

사료 내 새우가용성추출물(shrimp soluble extract) 첨가가 흰다리새우 (*Litopenaeus vannamei*)의 성장, 면역력 및 소화율에 미치는 영향

고대현 · 신재형 · 김민기 · 이초롱 · 김성삼¹ · 박건현¹ · 이경준^{2*}

제주대학교 해양생명과학과, ¹CJ 생물자원, ²제주대학교 해양과학연구소

Effects of Dietary Supplementation of Shrimp Soluble Extract on Growth Performance, Innate Immunity and Digestibility of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*

Daehyun Ko, Jaehyeong Shin, Min-Gi Kim, Chorong Lee, Sung-Sam Kim¹, Gunhyun Park¹ and Kyeong-Jun Lee^{2*}

Department of Marine Life Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

¹CJ Feed & Care, Incheon 04548, Korea

²Marine Science Institute, Jeju National University, Jeju 63333, Korea

This study was conducted to evaluate the effects of dietary supplementation with shrimp soluble extract (SSE) on growth performance, feed utilization, innate immunity and digestibility of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. A basal diet (Con) was formulated and three other diets were prepared with SSE supplementation at different levels of 1, 2 and 4% (designated as SSE1, SSE2 and SSE4, respectively). Triplicate groups of shrimp (1.20±0.01 g) were fed one of the experimental diets for 6 weeks. At the end of the feeding trial, growth performance and feed utilization of the shrimp were significantly improved by dietary supplementation of SSE4 compared to those of shrimp fed the Con diet. Shrimp fed SSE4 diet had significantly higher phagocytic activity than shrimp fed the Con diet. Dietary supplementation of SSE improved the protein and dry matter digestibility of shrimp. These results indicate that SSE can be used as a functional additive in the diets for Pacific white shrimp.

Keywords: Shrimp soluble extract, Growth performance, Digestibility, Pacific white shrimp, Feeds

서론

새우는 전세계적으로 수요가 높은 대표적인 양식대상 종으로, 그 생산량은 1980년도에 75,000톤에서 2017년도에 5,500,000톤으로 계속해서 증가하고 있다(FAO, 2018). 새우의 가식부는 체중의 약 50-60%로, 가공과정에서 머리, 갑각, 내장과 같은 부산물이 다량 발생한다(Gulzar et al., 2020). 새우가공부산물(shrimp by-products)을 처리하기 위한 다양한 연구가 수행되었으나, 아직까지 명확한 처리방안을 찾지 못한 상황이다. 새우가공부산물은 단백질의 함량이 약 68%로 높을 뿐만 아니라, 생리활성 물질을 함유하고 있어 양식사료 내에서 단백질원과 기능성 원료로서의 이용가능성이 높다고 보고되었다(Plascencia-

Jatomea et al., 2002; Gisbert et al., 2018). 그러나, chitin과 같이 난소화성 물질의 함량이 높아, 동물사료에서의 사용범위가 제한적이다.

새우가용성추출물(shrimp soluble extract, SSE)은 다양한 효소를 이용하여 새우가공부산물을 가수분해하여 제조된다(Gildberg and Stenberg, 2001). SSE는 peptides의 평균분자량이 새우가공부산물에 비해 낮고, 제조 과정에서 비가용성 물질을 제거하여 동물사료 내 이용성이 매우 높은 것으로 알려져 있다(Gildberg and Stenberg, 2001). SSE는 동물의 비특이적 면역력 증진에 효과가 있는 활성펩타이드(bioactive peptides)를 다량 함유하고 있어, 양식사료에 단백질원료 혹은 기능성 첨가제로서의 이용가능성이 일부 연구를 통해 보고되었다(Gild-

