

## 完全養殖ウナギの食味評価

岡村 明浩,<sup>1\*</sup> 島村 綾,<sup>2</sup> 三河 直美,<sup>1</sup>  
山田 祥朗,<sup>1</sup> 堀江 則行,<sup>1</sup> 塚本 勝巳<sup>1,3</sup>

(2020年12月7日受付, 2021年3月8日受理, 2021年5月13日J-STAGE 早期公開)

<sup>1</sup>株式会社いらご研究所, <sup>2</sup>東洋水産株式会社, <sup>3</sup>東京大学名誉教授

## Taste evaluation of grilled eel produced by hatchery-based aquaculture

AKIHIRO OKAMURA,<sup>1\*</sup> AYA SHIMAMURA,<sup>2</sup> NAOMI MIKAWA,<sup>1</sup> YOSHIAKI YAMADA,<sup>1</sup>  
NORIYUKI HORIE<sup>1</sup> AND KATSUMI TSUKAMOTO<sup>1,3</sup><sup>1</sup>IRAGO Institute, Co., Ltd., Tahara, Aichi 441-3605, <sup>2</sup>Toyo Suisan Kaisha, Ltd., Tatebayashi, Gunma 374-0014, <sup>3</sup>Professor Emeritus, The University of Tokyo, Japan

We conducted sensory evaluation and physicochemical analyses of grilled Japanese eel *Anguilla japonica* farmed by hatchery-based aquaculture (HBA) following controlled captive reproduction. A total of 4939 artificial glass eels were reared in a commercial farm in Shizuoka, Japan for 12 months among which 50 adults (201 g average body weight) were grilled without sauce in a continuous two-sided grilling machine. Eels cultured by capture-based aquaculture (CBA) from seedlings of wild-caught glass eels in the same farm, were used as controls. Sensory evaluation showed that HBA grilled eels had a more fatty taste and harder texture than CBA grilled eels did. Chemical analyses revealed no significant difference in crude fat content between HBA and CBA eels, but the CBA eels contained more n-3 polyunsaturated fatty acids, possibly influencing the evaluation of fatty taste. Texture analysis indicated significantly harder flesh and skin in HBA than CBA eels, corresponding to the sensory evaluation. This information should be useful for product development of HBA eels.

キーワード：蒲焼, 完全養殖, 官能検査, 人工種苗生産, ニホンウナギ, 養鰻

ニホンウナギ *Anguilla japonica* (ウナギ) は東アジアにおける重要な水産資源であり, 日本においても年間10万トン以上の成鰻が消費されている。<sup>1)</sup> ここで消費されるウナギの99%以上は, 天然で捕獲したシラスウナギ(天然種苗)から育てられた養殖魚である。しかし, そのシラスウナギの採捕量は年々減少し, 現在では1960-1970年代の約10%前後で低迷している。<sup>2)</sup> 一方, 卵から人工環境下で育てられたシラスウナギ(人工シラスウナギ, 人工種苗)が産業的に実用化されれば, 種苗の安定供給が可能となり, さらに天然シラスウナギの漁獲圧が減りウナギ資源の保全につながる。

そのため, 約50年前から人工シラスウナギの開発研究が続けられている。<sup>3,4)</sup> 近年, 採卵技術<sup>5-7)</sup>に加え, 仔魚の飼育技術が向上し,<sup>8,9)</sup> 実験室レベルではあるものの年に約1万尾程度の人工シラスウナギの生産が可能と

なった(岡村ら, 未発表)。しかし, 日本において種苗として池入れされる天然シラスウナギは年に20トン前後であり(ウナギをめぐる状況と対策について(水産庁), [www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html](http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html), 2020年10月14日確認), これはシラスウナギ約1億尾に相当する。よって人工生産可能なシラスウナギは未だ需要の0.1%でしかない。

現在, 我々のグループでは, この人工シラスウナギを種苗として民間養殖場へ導入し, 成鰻までの飼育試験および製品への加工試験を行っている。この人工種苗由来の成鰻の味や身質が, 従来品から大きく変わることは考えにくい。しかし, ウナギの人工種苗は, 親魚への外因性ホルモンの投与<sup>5)</sup>や仔魚を1年近くに渡り人工餌料によって育てる<sup>3,4,8,9)</sup>など, 他魚種と比べ特殊な方法によって生産されている。このことが「人工」という言葉

