

치어기 뱀장어의 사료내 필수지방산 요구량에 관한 연구

배준영 · 한경민 · 박건준 · 배승철*
부경대학교 사료영양연구소

Studies on Requirements of Optimum Dietary Essential Fatty Acids in Juvenile Eel, *Anguilla japonica*

Jun-young Bae, Kyung-min Han, Gun-jun Park and Sungchul C. Bai*
Feeds & Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 708-737, Korea

The present study was conducted to evaluate dietary requirements for essential fatty acids (EFAs) such as linoleic acid (LA, 18:2n-6), -lenolenic acid (LNA, 18:3n-3), or docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and arachidonic acid (ARA, 20:4n-6) in juvenile eel *Anguilla japonica* cultured in a recirculating system for 16 weeks. The experimental diets contained 50% crude protein, 10% crude lipid and 3800 kcal/kg energy. Brown fish meal and blood meal were used as the main protein sources, while coconut oil, corn oil and linseed oil were used as the lipid source to yield target fatty acids ratios. At the end of the trial, the effects of essential fatty acids supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feeding efficiency (FE), proximate composition and whole body fatty acids contents were examined. WG, SGR, and FE of eels fed diet D2, D3, was significantly higher ($P < 0.05$) than those of fish fed the other diets. Whole body HUFA concentration of eels fed D1 was significantly lower ($P < 0.05$) than those fed the other diets. HUFA/SFA (saturated fatty acids) ratio of whole body in eels fed diets D2, D3 and D6 were significantly higher than that of eels fed diet D1 ($P < 0.05$). DHA/EPA ratio of whole body in eels fed diet D7 was significantly higher than those fed the other diets; and eels fed diet D5 showed the lowest DHA/EPA ratio among all the dietary treatments ($P < 0.05$). Based on the experimental results, we concluded that LNA (n-3) and LA (n-6) were necessary for optimum growth of juvenile eel, and the dietary requirement of LNA and LA were 0.35~0.5% and 0.5~0.65%, respectively.

Keywords: Eel, Essential fatty acid, HUFA, LA, LNA

서론

어류는 체내 세포의 기능유지를 위해 필연적으로 특정한 지방산을 요구하는데, 이러한 지방산은 체내에서 자체적으로 합성될 수 없어, 외부적으로 공급해 주지 않으면 정상적인 성장과 생존을 할 수 없다. 이와 같이 어류의 정상적인 성장과 생존을 위해 사료내 필수적으로 공급해 주어야 하는 지방산을 필수지방산(Essential Fatty Acid, EFA)이라 하며, 이는 생체막의 구성 성분으로서 뿐만 아니라 prostaglandins, thromboxanes 및 leukotrienes과 같은 ecosanoids의 주된 전구물질로서 중요한 기능을 수행하는 것으로 알려져 있으나(John Sargent, 1999), 실제 체내에서의 대사적 기능에 대한 구체적인 경로에 관한 연구는 아직 밝혀지지 않았다. 그러나 필수지방산이 결핍된 사료로 사육된 어류는 성장이 지연되고 사료효율이 낮으며, 무지개송

어, 잉어, 뱀장어, 채널메기 등의 결핍증상으로는 지느러미 부식, 심근의 염증, 쇼크증세, 혈액내 hemoglobin 함량의 저하, 근육내 수분함량의 증가 및 폐사율의 증가 등이 발생하고(Castell et al., 1972a; Takeuchi and Watanabe, 1977a,b; Takeuchi et al., 1980; Satoh et al., 1989), 잉어(Shimma et al., 1977), 무지개송어(Watanabe, 1982; Watanabe et al., 1984c; Leray et al., 1985), 참돔(Watanabe et al., 1984a,b)에서 생식력의 저하가 보고된 바 있다.

어류는 염분의 농도와 수온에 따라 필수지방산의 요구량이 달라지는데, 은연어는 1-2.5%의 18:3n-3을 요구하고(Yu and Sinnhuber, 1979), 잉어는 18:2n-6과 18:3n-3 각 1% 요구하며(Watanabe et al., 1975; Takeuchi and Watanabe, 1977a), 틸라피아는 0.5% 수준에서 n-3 계열의 지방산 보다 n-6 계열의 지방산을 더 필요로 한다(Takeuchi et al., 1983). 해산어류는 n-3 계열의 지방산을 더 많이 요구하는 경향이 있으며 참돔은 0.5%의 n-3 (high unsaturated fatty acid, HUFA)를 요구하며(Yone

*Corresponding author: scbai@pknu.ac.kr

et al., 1975), 터봇(Gatesoupe et al., 1977)과 방어(Deshimaru & Kuroki, 1983)는 각각 0.8%와 2%의 eicosapentaenoic acid, EPA와 docosahexaenoic acid, DHA를 요구한다.

