

# 広島湾北部地域で養殖された マガキ (*Crassostrea gigas*) の栄養成分と アミノ酸組成

新 田 由美子

(受付 2017年9月25日)

## 要 旨

地域の食ブランド、「広島かき」の生育海域特異性を明らかにする目的で、広島湾北部海域で養殖したマガキ (*Crassostrea gigas*) の栄養成分を測定し、遊離アミノ酸組成を分析して、機能性成分の観点で考察した。2012年11月～2014年5月に出荷のマガキは出荷シーズンを通じて炭水化物と亜鉛の含有量が大きく、2月に最高となった。糖原アミノ酸4種は全遊離アミノ酸の69.6%を占め、ヒスチジンの含有率も高かった。これらの成分はグリコーゲンと抗細菌ペプチドの合成を亢進するもので、マガキの生殖細胞増殖エネルギーの蓄積と養殖環境へ適応するための生体防御機能の亢進、という生態を推察できた。抗細菌ペプチドを介する生体防御機構は軟体動物からイス、ヒトに共通する。ヒトはマガキを食することで、遊離アミノ酸、亜鉛等の因子を栄養機能成分として摂取できる。

キーワード カキ, 栄養機能食品, 栄養成分組成, アミノ酸組成, defensins

## はじめに

マガキ (*Crassostrea gigas*) (カキ) は固着性かつ濾過食性に棲息する二枚貝で、海岸、河口等の養殖環境において多様な微生物の暴露を受ける (1-3)。近年では、養殖環境に存在するヒト由来の病原体がカキの食品衛生、ヒトの公衆衛生および地球環境保全の研究対象となっている (4-6)。養殖カキは広島県の代表的地域資源の一つで、東日本大震災のあった2011年度には国内総生産量の65.6%を占め、現在まで継続する (7)。一般食品としてのカキの安全性に関する正確な情報発信が求められる。

食品の機能は三つに分類され、栄養面を一次、嗜好面を二次および生体調節面を三次機能という。一および二次機能の発揮物質には糖質、タンパク質および脂質があり、必須アミノ酸や必須脂肪酸が一次機能の、ショ糖やイノシン酸が二次機能の因子例である。一方、三次機能とは免疫系、分泌系、神経系、循環系および消化系の調節で、従来には栄養学的に軽視されてきた成分が因子となり、食品の安全性に関係し、摂取するヒトのゲノム情報と相互作用

用することが明らかになりつつある。カキにおいては、含有するアミノ酸が一次および二次機能、亜鉛が三次機能因子として報告されてきた(8)。

カキを栄養機能食品と位置づけ、養殖環境と季節性に視点を置いて長期に定点観察した報告はなかった。著者らは、餌となるプランクトンの豊富な広島湾北部海域で養殖したカキ(広島湾北部カキ)の一次機能成分を化学的基盤に基づく分類ごとに測定し、出荷月間内変動を報告した(9)。本解析では、マガキは海域特異的な体組成をもつとの仮説をたて、広島湾北部カキの栄養成分を測定し、遊離アミノ酸組成を分析して、機能性成分の観点で考察した。遊離アミノ酸の三次機能に着目し、免疫系および神経系の調節をカキおよびヒトで考察した。

## 材料及び方法

材料：広島湾北部海域で採苗し、9月から直吊育成して11月から翌年5月(シーズン)に出荷したカキを材料とした。

栄養成分分析：各月20日出荷のカキを用いた。生身の水分、タンパク質、脂質、灰分および炭水化物の含量を測定した。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法、脂質はソックスレー抽出法、灰分は直接灰化法を用い、炭水化物は全量から水分、タンパク質、脂質および灰分を除いた値とした。カキ100g当たりのエネルギー量の算出には、換算係数のタンパク質：4.22；脂質：9.41および炭水化物：4.11を用いた。亜鉛と鉄の含有量をICP発光分析法にて測定した。タウリン含有量をアミノ酸自動分析機で測定した(日本電子, JLC-500/V2)。

アミノ酸分析：2013年11月出荷のカキを用いた。生身、茹で身および茹で汁のアミノ酸組成(20種類)を、同分析機で分析した。

組織学的検索：カキの組織標本を作製し、グリコーゲン、ムコ多糖類、カルシウムおよび亜鉛の局在をPAS、アルシアンブルー、渡銀およびジチゾン染色法にて検索した(10)。

## 成 績

栄養成分：2013年出荷シーズンの総エネルギーおよび栄養成分を求めた(表1)。総エネルギーは他産地カキより高く(112~151%)、2012年出荷シーズン平均値との間に有為差はなかった。タンパク質含有量をケルダール法による窒素定量により求めたため、その値は含硫アミノ酸様物質のタウリンを含む。広島湾北部海域カキのタンパク質は、2013年出荷シーズンに平均 $6.9 \pm 0.7\%$ 、2012年出荷シーズンに $8.9 \pm 0.2\%$ のタウリンを含んだ。炭水化物の含有はカキに特徴的で、その量は2月に最大となった(図1-A)。一方、脂質含有量は出荷シー

表1 材料 100 g 中の栄養成分 (平均±標準偏差または誤差)