のもつ無機質なイメージと相まって、例えば、消費者によっては人工種苗から作られたウナギを工業製品であるかのような誤解をいただく可能性もある。従って、人工種苗によるウナギ養殖も従来のものと変わることなく安全で安心であることをうまく伝えることも重要であろう。

そこで本研究は、人工種苗から生産した成鰻の品質評価を行い、消費者が客観的に評価できるよう科学的情報を提供することを目的とした。人工種苗由来の成鰻を白焼きに加工し、官能評価によって味や香り、食感などを評価した。また、白焼きの品質や食味に影響する化学的特性として、香氣成分、基本栄養素、脂質、遊離アミノ酸などを測定した。さらに食感の物理学的指標として身と皮の破断強度を測定した。比較対照には、天然種苗から同様に育てた成鰻を用いた。以上の分析値に基づき、人工種苗から生産した成鰻の品質を総合的に評価した。

なお本稿では、人工種苗を使う養殖を完全養殖とし、<sup>10)</sup> その場合の成鰻を完全養殖ウナギとした。また、完全養殖の英語表記は、FAOの報告書<sup>11)</sup>に従い hatchery-based aquaculture (HBA) とした。一方、天然種苗を使う従来のウナギ養殖を従来型養殖と表現し、得られる成鰻を従来型養殖ウナギとした。従来型養殖の英語表記は capture-based aquaculture (CBA)<sup>11)</sup> とした。

## 材料と方法

**人工種苗** 人工種苗生産のための親魚は、いらご研究所(愛知県)で生産・飼育したもので、メス親が完全養殖第2世代(F2,  $n=2$ )、オス親は天然シラスウナギを約1年間育てたもの(F0,  $n=6$ )である。親魚の催熟は Ohta *et al.*<sup>5)</sup>の方法に、採卵は堀江ら<sup>6)</sup>の方法に従って行った。また仔魚の飼育は Okamura *et al.*<sup>8)</sup>の方法に基づき行った。以下に概略のみを示す。

オス親魚には、ヒト絨毛性生殖腺刺激ホルモン(HCG, 三共エール薬品)(体重1kg当たり1000 IU)を、排精するまで毎週1回筋肉注射した。メス親魚には、サケ脳下垂体抽出液(体重1kg当たり乾物換算40 mg)を、毎週1回筋肉注射した。最終成熟期に達したメス親魚には、排卵誘発のため17 $\alpha$ ,20 $\beta$ -ジヒドロキシ-4-プレグネン-3-オン(DHP, SIGMA)を魚体重1kg当たり2mg投与した。DHPを投与したメス1尾に対し、排精しているオス3尾を産卵水槽(容量1m<sup>3</sup>)内に収容し、産卵・放精が確認された後、受精卵を回収した。仔魚の飼育は、アクリル製クライゼル水槽(260 L)で行い、孵化後6日齢よりサメ卵主体の人工餌料を給餌した。変態誘起のため飼育開始後250日目に給餌を終了し、<sup>12)</sup>約2週間後、変態を完了したシラスウナギをすべて回収した。2回の採卵と飼育を行い、得られたシラスウナギの一部を人工種苗とした。

**完全養殖ウナギ** 人工種苗による成鰻生産および製品

加工試験は、株式会社共水(静岡県焼津市)に委託した。2018年12月と2019年2月に、合計4939尾の人工シラスウナギをハウス式養殖池(全面コンクリート, 18坪, 縦8m×横8m, 水深約0.6m, 水量約40t)に収容した。池への注水は地下水(16-18°C)をかけ流し式で行い(6-15 L/分), 池の水温は温水配管によって加温し約29°Cとした。餌料は中部飼料(株)製の餌付け用, シラス用, クロコ用, 成鰻用を成長に合わせて与えた。成鰻への給餌は1日に2回(07:30, 16:00), 給餌量は体重あたり乾燥重量で2-4%であった。

2019年12月に、一部(50尾, 平均201g/尾)を池上げした。この成鰻を用いて白焼きの真空パック加工を行った。加工工程の概略は、活鰻から頭部、内臓、脊椎骨を手作業で除去後、同一ライン上で焼成、冷却、真空包装、煮沸消毒、凍結までを連続式で行うものである。白焼きの冷凍パックは後の試験に供するまで-20°Cで保存した。

