

国内産ムール貝
(*Mytilus galloprovincialis*)
の品質に関する基礎研究

県立広島大学大学院
総合学術研究科
生命システム科学専攻

博士論文

令和4年3月

(2022年)

平林真弓

目 次

第 1 章	緒 論	1
第 2 章	活ムール貝のエキス成分の季節変動	
第 1 節	諸 言	14
第 2 節	実験方法	15
第 1 項	試料の調製	15
第 2 項	身入り	16
第 3 項	一般成分および pH の測定	16
第 4 項	グリコーゲンの測定	17
第 5 項	SAA 抽出液の調整	17
第 6 項	PCA 抽出液の調整	18
第 7 項	一般生菌数の測定	18
第 8 項	非タンパク態窒素の測定	18
第 9 項	遊離アミノ酸の分析	19
第 10 項	ATP 関連物質の分析	19
第 11 項	有機酸の分析	20
第 12 項	TAV および EUC の計算	20
第 13 項	統計解析	21
第 3 節	実験結果	22
第 1 項	身入り, 一般成分, グリコーゲン, NPN, pH および生菌数	22
第 2 項	FAA	22
第 3 項	ATP 関連物質	23
第 4 項	有機酸	23

第 5 項	TAV および EUC	24
第 4 節	考察	24
第 5 節	小括	29
第 3 章 氷蔵中の活ムール貝のエキス成分の変化		
第 1 節	諸言	39
第 2 節	実験方法	40
第 1 項	試料の調製	40
第 2 項	身入り	41
第 3 項	一般成分および pH の測定	41
第 4 項	グリコーゲンの測定	41
第 5 項	SAA 抽出液の調整	41
第 6 項	PCA 抽出液の調整	41
第 7 項	生菌数の測定	42
第 8 項	ムール貝の生残率	42
第 9 項	NPN の測定	42
第 10 項	FAA の分析	42
第 11 項	ATP 関連物質の分析	42
第 12 項	有機酸の分析	42
第 13 項	TAV および EUC 計算	42
第 14 項	K 値, K' 値および AEC 値	43
第 15 項	統計解析	43
第 3 節	実験結果	44
第 1 項	身入り, 一般成分, グリコーゲン, NPN および生 菌数	44

第 2 項	生残率	44
第 3 項	FAA	44
第 4 項	ATP 関連物質	45
第 5 項	K 値, K' 値および AEC 値	46
第 6 項	有機酸	46
第 7 項	TAV および EUC	47
第 8 項	HCA	47
第 4 節	考察	48
第 5 節	小括	52
第 4 章	ムール貝とハマグリ, アサリおよびカキとのエキス成分の比較	
第 1 節	諸言	61
第 2 節	実験方法	62
第 1 項	試料	62
第 2 項	身入り	63
第 3 項	一般成分および pH の測定	63
第 4 項	グリコーゲンの測定	63
第 5 項	SSA 抽出液の調整	63
第 6 項	PCA 抽出液の調整	63
第 7 項	NPN の測定	64
第 8 項	FAA 分析	64
第 9 項	ATP 関連物質の分析	64
第 10 項	有機酸およびリン酸の分析	64
第 11 項	TAV および EUC 計算	64

第 12 項	統計分析	65
第 3 節	実験結果	65
第 1 項	ムール貝, アサリ, ハマグリ, およびカキの特徴	65
第 2 項	FAA	65
第 3 項	ATP 関連物質	66
第 4 項	有機酸	67
第 5 項	TAV	67
第 6 項	EUC	68
第 7 項	HCA	68
第 4 節	考察	69
第 5 節	小括	73
第 5 章	総括	82
	謝辞	86
	参考文献	87

第 1 章 緒論

日本に分布するムラサキイガイは，チレニアイガイとも呼ばれ，1932 年代に神戸港に棲息することが確認された（内橋，1939；安田，1967），その後国内全域の沿岸部や島嶼で生息が記録されている。東京湾内では海中構造物の付着生物として，潮間帯中部と下部で優占種とされている（Hosomi, 1978；古瀬と風呂田，1984）。本種の国内への侵入は，1934 年時点で広島県の瀬戸内海に生息していた記録があり（石田ら，2005），それ以前に国内に侵入していたと考えられる。その後，神戸港内，東京湾内での生息記録が残っている。日本に分布するムラサキイガイの仲間には，イガイが知られており，学名は *Mytillus coruscus* Gould である。したがって，ムラサキイガイとは別種だとされている。いずれの貝も北海道南部より九州まで分布しているが，ムラサキイガイが比較的穏やかな海域に分布しているのに対して，イガイは海の荒い岩礁に生育している。イガイには多くの地方名があり，カラスガイ（烏貝），セトガイ（瀬戸貝），などと呼ばれている。イガイは，貝塚の堆積物からも見出されており（函館市史，2002），古くから食用として利用されていたことがわかる。しかしながら，著者が知る限りにおいて，その後の食された記録はない。

ムラサキイガイの学名は，当初 *Mytilus edulis* Linnaeus が用いられてきたが，地中海から黒海に分布する *M. edulis galloprovincialis* L. と国内のムラサキイガイは区別できないため，*M. edulis* L. の学名を用いることに疑義があるとされた（鹿間，1964）。一方，二枚貝綱（渡部，1977）には国内に分布するムラサキイガイは，*M. edulis galloprovincialis* L. と記

されており，*M. edulis* L.と区別して同種の地中海型と明記されている。1980年代以降の多くの論文でも，「*edulis*」と「Linnaeus」を略した *M. galloprovincialis* として記載され（Kajihara and Oka, 1980），国内に分布するムラサキイガイの学名として使われている。したがって，本学位論文では，本文の中で用いたムラサキイガイを学名の *Mytilus galloprovincialis* で表し，一般名ではムール貝（mussel）を使うこととする。また，食用として扱われていない場合の記載は，ムラサキイガイとする。広島湾で漁獲されたムール貝を Fig. 1-1 に示した。蝶番の隙間から足糸を伸ばして岩礁や人工物に付着し，多数の集団で密集する。大型もので殻長 10 cm 以上となるが，5 cm 程度で食用として出荷される。殻の表面は黒褐色から黒青色で水滴型をしており，殻は比較的薄い。

外来種とされるムール貝は 1930 年代以降に国内に広く分布していたことが推測され，日本各地の沿岸部で比較的入手しやすい貝になっていたと思われる。しかしながら，日本各地の郷土料理を調べても，ムール貝を利用したものは見つからない。ムール貝は昭和に入って国内に入ってきたと考えられることから，比較的新しい食用貝であり郷土料理として定着していなかったと思われる。別種であるイガイを使った郷土料理にはイガイ飯が一つ確認できただけであり（農林水産省食文化ポータルサイト，2022），日本に古くから生息する食用貝ではあるが，アサリやカキのように多く食べられていなかった可能性がある。この理由について不明である。このように，国内ではムール貝やイガイを食べる習慣は少ない。一方，ヨーロッパ，オーストラリア，北アメリカでは多くの天然ムール貝が漁

獲されているだけでなく，養殖量も多く，食用としての需要が高い。ヨーロッパの市場では，生鮮貝として計算すると 600,000 トンよりわずかに少ない量と推定されている。主要生産国は，イタリア，フランス，スペイン，チリ，トルコ，ニュージーランドである（Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022）。

「フランスの料理法に見るカキとムール貝」（フランソワ・ドモンジョ，2000）にムール貝の養殖や料理に関する記述がみられる。地中海に面したフランスのムール貝はカキ養殖と同じ台座の下で養殖される。海上に浮かぶ延縄に繁ぎとめることによりムール貝が養殖されている。水温が高く，水が絶えずろ過され，豊富な栄養分が供給されるため，大西洋のムール貝よりも大きく成長する。ムール貝の身は加熱しても柔らかい食感で美味のだし汁が特徴であり，この特徴を活かして，多くの料理に使用される。ワイン蒸しを始め，マリネ，プラスカド，ムスマリ・リピエニ（詰め物料理），パエリア等の料理法がある。消費者が 6,000 万人と推測されるフランスの市場では，年平均でムール貝 10 万トンが取引されている。

国内流通のムール貝は，東京中央卸市場（2021）に入荷される生鮮貝類の中で，「い貝」と標記される中に含まれている。「い貝」には，「イガイ」，「ムラサキイガイ」などが含まれているが，特に分けて記載されていない。また，生産者の話では「い貝」のほとんどが「ムラサキイガイ」である。そこで，取引されている「い貝」をムール貝と読み替え，2010 年度から 2020 年度にかけてのムール貝の取引量（t），単価（kg）を Fig.1-2 に示す。市場に流通

しているムラサキイガイは年間を通して、433 トン（2015 年）をピークに減少しており、特に 2019 年度は 168 トン、2020 年度 177 トンに減少し、2015 年度取引量の約 59% に減少している。一方、生産量の多い 2014～2016 年度のデータを用いた月毎のムール貝の取引量を Fig. 1-3 に示す。1～5 月は比較的需要が低く 25～30 トンで推移するが、6 月から徐々に増え始めて、12 月に 40～45 トンと需要のピークを迎え、1 月に急激に減少する。この結果は、飲食業界における年末の繁忙期と一致しており、ムール貝の需要は飲食業界の動向に強く影響を受けていることがうかがえる。すなわち、生鮮ムール貝は、飲食業界に牽引された市場を形成していると考えられる。なお、広島からのムール貝出荷は、通常 10 月末で終了しており、12 月の需要期の生産地は特定不明である。ムール貝の市場価格は、アサリ、ハマグリ、カキ、ホタテ貝は 600 円/kg 以上で推移しているが、ムール貝は 500 円/kg 以下と低価格で推移している（Fig.1-4）。さらに、アサリ、ハマグリ、カキ、ホタテ貝は、生鮮貝類の取引量の 38.5% を占めているが、ムール貝はわずか 0.94% に過ぎず、飲食業界での扱い量も多くない（東京中央卸市場、2021）。このことは、市場でムール貝の取引量が少なく、一般家庭へのムール貝の普及は進んでいないことを表している。

欧米などでは、古くからイガイなどの貝類による食中毒は知られていた。日本でも 1961 年に岩手県の「アカザラ」による食中毒が発生し（飯岡ら、1964）、1970 年代以降にもマガキ、ムラサキイガイなどの二枚貝による食中毒が発生している。麻痺性貝毒は、*Alexandrium tamarense* などの有毒渦鞭毛藻が生産する強力な

神経毒であり，毒素がこれらの有毒渦鞭毛藻を餌として捕食する二枚貝に移行して蓄積されて毒化する。漁獲される貝類の毒力が 4 MU/g を超えると出荷規制や貝の採取規制が行われるため（食安発 0306 第 1 号，2015），貝類養殖業者を始め関連業界に大きな被害を及ぼしている。近年我が国では毒化する貝の種類も増加し，貝毒発生地域も全国的に拡大する傾向にある。広島湾及びその周辺海域では，1992 年 4 月に *A. tamarense* によって，マガキ，アサリなどの二枚貝が初めて毒化し，水産業に多大の被害を与えた。その後も毎年のように *A. tamarense* が出現し，二枚貝の毒化が続いてきた。一方，貝種によって毒素の蓄積能や排出能に大きな差異があることが知られており，カキでは毒化約 2 週間後に毒力が不検出になるが，ムラサキイガイでは約 1 か月間が必要であると報告されている（高田ら，2004）。したがって，ムラサキイガイはいったん毒化すると，その後毒素を保持する期間が長いので出荷を再開する場合は注意を要する。

日本の高度成長期に，家庭排水や工業廃水の増大によって瀬戸内海の海洋汚染が進み，その結果瀬戸内海の栄養富化によって多くの赤潮が発生した。また環境汚染物質による海洋汚染が問題とされ，ムラサキイガイを生物指標として海の汚染度合いをモニタリングすることが行われてきた（宮田，1999）。一方，ムラサキイガイとカキ養殖との関わりでは，カキ養殖において例年 6～8 月にかけてカキ稚貝の採苗が行われ，カキ養殖がスタートする。稚貝はいったん浅瀬で生育を調整し，餌環境の良い場所に移して，本格的な養殖がスタートする。これらの多くは翌年の冬期から春にかけて出荷時期を迎える。この期間に養殖カキにムラサキイガイの稚貝が付着す

ると、餌の競合が起こりカキの生育を阻害することになる。そのため、カキ筏を移動させながら、ムラサキイガイの付着防止を行っている。

一方、火力発電所では、海水を取り込んで発電装置を冷却しているがその取水口や海水を流し込むパイプ内でムラサキイガイが着生して増殖するため、年に数回取水口の掃除を行わなければならない。この際、廃棄されるムラサキイガイの活用が検討されている（菊池，2002）。このように、産業界にとってムラサキイガイは有害生物として扱われることが多く、生物指標としての有害物質のモニタリングに活用されるが、食用として出荷される量は上述の通り、非常に少ないのが現状である。

広島県のカキ養殖において、出荷は10月頃から翌年の5月にかけてである。この時期はカキ養殖業者にとって、一年のうちで最も忙しい時期であり、カキの出荷に伴ってこの時期に多くの収益を上げている。ところが、夏場は採苗や翌年のカキシーズンに向けた準備期間となっており、収益を上げることは少ない。一方、ムール貝は、夏が出荷の適期とされており、カキとは逆の関係にあることから、ムール貝を夏期に出荷することで夏期の収益が上げられる可能性がある。

これまでに述べたように日本においてムール貝は比較的食されることが少なく、水産物でありながら産業界では有害生物として扱っている。広島県においても、一部の業者だけが食材として扱っているだけである。このムール貝の需要を拡大していくためには、食材としての認識を変えていくことが必要であり、食材としてのムール貝の情報を提供することは重要なことである。

海水産の貝類は、淡水産の貝類に比べてエキス成分が多いことが知られており（鴻巣と品川，1998），海水産の貝類は，淡水産と比べて味が濃い。その理由は，貝類などの軟体動物は海水の浸透圧の影響を直接受けるため，呈味を有するエキス成分，特にアミノ酸が浸透圧調節物質として働き，環境の浸透圧（塩分濃度）に応じて変動するためである（Lange，1963）。さらに，坂口（2001）は，魚介類の低窒素成分とおいしさの関係について次のように述べている。魚介類のエキス成分には，含窒素低分子成分が多く含まれており，遊離アミノ酸（以下 FAA）やアデノシン三リン酸（以下 ATP）とその関連物質などおいしさに関係するものが多いとしている。また，ヌクレオチドは時間とともに分解が進み，ATP からアデノシン二リン酸（以下 ADP），アデノシン一リン酸（以下 AMP），イノシン酸（以下 IMP）へと変化し，最終的にはイノシン（HxR），ヒポキサンチン（Hx）へと分解する。しかしながら，無脊椎動物はアデノシンを経由して分解する場合があるため（山口と渡辺，1998），貝類の種類によって IMP や AMP の組成が異なり，IMP を生じない場合もある（Yokoyama et al.，1994）。また，AMP および IMP とグルタミン酸（以下 Glu）やアスパラギン酸（以下 Asp）のようなうま味アミノ酸との相乗効果がよく知られており，これが貝類のおいしさに大きく関わっていると同時に，流通中のこれらエキス成分の生成や分解が，貝類のおいしさに影響すると考えられる。さらに，甘味を呈するグリシン（以下 Gly）やアラニン（以下 Ala）も AMP や IMP との共存によって，うま味や甘さを強め（Fuke and Ueda，1996），本来苦味を呈するアルギニン（以下 Arg）もエキスの中に存在するときは，苦味を呈

さないが Arg を除くと総合的なおいしさの評価が低下することが報告されている（武ら，1967；渡辺ら，1990）。

一方，水産魚介類は，同一品種においても漁獲する季節や漁獲後の扱いによってエキス成分の量や種類が変化することが示されており（Watanabe et al., 1985），このことは本論文の主題であるムール貝の品質，特においしさの評価するためには，エキス成分を分析し，その挙動を追跡することが必須であることを意味する。したがって，本論文ではムール貝のエキス成分の分析結果から得られる多くの情報を通して，様々な角度からムール貝の品質を考察することとした。

1. 第2章では，ムール貝をおいしく食べられる季節，すなわち「旬」を明らかにすることを目的とした。一年間を通して FAA，ATP 関連物質，グリコーゲン，有機酸などのエキス成分を分析し，季節との関係を調べた。さらに，それらの Taste-Active Value（以下 TAV）および Equivalent Umami Concentration（以下 EUC）を計算した。これらの結果に基づきムール貝の「旬」について考察した。

2. 第3章では，活貝氷蔵中の品質変化を明らかにする目的で，氷蔵中のムール貝のエキス成分から各成分を測定し，それらの変化を追った。特に，ATP 関連物質の中でもうま味に関与する IMP と AMP およびうま味に関与するアミノ酸について氷蔵中の変化からおいしさの評価を行った。さらに，クラスター分析の手法を取り入れて視覚的な作図からムール貝の品質変化を明らかにした。

3. 第4章では，ムール貝の味の特徴を明らかにするため，アサリ，ハマグリ，カキに含まれるエキス成分とムール貝のエキス成分

を比較した。特に，FAA，ATP 関連物質および有機酸を比較することで，ムール貝の成分的な特徴を明らかにした。また，TAV，EUC およびクラスター分析の手法によって，ムール貝おいしさを比較検討した。

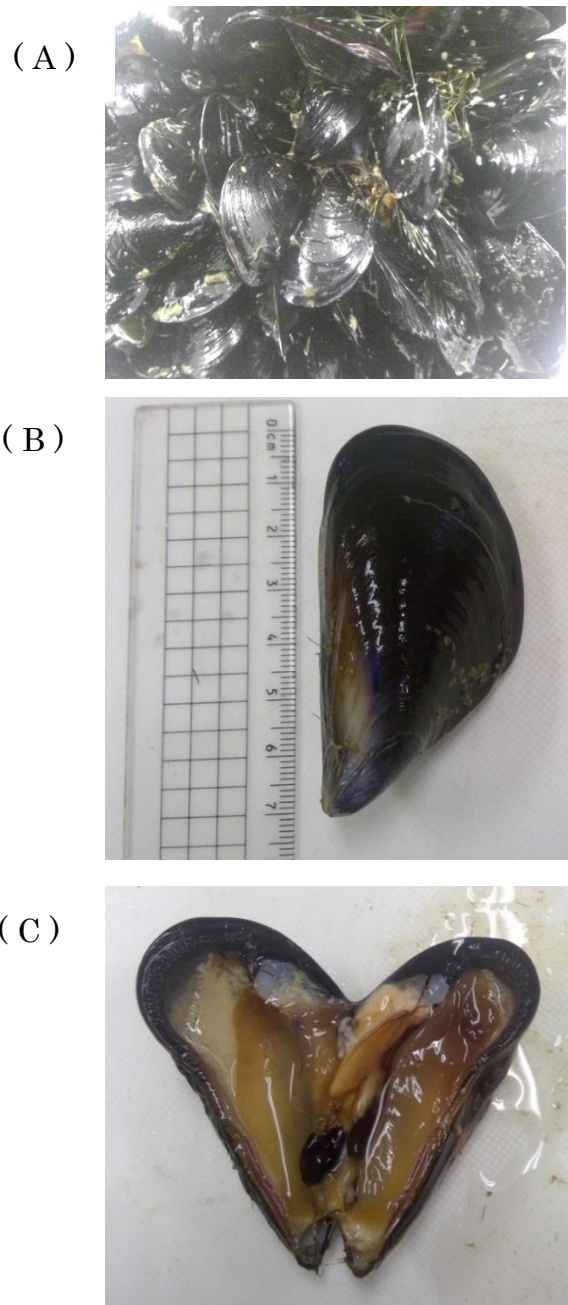


Fig. 1-1 Mussels used in this study.

- (A): A colony of mussels cultured in Hiroshima Bay (2019 in August)
(B): A figure of the mussel
(C): A content of shucked mussel

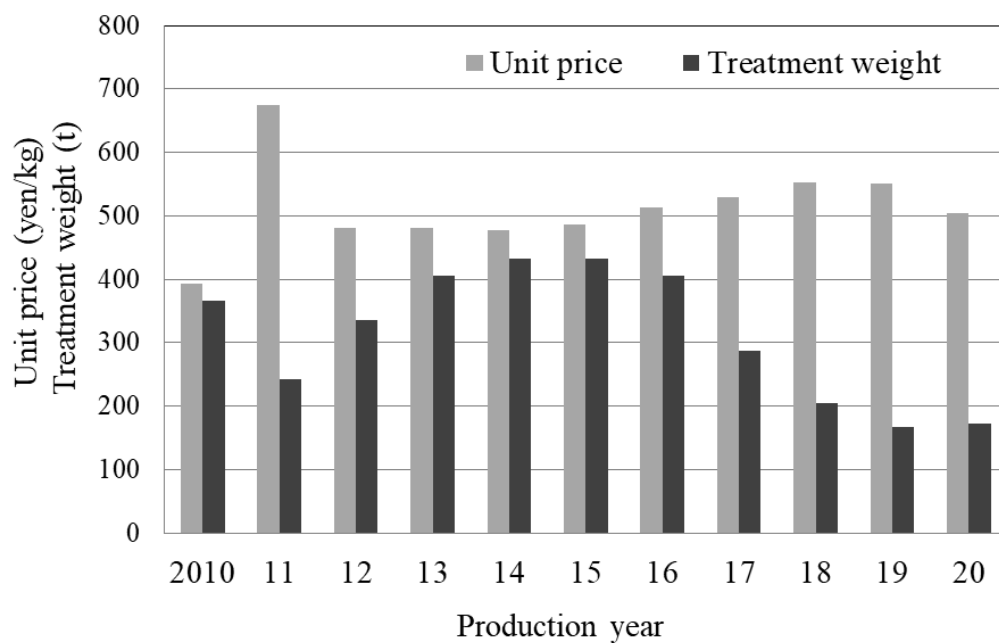


Fig. 1-2 The transition of treatment weight and unit price on mussels (Metropolitan central wholesale market, <https://www.shijou.metro.tokyo.lg.jp/torihiki/>).

