



# 어분대체 단백질원(대두박, 오징어간분, 콘글루텐밀) 첨가가 치어기 무태장어(*Anguilla marmorata*) 성장과 어체 지방산과 아미노산 성분에 미치는 영향

김봉래\* · 임태준\*\* · 박수빈\*\* · 이진우\*\*\* · 이정호\* · 안준철†  
(\*국립수산과학원 · \*\*서남대학교 · \*\*\*주코팩스)

## Effects on Growth Performance and Fatty Acids and Amino Acids Composition in Marbled Eels (*Anguilla marmorata*) fed Formula Feeds Containing Alternative Sources (fermented soybean meal, squid liver powder and corn gluten meal) of Fishmeal

Bong-Rae KIM\* · Tae-Joon LIM\*\* · Su-Bin PARK\*\* · Jin-Woo LEE\*\*\* · Jeong-Ho LEE\* · Jun-Cheul AHN†  
(\*National Institute of Fisheries Science · \*\*Seonam University · \*\*\*KOFEC Corporation)

### Abstract

The potential and drawback of three alternative protein sources(fermented soybean meal, squid liver powder and corn gluten meal) in marbled eel(*Anguilla marmorata*) culture were evaluated. Contents of both crude protein and essential amino acids in alternative protein sources were lower than those of fishmeal, and with the exception of squid liver powder, crude fat contents also were considerably lower than fishmeal. In growth performance on three kinds of diets having 10% alternative protein sources(fermented soybean meal, FSM; squid liver powder, SLP; corn gluten meal, CGM) compared to control(100% fishmeal as protein source, TFM), weight growth rate were in the order TFM(85.26%), FSM(67.6%), SLP(65.4%), and CGM(58.1%), and feed efficiency were in the order TFM(87.7), SLP(75.3), CGM(72.9) and FSM(66.8), suggesting that it is difficult to replace the feed efficiency as these alternative protein sources. However, the feed intake which can predict digestion efficiency were in the order FSM(101.9g), TFM(99.4g), SLP(87.3g) and CGM(80.5g), and showed the potential of fermented soybean meal as an alternative protein source. In the meantime, lysine and methionine that added to the FSM to overcome the decrease in feed efficiency were found to rather inhibit the growth performance in proportion to the concentration.

**Key words :** *Anguilla marmorata*, Aquaculture, Growth performance, Fishmeal alternate protein source

### I. 서론

육식성 어종인 민물장어는 탄수화물에 대한 생

리적 이용성이 낮고 단백질에 대한 의존도가 매우 높다. 따라서 사료에서 단백질 원료가 차지하는 비율이 높으며, 단백질 사료 원료 중에서도

† Corresponding author : 063-620-0333, jcahn@seonam.ac.kr

\* 이 논문은 국립수산과학원 양식수산물 전락품목 육성연구사업(민물장어) 연구 사업비 (2017년)와 2017년 국립수산과학원 수산시험연구사업 (R2017018)의 지원에 의해 연구되었음.

높은 단백질 함량과 기호성을 갖는 어분이 양어 사료의 주원료로서 가장 많이 사용되어져 왔다(Kim et al., 2013). 하지만, 최근 수년간 중국의 수요 증가와 엘니노 등의 원인으로 인한 중남미 등 주요 어분 수출국의 어획량 감소는 국제 어분 가격 상승을 추세적으로 이끌었고 이로 인한 어분을 이용하는 양어사업에 어려움을 가중시키고 있다(Olsen and Hasan, 2012). 한편, 이러한 문제점을 해결하기 위해 양어 사료를 위한 식물성 및 동물성 등 어분대체 단백질 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다(Burr et al., 2012; Collins et al., 2012; Deng et al., 2006; Luzier et al., 1995).

어류 배합사료 연구에서 어분의 대체 단백질원으로 가장 많이 기대되는 원료인 대두박, 콘글루텐 밀, 오징어간분은 조단백질 함량이 45% 이상으로 높고 안정적인 공급이 가능하고 가격이 저렴하다는 장점을 갖는다. 하지만 대두박의 경우 필수아미노산 조성의 불균형, phytic acid 및 trypsin inhibitor 등의 항영양인자가 성장을 저해시킨다는 연구결과가 밝혀지면서 대두박의 이용성을 높이기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다(Watanabe et al., 1988; Dabrowski et al., 1989; Murai et al., 1989; Pongmaneerat and Watanabe, 1993). 그 중 식물성 단백질원에서 항영양인자의 함량을 낮추기 위한 방법으로 발효를 통한 이용성 향상 연구도 수행되고 있다(Gatlin et al., 2007). 실제로 발효대두박과 콘글루텐밀은 무지개송어를 대상으로 완전 대체하였을 때 어분 대조구와 동일한 성장 결과를 나타내었다(Yamamoto et al., 2010). 치어기 넙치를 대상으로는 총 어분단백질의 30% 까지를 발효대두박으로 대체할 수 있었으며, 10% 첨가는 대조구 어분사료에 비하여 오히려 높은 성장 결과를 나타내었다(Kim et al., 2013).

