

人為催熟された雌ニホンウナギにおける脂肪酸組成の変化

立木宏幸・竹内喜夫

(2020年6月5日受付, 2020年6月19日受理)

Changes of fatty acid composition in artificially maturing female Japanese eel, *Anguilla japonica*

TACHIKI Hiroyuki*1 and TAKEUCHI Yoshio*2

キーワード: ニホンウナギ, 催熟, 脂肪酸組成, 一般成分

ウナギの人工種苗生産研究は, 2003年に催熟したウナギから受精卵を得て稚魚にまで飼育可能¹⁾となるなど, 研究の進展により技術的には完全養殖が可能となったものの, 量産化及び実用化に向けては初期餌料の開発・改良及び飼育システムの構築が大きな課題となっている。また, ふ化技術は向上したものの, 良質な受精卵や健全なふ化仔魚の大量確保や生残性向上などの課題も残されている。

養成された親魚を用いて催熟によりふ化仔魚を得る種苗生産においては, 催熟に用いる親魚の栄養状態等により受精卵やふ化仔魚の健全性に大きく影響するが, ウナギの人為催熟に伴う一般成分組成や脂肪酸組成の変化に関する知見は少ない。そこで, 成熟に伴うそれら変化について調査したので報告する。

材料及び方法

供試魚には稚魚期に estradiol-17 β を投与して雌化し,²⁾ 市販のタラ肝油を5%添加したウナギ用配合飼料を自由摂餌により給餌して2年間加温飼育したウナギ(以下, 養成親魚という。)を用いた。養成親魚を水温19~20℃に設定したFRP製水槽(3.5 m², 水容量2.2t)3面に20尾ずつ収容して無給餌による循環ろ過飼育を行った。収容後1週間かけて海水馴致したのち, 1週間間隔でHCG(1,000IU/kg・BW)を4回筋肉内接種し, その後サケ脳下垂体抽出液を腹腔内接種して催熟を行った。サケ脳下垂体抽出液は, 乾燥・磨砕した脳下垂体20mgあたり1m ℓ の生理食塩水を添加して1昼夜冷蔵庫内に静置したのち,

3,000rpm・15分間遠心分離した上澄液を0.45 μ mフィルターでろ過したものを接種液とし, 1尾あたり1m ℓ 接種した。

供試魚の概要を表1に示した。成分分析については, 海水馴致前の5尾, 催熟開始4週間後(成熟初期)及び体重増加率が10%(成熟中期), 30%(成熟後期)を呈した個体各3尾について, 筋肉及び卵巣の一般成分及び脂肪酸組成を調べた。筋肉では図1に示した部位の表皮を含む筋肉を, 卵巣では海水馴致前の個体ではその全量を,

表1 供試魚の概要

種類	成熟段階	個体数	体重(g)	GW(g)	GSi
			(MEAN \pm SD)	(MEAN \pm SD)	(MEAN \pm SD)
天然魚		1	2,193.8	42.30	1.93
養成親魚	催熟前	5	708.8 \pm 122.3	6.74 \pm 2.98	0.95 \pm 0.34
	成熟初期	3	607.9 \pm 64.4	15.59 \pm 0.79	2.58 \pm 0.16
	成熟中期	3	768.1 \pm 46.5	121.90 \pm 31.52	15.89 \pm 4.19
	成熟後期	3	917.7 \pm 82.0	332.00 \pm 30.22	36.27 \pm 3.39

表2 分析項目と分析方法

分析項目	分析方法
水分	常圧加熱乾燥法
粗蛋白	ケルダール分解法
粗脂肪	クロホルム・メタノール混液抽出法
灰分	直接灰化法
中性脂質脂肪酸組成	カラムクロマトグラフ法
極性脂質脂肪酸組成	"

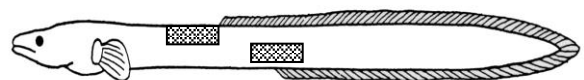


図1 筋肉の採材部位

*1 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

*2 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Administration Division, Aichi Prefectural Government, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

催熟開始後の個体では左側中央部の一部を採材し、各試料全量を1検体とした。各試料とも採材後直ちに-30℃で凍結し、分析に供するまで保存した。さらに、大分県豊後高田市沖の定置網で採捕された推定年齢8年魚のウナギ(以下、天然魚という。)についても併せて調査した。分析項目と分析方法を表2に示した。

結 果

天然魚のGSIは1.93であり、卵巣の卵黄蓄積開始直後にあると考えられた。養成親魚の催熟前及び成熟初期のGSIはそれぞれ0.95及び2.58であり、天然魚の成熟段階は養成親魚の催熟前から成熟初期にあたるため、天然魚との比較においては、養成親魚の催熟前または成熟初期と比較検討した。

