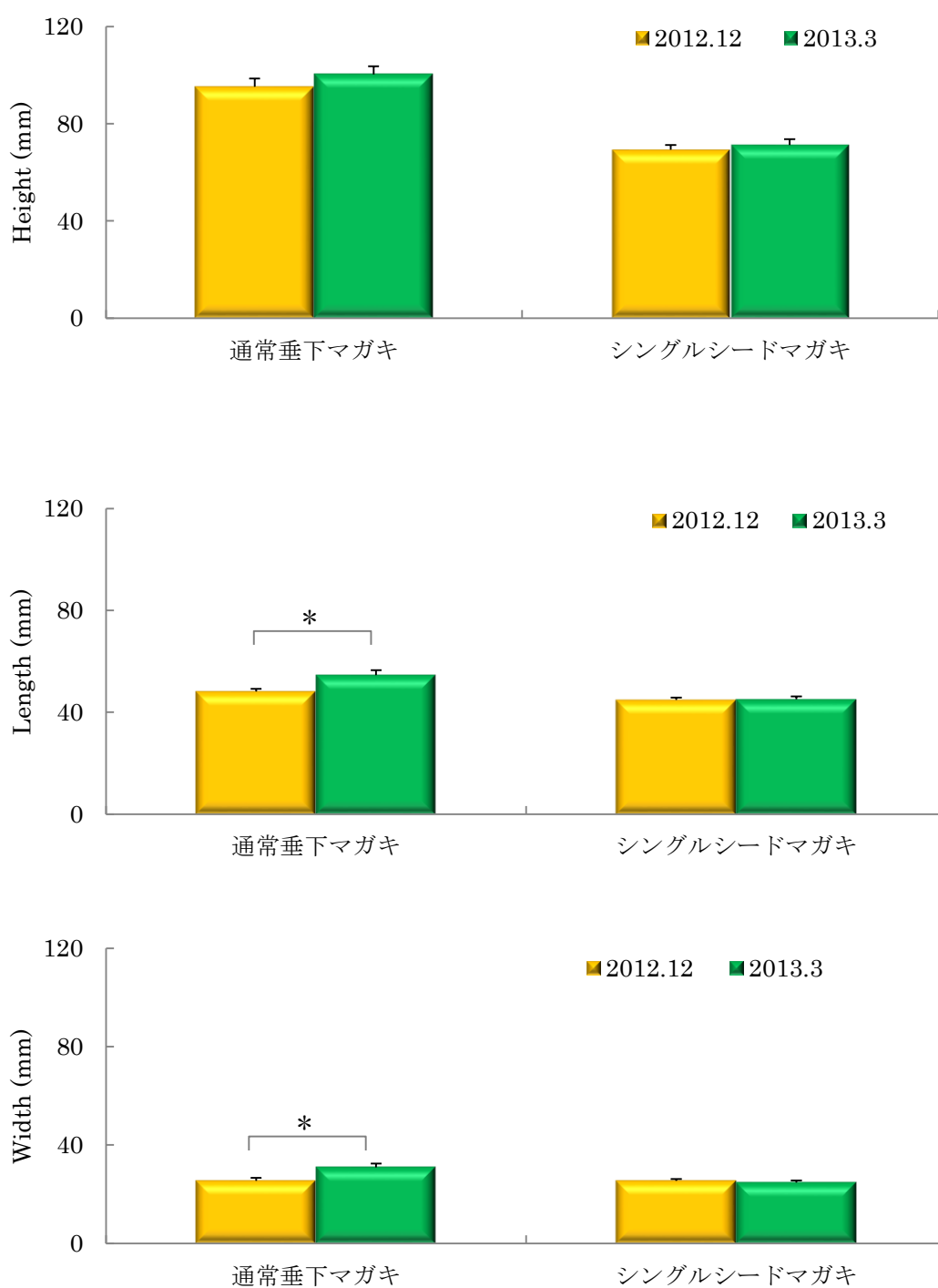


図 2-2 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキのサイズの比較
 平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.05$)。

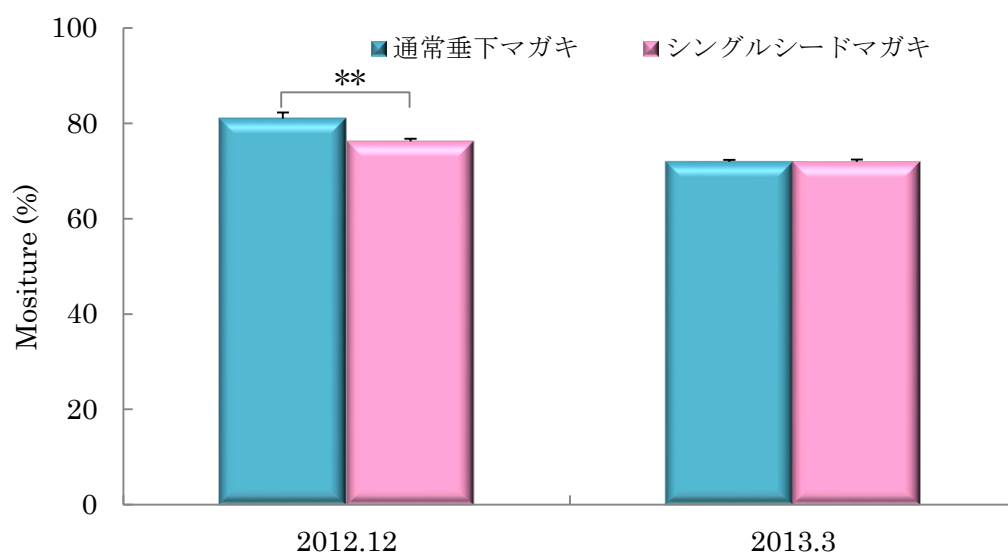


図 2-3 養殖方法の異なるマガキの水分含量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

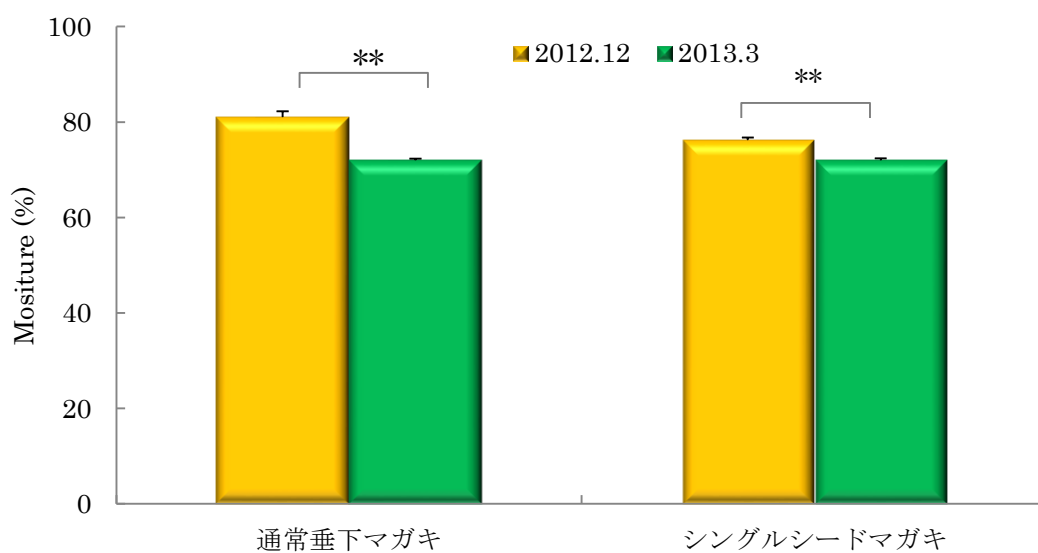


図 2-4 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの水分含量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.01$)。

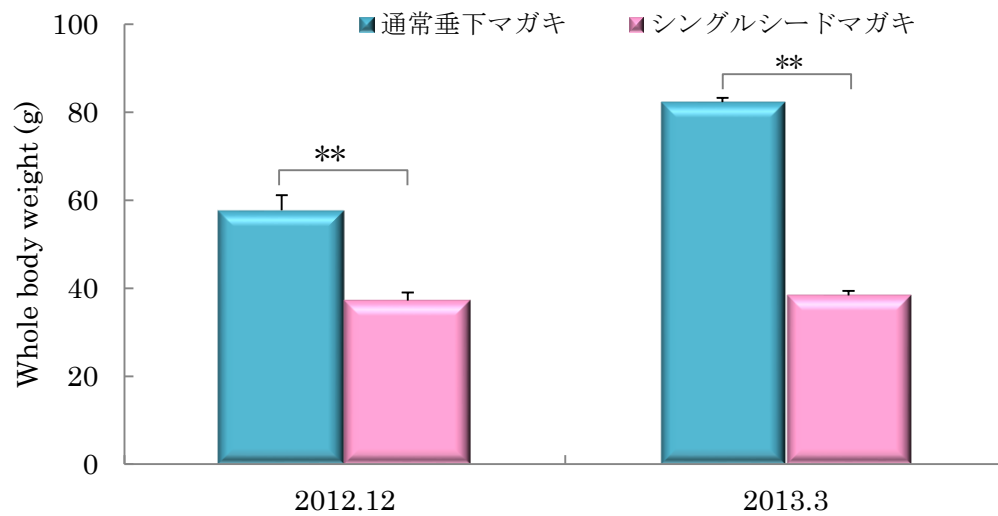


図 2-5 養殖方法の異なるマガキの殻付全重量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

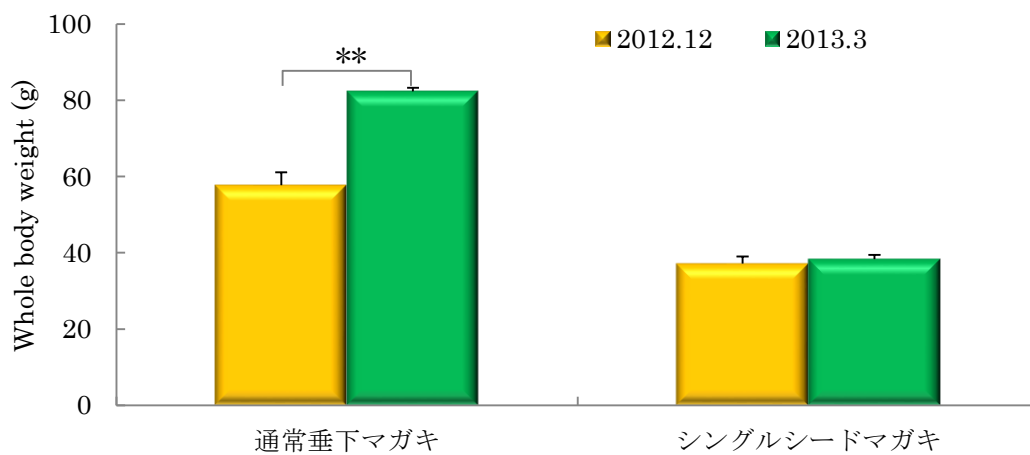


図 2-6 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの

殻付全重量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.01$)。

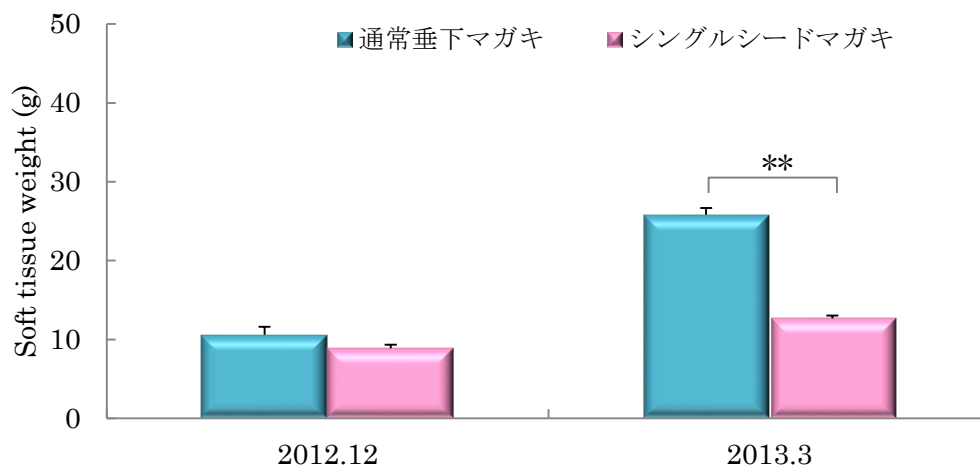


図 2-7 養殖方法の異なるマガキの軟体部重量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

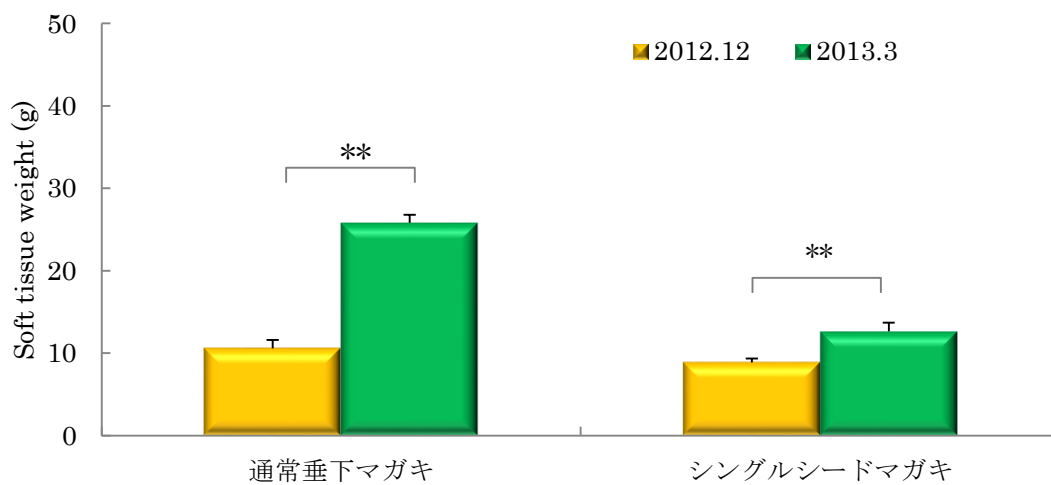


図 2-8 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの

軟体部重量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.01$)。

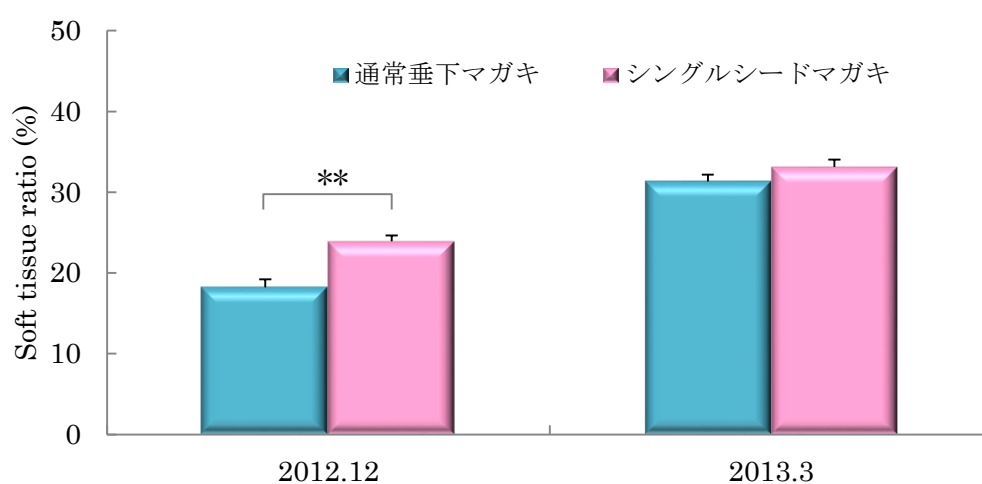


図 2-9 養殖方法の異なるマガキの軟体部率の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

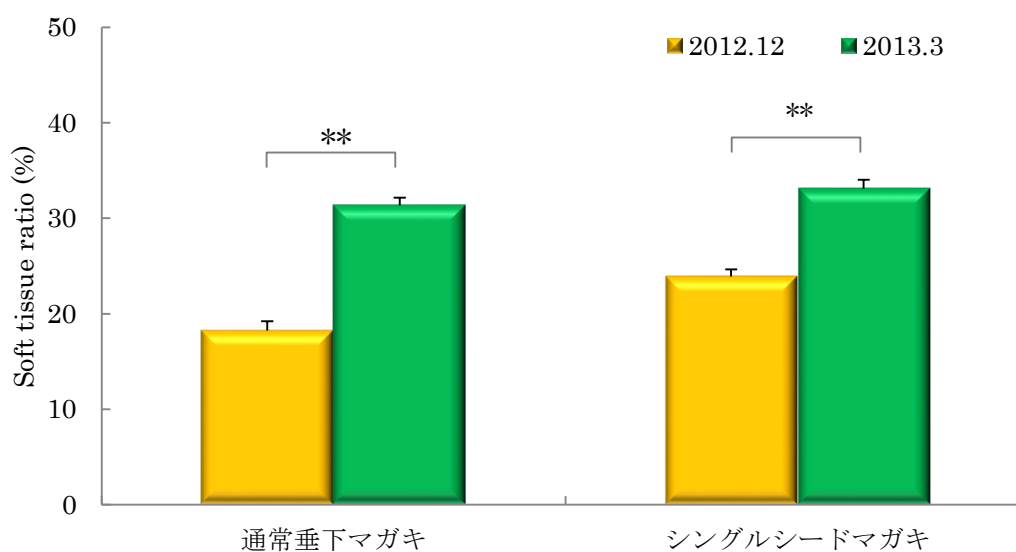


図 2-10 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの

軟体部率の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.01$)。

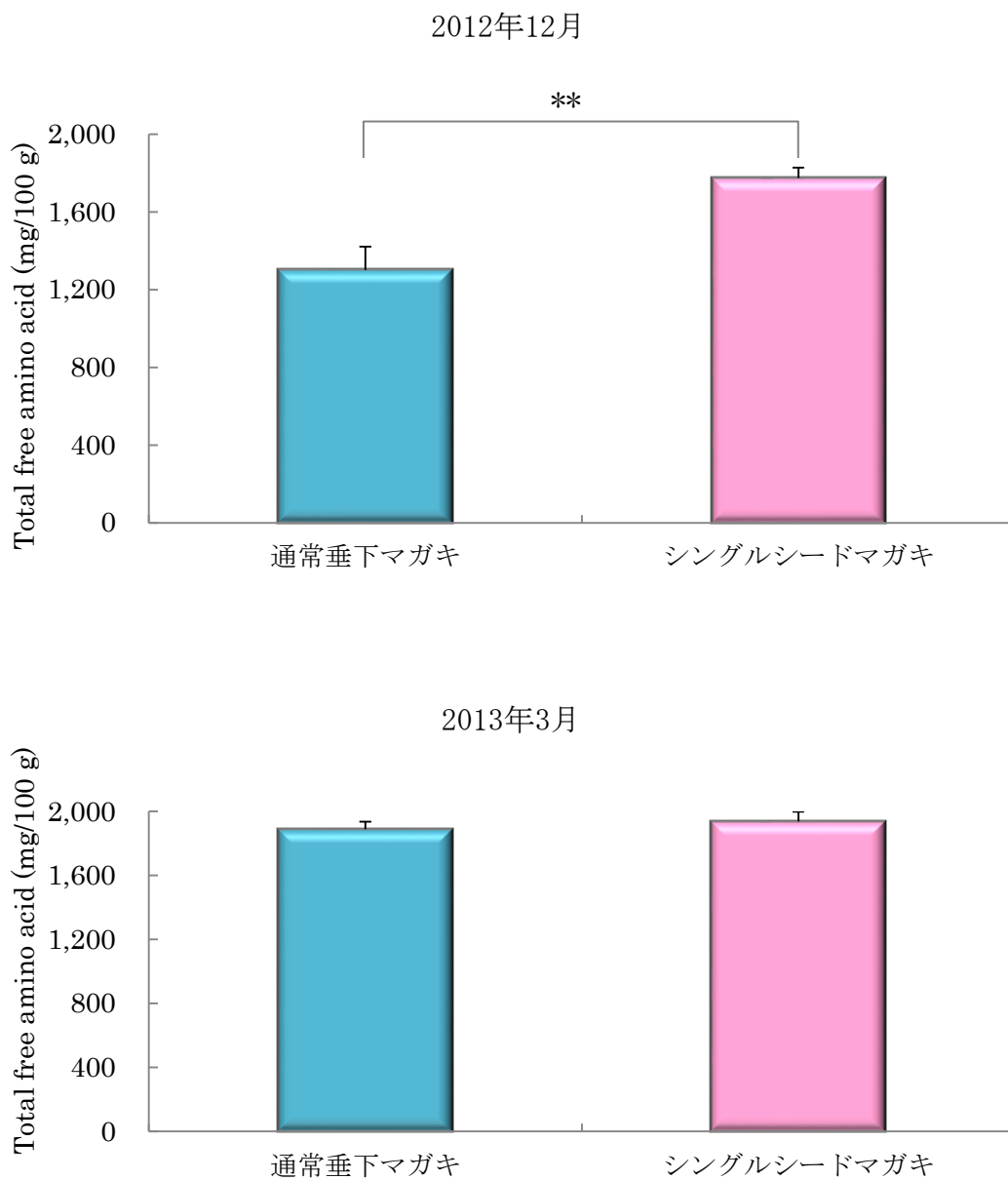


図 2-11 養殖方法の異なるマガキの総遊離アミノ酸量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

※タウリンを含む。

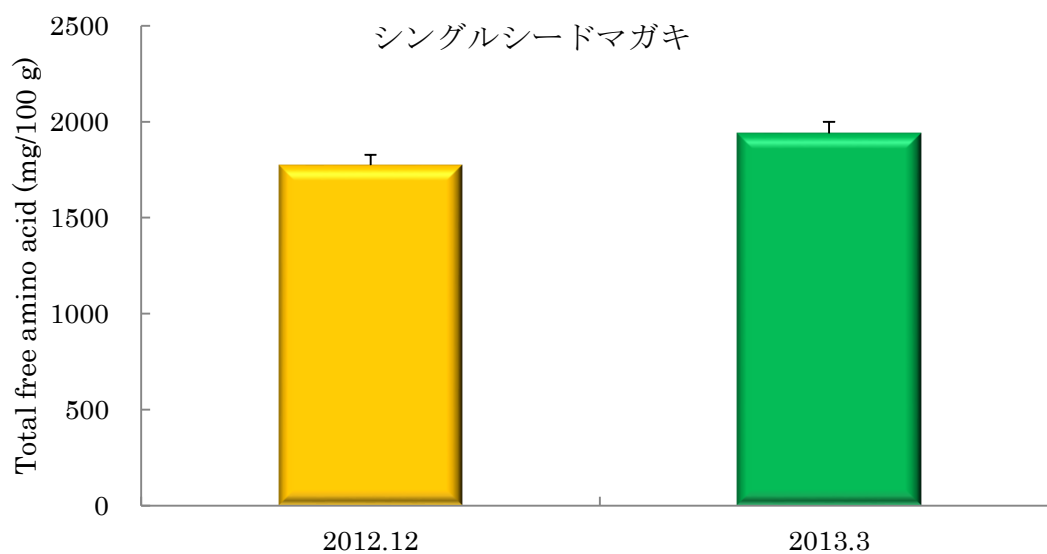
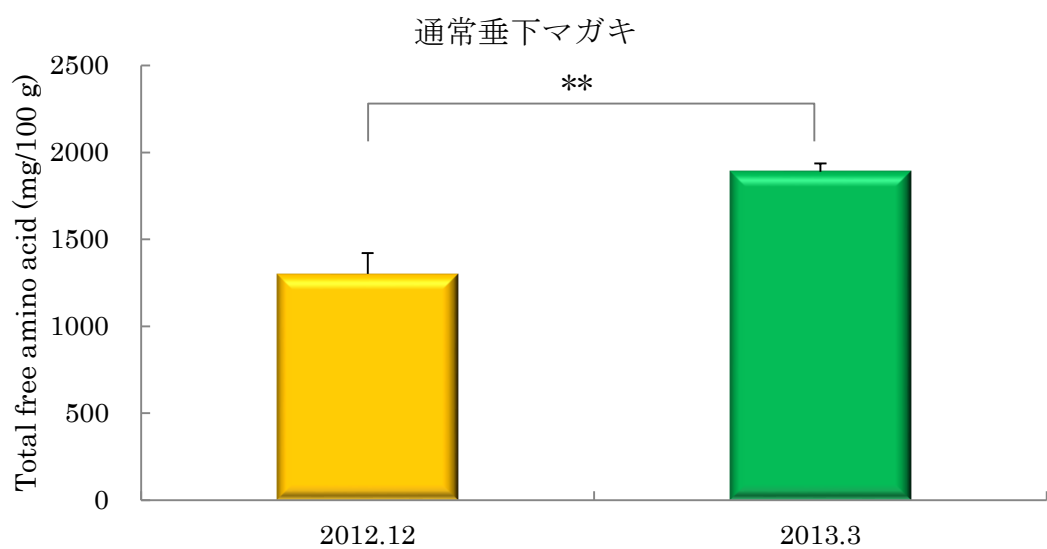


図 2-12 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの

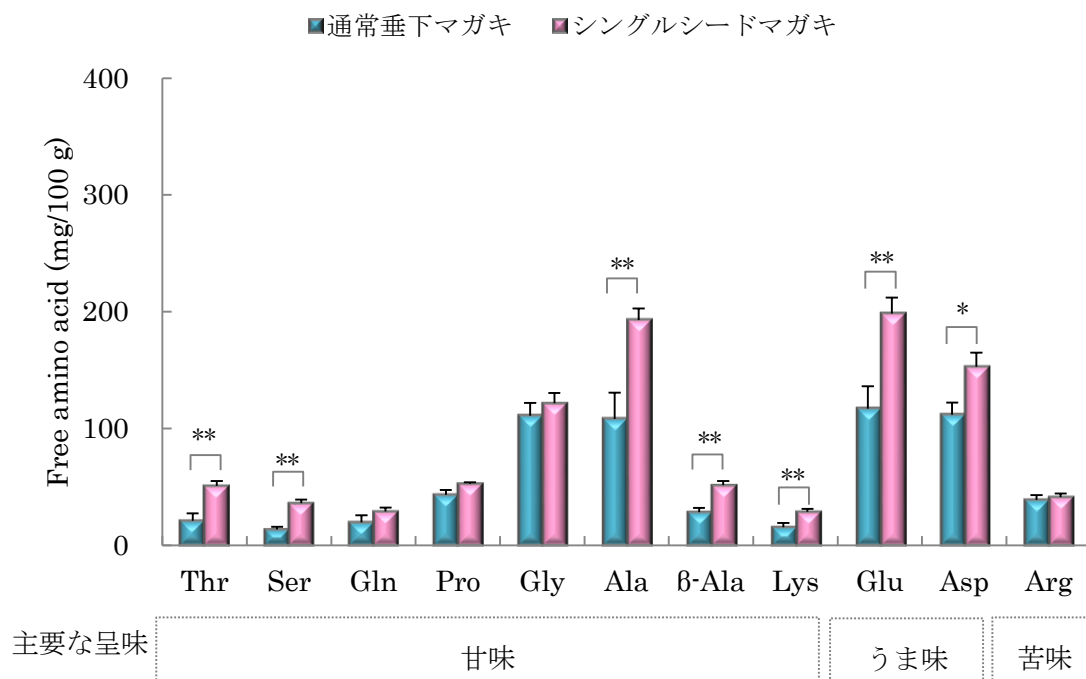
総遊離アミノ酸量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**： 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.01$)。