뱀장어, *Anguilla japonica*에 필수지방산의 첨가효과는 Takeuchi et al. (1980)에 의해 이미 보고된 바 있으며, European eel, *Anguilla anguilla*의 지질원료 첨가량에 대해 Degani et al. (1986)에 의해, De Silva et al., (1997)은 Australian eel, *Anguilla australis*의 성장 단계별 지방산 조성의 변화, 그리고 지질의 종류가 Australian eel, *Anguilla australis*의 성장에 미치는 영향에 대해서는 Gunasekerfa et al. (2002)에 의해 보고되었다. 그러나 뱀장어에 있어서 여러 가지 고도불포화지방산(highly unsaturated fatty acid, HUFA)에 대한 적정 필수지방산의 종류와 그 요구량에 관한 부가적 연구는 없었다.

따라서 본 연구에서는 뱀장어 치어의 필수지방산의 요구량을 설정하기 위하여 n-3원으로써 α -linolenic acid (LNA, 18:3n-3), docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3)와 n-6원으로써 linoleic acid (LA, 18:2n-6), arachidonic acid (ARA, 20:4n-6)을 사료내 수준별로 첨가하여 성장과 체조성 및 혈액성상에 미치는 영향을 실험하였다. 본 실험결과를 통해 뱀장어 치어의 적정 필수지방산의 종류와 그 요구량을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

실험어 및 실험디자인

실험에 이용된 뱀장어 치어는 반죽사료로 사육한 전남 나주의 개인 양만장으로부터 2003년 10월 27일에 부경대학교 양어장으로 수송하여 10톤 콘크리트 수조에 수용하였으며, 실험 전 4주간 상업용 펠릿사료를 공급하면서 펠릿사료에 적응시키는 예비사육을 실시하였다. 예비사육 후, 평균 어체중 15.0 ± 3 g (mean \pm SD)의 뱀장어 치어를 순환여과식 사육시스템에 각 실험수조(60 L 사각수조)당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였으며, 유수량은 45 L/min, 사육수온은 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 2~3% (건물량)를 일일 2회(9:00, 18:00)공급하였으며 이때, 유수는 중단했다.

실험 기간은 2004년 2월 6일부터 2004년 6월 5일까지로 16주간 사육실험을 실시하였고, 8주째에 성장양상을 확인하기 위하여 Ehylene glycol phenyl ether 90% (200ppm)에 실험어를 마취시켜 스트레스를 최소화하여 각 수조의 실험어를 계측하였으며 사료공급량 역시 이에 따라 보정하였다.

실험사료

실험에 사용된 실험사료의 조성은 Table 1에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로 갈색어분(brownfish meal)과 혈분(blood meal)을 사용하였고, 지질원료로 야자유(coconut oil), 옥수수유(corn oil) 및 아마인유(linseed oil)를, 그리고 탄수화물원으로

Table 1. Composition of the experimental diets (% of dry matter basis)¹

Ingredients	Diets						
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇
DFBFM ^{2*}	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0
Blood meal ³	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Corn starch ⁴	10.4	10.5	10.6	10.5	10.5	10.5	11.4
Wheat meal ⁵	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Coconut oil ⁶	9.6	7.9	7.9	8.0	8.1	8.0	7.0
Corn oil ⁷	-	0.7	0.3	0.1	-	-	-
Linseed oil ⁸	-	0.9	1.2	1.4	-	-	-
ARA ⁹	-	-	-	-	0.4	0.9	1.3
EPA ¹⁰	-	-	-	-	0.5	0.3	0.2
DHA ¹¹	-	-	-	-	0.5	0.3	0.2
Vitamin mixture ¹²	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mineral mixture ¹³	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Proximate analysis							
Moisture (%)	8.3	7.8	7.3	7.5	7.5	7.5	7.6
Crude protein (% DM)	51.6	52.8	52.3	52.2	52.5	52.6	52.1
Crude lipid (% DM)	9.4	9.4	9.2	9.3	9.4	9.3	9.3
Crude ash (% DM)	9.3	9.2	9.3	9.1	9.2	9.2	9.2

¹Ingredients information and formulation method are explained in Kim and Bai (1997).

^{2,4}Su Hyup Feed Co., Uiryeong, Korea.; *De-fatted brown fish meal

³Il Shin feed Co., Hampyeong, Korea

⁵Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea

^{6,7,8}Dong Suh Oil & Fats Co., Changwon, Korea

⁹ARA: arachidonic acid triacylglycerol (40% purity). Martek, USA.

