

명태(*Gadus chalcogrammus*) 친어 사료내 명태유 첨가가 수정란과 자어 품질에 미치는 효과

한경식 · 최진^{1*} · 변순규 · 임현정 · 김희성² · 이상민³

국립수산과학원 동해수산연구소, ¹국립수산과학원 전략양식부 양식관리과, ²경상대학교 해양식품생명의학과, ³강릉원주대학교 해양생물공학과

Effects of the Dietary Inclusion of Pollock Oil on the Quality of Eggs and Larvae of Walleye Pollock *Gadus chalcogrammus*

Gyeong Sik Han, Jin Choi^{1*}, Soon-Gyu Byun, Hyun Jeong Lim, Hee Sung Kim² and Sang-Min Lee³

Aquaculture Industry Research Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea

¹Aquaculture Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

²Department of Marine Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

³Department of Marine Biotechnology Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

This study investigated the effects of inclusion of pollock oil (PO) in the diet of broodstock on the egg and larval quality of Walleye Pollock *Gadus chalcogrammus*. The experimental diet comprised of semi-moist pellets prepared either with or without PO (control; Con). The fish assigned to each diet were fed to visual satiation (two meals per day) for 12 weeks. Eggs spawned from both groups of fish were sampled during the spawning season (three months) and the egg and larval quality was determined. Total egg volume, fertilization, and hatchability of eggs from the PO group were higher than those of the Con group. Fatty acid composition of fertilized eggs was not affected by the experimental diet. Oleic acid, eicosapentaenoic acid, and docosahexaenoic acid content in larvae of the PO group was higher than that in larvae of the Con group. These results demonstrate the beneficial effects of including PO in the broodstock diet of Walleye Pollock, specifically on the quality of the eggs (total egg volume, fertilization, and hatchability) and larvae (fatty acid composition).

Keywords: Walleye pollock, Pollock oil, Broodstock diet, Egg quality, Larval quality

서 론

명태는 대구목(Gadiformes)에 속하는 대표적인 한해성 품종으로 동해, 오후츠크해, 베링해 및 알래스카를 포함하는 북태평양 해역에 광범위하게 분포하고 있다. 국내 명태 일반해면어업 생산량은 1970년대 초에는 약 5만톤 이상으로 나타났으나, 1990년대 초반부터 어업 생산량이 급격히 감소하여 2010년대 어획 생산량은 약 10톤 이하로 나타났다(KOSIS, 2019). 급격한 어획량 감소로 인해 최근 국내에서는 명태 자원량 회복을 위하여 명태 양식 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 명태 양식 기술 개발을 위해서는 어미 관리 기술이 필수적이며, 특히 양식

종자 생산 초기단계에서 어미 관리는 대단히 중요하다.

양식어류의 성장, 생식과 생산성에 영향을 미치는 요인 중에서 사료는 특히 중요하다. 양식어류의 어미에게 공급되는 사료의 영양소 조성은 생식, 수정란 및 부화 자어의 품질에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Craik and Harvey, 1984; Watanabe et al., 1984; Fernández Palacios et al., 1995; Watanabe and Kiron, 1995; Izquierdo et al., 2001). 따라서 성공적인 명태 양식을 위해서는 친어에 대한 효율이 높고 영양학적으로 균형이 좋은 사료의 개발이 필수적이다.

사료내 지질은 어류의 중요한 에너지원으로 사용되며, 단백질이나 탄수화물 보다 에너지가가 높아 값비싼 단백질 사료 원료

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2423 Fax: +82. 51. 720. 2439

E-mail address: jchoi99@korea.kr



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0894>

Korean J Fish Aquat Sci 53(6), 894-899, December 2020

Received 17 March 2020; Revised 7 May 2020; Accepted 12 November 2020

저자 직위: 한경식(연구원), 최진(연구사), 변순규(연구관), 임현정(과장), 김희성(교수), 이상민(교수)

를 절약할 수 있는 중요한 영양소이다(Lee and Kim, 2009; Rahimnejad et al., 2015). 뿐만 아니라 지질은 지용성비타민을 공급하는 역할과 체내에서 지용성비타민의 흡수, 세포막 형성, 호르몬과 담즙 형성 및 체내 에너지 축적에도 중요한 역할을 한다.

