

강도다리(*Platichthys stellatus*) 배합사료 내 곤충분 첨가에 따른 성장 및 사료가치 비교

정성목[†] · 김남리^{1†} · 허상우 · 이승한 · 배진호 · 김강웅*

국립수산과학원 사료연구센터, ¹국립수산과학원 양식연구과

Effect of Dietary Inclusion of Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* Meal on Growth Performance of Starry Flounder *Platichthys stellatus* and Feed Value

Seong-Mok Jeong[†], Nam-Lee Kim^{1†}, Sang-Woo Hur, Seunghan Lee, Jinho Bae and Kang-Woong Kim*

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

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

The dietary inclusion of black soldier fly larvae meal *Hermetia illucens* (BSL) for starry flounder *Platichthys stellatus* was examined in a four-month trial at a Pohang fish farm. Two diets were prepared: a fish meal-based commercial diet (CD) and an experimental diet containing 7% BSL in the CD (BCD). Fish (average weight, 125.2 g) were reared in a square concrete tank (7×7 m) in triplicates. Feed efficiency was significantly higher in fish fed BCD compared to that of the fish fed CD. The DHA/EPA ratio in dorsal muscle was not significantly affected by the fatty acid composition of the experimental diets. Based on the growth performance, the feed cost for producing 1 kg of starry flounder was 1,797 won for CD and 1,814 won for BCD. With government subsidies the feed cost for producing 1 kg of starry flounder was 1,481 won for CD and 1,309 won for BCD. The results indicate that BSL can be included at 7% without adverse effects on growth performance, fillet composition, or feed cost. However, further research is needed to determine the optimum percentage of BSL as a replacement of FM in starry flounder diets.

Keywords: Starry flounder, Feed, Fish meal, Black soldier fly, Feed cost

서론

강도다리(*Platichthys stellatus*)는 가자미목(Pleuronectiformes), 가자미과(Pleuronectidae)의 냉수성 해산어류로 한국, 일본, 북태평양 등의 해역에 광범위하게 분포하고 있다(Bergstrom, 2007; Kang et al., 2014). 강도다리는 저수온기에도 먹이 섭취활동이 활발한 특성이 있어, 연중 수온이 상대적으로 낮은 동해안과 제주도 지역이 강도다리의 성장에 적합하다. 국내 가자미류 양식 생산량 및 배합사료 사용량은 2010년 550톤 및 1,616톤에서 꾸준히 증가하여 2022년 7,723톤 및 17,052톤으로 조사되었으며, 앞으로 강도다리에 대한 국내 양식 생산량 및 배합사료 사용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(KO-

SIS, 2023). 사료는 양식 대상종의 생산성에 큰 영향을 미치는 요인이며, 사료 비용은 총 양식생산비의 40–60%를 차지할 만큼 생산비용에 많은 부분을 차지하므로 저비용, 고효율 배합사료 개발이 절실한 실정이다. 강도다리와 같은 해산어류는 단백질 요구량이 높기 때문에 배합사료 내 단백질이 차지하는 비중이 높다. 어분은 양어용 배합사료 내 주 단백질원으로 사용되어 왔고, 영양소 조성이 우수하며 기호성이 높다는 장점을 가지고 있다. 하지만 어분은 어획량의 변동으로 인해 공급이 불안정하여 미래에는 자원량 부족으로 인해 사용이 제한적일 것으로 전망하고 있으며, 우리나라는 대부분의 어분을 수입에 의존하고 있기 때문에, 국제 어분 시장의 변동성에 더욱 민감하게 반응한다(Kim et al., 2018). 이에 따라 강도다리 사료 내 어분을 대체

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 230. 3600 Fax: +82. 54. 230. 3635

E-mail address: kwkim@korea.kr [†]Contributed equally.



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.2023.0373>

Korean J Fish Aquat Sci 56(4), 373-379, August 2023

Received 8 June 2023; Revised 21 July 2023; Accepted 24 August 2023

저자 직위: 정성목(연구사), 김남리(연구원), 허상우(연구사), 이승한(연구사), 배진호(연구사), 김강웅(센터장)

하기 위해서 대두농축단백, 옥수수농축단백과 같은 원료의 이용성 평가에 대한 연구들이 진행된 바 있다(Song et al., 2014; Li et al., 2015).

