

사료 지질원이 비단잉어(*Cyprinus carpio* var. *koi*) 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향

김이오 · 이상민^{1*}

충청북도내수면연구소, ¹강릉원주대학교 해양생물공학과

Influences of Different Dietary Lipid Sources on the Growth, Body Composition, and Fatty Acid Profiles of Juvenile Fancy Carp *Cyprinus carpio* var. *koi*

Yi-Oh Kim and Sang-Min Lee^{1*}

Department of Inland Fisheries Research Institute, Chungju 27432, Korea

¹Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

This study was carried out to investigate the effects of various dietary lipid sources on the growth performance, body composition, and fatty acid profiles of juvenile fancy carp (*Cyprinus carpio* var. *koi*). Three replicate groups of fish (initial mean body weight, 15.1±0.18 g) were fed one of five experimental diets containing fish oil (SLO), soybean oil (SO), linseed oil (LO), lard (LA), or a mixture of SLO, SO, and LO (Mix) for 8 weeks. Fish fed the LA diet gained less weight than did fish fed the LO diet. The feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the LA and Mix diets were lower than those of fish fed the SO and LO diets. The body lipid content of fish fed the SO diet was lower than those of the other groups. Whole-body fatty acid compositions reflected the fatty acid compositions of dietary lipid sources. Fish fed the SO diet had high concentrations of linoleic acid and arachidonic acid, whereas fish fed the LO diet were rich in linolenic acid. Fish fed the SLO diet had significantly higher levels of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid compared with fish fed the SO, LO, and LA diets. The results of this study suggest that SO or LO could be used as a replacement for SLO in the diets of juvenile fancy carp without any negative effects on growth and feed utilization when the dietary essential fatty acid requirements are satisfied for juvenile fancy carp.

Key words: Fancy carp, Dietary lipid source, Fatty acids, *Cyprinus carpio* var. *koi*

서 론

영양소 중에서 지질은 단백질이나 탄수화물보다 에너지가가 높아 값비싼 사료 단백질을 절약할 수 있으며, 필수지방산과 지용성 비타민의 공급원으로 양식 대상종의 성장과 체내대사에 필수적인 역할을 하는 중요한 영양소이다(NRC, 1993). 특히 성장이 활발히 진행되는 어린 시기에 정상 성장을 위해서는 대상종이 요구하는 필수지방산을 사료에 첨가해 주어야 한다(Sargent et al., 1999). 어류는 그들이 요구하는 지방산의 종류와 함량이 수온이나 염분도 등과 같은 서식환경에 영향을 받기 때문에 양식 어류가 요구하는 필수지방산의 종류와 요구량을 구명

하기 위한 연구들이 꾸준히 수행되어 왔다(Castell et al., 1972; Kim et al., 2002). 따라서 양식 대상종이나 서식환경에 따른 지방산 요구량의 차이를 밝혀 이를 충족시킬 수 있도록 사료를 설계하는 것은 매우 중요하다. 이러한 지방산들은 체내에서 세포막의 효소활성 등 생리적인 기능에 중요한 역할을 담당하는 것으로 보고되어 있다(Baud et al., 1989; German et al., 1987; Lokesh et al., 1989; Stubbs and Smith, 1984). 오징어간유나 대구간유와 같은 어유에는 어류가 요구하는 eicosapentaenoic acid (EPA)와 docosahexaenoic acid (DHA)와 같은 n-3계열의 고도불포화지방산(highly unsaturated fatty acids, HUFA)이 다량 함유되어 있을 뿐 아니라 EPA/DHA 비가 적절히 함유

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0317>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 49(3) 317-322, June 2016

Received 5 February 2016; Revised 4 April 2016; Accepted 5 April 2016

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 640. 2414 Fax: +82. 33. 640. 2955

E-mail address: smlee@gwnu.ac.kr

되어 있으므로(Lee, 2001; Kalogeropoulos et al., 1992) 어류의 n-3HUFA요구를 충족시켜 주기 위해 어유를 사료 지질원으로 많이 사용하고 있다. 하지만 어유는 가격이 비쌀 뿐 아니라 어유를 구성하는 지방산 중의 고도불포화 지방산은 산화되기 쉽고, 비타민 E의 요구량이 증가되는 등의 문제점이 잠재되어 있다(Watanabe et al., 1981). 따라서 어유를 대체할 수 있는 값싸고 저장이 용이한 지질원의 탐색 및 그 이용성을 조사하는 것이 필요하다.