친어 사료내 지질과 지방산은 난과 자어 발달에 중요한 역할을 하며(Izquierdo et al., 2001; Tocher, 2010), eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5n-3)와 docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n-3)와 같은 n-3계 고도 불포화지방산(n-3 highly unsaturated fatty acids, n-3 HUFA) 뿐만 아니라 arachidonic acid (ARA, C20:4n-6)도 많은 양식 어종의 생식에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 사료내 DHA/EPA와 EPA/ARA 비율이 수정란과 부화 자어의 품질에 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있으며(Sargent, 1995; Furuita et al., 2007; Wilson, 2009), 친어 사료내 지방산 조성이 난의 지방산 조성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Tocher, 2010). 넙치에서 산란기 3개월 전부터 산란기까지 n-3 HUFA가 0.4, 0.8 및 2.1% 함유된 사료를 공급하였을 때, n-3 HUFA를 2.1% 함유한 사료를 공급시 난질, 정상 유생 비율 및 부화 후 생존율이 가장 높게 나타났다(Furuita et al., 2002).

해산어유는 EPA와 DHA 함량이 풍부할 뿐만 아니라 n-3 HUFA 함량도 높아 생식 능력(산란량, 산란율, 수정란 크기, 수정률, 부화율 등) 향상에 효과적이어서 다양한 어종의 친어 사료내 해산어유의 첨가 연구가 보고된 바 있다(Fernandez-Palacios et al., 1995; Lane and Kohler, 2006; Lewis et al., 2010).

따라서 본 연구에서는 명태 친어 사료내 명태유 첨가가 산란율과 수정란의 발생률 및 부화율과 부화 자어의 품질에 미치는 영향을 조사하였다. 실험사료의 지방산 조성은 Table 2에 나타내었다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료 제조에 있어서 대조구(Con) 사료는 뱀장어 양성용으로 시판되고 있는 분말사료 30%와 냉동 잡어 40% 및 기타 원료 30%를 혼합한 대조구(Con) 사료와 Con 사료의 Potato-starch 7% 대신에 명태유(pollock oil, PO)를 첨가한 PO 사료를 제조하였다(Table 1). 실험에 사용한 사료 원료는 혼합기를 이용하여 혼합한 후 moist pellet 제조기(SMC-SUPER32, SL Machinery, Korea)로 성형하였으며, 사료 공급 전까지 -20°C에서 냉동 보관하여 사용하였다. 실험사료의 지방산 조성은 Table 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어인 어미 명태는 국립수산물과학원 동해수산연구소에서 인공 생산된 마리당 평균 1,030 g의 인공 1세대 명태 어미를 2개의 사각 콘크리트수조(20톤) 각각 100마리씩 수용하여 실험 환

경조건에 순치시킨 후 사육실험을 실시하였다. 사육실험은 실험사료를 1일 2회(9:00와 17:00) 반복으로 공급하였으며, 1일 1회(13:00)에 수조를 사이펀을 이용하여 찌꺼기 및 배설물을 제거하면서 전체 사육수의 20%를 매일 환수하였다. 사육 수온은 평균 6.8°C였으며, 용존산소는 평균 7.2 mg/L를 유지하였다.

수정란 확보 및 난질 조사

3개월간 친어의 자연 방란 및 방정을 통한 수정란을 1일 1회(09:00) 수거하였다. 수거한 수정란은 난질 평가를 위하여 1일 1회 산란량(total egg volume, ml/day)을 측정하고 입체 현미경(SZH 10, Olympus Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 난경(egg diameter, mm)과 수정률(fertilization, %)을 관찰하였다. 부화

Table 1. Ingredients and nutrient contents of experimental diets

	Diets	
	Con	PO
Ingredients (%)		
Commercial diet ¹	30	30
Frozen raw fish ²	40	40
Potato-starch	14.4	7.4
Krill meal	13	13
Vitamin premix ³	1.0	1.0
Mineral premix ⁴	1.0	1.0
Vitamin E (25%)	0.1	0.1
Choline chloride (50%)	0.2	0.2
Vitamin C	0.3	0.3
Pollock oil ⁵		7
Proximate analysis(% of dry matter basis)		
Moisture (%)	52.0	47.4
Crude protein (%)	60.3	59.3
Crude lipid (%)	10.5	15.3
Ash (%)	13.6	12.2