※タウリンを含む。

2012 年 12 月



2013 年 3 月

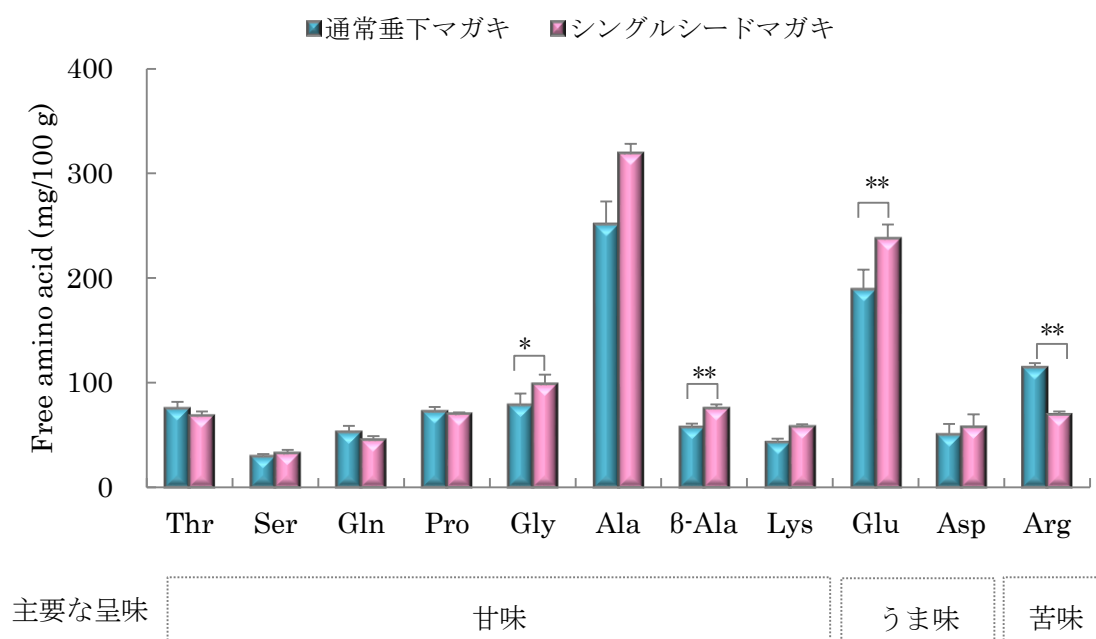


図 2-13 養殖方法の異なるマガキの主要遊離アミノ酸量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

*：養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p<0.05$)。

**：養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p<0.01$)。

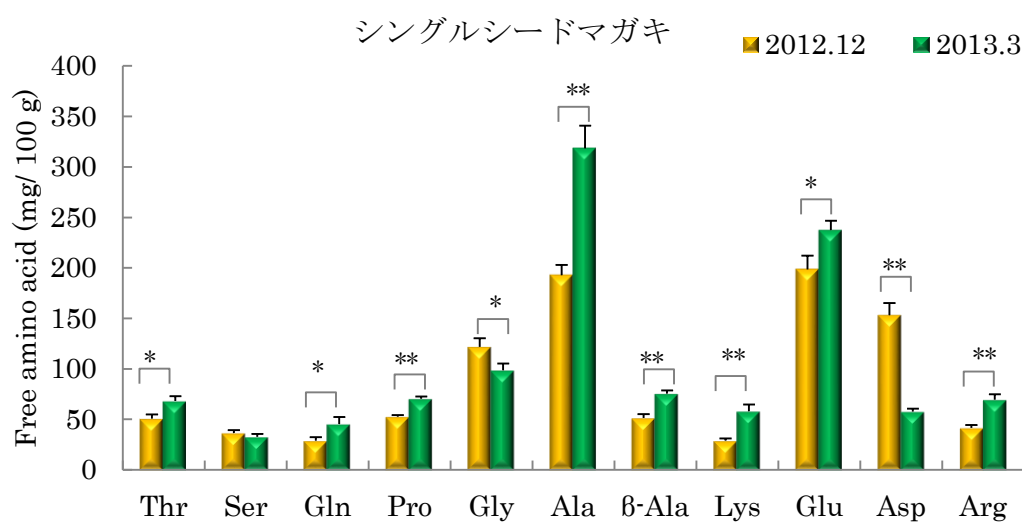
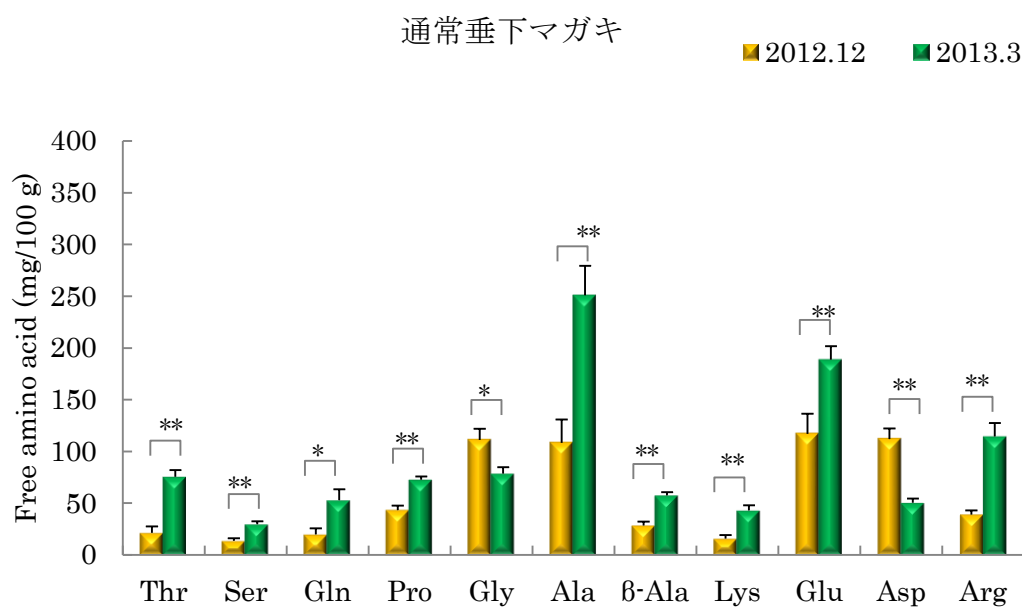


図 2-14 飼育時期の異なる通常垂下マガキおよびシングルシードマガキの

主要遊離アミノ酸量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 養殖方法の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.05$)。

**: 飼育時期の違いによる有意差あり ($p < 0.01$)。

第3章 飼育年数の異なるシングルシードマガキの呈味成分の比較

3-1 はじめに

シングルシードマガキは一粒カキを供するオイスターバーが多い欧米やオーストラリアでは、主流の生産方法となっている。日本においてはむき身のカキの販売が主であるが、近年オイスターバーの出店が増加し、殻の形の良いシングルシードマガキの需要が高まっている。一方、市場では一定重量以上のマガキが取り引きされており、シングルシードマガキは出荷期間中に商品サイズに満たないことがあり、1年多く飼育することがある。これらは収穫期1年目のマガキと区別されることなく出荷されているのが現状である。このもうひと夏越しして2年目の収穫期を迎えたシングルシードマガキは濃厚な味わいであると養殖業者はいうが、実際に収穫期1年目の通常のスィングルシードマガキの味と科学的に比較した報告はこれまでにない。そこで、飼育年数の違いがシングルシードマガキの味にどのような影響を与えるか調べるため、味に関する化学成分として遊離アミノ酸を分析した。本研究ではこれら成分変動の環境による影響を少なくするために、試料には2013年の2月と12月、2014年の1月と2月の計4回の異なった時期に水揚げされたシングルシードマガキで収穫期1年目および2年目を迎えた各2群の試料を用い、4回の比較結果を解析した。加えて2014年1月の試料ではATP関連化合物およびグリコーゲン量の分析と同時に、加熱試料を用いた官能評価も行なった。

3-2 方法

3-2-1 試料

試料には、長崎県諫早市小長井地区にてシングルシード法により養殖されて1年目のマガキ10個体およびシングルシード法により養殖されて2年目のマガキ10個体をそれぞれ用いた。ここでは種苗生産ののち海に垂下育成して最初の収穫期を迎えたものを1年目、さらにひと夏越し2回目の収穫期を迎えたものを2年目と呼ぶことにした。なお、今回は殻付重量に関係なく、各時期ともにランダムに収穫したものを試料とした。実験は2013年2月、2013年12月、2014年1月および2014年2月の4回行なった。試料はどれも水揚げ後、UV殺菌水槽にて1日処理し、保冷下で東京へ輸送し、実験室到着後に直ちに試料エキスの調製を行なった。

3-2-2 殻付全重量およびサイズの計測

2-2-2 に記載した方法と同様に行なった。

3-2-3 水分測定

2-2-3 に記載した方法と同様に行なった。

3-2-4 試料エキスの調製

2-2-4 に記載した方法と同様に行なったが、試料は 2 g 採取した。

3-2-5 遊離アミノ酸分析

2-2-5 に記載した方法と同様に行なった。

3-2-6 ATP 関連化合物分析

分析には 2014 年 1 月のマガキ試料エキスをを用い、HPLC により分析した。カラムは Shodex Asahipak GS-320 7G (昭和電工、東京)を用いた。測定条件は以下のように行った：移動相：100 mM NaH_2PO_4 溶液 (pH 3.0)、UV 検出波長：254 nm。

3-2-7 グリコーゲン測定

分析には 2014 年 1 月のマガキを用いた。約 1.0 g のサンプルに 30%KOH 溶液を 1.5 mL 加え、80°C の恒温槽で 30 分間加温した。放冷後、1.5 mL の 95%エタノールを加え攪拌し、30 分間氷冷した。その後、遠心分離し (1,210 $\times g$, 10 分)、沈殿に 10 mL の蒸留水を加えて沈殿が溶解するまで攪拌した。得られた溶液にさらに蒸留水を加えて 10 倍希釈とし、試料エキスとした。この試料エキス 100 μL に 5%フェノール 100 μL を添加後、濃硫酸 500 μL を加えて攪拌し、室温で 30 分間放置した。反応液の 492 nm における吸収からマイクロプレートリーダー (iMark、Bio-Rad、東京) を用いて分光光度法によりグリコーゲン含量を測定した (フェノール硫酸法)。

3-2-8 官能評価

官能評価には 2014 年 1 月のマガキを用いた。マガキは加熱した試料を用いた。耐熱皿に殻付マガキ 3 個をのせてラップをかけ、700 W の電子レンジで 90 秒加熱した。その後

軟体部を取りだし、包丁で縦半分に切ってパネリストに提供した。パネルは五味の識別試験等味に関して訓練された学習院女子大学の学生（3、4 年生）29 名で行なった。官能評価の対照には、長崎県小長井産の通常垂下マガキを用い、評点法により-3～+3 の 7 段階で評価した。

3-2-9 統計処理

各実験の 2 群間の比較には t 検定を用いて統計処理を行なった。4 回の実験の比較結果の解析には繰返しのある二元配置分散分析を全群間に施した。また収穫期の違いで有意差のあった項目に関しては、1 年目と 2 年目のマガキ 2 群間の比較を目的として t 検定を独立して行なった。有意水準はいずれも $p < 0.05$ とした。

3-3 結果および考察

3-3-1 サイズ、水分含量、殻付全重量、軟体部重量および軟体部率

サイズ、水分含量、殻付全重量、軟体部重量および軟体部率を図 3-1、図 3-2 および図 3-3 に示す。殻高は 2013 年 2 月、2013 年 12 月、2014 年 1 月および 2014 年 2 月の順に収穫期 1 年目のシングルシードマガキでそれぞれ 26.2 ± 1.1 mm、 26.6 ± 0.9 mm、 26.9 ± 1.0 mm、 31.2 ± 0.8 mm であり、収穫期 2 年目のシングルシードマガキではそれぞれ 27.3 ± 1.1 mm、 33.6 ± 1.6 mm、 28.1 ± 1.3 mm、 30.0 ± 0.8 mm であった。4 回の実験で二元配置分散分析を行なったが、飼育年数による殻高の有意な差は認められなかった。

殻長は 1 年目で 48.6 ± 1.2 mm、 47.1 ± 1.4 mm、 50.6 ± 0.8 mm および 61.9 ± 1.8 mm であり、2 年目で 49.5 ± 1.4 mm、 58.6 ± 1.4 mm、 53.9 ± 1.6 mm および 57.2 ± 1.9 mm であった。4 回の実験で二元配置分散分析を行なったところ、飼育年数による有意な差が認められ ($p < 0.05$)、さらに収穫期ごとに t 検定を行なったところ、2013 年 12 月で 2 年目のマガキ殻長は、1 年目のマガキより約 24% 有意に高値を示した ($p < 0.01$)。

殻幅は 1 年目で 26.2 ± 1.1 mm、 26.6 ± 0.9 mm、 26.9 ± 1.0 mm および 31.2 ± 0.8 mm であり、2 年目で 27.3 ± 1.1 mm、 33.6 ± 1.6 mm、 28.1 ± 1.3 mm および 30.0 ± 0.8 mm であった。4 回の実験で二元配置分散分析を行なったところ、飼育年数による有意な差が認められ ($p < 0.05$)、さらに収穫期ごとに t 検定を行なったところ、2013 年 12 月で 2 年目のマガキの殻幅は 1 年目のマガキより約 26% 有意に高値を示した ($p < 0.01$)。

以上の結果より、殻高は飼育年数による有意な差は認められなかったが、殻長および殻幅は 1 年目のマガキより 2 年目のマガキで有意に高くなった。シングルシードマガキは、殻が縦に長く成長するのではなく、カップが深くなるという特徴がある (鬼木, 2013a)。今回の結果はその特徴を表すものであった。

水分含量は 1 年目で $75.3 \pm 0.6\%$ 、 $76.1 \pm 0.7\%$ 、 $76.4 \pm 0.9\%$ および $72.6 \pm 0.3\%$ であり、2 年目で $75.7 \pm 0.6\%$ 、 $77.3 \pm 0.9\%$ 、 $75.1 \pm 0.6\%$ および $72.7 \pm 0.3\%$ であった。4 回の実験で二元配置分散分析を行なったが、飼育年数による水分含量の有意な差は認められなかった。

殻付全重量は 1 年目で 33.9 ± 2.2 g、 42.4 ± 2.1 g、 55.2 ± 3.4 g および 76.4 ± 3.9 g であり、2 年目で 48.9 ± 1.9 g、 78.4 ± 3.5 g、 68.5 ± 3.6 g および 76.2 ± 2.7 g であった。4 回の実験で二元配置分散分析を行なったところ、飼育年数による殻付全重量の有意な差が認められ ($p < 0.01$)、さらに収穫期ごとに t 検定を行なったところ 2014 年 2 月以外の 3 実

験で1年目より2年目のマガキでそれぞれ約44%、85%、24%の割合で有意に高値を示した(2013年2月および2013年12月: $p < 0.01$ 、2014年1月: $p < 0.05$)。

軟体部重量では1年目で 11.9 ± 0.8 g、 12.6 ± 0.5 g、 20.0 ± 1.0 g および 22.4 ± 1.4 g、であり、2年目で 15.1 ± 0.6 g、 20.0 ± 1.0 g、 20.2 ± 1.0 g および 22.0 ± 1.2 g であった。4回の実験で二元配置分散分析を行なった結果、飼育年数による有意な差が認められ($p < 0.01$)、さらに収穫期ごとに t 検定を行なったところ2013年2月および2013年12月で2年目のマガキの軟体部重量がそれぞれ約27%、59%の割合で有意に高値を示した($p < 0.01$)。

軟体部率を求めた結果では、1年目で $35.3 \pm 1.0\%$ 、 $30.1 \pm 1.3\%$ 、 $36.5 \pm 1.2\%$ および $29.3 \pm 0.9\%$ であり、2年目で $30.9 \pm 1.0\%$ 、 $25.8 \pm 1.4\%$ 、 $29.7 \pm 1.0\%$ および $28.8 \pm 1.0\%$ であった。4回の実験で二元配置分散分析を行なった結果、飼育年数による有意な差が認められ($p < 0.01$)、さらに収穫期ごとに t 検定を行なったところ2013年2月、2013年12月および2014年1月で1年目より2年目のマガキの軟体部率がそれぞれ約12%、14%、19% 有意に低い値を示した(2013年2月および2014年1月: $p < 0.01$ 、2013年12月: $p < 0.05$)。

収穫期2年目のマガキは殻付全重量、軟体部重量ともに1年目より有意に重くなっているが、重量の増加の割には軟体部の成長は少なく、軟体部率をみても1年目より有意に低い値を示していた。また、2013年2月のマガキの大きさは、4回の実験では一番小さかったが、身入りは平均を上回っていた。これらのことから、殻付重量と身入りには関連性はないことが推察された。なお、2014年2月のマガキは飼育年数に関わらず、殻付全重量がほとんど同じであった。鯉淵ら(2003)は、諫早湾内においてクロロフィル α の増殖がみられた数日前に比較的大きな降雨が観測されたと報告している。そのため、マガキの餌となる植物プランクトン量は、その時の天候によっても変動することが示唆された。このようにマガキ養殖はその年の気温や降水量、日射等による海の水温や塩濃度、植物プランクトン量等環境変化に影響を受けるため、同じ地域でも測定する年によっても変動があったと推察された。

北海道厚岸産のシングルシードマガキの身入りは12月～2月の間で約20%前後、釜石市唐丹湾産のマガキの身入りは12月で約7%という報告がある。これらに比べ、小長井産のマガキは身入りが良いと言える。宮城県石巻湾と広島県広島湾の環境特性の違いを比較し、Kamiyama *et al.* (2005) および神山(2007)は以下のように考察している。すなわち、広島湾西部は河川水の影響が強く、そのため陸域からの栄養塩類の供給が多く、それを利

用する植物プランクトンがより豊富に存在し、その消費者となる微小動物プランクトンも多く出現している。諫早湾も多くの河川が流入していることが報告されていることから (Satuito *et al.* 2013)、カキの餌となる植物プランクトン量が多いことが考えられ、これが身入りの良さに繋がっていると推察された。

3-3-2 遊離アミノ酸量

遊離アミノ酸量を図 3-4、図 3-5、および図 3-6 に示す。総遊離アミノ酸含量は 1 年目で 2029 ± 48 mg/100 g、 2029 ± 101 mg/100 g、 1838 ± 106 mg/100 g および 2267 ± 31 mg/100 g であり、2 年目で 1937 ± 36 mg/100 g、 1762 ± 92 mg/100 g、 1848 ± 64 mg/100 g、 2250 ± 42 mg/100 g であった。4 回の実験で二元配置分散分析を行なったが、飼育年数による総遊離アミノ酸量の有意な差は認められなかった。

各種遊離アミノ酸含量では、4 回の実験で二元配置分散分析を行なった結果、アスパラギン酸、トレオニン、セリン、グルタミン、グリシン、アラニンおよびリシンで飼育年数による有意な差が認められた (アスパラギン酸以外: $p < 0.01$)。このうち、アスパラギン酸、セリン、グルタミン、グリシンおよびアラニンは 1 年目より 2 年目のマガキで有意に低い値を示し、トレオニンおよびリシンは有意に高い値を示した。二元配置分散分析で有意差のあった項目について、収穫期ごとに t 検定を行なった。その結果、わずかなうま味を有するアスパラギン酸は収穫時期に関わらず有意な差は認められなかったが、甘味とわずかなうま味を有するセリンは 2013 年 12 月、2014 年 1 月および 2014 年 2 月で 2 年目のマガキがそれぞれ約 38%、32% および 20% の割合で有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。わずかな甘味とわずかなうま味を有するグルタミンは 2013 年 12 月および 2014 年 1 月で 2 年目のマガキがそれぞれ約 66%、44% の割合で有意に低い値を示した (2013 年 12 月: $p < 0.01$ 、2014 年 1 月: $p < 0.05$)。甘味を有するグリシンは 2013 年 2 月、2013 年 12 月および 2014 年 1 月で 2 年目のマガキがそれぞれ約 19%、24% および 30% の割合で有意に低い値を示した (2013 年 2 月および 2013 年 12 月: $p < 0.05$ 、2014 年 1 月: $p < 0.01$)。甘味とわずかなうま味を有するアラニンは 2013 年 2 月および 2013 年 12 月で 2 年目のマガキがそれぞれ約 27%、32% の割合で有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。甘味を有するトレオニンは 2013 年 2 月および 2014 年 1 月で 2 年目のマガキがそれぞれ約 25%、37% の割合で有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。甘味と苦味およびわずかなうま味を有するリシンは 2013 年 2 月および 2014 年 1 月で 2 年目のマガキがそれぞれ約 44%、53% の割合で有意

に高い値を示した ($p < 0.01$)。

以上の結果より、1年目のマガキに比べて2年目のマガキは甘味やうま味に関する遊離アミノ酸含量が少ないことが明らかとなり、2年目のマガキは味が劣る可能性が推察された。しかしながら、有意差のあった項目は収穫時期により異なっていた。Hosoi *et al.* (2003) は、塩分変化がマガキの遊離アミノ酸量に与える影響を調べているが、高浸透圧適応においてグリシン、アラニン、 β -アラニン、プロリン、アルギニンおよびタウリンが有意に増加したと報告している。特にアラニンは短期的な浸透圧調節物質（オスモライト）である。気温や降雨量、日射量等気象条件により水温や塩分濃度、植物プランクトン量が変化すると考えられ、これら環境の変化が遊離アミノ酸量の違いに影響している可能性が示唆された。

3-3-3 ATP 関連化合物量

ATP 関連化合物の結果を図 3-7 に示す。試料は2014年1月のマガキを使用し、うま味に関するAMPおよびIMP量を測定した。AMPは1年目のマガキで $1.31 \pm 0.18 \mu\text{mol/g}$ 、2年目のマガキで $0.83 \pm 0.06 \mu\text{mol/g}$ であり、1年目のマガキに比べて2年目で約37%の割合で有意に低い値を示した。IMPは1年目のマガキで $0.06 \pm 0.01 \mu\text{mol/g}$ 、2年目のマガキで $0.07 \pm 0.02 \mu\text{mol/g}$ であり、飼育年数による有意な差は認められなかった。またIMPは含有量も少なかった。この結果は米田ら (2012) と同様の結果であった。鴻巣 (1973) によると、水産無脊椎動物ではAMPのデアミナーゼを欠くか、あっても作用が緩慢なためにAMPが蓄積されることから、カキにおいてもATPの分解はAMPまではスムーズであるが、AMPからIMPには分解が進みにくいことが推察された。AMPはそれ自体には味を持たないが、IMPと同様に、うま味成分のグルタミン酸と一緒に摂取することでうま味の相乗効果を示すといわれている（鴻巣, 1991, 日本化学会, 1999, Hayashi *et al.* 1981）。そのため、2年目のマガキはうま味がやや劣る可能性が示された。

3-3-4 グリコーゲン量

グリコーゲン自体は味を持たないが、全体の味に濃厚感やとろみ、複雑感等を与え、味を調和する働きがあるといわれている（坂口, 2001）。グリコーゲン量の結果を図 3-8 に示す。グリコーゲン量は2014年1月のマガキを用いて測定した。その結果、1年目のマガキのグリコーゲン量は $69.3 \pm 7.2 \text{ mg/g}$ 、2年目のマガキは $81.6 \pm 5.2 \text{ mg/g}$ であり、飼育

年数による有意な差は認められなかった。貝類のグリコーゲン量は餌料環境 (Whyte *et al.* 1990) や水温等環境 (Mann, 1979) により変化することが報告されている。マガキはグリコーゲンをエネルギー源として蓄えており、海水温が上昇してくると、産卵準備のためグリコーゲンを蓄え始める。その後、成熟期から産卵期にかけて生殖腺発達に消費されて急激に減少する (奥村, 2005)。このことから、グリコーゲン量は、飼育年数よりも季節による違いの方が大きいことが示唆された。

3-3-5 官能評価

2014 年 1 月の加熱マガキを用いて、官能評価を行なった。その結果を図 3-9 および図 3-10 に示す。評点法により甘味、塩味、苦味、うま味、後味、コクおよび好ましさの評価を行なったが、いずれの項目も有意な差は認められなかった。しかし 1 年目のマガキに比べ 2 年目のマガキは有意差はなかったが、甘味の評価が低い傾向がみられた。グリコーゲン量と関係のあるコクには有意差はなかったものの、2 年目のマガキが強い傾向がみられた。これは養殖業者の見解と同様の結果であった。実際にグリコーゲン量も、有意差は認められなかったが、2 年目のマガキに多く含まれていた。うま味も有意差はなかったが、2 年目のマガキで高い傾向がみられた。しかし、うま味に関するグルタミン酸や IMP も飼育年数による有意な差は認められず、むしろ AMP は有意に低かったことから、うま味の強さはほとんど変わらないことが推察された。今回の官能評価では甘味の項目を除いて、2 年目のマガキの方が値は高い傾向がみられた。今回のパネリスト 29 名のうち、マガキをよく、あるいは時々食べる 15 名を抽出して再度統計処理を行なったが (図 3-10)、カキをよく食べ、その味をわかっているパネリストにおいても、すべての項目で有意な差は認められなかった。

今回、化学成分分析の結果と官能評価の結果より、2 年目のマガキは甘味が弱く、コクは強いという傾向がみられたが、官能評価においては特に有意な差はなく、カキ自体の個体差やパネルの個人差等ばらつきが大きい可能性が考えられた。以上のことより、全体としては飼育年数によるシングルシードマガキの味の違いは大差ないと考えられるが、2 年目の方が甘味はやや劣る可能性が推察された。本実験において官能評価を行なった際に、加熱したカキを用いたことで、香り等の影響も大きくなったと考えられた。また個人差やカキ自体の個体差等により、ばらつきが大きくなったと推察された。これらのことから、科学的に生のカキの味の評価方法を検討する必要があると考えられた。