材料	エネルギー (kcal)	水分 (g)	タンパク質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	灰分 (g)	亜鉛 (mg)	亜鉛/灰分	タウリン (g)	タウリン/ タンパク質
カキ2013シーズン 平均 (n=7)	91.0 ± 1.4	79.0 ± 2.2	9.0 ± 0.9	2.4 ± 0.3	8.4 ± 1.8	1.3 ± 0.1	24.4 ± 5.4	0.019 ± 0.004	0.58 ± 0.06	0.069 ± 0.007
カキ2012シーズン 平均 (n=7)	88.3 ± 6.3	80.4 ± 1.0	8.3 ± 0.4	2.4 ± 0.2	7.5 ± 0.8	1.4 ± 0.1	22.4 ± 4.0	0.016 ± 0.003	0.74 ± 0.03	0.089 ± 0.002
マアジ平均 (n=2)	111 ± 5.0	75.4 ± 0.8	17.6 ± 0.2	3.9 ± 1.2	0.1 ± 0.0	3.1 ± 0.2	n.t. <sup>c)</sup>	-	n.t.	-
イカナゴ (n=1)	127	75.3	15.8	6.4	0.1	2.4	n.t.	-	n.t.	-
カキ (文科省) <sup>a)</sup>	60	85.0	6.6	1.4	4.7	2.3	13.2	0.006	n.s. <sup>d)</sup>	-
USDA Mollusks, oyster, Pacific <sup>b)</sup>	81	82.1	9.5	2.3	5.0	n.s.	16.6	n.s.	n.s.	-
マアジ (文科省) <sup>a)</sup>	121	74.4	20.7	3.5	0.1	1.3	0.7	0.001	n.s.	-
イカナゴ (文科省) <sup>a)</sup>	125	74.2	17.2	5.5	0.1	3.0	3.9	0.001	n.s.	-

a) 文部科学省日本食品栄養標準表2010

b) USDA National Nutrient Database for Standard Reference 26 Software v.1.4

c) not tested

d) not shown

ズンを通じて低値であった。

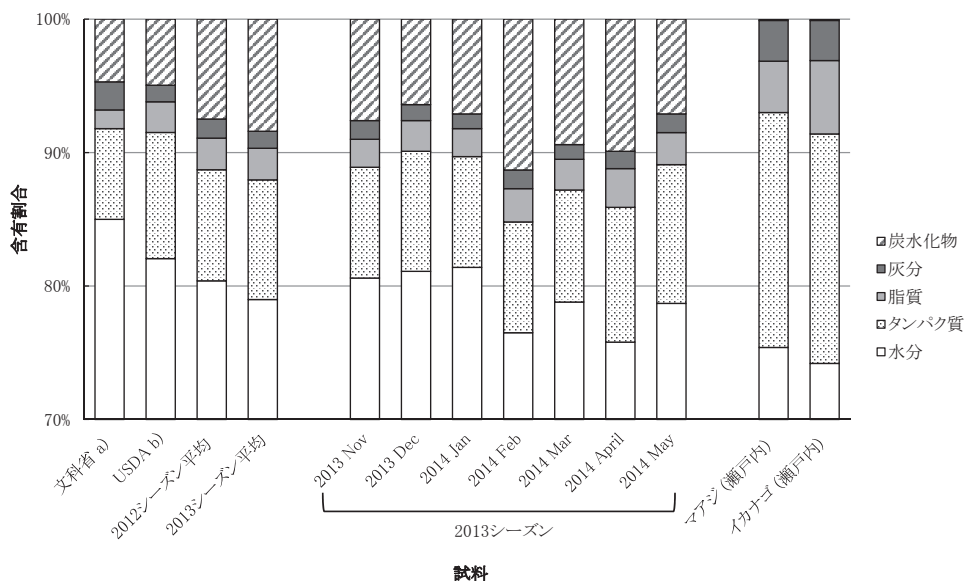
組織学的検索：カキは外套膜上皮下に分泌腺を有し、細胞質はグリコーゲン染色およびムコ多糖類染色に陽性であった (図1-B-a, b) (11)。外套膜上皮には単層にメラニン含有細胞が並び、その間にカルシウム陽性細胞と亜鉛陽性細胞が分布した (図1-B-b, c)。

アミノ酸組成：遊離アミノ酸組成は、栄養成分としては単位試料当たりの重量で表示されるが、代謝源としてはモル数が意味をもつ (表2) (12-14)。広島湾北部カキは他産地カキより、必須アミノ酸の His と Met および非必須アミノ酸の Pro の含有割合が高く、必須アミノ酸の Val および非必須アミノ酸の Asp と Cys の含有割合が低かった。特に、His を 5 倍以上含有する一方、Cys は測定限界以下であった。また、糖原性アミノ酸 (Glu, Ala, Pro および Gly) が全遊離アミノ酸の 69.6% を占め、他試料の値 (他産地カキ：63.6%；マアジ：59.0%；イカナゴ：35.6%) を上回った (図2)。

栄養成分に対する加熱の影響：試料は 82°C で沸騰した (図3-A)。試料の pH は加熱 0 分の 5.87 (27.0°C) から温度上昇に伴い直線的に酸性度を増し、120分に加熱終了して pH 5.88 (25.0°C) に復帰した (図3-B)。純水の蒸発率は、回帰曲線より、0, 60および120分に 0, 7.0 および14.2%であった (図3-C)。試料重量は100, 74.5および55.1%へ、カキ重量は100, 73.2および53.8%へ、0, 60および120分に減少した。

カキ栄養成分を量的に分析した (図3-D)。水分の常圧加熱乾燥法による測定値は、加熱後 0, 60および120分に100, 75.9および57.8%へ減少し、カキ重量値 (図3-C) を裏付けた。灰分、炭水化物およびタンパク質も加熱により含有割合を減じたが、脂質は60分まで茹で身での含有割合が増し、以後一定となった。