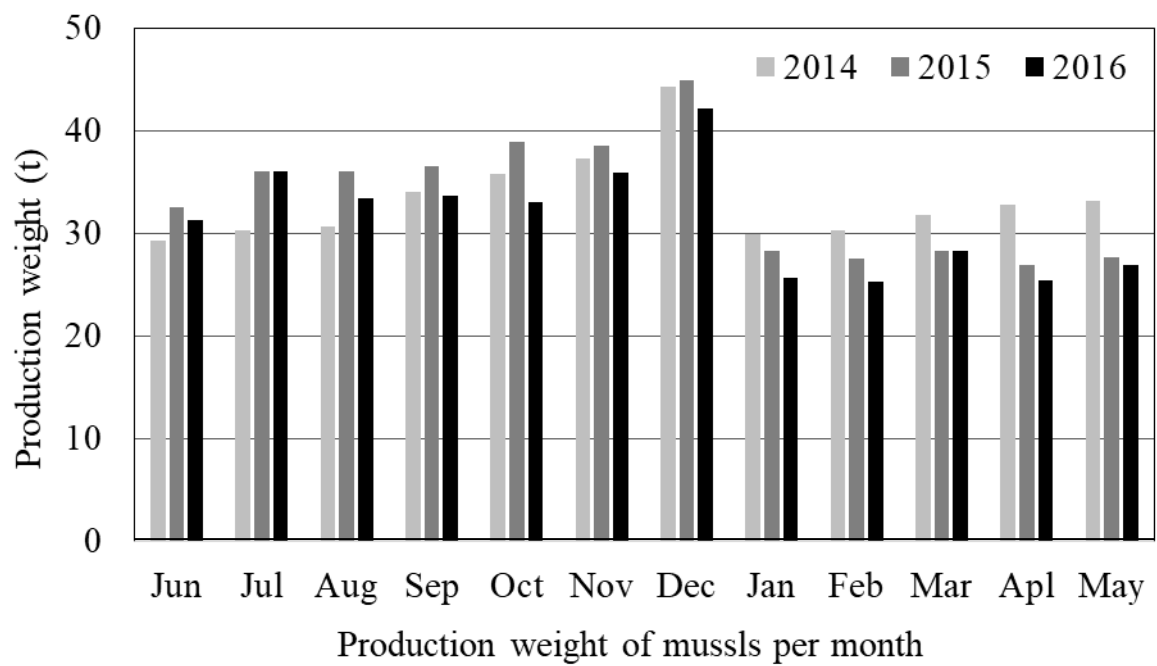


Fig. 1-3 The transition of treatment weight per month from 2014 to 2016 year (Metropolitan central wholesale market, <https://www.shijou.metro.tokyo.lg.jp/torihiki/>).

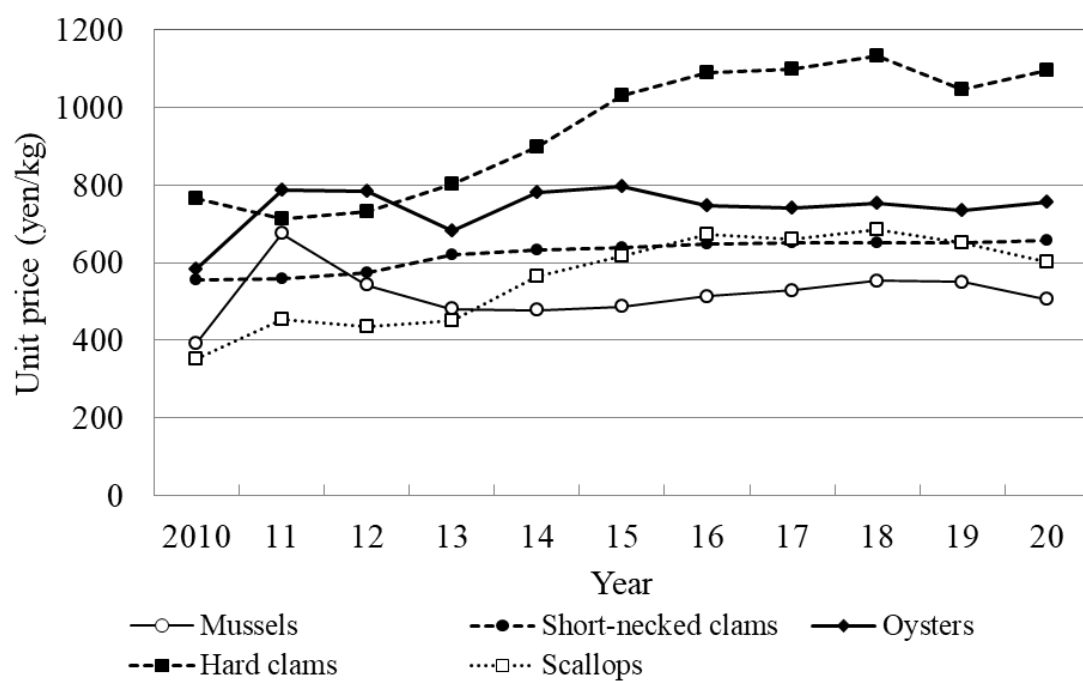


Fig. 1-4 Fluctuation of unit price on mussels and other shellfishes from 2010 to 2020 year (Metropolitan central wholesale market, <https://www.shijou.metro.tokyo.lg.jp/torihiki/>).

第2章 ムール貝のエキス成分の季節変動

第1節 緒言

広島県で養殖されるムール貝の「旬」は、ムール貝の出荷最盛期である6～9月とされている。この時期に養殖のみならず天然ムール貝の多くが出荷されている。一方、全国のムール貝の旬は、宮城県産で7～9月、愛知県産では3～9月とされている (<https://foodslink.jp/syokuzaihyakka/syun/fish/igai.htm>)。このように国内では春から初秋がムール貝の「旬」とされている。一方、ヨーロッパでは、ムール貝の「旬」は7～9月とされており (Natalya, 2018), フランスのモン・サン・ミッシェル産のムール貝では漁が解禁される7月から、漁が終了する12月まで出荷される。したがって、北半球では、日本と同じく夏場が出荷シーズンと考えられる。しかしながら、国内産のムール貝については、科学的なデータから「旬」を考察した報告はわずかである。澄川ら (1985) は、ムール貝の身入りを周年にわたり測定し、6～8月がムール貝の身入りが良くなる時期であるとしている。その理由は生殖活動の低下する5～9月に身入りが高く、放卵放精が開始される11, 12月に最低になるためとしている。さらに、白石ら (1986) は、初夏から夏にかけては海水温が上昇し、貝の餌も多く摂餌活動は活発であるが、生殖細胞の活動は不活発であるためにエネルギーの消費は少なく、これを糖質の形で蓄積し、結果として身入りがよくなっている。一方、秋には生殖活動が高まるとともに糖質を消費し、放精放卵が開始される11月, 12月に身入りが最低となる。これらの報告からムール貝の「旬」は初夏から夏と推

測されている。一方，ホタテ貝（木村，2002），カキ（Sakaguchi and Murata, 1989），アサリ（鴻巣ら，1965），アワビ（Watanabe et al., 1992）などの他の貝類では，季節的なエキス成分変化が明らかにされており，それぞれの貝の味について季節的な考察が可能である。しかしながら，ムール貝についてはおいしさやうま味に関わる成分の周年変化についての有効な情報が少ない。これまでに日本で報告されているムール貝の研究は，上述の白石ら（1986）の報告があり，身入りとグリコーゲン量からムール貝の旬を6～8月としている。一方，海外では Tiziana et al.（2015）は，ムール貝のタンパク質と脂質含量は7～10月により高くなることを報告している。また，Fuentes et al.（2009）は，スペインの異なる海域で養殖されたムール貝のアミノ酸含量はタウリン（以下 Tau）が最も多く，続いて Gly, Arg, Ala であることを報告している。しかしながら，味関与成分である Glu, Asp, Gly, Ala などのアミノ酸や ATP 関連物質であり，味関与成分でもある AMP と IMP の季節変動については，明らかにされていない。本章ではこれらのエキス成分の分析結果からムール貝の「旬」について考察した。

第2節 実験方法

第1項 試料の調製

実験に使用した活ムール貝は，2019年10月～2020年9月に広島湾の西部海域で養殖されたものである。このうち，2019年10月～2020年3月ものは2018年の4月に採苗されたもの，2020年4月～9月のムール貝は2019年4月頃に採苗されたものを筏養殖したも

のである。本実験で用いたムール貝は、収穫後、市販のムール貝の処理方法に従って前処理された。すなわち、塊となって生育したムール貝の房から個々のムール貝を切り出し、大・中・小に分け、ムール貝表面の汚れを洗浄機で洗い流した。紫外線殺菌海水を循環しながら約 20°C の蓄養槽で一夜保持し、水槽から取り出して氷蔵のまま実験室まで運んだ。活ムール貝 100 個の検体から無作為に 30 個を取り出し、3 グループに分けて、貝の重量、貝の長さを測定した。貝柱を切断して身を取り出した後、クッキングペーパーで余分な水分を取り除き身の重さを測定した。10 個分のむき身は、細かくカットし、均一な試料とした。ここまでの作業は、1 時間以内に終了した。また、これらの手順はできる限り氷上で行なった。これらの試料はただちに過塩素酸（以下 PCA）抽出用およびスルホサリチル酸（以下 SSA）抽出用に用いた。残りのサンプルは -80°C で冷凍した。

第 2 項 身入り

ムール貝の身入りの計算は、次の式で行った (Çelik et al., 2012)。

$$\text{身入り (\%)} = \text{身の重量} / \text{総重量} \times 100$$

むき身の重量 (g) : 切り出した身の重量

総重量 (g) : 殻付きのムール貝の重量

第 3 項 一般成分および pH の測定

水分および灰分は次のとおり測定した。解凍した試料約 5 g を蒸発皿に精秤し、105°C で 24 時間乾燥させた。乾燥した試料をデシケー

タで冷却後，測定し，水分量(%)を求めた。続いて，水分を測定した試料を直火で炭化後，500°Cで24時間灰化した。デシケータで冷却後，精秤し，灰分(%)を計算した。全窒素量は，セミ・マイクロ・ケールダール法で分析した(日本食品分析法，1992)。pHは，試料5~10gに蒸留水10 mLを加えて混合し，pH計で測定した。

第4項 グリコーゲンの測定

食品分析法(日本食品分析法，1992)を一部改変して分析を行った。すなわち，試料約5 gを精秤し，30%のKOH 10 mLを加えて湯せん中で可溶化した。次に，エタノール 25 mLを加えて生じたグリコーゲンの沈殿を遠心分離(1500×g，15分間)によって集めた。この沈殿に蒸留水 3.0 mLを加え，加温して溶解し，次に飽和塩化カリウム溶液を1滴とエタノールを4.5 mL加えた。生じた沈殿を遠心分離によって集め，同じ操作を繰り返した。次に，沈殿物からエタノールを除き粗グリコーゲンとした。次に，蒸留水 2.0 mLを加え，さらに1.0 MのH₂SO₄ 1.0 mLを加えて沸騰水中で2.5時間加水分解し，冷却後0.5 M NaOHで中和して50 mLに定量し，これをグリコーゲン加水分解液とした。グリコーゲン酸加水分解液 50 mLの適量を酵素法(グルコース C II テストワコー，富士フィルム和光純薬株式会社)によってグルコース量を定量した。求めたグルコース量を0.95倍した値をグリコーゲン量とした。

第5項 SSA抽出液の調製

細断した試料約5 gを精秤し，10%のSSA溶液 10 mLを加え，2分間均質化後，遠心分離(3,000×g，20分間)した。上清を採取し

た後、再び沈殿物に 5% の SSA 溶液 10 mL を加え 2 分間均質化後、遠心分離 (3,000×g, 20 分間) し、上清を採取した。最初の上清と合わせ、10 M および 1 M の NaOH で pH 4.0 に調整した後、蒸留水を加えて 50 mL に定容し、SAA 抽出液とした。

第 6 項 PCA 抽出液の調製

細断した試料約 5 g を精秤し、10% PCA 溶液 10 mL を加え、2 分間均質化した。処理液を遠心分離 (3,000×g, 20 分間) して、上清を採取した後、再び沈殿物に 5% の PCA 溶液 10 mL を加え 2 分間均質化した。遠心分離 (3,000×g, 20 分間) 後、最初の上清と合わせ、10 M および 1 M KOH で pH 6.5 に調整した。生成した沈殿を遠心分離 (3,000×g, 20 分間) によって除き、その上清を 50 mL に定容し、PCA 抽出液とした。

第 7 項 一般生菌数の測定

ムール貝から無菌的な方法でむき身を取り出し、むき身の重量に対して 10 倍量の滅菌生理食塩水 (0.85% NaCl) を無菌袋に入れて、ストマッカーで 3 分間混合した。この試料液を 10 倍段階希釈し、標準寒天培地 (日本水産株式会社) を用いて混釈培養した。低温性細菌の培養条件は 25°C, 7 日間培養した。

第 8 項 非タンパク態窒素 (以下 NPN) の測定

SAA 抽出液の窒素分を燃焼法 (Patterson, 1973) により窒素ガスとして定量した。すなわち、元素分析装置 (Max CN, Elementar Analysensysteme GmbH) を用いて窒素量を測定した。

第 9 項 遊離アミノ酸（以下 FAA）の分析

試料として SSA 抽出液を用いた。SSA 抽出液 90 μL に 2.5 mM ノルバリン液（内部標準物質）10 μL 加えて混合した。この混合液 20 μL にホウ酸緩衝液を 60 μL 加え，次に誘導体化試薬（AccQ-Tag Ultra Derivatization Kit, Waters）20 μL を混合後，55°C で 10 分間熱処理した。この処理液を AccQ-Tag Derivatization Kit のマニュアルに従って，UPLC アミノ酸分析ソリューション（日本ウォーターズ株式会社）を用いて分析した。アミノ酸混合標準液（type AN-II, B, and H, 富士フィルム和光純薬株式会社），グルタミン（以下 Gln）およびアスパラギン（以下 Asn）を標準物質として使用した。各標準試料の保持時間およびその内部標準との比を用いた検量線から，目的物質を同定・定量した。

第 10 項 ATP 関連物質の分析

PCA 抽出液を蒸留水で 10 倍に希釈し，0.20 μm メンブランフィルターでろ過して分析試料とした。高速液体クロマトグラフィーの条件は，クエン酸緩衝液 [クエン酸 20 mM，酢酸 20 mM・トリメチルアミン 40 mM (pH 4.6)] で平衡化したカラム [CAPCELLPAK C18 SG (4.5×150 mm)，大阪ソーダ株式会社] に，試料液を 10 μL 注入し，流速 1.0 mL/min，カラム温度 40°C で溶出し，260 nm の吸光度を測定した。ATP 関連物質は，ATP，ADP，AMP，IMP，HxR，Hx，アデニン（以後 Ad）およびアデノシン（以後 AdR）とした。各成分の保持時間および

その検量線から，目的物質を同定・定量した。

第 11 項 有機酸の分析

PCA 抽出液を 0.20 μm メンブランフィルターに通し，キャピラリー電気泳動装置（G1600 Series II，アジレント・テクノロジー株式会社）で分析した（Sog and Ross 1999）。分析は長さ 112.5 cm \times 径 50 μm のシリカキャピラリーを用いて行った。電解質溶液に 20 mM 2,6-pyridine dicarboxylic acid \cdot 0.5 mM acetyltrimethyl ammonium hydroxide を用い，pH を 1 M NaOH で 12.1 に調整した。試料溶液は 5.0 kPa，6 秒間注入した。負荷電圧は，-30 kV に，キャピラリーの温度は 15°C に維持した。対照波長 230 nm および測定波長 350 nm を記録した。

第 12 項 TAV および EUC の計算

TAV および EUC による評価法（Chiang et al., 2006; Chen and Zhang, 2007）を用い，ムール貝に含まれるエキス成分の味の評価を行った。TAV は，含まれる FAA，核酸関連物質およびコハク酸の濃度とそれらの成分の水溶液における閾値の比（式 2-1）として計算される。味に関与する成分の閾値は，Meyer et al.（2016）が示した値を引用した。

TAV =

味関与成分の濃度 (mg/100 g) / 味関与成分の閾値 (mg/100 g)
… (式 2-1)

計算された値は、味に対する単独成分の影響度を示している。すなわち、TAV が 1 よりも大きい値のとき「その食品の味に影響する」、1 よりも小さい値のとき「その食品の味に影響しない」として評価される。さらに TAV が 1 よりも大きくなればなるほど、食品の味への影響度は強くなる (Chen and Zhang, 2007)。

EUC は、アミノ酸の中でうま味を呈する成分 (Glu, Asp) と核酸系うま味を呈する成分 (IMP, グアニル酸および AMP) との相乗効果を等価のグルタミン酸ナトリウム (以下 MSG) 量として計算され、式 2-2 を用いて計算される (Yamaguchi et al., 1971; Chiang et al. 2005)。

$$Y = \sum a_i b_i + 1218 \left(\sum a_i b_i \right) \left(\sum a_j b_j \right) \dots \text{(式 2-2)}$$

ここで、Y は EUC (g MSG/100 g); a_i は Glu および Asp の濃度 (g/100 g); b_i は MSG に対する相対うま味濃度 (Glu 1.00, Asp 0.077); a_j は 5'-IMP および 5'-AMP の濃度 (g/100 g); b_j は 5'-IMP に対する相対うま味濃度で、5'-IMP は「1.00」および 5'-AMP は「0.18」; 「1218」は試料 100 g 当たりの相乗効果の定数である。

第 13 項 統計解析

すべての測定は三回繰り返し、その平均値と標準偏差で示された。平均値間の有意差検定は、Tukey 法を適用した。統計ソフトとしては SPSS 統計 23 (IBM Japan, Ltd.) を用い、有意水準は 5% 以下とした。

第 3 節 実験結果

第 1 項 身入り，一般成分，グリコーゲン，NPN，pH および生菌数

Table 2-1 にムール貝の身入り，一般成分，グリコーゲン，NPN，pH および微生物の周年変化を示す。10月の身入りは11月，12月，1月，4月および7月のそれらより有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。また，12月は，11月に対して有意差は認められなかったが，すべての月の中で最も低い身入りとなった。ムール貝の水分，粗タンパク質，灰分，NPN および pH は，季節的な変動は認められなかった。6～8月のグリコーゲン含量は，6月で最も高い値を示し，11～1月の値よりも有意に高い値となった ($P < 0.05$)。ムール貝に含まれる生菌数は，一年を通して $1.2 \sim 3.5 \log \text{CFU/g}$ の値となった。この値は，食品衛生法で示されている「50,000 (CFU/g) 以下」に適合する（農林水産省・食品別規格基準，2022）。

第 2 項 FAA

Table 2-2 にムール貝の FAA 含量の周年変化を示す。5月，6月および8月の全 FAA 量は，11月，12月，3月および4月よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。7月のタウリン（以下 Tau）量は，12～2月よりも有意に低い値であった ($P < 0.05$)。1～5月の Gly 含量は，4月を除いて7～11月と比べて有意に高かった ($P < 0.05$)。7～10月の Arg 含量は，12～5月の値と比べて有意に増加した ($P < 0.05$)。Ala 含量は12月，1月，3月よ

りも 5 月と 6 月で有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。5~10 月のセリン (以下 Ser) 含量は, 12~4 月の値よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。さらに, Glu および Asp を除いた上記以外のアミノ酸のほとんどが有意に夏期に増加し, 冬期に減少した ($P < 0.05$)。Glu と Asp 含量は, それぞれ 5 月と 8 月を除いて一年を通して変動しなかった。

第 3 項 ATP 関連物質

Table 2-3 にムール貝に含まれる ATP 関連物質の周年変化を示す。AMP, ADP, IMP, ATP および HxR は, 主要な ATP 関連物質であった。これらの成分の合計は 5 月で 84.2%, 8 月で 98.6% を占めていた。6~10 月のそれぞれの月の ATP 関連物質の総量は 11~4 月に比べて有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。AMP 含量は, 11~6 月よりも 7~10 月で有意に高い値であった ($P < 0.05$)。IMP 含量もまた 12 月, 1 月, 3 月, 4 月よりも 10 月が有意に高い結果となった ($P < 0.05$)。

第 4 項 有機酸

Table 2-4 にムール貝に含まれる有機酸の周年変化を示す。コハク酸の含量は, 一年を通して 24.3~49.2 mg/100 g の範囲にあった。5 月と 12 月のコハク酸含量は, 4 月を除いてその他の月と比べて有意に高くなった ($P < 0.05$)。リンゴ酸含量は 7.0~14.1 mg/100 g の範囲にあり, 酢酸含量は, 4.9~11.6 mg/100 g の範囲にあり, 両者ともコハク酸含量に比べて少なかった。さらに, リンゴ酸含量は, 7 月が最も高くなった ($P < 0.05$)。酢酸含量は, 5 月が最も高くなった ($P < 0.05$)。コハク

酸，リンゴ酸および酢酸含量は，いくらかの月で増減が見られたが，それらは一年を通して季節的な変動を示さなかった。

第 5 項 TAV および EUC

Table 2-5 に一年を通したムール貝のエキス成分から評価された TAV および EUC を示す。Glu は，一年を通して 3 以上の値となった。特に，5 月は 6 を超えた。Gly は 12～8 月にかけて 1 以上となった。Ala は 5 月，6 月および 8 月で 1 以上，Asp は 8 月だけで 1 以上を示した。IMP の TAV は 7～10 月に 1 以上となり，AMP の TAV は，8 月，9 月において 1 以上となった。コハク酸は，一年を通して 2 以上の TAV となった。特に，12 月と 5 月においては 4 よりも高い値を示した。