비단잉어는 아름다운 체색, 다양한 무늬, 안정적인 체형 및 화려한 지느러미를 가지고 있을 뿐 아니라, 사육 수온 및 pH와 같은 수질 환경 변화에도 강한 내성을 지녀 사육관리가 다른 관상어에 비하여 용이한 장점을 가지고 있다. 비단잉어는 우리나라를 비롯한 일본, 미국, 유럽 등과 같은 선진국에서 인기가 매우 높은 품종이어서 양식 기술 및 성장에 관한 지속적인 연구가 필요하다(Hancz et al., 2003). 하지만 비단잉어 양식 사료 개발을 위한 영양요구에 관한 연구는 매우 제한적인 실정이다. 따라서 본 연구는 비단잉어 사육에 적합한 배합사료를 개발하기 위한 영양요구에 관한 연구의 일환으로 사료의 지질원이 비단잉어 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료조성과 영양소 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험사료의 단백질원으로 카제인 및 명태어분을 사용하였고, 지방산 조성이 다른 지질원에 따른 비단잉어의 이용성을 조사하기 위하여 지질원으로 오징어 간유, 대두유, 아미인유, 돈지를 각 9%씩 첨가하고 오징어 간유, 대두유 및 아미인유를 3%씩 첨가한 사료로 총 5종류의 실험사료(SLO, SO, LO, LA 및 Mix)를 설계하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후, 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠릿 제조기로 성형 한 후 실온에서 24시간 건조 한 후 -30℃에 보관하면서 필요시 공급하였다. 건조된 사료는 실험어의 입의 크기에 맞게 망 크기가 다른 체로 선별한 후, 냉장 보관하면서 사용하였다. 지질원으로 사용된 원료의 지방산 조성은 Table 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어로 충청북도내수면연구소에서 종묘 생산된 비단잉어(Fancy Carp, *Cyprinus carpio* var. koi) 사용하였으며, 상품사료를 30일간 공급하면서 예비사육 하였다. 외형적으로 건강한 평균체중 15.1 ± 0.18 g의 비단잉어 치어를 선별하여 20 L 사각 수조에 각각 30마리씩 3반복으로 수용하여 8주간 사육하였다. 수조 내 여과시스템은 반순환 여과방식으로 2 L/min의 물이 순환되도록 수중펌프를 사용하여 흘려주었다. 또한 매일 전체 사육수의 20%를 환수 하였으며, 사육수온을 27℃로 유지하였다. 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급하였다. 실험사료는

Table 1. Ingredient and proximate composition of experimental diets

Ingredients (%)	Diets				
	SLO	SO	LO	LA	MIX
Casein	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Pollack fish meal	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Corn gluten meal	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Potato starch	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
Squid liver oil	9.0				3
Soybean oil		9.0			3
Linseed oil			9.0		3
Lard				9.0	
Kelp meal	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Vitamin premix ¹	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mineral premix ²	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamin C (50%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Vitamin E (25%)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Choline salt (50%)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Nutrient content (% , dry matter basis)					
Crude protein	45.8	46.5	44.2	45.5	44.6
Crude lipid	9.7	9	9.7	9.7	9.2
Ash	5.9	5.5	5	5.7	5.7

SLO, squid liver oil; SO, soybean oil; LO, linseed oil; LA, lard.

¹Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid (98%), 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

²Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

1일 2회(09:00, 17:00) 반복으로 공급하였다.

