



치어기 넙치 사료 내 어유 대체원으로써 계유의 대체 효과

박철오* · 김영철** · 이승한*** · 원성훈* · 배승철†

*부경대학교(학생) · **에코마린팜(연구원) · ***부경대학교 사료영양연구소(연구원) ·

†부경대학교(교수)

Evaluation of Dietary Poultry Oil as a Fish Oil Replacer in Juvenile Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*)

Cheol-Oh PARK* · Young-Chul KIM** · Seunghan LEE*** · Seonghun WON** · Sungchul C. BAI†

*Pukyong National University(student) · **ECO Marine Farm(manager) · ***Feeds & Foods Nutrition Research Center(researcher) · †Pukyong National University(professor)

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of replacing dietary fish oil (FO) with poultry oil (PO) in a diet for olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. In the experiment, triplicate groups of 15 juvenile olive flounder averaging 3.93±0.07g (mean±SD) were fed one of the seven experimental diets. Seven diets were formulated to replace FO with PO at 0% (PO₀), 25% (PO₂₅), 50% (PO₅₀), 75% (PO₇₅), and 100% (PO₁₀₀). Additionally, two treatments were replaced FO with PO at 68.6% and docosaehaenoic acid (DHA) at 14.4% (BT_{68.6}D_{14.4}), and PO at 82.8% and DHA 17.2% (BT_{82.8}D_{17.2}) of diet, respectively. At the end of 8-week feeding trial, weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) of fish fed PO 50% diet were significantly lower than those of fish fed PO 75% and PO 100% diets ($P<0.05$). However, WG and SGR of fish fed control diet were not significantly different from those of fish fed the other diets. There were no significant differences in feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the experimental diets. Survival rate (%) of fish fed the all diets were not significantly different. Replacing FO with PO had no adverse effects on measured indices of serological parameters and whole body composition ($P>0.05$) after the 8-weeks feeding trial. Reducing FO up to 75% significantly decreased whole-body EPA, DHA and total n-3 fatty acids ($P<0.05$) relative to control group; while, whole-body DHA had no significant differences between control and DHA supplemented group ($P<0.05$).

Based on the results of growth performance, we concluded that PO can be potentially replaced with FO up to 100% in the diet containing 53.9% of fish meal for juvenile olive flounder.

Key words : Fish oil replacement, Poultry oil, Olive flounder (*Paralichthys olivaceus*)

I. 서론

넙치는 우리나라 주요 양식어종 중 하나로 2018년을 기준으로 양식생산량은 37,269톤에 달한다(KOSIS, 2019). 넙치양식의 경우, 사료비가

차지하는 비중이 50~60%를 차지하고 있으므로, 양식어가들의 경제적 어려움을 극복하기 위해서라도 사료의 단가를 낮추는 것이 절실한 상황이다(Lee et al., 2016).

† Corresponding author : 051-629-5916, scbai@pknu.ac.kr/orcid.org/0000-0001-7984-2267

* 이 논문은 부경대학교 사료영양연구소의 지원으로 연구되었음.

사료단가를 낮추기 위한 시도로, 어분보다 상대적으로 값이 싼 대두박, 발효대두박, 옥글루텐, 가금부산물 등의 대체원료를 이용한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다(Kicuchi K. 1999; Choi et al., 2004; Zhu et al., 2006; Kim et al., 2013).

넙치사료 내 어분 대체 연구가 활발히 진행되어 온 반면, 사료 내 주요지질원인 어유 대체 연구는 아직까지 부족한 실정이다. 어유는 사료 내 주요 에너지원으로써, DHA와 EPA 등을 포함한 필수지방산은 성장 및 면역, 지방합성 등 체내의 물질대사를 조절하기 때문에 해산어 어류에 있어서 필수영양소 중 하나이다(Kim et al., 2004). 어체 내에서 EPA와 DHA가 합성 가능한 담수어류와는 달리, 해산어류는 EPA나 DHA와 같은 n-3 HUFA (n-3 highly unsaturated fatty acids)를 합성하는데 필요한 효소가 극히 제한적이거나 그 양이 부족하기 때문에 사료 내에 EPA와 DHA를 보충해 주는 것이 필수적이다(Kim et al., 2004).

하지만, 어유는 전 세계적으로 약 90만톤 규모로 더 이상 생산량이 정체되어 있는 반면, 지속적인 수요에 따라 가격 상승을 가져오고 있다. 따라서, 어유의 제한적 공급과 수요의 증가로 인하여 어유 대체를 위한 연구가 대두되고 있다 (Tocher et al., 2019).

어유 대체제로는 식물성 지질원인 캐놀라유 (Bell et al., 2001), 해바라기유(Bransden et al., 2003) 대두유(Figueiredo-Silva et al., 2005), 아마인유(Nayak et al., 2017), 동물성 지질원으로는 계유 (Bowyer et al., 2012), 우지(Pérez et al., 2014), 돈지(Zhou et al., 2015)가 평가되었다.