3-4 まとめ

長崎県小長井地区で、シングルシード法によって養殖された飼育年数の異なるマガキの呈味成分について比較するために、遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲン量を分析した。試料には 2013 年の 2 月と 12 月、2014 年の 1 月と 2 月の計 4 回の異なった時期に水揚げされたシングルシードマガキで収穫期 1 年目および 2 年目を迎えた各 2 群の試料を用い、4 回の比較結果を解析した。統計処理には繰返しのある二元配置分散分析を全群間に施した。また、1 年目と 2 年目のマガキ 2 群間の比較を目的として、 t 検定を独立して行った。その結果、収穫期 2 年目のマガキは殻付全重量、軟体部重量ともに 1 年目より有意に重くなっているが、重量の増加のわりに軟体部の成長率は少なく、軟体部率は 1 年目より有意に低値を示していた。これらのことから、2 年目のマガキは 1 年目よりは身が大きくなるが、殻に対しての成長率は低いことが示された。また 2013 年 2 月のマガキは、4 回の実験で一番小さかったが、身入りは平均を上回っていた。これらのことから、殻付重量と身入りには関連性はないことが示唆された。

総遊離アミノ酸含量は 4 回の実験で二元配置分散分析を行なった結果、飼育年数による有意な差は認められなかった。各種遊離アミノ酸含量では、アスパラギン酸、トレオニン、セリン、グルタミン、グリシン、アラニンおよびリシンで飼育年数による有意な差が認められ、このうち、アスパラギン酸、セリン、グルタミン、グリシンおよびアラニンは 1 年目より 2 年目のマガキで有意に低い値を示し、トレオニンおよびリシンは有意に高い値を示した。2014 年 1 月のマガキにおいて、AMP は 1 年目のマガキに比べて 2 年目で有意に低い値を示したが、IMP は飼育年数による差は認められなかった。

化学成分分析の結果より、1 年目のマガキに比べて 2 年目のマガキは甘味に関する遊離アミノ酸含量が少ないことが明らかとなり、2 年目のマガキは味が劣る可能性が推察された。しかしながら、有意差のあった項目は収穫時期により異なっていた。これは天候等による水温や塩分濃度、植物プランクトン量等の環境の変化が影響している可能性が示唆された。

2014 年 1 月の加熱マガキを用いて官能評価を行なった結果、いずれの項目も有意な差は認められなかった。しかし、1 年目のマガキに比べ 2 年目のマガキは、有意差はなかったが、甘味の評価が低い傾向がみられた。グリコーゲン量と関係のあるコクは、有意差はなかったものの、2 年目のマガキで強い傾向がみられ、これは養殖業者の見解と同様であった。得られた分析結果からも、グリコーゲン量に有意差は認められなかったが、2 年目

のマガキに多く含まれていた。うま味も有意差はなかったが、2 年目のマガキで高い傾向がみられた。しかし、うま味に関するグルタミン酸も IMP も飼育年数による有意な差は認められておらず、むしろ AMP は 2 年目のマガキで低下していた。そのためうま味の強さは大きく変わらないことが推察された。普段カキをよく食するという 15 名のパネリストを抽出して再度統計処理を行なったが、カキをよく食べて、味をわかっているパネリストにおいても、すべての項目で有意な差は認められなかった。今回の官能評価では、いずれの項目においても有意な差が認められず、ヒトの個人差、マガキの個体差や加熱カキを用いたことが影響していると考えられた。以上のことより、全体としては飼育年数によるシングルシードマガキの味の違いは大差ないと考えられるが、2 年目の方が甘味はやや劣る可能性が推察された。

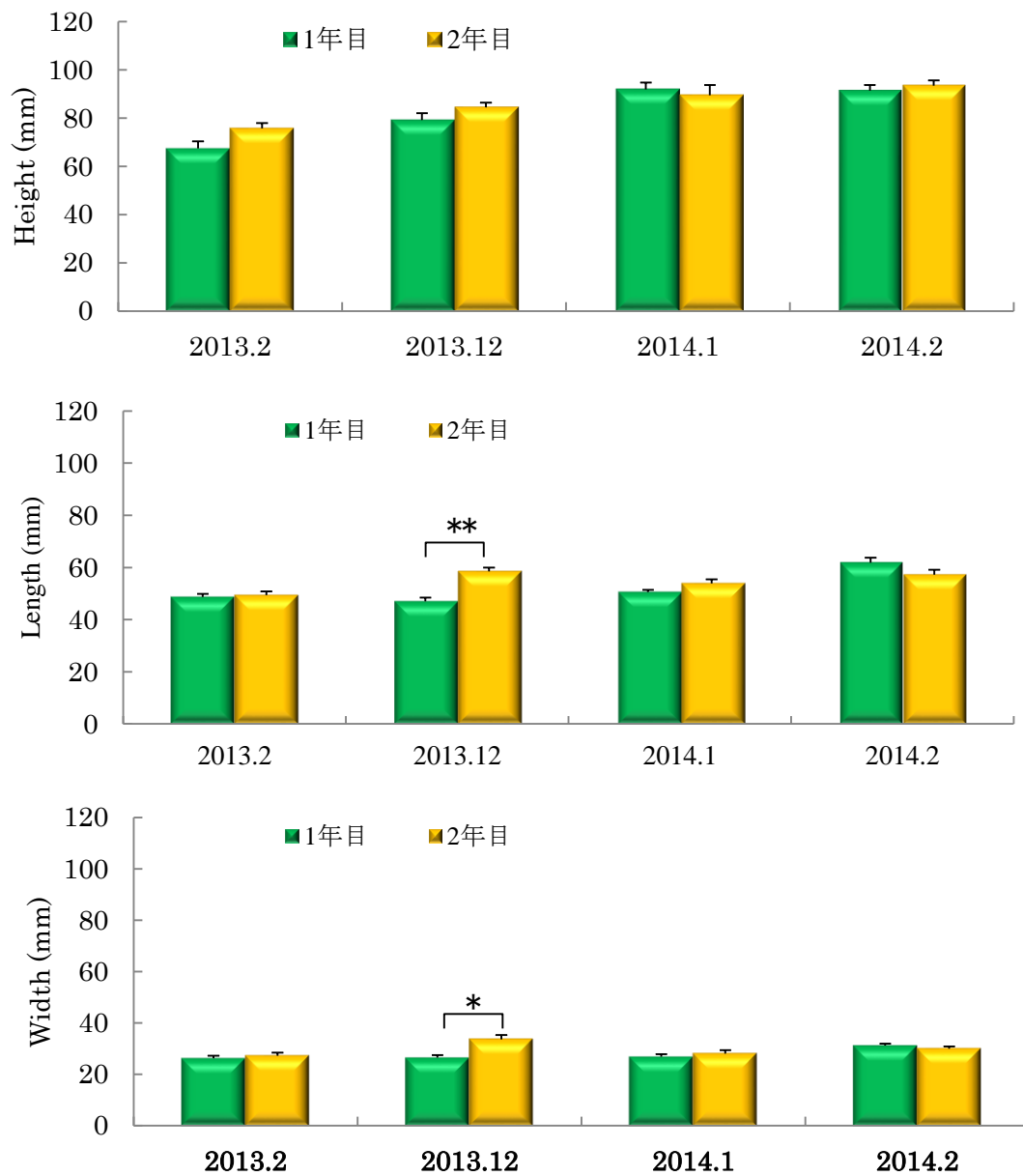


図 3-1 飼育期間の異なるシングルシードマガキのサイズの比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

飼育時期の異なる 4 実験群間に対し繰り返しのある二元配置分散分析を行ない、有意差があった場合には飼育時期ごとに t 検定を行なった。

* : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.05$)。

** : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.01$)。

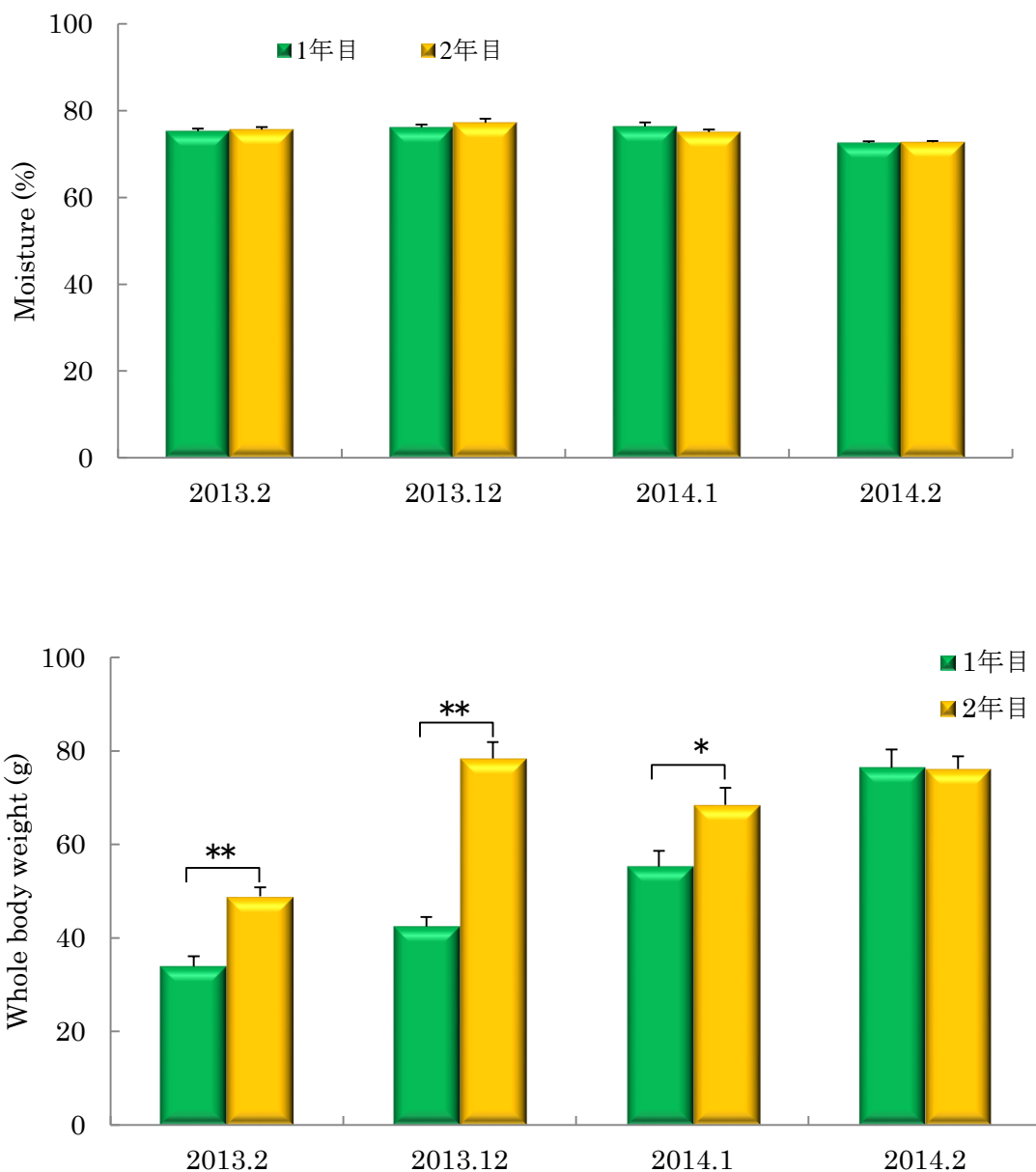


図 3-2 飼育期間の異なるシングルシードマガキの水分含量および殻付全重量の比較
 平均値±標準誤差 (n=10)。

飼育時期の異なる 4 実験群間に対し繰り返しのある二元配置分散分析を行ない、
 有意差があった場合には飼育時期ごとに t 検定を行なった。

* : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.05$)。

** : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.01$)。

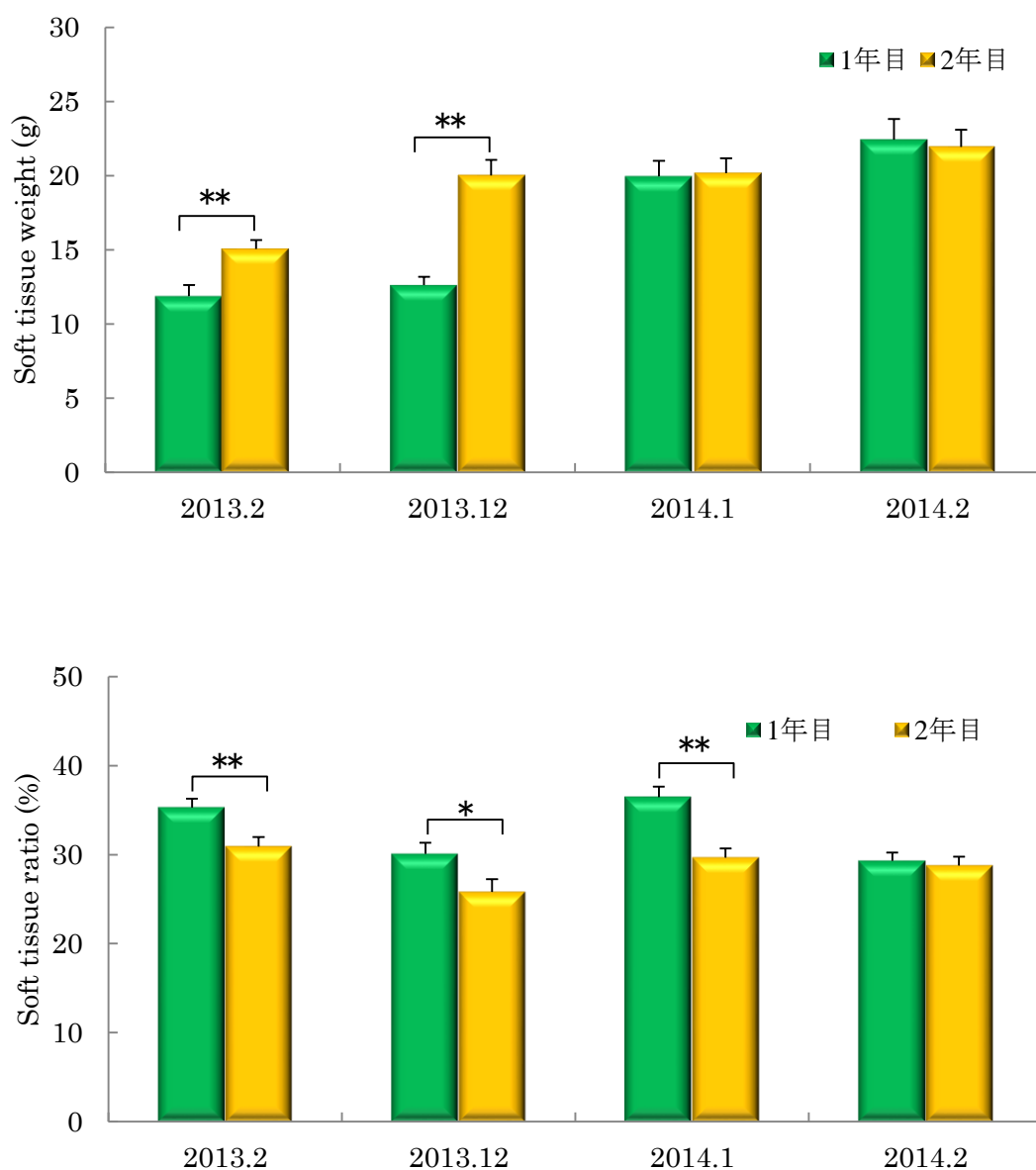


図 3-3 飼育期間の異なるシングルシードマガキの軟体部重量および軟体部率の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

飼育時期の異なる 4 実験群間に対し繰り返しのある二元配置分散分析を行ない、有意差があった場合には飼育時期ごとに t 検定を行なった。

* : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.05$)。

** : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.01$)。

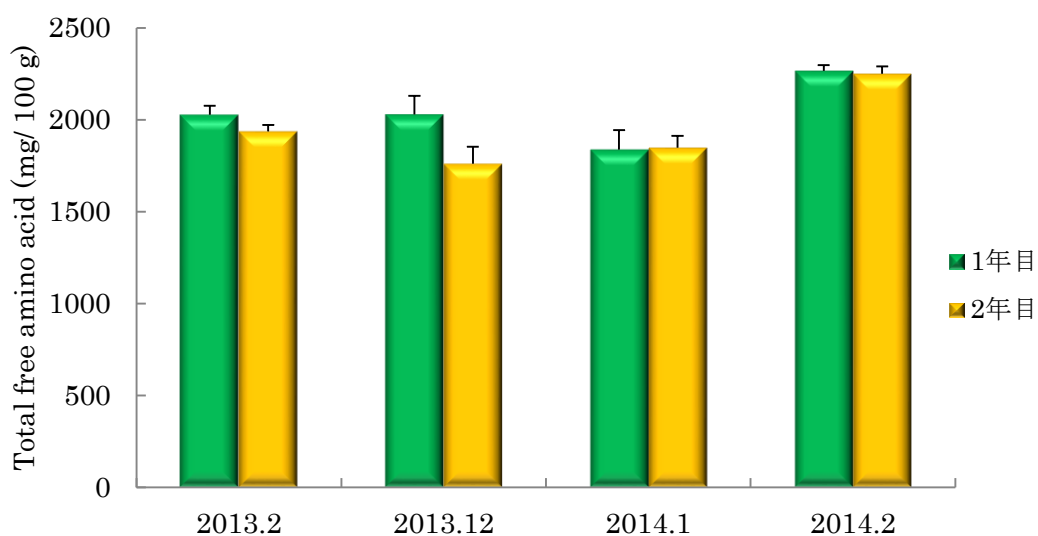


図 3-4 飼育期間の異なるシングルシードマガキの総遊離アミノ酸量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

飼育時期の異なる 4 実験群間に対し繰り返しのある二元配置分散分析を行った。

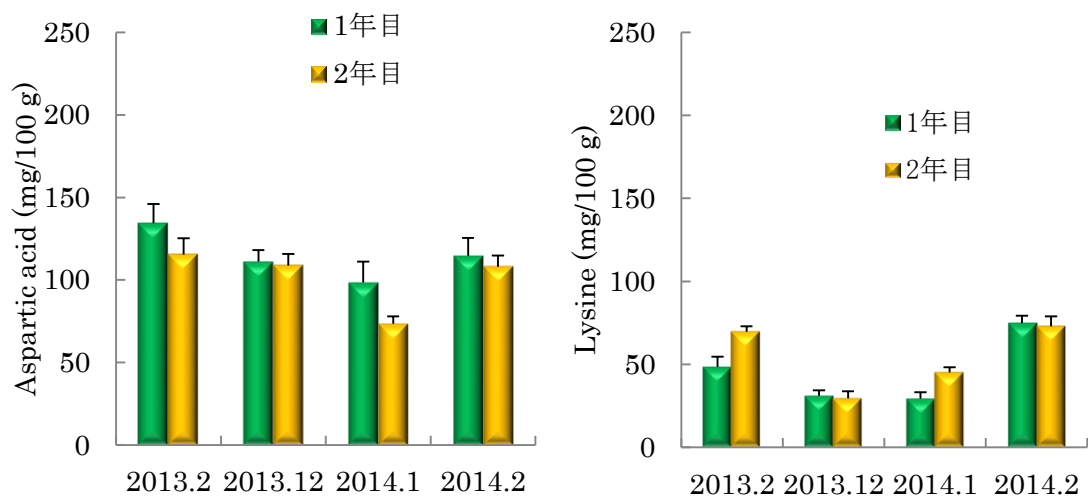


図 3-5 飼育期間の異なるシングルシードマガキの主要遊離アミノ酸量の比較 1

平均値±標準誤差 (n=10)。

飼育時期の異なる 4 実験群間に対し繰り返しのある二元配置分散分析を行ない、有意差があった場合には飼育時期ごとに t 検定を行なった。

** : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.01$)。

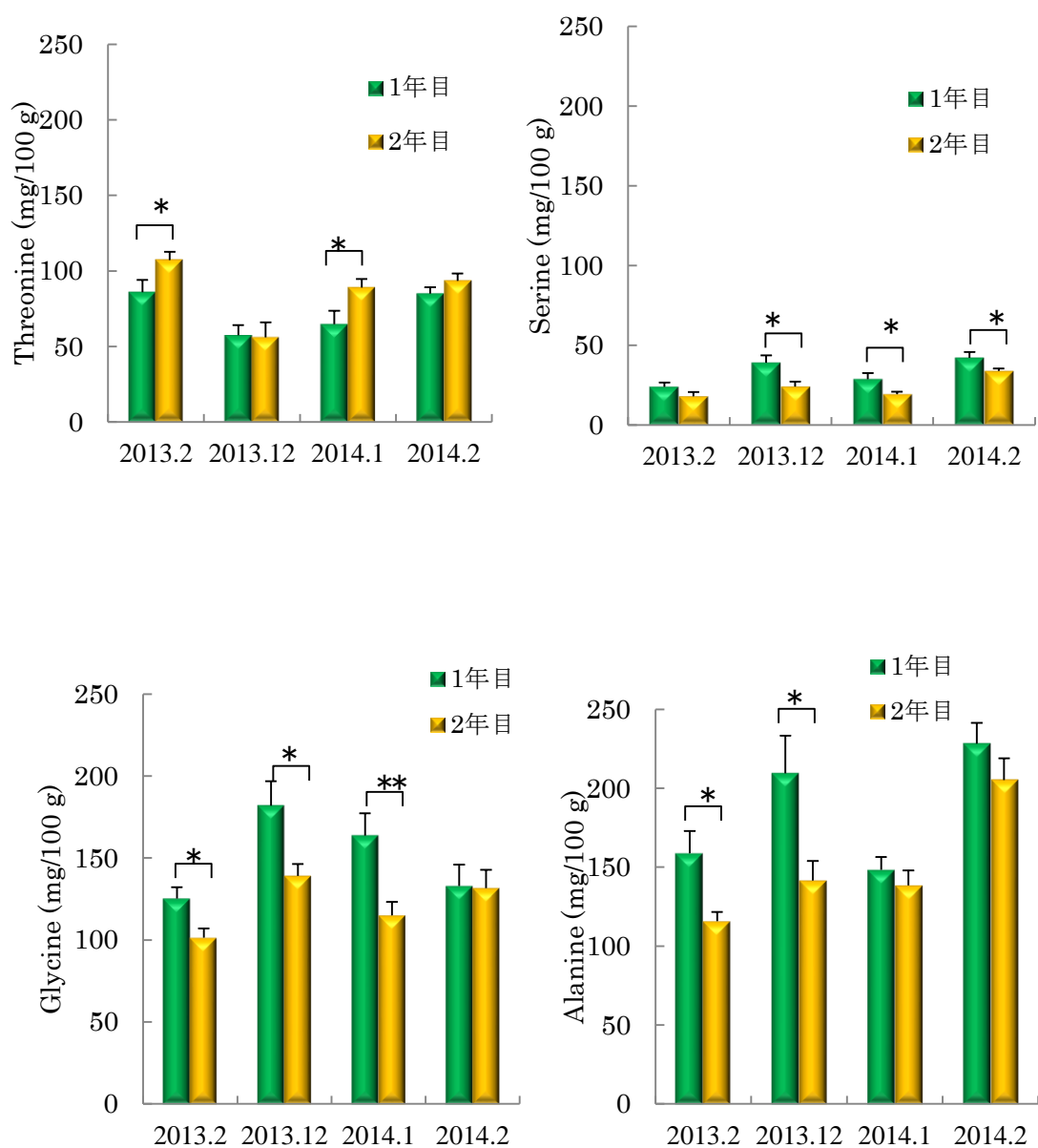


図 3-6 飼育期間の異なるシングルシードマガキの主要遊離アミノ酸量の比較 2

平均値±標準誤差 (n=10)。

飼育時期の異なる 4 実験群間に対し繰り返しのある二元配置分散分析を行ない、有意差があった場合には飼育時期ごとに t 検定を行なった。

* : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.05$)。

** : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.01$)。

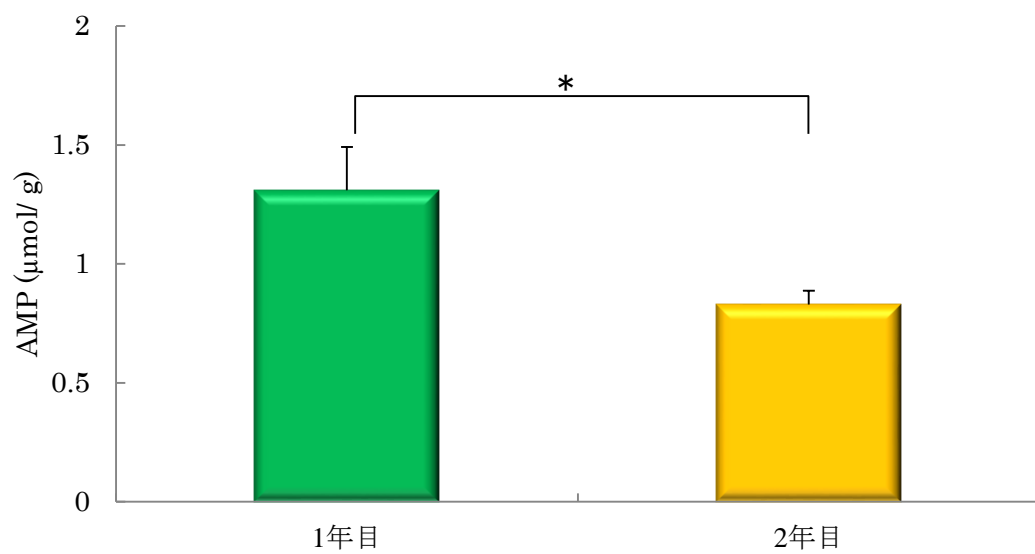


図 3-7 飼育期間の異なるシングルシードマガキの AMP 量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