성분 분석

실험 종료시에는 24시간 절식시킨 각 실험수조의 비단잉어 치어를 즉사시켜 분석을 위해 냉동보관(-75℃)하였다. 실험 사료 및 어체의 일반 성분은 표준 방법(AOAC, 1995)에 따라 분석하였는데, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchli B-324/ 435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지질은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃ dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였고, 회분은 600℃에서 4시간 동안 태운 후 정량 하였다. 지방산 분석을 위한 총지질은 Folch et al. (1957)의 방법에 준하여 추출하였다. 분리된 지질

Table 2. Major fatty acid composition (% of total fatty acids) of dietary lipid sources

	Lipid sources			
	SLO	SO	LO	LA
C14:0	2.6	0.1	0.1	4.0
C16:0	13.5	13.4	6.1	29.9
C16:1	4.3			2.4
C18:0	1.7	1.5	1.2	17.0
C18:1n-9	16.6	13.0	15.2	43.3
C18:2n-6	1.0	63.7	19.1	2.7
C18:3n-3	1.0	8.3	57.7	
C20:1n-9	11.1		0.6	
C20:2n-6	1.7			
C20:3n-3	0.3			
C20:4n-6	0.6			
C20:5n-3	11.3			
C22:1n-9	7.4			
C22:3n-3	0.6			
C22:5n-3	1.2			
C22:6n-3	25.1			

SLO, squid liver oil; SO, soybean oil; LO, linseed oil; LA, lard.

에 benzene 2 mL와 14% BF₃-methanol 2 mL를 가하고 80℃ water bath에서 30분간 가열하여 methylation시켰다. SP-2560 capillary column (100 m×0.25 mm i.d., film thickness 0.20 μm; Supelco, Bellefonte, PA, USA)이 부착된 gas liquid chromatography (Clarus 600, PerkinElmer, Shelton, CT, USA)로 지방산을 분석하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS Version 19 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANO-

VA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

평균체중 15.1 g의 비단잉어 8주간 사육실험한 후의 생존율, 증체율, 사료효율 및 단백질효율을 Table 3에 나타내었다. 사육 실험 기간 동안의 모든 실험구의 생존율은 100%였으며, 증체율, 사료섭취율, 사료효율 및 단백질효율이 사료에 혼합된 지질 종류에 영향을 받았다($P<0.05$). 증체율은 LO 실험구가 LA 실험구보다 높았지만 SLO, SO 및 Mix 실험구와는 유의차가 없었다. SO와 LO 사료를 섭취한 어류의 사료효율 및 단백질효율은 LA와 Mix 사료를 섭취한 어류보다 높았다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 LA와 Mix 실험구가 SO와 LO 실험구보다 높았다($P<0.05$).

본 실험의 사육 실험 기간 중에 모든 실험구에서 성장과 사료 효율 차이 외의 폐사나 외적인 결핍증상이 관찰되지 않았다. 이로 보아 본 실험 조건에서 비단잉어는 필수지방산 결핍에 반응이 느린 것으로 보인다. 타어종의 경우, 필수지방산이 부족한 사료를 먹인 송어, *Salmo gairdneri* (Castell et al., 1972)의 경우 성장 및 사료효율의 저하와 더불어 피부의 탈색이나 지느러미 부식과 같은 결핍증상이 나타났고, n-3HUFA가 부족한 turbot, *Scophthalmus maximus* (Bell et al., 1985)과 은어, *Plecoglossus altivelis* (Kanazawa et al., 1982)에서도 폐사율이 높았다는 보고가 있다.

