オホーツク海に生息するアカボヤ *Halocynthia aurantium* の 一般成分とカロテノイド組成

成田 正直,^{*1} 眞岡 孝至,² 桑原 康裕,³ 蛭谷 幸司⁴

(2017 年 6 月 13 日受付, 2017 年 8 月 31 日受理, 2017 年 11 月 2 日 J-STAGE 早期公開)

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場, ²一般財団法人生産開発科学研究所,

³北海道立総合研究機構網走水産試験場, ⁴北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Proximate composition and carotenoids composition of *Halocynthia aurantium* in the Okhotsk Sea

MASANAO NARITA,¹ TAKASHI MAOKA,² YASUHIRO KUWAHARA³ AND KOHJI EBITANI⁴

¹Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, ²Research Institute for Production Development, Sakyo, Kyoto 606-0805, ³Abashiri Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Abashiri, Hokkaido 099-3119, ⁴Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kushiro, Hokkaido 085-0027, Japan

In the Okhotsk Sea, *Halocynthia aurantium* caught along with scallops have been discarded as bycatch. In order to avoid discarding *H. aurantium* and promote its use as a process material, we analyzed the proximate composition and carotenoids composition in its muscle. We also investigated the relationship between composition change in the muscle and gonad maturity. The results showed the following: (1) From summer to autumn, the moisture and ash contents decreased gradually; in contrast, the protein, lipid, and glycogen contents increased. (2) The protein, lipid, and glycogen contents showed a negative correlation with moisture. (3) The proportion of individuals with developed ovaries increased from summer to autumn. (4) These results suggested that proximate composition changes in the muscle were related to seasonal variations as well as gonad maturation. (5) Carotenoids in muscle showed no clear trend compared with proximate composition. (6) The main carotenoids were identified as β -carotene, alloxanthin, astaxanthin, mytiloxanthin, pectenolone, halocynthiaxanthin, and their fatty acid esters. (7) From these results, *H. aurantium* muscle contains several useful carotenoids, and therefore may be used as a functional food.

キーワード：アカボヤ, 一般成分, カロテノイド, 生殖巣

アカボヤ *Halocynthia aurantium* は、マボヤ科に属する冷水種のホヤで、日本では北海道の周辺海域にのみ生息する。¹⁾ オホーツク海沿岸ではホタテガイ桁曳きで混獲され、年によって大量発生する。しかし、小型の個体が多いことや毎年一定した水揚げが期待できないことから、有効利用されていない。アカボヤはプランクトンおよびデトリタスフィーダーであることから、餌をめぐるホタテガイと競合関係にある。このため、宗谷から常呂に至るオホーツク海沿岸では、駆除の対象とさえなっている。²⁾ その一方で、アカボヤの可食部は独特の風味があり、道東の根室海域では地域特産品として塩辛など

加工品の原料とされている。しかし、根室海域におけるアカボヤの漁獲量は大きく減少しており、地元の漁業協同組合では養殖対象種としての取り組みも検討されている。³⁾ 近年、オホーツク海域では台風や低気圧の影響によって、主力の魚種であるホタテガイの生産量が大きく減少している (http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/grp/suiki/H27_sokuhou.pdf, 平成 27 年度北海道漁業生産状況 (速報), 平成 29 年 6 月 12 日)。このため、ホタテガイ以外の地場資源に対する有効利用の必要性は、これまで以上に強く求められていくと考えられる。こうした状況から、オホーツク海沿岸で混獲されるアカ

ボヤは、ホタテガイ漁業の障害となる駆除物ではなく、資源として有効利用されるべきである。

これまで、マボヤ *Halocynthia roretzi* の生化学的性状については、一般成分⁴⁾ 含窒素化合物⁵⁻⁸⁾ 脂質脂肪酸組成⁹⁾ フレーバー成分¹⁰⁾ など多くの報告がある。一方、アカボヤの化学的性状を利用加工の視点から調べた例は極めて少なく、平成の初期に網走水産試験場で行われた研究があるのみである。¹¹⁻¹³⁾ この研究は、主に養魚餌料の開発を目的とした化学的性状調査であった。