* : 飼育期間の異なる群間で有意差あり ($p < 0.05$)。

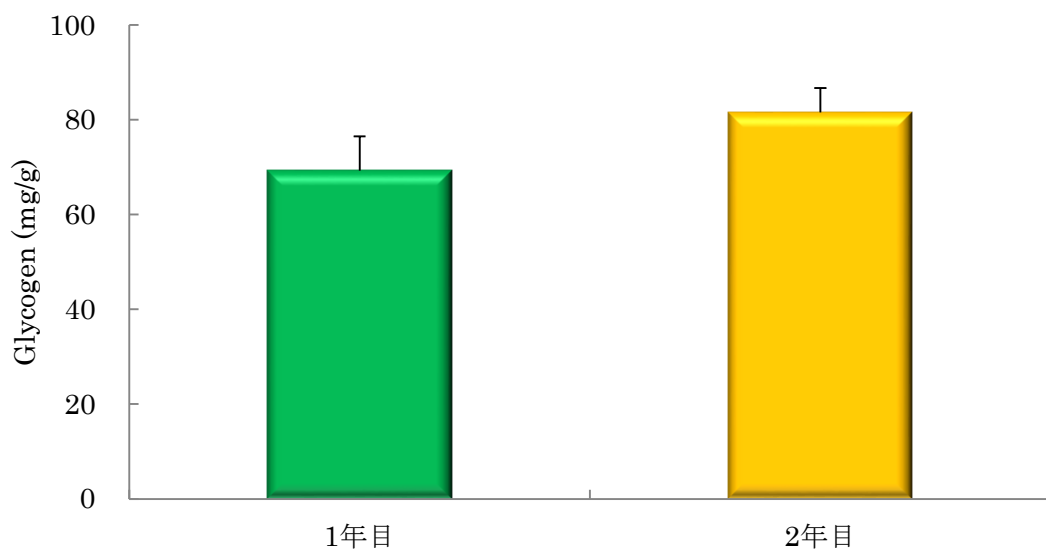


図 3-8 飼育期間の異なるシングルシードマガキのグリコーゲン量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

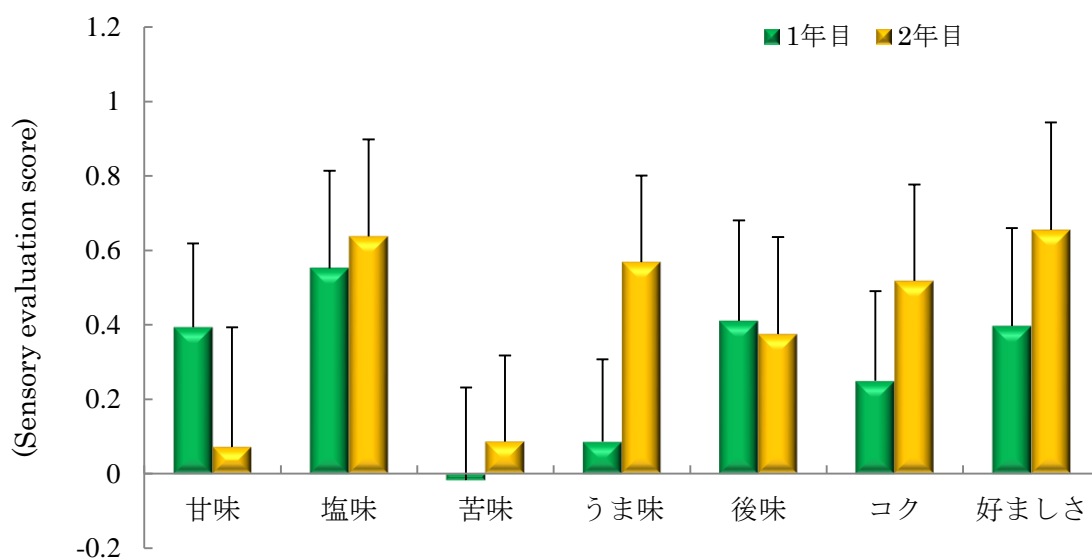


図 3-9 飼育期間の異なるシングルシードマガキの官能評価スコア

平均値±標準誤差 (n=29)。

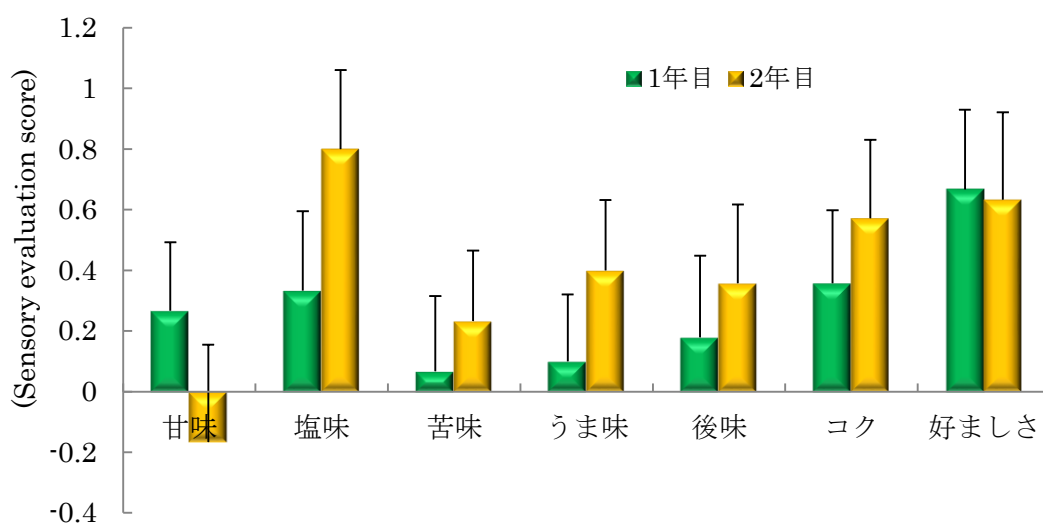


図 3-10 飼育期間の異なるシングルシードマガキの官能評価スコア

平均値±標準誤差 (n=15)。

第4章 産地の異なる養殖マガキの呈味成分分析と味認識装置による評価

4-1 はじめに

一般的に、マガキの味の評価法には呈味に関する化学成分分析やヒトによる官能評価が行なわれている。しかし、これら化学成分分析では個々の成分を定量するにとどまり、相乗効果や抑制作用など、食品中の呈味物質間の相互作用を検知することは出来ないため、ヒトが感じる味をそのまま評価しているとは限らない(沖, 2015)。一方、パネリストによる官能評価は、様々な化学成分を総合的に味としてとらえることができ、味の特徴を判断する重要な手段の一つである。しかし、官能評価は環境やパネリストたちの体調等さまざまな要因により変動する可能性があり(沖, 2015)、かなり大規模にしないと客観的な評価が得にくいという問題がある。

ところで呈味物質には様々な種類があるが、味覚は一般に塩味、酸味、苦味、甘味、そしてうま味の5基本味から成り立つとされる。このほかに広義では渋味、こく味等も味として認識される(松本, 2012 b)。生体では、舌の味細胞の膜表面に呈味物質が吸着すると、細胞膜に電位変化が生じる。この電位変化は特性の異なる味細胞ごとに異なり、その信号が脳に伝達され、神経回路網での情報処理により味として認識され则认为られている(池崎, 2012)。この生体機構を模倣した味認識装置は、ヒトの舌の細胞膜構造と類似した脂質膜センサを利用し、味を数値化して評価する装置である(都甲, 2006, 池崎ら, 2003)。

味認識装置を用いた食品評価は、すでに茶やコーヒー、ワイン等の飲料類、肉類、だし汁等多岐にわたり報告されている(Toko ed. 2013, Uchiyama *et al.* 2011)。さらに、味認識装置による味分析と官能評価との良好な適合性も認められており(Miyanaga *et al.* 2003, 都甲, 2002)、客観的に味を評価することができるのは大きな利点と思われる。しかし、最近の改良型センサにおいて海産物やマガキの味を分析した報告はこれまでにほとんどない。そこで本研究では、広島県産マガキと長崎県産マガキを比較するために物理的な計測を行うとともに、味に関する化学成分として遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲン量を測定した。それと併せて味認識装置による味分析を行い、味認識装置のマガキの味評価に対する有用性を検討した。

4-2 方法

4-2-1 試料

試料には、長崎県小長井地区および広島県広島湾中部（能美島産）にて通常垂下法で養殖されたマガキ各 10 個体を用いた。長崎県産マガキは小長井漁協より、広島県産マガキはマルサ・やながわ水産有限会社より購入した。両県産のマガキは 2014 年 2 月に水揚げ後、UV 殺菌水槽にて 24 時間処理し、保冷下で東京へ輸送し、実験室に到着後に直ちに試料エキスの調製を行なった。なお、味認識装置による味分析の対照検体には長崎と広島から地理的に離れ、また全国シェアが 2 位で広く国民に食されている宮城県産マガキを選び、卸売市場にて購入したものを試料に供した。

4-2-2 殻付全重量およびサイズの計測

2-2-2 に記載した方法と同様に行なった。

4-2-3 水分測定

2-2-3 に記載した方法と同様に行なった。

4-2-4 HPLC 分析用試料エキスの調製

3-2-3 に記載した方法と同様に行なった。なお、ATP 関連化合物測定には、この試料エキスを 1.0 M KOH 溶液で中和し、10 倍に希釈後、再度 0.20 μm のフィルター（Millex-LG、Merck、東京）でろ過した。

4-2-5 遊離アミノ酸分析

2-2-5 に記載した方法と同様に行なった。

4-2-6 ATP 関連化合物分析

HPLC 分析装置（日立 L2130）を用い、条件は以下の通りに行った：カラム：Shodex GS-320 HQ、検出器：日立 L7420、溶媒：200 mM $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、流速：0.6 mL/min、波長：260 nm、カラムオーブン：30°C。

4-2-7 グリコーゲン測定

3-2-7 に記載した方法と同様に行なった。

4-2-8 味認識装置による味分析

4-2-8-1 試料エキスの調製

均一に細切した試料 約 8.0 g に 9 倍量の蒸留水を加え、ホモジナイザー（エースホモジナイザー AM-7、日本精機、新潟）を用いてホモジナイズ後、遠心分離（1,210 × *g*, 10 分）をして上澄みを得た。これを不織布でろ過して不溶物を除き、試料エキスとした。

4-2-8-2 装置

分析には味認識装置 SA402 (株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー、神奈川) を用いた。人工脂質膜センサは、苦味、渋味、塩味、うま味に応答する C00、AE1、CT0、AAE の 4 つの人工脂質膜センサを用いた。

4-2-8-3 試薬・試液

基準液として 30 mM 塩化カリウム（塩化カリウム：関東化学、東京）と 0.3 mM 酒石酸（酒石酸：和光純薬工業、東京）を溶解したほぼ無味の水溶液を用いた。水は Milli-Q（メルクミリポア、ダルムシュタット、ドイツ）により精製して得られた超蒸留水を用いた。

4-2-8-4 測定方法

最初にヒトの唾液に相当する基準液に各センサを浸し、その時の膜電位を V_r とした。次にセンサをサンプル液に浸し、生じた膜電位を V_s 、サンプル測定後センサを基準液で軽くすすぎ、再度基準液に浸して得た膜電位を $V_{r'}$ とした。膜電位の差分 ($V_s - V_r$) は相対値と呼び、これが先味に相当する。一方、膜電位の差分 ($V_{r'} - V_r$) は人工脂質膜上の呈味物質の吸着量、つまり後味に相当し、これを CPA (Change of membrane Potential caused by Adsorption) 値と呼ぶ (Kobayashi *et al.* 2010)。測定は 1 サンプルにつき 3 回繰返して行い、平均値を各センサの出力値とした。

4-2-8-5 味覚項目への変換

Weber-Fechner の法則では、(1) 臭覚や味覚のような生体への刺激強度と識別閾の比率は一定である（その比率をウェーバー比と呼ぶ）、(2) 感じられる強度は刺激の対数に比例する、と定義されている (Pfaffmann, 1959, Beider, 1971)。特に、味覚強度において識別できる最小濃度差は 20%程度である (Schutz, 1957)とされる。この法則に基づいて味覚センサ出力を各センサの特性に従って、味覚情報を示す「味覚項目」に変換した。本研究では苦味、渋味、苦味後味、渋味後味、うま味、塩味、うま味後味の項目について評価した。なお、味覚項目で示す推定値 1 の差は、この 20%の差を表している (Kobayashi *et al.* 2010, Anjiki *et al.* 2005)。

4-2-9 統計処理

得られたデータは t 検定により統計処理を行なった。有意水準は $p < 0.05$ とした。

4-3 結果および考察

4-3-1 殻付全重量、軟体部重量、軟体部率、サイズ、水分含量

殻付全重量、軟体部重量、軟体部率、サイズおよび水分含量の結果を図 4-1～図 4-3 に示す。殻付全重量は小長井産マガキが 71.6 ± 1.9 g、広島県産が 98.2 ± 4.5 g であり、長崎県産が約 27%の割合で有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。軟体部重量は小長井産マガキが 23.6 ± 1.2 g、広島県産マガキが 53.7 ± 2.6 g であり、長崎県産マガキの方が約 56%有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。軟体部率をみると、長崎県産マガキが $32.9 \pm 1.0\%$ 、広島県産マガキが $54.7 \pm 1.3\%$ であり、長崎県産マガキの方が約 40%有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。水分含量は、長崎県産マガキが $71.6 \pm 0.4\%$ 、広島県産マガキが $72.8 \pm 0.3\%$ であり、長崎県産マガキの方が約 2%有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。殻高は長崎県産マガキが 89.9 ± 1.6 cm、広島県産マガキが 120.2 ± 3.6 cm で長崎県産の方が約 25%有意に短かった ($p < 0.01$)。殻長と殻幅は有意な差は認められなかった。これらのことから、長崎県産マガキは殻高が短い特徴を持つことが考えられた。

北海道厚岸産のシングルシードマガキの身入りは12月～2月の間で約20%前後(米田ら, 2012)、釜石市唐丹湾産のマガキの身入りは12月で約7%(田中, 2004)、筑前海区糸島漁場の養殖マガキは17.3～28.7%、唐泊漁場では20.4～25.6%(内藤ら, 2014)の身入りであったという報告がある。日本食品標準成分表においても廃棄率は75%となっており(文部科学省科学技術学術審議会資源調査分科会, 2010)、身入りは25%程度と考えられる。これらのことから本実験に供したマガキにおいて、長崎県産マガキは広島産マガキより身が小ぶりであったが、長崎県産マガキの身入りが悪いわけではないことが示された。

4-3-2 化学成分分析

(遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲン量)

遊離アミノ酸の結果を図 4-4、図 4-5 および図 4-6 に示す。総遊離アミノ酸含量は、広島県産が 2295 ± 48 mg/100 g、長崎県産が 2209 ± 42 mg/100 g で産地による有意な差は認められなかった。その他の遊離アミノ酸では、甘味を示すセリン、アラニンおよびβ-アラニンが広島県産マガキよりも長崎県産マガキにそれぞれ約 62%, 59%, 39%の割合で有意に多く含まれていた ($p < 0.01$)。わずかなうま味に関するアスパラギン酸は、広島県産よりも長崎県産で約 44%の割合で有意に低かった ($p < 0.01$)。甘味、苦味および微かなうま味を呈するとされるリシンは、広島県産より長崎県産で約 52%の割合で有意に多く含ま

れていた ($p < 0.01$)。また、苦味に関する遊離アミノ酸であるバリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシンおよびフェニルアラニンは広島県産より長崎県産マガキでそれぞれ約49%、37%、48%、49%、51%の割合で有意に低い値を示し(メチオニン以外: $p < 0.01$)、チロシンは約43%有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。しかし、広島県産マガキでもこれら苦味を示す遊離アミノ酸含量の割合は総遊離アミノ酸量の約13%であった。二宮(1968)や河合(2003)は、ヒトが感知出来るアミノ酸の閾値を調べ報告している。例えば、二宮らの報告によるとL-ロイシンの閾値は1.9 mg/mLであり、L-イソロイシンは0.9 mg/mLである。しかし、興味深いことに本研究において、各苦味に関する遊離アミノ酸量は、例えばL-ロイシンが0.5 mg/mLというようにどれも二宮らの報告した閾値よりも低い値であった。

ATP 関連化合物量およびグリコーゲン量を図4-7および4-8に示す。ATPは広島県産より長崎県産マガキで有意に低値を示したが、含有量のごくわずかであった。うま味に関するAMPは広島県産より長崎県産で約31%有意に高い値を示した。グリコーゲンはそれ自体に特別な呈味は保持していないがエキスを濃厚感等を与え、味を調和させる役割があると言われているが(坂口, 2001)、グリコーゲン量の産地による有意な差は認められなかった。

以上の成分分析の結果より、今回用いた長崎県産と広島県産マガキの味の違いは、甘味の強さによるものが大きいことが推察された。本研究では養殖方法の差を排除するために、長崎県産マガキもシングルシードマガキではなく通常垂下マガキを用いたが、味に差がみられたのは、エサとなるプランクトンや水温、塩分濃度等の違いが要因の一つであると推察された(Hayama *et al.* 2012, Yamamoto *et al.* 2011, Hosoi *et al.* 2003)。

4-3-3 味認識装置による味分析

味認識装置による測定結果を図4-9に示す。測定値は宮城県産マガキの味強度を基準(0)とし、広島県産と長崎県産マガキの味強度を示したものである。長崎県諫早市小長井地区は有明海に位置しており、一方広島県は瀬戸内海に位置している。そのため、今回太平洋岸に位置しており地理的に両方の地域から離れている宮城産マガキを基準に選んだ。

うま味先味は長崎県産マガキが 0.67 ± 0.11 、広島県産マガキが -0.29 ± 0.18 であり、広島県産マガキより長崎県産で有意に高値を示した ($p < 0.01$)。渋味先味は長崎県産マガキが 0.89 ± 0.05 、広島県産マガキが 0.43 ± 0.06 であり、広島県産マガキより長崎県産で有

意に高値を示した ($p < 0.01$)。苦味後味は長崎県産マガキが 0.22 ± 0.03 、広島県産マガキが 0.55 ± 0.04 であり広島県産マガキより長崎県産で有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。これら味認識装置の結果より、長崎県産マガキはうま味、渋味が強く、苦味後味が少ないことが示唆された。苦味センサは苦味を生じる物質が脂質膜の疎水部に吸着することで脂質膜の電荷密度を変化させ、膜電位変化を引き起こすと考えられている (Kobayashi *et al.* 2010, 都甲, 2006)。Akitomi *et al.* (2013) の報告によると、アミノ酸は膜との相互作用が弱い後味には残らないと考えられることから、味認識装置で感知した苦味後味は遊離アミノ酸由来ではなく、分子量の大きい他の疎水性の物質が応答している可能性が推察された。このことは、化学成分分析の結果で苦味を示す遊離アミノ酸量が閾値以下であったことから、推察される。

また、うま味に関する成分分析においては、グルタミン酸は産地による有意な差は認められず、AMP は長崎県産に有意に多く含まれていた。鴻巣 (1973) はクロアワビの合成エキスから AMP を除くとうま味がかなり低下したことを報告しており、渡辺ら (1990) はグルタミン酸と AMP の共存によって生じる強いうま味がホタテガイの味の特徴のひとつであると報告している。IMP はグルタミン酸との相乗効果でうま味を強めることはよく知られているが (Yamaguchi, 1967)、AMP も IMP と同様に、グルタミン酸との相乗効果によりうま味を強めると言われている (鴻巣, 1991, 日本化学会, 1999, Hayashi *et al.* 1981)。また水産無脊椎動物では AMP のデアミナーゼを欠くか、あっても作用が緩慢なために AMP が蓄積されるといわれている (鴻巣, 1973)。今回の実験においても、マガキ中に AMP が最も多く含まれていた。一方、味認識装置においては、かつお節とこんぶの混合だし汁においてこく味の相乗効果が観測された (Doi, 2013) という報告もある。これらのことから、今回の実験において味認識装置ではグルタミン酸と AMP の相乗効果を感知した可能性が示唆された。

以上の結果から、産地により呈味が異なることが明らかとなり、これは餌となる植物プランクトンの違い等、環境要因の影響が考えられた。また本研究により、味認識装置による味分析では、個々の化学成分量のみから推測する味よりも、よりヒトの感覚に近い総合的な味が検知された可能性が高いと思われ、カキの味の新たな評価手段として味認識装置が有効である可能性が示唆された。

4-4 まとめ

広島県産と長崎県産マガキの呈味成分を化学的に分析し、産地による呈味の違いを検証することを目的とした。さらに、味認識装置を用いてそれぞれの味を数値化し、相互作用を加味した総合的な味の評価を行った。その結果、成分分析では長崎県産マガキには甘味を示すセリン、アラニン、 β -アラニンやうま味の相乗効果を与える AMP が有意に多く含まれていたが、うま味成分であるグルタミン酸量は産地による有意な差は認められなかった。また、苦味に関する遊離アミノ酸は、総遊離アミノ酸量中に占める割合は少ないものの、長崎県産で有意に少なかった。一方、味認識装置の結果では、うま味先味、渋味が広島県産より長崎県産マガキで有意に高い値を示し、苦味後味で低い値を示した。AMP はグルタミン酸との相乗効果によりうま味を強めるため、味認識装置ではこの相乗効果を感じ、長崎県産でうま味先味が高くなった可能性が推察された。また、苦味に関する遊離アミノ酸含量は閾値以下であったが、味認識装置では、長崎県産で苦味後味が有意に低い値を示した。

以上の結果より、産地により味が異なることが認められ、長崎県小長井産マガキは甘味、うま味、渋味が強く苦味後味が少ないことが推察された。以上の結果から、味認識装置による味分析では、個々の化学成分量のみから推測する味よりも、よりヒトの感覚に近い総合的な味が検知された可能性が推察された。

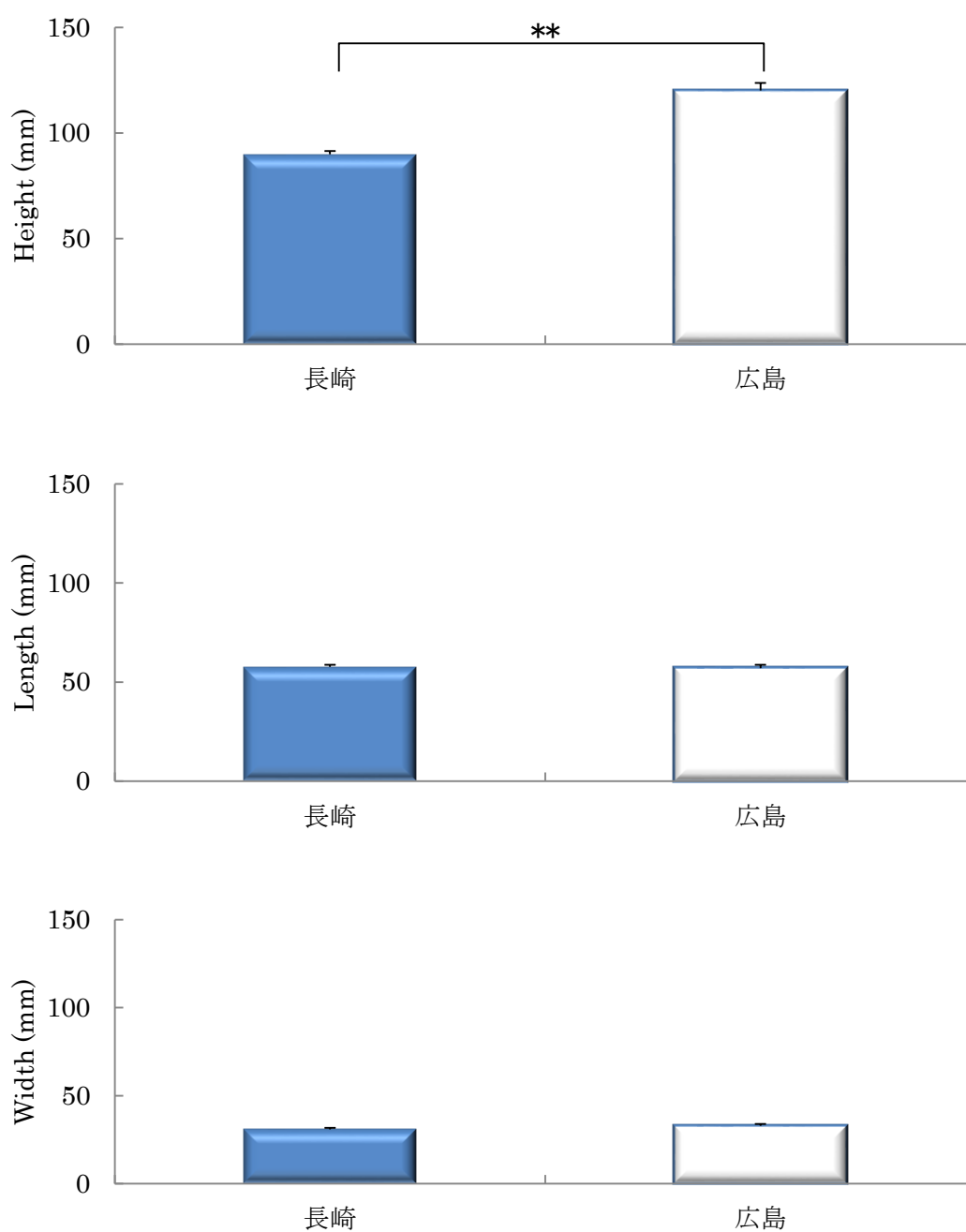


図 4-1 産地の異なるマガキのサイズの比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**：産地の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

