

# 동·식물성 단백질원료 혼합을 이용한 치어기 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 사료 내 어분대체

김민기 · 임현운<sup>1</sup> · 이봉주 · 허상우 · 이승형 · 김강웅 · 이경준<sup>1\*</sup>

국립수산과학원 사료연구센터, <sup>1</sup>제주대학교 해양생명과학과

## Replacing Fish Meal with a Mixture of Plant and Animal Protein Sources in the Diets of Juvenile Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Min-Gi Kim, Hyunwoon Lim<sup>1</sup>, Bong-Joo Lee, Sang-Woo Hur, Seunghyung Lee, Kang-Woong Kim and Kyeong-Jun Lee<sup>1\*</sup>

Aquafeed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37517, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Life Sciences, Jeju National University, Jeju 62243, Korea

This study was conducted to investigate the replacement of fish meal (FM) with a plant and animal protein mixture (wheat gluten, soy protein concentrate, tankage meal and poultry by-product meal) in the diets of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. The basal diet was formulated to contain 65% FM (Con). Four other experimental diets were formulated with alternative proteins replacing 20%, 30%, 40% and 50% of FM (FM20, FM30, FM40 and FM50, respectively). Taurine and betaine were added to the FM replacement diets. Triplicate groups of fish (mean±SD, 5.41±0.01) were fed the diets to apparent satiation for 15 weeks. After the feeding trial, no significant differences were found between any dietary groups in growth performance, feed utilization, survival, hematological parameters or whole-body composition. This result indicates that a proper mixture of the four protein sources with taurine and betaine supplements can be used as FM replacement to reduce FM levels from 65% to 32.5% in juvenile olive flounder diets.

Keywords: Fish meal, Replacement, Taurine, Betaine, Olive flounder

### 서 론

1980년대 넙치의 인공종묘 생산기술이 개발된 이후 1990년 1,037톤에 불과했던 국내 넙치 양식생산량은 양식기술이 발전함에 따라 2019년 43,400여톤으로 40배 가까이 증가하였다(KOSIS, 2020). 넙치 양식기술에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 최근에는 정부에서 지속가능한 양식을 위해 배합사료 사용 활성화 정책을 추진과 더불어 양어사료 내 어분을 대체하는 '저어분 사료개발 및 원료이용성 향상을 위한 연구'가 수행되고 있다(Cho et al., 2019). 어분은 양식어류에 필요한 모든 영양소를 포함하고 있어 양어사료에서 최적의 단백질원료로 여겨진다(Kim et al., 2019a). 하지만 어분의 지속적인 생산을 위해서는 대량의 어족자원이 소모되며, 어획량과 생산국의 어분 소비 변

화에 의해 어분의 수급이 불안정하다는 문제점을 가지고 있다(Ha and Kim, 2018). 이러한 문제점들을 해결하고 지속 가능한 양식산업이 되기 위해서는 반드시 어분의 사용을 줄여야만 한다. 사료 내 어분을 대체하기 위해서 여러 단백질 원료들이 사용되어왔다. 식물성 단백질 원료는 어분에 비해 가격이 저렴하고, 공급이 안정적이라는 장점을 지녔다(Kim et al., 2000). 식물성 단백질원료는 어분에 비해 단백질 함량뿐만 아니라 아미노산 균형도 좋지 못하다. 또한 여러 항영양인자가 포함되어 있어(Krogdahl et al., 2010), 어류의 성장과 사료이용률에서의 감소를 야기시킨다(Lim et al., 2010). 항영양인자가 포함된 사료를 어류에게 장기간 공급하면 장내 염증반응을 유발시키고 사료의 소화율을 감소시킨다고 보고되었다(Gu et al., 2016). 별도의 가공과정을 거쳐 단백질 함량을 증가시키거나 항영양인자를

\*Corresponding author: Tel: +82. 64. 754. 3423 Fax: +82. 64. 756. 3493

E-mail address: kjlee@jeju.ac.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.2020.0577>

Korean J Fish Aquat Sci 53(4), 577-582, August 2020

Received 29 June 2020; Revised 27 July 2020; Accepted 18 August 2020

저자 직위: 김민기(인턴연구원), 임현운(대학원생), 이봉주(연구사), 허상우(연구사), 이승형(연구사), 김강웅(연구관), 이경준(교수)