**従来型養殖ウナギ** 比較対照として、従来型養殖ウナギの白焼きの真空パック加工品(-20°C冷凍保存)計9尾を用いた。同じ養殖場で2018-2019年春季に導入された天然シラスウナギを基に生産された成鰻を、同一条件の下、加工したものである。同養殖場でのウナギの池入れから出荷までの養成期間は、通常12-24か月と幅がある。体重約200gに到達した個体を逐次出荷し加工するため、今回サンプルとした白焼き試料の厳密な養成期間の特定はできないが、業者への聞き取りによると養成期間はおよそ15か月程度であった。また、成長に従い18坪の池から、80, 100, 120坪の池(底面砕石土)への移し替えを行っていた。

**官能評価** 完全養殖および従来型養殖ウナギの白焼きについて、5味の識別テスト<sup>13)</sup>に合格した20-50代の男女20名をパネルとして官能評価を実施した。パネルは東洋水産株式会社総合研究所に所属し、水産物を含む食品の製品開発、分析、評価を日常的に行っている。白焼きの冷凍パックは沸騰湯中で10分間湯煎した後、1.5cm幅にカットしたものを提示直前まで55°Cで湯煎保管した。提供時は、カットした切り身を薬味皿の一つのせ、フォークをつけた。

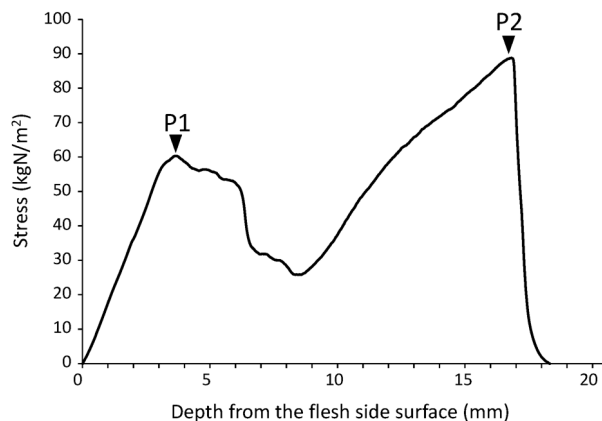
分析型官能評価では、評点法による評価を試みた。評価項目は7つとし、喫食前に「香ばしさ・泥臭さ」の香りの2項目を、喫食後に「皮のかたさ・うま味・脂ののり・香り・泥臭さ」の5項目を評価させた。評点はとても弱い(やわらかい)を1点、どちらでもないを3点、とても強い(かたい)を5点とした。以上の評価項目のうち、脂ののりと泥臭さはウナギの風味として重要な因子であり、<sup>14)</sup>皮のかたさはウナギの品質を規定する重要な因子の一つで柔らかいほど良いとされる。<sup>15)</sup>

さらに嗜好型官能評価として、別に用意した試料を提示し、おいしさの総合評価をさせた。評点はとても好ましくないを1点、どちらでもないを3点、とても好ましいを5点とした。また、評価用紙には自由記述欄を設け、コメントを記入してもらった。自由記述については統計的な解析はせず、考察の材料とした。

**栄養・化学分析** 以下の各分析では、完全養殖および従来型養殖の白焼きそれぞれ3個体を混ぜ合わせ1検体として分析に供した。検体は皮と筋肉は全て含めて分析に供した。基本栄養組成および脂質組成の分析は東洋水産株式会社総合研究所分析検証グループ ([www.maruchan.co.jp](http://www.maruchan.co.jp))、イノシン酸、遊離アミノ酸組成、トリメチルアミン、イソバレルアルデヒド、2-メチルイソボルネオールおよびジオスミンの分析は一般財団法人日本食品分析センター ([www.jftrl.or.jp](http://www.jftrl.or.jp)) にそれぞれ委託した。なお、トリメチルアミンは魚臭成分<sup>16)</sup>、イソバレルアルデヒドは焼き魚の代表的な芳香成分<sup>17)</sup>、2-メチルイソボルネオールおよびジオスミンは泥臭の成分<sup>18)</sup>として測定した。分析法は概略のみ以下に示す。

水分含量は常圧加熱乾燥法 (105°C/3 h) により求めた。タンパク質含量はケルダール法により、窒素量に係数 6.25 を乗じて求めた。脂質含量は酸分解法、灰分は直接灰化法、炭水化物含量は差し引き法により求めた。脂質中の脂肪酸は GC-FID 法により主要な脂肪酸含量を求めた。イノシン酸および遊離アミノ酸の定量は高速液体クロマトグラフ法により行い、アミノ酸の誘導体化試薬にはニンヒドリンを用いた。トリメチルアミン、イソバレルアルデヒド、2-メチルイソボルネオールおよびジオスミンはそれぞれガスクロマトグラフ質量分析法により定量した。