A



B

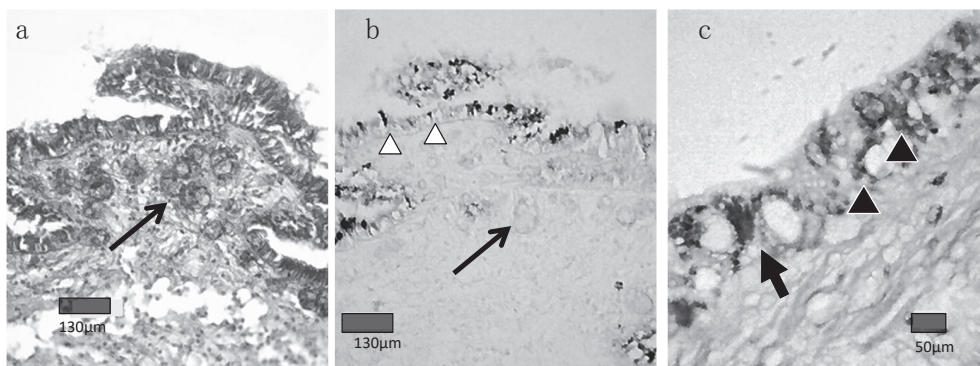


図1 広島湾北部カキの栄養成分の2013年シーズン内の変動と栄養成分の局在

- (A) 栄養成分の2013年シーズン内の変動；a)：文科科学省日本食品栄養標準2010；b)：USDA National Nutrient Database for Standard Reference 26 Software v.1.4.
- (B) 栄養成分の局在；a)：PAS・ヘマトキシリン染色。外套膜粘膜下のPAS陽性細胞群（矢印）；b)：アルシアンブルー・渡銀染色。外套膜粘膜下のアルシアンブルー陽性細胞群（矢印），粘膜上皮層の銀粒子を集積する細胞（△）；c)：亜鉛染色。細胞質にジチゾン陽性顆粒状物質を有する粘膜上皮細胞（矢印）。メラニン陽性粘膜上皮細胞（▲）。核染色はヘマトキシリン。

加熱後カキの総エネルギーは、0、60および120分に100、93.6および87.1%と直線的に減少した（図3-D）。炭水化物とタンパク質割合の減少も直線的で、炭水化物は100、82.5および65.7%，タンパク質は100、91.8および83.3%となった。60分までの総エネルギー減少は、

新田：広島湾北部地域で養殖されたマガキ (*Crassostrea gigas*) の栄養成分とアミノ酸組成

表2 カキアミノ酸の質量とモル数による組成

単位	Pro	Ala	Glu	Gly	Gln	Gly	Arg	Asp	Thr	His	Asn	Ser	Lys	Leu	Tyr	Val	Met	Ile	Phe	Trp	Cys	計 <sup>a)</sup>	タウリン
	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g	mg/ 100 g
カキ (広島湾北 部海域) <sup>b)</sup>	170.3	160.7	129.3	97.7	73.7	51.7	46.7	40.3	34.3	33.7	27.7	26.7	19.3	16.3	14.0	13.7	12.3	8.0	5.7	0.0	845 <sup>e)</sup>	[982]	577
(標準偏差)	(±17.4)	(±40.0)	(±7.0)	(±29.0)	(±13.8)	(±8.5)	(±18.6)	(±11.2)	(±14.2)	(±14.6)	(±4.9)	(±11.2)	(±5.0)	(±6.4)	(±3.0)	(±3.1)	(±3.8)	(±1.7)	(±3.1)	(±0.0)	-	-	(±58)
カキ(他産 地平均) <sup>c)</sup>	87.8	208.1	134.8	n.s. <sup>d)</sup>	125.9	40.2	70.3	49.2	6.7	n.s.	26.5	18.2	16.9	11.7	48.2	7.4	10.3	7.9	n.s.	n.s.	11.5	881.6	688
(標準偏差)	(±21.9)	(±30.2)	(±10.3)	n.s.	(±36.8)	(±9.2)	(±4.1)	(±2.6)	(±1.1)	n.s.	(±1.6)	(±1.8)	(±4.4)	(±1.9)	(±5.0)	(±2.1)	(±2.2)	(±1.2)	n.s.	(±0.0)	(±117.3)	(±76)	
マアジ <sup>d)</sup>	103	87	103	n.s.	191	81	66	34	16	n.s.	46	43	40	15	29	22	20	26	5	0	0	927	-
イカナゴ <sup>e)</sup>	37	63	131	n.s.	59	62	105	48	27	n.s.	45	84	75	32	52	20	44	38	10	5	5	937	-
単位	Ala	Pro	Gly	Glu	Gln	Asp	Thr	Arg	Ser	Asn	His	Lys	Leu	Val	Ile	Met	Tyr	Phe	Trp	Cys	計 <sup>a)</sup>	タウリン	
カキ (広島湾北 部海域) <sup>b)</sup>	1.80	1.48	0.98	0.88	0.67	0.35	0.34	0.30	0.26	0.25	0.22	0.18	0.15	0.12	0.09	0.09	0.05	0.03	0.00	0.00	7.39	[8.34]	4.61
(標準偏差)	(±0.45)	(±0.15)	(±0.18)	(±0.05)	(±0.20)	(±0.14)	(±0.09)	(±0.05)	(±0.05)	(±0.11)	(±0.09)	(±0.08)	(±0.04)	(±0.03)	(±0.02)	(±0.02)	(±0.04)	(±0.01)	(±0.01)	(±0.00)	-	-	(±0.46)
カキ(他産 地平均) <sup>c)</sup>	2.34	0.76	1.68	0.92	n.s.	0.53	0.41	0.23	0.25	n.s.	0.04	0.12	0.13	0.41	0.08	0.05	0.06	0.05	n.s.	0.09	8.16	5.26	
(標準偏差)	(±0.34)	(±0.19)	(±0.49)	(±0.07)	n.s.	(±0.03)	(±0.02)	(±0.05)	(±0.02)	n.s.	(±0.01)	(±0.01)	(±0.03)	(±0.04)	(±0.02)	(±0.01)	(±0.01)	(±0.01)	n.s.	(±0.0)	(±1.36)	(±0.61)	
マアジ <sup>d)</sup>	0.98	0.89	2.54	0.70	n.s.	0.50	0.29	0.46	0.44	n.s.	0.10	0.29	0.30	0.25	0.15	0.15	0.08	0.16	0.02	0	8.33	-	
イカナゴ <sup>e)</sup>	0.71	0.32	0.79	0.89	n.s.	0.79	0.40	0.36	0.43	n.s.	0.17	0.57	0.57	0.44	0.34	0.13	0.18	0.23	0.05	0.04	7.32	-	