¹⁰EPA: eicosapentaenoic acid ethyl ester (95% purity). Itochu Techno-Chemical Inc, Japan.

¹¹DHA: docosahexaenoic acid ethyl ester (95% purity). Itochu Techno-Chemical Inc, Japan.

¹²Contains (as mg/kg in diets): Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine-HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06.

¹³Contains (as mg/kg in diets): NaCl, 437.4; MgSO₄·7H₂O, 1379.8; NaH₂P₄·2H₂O, 877.8; Ca(H₂PO₄)₂·2H₂O, 1366.7; KH₂PO₄, 2414; ZnSO₄·7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.0002

옥수수전분(corn starch)과 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 치어기 뱀장어의 사료내 필수지방산과 그 적정 요구량을 평가하기 위하여 5가지 필수지방산을 사료내 첨가하여 제조하였다. 실험사료의 조단백질 함량은 52%, 조지방 함량은 9.3%로 맞추어 제조하였고, 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠릿제조기로 압출성형하여 밀봉상태로 -20°C에 냉동보관하여 사용하였다.

어분에 함유되어 있는 지질성분은 용기에 용매(ethanol)를 넣고 water bath에서 75-80°C까지 가열한 다음, 어분을 첨가(어분과 에탄올의 비율은 1:2, (W/V))하여 지질성분을 추출한다(3-4회 반복).어분을 fish meal:ethanol=1:2, (W/V)에 용기에 ethanol을 넣고 이후, 공기순환이 원활한 공간에서 용기용매가 완전히 기화할 때 까지 48시간 이상 건조하여 실험사료에 사용했다

(Kosutarak et al., 1995).

실험구는 1) 대조구(Basal diet), 2) LNA 0.5%+LA 0.5% 함유구, 3) LNA 0.33%+LA 0.66% 함유구, 4) LNA 0.25%+LA 0.75% 함유구, 5) AA 0.25% + EPA 0.375%+DHA 0.375% 함유구, 6) AA 0.5%+EPA 0.25%+DHA 0.25% 함유구, 7) AA 0.75%+EPA 0.125%+DHA 0.125% 함유구로 총 7개의 실험구를 설정하였다.

어체측정

실험종료 후, 실험어를 24시간 절식시킨 후 chylene glycol phenyl ether 90% (200ppm)로 마취시켜 어체중을 측정하여 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간성장률(specific growth rate, SGR) 및 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER)을 확인하였으며 어체내 일반성분 및 지방산 조성을 조사하였다.

-Weigth gain (%): [(final wt.-initial wt.)/initial wt.]×100.

-Feed efficiency (%): (wet wt. gain/dry feed intake)×100.

-Specific growth rate (%): [(loge final wt.-loge initial wt.)/days]×100.

-Protein efficiency ratio (%): wet wt. gain/protein intake.

일반성분 분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 6마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC (1995)에 의해 수분은 상압가열건조법(125°C, 3시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결건조한 후 Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

지방산 분석

실험사료와 분쇄한 전어체에서 추출한 지방의 methylation은 Metcalfe et al. (1966)의 방법에 의해 분석하였다. 지방산 methylation은 feris silica capillary column을 장착한 gas chromatography (Trace GC)에 의해 분석하였다. 캐리어 기체는 질소를 사용하였고, detection은 FID 모드를 사용하였으며 분석조건은 다음과 같다. Instrument: Trace GC gas chromatograph, column: quadrex, 30 M, bonded carbowax 0.25 mm I.D×0.25 µm film, cat. No.: 007-CW-30-0.25F, injector temperature: 250°C, Detector temperature: 250°C, flow (gas press): 65 psi. helium, splite: 1:50 도출된 크로마토그램은 분석 프로그램인 peak sample에 의해 분석하였다.

혈액학적 성상조사

실험 종료 후, 증체율 측정과 함께 혈액성분 분석을 위하여 채혈하기 전까지 실험어를 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어

를 각 수조당 4마리씩 무작위로 추출하여 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후 micro-hematocrit 법(Micro Hematocrit Reader, Hawksley)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하였으며, 헤모글로빈 함량(Hb, g/dl)은 cyan-methemoglobin 법(Yokoyama, 1960)에 의하여 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 방치하였다가 원심분리(12,000 rpm, 5 min)하여 얻은 혈청을 분석 전까지 -76°C에 보관하였다. 혈청 글루코스(mg/dl), 혈청 콜레스테롤(mg/dl), AST (IU/L), ALT (IU/L), total protein (TP, g/dl)의 측정에는 혈액분석기 (Vtros DT 60 II, Korea)를 사용하였다.