**物性分析** 白焼き試料のテクスチャーは、テクスチャーアナライザー (TA.XT plus, Stable Micro System) により測定した。試料は冷凍パックのまま沸騰湯中で10分間湯煎した後、温度による影響をなくすため試料温度が室温 (25°C) と一致するまで静置した。測定試料は頭部方向より2 cm 幅でカットしたもののうち両端を除いた10切れを用いた。測定条件はロードセル 5 kg, 円形プランジャー  $\phi$ 2 mm, 測定ひずみ率 200 %, 測定速度 2 mm/sec, 測定温度は 25°C とし、測定には穴あきステージを使用した。それぞれの切り身の身側の焼面を上にし、身側から皮側まで貫通させ、通過時にかかる単位面積当たりの応力 (N/m<sup>2</sup>) を連続的に測定した (Fig. 1)。身側と皮側のそれぞれを貫通する際の2つのピーク値を身側 (P1) と皮側 (P2) の最大破断強度とした (Fig. 1)。完全養殖と従来型養殖を各3尾、それぞれ10個の切り身全てを1回ずつ測定に供した。計30回の測定データ (各3尾×10箇所) を基に、養殖方法ごとに身側および皮側最大破断強度の平均値を



**Fig. 1** Typical example of “hardness” data obtained by texture analyzer from grilled eel fillet. The x-axis indicates depth from the flesh side surface. The y-axis indicates stress values (kgN/m<sup>2</sup>) obtained as the analyzer probe passed through the grilled fillet flesh. P1 and P2 indicate maximum breaking force in the flesh and skin side, respectively. Maximum breaking force was defined as fillet “hardness” in this study.

算出した。

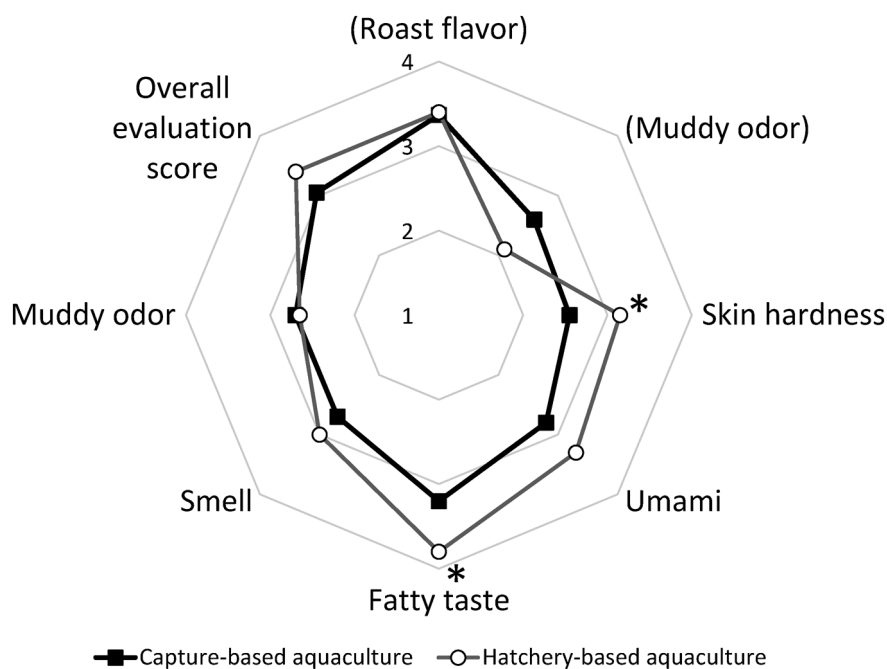
**データ解析・統計処理** 官能評価では、完全養殖および従来型養殖ウナギの評点平均値の差異を *t* 検定によって評価した。香氣成分を除く各種化学分析の結果は、化学成分組成と試料の出自との間の独立性をカイ二乗検定によって評価し、両者に有意な関連性が認められた場合には、残差分析により成分ごとに2群間の有意差の有無を調べた。テクスチャーアナライザーによる白焼きの破断強度は、平均値の差異を *t* 検定によって評価した。以上全ての検定において有意水準を 5% とした。