이 중 계유는 닭의 머리, 내장 및 머리를 가공하여 유지를 추출한 지질원으로써 가격대는 kg 당 250~400원으로 2400~2700원인 어유뿐만 아니라 1000~1100원인 대두유에 비해 상대적으로 가격이 저렴하고(Alida et al., 2017), 이용가능성이 높기 때문에, 이를 이용하여 양식산업에 적용하고자 하는 연구는 유럽에서 진행되고 있는 상황이다(Papatryphon et al., 2004; EPFRA, 2016). 계유

는 다불포화지방산(PUFA)이 어유에 비해 부족하지만, 단불포화지방산(MUFA)이 어유에 비해 풍부하며, 특히 α -리놀렌산 (18:3n-3)의 함량이 높다.

이미 선행연구를 통해 해산어 사료내 어유를 계유로 대체했을 때 성장과 전어체 지방산 구성에는 유의한 차이를 나타내지 않는 것을 확인하였으며(Ahmad et al. 2013; Friesen et al., 2015) 소화율 분석결과, 어유의 소화율과 유사한 결과를 나타내었다(Campos et al. 2016).

따라서, 본 연구는 넙치사료 내 육상동물성유인 계유를 사용하여 어유대체 가능성 및 대체 시 DHA의 첨가를 통한 보완 효과를 확인하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 실험사료 및 실험설계

사육 실험에 사용된 어유와 계유의 지방산 분석 결과는 <Table 1>에 나타내었다. 실험사료의 조성은 <Table 1>에서 나온 결과를 바탕으로 사료 조성표를 제작하였다. 실험사료는 어유 100% 첨가 (CON)를 기준으로 어유 75% + 계유 25% (PO₂₅), 어유 50% + 계유 50% (PO₅₀), 어유 25% + 계유 75% (PO₇₅), 계유 100% (PO₁₀₀), 어유 17% + 계유 68.6% + DHA 14.4% (PO_{68.6} D_{14.4}) 및 계유 82.8% + DHA 17.2% (PO_{82.8} D_{17.2})로 제작하였으며, 단백질원으로는 어분, 대두박, 새우밀, 콘글루텐밀을, 지질원은 반정제 연어유와 계유를 사용하였다(<Table 2>). 실험사료의 지방산 조성은 <Table 3>에 나타내었으며, 직경 2mm로 제작한 사료는 -20℃에 냉동고에 보관하며 사용하였다.

2. 실험어 사육관리

실험어는 전라남도 무안 소재 넙치 양식장에서 부경대학교 영양대사학 실험실로 운반하여 250 l 수조에서 예비사육을 2주간 진행하였다. 예비사육 후, 평균 무게 3.93±0.07g인 넙치 치어를 40 l

<Table 1> Fatty acid composition of fish oil and poultry oil

Fatty acids	Diets	
	Fish oil (FO)	Poultry oil (PO)
8:0	-	0.4
12:0	0.1	-
14:0	5.7	1.2
15:0	0.5	-
16:0	15.4	24.7
17:0	0.9	-
18:0	4.0	5.6
20:0	0.2	-
ΣSaturated	26.8	31.9
14:1	0.2	0.3
16:1	7.4	7.0
17:1	1.0	-
18:1n-9	15.2	38.5
18:1n-7	3.2	1.9
20:1	2.2	-
22:1	1.0	-
24:1	0.4	-
ΣMonounsaturated	30.6	47.7
18:2n-6	2.7	18.7
18:3n-3	0.8	0.8
18:4n-3	1.6	-
20:2n-6	0.3	-
20:3n-6	0.2	-
20:4n-6	2.4	-
20:5n-3	10.6	-
22:4n-6	0.6	-
22:5n-3	4.8	-
22:6n-3	13.4	-
ΣPolyunsaturated	38.8	19.7
Σn-3	31.8	0.8
Σn-6	5.6	18.7
n-3/n-6	5.68	0.04
EPA/DHA	0.79	-

사각수조에 각각 15마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 반순환여과식으로 유수량은 0.8 l/min이었으며, 실험기간 동안의 평균 수온은 21±1℃, 염분은 32±1ppt, 용존산소(DO)는 6.3~6.7mg/l를 유지하였다. 사료공급량은 전 실험기간 동안 어체중의 3~5% (건물기준)로 1일 2회 (10시, 16시)공급하였으며, 실험은 8주간

진행되었다.

3. 어체측정

2주 간격으로 어체를 측정하였으며, 24시간 절식시킨 후 MS-222 (200ppm, Sigma)로 마취시켜 전체무게를 측정 하였다. 실험종료 후, 증체율(weight gain,%), 일간성장률(specific growth rate,%/day), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency,%)및 생존율(survival rate,%)을 조사하였다.

4. 혈액성분 분석

혈액성분 분석은 실험어를 채혈하기 전까지 약 24시간 동안 절식 시킨 후, 각 수조당 5마리씩 무작위 추출하여 MS-222 (200ppm, Sigma)로 마취시켰다. 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, 채혈한 혈액을 항응고제가 처리되지 않는 원심분리관에 넣고 실온에 30분간 방치한 후 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 냉장보관하였으며, 24시간 이내에 분석하였다. Aspartate transaminase(AST), Alanine transaminase(ALT), glucose, total protein를 상업용 Kit를 이용해 DRI-CHEM 4000i, Tokyo, Japan)으로 분석하였다.