현저히 감소시킨 식물성 단백질원료의 사용이 일반 식물성 단백질원료의 문제점을 어느 정도 보완하는 것으로 보고되고 있다 (Apper-Bossard et al., 2013; Kim et al., 2019b). 동물성 단백질 원료는 단백질 함량이 높고(50-80%), 식물성 단백질 원료에 비해 아미노산 조성이 우수하다(NRC, 2011). 특히, 탄수화물 이용성이 떨어지는 넙치와 같은 육식성어류에서는 식물성 단백질 원료에 비해 소화율이 높았다(Kim et al., 2010). 또한, 어분에 비해 가격이 저렴하여 어분을 대체하는데 있어 높은 잠재력을 지니고 있다.

어분은 양식어류에게 필요한 대부분의 영양소를 충족시킬 수 있는 원료이기 때문에 단일원료로 대체한다는 것은 매우 어려운 일이다(Kim et al., 2019a, Kim et al., 2019b). 하지만 각 단백질 원료들의 장, 단점을 고려한 후 적절하게 혼합하여 사용하면 사료 내 어분 대체율을 상승시킬 수 있을 것이라 기대할 수 있다(Kissinger et al., 2016, Kim et al., 2019b). 본 연구는 식물성 단백질원료(밀글루텐, 대두농축단백)와 동물성 단백질원료(수지박, 가금부산물)를 적절히 혼합하여 치어기 넙치 사료 내 어분을 대체하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 실험사료

실험에 사용된 사료 배합비는 Table 1에 나타내었다. 실험사료에는 정어리 어분과 멸치 어분 2종류를 사용하였다. 대조사료에는 어분함량을 65%로 설정하였다(Con). 4종의 실험사료는 대조사료의 어분을 각각 20%, 30%, 40% 그리고 50% 대체하였다(FM20, FM30, FM40, FM50). 각 실험사료의 어분은 밀글루텐, 대두농축단백, 수지박과 가금부산물분의 혼합물을 이용하여 대체하였다. 실험사료 사이의 동일한 조단백질, 조지질, 인 조성을 위해 밀가루, 어유, 일인산칼슘을 사용하였다. 대조사료를 제외한 5종의 실험사료에는 사료의 기호성 향상을 위해 베테인과 타우린이 첨가되었다. 실험사료는 펠렛기(SP-50, Geumgang ENG, Cheongju, Korea)를 이용하여 제조되었다.

### 실험어 및 사육관리

실험에 사용된 넙치 치어는 제주도 서귀포시에 위치한 대형수산에서 구입하였다. 제주대학교 해양연구소로 운송된 넙치를 2주동안의 순치를 거쳐 실험에 사용하였다. 치어(평균무게 ± 표준편차, 5.41 ± 0.01 g) 넙치를 15개 210 L 사각 PP(polypropylene) 수조에 각 실험구당 30마리씩 3 반복으로 배치하였다. 사육실험은 15주 동안 진행되었다. 사육수는 모래여과해수를 사용하였다. 유수량은 4-5 L/min로 조절하였다. 에어스톤을 설치하여 사육수 순환과 용존산소를 유지시켰다.

### 어체측정

사육실험 종료 후, 어체측정을 실시하였다. 어체측정 24시간

전부터 실험어를 절식시켰으며, 실험어 무게와 수를 측정하였다. 어체측정 후 증체율(weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %), 사료섭취량(feed intake, g/fish), 사료전환효

Table 1. Dietary formulation and proximate composition of the experimental diets (% of dry matter basis)