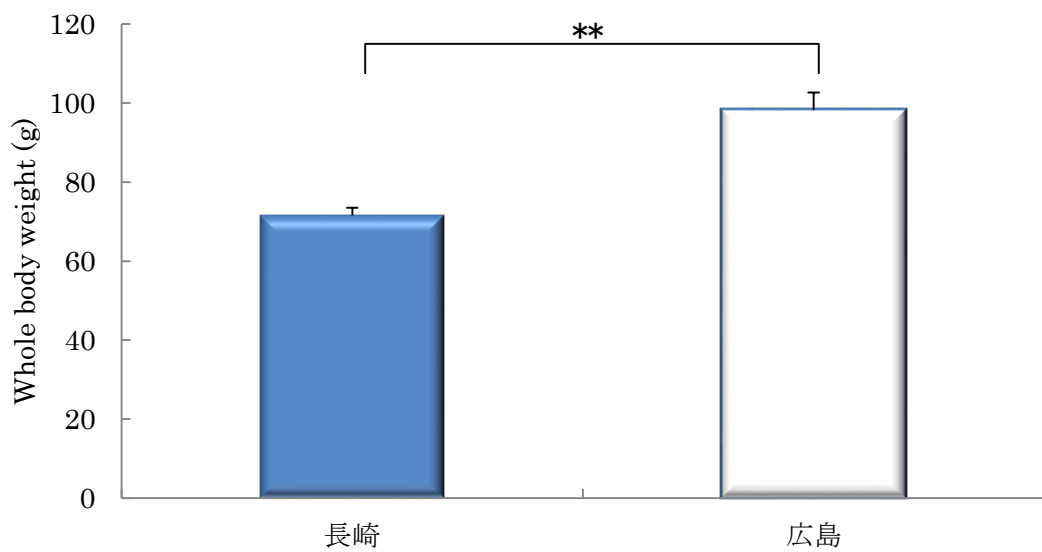
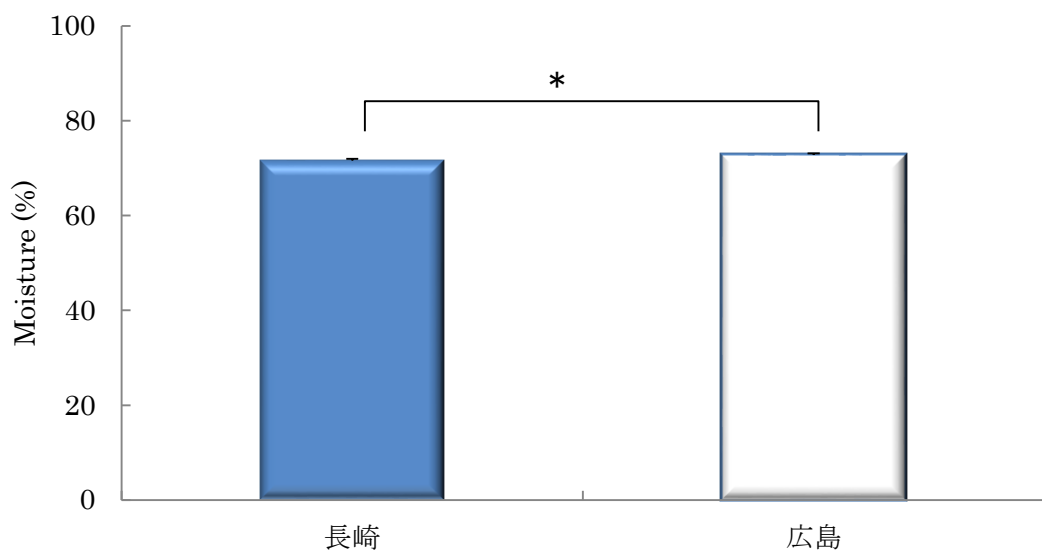


図 4-2 産地の異なるマガキの水分含量および殻付全重量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 産地の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

**: 産地の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

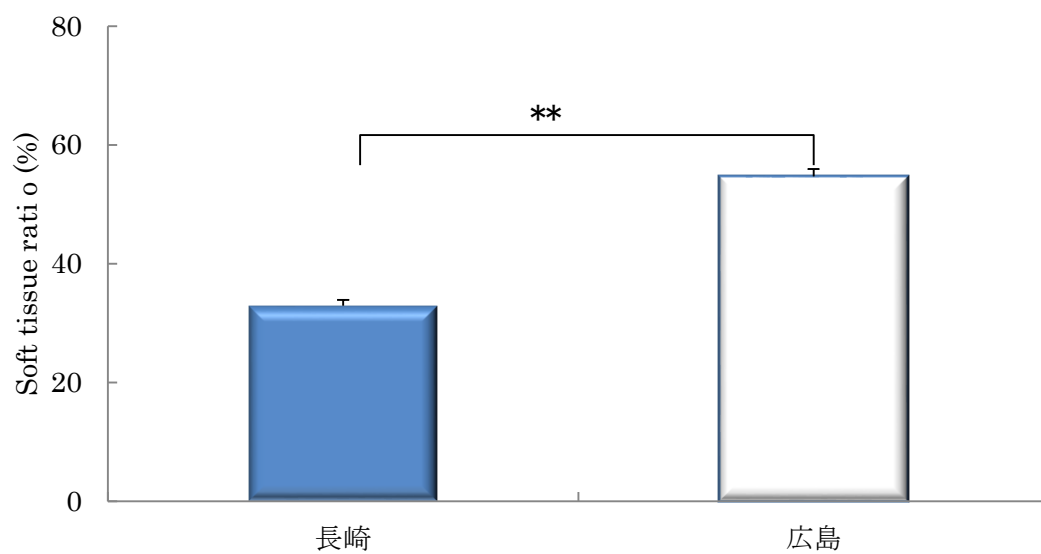
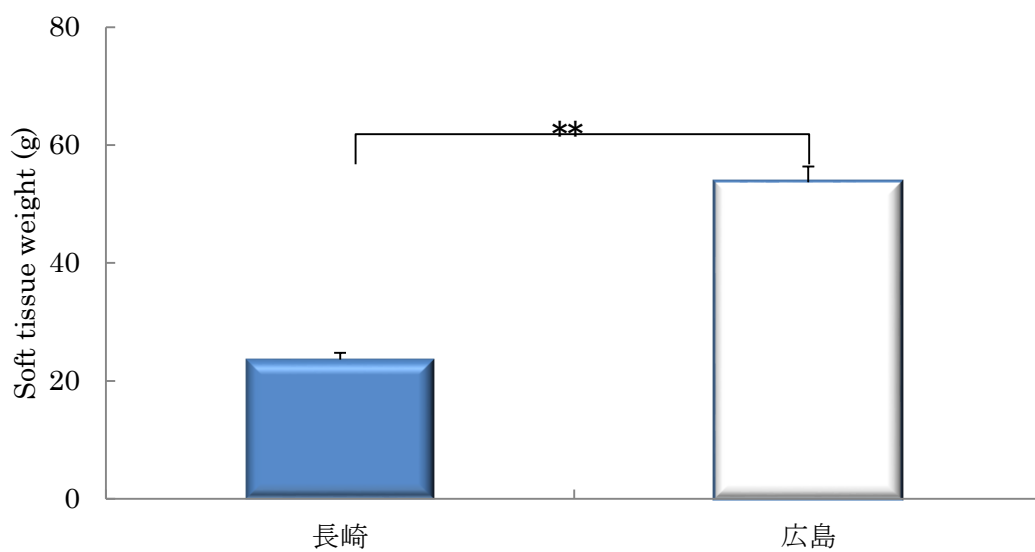


図 4-3 産地の異なるマガキの軟体部重量および軟体部率の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

**：産地の異なるグループ間で有意差あり ($p<0.01$)。

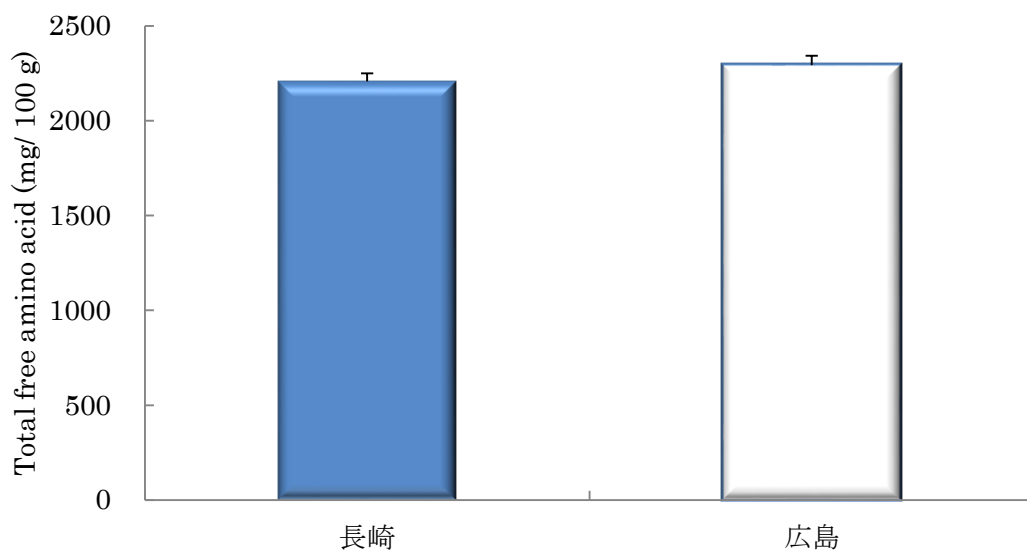


図 4-4 産地の異なるマガキの総遊離アミノ酸量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

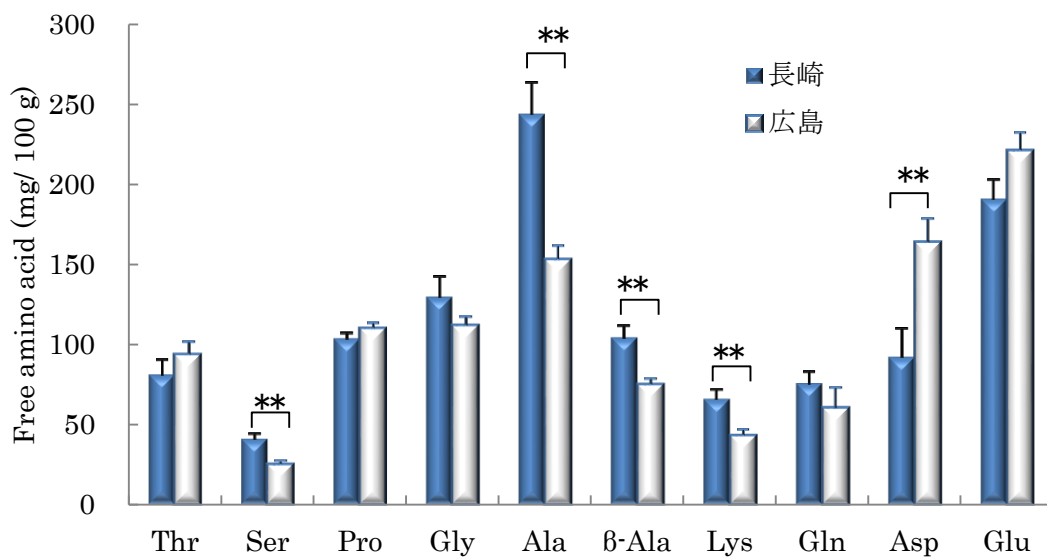


図 4-5 産地の異なるマガキの主要遊離アミノ酸量の比較（甘味、うま味系）

平均値±標準誤差 (n=10)。

**：養殖地域の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

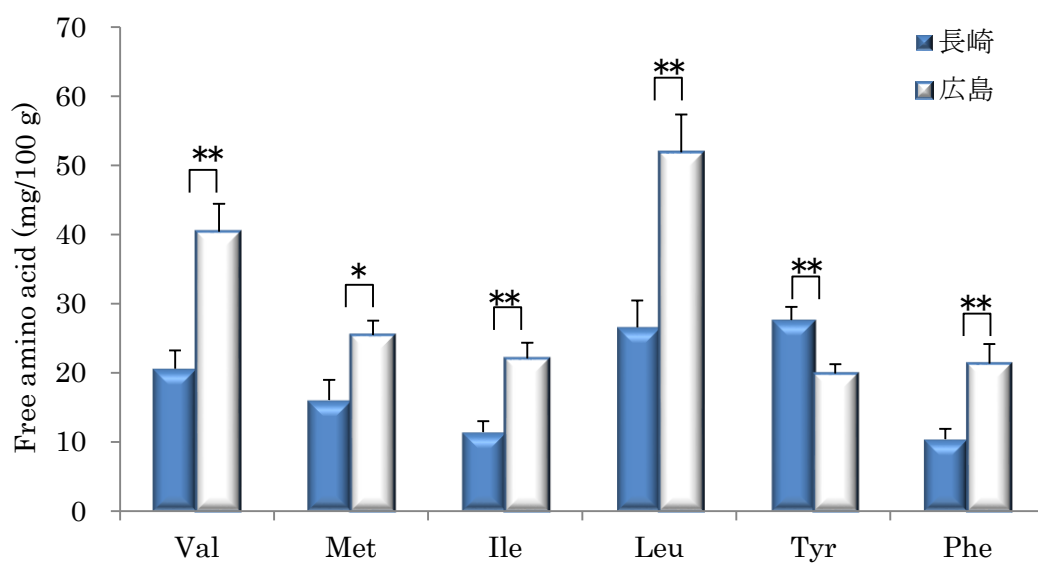


図 4-6 産地の異なるマガキの主要遊離アミノ酸量の比較（苦味系）

平均値±標準誤差 (n=10)。

* : 養殖地域の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.05$)。

** : 養殖地域の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

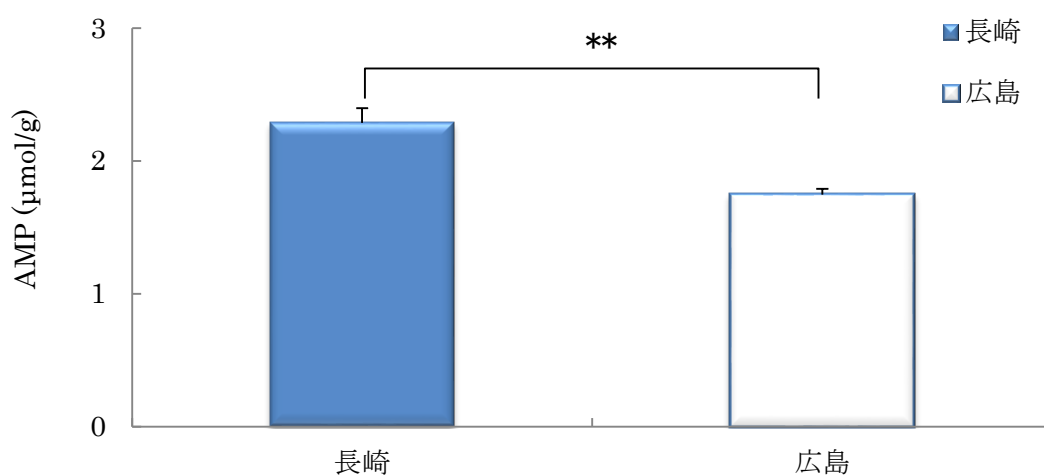


図 4-7 産地の異なるマガキの AMP 量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

** : 養殖地域の異なるグループ間で有意差あり ($p < 0.01$)。

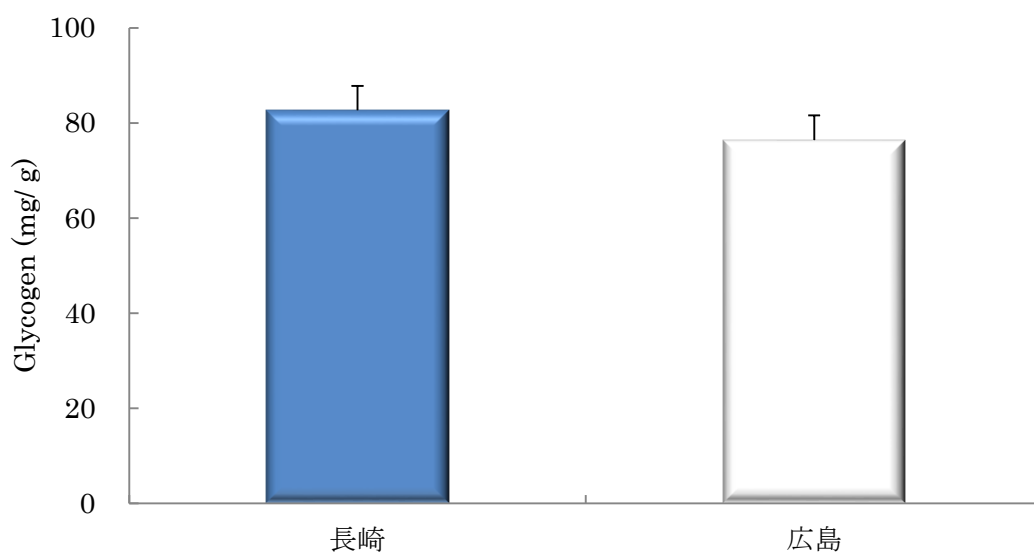


図 4-8 産地の異なるマガキのグリコーゲン量の比較

平均値±標準誤差 (n=10)。

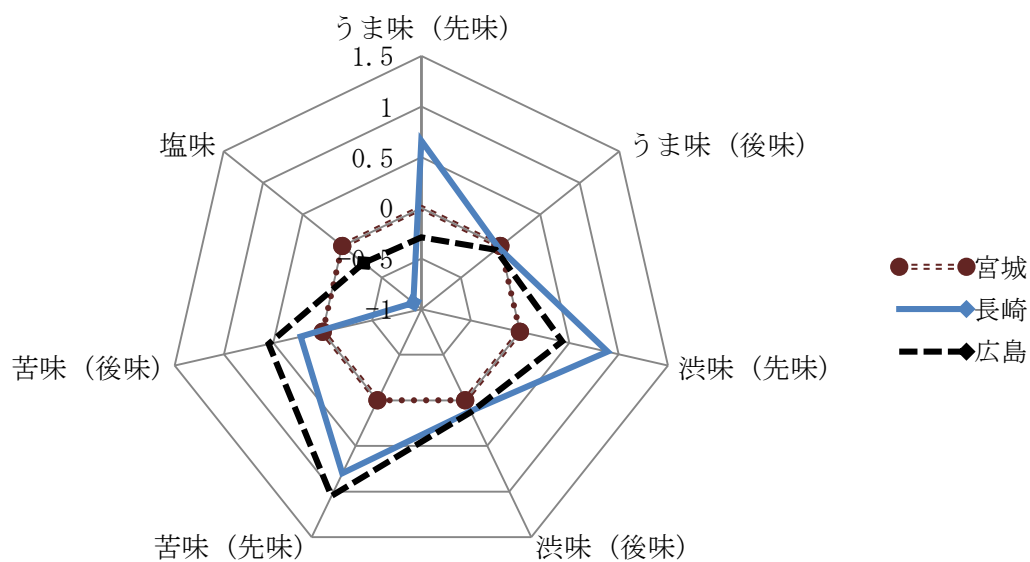


図 4-9 産地の異なるマガキの味認識装置推定値の比較

平均値 (n=10)。

第5章 収獲後飼育におけるエサおよび水温がマガキの呈味成分に

及ぼす影響

5-1 はじめに

マガキは一般的にホタテの貝殻をコレクターとして海中で垂下養殖され、水揚げ後そのまま、または生食用として24時間以上UV殺菌処理後に出荷される場合が多い(鬼木, 2013b, 鶴田, 2015)。マガキは海に垂下中に浮遊する植物プランクトンを餌としている(新川, 1988)。この植物プランクトンは海域や時期により種組成が変動するため(神山ら, 2006, 李ら, 1996, 神山, 2007)、マガキの食味に及ぼす影響も大きいことが知られている。これまでに、山口(1993)によってヨーロッパヒラガキを収獲後水槽にて一定期間餌を与えて飼育する味上げ法の試みが報告されているが、マガキの味に及ぼす収獲後飼育の効果についてはほとんど報告がない。そこで、本研究では広島県産マガキを用い、3種類の餌料プランクトンにより飼育したマガキの呈味成分に及ぼす影響を調べた。餌料の植物プランクトンには水産種苗生産で汎用される *Nannochloropsis* sp. と市販の珪藻類 *Chaetoceros gracilis* および *Chaetoceros calcitrans* の3種類とした。さらにマガキの換水量は温度により異なることが報告されていることから(山元ら, 1993, 2011)、これら3種の餌を与えた各実験群に海水温を10°Cおよび20°Cとする条件を設け、水温における影響も併わせて検討した。

5-2 方法

5-2-1 試料

飼育実験は水産卸売業クニヒロ株式会社(広島県尾道市)の水槽設備にて行なった。2016年1月に広島県で水揚げされたマガキ試料を用い、実験群あたり約50個体に群分けを行った。飼育中に餌として与える植物プランクトンには、汎用される真正眼点藻綱 *Nannochloropsis* sp. (一般社団法人広島県栽培漁業協会(広島県竹原市)にて培養)と市販の珪藻類中心目 *Chaetoceros gracilis* (ヤンマー株式会社, 大阪市) および *Chaetoceros calcitrans* (ヤンマー株式会社, 大阪市) の3種類とし、各餌料群に対して、海水温を10°Cおよび20°Cの2群ずつ設けた。対照群は飼育前のマガキとし、上記と合わせて計7群に関して実験を行なった。なお、官能評価の対照とするため、餌を与えずに

それぞれの水温で同様にマガキを飼育した。飼育中は1日3回5日間、飼育海水に対して約6万 cells/mLの濃度で給餌し、毎朝飼育水中の残餌数をコールターカウンターで計数することにより、適切な餌量を保った。対照群は飼育前に、その他の群は飼育終了後に10個体ずつを採取し、保冷下で輸送して試料の調製を行った。

5-2-2 軟体部率および水分の測定

殻付重量を測定した後、試料の軟体部を取り出し、その重量を測定した。軟体部率は以下の式により求めた。 軟体部率 (%) = {軟体部重量 (g) / 殻付全重量 (g)} × 100
軟体部を細切して得たペースト試料の約1gを正確に採取し、105°C, 2時間乾熱器 (STA620DB, ADVANTEC, 東京) にて乾燥後に30分放冷し、水分の平均割合 (%) を求めた。

5-2-3 HPLC 分析用試料とエキスの調製

50 mL 容遠沈管に5% PCA 溶液 (過塩素酸: Wako, 大阪) を約30 mL 加え、そこに均一に細切したペースト試料約2gを加えた。ホモジナイザー (ウルトラタラックス, IKA, 大阪, 日本) を用いてホモジナイズ後、遠心分離 (4,620 × g, 5分; SorvallST8, Thermo Fischer Scientific, 神奈川) をして上澄みを得た。これに蒸留水を加えて50 mLに定容し、0.45 μm のフィルター (Dismic-25CS, ADVANTEC, 東京) でろ過したものを試料エキスとした。

ATP 関連化合物測定には、上記試料エキスの1 mL を1.0 M KOH 溶液で中和し、塩を13,000× gで5分間遠心分離した。上清を蒸留水で10 mLに希釈後再度0.22 μm のフィルター (Millex-LG, Merck, 東京) でろ過した。

5-2-4 遊離アミノ酸分析

遊離アミノ酸はNBD-F (4-Fluoro-7-nitrobenzofurazan, 日立超高速アミノ酸分析用反応試薬セット) 試薬により誘導体化し、ODS カラム (InertSustain Swift C18, 4.6×250 mm) を用いてHPLC (日立 L7100、検出器: 日立 L7485、Ex. 470 nm, Em. 540 nm、溶媒: アセトニトリル/0.1%TFA (トリフルオロ酢酸、和光、大阪)、10→80%、流速: 1.0 mL / min、カラムオーブン: 40°C) により定量分析を行なった。

5-2-5 ATP 関連化合物分析

HPLC (島津 LC-10AD) を用い、分析は以下の条件の通りに行った: カラム: Shodex Asahipak GS-320 HQ、検出器: 日立 L7405、波長: 260nm、溶媒: 10 mM NaH_2PO_4 aq. / Na_2HPO_4 aq.=1000/31、流速: 1.0 mL / min、カラムオーブン: 40°C。

5-2-6 グリコーゲン測定

約 1.0 g のペースト試料に 30% KOH 溶液を 1.5 mL 加え、80°C の恒温槽で 30 分間加熱した。放冷後、1.5 mL の 95%エタノールを加え攪拌し、30 分間水冷した。その後、遠心分離し (1,210 × g, 10 分)、沈殿に 10 mL の蒸留水を加えて沈殿が溶解するまで攪拌した。得られた溶液にさらに蒸留水を加えて 10 倍希釈とし、試料エキスをとした。この試料エキス 100 μL に 5%フェノール 100 μL を添加後、濃硫酸 500 μL を加えて攪拌し、室温で 30 分間放置した。反応液の 490 nm の吸収からマイクロプレートリーダー (Bio-Rad, iMark, 東京) を用いて分光光度法によりグリコーゲン含量を測定した (フェノール硫酸法)。

5-2-7 官能評価

広島県栽培漁業協会の職員 5 名、クニヒロ株式会社社員 2 名をパネリストとして生ガキの官能評価を行なった。官能評価の対照には餌を与えずに飼育したマガキを用いた。評価項目は「甘味」「酸味」「塩味」「苦味」「うま味」および「総合評価」とし、対照を 3 としたときの各群の試料の味を 1 ～ 5 の 5 段階で評価した。この他自由記述欄を設けた。

5-2-8 統計処理

解析には統計解析ソフト SPSS (ver.23) を用いた。温度別に 3 種の餌による影響を調べるため、得られたデータを一元配置分散分析後、Tukey による多重比較検定を行なった。 $p < 0.05$ を有意水準とした。また、18 種の遊離アミノ酸量における牡蠣の特徴を可視化するため、JMP 11 (SAS Institute Japan Inc., Tokyo Japan) を用い、因子分析を行った。

5-3 結果および考察

5-3-1 軟体部率および水分含量

図 5-1 に示すように軟体部率は 10°C および 20°C の海水温において、いずれの群間にも有意な差はみられなかった。また、水分率についても 10°C および 20°C において、いずれの群間においても有意な差はみられなかった。以上の結果より、5 日間の飼育では身入りの変化は認められなかった (図 5-2)。

5-3-2 遊離アミノ酸量

遊離アミノ酸の結果を図 5-3～図 5-9 に示す。総遊離アミノ酸量は 10°C および 20°C のいずれの温度においても、収獲後飼育による各群間の有意な差はみられなかった (図 5-3)。餌料による影響を遊離アミノ酸別にみると、10°C での飼育においては甘味を呈するアラニンが対照群、グラシリス群に比べてナンノクロロプシス群で有意に高い値を示した。甘味を呈する β-アラニンは対照群に比べてグラシリス群で有意に低い値を示した。うま味に関するグルタミン酸ではナンノクロロプシス群の方がグラシリス群よりも有意に高い値を示した (図 5-4)。苦味を呈するフェニルアラニンでは対照群に比べて全ての餌料群が有意に低い値を示した (図 5-5)。

以上の結果より 10°C で飼育した場合、餌にナンノクロロプシスを用いて飼育することによって甘味が増加する可能性が示唆された。一方グラシリスを用いて飼育した場合には甘味が減少する可能性が示唆された。

20°C での飼育においては、甘味を呈するセリンおよびグリシン量は対照群に比べてグラシリス群およびナンノクロロプシス群で有意に低い値を示した (図 5-6)。甘味を呈する β-アラニンは対照群に比べて全ての餌料群で有意に低い値を示した。甘味を呈するトレオニンは対照群に比べてナンノクロロプシス群で有意に低い値を示した。弱い甘味を示すグルタミンは対照群に比べてカルシトランス群およびナンノクロロプシス群で有意に低い値を示した (図 5-7)。苦味に関するロイシンおよびフェニルアラニンは対照群に比べてグラシリス群、ナンノクロロプシス群で有意に低い値を示した (図 5-8)。苦味を呈するバリン、イソロイシンは対照群に比べてナンノクロロプシス群で有意に低い値を示した (図 5-9)。

