



메기 사료 내 어분대체 동물성 단백질원으로써 동애등에의 평가

김수환 · 배철호 · 윤지현 · 심 준 · 한현섭[†]
군산대학교(학생) · [†]군산대학교(교수)

Evaluation of Black Soldier Fly Meal as a Dietary Animal Protein Source Replacing Fish Meal in Korean Catfish *Silurus asotus*

Soohwan KIM · Cheol-Ho BAE · Ji-Hyeon YUN · Jun SIM · Hyon-Sob HAN[†]
Kunsan National University(student) · [†]Kunsan National University(professor)

Abstract

We evaluated the dietary black soldier fly meal (BSFM) as a fish meal (FM) replacer based on growth, biological indices and composition of whole body, viscera and liver in Korean catfish, *Silurus asotus*. Three experimental diets contained the protein sources as 40% FM as control (FM), 35% FM + 5% BSFM (FM + BSFM) and 20% FM + 35% dehulled soybean meal (FM + SBM). Each group of 112 fish with an average initial body weight of 85.2 ± 5.0 g (mean ± SD) were randomly distributed into 9 tanks (1,500-L each) in triplicates and fish were fed twice a day with one of the 3 experimental diets for 10 weeks. At the end of feeding trial, weight gain and specific growth rate of fish fed the FM+BSFM diet were significantly higher than that of fish fed the FM+SBM, but not significantly different from that of fish fed the FM diet. The composition of whole body, viscera and liver and biological indices were not significantly different between FM and FM + BSFM. The results of this study suggest that BSFM can be a good animal protein source and can be used substitute for fish meal up to 12.5% in diet.

Key words : Korean catfish, Protein source, Black soldier fly meal, Growth performance

I. 서론

어분은 양어용 배합사료의 주요 동물성 단백질 원으로서 우수한 아미노산 조성, 필수지방산, 높은 비타민과 미네랄 등을 함유하고 있다(Xie et al., 2019). 그러나, 최근 세계적으로 어분의 공급이 일정하지 않고 원료의 가격이 지속적으로 증가하는 추세에 있어 국제적인 배합사료 생산에 가장 큰 문제로서 대두되고 있다(Hassaan et al., 2019). 어분의 가격 상승과 불안정한 공급에 따라

상대적으로 저렴한 가격의 대두박 및 콘글루텐 등과 같은 식물성 단백질원이 어분 대체 원료로서 연구되고 있으며, 지속가능한 양식용 배합사료의 원료로서 기대되어 왔다(Biswas et al., 2019; Bu et al., 2018). 그러나, 식물성 단백질원은 어류 성장에 필수적인 필수아미노산이 부족하고, 필수 지방산 및 타우린의 결핍과 항영양인자로 인하여 배합사료 이용성에 문제점을 가지고 있다(de Moura et al., 2019; Voorhees et al., 2018).

어분을 대체할 새로운 동물성 단백질원으로서

[†] Corresponding author : 063-469-1834, smartfish@kunsan.ac.kr

* 이 논문은 군산대학교 신입교수 연구과제 연구비 지원사업(2018년)에 의해 연구되었음.

곤충분은 어획에 의존하여 생산하는 어분과 달리 사육이 가능하고, 심각한 환경문제로서 대두되고 있는 음식물 부산물과 축산 분뇨를 먹이 공급원으로 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한 곤충분이 함유하고 있는 높은 함량의 메티오닌, 류신은 어류 성장에 필수적인 아미노산이므로 어분을 대체할 새로운 단백질 공급원으로서 적합한 것으로 나타나고 있다(Rumpold et al., 2018; Sánchez-Muros et al., 2014).

이러한 곤충분 중에서 동애등에(*Pecticus tenebrifer*) 유충은 커피콩 음식물 쓰레기에서 높은 밀도로 발생하여 음식물쓰레기 처리능력이 탁월할 뿐만 아니라 처리과정에서 악취가 적고, 상업적으로 사용하면 분뇨 및 기타 유기 폐기물과 관련된 여러 환경 문제를 해결할 수 있으며 국내에서는 연중 대량 증식기술이 세계 최초로 개발되어 어분을 대체할 수 있는 지속가능한 단백질 원으로 기대되고 있다(Kim et al., 2019). 곤충분 생산 과정에서 부산물인 곤충유 또한 리놀레산과 같은 불포화지방산을 다량 함유하고 있어 사료 내 지방원으로 활용 가능할 것으로 보고되고 있다(Li et al., 2016).