5. 성분분석

일반성분 분석은 실험사료와 각 수조별로 6마리씩 무작위로 선별하여 분쇄한 전어체를 사용하였으며, AOAC(Association of Official Analytical Chemists, 2000) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법 (135℃, 2시간), 조단백질은 kjeldahl질소정량법 (N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046(Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet추출법으로 분석하였다. 반면 지방산분석의 경우, 실험사료와 분쇄한 전어체에서 추출된 샘플을 사용하여 분석하였다(Metcalf et al. 1966).

<Table 2> Ingredients and proximate composition of the experimental diets (% of dry matter basis)

	Diets						
	CON	PO ₂₅	PO ₅₀	PO ₇₅	PO ₁₀₀	PO _{68.6} D _{14.4}	PO _{82.8} D _{17.2}
Fish meal ¹				53.9			
Soybean meal ¹				6.0			
Shrimp meal ¹				5.0			
Corn gluten meal ¹				8.0			
Wheat meal ¹				18.9			
Fish oil ¹	4.7	3.5	2.3	1.2	-	0.8	-
Poultry oil ¹	-	1.2	2.3	3.5	4.7	3.2	3.9
DHA ²	-	-	-	-	-	0.7	0.8
Others ³				3.6			
<i>Proximate analysis (% dry matter basis)</i>							
Moisture	9.98	9.49	9.61	9.79	9.77	10.3	9.89
Crude protein	53.5	53.3	53.5	52.5	53.0	53.2	53.4
Crude lipid	10.5	10.6	11.0	11.6	11.3	11.0	11.1
Crude ash	11.2	10.8	11.0	11.0	10.9	11.2	11.0
Gross energy (KJ/g) ⁴	19.2	19.5	19.5	19.6	19.6	19.4	19.5

¹Provided by Jeil Feed Co., Haman, South Korea.

²Provided by Neomega products Co., Daejeon, South Korea.

³Others : Vitamin mix., Mineral mix., MCP, Lecithin, Choline, Additive.

⁴Gross energy (KJ/g) was estimated based on the physiological values of 23.6, 39.5, and 16.6 KJ/g for protein, fat, and N-free extract (NRC, 2011).

지방산 methylation은 teries silicacapillarycolumn 을 장착한 gaschromatography (Thermo Finnigan Trace GC; Austin, Texas, USA)에 의해 분석하였다. FID 모드를 통해 Detection하였으며, Column은 quadrex (30M, bonded carbowax 0.25 mm I.D × 0.25µm film, cat. No.:007-CW-30-0.25F, injector)를 사용하였다. 도출된 지방산 함량은 각 peak의 면적을 상대적인 백분율로 나타내었다.

6. 통계처리

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St.PaulMN. USA)로 One-way ANOVA test)를 실시하였으며, 실험구간의 유의수준은 최소유의차검정 (LSD: Least Significant Difference)을 통해 유의수준 (P<0.05)을

검정하였다.

III. 결과

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 <Table 4>에 나타내었다. 증체율 (WG)과 일간성장률 (SGR)에 있어서 CON와 모든 실험구간에 유의한 차이는 없었으나 (P>0.05), PO₅₀이 PO₂₅, PO₇₅ 및 PO₁₀₀보다 유의하게 낮았다(P<0.05). 사료효율(FE)은 106~115%, 단백질전환효율(PER)은 3.36 ~ 3.61 사이로 전 실험구간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 또한 전 실험기간 생존율은 93.3~100%로 실험구간의 유의한 차이가 없었다 (P>0.05).

<Table 3> Fatty acids composition (% , DM) of the experimental diets

Fatty acids	Diets						
	CON	PO ₂₅	PO ₅₀	PO ₇₅	PO ₁₀₀	PO _{68.6} D _{14.4}	PO _{82.8} D _{17.2}
14:0	3.3	3.5	3.0	2.2	2.1	2.3	1.9
15:0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
16:0	16.7	18.6	19.6	19.6	20.9	18.3	18.6
17:0	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
18:0	4.3	4.5	4.7	5.0	5.1	4.6	4.7
20:0	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
21:0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
22:0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
23:0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
24:0	2.8	2.2	1.8	1.5	1.2	1.7	1.4
Saturates	28.7	30.4	30.5	29.7	30.4	28.1	27.9
14:1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
16:1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.3	4.0	4.0
18:1	21.2	23.2	25.3	27.8	28.9	24.8	26.5
20:1	3.0	2.3	2.2	2.1	1.8	2.0	1.9
22:1	2.2	1.7	1.7	1.7	1.4	1.7	1.6
MUFA	30.8	31.9	33.8	36.2	36.7	32.7	34.1
18:2n-6	19.8	20.5	20.8	21.0	21.8	20.1	21.0
18:3n-3	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9	1.8
20:4n-6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7
20:5n-3	6.3	5.2	4.4	3.7	3.1	4.2	3.6
22:6n-3	10.3	8.4	7.1	6.1	4.9	11.6	10.2
n-3	18.9	15.8	13.5	11.7	9.8	17.6	15.6
n-6	19.9	20.5	20.8	21.1	21.9	20.2	21.1
n-3/n-6 ratio	0.9	0.8	0.6	0.6	0.4	0.9	0.7