TAV は個々の味成分を評価する上では有効な評価方法であるが，食品成分の相互作用，特に相乗効果やマスキング効果については，考慮されない (Sato et al., 2015)。そこで，一年を通したムール貝のうま味の強さを評価するため，EUC を適用した。結果を Table 2-5 に示す。EUC は，11～4 月にかけて 1.03～1.51 g MSG/100 g の範囲にあったが，5～10 月にかけて 2.0 g MSG/100 g を超えた。特に，7～10 月では 3.0 g MSG/100 g を超えた。

第 4 節 考察

水分，粗タンパク質，灰分，NPN の季節変化は，一年を通して認められなかった (Table 2-1)。白石ら (1986) は，ムール貝の水分，タンパク質，灰分の季節変動は少ないことを報告している。

一方、身入りでは、11月に急激な減少（23.8%）後、2月に急激な増加（32.2%）に転じ、いくらかの月で例外は認められるが春先から秋にかけて32.2~39.7%の値を維持した（Table 2-1）。Tiziana et al.（2015）の報告によると、ムール貝の身入りは、北アドリア海において1月に最低値、5月に最大値になることが示されている。同じく、身入りは12月で最低、9月で最高となることが示されている（Orban, 2002）。本研究に用いたムール貝が養殖されている広島湾西部海域は、春先にはムール貝のエサのプランクトンが豊富になると予想される。事実、本研究で用いたムール貝を採取した時期においてこの海域では、5.34 $\mu\text{g chlorophyll/L}$ （2018年1月）、8.15 $\mu\text{g chlorophyll/L}$ （2018年3月）と高いクロロフィル濃度を示した（Table 2-6）（広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター, 2020）。このことは、実験に用いたムール貝は1月と3月に十分なプランクトンが供給されたことを示している。さらに、Fuentes et al.（2009）は、ムール貝の身入りは、生殖サイクルとプランクトンの発生（Spring bloom）に影響を受けることを報告している。ムール貝の性成熟時期は、10月後半と春先の間にかかる（杉浦, 1959）、そして10月から翌年の6月にかけてムール貝のプランクトン幼生が発生する（Kajihara and Oka, 1980）。一方、ムール貝 *Mytilus edulis* の成長は、海水温度に影響されない（Page and Hubbard, 1987）。これらの研究を考慮すると、11月にムール貝の身入りが急激に低下し、2月に増加することは、それぞれ性成熟とエサに影響されていると考えられる（Table 2-1）。一方、本研究においてグリコーゲンの季節変動は、身入りと同じ傾向を示

した (Table 2-1)。対してカキにおいては，グリコーゲンが 7 月と 8 月の産卵期に最小を示し，続いて 9 月と 10 月に急激に回復する (米田ら，2012)。養殖ホタテ貝のグリコーゲンは，春のブルーミングとともに増加することが報告されている (木村ら，2002)。

ムール貝の全 FAA 量は，月によって変動し，特に 5 月，6 月および 8 月の値は，比較的高い値を示した (Table 2-2)。ムール貝の産卵シーズンは 6 月に終了することが報告されており (楠木ら，1968; Kajihara and Oka, 1980)，本報告の 5 月，6 月および 8 月の FAA 量が増えることは，産卵の終了とおおむね一致する。一方，カキにおいては，晩春から夏期にかけてほとんどの FAA 量は著しく低下するのは，カキの性成熟とそれに続く産卵が密接に関係することが述べられている (Sakaguchi and Murata, 1989; 米田ら，2012)。

Tau および Gly 含量は，7 月に最も低く，冬期には高くなった (Table 2-2)。反対に，Glu および Asp を除いて，その他の FAA のほとんどは，冬期に減少し，夏期に増加した (Table 2-2)。ムール貝の Tau および Gly は，浸透圧調整として働いているため (Lange, 1963)，Tau と Gly の増加は，冬期に減少する多くのアミノ酸とバランスをとっている可能性がある。ホタテ貝の Tau は，3 月に最大値を示し，その後夏期に向かって減少する (木村ら，2002)。このことは，本報告の Tau の季節変動と類似であった。カキの Tau 含量は，6 月に最大，9 月に最小となる (Sakaguchi and Murata, 1989; 米田ら，2012)。一方，ホタテ貝 (木村ら，2002) およびアワビ (Watanabe et al.,

1992) の Gly 含量は冬から春で最小値を示し，夏に向かって増加している。カキの FAA の多くは，2 月または 3 月に最大値を，8 月に最小値を示す (Sakaguchi and Murata, 1989)。アワビでは，Gln, Arg, Gly, Glu, Ala および Ser が 9 月に最も多く検出される。(Watanabe et al, 1992)。これらの結果は，本研究で示した FAA の挙動と一致する (Table 2-2)。

ATP 関連物質の総量については，6～10 月の量は 11～4 月の量よりも有意に増加し，特に 8 月は最も高い値となった (Table 2-3)。一方，カキの ATP 関連物質の総量は，9 月で最低値となり，11 月に最高値になる (米田ら，2012)。この結果は，本研究と異なっていた。ホタテ貝では，ATP と ADP の量は 3 月に最低となり，その後夏期に向かって増加する。特に 7 月で最大値に達し (木村ら，2002)，本研究の結果と類似していた。Yokoyama et al. (1992) は，カキの主要な ATP 関連物質は ATP であったことを報告している。一方，市販されているむき身カキでは ADP および AMP に比べて ATP の濃度は低いことが示されている (谷本ら，2004)。ムール貝はカキとは異なるが，この実験に用いたムール貝は ATP の含量が少ない結果であった (Table 2-3)。第 1 項の「試料の調製」で述べたように，試験に用いる前のムール貝処理工程が，ATP の減少に影響している可能性がある。

コハク酸，リンゴ酸および酢酸の季節変動は，一部の月で有意な増減が認められたが，一年を通して観察されなかった (Table 2-4)。加えて，3 種の有機酸のうち，コハク酸は一年を通して最も多く含まれる。アワビでは，コハク酸，リンゴ酸および酢酸の合計量は，9 月が最も高くなっていた (Watanabe et al., 1992)。

コハク酸の閾値 10.5 mg/100 mL (Meyer et al., 2016) を考慮すると、本研究のコハク酸の値 (12.2~24.6 mg/100 g) は一年を通して、ムール貝の味に影響していると考えられる。

ムール貝に含まれる Glu の TAV は、一年を通して 3.40~6.43 の値を示した。また、Gly, Asp および Ala の TAV についてもいくらかの月で 1 を超えた (Table 2-5)。TAV の値が 1 を超えるとその食品の味に寄与し、その値が大きくなるほどその寄与が強くなる (Chen and Zhang, 2007)。また、Glu および Asp はおいしさを呈することが知られており、ムール貝に含まれる Glu は、おいしさに強く寄与している。さらに、8 月において Asp は、Glu と同様においしさに寄与している。Gly および Ala は甘さを呈することから (Shallenberger, 1993)、12~8 月の Gly および 5 月、6 月および 8 月の Ala の増加は、ムール貝の甘さに寄与している。一方、Arg および Ser の TAV は一年を通して 1 以下であったことから (Table 2-5)、ムール貝の味に対して単独では働いていないと考えられる。

AMP と IMP の TAV は、7~10 月で 1 以上となった (Table 2-5)。両成分はうま味を呈することが知られており (Shallenberger, 1993)、夏から初秋においてムール貝のうま味を強めている。また、IMP がわずかな量含まれるとき、AMP と共存するとうま味を強めることが報告されている (Fuke and Ueda, 1996)。それゆえ、AMP および IMP の TAV が 11 月から翌年の 6 月にかけて 1 以下であっても、両成分はムール貝のおいしさに寄与していると考えられる。コハク酸の TAV は一年を通して 2 より大きくなった (Table 2-5)。トラフグの味を完全に再

現したものから，コハク酸を除くとうま味が有意に低下する（Ninglong et al., 2019）。トラフグは貝類とは異なる種ではあるが，コハク酸は他の呈味物質とともに，一年を通してムール貝のおいしさに寄与しているであろう。

7～10月のEUC（3～5 g MSG/100 g）は11～4月（1～2 g MSG/100 g）のそれらよりも著しく高い値を示す（Table 2-5）。このことは，7～10月のムール貝は11～4月のムール貝よりMSG相当量として1.5～5倍多く含まれることを示すことから，7～10月のムール貝はうま味が強いと考えられる。一方，EUCの計算はGluやAsp以外のアミノ酸やコハク酸の味への影響を考慮していない。コハク酸（Ninglong et al., 2019），GlyおよびAla（山口と渡辺，1988；Shallenberger，1993）は，水産食品の味に対しておいしさに寄与していることが報告されている。それ故，コハク酸とグリシンは，一年を通してTAVが1以上であることから，これまでに述べたようにムール貝の甘さを強めていると推定される。

第5節 小活

ムール貝をおいしく食べられる季節，すなわち「旬」を明らかにすることを目的に，一年間を通してFAA，ATP関連物質，グリコーゲン，有機酸などのエキス成分を分析し，TAVおよびEUCによって呈味を評価した。ムール貝の身入りとグリコーゲン含量はそれぞれ8～10月および5～10月に比較的高い値を示した。TauとGlyは冬期に増加し，HisとArgなど多くのFAAは夏季に増加したが，GluとAspの季節変動は見られなかった。AMPと

IMP は夏期に増加し，コハク酸の周年変動はなかった。TAV は，Glu は一年を通して 4～6 の高い値を示し，Gly は冬期に 1 以上，Ala および Asp は夏期 1 以上となった。また，うまみヌクレオチド（IMP および AMP）は，7～10 月に 1 以上となった。EUC は，冬期から初春によりも夏から初秋にかけて高い値を示した。これらの結果は，ムール貝を食する最良の季節が夏期から初秋（8 月から 10 月）にあることを示しており，しかも経験的に知られているムール貝の「旬」と一致していた。

Table 2-1 Seasonal variations in meat yield, proximate composition, glycogen, non-protein nitrogen (NPN), ash, pH, and microbe of mussels

	2018			2019	
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
Meat yield (%)	39.7 ±3.8 ^e	23.8 ±1.6 ^{ab}	18.8 ±1.1 ^a	28.6 ±2.12 ^{bc}	32.2 ±0.7 ^{cde}
Moisture (g/100 g)	75.1 ± 1.6 ^a	79.6 ±0.5 ^a	78.4 ±1.1 ^a	76.7 ±2.6 ^a	78 ±1.4 ^a
Protein (g/100 g)	11.7 ±1.1 ^a	11.4 ±2.4 ^a	11.4 ±1.1 ^a	12.6 ±2.1 ^a	11.4 ±0.6 ^a
Ash (g/100 g)	3.12 ±0.27 ^a	3.87 ±0.94 ^a	3.43 ±0.22 ^a	4.34 ±2.8 ^a	3.38 ±0.76 ^a
Glycogen (mg/100 g)	151.3 ±23.8 ^{abcde}	74.4 ±4.2 ^{ab}	79.9 ±17.6 ^{abc}	58.0 ±2.11 ^a	141.1 ±16.9 ^{abcd}
NPN (g/100 g)	0.51 ±0.05 ^a	0.44 ±0.01 ^a	0.44 ±0.02 ^a	0.54 ±2.9 ^a	0.53 ±0.02 ^a
pH	5.87 ±0.05 ^{bcd}	5.88 ±0.08 ^{bcd}	5.87 ±0.03 ^{bcd}	5.67 ±2.7 ^a	5.75 ±0.02 ^{ab}
Microbe [log (cfu/g)]	2.61 ±0.38 ^c	2.04 ±0.45 ^{abc}	1.60 ±0.20 ^{ab}	2.86 ±2.13 ^{cd}	3.17 ±0.45 ^{cd}

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$).

Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 2-1 Continued

2019						
Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
33.4 ±0.6 ^{cde}	27.8 ±2.6 ^{bc}	34.9 ±0.9 ^{cde}	31.1 ±0.4 ^{cde}	29.6 ±3.6 ^{bc}	38.6 ±5.7 ^{de}	34.0 ±2.5 ^{cde}
78.8 ±0.9 ^a	84.1 ±0.7 ^b	78.3 ±0.6 ^a	77.8 ±2.7 ^a	79.4 ±1.3 ^a	74.7 ±0.3 ^a	78.0 ±1.6 ^a
10.6 ±1.0 ^a	9.8 ±0.6 ^a	9.1 ±0.6 ^a	12.1 ±2.1 ^a	10.1 ±0.4 ^a	10.9 ±2.0 ^a	10.6 ±2.4 ^a
2.38 ±0.67 ^a	2.93 ±0.41 ^a	3.48 ±0.15 ^a	3.02 ±0.98 ^a	2.54 ±0.39 ^a	3.53 ±0.18 ^a	4.00 ±0.15 ^a
164.4 ±38.4 ^{bcde}	112.6 ±31.1 ^{abcd}	177.5 ±58.2 ^{cde}	247.7 ±69.6 ^e	182.6 ±41.8 ^{de}	185.5 ±19.7 ^{de}	149.9 ±12.7 ^{abcde}
0.47 ±0.03 ^a	0.44 ±0.01 ^a	0.56 ±0.07 ^a	0.49 ±0.07 ^a	0.50 ±0.06 ^a	0.49 ±0.00 ^a	0.44 ±0.02 ^a
5.76 ±0.04 ^{ab}	5.83 ±0.07 ^{abc}	5.99 ±0.05 ^{cd}	6.01 ±0.07 ^a	6.19 ±0.03 ^c	6.01 ±0.07 ^d	6.03 ±0.06 ^{de}
2.38 ±0.26 ^{bc}	1.23 ±0.10 ^{abc}	3.51 ±0.39 ^d	2.38 ±0.67 ^{bc}	2.45 ±0.07 ^c	2.51 ±0.29 ^{cd}	1.39 ±0.61 ^a

Table 2-2 Seasonal variations of the ammonia and free amino acids (FAAs) in mussels (mg/100 g wet meat)

	2018			2019	
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
Ammonia	5 ±1 ^e	3 ±1 ^{bcd}	3 ±1 ^{abcd}	1 ±0 ^a	3 ±0 ^{bcd}
Histidine	22 ±6 ^{abcde}	16 ±5 ^{abcd}	9 ±2 ^{ab}	8 ±2 ^a	14 ±4 ^{abc}
Asparagine	24 ±5 ^{bcd}	12 ±3 ^{abc}	6 ±1 ^a	7 ±1 ^{ab}	13 ±8 ^{abc}
Taurine	518 ±89 ^{ab}	547 ±64 ^{ab}	688 ±81 ^{bc}	779 ±73 ^c	801 ±16 ^c
Serine	103 ±18 ^{bcd}	75 ±9 ^{abc}	59 ±8 ^a	42 ±4 ^a	61 ±8 ^{ab}
Glutamine	56 ±10 ^{bcd}	30 ±6 ^{ab}	13 ±3 ^a	15 ±3 ^a	40 ±1 ^{abc}
Arginine	126 ±22 ^d	76 ±23 ^{abc}	43 ±4 ^a	48 ±1 ^a	52 ±15 ^a
Glycine	138 ±29 ^{ab}	125 ±23 ^a	209 ±40 ^{abc}	266 ±36 ^c	270 ±26 ^c
Aspartic acid	41 ±6 ^a	39 ±6 ^a	39 ±6 ^a	40 ±2 ^a	45 ±5 ^a
Glutamic acid	73 ±10 ^{ab}	57 ±4 ^a	58 ±6 ^a	66 ±5 ^a	72 ±3 ^{ab}
β-Alanine	5 ±0 ^a	6 ±0 ^a	6 ±1 ^b	6 ±1 ^{ab}	8 ±1 ^{ab}
Threonine	26 ±5 ^{bc}	12 ±3 ^a	7 ±1 ^a	6 ±1 ^a	14 ±0 ^a
Alanine	104 ±16 ^{abcd}	69 ±7 ^{ab}	55 ±3 ^a	61 ±1 ^{ab}	102 ±6 ^{abcd}
Proline	45 ±9 ^{cdef}	18 ±4 ^{ab}	13 ±2 ^a	28 ±3 ^a	58 ±19 ^{ef}
Ornithine	7 ±1 ^{bcd}	4 ±1 ^{abc}	4 ±1 ^{abc}	2 ±0 ^a	3 ±0 ^{ab}
Cysteine	0 ±0 ^a	1 ±0 ^{abc}	1 ±0 ^{abc}	1 ±0 ^{ab}	1 ±0 ^{ab}
Lysine	34 ±6 ^{cd}	24 ±7 ^d	7 ±1 ^a	4 ±0 ^a	13 ±6 ^{ab}
Tyrosine	32 ±6 ^{bc}	15 ±7 ^a	9 ±0 ^a	8 ±2 ^a	16 ±3 ^a
Methionine	8 ±2 ^{ab}	4 ±2 ^a	3 ±0 ^a	2 ±0 ^a	5 ±1 ^a
Valine	11 ±2 ^{bc}	5 ±1 ^a	4 ±0 ^a	5 ±1 ^a	9 ±1 ^{abc}
Isoleucine	9 ±2 ^{bc}	4 ±1 ^a	3 ±0 ^a	3 ±1 ^a	7 ±1 ^{ab}
Leucine	11 ±2 ^{abc}	7 ±1 ^{ab}	5 ±0 ^a	5 ±1 ^a	11 ±1 ^{abc}
Phenylalanine	9 ±2 ^{bc}	6 ±1 ^{abc}	3 ±0 ^a	3 ±0 ^{ab}	8 ±2 ^{abc}
Total amount of FAAs	1402 ±239 ^{ab}	1153 ±81 ^a	### ±126 ^a	1407 ±80 ^{ab}	1620 ±19 ^{abc}

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$).

Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 2-2 Continued

2019						
Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
2 ±0 ^{ab}	2 ±0 ^a	3 ±0 ^{cd}	3 ±0 ^d	2 ±0 ^{abc}	2 ±0 ^a	3 ±0 ^{bcd}
11 ±1 ^{ab}	14 ±2 ^{abc}	26 ±2 ^{cde}	35 ±12 ^{ef}	29 ±1 ^{de}	46 ±6 ^f	23 ±4 ^{bcd}
9 ±1 ^{ab}	11 ±1 ^{abc}	25 ±3 ^{bcd}	31 ±5 ^d	30 ±5 ^d	65 ±13 ^e	28 ±9 ^{cd}
604 ±37 ^{abc}	546 ±44 ^{ab}	621 ±95 ^{abc}	617 ±59 ^{abc}	442 ±39 ^a	645 ±94 ^{abc}	594 ±102 ^{abc}
51 ±5 ^a	60 ±3 ^a	145 ±25 ^{de}	145 ±20 ^{de}	110 ±13 ^{cde}	146 ±17 ^e	122 ±22 ^{de}
19 ±2 ^a	29 ±5 ^{ab}	62 ±6 ^{bcd}	81 ±15 ^d	69 ±10 ^{cd}	127 ±29 ^e	57 ±14 ^{bcd}
31 ±3 ^a	29 ±3 ^a	62 ±22 ^{ab}	111 ±29 ^{bcd}	117 ±16 ^{cd}	185 ±21 ^e	136 ±12 ^{de}
267 ±22 ^c	227 ±16 ^{bc}	281 ±46 ^c	234 ±55 ^{bc}	117 ±57 ^a	198 ±34 ^{abc}	134 ±18 ^{ab}
39 ±4 ^a	39 ±3 ^a	39 ±3 ^a	42 ±6 ^a	44 ±9 ^a	68 ±8 ^b	51 ±12 ^{ab}
62 ±6 ^a	69 ±6 ^{ab}	104 ±13 ^b	86 ±35 ^{ab}	55 ±6 ^a	80 ±6 ^{ab}	59 ±12 ^a
6 ±0 ^a	6 ±1	8 ±1 ^{ab}	8 ±2 ^{ab}	5 ±2 ^{ab}	10 ±3 ^b	7 ±2 ^{ab}
13 ±1 ^a	17 ±3 ^b	33 ±2 ^c	33 ±2 ^c	29 ±4 ^c	49 ±5 ^d	34 ±7 ^c
61 ±3 ^{ab}	74 ±8 ^{abc}	164 ±35 ^d	138 ±58 ^{cd}	82 ±13 ^{abc}	120 ±8 ^{bcd}	84 ±10 ^{abc}
22 ±3 ^{ab}	25 ±3 ^{abc}	50 ±5 ^{def}	37 ±10 ^{bcd}	29 ±2 ^{abc}	62 ±3 ^f	33 ±2 ^{abcd}
4 ±1 ^{abc}	4 ±0 ^{ab}	6 ±1 ^{abcd}	7 ±2 ^{bcd}	10 ±4 ^d	13 ±2 ^e	9 ±2 ^{cd}
1 ±0 ^{ab}	0 ±0 ^a	1 ±0 ^{bc}	1 ±0 ^{abc}	0 ±0 ^a	0 ±0 ^c	0 ±0 ^{ab}
7 ±0 ^a	11 ±1 ^{ab}	30 ±5 ^{cd}	39 ±6 ^{cd}	44 ±11 ^d	70 ±6 ^e	39 ±3 ^{cd}
12 ±2 ^a	21 ±3 ^{ab}	53 ±10 ^{de}	60 ±8 ^f	43 ±3 ^{cde}	59 ±9 ^{ef}	35 ±6 ^{bcd}
3 ±1 ^a	5 ±0 ^a	26 ±5 ^e	24 ±3 ^{de}	14 ±3 ^{bc}	18 ±3 ^{cd}	6 ±1 ^a
6 ±0 ^{ab}	8 ±1 ^{abc}	20 ±4 ^e	20 ±3 ^e	13 ±2 ^{cd}	18 ±1 ^{de}	9 ±2 ^{abc}
4 ±0 ^a	6 ±1 ^{ab}	16 ±3 ^d	15 ±3 ^d	10 ±1 ^{bc}	13 ±1 ^{cd}	7 ±1 ^{ab}
7 ±0 ^{ab}	10 ±1 ^{abc}	25 ±5 ^e	23 ±6 ^{de}	14 ±2 ^{bc}	16 ±2 ^{cd}	9 ±2 ^{abc}
4 ±0 ^{ab}	6 ±1 ^{abc}	18 ±4 ^e	17 ±2 ^e	11 ±1 ^{cd}	14 ±2 ^{de}	8 ±1 ^{abc}
1243 ±55 ^a	1216 ±101 ^a	1817 ±281 ^{bc}	1803 ±186 ^{bc}	1318 ±85 ^a	2025 ±187 ^c	1488 ±219 ^{ab}