일반적으로 사료에 첨가되는 지질의 종류에 따라 양식어류의 성장과 사료이용효율이 달라지는 것으로 보고되고 있는데 (Fountoulaki et al., 2009), 이는 지질을 구성하고 있는 지방산의 종류가 다르기 때문이다. 즉, 사료에 첨가되는 지질을 구성하는 지방산 중에 대상어종이 요구하는 필수지방산의 충족 여부에 따라 성장이 달라진다(Lee, 2001). 특히 성장 속도가 빠른 어린 시기에 필수지방산을 부족하게 섭취하면 이에 대한 결핍증상이 빠르게 나타날 수 있으므로 대상어류에 필요한 지방산의

Table 3. Growth performance and feed utilization of juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets for 8 weeks

Diets	Survival (%)	WG (%) ¹	FE (%) ²	DFI (%) ³	DPI (%) ⁴	PER (%) ⁵
SLO	100	108±4.88 ^{ab}	54.7±2.64 ^{ab}	2.29±0.04 ^{ab}	1.11±0.02 ^a	1.13±0.05 ^{ab}
SO	100	116±6.02 ^{ab}	60.5±2.92 ^b	2.17±0.03 ^a	1.07±0.02 ^a	1.23±0.06 ^b
LO	100	124±3.11 ^b	60.1±1.89 ^b	2.27±0.05 ^a	1.13±0.02 ^a	1.21±0.04 ^b
LA	100	103±3.08 ^a	49.1±1.03 ^a	2.47±0.01 ^b	1.26±0.01 ^b	0.96±0.02 ^a
Mix	100	110±7.11 ^{ab}	52.6±3.51 ^a	2.41±0.06 ^b	1.21±0.03 ^b	1.05±0.07 ^a

SLO, squid liver oil; SO, soybean oil; LO, linseed oil; LA, lard. Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$). ¹Weight gain=(final fish wt.-initial fish wt.)×100/initial fish wt. ²Feed efficiency=fish wet weight gain×100/ feed intake (dry matter). ³Daily feed intake=feed intake (dry matter)×100/[(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)/2×days fed]. ⁴Daily protein intake=protein intake×100/[(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days reared/2]. ⁵Protein efficiency ratio = fish wet weight gain/protein intake.

종류와 요구량이 충족되도록 사료를 설계하여야 한다(Sargent et al., 1999). 어류는 그들이 요구하는 지방산의 종류와 양이 수온이나 염분도 등과 같은 서식환경에 따라 다르다(NRC, 1993). 담수어종인 무지개송어, *Salmo gairdneri*와 틸라피아, *Tilapia zilli*는 필수지방산으로 18:3n-3과 18:2n-6을 각각 요구하며(Castell et al., 1972; Kanazawa et al., 1980), 해산어류인 넙치, *Paralichthys olivaceus*는 DHA와 EPA를 필수지방산으로 요구한다고 보고되어 있다(Kim et al., 2002). 본 실험에서와 같이 어유와 식물성 지질을 첨가한 실험구간에 성장과 사료이용효율이 서로 차이가 없는 것은 이들 실험사료에 함유된 필수지방산의 종류와 양이 비단잉어의 요구에 만족되었기 때문으로 판단된다. 이전의 연구들에서도 필수지방산이 요구량 이상으로 사료에 함유되면, 성장과 사료이용효율이 사료의 지질원에 영향을 받지 않는다고 보고하였다(Aminikhoei et al., 2013; Bell et al., 2003; Peiedecausa et al., 2007). 반면에 돈지 첨가사료를 섭취한 비단잉어의 성장이 낮아진 것은 비단잉어 사료의 지질원으로 돈지와 같은 동물성 지방은 적합하지 않았기 때문으로 생각된다. 다른 어류에서도 돈지나 우지와 같은 동물의 지방을 혼

합한 사료를 섭취한 경우, 성장과 사료효율이 저하된다고 보고되었다(Lee, 2001). 이와 같이 결과들로부터 아마인유와 대두유에 다량 함유된 18:3n-3이나 18:2n-6 또는 어유에 많이 함유된 DHA 및 EPA와 같은 n3-HUFA가 비단잉어의 필수지방산으로 작용하는 것으로 보인다. 기존의 연구에서 잉어의 필수지방산은 18:3n-3과 18:2n-6이라고 보고되어 있다(Takeuchi and Watanabe, 1977; Watanabe et al., 1975).