<Table 4> Growth performance of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Diets ²							Pooled SEM ³
	CON	PO ₂₅	PO ₅₀	PO ₇₅	PO ₁₀₀	PO _{68.6} D _{14.4}	PO _{82.8} D _{17.2}	
WG (%) ⁴	340 ^{ab}	346 ^a	323 ^b	344 ^a	346 ^a	339 ^{ab}	333 ^{ab}	2.48
SGR ⁵	3.08 ^{ab}	3.14 ^a	2.93 ^b	3.12 ^a	3.14 ^a	3.07 ^{ab}	3.02 ^{ab}	0.02
FE (%) ⁶	106	107	108	113	115	110	110	1.30
PER ⁷	3.31	3.36	3.38	3.53	3.61	3.45	3.45	0.04
SR (%) ⁸	93.3	93.3	97.8	93.3	95.6	95.6	100	1.33

¹Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

²CON; Fish oil 100%, PO₂₅; Fish oil 75% + Poultry oil 25%, PO₅₀; Fish oil 50% + Poultry oil 50%, PO₇₅; Fish oil 25% + Poultry oil 75%, PO₁₀₀; Poultry oil 100%, PO_{68.6}D_{14.4}; Poultry oil 68.6% + DHA 14.4%, PO_{82.8}D_{17.2}; Poultry oil 82.8% + DHA 17.2%

³Pooled standard error of mean : SD/ \sqrt{n}

⁴Weight gain (%) : [(final weight - initial weight)/initial weight]×100

⁵Specific growth rate : [\log_e (final weight) - \log_e (initial weight)/days]×100

⁶Feed efficiency (%) : (wet weight gain/dry feed intake)×100

⁷Protein efficiency ratio : wet weight gain/protein intake

⁸Survival rate (%) : [(total fish - dead fish)/total fish]×100

혈액분석결과 AST 수치에 있어서는 CON과 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었고($P>0.05$), PO₅₀은 PO₇₅와 PO_{68.6D14.4}보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). ALT 수치는 모든 실험구간에 유의차가 나타나지 않았으며($P>0.05$), 글루코스 함량은 CON이 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮았으나, PO₂₅가 CON과 PO_{82.8D17.2}에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P<0.05$; <Table 5>).

총단백질에 있어서 CON은 PO₂₅, PO₅₀, PO₇₅과

유의차가 없었으나($P>0.05$), PO₁₀₀, PO_{68.6D14.4}, PO_{82.8D17.2}보다 유의적으로 높았다 ($P<0.05$).

전어체의 일반성분은 <Table 6>에 있으며, 전어체의 수분, 조단백질, 조지방, 회분은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 전어체의 지방산 분석결과는 <Table 7>에 나타나있다. 포화지방산 총 함량에 있어서 전 실험구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며($P>0.05$), 31.6~33.2 수준이었다.

<Table 5> Serological parameters of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Diets ²							Pooled SEM ³
	CON	PO ₂₅	PO ₅₀	PO ₇₅	PO ₁₀₀	PO _{68.6D14.4}	PO _{82.8D17.2}	
AST (IU/L) ⁴	40.7 ^{ab}	36.1 ^{ab}	43.0 ^a	24.0 ^b	33.0 ^{ab}	24.0 ^b	27.0 ^{ab}	2.10
ALT (IU/L) ⁵	3.00	2.03	2.00	1.67	2.33	2.33	2.00	0.18
GLU (mg/dL) ⁶	12.0 ^c	20.2 ^a	19.3 ^{ab}	18.3 ^{ab}	18.3 ^{ab}	18.0 ^{ab}	17.0 ^b	0.35
TP (g/dL) ⁷	3.07 ^a	2.78 ^{ab}	2.80 ^{ab}	2.83 ^{ab}	2.67 ^b	2.77 ^b	2.70 ^b	0.03

¹Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

²CON; Fish oil 100%, PO₂₅; Fish oil 75%+Poultry oil 25%, PO₅₀; Fish oil 50%+Poultry oil 50%, PO₇₅; Fish oil 25%+Poultry oil 75%, PO₁₀₀; Poultry oil 100%, PO_{68.6D14.4}; Poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO_{82.8D17.2}; Poultry oil 82.8%+DHA 17.2%

³Pooled standard error of mean : SD/ \sqrt{n}

⁴AST (IU/L) : Aspartate transaminase

⁵ALT (IU/L) : Alanine transaminase

⁶GLU (mg/dL) : Glucose

⁷TP (g/dL) : Total protein

<Table 6> Whole body composition (Wet basis, %) of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Diets ²							Pooled SEM ³
	CON	PO ₂₅	PO ₅₀	PO ₇₅	PO ₁₀₀	PO _{68.6D14.4}	PO _{82.8D17.2}	
Moisture	73.4	75.1	74.6	74.0	74.7	74.8	73.9	0.23
Crude protein	18.4	17.2	18.4	18.7	18.5	19.0	19.1	0.24
Crude lipid	3.88	4.07	4.42	4.26	4.28	3.78	3.88	0.09
Crude ash	3.64	3.70	3.70	3.78	3.80	3.80	3.86	0.03