국내 주요 담수 양식어종인 민물장어 양식은 2016년 기준 양식장 약 530곳, 민물장어 양식 사료 시장은 약 700억 규모의 시장을 유지하고 있

다(양만수협, 미제시 자료). 하지만, 국내 민물장어 양식의 주 양식어종인 극동산 민물장어(*Anguilla japonica*)는 지나친 포획 및 서식지 교란 그리고 환경오염 등에 따른 치어(실뱀장어, *glass eel*)의 자원량이 추세적으로 감소하고 있으며, 포획 실뱀장어의 가격상승, 생산비 증가에 이은 소비 감소로 어려움을 겪고 있다. 최근에는 치어 가격이 저렴한 동남아시아 지역에서 포획되는 민물장어(*A. bicolor pacifica*, *A. bicolor bicolor*, 및 *A. marmorata* 등)가 극동산 민물장어의 대안 양식종으로 부각되고 있다. 그 중, 무태장어는 우리나라 제주도에도 일부 서식하는 어종이며, 필리핀 연안에서는 년 중 채포되는 실뱀장어 중 중 대부분을 차지하고 있다(Lee et al., 2015). 무태장어는 타 민물장어에 비교하여 단백질 함량이 높고 체내 지방함량이 상대적으로 높지 않으며, 지방에서 차지하는 DHA 등 불포화 지방산의 비율이 높고 비타민A의 함량이 높은 영양가치가 우수하여 새로운 민물장어 양식 어종이 될 가능성이 높은 것으로 확인되었다(Ahn et al., 2015). 그러나, 무태장어 및 열대성 민물장어 종(*A. bicolor pacifica*, *A. bicolor bicolor*)에 대해서는 양성조건 및 양어 사료에 관한 연구는 현재까지 거의 알려진 바가 없으며 극동산 민물장어(*A. japonica*)와 유럽산(*A. anguilla*) 그리고, 북미산(*A. rostrata*) 민물장어에 준하는 양식조건 및 사료에 의존하여 양식하고 있다. 따라서 무태장어 국내양식은 입식에서 출하 시기까지의 양성기간이 길고, 치어 혹은 중간어의 폐사율 관리가 용이하지 않다는 점이 어려움으로 확인되고 있다.

이와 같이 무태장어에 대한 양성 매뉴얼이 확립되어지지 않은 상황이지만 극동산 민물장어(*A. japonica*)의 대안 종으로서의 잠재성을 감안하여 본 연구에서는 어분 외 식물성 단백질, 발효대두박과, 콘글루텐밀 그리고 오징어간분이 무태장어의 증체율과 사료효율에 미치는 영향 등을 파악해 보고자 하였다. 아울러 발효대두박 외 필수 아미노산인 AAs (lysine과 methionine)의 첨가가

무태장어의 증체율, 사료효율 등에 미치는 효과를 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험사료 구성 및 조성

본 실험에서 사용한 대조구 사료와 어분 대체 단백질인 발효대두박, 오징어간분 및 콘글루텐밀 첨가사료의 구성과 조성은 <Table 1>에 나타내었다.

<Table 1> Ingredient, proximate composition of formula feeds used in experiments to test effects of alternative protein sources as additive in *Anguilla marmorata* culture

Composition	TFM	FSM	SLP	CGM
Brown fish meal <sup>a</sup>	70	60	60	60
Fermented soybean meal <sup>b</sup>		10		
Squid liver powder <sup>c</sup>			10	
Corn gluten meal <sup>d</sup>				10
Beer yeast <sup>e</sup>	3	3	3	3
$\alpha$ -Starch <sup>f</sup>	25	25	25	25
Mineral premix <sup>g</sup>	1	1	1	1
Vitamin premix <sup>h</sup>	1	1	1	1
Crude protein (%)	50.0	48.7	47.2	49.6
Crude lipid (%)	5.4	4.8	6.4	4.8
Crude ash (%)	9.0	8.4	8.4	7.9
Calorie value(cal/g)	4502	4327	4519	4454

<sup>a</sup>Glumar Co., Chile; <sup>b</sup>CJ Co., Korea; <sup>c</sup>HS aquafeed Co., Korea; <sup>d</sup>CJ Co., Korea; <sup>e</sup>Biolife Co., Brazil; <sup>f</sup>Asai Co., Thailand; <sup>g</sup>Seoul Vet Pharma Co., Korea; <sup>h</sup>Seoul Vet Pharma Co., Korea.

