

# 뱀장어(*Anguilla Japonica*) 사료 내 껍질을 제거한 동애등에 분말의 급이 효과

박광식† · 김종주

†농업회사법인다음산업(주)(연구소장) · 농업회사법인다음산업(주)(대표)

## Effect of Dietary Supplementation of Peeled Black Soldier Fly for Eel *Anguilla Japonica*

Gwang-Sic PARK† · Jong-Ju KIM

†Daum Agricultural Industry(research director) · Daum Agricultural Industry(president)

### Abstract

The purpose of this research is to evaluate the effect of dietary supplementation of peeled black soldier fly (PBSF) powder on growth performance and survival rate under a stress test of the young eel *Anguilla japonica*. The diets were added with graded levels of PBSF powder by 0, 2 and 4% (designated as Con, PBSF2 and PBSF4 respectively). triplicate group of Young eel were hand-fed with one of the diets one times daily for 28 days. The survival of young eel exposed to anaerobic in a stress test was significantly higher in eel group fed PBSF2 and PBSF4 than that of eel fed the control diet. Growth performance of the eel were higher with the dietary PBSF2 than Control and PBSF4. Results indicated that dietary PBSF powder could be used as a functional supplement for improvements in stress resistance in young eel. The suggested dietary inclusion level of PBSF is approximately 2% for the eel.

**Key words** : Black soldier fly, Eel, Feeds

## I. 서론

최근 곤충박(insect meal)은 양식사료 내 어분을 대체하는 목적으로 연구가 수행되고 있으며 단백질, 비타민, 미네랄 같은 필수 영양소를 풍부하게 함유하고 있어(Motte et al., 2019) 어분을 대체하는 단백질원으로 연구되고 있다.

동애등에(*Hermetia illucens*)는 성충 한마리가 약 1000개의 알을 낳고, 유충 기간은 15~20일 정도로 유충을 상업적으로 활용하기 용이하고 유기성 폐기물의 처리에도 매우 유용한 특성을 가

지고 있어(Makker et al., 2014; Van Huis and Oonincx, 2017) 산업적으로 경제적인 어분 대체 원료로 보고되고 있다.

또한 탈지 동애등에는 단백질(3-59%)과 지질(17-49%)을 함유하고 있으며 아미노산 조성은 어분과 유사하다(Barroso et al., 2013; Shin et al., 2020). 따라서 동애등에의 양식 사료 내 사료원료로서의 영양적 가치를 규명하기 위한 연구는 착유한 동애등에 소재 연구에 집중되어왔다. 대서양연어(*Salmo salar*) (Belghit et al., 2018), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) (Renna et al., 2017:

† Corresponding author : 055-883-0406, du00@hanmail.net

\* 이 논문은 22년도 중소기업벤처기업부 과제번호 S3222584 해양폐식물(팽생이모자반)을 이용한 곤충의 양어용 고기능성 사료화 기술 개발 연구비에 의해 지원되었음

Dumas et al., 2018), 잉어(*Cyprinus carpio*) (Li et al., 2016), 방어(*Seriola quinqueradiata*) (Ido et al., 2021).

그러나 탈지 동애등에의 외골격에 존재하는 키틴(chitin)은 어류의 성장 및 단백질 이용 효율을 저해시키는 것으로 보고되고 있다(Ng et al., 2001). 동애등에 유충의 껍질에 존재하는 키틴은 소화되지 않고 단백질과 결합하여 소화율을 낮추는 역할을 한다(Longvah et al., 2011). 이러한 키틴의 작용은 육계에게 급여 시 단백질의 소화율을 감소시켜 성장률을 저하시킨다(Bovera et al., 2018; Dabbou et al., 2018). 따라서 동애등에의 외골격에 포함되는 키틴을 제거 한다면 사료 원료로서 동애등에의 영양적인 결합이 개선되어 긍정적으로 활용성이 확장될 것으로 사료된다.