최근에는 배합사료 내 사료원료로 곤충원료의 활용에 대하여 전세계적으로 관심이 높아지고 있다. 일반적으로 곤충원료는 가축에 비해 토지 이용 효율이 우수하고, 소량의 온실가스 및 암모니아 가스를 방출하여 환경오염 문제가 적으며, 대량 생산이 가능하다는 장점이 있다(Oonincx et al., 2010; Song et al., 2018). 동애등에 유충(Black soldier fly *Hermetia illucens* larvae, BSL)은 남은 음식물을 포함한 유기성 폐기물을 먹이원으로 하여 보다 친환경적이며, 영양소 함량은 먹이원에 따라 다소 차이가 있지만 단백질, 지질, 구성아미노산 및 지방산 조성이 우수하여 국내에서는 단미사료로 사용할 수 있게 등록되어 있다 (Van Huis, 2013; Barroso et al., 2014; MAFRA, 2020; Gougbedji et al., 2022). 이러한 이유로 다양한 양식어종 사료 내 BSL을 활용한 연구가 다양하게 진행되었지만(Li et al., 2017; Xiao et al., 2018; Madibana et al., 2020), 강도다리를 대상으로 진행된 연구는 부족한 실정이다. 또한 해양수산부에서는 생태계 및 해양환경 보전을 위해 해양수산부장관이 정한 최소품질기준을 충족하는 배합사료를 사용하는 넙치류, 가자미류, 볼락류 및 돛류 양식어가에 직불금을 지급하는 제도를 실시하고 있다. 2023년 기준 가자미류 배합사료의 최소 품질기준은 조단백 50% 이상, 조지방 8% 이상이며, 곤충분 배합사료의 경우 최소품질 기준을 충족하면서 곤충분이 7% 이상 포함된 것에 한정한다(MOF, 2023). 따라서 본 연구에서는 강도다리 배합사료 내 BSL을 첨가하여 제조한 실험사료와 상품사료(commercial diet, CD)를 공급할 때 성장, 사료이용성, 어체 품질 및 사료 비용에 미치는 영향을 평가하기 위해 양식 현장에서 사육시험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험어 및 실험사료

사육실험은 경북 포항시 남구 구룡포읍에 위치한 강도다리 양식장(S수산)에서 진행하였으며, 실험시작 전 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 강도다리 상품사료(수협사료)를 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균 체중 125.2 g의 강도다리를 사각콘크리트수조(7×7 m)에 각각 7,000마리씩 수용하여 사료구당 3반복으로 수용하여 4개월간 사육 실험하였다(2022. 4. 14.–8. 14.). 사육실험에 사용된 실험사료의 일반 성분, 지방산 및 구성아미노산 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. CD는 기존에 판매되고 있는 제품을 구매하여 사용하였으며, CD 원료의 첨가비를 조절하여 BSL을 7% 첨가한 사료(containing 7% BSL in CD, BCD)를 사료회사(Suhyup feed, Uityeong, Korea)에 의뢰하여 3, 4 mm 크기로 제조하였다. 사료는 어체중의 0.6–0.8%를 배합사료 자동공급 장치를 이용하

여 1일 24회(시간당 1회씩) 매일 공급하였다. 사육기간 중 폐사 개체는 즉시 제거하였으며, 매일 사료섭취량과 폐사어 체중 등을 기록하였다. 사육기간 동안 평균 수온은 $17.5 \pm 3.4^{\circ}\text{C}$ (자연 수온)였으며, 각 수조마다 산소 공급장치를 설치하여 충분한 양의 산소를 공급해주었다.