催熟に伴う一般成分及び脂質分画組成の変化を表3及び表4に示した。一般成分及び脂質分画組成では、天然魚は催熟前または成熟初期の養成親魚に比べて、卵巣において粗蛋白及び粗脂肪並びに中性脂質の組成比がやや

高くなっているものの、概ね同様の組成であった。養成親魚では、成熟に伴い筋肉において水分が増加し、粗蛋白及び粗脂肪が減少した。一方、卵巣においては成熟初期に粗脂肪が増加し、次いで成熟中期に粗蛋白が増加したのち、卵巣の吸水により体重が急増した成熟後期では水分が大きく増加した。また、脂質分画では、筋肉における成熟に伴う明瞭な変化は見られなかったが、卵巣においては、中性脂質が漸減し、極性脂質の漸増が確認された。

脂肪酸組成の変化を表5に示した。筋肉においては、養成親魚は天然魚に比べてモノエン酸が多くポリエン酸が少なく、養成親魚の成熟に伴う明瞭な変化は認められなかった。一方、卵巣においては、養成親魚は天然魚に比べて飽和酸とモノエン酸が多くポリエン酸が少なく、成熟に伴い飽和酸の両分画とも増加したのに対し、モノエン酸の極性脂質及びポリエン酸の中性脂質が減少した。

筋肉の各脂肪酸の組成比は、養成親魚、天然魚ともに上位4種類は18:1(オレイン酸)、16:0(パルミチン酸)、

表3 一般成分組成の変化

供試魚	成熟段階	筋肉				卵巣			
		水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
天然魚		60.2	17.7	20.3	1.3	70.5	14.5	13.1	1.5
養成魚	催熟前	63.2	16.5	19.1	1.1	74.8	12.8	10.8	1.4
	成熟初期	64.0	17.0	17.7	1.2	69.4	11.3	17.8	1.3
	成熟中期	68.0	14.7	16.1	1.1	71.1	14.8	12.7	1.3
	成熟後期	72.5	12.9	13.4	1.0	80.8	10.3	7.6	1.2

表4 脂質分画組成の変化

供試魚	成熟段階	筋肉		卵巣	
		中性脂質	極性脂質	中性脂質	極性脂質
天然魚		91.8	8.2	88.3	11.7
養成魚	催熟前	91.2	8.8	85.9	14.1
	成熟初期	88.6	11.4	80.7	19.3
	成熟中期	90.3	9.7	78.6	21.4
	成熟後期	88.2	11.8	72.6	27.4

表5 脂肪酸組成の変化

脂肪酸	筋 肉											卵 巣								
	天然魚		養成親魚									天然魚		養成親魚						
	NL	PL	催熟前		成熟初期		成熟中期		成熟後期			NL	PL	催熟前		成熟初期		成熟中期		成熟後期
14:0	4.6	2.9	4.4	2.1	4.2	2.3	4.0	2.1	4.0	1.8	1.2	0.7	2.1	2.0	1.8	1.7	2.1	1.0	2.3	0.8
14:1	0.5	0.3	0.2	-	0.2	-	0.1	0.1	0.1	-	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	-
15:0	0.4	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
16:0	19.3	14.4	20.2	14.6	19.2	16.4	18.8	18.6	18.9	16.3	9.2	11.1	11.4	20.1	12.6	22.0	12.3	20.9	16.0	20.9
16:1	7.4	5.7	8.6	6.0	7.5	6.3	6.9	4.7	6.9	5.1	6.7	4.1	6.1	5.7	8.5	6.4	7.1	4.5	7.7	4.0
17:0	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.7	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
17:1	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2
18:0	2.7	7.1	3.7	6.0	4.2	5.1	5.0	6.7	5.3	6.5	1.5	9.2	6.1	5.7	5.4	5.0	8.0	7.9	8.8	8.1
18:1	33.2	22.1	36.4	29.6	36.7	30.1	37.7	29.5	37.8	29.6	34.4	15.6	35.6	27.2	41.1	30.3	39.5	25.5	38.7	26.1
18:2n-6	2.1	1.9	0.7	1.0	0.8	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	2.1	1.5	0.8	0.6	0.7	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6
18:3n-3	1.2	0.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4	0.3	1.1	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1
18:4n-3	1.3	0.8	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
20:1	1.7	1.1	5.7	3.9	6.3	4.1	6.5	2.8	6.7	3.0	0.8	0.4	7.5	3.4	3.0	1.4	2.5	2.2	2.7	2.0
20:2n-6	0.3	0.5	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
20:3n-6	0.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	-	0.1	0.2	0.8	0.8	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
20:4n-6	1.5	4.3	0.4	2.0	0.4	1.6	0.4	1.6	0.4	1.9	2.1	12.7	1.0	4.5	0.5	2.9	0.3	2.7	0.3	2.3
20:4n-3	2.3	1.9	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	3.7	1.4	0.9	0.4	0.8	0.5	0.5	0.2	0.4	0.2
20:5n-3	2.8	3.0	3.1	5.7	2.9	6.3	2.7	5.9	2.5	6.9	3.5	2.7	3.9	6.5	4.8	6.2	4.3	7.7	3.2	6.9
22:1	0.1	-	2.2	1.1	2.6	1.0	2.4	1.4	2.5	0.9	-	-	2.9	1.3	0.2	0.6	0.2	0.3	0.1	-
22:5	3.4	3.6	2.3	3.4	2.5	3.1	2.4	2.5	2.6	3.3	5.5	4.4	3.5	2.6	3.7	3.1	2.6	2.8	2.4	3.1
22:6n-3	10.7	19.8	6.1	14.0	6.4	10.6	5.4	11.2	5.0	13.8	19.5	20.9	11.0	14.7	11.1	13.9	9.7	13.6	8.1	15.3
others	3.1	8.0	3.8	8.6	3.7	9.6	4.1	9.8	3.7	7.7	5.5	12.1	5.7	3.8	4.2	3.9	8.7	9.0	7.4	8.7
飽和酸	27.4	25.3	28.9	23.1	28.3	24.2	28.4	28.0	28.8	24.9	12.5	22.0	20.1	28.4	20.2	29.2	22.6	30.1	27.3	30.1
モノエン酸	43.3	29.6	53.4	40.8	53.6	41.6	53.9	38.7	54.3	38.7	42.9	20.6	52.5	38.0	53.2	39.1	49.7	32.7	49.6	32.3
ポリエン酸	26.2	37.1	13.9	27.5	14.4	24.6	13.6	23.5	13.2	28.7	39.1	45.3	21.7	29.8	22.4	27.8	19.0	28.2	15.7	28.9
others	3.1	8.0	3.8	8.6	3.7	9.6	4.1	9.8	3.7	7.7	5.5	12.1	5.7	3.8	4.2	3.9	8.7	9.0	7.4	8.7