Table 2-3 Seasonal variations of ATP-related compounds in mussels ($\mu\text{mol/g}$ wet meat)

	2018			2019	
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
ATP	0.40 \pm 0.12 ^{abc}	0.18 \pm 0.08 ^{ab}	0.12 \pm 0.03 ^a	0.24 \pm 0.03 ^{ab}	0.21 \pm 0.02 ^{ab}
ADP	1.48 \pm 0.35 ^{ab}	0.46 \pm 0.10 ^{ab}	0.24 \pm 0.05 ^a	0.36 \pm 0.06 ^a	0.27 \pm 0.03 ^a
AMP	1.59 \pm 0.24 ^{bc}	0.66 \pm 0.06 ^a	0.33 \pm 0.07 ^a	0.48 \pm 0.09 ^a	0.32 \pm 0.05 ^a
IMP	1.06 \pm 0.20 ^c	0.45 \pm 0.13 ^{abc}	0.32 \pm 0.03 ^{ab}	0.24 \pm 0.04 ^a	0.47 \pm 0.06 ^{abc}
AdR	0.04 \pm 0.01 ^{ab}	0.04 \pm 0.02 ^{ab}	0.02 \pm 0.00 ^a	0.02 \pm 0.01 ^{ab}	0.01 \pm 0.01 ^a
HxR	0.47 \pm 0.10 ^{bc}	0.36 \pm 0.09 ^{abc}	0.40 \pm 0.06 ^{abc}	0.18 \pm 0.04 ^a	0.33 \pm 0.07 ^{ab}
Ad	0.26 \pm 0.09 ^{bcd}	0.09 \pm 0.03 ^{ab}	0.09 \pm 0.03 ^{ab}	0.21 \pm 0.06 ^{abcd}	0.19 \pm 0.01 ^{abcd}
Hx	0.79 \pm 0.21 ^c	0.27 \pm 0.07 ^{ab}	0.19 \pm 0.04 ^a	0.20 \pm 0.03 ^{ab}	0.20 \pm 0.03 ^{ab}
Total	6.10 \pm 0.88 ^e	2.51 \pm 0.37 ^{ab}	1.70 \pm 0.13 ^a	1.93 \pm 0.19 ^a	1.99 \pm 0.15 ^a

Hx, hypoxanthine; IMP, inosine mono-phosphate; Ad, adenine; HxR, Inosine; AMP, adenosine mono-phosphate; ADP, adenosine di-phosphate; ATP, adenosine tri-phosphate; AdR, adenosine

The values are expressed as mean \pm SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 2-3 Continued

2019						
Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
0.13 \pm 0.03 ^a	0.17 \pm 0.03 ^{ab}	0.31 \pm 0.01 ^{ab}	0.56 \pm 0.03 ^{bcd}	0.87 \pm 0.10 ^d	0.72 \pm 0.14 ^{cd}	0.52 \pm 0.41 ^{abcd}
0.33 \pm 0.05 ^a	0.30 \pm 0.05 ^a	0.37 \pm 0.04 ^a	0.86 \pm 0.13 ^{ab}	1.61 \pm 0.03 ^{bc}	3.14 \pm 0.77 ^c	1.99 \pm 1.16 ^{bc}
0.47 \pm 0.04 ^a	0.51 \pm 0.12 ^a	0.40 \pm 0.15 ^a	0.84 \pm 0.33 ^{ab}	1.84 \pm 0.49 ^{cd}	2.75 \pm 0.26 ^d	3.42 \pm 0.79 ^e
0.29 \pm 0.08 ^{ab}	0.32 \pm 0.04 ^{ab}	0.44 \pm 0.11 ^{abc}	0.55 \pm 0.27 ^{abc}	0.97 \pm 0.55 ^{bc}	0.95 \pm 0.26 ^{abc}	0.79 \pm 0.41 ^{abc}
0.06 \pm 0.01 ^b	0.04 \pm 0.02 ^{ab}	0.03 \pm 0.00 ^{ab}	0.05 \pm 0.02 ^{ab}	0.03 \pm 0.01 ^{ab}	0.04 \pm 0.01 ^{ab}	0.05 \pm 0.01 ^{ab}
0.37 \pm 0.04 ^{abc}	0.29 \pm 0.06 ^{ab}	0.60 \pm 0.17 ^c	0.38 \pm 0.09 ^{abc}	0.23 \pm 0.10 ^{ab}	0.26 \pm 0.06 ^{ab}	0.18 \pm 0.05 ^a
0.22 \pm 0.06 ^{abcd}	0.35 \pm 0.05 ^d	0.59 \pm 0.10 ^e	0.19 \pm 0.06 ^{abcd}	0.13 \pm 0.02 ^{abc}	0.06 \pm 0.03 ^a	0.30 \pm 0.13 ^{cd}
0.21 \pm 0.03 ^{ab}	0.24 \pm 0.02 ^{ab}	0.41 \pm 0.09 ^b	0.24 \pm 0.03 ^{ab}	0.19 \pm 0.04 ^a	0.18 \pm 0.03 ^a	0.24 \pm 0.03 ^{ab}
2.07 \pm 0.21 ^{ab}	2.22 \pm 0.10 ^{ab}	3.16 \pm 0.28 ^{bc}	3.67 \pm 0.18 ^{cd}	5.86 \pm 0.40 ^{de}	8.10 \pm 0.73 ^f	7.48 \pm 0.20 ^f

Table 2-4 Seasonal variations of organic acids in mussels throughout the year (mg/100 g wet meat)

	2018			2019	
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
Succinic acid	29.5 ±1.4 ^a	30.8 ±6.2 ^a	49.2 ±3.9 ^b	31.0 ±4.0 ^a	32.8 ±5.4 ^a
Malic acid	9.2 ±1.5 ^a	7.9 ±0.2 ^a	7.7 ±0.2 ^a	7.2 ±0.2 ^a	8.6 ±0.5 ^a
Acetic acid	7.2 ±0.5 ^{abc}	6.2 ±0.9 ^{ab}	6.4 ±1.2 ^{abc}	7.2 ±0.5 ^{abc}	6.3 ±0.8 ^{ab}

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$).

Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 2-4 Continued

2019						
Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
27.3 ±2.2 ^a	37.3 ±4.1 ^{ab}	48.1 ±4.0 ^b	24.3 ±1.7 ^a	25.7 ±10.5 ^a	33.1 ±1.1 ^a	34.1 ±4.0 ^a
7.3 ±1.5 ^a	7.0 ±0.5 ^a	9.7 ±1.5 ^a	8.4 ±0.8 ^a	14.1 ±2.6 ^b	7.1 ±0.7 ^a	8.9 ±1.2 ^a
7.1 ±0.3 ^{abc}	8.0 ±0.2 ^{bc}	11.6 ±1.5 ^d	8.6 ±1.2 ^{bc}	7.5 ±0.5 ^{bc}	8.8 ±0.4 ^c	4.9 ±1.1 ^a

Table 2-5 Seasonal variation in the taste active values (TAVs) and the equivalent umami concentration (EUC) throughout the year

Extractive components	Taste attribute ^a	Threshold ^b (mg/100 g)	TAVs		
			2018		
			Oct	Nov	Dec
Histidine	Bitter (-)	698	0.03	0.02	0.01
Serine	Sweet/bitter/sour (+)	263	0.39	0.29	0.22
Arginine	Bitter (-)	1307	0.10	0.06	0.03
Glycine	Sweet (+)	188	0.74	0.67	1.11
Aspartic acid	Umami (+)	53	0.77	0.73	0.73
Glutamic acid	Umami (+)	16	4.51	3.52	3.58
Threonine	Sweet (+)	417	0.06	0.03	0.02
Alanine	Sweet (+)	107	0.97	0.65	0.51
Proline	Sweet/bitter (+)	288	0.16	0.06	0.05
Lysine	Sweet/bitter (-)	1170	0.03	0.02	0.01
Tyrosine	Bitter (-)	72	0.44	0.21	0.12
Methionine	Bitter/sweet (-)	75	0.11	0.05	0.04
Valine	Bitter/sweet (-)	351	0.03	0.01	0.01
Isoleucine	Bitter (-)	31	0.07	0.03	0.02
Leucine	Bitter (-)	144	0.08	0.05	0.03
Phenylalanine	Bitter (-)	743	0.01	0.01	0.00
IMP	Umami (+)	24	1.56	0.67	0.47
AMP	Umami (+)	87	0.64	0.27	0.13
Succinic acid	Sour/Umami (+)	11	2.77	2.90	4.63
EUC (g MSG/100 g)		-	4.41	1.51	1.04

^a Taste attribute; +, pleasant; -, unpleasant (Shallenberger et al. 1993)

^b Taste threshold values (mg/100 g) (Meyer et al. 2016)

Table 2-5 Continued

2019								
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.07	0.03
0.16	0.23	0.19	0.23	0.55	0.55	0.42	0.56	0.46
0.04	0.04	0.02	0.02	0.05	0.08	0.09	0.14	0.10
1.42	1.44	1.42	1.21	1.50	1.25	0.62	1.05	0.71
0.75	0.85	0.73	0.73	0.73	0.79	0.83	1.28	0.96
4.08	4.45	3.83	4.26	6.43	5.32	3.40	4.94	3.65
0.01	0.03	0.03	0.04	0.08	0.08	0.07	0.12	0.08
0.57	0.95	0.57	0.69	1.53	1.29	0.77	1.12	0.79
0.10	0.20	0.08	0.09	0.17	0.13	0.10	0.22	0.11
0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.06	0.03
0.11	0.22	0.17	0.29	0.73	0.83	0.59	0.81	0.48
0.03	0.07	0.04	0.07	0.35	0.32	0.19	0.24	0.08
0.01	0.03	0.02	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.03
0.02	0.05	0.03	0.05	0.12	0.11	0.08	0.10	0.05
0.03	0.08	0.05	0.07	0.17	0.16	0.10	0.11	0.06
0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
0.36	0.69	0.43	0.47	0.65	0.81	1.44	1.40	1.17
0.19	0.13	0.19	0.20	0.16	0.34	0.74	1.10	1.37
2.91	3.09	2.57	3.51	4.52	2.29	2.42	3.11	3.21
1.03	1.36	1.09	1.32	2.42	2.74	3.28	5.30	3.81

Table 2-6 Chlorophyll concentration and sea water temperature at a western area in Hiroshima-Bay

Year	Month	Chlorophyll ($\mu\text{m/L}$)*	Temp ($^{\circ}\text{C}$)*
2018	Oct	2.91	23.83
	Nov	6.31	20.97
	Dec	2.12	17.54
2019	Jan	5.34	13.74
	Feb	1.93	11.81
	Mar	8.13	11.63
	Apr	3.55	12.09
	May	3.36	15.12
	Jun	3.38	18.94
	Jul	1.82	22.40
	Aug	3.98	24.96
	Sep	6.25	24.40

The data were taken from Annual Reports of The Hiroshima Prefectural Technology Research Institute, Fisheries and Ocean Technologies Center (2018, 2019). *Depth: 5 m.

第3章 氷蔵中の活ムール貝のエキス成分の変化

第1節 緒言

貝類は、殻付きの状態（以下活貝）、生のむき身の状態、加熱冷凍した状態などの様々な形態で流通される。むき身の状態ではへい死してしまうため、品質劣化が著しい。そのため、活貝での流通がその品質維持に最もすぐれていると考えられる。

ムール貝は活貝で出荷されることが多く、流通方法は氷蔵の状態が一般的である。生産者からの聞き取りでは、状態の良い活貝を消費者に提供するため、漁獲後ただちに選別・洗浄を経て、清浄海水を循環させた水槽で1日程度蓄養後、ムール貝で氷蔵にして出荷している。その消費期限を出荷後3日間程度とされており比較的短い。しかしながら、氷蔵中のムール貝の品質変化については、科学的なデータが乏しく経験に基づいたものを基準としている。一方、10°Cで貯蔵したとき、LD₅₀（50%のムール貝がへい死する日数）は9.6日と報告されている（Isani et al., 1995）。また、ムール貝のおいしさや安全性を消費者に認知していただくためには、安全でおいしく食べられる期間（消費期限）を科学的根拠に基づいて示していかなければならない。

消費量の多い貝類については、比較的多くの報告がある。カキ（Yokoyama et al., 1992；谷本ら, 2004）、ホタテ貝（Kawashima and Yamanaka, 1992）、アサリ（Yoneda and Inoue, 2018）、アワビ（Watanabe et al., 1992）およびハマグリ（Chiou et al., 1998）の報告では、貯蔵中のATP関連物質の消長や遊離アミノ酸の変化など調べられている。ムール貝につ

いては、Kluytmans et al. (1977) の報告がある。すなわち、嫌気条件でムール貝を異なる期間蓄積した後、その発酵生産物を調べたところ、プロピオン、Ala およびコハク酸などが増加したことを報告している。また、Isani et al. (1995) は、ムール貝を14日間10°CでATP関連物質の変化を調べ、ATPの減少、ADPの維持、AMPの増加、さらにそれらの値で計算されるAEC値低下を報告している。

そこで、著者は、ムール貝の氷蔵中の品質の変化を明らかにするため、エキス成分の変化を調べることにした。それらのデータを基に味やうま味に関係する評価をTAVおよびEUCの手法を用い、氷蔵状態でおいしく食べられる期間を明らかにした。特に、代謝産物の多変量データを階層的クラスタ分析(HCA)の手法(Zhang et al., 2017)を取り入れることで、視覚的に品質劣化の状況を解析した(An et al., 2019; Kim al., 2020)。

第2節 実験方法

第1項 試料の調製

広島湾西海域で養殖したムール貝を2019年8月20日に300個を氷詰めされた状態で研究室に搬入し、直ちに実験に供した。供したムール貝は、重量 17.4 ± 4.2 g、長さ 54.9 ± 2.2 cmであった。ムール貝の搬入までの処理は、搬入前日に水揚げし、ムール貝の塊をばらして個体とし、自動洗浄機でムール貝表面の異物を除き大・中・小に選別した。次に、紫外線殺菌海水を循環した20°Cの水槽でムール貝を一夜畜養した。

殻付きムール貝約300個を、発砲スチロール(30×40×50cm)

の中の氷上に置き，13日間保存試験を行った。0，1，3，6，10および13日間貯蔵後，ムール貝を10個取り出し，貝の重量，長さを測定後，メスを用いて貝柱を切断し身を取り出した。次に，むき身に付着している海水をクッキングペーパーで拭き取った後，むき身を計量した。10個のむき身を合わせて，包丁で切断と混合を繰り返し，細断した試料を直ちにPCA抽出およびSSA抽出に用いた。これらの処理は氷上で行った。この処理を3回繰り返して各処理日について3点の試料を調製した。残りの細切試料は， -80°C で保存した。

第2項 身入り

ムール貝の身入りの計算は，第2章の第2項で示した。

第3項 一般成分およびpHの測定

一般成分（水分，全窒素，灰分）およびpHの分析方法は，第2章の第3項で示した。

第4項 グリコーゲンの測定

第2章の第4項で示した。

第5項 SSA酸抽出液の調製

第2章の第5項で示した。

第6項 PCA酸抽出液の調製

第2章の第6項で示した。

第 7 項 生菌数の測定

第 2 章の第 7 項で示した。

第 8 項 ムール貝の生残率

ムール貝 30 個について、氷蔵中の生残を調べた。ムール貝が開殻し、少なくとも 5 分間閉まらない場合をへい死とし、生残率を計算した。なお、本試験は、2018 年 8 月に行った。

$$\text{生残ムール貝数} / \text{全ムール貝数} \times 100 = \text{生残率} (\%)$$

第 9 章 NPN の測定

第 2 章の第 8 項で示した。

第 10 項 FAA の分析

第 2 章の第 9 項で示した。

第 11 項 ATP 関連物質の分析

第 2 章の第 10 項で示した。

第 12 項 有機酸の分析

第 2 章の第 11 項で示した。

第 13 項 TAV および EUC の計算

第 2 章の第 12 項で示した。

第 14 項 K 値, K' 値および AEC 値

K 値 (Saito et al., 1959), K' 値 (Yokoyama et al., 1992) および AEC 値 (Atkinson, 1968) の計算は, 次の式で行った。

$$K (\%) = \frac{(H_x R + H_x)}{(ATP + ADP + AMP + IMP + H_x R + H_x)} \times 100 \quad \dots (1)$$

$$K' (\%) = \frac{(IMP + H_x R + H_x)}{(ATP + ADP + AMP + IMP + H_x R + H_x)} \times 100 \quad \dots (2)$$

$$AEC (\%) = 1/2 (2ATP + ADP) / (ATP + ADP + AMP) \times 100 \quad \dots (3)$$

第 15 項 統計解析

実験データは平均値±標準偏差で示した。統計解析については, 第 2 章第 2 節第 13 項で示した。氷蔵した各試料の遊離アミノ酸および ATP 関連物質などの代謝産物は, HCA (Zhang et al., 2017) の方法に準じ, 解析用ソフト「MetaboAnalyst 5.5 (<https://www.metaboanalyst.ca/home.xhtml>)」を用いた。

第 3 節 実験結果

第 1 項 身入り，一般分析，グリコーゲン，NPN および生菌数

Table 3-1 に氷蔵中におけるムール貝の身入り，一般分析，グリコーゲン，NPN および生菌数の変化を示す。身入りは，貯蔵中に 36.3～47.3 % の範囲にあり，その値は 1 日目が最大，6 日目が最小となった ($P < 0.05$)。水分含量は 75.5～80.1 g/100 g の範囲にあり，0 日目と比較して 10 日目に有意に高くなった ($P < 0.05$)。NPN は，0 日目および 1 日目でわずかに 500 mg/100 g より低い値を示し，その後有意に減少して 13 日目に 401.3 mg/100 g となった ($P < 0.05$)。グリコーゲン含量は，1 日目の値が，3 日目および 13 日目よりも有意に低い値となった ($P < 0.05$)。ムール貝の全窒素および灰分は，氷蔵中に変化は見られなかった。pH については，10 日目の値はその他の貯蔵日数の値に比べて有意に高くなった ($P < 0.05$)。貯蔵中の微生物の変化については，10 日目まで 3 オーダーの菌数であったが，その後 13 日目に 5 オーダーに増加した。13 日目の菌数は，その他の貯蔵日数の菌数に比べて有意に高い値となった ($P < 0.05$)。

第 2 項 生残率

Table 3-2 に氷蔵 10 日間のムール貝の生残率を示す。ムール貝は氷蔵 1 日目まではほとんど生残したが，3 日目から生残率が 80% に低下し，6 日目および 10 日目で 60.0% および 33.3% に低下した。

第 3 項 FAA

Table 3-3 に氷蔵中におけるムール貝のむき身に含まれる FAA

の変化を示す。貯蔵 0 日で最も多く含まれる FAA は、Tau で全 FAA の 31.5% を占めた。続いて Gly, Arg, Ser, Glu および Ala が比較的多く含まれた。これらのアミノ酸の合計は、全 FAA の 69.3% を占めた。うま味成分として知られている Glu は、80.2 g/100 g 含まれたが、この値は全 FAA のわずかに 3.9% であった。氷蔵中に全 FAA は、有意差はないが ($P = 0.053$), 0 日の 2051 mg/100 g から 13 日目の 1604 mg/100 g に減少し、その減少率は 21.8% に達した。個別のアミノ酸では、Tau は 0 日の 645.2 mg/100 g から 13 日目の 463.0 mg/100 g に 28.2% 減少した ($P < 0.05$)。Arg は、0 日と比べて 10 日目に有意に減少した ($P < 0.05$)。Gly, Asp および Asn もまた比較的大きく減少し、それぞれの減少率は 13 日目に 28.2%, 34.2% および 29.0% に達したが、有意差は認められなかった。一方、Glu と Ala は貯蔵中の変化が少なく、それぞれ 75.3~98.2 mg/100 g および 107.9~145.7 mg/100 g の範囲にあった。FAA ではないが、10 日目および 13 日目のアンモニア含量は 0 日から 6 日目の値と比較して有意に増加した ($P < 0.05$)。

第 4 項 ATP 関連物質

Table 3-4 に氷蔵中におけるムール貝に含まれる ATP 関連物質の変化を示す。氷蔵 0 日では、ADP と AMP は同程度の 2.83 および 2.59 $\mu\text{mol/g}$, ATP と IMP は同程度の 0.90 および 0.87 $\mu\text{mol/g}$ 含まれた。有意差は見られなかったが ATP 関連物質の総量、ATP, ADP および IMP 量は、減少傾向が見られた。AMP 量は、2.49~2.87 $\mu\text{mol/g}$ の間にあり、氷蔵中に有意な変