## 結 果

官能評価について完全養殖および従来型養殖ウナギを比較したところ、完全養殖において“皮のかたさ”および“脂ののり”の項目において、それぞれ評点が有意に高く評価された (*t* 検定,  $p < 0.05$ ; Fig. 2)。一方、喫食前の“香ばしさ”、“泥臭さ”、喫食後の“うま味”、“香り”、“泥臭さ”および総合評価には有意な差はなかった (Fig. 2)。

白焼きの香氣成分分析では、魚臭成分であるトリメチルアミンは両区ともに検出され、完全養殖ウナギが 3 ppm で従来型養殖ウナギが 4 ppm であった (Table 1)。焼き魚の芳香成分であるイソバレルアルデヒド、泥臭成分のジオスミンは両区ともに検出されたものの差は見られなかった。また2-メチルイソボルネオールは検出限界 (0.0001 ppm) 以下であった (Table 1)。

白焼きの基本栄養素は、完全養殖ウナギは従来型養殖ウナギよりタンパク質が若干多く水分が少ない傾向が見



**Fig. 2** Sensory evaluations in grilled eel fillets farmed by two different methods (HBA, CBA). Items in parentheses were evaluated by smelling before tasting. Plots indicate mean scores of each index ( $n = 20$ ). \* $p < 0.05$

**Table 1** Major volatile flavor compounds in grilled eel fillets farmed by two different methods

(ppm)	Hatchery-based aquaculture	Capture-based aquaculture
Trimethylamine	3	4
Isovaleraldehyde	0.2	0.2
Geosmin	0.0002	0.0002
2-Methylisoborneol	<0.0001	<0.0001

**Table 2** Chemical composition of grilled eel fillets farmed by two different methods

(%, Wet basis)	Hatchery-based aquaculture	Capture-based aquaculture
Moisture	46.8	49.8
Protein	25.1	22.4
Lipid	26.4	26.2
Carbohydrate	0.0	0.0
Ash	1.7	1.6

**Table 3** Inosinic acid (IMP) and free amino acid (FAA) contents of grilled eel fillets farmed by two different methods

(mg/100 g)	Hatchery-based aquaculture	Capture-based aquaculture
IMP	112	111
Lys	21	54*
Arg	9	23**
Gly	12	12
His	14	10
Ala	11	9
Glu	4	5
Other FAAs <sup>a</sup>	30	22

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

<sup>a</sup> Total of minor FAAs with level of <5 mg/100 g each.

られたものの (Table 2), 独立性の検定によれば基本栄養組成と試料の出自との間に有意な関連性は無かった。

魚の主要な旨味成分であるイノシン酸含量は, 両出自の試料に差はなかった (112 vs 111 mg/100 g; Table 3)。遊離アミノ酸組成は, 試料の出自との間に有意な関係性が見られた (独立性の検定,  $p < 0.01$ ; Table 3)。さらに, 残差分析により各物質含量の差を調べたところ, リ

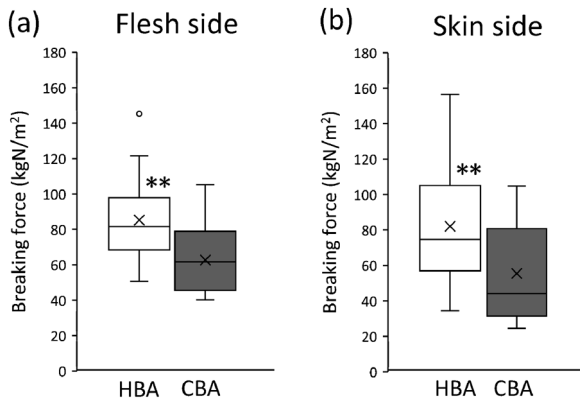
ジン ( $p < 0.05$ ) およびアルギニン ( $p < 0.01$ ) が従来型養殖ウナギで有意に高かった (Table 3)。

また, 粗脂肪中の脂肪酸組成についても, 試料の出自との間に有意な関連性が見られた (独立性の検定,  $p < 0.001$ )。残差分析によれば, オレイン酸 (C18:1 n-9) は完全養殖ウナギで ( $p < 0.01$ ), エイコサペンタエン酸 (EPA, C20:5 n-3;  $p < 0.01$ ) およびドコサヘキサエン酸 (DHA, C22:6 n-3;  $p < 0.05$ ) は従来型養殖ウナギで, それぞれ有意に高かった (Table 4)。