※ NL: 中性脂質, PL: 極性脂質

次いで 16:1 (パルミトレイン酸) または 22:6n-3 (DHA) のいずれかの順であったが、養成親魚は天然魚に比べて DHA の組成比は低かった。さらに、18:2n-6 (リノール酸)、18:3n-3 (α -リノレン酸)、また、20:4n-6 (アラキドン酸) 及びその異性体である 20:4n-3 (イコサテトラエン酸) についても低い一方、20:1 (イコセン酸)、22:1 (エルカ酸) は高かった。

卵巣では、筋肉と同様の脂肪酸が上位 4 種類を占め、リノール酸、 α -リノレン酸及びアラキドン酸、イコサテトラエン酸についても筋肉と同様に養成親魚で低かったが、養成親魚では天然魚に比べてパルミチン酸の組成比が高かった。さらに、養成親魚の成熟に伴い、パルミチン酸の中性脂質が増加し、イコセン酸、エルカ酸及び 22:5 (DPA) の中性脂質及びアラキドン酸、イコサテトラエン酸の両脂質分画が減少した。また、ポリエン酸の約 1/2 を占める DHA は両脂質分画とも減少したが、成熟後期に極性脂質は増加した。

考 察

成熟に伴う体重の急増は主に卵の吸水現象によるものであり、これによって粗脂肪、粗蛋白、灰分とも組成比は相対的に減少するものの、卵巣全体での水分、粗蛋白、粗脂肪及び灰分の蓄積量は、成熟後期にそれぞれ 53 倍、40 倍、35 倍及び 42 倍と各成分とも大きく蓄積が進んでいる状況が確認された (図 2)。人為催熟を開始したウナギは摂餌しないため、催熟期間中は無給餌により 2~3 ヶ月間飼育することになる。この間外部からの栄養供給はなく、卵巣の栄養蓄積は内部からの供給に限られることから、成熟に伴う筋肉における粗蛋白や粗脂肪の減少は卵巣への栄養移行によるものと考えられる。

成熟に伴い卵巣においては、細胞膜の主要な構成成分であるリン脂質を主体とする極性脂質の組成比が増加していた。また、モノエン酸の極性脂質及びポリエン酸の中性脂質は減少したが、ポリエン酸の極性脂質の組成比は大きく変化していないことから、ポリエン酸における極性脂質分画の重要性が示唆された。特に、他の脂肪酸と異なり、極性脂質における減少が見られたアラキドン酸及びイコサテトラエン酸並びに減少後に成熟後期で増加に転じた DHA の重要性が伺われた。

しかし、養成親魚では天然魚に比べて、両脂質分画とも成熟初期におけるポリエン酸の組成比は低く、特にポリエン酸の約半数を占める DHA やアラキドン酸においてその差は顕著であった。さらに、イコサテトラエン酸並びにウナギの必須脂肪酸³⁾ であり、体内でアラキドン酸及び DHA にそれぞれ生合成されるリノール酸及び α -リ