어체 측정 및 일반성분 분석

사육실험 종료 후 어체 측정은 전일 절식시킨 후 각 수조별 수용된 실험어 10마리를 수조당 10회씩 평균 체중으로 측정하였다. 어체의 성분분석을 위하여 사육실험 종료시에 각 실험수조

Table 1. Proximate composition and fatty acid and amino acid profile in experimental diets

	Experimental diets ¹	
	CD	BCD
Proximate composition (% dry matter)		
Dry matter	92.76	93.80
Crude protein	55.81	54.71
Crude lipids	9.45	10.36
Ash	13.13	12.60
Major Fatty acid profile (% of total fatty acids, DM)		
C12:0	ND ²	4.45
C14:0	4.45	5.20
C15:0	ND	N.D.
C16:0	24.04	21.63
C16:1	5.77	5.72
C18:0	6.70	5.52
C18:1n-9	20.37	19.43
C18:2n-6	8.44	8.72
C20:3n-3	4.56	3.24
C20:5n-3 (eicosapentaenoic acid, EPA)	8.73	8.87
C22:6n-3 (docosahexaenoic acid, DHA)	12.46	9.14
DHA/EPA	1.42	1.03
Essential amino acid profile (% in protein)		
Arginine	7.51	7.07
Histidine	0.10	0.09
Isoleucine	5.36	5.12
Leucine	8.46	8.54
Lysine	0.49	0.41
Methionine + Cystine	2.88	2.72
Phenylalanine	5.14	5.26
Threonine	5.12	5.05
Valine	6.00	6.03

¹CD, commercial diet; BCD, contain black soldier fly larvae 7% in CD. ²Not detected.

에서 5마리씩 시료로 취하여 냉동보관(-25°C)하였다. 실험사료 및 강도다리 등근육의 일반성분 분석은 AOAC (1995)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 FOSS 8400 Automatic Kjeldahl nitrogen determinator (FOSS, Hillerød, Denmark)를 사용하여 분석하였고, 조지질은 soxtec system 2043 (FOSS, Hillerød, Denmark)를 사용하여 분석하였다. 수분은 135°C의 dry oven에서 2시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 600°C 회화로에서 6시간 동안 태운 후 측정하였다.

지방산 및 구성아미노산 분석

지방산은 클로로포름과 메탄올 혼합액(2:1)으로 총 지질을 추출하여 14% BF₃-methanol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용액으로 지방산을 methylation 시킨 후, SPTM-2560 (100 m×0.25 mm; Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA)컬럼이 장착된 gas chromatography (Trace 1310; Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)로 지방산을 분석하였다. 표준 지방산으로 37개 지방산 혼합물(PUFA 37 Component FAME Mix; Supelco Inc.)을 사용하였다.

구성아미노산은 6N HCl 20 mL를 가하여 감압 밀봉한 후 110°C의 dry oven에서 24시간 이상 동안 산가수분해 시켰다. Glass filter로 분해액을 여과하고 얻은 여액을 55°C에서 감압 농축하여 염산과 물을 완전히 증발시킨 다음, 농축된 시료를 sodium citrate buffer (pH 2.20)로 25 mL 정용플라스크에 정용하여 0.45 µm membrane filter로 여과 한 시료액을 아미노산 자동 분석기(Biochrom 30+; Biochrom Ltd., Cambridge, England)를 사용하여 분석하였다.

사료비용 및 수익

현장실험 성장 관련 결과를 바탕으로 사료종류에 따른 사료비용과 수익을 비교·분석하였다. 또한 현재 시행중인 '배합사료 직불금 제도'에 따라 CD는 9,680원/20 kg, BCD는 15,870원/20 kg의 지원금을 적용하였다(MOF, 2023). 사료가격은 실험에 사용된 강도다리 사료단가를 적용하였으며 1포대(20 kg)당 CD 및 BCD 각각 55,000원, 57,000원을 적용하여 산출하였다. 수익(I)은 입식량(N)과 생존율(S) 그리고 출하중량(W)을 곱한 총 생산량에 출하단가(P)를 곱하여 아래의 식과 같이 산출하였다. 출하중량은 사육실험 종료 시 크기를 기준으로 하였으며 출하단가는 kg당 11,000원을 적용하였다.