アミノ酸の略号と分子量は分子量の昇順に、グリシン (Gly, 75.07)、アラニン (Ala, 89.09)、セリン (Ser, 105.09)、プロリン (Pro, 115.13)、バリン (Val, 117.15)、スレオニン (Thr, 119.12)、シスチン (Cys, 121.16)、ロイシ (Leu, 131.17)、イソロイシン (Ile, 131.17)、アスパラギン (Asp, 132.12)、アスパラギン酸 (Asp, 133.10)、リジン (Lys, 146.19)、グルタミン酸 (Glu, 147.13)、メチオニン (Met, 149.21)、ヒスチン (His, 155.15)、フェニルアラニン (Phe, 165.19)、グルタミン (Gln, 146.15)、アルギニン (Arg, 174.20)、チロシン (Tyr, 181.19)、トリプトファン (Trp, 204.23) を用いた。表中では、含有量の多い順に左から右へ記載した。タウリン分子量を125.15とした。

■ 必須アミノ酸。□ 非必須アミノ酸。

a) Asn, Gln, Trp の値を含まない。ただし、[ ] 内の値は含む。

b) 3回の平均値。他産地カキとモル数で比較して、必須アミノ酸では、His (5.22±0.87倍) と Met (1.97±0.66倍) の含有割合が高く、Val (0.29±0.03倍) の含有割合が低かった。

非必須アミノ酸では、Pro (2.01±0.44倍) の含有割合が高く、Asp (0.67±0.04倍) と Cys (測定限界以下) の含有割合が低かった。

c) 引用文献12の、上海市、江蘇省揚州市および山東省威海市のデータ (10月) の平均値またはそのモル数。

d) 引用文献13の値またはそのモル数。

e) 引用文献14の値またはそのモル数。

f) not shown

g) タンパク質量 (8.3 g) の10.2%、タウリン (0.58 g/100 g) を除いたタンパク質量 (7.8 g) の10.9%。

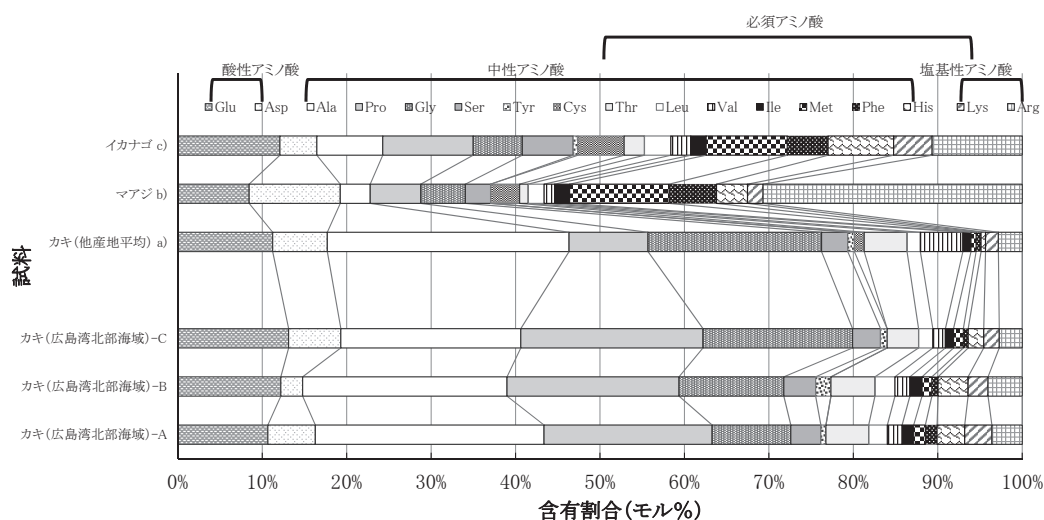


図2 広島湾北部カキの必須および非必須アミノ酸組成

a) : 引用文献12の上海市, 江蘇省揚州市, 山東省威海市の10月値の平均; b) : 引用文献13; c) : 引用文献14. アミノ酸の略号と分子量には, グルタミン酸 (Glu, 147.13), アスパラギン酸 (Asp, 133.10), アラニン (Ala, 89.09), プロリン (Pro, 115.13), グリシン (Gly, 75.07), セリン (Ser, 105.09), チロシン (Tyr, 181.19), シスチン (Cys, 121.16), スレオニン (Thr, 119.12), ロイシン (Leu, 131.17), バリン (Val, 117.15), イソロイシン (Ile, 131.17), メチオニン (Met, 149.21), フェニルアラニン (Phe, 165.19), ヒスチジン (His, 155.15), リジン (Lys, 146.19), アルギニン (Arg, 174.20) を用いた。