Ingredient	Diets				
	Con	FM20	FM30	FM40	FM50
Fish meal, sardine <sup>1</sup>	32.50	26.00	22.75	19.50	16.25
Fish meal, anchovy <sup>2</sup>	32.50	26.00	22.75	19.50	16.25
Soybean meal <sup>3</sup>	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Wheat gluten <sup>4</sup>	1.00	3.50	4.50	5.50	6.50
Soy protein concentrate <sup>5</sup>	0.00	3.50	5.25	7.00	8.75
Tankage meal <sup>6</sup>	0.00	3.50	6.25	9.00	11.75
Poultry by-product meal <sup>7</sup>	0.00	3.50	4.00	4.50	5.00
Wheat flour	14.85	12.85	12.95	12.55	12.55
Fish oil <sup>8</sup>	3.40	4.00	4.30	5.10	5.50
Mono calcium phosphate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Mineral mixture	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitamin mixture	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Vitamin C	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Vitamin E	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Betaine	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Taurine	0.00	0.40	0.50	0.60	0.70
Choline	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Lecithin	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Anti-fungal agent	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Proximate composition (% of dry matter)					
Moisture	6.47	5.98	4.62	5.93	4.70
Crude protein	58.8	60.1	59.5	59.9	60.1
Crude lipid	13.2	13.1	12.8	13.5	13.4
Crude ash	13.0	11.7	10.9	10.5	9.7

<sup>1</sup>Fish meal, sardine (crude protein 68.0%, crude lipid 8.6%, crude ash 17.1%). <sup>2</sup>Fish meal, anchovy (crude protein 69.4%, crude lipid 8.3%, crude ash 17.8%). <sup>3</sup>Soybean meal (crude protein 52.7%, crude lipid 1.8%, crude ash 6.8%). <sup>4</sup>Wheat gluten (crude protein 83.2%, crude lipid 3.49%, crude ash 1.3%). <sup>5</sup>Soy protein concentrate (crude protein 68.9%, crude lipid 0.5%, crude ash 7.1%). <sup>6</sup>Tankage meal (crude protein 83.2%, crude lipid 3.69%, crude ash 7.5%). <sup>7</sup>Poultry by-product meal (crude protein 71.6%, crude lipid 13.5%, crude ash 10.5%). <sup>8</sup>Fish oil was by E-wha oil Co., Ltd., Busan, Korea.

Table 2. Growth performance and morphological indexes of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed experimental diets for 15 weeks<sup>1</sup>

Dietary treatment	FBW <sup>2</sup>	WG <sup>3</sup>	SGR <sup>4</sup>	FI <sup>5</sup>	FCR <sup>6</sup>	PER <sup>7</sup>	Survival
Con	61.5±7.6	1135±134	2.35±0.11	45.6±1.4	0.82±0.13	2.10±0.34	88.0±0.0
FM20	66.2±5.9	1214±114	2.42±0.09	44.0±3.7	0.73±0.13	2.31±0.42	88.0±17.0
FM30	70.2±5.5	1300±109	2.49±0.08	43.8±2.3	0.68±0.05	2.49±0.18	98.7±2.3
FM40	58.9±2.2	1090±41	2.32±0.04	36.9±3.0	0.69±0.04	2.42±0.15	94.7±6.1
FM50	62.9±4.2	1164±71	2.38±0.06	37.8±6.2	0.66±0.09	2.56±0.39	93.3±6.1

<sup>1</sup>Values are mean of triplicates and presented as mean±SD. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments. <sup>2</sup>Final body weight (g). <sup>3</sup>Weight gain (%)=100×(final mean body weight-initial mean body weight)/initial mean body weight. <sup>4</sup>Specific growth rate (%)=[(log<sub>e</sub> final body weight-log<sub>e</sub> initial body weight)/days]×100. <sup>5</sup>Feed intake (g/fish)=dry feed supplied (g)/fish. <sup>6</sup>Feed conversion ratio=dry feed supplied/wet weight gain. <sup>7</sup>Protein efficiency ratio=wet weight gain/total protein given.

율(feed conversion ratio), 단백질이용효율(protein efficiency ratio), 생존율(survival, %)을 조사하였다.

### 샘플수집

사육실험 종료 후, 각각의 수조에서 8마리의 실험어를 무작위로 선별하여 2-phenoxyethanol 용액 200 ppm에 마취시켰다. 주사기를 이용하여 실험어의 미부동맥에서 채혈을 실시하였으며, 헤파린이 20 µL씩 처리된 1.5 mL eppendorf tube에 넣어 hemoglobin, hematocrit 측정에 사용하였다. 혈장은 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), total protein (TP), glucose 분석을 위해 원심분리기(Micro 17TR, Hanil Science, Gimpo, Korea)를 이용하여 5000 rpm으로 10 분 동안 원심분리 하였다. 분리된 혈장은 냉동보관 (-70°C)되었다. 채혈 후 남은 전어체는 일반성분분석을 위해 냉동(-50°C)하였으며, 민서기(SMC-12, Kuposlice, Busan, Korea)를 이용하여 분쇄하였다.