化は見られなかった。Ad 含量は，6 日目および 13 日目において，0 日に比べて有意に高い値となった ($P < 0.05$)。

第 5 項 K 値，K' 値および AEC 値

魚介類の鮮度変化は K 値で表せることが示されている。この方法を改良し，貝類に適用した試みである K' 値や AEC 値による鮮度評価が報告されている (Yokoyama et al. 1992, 1994; 谷本ら，2004; 米田と井上，2018)。そこで，著者も活ムール貝の鮮度変化に K 値，K' 値および AEC 値の適用を試みた。氷蔵中の K 値，K' 値および AEC 値の変化を Fig. 3-1 に示す。K 値および K' 値は氷蔵 13 日間ほとんど変化がなかったが，AEC 値は 0 日で 36.4%，その後徐々に減少し 13 日目に 29.5% に達した。しかしながら，0 日と 13 日目の間に有意差は認められなかった ($P < 0.05$)。

第 6 項 有機酸

Table 3-5 に氷蔵中におけるムール貝に含まれる有機酸の変化を示す。貯蔵 0 日では，コハク酸が最も多く含まれており，続いて同程度のリンゴ酸と酢酸が含まれた。コハク酸含量は，10 日間の氷蔵で 29.4~34.9 mg/100g の値を維持し，その後 3 日目よりも 13 日目に有意に増加した ($P < 0.05$)。リンゴ酸は，0 日および 1 日目よりも 10 日目および 13 日目に有意に多く含まれた ($P < 0.05$)。一方，酢酸含量は氷蔵中変化しなかった。

第 7 項 TAV および EUC

Table 3-6 に氷蔵中におけるムール貝の TAV および EUC の変化を示す。Glu および Ala は概ね 5 および 1 以上を氷蔵 13 日間維持した。TAV は，Asp は 0～10 日目まで，Gly は 0 日と 1 日目まで 1 以上を維持した。IMP の TAV は 0～1 日目で 1 以上であったが，その後 1 以下に低下した。AMP の TAV は，IMP のそれと異なり，13 日間 1 以上を示し，減少は見られなかった。コハク酸は氷蔵 13 日間 3 以上の TAV を示し，値に変化が見られなかった。EUC は 0 日から 13 日目まで 3.28～4.38 g MSG/100 g の値を示したが，3 日目から減少し，13 日目には減少率が 22.8%まで達した。

第 8 項 HCA

Fig. 3-2 に氷蔵中におけるムール貝の HCA ヒートマッププロットを示す。0 日と 1 日目の試料はクラスター I に，その他の試料は別のクラスターに分類され，そのクラスター II は，3，6 および 10 日目のサブクラスター II と 13 日目のサブクラスター III に分けられた。一方，代謝産物は A～E の 5 つのクラスターに分けられた。すなわち，クラスター A は，Ile，Lys，Pro および Tyr など，クラスター B は ADP，総 ATP 関連物質，Asp など，クラスター C は，Asn，HxR，IMP および全 FAA 量など，クラスター D は，アンモニア，グリコーゲン，Hx および生菌数など，クラスター E は Ala，AdR，Glu およびコハク酸などで分類された。クラスター A と C のエキス成分は，クラスター I の試料において高い

値を示し，クラスターⅡとⅢの試料において低い値を示した。クラスターBのエキス成分は，クラスターⅠおよび氷蔵3日目の試料で高い値を示し，氷蔵6日目以降の試料で低い値を示した。特に，その傾向は13日目の試料で顕著であった。クラスターDのエキス成分は，クラスターⅠの試料で低く，クラスターⅡで高い値となった。

第4節 考察

氷蔵10日間でムール貝の生残率は，33.3%に低下した（Table 3-2）。ムール貝の50%生残率は，10°Cの脱酸素海水で9.6日であったことが報告されている（Isani et al., 1995）。ムール貝の殻は，カキやハマグリに比べて薄いので，貝の体液が流出しやすいと思われる。ムール貝のNPN値の減少と全FAAの減少には相関関係がある（Sakaguchi and Murata 1989）ことから，NPNの減少傾向はFAAの減少によると考えられる。特に，全FAAの31.4%を占めるTauの減少は，有意差が認められた（Table 3-3）。Argについても，貯蔵中に有意に減少している（Table 3-3）。また，有意差は認められないが，Gln, GlyおよびAspの減少率は，0日から13日目に約30%に達した（Table 3-3）。TauなどのFAAは，*Mytilus edulis*の浸透圧調節のために働いていることが報告されている（Lange, 1963）。加えて，コハク酸，酢酸，プロピオン酸，AlaおよびGluは，発酵産物として嫌気条件下で蓄積される（Kluytmans et al., 1977；Isani et al., 1995）。Tauなど多くのFAAが減少したが，AlaやGluは減少していなかった（Table 3-3）。また，コハク酸およ

び酢酸は維持されていた (Table 3-5)。したがって、発酵産物の増加は、Tau など多くの FAA の減少とバランスをとっているのかもしれない。活ハマグリ の可食部 (Chiou et al., 1998) の全 FAA, Tau, Glu および Arg, さらにアワビの貝柱 (Watanabe et al., 1992) の全 FAA, Leu および Asp は、0°C で貯蔵中に減少することが報告されている。

Table 3-4 に示したように、ATP 関連物質の中で ADP, IMP および ATP は主要な成分であり、13 日間の氷蔵中に ATP および ADP は徐々に減少したが、AMP は 2.5~2.8 $\mu\text{mol/g}$ を維持した。海水から露出した 4°C の条件で活カキを貯蔵した場合 (Kawabe et al., 2010), および 0°C で海水から露出した条件で活ハマグリを貯蔵した場合 (Chiou et al., 1998), ATP は徐々に減少、ADP は維持、AMP は徐々に増加する。本研究の ATP の減少 (Table 3-4) は、これらの報告と一致した。一方、へい死した状態では、カキ貝柱中の ATP 量は氷蔵下で 1 日目に急激に減少している (Yokoyama et al., 1992)。活ムール貝では ATP は徐々に ADP に分解し、続けて ADP もまた AMP に徐々に分解する。加えて、本論文における 0 日目の ATP は、報告されている量 (Kawabe et al., 2010; Yokoyama et al., 1992) よりも著しく少ない。そのため、ATP から ADP へ供給量が少ないことに加え、ADP から AMP への分解が徐々に進むため、本論文における ADP 量が徐々に減少した。これらのことが、AMP が氷蔵中に増加しなかったことに関係したと考えられる。

貝類の鮮度評価には、K 値よりもむしろ K' 値や AEC 値が有効とされている (Yokoyama et al. 1992, 1994; 谷本ら,

2004)。Fig. 3-1 に示しているように、K' 値（13～17%）と K 値（5.1～7.1%）は氷蔵中にほとんど変化をしなかった。一方、AEC 値は 36.9% から 29.5% に徐々に減少したが、有意差は認められなかった。Isani et al. (1995) は、ムール貝を 10°C で 14 日間貯蔵したとき、AEC 値は 77% から 35% に減少することを報告している。谷本ら (2010) も生きた状態のむき身カキでは、K 値および K' 値はほとんど変化がなく、AEC 値は貯蔵時間とともに減少したことを示している。したがって、活ムール貝の鮮度指標としては、0°C での貯蔵（氷蔵）条件において AEC 値の低下として表れにくいかもしれない。

アサリ（鴻巣ら，1967），ムール貝（Kluytmans et al., 1977）およびカキ（谷本ら，2004）は，冷蔵中にコハク酸，酢酸およびプロピオン酸が蓄積することが報告されている。しかしながら，本論文では氷蔵中にコハク酸および酢酸は変化しなかった（Table 3-5）。一方，アサリ貯蔵中においてもコハク酸が変化しないことが報告されている（米田と井上，2018）。

氷蔵中の日数および代謝産物の HCA の結果，氷蔵 0 日および 1 日目の試料（クラスター I）の代謝産物は氷蔵 3 日目後のそれらの値とは異なった。また，氷蔵 3 日目，6 日目および 10 日目のムール貝の代謝産物は，13 日目のものと区別された（Fig. 3-2）。クラスター A（代表産物として Lys）および C（代表産物として HxR）の代謝産物の氷蔵中の減少は，クラスター I と II，III のクラスターとの間の違いを特徴づけている。さらに，クラスター B（代表産物として Asp）と D（代表産物として生菌数および NH₃）は，13 日目の氷蔵試料と 3 日目から 10 日目の氷蔵試料との間の

違いを特徴付けている。それゆえ、代謝産物および生菌数の変化は、氷蔵 1 日目まで比較的優れた品質を保持しているが、その後 10 日目まで低下し、さらに 13 日目にかけてさらなる品質低下が起きていることを示唆している。これらのことは、活貝として市場に流通させる場合、氷蔵では比較的早く品質低下が起こることを示しており、今後活貝の流通温度を含めて、保存方法の改善が望まれる。

氷蔵中 0 日の TAV は、Glu, Asp, Ala, Gly, AMP, IMP およびコハク酸が 1 より高い値を示しており、ムール貝の味に関与している。氷蔵 13 日間で Glu, Ala, AMP およびコハク酸は、それぞれ 1~5 を維持していることから、氷蔵中を通してムール貝の味に寄与、特に、Glu は TAV が 5 で高い値を 13 日間維持しており、ムール貝のおいしさに大きく影響していると考えられる。一方、Asp は 10 日目まで、Gly と IMP は 2 日目まで 1 以上を維持しているが、その後 1 以下に低下している。これらの結果は、味に関与している多くの成分が 1 日目まで TAV として 1 以上を維持しているが、それらの一部は氷蔵中に徐々に減少していることを示している。Kawai et al. (2002) は、Ala および Gly は IMP が存在すると「うま味」や「甘さ」を強くすることを報告している。

TAV は個々の味成分を評価するのに有効であるが、食品成分間の相互作用、例えば相乗効果やマスキング効果は考慮されていない (Sato et al., 2015)。したがって、氷蔵中のうま味の強さの変化を評価するために EUC を適用した。Glu および Asp と AMP および IMP の相乗効果を考慮して計算される EUC は、0 日の 4.38 g MSG/100 g から 13 日目の 3.28 g MSG/100 g に徐々に減少した。したがって、ムール貝のおいしさは、これらの成分の

減少に影響を受けている可能性がある。

第 5 節 小括

活ムール貝は、氷蔵で流通されていることが多いが、比較的品質劣化が早いとされている。そこで、氷蔵中に起こる活ムール貝の品質変化を明らかにする目的で、活ムール貝の氷蔵中におけるエキス成分の変化を検討した。活ムール貝を 13 日間氷蔵したところ、生菌数および代謝産物の変化が観察された。この期間、味に関与する成分である Glu, Ala, AMP およびコハク酸はほとんど変化しなかったが、Asp, Gly および IMP は徐々に減少した。味への寄与を TAV および EUC で評価すると、Glu は 5 を維持してうま味に強く寄与していた。HCA ヒートマッププロットによる評価では、ムール貝は氷蔵 0 日および 1 日目に高い品質を保持し、その後うま味やおいしさは徐々に低下していることが示唆された。このことは、氷蔵におけるムール貝の賞味期限が 3 日間程度とされていることと一致していた。

Table 3-1 Changes in water, pH, ash, NPN, total nitrogen, glycogen, meat yield, and microbe of mussels during ice storage for 13 days

	Storage period (day)						
	0	1	3	6	10	13	
Meat yield (%)	38.9 ±5.8 ^{ab}	47.3 ±1.9 ^c	42.2 ±1.1 ^{bc}	36.3 ±2.3 ^a	41.9 ±1.6 ^{abc}	44.0 ±5.2 ^{bc}	
Moisture (g/100 g)	75.5 ±1.4 ^a	74.9 ±1.9 ^a	78.9 ±2.7 ^{ab}	78.4 ±0.7 ^{ab}	80.1 ±2.1 ^b	79.3 ±2.0 ^{ab}	
Crude Protein (g/100 g)	10.6 ±2.4	10.5 ±2.8	10.5 ±0.7	9.6 ±1.5	8.1 ±1.9	8.7 ±3.3	
Ash (g/100 g)	3.24 ±0.52	3.01 ±0.59	3.27 ±0.34	3.51 ±0.29	3.17 ±0.53	2.80 ±0.24	
NPN (mg/100 g)	493.3 ±2.8 ^b	484.7 ±24.6 ^b	462.4 ±27.2 ^{ab}	457.0 ±32.3 ^{ab}	445.0 ±26.7 ^{ab}	401.3 ±43.7 ^a	
Glycogen (mg/100 g)	185.5 ±19.7 ^{ab}	158.8 ±46.5 ^a	261.0 ±26.7 ^b	223.7 ±29.9 ^{ab}	237.2 ±34.5 ^{ab}	259.3 ±46.6 ^b	
pH	6.01 ±0.07 ^a	5.98 ±0.02 ^a	6.04 ±0.04 ^{ab}	6.02 ±0.09 ^a	6.20 ±0.06 ^b	6.02 ±0.09 ^a	
Microbe [log(cfu/g)]	3.49 ±0.21 ^{ab}	3.13 ±0.18 ^a	3.52 ±0.22 ^{ab}	3.40 ±0.18 ^{ab}	3.88 ±0.14 ^b	5.10 ±0.1 ^c	

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 3-2 Survival ratio (%) of live mussels during ice storage for 10 days

Days	0	1	3	6	10
Survival ratio (%)	100.0	96.7	80.0	60.0	33.3

The calculation is count of live mussels / initial ones ×100 (%)

Table 3-3 The changes in free amino acids and ammonia of mussels during ice storage for 13 days (mg/100 g wet meat)

	Storage period (day)						
	0	1	3	6	10	13	
Ammonia	1.5 ±0.2 ^a	1.6 ±0.6 ^a	3.3 ±1.4 ^a	2.9 ±0.4 ^a	7.2 ±1.2 ^b	12.5 ±1.5 ^c	
Histidine	46.1 ±5.6 ^b	41.8 ±6.4 ^{ab}	37.8 ±2.4 ^{ab}	31.1 ±1.2 ^a	34.1 ±6.5 ^{ab}	37.3 ±6.8 ^{ab}	
Asparagine	64.8 ±12.8 ^b	55.2 ±4.9 ^{ab}	46.6 ±5.5 ^{ab}	42.8 ±0.7 ^a	44.6 ±8.4 ^{ab}	46.0 ±8.8 ^{ab}	
Taurine	645.2 ±94.5 ^b	593.2 ±18.3 ^{ab}	502.7 ±27.1 ^{ab}	590.3 ±70.6 ^{ab}	496.4 ±39.5 ^{ab}	463.0 ±89.4 ^a	
Serine	146.7 ±16.7	143.1 ±4.7	121.9 ±19.4	143.1 ±15.4	120.5 ±12.9	116.7 ±5.7	
Glutamine	127.1 ±28.6	115.7 ±8.1	92.3 ±17.2	90.8 ±12.1	89.1 ±12.4	87.4 ±14.8	
Arginine	184.7 ±21.5 ^b	170.4 ±4.7 ^{ab}	153.8 ±10.8 ^{ab}	140.6 ±4.6 ^{ab}	128.0 ±21.2 ^a	149.9 ±36.4 ^{ab}	
Glycine	198.2 ±33.7	192.3 ±40.6	151.8 ±10.5	168.4 ±7.1	138.5 ±24.9	130.4 ±23.1	
Aspartic acid	67.6 ±7.7	64.9 ±7.3	60.9 ±10.2	53.3 ±8.4	57.4 ±13.1	44.5 ±3.0	
Glutamic acid	80.2 ±6.2 ^{ab}	85.2 ±1.2 ^{ab}	75.3 ±8.1 ^a	98.2 ±2.6 ^b	91.2 ±15.3 ^{ab}	81.6 ±3.3 ^{ab}	
β -Alanine	10.3 ±3.1	9.6 ±1.5	9.3 ±2.4	11.6 ±1.9	10.2 ±1.4	9.3 ±1.1	
Threonine	48.7 ±5.0	51.5 ±4.0	41.7 ±8.5	40.5 ±4.5	44.8 ±8.7	46.1 ±4.9	
Alanine	119.9 ±7.8	134.1 ±7.2	107.9 ±18.3	145.7 ±12.5	125.2 ±25.0	123.9 ±3.2	
Proline	61.7 ±3.3	67.2 ±2.5	52.2 ±9.3	56.4 ±7.3	55.9 ±7.0	55.6 ±4.9	
Ornithine	13.3 ±2.3	13.4 ±1.6	13.9 ±1.1	11.6 ±2.1	12.2 ±1.9	10.9 ±0.3	
Cystaine	1.1 ±0.3	1.2 ±0.1	1.1 ±0.1	1.2 ±0.1	1.2 ±0.4	0.9 ±0.3	
Lysine	69.8 ±5.6	76.8 ±3.3	59.3 ±12.2	56.5 ±3.0	58.4 ±14.8	54.7 ±2.0	
Tyrosine	59.2 ±9.0	59.5 ±8.2	46.7 ±4.1	45.4 ±1.8	49.4 ±10.9	53.5 ±14.0	
Methionine	17.9 ±3.3 ^b	15.1 ±0.4 ^{ab}	15.6 ±2.1 ^{ab}	10.9 ±1.3 ^a	14.1 ±4.2 ^{ab}	14.7 ±1.2 ^{ab}	
Valine	17.5 ±1.4	19.0 ±0.8	15.5 ±2.6	14.3 ±0.7	15.9 ±4.0	15.9 ±1.6	
Isoleucine	13.4 ±1.0	14.1 ±0.5	11.6 ±1.5	10.9 ±0.6	12.0 ±2.9	11.8 ±1.6	
Leucine	16.0 ±1.8	16.5 ±0.5	14.1 ±2.1	13.0 ±1.4	14.2 ±3.6	14.2 ±1.6	
Phenylalanine	14.1 ±2.4	13.2 ±0.9	11.0 ±0.8	10.6 ±0.6	11.7 ±2.7	13.3 ±3.3	
Total	2051.3 ±193.3	1976.9 ±92.5	1657.2 ±128.2	1801.9 ±74.6	1642.1 ±220.8	1604.2 ±213.9	

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 3-4 The changes in ATP related compounds of mussels during ice storage for 13 days ($\mu\text{mol/g}$ wet meat)

	Storage period (day)						
	0	1	3	6	10	13	
ATP	0.87 \pm 0.10	0.90 \pm 0.23	0.86 \pm 0.27	0.76 \pm 0.14	0.61 \pm 0.09	0.56 \pm 0.19	
ADP	2.83 \pm 0.64	2.24 \pm 0.83	2.21 \pm 0.25	1.94 \pm 0.51	2.02 \pm 0.08	1.65 \pm 0.45	
AMP	2.59 \pm 0.20	2.61 \pm 0.55	2.78 \pm 0.38	2.57 \pm 0.69	2.61 \pm 0.07	2.49 \pm 0.48	
IMP	0.90 \pm 0.16	0.68 \pm 0.25	0.57 \pm 0.06	0.57 \pm 0.13	0.45 \pm 0.29	0.44 \pm 0.07	
AdR	0.04 \pm 0.01	0.06 \pm 0.02	0.05 \pm 0.00	0.05 \pm 0.00	0.04 \pm 0.10	0.05 \pm 0.01	
HxR	0.25 \pm 0.04	0.19 \pm 0.04	0.17 \pm 0.05	0.18 \pm 0.03	0.17 \pm 0.06	0.17 \pm 0.06	
Ad	0.06 \pm 0.02 ^a	0.13 \pm 0.02 ^{ab}	0.30 \pm 0.07 ^b	0.14 \pm 0.05 ^{ab}	0.21 \pm 0.05 ^{ab}	0.28 \pm 0.11 ^b	
Hx	0.17 \pm 0.01	0.16 \pm 0.03	0.22 \pm 0.02	0.15 \pm 0.02	0.16 \pm 0.04	0.22 \pm 0.03	
Total	7.71 \pm 0.71	6.97 \pm 1.48	7.16 \pm 0.90	6.36 \pm 1.32	6.27 \pm 0.11	5.86 \pm 1.09	

The values are expressed as mean \pm SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 3-5 Changes in organic acids of mussels during ice storage for 13 days (mg/100 g wet meat)

	Storage (day)						
	0	1	3	6	10	13	
Succinic acid	33.1 ±1.1 ^{ab}	35.9 ±1.6 ^{ab}	29.4 ±2.4 ^a	34.9 ±4.6 ^{ab}	34.7 ±1.5 ^{ab}	37.6 ±2.1 ^b	
Malic acid	7.1 ±0.7 ^a	8.5 ±1.8 ^{ab}	10.2 ±1.1 ^{abc}	11.4 ±1.8 ^{bc}	16.8 ±2.2 ^d	13.4 ±0.4 ^{cd}	
Acetic acid	8.8 ±0.4	8.5 ±2.2	5.9 ±1.5	7.7 ±0.8	6.3 ±2.5	10.9 ±4.2	

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 3-6 Changes in the taste active values (TAVs) and the equivalent umami concentration (EUC) of mussels during storage on ice