메기(*Silurus asotus*)는 한국에서 양식 생산량이 지속적으로 증가하고 있으며, 상업적으로 중요한 담수 양식어종 중 하나이다. 2017년 5,300톤이 생산되어 내수면 양식 생산량에서 뱀장어(11,100톤) 다음으로 많은 양이 생산되고 있다(Statistics Korea, 2018). 메기용 실용사료에 관한 기초연구가 보고되고 있으나, 메기 사료 내에 곤충소재를 활용한 배합사료 연구에 대해서는 제한적인 실정이다.

따라서, 본 연구는 국내 양식어종인 메기를 대상으로 곤충소재(동애등에) 배합사료의 조성비를 확립하고 어분대체의 가능성을 검증하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 사료

실험사료의 원료조성과 영양성분 분석 결과를 <Table 1>에 나타내었다. 실험에 사용된 3개의 실험사료는 조단백질 46.3% 및 조지방 8.5%로 조성되었으며, 국립수산과학원 사료연구센터에서 제조하여 사육시험에 사용하였다. 실험사료의 단백질 조성은 모든 실험구에 칠레산 어분과 탈피대두박을 첨가하였고, 칠레산 어분을 40% 첨가한 어분 주체 사료를 대조구(FM)로 하였으며, 칠레산 어분 35%에 동애등에 곤충분을 5% 혼합한 FM+BSFM 실험구, 칠레산 어분 20%에 탈피대두박 35%를 첨가한 FM+SBM 실험구를 설정하였다. 지질원으로 대두유가 이용되었으며, FM+BSFM 실험구에는 곤충유를 대두유 대비 0.5% 첨가하여 대두유를 대체하였다. 모든 사료원을 상업용 믹서기를 사용하여 혼합 후, 압출성형기(ATX-2, Fesco, Pohang, Korea)로 성형한 extruded pellet (EP) 형태의 부상사료를 제작하여 사용하였다.

2. 실험어 및 사육관리

실험에 사용된 메기는 논산에 위치한 양어장에서 구입하였으며, 활어운반 차량으로 군산대학교 사육시험 시설로 이송하였다. 이송 후 1.5톤 원형수조에서 사육시험환경에 적응할 수 있도록 순치 및 예비사육을 실시하였다. 예비사육 후, 메기(초기평균무게 85.2g)는 총 9개의 1,500 L 원형수조에 각각 112마리씩 무작위로 선택하여 시험 사료 구당 3반복이 되도록 배치하여 10주간 사육시험을 실시하였다. 각 실험수조는 순환여과식 시스템으로 사육수의 주수량은 45 L/min으로 조절되었고, 사육실험 동안의 평균 수온은 20~21℃ 이었다. 모든 시험수조에 공기발생기(aeration)를 설치하여 충분한 용존산소를 유지하였으며 광주기는 형광등을 이용하여 12L: 12D 조건으로 유지되었다. 실험사료는 1일 2회(9:00, 17:00)에 나누어 실험어가 사료를 섭이하지 않을 때까지 만복으로 공급하였다.

<Table 1> Formulation and proximate composition of the experimental diets (%)

Ingredient	FM	FM+BSFM	FM+S BM
Chilean anchovy meal (FM)	40.0	35.0	20.0
Black soldier fly meal (BSFM) *	-	5.0	-
Wheat gluten	5.0	6.5	10.6
Dehulled soybean meal (SBM)	15.7	15.7	35.0
α -Starch	9.8	8.5	2.87
Wheat flour	20.0	20.0	20.0
Vitamin C	0.5	0.5	0.5
Vitamin E	0.5	0.5	0.5
Mineral premix 1	1.0	1.0	1.0
Vitamin premix 2	1.0	1.0	1.0
Calcium phosphate dibasic	0.5	0.5	0.5
Choline chloride	0.5	0.5	0.5
Black soldier fly oil *	-	0.5	-
Soybean oil	5.5	4.8	7.0
α -Cellulose	-	-	0.53
Proximate composition (%)			
Moisture	3.7	4.4	4.3
Crude protein	46.5	46.1	46.2
Crude lipid	8.7	8.7	8.0
Crude ash	9.9	9.7	7.9

Values of proximate composition are presented as means of duplication. * Black soldier fly meal and oil were provided by CIEF, Inc., Korea. ¹ Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): NaCl, 43.3; MgSO₄·7H₂O, 136.5; NaH₂PO₄·2H₂O, 86.9; KH₂PO₄, 239; CaHPO₄, 135.3; Ferric citrate, 29.6; ZnSO₄·7H₂O, 21.9; Ca-lactate, 304; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0. ² Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003.