こうした背景から、本研究はオホーツク海のアカボヤを食材として有効利用するための基礎データ収集を目的として行った。筋肉における一般成分の月別変化を調べるとともに、生殖巣の組織観察を行って成分変化との関連を考察した。また、ホヤ類が呈する赤橙色はカロテノイドによることが報告されていることから¹⁴⁾ 機能性食材としての活用を想定し、知見が極めて少ないアカボヤのカロテノイドについて同定を行った。

材料と方法

試験試料 試料は2015年から2016年にかけて紋別海域で漁獲されたアカボヤを用いた (Fig. 1)。6-10月にかけて毎月1回、ホタテガイ桁網で混獲したアカボヤを網走水産試験場に搬入した。

一般成分の分析 アカボヤの筋肉 (筋膜体) を包丁で細切し、水分、タンパク質、灰分、脂質、グリコーゲン、カロテノイドについて分析を行った。2015年試料については、カロテノイド組成を調べるとともに、生殖巣の組織観察を行った。水分は105℃常圧乾燥法、タンパク質はミクロケルダール法、灰分は550℃直接灰化法、脂質はソックスレー抽出法、グリコーゲンはアンスロン硫酸法¹⁵⁾で行った。

生殖巣の組織観察 生殖巣約1gを15mLのデビッドソン液¹⁶⁾により1日固定後、70%エタノール中に保存した。デビッドソン液は以下の体積比で固定直前に混

合した。ホルマリン：エタノール：氷酢酸：蒸留水＝2：3：1：3。70%エタノールに保存した生殖巣標本を、脱水、包埋、8μmでの薄切、ヘマトキシリン・エオシン二重染色を経て永久プレパラートを作成し、組織観察を行った。生殖巣の発達段階はマボヤにおける研究結果¹⁷⁾を参照し、未成熟期、発達期、放卵・放精期、回復期の4段階とした。

カロテノイドの分析 カロテノイドは細切試料を40%アセトンで脱水後、99.5%アセトンで抽出し、分光光度計により450nmにおける吸光値を測定した。得られた吸光値から、分子吸光係数2,200により、アスタキサンチン相当量として総カロテノイド量を算出した。¹⁸⁾ また、それぞれのカロテノイドの同定は、HPLC, UV-Vis, ESI-TOF-MS, NMR スペクトルによった。¹⁹⁾ 比較のために2016年、9月に水揚げされた噴火湾産養殖マボヤについても同様にカロテノイドの同定を行った。また、得られた総カロテノイド量とカロテノイド組成の割合から、これらの値を乗じて個々のカロテノイド成分量を算出した。

統計処理 得られたデータの有意差についてTukey-Kramerの多重比較法により検定した。また、成分間の相関関係について、Pearsonの相関係数法により検定した。

結 果

試料重量および一般成分 Table 1に本研究に用いたアカボヤの重量を示した。総重量は140.1-226.8g、外皮重量15.7-21.3g、軟体部重量53.9-93.0g、筋肉重量は21.7-35.9gの範囲にあった。全重量に対する筋肉重量割合は11.8-16.0%であった。

Fig. 2に一般成分、グリコーゲン、総カロテノイドの変化を示した。可食部の成分は、水分80.4-86.4%、タンパク質7.3-9.1%、脂質0.9-1.9%、灰分1.9-2.6%、グリコーゲン2.2-4.7%、総カロテノイド8.5-18.0mg/100gの範囲で変動がみられた。夏季から秋季にかけて、水分および灰分はゆるやかな減少傾向、逆にタンパク質、脂質、グリコーゲンは緩やかな増加傾向を示した。これらに対して総カロテノイドは、個体によるばらつきが大きく、同一年の測定値間に有意差がみられなかった。

Table 2に噴火湾産マボヤ (2016年9月) の一般成分を示した。水分75.4%、タンパク質9.4%、脂質3.5%、灰分2.3%、グリコーゲン5.8%、総カロテノイド1.0%であった。三陸産のマボヤ⁴⁾に比べて、水分、タンパク質は同程度で、脂質、灰分がやや高く、グリコーゲンが少ない値であった。本研究で用いたアカボヤは、これらマボヤと比較して水分が高く、脂質が低い結果であった。なお、9月のみの比較ではあるが、噴火湾産マ

Fig. 1 *Halocynthia aurantium*: (a) whole, (b) mantle body,* (c) upper part of tunic, (d) basal part of tunic with attachment villi. *Mantle body is composed of muscle and viscera. The muscle was analyzed in this experiment.