¹Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

²CON; Fish oil 100%, PO₂₅; Fish oil 75%+Poultry oil 25%, PO₅₀; Fish oil 50%+Poultry oil 50%, PO₇₅; Fish oil 25%+Poultry oil 75%, PO₁₀₀; Poultry oil 100%, PO_{68.6D14.4}; Poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO_{82.8D17.2}; Poultry oil 82.8%+DHA 17.2%

³Pooled standard error of mean : SD/ \sqrt{n}

<Table 7> Whole body fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets¹

	Diets ²							Pooled SEM ³
	CON	PO ₂₅	PO ₅₀	PO ₇₅	PO ₁₀₀	PO _{68.6} D _{14.4}	PO _{82.8} D _{17.2}	
14:0	3.27 ^a	2.86 ^b	2.76 ^{bc}	2.29 ^d	2.16 ^d	2.46 ^{cd}	2.10 ^d	0.10
15:0	0.36 ^a	0.33 ^b	0.31 ^c	0.27 ^d	0.26 ^d	0.29 ^d	0.26 ^d	0.01
16:0	17.6 ^c	18.1 ^c	19.0 ^{ab}	19.2 ^a	19.0 ^{ab}	18.3 ^{bc}	19.5 ^a	0.16
17:0	0.37 ^a	0.35 ^b	0.33 ^c	0.30 ^d	0.29 ^e	0.32 ^c	0.31 ^d	0.01
18:0	3.82 ^b	4.00 ^{ab}	3.96 ^{ab}	4.12 ^a	4.25 ^a	4.07 ^{ab}	4.18 ^a	0.04
20:0	3.11 ^a	1.32 ^d	2.69 ^b	2.44 ^{bc}	2.28 ^c	2.61 ^{bc}	2.45 ^{bc}	0.07
21:0	0.68 ^a	0.58 ^c	0.49 ^c	0.38 ^d	0.37 ^d	0.40 ^d	0.30 ^c	0.03
22:0	0.61 ^{ab}	0.37 ^b	0.72 ^{ab}	0.46 ^{ab}	0.78 ^{ab}	1.34 ^a	0.63 ^{ab}	0.10
23:0	0.25	-	0.21	0.19	0.19	0.22	0.16	0.02
24:0	3.12 ^a	2.71 ^b	2.31 ^c	1.88 ^d	1.99 ^d	1.93 ^d	1.63 ^e	0.11
Saturates	33.2	32.1	32.7	31.6	31.5	31.9	32.9	0.26
14:1	0.10 ^a	0.09 ^{ab}	0.08 ^b	0.07 ^{bc}	0.06 ^d	0.08 ^{bc}	0.06 ^c	0.00
16:1	4.54 ^c	4.95 ^{ab}	4.57 ^c	5.14 ^a	4.98 ^{ab}	4.43 ^c	4.75 ^{bc}	0.06
17:1	0.30 ^a	0.20 ^{abc}	0.27 ^{ab}	0.15 ^{bc}	0.12 ^c	0.26 ^{ab}	0.21 ^{abc}	0.02
18:1	22.4 ^d	25.2 ^c	25.9 ^{bc}	27.7 ^a	26.9 ^{ab}	26.0 ^{bc}	27.3 ^{ab}	0.40
20:1	0.98 ^b	2.17 ^a	0.93 ^b	0.89 ^{bc}	0.92 ^b	0.86 ^c	0.84 ^c	0.01
22:1	0.22	0.19	0.22	0.18	0.21	0.27	0.20	0.02
MUFA	28.5 ^d	31.5 ^c	31.9 ^{bc}	34.1 ^{ab}	33.1 ^{abc}	31.9 ^{bc}	34.7 ^a	0.49
18:2n-6	18.6 ^{cd}	18.3 ^d	19.6 ^{bc}	20.4 ^{ab}	20.6 ^a	18.5 ^{cd}	19.5 ^{bc}	0.22
18:3n-6	1.89 ^a	0.55 ^{bc}	1.66 ^b	1.55 ^{bcd}	1.55 ^{bcd}	1.46 ^{cd}	1.38 ^d	0.04
18:3n-3	0.69 ^b	1.30 ^a	0.57 ^b	0.47 ^c	0.46 ^c	0.49 ^c	0.40 ^d	0.02
20:2	0.23 ^b	0.61 ^a	0.20 ^b	0.15 ^b	0.18 ^b	0.20 ^b	0.16 ^b	0.02
20:3	0.83	0.85	0.75	0.78	0.89	0.77	0.75	0.02
20:5n-3	5.06 ^a	4.55 ^b	3.88 ^c	3.31 ^{de}	3.50 ^{cd}	3.38 ^{de}	2.91 ^e	0.16
22:2	0.30 ^a	0.24 ^b	0.22 ^b	0.17 ^c	0.17 ^d	0.18 ^c	0.16 ^c	0.01
22:6n-3	10.8 ^{ab}	10.5 ^{ab}	8.49 ^c	7.49 ^c	7.97 ^c	11.2 ^a	9.87 ^b	0.32
n-6	20.5 ^b	19.9 ^b	21.2 ^{ab}	22.0 ^a	22.2 ^a	20.0 ^b	20.4 ^b	0.23
n-3	16.5 ^a	15.4 ^{ab}	12.9 ^{bc}	11.3 ^c	11.9 ^c	15.1 ^{ab}	11.0 ^c	0.14
n-3/n-6 ratio	0.81 ^a	0.77 ^a	0.61 ^b	0.51 ^b	0.54 ^b	0.76 ^a	0.54 ^b	0.03