3. 어체측정 및 성분분석

사육시험 10주 후, 증체율(weight gain; WG, %), 일간성장율(specific growth rate; SGR, %), 사료효율(feed conversion ratio; FCR) 및 생존율(survival rate, %)을 다음과 같은 계산식을 이용하여 조사하였다.

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

$$SGR (\%) = \left\{ \log_e \text{ final wet weight (g)} - \log_e \text{ initial wet weight (g)} \right\} \times \text{days}^{-1} \times 100$$

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

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

일반성분은 실험사료와 실험어의 간, 내장 및 전어체를 분석하였으며, 생물지표 분석을 위해 시료 채취한 실험어(n = 5)의 간과 내장을 사용하였고, 성장호르몬 분석을 위해 시료 채취한 실험어(n = 5)를 전어체 분석에 사용하였다. AOAC (1995)의 방법에 따라 수분은 건조기를 이용하여 105oC에서 6시간 건조 후 계산하였다. 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Swizerland)으로 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였다. 조회분은 회화로에서 600oC로 4시간 동안 태운 후 남아 있는 재의 무게를 측정하여 계산하였다.

4. 생물지표 분석

사육시험 종료 후 실험어의 생물지표를 측정하기 위해 수조마다 5마리를 무작위로 시료 채취하여 수용성 마취제인 MS-222를 200ppm 농도로 희석된 담수에서 약 2분간 마취하였다. 마취한 실험어는 향문을 따라 머리 윗부분까지 절단하여 즉사시켰으며, 어체무게, 체장, 내장무게, 간무게, 소화관무게를 측정하였다. 각 측정값은 비만도

(Condition factor; CF, %), 내장증량지수 (Viscerosomatic index; VSI, %), 간증량지수 (Hepatosomatic index; HSI, %), 소화관증량지수 (Digestive tract index; DTI, %)의 생물지표 계산에 사용되었다. 생물지표는 아래의 계산식을 이용하였다.

$$CF = [\text{wet weight (g)/total length}^3(\text{cm}) \times 100$$

$$VSI (\%) = [\text{wet weight of viscera (g)/wet weight (g)} \times 100$$

$$HSI (\%) = [\text{wet weight of liver (g)/wet weight (g)} \times 100$$

$$DTI (\%) = [\text{wet weight of digestive tract (g)/wet weight (g)} \times 100$$

5. 통계처리

시험사료의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized design)을 실시하고, 성장 및 분석결과는 SPSS (IBM SPSS 19 software package) 프로그램을 이용하여 one-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's test ($P < 0.05$)로 비교되었다. 데이터는 평균값 ± 표준편차 (mean ± SD)로 나타내었다.

Ⅲ. 연구 결과

10주간의 사육시험 종료 후 시험어의 성장 및 사료효율을 <Table 2>에 나타내었다. 사육시험 결과, FM 실험구와 FM+BSFM이 첨가된 사료를 공급한 실험구의 증체율, 일간성장률 및 사료효율이 FM+SBM 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 높은 결과를 보였다($P < 0.05$). 최종무게에서는 곤충분이 첨가된 FM+BSFM 그룹(147.5g)이 가장 성장이 높게 나타났으나, 초기 무게의 차이를 고려한 이전 연구결과를 참고하여 증체율 및 일간성장률을 토대로 성장 결과를 도출하였다 (Al-asgah et al., 2016). Yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*를 대상으로 사료 내 어분을 거저리