통계분석

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul MN, USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결과 및 고찰

본 실험에서는 뱀장어의 적정 필수지방산과 그 요구량을 확인하기 위해서, 5종류의 고도불포화지방산(HUFA)을 실험사료에 첨가하여 제조하였으며, 본 사료를 공급하여 사육실험을 실시하였다. 그 결과 LA과 LNA를 각각 0.35-0.5%, 0.5-0.65% 함유 시, 나머지 실험구들에 비해 성장 및 사료효율이 유의적으로 높은 것으로 나타났다.

4주간의 예비사육 후 16주간의 사육실험 결과는 Table 2에 나타내었다. 증체율과 일간성장률에 있어서 D₃: LA_{0.35}-LNA_{0.65} 실험구가 다른 실험구들과 비교하여 가장 높게 나타났으며, D₂: LA_{0.5}-LNA_{0.5} 실험구와는 유의적인 차이가 나지 않았다(P<0.05).

Table 2. Effects of feeding experimental diets on growth performance of juvenile Japanese eel fed seven different experimental diet for 16 weeks¹

	WG ²	SGR ³	FE ⁴	PER ⁵
	(%)			
D ₁ : control	30.34 ^f	0.31 ^f	23.50 ^d	0.47 ^d
D ₂ : LA _{0.5} -LNA _{0.5}	44.72 ^{ab}	0.43 ^{ab}	33.40 ^a	0.67 ^a
D ₃ : LA _{0.35} -LNA _{0.65}	47.14 ^a	0.45 ^a	35.67 ^a	0.71 ^a
D ₄ : LA _{0.25} -LNA _{0.75}	42.40 ^{bc}	0.42 ^{bc}	32.19 ^{ab}	0.64 ^{ab}
D ₅ : AA _{0.25} -EPA _{0.375} -DHA _{0.375}	38.62 ^e	0.38 ^e	26.82 ^{cd}	0.54 ^{cd}
D ₆ : AA _{0.5} -EPA _{0.25} -DHA _{0.25}	39.24 ^{de}	0.39 ^{de}	28.16 ^c	0.56 ^c
D ₇ : AA _{0.75} -EPA _{0.125} -DHA _{0.125}	41.28 ^{cd}	0.41 ^{cd}	29.43 ^{bc}	0.59 ^{bc}
Pooled SEM ⁶	1.12	0.01	0.86	0.02

¹Means of single groups; Values in the same row with different superscripts are not significantly different (P<0.05)

²Weigth gain (%)

³Feed efficiency (%)

⁴Specific growth rate (%)

⁵Protein efficiency ratio (%)

⁶Pooled standard error of mean: SD/vn

Table 3. Serological characteristics of juvenile Japanese eel fed seven different experimental diet for 16 weeks¹

	Diets							Pooled ² SEM
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	
PCV (%) ³	25 ^d	26 ^{cd}	27 ^{cd}	28 ^{bc}	32 ^a	25 ^d	30 ^{ab}	0.53
Hb (g/100 ml) ⁴	9.9	10.1	10.5	11.6	10.7	9.5	10.4	0.14
AST (IU/L) ⁵	90 ^{ab}	84 ^{ab}	49 ^c	71 ^{bc}	91 ^{ab}	90 ^{ab}	106 ^a	3.76
ALT (IU/L) ⁶	12	10	8	10	10	10	10	0.25
TP (g/dl) ⁷	2.9	3.3	3.4	3.4	3.2	3.7	3.1	0.05
Glucose (mg/dl)	107 ^a	70 ^b	58 ^b	63 ^b	120 ^a	79 ^b	78 ^b	4.77

¹Means of single groups; Values in the same row with different superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

²Pooled standard error of mean: SD/vn

³Hematocrit (%)

⁴Hemoglobin (g/100 ml)

⁵AST: aspartate amino-transferase (IU/L)

⁶ALT: alanine amino-transferase (IU/L)

⁷TP: total protein (g/dl)

한편, 대조구(D₁: LA-LNA 결핍사료)는 다른 실험구들에 비해 유의적으로 낮았다($P < 0.05$). 사료효율과 단백질전환효율 역시 성장결과와 유사한 경향을 보였는데 D₂: LA_{0.5}-LNA_{0.5} 실험구와 D₃: LA_{0.35}-LNA_{0.65} 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높았는데, 이들 실험구간에는 유의적 차가 없었으며, 대조구 사료를 공급한 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의적으로 낮았다($P < 0.05$).