¹Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

²CON; Fish oil 100%, PO₂₅; Fish oil 75%+Poultry oil 25%, PO₅₀; Fish oil 50%+Poultry oil 50%, PO₇₅; Fish oil 25%+Poultry oil 75%, PO₁₀₀; Poultry oil 100%, PO_{68.6}D_{14.4}; Poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO_{82.8}D_{17.2}; Poultry oil 82.8%+DHA 17.2%

³Pooled standard error of mean : SD/ \sqrt{n}

하지만 전어체 단일불포화지방산의 경우 CON 이 계유를 수준별로 대체한 실험구보다 유의하게 낮은 값을 나타내었다($P < 0.05$). 반면에, 전어체 고도불포화 지방산 (n-3 HUFA)인 20:5n-3 (EPA)에 있어서 대조구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며($P < 0.05$), 어유를 계유로

수준별로 대체할수록 EPA의 전어체 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 전어체 22:6n-3(DHA)에 있어서도 전어체 EPA 분석결과와 비슷한 경향을 보였으나, PO_{68.6}D_{14.4}가 PO₅₀, PO₇₅, PO₁₀₀ 및 PO_{82.8}D_{17.2}보다 유의하게 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$). 전어체 n-3지방산에 있어

서 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 함량이 감소하였고, CON은 PO₂₅ 및 PO_{68.6}D_{14.4} 사이에는 유의한 차이가 없었으며($P>0.05$), PO₅₀, PO₇₅, PO₁₀₀ 및 PO_{82.8}D_{17.2}에 비하여 유의적으로 높았다($P<0.05$).

IV. 고찰

사료 내 필수지방산의 함량은 어류의 성장 및 생존에 영향을 미치게 되며, 해산어의 경우 EPA와 DHA를 충분히 합성하지 못하므로 사료를 배합할 때 반드시 고려해야 할 사항 중 하나이다(NRC, 2011). 넙치의 EPA, DHA를 포함한 총 n-3 요구량은 사료 내 1.4% 이며(NRC, 2011) 시중 넙치 치어사료에는 어분과 어유가 각각 약 50~70% 및 4~7%의 비중을 차지한다. 본 실험에서는 사료 내 어분을 53.9% 포함하였을 때, 사료 내 어유를 계유로 단계적으로 대체함에 따라 효과를 평가하였고 추가적으로 높은 비율로 계유를 대체하였을 때 DHA를 첨가하여 보완 효과를 평가하였다.

본 실험의 8주간의 사육실험 결과, 넙치 사료 내 어유를 계유로 대체한 실험구 및 DHA 추가 첨가 실험구는 대조구에 비해 증체율 및 사료효율에 있어 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 생존율에도 어떠한 영향을 나타내지 않았다. 이는 넙치 사료 내 어분을 53.9% 첨가 하였을 때(사료 내 n-3 함량이 9.8% 이상일 때), 사료 내 포함된 어분의 n-3 지방산 함량이 넙치의 성장에 필요한 요구량을 충분히 충족시킨 것으로 판단된다. 본 실험과 마찬가지로 Rosenlund et al.(2001)에 따르면, 대서양 연어(*Salmo salar*)에 있어서 사료 내 어분의 n-3 함량이 4.5% 이상일 때, 어유를 계유로 100% 대체 시 성장에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 또한 방어(*Seriola quinqueradiata*)에서도 사료 내 어분이 50% 일 때(n-3 함량이 6.0% 이상일 때), 계유를 이용하여

100% 어유 대체가 가능함을 확인할 수 있었다(Bowyer et al., 2012). 다만, 본 실험에서, 계유를 50% 대체한 PO₅₀ 실험구의 낮은 증체율과 일간 성장률의 원인에 대해서는 향후 실험을 통해 밝혀내야 할 필요가 있다.

어류의 혈액 분석을 통해 생리학적 변화 및 건강 상태를 판단할 수 있다. AST 및 ALT는 당, 지질, 단백질 대사에 관여하는 효소로, 어류의 영양 및 환경적인 스트레스로 인해 간의 손상을 초래하여 그 값이 증가한다고 알려져 있으며, 혈청 내에 존재하는 총 단백질(T-P)은 영양부족, 만성 염증이 있으면 단백질량이 감소하는 것으로 알려져 있다(Bell, 1968). Liu et al.(2019)는 티라피아 사료 내 어유 대체에 따른 낮은 사료 내 n-3 지방산 조성이 혈액의 AST 및 ALT 수치를 높인다고 보고하였고, Hajiahmadian et al.(2016)은 무지개 송어 사료 내 지방산 조성이 T-P에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