*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.2021.0287>

Korean J Fish Aquat Sci 54(3), 287-292, June 2021

Received 26 March 2021; Revised 30 April 2021; Accepted 3 May 2021

저자 직위: 고대현(대학원생), 신재형(대학원생), 김민기(인턴연구원), 이초롱(박사 후 연구원), 김성삼(부장), 박건현(부장), 이경준(교수)

berg and Stenberg, 2001; Jo et al., 2017). 흰다리새우는 염분에 대한 내성이 강하고, 성장이 빨라 고부가가치 양식 대상으로 각광받고 있다(Saoud et al., 2003). 전세계 흰다리새우 양식생산량은 2016년도에 4,155,826톤으로 전체 새우류 생산량의 80%를 차지한다(FAO, 2018). 국내 흰다리새우의 생산량은 2013년도에 3,785톤에서 2019년도에 7,542톤으로 계속해서 증가하고 있다(KOSIS, 2020). 그러나, 현재까지 흰다리새우 사료 내 SSE 첨가에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 사육실험과 소화율 평가를 통해 흰다리새우 사료 내 기성 첨가제로써 SSE의 이용가능성을 평가하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 액상 형태의 SSE는 (주)CJ제일제당(Suwon, Korea)에서 제공받아 사용하였고, SSE의 영양소 함량은 Table 1에 나타내었다. 대조사료(Con)는 흰다리새우의 영양소 요구량을 충족시키도록 조성하였다(Table 2). 실험사료는 총 3종으로 SSE를 사료에 1, 2, 4% 첨가하였다(SSE1, SSE2, SSE4). 실험사료는 모든 사료원료를 사료조성표에 따라 측량한 후 혼합하였다. 혼합물에 사료원료 총 중량의 10%에 해당하는 증류

Table 1. Nutrient content of shrimp soluble extract (SSE, dry matter)

Nutrient contents	Ingredients
	SSE
Proximate composition (%)	
Crude protein	61.8
Crude lipid	5.49
Ash	10.8
Moisture	65.6
Essential amino acids (% of protein)	
Leucine	8.00
Valine	6.00
Lysine	5.00
Arginine	7.00
Histidine	3.00
Isoleucine	5.00
Phenylalanine	6.00
Threonine	4.00
Methionine	2.00
Calcium (%)	0.49
Phosphorus (%)	0.20
Pepsin digestibility (% of protein)	93.7
Astaxanthin (ppm)	11.5

수와 어유를 첨가한 후, 사료제조기(SP-50; KumKang ENG, Daegu, Korea)를 이용하여 2가지 크기(1, 2 mm)의 펠릿사료를 제작하였다. 실험사료는 건조 후(25°C, 17 h), SSE를 사료 내 농도가 각각 1, 2, 4%가 되도록 증류수(100 mL)에 희석하여 사료 표면에 분무하였다. 완성된 사료는 건조(25°C, 17 h) 후, 사료공급 전까지 냉동보관(-20°C)되었다.

실험새우와 사육관리

흰다리새우 Post-larvae는 충청남도 서산에 위치한 새우종묘장에서 구입하였다. 실험새우는 시판배합사료(SAJO DongA

Table 2. Dietary formulation and proximate composition of the experimental diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (% dry matter)

Ingredients	Con	SSE1	SSE2	SSE4
Wheat flour	30.2	29.5	28.8	27.4
Soybean meal ¹	27.0	27.7	28.4	29.8
Shrimp soluble extract (SSE) ²	0.00	1.00	2.00	4.00
Gluten	1.00	1.00	1.00	1.00
Meat, bone meal	3.00	3.00	3.00	3.00
Blood meal	1.00	1.00	1.00	1.00
Fish meal, LT ³	17.0	16.0	15.0	13.0
Fish meal, Tuna	10.0	10.0	10.0	10.0
Squid liver powder	4.00	4.00	4.00	4.00
Fish oil	1.50	1.50	1.50	1.50
Lecithin powder	2.00	2.00	2.00	2.00
Mineral Mix ⁴	1.00	1.00	1.00	1.00
α-Tocopherol	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline chloride	0.08	0.08	0.08	0.08
Vitamin-C	0.10	0.10	0.10	0.10
Vitamin-A	0.80	0.80	0.80	0.80
Cholesterol	0.02	0.02	0.02	0.02
Mold inhibitor	0.05	0.05	0.05	0.05
Antitox	0.05	0.05	0.05	0.05
Guar gum	1.00	1.00	1.00	1.00
Proximate composition				
Crude protein	45.1	45.1	44.8	45.2
Crude lipid	8.31	8.24	8.54	9.47
Crude ash	9.74	9.74	9.61	9.54
Moisture	8.48	8.40	8.00	8.49