주 단백질원으로 갈색어분(Glumar Co., Chile)을 사용한 대조구(TFM)와 어분의 10%를 발효대두박(CJ Co., Korea) (FSM), 오징어간분(HS aquafeed Co., Korea) (SLP) 그리고 콘글루텐밀(CJ Co., Korea) (CGM)로 대체된 사료를 조제하였다. 단백질원 외 모든 사료 구성성분은 동일하게 구성하였으며, 3% 맥주효모(Glumar Co., Chile), 25%  $\alpha$ -전분(Asai Co., Thailand), 1% 비타민 믹

스(Seoul Vet Pharm Co., Korea) 및 1% 미네랄 믹스(Seoul Vet Pharm Co., Korea)로 조성하였다. 조성된 사료의 조단백질 함량은 TFM 50%, CGM 49.6%, FSM 48.7% 및 SLP 47.2% 순이었다. 지질 함량은 SLP 6.4%, TFM 5.4%, FSM 4.8% 및 CGM 4.8% 순이었다. 배합된 사료의 에너지함량은 총열량 분석치(cal/g)로는 SLP 4519, TFM 4502, CGM 4454 및 FSM 4327 순이었다.

필수 아미노산 (lysine, methionine) 첨가 실험은 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 2> Ingredient, proximate composition of each formula feeds used in experiments to test effects of amino acids (lysine and methionine) for complement of fermented soybean meal as alternative protein source in *Anguilla marmorata* culture

Composition	Formula feeds		
	CON	LM1-1	LM2-2
Brown fish meal <sup>a</sup>	58	58	58
Fermented soybean meal <sup>b</sup>	10	10	10
Beer yeast <sup>c</sup>	3	3	3
$\alpha$ -Starch <sup>d</sup>	23	23	23
Mineral premix <sup>e</sup>	1	1	1
Vitamin premix <sup>f</sup>	1	1	1
Cellulose <sup>g</sup>	4	2	0
L-Lysine <sup>h</sup>	0	1	2
L-Methionine <sup>i</sup>	0	1	2
Crude protein (%)	48.2	49.7	51.0
Crude lipid (%)	6.0	5.8	6.1
Crude ash (%)	9.7	9.7	9.5
Calorie value(cal/g)	4344	4367	4411

<sup>a</sup>Glumar Co., Chile; <sup>b</sup>CJ Co., Korea; <sup>c</sup>Biolife Co., Brazil; <sup>d</sup>Asai Co., Thailand; <sup>e</sup>Seoul Vet Pharma Co., Korea; <sup>f</sup>Seoul Vet Pharma Co., Korea; <sup>g</sup>Mingtai Chemical Co., Taiwan; <sup>h</sup>Jarrow Formulas Co., USA; <sup>i</sup>Daejung Chemicals & Metals Co., Korea.

10% 발효대두박 첨가사료(CON)에 lysine (Jarrow Formula Co., USA) 과 methionine (Daejung Chemicals Co., Korea)을 각각 1%(LM1-1)와 2%(LM2-2)씩 첨가하여 조성하였다.

어분대체 단백질원(대두박, 오징어간분, 콘글루텐밀) 첨가가 치어기 무태장어(*Anguilla marmorata*) 성장과 어체 지방산과 아미노산 성분에 미치는 영향

실험에 사용된 모든 원료를 혼합한 후 분쇄기 (KMS-200, Korea Medi Co., Korea)를 이용하여 600 mesh 크기로 분말화한 후 반죽하여 사용하였다.

## 2. 실험어

대체 단백질원의 평가를 위해 사용한 실험어는 전남해양수산과학원 민물고기연구소(장성)에서 구입하여 서남대학교 사육 수조실에서 예비 사육 후 평균 어체 중 약 3.8 g의 실험어를 각 실험구 당 26마리씩 수용하여 3반복으로 실험을 진행하였다.

필수아미노산의 첨가효과 평가를 위한 실험에서는 평균 어체중 약 4.8 g의 크기로 선별하여 각 실험구 당 실험어 26마리씩 수용하여 3반복으로 실험을 진행 하였다.