¹Commercial powder feed for eel was purchased from Purinafeed incorporation (Seongnam, Korea). ²Composed of sand lance (25%) and krill (15%). ³Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): DL- α -tocopheryl acetate, 20; thiamin hydrochloride, 5; riboflavin, 8; pyridoxine hydrochloride, 2; niacin, 40; Ca-D-pantothenate, 12; myo-inositol, 200; D-biotin, 0.4; folic acid (98%), 1.5; p-aminobenzoic acid, 20; menadione, 4; retinyl acetate, 1.5; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003. ⁴Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): NaCl, 10, MgSO₄·7H₂O, 150; NaH₂PO₄·2H₂O, 250; KH₂PO₄, 320; CaH₄(PO₄)₂·H₂O, 200; Ferric citrate, 25; ZnSO₄·7H₂O, 4; Ca-lactate, 38.5; CuCl, 0.3; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KIO₃, 0.03; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2; CoCl₂·6H₂O, 0.1. ⁵Pollock oil was imported from American Seafoods Company (Alaska, USA)

율(egg hatchability, %) 조사는 실험구별 3개의 1 L 비이커에 각각 수정란 100립씩을 수용하여 인큐베이터에서 15일간 8°C에서 부화시켰으며, 1일 1회 비이커의 50%를 환수하면서 관찰하였고, 총 10회에 걸쳐 부화율을 조사하였다. 이후 남은 수정란은 지방산 분석을 위해 -70°C 초저온 냉동고에 분석 전까지 보관하였다. 부화율 조사 후 난황을 완전히 흡수하고 활동성이 우수한 부화 자어는 지방산 분석을 위해 샘플하여 -70°C 초저온 냉동고에 분석 전까지 보관하였다.

성분분석

실험사료의 일반성분은 AOAC (1990) 방법에 따라 조단백질은 auto Kjeldahl system (Buchi B-324/435/412, Flawil, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지질은 ether를 사용하여 추출하였다. 수분은 105°C dry oven에서 6시간 동안 건

조 후 측정하였으며, 회분은 600°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량 하였다. 수정란 및 부화 자어의 지방산분석은 클로로포름과 메탄올 혼합액(2:1)을 사용하여 시료중의 총 지질을 추출하고 14% BF₃-methanol (Sigma, St. Louis, Mo, USA) 용액으로 지방산을 methylation 시킨 후(Folch et al., 1957), capillary column (100 m×0.25 mm i.d., film thickness 0.20 μm, SPTM-2560, Supelco, Bellefonte, PA, USA)이 장착된 gas chromatography (Clarus 600, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)로 분석하였다. 운반기체는 헬륨을 사용하였으며, oven 온도는 최초 140°C에서 240°C까지 4°C/min 증가시켰다. 이때, injector 온도는 240°C, detector (FID) 온도는 240°C로 각각 설정하였으며, 표준 지방산으로는 37개 지방산 혼합물(PUFA 37 Component FAME Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 사용하였다.

통계 분석

결과의 통계 분석은 SPSS Version 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 두 실험구 간의 Independent-Sample T-Test를 실시하여 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결과 및 고찰

어류 양식에 있어서 친어의 영양 상태는 수정란과 자어 품질에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Watanabe, 1985), 친어 사료내 적합한 지질의 공급은 난과 자어 품질에 중요하다. 특히 EPA와 DHA 같은 n-3 HUFA는 해산어 친어 사료내 필수지방산으로 알려져 있다(Bruce et al., 1999; Furuita et al., 2000).

일반적으로 산란량, 수정란 직경, 수정률과 부화율은 친어의 생식능(reproductive performance) 평가에 중요한 지표로 평가된다(Izquierod et al., 2001). 본 연구에서 명태 친어의 자연산란을 통하여 조사한 산란량, 수정란 직경, 수정률 및 부화율을 Table 3에 나타내었다. 산란량은 PO 사료(EPA, 1.74% 및 DHA, 1.27%)를 공급한 실험구가 대조구 사료(EPA, 1.14% 및 DHA, 0.91%)를 공급한 실험구보다 유의하게 높았다(P<0.05).

Table 3. Quality of eggs from pollock *Gadus chalcogrammus*. broodstock fed the different experimental diets during the spawning period

	Diets	
	Con	PO
Total egg volume (ml/day)	208±21.8 (n=90)	409±46.3* (n=90)
Egg diameter (mm)	1.41±0.01 (n=90)	1.42±0.02 (n=90)
Fertilization (%)	50.9±1.24 (n=90)	62.5±5.03* (n=90)
Egg hatchability (%)	70.0±3.41 (n=30)	75.3±0.18* (n=30)

Con, control; PO, Pollock oil. Values are expressed as mean±S.E. *P<0.05.