¹44% crude protein, South America. ²CJ CheilJedang Feed & Livestock Research Institute, Su-won, Korea. ³Norse LT-94®, low-temperature dried fish meal, Norsildmel, Bergen, Norway. ⁴MgSO₄·7H₂O, 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; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

One, Seoul, Korea)를 공급하며, 2주간 사육실험 환경에 순차시켰다. 예비사육 후 흰다리새우(1.20±0.01 g)는 총 12개의 acryl 수조(110 L)에 18마리씩 배치하였다. 광주기는 형광등을 이용하여, 12 light:12 dark 조건으로 유지하였다. 환수는 수조 내 사육수의 상태를 고려하여, 2-3일 간격으로 진행하였다. 실험사료는 1일 4회(08:30, 12:00, 15:00, 18:30)에 나누어 6주에 걸쳐 제한공급(새우체중 3-8%)하였다. 사육실험은 제주대학교 동물생명윤리위원회의 윤리규정(승인번호, 2019-0038)을 준수하면서 진행 되었다.

Sampling과 분석

실험새우의 무게는 사료 공급량을 설정하기 위해 2주 간격으로 측정하였고, 무게 측정 12시간 전부터 실험사료의 공급을 중단하였다. 최종 무게측정 후, 수조당 5마리의 흰다리새우를 무작위로 선별하여(실험구 당 15마리) 얼음물로 마취시킨 후, Alsever's 용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)이 처리된 주사기를 이용하여 hemolymph를 채혈하였다. Hemolymph의 일부는 대식세포활성(nitroblue-tetrazolium, NBT) 분석에 사용되었고, 나머지는 원심분리(800 g, 10 min)후 냉동보관(-70°C)하였다.

수조 내 수질은 1일 1회 측정되었으며, 평균 수온은 29.1°C, 용존산소는 5.20 ppm, pH는 7.78, 염분은 31 psu, 암모니아는 0.040 ppm으로 나타났다. 실험사료의 일반성분은 AOAC (2005) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125°C, 3 h), 회분은 직접회화법(550°C, 4 h)으로 분석되었다. 조단백질은 조단백분석기(Kjeltec system 2300; Foss, Hillerød, Denmark)로 분석하였으며, 조지방은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치(SOX406 fat analyzer, Jinan Hanon Instruments, Shandong, China)를 이용하여 분석되었다. Hemolymph 내 대식세포 활성은(NBT)은 Zhang et al. (2013)의 방법을, phenoloxidase (PO) 활성은 Hernández-López et al. (1996)의 방법을 사용하여 분석하였다.

외관상소화율 평가

소화율 실험사료는 사료에 지시제(indicator)로 chromium

oxide (Cr₂O₃; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 1% 첨가하여 제작하였다. 새우(9.12±1.00 g)는 총 4개의 acrylic 수조(110 L)에 수조 당 15마리씩 배치하였다. 실험사료는 1일 2회(08:30, 14:00 h)에 나누어 공급되었고, 사료공급 1시간 후에 각 수조의 사료와 찌꺼기를 siphon을 이용하여 제거하였다. 분은 1일 2회(13:00, 18:00)에 걸쳐 4주 동안 수집하였고, 수집된 분은 동결건조 후 분석에 사용하였다. 실험사료의 건물 소화율 및 단백질 소화율은 Divakaran et al. (2002)의 방법을 바탕으로 계산하였다.