## 3. 실험방법

실험은 자체 제작한 순환 사육시스템 사육수조에서 실험을 진행 하였다. 사육시스템은 순환여과 시스템으로 별도의 여과수조를 제작하여 습과, 여과매트 및 세라 시포락스를 여과제로 사용하였다. 사육수조 크기는 120 ℓ 급 수조(working volume 80 ℓ)를 사용하였고, 실험기간 동안 수온 유지를 위해 히터를 사용하여  $31.0 \pm 0.5$  °C로 일정하게 유지하였다. 여과수조(400 L)는 약 10%일 환수하였으며, pH는  $6.0 \pm 0.4$ 로 실험기간 동안 유지하였다. 각 수조는 용존산소농도(D.O)는  $7.0 \pm 0.4$  ppm으로 실험기간 동안 유지하였다.

사료 1일 총 급여량은 각 수조 입식장어 총무게의 4%를 오전(2%), 오후(2%) 2번에 걸쳐서 12시간 간격을 두고 공급하였으며, 3일 간격으로 사료의 양을 늘려 반복 공급하였다. 사료 공급 방법은 반죽사료로 하였으며, 건조된 사료와 물을 1:1.5의 비율로 조제하였다. 사료공급 30분 후 남은 양은 수거하여 냉동실에 보관, 동결 건조하였다. 사료 급여는 6일 공급, 1일 절식하는 방법

으로 6주간 진행하였다.

## 4. 사료 원료 및 어체 분석

일반성분 분석(수분량, 조단백질, 조지방 및 회분)은 AOAC 방법(1995)에 준하여 분석하였다. 지방 및 수분 함량은 CEM 자동추출장치(Labwave 9000/FAS 9001, CEM Corp., Matthews, NC, USA)를 이용하여 측정하였다. 단백질은 Kjeltex System (Kjeltex Auto 2400/2460, Foss Tecator AB, Höganäs, Sweden)을 이용하여 분석하였으며, 회분은 회분분석기(Mas 7000, CEM Corp., Matthews, NC, USA)를 이용하여 측정하였다.

아미노산 분석은 어분과 대체단백 원료(발효대두박, 콘글루텐밀, 오징어간분) 및 각 실험구별 (TSM, FSM, SLP, CGM) 3마리를 마쇄 건조한 전 어체를 이온교환 크로마토그래피법(Ninhydrin 법)으로 Ahn 등(2015)의 방법에 따라 분석하였다.

지방산 분석은 건조 마쇄한 시료를 Folch et al.(1957)의 방법에 따라 지질을 추출하였으며, Morrison and Smith(1964)의 방법에 준하여 메틸화한 후 상층액을 분리하여 -80°C에 보관하였으며, 자동시료주입기가 장착된 가스크로마토그래피(Varian 3400, Varian, USA)를 이용하여 분석하였다.

## 5. 통계처리

일부 결과는 SPSS program (Cicago, IL, USA)을 사용하여 Turkey's test로 평균 간의 유의성을 95% 수준에서 검정하였다.

## Ⅲ. 결 과

### 1. 어분 대체 단백질원의 일반성분과 아미노산 조성

재료 및 방법에 표시된 바와 같이 현재 국내 제조원에서 생산 판매 중인 단백질원 3가지 발효

대두박, 오징어간분 및 콘 글루텐밀의 조단백질, 조지방, 회분 함량, 칼로리 및 아미노산 조성을 갈색어분(고등어)과 비교하였다(<Table 3>). 조단백질 함량은 갈색어분(69.6%) > 콘글루텐밀(66.3%) > 발효대두박(57.3%) > 오징어 간분(41.4%) 순의 유의적 차이( $P<0.05$ )를 나타내었다. 조지방 함량은 오징어 간분(17.8%) > 갈색어분(7.7%) > 발효대두박(1.9%) > 콘글루텐밀(1.3%)의 유의적 차이( $P<0.05$ )를 나타내었다. 조회분 함량은 갈색어분(12.6%) > 발효대두박(6.3%)  $\geq$  오징어간분(6.2%) > 콘글루텐밀(1.4%) 순으로 발효대두박과 오징어간분의 함량이 거의 동일함을 제외하고는 대체 단백질 사이에 유의적 차이( $P<0.05$ )를 보였다. 이들 단백질 각각의 에너지 함량(cal)은 오징어간분(4721cal)  $\geq$  갈색어분(4553cal) > 콘글루텐밀(4074cal) > 발효대두박(2797cal)으로 오징어간분과 갈색어분은 유사한 에너지 수준이었지만 이들 단백질과 다른 단백질간에는 유의적 차이( $P<0.05$ )가 있었다. 한편, 대체 단백질 간 구성 아미노산 조성의 비교에서는 민물장어의 필수아미노산인 methionine, threonine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine, arginine의 총합량이 갈색어분(30.3%)에 비교하여 낮았으며, 콘글루텐밀(26.1%) > 발효대두박(22%) > 오징어간분(14.6%) 순이었다. 대체 단백질간 개별 필수아미노산 함량의 비교에서도 leucine과 phenylalanine 만이 콘글루텐밀이 어분보다 높은 것을 제외하고는 모든 대체 단백질의 구성 필수아미노산 함량이 어분에 비교하여 낮은 수치를 보였다. 총아미노산 함량 대비 필수아미노산 비 역시 대체 단백질(발효대두박, 42.9%; 오징어간분, 42.3%; 콘글루텐밀, 40.8%)이 갈색어분(48.2%)에 비교하여 저조하였다.