(mealworm *Tenebrio molitor*)로 대체하여 5주간 공급하였을 때, 성장에 부정적인 영향을 주지 않으면서 어분의 75%를 대체할 수 있다고 보고하였다(Su et al., 2017). 본 실험과 유사하게 어유를 첨가하는 대신에 대두유를 첨가하였으며, 곤충분에는 어류의 성장과 대사에 중요한 역할을 하는 고도불포화지방산(high unsaturated fatty acid)이 다량 함유되어 있으므로, 성장에 긍정적인 영향을 미친 것으로 사료된다(Su et al., 2017). African catfish *Clarias gariepinus*를 대상으로 7주 간 어분을 거저리로 대체하여 공급할 경우, 40%까지 어분 대체가 가능하며, 사료유인성 또한 곤충분 첨가로 인하여 향상될 수 있다고 보고되었다(Ng et al., 2001). 곤충분은 메기의 성장에 필요한 필수 아미노산 및 미량원소가 풍부하기 때문에 어분의 일부를 대체하여도 성장에 부정적인 영향을 주지 않은 것으로 사료된다(Ng et al., 2001; Su et al., 2017). 그러나 사료 내에 곤충분의 함량이 높게 첨가되어 어류에 공급될 경우, 곤충 외골격에 존재하는 키틴으로 인하여 어류의 성장 및 단백질 이용 효율을 감소시킨 것으로 나타났다(Ng et al., 2001). 키틴은 poly-b, 4-N-acetyl-glucosamine으로 셀룰로오스와 유사한 생체 고분자로서 일반적인 용매에는 녹지 않는 것으로 알려져 있으며, 이와 유사한 결과는 틸라피아와 터봇을 대상으로 한 실험에서도 나타났으며, 사료 내에 일정량의 키틴 또는 곤충분 내의 키틴으로 인하여 어류의 소화율이 감소함에 따라 성장이 저하되는 것으로 보고되었다(Kroeckel et al., 2012; Shiau and Yu, 1999). 이와 달리 본 연구에서는 대조구와 비교하였을 때, 사료 내에 동애등에분이 첨가되어도 성장에 부정적인 영향이 나타나지 않았다. Kroeckel et al.(2012)의 연구에서는 터봇의 증장에서 키틴 가수분해 효소인 키틴나아제와 키틴용해성 활성 세균이 발견되지 않았지만, African catfish의 내장에는 키틴을 분해할수 있는 효소인 키틴나아제를 생성하는 박테리아가 발견된 것으로 보고되었다 (Ajayi et al., 2016). 본 연구 결과와 이전의 연구

결과들을 종합하였을 때, 곤충분이 사료 내에 소량으로 첨가될 경우 어류의 성장에 부정적인 영향을 주지 않으면서 긍정적인 효과를 줄 수 있을 것으로 사료되며 또한 어중에 따라 곤충분에 함유된 키틴을 분해하는 능력이 다르므로 추후, 국내산 메기의 곤충분 첨가 비율에 따른 성장과 키틴과의 연관성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

실험어의 전어체, 내장 및 간의 일반성분 분석 결과를 <Table 3>에 나타내었다. 전어체의 일반성분은 모든 항목에서 실험구간 내 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 전어체 내 조단백질 및 조지방의 범위는 각각 15.1~15.6 및 8.8~10.8로 나타났다. 실험어 내장의 조단백질 함량은 FM+BSFM 실험구가 FM+SBM 실험구와 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). 내장의 조지방의 경우 FM+BSFM 및 FM+SBM 실험구가 FM 실험구보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). 실험어 내장 내 조단백질 및 조지방의 범위는 각각 14.4~15.7 및 2.2~2.7로 나타났다. 실험어 간의 일반성분은 모든 항목에서 실험구간 내 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 실험어 간 내 조단백질 및 조지방의 범위는 각각 11.4~11.9 및 1.3~1.7로 나타났다.

사육시험 후 실시한 실험어의 생물지표 분석결과는 <Table 4>에 나타내었다. 비만도, 내장중량

지수 및 간중량지수는 모든 그룹에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 비만도, 내장중량지수, 간중량지수의 범위는 각각 0.68~0.71, 7.06~7.52 및 2.83~2.92로 나타났다. 이번 연구결과와 달리 darkbarbel catfish *Tachysurus vachellii*를 대상으로 사료 내에 어분, 구더기분, 대두박을 각각 첨가하여 6주간 공급하였을 때, 어분만을 첨가한 시험구가 곤충분 또는 대두박을 첨가한 사료를 공급한 그룹에 비해 유의적으로 높은 비만도, 내장중량지수 및 간중량지수가 나타났다(Dong et al., 2013). 따라서, 곤충분의 종류에 따라 상이한 결과를 보일 수 있으므로 이와 관련하여 곤충종류별 소화생리학적 특성을 구명하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 소화관중량지수의 경우, FM+SBM이 첨가된 사료를 섭취한 시험어가 FM+BSFM 실험구를 섭취한 시험어보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). Starry flounder *Platichthys stellatus*를 대상으로 사료 내 지방함량 비율을 달리하여 8주간 공급한 결과, 사료 내 지방함량비율이 높을수록 소화관중량지수는 감소하는 경향을 보였다(Wang et al., 2015). 추가적으로, 본 실험에서 사료 내 지방 비율은 유사했지만, FM+SMB 사료를 섭취한 시험구의 내장 내 조지방의 함량이 가장 높게 측정된 것으로 보아, 대두박이 소화관 내 중량지수에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