FAAs / nucleocides / succinic acid	Taste attribute (\pm) ¹⁾	Threshold ²⁾ (mg/100g)	Storage (day)						
			0	1	3	6	10	13	
Histidine	Bitter (-)	698.2	0.07 ³⁾	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05
Serine	Sweet/bitter/sour (+)	262.7	0.56	0.54	0.46	0.54	0.46	0.44	0.44
Arginine	Bitter (-)	1306.5	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11
Glycine	Sweet (+)	187.7	1.06	1.02	0.81	0.90	0.74	0.69	0.69
Aspartic acid	Umami (+)	53.2	1.27	1.22	1.14	1.00	1.08	0.84	0.84
Glutamic acid	Umami (+)	16.2	4.96	5.26	4.66	6.07	5.63	5.05	5.05
Threonine	Sweet (+)	416.9	0.12	0.12	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11
Alanine	Sweet (+)	106.9	1.12	1.25	1.01	1.36	1.17	1.16	1.16
Proline	Sweet/bitter (+)	287.8	0.21	0.23	0.18	0.20	0.19	0.19	0.19
Lysine	Sweet/bitter (-)	1169.5	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Tyrosine	Bitter (-)	72.5	0.82	0.82	0.64	0.63	0.68	0.74	0.74
Methionine	Bitter/sweet (-)	74.6	0.24	0.20	0.21	0.15	0.19	0.20	0.20
Valine	Bitter/sweet (-)	351.5	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
Isoleucine	Bitter (-)	131.2	0.10	0.11	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09
Leucine	Bitter (-)	144.3	0.11	0.11	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10
Phenylalanine	Bitter (-)	743.4	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
5'-IMP	Umami (+)	20.9	1.50	1.13	0.95	0.95	0.75	0.73	0.73
5'-AMP	Umami (+)	86.8	1.03	1.04	1.11	1.03	1.05	1.00	1.00
Succinic acid	Sour/Umami (+)	10.6	3.11	3.38	2.77	3.28	3.26	3.54	3.54
EUC (g MSG/100 g)		-	4.38	4.48	3.72	4.58	3.83	3.28	3.28

¹⁾ Taste attribute; +, pleasant; -, unpleasant, ²⁾ Taste threshold values (mg/100 g), ³⁾ TAV

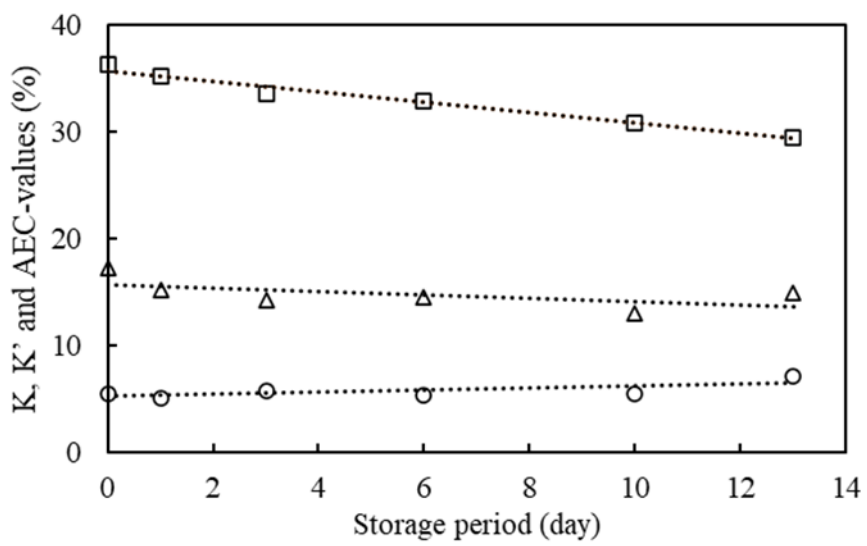


Fig. 3-1 Changes in K, K', and AEC-values of mussels during storage on ice

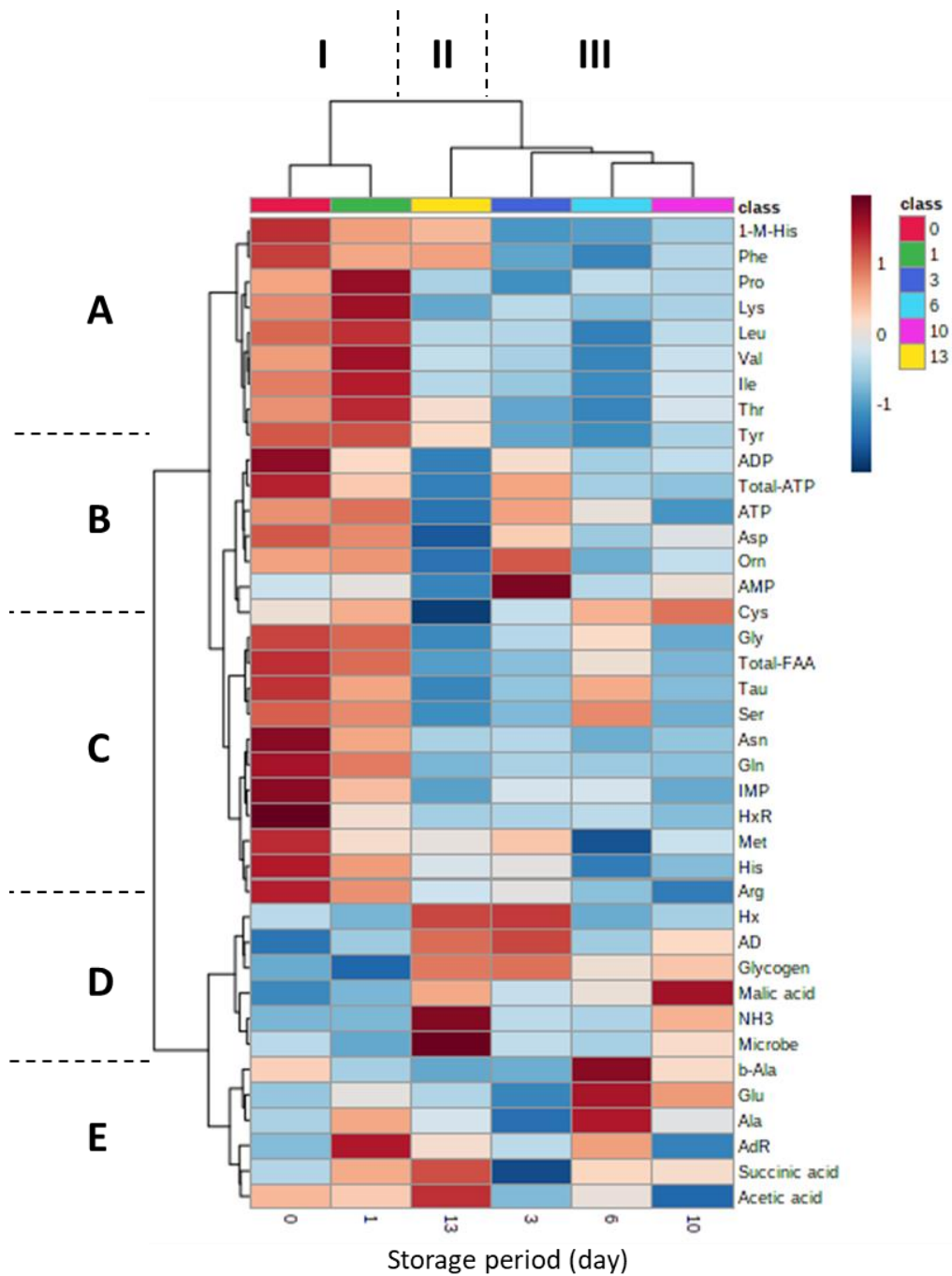


Fig. 3-2 Heat map visualization and hierarchical clustering on the levels of metabolites and microbe of mussel flesh with different storage days. Data are autoscaled between 0 (mean) and 1 (standard deviation); red and blue indicate high and low levels in samples, respectively.

第 4 章 ムール貝と他の貝のエキス成分の比較

第 1 節 諸言

多くの貝類は、様々な料理の素材として使われており、それぞれ特徴のある「味」を呈している。ハマグリやアサリは、比較的雑味のないすっきりしたうま味が特徴である。そのため、素材の味を活かしたうしお汁や酒蒸しなどに使われることが多い（土井，1985）。また、ホタテガイやカキはコクのあるうま味を活かして茶わん蒸しや中華料理の具材として使われる。ところが、国内ではムール貝を用いた料理は少なく、ヨーロッパ、北米およびオーストラリアなどで多彩な料理の材料として多く使われることに比べると正反対である。

第 1 章で示しているように、1930 年代以降に瀬戸内海から日本各地に分布が広がったムール貝は、国内では家庭や飲食店で食材として使われている料理はほとんど見られない。地中海料理のブイヤベースやパエリア等を提供するレストランの必須食材である。しかしながら、日本で漁獲されるムール貝はムラサキイガイとも呼ばれており、地中海で獲れるものと分類上同じ種類であるにもかかわらず、食材として使われることは少ない。このように日本の家庭で食されることの少ないムラサキイガイをヨーロッパで食されているムール貝と同じものとして食を広めることが必要と考える。そこで、第 2 章および第 3 章において、ムール貝のおいしさの評価を行い、エキス成分に含まれるうま味ヌクレオチド（AMP，IMP）やうま味および甘味を呈するアミノ酸、さらにコハク酸がそのおいしさに寄与していることを示した。

アサリ（鴻巣ら，1965；Yoneda and Inoue，2018），カキ

(Sakaguchi and Murata, 1989 ; 米田ら, 2012) およびハマグリ (Chiou et al., 1997) のエキス成分には, タウリン, アラニン, グリシン, グルタミン酸, AMP およびコハク酸などが比較的多く含まれている。一方, これらのエキス成分は味に直接影響しており, おいしさへの関与が評価されている。特に, うま味アミノ酸である Glu および Asp とうま味ヌクレオチドである IMP および AMP との相乗効果やグリシンおよびアラニンなど甘味を呈するアミノ酸と IMP および AMP とのうまみ味を強める効果 (Kato et al., 1989 ; Kawai et al., 2002) が知られている。

そこで, 国内で漁獲されるムール貝のおいしさの特徴を科学的な側面から明らかにするため, 特にムール貝のエキス成分とアサリ, ハマグリおよびカキのそれらと比較した。また, ムール貝に含まれる味関与成分を TAV および EUC を用いて他の貝と比較検討した。さらに HCA ヒートマッププロットからムール貝のエキス成分の特徴を解析した。

第2節 実験方法

第1項 試料

ムール貝, カキおよびアサリは広島湾西部域で養殖されたものを用いた。ハマグリは, 千葉県から輸送されたものを, 広島市中央卸売市場を通して入手した。実験に供した試料についての情報を Table 4-1 に示す。いずれも市場で「旬」と言われる時期 (出荷最盛期) のものを氷蔵で搬入した。また, いずれの貝類のサイズは大・中・小で分別されており, ムール貝およびアサリでは中のサイズ, カキおよびハマグリでは大のサイズに該当するものである。す

すべての試料は持ち込まれて直ちに分析に用いた。

それぞれの試料から貝柱を切断して殻を外し，むき身を取り出した。むき身の付着水をキッチンペーパーで吸い取り，むき身の重さを計量した。ムール貝およびアサリはそれぞれ 10 個，カキとハマグリはそれぞれ 5 個を集めて，包丁で細断と混合を繰り返し，均一な試料にした。これらの操作はできる限り氷蔵上で行い，各貝について試料を 3 つ調製した ($n=3$)。これらの試料を用いて，第 3 項および第 4 項でそれぞれ示した SSA 抽出およびの PCA 抽出を行った。残りの試料は直ちに -80°C で冷凍保存した。

第 2 項 身入り

ムール貝の身入りの計算は，第 2 章の第 2 項で示した。

第 3 項 一般成分および pH の測定

一般成分（水分，全窒素および灰分）および pH の分析方法は，第 2 章の第 3 項で示した。

第 4 項 グリコーゲンの定量

第 2 章の第 4 項で示した。

第 5 項 SSA 抽出液の調製

第 2 章の第 5 項で示した。

第 6 項 PCA 抽出液の調製

第 2 章の第 6 項で示した。

第 7 項 NPN の測定

第 2 章の第 8 項で示した。

第 8 項 FAA の分析

第 2 章の第 9 項で示した。

第 9 項 ATP 関連物質の分析

第 2 章の第 10 項で示した。

第 10 項 有機酸およびリン酸の分析

PCA 抽出液を $0.20 \mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過し，そのろ液を高速液体クロマトグラフィー（HPLC）で分析した。すなわち， 3 mM HClO_4 で平衡にしたカラム（Shodex RSpak KC-811， $8.0 \text{ mm I.D.} \times 300 \text{ mm} \times 2$ ，昭和電工(株)，東京）を用い，流速 1.0 mL/min ，温度 60°C で分析した。pH の指示薬として Bromothymol blue（BTB）を添加したポストカラム法により有機酸およびリン酸を検出した。反応液として 0.2 mM BTB を含む $15 \text{ mM Na}_2\text{HPO}_4$ を用い，流速 0.7 mL/min で送液した。 430 nm の吸光度を測定し，試料と標準物質のピークの保持時間の一致により有機酸およびリン酸の同定をした。

第 11 項 TAV および EUC の計算

第 2 章の第 12 項で示した。

第 12 項 統計解析

実験データは平均値±標準偏差で示した。統計解析については、第 2 章第 2 節第 13 項で示した。氷蔵した各試料の遊離アミノ酸および ATP 関連物質などの代謝産物を次のソフトで解析した。HCA (Zhang et al., 2017) は、第 3 章、第 15 項で示した。

第 3 節 実験結果

第 1 項 ムール貝，アサリ，ハマグリおよびカキの特徴

本実験に用いた貝類の情報を Table 4-1 に示す。各貝の身入りは、21.3～34.0%と比較的狭い範囲にあった。

Table 4-2 にムール貝，カキ，ハマグリおよびアサリの一般分析の結果を示す。水分は、カキが最も低く、74.4%，アサリが最も高く 81.9%，ムール貝はそれらの中間値で 77.4%であった ($P < 0.05$)。pH はハマグリ (6.51) が最も高く、ムール貝 (6.03) とカキ (6.14) が低い値であった ($P < 0.05$)。灰分は、1.85～2.41 g/100 g の範囲にあり、ムール貝が比較的低い値であった ($P < 0.05$)。NPN は、カキおよびハマグリが約 800 mg/100 g 以上で、ムール貝およびアサリよりも有意に高い値であった ($P < 0.05$)。全窒素は、2.08～2.71 g/100 g の範囲にあり、お互いに有意差はなかった。グリコーゲンは、カキが最も高く、続いてムール貝とハマグリ、最も低いのがアサリの順となった ($P < 0.05$)。

第 2 項 FAA

Table 4-3 にムール貝，カキ，ハマグリおよびアサリの FAA を示す。全 FAA では、ムール貝 (1488.3 mg/100 g) およびア

サリ (1474.1 mg/100 g) が, ハマグリ (2864.6 mg/100 g) およびカキ (2723.8 mg/100 g) に比べて約 1/2 であり, 著しく低い値となった ($P < 0.05$)。

Tau は, いずれの貝においても全 FAA の中で最も多く含まれていたが, ムール貝の含量はハマグリやカキの量に比べて少なく ($P < 0.05$), 約 1/2 であった。Glu は, ムール貝 (59.1 mg/100 g) およびアサリが少なく, カキ (193.3 mg/100 g) とハマグリ (208.5 mg/100 g) が多く含まれていた ($P < 0.05$)。Asp の場合, ムール貝で最も少なく, カキで最も高い値となった ($P < 0.05$)。また, Ala はムール貝 (84.2 mg/100 g) で最も少なく, ハマグリ (508.3 mg/g 100 g) で最も高かった ($P < 0.05$)。ムール貝およびカキに含まれる Gly は, アサリとハマグリよりも少ない量であった ($P < 0.05$)。Ser は, アサリよりもムール貝とカキが多かった ($P < 0.05$)。一方, Pro は, カキにおいて特に多く含まれており ($P < 0.05$), 他の貝の 10~30 倍多く含まれていた。また, 同じくカキには, β -Ala (45.7 mg/100 g) およびオルチニン (13.1 mg/100 g) が特に多く含まれていた ($P < 0.05$)。

第 3 項 ATP 関連物質

Table 4-4 にムール貝, カキ, ハマグリおよびアサリの ATP 関連物質を示す。ATP 関連物質の総量については, ムール貝とアサリは, カキとハマグリのそれに比べて約 2 倍高い値であった ($P < 0.05$)。ムール貝に含まれる AMP (3.42 $\mu\text{mol/g}$) は, その他の貝に比べて最も高い値を示した ($P < 0.05$)。IMP はアサリが最

も高い値 (1.14 $\mu\text{mol/g}$) を示し, 次にムール貝 (0.79 $\mu\text{mol/g}$) であり, 最も少ないのはハマグリであった ($P < 0.05$)。ATP および ADP の量は, 4 種類の貝の間で違いは認められなかったが, ムール貝では AdR の量が最も少なかった ($P < 0.05$)。なお, Ad は, アサリで最も高い値を示した ($P < 0.05$)。

第 4 項 有機酸

Table 4-5 にムール貝, カキ, ハマグリおよびアサリの有機酸およびリン酸を示す。ムール貝のコハク酸 (41.7 mg/100 g) およびプロピオン酸 (11.2 mg/100 g) は, 他の貝と比較して最も多く含まれていた ($P < 0.05$)。ムール貝の酢酸 (10.4 mg/100 g) は, ハマグリおよびアサリよりも多く含まれていた ($P < 0.05$)。クエン酸 (31.1 mg/100 g) はカキに最も多く含まれていた ($P < 0.05$)。リン酸はムール貝に最も多く含まれており, カキが最も少なかった ($P < 0.05$)。

第 5 項 TAV

Table 4-6 にムール貝, カキ, ハマグリおよびアサリの TAV と EUC を示す。FAA の TAV については, ムール貝は Glu だけが 1 より高い値を示したが, カキ, ハマグリおよびアサリでは, Glu に加えて Asp と Ala で, 1 以上の値を示した。さらに, カキは Pro が, アサリは Gly が 1 以上を示した。Glu の TAV を比較すると, ムール貝の 3.65 とアサリの 5.15 に比べてハマグリの 12.88 とカキの 11.95 は, 著しく高く ($p < 0.05$), ハマグリとカキは Glu が特別に呈味への寄与が大きい。ハマグリの Ala の

TAV は 4.75 を示し，カキ，アサリおよびムール貝より有意に高かった ($p < 0.05$)。

うま味ヌクレオチドの IMP および AMP の TAV を Table 4-6 に示す。IMP では，ムール貝 (1.32) およびアサリ (1.89) はカキとハマグリよりも有意に高い値であった ($P < 0.05$)。AMP では，ムール貝 (1.37) はカキ，ハマグリおよびアサリよりも有意に高い値となった ($P < 0.05$)。

コハク酸の TAV は，ムール貝，カキ，ハマグリおよびアサリで 1 以上となった (Table 4-6)。ムール貝が最も高くカキが最も低い値となった ($P < 0.05$)。したがって，コハク酸はこれらの貝，特にムール貝の呈味に寄与していた。

第 6 項 EUC

Table 4-6 にムール貝，カキ，ハマグリおよびアサリの EUC を示す。各貝の間に有意差はないが，ムール貝の EUC (4.02 g MSG/100 g) は比較的高かった。

第 7 項 HCA

ムール貝，カキ，ハマグリおよびアサリ中のエキス成分を用いた HCA ヒートマッププロットを Fig. 4-1 に示す。横軸に貝の種類を縦軸にエキス成分のデンドログラムをプロットしたところ，横軸は貝の種類により I，II，III および IV のクラスターに分けられ，それぞれ，ハマグリ，アサリ，ムール貝およびカキが該当した。また，これらの中でムール貝とカキおよびアサリとハマグリが近いクラスターであった。縦軸は A，B，C，および D のクラスターに分けら

れ，クラスターAに分類されたProやHisなどがカキで多く含まれ，アサリとハマグリで少なかった。クラスターBに分類されたGluや全FAAは，ハマグリおよびカキで多く，ムール貝およびアサリで少なかった。クラスターCに分類されたコハク酸やAMPなどは，ムール貝で多く，その他の貝で少なかった。クラスターDに分類されたGlyおよびIMPなどは，アサリで多く，その他の貝で少なかった。

第4節 考察

ムール貝 (Fuentes et al., 2009) とカキ (米田ら, 2012) の身入りは，それぞれ26～34%および20%以上と報告されている。ポルトガル産ムール貝では，水分および灰分はそれぞれ79.0～87.6%および1.5～3.4%と報告されており (Fuentes et al., 2009; Oliveira et al., 2015)，水分は本結果より高く，灰分は同程度であった。

NPNは，FAAのような水溶性窒素分量を反映していると考えられているが (Sakaguchi and Murata, 1989)，ムール貝とアサリの全FAAは少ない結果となったこと，および両貝のNPNが少なかったことに関連があると思われる。第2章において，ムール貝の全FAAは一年を通して1153～2025 mg/100 gの範囲にあることを示している。一方，ホタテ貝の全FAAは，2000～3000 mg/100 g (木村ら, 2002) およびアワビの全FAAは1866～3820 mg/100 g (Watanabe et al., 1992)の範囲にあることが報告されている。また，スペイン産とポルトガル産のムール貝では，全FAAは，3451～7153 mg/100 gの範囲にあるこ

とが示されており (Fuentes et al., 2009 ; Oliveira et al., 2015), 両者の全 FAA は本結果よりも約 2~5 倍多く含まれている (Table 4-3)。したがって, 広島産のムール貝の全 FAA は, 他の種類の貝類に加えて, スペイン産やポルトガル産のムール貝よりも少ない結果であった。

個々の FAA で比較すると, ムール貝に含まれる FAA の特徴は, Glu, Asp, Ala および Gly などうま味や甘味に関与するアミノ酸が他の貝に比べて少ない (Table 4-3)。さらに, スペイン産およびポルトガル産のムール貝に含まれる Glu, Ala および Gly は, 本論文のムール貝に含まれるそれらよりも 3 倍以上多く含まれている (Fuentes et al., 2009 ; Oliveira et al., 2015)。したがって, ムール貝に含まれる全 FAA および Glu, Asp, Ala や Gly のような呈味に影響する FAA は, カキ, ハマグリおよびアサリよりも少なく, またスペイン産やポルトガル産のムール貝よりも少ない。本研究の結果は, 広島産のムール貝についてであり, 今後は国内の他産地のものと比較することが必要である。一方, それぞれの貝に含まれるアミノ酸の特徴は, Ala はハマグリに多く含まれる (Chiou et al., 1998), Pro, β -Ala およびオルチニンはカキに多く含まれる (米田ら, 2012), Gly はアサリに多く含まれる (鴻巣ら, 1965) ことが報告されており, 本結果と同じ傾向を示した。鴻巣ら (1965) は, アサリには IMP が $1.03 \mu\text{mol/g}$ と比較的多く含まれることを報告している。また第 2 章において, ムール貝の AMP および IMP は, 「旬」である 7~10 月にそれぞれ $1.59 \sim 3.42 \mu\text{mol/g}$ および $0.79 \sim 1.06 \mu\text{mol/g}$ 含まれることを示した。これらの結果は, うま味ヌクレオチド (IMP および