혈액생화학적 평가에 관한 결과는 Table 3에 나타내었다. 헤마토크리트(Hematocrit)는 대조구에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며, D₂: LA_{0.5}-LNA_{0.5} 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 혈장 내 헤모글로빈(Hemoglobin)은 9.5-11.6 (g/100 ml)로 나타났으며, 전 실험구간 유의적인 차이는 없었다($P < 0.05$). 혈장 내 AST는 D₇: AA_{0.75}-EPA_{0.125}-DHA_{0.125} 실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높았는데, D₁, D₂, D₅, D₆ 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). 혈장 내 ALT와 Total protein은 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 혈장 내 Glucose는 다른 실험구들에 비해 D₅: AA_{0.25}-EPA_{0.375}-DHA_{0.375} 실험구가 가장 높았으며, D₁, D₂, D₃, D₄, D₆, D₇ 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). 혈장 내 콜레스테롤(Cholesterol)은 D₄: LA_{0.25}-LNA_{0.75} 실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높게 나타났으며 D₁, D₆, D₇ 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$).

뱀장어 치어의 전어체 지방산조성을 Table 4에 나타내었다. 전어체내 HUFA 함량에 있어서 대조구는 나머지 실험구들에 비해 유의적으로 낮게 나타났으며, D₁, D₄ 실험구와 D₂-D₇ 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이를 보이지 않았다. HUFA/SFA 비율에 있어서 D₂, D₃, D₆이 D₁에 비해 유의적으로 높게 나타났으며($P < 0.05$). 하지만 D₁, D₄, D₅, D₇ 실험구간 그리고 D₂-D₇ 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이가 나타났다. DHA/EPA의 비율에 있어서 D₇이 다른 실험구들에 비해 유의적으로 가장

높게 나타났으며, D₅가 유의적으로 가장 낮게 나타났으며($P < 0.05$).

뱀장어의 어체 내 지방산 함량의 변화에 있어서 DHA, EPA, AA는 glass eel에서 juvenile eel로 성장하면서 점점 감소하고, 반대로 LA와 LNA는 점점 증가하는 경향이 있다(De Silva et al., 1997). 이러한 명확한 차이는 성장하면서 염분이 다른 지역으로 이주하는 회유성 어류의 대표적인 특징으로 보고 되었다(Borlongan & Benitez, 1992; De Silva et al., 1997). 뱀장어에 있어서 사료내 LA와 LNA 비율은 1% 전후로 확인되는데, 1% 이상으로 확인된 잉어(Watanabe et al., 1975; Takeuchi et al. and Watanabe, 1977a)와 연어(Yü and Sinhuber, 1979) 등의 다른 담수어에 비해서 다소 낮은 경향을 보인다. 그리고 사료내 LNA의 과잉 첨가 시 증체율과 사료효율이 감소하는 경향을 보였는데, 무지개 송어의 결과와 유사한 경향을 나타내었다(Watanabe, 1974). 한편, 어체 내 지방산 조성의 차이가 사료(Watanabe et al., 1983; Olsen & Skjervold, 1995), 먹이의 결핍(Dave et al., 1976; Jezierska et al., 1982; De Silva et al., 1997), 그리고 서식수온을 포함한 비영양적 요인(Satoh et al., 1984; Bell et al., 1986) 등에 영향을 받는다는 보고가 있다.

본 실험의 결과, 성장과 전어체내 지방산조성에 있어서 뱀장어 치어의 사료내 EPA와 DHA의 첨가효과는 없는 것으로 판단된다. 그리고 사료내 LNA (n-3)와 LA (n-6) HUFA를 각각 0.35%, 0.65% 첨가했을 때 WG, SGR, FE, PER이 가장 높았으나, 이전의 실험(Takeuchi, 1980)과 동일한 수준인 n-3와 n-6를 각각 0.5%씩 첨가한 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서, 뱀장어 치어의 필수지방산은 LNA (n-3), LA (n-6)이고, 그 적정수준은 각각 1:1~1:2로 보여진다. 향후 수행해야 할 뱀장어의 필수지방산에 관한 연구에 있어서 성장 단계별 뱀장어의 지방산 조성변화와 뱀장어에 대한 지질원의 이용성과 소화율에 대한 연구 또한 뒷받침되어야 할 것이다.