テクスチャーアナライザーによって得られた白焼きの

**Table 4** Fatty acid composition of crude lipid in grilled eel fillets farmed by two different methods

%	Hatchery-based aquaculture	Capture-based aquaculture
C14:0	3.4	4.4
C16:0	22.0	20.8
C16:1	6.4	6.3
C18:0	5.6	5.2
C18:1 n-9	42.7	31.9**
C18:2 n-6	0.6	0.8
C20:1	1.5	1.7
C20:2 n-6	0.3	0.5
C20:5 n-3	2.2	4.4**
C22:6 n-3	5.4	7.4*
Others <sup>a</sup>	9.9	16.6

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ <sup>a</sup> Total of minor fatty acids with inclusion level of  $< 0.5\%$  each.**Fig. 3** Hardness (breaking force) of grilled eel fillets by culture method (HBA, CBA) measured by texture analyzer. HBA, hatchery-based aquaculture; CBA, capture-based aquaculture. The peak breaking force values relate to P1 and P2 in Fig. 1. Crosses indicate mean values. Horizontal lines within, and delineating the bottom and top borders of the boxes indicate medians, and first and third quartiles (25% and 75%), respectively. Whiskers extend to the most extreme data points, less than 1.5 times the interquartile distance. Data points outside the box plot were classed as outliers but not excluded from analysis. \*\* $p < 0.01$ .

身側の破断強度は、完全養殖ウナギが従来型養殖ウナギに比べ有意に高く ( $t$ 検定,  $p < 0.001$ ; Fig. 3a), 同様に皮側の破断強度も完全養殖ウナギが有意に高かった ( $t$ 検定,  $p < 0.01$ ; Fig. 3b)。

## 考 察

今回分析に供した完全養殖ウナギと従来型養殖ウナギは、同じ養殖場で飼育され、餌料、水源、水温等の条件は同一である。一方で、池入れから出荷までの期間と飼

育密度は異なる。前述したように完全養殖ウナギは12か月の飼育期間であるが、従来型はおよそ15か月程度であり、シラスウナギ段階での飼育密度は完全養殖ウナギで約125尾/tに対し、従来型はおよそ2500尾/tである。さらに、従来型は成長に伴い底質の異なる大きな池へと移し替えを行っている。このような飼育履歴の違いが、ウナギの風味や栄養・化学成分にも影響する可能性はある。ただし、今回は厳密な意味での比較対照実験では無いが、“従来の養殖ウナギ”と“次世代の養殖ウナギ”という大まかな比較としては十分に意義があると考えている。

白焼きの官能評価では香りに関する指標には出自の違いによる差はなかったが (Fig. 2), これは香气成分の化学分析でも裏付けられた (Table 1)。匂いや香ばしさに影響すると考えられるトリメチルアミンやイソバレルアルデヒドに大きな差はなく、泥臭の原因物質であるジオスミンと2-メチルボルネオールは、両出自の試料とも極めて低値であった。ただし、評価試験後の自由記述では、「泥臭さを感じる」「臭みが強い」といった意見が、両出自の試料それぞれに対して1例ずつあった。ヒトの嗅覚は臭みに対しては鋭敏で、化学分析で完全には評価できない。一方で、ほのかな泥臭はウナギ特有の香りとしても長く受け入れられており、<sup>14)</sup> 特段問題になるレベルではないと思われる。ウナギの香りは、種苗の出自ではなく、成鰻の養殖方法や池の状態の影響を強く受けると考えられる。

一方、官能評価では完全養殖ウナギは脂ののりが強いと評価されたが (Fig. 2), 粗脂肪の含有量は両者に有意な差はなかった (Table 2)。この不一致の理由は、粗脂肪中の脂肪酸組成が両者で有意に異なることが影響している可能性がある。完全養殖ウナギではオレイン酸含量が有意に高い一方、n-3多価不飽和脂肪酸のEPA, DHAは有意に低かった (Table 4)。油脂の粘度は不飽和度が増すほど減少し、<sup>19)</sup> あっさりとした風味に貢献するとされる。このような脂肪酸組成の差が官能評価に影響したと考えられる。