$$\text{Apparent digestibility of dry matter (\%, ADCd)} = 100 - 100 \times (\% \text{ of Cr}_2\text{O}_3 \text{ in diet} / \% \text{ of Cr}_2\text{O}_3 \text{ in feces})$$

$$\text{Apparent digestibility of protein (\%, ADCp)} = 100 - 100 \times (\% \text{ of Cr}_2\text{O}_3 \text{ in diet} / \% \text{ of Cr}_2\text{O}_3 \text{ in feces}) \times (\% \text{ of protein in feces} / \% \text{ of protein in diet})$$

통계학적 분석

실험사료의 배치는 완전확률계획법(completely randomized design)에 따라 실시하였고, 모든 결과는 SPSS (Version 24.0; International Business Machines Co., New York, NY, USA) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple range test (P<0.05)로 비교되었다. 모든 데이터는 평균값±표준편차(mean±SD)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석하였다.

결 과

실험새우의 성장률(final body weight, FBW; specific growth rate, SGR), 단백질이용효율(protein efficiency ratio, PER)은 SSE4 실험구가 대조구에 비해 유의적으로 높았다(Table 3). 사료계수(feed conversion ratio, FCR)는 SSE4 실험구가 대조구에 비해 유의적으로 낮았다. SSE1 및 SSE2 실험구에서도 대

Table 3. Growth performance, feed utilization and survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (initial body weight, 1.20±0.01 g) fed the experimental diets for 6 weeks. The diets were added with graded levels of SSE by 0, 1, 2 and 4% (Con, SSE1, SSE2 and SSE4)

Dietary treatments	FBW ¹	SGR ²	FCR ³	PER ⁴	Survival (%)
Con	2.88±0.40 ^b	2.18±0.35 ^b	2.75±0.56 ^a	0.83±0.18 ^b	63.0±3.21
SSE1	3.51±0.67 ^{ab}	2.65±0.45 ^{ab}	2.17±0.55 ^{ab}	1.07±0.30 ^{ab}	72.2±20.0
SSE2	3.49±0.70 ^{ab}	2.63±0.50 ^{ab}	2.14±0.36 ^{ab}	1.06±0.19 ^{ab}	64.8±11.6
SSE4	4.08±0.46 ^a	3.05±0.30 ^a	1.65±0.35 ^b	1.38±0.26 ^a	83.3±19.2

¹Final body weight (g)=final mean body weight-initial mean body weight. ²Specific growth rate (%)=[(log_e final body weight - log_e initial body weight)/days]×100. ³Feed conversion ratio=feed intake/wet weight gain. ⁴Protein efficiency ratio=wet weight gain/total protein given. SSE, shrimp soluble extract. Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SD. Values with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05). The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments.

조구에 비해 성장과 사료계수가 증가하는 경향을 보였다. 생존율은 대조구와 실험구 사이에 유의적인 차이가 없었다. Hemolymph 내 대식세포 활성(NBT)은 SSE4 실험구가 대조구에 비해 유의적으로 높았다(Table 4). SSE를 저농도로 첨가한 실험구에서도 NBT활성은 증가하는 경향을 보였다. PO 활성은 대조구와 실험구 사이에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 흰다리새우의 건물소화율 및 단백질소화율은 SSE를 첨가한 실험구(SSE1, SSE2, SSE4)가 대조구에 비해 유의적으로 높았다(Table 5).