사육실험 종료 후, 전어체의 일반성분 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 전어체의 수분, 조단백질 및 회분은 사료의 지질 종류에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 반면에 SO 사료를 섭취한 실험구의 지질함량은 다른 실험구보다 유의하게 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$). 일반적으로 필수지방산 함량이 충족된 사료를 섭취한 실험어류 체성분은 사료의 지질원에 영향을 받지 않는 경향을 보인다(Aminikhoei et al., 2013). 하지만, 본 연구에서처럼 대두유 첨가군의 체지방 함량이 다른 실험구들에 비해 낮은 것은 비단잉어가 대두유에 많은 비율로 함유된 18:2n-6과 같은 특정 지방산을 잘 이용할 수 있기 때문으로 추측되지만, 비단잉어의 지질 이용성에 관한 상세한 연구는 금후 계속

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body in juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different lipid source for 8 weeks

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
SLO	71.3±0.43 ^{ns}	14.5±0.15 ^{ns}	11.2±0.27 ^b	2.1±0.09 ^{ns}
SO	72.8±1.58	14.2±0.36	8.8±0.51 ^a	2.0±0.25
LO	72.2±0.98	15.8±1.09	12.2±0.08 ^b	1.6±0.10
LA	70.4±0.57	16.4±0.34	11.6±0.40 ^b	2.4±0.28
Mix	70.6±1.59	16.7±0.23	11.9±1.98 ^b	2.0±0.21

SLO, squid liver oil; SO, soybean oil; LO, linseed oil; LA, lard. Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 5. Major fatty acid composition (% of total fatty acids) of whole body in juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different lipid source for 8 weeks

Fatty acids	Diets				
	SLO	SO	LO	LA	Mix
C14:0	2.9±0.13 ^c	1.3±0.17 ^a	1.3±0.08 ^a	1.6±0.10 ^{ab}	1.8±0.05 ^b
C16:0	18.7±0.49 ^{ns}	16.9±0.38	17.4±0.49	19.0±0.37	17.7±0.44
C16:1	9.1±0.26 ^b	3.7±1.84 ^a	6.8±0.22 ^b	7.4±0.15 ^b	7.2±0.12 ^b
C18:0	5.3±0.21 ^{ns}	5.6±0.38	5.5±0.19	5.8±0.09	5.5±0.26
C18:1n-9	36.4±1.06 ^{ns}	34.9±2.87	37.3±0.95	38.3±0.83	35.4±1.38
C18:2n-6	4.0±0.38 ^a	14.9±0.4 ^c	6.5±1.01 ^b	5.7±0.63 ^b	7.9±0.68 ^{bc}
C18:3n-3	0.6±0.04 ^a	1.5±0.11 ^a	7.7±0.32 ^b	0.6±0.14 ^a	1.9±0.95 ^a
C20:4n-6	2.2±0.20 ^a	4.1±0.16 ^c	2.1±0.11 ^a	3.3±0.09 ^b	2.2±0.11 ^a
C20:5n-3	3.0±0.03 ^b	1.3±0.26 ^a	1.8±0.05 ^a	1.4±0.23 ^a	2.6±0.16 ^{ab}
C22:6n-3	7.3±0.27 ^b	5.3±0.29 ^a	6.1±0.56 ^a	6.3±0.57 ^a	7.6±0.72 ^b

SLO, squid liver oil; SO, soybean oil; LO, linseed oil; LA, lard. Values (mean±SE of replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

되어야 할 것이다.

