報 文

養殖アユの仔魚から成魚までの可食部の 成分変化と魚介せんべいへの利用

松尾 悠^{1,2}, 近藤佑香¹, 本田早耶花¹, 吉江由美子^{1*}, 鈴木紘子³, 荒木徹也²

¹ 東洋大学 食環境科学部

² 東京大学大学院農学国際専攻

³ 群馬県水産試験場

Compositional Changes in the Edible Parts of Cultured Ayu at Different Growing Stages and Their Utilization in Fish Cracker Production

Yu Matsuo^{1,2}, Yuka Kondo¹, Sayaka Honda¹, Yumiko Yoshie-Stark^{1*},
Hiroko Suzuki³ and Tetsuya Araki²

¹ Faculty of Food and Nutritional Sciences, Toyo University, 1-1-1 Izumino, Itakura, Oura, Gunma 374-0193

² Department of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences,
The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo Ward, Tokyo 113-8657

³ Gunma Prefectural Fisheries Experimental Station, 13 Shikishimacho, Maebashi, Gunma 371-0036

Cultured ayu (*Plecoglossus altivelis*) are screened out at different growing stages of seed production; these larvae are typically underutilized. In this study, the chemical composition and antioxidant activities of the edible parts of these screened ayu (average body weight: 0.65–63.5 g) were analyzed. Juvenile cultured ayu with an average body weight of 0.65 g were totally edible (100%). On the other hand, for ayu weighing 7.59–63.5 g, edible parts accounted for 27.4–28.1 % (w/w) of body weight. The ratio of n-3 fatty acids to total fatty acid, amounts of total free amino acids and several minerals (Na, Ca, P and Zn), and antioxidant activities were all highest in juveniles and decreased significantly as the growing stage became later. Considering the possibility of easier storage and longer shelf life, four rice cracker samples blended with the edible parts of cultured ayu were produced for sensory evaluation. The results showed that producing rice crackers containing ayu muscle, juvenile fish and potato starch was an efficient way to utilize cultured ayu that had been screened out at different growing stages of seed production.

(Received Jun. 27, 2019; Accepted Sep. 12, 2019)

Keywords : Antioxidant activities, chemical composition, cultured ayu, rice cracker, sensory evaluation

キーワード : アユ, 成長, 成分変化, 加工利用, 官能評価

アユ (*Plecoglossus altivelis*) はサケ目アユ科の淡水魚で、1 年の一生のうちに海と川を行き来する回遊魚である。アユは秋に川で、産卵し、2 週間ほどでふ化した仔魚は冬を海で過ごし、春に川を上り始め成長していく¹⁾。この天然遡上アユが近年では減少しており、これを補うために人工種苗生産が行われ、毎年群馬県内では約 15 t のアユが放流されている²⁾。

これまでにアユの可食部成分の成長に伴う変化として、養殖アユのエキス成分³⁾や脂質および脂肪酸組成の季節変化⁴⁾、天然と養殖アユの脂質の比較^{5,6)}、アユの成熟に伴う筋肉組織の変化⁷⁾などが報告されてきた。養殖アユに関しては、食餌回数⁸⁾や食餌組成を変える^{9,10)}ことによる可食部成

分の変化が報告されてきた。これらの研究から、餌の組成や給餌頻度は養殖アユ可食部の脂肪酸組成に影響することが顕著である。しかしながら、これらは種苗生産における選別等の作業時点での成分の報告ではない。そこで本研究では、種苗生産に関連したアユ体成分の分析だけでなく、抗酸化能の有無についても調査することとした。

群馬県水産試験場がまとめた 1996 年以降の中間育成種苗の出荷報告²⁾によると、平均体重 0.35–1.02 g のアユ仔魚が 450 kg (2007 年)–1 764 kg (2000 年) が出荷された。出荷後は、中間育成種苗は業者ならびに水産試験場で養殖され、2017 年度には群馬県内で約 16.9 t のアユが放流された。アユの放流量は 22.7 t を放流した 2000 年より減少し、

¹ 〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1, ² 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1, ³ 〒371-0036 群馬県前橋市敷島町 13

*連絡先 (Corresponding author), yumiko_y@toyo.jp

近年は7-9t台で推移している。このアユの種苗生産において、成熟調整は行われているものの、なお選別される仔魚・稚魚～成魚がある。このうち、特にイワシ類仔魚＝シラスと同等サイズのもは十分に有効利用されていない。アユを食品として利用するにあたって、アユを用いた惣菜としての塩焼き¹¹⁾やアユなれずし¹²⁾、あゆずし¹³⁾の官能評価の報告はあるが、その他の加工食品の試作検討やその官能評価に関する報告は少ない。アユの加工食品としては、甘露煮、塩焼きを真空パックしたもの、干物、仔魚の佃煮、などが市販品としてあるが、仔魚については佃煮以外の加工品がほとんど見当たらない。そこで本研究では、アユの種苗生産において発生する、選別されたアユの有効利用を目的として、その成分分析ならびに保存が容易で賞味期限の長い加工品の試作と官能評価を行うこととした。