고찰

이번 연구에서 사료 내 SSE의 첨가(1-4%)는 흰다리새우의 성장과 사료계수를 증진시키는 것으로 나타났다. Bui et al. (2014)은 사료 내 새우가수분해물의 첨가(5%)는 참돔 치어 (*Pagrus major*) (29.0-113 g, 15주)의 성장과 사료전환효율을 증진시킨다고 보고하였다. 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)를 대상으로한 연구에서도 새우가수분해물을 사료에 첨가(15%)하여 8주간 공급했을 때, 어류의 성장과 사료효율이 향상된다고 보고되었다(Plascencia-Jatomea et al., 2002). Zheng et al. (2012)은 사료에 어류단백질가수분해물을 첨가(3.7%)할 경우, 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 성장률과 사료효율이 증가하였고, 혈장 내 insulin-like growth factor-1 (IGF-1)의 발현량이 증진되었다고 보고하였다. 소화효소를 이용하여 단백질원료를 가수분해하면 원료 내 고분자 peptides가 분자량이 낮은 tri-peptides, di-peptides 혹은 유리아미노산으로 분해되어 소화율과 이용성이 증진되는 것으로 알려져 있다(Khosravi et al., 2015b; Bhattarai et al., 2017). SSE는 평균분자량이 다른 원료에 비해 낮아, 동물의 체내에서 소화율이 높을 뿐만 아니라 필수아미노산을 다량 함유하고 있어 사료 내 이용성이 높다고 보고되었다(Gildberg and Stenberg, 2001). 또한, 단백질가수분해

물을 사료에 소량으로(0.5-2%) 첨가할 경우, 사료 섭취량을 증가시켜 새우의 성장에 직접적으로 도움을 주는 것으로 보고되었다(Fox et al., 1994; Bui et al., 2014). Kader et al. (2012)은 사료 내 fish soluble extract나 krill meal을 사료에 첨가하면 제한아미노산(lysine, methionine)의 불균형을 보완함으로써 사료의 기호성을 향상시키는데 도움을 줄 수 있다고 보고하였다. SSE는 lysine (5.0%), methionine (2.0%)의 함량이 대표적인 어분대체원료인 대두박(3.2%, 0.7%)에 비해 높아, 사료의 기호성 향상에 효과가 있을 것으로 추측된다. 따라서, SSE는 분자량이 낮아 소화되기 쉬우며 사료유인효과가 뛰어나 흰다리새우 사료의 기능성 원료로써 가치가 높다고 판단된다.

이번 연구에서 사료 내 SSE의 첨가(1-4%)는 흰다리새우의 단백질소화율을 증가시키는 것으로 나타났다. Khosravi et al. (2015b)은 새우가수분해물을 사료에 3.3% 첨가했을 때 단백질소화율이 증가했다고 보고하였다. 대서양연어(*Salmo salar*)에서도 어류단백질가수분해물의 사료 내 첨가(18-30%)는 단백질소화율을 증가시키는 것으로 알려져 있다(Hevrøy et al., 2005). Aksnes et al. (2006)은 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) 사료 내 어류부산물 첨가(32%)할 경우, 어류의 단백질소화율이 증가한다고 보고하였다. 더불어, 단백질가수분해물은 사료에 첨가할 경우, 어류의 소화효소의 활성을 증진시키는 것으로 보고되었다(Aguila et al., 2007). 따라서, SSE의 높은 저분자 펩타이드와 유리아미노산의 함량이 흰다리새우의 단백질소화율을 향상시켰던 것으로 사료된다.

이번 연구에서 흰다리새우 사료 내 SSE의 첨가는 새우의 비특이적 면역력(NBT, PO) 증진에 도움을 주는 것으로 나타났다. NBT는 대식세포 활성도를 나타내며 선천적 면역반응의 중요한 지표로 알려져 있다. 사료 내 틸라피아가수분해물의 첨가도 넙치의 대식세포활성을 높이는 것으로 나타났다(Khosravi et al., 2015a). Jo et al. (2017)은 사료 내 어분을 어류가수분해물로 대체하면서 SSE를 2% 첨가했을 때 무지개송어의 비특이

Table 4. Non-specific immune responses of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed the experimental diets for 6 weeks. The diets were added with graded levels of SSE by 0, 1, 2 and 4% (Con, SSE1, SSE2 and SSE4)

Dietary treatments	NBT ¹	PO ²
Con	2.49±0.35 ^b	0.21±0.03
SSE1	2.67±0.26 ^{ab}	0.24±0.07
SSE2	2.79±0.85 ^{ab}	0.20±0.04
SSE4	3.38±0.23 ^a	0.28±0.06

¹Nitro-blue tetrazolium activity (absorbance). ²Phenoloxidase activity (absorbance). SSE, shrimp soluble extract. Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SD. Values with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05). The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments.