Table 1 Weight and edible portion of *Halocynthia aurantium*

Year/Month	Total weight (g)	Tunic weight (g)	Mantle body ^{*1} weight (g)	Muscle weight (g)	Edible portion ^{*2} (%)
Jun. 2015	226.8±66.1	18.9±5.0	93.0±37.3	35.9±16.0	16.0±3.2
Jul. 2015	140.1±20.2	15.7±1.6	53.9±5.3	21.7±15.6	15.6±2.9
Aug. 2015	179.0±21.4	19.7±3.1	59.6±14.6	25.2±6.5	14.1±3.4
Sep. 2015	190.9±50.5	20.1±2.9	71.0±15.5	29.2±5.1	15.7±2.8
Oct. 2015	176.6±43.5	20.4±3.5	70.8±20.8	27.5±7.6	15.6±1.9
Jun. 2016	146.5±15.7	17.7±1.3	74.6±7.3	23.7±2.4	12.1±0.6
Jul. 2016	189.0±31.0	19.6±3.8	77.4±17.9	24.4±5.5	12.9±1.6
Aug. 2016	193.1±25.2	19.9±2.7	79.0±12.6	22.5±3.4	11.8±1.9
Sep. 2016	183.3±22.4	21.3±2.3	69.8±9.8	22.5±3.1	12.3±1.3

^{*1} Mantle body is composed of muscle and viscera. The muscle was analyzed in this experiment.

^{*2} Edible portion means the percentage of muscle weight to total weight. Average±standard deviation, $n=10$.

ボヤに比べてアカボヤの総カロノテイドは著しく高かった。

Figure 3 にアカボヤにおける成分間の相関関係を示した。水分に対してタンパク質, 脂質, グリコーゲンはいずれも負の相関関係を示した (相関係数 r はそれぞれ $r=-0.805, -0.746, -0.757$; $n=40, p<0.01$, Pearson's test)。また, タンパク質と脂質, タンパク質とグリコーゲン, 脂質とグリコーゲンはいずれも正の相関関係を示した ($r=0.635, 0.556, 0.565$; $n=40, p<0.01$, Pearson's test)。

生殖巣の組織観察 Figure 4 に生殖巣の組織観察を示した。また, この観察結果をもとに生殖巣の発達段階における個体別の割合を Fig. 5 に示した。アカボヤは雌雄同体であり, 組織像は同一の生殖巣内に雄性および雌性生殖腺が観察された。卵巣の回復期 (Fig. 4a) は 6–8 月に観察され (Fig. 5a), 精巣の未成熟期 (Fig. 4c) は 6 月および 8 月に観察された (Fig. 5b)。発達期 (Fig. 4b, d) は調査期間全体に出現し, 卵巣では 10 月 (Fig. 5a), 精巣では 9–10 月に 100% に達した (Fig. 5b)。

カロテノイド組成 Table 3 にアカボヤおよびマボヤ筋肉のカロテノイド組成を示した。また, Fig. 6 に同定したカロテノイドの構造式をそれぞれ示した。アカボヤの主要なカロテノイドは β -carotene, alloxanthin, astaxanthin, mytiloxanthin, pectenolone, halocynthiaxanthin およびこれらの脂肪酸エステルであった。これらのうち, halocynthiaxanthin-3-ester はホヤ類としては初めての存在報告である。噴火湾産マボヤ (2016 年, 9 月試料) と比較すると, アカボヤのカロノテイドは astaxanthin の割合が高いことが特徴的であった。

Figure 7 に各カロテノイド成分の月別変化を示した。 β -carotene (alloxanthin ester を含む) および astaxanthin ester は 6 月から 8 月にかけて増加し, その後減少する傾向がみられた。また, alloxanthin, mytiloxan-

thin, pectenolone は 7 月から 9 月にかけて増加する傾向がみられた。これらに対して, astaxanthin, mytiloxanthin ester, halocynthiaxanthin は, ほぼ一定の値を示し特徴的な増減傾向はみられなかった。