以上の結果より、20°C での飼育は多くの遊離アミノ酸量を減少させ、特にナンノクロロプシスを餌として与えた場合にその傾向は強いことが明らかとなった。

遊離アミノ酸量を用いて因子分析を行ったところ、第1因子では苦味を呈するイソロイシン、バリン、ロイシンおよびフェニルアラニンの寄与が高く、第2因子では甘味またはうま味を呈するアラニン、グルタミン酸およびトレオニンの寄与が高かった（表 5-1 および図 5-10B）。個々の遊離アミノ酸分析の結果では、苦味に関する遊離アミノ酸で有意差があったものはフェニルアラニンのみであったが、因子分析により第1因子としてフェニルアラニンを含む4種の苦味に関する遊離アミノ酸の寄与が高いことが明らかとなった。したがってナンノクロロプシス群（10℃ および 20℃）が対照群に比べて苦味が有意に少ないことが考えられた。第2因子では甘味やうま味の遊離アミノ酸の寄与が高く、ナンノクロロプシス群（10℃）が対照群およびグラシリス群よりも有意に高いことが推察された（図 5-10）。

5-3-3 ATP 関連化合物量

ATP 関連化合物の結果を図 5-11 に示す。うま味の相乗効果を与えるヌクレオチドである AMP は（日本化学学会, 1999, 鴻巣, 1991）、10℃ での飼育試験では各群間に有意な差はみられなかった。20℃ での飼育においては、対照群に比べてナンノクロロプシス群が有意に低い値を示し、これは遊離アミノ酸の結果と同様の傾向であった。以上の結果より、20℃ での飼育は AMP が減少し、うま味がやや劣る可能性が推察された。

5-3-4 グリコーゲン量

グリコーゲンの結果を図 5-12 に示す。グリコーゲン量は 10℃ での飼育では各群に有意な差はみられなかった。20℃ での飼育では、ナンノクロロプシス群に比べてカルシトランス群が有意に高い値を示したが、対照群とは有意な差はみられなかった。グリコーゲンはそれ自体に特別な呈味は保持していないがエキスを濃厚感等を与え、味を調和させる役割があると言われている（坂口, 2001）。そのため、ナンノクロロプシス群よりもカルシトランス群の方が濃厚である可能性が推察された。

5-3-5 官能評価

官能評価の結果を図 5-13 に示す。生食での官能評価の対照には 5 日間休餌飼育したマガキを用いた。10℃ で飼育されたマガキの遊離アミノ酸分析の結果ではナンノクロロプシス群においてうま味が増し、苦味が低減する可能性が推察されたが、官能評価ではいずれ

の項目においても有意な差は得られなかった。20°C で飼育したマガキでは甘味および総合評価においてナンノクロプシス群よりもグラシリス群が有意に高い値を示した。また、ナンノクロプシス群は味が薄いという印象があげられた。特に 20°C で飼育した場合、ナンノクロプシス群では甘味や総合的な評価が他よりも低く、これは遊離アミノ酸および AMP 含有量の結果と同様の傾向であった。

以上の結果より、化学成分分析および官能評価では餌による味への明確な影響は認められず、5 日間の飼育ではマガキの味に大きな差は出ないと推察された。しかしながら、群間のマガキの味の違いに関するパネリストのコメントが散見され、化学成分分析で一部有意な差が得られたことから飼育のさらなる条件検討によりマガキの味に付加価値を与える可能性が示唆された。水温が上昇すると、マガキの換水量は増加することが報告されている（山元ら, 2011, 山元ら, 1993）。そのため 20°C に加温する場合の飼育は、捕食量を増加させ短期間で飼育効果が表れると考えられたが、実際には遊離アミノ酸量や AMP 量は対照群よりも減少した。これは、加温した場合の代謝亢進の結果とも考えられた。またナンノクロプシスは殻が固く、難消化性であることが要因となった可能性もある（山元ら, 1993, 岡内ら, 1997）。上記 3 種の餌を与える場合の味向上のための飼育は、20°C よりも 10°C で行った方がよいことがわかった。

各餌料の遊離アミノ酸組成は、カルシトランスで β -アラニン、アラニンおよびグリシンの順に多く、グラシリスで β -アラニン、イソロイシンおよびグリシンの順に多く、ナンノクロプシスでは β -アラニン、イソロイシンの順に多かった。これらのプランクトンをさらに 6 N 塩酸で 110°C 処理し、タンパク質を加水分解することにより結合アミノ酸組成比の分析を試みた。ロイシンは分析上の問題で比較できなかったが、カルシトランスのタンパク質中にはプロリン、アルギニンおよびバリンの順で多く含まれ、グラシリスおよびナンノクロプシスにはアルギニン、セリンおよびバリンの順でアミノ酸が多く含まれていた。総じて、これら餌の遊離および結合アミノ酸の組成比は今回のマガキ試料中の遊離アミノ酸量をそのまま反映するものではなく、マガキ生体中における餌タンパク質の消化吸収およびアミノ酸代謝の影響も関わっていることが推察された。

5-4 まとめ

3 種類の餌プランクトン（*Nannochloropsis* sp., *Chaetoceros gracilis* および *Chaetoceros calcitrans*）ごとに、10°C と 20°C の 2 温度を設け、収穫後の飼育条件がマグキの呈味成分および味に与える影響を検討した。その結果、10°C ではナンノクロロプシスを与えた群において甘味に関するアラニンが対照群およびグラシリス群に比べて有意に高い値を示し、うま味を呈するグルタミン酸がグラシリス群より有意に高い値を示した。また、10°C ではすべての餌料群で苦味を呈するフェニルアラニンは有意に低い値を示したが、AMP 量およびグリコーゲン量においては有意な差は見られなかった。官能評価においては有意な差が見られなかったため、その差は僅かであるが、ナンノクロロプシスを与えて飼育した場合には甘味が増して苦味が減少する可能性が推察された。総遊離アミノ酸量では群間の差は有意ではなかったものの、20°C での飼育はいずれのプランクトンを与えた場合でも遊離アミノ酸量を減少させる傾向のあることがわかった。特にナンノクロロプシスを餌として与えた場合では、より多くの種類の遊離アミノ酸量、AMP 量、グリコーゲン量および官能評価が低下することが見出された。以上の結果より、上述の餌類を与えて飼育する場合の海水温度は 20°C よりも 10°C で行った方がよいことが示された。

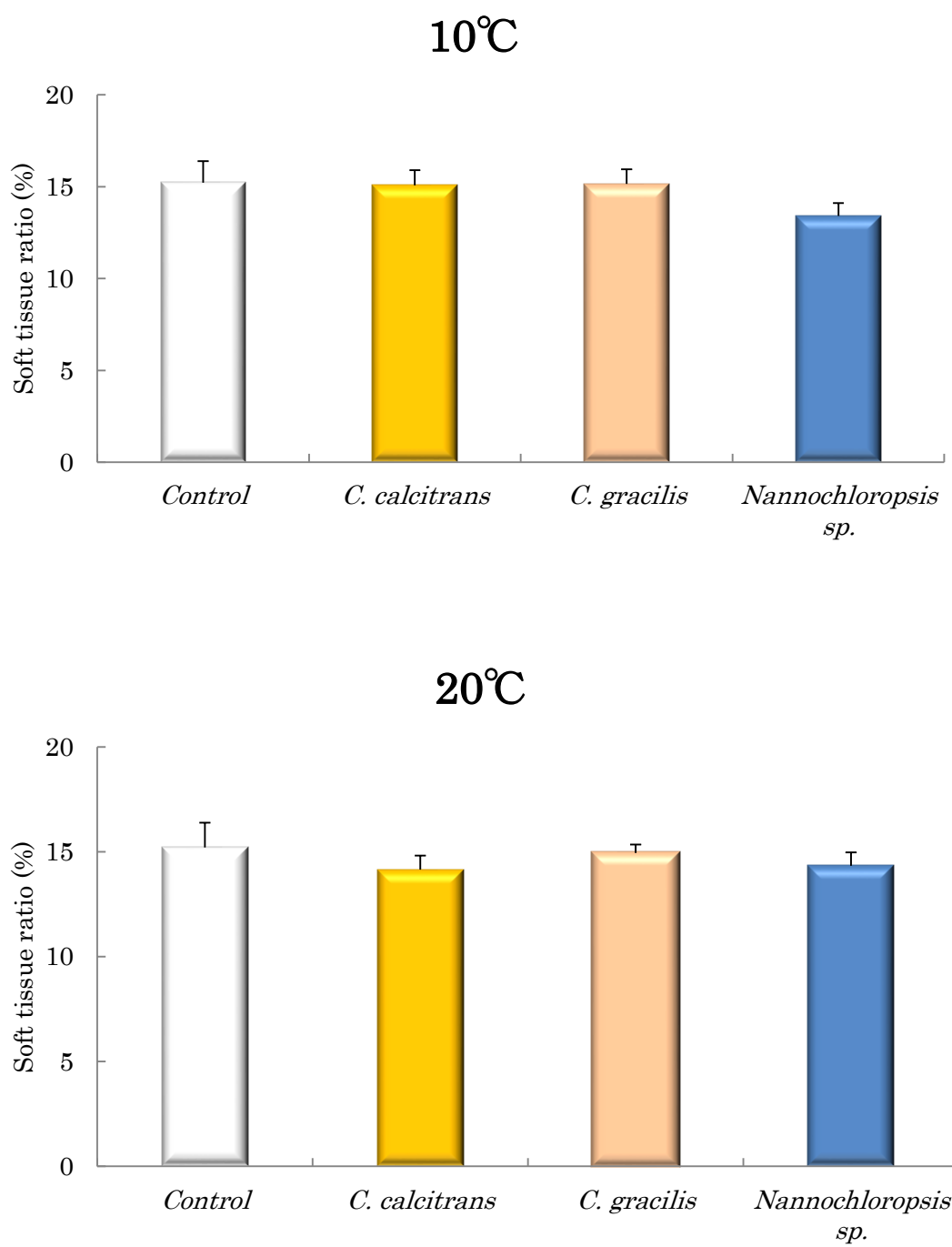


図 5-1 異なる餌により飼育したマガキの軟体部率の比較
平均値±標準誤差 (n=10)。

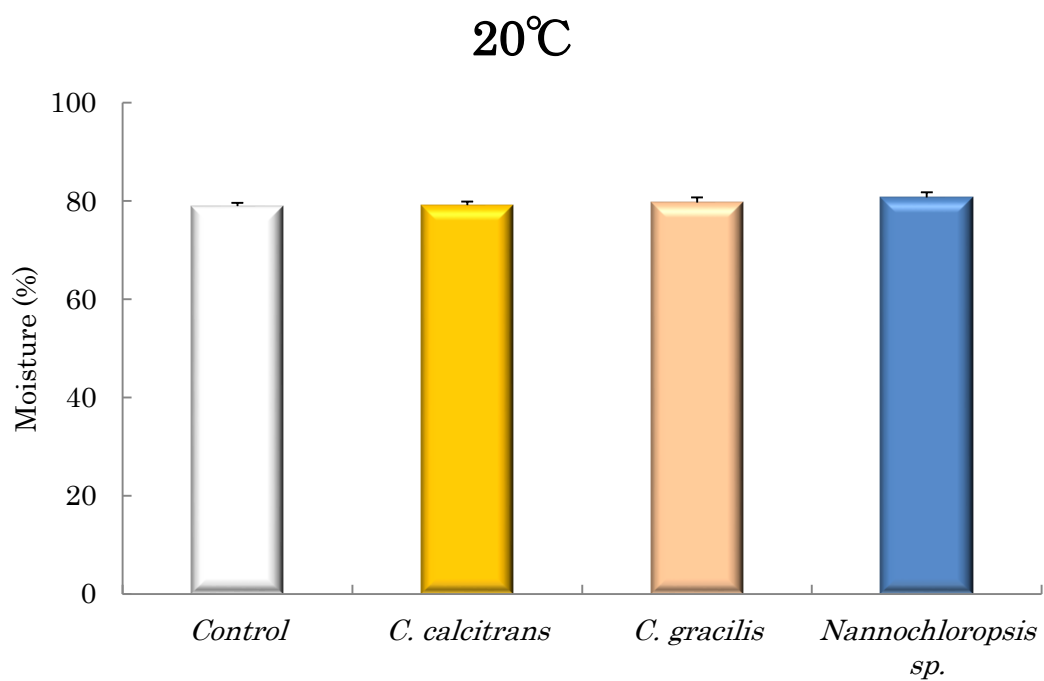
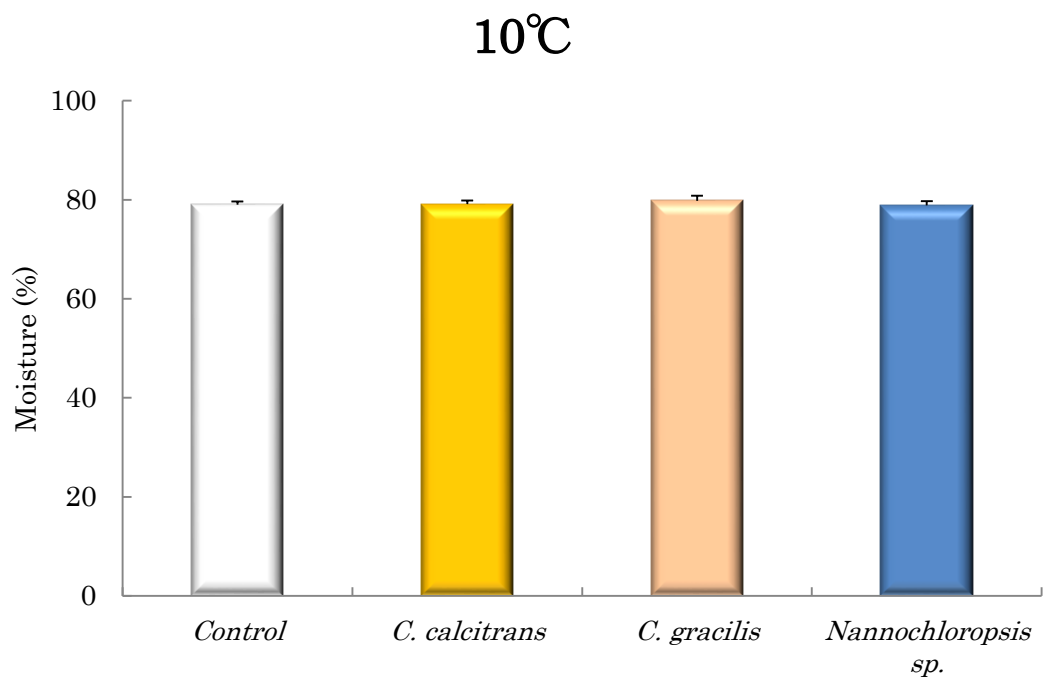


図 5-2 異なる餌により飼育したマガキの水分含量の比較
 平均値±標準誤差 (n=10)。

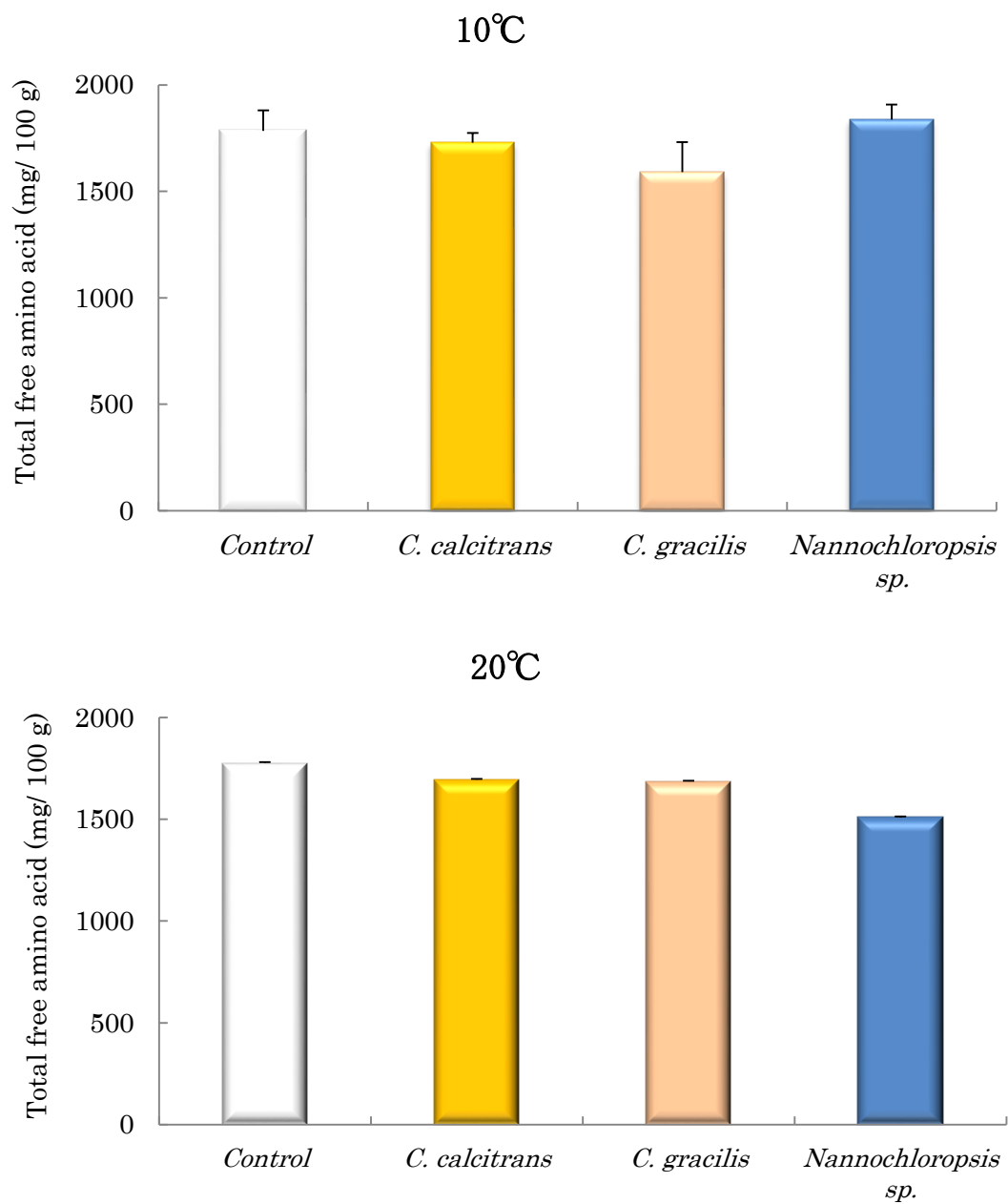


図 5-3 異なる餌により飼育したマガキの総遊離アミノ酸量の比較 (10°C および 20°C)
平均値±標準誤差 (n=10)。

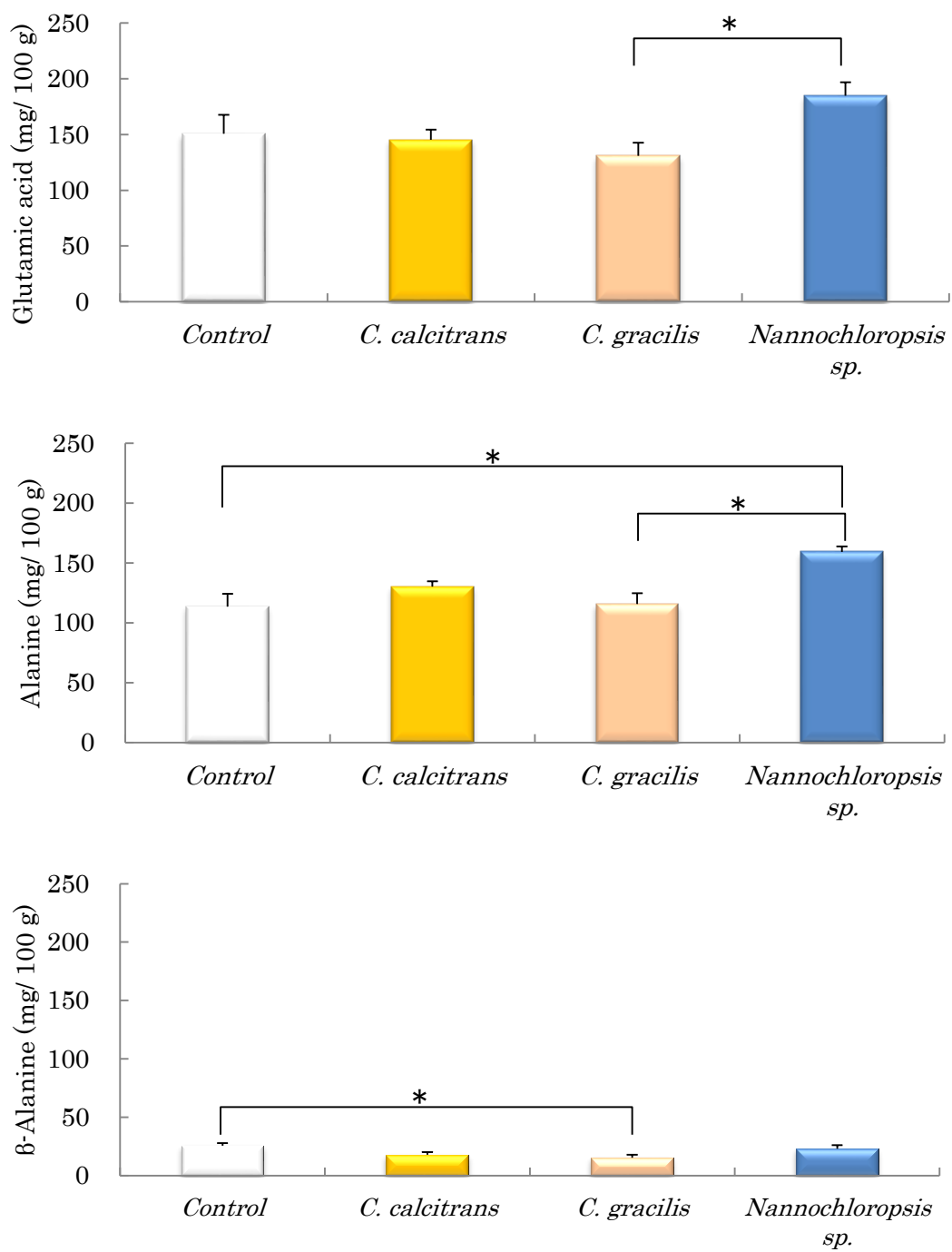


図 5-4 異なる餌により飼育したマガキのうま味および甘味に関する遊離アミノ酸量の比較 (10°C)

平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

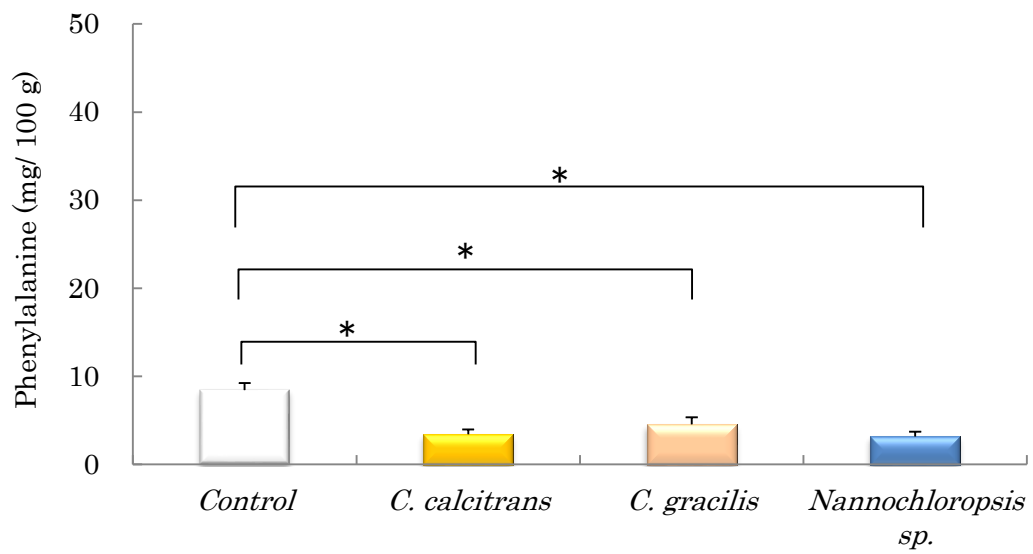


図 5-5 異なる餌により飼育したマガキの苦味に関する遊離アミノ酸量の比較 (10°C)
 平均値±標準誤差 (n=10)。
 *: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

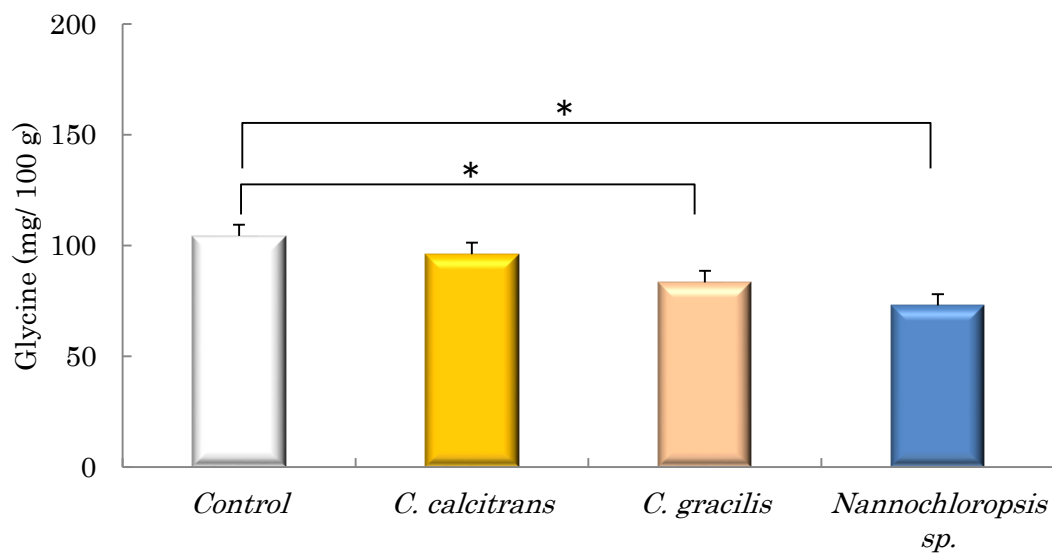
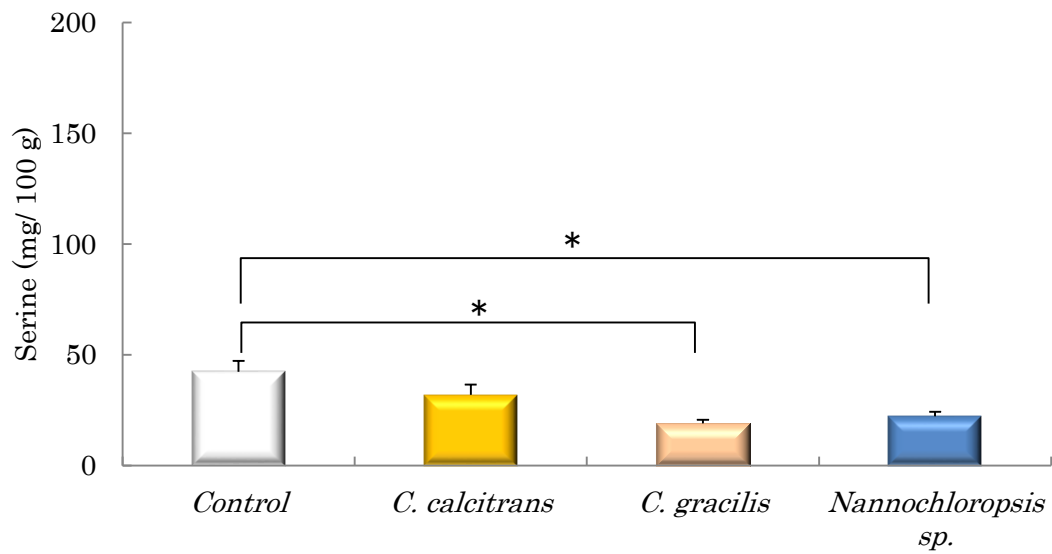