炭水化物とタンパク質の減少分で相殺された。一方, 120分時の総エネルギーは, 炭水化物とタンパク質だけでは説明できなかった。脂質の回帰曲線を  $y = 1 + 0.0045 \cdot x$  ( $R = 1$ ) とし,  $x = 120$ ; エネルギー係数9.42を用いて120分時の脂質エネルギーを求め減算したところ, 総エネルギーの減少分を相殺できた。従って, 広島湾北部カキの本条件での加熱は, 総エネルギーの割合を生身に対し0.87とした。

カキ生身の炭水化物重量をグルコース (180.16 g/M) に換算すると 470 mmol/100 g であった。グルコースは水溶性で酸に弱く, 加熱により試料全体へ拡散した。

加熱のアミノ酸組成に対する影響: 20種類の遊離アミノ酸の含有量は 8.34 mmol/100 g で, 120分間の加熱により43.8%が溶出し, 50.1%が残留した (図3-E)。水分蒸発率で修正すると, 茹で汁へは51.0%が溶出したこととなり, 遊離アミノ酸は加熱により試料全体へ単純拡散していた (図3-F) (15)。ただし, 酸性アミノ酸の Gln と Asn は茹で身に選択的に残留し (茹で身/茹で汁: 2.3と2.9倍), Asn の茹で汁への溶出率は著しく低かった (10.9%)。

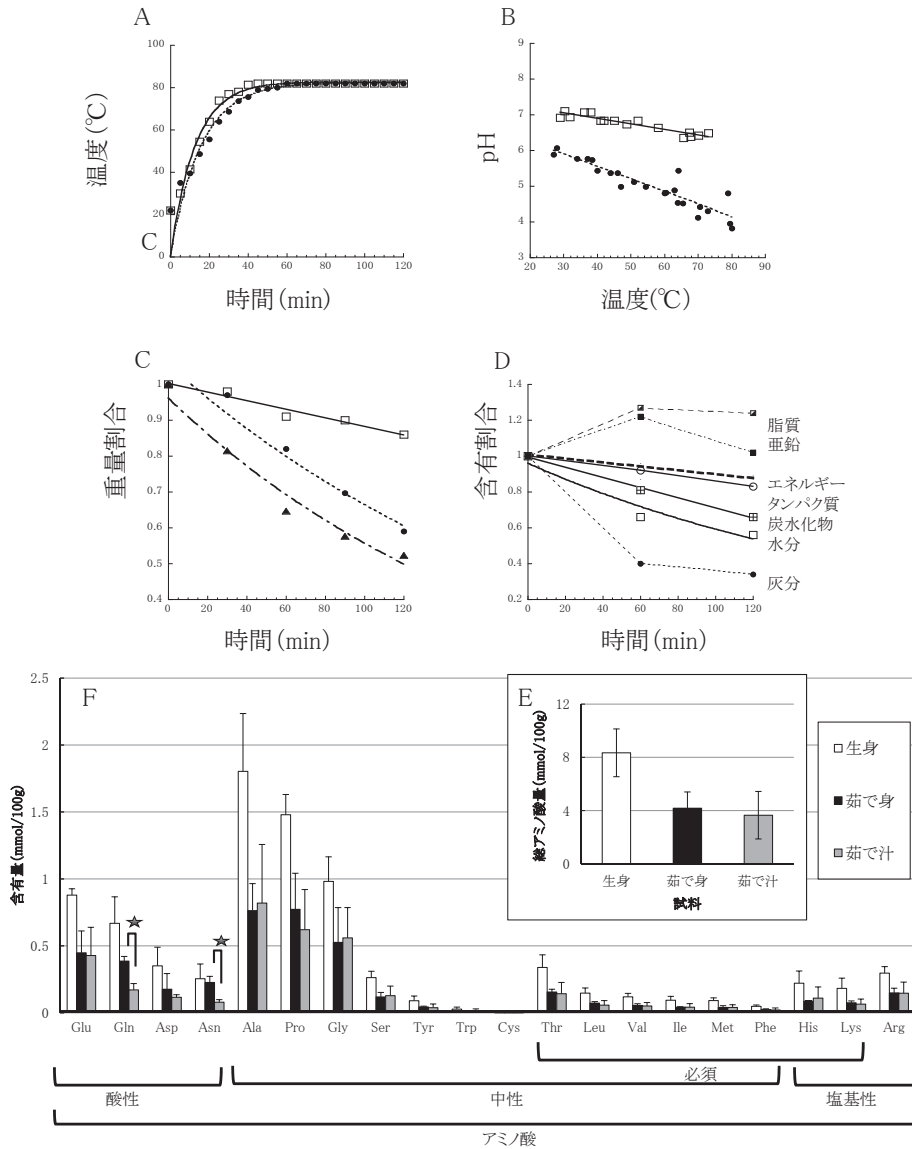


図3 広島湾北部カキへの加熱が栄養成分に及ぼす影響

実験を2回実施した。加熱用試料（カキ生身：純水=1：2）において、カキ生身の個数は10個/回、重量は $16.4 \pm 2.5$  g（平均±誤差）/個、長径は $6.9 \pm 0.5$  cm/個および総重量は $163.9 \pm 0.1$  g/10個/回であった。加熱120分後、カキ茹で身重量が $9.0 \pm 0.7$  g/個、長径が $5.3 \pm 0.2$  cm/個および総重量が $89.6 \pm 6.8$  g/10個/回となった。

(A) 加熱後の温度変化。純水 (□) の回帰曲線は  $y = 82.7 \cdot (1 - \exp^{-x/12.7})$ ,  $R = 0.96$ , 純水+カキ (●) の回帰曲線は  $y = 82.3 \cdot (1 - \exp^{-x/15.5})$ ,  $R = 0.95$ .