### 일반성분분석

실험사료와 전어체에 대한 일반성분은 AOAC (2000) 방법을 기반으로 수행하였다. 수분은 상압가열건조법을 이용하여 125°C에서 3시간동안 시료를 건조시켜 측정하였다. 조회분은 직접회화법을 이용하여 550°C에서 4시간동안 시료를 태워 측정하였다. 단백질은 자동조단백질분석기(Kejltex system 2300, FOSS analytical, Hilleroed, Denmark)를 이용하여 분석되었다. 지방은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 분석하였다.

### 생화학적분석

Hematocrit은 채혈튜브(micro-hematocrit capillary tubes)에 혈액을 채운 후 혈액 진단원심분리기(Micro Hematocrit VS-12000, Vision Scientific, Daejeon, Korea)에서 10분간 원심분리하여 값이 측정하였다. Hemoglobin, total protein, glucose, AST, ALT 분석은 시판되고 있는 kit 시약과 반응시킨 후 혈액 생화학분석기(Bayer, Express plus system, USA)를 이용하여 분석하였다. Hemoglobin, total protein, glucose는 end point 방

법, AST, ALT는 kinetic 방법으로 분석하였다.

### 통계분석

실험사료의 배치는 완전확률계획법(completely randomized design)을 실시하였고, 성장률, 사료효율, 생존율 및 분석 결과들은 SPSS (version 12.0) 프로그램을 이용하여 one-way ANOVA로 통계 분석하였다. 데이터 값의 유의차는 Tukey's HSD로 평균 간의 유의성(P<0.05)을 비교하였다. 데이터는 평균값±표준편차(mean±SD)로 나타내었으며, 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석하였다.

### 결과 및 고찰

넙치를 대상으로 한 대부분의 어분대체 연구는 단일 원료만을 이용하여 어분을 대체하였으며, 사료 내 어분함량이 35% 이하인 경우에는 성장률과 사료효율이 감소하였다(Kim et al., 2000; Kim et al., 2011; Kader and Koshio, 2012; Kim et al., 2014). 타 어종에서도 단일 원료만을 이용하여 어분을 대체할 경우 어분 대체율은 30% 이하에 불과하였다(Magalhães et al., 2017; Irm et al., 2020). 본 연구에서는 15주 동안 어분이 대체된 실험사료를 공급하여도 실험구 사이에 성장률, 사료효

Table 3. Whole-body composition (% of wet weight) of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets for 15 weeks<sup>1</sup>

Dietary treatment	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
Con	74.4±0.8	18.7±0.7	2.76±0.35	3.34±0.35
FM20	75.0±1.0	18.5±1.5	2.76±0.62	3.10±0.15
FM30	74.5±0.3	18.7±0.8	2.35±0.05	3.00±0.22
FM40	75.0±1.3	18.7±0.2	2.63±0.78	3.07±0.31
FM50	74.3±0.1	18.9±0.7	2.82±0.10	3.46±0.16

<sup>1</sup>Values are mean of triplicates and presented as mean±SD. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments.

Table 4. Hematological parameters of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets for trial 15 weeks<sup>1</sup>

Dietary treatment	Hb <sup>2</sup>	Ht <sup>3</sup>	AST <sup>4</sup>	ALT <sup>5</sup>	TP <sup>6</sup>	Glucose <sup>7</sup>
Con	4.55±0.50	20.8±0.9	16.6±2.9	4.48±1.17	7.83±0.31	41.3±1.2
FM20	4.63±1.02	20.8±0.3	12.6±1.6	4.96±1.18	7.62±0.13	43.2±0.8
FM30	4.23±0.31	19.9±2.2	14.1±2.1	3.53±0.57	7.66±0.47	41.2±0.8
FM40	4.17±0.23	20.5±2.4	15.6±2.7	3.49±1.38	7.61±0.34	41.5±0.9
FM50	4.27±0.38	20.9±0.2	15.0±3.0	4.65±0.82	8.33±0.24	43.6±1.2

<sup>1</sup>Values are mean of triplicates and presented as mean±SD. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments. <sup>2</sup>Hemoglobin (g/dL). <sup>3</sup>Hematocrit (%). <sup>4</sup>Aspartate aminotransferase (U/L). <sup>5</sup>Alanine aminotransferase (U/L). <sup>6</sup>Total protein (g/dL). <sup>7</sup>Glucose (mg/dL).