본 실험에서는 사료 내 계유를 통한 어유 대체가 혈액 AST, ALT 및 T-P 수치에 유의적인 영향을 가져왔지만, 대체 수준에 따른 경향은 나타내지 않았다. 이는 모든 실험 사료 내 높은 어분함량에 따른 n-3 지방산 조성이 넙치의 생리학적인 요구량에 충족된다고 판단된다. 사료 내 낮은 n-3 지방산 조성이 혈액 글루코스 수치를 낮춘다는 보고가 있다(Lee 2001, Kim et al., 2002). 대조적으로, 본 실험에서는 n-3 지방산 함량이 비교적 높은 대조구가 다른 어유대체 실험구에 비해 낮은 결과를 나타내었다. 향후 사료 내 총 n-3 지방산 함량 변화에 따른 시간대 별 혈중 글루코스를 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다.

성장 결과와 마찬가지로, 본 실험의 전어체 일만성분 분석결과는 사료 내 지방산 조성에 영향을 받지 않았다. 이는 터봇(*Scophthalmus macimus*)에 있어서 대두유 혹은 아마인유로 완전 대체하여도 전어체에 영향을 미치지 않는다는 연구와 유사한 결과를 보여주었으며(Regost et al., 2003), 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)에서 역시 어유를

대두유로 완전히 대체하여도 전어체에는 영향을 주지 않는다는 연구결과가 있었다 (Peng et al., 2008).

본 연구의 전어체 지방산 조성 분석결과에 있어서는, 사료 내 EPA, DHA 및 n-3 지방산 함량이 낮아질수록 전어체의 지방산 함량도 낮아지는 결과를 확인 할 수 있었다. Seabass (*Dicentrarchus labrax*)에서 사료 내 지방산의 조성에 따라서 필렛 및 간의 지방산 조성에 영향을 준다는 연구가 있었으며(Xue et al., 2006), 그 외 gilthead sea bream(*Sparus aurata*)의 등근육 역시 사료 내 지방산에 영향을 받는다는 결과와 같은 경향을 보여 주고 있다(Fountoulaki et al., 2009). 본 실험에서는 계유를 25% 대체 (PO₂₅) 또는 DHA를 추가 첨가하였을 때(PO_{68.6}D_{14.4}), 대조구와 비교하여 전어체 DHA 및 총 n-3 지방산 함량의 변화는 관찰되지 않았다.

따라서 본 실험의 결과를 토대로 53.9% 이상의 어분을 사용할 경우 (또는, 사료 내 n-3 함량이 9.8% 이상일 경우) 성장률에 있어서 동물성 기름인 계유를 양어사료의 어유 대체원으로 100% 까지 사용이 가능하며, 이를 통해 사료의 원가절감에도 기여할 수 있을 것이라 본다.

References

Ahmad WAW, Stone DA, and Schuller KA(2013). Dietary fish oil replacement with palm or poultry oil increases fillet oxidative stability and decreases liver glutathione peroxidase activity in barramundi (*Lates calcarifer*). *Fish physiology and biochemistry*, 39(6), 1631~1640. doi.org/10.1007/s10695-013-9815-5.

Alidadi H, Salmani ER, and Hamidi MR(2017). Assessing fat and aquaculture feed recyclable from chicken wastes of poultry slaughterhouse in Bojnoord, North Khorasan Province, Iran. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2(4), 270~276. doi.org/10.26832/24566632.2017.020404.

AOAC(2002). *Official Methods of Analysis*, 16th

edition. AOAC International, Arlington, Virginia.

Bell GR(1968). Distribution of transaminases in the tissues of Pacific salmon, with emphasis on the properties and diagnostic use of glutamic axaloacetic transaminase. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 25, 1247~1268. doi.org/10.1139/f68-108.

Bell JG, McEvoy J, Tocher DR, McGhee F, Campbell PJ, and Sargent JR(2001). Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *The Journal of nutrition*, 131(5), 1535~1543. doi.org/10.1093/jn/131.5.1535.

Bowyer JN, Qin JG, Smullen RP, and Stone DAJ (2012). Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures. *Aquaculture*, 356, 211~222. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.05.014.

Bransden MP, Carter CG, and Nichols PD(2003). Replacement of fish oil with sunflower oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effect on growth performance, tissue fatty acid composition and disease resistance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 135(4), 611~625. doi.org/10.1016/S1096-4959(03)00143-X.

Campos I, Matos E, Valente L(2016). Fatty acids apparent digestibility of different animal fat sources in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). Paper Presented at the AQUACULTURE EUROPE 16.

Choi SM, Wang X, Park GJ, Lim SR, Kim KW, Bai SC, and Shin IS(2004). Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquaculture Research*, 35(4), 410~418. doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01046.x.

EPFRA (2016). *Rendering in Numbers* Retrieved from <http://efpra.eu/wp-content/uploads/2016/11/Rendering-in-numbers-Infographic.pdf>.