(B) 試料の温度とpH。純水 (□) の回帰曲線は  $y = 7.51 - 0.015 \cdot x$ ,  $R = 0.93$ , 純水+カキ (●) の回帰曲線は  $y = 6.95 - 0.035 \cdot x$ ,  $R = 0.91$ .

(C) 加熱前後の重量変化。純水 (□) の回帰曲線は  $y = 1.002 - 0.0012 \cdot x$ ,  $R = 0.98$ , 純水+カキ (●) の回帰曲線は  $y = 1.055 \cdot (1 - \exp^{-0.0046x})$ ,  $R = 0.97$ , カキ (▲) の回帰曲線は  $y = 0.961 \cdot (1 - \exp^{-0.0055x})$ ,  $R = 0.99$ .

(D) 加熱前後の栄養成分含有割合。水分 (□) の回帰曲線は  $y = 0.959 \cdot \exp^{-0.0008x}$ ,  $R = 0.97$ , 炭水化物 (■) の回帰曲線は  $y = 0.993 - 0.0028 \cdot x$ ,  $R = 0.998$ , タンパク質 (●) の回帰曲線は  $y = 1.002 - 0.0014 \cdot x$ ,  $R = 0.999$ , エネルギー (▲) の回帰曲線は  $y = 1.008 - 0.0011 \cdot x$ ,  $R = 0.998$ .

(E) 加熱前後の20種類アミノ酸量。加熱0分(生身)および120分(茹で身, 茹で汁)のアミノ酸量をモル数で表した。

(F) 加熱前後の20種類アミノ酸組成。縦バーは誤差を表す。★：アミノ酸モル数(茹で身/茹で汁) > 2.3.

## 考 察

広島湾北部カキで含有量の多い含窒素化合物は Ala, Glu, Gly, Asp, His およびタウリンであった。カキはエネルギーを冬期に糖質として蓄積し、夏期に生殖細胞産生のため利用する。2013年11月出荷カキの含有する糖質はグルコースに換算して 470 mmol/100 g, 糖原性アミノ酸 (Glu, Ala, Pro, Gly) で 5.80 mmol/100 g と、いずれも高値であった。

同カキは遊離 Glu, Gly およびタウリンを、自らの神経伝達物質として利用する。しかし、タウリンの合成源である Cys 含有量は著しく低く、この理由に広島湾北部海域のプランクトンに含まれる Cys 量の影響が考えられた。実験的に、餌に含まれる Cys 量が養殖魚の Cys 含有量へ影響した (16)。広島湾北部カキのタウリン量 (4.40 mmol/100 g) を評価するには、Met, Cys を経てタウリン合成に至る系の反応を検討する必要がある。

Ala, Glu および Asp はヒトの体内における代謝時間がグルコースより短く、中でも Ala はグルコース・アラニン・サイクルにより速やかにエネルギー生産へ利用される。また、Glu, Gly およびタウリンはヒトで神経伝達物質としての働きが確立している。His には消化器系調節機能があり、ヒトで12週経口投与により脂質代謝異常を改善した (17)。以上より、広島湾北部カキには、ヒトで一次および三次機能を発揮する遊離アミノ酸類が含まれることがわかった。

ヒトの生得的免疫を担う物質に抗細菌ペプチド (antimicrobial peptides/proteins, AMPs) がある (18)。ヒトの AMPs は10~150アミノ酸からなり、defensins など100種類以上が同定されている。皮膚、目、耳、口、消化管、免疫組織、神経系および泌尿器系に発現し、アポトーシス誘導、創傷治癒および免疫修飾の機能を発揮して、病原体に対し防御的に働く。一方、AMPs は Arg, Ile, 亜鉛, カルシウム, 酪酸エステル, アルブミン, 短鎖脂肪酸, ビタミン D あるいは紫外線によっても誘導されることから、カキがヒトの生得免疫系を膺活化する遊離アミノ酸や亜鉛等を多く含むことがわかった。

無脊椎動物においても、AMPs は病原体認識と病原微生物への抵抗性発現に働く (19, 20)。カキでは、正常細菌叢が病原体からの感染を防ぐ際、AMPs の関与で免疫担当細胞が正常細菌叢と病原菌とを区別する (21)。その機構は、カキゲノムが Proline-rich AMPs を 4~18コピー有し、血液細胞で発現させ、病原体の侵襲に対して defensins や他の防御タンパク質と相乗的に働くことによる。Pro は Proline-rich AMPs の主要アミノ酸で、ペプチド当たり 6 分子が含まれる。His は各酵素の金属結合部位に存在して活性中心を構成する。広島湾北部カキには、AMPs 誘導能をもつ Arg や亜鉛, AMPs と共働する Pro や His の含有率が他産地カキより高く、過酷な養殖環境における AMPs を介する生体防御反応の結果と考えられた (22,