<Table 2> Growth Performance and Feed Utilization Efficiency of Korean Catfish Fed the Test Diets During Rearing Period

	IBW (g)	FBW (g)	WGR (%)	SGR (% day ⁻¹)	FCR	Survival (%)
FM	79.2 ± 3.5	134.2 ± 5.8	69.5 ± 0.9 ^a	0.76 ± 0.01 ^a	1.39 ± 0.07	89.0 ± 1.9
FM+BSFM	88.1 ± 1.2	147.5 ± 2.0	67.4 ± 3.1 ^a	0.75 ± 0.03 ^a	1.43 ± 0.04	93.8 ± 0.5
FM+SBM	88.2 ± 2.7	131.1 ± 4.0	48.7 ± 2.7 ^b	0.57 ± 0.03 ^b	1.60 ± 0.08	94.6 ± 1.4

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

<Table 3> Whole Body, Viscera and Liver Composition of Korean Catfish Fed the Test Diets for 10 Weeks (wet-weight, %)

	FM	FM+BSFM	FM+SBM
Whole carcass			
Moisture	69.9 ± 0.1	70.4 ± 1.4	71.4 ± 1.0
Crude protein	15.5 ± 0.4	15.1 ± 0.2	15.6 ± 0.4
Crude lipid	10.8 ± 1.5	10.1 ± 0.7	8.8 ± 0.8
Crude ash	2.4 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.4 ± 0.3
Viscera			
Moisture	80.2 ± 0.5	79.5 ± 0.8	80.2 ± 0.4
Crude protein	15.1 ± 0.1 ^{ab}	15.7 ± 0.3 ^a	14.4 ± 0.5 ^b
Crude lipid	2.3 ± 0.3	2.2 ± 0.5	2.7 ± 0.5
Crude ash	1.0 ± 0.0 ^b	1.2 ± 0.1 ^a	1.2 ± 0.0 ^a
Liver			
Moisture	72.4 ± 0.5	72.5 ± 0.5	73.4 ± 1.1
Crude protein	11.9 ± 0.2	11.4 ± 0.3	11.6 ± 0.3
Crude lipid	1.4 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.7 ± 0.4
Crude ash	1.3 ± 0.0	1.2 ± 0.0	1.3 ± 0.0

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

<Table 4> Biological Indices of Korean Catfish Fed the Test Diets for 10 Weeks

	CF	VSI (%)	HSI (%)	DTI (%)
FM	0.71 ± 0.01	7.30 ± 0.12	2.92 ± 0.04	2.82 ± 0.13 ^{ab}
FM+BSFM	0.69 ± 0.00	7.06 ± 0.26	2.83 ± 0.21	2.70 ± 0.09 ^b
FM+SBM	0.68 ± 0.02	7.52 ± 0.11	2.86 ± 0.05	3.35 ± 0.18 ^a

Values are means ± standard error (SE) of triplication. Values in a same column with different superscript letters are significantly different (Duncan's test, $P < 0.05$). Condition factor (CF), viscerosomatic index (VSI), hepatosomatic index (HSI), and digestive tract index (DTI) were calculated using the following formula: $CF = [\text{wet weight (g)}/\text{total length}^3(\text{cm})] \times 100$. $VSI (\%) = [\text{wet weight of viscera (g)}/\text{wet weight (g)}] \times 100$. $HSI (\%) = [\text{wet weight of liver (g)}/\text{wet weight (g)}] \times 100$. $DTI (\%) = [\text{wet weight of digestive tract (g)}/\text{wet weight (g)}] \times 100$.

IV. 결론

본 연구결과를 종합하였을 때, 메기용 배합사료의 어분대체 원료로서 동애등에는 이용가능성이 높은 것으로 사료되며, 사료 내 동애등의 5% 이내 첨가는 메기의 성장과 생물학적 지수 및 어체 구성성분에 부정적인 영향을 끼치지 않을 것으로 사료된다. 또한, 동애등예분을 상업적으로 사용하면 유기 폐기물과 관련된 환경문제를

개선하여 친환경 배합사료 원료로 활용 가능할 것으로 사료되며, 추후 국내산 메기의 곤충분 첨가 비율에 따른 성장과 키턴과의 연관성에 대한 연구 등을 통하여 곤충분을 활용한 메기용 배합사료 연구를 개선시켜 나가야 할 것이다.