AMP) は、ハマグリとカキよりもムール貝とアサリに多く含まれていると考えられる。

ムール貝，カキ，ハマグリおよびアサリには，コハク酸が比較的多く含まれており (Table 4-5)，特にムール貝には最も多く含まれることが明らかとなった。その他に，ムール貝には，酢酸，リンゴ酸，クエン酸および乳酸が比較的多く含まれていたが，それぞれの閾値は 12.02，49.6，49.9 および 4505 mg/100 mL (Meyer et al., 2016) であり，ムール貝に含まれている量より高いためムール貝の呈味への影響は少ないと思われる。

アミノ酸の TAV において，ムール貝は Glu だけが 1 以上を示していることから，Glu が呈味に寄与しているが，その他のアミノ酸の寄与は低いと考えられる。ハマグリは，Glu だけでなく Asp と Ala が 1 以上を示していることからこれらのアミノ酸が呈味に寄与している。さらに，カキは Pro が 1 以上，アサリは Gly が 1 以上を示したことから，それぞれの呈味に寄与している。TAV の比較をすると，Glu では，ムール貝の 3.65 とアサリの 5.15 に比べて，ハマグリとカキの 12.88 とカキの 11.95 は著しく高く ($P < 0.05$)，ハマグリとカキは Glu によるうま味への寄与が特に大きい。さらに，Ala の TAV はハマグリで 4.75 と最も高く，ハマグリとカキは Glu によるうま味への寄与が特に大きい。さらに，Ala の TAV はハマグリで 4.75 と最も高く，ハマグリとカキは Glu によるうま味への寄与が特に大きい。さらに，Ala の TAV はハマグリで 4.75 と最も高く，ハマグリとカキは Glu によるうま味への寄与が特に大きい。

うま味ヌクレオチド (IMP および AMP) の TAV に関しては，ムール貝では IMP および AMP で 1 以上，アサリでは IMP で 1 以上となったことから，ムール貝とアサリのうま味に寄与していると言える。

コハク酸は，貝類の中でうま味成分の一つとされており (鴻巣ら，

1965 ; Spurvey et al., 1998 ; Schlichtherle and Grosch, 1998), いずれの貝でも 1 以上の TAV を示した。また, 魚種は異なるが, Zang et al. (2019) は, フグの合成エキスからコハク酸を除くと, うま味とこく味が減少することを示している。これらのことから, コハク酸は貝の呈味に寄与していると考えられ, 特にムール貝ではコハク酸の TAV が 3.93 と高く, ムール貝の呈味への寄与は大きいと考えられる。

EUC はうま味アミノ酸 (Glu と Asp) とうま味ヌクレオチド (IMP と AMP) 間の相乗効果を考慮に入れた MSG 相当量である (Yamaguchi et al., 1971)。それぞれの貝の EUC は, 2.57 ~ 4.82 mg MSG/100 g の範囲にあり有意差はなかった (Table 4-6)。しかしながら, ムール貝では Glu の TAV が他の貝より有意に低い値であったことを考えると, ムール貝の EUC は相乗効果によって大きくなったことを示している。また, ムール貝と同様にアサリについても多く含まれる IMP が EUC の高い値に寄与している。Fuke and Ueda (1996) は, AMP (100 mg/100 mL) にわずかな IMP (4 mg/100 mL) が存在すると, うま味, 甘さおよび複雑さが増加することを示している。Table 4-4 におけるムール貝の AMP および IMP を重量濃度に換算すると, AMP が 118.8 mg/100g, IMP が 27.5 mg/100g となり, 報告されている値以上になることから EUC では表すことのできない呈味への寄与が存在していると思われる。さらに, Kawai et al. (2002) は, 0.5 mM の IMP に甘味を呈するアミノ酸 (Ala, Gly および Ser) 50 mM に加えると, うま味を強めることができるとしている。さらに, ホタテ貝エキスから Gly および Ala を除くと, うま

味や甘味が減少することが示されている（渡辺ら，1990）。これらの報告からすると，ムール貝の Ala および Gly の TAV は 1 以下で呈味への効果は少ないが，AMP および IMP の存在が甘味やうま味を高めることに寄与しているかもしれない。

HCA による解析によって，エキス成分の特徴により貝を分類することができた。4 つの貝のエキス成分組成が異なり，ムール貝（クラスターⅢ）は，クラスターC に分類される AMP，コハク酸，Tyr などが多く含まれるとともに，クラスターB に分類される Tau，Glu および Ala が少ないことを特徴としている。一方，呈味に関与する成分だけを比較すると，ムール貝は他の 3 種の貝と共通して多く含まれるエキス成分が少なく，他の貝と呈味性が異なっていることが示唆される。今後は，定量的記述分析法（今村，2012）を用いて，官能的にムール貝と他の貝類との味の特徴の違いを明らかにするとともに，本論文の分析値に基づき，ムール貝の合成エキスを調製し，オミッショントテストやアディショントテスト（Kubota et al, 2012）によりムール貝の味に関与する成分を特定する必要がある。

第 5 節 小括

日本で食されることの少ないムール貝について，その特徴を明らかにする目的で，カキ，ハマグリおよびアサリのエキス成分と比較し，ムール貝のおいしさを科学的な側面から評価を試みた。その結果，ムール貝の全 FAA はカキとハマグリに比べて少なかった。また，呈味に関係する Glu，Ala および Gly についても他の貝に比べて少なかった。しかしながら，うま味アミノ酸（Glu および

Asp) とうま味ヌクレオチド (AMP および IMP) から計算される EUC で比較すると、他の貝以上の値が得られた。また、コハク酸の量は、他の貝よりも有意に多く含まれ、その TAV は 4 を示した。HCA の結果、4 種類の貝がそれぞれ異なるクラスターに属した。また、ムール貝の組成は、どちらかというとかきに近く、AMP、コハク酸、Tyr が多く含まれ、Tau、Glu、Ala が少ない特徴を有することが明らかとなった。したがって、ムール貝のエキス成分組成は、他の貝類と異なり、そのうま味の発現にアミノ酸とうま味ヌクレオチドとの相乗効果とコハク酸がより大きく寄与していると示唆された。

Table 4-1 The information of four kinds of shellfishes purchased from market

Fished place	Mussel	Oyster	Hard clam	Short-necked clam
Sample date*	Hiroshima 2019/9/25	Hiroshima 2020/3/24	Chiba 2020/3/24	Hiroshima 2019/10/2
Whole weight (g)	15.5 ±3.7	121.4 ±20.4	101.2 ±2.8	14.8 ±1.6
Meat (g)	5.4 ±1.4	30.0 ±8.0	21.6 ±3.1	3.4 ±0.7
Meat yield (%)**	34.0 ±2.5	24.8 ±0.8	21.3 ±1.3	23.4 ±0.9

The values are expressed as mean ± SD [$n = 10$ (mussels and short-necked clams) ; $n = 5$ (oysters and hard clams)].

* Date is the day reached from market.

** Meat yield (%), meat weight/whole weight × 100

Table 4-2 Comparison of moisture, ash, non-protein nitrogen (NPN), total nitrogen and glycogen among four kinds of shellfishes

	mussel	oyster	hard clam	short-necked clam
Moisture (g/100 g)	77.4 ±0.7 ^b	74.4 ±0.5 ^a	78.2 ±1.1 ^b	81.9 ±0.5 ^c
Crude protein (g/100 g)	10.9 ±2.0	10.7 ±2.3	13.0 ±0.4	12.0 ±0.9
Ash (g/100 g)	2.41 ±0.28 ^b	1.98 ±0.10 ^{ab}	1.85 ±0.18 ^a	2.26 ±0.05 ^{ab}
NPN (mg/100 g)	440 ±19 ^a	801 ±132 ^b	844 ±29 ^b	512 ±23 ^a
Glycogen (mg/100 g)	145 ±13 ^b	232 ±36 ^c	199 ±48 ^b	45 ±7 ^a
pH	6.03 ±0.06 ^a	6.14 ±0.04 ^a	6.51 ±0.04 ^c	6.19 ±0.07 ^b

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 4-3 Comparison of free amino acids among four kinds of shellfishes (mg/100 g wet meat)

	Mussel	Oyster	Hard clam	Short-necked clam
Ammonia	2.5 ±0.4 ^a	2.6 ±0.2 ^a	2.3 ±0.4 ^a	5.3 ±0.2 ^b
Histidine	23.5 ±4.2 ^b	47.4 ±7.7 ^c	7.2 ±0.7 ^a	6.7 ±0.8 ^a
Asparagine	28.0 ±8.7 ^b	93.8 ±14.9 ^c	4.5 ±0.5 ^a	1.2 ±0.1 ^a
Taurine	594.1 ±102.1 ^a	1043.6 ±197.5 ^{bc}	1435.7 ±234.0 ^c	757.0 ±37.1 ^{ab}
Serine	122.3 ±22.2 ^b	132.0 ±37.1 ^b	91.4 ±10.5 ^{ab}	54.9 ±1.7 ^a
Glutamine	57.4 ±14.0 ^b	170.4 ±19.3 ^c	26.4 ±3.9 ^{ab}	19.1 ±2.0 ^a
Arginine	135.8 ±11.9 ^a	94.5 ±38.9 ^a	264.9 ±38.4 ^b	77.6 ±3.8 ^a
Glycine	134.0 ±17.9 ^{ab}	101.1 ±16.6 ^a	167.0 ±26.2 ^b	218.2 ±14.7 ^c
Aspartic acid	51.3 ±12.1 ^a	97.6 ±10.4 ^b	77.8 ±14.8 ^{ab}	77.8 ±4.1 ^{ab}
Glutamic acid	59.1 ±12.1 ^a	193.3 ±30.0 ^b	208.5 ±17.0 ^b	83.4 ±1.8 ^a
β -Alanine	7.3 ±2.0 ^a	45.7 ±7.8 ^b	1.5 ±0.1 ^a	2.5 ±0.2 ^a
Threonine	33.7 ±7.5 ^b	65.5 ±9.5 ^c	9.6 ±0.9 ^a	5.2 ±0.7 ^a
Alanine	84.2 ±10.5 ^a	177.4 ±33.8 ^b	508.3 ±38.7 ^c	120.0 ±10.7 ^{ab}
Proline	32.6 ±1.7 ^a	324.7 ±52.9 ^b	8.2 ±0.8 ^a	11.3 ±6.3 ^a
Ornithine	8.6 ±1.8 ^b	13.1 ±2.3 ^c	0.5 ±0.4 ^a	3.5 ±0.5 ^a
Cysteine	0.5 ±0.3 ^{ab}	0.2 ±0.1 ^a	1.3 ±0.0 ^c	0.7 ±0.0 ^b
Lysine	38.7 ±2.7 ^b	38.3 ±13.0 ^b	15.9 ±1.2 ^a	13.9 ±1.1 ^a
Tyrosine	35.1 ±5.6 ^c	17.2 ±6.5 ^b	8.3 ±1.3 ^{ab}	4.4 ±0.4 ^a
Methionine	6.5 ±1.1 ^{ab}	9.4 ±5.4 ^b	3.8 ±0.7 ^{ab}	2.1 ±0.1 ^a
Valine	9.3 ±1.9 ^{ab}	16.7 ±6.3 ^b	6.3 ±0.4 ^a	4.2 ±0.4 ^a
Isoleucine	7.1 ±1.4 ^{ab}	11.1 ±4.4 ^b	4.4 ±0.3 ^a	3.3 ±0.3 ^a
Leucine	8.8 ±1.6 ^a	21.5 ±9.0 ^b	7.1 ±0.7 ^a	4.6 ±0.5 ^a
Phenylalanine	7.8 ±1.3	9.3 ±4.9	6.0 ±0.4	2.6 ±0.3
Total	1488.3 ±219.4 ^a	2723.8 ±519.1 ^b	2864.6 ±342.7 ^b	1474.1 ±41.3 ^a

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 4-4 Comparison of ATP related compounds among four kinds of shellfishes ($\mu\text{mol/g}$ wet meat)

	Mussel	Oyster	Hard clam	Short-necked clam
ATP	0.52 \pm 0.33	0.70 \pm 0.07	0.70 \pm 0.10	0.53 \pm 0.07
ADP	1.99 \pm 0.94	1.10 \pm 0.04	1.32 \pm 0.23	1.16 \pm 0.06
AMP	3.42 \pm 0.64 ^b	0.70 \pm 0.04 ^a	1.09 \pm 0.12 ^a	0.60 \pm 0.03 ^a
IMP	0.79 \pm 0.34 ^{bc}	0.27 \pm 0.07 ^{ab}	0.07 \pm 0.02 ^a	1.14 \pm 0.19 ^c
AdR	0.05 \pm 0.01 ^b	0.35 \pm 0.06 ^a	0.24 \pm 0.03 ^a	0.25 \pm 0.04 ^a
HxR	0.18 \pm 0.04 ^b	0.17 \pm 0.02 ^b	0.10 \pm 0.03 ^b	0.29 \pm 0.03 ^a
Ad	0.30 \pm 0.11 ^b	1.43 \pm 0.40 ^b	0.90 \pm 0.23 ^b	6.67 \pm 1.55 ^a
Hx	0.24 \pm 0.03 ^b	0.12 \pm 0.01 ^b	0.15 \pm 0.05 ^b	0.47 \pm 0.07 ^a
Total	7.48 \pm 0.16 ^a	4.84 \pm 0.35 ^a	4.57 \pm 0.77 ^a	11.11 \pm 1.76 ^b

The values are expressed as mean \pm SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 4-5 Comparison of organic acids among four kinds of shellfishes (mg/100 g wet meat)

	Mussel	Oyster	Hard clam	Short-necked clam
Phosphoric acid	198.6 ±49.1 ^c	39.6 ±7.8 ^a	135.7 ±9.6 ^{bc}	87.3 ±4.9 ^{ab}
Citric acid	8.7 ±1.8 ^a	31.1 ±4.9 ^b	5.0 ±0.9 ^a	6.4 ±0.9 ^a
Malic acid	40.6 ±29.0	20.2 ±0.9	43.2 ±2.9	25.0 ±1.5
Succinic acid	41.7 ±2.3 ^c	12.4 ±1.4 ^a	22.2 ±7.2 ^{ab}	25.1 ±1.1 ^b
Lactic acid	42.7 ±3.9	40.0 ±3.6	38.7 ±1.3	35.3 ±3.9
Acetic acid	10.4 ±2.3 ^b	6.9 ±1.4 ^{ab}	5.1 ±1.0 ^a	6.2 ±1.0 ^a
Pyroglutamic acid	31.4 ±17.8	27.2 ±10.1	24.0 ±3.8	24.0 ±3.8
Propionic acid	11.2 ±1.0 ^b	0.0 ±0.0 ^a	0.0 ±0.0 ^a	0.0 ±0.0 ^a

The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

Table 4-6 Comparison of the taste active values (TAVs) and the equivalent umami concentration (EUC) among four kinds of shellfishes

Extractive components	Taste attribute ¹⁾	Threshold ²⁾ (mg/100 g)	Shellfishes			
			Mussel	Oyster	Hard clam	Short-necked
Histidine	Bitter (-)	698.2	0.03 ±0.01	0.07 ±0.01	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00
Serine	Sweet/bitter/sour (+)	262.7	0.47 ±0.08	0.50 ±0.14	0.35 ±0.04	0.21 ±0.01
Arginine	Bitter (-)	1306.5	0.10 ±0.01	0.07 ±0.03	0.20 ±0.03	0.06 ±0.00
Glycine	Sweet (+)	187.7	0.71 ±0.10 ^{ab}	0.54 ±0.09 ^a	0.89 ±0.14 ^b	1.16 ±0.08 ^c
Aspartic acid	Umami (+)	53.2	0.96 ±0.23 ^a	1.83 ±0.20 ^b	1.46 ±0.28 ^{ab}	1.46 ±0.08 ^{ab}
Glutamic acid	Umami (+)	16.2	3.65 ±0.75 ^a	11.95 ±1.84 ^b	12.88 ±1.05 ^b	5.15 ±0.11 ^a
Threonine	Sweet (+)	416.9	0.08 ±0.02	0.16 ±0.02	0.02 ±0.00	0.01 ±0.00
Alanine	Sweet (+)	106.9	0.79 ±0.10 ^a	1.66 ±0.32 ^b	4.75 ±0.36 ^c	1.12 ±0.10 ^{ab}
Proline	Sweet/bitter (+)	287.8	0.11 ±0.01 ^a	1.13 ±0.18 ^b	0.03 ±0.00 ^a	0.04 ±0.02 ^a
Lysine	Sweet/bitter (-)	1169.5	0.03 ±0.00	0.03 ±0.01	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00
Tyrosine	Bitter (-)	72.5	0.48 ±0.08	0.24 ±0.09	0.12 ±0.02	0.06 ±0.01
Methionine	Bitter/sweet (-)	74.6	0.09 ±0.01	0.13 ±0.07	0.05 ±0.01	0.03 ±0.00
Valine	Bitter/sweet (-)	351.5	0.03 ±0.01	0.05 ±0.02	0.02 ±0.00	0.01 ±0.00
Isoleucine	Bitter (-)	131.2	0.05 ±0.01	0.08 ±0.03	0.03 ±0.00	0.03 ±0.00
Leucine	Bitter (-)	144.3	0.06 ±0.01	0.15 ±0.06	0.05 ±0.00	0.03 ±0.00
Phenylalanine	Bitter (-)	743.4	0.01 ±0.00	0.01 ±0.01	0.01 ±0.00	0.00 ±0.00
5'-IMP	Umami (+)	20.9	1.32 ±0.64 ^{bc}	0.44 ±0.14 ^{ab}	0.11 ±0.05 ^a	1.89 ±0.02 ^c
5'-AMP	Umami (+)	86.8	1.37 ±0.36 ^b	0.23 ±0.02 ^a	0.43 ±0.06 ^a	0.24 ±0.03 ^a
Succinic acid	Sour/Umami (+)	10.6	3.93 ±0.22 ^c	1.17 ±0.13 ^a	2.09 ±0.68 ^{ab}	2.36 ±0.11 ^b
EUC (g MSG/100 g)	-	-	4.02 ±2.42	3.46 ±0.27	2.57 ±0.24	4.82 ±0.97

¹⁾ Taste attribute; +, pleasant; -, unpleasant (Shallenberger et al. 1993), ²⁾ Taste threshold values (mg/100 g) (Meyer et al. 2016). The values are expressed as mean ± SD of triplicate determinations ($n = 3$). Different letters in the same column indicate a significant difference ($P < 0.05$).

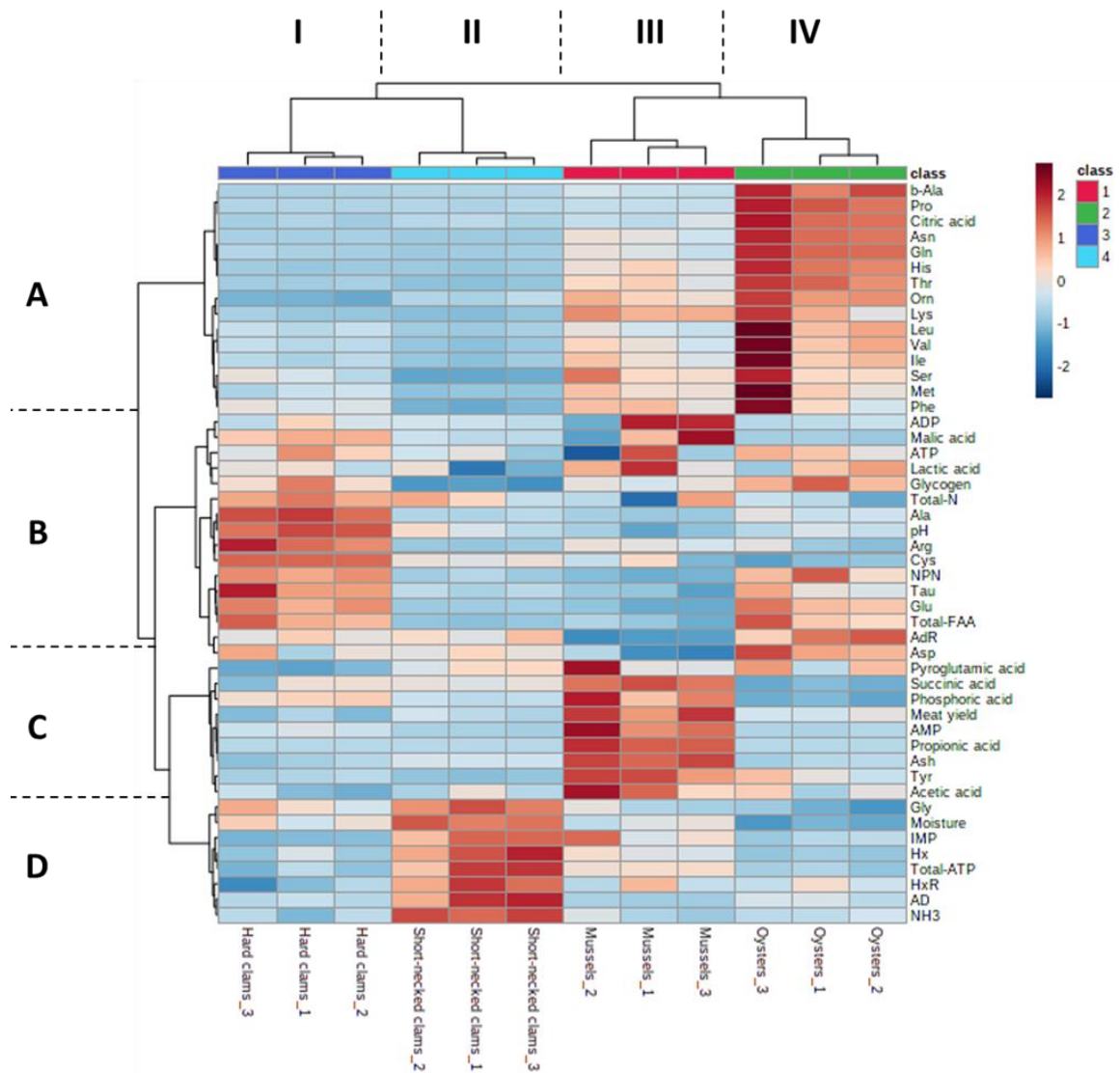


Fig. 4-1 Heat map visualization and hierarchical clustering on the analyzed values of shellfishes. Data were autoscaled between 0 (mean) and 1 (standard deviation). The color scale indicates a relative value (blue, low value; red, high value). The class indicates I, Hard clams; II, Short-necked clams; III, Mussels; IV, Oysters.