을, 생존율에서 유의적인 차이가 없었다(Table 2). Cabral et al. (2011)은 제한 아미노산의 추가적인 보충을 최소화하며 필수 아미노산의 균형을 맞추기 위해서는 여러 단백질원료의 합리적인 혼합이 필요하다고 보고하였다. 육성기 넙치를 대상으로 한 연구에서는 대두박, 대두농축단백, 밀글루텐 혼합물과 아미노산 3종(lys, thr, met)을 사용한 경우에도 어분을 40%까지 대체할 수 있다고 보고되었다(Lim et al., 2020). 대두농축단백, 밀글루텐, 수지박과 가금부산물분을 혼합하여 어분을 50%까지 대체할 수 있다고 보고되었다(Kim et al., 2019a). 본 연구에서는 동일한 혼합물에 타우린과 베테인의 첨가로 인하여 치어기 넙치 사료에서 어분을 성공적으로 대체할 수 있었던 것으로 판단된다. 타우린은 어체 내에서 어느 정도 합성될 수 있기 때문에 필수 아미노산으로 간주되지는 않지만 조건부 필수아미노산이라고 보고되었다(Kim et al., 2005; Lim et al., 2013). 특히, 식물성 단백질원료를 이용하여 어분을 대체할 경우, 타우린을 반드시 첨가해야 한다고 보고되었다(Velasquez et al., 2015). 사료 내 베테인의 첨가는 어류의 사료 기호성을 높여주고, 스트레스로부터 세포를 보호하며, 삼투압의 조절에 도움을 줄 뿐만 아니라 장내 염증에 대한 저항성을 증가시킨다고 보고되었다(Craig, 2004; Tiril et al., 2008; Sun et al., 2020). 이 외에도 사료 내 베테인이 포함된 섭이촉진제를 사용할 경우, 넙치의 성장과 소화율을 향상시킬 수 있다고 보고되었다(Choi et al., 2004). 다른 어종에서도 베테인이 첨가된 사료를 공급한 경우, 어류의 성장률, 사료효율, 생존율이 증가되었다고 보고되었다(Shankar et al., 2008; Iwashita et al., 2008; Tiril et al., 2008; Gosh et al., 2019). 따라서 본 연구에서 사료 내 어분을 50% 대체하여 어분 함량을 32.5%까지 감소시켜도 넙치의 성장률과 사료효율에서 유의적인 감소가 없었던 것은 동·식물성 단백질원료의 적절한 혼합을 통해 모든 필수아미노산의 요구량을 충족하고 타우린과 베테인을 부가적으로 첨가하였기 때문인 것으로 판단된다.

넙치의 전어체 분석 결과(Table 3), 어분 함량이 낮은 실험사료를 공급했음에도 불구하고 대조군과 유의적인 차이는 없었다. 혈액학적 분석은 어류의 생리활성과 건강상태를 조사하는데 이용된다(Song and Lee, 2013). 이전 연구에서 넙치 사료 내

어분을 대체할 때 Ht, AST, ALT 등에서 혈액성상의 변화가 발생되었다고 보고되었다(Kim et al., 2008; Kim et al., 2009). Ht는 영양소 결핍에 따라 수치가 감소된다(Song and Lee, 2013). AST와 ALT는 어류의 간 또는 신장이 손상되는 경우 혈액으로 방출되게 되는데, 필수아미노산이 결핍될 때에도 AST와 ALT의 수치가 증가되는 것으로 보고되었다(Cheng et al., 2010; Biswas et al., 2019). 본 연구에서는 실험사료 공급에 따른 넙치의 혈액성상에 유의적인 차이가 없었다(Table 4). 따라서 어분대체에 따른 부작용이나 어류의 건강상태에 이상이 없을 것으로 판단된다.