実験方法

1. 試料

群馬県水産試験場にて、採卵からシオミズツボワムシ、ならびに市販のアユ用配合飼料を餌として²⁾養殖されたアユ (*Plecoglossus altivelis*) を試料とした。群馬県水産試験場にて養殖され、2017年11月から2018年9月に選別されたアユの全長、体長および体重を測定し、この可食部を試料とした。頭部、内臓を取り除き、筋肉を採取した後、フードプロセッサー (クイジナートミニブレッププロセッサー/DLC-1JSB, 株式会社クイジナート サンエイ) でホモジナイズし、分析に供するまで-30℃で保存した。2017年11月に選別された試料 (仔魚) については、魚体全部を可食部としてホモジナイズした。分析に供したアユの全長、体長および体重、選別した時期を Table 1 に示した。これ以降 Table 1 に記載した番号 ①～④ ならびに平均体重によって試料を指し示す。

2. 一般成分

水分は常圧加熱乾燥法、灰分ならびに粗タンパク質は酸素循環燃焼方式・改良デュマ法で全窒素・全炭素測定装置

(SUMIGRAPH NC-220F, Sumika Chemical Analysis Service Ltd.) で測定した¹⁴⁾。窒素の基準物質には DL-Aspartic Acid (特級, キシダ化学株式会社) を用い、窒素-タンパク質換算係数には 6.25 を用いた。脂質は改良 Bligh-Dyer 法¹⁵⁾ に基づいて抽出し、重量測定によって定量した。

3. 脂肪酸組成

前述の脂質抽出液の溶媒を窒素で除去した後にメタノール塩酸溶液 (Methanolic HCl 3N, Sigma-Aldrich Co., SUPELCO) を加えメチルエステル化し、GC-MS (Focus GC&DSQ II, Thermo Fisher Scientific) に供した。分析条件は Matsuo et al.¹⁶⁾ に示した通りである。

4. 遊離アミノ酸

Matsuo et al.¹⁶⁾ の方法に従って試料からメタノールを用いて抽出液を調製し、高速アミノ酸分析計 (L-8900, Hitachi High-Technologies Corporation) に供し、遊離アミノ酸を定量した。

5. 無機質

Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn の測定を原子吸光光度法、P の測定をモリブデンブルー比色法¹⁷⁾ により行った。試料に硝酸を加えて、Digi PREP MINI (SCP SCIENCE) で加熱分解し、定容したものを原子吸光光度計 (AA-7700, Shimadzu Co.) に供した。各標準物質で作成した検量線から濃度を求め、各試料中の無機質の含有量を算出した。なお、Na, K, Ca, Mg はフレイム法、Fe, Zn, Cu, Mn は電気加熱法 (グラファイトファーネス法) を用いて測定を行った。各元素の検量線は、Na 0.1-0.4 ppm, K 0.2-0.8 ppm, Ca 0.5-2 ppm, Mg 0.1-0.4 ppm, Fe 2-10 ppb, Zn 0.4-2 ppb, Cu 0.8-4 ppb, Mn 0.4-2 ppb の濃度で作成した。P は 0-50 ppm の濃度範囲で検量線を作成した。

6. 抗酸化能

前述 (4) のメタノール抽出液を用いて ABTS 法, FRAP 法¹⁸⁾¹⁹⁾ により測定した。標準物質には 6-hydroxy-2,3,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox, Sigma-Aldrich Co.) を用い、Trolox 等量として求めた。測定結果はラジ

Table 1 Information of ayu screened out from cultivation

Sample number	Screened month	Full length (cm)	Body length (cm)	Body weight (g)	Edible parts (%) (w/w)
① (n=433)	November, 2017	2.84±0.45 ^a	—	0.65±0.19 ^a	—
② (n=82)	April, 2018	9.95±0.41 ^b	8.32±0.33 ^a	7.59±0.94 ^b	27.9
③ (n=55)	May, 2018	13.1±0.44 ^c	11.0±0.40 ^b	19.2±1.97 ^c	28.1
④ (n=12)	September, 2018	18.4±0.51 ^d	15.7±0.49 ^c	63.5±7.72 ^d	27.4

The data were expressed as mean±SD.

Different superscript letters within the same column indicate significant difference at $p<0.05$.

カルの 50% 除去活性 (Median effective dose : MD₅₀) として求め, Trolox 等量 (Trolox equivalent : TE) に換算した. 鉄の還元能力は FRAP 法で測定し, 鉄還元量 (μmol) として示した.

7. 加工品の試作と官能評価

市販アユ加工品 (甘露煮) や佃煮を比較した予備試験や, 試作品に含まれるアユの重量割合ができる限り多く, 保存が容易で賞味期限が長いことを鑑み, 押し焼きせんべいを試作し, 官能評価に供することとした. 9 月に選別されたアユの頭部・内臓を除去したのち, 5% 食塩水につけてオートクレーブにかけた後, 筋肉をほぐし身として得た. このアユほぐし身に上新粉または片栗粉と水を加えて作成したせんべい生地に体重平均 0.65 g のアユ ① (生またはゆでたもの) を添加し, いか焼機 (IKK 業務用 IKA-4) で押し焼きにしてせんべいを試作した. 配合はできる限り多くのアユを含むことを目的とし, 試作検討ののち, Table 2 に示す通りとなった. 20 代学生 13 人 (男性 7 人, 女性 6 人) をパネルとして, アユせんべいの官能評価を評点法で行った. 評価項目については, 予備試験により決定した. 外見 (好ましくない 1-好ましい 5), におい (焦げ臭い 1-香ばしい 5), 食感 (湿気ている 1-ぱりぱりしている 5), 塩味 (感じない 1-強く感じる 5), 苦味 (感じない 1-強く感じる 5), 総合評価 (好ましくない 1-好ましい 5) であ

り, 5 段階で評価した.