第 5 章 総括

本研究では，広島湾で生産されたムール貝のエキス成分を分析し，ムール貝の「旬」（第 2 章）および氷蔵中の活ムール貝の品質変化を明らかにした（第 3 章）。さらに，ムール貝のエキスと他の貝のそれらを比較することで，ムール貝の味の特徴を明らかにした（第 4 章）。以下に第 2 章および第 3 章並びに第 4 章について総括する。

第 1 節 ムール貝のエキス成分の季節変動

一年間を通して身入りやグリコーゲンの測定に加え，FAA，ATP 関連物質および有機酸などのエキス成分の分析から，ムール貝のおいしい季節，「旬」を考察した。

ムール貝の身入りは 2 月から増加し，11 月に急激に低下した。同じ傾向はグリコーゲンでも見られた。春先にエサとなるプランクトンが増えて身が充実し，晩秋に生殖期を迎えることで身入りが低下することが示唆された。また，ムール貝の全 FAA は 5 月から増加することが観察され，ムール貝の産卵が終了する時期と一致していた。この時，多くの FAA が冬期に減少し，夏に増加していたが，Tau と Gly は夏季に減少し，冬季に増えた。Glu および Asp は一年を通して変動は少なかった。さらに，ATP 関連物質では，総量，IMP および AMP は 6～10 月に増えた。

これらのエキス成分の変動を TAV によって評価したところ，うま味および甘味を呈するエキス成分の中で，Glu が一年を通して 4～6，Ala は 5 月から 8 月に 1 より高い値となった。うま味ヌクレオチド（IMP および AMP）は，7～10 月に 1 より大きくなった。コハク酸は一年を通して 2～4 と安定して高い値を示した。一方，

相乗効果によるうま味の強さを EUC で比較したところ、7～10 月に 3～5 g MSG/100 g の高い値を示したが、11～6 月は 1～3 g MSG/100 g と比較的低い値となった。

したがって、うま味および甘味に寄与する多くのエキス成分が増える、夏から初秋のムール貝は、呈味と身入りが優れている。これまであいまいだったムール貝の旬を夏から初秋とすることができた。

第 2 節 氷蔵中の活ムール貝のエキス成分の変化

活ムール貝は、氷蔵で流通されていることが多いが、比較的品質劣化が早いとされている。そこで、氷蔵中に起こる活ムール貝の品質変化を明らかにする目的で、活ムール貝の氷蔵中におけるエキス成分の変化を検討した。

活ムール貝を 13 日間氷蔵したところ、生菌数の増加および代謝産物の変化が観察された。この期間に、味に関与する成分である Glu, Ala, AMP およびコハク酸はほとんど変化しなかったが、Asp, Gly および IMP は徐々に減少した。

味への寄与を TAV で評価すると、Glu およびコハク酸はそれぞれ 4～6 および 3 以上を維持して特にうま味に強く寄与していることが推察された。その他に Ala および AMP も 1 以上を維持し呈味に寄与していた。

一方、EUC は氷蔵期間に徐々に低下し、うま味が弱まることが示唆された。

HCA による評価では、ムール貝は氷蔵 0 日および 1 日目に高い品質を保持し、その後うま味やおいしさは徐々に低下していることが示唆された。

このことは、氷蔵におけるムール貝の賞味期限が 3 日間程度とされていることと一致していたが、活貝として市場に流通させる場合、氷蔵では比較的早く品質低下が起こる。今後活貝流通方法の改善が望まれる。

第 3 節 ムール貝と他の貝のエキス成分の比較

日本で食されることの少ないムール貝について、その特徴を明らかにする目的で、カキ、ハマグリおよびアサリのエキス成分と比較し、ムール貝のおいしさを科学的な側面から評価を試みた。

ムール貝の全 FAA は、カキおよびハマグリのそれらより少なかった。TAV として 1 以上を示す FAA は、ムール貝が Glu だけであったが、カキで Glu, Asp, Ala および Pro, ハマグリで Glu, Asp および Ala, アサリで Glu, Asp, Gly および Ala となった。このようにムール貝以外では、多くの FAA がそれぞれの貝の呈味に寄与していた。特に、ハマグリおよびカキの Glu は、ムール貝の 4 に対して 12 となり著しく高い値であった。うま味ヌクレオチドについては、ムール貝には、他の貝に比べて IMP および AMP が多く含まれており、いずれも TAV として 1 以上となった。アサリについても、IMP が多く含まれており、1 以上となった。コハク酸は、いずれの貝においても 1 以上となったが、特にムール貝は 4 と高い値であり、呈味に強く寄与していると考えられる。

EUC としてうま味を評価したところ、4 種の貝間で有意差は見られなかったが、ムール貝およびアサリで比較的高い値となった。ムール貝およびアサリにはうま味ヌクレオチドが多く含まれており、

その相乗効果の影響で EUC が高くなっていた。

一方、HCA プロットによって、それぞれの貝のクラスターの特徴を比較すると、4種類の貝がそれぞれ別々のクラスターに分類され、ムール貝は、AMP、コハク酸、Tyr などが多く含まれるとともに、Tau、Glu および Ala が少ない特徴があった。したがって、ムール貝のエキス成分は、他の貝とは異なった組成をしており、その味にうま味ヌクレオチド（AMP および IMP）とうま味アミノ酸（Glu）の相乗効果が関与するとともに、コハク酸が寄与していると評価された。

本研究によって、広島のムール貝に関してにいくらかの知見が得られたが、一方では課題も明らかとなった。すなわち、ムール貝を流通させるにあたって、氷蔵が一般的になっているが、おいしく食べられる期間が数日と短い。これを改善することができれば、生産者と消費者の両方にメリットが得られる。また、ムール貝単独のエキスであっても、そのエキスの組成から見ると、おいしさを発揮できる組成となっている。このことはこれまで報告されておらず、ムール貝のおいしさの一端を明らかにすることができた。今後はムール貝の消費量が増えるようムール貝に関する情報提供や新たな研究で応援していきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり，終始貴重なご指導と御助言を賜りました，県立広島大学地域創生学部地域創生学科，谷本昌太教授に厚くお礼申し上げます，同時に深甚な感謝の意を捧げる次第であります。

また山陽女子短期大学，岡崎尚教授にも多くの御指導，御鞭撻を頂き，深く感謝申し上げます。

本学位論文の審査にあたり，県立広島大学地域創生学部地域創生学科の北台靖彦教授，県立広島大学生物資源科学部地域資源開発学科の馬淵良太准教授，県立広島大学生物資源科学部地域資源開発学科の山本幸弘准教授には多くの御助言，御指導をいただき心よりお礼申し上げます。

実験に際し，様々な分析作業を手伝っていただきました，県立広島大学地域創生学部古田歩助教，谷本研究室の王潤様にはお礼を申し上げます。また，広島県立総合技術研究所水産海洋技術センターの川口修副主任研究員にご協力をいただき，心から感謝いたします。

参考文献

- 石田惣，岩崎敬二，櫛原康裕（2005）ムラサキイガイの初侵入年代と分布拡大過程—古川田溝氏の標本による推断．VENUS，**64**，151-159．
- 今村 美穂（2012），記述型の官能評価／製品開発における QDA 法の活用，化学と生物，**50**，818-824．
- 白石淳，坂本薫，澄川精吾，藤井久雄（1986）ムラサキイガイおよびその各部分の一般成分の季節的变化．日本家政学会誌，**37**，661-666．
- 内橋潔（1939）日本群島に於けるむらさきいがいの新分析．兵庫県水産場試験報告，**1**，5-8．
- 飯岡邦夫，中野弥，石母田四郎，長山キエ，佐藤昶（1964）アカザラ貝の毒性について（第2報）1963年における毒性変化．日本食品衛生学会誌，**5**，391-394．
- 菊池弘太郎，古田岳志（2002）養魚飼料添加物としてのムラサキイガイ分解・抽出物の効果．電力中央研究所報告・研究報告，**01034**，1-19．
- 木村稔，今村琢磨，成田正直，潮秀樹，山中英明（2002）ホタテ貝柱成分の季節変化．日本水産学会誌，**68**，72-77．
- 楠木豊（1968）広島湾におけるムラサキイガイの付着状況．水産増殖，**16**，16-18．
- 鴻巣章二，藤本健四郎，高島良子，松下輝子，橋本芳郎（1965）アサリのエキス成分ならびに蛋白のアミノ酸組成．日本水産学会誌，**31**，680-686．
- 鴻巣章二，柴生田正樹，橋本芳郎（1967）貝類の有機酸，とくにコ

- ハク酸含量について. 栄養と食料, **20**, 186-189.
- 鴻巣章二, 品川明 (1988) 無脊椎動物の含窒素エキス成分. 魚介類のエキス成分 (坂口守彦編), 恒星社厚生閣, 東京, 9-24.
- 坂口守彦 (2001) 魚介類の含窒素低分子成分のおいしさ. 日本水産学会誌, **67**, 787-793.
- 山口勝己, 渡辺勝子 (1988) 呈味成分としてのエキス. 「魚介類のエキス成分」坂口守彦編, 恒星社厚生閣, p104-115.
- 鹿間時夫 (1964) 続世界の貝. 北隆館, 東京, p41-43.
- 食品衛生法 (2015) 食安発 0306 第 1 号
- 杉浦靖夫 (1959) ムラサキイガイの生殖腺の周年変化. 日本水産学会誌, **25**, 1-6.
- 澄川精吾, 坂本薫, 白石淳 (1985) ムラサキイガイにおける身入りの季節的变化. 日本家政学会誌, **36**, 229-233.
- 高田久美子, 妹尾正澄, 東久保靖, 高辻英之, 高山晴義, 小川博美 (2004) マガキ, ホタテガイおよびムラサキイガイにおける, 麻痺性貝毒の蓄積と減毒の差異. 日本水産学会誌, **70**, 598-606.
- 武恒子, 吉村洋子, 大塚一止 (1967) 各種食品中の呈味成分に関する研究 (第 10 報) ずわいがにの呈味成分について. 日本家政学雑誌, **18**, 209-212.
- 谷本昌太, 青山康司, 岡崎尚 (2004) 市販品と同じ条件で冷蔵したカキむき身の核酸関連物質および有機酸の変化. 広島県立食品工業技術センター報告, **23**, 9-14.
- 土井勝 (1985) 日本料理全書 (上). p232-235, 246-249.
- 東京中央卸売市場 (2021/12/20) 市場統計情報,

<https://www.shijoutokei.metro.tokyo.lg.jp/>

(2021/12/25).

日本食品工業学会食品分析法編集委員会 (1992) 日本食品分析法, 光琳, 東京, p102-105.

農林水産省食文化ポータルサイト (2022/2/16)

https://www.maff.go.jp/j/keikaku/syokubunka/k_ryouri/search_menu/menu/igai_meshi_tottori.html

(2022/2/16).

農林水産省・食品別規格基準 (2022/2/16) 生食用かき,

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoushokuhin/jigyousya/shokuhin_kikaku/index.html

(2022/2/16)

広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター (2020) 事業報告 (浅海定線海洋観測表), 26-38.

古瀬浩史, 風呂田利夫 (1984) 東京湾奥部における潮間帯付着動物の分布生態. 付着生物研究, **5**, 1-6.

フランソワ・ドモンジョ (2000) フランスの料理法に見るカキとムール貝. ヴェスタ, **39**, 45-50.

宮田秀明 (1999) ダイオキシン. 岩波新書, 東京

安田徹 (1967) 福井県丹生浦湾における汚損生物-II (ムラサキイガイの産卵期について). 水産増殖, **15**, 31-38.

米田千恵, 笠松千夏, 村上知子, 畑江敬子. 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. 日本調理科学学会誌. 2012;45:339-345.

米田千恵, 井上あゆみ. アサリ冷蔵貯蔵中の鮮度変化. 日本食生活学

会誌.2018;29:35-43.

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**, 439-360.

波部忠重 (1977) 日本産軟体動物分類学 (二枚貝綱). 北隆館, 東京, p51.

An L, Yuan Y, Ma J, Wang H, Piao X, Ma J, Zhang J, Zhou L, Wu X (2019) NMR-based metabolomics approach to investigate the distribution characteristics of metabolites in *Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun. *Food Chem*, **298**, 125063-125069.

Bongiorno T, Iacumin L, Tubaro F, Marcuzzo E, Sensidoni A, Tulli F (2015) Seasonal changes in technological and nutritional quality of *Mytilus galloprovincialis* from suspended culture in the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). *Food Chem*, **173**, 355-362.

Çelik MY, Karayücel S, Karayücel I, Öztürk R, Eyüboğlu B (2012) Meat Yield, Condition Index, and Biochemical Composition of Mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) in Sinop, South of the Black Sea. *J Aquat Food Prod Technol*, **21**, 198-205.

Chen DW, Zhang M (2007) Non-volatile taste active

- compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Food Chem*, **104**, 1200-1205.
- Chiang PD, Yen CT, Mau JL (2006) Non-volatile taste components of canned mushrooms. *Food Chem*, **97**, 431-437.
- Chiou TK, Lin JF, Shiau CY (1998) Changes in extractive components and glycogen in the edible meat of hard clam *meretrix lusoria* during storage at different temperatures. *Fish Sci*, **64**, 115-120.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022), GLOBEFISH - Information and Analysis on World Fish Trade, [https://www.fao.org/in-action/globefish/fishery-information/en/\(2022/2/16\)](https://www.fao.org/in-action/globefish/fishery-information/en/(2022/2/16))
- Fuke S, Ueda Y (1996) Interactions between umami and other favor characteristics. *Trends Food Sci Technol*, **7**, 407-411.
- Fuentes A, Fernandez-Segovia I, Escriche I, Serra, JA (2009), Comparison of physico-chemical parameters and composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) from different Spanish origins. *Food Chem*, **112**, 295-302.
- Hosomi, A (1978) A Note on the vertical distribution of mussel, *Mytilus galloprovincialis* LAMARCK. *VENUS*, **37**, 205-216.

- Isani G, Cattani O, Zurxolo M, Pagnucco C, Cortesi P (1995) Energy metabolism of the mussel, *Mytilus galloprovincialis*, during long-term anoxia. *Comp Biochem Physiol* **110B**, 103-113.
- Kajihara T, Oka M (1980) Seasonal occurrence of marine mussel plantigrades in Tokyo Harbor. *Fish Sci*, **46**, 145-148.
- Kato, H., Rhue, M. R., & Nishimura, T. (1989). Role of free amino acids and peptides in food taste. In R. Teranishi, R. G. Buttery, & F. Shahidi (Eds.), *Flavor chemistry trends and developments*, pp. 158-174.
- Kawabe S, Takada M, Shibuya R, Yokoyama Y (2010) Biochemical changes in oyster tissues and hemolymph during long-term air exposure. *Fish Sci* **76**, 841-855.
- Kawai M, Okiyama A, Ueda Y (2002) Taste enhancements between various amino acids and IMP. *Chem. Senses*, **27**, 739-745.
- Kawashima K, Yamanaka H (1992) Effects of storage temperatures on the post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi* **58**, 2175-2180.
- Kim TJ, Hyeona H, Park NI, TG Yi, Lim S, Park S, Ha S, Kim JL (2020) A high-throughput platform for

- interpretation of metabolite profile data from pepper (*Capsicum*) fruits of 13 phenotypes associated with different fruit maturity states. *Food Chem*, **331**, 127286-127298.
- Kluytmans JH, De Bont AMT, Janus J, Wijsman TCM (1977) Time dependent changes and tissue specificities in the accumulation of anaerobic fermentation products in the se mussel *Mytillus Edulis* L. *Comp Biochem Physiol*, **58B**, 81-87.
- Kubota S, Itoho K, Niizeki N, Song XA, Okimoto K, Ando M, Murata M, Sakaguchi M (2002) Organic Taste-Active Components in the Hot-Water Extract of Yellowtail Muscle. *Food Sci Technol Res*, **8**, 45-49.
- Lange R (1963) The osmotic function of amino acids and taurine in the mussel *Mytilus edulis*. *Comp Biochem Physiol*, **10**, 173-179.
- Meyer S, Dunkel A, Hofmann T (2016) Sensomics-assisted elucidation of the tastant code of cooked crustaceans and taste reconstruction experiments. *J Agric Food Chem*, **64**, 1164-1175.
- National institute for environmental studies(2021/12/25) Invasive Species of Japan Home, <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/70290e.html>(2021/12/25).

- Natalya SC, Natalya VP, Mark AP (2018) Comparative characteristics of Indigesto Assess the quality of mussel production by an example of cultivated *Mytilus galloprovincialis* (Crimea, the Black Sea). *Turk J Fish & Aquat Sci*, 19, 719-726
- Ninglong Z, Charfedinne A, Wenli W, Yuan L (2019) Sensory-guided analysis of key taste-active compounds in pufferfish (*Takifugu obscurus*). *J Agric Food Chem*, 67, 13809–13816.
- Oliveira AR, Sykes AV, Hachero-Cruzado I, Azeiteiro UM, Esteves E (2015) A sensory and nutritional comparison of mussels (*Mytilus* sp.) produced in NW Iberia and in the Armona offshore production area (Algarve, Portugal). *Food Chem*, 168, 520–528.
- Orban E, Lena GD, Navigato T, Casini I, Marzetti A, Caproni R (2002) Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. *Food Chemistry*, 77, 57-65.
- Page HM, Hubbard DM (1987) Temporal and spatial patterns of growth in mussels *Mytilus edulis* on an offshore platform: relationships to water temperature and food availability. *J Exp Mar Biol*

- Ecol*, **111**, 159-179.
- Patterson RK (1973) Automated Pregl-Dumas technique for determining total carbon, hydrogen, and nitrogen in atmospheric aerosols. *Anal Chem*, **45**, 605-609
- Sakaguchi M, Murata M, (1989) Seasonal variations of free amino acids in oyster whole body and adductor muscle. *Nippon Suisann Gakkaishi*, **55**, 2037-2041.
- Sato T, Ohgami S, Kaneniwa M (2015) Seasonal variations in free amino acids nucleotides-related compounds, and fatty acids and meat yield of the coconut crab *Birgus latro*. *Fish Sci*, **81**, 959-970.
- Schlichtherle-Cerny H, Grosch W (1998) Evaluation of taste compounds of stewed beef juice. *European Food Research and Technology*, **207**, 369-376.
- Shallenberger RS (1993) Taste of amino acids. In: Taste chemistry, London Blackie Academic and Professional, London, p226-233.
- Soga T, Ross G (1999) Simultaneous determination of inorganic anions, organic acids and carbohydrates by capillary electrophoresis. *J Chromatogr A*, **837**, 231-239.
- Spurvey S, Pan B, Shahidi F (1998) Flavour of

shellfish. In F. Shahidi (Ed.), Flavor of meat, meat products, and seafoods (2nd ed., p159-196), London, United Kingdom: Blackie Academic and Professional.

Tiziana B, Lucilla I, Franco T, Eva M, Alessandro S, Francesca T (2015) Seasonal changes in technological and nutritional quality of *Mytilus galloprovincialis* from suspended culture in the Gulf of Trieste. *Food Chem*, **173**, 355-362.

Watanabe H, Yamanaka H, Yamakawa H (1992) Seasonal variations of extractive components in the muscle of disk abalone. *Nippon Suisan Gakkaishi* **58**, 921-925.

Watanabe H, Yamanaka H, Yamakawa H (1992) Post-mortem biochemical changes in the muscle of disk abalone during storage. *Nippon suisann gakkaishi*, **58**, 2081-2088.

Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, Ninomiya T (1971) Measurement of the relative test intensity of some L- α -amino acid and 5-nucleotides. *J. Food Sci*, **36**, 846-849.

Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, Kanamori M (1992) Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage. *Nippon Susan Gakkaishi*, **58**, 2125-2136.

- Yoneda C, Inoue A (2018) Changes of freshness of short-neck clam during cold storage. *J. Integr. Stud. Diet Habits*, **29**, 35-43.
- Zhang N, Ayed C, Wang W, Liu Y (2019) Sensory-Guided Analysis of Key Taste-Active Compounds in Pufferfish. *J Agric Food Chem*, **67**, 13809-13816.
- Zhang Z, Murtagh F, Poucke SV, Lin S, Lan P (2017) Hierarchical cluster analysis in clinical research with heterogeneous study population: highlighting its visualization with R. *Ann Transl Med* **5**, 75-85.