うま味の評価では両者に有意差はなかったが (Fig. 2), これは化学分析でイノシン酸含量に差がないことによって裏付けられた (Table 3)。遊離アミノ酸のうちリジンとアルギニン含量が従来型で高かったが、これらがどのように官能評価に影響したかはわからない。これらのアミノ酸は魚介特有の風味に影響するとされているが、<sup>20)</sup> 従来型養殖ウナギの飼育期間の長さの違いが影響したのかもしれない。

また、官能評価では完全養殖ウナギの皮は従来型に比べ有意にかたいと評価された。(Fig. 2)。さらに、物性分析でも完全養殖ウナギの方が従来型に比べ皮、筋肉ともに有意に破断強度が高く (Fig. 3), 実際に固いこと

が裏付けられた。一般に、養殖ウナギは飼育期間が1年を超した個体をヒネ仔と呼び、その後は加齢に伴い皮と肉質は固くなる。<sup>15,21)</sup>しかし、今回の対照とした従来型養殖ウナギの方が飼育期間が長く、逆の結果となっている。一方、今回と同じ母集団の完全養殖ウナギ(全てオス, 飼育期間12か月)は、成熟度(GSI)(平均 $0.19 \pm 0.07$ ,  $n=45$ )が同養殖場の従来型養殖ウナギ(全てオス, 飼育期間12-24か月,  $0.13 \pm 0.07$ ,  $n=212$ )に比べ有意に高く、さらに消化管が退縮していた(岡村ら, 未発表)。このことは、完全養殖ウナギの方が、早くから加齢に伴う身体的変化(いわゆる銀化)が進んでいることを示しており、この特徴が皮のかたさに影響した可能性がある。完全養殖, 従来型養殖とも池入れ後の養成法に大きな違いはないことから、今回の人工種苗と天然種苗には何らかの生物学的差異があったと考えられる。

人工シラスウナギの全長( $49 \pm 4.5$  mm)<sup>22)</sup>は、天然のそれ( $55.8 \pm 2.7$ )<sup>23)</sup>に比べ短い傾向があるが、一方で脊椎骨数(110-117)は両者とも変わらない。<sup>19,24)</sup>そのせいで人工シラスウナギは筋節が圧縮されている傾向にある。実際、完全養殖ウナギの肥満度( $1.63 \pm 0.29$ ,  $n=45$ )は、従来型( $1.45 \pm 0.18$ ,  $n=212$ )に比べ有意に高く、体重は同じでも全長が短い傾向があった(岡村ら, 2020 水産学会春季大会)。このようなウナギでは筋肉繊維が密になっており肉質が固くなっている可能性がある。また、栄養分析によれば、有意差はないものの完全養殖ウナギは従来型に比べタンパク質が多く水分が少ない(Table 2)。ここにも完全養殖ウナギの肉質が反映されていると考えられる。

ただし、評価試験後の自由記述では、完全養殖ウナギに対して「ゴムのよう」という否定的な評価が2例あった一方で、「肉厚で味がしっかり」といった好意的な評価も8例あった。このように、皮や肉質が固いことが必ずしも忌避されるわけではない。さらに、完全養殖ウナギの皮や身は、加熱時間を長くするだけで容易に軟化する(未発表データ)。したがって、固さの問題に関しては、調理や加工の際に工夫することで解決可能と思われる。

一方、嗜好型官能評価(総合評価)では、完全養殖ウナギの評価は従来型と差がなく(Fig. 2)、同等に好まれる製品であると評価された。よって、完全養殖ウナギの食味には及第点が与えられよう。今後は、飼育法や餌料の改良、育種による優良形質の選抜によって、より良い食味・食感のウナギの開発が目標となる。また、実際の商品化に際しては、人工シラスウナギという言葉など、製品のネガティブなイメージにつながる事項に関しては、消費者へ安心感を与えるために丁寧な説明が必要であろう。

## 謝 辞

株式会社共水の片岡征哉氏並びに職員諸氏には、ウナギの飼育並びに焼成加工にご尽力頂いた。東洋水産株式会社総合研究所の職員諸氏には、白焼きの官能評価および化学分析の一部についてご助力頂き、また貴重なご意見を賜った。ここに記して謝意を表する。