## 2. 대체 단백질 사료 급이에 의한 사료효율 및 증체율

본 실험에서 사용한 대체 단백질 3가지 발효대

<Table 3> Proximate composition and amino acids composition of each protein source components used in experiment

	Brown fish meal	Fermented soybean meal (defatted)	Squid liver powder	Corn gluten meal
Proximate composition (dry matter basis)				
Crude protein (%)	69.6 ± 1.5	57.3 ± 1.4	41.4 ± 0.6	66.3 ± 1.2
Crude lipid (%)	7.7 ± 0.4	1.9 ± 0.1	17.8 ± 0.3	1.3 ± 0.1
Crude ash (%)	12.6 ± 0.3	6.3 ± 0.1	6.2 ± 0.1	1.4 ± 0.0
Calorie value (cal/g)	4,553 ± 150	2,797 ± 90	4,721 ± 130	4,074 ± 100
Essential amino acids (g/100 g dry wt)				
Methionine	1.6 ± 0.1	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0	1.4 ± 0.1
Threonine	3.2 ± 0.1	2.2 ± 0.1	1.5 ± 0.0	2.2 ± 0.1
Valine	2.9 ± 0.1	2.2 ± 0.1	1.6 ± 0.1	2.4 ± 0.1
Isoleucine	2.5 ± 0.1	2.1 ± 0.1	1.3 ± 0.0	2.1 ± 0.1
Leucine	5.1 ± 0.2	4.2 ± 0.1	3.3 ± 0.1	10.3 ± 0.5
Phenylalanine	2.6 ± 0.1	2.7 ± 0.1	1.8 ± 0.0	3.7 ± 0.1
Lysine	5.5 ± 0.2	3.0 ± 0.1	1.3 ± 0.0	1.0 ± 0.0
Histidine	2.9 ± 0.1	1.4 ± 0.0	0.8 ± 0.0	1.2 ± 0.0
Arginine	4.0 ± 0.2	3.5 ± 0.1	2.3 ± 0.1	1.8 ± 0.1
Non essential amino acids (g/100 g dry wt)				
Aspartic acid	6.6 ± 0.3	6.2 ± 0.3	3.0 ± 0.1	3.8 ± 0.2
Glutamic acid	9.2 ± 0.3	10.2 ± 0.4	7.1 ± 0.2	13.6 ± 0.3
Tyrosine	2.0 ± 0.0	1.7 ± 0.0	1.2 ± 0.0	3.0 ± 0.1
Glycine	4.1 ± 0.2	2.3 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.6 ± 0.1
Alanine	4.2 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.2 ± 0.1	5.2 ± 0.2
Serine	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.1	1.8 ± 0.1	3.4 ± 0.1
Cysteine	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.0	1.1 ± 0.0
Proline	2.9 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.2 ± 0.0	6.1 ± 0.2
EAA <sup>†</sup> (%)	30.3	22.0	14.6	26.1
TAA <sup>††</sup> (%)	62.9	51.3	34.5	63.9
EAA/AA ratio <sup>†††</sup> (%)	48.2	42.9	42.3	40.8

All tests are performed by three replicates. Data are represented as mean values ± SD. Values in the each row with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ). <sup>†</sup>Total essential amino acids. <sup>††</sup>Total nonessential amino acids. <sup>†††</sup>Total essential amino acids/total amino acids × 100.