Table 2. Fatty acid composition of experimental diets

Fatty acids (% in diet)	Diets	
	Con	PO
C12:0	0.02	0.02
C14:0	0.91	1.26
C15:0	0.04	0.05
C16:0	1.95	2.53
C18:0	0.23	0.31
C20:0	0.01	0.02
C23:0	0.04	0.05
C24:0	0.01	0.01
Total saturates	3.23	4.27
C14:1	0.01	0.03
C16:1	0.86	1.49
C18:1n-9	1.90	2.86
C20:1n-9	0.72	1.02
C22:1n-9	0.11	0.21
C24:1	0.07	0.13
Total monoenes	3.67	5.74
C20:2	0.02	0.03
C18:2n-6	0.28	0.40
C18:3n-3	0.09	0.15
C20:3n-6	0.01	0.02
C20:3n-3	0.01	0.02
C20:5n-3	1.14	1.74
C22:6n-3	0.91	1.27
Total PUFA	2.46	3.63
EPA+DHA	2.1	3.0

Con, control; PO, pollock oil; PUFA, polyunsaturated fatty acid; EPA, eicosapentaenoic acid; DHA, docosahexaenoic acid.

그러나 수정란의 직경은 각 실험사료에 의한 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 수정률, 부화율은 PO 사료 공급구가 Con 사료 공급구에 비해 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$). 본 연구에서 Con 사료와 PO 사료의 조지질 함량은 각각 10.5% (EPA+DHA, 2.05%)와 15.3% (EPA+DHA, 3.0%)을 함유하였으며, 이는 명태 친어 사료내 지질함량이 증가하면서, EPA와 DHA의 증가가 산란량, 수정률 및 부화율에 많은 영향을 미친 것으로 사료된다. Duray et al. (1994)는 rabbitfish *Siganus guttatus* 친어 사료내 지질 함량이 12%에서 18%까지 증가시, 산란량과 부화율이 증가하는 것으로 보고하였고, 사료내 EPA와 DHA 함량이 밀접한 관계가 있는 것으로 보고하였다. 그러나 Coldebella et al. (2013)는 남아메리카 메기(*Rhamdia quelen*) 친어 사료내 대두유를 첨가하여 지질 함량을 높일 경우, 산란량 및 수정률에 영향을 미치지 않는 것으로 보고하였고, 수정란의 직경은 지질 함량이 증가함에 따라 감소하였으며, 이는 사료내 EPA와 DHA의 부족에 의한 것으로 보고하였다. 이와 같이 양식 대상 친어의 사료에 첨가하는 지질원뿐 만 아니라 사료내

EPA와 DHA 함량이 수정란의 품질에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 친어 사료내 야자유를 첨가한 사료(EPA, 0.04%와 DHA, 0.54%)가 어유를 첨가한 사료(EPA, 2.3% 및 DHA, 7.3%)보다 EPA와 DHA 함량이 낮음에도 불구하고 친어의 산란 빈도 및 부화율이 높게 나타났다(Ng and Wang, 2011). 또한 오징어와 아마인 혼합유를 첨가한 제브라피시(*Danio reiro*) 어미 사료(EPA, 9.1% 및 DHA, 10.8%) 공급이 단독 오징어유 첨가 사료(EPA, 12.9% 및 DHA, 15.0%) 공급보다 상대적으로 높은 산란량과 부화율을 보였다(Jaya-Ram et al., 2008). Chilean flounder *Paralichthys adspersus* 친어 사료내 옥수수유와 참치유를 이용하여 EPA와 DHA 함량을 조절한 3가지 사료(EPA, 1.0%, 1.3% 및 1.7%와 DHA, 8.4%, 12.7% 및 17.7%)를 공급한 연구에서는 사료내 과도한 EPA와 DHA의 함유시 수정률과 부화율을 감소시키는 것으로 나타났다(Wilson, 2009). Furnita et al. (2007)은 뱀장어(*Anguilla japonica*) 사료내 PO 첨가 사료(EPA, 1.4% 및 DHA, 12.0%)보다 옥수수유 첨가 사료(EPA, 1.1% 및 DHA, 7.5%)가 산란량, 수정률 및 부화율 향상에 효과적이었다. 이는 생식능 향상을 위한 해산어와 담수어의 사료내 지질원은 서로