References

Ajayi AA, Onibokun EA, George FOA and Atolagbe OM(2016). Isolation and Characterization of

- Chitinolytic Bacteria for Chitinase Production from the African Catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Research Journal of Microbiology, 11(4-5), 119~125. <https://doi.org/10.3923/jm.2016.119.125>
- Al-Asghar NA, Younis ESM, Abdel-Warith AWA and Shamlol FS(2016). Evaluation of red seaweed *Gracilaria arcuata* as dietary ingredient in African catfish, *Clarias gariepinus*. Saudi journal of biological sciences, 23(2), 205~210. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.11.006>
- AOAC(1995). Official methods of analysis. Association of the Official Analytical Chemists, Arlington.
- Biswas A, Araki H, Sakata T, Nakamori T and Takii K(2019). Optimum fish meal replacement by soy protein concentrate from soymilk and phytase supplementation in diet of red sea bream, *Pagrus major*. Aquaculture, 506, 51~59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.023>
- Bu X, Lian X, Zhang Y, Chen F, Tang B. Ge, X and Yang Y(2018). Effects of replacing fish meal with corn gluten meal on growth, feed utilization, nitrogen and phosphorus excretion and IGF I gene expression of juvenile *Pseudobagrus ussuriensis*. Aquaculture research, 49(2), 977~987. <https://doi.org/10.1111/are.13545>
- De Moura LB, Diógenes AF, Campelo DAV, de Almeida FLA, Pousão-Ferreira PM, Furuya WM, Peres H and Oliva-Teles A(2019). Nutrient digestibility, digestive enzymes activity, bile drainage alterations and plasma metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) feed high plant protein diets supplemented with taurine and methionine. Aquaculture, 734231. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734231>
- Dong GF, Yang YO, Song XM, Yu L, Zhao TT, Huang GL, Hu ZJ and Zhang JL(2013). Comparative effects of dietary supplementation with maggot meal and soybean meal in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli*): growth performance and antioxidant responses. Aquacult nutr 19, 543~554. <https://doi.org/10.1111/anu.12006>
- Hassaan MS, El-Sayed, AIM, Soltan MA, Iraqi MM, Goda AM, Davies SJ, El-Haroun ER and Ramadan HA(2019). Partial dietary fish meal replacement with cotton seed meal and supplementation with exogenous protease alters growth, feed performance, hematological indices and associated gene expression markers (GH, IGF-I) for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 503, 282~292. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.009>
- Kim TH, Choi IH and Chung TH(2019). Effect of *Ptecticus Tenebrifer* extract on the growth of juvenile *Litopenaeus vannamei* and water quality. J environ sci int 28, 1~6. <https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.1.1>
- 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, 345~352. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>
- Li S, Ji H, Zhang B, Tian J, Zhou J and Yu H(2016). 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>
- 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>
- Rumpold BA, Speckmann H, Schlüter O, Kloas W and Prochnow A(2018). Potentials of a biogenic residue-based production of *Hermetia illucens* as fish meal replacement in aquafeed for *Oncorhynchus mykiss* in Germany. Journal of Insects as Food and Feed, 4(1), 5~18. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0060>
- Sánchez-Muros MJ, Barroso FG and Manzano-Agugliaro F(2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. J cleaner produc 65, 16~27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>
- Shiau SY and Yu YP(1999). Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia,

- Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 179, 439~446.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00177-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00177-5)
- Statistics Korea. 2017. Fishery production survey. Retrieved Feb. 22, 2018, from <http://fs.fips.go.kr>.
- Su J, Gong Y, Cao S, Lu F, Han D, Liu H, Jin J, Yang Y, Zhu X and Xie S(2017). Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Fish shellfish immuno* 69, 59~66.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.08.008>
- Voorhees JM, Barnes ME, Chipps SR and Brown ML(2019). Bioprocessed soybean meal replacement of fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1579482.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1579482>
- Wang J, Li B, Ma J, Wang S, Huang B, Sun Y and Zhang L(2017). Optimum dietary protein to lipid ratio for Starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquacult res* 48, 189~201.
<https://doi.org/10.1111/are.12873>
- Xie S, Wei D, Yin P, Zheng, L, Guo T, Liu Y, Tian L and Niu J(2019). Dietary replacement of fish-meal impaired protein synthesis and immune response of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* at low salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 228, 26~33.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2018.11.002>
-
- Received : 07 August, 2019
 - Revised : 19 October, 2019
 - Accepted : 24 October, 2019