8. 統計処理

各分析項目における測定は 3 回以上行い, 測定値は有意水準を $p < 0.05$ とし, ANOVA により統計処理した.

実験結果および考察

1. 一般成分

Table 3 にアユ可食部の一般成分を示した. アユ可食部の水分は 75.0-82.6 g/100 g で成長につれ有意に減少したが, 脂質は 2.73-5.24 g/100 g と有意に増加した. 灰分は 0.94-1.94 g/100 g, タンパク質は 12.4-18.5 g/100 g で成長による差はなかった. 魚体全部を可食部としたため, ① はその他の試料 (②-④) に比べ有意に灰分の含量が多かった. 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) には養殖アユ成魚可食部の一般成分が, 脂質は 7.9 g/100 g, 水分は 72 g/100 g と報告されている. 本研究で分析したアユの脂質はこれらに比較して 0.35-0.66 倍と少なかった. アユシラス Post-larvae への 1 日あたりの給仕回数を変更すると, その成分が水分 79.6-82.5 g/100 g, タンパク質 12.8-13.7 g/100 g, 脂質 1.4-3.3 g/100 g, 灰分 1.7-2.1 g/100 g であったとの報告⁸⁾がある. これに比べ, 本研究の仔魚 ① は水分 82.6 g/100 g, タンパク質 12.4 g/100 g, 脂質 2.73 g/100 g, 灰分 1.94 g/100 g と著しく類似した値を得た. 他にも成長途中のアユに関して, 体重 8 g 前後のアユ可食部の一般成分は, 水分 66.3-70.1 g/100 g, 灰分 2.5-2.9 g/100 g, タンパク質 14.7-15.8 g/100 g, 脂質 8.7-12.4 g/100 g, と報告されている²⁰⁾²¹⁾. 本研究での平均体重 8.32 g の ② においては水分 78.4 g/100 g, 灰分 1.06 g/100 g, タンパク質 18.0 g/100 g, 脂質 3.00 g/100 g であり, 同程度の大きさのアユであるにもかかわらず, 灰分および脂質は前述の報告²⁰⁾²¹⁾ の半分以上であり, タンパク質は 14% 以上多いことが分かった. 中山ら²²⁾ は餌組成の異なる養殖アユ (体重 67.7-69.9 g) の一般成分を水分 66.1-66.2 g/100 g, タンパク質 15.3-15.4 g/100 g, 脂質 14.6-14.8 g/100 g, 灰分 3.0-3.1 g/100 g としている. 本研究での体重 63.5 g のアユ ④ は, 中山らの報告²²⁾ に比べて水分, タ

Table 2 Composition of Ayu rice crackers (% w/w)

	Rice cracker A	Rice cracker B	Rice cracker C	Rice cracker D
Flaked heated ayu muscle ①-④	27	21.5	18	20
Rice flour	29.5	24	0	0
Potato starch	0	0	27	30
Water	27	21	22	25
Raw ayu ①	16.5	33.5	33	0
Boiled ayu ①	0	0	0	25

Sample numbers ① to ④ were referred to Table 1.

Table 3 Proximate composition of edible parts of cultured ayu (g/100 g fresh matter)

Sample (average body weight, g)	Moisture	Ash	Protein	Fat
① 0.65	82.6 $\pm$ 0.23 ^d	1.94 $\pm$ 0.16 ^b	12.4 $\pm$ 0.19 ^a	2.73 $\pm$ 0.15 ^a
② 7.59	78.4 $\pm$ 0.41 ^c	1.06 $\pm$ 0.07 ^a	18.0 $\pm$ 0.34 ^b	3.00 $\pm$ 0.29 ^{ab}
③ 19.2	76.7 $\pm$ 0.41 ^b	0.94 $\pm$ 0.22 ^a	18.5 $\pm$ 0.08 ^b	3.46 $\pm$ 0.27 ^b
④ 63.5	75.0 $\pm$ 0.55 ^a	1.11 $\pm$ 0.11 ^a	18.0 $\pm$ 0.53 ^b	5.24 $\pm$ 0.38 ^c

The data were expressed as mean $\pm$ SD ($n=3$).

Different superscript letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$.

Sample numbers ① to ④ were referred to Table 1.

Table 4 Fatty acid composition of edible parts of cultured ayu depending on different body size (% , w/w)

Fatty acid	Sample (number and average body weight, g)			
	① 0.65	② 7.59	③ 19.2	④ 63.5
Saturated fatty acids				
C14 : 0	3.90±0.10 ^a	4.15±0.35 ^{ab}	4.02±0.13 ^{ab}	4.09±0.03 ^b
C15 : 0	n.d. n.d.	0.40±0.02 ^c	0.31±0.01 ^b	0.27±0.03 ^a
C16 : 0	26.7±0.75 ^a	26.7±0.16 ^a	27.8±0.45 ^b	27.3±0.55 ^{ab}
C18 : 0	6.44±0.28 ^c	4.73±0.11 ^b	4.53±0.09 ^a	4.67±0.05 ^b
Mono unsaturated fatty acids				
C16 : 1	3.92±0.28 ^a	5.35±0.18 ^b	6.03±0.13 ^c	6.07±0.12 ^c
C18 : 1n-9	20.0±0.39 ^a	23.7±0.34 ^b	24.5±0.16 ^c	25.2±0.82 ^c
C20 : 1	1.15±0.15 ^a	n.d.	2.32±0.08 ^c	1.62±0.07 ^b
C22 : 1	n.d.	0.86±0.04 ^b	0.77±0.05 ^a	0.92±0.05 ^b
Polyunsaturated fatty acids				
C18 : 2n-6	3.52±0.07 ^a	12.7±0.44 ^c	12.2±0.25 ^c	11.6±0.11 ^b
C18 : 3n-3	0.53±0.05 ^a	1.47±0.03 ^{bc}	1.53±0.04 ^c	1.44±0.03 ^b
C20 : 4n-6	1.12±0.36 ^b	0.76±0.02 ^b	0.59±0.09 ^a	0.54±0.05 ^a
C20 : 5n-3	11.0±0.69 ^c	5.27±0.17 ^b	4.18±0.07 ^a	3.98±0.19 ^a
C22 : 6n-3	21.7±0.75 ^d	13.9±0.34 ^c	11.2±0.22 ^a	12.3±0.63 ^b