図 5-6 異なる餌により飼育したマガキの甘味に関する遊離アミノ酸量の比較 1 (20°C)

平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

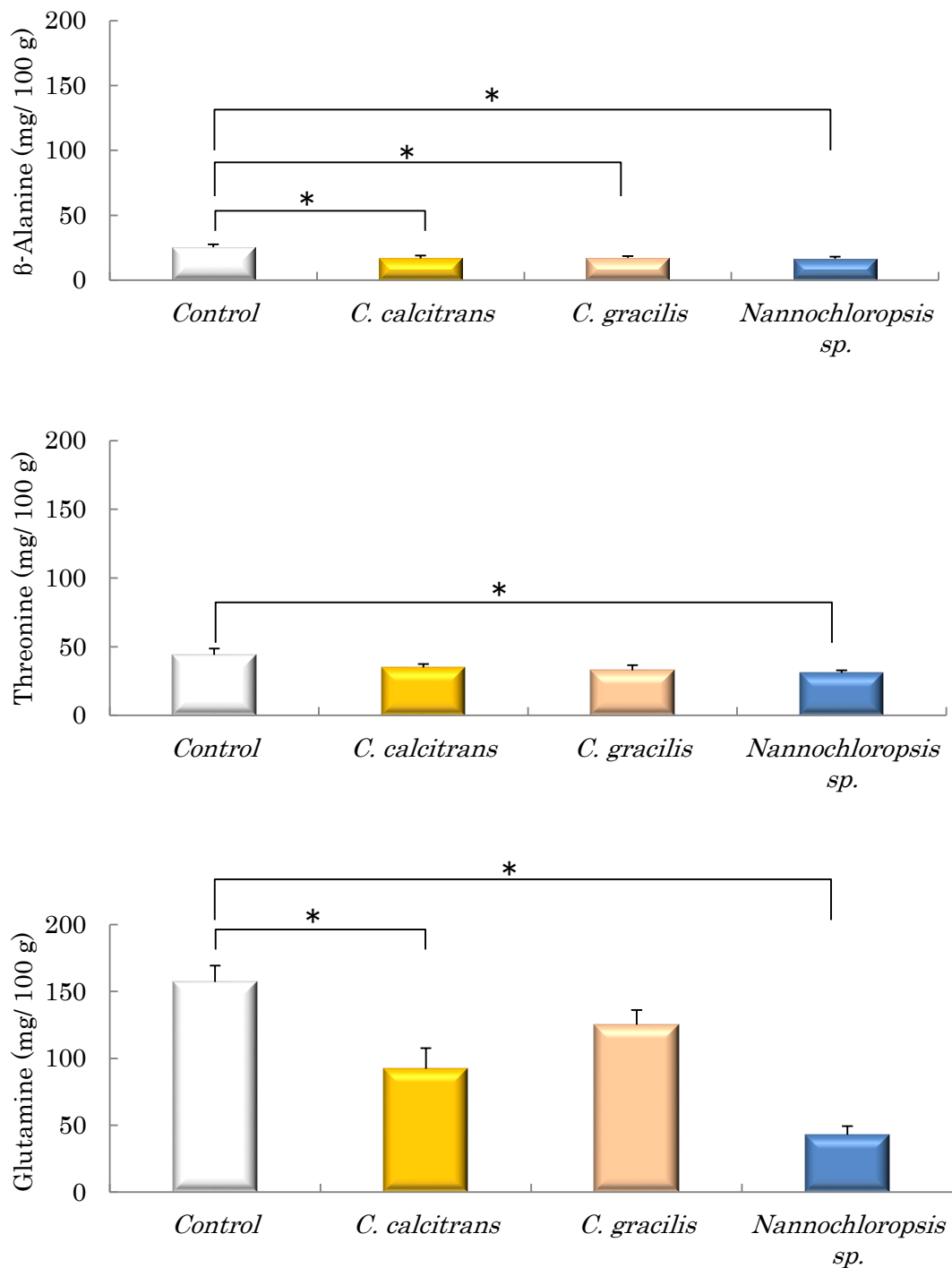


図 5-7 異なる餌により飼育したマガキの甘味に関する遊離アミノ酸量の比較 2 (20°C)

平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

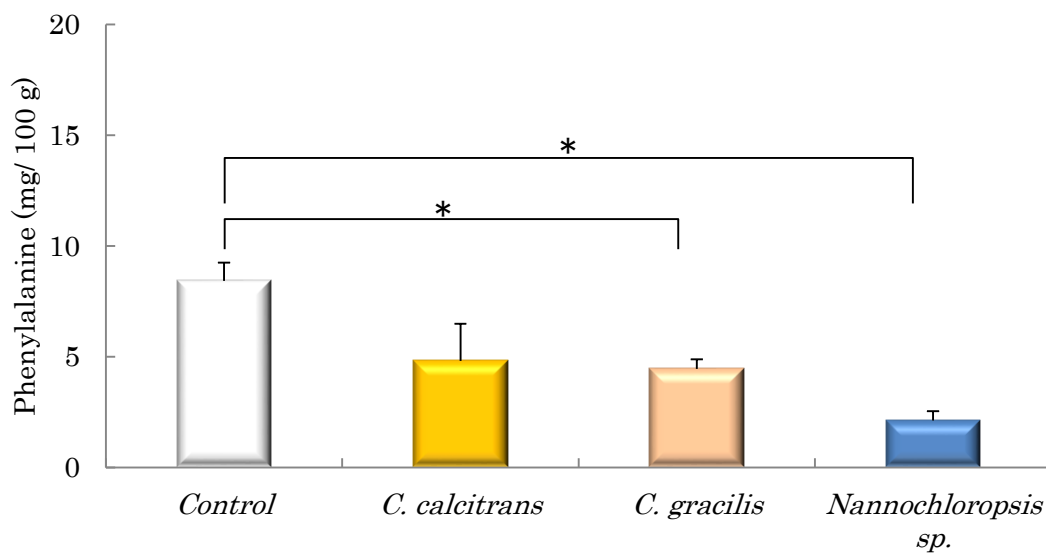
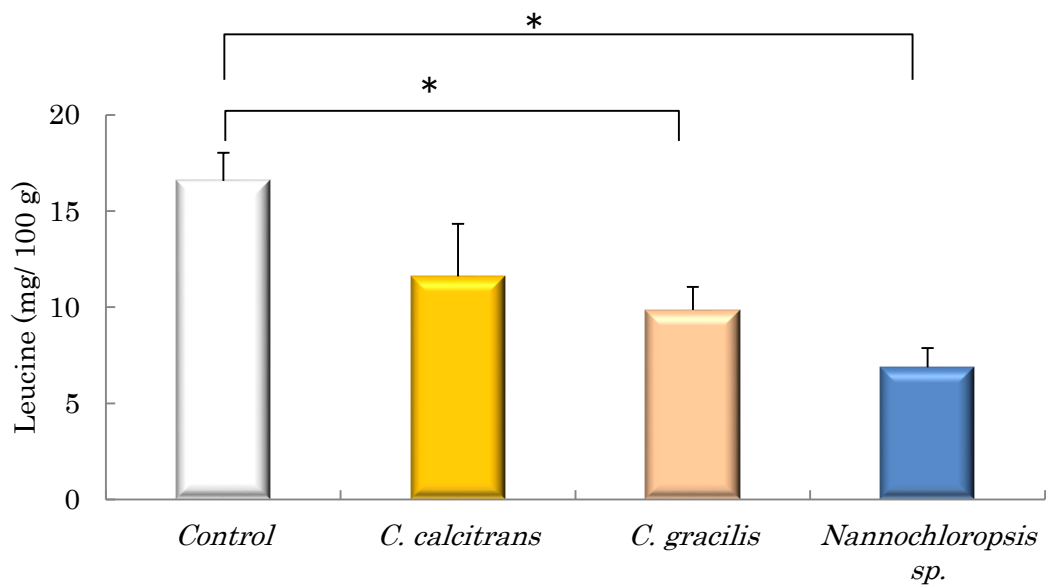


図 5-8 異なる餌により飼育したマガキの苦味に関する遊離アミノ酸量の比較 1 (20°C)
 平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

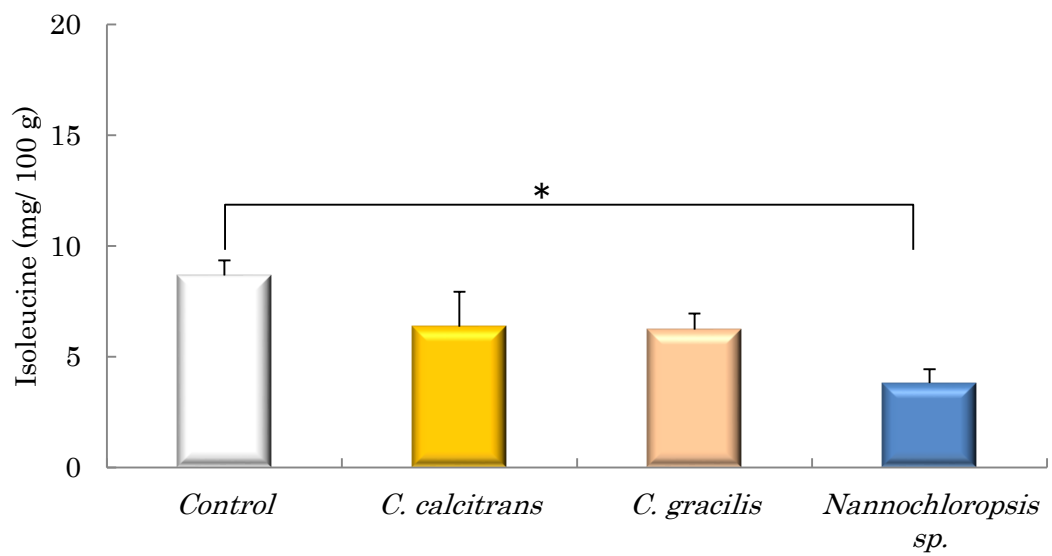
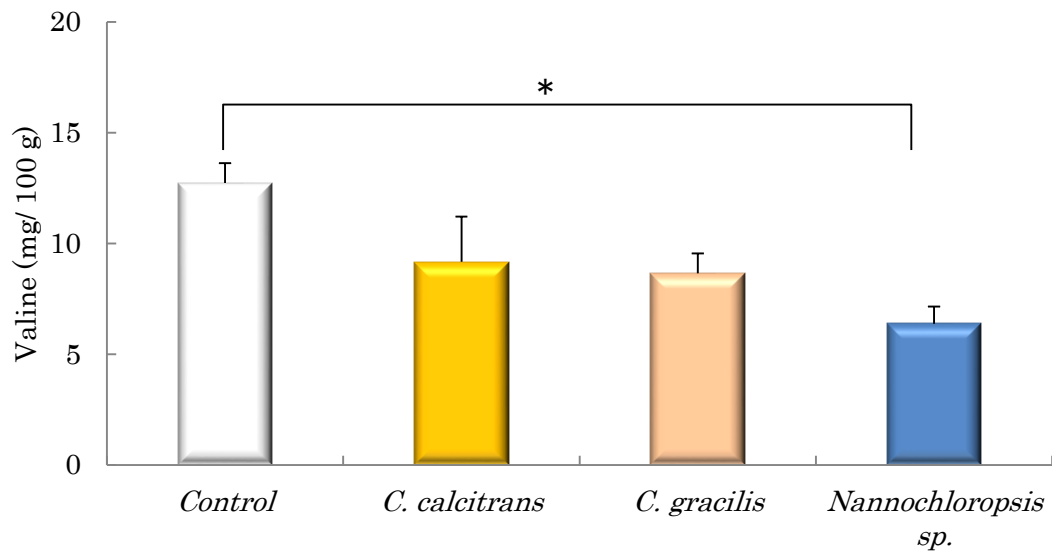


図 5-9 異なる餌により飼育したマガキの苦味に関する遊離アミノ酸量の比較 2 (20°C)
 平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

表 5-1 飼育餌料および飼育温度の異なるマガキの遊離アミノ酸における
因子分析の因子負荷量

ID	Amino acid	Factor 1	Factor 2
1	Alanine	0.124	0.917
2	Arginine	0.326	0.696
3	Aspartic acid	0.411	0.625
4	β -Alanine	0.679	0.517
5	Cystine	0.595	0.579
6	Glutamine	0.723	0.261
7	Glutamic acid	0.207	0.892
8	Glycine	0.349	0.537
9	Isoleucine	0.950	0.236
10	Leucine	0.926	0.292
11	Lysine	0.532	0.576
12	Phenylalanine	0.814	-0.002
13	Proline	0.350	0.551
14	Serine	0.700	0.449
15	Taurine	0.115	0.790
16	Threonine	0.180	0.733
17	Tyrosine	0.741	0.383
18	Valine	0.935	0.297

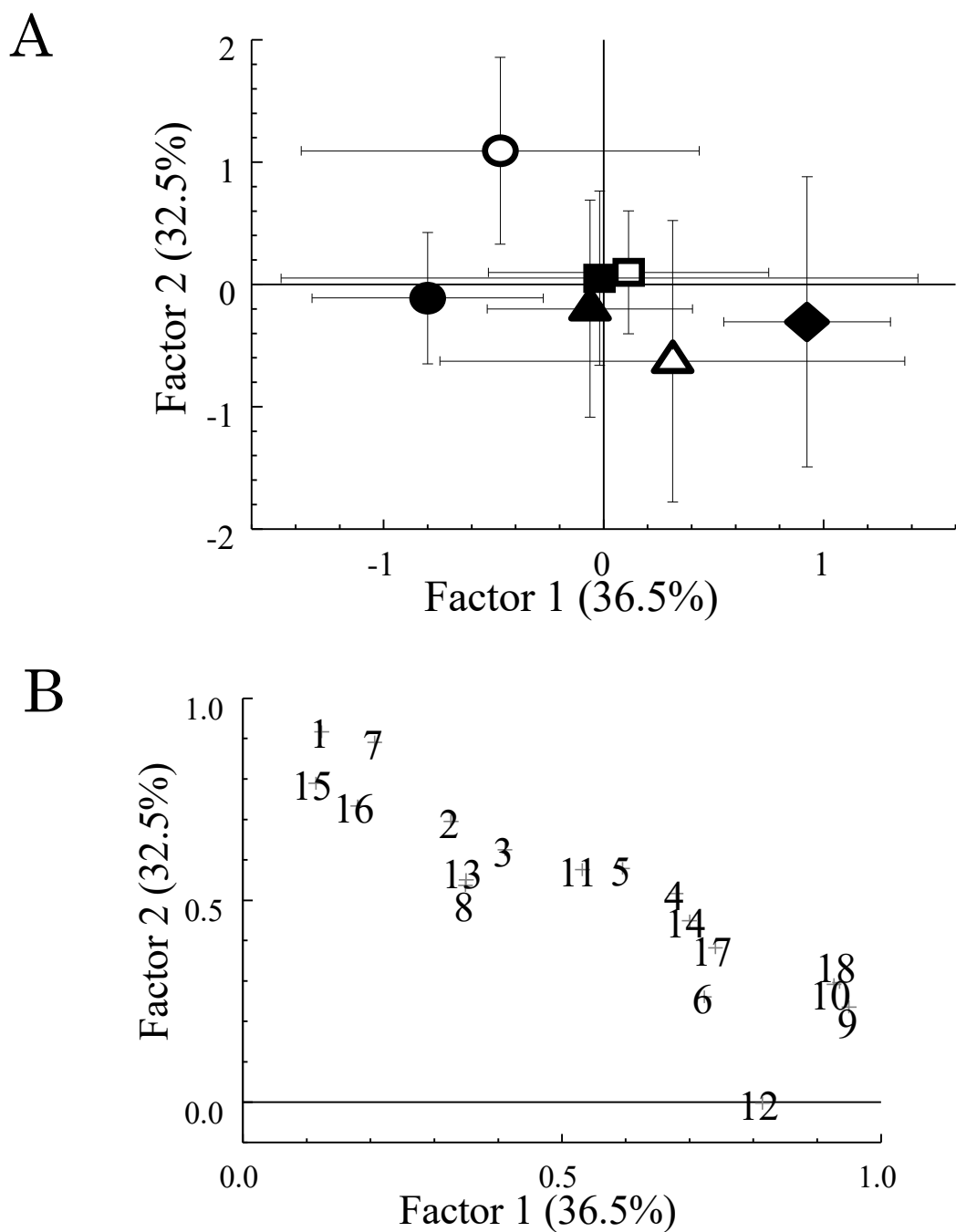


図 5-10 飼育餌料および飼育温度の異なるマガキの遊離アミノ酸における
因子分析の結果

A: ポジショニングマップ 丸: *Nannochloropsis* sp., 三角: *C. gracilis*,
四角: *C. calcitrans*, ダイヤモンド: Control。白抜きおよび黒塗り記号はそれぞれ
10 °C および 20 °C を示す。

B: 因子負荷量のスコアプロット。各番号は表 5-1 の ID を示す。

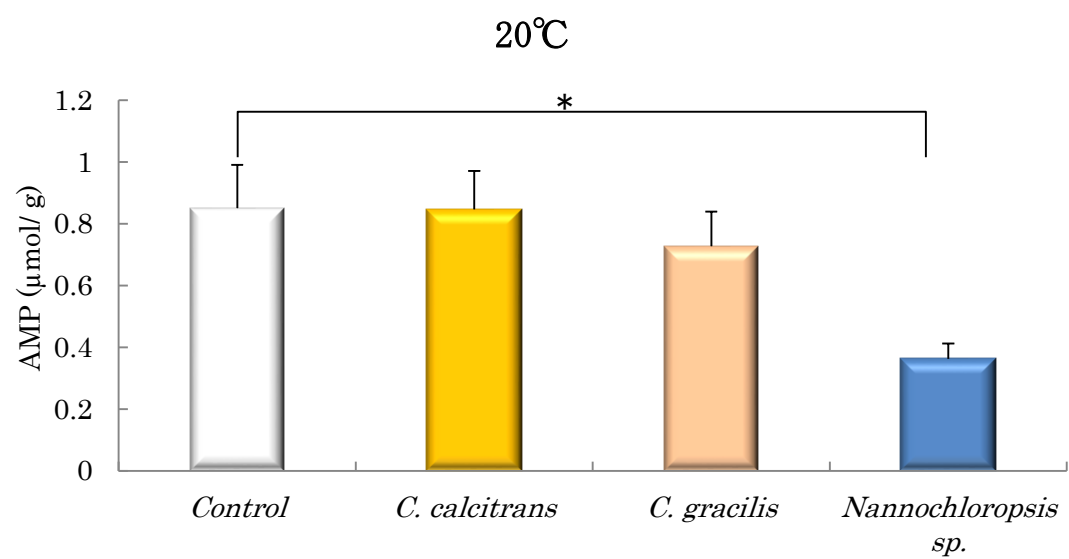
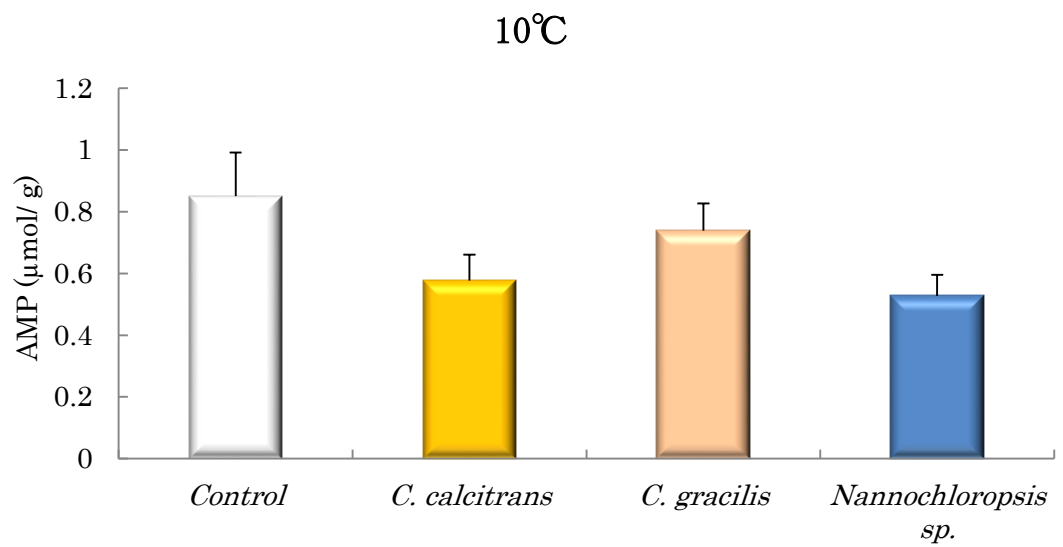


図 5-11 異なる餌により飼育したマガキの AMP 量の比較
 平均値±標準誤差 (n=10)。
 *: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

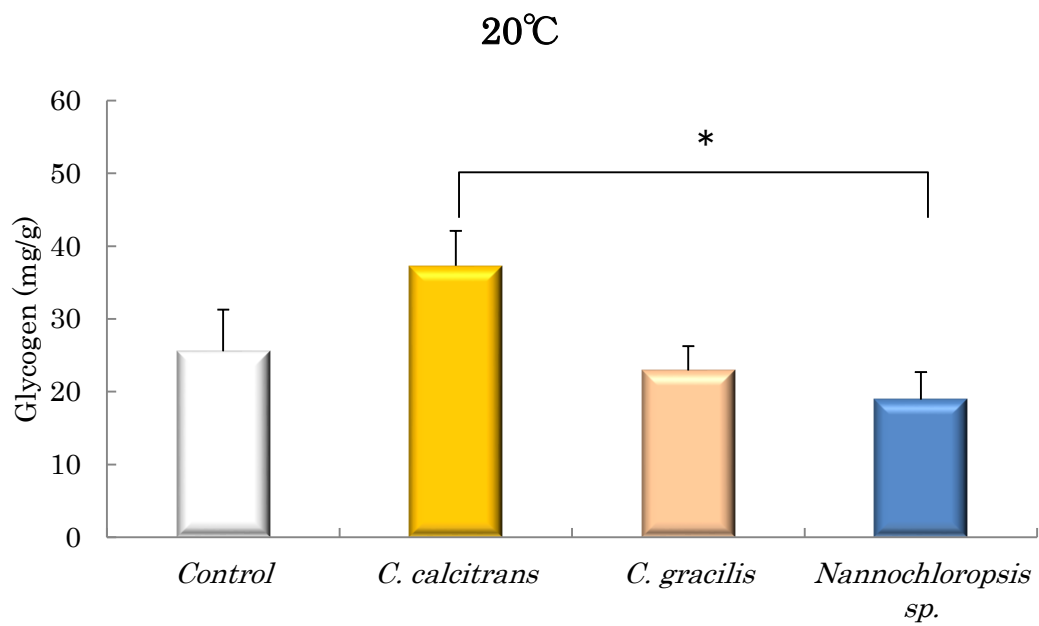
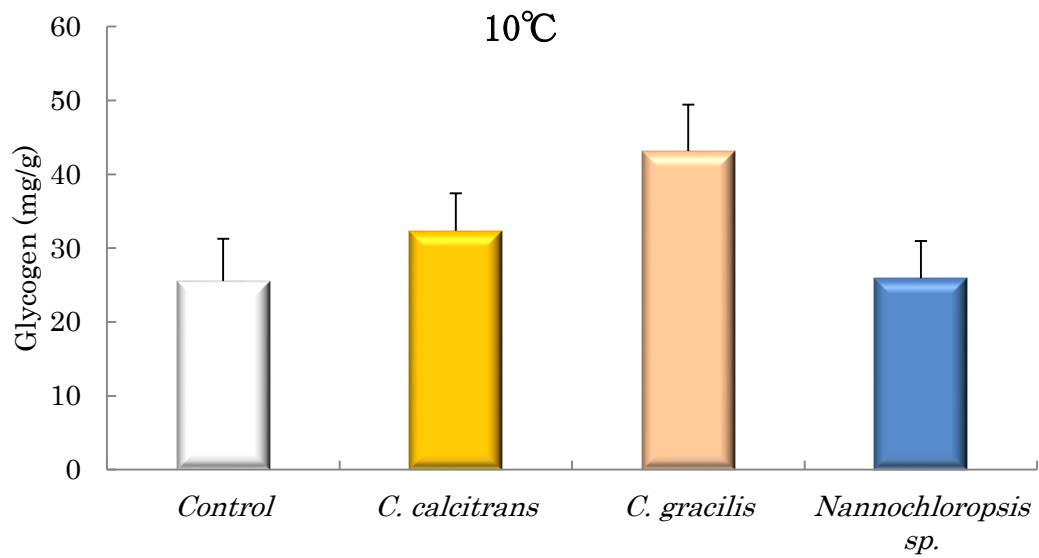


図 5-12 異なる餌により飼育したマガキのグリコーゲン量の比較
 平均値±標準誤差 (n=10)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