考 察

一般成分の季節変動 本研究では 2015 年と 2016 年の 6–10 月に, オホーツク海に生息するアカボヤの一般成分における変動を調べ, 特徴的な成分変化を明らかにした。Park ら⁷⁾は韓国産マボヤの一般成分を調べ, タンパク質, 脂質, グリコーゲンが類似した傾向で季節変動することを報告している。また, 渡辺・鴻巣²⁰⁾は三陸のマボヤの筋肉について成分分析を行い, 夏季から秋季にかけてグリコーゲンと脂質が増加することを明らかにしている。アカボヤの一般成分は, これらと同様の傾向を示しており, こうした季節による変化はマボヤおよびアカボヤに共通した現象であると考えられる (Fig. 2)。

また, アカボヤの水分は, 脂質およびグリコーゲンとそれぞれ負の相関関係を示した (Fig. 3)。一般にハマチなど魚類の筋肉は, 水分と脂質において負の相関を示すことが報告されている。²¹⁾ また, ホタテガイ貝柱は水分とグリコーゲンにおいて負の相関関係のあることが報告されている。²²⁾ これは, 魚類では主としてグリセライドからなる脂質がエネルギー貯蔵物質として蓄えられる²³⁾ 一方で, ホタテガイなど貝類では, 脂質の代わりに主としてグリコーゲンが蓄えられるためである。²⁴⁾ ホヤ類は浮遊幼生期には尾部に脊索を持つが, 固着生活に移る際は完全にこれを失い,²⁵⁾ 分類学上, 脊椎動物と無脊椎動物の間である原索動物に属する。²⁰⁾ このような生物的特性を持つアカボヤは, 脂質およびグリコーゲンの両者をエネルギー貯蔵物質として蓄積している可能性が考えられ, 今後, 生化学的な視点からも, 詳細な研究が望まれる。

放卵・放精期は未確認であったが, 生殖巣の発達段階

Fig. 2 Change of proximate components in muscle of *Halocynthia aurantium*: (a) moisture, (b) protein, (c) lipid, (d) ash, (e) glycogen, (f) carotenoid. Error bars indicate standard deviation ($n=4-5$). Different large letters indicate significant difference among 2015 ($p<0.05$). Different small letters indicate significant difference among 2016 ($p<0.05$).

から紋別海域におけるアカボヤの産卵期は10月以降と推測される (Figs. 4, 5)。このことから、アカボヤの一般成分における変化は、産卵に向けた季節変動であることは明らかである。夏季から秋季にかけて、アカボヤは脂質およびグリコーゲンをエネルギー蓄積物質として

筋肉に蓄えていることを勘案すると、食材としてのアカボヤの旬は秋季と考えられる。

オホーツク海沿岸は冬季に流水が到来するため、この間、アカボヤの試料採取は難しいが、今後、でき得る限り周年にわたって生殖巣の組織的な観察を行い、正確な

Table 2 Proximate composition, glycogen and carotenoid of *Halocynthia roretzi*

Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)	Glycogen (%)	Carotenoid (mg/100 g)
75.4±1.0	9.4±0.1	3.5±0.5	2.3±0.1	5.8±0.9	1.0±0.3

H. roretzi were taken in Funka Bay, Hokkaido in September 2016.
Average ± standard deviation, $n=5$.

産卵期を確定する必要がある。

カロテノイド組成 アカボヤの筋膜体に含まれているカロノテイドは、マボヤと共通する成分が多く同定された (Table 3)。藻類には様々な構造のカロテノイドが分布しており、灰色藻には β -carotene, クリプト藻には alloxanthin が存在する。²⁶⁾ アカボヤから同定された β -

Fig. 3 Correlation among moisture, protein, lipid and glycogen in muscle of *Halocynthia aurantium*: (a) moisture-protein, (b) moisture-lipid, (c) moisture-glycogen, (d) protein-lipid, (e) protein-glycogen, (f) lipid-glycogen. r =correlation coefficient ($p < 0.05$, $n=40$).