라우릭산(Lauric acid)은 동애등에의 주요 지방산 중 하나이며 항균활성 물질로 전환되어 면역 기능에 도움을 주는 것으로 보고되어(Schlievert et al., 1992; Dayrit 2015) 다양한 작용을 통해 간접적으로 어류의 성장, 면역증진에 도움을 주는 것으로 알려져 있다.

국내에서 뱀장어는 2021년 15,700톤이 생산되어(Ministry of oceans and fisheries 2022) 국내에서 가장 많이 생산되는 담수 어종이지만 사료 내 곤충 소재를 활용한 연구결과는 제한적인 실정이다. 따라서 본 연구에서는 뱀장어를 대상으로 껍질을 제거한 동애등에 분말을 사용하여 뱀장어에 대한 사육실험을 통해 그 효과를 검증하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 사료

실험사료의 원료 조성 및 영양성분 분석 결과를 <Table 1>에 나타내었다. 실험에 사용한 동애등에 유충은 다음산업에서 자체 생산한 개체를 가공하여 사용하였다. 동애등에의 사육에 사용한

동애등에용 사료에는 음식물부산물 90%와 팽생이모자반(*Sargassum horneri*) 사일리지 10%를 혼합하여 사용하였다. 탈각 동애등에의 가공은 자체 제작한 스크류 압착기(TK-500)를 사용하여 고압으로 압착하여 껍질을 분리한 동애등에 추출물을 부형제와 1:1비율로 혼합 건조하여 껍질제거 동애등에분말(PSBF)을 제조 후 상업용 반죽 뱀장어 사료에 첨가하여 사용하였다.

실험구의 설정은 대조구(상업사료), 상업사료에 PSBF2% 및4% 첨가구의 3개 시험구를 설정하였다. 실험 사료의 조단백질 함량은 대조구가 48.1% PSBF2% 및 4% 첨가구에서 각각 47.9 및 47.7%를 나타내어 각 시험 구간별 유사한 결과를 나타내었다. 조지질 함량은 PSBF의 높은 지질 함량의 영향을 받아 대조구, PSBF2% 및 4% 첨가구에서 각각 7.2, 8.2 및 8.8%를 나타내었다. 모든 실험사료는 뱀장어에 급여 하기 직전 실험 사료 및 반죽용 혼합수 1 : 1.2의 비율로 혼합 반죽하여 공급했다.

### 2. 실험어 및 사육관리

실험에 사용된 뱀장어는 함평에 위치한 양어장에서 구입하였으며 비닐포장 후 산소를 폭기하여 하동 다음산업(주) 사육 시험 시설로 차량으로 이송하였다. 이송 후 3톤 순환여과식 원형수조에 사육시험 환경에 적응할 수 있도록 순치 및 예비 사육을 실시하였다.

예비 사육 후 사육시험 시작 평균무게 28g 전후의 뱀장어를 총 9개의 3톤 원형 수조에 각각 55마리씩 무작위로 선택하여 시험사료 구당 3반복이 되도록 배치하여 4주간 사육시험을 실시하였다. 각 시험수조는 순환여과식 시스템으로 여과조로부터 공급되는 사육수의 주수량은 100L/min으로 조절하였고 사육시험 동안의 평균 수온은 가온 히터를 사용하여 28~29℃로 설정하였다.

모든 시험수조에 공기발생기(aeration)를 설치하

여 충분한 용존 산소를 유지하였으며 급이 시간을 제외한 인공광 및 자연광은 차단했다. 실험 사료는 1일 1회 오전(9:00)에 먹이틀에 반죽 사료를 공급하고 1시간 후 남은 반죽 사료를 수거하여 급이량을 계산하였다.

### 3. 어체측정 및 성분분석

사육시험 4주 후, 증체율(weight gain; WG, %), 사료효율(feed conversion ratio; FCR) 및 생존율을 다음과 같은 계산식을 이용하여 조사하였다.

$$WR (\%) = \left[ \frac{\text{final wet weight (g)} - \text{initial wet weight (g)}}{\text{initial wet weight (g)}} \right] \times 100$$

$$FCR = \frac{\text{dry feed intake (g)}}{\text{wet weight gain (g)}}$$

$$\text{Survival rate (\%)} = \frac{\text{number of fish at harvest}}{\text{number of fish stocked}} \times 100$$

일반성분은 실험사료와 실험어의 전어체를 분석하였으며 AOAC(1995)의 방법에 따라 수분은 건조기를 이용하여 105°C에서 6시간 건조 후 계산하였다. 조단백질(N6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchii B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)으로 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였다. 조회분은 회화로에서 600°C로 4시간 동안 태운 후 남아 있는 재의 무게를 측정하여 계산하였다.