Table 4. Fatty acid composition of the fertilized egg (% of total fatty acid)

Fatty acids	Diets	
	Con (n=12)	PO (n=12)
C12:0	0.1±0.04	0.1±0.04
C14:0	1.9±0.05	1.9±0.03
C16:0	20.6±0.36	20.3±0.23
C17:0	1.5±0.11	1.6±0.38
C18:0	2.8±0.06	2.8±0.10
C23:0	1.8±0.04	1.7±0.06
Total saturates	29.0±0.40	28.7±0.35
C16:1	4.1±0.08	4.2±0.05
C18:1n-9	16.4±0.28	16.3±0.29
C20:1n-9	1.2±0.03	1.3±0.05
C24:1	0.9±0.01	0.9±0.03
Total monoenes	22.6±0.34	18.5±0.32
C18:2n-6	2.2±0.06	2.2±0.12
C18:3n-3	0.6±0.02	0.6±0.02
C20:2	1.5±0.06	1.4±0.08
C20:3n-6	0.2±0.03	0.1±0.04
C20:5n-3 (EPA)	14.3±0.2	14.6±0.16
C22:6n-3 (DHA)	29.5±0.51	29.4±0.43
Total PUFA	48.2±0.67	48.3±0.51
n-3 HUFA	43.8±0.70	44.0±0.57
DHA/EPA	2.1±0.01	2.0±0.02

Con, control; PO, pollock oil; PUFA, polyunsaturated fatty acid; EPA, eicosapentaenoic acid; DHA, docosahexaenoic acid. Values are expressed as mean±S.E.

Table 5. Fatty acid composition of the hatching fry (% of total fatty acid)¹

Fatty acids	Diet	
	Con (n=10)	PO (n=10)
C12:0	1.3±0.77	1.3±0.77
C14:0	0.9±0.50	1.5±0.13
C16:0	22.0±0.75	21.7±0.27
C18:0	9.6±1.07	9.5±1.08
C23:0	0.9±0.53	1.9±0.2
Total saturates	34.7±1.64	36.0±2.06
C16:1	2.3±0.85	2.6±0.50
C18:1n-9	17.5±1.73	23.3±1.16*
C20:1n-9	0.5±0.47	0.9±0.32
Total monoenes	26.1±0.75	21.0±2.23
C18:2n-6	4.5±0.66	3.0±0.32
C20:2	ND	0.2±0.17
C20:4n-6	0.9±0.53	1.9±0.20
C20:5n-3 (EPA)	9.6±0.51	9.9±0.89
C22:6n-3 (DHA)	25.0±1.18	29.8±1.94*
Total PUFA	28.8±5.24	34.6±7.13
n-3 HUFA	24.4±5.30	31.7±7.38
DHA/EPA	3.1±0.03	3.4±0.03

¹Values are expressed as mean±S.E. * $P<0.05$. Not detected values are indicated by ND. Con, control; PO, pollock oil; PUFA, polyunsaturated fatty acid; EPA, eicosapentaenoic acid; DHA, docosahexaenoic acid; ND, not detected.

다른 것으로 판단되며, 사료내 적정 EPA와 DHA 함량이 과잉으로 높아지면 친어의 생식능에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

수정란과 부화 자어의 품질 분석을 위한 지방산 분석 결과는 Table 4와 Table 5에 각각 나타내었다. 수정란의 지방산 분석 결과, 실험사료를 공급한 친어의 수정란 지방산 중 DHA 함량이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 palmitic acid (C16:0), oleic acid (C18:1n-9) 및 EPA 순으로 높게 나타났다. 일반적으로 수정란내 n-3 HUFA 함량이 높으며 DHA 함량이 특히 높은 것으로 알려져 있으며(Furuita et al., 2000, 2002, 2007; Tocher, 2010), DHA는 배아 단계 뿐만 아니라 자어 단계의 발달에 중요한 역할을 한다. 그러나 본 연구에서는 수정란의 모든 지방산과 PUFA, n-3 HUFA 및 DHA/EPA는 실험사료 공급구간 유의한 차이가 나타나지 않았으나($P>0.05$), 이전의 대다수 연구에서는 수정란의 지방산 조성은 사료내 지방산 조성의 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다(Sink and Lochmann, 2008; Zakeri et al., 2009; Callan et al., 2012). 본 실험에서 수정란의 주요 지방산이 실험구간 차이가 나지 않는 이유에 대해서는 명태 친어가 섭취한 사료의 지방산에 대한 소화, 흡수 등의 매커니즘에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다. 부화 자어의 주요 지방산 분석 결과 oleic acid, EPA 및 DHA 함량은 PO 실험구가 대조구 보다 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$). 이와 유사하게 많은 연구에서 사료내 지방산의 조성이 자어의 지방산 조성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Li et al., 2005; Ling et al., 2006). 일반적으로 n-3 HUFA는 세포막의 구조적, 생리학적 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 특히 DHA는 자어 발달 단계에 있어 중요한 생물학적 가치를 가지는 것으로 알려져 있다(Watanabe, 1993; Takeuchi, 1997; Furuita et al., 1999, 2007). 또한, 냉수성 어류의 경우 세포막의 유동성을 유지하기 위하여 많은 양의 HUFA를 요구하기 때문에(Leger et al., 1977; Slinger et al., 1977), 난황 흡수 단계의 자어 발달을 및 생존율 향상을 위한 적정 친어 사료내 HUFA 요구량 구명은 필수적인 것으로 사료된다.