The data were expressed as mean±SD(*n*=3).

n.d.: not detected.

Different superscript letters within the same row indicate significant difference at *p*<0.05.

Sample numbers ① to ④ were referred to Table 1.

ンパク質が多く、脂質と灰分は半分以下であることが認められた。須山ら²³⁾は水分と脂質含量の和はほぼ一定(80%前後)で、両成分の増減に相関関係が認められたと報告している。本研究で分析したアユは個体重量平均0.65g~63.5gと大きな差があったにもかかわらず、同様の関係が見られた。

2. 脂肪酸組成

Table 4 にアユ可食部の脂肪酸組成を示した。①から④すべての試料においてパルミチン酸(C16:0)が26.7-27.8%と最も多かった。個体重量平均0.65gの①はオレイン酸(C18:1n-9)20.0%, EPA(C20:5n-3)11.0%, DHA(C22:6n-3)21.7%を多く含んでいた。②から④はオレイン酸23.7-25.2%, リノール酸(C18:2n-6)11.6-12.7%, DHA11.2-13.9%を多く含んでいた。DHAの存在割合は①が21.7%で④は12.3%と有意に減少した。n-3系脂肪酸合計での存在割合は①で33.2%であったものが、成長につれ16.9-20.7%へと有意に減少した。n-6系脂肪酸の割合は①が最も少なく4.64%であったものが、②から④では12.2-13.4%と有意に増加した。これらを可食部100gあたりの含有量として換算すると、パルミチン酸は0.73-1.43g、オレイン酸は0.55-1.32gで成長につれ有意に増加した。DHAは100gあたり①が593mgで④が647mg、n-3系脂肪酸合計として①が909mg、④が

931mgと存在割合(%)に有意な差はみられたものの、含有量に差は認められなかった。n-6系脂肪酸合計として①が127mgであったものが成長につれて有意な増加を示し、④では637mgと存在割合だけでなく、含有量も有意に多かった。Lee et al.²⁰⁾は、体重4gのアユ仔魚の脂肪酸組成は、パルミチン酸21.3%, オレイン酸32.8%, EPA1.1%, DHA4.7%だったものが、異なる餌組成で養殖して体重8gになるとパルミチン酸22.2-25.9%, オレイン酸25.0-25.4%, EPA1.0-2.1%, DHA4.3-6.6%となったと報告している。Jeong et al.⁹⁾は餌が異なる養殖アユ(体重55.1-93.1g)を試料として、可食部は重量割合で30.4-44.7%, その脂肪酸組成は、パルミチン酸19.1-28.9%, オレイン酸18.3-20.5%, EPA0.9-1.6%, DHA4.0-9.4%であったとしている。本研究ではこれらの報告に比べ、②から④の試料はEPAが3.98-5.27%, DHAが11.2-13.9%と脂質中のPUFAの割合が高いことが認められた。山澤ら¹⁰⁾は餌の組成を変えることでアユ背肉の脂肪酸組成が体重44.9g時点でのパルミチン酸32.0%, オレイン酸23.4%, EPA5.5%, DHA7.8%が体重41.9-47.8gとなった後に、パルミチン酸、オレイン酸、EPAは変化しなかったのに対し、DHAが9.2-10.5%に増加したと報告している。Saito and Okabe⁶⁾は養殖アユ(体重39.4-76.8g)の可食部脂肪酸組成において、パルミチン酸は26.6-30.7%, パルミトオレ

Table 5 Free amino acid composition of edible parts of cultured ayu (mg/100 g)