Fig. 4 Light micrographs of gonad of *Halocynthia aurantium*: (a) ovary in recovery stage, (b) ovary in developing stage, (c) testis in immaturity stage, (d) testis in developing stage. Scale bar: 100 μ m.

Fig. 5 Formative stage of gonad of *Halocynthia aurantium*: (a) Ovary ($n=10$), (b) Testis ($n=10$).

Fig. 6 Structures of identification carotenoids in *Halocynthia aurantium* and their metabolic pathways. *Fucoxanthin and fucoxanthinol were not found in *H. aurantium*. This tunicate accumulates fucoxanthin from dietary algae and metabolizes it to halocynthiaxanthin and mytiloxanthin.

Fig. 7 Change of carotenoid components identified in muscle of *Halocynthia aurantium*: (a) β -carotene (containing alloxanthin ester), (b) astaxanthin ester, (c) alloxanthin (containing diatoxanthin), (d) astaxanthin, (e) mytiloxanthin ester (containing halocynthiaxanthin-3-ester), (f) halocynthiaxanthin, (g) mytiloxanthin, (h) pectenolone. Error bars indicate standard deviation ($n=4$). Different letters indicate significant difference ($p<0.05$).

Table 3 Carotenoid composition in muscle of *Halocynthia aurantium* and *H. roretzi*

Year	<i>H. aurantium</i>					<i>H. aurantium</i>	<i>H. roretzi</i>
	2015					2016	
	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Nov.	Sep.	Sep.
Compound	Composition (%) ^{*4}						
β -Carotene ^{*1}	9.4	33.1	25.4	12.2	17.5	11.5	9.8
Astaxanthin ester	13.3	16.6	23.8	8.5	8.4	10.1	2.6
Mytiloxanthin ester ^{*2}	29.5	22.0	16.3	13.4	15.2	27.5	32.4
Astaxanthin	18.9	11.6	17.2	16.6	18.8	17.2	2.5
Pectenolone	2.7	0.9	1.9	5.8	4.3	6.2	8.7
Alloxanthin ^{*3}	12.3	1.0	1.7	27.4	18.9	11.6	22.9
Mytiloxanthin	1.6	1.0	1.3	4.1	3.0	3.5	3.8
Halocynthiaxanthin	3.7	13.1	7.5	7.6	10.1	7.4	2.5
Others	8.6	0.8	5.0	4.6	3.8	5.0	14.8

^{*1} Contains alloxanthin ester.

^{*2} Contains halocynthiaxanthin-3-ester.

^{*3} Contains diatoxanthin.

^{*4} Composition is average ($n=4-5$).

carotene, alloxanthin は、餌である微細藻類に由来すると考えられる。アカボヤにおいて、これらのカロテノイドが夏場にピークを示すのは、微細藻類の増加とアカボヤの摂食が活発になる時期が一致するためと推察される。微細藻類が生合成する β -carotene は微細甲殻類によって astaxanthin に酸化的に代謝変換されることが知られている。²⁷⁾ 同様に、珪藻に由来する fucoxanthin は halocynthiaxanthin を経て mytiloxanthin に、²⁸⁾ diatoxanthin は pectenolone に²⁹⁾それぞれ変換される。これらのカロテノイドの増減は、取り込んだ餌の代謝物と考えられるため、いずれも餌環境に影響を受けていることが推察される。これらのカロテノイドは、筋膜体から生殖器官に移行している可能性も考えられ、今後、生殖巣のカロテノイドについても、詳細な検討が必要である。

アカボヤには機能性が期待されるカロテノイドが多く含まれていた。例えば、astaxanthin は抗酸化作用、抗炎症作用、抗疲労作用など多くの機能性が明らかとされているカロテノイドである。³⁰⁾ 他のカロテノイドにも次のような効果が報告されている。西野³¹⁾によれば、GOTO 細胞などヒト由来腫瘍細胞において、fucoxanthin は強力な腫瘍細胞増殖抑制効果を示す。その代謝産物である halocynthiaxanthin は、さらに強い抗腫瘍活性を示すだけでなく、HGC-27, COLO320DM など他のヒト腫瘍細胞の増殖も阻害することが明らかにされている。Konishi *et al.*³²⁾は、halocynthiaxanthin がヒト由来の L-60 細胞に対して強力なアポトーシス誘導能を示すことを報告している。また、Konishi *et al.*³³⁾は、alloxanthin がマクロファージに対して炎症性サイトカインの産生抑制能を示すことを確認している。最近、Mao-ka *et al.*³⁴⁾は mytiloxanthin が astaxanthin とほぼ同等の