### 4. 가혹 환경하의 생존율 분석

사육시험 4주 후, 각 실험구별 3개의 수조에 각각 10마리의 뱀장어 실험어를 무작위로 선택하여 가로 세로 깊이(30 x 43 x 60cm)의 70L사각 수조에 1리터의 사육수를 주수 한 후 수용하여 산소 공급이 없는 환경에서 생존율을 6시간 간격으로 조사했다. 생존율 조사 기간 동안에는 사료 공급을 중단하고 사육수의 온도는 조절하지 않았다.

### 5. 통계처리

각각의 시험사료구의 배치는 완전확률계획법 (Completely randomized design)을 실시하고, 성장 및 분석결과의 통계 처리는 분산분석 후, Duncan's new multiple range test에 의해서 유의성 검정을 실시하였다( $p < 0.05$ ).

## Ⅲ. 연구 결과

4주간의 사육시험 종료 후 시험어의 성장 및 사료효율을 <Table 2>에 나타내었다. 사육시험 결과 PBSF2% 첨가구의 증체율이 대조구와 PBSF4% 첨가구 보다 유의적으로 높은 결과를 보였다( $P < 0.05$ ).

그러나 사료효율은 대조구와 유의적인 차이가 없었으며 PBSF4% 첨가구에서는 낮은 사료효율이 나타났다. 사료 내 PBSF 함량이 높게 첨가되었을 때, 사료 내에 필요 이상으로 공급된 지질은 뱀장어의 성장에 부정적인 영향으로 나타난 것으로 사료된다.

실험사료 및 사육실험 종료 후 전어체 내 지방산 중의 라우릭산(Lauric acid) 함량을 <Table 3>에 나타내었다. 라우릭산은 동애등에의 지질 중 높은 비율(20-50)을 차지하는 중쇄지방산 중 하나로 체내에 빠르게 흡수된다(stubbs and Harbron, 1996). 중쇄지방산은 대부분 에너지 대사과정에 바로 이용되어 체내에 축적되는 정도가 비교적 낮은 것으로 알려져 있다(Garlid et al., 1996).

본 연구에 사용된 실험사료에서는 상업사료 PBSF2% 및 PBSF4% 첨가구에서 각각 0, 6.0 및 13.7%였고 상업사료에서는 검출되지 않았다. 또한 사육실험 종료 후 전어체 내 라우릭산 함량은 상업사료 PBSF2% 및 PBSF4% 첨가구에서 각각 0.1, 1.3 및 1.4%의 지방산 중 함량을 나타내었다. 이 결과로부터 뱀장어 사료의 지방산 중 라우릭산 함량이 6%이상 공급되어도 뱀장어 체내에 더 이상 축적되지 않는 것으로 확인되었다.

사육시험 종료 후 스트레스 환경 하에서 뱀장어의 생존율을 [Fig. 1]에 나타내었다. 체내에 흡수된 라우릭산은 에너지원의 역할과 함께 세균과 바이러스에 대한 항균, 항생력(Kwon et al., 2016)을 가지고 있어 체내 면역력을 증강(Tassanakajon et al., 2013)시키는 역할을 한다.

또한 용존산소(DO)는 어류의 생존과 성장에 필수적인 요인으로 작용하고 있다(Dalla Via et al., 1998). (Wedemeyer 1976)은 연어과 어류 등 활동성이 높은 어류는 용존산소 5mg/L 이하에서 심각한 스트레스를 받으며(Seong and Kim 2007) 연어치어는 야간보다 용존산소가 급격히 하강하는 오전 및 주간에 폐사율이 5배 이상 높았다고 보고하고 있다.