본 연구 결과로 볼 때 사료내 명태유(7%) 첨가는 명태 친어의 산란율과 수정란의 발생률 및 부화율을 향상시켰으며, 이러한 연구 결과는 금후 명태 양식을 위한 친어 관리 및 종자 생산에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2020년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 주요 양식품종 모니터링(R2020004)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

AOAC (Association of Official Analytical chemists). 1990. Of-

ficial methods of analysis. association of official analytical chemists Inc., Arlington, VA, U.S.A

Bruce M, Oyen F, Bell G, Asturiano JF, Farndale B, Carrillo M and Bromage N. 1999. Development of broodstock diets for the European sea bass *Dicentrarchus labrax* with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 highly unsaturated fatty acid to reproductive performance. *Aquaculture* 177, 85-97. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00071-X).

Callan CK, Laidley CW, Forster IP, Liu KM, Kling LJ and Place AR 2012. Examination of broodstock diet effects on egg production and egg quality in flame angelfish *Centropyge loriculus* *Aquac Res* 43, 696-705. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02877.x>

Coldebella IJ, Emanuelli T, Veiverberg CA, Pretto A, Rossato S, Ferreira D, Barcellos LJG and Radünz Neto J. 2013. Effect of different dietary lipid levels on the reproduction of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard, 1824). *Aquac Nutr* 19, 751-764. <https://doi.org/10.1111/anu.12022>.

Craik JCA and Harvey SM. 1984. Egg quality in rainbow trout: the relation between egg viability, selected aspects of egg composition, and time of stripping. *Aquaculture*, 40, 115-134. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90350-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90350-8).

Duray M, Kohno H and Pascual F. 1994. The effect of lipid enriched broodstock diets on spawning and on egg and larval quality of hatchery-bred rabbitfish *Siganus guttatus*. *Philipp Sci* 31, 42-57.

Fernández-Palacios H, Izquierdo MS, Robaina L, Valencia A, Salhi M and Vergara J. 1995. Effect of n-3 HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture* 132, 325-337. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00345-0](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(94)00345-0).

Folch J, Lees M and Sloane Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509. Takeuchi T. 1999. Effect of different levels of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in *Artemia nauplii* on growth, survival and salinity tolerance of larvae of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 170, 59-69.

Furuita H, Tanaka H, Yamamoto T, Shiraishi M and Takeuchi T. 2000. Effects of n-3 HUFA levels in broodstock diets on the reproductive performance and egg and larval quality of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 187, 387-398. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00319-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00319-7).

Furuita H, Tanaka H, Yamamoto T, Suzuki N and Takeuchi T. 2002. Effects of high levels of n-3 HUFA in broodstock diet on egg quality and egg fatty acid composition of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 210, 323-333. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00855-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00855-9).

Furuita H, Hori K, Sugita T and Yamamoto T. 2007. Effect of n-3 and n-6 fatty acids in broodstock diet on reproduction and fatty acid composition of broodstock and eggs in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Aquaculture* 267, 55-61.