Figueiredo Silva A, Rocha E, Dias J, Silva P, Rema P, Gomes E, and Valente LMP(2005). Partial replacement of fish oil by soybean oil on lipid distribution and liver histology in European sea

- bass (*Dicentrarchus labrax*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 11(2), 147~155.
doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00337.x.
- Fountoulaki E, Vasilaki A, Hurtado R, Grigorakis K, Karacostas I, Nengas I, Rigos G, Kotzamanisa Y, Venou B, and Alexis MN(2009). Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.); effects on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile: recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures. *Aquaculture*, 289(3), 317~326.
doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.01.023.
- Friesen EN, Skura BJ, Ikonomou MG, Oterhals Å, and Higgs DA(2015). Influence of terrestrial lipid and protein sources and activated carbon treated fish oil on levels of persistent organic pollutants and fatty acids in the flesh of Atlantic salmon. *Aquaculture Research*, 46(2), 358~381.
doi.org/10.1111/are.12182.
- Hajiahmadian M, Sarvi Moghanlou K, Agh N, and Farrokhi Ardabili F(2016). Semen characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) following diets containing different vegetable fatty acid levels. *Reproduction in domestic animals*, 51(6), 979~984. doi.org/10.1111/rda.12776.
- Kikuchi K(1999). Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 30(3), 357~363.
doi.org/10.1111/j.1749-7345.1999.tb00686.x.
- Kim KD, Lee SM, Park HG, Bai SC, and Lee Y H(2002). Essentiality of dietary n 3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the world aquaculture society*, 33(4), 432~440.
doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00022.x.
- Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Lee JH, Han HS, Koo JW, Choi YH, and Bai SC(2013). Dietary fermented soybean meal as a replacement for fish meal in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(6), 769~776.
doi: 10.5657/KFAS.2013.0769.
- KOSIS. Korean Statistical Information Service (2019). Fishery Production Survey, Statistics Korea, Daejeon.
- Lee S, Moniruzzaman M, Bae J, Seong M, Song YJ, Dosanjh B, and Bai SC(2016). Effects of extruded pellet and moist pellet on growth performance, body composition, and hematology of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(1), 32.
doi.org/10.1186/s41240-016-0032-x.
- Lee SM(2001). Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture Research*, 32, 8~17.
doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00047.x.
- Liu Y, Wen JJ, Ning LJ, Jiao JG, Qiao F, Chen LQ, Zhang ML, and Du ZY(2019). Comparison of effects of dietary specific fatty acids on growth and lipid metabolism in Nile tilapia. *Aquaculture Nutrition*, 25(4), 862~872.
doi.org/10.1111/anu.12906.
- Nayak M, Saha A, Pradhan A, Samanta M, and Giri SS(2017). Dietary fish oil replacement by linseed oil: Effect on growth, nutrient utilization, tissue fatty acid composition and desaturase gene expression in silver barb (*Puntius gonionotus*) fingerlings. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 205, 1~12.
doi.org/10.1016/j.cbpb.2016.11.009.
- NRC. National Research Council (2011). *Nutrient Requirements of Fish*, National Academy Press, Washington, DC.
- Papatryphon E, Petit J, Kaushik SJ, and van der Werf HM(2004). Environmental impact assessment of salmonid feeds using life cycle assessment (LCA). *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 33(6), 316~324.
doi.org/10.1579/0044-7447-33.6.316.
- Peng S, Chen L, Qin JG, Hou J, Yu N, Long Z, Ye J, and Sun X(2008). Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. *Aquaculture*, 276(1), 154~161.
doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.035.
- Pérez JA, Rodríguez C, Bolaños A, Cejas JR, and Lorenzo A(2014). Beef tallow as an alternative to

- fish oil in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles: Effects on fish performance, tissue fatty acid composition, health and flesh nutritional value. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(5), 571~583.
doi.org/10.1002/ejlt.201300457.
- Regost C, Arzel J, Robin J, Rosenlund G, and Kaushik SJ(2003). Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): 1. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. *Aquaculture*, 217(1), 465~482.
doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00259-4.
- Rosenlund G, Obach A, Sandberg MG, Standal H, and Tveit K(2001). Effect of alternative lipid sources on long term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Research*, 32, 323~328.
doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00025.x.
- Tocher D, Betancor M, Sprague M, Olsen R, and Napier J(2019). Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids, EPA and DHA: Bridging the Gap between Supply and Demand. *Nutrients*, 11(1), 89. doi.org/10.3390/nu11010089.
- Xue M, Luo L, Wu X, Ren Z, Gao P, Yu Y, and Pearl G(2006). Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture*, 260(1), 206~214.
doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.054.
- Zhou L, Han D, Zhu X, Yang Y, Jin J, and Xie S (2015). Effects of total replacement of fish oil by pork lard or rapeseed oil and recovery by a fish oil finishing diet on growth, health and fish quality of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture Research.*, 49(9), 2961~2975.
doi.org/10.1111/are.12748.
- Zhu W, Mai KS, Zhang BG, Hu YJ, and Yu Y (2006). A study on the meat and bone meal or poultry by-product meal as protein substitutes of fishmeal in concentrated diets for *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Ocean University of China*, 5(1), 63~66.

-
- Received : 11 December, 2018
 - Revised : 07 August, 2019
 - Accepted : 18 August, 2019