용존산소가 제한된 극한적인 스트레스 환경에서 각 실험구의 뱀장어 시험어들에서 유의적인 폐사율의 차이가 나타났다( $P < 0.05$ ). 대조구에서는 실험 시작 후 3일(90시간)부터 폐사가 발생하여 5일(120시간) 경과 후 실험 뱀장어의 모든 개체가 폐사했다. 그러나 PBSF2%구에서는 5일(132시간) 경과 후 폐사가 발생하기 시작하여 7일(180시간) 후 모든 개체가 폐사했다. PBSF4%구는 5일(126시간) 경과 후 폐사가 발생하기 시작하여 7일(180시간) 경과 후 실험어의 모든 개체가 폐사하였다.

결과적으로 뱀장어의 체내에 축적된 라우릭산은 극한적 스트레스 조건하에서 대조구에 대비하여 전량 폐사 시간을 2.5일(60시간) 개선하는 결과를 나타내었다

#### IV. 결론

본 연구결과를 종합하면, 껍질을 제거한 동애 등에분말(PBSF)을 뱀장어 사료에 첨가하여 뱀장어의 증체율을 개선시킬 수 있으나 과다하게 공급된 라우릭산은 성장 개선에 부정적인 요소가 될 수 있으며 사료 내 PBSF의 적정 함량은 2% 이내 첨가가 적절할 것으로 사료되었다.

또한, PBSF의 지방산 중 라우릭산이 스트레스 환경하의 뱀장어의 생존기간을 개선하는데 긍정적인 요인으로 작용하지만 이 또한 사료 내의 지방산 중 라우릭산 함량 6% 이상은 스트레스 환경하의 폐사량 개선에 유의적인 의미가 없다고 사료되었다.

추후에는 사료용 대체 단백질 원료로 일반적으로 연구되고 있는 착유 후 껍질을 포함하는 동애 등에박의 이용성에 대한 평가를 통해 뱀장어에 대한 동애등에의 이용성을 개선시켜 나가야 할 것이다.

<Table 1> Formulation and proximate composition of the peeled black soldier fly powder and experimental diets (%)

Ingredient	PBSF*	Control Commercial diet	PBSF 2%	PBSF 4%
Commercial diet		100	98	96
PBSF		0	2	4
Proximate composition (%)				
Moisture	2.8	5.4	5.5	5.2
Crude protein	18.3	48.1	47.9	47.7
Crude lllipid	37.4	7.2	8.2	8.8
Crude ash	10.1	10.5	10.5	10.6

Values of proximate composition are presented as mean duplication

\*Peeled black soldier fly powder were provided by DAUM Agricultural Ind., Korea

<Table 2> Growth performance and feed utilization efficiency of eel fed the test diets after 4 weeks