23)。

小動物臨床においては、黒色犬の皮膚感染症抵抗性が他色犬より高く、これには AMPs が働く。イヌの AMPs の一つである canine  $\beta$  defensin 103 (CBD103) は皮膚、舌に多く発現され、他の AMPs と共働してブドウ球菌の感染を防御した (24)。CBD103が Melanocortin1 受容体を介するシグナル伝達系を介して機能し、被毛黒化の表現型と平行するという機構は、哺乳綱の動物4120種のうちイヌのみで進化した (25)。イヌは CBD103ゲノムをオオカミから分岐した直後に獲得し、その後に CBD103の遺伝子多型を固定し、近年には北米ハイイロオオカミがイヌと交雑する過程で CBD103多型をゲノムに刻んだ (26, 27)。AMPs は、遺伝学、分子進化学あるいはゲノム資源学の研究対象となっている。

一般食品、栄養機能食品にくわえ健康食品 (ヘルスフード) が、予防医学の分野で定義されるようになった (28)。ヘルスフードとは、六大栄養素 (脂質、糖質、タンパク質、ビタミン、ミネラル、食物繊維) のみでは必ずしもヒトの健康を維持できない現代やその環境において必要とされるプラス  $\alpha$  の栄養素、と定義され、海産性脂質成分 (Docosahezaenoic Acid: DHA, Eicosapentaenoic Acid: EPA) はこの定義に合致する例である。ヘルスフードの機能として、ヒトの体、脳、心の健康に障害となるものに対応する予防、がある。従って、特定保健用食品、QOL 改善食品、スポーツ機能向上食品や美容食品もヘルスフードの例となる。マガキは海産性脂質成分の含有量が低く (9)、有害重金属であるカドミウムを含有することもあって (29)、ヘルスフード性の検討が今後の課題である。

## 謝 辞

本研究は、鈴峯女子短期大学在職中より実施し、現在まで継続しております。当時の関係各位に感謝します。

## 引 用 文 献

1. Dumbauld BR, Ruesink JL, Rumrill SS (2009) The ecological role of bivalve shellfish aquaculture in the estuarine environment: A review with application to oyster and clam culture in West Coast (USA) estuaries, *Aquaculture*, 290, 196–223
2. Aström J, Pettersson TJ, Stenström TA, Bergstedt O (2009) Variability analysis of pathogen and indicator loads from urban sewer systems along a river. *Water Sci Technol*, 59, 203–212
3. Clark MS, Thorne MAS, Amaral A, Vieira F, Batista FM, Reis J, Power DM (2013) Identification of molecular and physiological responses to chronic environmental challenge in an invasive species: the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Ecol Evol*, 3, 3283–3297
4. Vezzulli L, Previati M, Pruzzo C, Marchese A, Bourne DG, Cerrano C (2010) VibrioSea Consortium, Vibrio infections triggering mass mortality events in a warming Mediterranean Sea, *Environ Microbiol*, 12, 2007–2019