본 연구결과를 종합할 때, 4종의 단백질원료 혼합물(밀글루텐, 대두농축단백, 수지박, 가금부산물분)과 타우린, 베테인을 적절히 사용한다면 현재 국내 넙치 치어 배합사료에 사용되는 65-70%의 어분 함량을 32.5%까지 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

## References

- AOAC (Association of Official Analytical chemists). 2000. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists Inc., Arlington, VA, U.S.A.
- Apper-Bossard E, Feneuil A, Wagner A and Respondek F. 2013. Use of vital wheat gluten in aquaculture feeds. *Aquat Biosyst* 2013, 9-21. <https://doi/10.1186/2046-9063-9-21>.
- Biswas A, Araki H, Sakata T, Nakamori T and Takii K. 2019. Optimum fish meal replacement by soy protein concentrate from soymilk and phyase supplementation in diet of red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture* 506, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.023>.
- Cabral EM, Bacelar M, Batista S, Castro-Cunha M, Ozório ROA, Valente LMP. 2011. Replacement of fishmeal by increasing levels of plant protein blends in diets for senegalese sole (*Solea senegalensis*) juvenile. *Aquaculture* 322-323, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.023>.
- Cheng Z, Ai Q, Mai K, Xu W, Ma H, Li Y and Zhang J. 2010. Effect of dietary canola meal on growth performance digestion and metabolism of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 305, 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.023>.

- aquaculture.2010.03.031.
- Cho JH, Lee BJ, Hur SW, Lee S, Kim KW, Lim SG and Son MH. 2019. Effects of extrusion pressure and feed ingredient particle size on growth performance in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 52, 247-255. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0247>.
- 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). Aquac Res 35, 410-418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01046.x>.
- Craig SAS. 2004. Betaine in human nutrition. Am J Clin Nutr 80, 539-549. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.3.539>.
- 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.
- Gosh TK, Chauhan YH and Mandl RN. 2019. Growth performance of *Labeo bata* (Hamilton, 1822) in freshwater and its acclimatization in brackish water with betaine as feed additive. Aquaculture 501, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.020>.
- Gu M, Bai N, Zhang Y and Krogdahl Å. 2016. Soybean meal induces enteritis in turbot *Scophthalmus maximus* at high supplementation levels. Aquaculture 464, 286-295. <https://dx.doi.org/10.11016/j.aquaculture.2016.06.035>.
- Ha SS and Kim KJ. 2018. A Study on climate variability and its impact on anchoveta landing, correlation of fishmeal production and price in Peru Lat Am Caribb Stud 37, 161-210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.las.2018.5.37.3.161>.
- Herath SS, Haga Y and Satoh S. 2016. Effects of long-term feeding of corn co-product-based diets on growth, fillet color, and fatty acid and amino acid composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 464, 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.032>.
- Irm M, Taj S, Jin M, Luo J, Andriamalinirina HJ and Zhou Q. 2020. Effects of replacement of fish meal by poultry by-product meal on growth performance and gene expression involved in protein metabolism for juvenile black sea bream (*Acanthoparus schlegelii*). Aquaculture 528, 735544. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735544>.
- Iwashita Y, Suzuki N, Yamamoto T, Shibata JI, Isokawa K, Soon AH, Ikehata Y, Furuita H, Sugita T and Goto T. 2008. Supplemental effect of cholytaurine and soybean lecithin to a soybean meal-based fish meal-free diet on hepatic and intestinal morphology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fish Sci 74, 1083-1095. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01628.x>.
- Kader Ma and Koshio S. 2012. Effect of composite mixture of seafood by-products and soybean proteins in replacement of fishmeal on the performance of red sea brea, *Pagrus major*. Aquaculture 368-369, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.014>.
- Kim KD, Kim DG, Kim SK, Kim KW, Son MH and Lee SM. 2010. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 43, 325-330. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.4.325>.
- Kim KW, Kim KD, Son MH and Ahn CM. 2011. Evaluation of Squid Liver Powder as a Dietary Protein Source Replacing Fish Meal in Juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. Jour Fish Mar Sci Edu 23, 461-467.
- Kim MG, Lee C, Shin J, Lee BJ, Kim KW and Lee KJ. 2019a. Effects of fish meal replacement in extruded pellet diet on growth feed utilization and digestibility in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 52, 149-158. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0149>.
- Kim MG, Shin J, Lee C, Lee BJ, Hur SW, Lim SG and Lee KJ. 2019b. Evaluation of mixture of plant protein source as a partial fish meal replacement in diets for juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 52, 374-381. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0374>.
- Kim SK, Takeuchi T, Yokoyama M, Murata Y, Kaneniwa M and Sakakura Y. 2005. Effect of dietary taurine levels on growth and feeding behavior of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 250, 765-774. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.073>.
- Kim SS, Oh DH, Cho SJ, Seo SH, Han HS and Lee KJ. 2014. Evaluation of acid-concentrated soybean meal as a fishmeal replacement and its digestibility in diets for juvenile olive Flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 47, 824-831. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0824>.
- Kim YC, Bae SS, Lee JH, Park GH, Lee JY and Bai SC. 2009. Dietary squid liver powder (SLP) with dehulled soybean meal (DHSM) as a fish meal (FM) substitute for olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 42, 243-249. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.3.243>.
- Kim YC, Yoo GY, Wang X, Lee SH, Shin IS and Bai SC. 2008. Long term feeding effects of dietary dehulled soybean meal as a fish meal replacer in growing olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Asian-Australas J Anim Sci 21, 868-872. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70496>.
- Kim YS, Kim BS, Moon TS and Lee SM. 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Kor J Fish Aquatic Sci 33, 469-474.
- Kissinger KR, García-Ortega A and Trushenski JT. 2016. Partial fish meal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacinum* for longfin yellowtail *Seriola rivoliana*. Aquaculture 452, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.022>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2020. Survey on the status of fish culture. Retrieved from