실험 종료시의 비단잉어 전어체의 지방산 조성은 사료의 지질원에 영향을 받아 그 조성비가 다르게 나타났다(Table 5). 어체의 EPA 및 DHA는 SLO 실험구에서, 18:2n-6 및 20:4n-6은 SO 실험구에서, 18:3n-3은 LO 실험구에서 다른 실험구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 본 연구에서 전어체의 16:0이나 18:0와 같은 포화지방산과 18:1n-9와 같은 단일 불포화지방산은 사료의 지질원에 큰 영향을 받지 않았지만 18:2n-6, 18:3n-3, 20:4n-6, EPA 및 DHA와 같은 탄소수 18개 이상의 다불포화지방산들의 어체 조성이 사료의 지방산 조성에 직접적인 영향을 받았다. 다른 연구에서도 이와 유사한 경향을 보였다(Kim et al., 2012). 이러한 현상은 체내에서 지방산의 전환능력에 관련된 것으로 판단된다. 즉 포화지방산과 단일불포화지방산들은 체내에서 신장되거나 불포화되어 생성될 수 있지만, 18:1n-9에서 18:2n-6으로 불포화되지 못하기 때문에 18:2n-6이나 18:3n-3은 먹이로부터 공급되어야 하는 필수지방산으로 존재한다.

대두유 첨가 사료를 섭취한 비단잉어의 20:4n-6의 조성비가 타실험구보다 유의하게 높은 결과를 보였는데, 이는 섭취된 사료의 대두유에 다량 함유된 18:2n-6이 20:4n-6으로 합성되어 증가된 것으로 판단된다. 20:4n-6는 세포막의 중요한 구성성분으로서 인간이나 동물의 필수지방산이다(Burr and Burr, 1930; Alfin-Slater and Aftergood, 1968; Holman, 1968). 20:4n-6는 생체내에서 prostaglandin의 전구물질로서 n-6계의 매우 중요한 고도불포화지방산이다(German et al., 1987; Kaley et al., 1985; Maroussem et al., 1985). 참돔(Fujii et al., 1976)과 gilthead bream (Kalogeropoulos et al., 1992)의 실험에서 사료의 지방산 조성에 따라 간 극성지질 중의 20:4n-6의 조성비가 증가되었다고 보고하였으며, 이 지방산의 증가는 18:2n-6이나 20:2n-6에서 전환되었기 때문으로 생각된다.

이상의 결과로 보아, 비단잉어 사료 내 오징어간유와 같은 어유 대신 대두유나 아마인유와 같은 식물성 기름을 사용할 수 있을 것으로 보이며, 사용하는 기름에 따라 어체의 지방산 조성이 영향을 받는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 해양수산부 해양바이오 지역특화선도기술개발사업(과제번호 D11413914H480000100)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Alfin-Slater RB and Aftergood L. 1968. Essential fatty acids re-investigated. *Phys Rev* 48, 758-784.
Aminikhoie Z, Choi J, Lee SM and Kim KD. 2013. Effects of different dietary lipid sources on growth performance, fatty acid composition and antioxidant enzyme activity of juvenile rockfish, *Sebastes schlegelii*. *J World Aquacult Soc* 44,