一重項酸素消去活性および脂質過酸化抑制活性を示すことを、Narita *et al.*³⁵⁾は pectenolone が astaxanthin とほぼ同等の脂質過酸化抑制活性を示すことを、それぞれ報告している。これらの結果から、アカボヤは astaxanthin をはじめとする機能性カロテノイドを多種類含む有用な食材と考えられる。今後は、アカボヤの特長を生かした活用方法を開発していく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり試料採取に多大なご協力をいただいた紋別漁業協同組合指導部の皆様および北海道立総合研究機構、栽培水産試験場、高島信一主査に深謝する。本研究は、北海道ホタテ漁業振興協会の委託事業「地まきホタテガイ漁場におけるアカボヤ駆除と有効利用を目指した基礎調査」の中で行った。

文 献

- 1) 小林芳弘. アカボヤ *Halocynthia aurantium* (PALLAS) の生物誌. 盛岡大学短期大学部紀要 2002; **12**: 17-23.
- 2) 小林芳弘. アカボヤの資源量について. 盛岡大学短期大学部紀要 2006; **16**: 21-27.
- 3) 佐々木正義, 近田靖子, 合田浩朗. アカボヤの人工採苗および中間育成技術の開発と養殖事業化の検討. 平成 25 年度釧路水産試験場事業報告書 2014; 95-100.
- 4) Tsuchiya Y, Suzuki Y. Biochemical studies of the ascidian, *Cynthia roretzi* v. drasche-VIII. On the general components. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1962; doi:10.2331/suisan.28.231 (in Japanese with English abstract).
- 5) Watanabe K, Maezawa H, Nakamura H, Konosu S. Seasonal variation of extractive nitrogen and free amino acids in the muscle of the ascidian *Halocynthia roretzi*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1983; doi:10.2331/suisan.49.1755.
- 6) Watanabe K, Uehara H, Sato M, Konosu S. Seasonal variation of extractive nitrogenous constituents in the mus-