$$I=(N \times S \times W) \times P$$

통계 분석

실험 결과의 통계처리는 SPSS version 23(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분석하였다. 처리구간의 통계적 유의성은 independent t-test를 이용하여 분석하였으며, 평균 간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결과 및 고찰

포항지역 강도다리 양식장에서 최초 평균체중 125 g 내외의 강도다리를 대상으로 4개월간 CD 및 BCD를 공급한 성장 및 사료이용성 결과를 Table 2에 나타내었다. 최종체중, 증체율, 일간성장을 및 비만도는 실험구간 유의적인 차이는 없었다(P>0.05). 하지만 사료효율(FE)은 BCD 실험구가 CD 실험구보다 유의적으로 높았다(P<0.05). Yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* 및 참돔(*Pagrus major*) 사료 내 BSL 함량이 각각 22.3% 및 29.3%까지는 성장 및 사료이용성에 부정적인 영향 없이 첨가할 수 있는 것으로 보고되었다(Xiao et al., 2018; Takakuwa et al., 2022). 이와 반대로 터봇(*Psetta maxima*)은 사료 내 BSL 첨가량에 따라 성장이 감소하는 경향을 나타내었다(Kroeckel et al., 2012). 이와 같이 적정 첨가량 이상의 BSL의 첨가는 성장 및 사료이용성에 부정적인 영향을 미칠 수 있는데, 이는 유충 외골격 세포벽을 구성하는 키틴이 중요한 원인인 것으로 판단된다. 키틴은 천연 고분자 유기화합물로 어중에 따라 키틴의 이용성의 차이가 있기에 성장 및 사료이용성에 부정적인 영향을 나타낼 수 있다(St-Hilaire et al., 2007; Alegebeleye et

Table 2. Growth performance and biometric parameter of starry flounder *Platichthys stellatus* fed the experimental diets for 4 months¹

	Experimental diets ²	
	CD	BCD
IW (g/fish) ³	125.7±0.3	124.7±2.3
FW (g/fish) ⁴	315.3±0.9	323.7±3.2
WG (%) ⁵	150.9±0.5	159.8±4.0
SGR (%/day) ⁶	0.75±0.00	0.78±0.01
SUR (%) ⁷	97.9±0.6	97.9±0.5
FE (%) ⁸	84.1±0.8	89.4±1.6*
FCR ⁹	1.18±0.01	1.12±0.02
DFI (%) ¹⁰	0.81±0.00	0.78±0.01
CF (%) ¹¹	1.70±0.03	1.69±0.01

¹Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SE. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments. ²CD, commercial diet; BCD, contain black soldier fly larvae 7% in CD. ³IW (initial body weight; g/fish). ⁴FW (final body weight; g/fish). ⁵WG (weight gain)=(final body weight-initial body weight)×100/initial body weight. ⁶SGR (specific growth rate)=[(ln final fish weight - ln initial fish weight)]×100/days reared]. ⁷SUR (survival)=(final number of fish/initial number of fish)×100. ⁸FE (feed efficiency)=(wet weight gain/feed intake)×100. ⁹FCR (feed conversion ratio)=feed intake/wet weight gain. ¹⁰DFI (daily feed intake; %)=(feed intake×100)/[(initial body weight+final body weight+dead fish weight)×days/2]. ¹¹CF (condition factor; %)= [wet weight of fish/(length of fish)³]×100. *Indicate significant difference between groups (P<0.05). ND, Not detected.

al., 2012; Anvo et al., 2017; Sudha et al., 2022). 따라서 본 연구의 성장 및 사료이용성 결과를 고려하였을 때 강도다리 사료 내 BSL 7% 함량은 성장 및 생존율에 부정적인 영향이 없이 사료이용성을 개선시킬 수 있다고 판단된다.