Amino acid	Sample (number and average body weight, g)			
	① 0.65	② 7.59	③ 19.2	④ 63.5
Asp	53.9±1.70 ^d	6.27±0.83 ^c	4.24±0.19 ^b	3.51±0.19 ^a
Thr	25.9±0.59 ^c	5.77±0.42 ^b	4.33±0.10 ^a	4.38±0.09 ^a
Ser	69.8±1.68 ^d	18.4±0.95 ^b	16.5±0.31 ^a	30.8±0.39 ^c
Glu	148±4.12 ^d	32.7±2.20 ^c	26.2±0.87 ^b	16.2±0.19 ^a
Gly	34.9±0.90 ^c	22.0±0.91 ^b	16.8±0.28 ^a	38.5±0.59 ^d
Ala	120±2.60 ^c	47.9±1.74 ^b	43.8±0.72 ^a	47.6±1.11 ^b
Pro	51.5±2.73 ^d	13.8±0.59 ^c	8.65±0.26 ^b	3.94±0.16 ^a
Cys	1.53±1.11 ^{bc}	0.72±0.06 ^c	0.55±0.07 ^b	0.42±0.06 ^a
Val	86.8±2.15 ^d	14.6±0.75 ^c	11.2±0.23 ^b	7.00±0.17 ^a
Met	63.7±1.59 ^d	8.99±0.48 ^c	6.85±0.07 ^b	0.72±0.13 ^a
Ile	63.1±1.02 ^d	9.29±0.50 ^c	7.06±0.22 ^b	4.24±0.08 ^a
Leu	163±2.40 ^d	21.5±1.07 ^c	14.9±0.41 ^b	6.89±0.42 ^a
Tyr	78.0±2.78 ^d	10.3±1.00 ^b	7.58±0.58 ^a	18.0±0.40 ^c
Phe	90.3±1.81 ^d	12.2±0.51 ^c	9.17±0.21 ^b	5.34±0.12 ^a
Lys	197±5.57 ^d	27.9±2.34 ^c	15.8±0.46 ^b	11.7±0.42 ^a
NH ₃	10.0±0.25 ^d	6.01±0.12 ^a	6.63±0.35 ^b	8.29±0.85 ^c
His	36.5±0.73 ^c	30.5±0.87 ^b	39.1±0.58 ^d	17.7±0.59 ^a
Arg	111±4.22 ^c	12.2±1.10 ^b	7.84±0.15 ^a	8.73±0.69 ^a
Total	1 400±29.2 ^d	295±14.7 ^c	241±4.88 ^b	226±3.95 ^a

The data were expressed as mean±SD(*n*=6).

Different superscript letters within the same row indicate significant difference at *p*<0.05.

Sample numbers ① to ④ were referred to Table 1.

イン酸 7.4-11.6%, オレイン酸は 15.3-24.2%, リノール酸 6.2-12.2%, EPA 1.6-4.2%, DHA 3.2-6.7% であったと報告している。これらの報告と本研究アユ試料 (② から ④) の分析結果は類似した値であることが確認できた。一方で、仔魚 ① のように魚体全体が可食部である場合、これら仔魚を食すことで、EPA および DHA といった高度不飽和脂肪酸が多く得られる。高度不飽和脂肪酸は血栓の生成を防ぎ、高血圧を予防する等の機能が知られており²⁴⁾、これらの摂取は健康維持に寄与するものと期待される。

3. 遊離アミノ酸

アユ可食部の遊離アミノ酸組成を Table 5 に示した。遊離アミノ酸総量は、① で最も多く、次いで②、③、④ の順に成長に従って有意な減少を示した。① は可食部が魚体全体であり、頭部・内臓も含めて分析に供したため、遊離アミノ酸が多く検出されたと考えられる。① で多く検出されたアミノ酸は 100 g あたり Lys 197 mg, Ala 120 mg, Phe 90.3 mg, Val 86.8 mg 等であった。② ③ では同様に Ala 43.8-47.9 mg, His 30.5-19.1 mg, Glu 26.2-32.7 mg, Lys 15.8-27.9 mg が多く検出された。④ では② ③ と同様に Ala (47.6 mg) が最も多く検出され、Gly (38.5 mg), Ser (30.8 mg) が他の試料よりも有意に多く検出された。中山ら²²⁾ は養殖アユ (体重 67.7-69.9 g) の遊離アミノ酸が Glu + Gln 45-54 mg/100 g, Lys 41-51 mg/100 g, His 39-50

mg/100 g, Ala 40-44 mg/100 g であったとしている。本研究でのアユ平均体重 63.5 g の④ では Glu 16.2 mg/100 g, Lys 11.7 mg/100 g, His 17.7 mg/100 g, Ala 47.6 mg/100 g と中山ら²²⁾ の報告に比べて Ala が同等であった以外は小さい値となった。遊離アミノ酸を呈味で分類²⁵⁾²⁶⁾ したところ、甘味を示すアミノ酸 (Gly, Ala, Thr, Ser, Pro) 総量は① で 302 mg/100 g, 遊離アミノ酸総量の 21.8% であったものが、④ では 125 mg/100 g, 遊離アミノ酸総量の 56.0% と構成割合が成長に伴って増加した。

苦味を示すアミノ酸 (Cys, Val, Met, Ile, Leu, Tyr, Phe, Lys, His, Arg) の総量は① で 891 mg/100 g, 同上 63.8% が④ では 80.7 mg/100 g, 同上 35.8% と含有量、構成割合共に成長により減少した。旨味 (Asp, Glu) を示す遊離アミノ酸の総量は 202 mg/100 g, 同上 14.5% から 19.7 mg/100 g, 同上 8.7% と含有量、構成割合共に成長するにつれ減少した。遊離アミノ酸と同時に測定されたアンモニアは仔魚 ① で最も多く、これは仔魚の内臓も含めた可食部においてタンパク質の加水分解の進行が多いためと考えられた。²⁷⁾

4. 無機質

Table 6 にアユ可食部の無機質の 100 g あたりの含有量を示した。可食部 100 g あたり Na は① の 201 mg が他に比べて有意に高く、② では 102 mg と著しい減少を示し、