두박(FSM), 오징어간분(SLP) 및 콘글루텐밀(CGM)을 각각 10% 첨가한 배합사료와 대조구사료(TFM)를 6주간 공급한 후 증체율 등을 평가하였다(<Table 4>).

어분대체 단백질원(대두박, 오징어간분, 콘글루텐밀) 첨가가 치어기 무태장어(*Anguilla marmorata*) 성장과 어체 지방산과 아미노산 성분에 미치는 영향

<Table 4> The comparison of growth performance of marbled eel *Anguilla marmorata* fed formula feeds containing alternative protein sources for 6 weeks

	TFM	FSM	SLP	CGM
IW <sup>a</sup> (g)	102.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	100.7 ± 0.5 <sup>b</sup>	100.5 ± 0.3 <sup>b</sup>	101.2 ± 0.7 <sup>ab</sup>
FW <sup>b</sup> (g)	189.4 ± 2.8 <sup>a</sup>	168.7 ± 1.8 <sup>b</sup>	166.3 ± 3.0 <sup>b</sup>	160.0 ± 7.1 <sup>b</sup>
WG <sup>c</sup> (g)	87.1 ± 2.2 <sup>a</sup>	68.0 ± 1.4 <sup>b</sup>	65.7 ± 3.3 <sup>b</sup>	58.8 ± 6.6 <sup>b</sup>
DFI <sup>d</sup> (g)	99.4 ± 2.3 <sup>a</sup>	101.9 ± 1.5 <sup>a</sup>	87.3 ± 3.8 <sup>b</sup>	80.5 ± 5.9 <sup>b</sup>
FE <sup>e</sup> (%)	87.7 ± 0.9 <sup>a</sup>	66.8 ± 1.6 <sup>c</sup>	75.3 ± 2.6 <sup>b</sup>	72.9 ± 3.0 <sup>b</sup>
PER <sup>f</sup> (%)	1.76 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.1 <sup>c</sup>	1.60 ± 0.1 <sup>b</sup>	1.47 ± 0.0 <sup>c</sup>
WGR <sup>g</sup> (%)	85.2 ± 1.6 <sup>a</sup>	67.6 ± 1.3 <sup>b</sup>	65.4 ± 3.4 <sup>b</sup>	58.1 ± 6.2 <sup>bc</sup>
SGR <sup>h</sup> (%)	1.71 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.43 ± 0.0 <sup>b</sup>	1.40 ± 0.1 <sup>b</sup>	1.27 ± 0.1 <sup>bc</sup>
SR <sup>i</sup> (%)	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0

<sup>a</sup>Initial weight (g/fish)

<sup>b</sup>Final weight (g/fish)

<sup>c</sup>Weight gain (g) = final wt - initial wt

<sup>d</sup>Dry feed intake (g) = Total dry feed intake

<sup>e</sup>Feed efficiency (%) = (wet weight gain/dry feed intake) × 100

<sup>f</sup>Protein efficiency ratio (%) = weight gain / protein consumed

<sup>g</sup>Weight gain rate (%) = (final wt - initial wt) × 100/initial wt

<sup>h</sup>Specific growth rate (%/day) = [(loge final wt - loge initial wt)/days] × 100

<sup>i</sup>Survival rate (%) = (number of fish at end of experiment/number of fish at end of experiment) × 100

Data are represented as mean values ± SD. Values in the each row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). All tests are performed by three replicates.

증체율의 비교에서 TFM(85.2%) > FSM(67.6%) = SLP(65.4%) ≥ CGM(58.1%)으로 TFM 사료가 다른 대체 단백질원 첨가사료에 비교하여 유의적 ( $P < 0.05$ )인 우수함을 나타내었다. FSM과 SLP는 비슷한 증체율(WGR)을 보였으며, CGM은 상대적으로 가장 낮은 증체율(WGR)을 나타내었다. 사료섭취량은 FSM(101.9 g) ≥ TFM(99.4 g) > SLP(87.3 g) ≥ CGM(80.5 g)으로 발효대두박 첨가사료가 가장 높았으며, 오징어간분과 콘글루텐 밀 첨가 배합사료의 기호성은 대조구에 미치지 못하였다. 동 사료간의 사료효율은 TFM(87.7%) > SLP(75.3%) ≥ CGM(72.9%) > FSM(66.8%)으로 대조구에는 미치지 못하지만 오징어간분과 콘글

루텐밀의 첨가 배합사료의 사료효율이 발효대두박보다 유의적( $P < 0.05$ )으로 높았다. 단백질이용율은 TFM(1.76%) > SLP(1.60%) > CGM(1.47%) ≥ FSM(1.37%)와 같이 어분에 비교하여 대체 단백질원 첨가구에서 모두 유의적으로 낮았으며, 발효대두박의 단백질이용율이 가장 낮게 나타났다.