사육실험 종료 후 강도다리 등근육의 일반성분, 지방산 및 구성아미노산 분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 일반성분 분석 결과 수분, 조단백질, 조지질 함량은 사료에 따른 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 회분 함량은 CD 실험구가 BCD 실험구보

Table 3. Dorsal muscle proximate, fatty acid and amino acid composition of starry flounder *Platichthys stellatus* fed the experimental diets for 4 months¹

	Experimental diets ²	
	CD	BCD
Proximate composition (% dry matter)		
Moisture	76.7±0.2	76.9±0.4
Crude protein	20.5±0.3	20.4±0.3
Crude lipids	1.0±0.1	0.9±0.1
Ash	1.51±0.01	1.57±0.02*
Major fatty acid composition (% of total fatty acids)		
C12:0	0.19±0.01	0.16±0.01
C14:0	3.46±0.02*	3.31±0.04
C16:0	19.08±0.10	18.99±0.12
C16:1	5.72±0.04	5.64±0.27
C18:0	3.54±0.00	3.58±0.09
C18:1n-9	17.90±0.15	17.35±0.59
C18:2n-6	6.68±0.03	6.58±0.13
C18:3n-3	1.75±0.02	1.80±0.05
C20:5n-3 (EPA)	11.56±0.00	11.79±0.19
C22:6n-3 (DHA)	12.91±0.02	13.28±0.21
DHA/EPA	1.12±0.00	1.13±0.01
Essential amino acid composition (% in protein)		
Arginine	5.99±0.11	6.03±0.13
Histidine	2.46±0.05	2.48±0.09
Isoleucine	4.63±0.11	4.69±0.15
Leucine	8.03±0.16	8.11±0.23
Lysine	9.31±0.15	9.25±0.24
Methionine + Cystine	2.25±0.01	2.29±0.23
Phenylalanine	4.13±0.01	4.08±0.16
Threonine	4.51±0.05	4.51±0.11
Valine	5.37±0.10	5.36±0.15

¹Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SE. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments. ²CD, commercial diet; BCD, contain black soldier fly larvae 7% in CD. *Indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 지방산 함량 분석 결과 C14:0을 제외한 모든 항목은 사료 종류에 따른 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). C14:0은 CD 실험구가 BCD 실험구보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 사료 내 DHA 함량, DHA/EPA 비율은 CD 사료가 BCD 사료보다 높았지만, 근육 내 DHA 함량 및 DHA/EPA 비율은 사료의 종류에 따른 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 넙치와 같은 해산어는 DHA 및 EPA와 같은 n-3계 고도불포화지방산이 필수지방산으로 알려져 있으며, 대상 어종의 성장, 사료이용성 및 어체 품질은 사료 내 지방산 조성에 영향을 미친다고 보고되었다(Acar and Tucker, 2018; Jeong et al., 2022). 넙치의 경우 요구량 이상의 EPA 및 DHA의 공급은 어류의 성장을 개선시키지 못한다고 보고되었다(Bell et al., 2003; Kim and Lee, 2004; Piedecausa et al., 2007; Aminikhoei et al., 2013; Kim and Lee, 2019). Lee et al. (2003)은 강도다리의 n-3 HUFA 요구량은 0.9% 라고 보고하였으며, 본 연구에서 사용된 CD 및 BCD는 지방산 요구량을 충족시켰기 때문에 성장, 근육 내 지방산 조성이 차이가 없었던 것으로 판단된다. BSL의 전체 지방산 조성 중 21–49%를 차지하는 C12:0 (lauric acid)은 향균, 항바이러스 등과 같은 효과에 대해서 보고된 바 있다(Thormar et al., 1987; Tran et al., 2015; Herdiyati et al., 2021; Suryati et al., 2023). 본 연구의 결과에서 BCD 사료의 공급에 따른 등근육 C12:0 함량의 변화는 관찰되지 않았다($P>0.05$). 이와는 반대로 jian carp 및 대서양연어 사료 내 BSL을 첨가한 사료를 공급할 경우 근육 또는 전어체에서 C12:0이 검출되는 것으로 보고되었다(Zhou et al., 2018; Belghit et al., 2019). 이러한 연구결과의 차이는 어종, 어체 크기 및 사육 환경에 따라 차이가 있을 것으로 판단되며, 이에 대해서는 추후 상세한 연구가 필요하다고 판단된다. 구성아미노산 분석 결과 분석된 모든 항목은 사료의 종류에 따른 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 따라서 아미노산 결핍에 따른 성장 저해 등의 여러 요소들을 배제할 수 있을 것이라 판단된다(Kim et al., 2013). 동애등어의 단백질 함량, 지방산 조성 등은 먹이원에 따라 영향을 받는 것으로 보고되었다(St-Hilaire et al., 2007; Barroso et al., 2014; Devic et al., 2018; Spranghers et al., 2017; Madibana et al., 2020). 따라서 BCD 제품의 품질 일관성을 위해서는 사용되는 곤충원료의 먹이원, 영양학적 품질(조단백질, 조지질 등)의 기준 확립이 필요하다고 생각된다.