Table 6 Mineral composition of edible parts of cultured ayu

Minerals	Sample (number and average body weight, g)			
	② 0.65	② 7.59	③ 19.2	④ 63.5
Na (mg/100 g)	201±8.99 ^d	102±1.75 ^c	94.6±0.97 ^b	86.7±1.55 ^a
K (mg/100 g)	253±7.79 ^a	401±14.6 ^b	400±3.09 ^b	446±21.5 ^c
Ca (mg/100 g)	160±2.17 ^b	27.0±7.39 ^a	17.7±3.19 ^a	16.8±5.55 ^a
Mg (mg/100 g)	26.5±1.48 ^a	26.3±0.57 ^a	27.4±0.52 ^a	29.9±0.38 ^b
P (mg/100 g)	329±14.6 ^c	220±8.95 ^{ab}	220±2.66 ^a	233±7.56 ^b
Fe (μg/100 g)	1370±47.3 ^a	1500±36.0 ^b	1420±59.2 ^{ab}	1370±72.9 ^b
Zn (μg/100 g)	2650±133 ^d	1410±13.0 ^c	1110±58.3 ^b	802±100 ^a
Cu (μg/100 g)	81.4±7.81 ^b	64.6±6.28 ^a	55.7±7.81 ^a	83.7±4.02 ^b
Mn (μg/100 g)	74.7±9.71 ^b	22.8±3.50 ^a	Tr	Tr
Total (mg/100 g)	974±34.1 ^c	780±25.1 ^{ab}	762±5.10 ^a	814±33.3 ^b

The data were expressed as mean±SD ($n=3$).

Different superscript letters within the same row indicate significant difference at $p<0.05$.

Sample numbers ① to ④ were referred to Table 1.

その後も成長に従って③ 94.6mg, ④の86.7mgと有意な減少を示した。Kは①では253mgであり, ④で446mgと①から④に至るまで, 有意な増加を示した。Caは①では160mgであり, ②から④では16.8-27.0mgと①に比べて有意に低かった。Mgは①から③で26.3-27.4mgとなり, ④では29.9mgと他に比べて有意に高かった。Pは①では329mgであり, ②から④では220-233mgと有意に低かった。Feは②の1500μgが最も高く, 成長による有意な変化は見られなかった。Znは①の2650μgで他と比べて有意に高く, 成長による有意な減少を示した。Cuは①(81.4μg)と④(83.7μg)が②(64.6μg), ③(55.7μg)に比べて有意に高かった。Mnは①の74.7μgが②の22.8μgと比べて有意に高く, ③と④では検出されなかった。平均体重62.3gの琵琶湖産アユ筋肉の無機質について, 可食部100gあたりCa28.8mg, P95.3mg, Fe1130μg, Na31.9mg, K209mg, Mg23.7mg, Zn1180μg, Mn50μg, Cu60μgであったとの報告²⁸⁾がある。本研究のアユ試料④はこの報告の2倍以上のNa, K, Pを含んでいたが, Ca, Znは30-40%少なく, Mnは検出されなかった。無機質総量は①で974mg/100gであり, ②から④では762-814mg/100gと①に比べて有意に低かった。

5. 抗酸化能

Fig. 1に養殖アユのメタノール抽出液のABTSラジカル除去活性とFRAPの測定結果を示した。どちらもTrolox等量(Trolox equivalent: TE)を求め, FRAPは鉄の還元能(μmol reduction/100g)を求めた。①のABTSラジカル除去活性は②から④の37.9-43.8mgTE/100gと比べて有意に高かった。FRAPは①では76.1μmolFe²⁺/100gで④の14.9μmolFe²⁺/100gに比べて有意に高かった。ABTSラジカル除去活性, 鉄の還元能力ともに成長に従って有意な減少を示した。以上のことから, アユの仔魚(シ

ラス)を食することで, 同時に抗酸化成分を成魚可食部よりも多く摂取できる可能性が示唆された。アユの体成分が示す, 抗酸化能については, これまでに報告が見当たらないが, オシヨロコマの仔魚(体重9.4g)の給餌頻度を変えたときの抗酸化にかかわる体内酵素の変化を調べた報告²⁹⁾がある。一方でタンパク質を主体とする食品の抗酸化能が, 消化酵素およびその他加水分解酵素によるタンパク質の分解によって増加する, という報告³⁰⁾がある。本研究で試料としたアユは仔魚, 成魚にかかわらずタンパク質を多く含み, 消化酵素による加水分解とそれに伴う抗酸化能の増加が期待できるものとも考えられる。また, 仔魚においては内臓も可食部としているため, 内臓由来の加水分解酵素によるタンパク質の部分分解が前出の報告同様の抗酸化能の増加を示す一因になったものと考察した。

6. アユせんべいの試作と官能評価

これまでにアユ調理品, 加工品に関する報告としては, 養殖アユの餌組成を変えることで脂肪酸組成が異なり, アユ素焼きの官能評価で甘味と旨味が有意に変化することが報告されている¹⁰⁾。一方で, Hattori et al.¹¹⁾は同じ川の異なる地点から得たアユ塩焼きの官能評価で, 呈味に差はなく, においと脂のりが有意に異なり, 総合評価はにおいと脂のりが好ましければ高くなる傾向を示した, としている。このようにアユ加工品・調理品の官能評価に関する報告は主に伝統食品(なれずし)やそのままの味を調べたものがほとんどで, 試作検討した例は少ない。本研究では常温で保存可能な加工形態にすることを前提として, 予備試験($n=10-23$)を行った。缶詰, 甘露煮, 佃煮, せんべいを試作して他魚種を用いた市販品と比較したところ, 缶詰と甘露煮は稚魚の加工処理が困難であり, 佃煮は他魚種よりも有意に好まれなかった。そこで保存が容易で, 採取時期などのロット差も顕著に表れない, かつ無機質の強化もできる

Fig. 1 Antioxidant activities of edible parts of ayu

The data were expressed as mean $\pm$ SD ($n=3$).