### 3. 대체 단백질원 사료 급이에 의한 기본성분, 구성아미노산, 지방산 조성

대체 단백질원 3가지 발효대두박(FSM), 오징어간분(SLP) 및 콘글루텐밀(CGM)을 각각 10% 첨가한 배합사료와 대조구사료(TFM)를 6주간 급이한 실험어 전어체의 기본성분을 평가하였다(<Table 5>).

<Table 5> Proximate compositions of whole body between eels *Anguilla marmorata* fed formula feeds containing alternative protein sources for 6 weeks

	Formula feeds			
	TFM	FSM	SLP	CGM
Moisture (%)	69.0 ± 1.9	68.8 ± 0.6	69.0 ± 0.8	68.8 ± 0.4
Crude protein (%)	16.5 ± 0.5	16.4 ± 0.6	16.3 ± 0.4	16.8 ± 0.4
Crude lipid (%)	10.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	10.8 ± 0.3 <sup>a</sup>	10.1 ± 0.2 <sup>b</sup>	10.6 ± 0.3 <sup>ab</sup>
Crude ash (%)	1.9 ± 0.1	2.2 ± 0.0	2.1 ± 0.1	2.1 ± 0.1

Data are represented as mean values ± SD. Values in the each row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). All tests are performed by three replicates.

수분함량은 약 69%로 동일하였으며, 조단백질 역시 약 16.5%로 오차범위 내의 차이만을 보였다. 조지방 함량 역시 실험구간 큰 차이가 없었지만, FSM(10.8%) ≥ TFM(10.7%) ≥ CGM(10.6%) > SLP(10.1%) 순서로 사료내 조지방 함량이 가장 높은 SLP 사료의 실험어 체내 조지방 함량은 가장 낮게 나타났다. 회분 함량은 모든 실험구에서 약 2%로 실험구 간 유의적 차이를 보이지 않았다.

동 실험구에서 6주간 급이한 실험어 전어체의 구성아미노산을 비교하였다(<Table 6>).

<Table 6> Amino acids compositions of whole body between marbled eels *Anguilla marmorata* fed formula feeds containing alternative protein sources for 6 weeks

Amino acids	Formula feeds			
	TFM	FSM	SLP	CGM
Cysteine	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0
Methionine	1.2 ± 0.0 <sup>b</sup>	1.3 ± 0.0 <sup>b</sup>	1.3 ± 0.0 <sup>b</sup>	1.3 ± 0.0 <sup>b</sup>
Aspartic acid	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.2	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.2
Threonine	2.4 ± 0.1	2.5 ± 0.0	2.4 ± 0.1	2.4 ± 0.1
Serine	2.4 ± 0.0	2.4 ± 0.0	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1
Glutamic acid	7.2 ± 0.2	7.3 ± 0.1	7.0 ± 0.2	7.1 ± 0.3
Glycine	3.7 ± 0.0 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	3.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	3.2 ± 0.1 <sup>b</sup>
Alanine	3.2 ± 0.1	3.1 ± 0.1	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.1
Valine	2.1 ± 0.0	2.2 ± 0.1	2.1 ± 0.1	2.1 ± 0.1
Isoleucine	1.8 ± 0.1	1.9 ± 0.0	1.8 ± 0.0	1.9 ± 0.1
Leucine	3.6 ± 0.1	3.7 ± 0.0	3.6 ± 0.1	3.6 ± 0.1
Tyrosine	1.4 ± 0.0	1.4 ± 0.0	1.4 ± 0.0	1.4 ± 0.1
Phenylalanine	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.1	2.0 ± 0.1
Lysine	3.9 ± 0.2	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.2
Histidine	1.8 ± 0.1	1.9 ± 0.0	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1
Arginine	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.0	3.0 ± 0.1
Proline	2.1 ± 0.1	2.0 ± 0.1	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1

Data are represented as mean values ± SD. Values in the each row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). All tests are performed by three replicates.