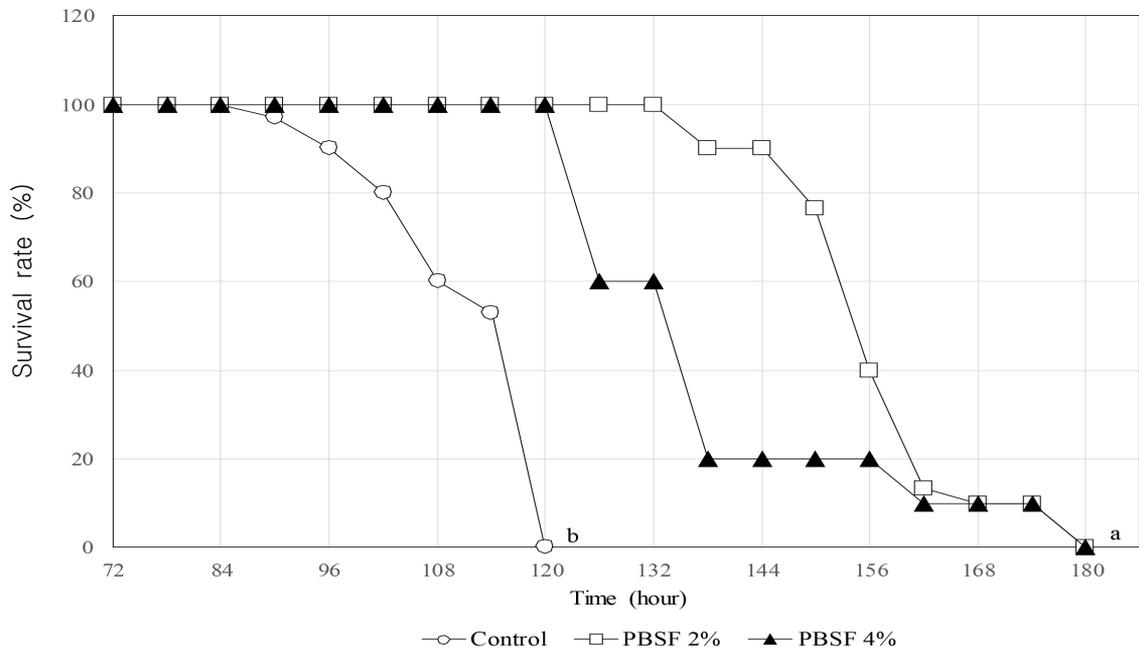
	IBW (g)	FBW (g)	WGR (%)	FCR	Survival (%)
Control	28.7 ± 0.7	39.7 ± 2.8 <sup>b</sup>	38.3 ± 1.5 <sup>b</sup>	1.44 ± 0.1	100
PBSF 2%	28.6 ± 0.9	42.1 ± 1.7 <sup>a</sup>	47.2 ± 2.3 <sup>a</sup>	1.46 ± 0.1	100
PBSF 4%	28.1 ± 0.3	38.8 ± 1.4 <sup>b</sup>	38.1 ± 1.2 <sup>b</sup>	1.48 ± 0.1	100

Values are means ± standard error(SE) of triplication. values in a same column with different superscript letters are significantly different(Duncan's test, P < 0.05). IBW are abbreviation for initial body weight and final body weight, respectively. Weight gain rate(WGR), feed conversion ratio(FCR) and survival were calculated using the following formula : WGR(%) = [(final wet weight(g) - initial wet weight(g)) / initial wet weight(g)] × 100. FCR = dry feed intake(g) / wet weight gain(g). Survival rate(%) = number of fish at harvest / number of fish stocked × 100.

<Table 3> Lauric acid content in fatty acid(%) in test diets and whole body of eel after 4 weeks

	Test diet			Whole body		
	Control	PBSF 2%	PBSF 4%	Control	PBSF 2%	PBSF 4%
Lauric acid	0	6.0 ± 0.1 <sup>b</sup>	13.7 ± 0.5 <sup>a</sup>	0.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	1.3 ± 0.18 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.1 <sup>a</sup>

Values are means ± standard error(SE) of triplication. values in a same column with different superscript letters are significantly different(Duncan's test, P < 0.05).



[Fig. 1] Survival curves of young eel under anaerobic in a stress test after the 4 weeks feeding trial (means of triplicate) (Different letters within the same elapsed time indicated the significant differences among the experimental diets at the significance level of p<0.05).