716-725. <http://dx.doi.org/10.1111/jwas.12070>.
AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. *Official Methods of Analysis*, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
Baud I, Oudinet JP, Bens M, Noe L, Peraldi MN, Rondeau E, Etienne J and Ardaillou R. 1989. Production of tumor necrosis factor by rat mesangial cells in response to bacterial lipopolysaccharide. *Kidney Int* 35, 1111-1118.
Bell JG, McGhee F, Campbell PJ and Sargent JR. 2003. Rape-seed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*: changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". *Aquaculture* 218, 515-528. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00462-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00462-3).
Bell MV, Henderson RJ, Pirie BJS and Sargent JR. 1985. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *Scophthalmus maximus*. *J Fish Biol* 26, 181-191.
Burr GO and Burr MM. 1930. On the nature and role of the fatty acids essential in nutrition. *J Biol Chem* 86, 587-621.
Castell JD, Sinnhuber RO, Wales JH and Lee DJ. 1972. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. *J Nutr* 102, 77-86.
Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
Folch J, Lees M and Stanley GHS. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509.
Fujii M, Nakayama H and Yone Y. 1976. Effect of ω 3 fatty acids on growth, feed efficiency and fatty acid composition of red sea bream (*Chrysophrys major*). Report of Fishery Research Laboratory, Kyushu Univ 3, 65-86.
German JB, Lokesh B and Kinsella JE. 1987. Modulation of zymosan stimulated leukotriene release by dietary unsaturated fatty acids. *Prostaglandins Leukotrienes Med* 30, 69-76.
Hancz C, Magyary I, Molnar T, Sato S, Horn P and Taniguchi N. 2003. Evaluation of color intensity enhanced by paprika as feed additive in goldfish and koi carp using computer-assisted image analysis. *Fish Sci* 69, 1158-1161. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0919-9268.2003.00740.x>.
Holman RT. 1968. Essential fatty acid deficiency, a long scaly tale. *Prog Chem Fats Other Lipids* 9, 279-348.
Kaley G, Hintze TH, Panzenbeck M and Messina EJ. 1985. Role of prostaglandins in microcirculatory function. In: Sermeri GGN, McGiff JC, Paoletti R and Born (Eds) GVR, *Advances in prostaglandin, thromboxane, and leukotriene research*, Vol 13. Raven Press, New York, U.S.A., 27-35.
Kalogeropoulos N, Alexis MN and Henderson RJ. 1992. Effect of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 104, 293-308.

- Kanazawa AS, Teshima M, Sakamoto and MA Awal, 1980. Requirement of *Tilapia zilli* for essential fatty acids. Fish Bull Jpn Soc Sci Fish 46, 1353-1356.
- Kanazawa A, Teshima SI and Sakamoto M. 1982. Requirements of essential fatty acids for larval ayu. Fish Bull Jpn Soc Sci Fish 48, 587-590.
- Kim KD, Lee SM, Park HG, Bai SC and Lee YH. 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. J World Aquacult Soc 33, 432-440.
- Kim DK, Kim KD, Seo JY and SM Lee. 2012. Effects of dietary lipid source and level on growth performance, blood parameters and flesh quality of sub-adult olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Asian-Aust J Anim Sci 25, 869-879. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2011.11470>.
- Lee SM. 2001. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquac Res 32, 8-17.
- Maroussem DD, Pippy B, Beraud M, Derache P and Matieu JR. 1985. [¹⁴C] Arachidonic acid incorporation into glycerolipid and prostaglandin synthesis in peritoneal macrophage: effect of chloramphenicol. Biochim Biophys Acta 834, 8-22.
- Lokesh BR, Black JM and Kinsella JE. 1989. The suppression of eicosanoid synthesis by peritoneal macrophages is influenced by the ratio of dietary docosahexaenoic acid to linoleic acid. Lipids 24, 389-593.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington DC, U.S.A.
- Piedecausa MA, Mazón MJ, García García B and Hernández MD. 2007. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*). Aquaculture 263, 211-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.039>
- Sargent JR, Bell JG, McEvoy LA, Tocher D and Estevez A. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture 177, 191-199.
- Stubbs CD and Smith AD. 1984. The modification of mammalian membrane polyunsaturated fatty acid composition in relation to membrane fluidity and function. Biochim Biophys Acta 779, 89-137.
- Takeuchi T and Watanabe T. 1977. Requirement of carp for essential fatty acids. Fish Bull Jpn Soc Sci Fish 43, 893-898.
- Watanabe T, Takeuchi T and Wada M. 1981. Dietary lipid levels and α -tocopherol requirement of carp. Fish Bull Jpn Soc Sci Fish 47, 1585-1590.
- Watanabe T, Takeuchi T and Ogino C. 1975. Effect of dietary methyl linoleate and linolenate on growth of carp-II. Fish Bull Jpn Soc Sci Fish 41, 263-269.