사료종류에 따른 사료비용과 수익을 분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. 평균 사료공급량은 CD 및 BCD 각각 1,412 kg으로 동일하였으며 이에 따른 총 사료비용은 CD 및 BCD 각각 3,883,000원, 4,024,200원으로 BCD가 141,200원 더 많은 것으로 나타났다. Kg 당 사료비용은 CD 및 BCD 각각 1,797원, 1,814원으로 나타났다. 그러나 현재 시행중인 배합사료 직불제 정책을 적용하면 CD 및 BCD 각각 683,408원, 1,120,422원을 지원받게 된다. 따라서 직불금이 적용된 사료비용은 CD 및 BCD 각각 3,199,592원, 2,903,778원으로 BCD 사료비용

Table 4. Feed cost and revenue for feed types

Item description	Experimental diets ¹	
	CD	BCD
Production (kg)	2,161	2,218
Feed intake (kg)	1,412	1,412
Unit feed price (won/20 kg)	55,000	57,000
Total feed cost (won)	3,883,000	4,024,200
Feed cost of production (won/kg)	1,797	1,814
Subsidies (won)	683,408	1,120,422
Total feed cost after subsidies (won)	3,199,592	2,903,778
Feed cost of production after subsidies (won/kg)	1,481	1,309
Revenue (won)	23,771,000	24,398,000

¹CD, commercial diet; BCD, contain black soldier fly larvae meal 7% in CD.

이 295,814원 더 낮게 나타났으며, kg 당 사료비용은 CD 및 BCD 각각 1,481원, 1,309원으로 나타났다. 수익에 있어서는 성장도 차이로 인해 BCD가 CD보다 627,000원 더 높은 것으로 분석되었다.

본 연구를 통하여 CD와 BCD를 비교해보면, 성장도에 유의적 차이가 없으며 배합사료 직불금으로 CD보다 BCD 사료비용이 낮게 나타남에 따라 향후 어분가격이 상승할 경우 BCD로 대체가 가능한 것으로 판단된다. 더불어 BCD 공급 시 어류의 성장도 및 품질 향상에 대한 지속적인 연구를 통해 어가의 인식 개선이 필요하며, 향후 BCD 가격이 안정화된다면 양식 생산단가 절감으로 인해 경영 효율성 및 경제성 향상에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

본 연구에서는 강도다리 평균 양식기간인 10-12개월(NIFS, 2019)보다 짧은 4개월 간의 양식기간을 가정하여 분석한 결과로 전체 양식기간을 고려하지 못하였다. 또한 치어가 아닌 중간 육성어를 입식하여 양성한 결과로 치어부터 성어까지 양식할 경우의 성장도, 사료계수, 사료비용 등은 고려하지 못하여 연구 결과를 일반화하기에 한계점이 존재한다. 따라서 추후 연구에서는 어종별 전 양식기간을 고려한 현장사육실험을 통해 기존 양식장에서 사용되고 있는 CD 또는 생사료 대비 곤충사료에 대한 이용성 및 경제성 평가 연구가 요구된다. 이상의 결과로부터, 강도다리 사료 내 BSL을 7%까지 성장, 사료이용성, 어체 품질 및 수익성에 부정적인 영향 없이 첨가할 수 있을 것으로 판단된다. 추가적으로 강도다리 사료 내 BSL 적정 첨가량에 대해서는 추가적인 연구를 통해 구명해야 한다고 판단된다.