(A): ABTS radical scavenging activity

(B): Fe reducing activity

Sample numbers ① to ④ were referred to Table 1.

Different letters within the same figure indicate significant difference at $p < 0.05$.

Table 7 Sensory evaluation of rice crackers including ayu

Attributes	Rice cracker A	Rice cracker B	Rice cracker C	Rice cracker D
Outlook	3.54 $\pm$ 1.05 ^a	2.77 $\pm$ 1.01 ^a	3.46 $\pm$ 0.97 ^a	3.46 $\pm$ 0.66 ^a
Smell	3.62 $\pm$ 0.77 ^{ab}	3.85 $\pm$ 0.9 ^b	3.77 $\pm$ 0.6 ^b	3.15 $\pm$ 0.8 ^a
Texture	3.23 $\pm$ 1.36 ^a	3.08 $\pm$ 1.32 ^a	3.46 $\pm$ 1.51 ^a	4.62 $\pm$ 0.65 ^b
Saltiness	2.92 $\pm$ 1.12 ^a	2.54 $\pm$ 1.05 ^a	2.38 $\pm$ 0.87 ^a	2.31 $\pm$ 0.95 ^a
Bitterness	2.46 $\pm$ 1.27 ^a	3 $\pm$ 1.41 ^a	3.08 $\pm$ 1.44 ^a	2.31 $\pm$ 0.95 ^a
Overall acceptance	2.77 $\pm$ 0.93 ^a	2.92 $\pm$ 0.76 ^a	3.23 $\pm$ 1.3 ^{ab}	3.85 $\pm$ 0.9 ^b

The data were expressed as mean $\pm$ SD ($n=13$, 7 males and 6 females).

Compositions of rice cracker A to D were referred to Table 2.

Different superscript letters within the same row indicate significant difference at $p < 0.05$.

アユせんべいが最も妥当な形状と判断した。せんべいの味付け、焼き方、揚げ処理なども検討したが、味付けが追加しやすく、アユを最も多く含む配合として Table 2 に示すものとなった。このアユせんべい A~D の評点法による官能評価の結果を Table 7 に示した。せんべい A~D の外見、塩味、苦味に有意な差は認められなかった。D は、アユほぐし身(成魚)を含む片栗粉生地(ゆでシラス ①)を加えたせんべいである。せんべい D は他のせんべい A~C よりも有意に食感がバリバリしていると判断され、総合評価で得られた評価点は最も高く、上新粉生地のアユせんべ

い A,B よりも有意に好まれていた。アユを最も多く含む配合であるせんべい A は最も総合評価点が低かった。アユの配合量を変え、最も好ましいと判断されたせんべい D は重量の 45% がアユ(成魚の筋肉部 20%, 仔魚 25%)であり、アユの加工品としての摂取促進につながると考えられた。このアユせんべい D 中にすべての抗酸化能が残ったとして概算すると、せんべい 100g あたり 38mg Trolox 等量となり、これは Yoshie-Stark et al.³¹⁾ の異なる魚種から得たすりみ(10-25mg/100g)の抗酸化能よりも多い。抗酸化成分の主要なものがビタミンやポリフェノールである

場合は加工による損失が大きいと考えられる。しかし、本試料はタンパク質を主体としており、加工過程による損失だけでなく、消化酵素による加水分解とそれに伴う抗酸化能の変化があると考えられる。³⁰⁾ そのため、本研究では、生の試料を食品原料としてとらえた分析結果として、すりみよりも抗酸化能が高い事実が示された。

以上から、本研究では、アユ仔魚から成魚までの成分分析の結果、仔魚の成分にヒトの健康増進に寄与する成分が多く含まれていることを認めた。これらを多く含む加工品の開発において、好ましい味と受け入れられる味で保存しやすい形状、という条件をそろえたアユせんべいは今後の養殖アユの活用方法の一路と考えられた。

要 約

アユ種苗生産において選別された、仔魚から成魚までの体成分を分析し、抗酸化能を調べ、その食品としての有効利用を検討した。アユ仔魚には n-3 系脂肪酸の存在割合が高く、遊離アミノ酸が多かった。抗酸化能もアユ仔魚で最も高く、可食部のみを分析した成魚に至るまでに有意な減少を示した。引き続きアユ可食部ならびに仔魚を用いた加工品としてアユせんべいを作成した。これを官能評価したところ、アユ筋肉、アユ仔魚、片栗粉で調製したアユせんべいが好ましいと判断された。