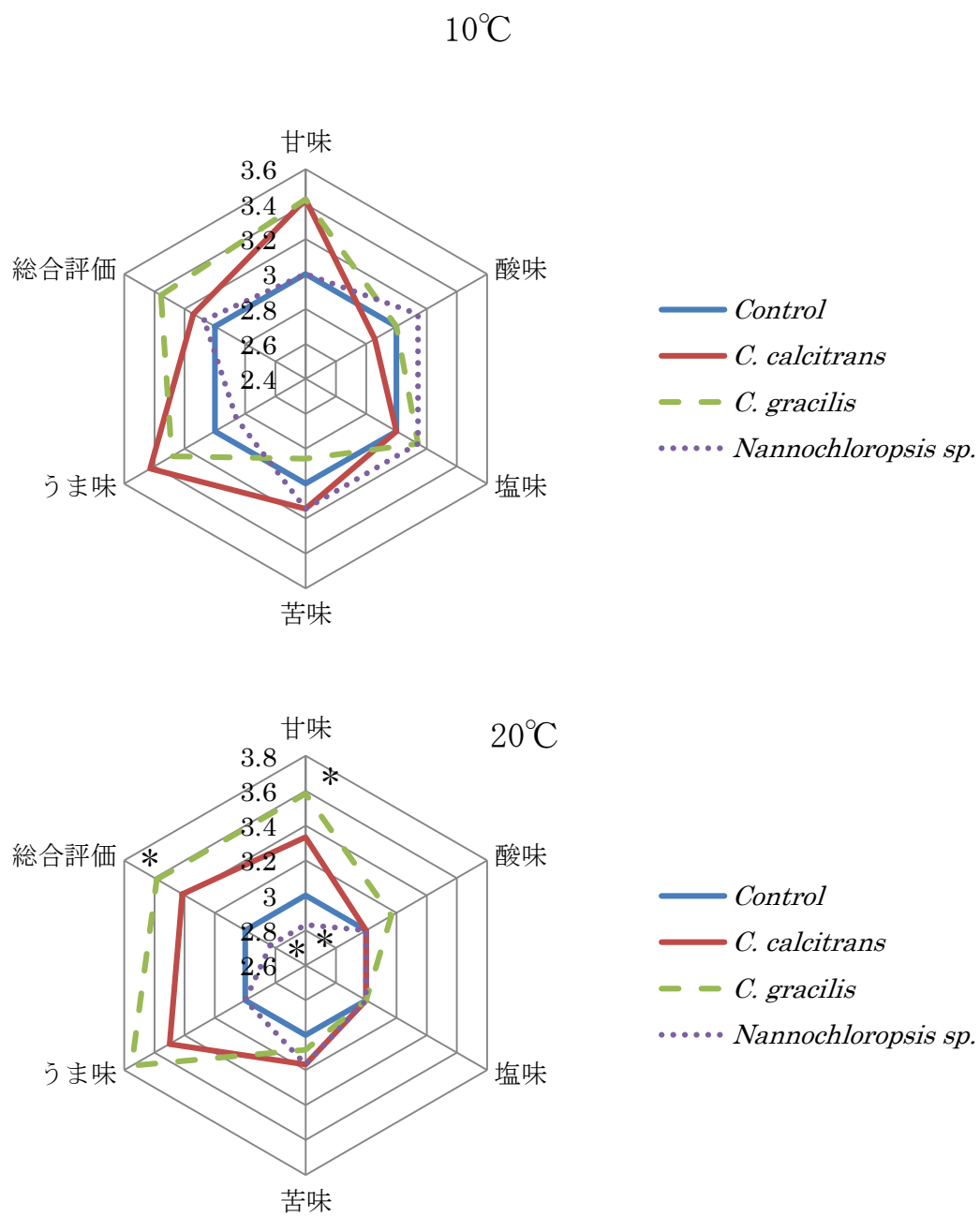


図 5-13 異なる餌により飼育したマガキの官能評価スコア
 平均値±標準誤差 (n=7)。

*: 異なる群間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey 検定)。

第6章 総合考察および総括

本研究では養殖方法および収穫後の飼育がマガキの呈味におよぼす影響について、種々の評価法を用いて食品化学的に検討した。第2章では養殖方法の違いがマガキの遊離アミノ酸組成におよぼす影響を検討した。その結果、通常のホタテ貝殻を採苗器として出荷期まで海に垂下し続ける通常垂下法で育ったマガキに比べて、人工採苗により一定サイズまで育てられた後に1個体ずつ単体の状態で網かごに入れて海に垂下するシングルシード法で育ったマガキの方が、甘味に関する遊離アミノ酸が有意に多く含まれていた。

第3章では、飼育年数の違いがシングルシードマガキの味におよぼす影響を調べることを目的として、味に関する遊離アミノ酸、ATP 関連化合物およびグリコーゲン量の測定を行ない、併せてヒトによる官能評価を行なった。その結果、1年目のマガキに比べて2年目のマガキは甘味に関する遊離アミノ酸が有意に低下しており、2年目のマガキは甘味が劣る可能性が示唆された。官能評価においても、1年目より2年目で甘味が低い傾向がみられたが、有意な差は認められなかった。うま味に関するグルタミン酸は有意な差はみられなかったが、IMPと同様にうま味の相乗効果をもたらすAMPは1年目よりも2年目のマガキで有意に低下していた。官能評価ではうま味に関する項目は1年目より2年目で高い傾向にあったが、有意差は認められなかった。グリコーゲン量は1年目よりも2年目で有意差はなかったものの、増加傾向がみられた。官能評価でも2年目のマガキの方がコクの評価が有意差はないが高い傾向にあった。これらのことから全体としては飼育年数によるシングルシードマガキの味の違いは大差ないと考えられるが、いずれも2年目の方が甘味はやや劣る可能性が推察された。

第4章では、広島県産と長崎県産マガキの呈味成分を化学的に分析し、産地による呈味の違いを検証することを目的とした。さらに、味認識装置を用いてそれぞれの味を数値化して相互作用を加味した総合的な味の評価を行った。その結果、甘味に関する遊離アミノ酸は広島県産よりも長崎県産で有意に高い値を示した。うま味に関する遊離アミノ酸であるグルタミン酸は産地による有意な差はみられなかったが、グルタミン酸とうま味の相乗効果をもたらすAMPは長崎県産で有意に高い値を示した。味認識装置による結果においても、うま味は広島県産より長崎県産マガキで有意に高い値を示した。一方苦味に関する遊離アミノ酸は広島県産に比べて長崎県産は有意に少なかった。味認識装置においても、苦味後味が小長井産は有意に低い値を示した。しかしながら、遊離アミノ酸は分子量が小

さいため、後味として検知されない可能性がある。さらに、苦味を有する各遊離アミノ酸含量はどれも閾値以下であった。これらのことから、苦味後味として検知されたものは遊離アミノ酸以外の他の疎水性の高分子化合物であると推察した。

第 5 章では水揚げされた広島県産マガキに 3 種の植物プランクトン *Nannochloropsis* sp., *Chaetoceros calcitrans* および *C. gracilis* を給餌しながら、水槽で 5 日間飼育し、マガキの味上げ効果を調査することを目的として、呈味成分分析および官能評価を行った。同時に飼育時の水温を 10°C および 20°C の 2 条件設け、水温の影響も検討した。その結果、10°C ではナンノクロプシスを与えた群において甘味に関するアラニンが対照群およびグラシリス群に比べて有意に高い値を示し、うま味を呈するグルタミン酸がグラシリス群より有意に高い値を示した。また、10°C ではすべての餌料群で苦味を呈するフェニルアラニンは有意に低い値を示したが、AMP 量およびグリコーゲン量においては有意な差は見られなかった。これらのことから、官能評価において有意な差が見られなかったためその差は僅かであるが、ナンノクロプシスを与えて飼育した場合には甘味が増して苦味が減少する可能性が推察された。総遊離アミノ酸量では群間の差は有意ではなかったものの、20°C での飼育はいずれのプランクトンを与えた場合でも遊離アミノ酸量を減少させる傾向のあることがわかった。特にナンノクロプシスを餌として与えた場合では、より多くの種類の遊離アミノ酸量、AMP 量、グリコーゲン量および官能評価が低下することが見出された。以上より、上述の餌類を与えて飼育する場合の海水温度は 20°C よりも 10°C で行った方がよいことが示された。

本研究の種々の結果により、マガキは養殖条件を検討することで見た目や味をコントロール出来ることがわかった。味がデザイン出来れば産地化に繋がり、養殖マガキに付加価値を付けることが可能となると考えられる。また、味認識装置を用いた手法はマガキの呈味の有効な評価手段であることが示された。本研究の成果はカキ養殖産業において、養殖方法の検討による味上げ、ブランド化に寄与し、地方創生の一助となることが期待される。産地により呈味が異なることが明らかとなり、これは餌となる植物プランクトンの違い等、環境要因の影響が考えられた。また今回、マガキの総合的な味を、味認識装置を用いて初めて数値化して評価することが出来た。これまで化学成分分析やヒトによる官能評価でカキの味を評価するのが一般的であったが、味認識装置を用いることでヒトが感じるような複合的な味を客観的に評価可能となる。カキの独特な味はどの成分に由来しているかまだ明らかにされていないが、今後味認識装置を用いることでカキの呈味のさらなる解明の一

助となることが期待される。

参考文献

- Akitomi, H., Tahara, Y., Yasuura, M., Kobayashi, Y., Ikezaki, H., Toko, K. (2013), Quantification of tastes of amino acids using taste sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 179, 276-281.
- Anjiki, N., Kawahara, N., Goda, Y. (2005), Evaluation of the taste of Kampo formulae by taste-sensing system (1). *Shoyakugaku Zasshi (The Japanese Journal of Pharmacognosy)*, 59, 164-170.
- Anjiki, N., Hosoe, J., Fuchino, H., Kiuchi, F., Sekita, S., Ikezaki, H., Mikage, M., Kawahara, N., Goda, Y. (2011), Evaluation of the taste of crude drug and Kampo formula by a taste-sensing system (4): taste of Processed Aconite Root. *J Nat Med*, 65, 293-300.
- Beider, L. M. (1971), "Part 2; Taste, Handbook of Sensory Physiology IV: Chemical Senses" Beider, L. M., ed., Berlin, Springer-Verlag, p.200-220.
- Chandrashekar, J., Hoon, M. A., Ryba, N. J., Zuker, C. S. (2006), The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*, 444, 288-294.
- Chaudhari, N., Landin, A. M., Roper, S. D. (2000), A metabotropic glutamate receptor variant functions as a taste receptor. *Nature Neuroscience*, 3, 113-119.
- DeSimone, J. A., Lyall, V., Heck, G. L., Feldman, G. M. (2001), Acid detection by taste receptor cells. *Respiration Physiology*, 129, 231-245.
- Doi, M. (2013), Investigation into the kokumi taste of soup stock materials. In: Toko, K. ed., *Biochemical sensors, USA, Pan Stanford*, p.117-125. (ISBN 978-9814267076)

Fujimura, S. and Sasaki, K. (2013), Meat. In: Toko, K. ed., Biochemical sensors, USA, Pan Stanford, p.91-102. (ISBN 978-9814267076)

Hayakawa, Y., Ban, K., Kamo, T., Ezaki, Y. (2012), Measurement of variations in chlorophyll-a as food index for oyster culture in Hakata Bay. Journal of National Fisheries University, 61, 1-10.

Hayashi, N. and Chen, R. (2013), Techniques for objective evaluation of tea tastes. In: Toko, K. ed., Biochemical sensors, USA, Pan Stanford, p.64-65. (ISBN 978-9814267076)

Hayashi, T., Yamaguchi, K., Konosu, S. (1981), Sensory analysis of taste-active components in the extract of boiled snow crab meat. Journal of Food Science, 46, 479-483.

Hosoi, M., Kubota, S., Toyohara, M., Toyohara H., Hayashi, I. (2003), Effect of salinity change on free amino acid content in Pacific oyster, Fisheries Science, 69 (2), 395-400.

Ishiwaki, T. (2013), Application of taste sensor to blending of coffee. In: Toko, K. ed., Biochemical sensors, USA, Pan Stanford, p.83-90. (ISBN 978-9814267076)

Kamiyama, T., Yamauchi, H., Iwai, T., Hanawa, S., Matsuyama, Y., Arima, S., Kotani, Y. (2005), Comparison of environmental conditions in two representative oyster farming areas: Hiroshima Bay, western Japan and Oginohama Bay (a branch of Ishinomaki Bay), northern Japan. Fisheries Science, 71, 1295-1303.

Kobayashi, Y., Habara, M., Ikezaki, H., Chen, R., Naito, Y., Toko, K. (2010), Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores. Sensors, 10 (4), 3411-3443.

Mann, R. (1979), Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 59 (1), 95-110.

Miyanaga, Y., Inoue, N., Ohnishi, A., Fujisawa, E., Yamaguchi, M., Uchida, T. (2003), Quantitative prediction of the bitterness suppression of elemental diets by various flavors using a taste sensor. Pharmaceutical Research, 20 (12), 1932-1938.

Nelson, G., Chandrashekar, J., Hoon, M. A., Feng, L., Zhao, G., Ryba, N. J., Zuker, C. S. (2002), An amino-acid taste receptor. Nature, 416, 199-202.

Pfaffmann, C. (1959), The sense of taste, Handbook of physiology, Neurophysiology, Field, J. eds., Baltimore, Williams & Wilkins, p.507-533.

Reed, D. R., Nanthakumar, E., North, M., Bell, C., Bartoshuk, L. M., Price, R. A. (1999), Localization of a gene for bitter-taste perception to human chromosome 5p15. Am. J. Hum. Genet., 64, 1478-1480.

Sakaguchi, M., Murata, M. (1989), Seasonal variations of free amino acids in oyster whole body and adductor muscle. Nippon Suisan Gakkaishi, 55 (11), 2037-2041.

Satuito, C. G., Yamada, H., Ohashi, S., Kitamura, H. (2013), Occurrence and variation in abundance of fouling organisms in an oyster farm in Isahaya Bay, Nagasaki Prefecture. Sessile Organisms, 30 (1), 1-10.

Schutz, H. G., Pilgrim, F. J. (1957), Differential sensitivity in gustation. Journal of Experimental Psychology, 54, 41-48.

Southgate, P. C. and Lee, P. S. (1998), Hatchery rearing of the tropical blacklip oyster *Saccostrea echinata* (Quoy and Gaimard). *Aquaculture*, 169, 275-281.

Toko, K. ed. (2013a): Biochemical sensors: mimicking gustatory and olfactory senses. Pan Stanford (ISBN 978-9814267076)

Totsuka, A. (2013), Application of multichannel taste sensor for winemaking. In: Toko, K. ed., Biochemical sensors, USA, Pan Stanford, p.103-116. (ISBN 978-9814267076)

Tsuji, K., Seki, T., and Iwao, H. (1979), Cholesterol-lowering effects of taurine and sulfur-containing amino acids in serum and liver of rats. *Sulfur-Containing Amino Acids*, 2, 143-145.

Uchiyama, Y., Yamashita, M., Kato, M., Suzuki, T., Omori, M., Chen, R. (2011), Evaluation of the taste of tea with different degrees of fermentation using a taste sensing system. *Sensors and Materials*, 23 (8), 501-506.

Whyte, J. N. C., Englar, J. R., Carswell, B. L. (1990), Biochemical composition and energy reserves in *Crassostrea gigas* exposed to different levels of nutrition, *Aquaculture*, 90 (2), 157-172.

Yamaguchi, S. (1967), The synergistic taste effect of monosodium glutamate and disodium 5'-Inosinate. *Journal of Food Science*, 32 (4), 473-478.

Yamamoto, K., Handa, T. (2011), Effect of water temperature on ventilation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Journal of National Fisheries University*, 60, 63-66.

Zhang, Y., Hoon, M. A., Chandrashekar, J., Mueller, K. L., Cook, B., Wu, D., Zuker, C. S., Ryba, N. J. (2003), Coding of sweet, bitter, and umami tastes: different receptor cells sharing similar signaling pathways. *Cell*, 112, 293-301.

味の素株式会社 (2003), アミノ酸ハンドブック, 工業調査会, p.44-51.

厚岸漁業協同組合 (2001), 貝類養殖の新たな挑戦 (6) 貝殻粉末で人工採苗に挑戦した厚岸カキ, 養殖, 38 (6), 110-113.

阿部宏喜 (2008), 季節の勢い～旬の魚の体と栄養価～, アクアネット, 11 (4), 36-39.

荒川好満 (1977), 牡蠣-その知識と調理の実際, 柴田書店, p.42-69.

池崎秀和, 小林義和, 谷口晃 (2003), 味覚センサーを用いた味の定量化と香りを含む風味の総合評価, ジャパンフ・ドサイエンス, 42 (9), 59-66.

池崎秀和 (2012), 味覚センサーで味を科学する, 日本味と匂学会誌, 19 (2), 125-131.

大越ひろ, 神宮英夫 (2009), 食の官能評価入門, 光生館, p.17-21.

大橋智志, 森川晃, 中田久 (2006), 諫早湾 (2003 年) における養殖マガキの成長、生残、および組織病変, 長崎県水産試験場研究報告, 第 31 号, 11-14.

大橋智志 (2009), マガキのシングルシードについて, 長崎県漁業協同組合連合会漁連だより.

大橋智志, 貞松大樹, 塚原淳一郎, 西村大介 (2010), 第 2 期魚貝類種苗量産技術開発研究事業 (介類), 平成 22 年度長崎県総合水産試験場事業報告, p.63-65.

大橋智志 (2011), マガキシングルシードの改良について, 長崎県漁業協同組合連合会漁連だより.

岡内正典, 川村功一 (1997), 微細藻類の保存株から・・・(1) ナンノクロロプシス, 養殖研ニュース, 33, 9-17.

沖裕高 (2015), おいしさをいかに客観的に評価するか : 機器分析と官能評価の活用, 食品と開発, 50 (4), 8-10.

奥村卓二, 三浦信昭, 勢村均, 岸本好博 (2005), 秋田県戸賀湾, 秋田県金浦町地先, 鳥取県泊村地先および島根県隠岐島島前湾におけるイワガキのグリコーゲン含量の季節変化, 日本水産学会誌, 71 (3), 363-368.

鬼木浩 (2013a), 養殖技術講座-二枚貝-第 2 回マガキ・シングルシードの養殖と経営, 月刊養殖ビジネス, 50 (3), 21-23.

鬼木浩 (2013b), 養殖技術講座-二枚貝-第 1 回垂下式二枚貝養殖の現状と可能性, 月刊養殖ビジネス, 50 (2), 24-26.

小俣靖 (1986), 美味しさと味覚の科学, 日工新聞社, p.124-184.

神山孝史, 山内洋幸, 岩井拓郎 (2006), カキ養殖場における餌料プランクトン環境 (石巻湾の枝湾, 荻浜湾海域を中心に), 日本ベントス学会誌, 61, 53-58.

神山孝史 (2007), 日本の二大マガキ養殖地の環境の比較- 何がどう違うのか? -, 日本ベントス学会誌, 62, 62-67.

河合美佐子 (2003), アミノ酸の味 その 2. Ajico News, 209, 1-6.

木村稔 (2003), ホタテガイ貝柱の品質保持に関する研究, 北海道立水産試験場研究報告 (65), 1-47.

鴻巣章二 (1973), 魚貝類の味・呈味成分を中心にして-, 日本食品工業学会誌, 20 (9), 432-439.

鴻巣章二 (1991), 食品の呈味におけるアミノ酸の役割, 必須アミノ酸研究, 132, 41-45.

鯉渕幸生, 佐々木淳, 有田正光, 磯部雅彦 (2003), 有明海における水質変動の支配要因, 海岸工学論文集, 50, 971-975.

阪上雅史 (2005), 味覚障害と亜鉛欠乏, 医学のあゆみ, 214 (4), 275-279.

坂口守彦 (1989), 魚貝類の呈味発現機構, 食糧科学研究所報告, 52, 30-33.

坂口守彦 (2001), 魚介類の含窒素低分子成分とおいしさ, 日本水産学会誌, 67 (5), 787-793.

佐藤敬, 友澤寛, 北村整一, 鏑田仁人, 山口和也 (2015), まるごと濃縮かきエキスTMによる皮膚機能低下の改善およびアルコール吸収抑制作用, New Food Industry, 57 (10), 91-96.

佐藤博之 (1999), カキ養殖におけるムラサキイガイの防除, 福岡水研報, 9, 57-60.

新川英明 (1988), 牡蠣の生物学, 共文社, p.4-14.

水産庁 (2013), 第 I 章特集 養殖業の持続的発展, 平成 25 年度水産白書, 4-25.

高田久美代, 日浦盛夫, 信宗正男, 穂下誠彦 (1996), 養殖カキ中の含有成分の季節変動, 広島県保健環境センター研究報告, 4, 14-18.

田中一成 (2015), 牡蠣エキスの脂質低下作用, New Food Industry, 57 (10), 76-84.

田中大喜 (2004), 岩手県産イワガキの特性, 岩手県水産技術センター研究報告 (4), 19-28.

鶴田政文 (2015), 「小長井牡蠣」に続くブランドカキ「華漣」の生産と今後の課題, 月刊養殖ビジネス, 52 (10), 10-11.

都甲潔 (2002), 簡易分析法食品分析, ぶんせき, 335, 608-613.

都甲潔 (2006), 味覚センサの開発, 表面科学, 27 (1), 34-38.

内藤剛, 後川龍男, 篠原満寿美 (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及び年変動, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 24, 33-40.

中込暢彦, 津田初二, 米田一二三 (1965), 最近における広島湾カキ養殖業の構造変化, 水産大学校研究報告 人文科学篇 10 (447), 1-23.

二宮恒彦 (1968), アミノ酸の呈味に関する研究, 調理科学, 1 (4), 185-197.

日本化学学会 (1999), 味とにおいの分子認識, 学会出版センター, p.92-100.

細見亮太, 春松慎, 福田卓, 松田芳和, 福永健治, 吉田宗弘 (2015), カキ肉エキス摂取の薬物惹起性疾病に対する予防・改善効果, New Food Industry, 57 (10), 85-90.

松田芳和 (2015), かき肉エキスの健康機能, Food style 21, 19 (2), 60-62.

松本仲子 (2012a), 調理と食品の官能評価, 建帛社, p.101-123.

松本仲子 (2012b), 調理と食品の官能評価, 建帛社, p.29-49.

望月堅二 (2005), 図説 魚と貝の辞典, 柏書房, p.363-365.

文部科学省科学技術学術審議会資源調査分科会 (2010), 日本食品標準成分表, 全国官報販売協同組合

山口勝己, (1993) 養殖ガキの呈味改善用飼料の開発に関する基礎的研究, 科学研費報告書.

山元憲一, 半田岳志 (2011), マガキの鰓換水に及ぼす水温の影響, 水産大学校研究報告, 60 (1) 63-66.

山元憲一, 田中実, 田中直樹, 神菌真人, 秋本恒基 (1993), マガキ, クマサルボー, タイラギの鰓のほふく速度に及ぼす低酸素と水温の影響, 水産増殖, 41 (4), 435-438.

山中英明 (2011), ブランド魚・カキ, 食品と科学, 53 (11), 83-87.

米田千恵, 笠松千憂, 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ード方式による養殖マガキ成分の季節変化, 45 (5), 339-345.

李英植, 清木徹, 向井徹雄, 瀧本和人, 岡田光正 (1996), 広島湾におけるマイクロ, ナノおよびピコ植物プランクトンの季節変動, 水環境学会誌, 19 (5), 405-411.

渡辺勝子, 藍恵玲, 山口勝己, 鴻巣章二 (1990), ホタテガイ エキス成分の呈味上の役割, 日本食品工業学会誌, 37 (6), 439-445.

渡辺貢, 千葉仁志, 王慧芳 (2006), 高コレステロール血症を合併する糖尿病患者に対する牡蠣肉抽出エキスのセレン補給効果と血清総コレステロール低下作用, 日本未病システム学会雑誌 12 (1), 111-113.

謝辞

本研究を通じて、懇切丁寧な御指導と格別の御鞭撻を賜りました三重大学教授 小林一成博士に深甚な万謝を捧げる次第であります。

本研究を通じて、貴重な御助言を賜りました三重大学教授 青木恭彦博士に深甚な感謝の意を表します。

本研究を通じて、貴重な御助言を賜りました三重大学教授 市原佐保子博士に深甚な感謝の意を表します。

本研究を通じて、貴重な御助言を賜りました三重大学教授 矢野竹男博士に深甚な感謝の意を表します。

本研究を通じて、貴重な御助言を賜りました国立医薬品食品衛生研究所食品部長 穂山浩博士に深甚な感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり、適切な御指導、御助言をいただきました麻布大学教授 良永裕子博士に深甚な感謝の意を表します。

本研究を通じて、論文のまとめ方や統計処理について多大なるご助言を賜りました、元戸板女子短期大学学長の辻啓介博士に深甚な感謝の意を表します。

本研究を通じて、カキの取り扱い方や遊離アミノ酸分析等の技術をご教示いただき、ご指導いただきました、学習院女子大学教授 品川明博士に謹んで感謝の意を表します。

味認識装置をお貸しいただき、ご指導いただきました、国立医薬品食品衛生研究所生薬部部長の袴塚高志博士および細江潤子様に謹んで感謝の意を表します。

味認識装置によるデータの解析にあたり、多くの有益な情報をいただきました株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー代表取締役社長 池崎秀和博士、営業担当部長 荒谷和博様および研究開発部 羽原正秋博士に深く御礼申し上げます。

グリコーゲン分析のメソッド改良や ATP 関連化合物測定において丁寧な御指導、御助言を賜りました、東京海洋大学教授 濱田奈保子博士および関洋子博士に深く感謝申し上げます。

マガキ飼育について終始有益なご助言をいただきました、クニヒロ株式会社新事業開発本部顧問 赤繁悟博士に感謝の意を表します。また、試料の供与と官能評価を実施していただきました同商品開発課長の林弘己様および社員の皆様に厚く御礼申し上げます。さらに、プランクトンの培養と供与および官能評価を実施して下さった広島県栽培漁業協会理事長 山田正通様、貝類担当部長 水呉浩様および職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

シングルシード養殖に関して有益な情報を頂戴しました長崎県県南水産業普及指導センター 大橋智志博士に謹んで感謝の意を表します。さらに、試料をご提供いただきました長崎県小長井町漁業協同組合組合長の新宮隆喜様、鶴田政文様、久保明子様はじめ皆様に心より御礼申し上げます。

因子分析についてご指導いただきました、三重大学坂宮章世様に深く御礼申し上げます。
官能評価にご協力いただきました、学習院女子大学の学生の皆様に感謝致します。

実験にご協力いただきました、麻布大学 中村亮氏はじめ食品分析化学研究室の皆様に感謝致します。

最後に、常に温かく見守り、私を支えてくれた家族、友人に感謝致します。