## 文 献

- 1) 白石広美, ビッキー・クルーク. 「ウナギの市場の動態: 東アジアにおける生産・取引・消費の分析」TRAFFIC, 東京. 2015.
- 2) Tsukamoto K, Aoyama J, Miller MJ. Present status of the Japanese eel: resources and recent research. *Am. Fish. Soc. Symp.* 2009; **58**: 21-35.
- 3) Okamura A, Horie N, Mikawa N, Yamada Y, Tsukamoto K. Recent advances in artificial production of glass eels for conservation of anguillid eel populations. *Ecol. Freshw. Fish.* 2014; **23**: 95-110.
- 4) Tanaka H. Progression in artificial seedling production of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.* 2015; **81**: 11-19.
- 5) Ohta H, Kagawa H, Tanaka H, Okuzawa K, Iinuma N, Hirose K. Artificial induction of maturation and fertilization in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Fish. Physiol. Biochem.* 1997; **17**: 163-169.
- 6) Horie N, Utoh T, Mikawa N, Yamada Y, Okamura A, Tanaka S, Tsukamoto K. Influence of artificial fertilization methods of the hormone-treated Japanese eel *Anguilla japonica* upon the quality of eggs and larvae (comparison between stripping-insemination and spontaneous spawning methods). *Nippon Suisan Gakkaishi* 2008; **74**: 26-35 (in Japanese with English abstract).
- 7) Okamura A, Horie N, Yamada Y, Mikawa N, Tsukamoto K. Obtaining high-quality larvae for mass production of glass eels: Can we refine our approach? *Aquaculture* 2020; **521**: 735049.
- 8) Okamura A, Yamada Y, Horie N, Mikawa N, Tsukamoto K. Long-term rearing of Japanese eel larvae using a liquid-type diet: food intake, survival and growth. *Fish. Sci.* 2019; **85**: 687-694.
- 9) Yamada Y, Okamura A, Mikawa N, Horie N, Tsukamoto K. A new liquid-type diet for leptocephali in mass production of artificial glass eels. *Fish. Sci.* 2019; **85**: 545-551.
- 10) 日本水産学会. 「水産学用語辞典」恒星社厚生閣, 東京. 1989.
- 11) FAO. Aquaculture development. 6. Use of wild fishery resources for capture-based aquaculture. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 6. FAO; 2011.
- 12) Okamura A, Yamada Y, Mikawa N, Horie N, Tsukamoto K. Effect of starvation, body size, and temperature on the onset of metamorphosis in Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Can. J. Zool.* 2012; **90**: 1378-1385.
- 13) 古川秀子. 「おいしさを測る」幸書房, 東京. 2012.
- 14) 佐藤隆二, 大谷浩己. 鰻お国自慢. サライ. 1997; **15**: 18-43.
- 15) 松井 魁. 「随筆うなぎの旅」実業之日本社, 東京. 1961.
- 16) 太田静行. 魚の生臭さとその抑臭. 油化学. 1980; **29**: 469-488.

- 17) Kasahara K, Nishibori K. Volatile components of roasted fishes. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1985; **51**: 489–492 (in Japanese with English abstract).
- 18) Lindholm-Lehto PC, Vielma J. Controlling of geosmin and 2-methylisoborneol induced off-flavours in recirculating aquaculture system farmed fish—A review. *Aquac Res*. 2019; **50**: 9–28.
- 19) 金田尚志, 薄木理一郎. 油脂の味. 油化学. 1970; **19**: 612–619.
- 20) 橋本芳郎. 水産物の味. 調理科学. 1972; **5**: 2–7.
- 21) 良永裕子. 食品科学. 「ウナギの科学」(塚本勝巳編) 朝倉書店, 2019; 196–210.
- 22) Kuroki M, Okamura A, Takeuchi A, Tsukamoto K. Effect of water current on the body size and occurrence of deformities in reared Japanese eel *leptocephali* and glass eels. *Fish Sci*. 2016; **82**: 941–951.
- 23) Shinoda A, Aoyama J, Miller MJ, Otake T, Mochioka N, Watanabe S, Minegishi Y, Kuroki M, Yoshinaga T, Yokouchi K, Fukuda N, Sudo R, Hagihara S, Zenimoto K, Suzuki Y, Oya M, Inagaki T, Kimura S, Fukui A, Lee TW, Tsukamoto K. Evaluation of the larval distribution and migration of the Japanese eel in the western North Pacific. *Rev Fish Biol Fish*. 2011; **21**: 591–611.
- 24) Watanabe S, Aoyama J, Tsukamoto K. Reexamination of Ege's (1939) use of taxonomic characters of the genus *Anguilla*. *Bull Mar Sci*. 2004; **74**: 337–351.