요 약

본 실험은 치어기 뱀장어의 사료내 필수지방산과 그 적정 요구량을 평가하기 위하여 5종의 고도불포화지방산을 종류별, 수준별로 첨가하여 성장 및 체조성에 미치는 영향을 확인하였다. 실험어는 평균무게 15 g인 뱀장어 치어를 사용하였으며, 실험 사료 내에 5종류의 고도불포화지방산(LA, LNA, AA, DHA, EPA)을 첨가하여 총 7가지 실험구를 3반복으로 설정하여 16주간 사육실험을 진행하였다. WG과 SGR에 있어서 D₃ 실험구가 가장 높게 나타났으며($P < 0.05$). FE와 PER역시 성장결과와 유사한 경향을 보였는데 D₂, D₃ 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높았는데, 이들 실험구간에는 유의적 차가 없었다($P < 0.05$). 혈액생상 중 헤마토크리트(Hematocrit)는 대조구에서 가장 높게 나타났으며($P < 0.05$). Hemoglobin은 9.5-11.6 (g/100ml)로 전 실험구간 유의적인 차이는 없었다($P < 0.05$). AST는 D₇ 실험구가 가장 높았으며, ALT와 TP는 모든 실험구에서 유의적인 차

Table 4. Whole body proximate fatty acid composition of juvenile Japanese eel fed seven different experimental diet for 16 weeks¹

	Diets (% fatty acid) ¹							Pooled SEM
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	
C10:0	0.15 ^a	0.07 ^{ab}	0.11 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.03 ^{ab}	nd	0.12 ^a	0.02
C11:0	nd ²	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.16
C12:0	3.25 ^a	2.10 ^b	2.69 ^{ab}	2.65 ^{ab}	2.12 ^b	0.61 ^c	3.16 ^a	0.30
C13:0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00
C14:0	6.54 ^a	5.04 ^{cd}	6.08 ^{ab}	5.56 ^{bc}	5.41 ^{bcd}	4.52 ^d	5.91 ^{abc}	0.43
C15:0	0.29 ^{ab}	0.27 ^{bc}	0.32 ^a	0.28 ^b	0.31 ^a	0.29 ^{ab}	0.27 ^b	0.02
C16:0	19.6 ^{abc}	18.9 ^c	20.6 ^a	19.8 ^{abc}	20.2 ^{ab}	19.8 ^{abc}	19.3 ^{bc}	0.89
C17:0	0.19	0.21	0.12	0.11	0.14	0.11	0.19	0.02
C18:0	3.45 ^b	3.86 ^a	3.87 ^a	3.79 ^a	3.50 ^b	3.92 ^a	3.52 ^b	2.89
C20:0	0.09	0.13	0.06	0.09	0.11	0.06	0.11	0.17
C21:0	0.73 ^a	0.71 ^{ab}	0.69 ^{ab}	0.63 ^{ab}	0.70 ^{ab}	0.59 ^b	0.71 ^{ab}	0.05
C22:0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	0.02
C23:0	0.20	0.14	0.13	0.25	0.21	0.14	0.13	0.13
C24:0	1.89	1.99	1.78	1.74	1.99	2.02	1.88	0.16
SFA	38.38	33.42 ^{bc}	36.45	34.98	34.72	32.06	35.31	
C14:1	0.19 ^a	0.15 ^{bc}	0.17 ^b	0.16 ^b	0.17 ^{ab}	0.13 ^c	0.18 ^{ab}	0.01
C15:1	0.11	0.04	0.02	0.04	0.05	0.05	0.05	1.47
C16:1	7.19	6.59	7.06	6.89	7.38	6.95	7.03	0.49
C17:1	0.24	0.29	0.25	0.20	0.21	0.25	0.25	0.23
C18:1	43.6 ^b	44.9 ^b	42.1 ^c	44.2 ^b	44.2 ^b	46.6 ^a	43.6 ^b	2.92
C20:1	2.71 ^{ab}	2.94 ^a	2.43 ^b	2.61 ^{ab}	2.53 ^b	2.61 ^{ab}	2.51 ^b	0.18
C22:1	0.17	0.18	0.14	0.20	0.19	0.21	0.15	0.02
Monoene	54.2 ^{bc}	55.1 ^b	52.2 ^d	54.3	54.73	56.8 ^a	53.77	
C18:2n9c	3.19 ^c	4.08 ^a	4.18 ^a	3.47 ^b	3.62 ^b	3.69 ^b	3.64 ^b	0.28
C18:2n9t	nd	nd	nd	nd	nd	0.02	nd	0.00
C18:3n6, 9, 12c	0.05	0.03	0.11	0.43	0.05	0.03	0.04	0.06
C18:3n9, 12, 15c	0.33 ^{cd}	0.51 ^a	0.46 ^{ab}	0.45 ^{ab}	0.41 ^{bc}	0.31 ^d	0.28 ^d	0.03
C20:2	0.29	0.33	0.31	0.28	0.24	0.29	0.27	0.01
C20:3	0.21 ^{bc}	0.26 ^a	0.24 ^{ab}	0.20 ^c	0.19 ^c	0.18 ^c	0.25 ^a	0.03
C20:4	nd	0.08	0.04	nd	0.04	0.03	0.03	0.10
C20:5	1.25 ^c	1.51 ^{ab}	1.47 ^{ab}	1.37 ^{bc}	1.58 ^a	1.56 ^a	1.45 ^{ab}	0.11
C22:2	0.04	0.07	nd	nd	nd	nd	0.07	0.02
C22:6	4.05 ^c	4.67 ^{ab}	4.56 ^{abc}	4.49 ^{abc}	4.38 ^{bc}	4.99 ^a	4.90 ^{ab}	0.34
Polyene	9.41	11.54	11.37	10.69	10.51	11.1 ^a	10.93	
PUFA/SFA	0.26 ^b	0.35 ^a	0.31 ^a	0.31 ^{ab}	0.30 ^{ab}	0.35 ^a	0.31 ^{ab}	
DHA/EPA	3.24 ^b	3.09 ^c	3.11 ^c	3.28 ^b	2.77 ^d	3.21 ^b	3.38 ^a	