- <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.039>.
- ndez-Palacios H and Tacón AGJ. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture* 197, 25-42. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6).
- Jaya-Ram A, Kuah MK, Lim PS, Kolkovski S and Shu-Chien AC. 2008. Influence of dietary HUFA levels on reproductive performance, tissue fatty acid profile and desaturase and elongase mRNAs expression in female zebrafish *Danio rerio*. *Aquaculture* 277, 275-281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.027>
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2019. Variety statistics by fishery. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0004&conn_path=13 on 10 Oct, 2019.
- Lane RL and Kohler CC. 2006. Effects of dietary lipid and fatty acids on white bass reproductive performance, egg hatchability, and overall quality of progeny. *North Am J Aquac* 68, 141-150. <https://doi.org/10.1577/A05-009.1>.
- Leger C, Gergot P, Luguët P, Flanzoy J and Meurot J. 1977. Specific distribution of fatty acids in the triglycerides of rainbow trout adipose tissue. Influence of temperature. *Lipids* 12, 538-543. <https://doi.org/10.1007/bf02533378>.
- Lee SM and Kim KD. 2009. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and body composition of juvenile and grower rockfish, *Sebastes schlegelii*. *Aquac Res* 40, 1830-1837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02288.x>.
- Lewis HA, Trushenski JT, Lane RL and Kohler CC. 2010. Effect of dietary marine lipids on female white bass ova compositions and progeny survival. *Fish Physiol Biochem* 36, 979-992. <https://doi.org/10.1007/s10695-009-9376-9>.
- Li Y, Chen W, Sun Z, Chen J and Wu K. 2005. Effects of n-3 HUFA content in broodstock diet on spawning performance and fatty acid composition of eggs and larvae in *Plectro rhynchus cinctus*. *Aquaculture* 245, 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.016>.
- Ling S, Kuah MK, Muhammad TST, Kolkovski S and Shu-Chien AC. 2006. Effect of dietary HUFA on reproductive performance, tissue fatty acid profile and desaturase and elongase mRNAs in female swordtail *Xiphophorus helleri*. *Aquaculture* 261, 204-214.
- Ng W and Wang Y. 2011. Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. *Aquaculture* 314, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.034>
- Rahimnejad S, Bang IC, Park J, Sade A, Choi J and Lee S. 2015. Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* × *E. lanceolatus*. *Aquaculture* 446, 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.019>
- Sargent JL. 1995. Origins and functions of lipids in eggs. In: Bromage NR, Roberts RJ (Eds.), *Broodstock management and egg and larval quality*. Blackwell Science Ltd., London, England, 353-372.
- Sink TD and Lochmann RT. 2008. Effects of dietary lipid source and concentration on channel catfish *Ictalurus punctatus* egg biochemical composition, egg and fry production, and egg and fry quality. *Aquaculture* 283, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.024>.
- Slinger SJ, Cho CY and Holub BJ. 1977. Effect of water temperature on protein and fat requirements of rainbow trout *Salmo gairdneri*. In: 12th Annual Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Guelph, Ontario, Canada, 1-5.
- Takeuchi T. 1997. Essential fatty acid requirements of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. *Rev Fish Sci* 5, 1-25. <https://doi.org/10.1080/10641269709388592>.
- Tocher R. 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquac Res* 41, 717-732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x>.
- Watanabe T, Arakawa T, Kitajima C and Fujita S. 1984. Effect of nutritional quality of broodstock diets on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkai* 50, 495-501. <https://doi.org/10.2331/suisan.50.495>.
- Watanabe T, Koizumi T, Suzuki H, Satoh S, Takeuchi T, Yoshida N, Kitada T and Tsukashima Y. 1985. Improvement of quality of red sea bream eggs by feeding broodstock on a diet containing cuttlefish meal or raw krill shortly before spawning. *Nippon Suisan Gakkai* 9, 1511-1521. <https://doi.org/10.2331/suisan.51.1511>.
- Watanabe T. 1993. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. *J World Aquac Soc* 24, 152-161.
- Watanabe T and Kiron V. 1995. Broodstock management and nutritional approaches for quality offsprings in the Red Sea Bream. *Broodstock Management and Egg and Larval Quality*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1-424.
- Wilson R. 2009. Dietary effects of n-3 highly unsaturated fatty acid levels on egg and larval quality, and the fatty acid composition of the eggs of Chilean flounder *Paralichthys adspersus* broodstock. *Aquac Res* 40, 1400-1409. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02238.x>.
- Zakeri M, Marammazi JG, Kochanian P, Savari A, Yavari V and Haghi M. 2009. Effects of protein and lipid concentrations in broodstock diets on growth, spawning performance and egg quality of yellowfin sea bream *Acanthopagrus latus*. *Aquaculture* 295, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.026>.