- [http://kostat.go.kr/portal/korea/kor\\_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=381312](http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=381312) on Jun 7, 2020.
- Krogdahl A, Penn M, Thorsen J, Resfstie S and Bakke AM. 2010. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquac Nutr* 41, 333-344. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02426.x>.
- Lim HW, Kim MG, Shin J, Shin J, Hur SW, Lee BJ and Lee KJ. 2020. Evaluation of three plant protein for fish meal replacement in diet for growing olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 464-470. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0464>.
- Lim SJ, Kim SS, Pham MA, Song JW, Cha JH, Kim JD, Kim JU and Lee KJ. 2010. Effects of fermented cottonseed and soybean meal with phytase supplementation on gossypol degradation, phosphorous availability, and growth performance of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Korean J Fish Aqua Sci* 13, 284-293. <https://doi.org/10.5657/fas.2010.13.4.284>.
- Lim SJ, Oh DH, Khosravi S, Cha JH, Park SH, Kim KW and Lee KJ. 2013. Taurine is an essential nutrient for juvenile parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. *Aquaculture* 414, 274-279. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.013>.
- Magalhães R, Sánchez-López A, Leal RS, Martínez-Llorens S, Oliva-Teles A and Peres H. 2017. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 476, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.021>.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The national academy press, Washington DC, U.S.A.
- Shankar R, Murthy HS, Pavadi P and Thanuja K. 2008. Effect of betaine as a feed attractant on growth, survival, and feed utilization in fingerlings of the Indian major carp, *Labeo rohita*. *Isr J Aquac* 60, 95-99. <http://hdl.handle.net/10524/19250>.
- Song JW and Lee KJ. 2013. Effects of dietary nucleotide supplementation on the growth performance, feed utilization, hematological parameters and innate immunity in red seabream *Pagrus major*. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 785-792. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0785>.
- Sun H, Jiang WD, Wu P, Liu Y, Jiang J, Yang QH, Kuang SY, Tang L, Zhou XQ and Feng L. 2020. Betaine supplementations enhance the intestinal immunity of on-growing grass carp *Ctenopharyngodon idella*: Partly related to TOR and NF- $\kappa$ B signaling pathways. *Aquaculture* 518, 734846. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734846>.
- Tiril SU, Alagil F, Yagci FB and Aral O. 2008. Effects of betaine supplementation in plant protein based diets on feed intake and growth performance in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Isr J Aquac* 60, 57-64. <http://hdl.handle.net/10524/19244>.
- Velasquez A, Pohlenz C, Barrows FT, Gaylord TG and Gatlin III DM. 2015. Assessment of taurine bioavailability in pelleted and extruded diets with red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 449, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.034>.