사 사

본 연구는 2023년도 국립수산물품질관리원 수산물품질연구사업(R2023036)의 지원으로 수행되었습니다.

References

Acar Ü and Türker A. 2018. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to unrefined peanut oil diets: Effect on growth performance, fish health and fillet fatty acid composition. *Aquac Nutr* 24, 292-299. <https://doi.org/10.1111/anu.12559>.

Alegbeleye WO, Obasa SO, Olude OO, Otubu K and Jimoh W. 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Aquac Res* 43, 412-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x>.

Aminikhoei Z, Choi J, Lee SM and Kim KD. 2013. Effects of different dietary lipid sources on growth performance, fatty acid composition and antioxidant enzyme activity of juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J World Aquacult Soc* 44, 716-725. <https://doi.org/10.1111/jwas.12070>.

Anvo MPM, Aboua BRD, Compaoré I, Sissao R, Zoungrana-Kaboré CY, Kouamelan EP and Toguyéni A. 2017. Fish meal replacement by *Cirina butyrospermi* caterpillar's meal in practical diets for *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquac Res* 48, 5243-5250. <https://doi.org/10.1111/are.13337>.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis. 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, VA, U.S.A.

Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A and Pérez-Bañón C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422-423, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>.

Belghit I, Liland NS, Gjesdal P, Biancarosa I, Menchetti E, Li Y, Waagbø R, Krogdahl Å and Lock EJ. 2019. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503, 609-619. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>.

Bell JG, McGhee F, Campbell PJ and Sargent JR. 2003. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): Changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". *Aquaculture* 218, 515-528. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00462-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00462-3).

Bergstrom CA. 2007. Morphological evidence of correlational selection and ecological segregation between dextral and sinistral forms in a polymorphic flatfish, *Platichthys stellatus*. *J Evol Biol* 20, 1104-1114. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2006.01290.x>.

Devic E, Leschen W, Murray F and Little DC. 2018. Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquac Nutr* 24, 416-423. <https://doi.org/10.1111/anu.12573>.