¹Means of single groups: Values in the same row with different superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

²nd: not detected

이가 없었다($P < 0.05$). Glucose는 D₅실험구가 가장 높았으며, Cholesterol은 D₄실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높았다($P < 0.05$). 전어체내 고도불포화지방산 함량에 있어서 대조구는 나머지 실험구들에 비해 유의적으로 낮게 나타났으며, D₁, D₄ 실험구와 D₂-D₇ 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이가 없었다. HUFA/SFA 비율에 있어서 D₂, D₃, D₆이 D₁에 비해 유의적으로 높게 나타났지만 D₁, D₄, D₅, D₇ 실험구간 그리고 D₂-D₇ 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). DHA/EPA의 비율에 있어서 D₇이 유의적으로 높았으며, D₃가

유의적으로 낮았다($P < 0.05$). 상기의 결과를 토대로, 성장과 전어체내 지방산조성에 있어서 뱀장어 치어의 사료내 EPA와 DHA의 첨가효과 미약한 것으로 판단되며, 사료내 LNA (n-3)와 LA (n-6) HUFA을 각각 0.35%, 0.65% 첨가했을 때 WG, SGR, FE, PER이 가장 높았으나, 이전의 실험(Takeuchi, 1980)과 동일한 수준인 n-3와 n-6를 각각 0.5%씩 첨가한 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이렇게 볼 때, 뱀장어 치어의 필수지방산은 LNA (n-3), LA (n-6)이고, 그 적정수준은 각각 0.35-0.5%, 0.5-0.65%임을 보여준다.

사 사

본 연구는 2002년 한국학술진흥재단의 중점연구소 지원과제에 의하여 수행된 결과로 이에 감사드립니다(KRF-2002-005-F00001). 본 연구를 수행함에 있어서 많은 도움을 준 부경대학교 양식학과 어류 영양 생화학 실험실원과 사료영양연구소 연구원들께 깊은 감사를 포함합니다.