- cle of the ascidian *Halocynthia roretzi*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1985; doi:10.2331/suisan.51.1293.
- 7) Park C, Matsui T, Watanabe K, Yamaguchi K, Konosu S. Seasonal variation of extractive nitrogenous constituents in ascidian *Halocynthia roretzi* tissues. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990; doi:10.2331/suisan.56.1319.
  - 8) Park C, Matsui T, Watanabe K, Yamaguchi K, Konosu S. Regional variation of extractive nitrogenous constituents in the ascidian *Halocynthia roretzi* muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; doi:10.2331/suisan.57.731.
  - 9) 日下兵衛, 加賀 靖, 斉木康弘, 太田静行. ホヤ脂質の脂肪酸組成とその季節的变化. 油化学 1985; **34**: 262-270.
  - 10) Kusaka H, Narita H, Iwata K, Ohta S. Gas liquid chromatographic determination of flavor component from ascidian. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1983; doi:10.2331/suisan.49.617 (in Japanese with English abstract).
  - 11) 野俣 洋, 麻生真悟, 太田智樹, 金子博実. アカボヤの有効利用試験. 平成元年度網走水産試験場事業報告書 1990; 289-299.
  - 12) 太田智樹, 金子博実, 野俣 洋, 武田忠明, 橋本健司. アカボヤの有効利用試験. 平成2年度網走水産試験場事業報告書 1992; 307-312.
  - 13) 金子博実, 太田智樹, 野俣 洋, 武田忠明, 橋本健司. アカボヤの有効利用試験. 平成3年度網走水産試験場事業報告書 1993; 207-214.
  - 14) Ookubo M, Matsuno T. Carotenoids of sea squirts—II. Comparative biochemical studies of carotenoids in sea squirts. *Comp. Biochem. Physiol.* 1985; **81B**: 137-141.
  - 15) 福井作蔵. 還元糖の定量. 「生物化学実験法1」学会出版センター, 東京. 1982; 47-50.
  - 16) Moore KL, Barr ML. Nuclear morphology, according to sex, in human tissues. *Acta Anatomica* 1954; **21**, 197-208.
  - 17) Sugawara Y, Goto K, Imai T. Microscopic studies on the gonad of the ascidian, *Cynthia roretzi* var. *drasche*. *Tohoku Journal of Agricultural Research* 1968; **19**: 62-73.
  - 18) 佃 信夫. カロテノイドの分離と定量. 「水産生物化学・食品学実験書」恒星社厚生閣, 東京. 1974; 103-104.
  - 19) 眞岡孝至. 天然カロテノイドの分析と構造研究. オレオサイエンス 2012; **12**: 485-494.
  - 20) 渡辺勝子, 鴻巣章二. ホヤのエキス成分. 化学と生物 1989; **27**: 96-103.
  - 21) Date K, Yamamoto Y. Seasonal variations with growth in nutritive components in meat of cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1988; doi:10.2331/suisan.54.1041 (in Japanese with English abstract).
  - 22) 零石志乃舞, 大西千賀子, 田中淳也. ホタテガイ閉殻筋成分の季節変化. 青森県ふるさと食品研究センター研究報告 2002; **1**: 19-24.
  - 23) 野中順三九, 橋本芳郎, 高橋豊雄, 須山三千三. 魚の組織と主要成分. 「水産食品学」恒星社厚生閣, 東京. 1976; 29.
  - 24) 渡部終五. 一般成分. 「水圏生物科学入門」恒星社厚生閣, 東京. 2009; 134.
  - 25) 西川輝昭. ホヤ類. 「新・付着生物研究法」恒星社厚生閣, 東京. 2017; 211-226.
  - 26) 眞岡孝至. カロテノイドとその利用. 「アンチエイジングをめざした水産物の利用」恒星社厚生閣, 東京. 2011; 97-111.
  - 27) 眞岡孝至. カロテノイド, 天然における分布とその役割. *Food Research* 2011; **669**: 21-25.
  - 28) 眞岡孝至. フコキサンチン—その化学構造の特徴, 天然における分布と代謝. *Functional Food* 2013; **22**: 221-225.
  - 29) Maoka T. Carotenoids in marine animals. *Marine Drugs* 2011; **9**: 278-293.
  - 30) 山下英次. アスタキサンチンの効果. 「アスタキサンチンの科学」(矢澤一良編著) 成山堂書店, 東京. 2009; 28-138.
  - 31) 西野輔翼. 癌細胞増殖抑制活性. 「水産学シリーズ 94 海洋生物のカロノテイド—代謝と生物活性」(幹 渉編) 恒星社厚生閣, 東京. 1993; 105-113.
  - 32) Konishi I, Hosokawa M, Sashima T, Kobayashi H, Miyashita K. Halocynthiaaxanthin and fucoxanthinol isolated from *Halocynthia roretzi* induce apoptosis in human leukemia, breast and colon cancer cells. *Comp. Biochem. Physiol. Part C: Toxicol. Pharmacol.* 2006; **142**: 53-59.
  - 33) Konishi I, Hosokawa M, Sashima T, Maoka T, Miyashita K. Suppressing effects of alloxanthin and diatoxanthin from *Halocynthia roretzi* on LPS-induced expression of pro-inflammatory genes in RAW264.7 cells. *Journal Oleo Science* 2008; **57**: 181-189.
  - 34) Maoka T, Nishino A, Yasui H, Yamano Y, Wada A. Anti-oxidative activity of mytiloxanthin, a metabolite of fucoxanthin in shellfish and tunicates. *Marine Drugs* 2016; **14**: 93-98.
  - 35) Narita M, Maoka K, Ebitani K, Nishino H. Characteristics of chemical constituents and pigment of orange adductor muscle of scallop *Mizuhopecten yessoensis* in the Okhotsk Sea and anti-oxidative activity of the pigment. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2013; doi:10.2331/suisan.79.48 (in Japanese with English abstract).