- Gougbedji A, Detilleux J, Lalèyè PA, Francis F and Caparros Megido R. 2022. Can insect meal replace fishmeal? A meta-analysis of the effects of black soldier fly on fish growth performances and nutritional values. *Animals* 12, 1700. <https://doi.org/10.3390/ani12131700>.
- Herdiyati Y, Astrid Y, Shadrina AA, Wiani I, Satari MH and Kurnia D. 2021. Potential fatty acid as antibacterial agent against oral bacteria of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguinis* from basil (*Ocimum americanum*): *in vitro* and *in silico* studies. *Curr Drug Discov Technol* 18, 532-541. <https://doi.org/10.2174/1570163817666200712171652>.
- Jeong SM, Khosravi S, Kim KW, Lee BJ, Hur SW, You SG and Lee SM. 2022. Potential of mealworm, *Tenebrio molitor*, meal as a sustainable dietary protein source for juvenile black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. *Aquac Rep* 22, 100956. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100956>.
- Kang DY, Kim WJ, Kim HC and Chang YJ. 2014. Influences of temperature and density on the feeding growth, and blind-side malpigmentation of fry starry flounder *Platichthys stellatus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 588-596. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0588>.
- Kim E and Lee SM. 2019. Effect of different dietary composition of linoleic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on the growth and fatty acid profile of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 49-58. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0049>.
- Kim GR, Lee IG and Kim BH. 2018. A study on stable supply plan of fish meal: A case study of livestock industry. *J Kor Fish Mar Edu* 30, 365-375. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.02.30.1.365>.
- Kim KD and Lee SM. 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 229, 315-323. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00356-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00356-9).
- 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 J Fish Aquat Sci* 46, 769-776. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0769>.
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2023. Fishery Production Trend Survey. KOSIS, Daejeon, Korea. Retrieved from <http://kosis.kr> on May 31, 2023.
- Kroeckel S, Harjes AG, Roth I, Katz H, Wuertz S, Susenbeth A and Schulz C. 2012. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute-Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364-365, 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>.
- Lee SM, Lee JH and Kim KD. 2003. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 225, 269-281. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00295-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00295-3).
- Li PY, Wang JY, Song ZD, Zhang LM, Zhang H, Li XX and Pan Q. 2015. Evaluation of soy protein concentrate as a substitute for fishmeal in diets for juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 448, 578-585. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.049>.
- Li S, Ji H, Zhang B, Zhou J and Yu H. 2017. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and asatopancreas histological structure. *Aquaculture* 477, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.015>.
- Madibana MJ, Mwanza M, Lewis BR, Fouché CH, Toefy R and Mlambo V. 2020. Black soldier fly larvae meal as a fishmeal substitute in juvenile dusky kob diets: Effect on feed utilization, growth performance, and blood parameters. *Sustainability* 12, 9460. <https://doi.org/10.3390/su12229460>.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2020. Control of Livestock and Fish Feed act. Retrieved from www.law.go.kr on Jul 25, 2023.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2023. Raise Income and Lower Cost with Eco-friendly Seafood Production. Retrieved from www.mof.go.kr on May 9, 2023.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2019. Technical Manual for the Starry Flounder Aquaculture. NIFS, Busan, Korea.
- Oonincx DG, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van den Brand H, van Loon JJA and van Huis A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS One* 5, 1-7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>.
- Piedecausa MA, Mazón MJ, García García B and Hernández MD. 2007. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture* 263, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.039>.
- Song MH, Lee HS and Park K. 2018. Effects of dietary animal feed on the growth performance of edible insects. *J Life Sci* 28, 563-568. <https://doi.org/10.5352/JLS.2018.28.5.563>.
- Song Z, Li H, Wang J, Li P, Sun Y and Zhang L. 2014. Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 426, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.002>.
- Sprangers T, Ottoboni M, Klootwijk C, Owyn A, Deboosere S, De Meulenaer B, Michiels J, Eeckhout M, De Clercq P and De Smet S. 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *J Sci Food Agric* 97, 2594-2600.

- <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>.
- St-Hilaire S, Sheppard C, Tomberlin JK, Irving S, Newton L, McGuire MA, Mosley EE, Hardy RW and Sealey W. 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. J World Aquac Soc 38, 59-67. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x>.
- Sudha C, Ahilan B, Felix N, Uma A and Prabu E. 2022. Effects of dietary protein substitution of fishmeal with black soldier fly larval meal on growth and physiological responses of juvenile striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. Aquac Res 53, 2204-2217. <https://doi.org/10.1111/are.15739>.
- Suryati T, Julaeha E, Farabi K, Ambarsari H and Hidayat AT. 2023. Lauric acid from the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and its potential applications. Sustainability 15, 10383. <https://doi.org/10.3390/su151310383>.
- Takakuwa F, Tanabe R, Nomura S, Inui T, Yamada S, Biswas A and Tanaka H. 2022. Availability of black soldier fly meal as an alternative protein source to fish meal in red sea bream (*Pagrus major*, Temminck & Schlegel) fingerling diets. Aquac Res 53, 36-49. <https://doi.org/10.1111/are.15550>.
- Thormar H, Isaacs CE, Brown HR, Barshatzky MR and Pessolano T. 1987. Inactivation of enveloped viruses and killing of cells by fatty acids and monoglycerides. Antimicrob Agents Chemother 31, 27-31. <https://doi.org/10.1128/aac.31.1.27>.
- Tran G, Heuzé V and Makkar HP. 2015. Insects in fish diets. Anim Front 5, 37-44. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0018>.
- Van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annu Rev Entomol 58, 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>.
- Xiao X, Jin P, Zheng L, Cai M, Yu Z, Yu J and Zhang J. 2018. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Aquac Res 49, 1569-1577. <https://doi.org/10.1111/are.13611>.
- Zhou JS, Liu SS, Ji H and Yu HB. 2018. Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). Aquacult Nutr 24, 424-433. <https://doi.org/10.1111/anu.12574>.