참고문헌

- AOAC., 1995. Official methods of analysis of the association of official analysis chemicals, 14th edition. Arlington. AV, 1141 pp.
- Bell, M. V., R. J. Henderson, and J. R. Sargent, 1986. The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology* **83B**: 711-719.
- Borlongan, I. G., and L. V. Benitez, 1992. Lipid and fatty acid composition of milkfish (*Chanos chanos Forsskal*) grown in freshwater and seawater. *Aquaculture* **104**: 79-89.
- Castell, J. D., R. O. Sinnhuber, J. H. Wales, and D. J. Lee, 1972. Essential fatty acids in the diets of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. *J. Nutr.* **102**: 77-86.
- Dave, G., M. Johansson-Sjoberg, A. Larsson, K. Lewander and U. Lidman, 1976. Metabolic and hematological effects of starvation in the European eel, *Anguilla anguilla* L. III. *Comparative Biochemistry and Physiology* **53B**: 509-515.
- Deshimaru, O. and K. Kuroki. 1983. Studies on the optimum levels of protein and lipid in yellowtail diets. pp. 44-79 in Reports of Kagoshima Prefectural Fishery Experimental Station. Kagoshima, Japan: Kagoshima Prefectural Fishery Experimental Station.
- De Silva, S. S., R. M. Gunasekera, R. Collins, B. A. Ingram., C. M. Austin, 1997. Changes in the fatty acid profile of the Australian shortfin eel in relation to development. *J. Fish Biol.* **50**: 992-998.
- Degani Gad, 1986. Dietary effects of lipid source, lipid level and temperature on growth of glass eel (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture* **56**: 207-214.
- Gatesoupe, F. J., C. Leger, R. Metailler, and P. Luquet. 1977. Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus* L.). 1. Influence de la longueur de chaînes des acides gras de la série ω 3. *Annu. Hydrobiol.* **8**: 89-97.
- Jeziarska, B., J. R. Hazel, and S. D. Gerking, 1982. Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, with attention to fatty acids. *Journal of Fish Biology* **21**: 681-692.
- John Sargmt, Gordon Bell, Lesley McEvoy, Douglas Tocher, Alicia Estevez, 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* **177**: 191-199.
- Leray, C., G. Nonnotte, P. Roubaud, and C. Leger. 1985. Incidence of (n-3) essential fatty acid deficiency on trout reproductive processes. *Reprod. Nutr. Dev.* **25**: 567-581.
- Metcalf, L.D., A. A. Schmitz, J. R. Pelka, 1966. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, **38**: 514-515.
- Olsen, Y. and H. Skjervold, 1995. Variation in content of ω 3 fatty acids in farmed Atlantic salmon, with special emphasis on effects on non-dietary factors. *Aquaculture International* **3**: 22-35.
- Rasanthi M. Gunasekera, Khunnitee Leelarasamee, S. Sena, De Silva. 2002. Lipid and fatty acid digestibility of three oil types in the Australian shortfin eel, *Anguilla australis*. *Aquaculture* **203**: 335-347.
- Sargent, J., R. J. Henderson, D. R. Tocher, 1989. The lipids. In: Halver, J.E. (Ed.), *Fish Nutrition*, 2nd. Academic Press, New York, pp. 153-218.
- Satoh, S., T. Takeuchi, and T. Watanabe, 1984. Effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid composition of *Tilapia nilotica*. *Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries* **50**: 79-84.
- Satoh, S., W. E. Poe, and R. P. Wilson. 1989. Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish. *J. Nutr.* **119**: 23-28.
- Shimma, Y., R. Suzuki, M. Yamaguchi, and T. Akiyama. 1977. On the lipids of adult carps raised on fish meal and SCP feeds, and hatchabilities of their eggs. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.* **27**: 35-48.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe. 1977a. Requirement of carp for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **43**: 541-551.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe. 1977b. Dietary levels of methyl laurate and essential fatty acid requirement of rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **43**: 893-898.
- Takeuchi, T., S. Arai, T. Watanabe, and Y. Shimma. 1980. Requirement of eel *Anguilla japonica* for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **46**: 345-353.
- Takeuchi, T., S. Satoh, and T. Watanabe. 1983. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **49**: 1127-1134.
- Watanabe, T., C. Ogino. Y. Koshiishi, and T. Matsunaga. 1974. Requirement of rainbow trout for essential fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **40**: 493-499.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, and C. Ogino. 1975. Effect of dietary methyl loleate and linolenate on growth of carp-2. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **41**: 263-269.
- Watanabe, T., M. Ohta, C. Kitajima, and S. Fujita. 1982. Improvement of dietary value of brine shrimp *Artemia salina* for fish larvae by feeding them on n-3 highly unsaturated fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **48**: 1175-1182.
- Watanabe, T., C. Kitajima, and S. Fujita, 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. *Aquaculture* **34**: 115-143.
- Watanabe, T., T. Arakawa, C. Kitajima, and S. Fujita. 1984a. Effect of nutritional quality of broodstock diets on chemical components of red sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **50**: 495-501.
- Watanabe, T., S. Ohhashi, A. Itoh, C. Kitajima, and S. Fujita. 1984b. Effect of nutritional composition of diets on chemical

- components of red sea bream broodstock and eggs produced. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **50**: 503-515.
- Watanebe, T., T. Takeuchi, M. Saito, and K. Nishimura. 1984c. Effect of low protein-high caloris or essential fatty acid deficient diet on reproduction of rainbow trout. *Jpn. Soc. Sci. Fish.* **50**: 1207-1215.
- Yokoyama, H.O., 1960. Studies on the origin, development and seasonal variation in the blood cells of perch, *Perca flavescens*. *J. Wild. Dis.* **6**: 1-102.
- Yone, Y., M. Furuichi, and S. Sakamoto. 1971. Studies on nutrition or red sea bream. 3. Nutritive value and potimum content of lipids in diet. *Rep. Fish. Res. Lab. Kyusu Univ.* **1**: 49-60.
- Yu, T. C., and R. O. Sinnhuber. 1979. Effect of dietary ω 3 and ω 6 fatty acids on growth and feed conversion efficiency of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture* **16**: 31-38.

원고접수 : 2004년 9월 10일

수정본 수리 : 2004년 11월 6일

책임편집위원: 강덕영