5. Wilson B, Muirhead A, Bazanella M, Huete-Stauffer C, Vezzulli L, Bourne DG (2013) An improved detection and quantification method for the coral pathogen *Vibrio coralii*, PLoS One, 8, e81800
6. 佐藤裕徳 (2010) ヒトノロウイルスの生存戦略, ウイルス, 60, pp. 21-32
7. 農林水産省大臣官房統計部 (2013) 平成24年度漁業・養殖業生産統計, 農林水産統計, pp. 1-29
8. 宮田 學 (2013) 亜鉛補充療法, 亜鉛の機能と健康, 駒井三千夫他 編, pp. 53-84
9. 新田由美子, 高橋佐恵子, 峠恭雄, 網崎宗雄, 原田俊英, 石崎文子 (2014) 広島湾北部海域で育成されたカキの栄養成分分析からみた養殖環境と公衆衛生, 広島県獣医学会雑誌, 29, 93-95
10. 加登準子, 祖父江鎮雄, 古市 明, 吉田定宏 (1967) 亜鉛化合物と不後の歯質透過についての組織学的証明, 小児歯科学雑誌, 5, 14-17
11. 高槻俊一 (1949) 軟体部の外部形態と機能, 牡蠣, 技報堂, pp. 33-44
12. Zhang Z, Xue C, Gao X, Ki Z, Wang Q (2006) Monthly changes of glycogen, lipid and free amino acid of oyster, Journal of Ocean University of China, 5, 257-262
13. Toppe J, Albrektsen S, Hope B, Aksnes A (2007) Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B 146, 395-401
14. Njaa LR, Utne F (1982) A comparison of the amino acid composition of fifteen species of whole fish, Fisk Dir Skr Emaring, 11, 25-33
15. Kim DS, Baek HH, Ahn CB, Byun DS, Jung KJ, Lee HG, Cadwallader KR, Kim HR (2000) Development and characterization of a flavoring agent from oyster cooker effluent. J Agric Food Chem, 48, 4839-4843
16. 竹内俊郎, 松成宏之 (2008) タウリン, 食品機能性の科学, 藤田哲他編, 1134-1136
17. Feng RN, Niu YC, Sun XW, Li Q, Zhao C, Wang C, Guo FC, Sun CH, Li Y (2013) Histidine supplementation improves insulin resistance through suppressed inflammation in obese women with the metabolic syndrome: a randomized controlled trial. Diabetologia, 56, 985-994
18. Wang G (2014) Human antimicrobial peptides and proteins. Pharmaceuticals (Basel), 7, 545-594
19. Rosa RD, Santini A, Fievet J, Bulet P, Destoumieux-Garçon D, Bachère E (2011) Big defensins, a diverse family of antimicrobial peptides that follows different patterns of expression in hemocytes of the oyster *Crassostrea gigas*, PLoS One, 6, e25594
20. Schmitt P, Rosa RD, Duperthuy M, de Lorgeteril J, Bachère E, Destoumieux-Garçon D (2012) The Antimicrobial defense of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*. How diversity may compensate for scarcity in the regulation of resident / pathogenic microflora. Front Microbiol. 3, 160
21. Gueguen Y, Bernard R, Julie F, Paulina S, Delphine DG, Franck V, Philippe B, Evelyne B (2009) Oyster hemocytes express a proline-rich peptide displaying synergistic antimicrobial activity with a defensin, Mol Immunol, 46, 516-522
22. Zhang G, Fang X, Guo X, Li L, Luo R, Xu F, Yang P, hang L, Wang X, Qi H, Xiong Z, Que H, Xie Y, Holland, PWH Paps J, Zhu Y, Wu F, Chen Y, Wang J, Peng C, Meng J, Yang L, Liu J, Wen B, Zhang N, Huang Z, Zhu Q, Feng Y, Mount A, Hedgecock D, Xu Z, Liu Y, Domazet-Lošo T, Du Y, Sun X, Zhang S, Liu B, Cheng P, Jiang X, Li J, Fan D, Wang W, Fu W, Wang T, Wang B, hang J, Peng Z, Li Y, Li N, Wang J, Chen M, He Y, Tan F, Song X, Zheng Q, Huang R, Yang H, Du X, Chen L, Yang M, Gaffney PM, Wang S, Luo L, She Z, Ming Y, Huang W, Zhang S, Huang B, Zhang Y, Qu T, Ni P, Miao G, Wang J, Wang Q, Steinberg CEW, Wang H, Li N, Qian L, Zhang G, Li Y, Yang H, Liu H, Wang J, Yin Y, Wang J (2012) The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation, Nature, 490, 49-54
23. Meng J, Zhu Q, Zhang L, Li C, Li L, She Z, Huang B, Zhang G (2013) Genome and transcriptome analyses provide insight into the euryhaline adaptation mechanism of *Crassostrea gigas*, PLoS One, 8, e58563
24. Leonard BC, Marks SL, Outerbridge CA, Affolter VK, Kanamuraka A, Young A, Moore PF, Bannasch DL, Bevins CL (2012) Activity, expression and genetic variation of canine  $\beta$ -defensin 103: a multifunctional antimicrobial peptide in the skin of domestic dogs, J Innate Immunol, 4, 248-259
25. Candille SII, Kaelin CB, Cattanaach BM, Yu B, Thompson DA, Nix MA, Kerns JA, Schmutz SM, Millhauser GL, Barsh GS (2007) A defensin mutation causes black coat color in domestic dogs. Science, 318, 1418-1423
26. Anderson TM, vonHoldt BM, Candille SI, Musiani M, Greco C, Stahler DR, Smith DW, Padhukasahasram B,

- Randi E, Leonard JA, Bustamante CD, Ostrander EA, Tang H, Wayne RK, Barsh GS (2009) Molecular and evolutionary history of melanism in North American gray wolves, *Science*, 323, 1339–1343
27. Randi E, Hulva P, Fabbri E, Galaverni M, Galov A, Kusak J, Bigi D, Bolfíková BČ, Smetanová M, Caniglia R (2014) Multilocus detection of wolf x dog hybridization in Italy, and guidelines for marker selection. *PLoS One*, 9, e86409
28. 矢澤一良 (2007) ヘルスフード科学講座, 食品化学新聞社, pp. 1–16
29. 新田由美子, 三木由美子, 原田俊英, 石崎文子 (2017) 野生カキ (*Crassostrea gigas*) に濃縮される亜鉛 (Zn) およびカドミウム (Cd) の測定・分析と環境評価, 広島県獣医学会雑誌, 32, 81–85

## Abstract

### Nutritional components and amino acid composition of the oyster (*Crassostrea gigas*) cultured in northern part of Hiroshima bay

YUMIKO NITTA

*Crassostrea gigas* (*C. gigas*), one of the species well adapted to the highly variable intertidal environment, has been exposed to many stressors caused by human being. Northern part of Hiroshima bay is one of the hardest areas for the *C. gigas* to survive, no matter how the amount of plankton is rich. Hypothesizing that area specific environment could influence the composition of creatures in order to adapt where they live, we measured the component of nutrition and analyzed the composition of free amino acids of the *C. gigas* cultured at the Northern part of Hiroshima bay from November in 2012 to May in 2014. Concentrations of carbohydrate and zinc were higher than those cultured in other costal areas and highest in February within every season. The molecular volume was 69.6% for glucogenic amino acids, glutamic acid, alanine, proline and glycine, out of the volume of total free amino acids. Glycogen and glucogenic amino acids are for the reproduction of gametes during summer for the *C. gigas*, High concentrations of Histidine and zinc are beneficial for self-defense against pathogens producing antimicrobial peptides. On the other hand, these components of the *C. gigas* are supposed to improve immunological and digestive function of human being who eats them as a functional foodstuff.

**Keywords:** oyster, functional foodstuff, nutritional components, amino acid composition, defensins