Table 5. Apparent digestibility of coefficients (% ADC) of dry matter and protein of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed the experimental diets for 6 weeks. The diets were added with graded levels of SSE by 0, 1, 2 and 4% (Con, SSE1, SSE2 and SSE4)

Dietary treatments	ADCd ¹	ADCp ²
Con	53.9±2.9 ^c	71.7±2.0 ^b
SSE1	68.0±0.7 ^b	84.1±0.6 ^a
SSE2	71.6±2.0 ^a	83.9±1.1 ^a
SSE4	71.4±0.8 ^a	82.0±0.5 ^a

¹Apparent digestibility coefficient of dry matter (%). ²Apparent digestibility coefficient of protein (%). SSE, shrimp soluble extract. Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SD. Values with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05).

적 면역력(superoxide dismutase, lysozyme)을 향상시켰다고 보고하였다. 전복(*Haliotis discus*)에서도 어류단백질가수분해물이 첨가된 사료를 장기간(153일) 공급했을 때, 대식세포 활성이 증가되었다고 보고되었다(Goosen et al., 2014). 이러한 비특이적 면역력의 증가는 어류단백질가수분해물과 SSE에 존재하는 생리활성펩타이드의 항산화, 항균능력에 기인한 것으로 보고되었다(Robert et al., 2014; Khosravi et al., 2015b). 그러나, 생리활성펩타이드와 비특이적 면역력에 있어서의 정확한 작용기전에 관한 연구가 미흡하여, 후속연구를 통해 보다 명확한 규명이 요구된다.

결론적으로, SSE를 사료에 적정량으로 첨가할 경우, 흰다리새우의 성장, 사료계수, 소화율 및 비특이적 면역력 증진에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. SSE의 적정 첨가량은 사료 내 4%로 판단된다.

사 사

이 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2019R1A6A1A03033553)과 CJ제일제당주식회사의 지원으로 수행되었습니다.

References

Aguila J, Cuzon G, Pascual C, Domingues PM, Gaxiola G, Sánchez A, Maldonado T and Rosas C. 2007. The effects of fish hydrolysate (CPSF) level on *Octopus maya* (Voss and Solis) diet: digestive enzyme activity, blood metabolites, and energy balance. *Aquaculture* 273, 641-655. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.07.010>.

Aksnes A, Hope B, Jönsson E, Björnsson BT and Albrektsen S. 2006. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture* 261, 305-317. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.025>.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis. Arlington, VA, U.S.A., 1298. <https://doi.org/10.1002/0471740039.vec0284>.

Bhattarai RR, Dhital S, Wu P, Chen XD and Gidley MJ. 2017. Digestion of isolated legume cells in a stomach-duodenum model: three mechanisms limit starch and protein hydrolysis. *Food Funct* 8, 2573-2582. <https://doi.org/10.1039/C7FO00086C>.

Bui HTD, Khosravi S, Fournier V, Herault M and Lee KJ. 2014. Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream *Pagrus major* fed diets supplemented with protein hydrolysates. *Aquaculture* 418-419, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.046>.

Divakaran S, Obaldo LG and Forster IP. 2002. Note on the meth-

ods for determination of chromic oxide in shrimp feeds. *J Agric Food Chem* 50, 464-467. <https://doi.org/10.1021/jf011112s>.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals. FAO Report, 227

Folch J, Lees M and Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Boil Chem* 226, 497-509.

Fox CJ, Blow P, Brown JH and Watson I. 1994. The effect of various processing methods on the physical and biochemical properties of shrimp head meals and their utilization by juvenile *Penaeus monodon* Fab. *Aquaculture* 122, 209-226. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90511-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90511-8).