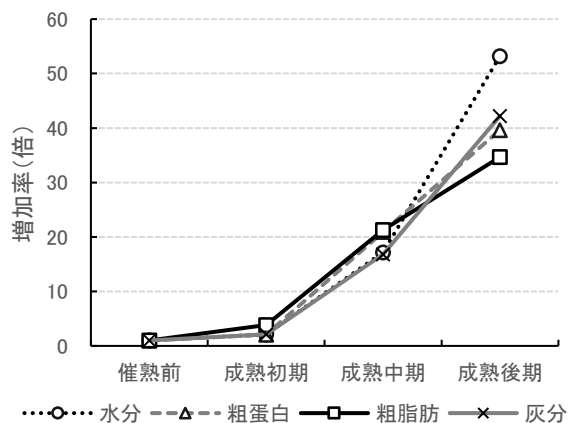


図 2 卵巣における一般成分の蓄積量の変化

ノレン酸といった高度不飽和脂肪酸の組成比がいずれも低いことが特徴的であった。

コイでは DHA 量とふ化率に正の相関が見られ⁴⁾、マダイでは、DHA などの高度不飽和脂肪酸が欠乏すると異常卵の割合が高くなり浮上卵率及びふ化率が著しく低下する⁵⁾ ことが報告されている。

また、アラキドン酸は細胞内のリン脂質に取り込まれ、様々な生体膜の合成に使用されるとともにプロスタグランジンに変換され、変換されたプロスタグランジンはアユ、⁶⁾ ニジマス、⁷⁾ ドジョウ⁸⁾ において輸卵管や卵巣から分泌され雄の産卵行動を誘発すると考えられている。

これらのことから、ウナギの必須脂肪酸であるリノール酸及び α -リノレン酸並びにこれらから生合成されるアラキドン酸や DHA は成熟・産卵にとって重要な脂肪酸であり、人為催熟開始前の親魚におけるこれら脂肪酸の十分な蓄積が重要であると考えられた。

要 約

ニホンウナギの人為催熟に伴う一般成分及び脂肪酸組成の変化を調べるとともに、天然魚と比較した。

成熟に伴い卵巣全体で水分、粗蛋白、粗脂肪及び灰分の蓄積量は、それぞれ 53 倍、40 倍、35 倍及び 42 倍と大きく蓄積が進んでいた。

筋肉、卵巣の脂肪酸組成比上位 4 種類はともに同じ脂肪酸が占めていたが、DHA の組成比は卵巣で高かった。養成親魚は天然魚に比べてポリエン酸のうち、特にリノール酸、 α -リノレン酸、アラキドン酸、イコサテトラエン酸及び DHA の組成比が低かった。成熟に伴う脂肪酸組成の変化は、筋肉においては明瞭な変化は認められなかったが、卵巣においてはモノエン酸及びポリエン酸が減少した。

人為催熟開始前の親魚におけるリノール酸及び α -リノレン酸並びにこれらから生合成されるアラキドン酸や

DHA の十分な蓄積が重要であると考えられた。

謝 辞

本調査は水産庁の「ウナギ人工種苗生産技術開発調査委託事業」により実施した。また、成分分析については（財）日本冷凍食品検査協会（現（一財）日本食品検査）にご協力いただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- 1) Tanaka H., H. Kagawa, H. Ohta, T. Unuma and K. Nomura (2003) The first production of glass eel in captivity : fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture., *Fish Physiol. Biochem.*, 28, 493-497.
- 2) 立木 宏幸・中川 武芳・田村 憲二・廣瀬 慶二(1997) ニホンウナギにおける estradiol-17 β の経口投与による雌化効果, 成長および親魚養成. 水産増殖, 45

(1), pp61-66.

- 3) 竹内俊郎・新井 茂・渡辺 武・新間弥一郎 (1980) ウナギの必須脂肪酸要求量. 日水誌, 46 (3), pp345-353.
- 4) 新間弥一郎・鈴木亮・山口元吉・秋山敏男 (1977) SCP 飼料を与えたコイ親魚の脂質性状と卵のふ化率. 淡水研報告, 27, pp35-45.
- 5) Watanabe T., T. Arakawa, C. Kitajima and S. Fujita (1984) Effect of nutritional quality of broodstock diets on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi.*, 50, pp495-501.
- 6) 本田晴郎 (1979) アユの雌性フェロモンと求愛行動. 日水誌, 45, pp1375-1380.
- 7) 本田晴郎 (1980) ニジマスの雌性フェロモンと求愛行動. 日水誌, 46, pp1109-1112.
- 8) 本田晴郎 (1981) ドジョウの雌性フェロモンと求愛行動. 日水誌, 46, pp1223-1226.