文 献

- 1) 隆島史夫, 村井 衛編 (2005). 「淡水魚—水産増養殖システム<2>」, 恒星社厚生閣, 東京.
- 2) 群馬県水産試験場 (2018). 群馬県水産試験場報告第 24 号.
- 3) 平野敏行, 須山三千三 (1980). 天然および養殖アユの品質に関する化学的研究-Ⅲ 含窒素エキス成分の季節変化. 日本水産学会誌, **46**, 215-219.
- 4) 平野敏行, 須山三千三 (1983). 天然および養殖アユの脂質の脂肪酸組成とその季節変化. 日本水産学会誌, **49**, 1459-1464.
- 5) 中川平介, 高原泰彦, Nematipout, G.R. (1991). 天然および養殖アユの脂質について. 日本水産学会誌, **57**, 1965-1971.
- 6) Saito, H. and Okabe, M. (2012). Characteristics of lipid composition differences between cultured and wild ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Food Chemistry*, **131**, 1104-1115.
- 7) 山下由美子 (1993). 二倍体および三倍体アユの成長および成熟に伴う筋肉組織の変化. 日本水産学会誌, **59**, 1151-1154.
- 8) Cho, S.H., Lim, Y.S., Lee, J.H., Lee, J.K., and Park, S. (2003). Effects of feeding rate and feeding frequency on survival, growth, and body composition of ayu post-larvae *Plecoglossus altivelis*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **34**, 85-91.
- 9) Jeong, B.-Y., Jeong, W.-G., Moon, S.-K., and Ohshima, T. (2002). Preferential accumulation of fatty acids in the testis and ovary of cultured and wild sweet smelt *Plecoglossus altivelis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, **131**, 251-259.
- 10) 山澤広之, 桑田知宣, 山澤和子, 寺嶋昌代, 野沢義則 (2015). 配合飼料への柿ワイン残渣混合が養殖アユの脂肪酸組成および官能検査に与える影響. 日本食品科学工学会誌, **62**, 431-437.
- 11) Hattori, N., Uchida, S., Sano, M., and Murakami, T. (2013). Sensory analysis of the taste of ayu sampled from different river environments. *Food Science and Technology Research*, **19**, 479-483.
- 12) 野村幸司, 田子泰彦 (2016). 漁獲時期の異なるアユを用いたあゆなれずしの食味の比較. 日本水産学会誌, **82**, 948-950.
- 13) 水谷令子, 久保さつき, 松本亜希子, 成田美代 (1998). あゆずしの熟成中の成分変化. 日本調理科学会誌, **31**, 192-197.
- 14) AOAC (2012). in "Official Methods of Analysis (18th ed.) AOAC International", Gaithersburg MD, USA.
- 15) Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, **37**, 911-917.
- 16) Matsuo, Y., Miura, L. A., Araki, T., and Yoshie-Stark, Y. (2019). Proximate composition and profiles of free amino acids, fatty acids, minerals and aroma compounds in *Citrus natsudaiddai* peel. *Food Chemistry*, **279**, 356-363.
- 17) Eibl, H. and Lands, W.E.M. (1969). A New, sensitive determination of phosphate. *Analytical Biochemistry*, **30**, 51-57.
- 18) Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, **26**, 1231-1237.
- 19) Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, **239**, 70-76.
- 20) Lee, S.-M., Kim, D.-J., and Cho, S.H. (2002). Effects of dietary protein and lipid level on growth and body composition of juvenile ayu (*Plecoglossus altivelis*) reared in seawater. *Aquaculture Nutrition*, **8**, 53-58.
- 21) Lee, S.-M., Junm, K.-D., Park, H.G., Lee, J.K., and Lim, Y.-S. (2002). Effect of dietary *Sargassum* meal on growth and body composition of ayu (*Plecoglossus altivelis*) reared in seawater. *Journal of Fisheries Science and Technology*, **5**, 172-177.
- 22) 中山仁志, 古板博文, 天野俊二, 奥 宏海, 村下幸司, 松成宏之, 田上伸治, 鈴木伸洋, 山本剛史 (2015). 成長と生理状態から見たアユの養殖用飼料としての低魚粉飼料の可能性. 水産技術, **8** (1), 19-24.
- 23) 須山三千三, 平野敏行, 岡田憲明, 渋谷智晴 (1977). 天然および養殖アユの品質に関する化学的研究-I 一般成分, 遊離アミノ酸および関連物質. 日本水産学会誌, **43**, 535-540.
- 24) Ander, B.P., Dupasquier, C.M.C., Prociuk, M.A., and Puerce, G.N. (2003). Polyunsaturated fatty acids and their effects on cardiovascular disease. *Experimental & Clinical Cardiology*, **8**, 164-172.
- 25) Schiffman, S. S., Sennwald, K., and Gagnon, J. (1981). Comparison of taste qualities and thresholds of d- and l-amino acids. *Physiology & Behavior*, **27**, 51-59.
- 26) Kawai, M., Sekine-Hayakata, Y., Okiyama, A., and Ninomiya, Y. (2012). Gustatory sensation of L- and D- amino acids in humans. *Amino Acids*, **43**, 2349-2358.
- 27) 田中 克, 川合真一郎, 山本章造 (1972). アユ仔稚魚の消化系の発達と消化酵素活性について. 日本水産学会誌, **38**, 1143-1152.
- 28) 小島朝子, 井嶋重尾, 吉中禮二, 佐藤 守 (1990). 琵琶湖

- 産魚介類の無機成分含量. 日本水産学会誌, **56**, 1679-1686.
- 29) Guo, Z., Xui, J., Li, M., Liu, H., Zhang, M., Meng, F., Shi, G., Wang, R., He, X., and Zhao, Y. (2018). Effect of feeding frequency on growth performance, antioxidant status, immune response and resistance to hypoxia stress challenge on juvenile dolly varden char *Salvelinus malma*. *Aquaculture*, **486**, 197-201.
- 30) Nakajima, K., Yoshie-Stark, Y., and Oguishi, M. (2009). Comparison of ACE inhibitory and DPPH radical scavenging activities of fish muscle hydrolysates. *Food Chemistry*, **114**, 844-851.
- 31) Yoshie-Stark, Y., Tsukamoto, M., Futagawa, K., Kubota, M., and Ogushi, M. (2009). Bioactivities of surimi from southern blue whiting prepared by different ways. *Food Chemistry*, **113**, 47-52.
- (令和元年 6 月 27 日受付, 令和元年 9 月 12 日受理)
-