Gildberg A and Stenberg E. 2001. A new process for advanced utilization of shrimp waste. *Process Biochem* 36, 809-812. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00278-8](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00278-8).

Gisbert E, Fournier V, Solovyev M, Skalli A and Andree KB. 2018. Diets containing shrimp protein hydrolysates provided protection to European sea bass *Dicentrarchus labrax* affected by a *Vibrio Pelagius* natural infection outbreak. *Aquaculture* 495, 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.04.051>.

Goosen NJ, de Wet LF and Görgens JF. 2014. The effects of protein hydrolysates on the immunity and growth of the abalone *Haliotis midae*. *Aquaculture* 428-429, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.018>.

Gulzar S, Raju N, Nagarajarao RC and Benjakul S. 2020. Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application- A review. *Trends Food Sci Technol* 100, 307-319. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.005>.

Hernández-López J, Gollas-Galván T and Vargas-Albore F. 1996. Activation of the prophenoloxidase system of the brown shrimp (*Penaeus californiensis* Holmes). *Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol* 113, 61-66. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(95\)02033-0](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)02033-0).

Hevrøy EM, ESPE M, Waagbø R, Sandnes K, Ruud M and Hemre GI. 2005. Nutrient utilization in atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. *Aquac Nutr* 11, 301-313. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2005.00357.x>.

Jo H, Lee S, Yun H, Hong J, Moniruzzaman M and Bai SC. 2017. Evaluation of dietary fishmeal analogue with addition of shrimp soluble extract on growth and nonspecific immune response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *J World Aquac Soc* 48, 583-591. <https://doi.org/10.1111/jwas.12355>.

Kader MA, Bulbul M, Koshio S, Ishikawa M, Yokoyama S, Nguyen BT and Komilus CF. 2012. Effect of complete replacement of fishmeal by dehulled soybean meal with

- crude attractants supplementation in diets for red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture* 350-353, 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.009>.
- Khosravi S, Bui HTD, Rahimnejad S, Heralut M, Fournier V, Kim SS, Jeong JB and Lee KJ. 2015a. Dietary supplementation of marine protein hydrolysates in fish-meal based diets for red sea bream *Pagrus major* and olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 435, 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.019>.
- Khosravi S, Rahimnejad S, Heralut M, Fournier V, Lee CR, Bui HTD, Jeong JB and Lee KJ. 2015b. Effects of protein hydrolysates supplementation in low fish meal diets on growth performance, innate immunity and disease resistance of red sea bream *Pagrus major*. *Fish Shellfish Immunol* 45, 858-868. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.05.039>.
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2020. Survey on the status of aquaculture. Retrieved from http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=380812 on Dec 8, 2020.
- Plascencia-Jatomea M, Olvera-Novoa MA, Arredondo-Figueroa JL, Hall GM and Shirai K. 2002. Feasibility of fishmeal replacement by shrimp head silage protein hydrolysate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L) diets. *J Sci Food Agric* 82, 753-759. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1092>.
- Robert M, Zatylny-Gaudin C, Fournier V, Corre E, Corguille GI, Bernay B and Henry J. 2014. Transcriptomic and peptidomic analysis of protein hydrolysates from the white shrimp *L. vannamei*. *J Biotechnol* 186, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.06.020>.
- Saoud IP, Davis DA and Rouse DB. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* 217, 373-383. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00418-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00418-0).
- Zhang S, Li J, Wu X, Zhong W, Xian J, Liao S, Miao Y and Wang A. 2013. Effects of different dietary lipid level on the growth, survival and immune-relating genes expression in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish Shellfish Immunol* 34, 1131-1138. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.01.016>.
- Zheng K, Liang M, Yao H, Wang J and Chang Q. 2012. Effect of dietary fish protein hydrolysate on growth, feed utilization and IGF-I levels of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquac Nutr* 18, 297-303. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00896.x>.