## References

- AOAC(1995). Official methods of analysis. Association of the Official Analytical Chemists, Arlington.
- Barroso, F. G.; de Haro, C. ; Sánchez-Muros, M-J. ; Venegas, E. ; Martínez-Sánchez, A. ; 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, Waagbo R, Biancarosa I, Pelusio N, Li Y, Krogdahl A and Lock EJ(2018). Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 491, 7281.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016>
- Bovera F, Loponte R, Pero ME, Cutrignelli MI, Calabrò S, Musco N, Vassalotti G, Panettieri V, Lombardi P, Piccolo G, Di Meo C, Siddi G, Fliegerova K, Moniello G. (2018). Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae. *Research in Veterinary Science* 120, 86~93.  
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.09.006>
- Dabbou S, Gai F, Biasato I, Capucchio MT, Biasibetti E, Dezzutto D, Meneguz M, Plachà I, Gasco L, Schiavone A(2018). Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 9, 1~10.  
<https://doi.org/10.1017/S1751731119000685>
- Dalla Via J, Villani P, Gasteiger E and Niederstätter H(1998). Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquacult* 169, 303~313.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00375-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00375-5)
- Dayrit FM(2015). The properties of lauric acid and their significance in coconut oil. *J Am Oil Chem Soc* 92, 1~15.  
<https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
- Dumas A, Raggi T, Barkhouse J, Lewis E and Weltzien E(2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 492, 24~34.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>.
- Garlid KD, Orosz DE, Modriansk M, Vassanelli S and Jezek P(1996). On the mechanism of fatty acid-induced proton transport by mitochondrial uncoupling protein. *J Biol Chem* 39 271:26152620.
- Ido A, Ali MFZ, Takahashi T, Miura C and Miura T(2021). Growth of Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fed on a diet including partially or completely defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Insects* 12, 722.  
<https://doi.org/10.3390/insects12080722>.
- Kwon MG, Seo JS, Youn HJ, Park CI, Jeong JM and Bae JS(2016). Effect of the polychaete antimicrobial peptide as feed additives on olive flounder and black rockfish immune activity. *JFMSE* 28, 1640~1650.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE/2016.28.6.1640>
- Li S, Ji H, Zhang B, Tian J, Zhou J and Yu H(2016a). Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture* 465, 43~52.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.020>.
- Longvah T, Mangthya K, Ramulu P.(2011). Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricini*) prepupae and pupae. *Food Chemistry* 128, 400~403  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.041>.
- Makkar HPS, Tran G, Heuz V and Ankers P(2014). State-of-the-art-on-use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol*, 197, 1~33.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- Ministry of oceans and fisheries, Fishery aquaculture production survey.  
<https://www.mof.go.kr/statPortal/cate/statView.do>
- Motte C, Rios A, Lefebvre T, Do H, Henry M and Jintasataporn O(2019). Replacing fish meal with

- defatted insect meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) improves the growth and immunity of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Animals* 9, 258.  
<https://doi.org/10.3390/ani9050258>
- Ng WK, Liew FL, Ang LP and Wong KW(2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquacult res* 32, 273~280.  
<https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x>
- Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, Biasato I, Biasibetti E, De Marco M, Brugiapaglia A, Zoccarato I and Gasco L(2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *J Anim Sci Biotechnol* 8, 57.  
<https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>
- Schlievert PM, Deringer JR, Kim MH, Projan SJ and Novick RP(1992). Effect of glycerol monolaurate on bacterial growth and toxin production. *Antimicrob Agent Chemother* 36, 626~631.  
<https://doi.org/10.1128/aac.36.3.626>
- Shin J, Jo S, Ko D and Lee KJ(2020). Replacing fish meal with black soldier fly larvae and mealworm larvae in diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Korean J Fish. Aqua Sci* 53. 900~908.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0900>
- Seong KB and Kim JK(2007). The relationship between environmental conditions and growth of chum salmon Fingerlings. *J Kor Soc Oceanography* 12, 81~85.  
<https://doi.org/10.5322/JESI.2020.29.9.885>
- Stubbs RJ and Harbron CG(1996). Covert manipulation of the ratio of medium-to long-chain triglycerides in isoenergetically dense diets: effect on food intake in ad libitum feeding men. *Int J Obes* 20:435444.
- Tassanakajon A, Somboonwiwat K, Supungul P and Tang S(2013). Discovery of immune molecules and their crucial functions in shrimp immunity. *Fish Shellfish Immunol* 34, 954~967.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.09.021>
- Van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G and van tone P(2013). Edible Insects. Future Prspects for Food and Feed Security. FAO report, 171.
- Wedeneyer GA(1976). Physiological response of juvenile coho salmon(*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout(*Salmo gairdneri*) to handling and crowding stress in intensive fish culture. *J of the Fisheries Board of Canada* 33, 12.  
<https://doi.org/10.1139/f76-320>
- 
- Received : 14 July, 2023
  - Revised : 29 August, 2023
  - Accepted : 05 September, 2023