아미노산 조성에서 차이가 있는 3가지 대체 단백질 첨가사료의 급이에 의한 실험어 어체 내 아미노산 조성에는 거의 변화가 없었으며, Glycine 만 TFM(3.70%) > FSM(3.3%) ≥ CGM(3.2%) ≥ SLP(3.1%)의 TFM과 타 사료 급이 장어간 유의적 차이를 나타내었다. 동 실험구 실험어 전어체의 지방산 조성을 비교하였다(<Table 7>). 포화지방산, 불포화지방산 비는 물론 각 지방산 조성에서 실험구별 차이가 크지 않았다. 다만, 오징어 간유 10% 첨가 사료 급이 실험어에서 다른 사료 실험구 대비 오메가 지방산을 포함한 고도 불포화지

방산이 가장 높았으며, SLP(13.8%) > FSM(13.2%) > CGM(12.8%) > TFM(12.6%) 순이었다.

<Table 7> The comparison of fatty acids compositions between marbled eels *Anguilla marmorata* fed formula feeds containing alternative protein sources for 6 weeks

Fatty acids(%) (carbon No: double bond)	Formula feeds			
	TFM	FSM	SLP	CGM
Myristic acid(C14:0)	3.8 ± 0.1	4.0 ± 0.2	3.9 ± 0.1	3.7 ± 0.1
Palmitic acid(C16:0)	23.0 ± 1.0	23.5 ± 0.7	23.5 ± 1.0	23.1 ± 0.8
Palmitoleic acid(C16:1n7)	5.9 ± 0.2 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.3 <sup>a</sup>	5.3 ± 0.2 <sup>b</sup>	5.6 ± 0.1 <sup>ab</sup>
Stearic acid(C18:0)	5.6 ± 0.0	5.6 ± 0.1	5.7 ± 0.2	5.8 ± 0.2
Oleic acid(C18:1n9)	46.7 ± 2.0	45.2 ± 2.1	45.2 ± 1.7	46.5 ± 1.8
Vaccenic acid(C18:1n7)	-	-	-	-
Linoleic acid(C18:2n6)	1.7 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	2.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>a</sup>
γ-Linoleic acid(C18:3n6)	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Linolenic acid(C18:3n3)	0.9 ± 0.0 <sup>b</sup>	1.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.8 ± 0.0 <sup>c</sup>
Eicosenoic acid(C20:1n9)	2.4 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.5 ± 0.1 <sup>ab</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>ab</sup>	2.5 ± 0.0 <sup>b</sup>
Arachidonic acid(C20:4n6)	0.6 ± 0.0 <sup>b</sup>	0.7 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.6 ± 0.0 <sup>b</sup>	0.6 ± 0.0 <sup>b</sup>
Eicosapentaenoic acid(EPA) C20:5n3)	1.6 ± 0.1	1.6 ± 0.1	1.6 ± 0.0	1.5 ± 0.1
Docosatetraenoic acid(C22:4n6)	-	-	-	-
Docosahexaenoic acid(DHA) C22:6n3)	7.8 ± 0.2	7.7 ± 0.3	8.2 ± 0.2	7.8 ± 0.3
Total	100	100	100	100
Saturated fatty acids(SFA)	32.4	33.1	33.1	32.6
Unsaturated fatty acids(USFA)	67.6	66.9	66.9	67.4
- monoUSFA	55.0	53.7	53.1	54.6
- polyUSFA	12.6	13.2	13.8	12.8

Data are represented as mean values ± SD. - represents below the detectable range. Values in the each row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). All tests are performed by three replicates.

#### 4. 발효대두박 10% 사료에의 AAs첨가 효과

발효대두박의 첨가 외 필수 아미노산 lysine과 methionine을 각 1%(LM1-1)와 2%(LM2-2)씩 첨가한 사료를 6주간 공급한 후 사료효율, 증체율 등을 대조구(CON)와 비교하였다(<Table 8>). 증체율(WGR)의 비교에서 CON(62.7%) > LM1-1(52.7%)

어분대체 단백질원(대두박, 오징어간분, 콘글루텐밀) 첨가가 치어기 무태장어(*Anguilla marmorata*) 성장과 어체 지방산과 아미노산 성분에 미치는 영향

> LM2-2(36.3%)으로 두 가지 아미노산의 첨가농도에 반비례하여 감소효과를 나타내었다. 사료효율 (FE) 역시 CON(55.0%) > LM1-1(46.3%) > LM2-2(32.1%) 순으로 아미노산 첨가 및 첨가농도에 반비례하여 감소하였다. 기타 단백질이용률 (PER), 일일성장률(SGR) 등의 평가 역시 필수아미노산 두 가지의 첨가효과는 대조구에 비교하여 유의적인( $P<0.05$ ) 감소로 평가되었다.

<Table 8> The comparison of growth performance of marbled eel *Anguilla marmorata* fed formula feeds containing amino acids (lysine and methionine) for complement of fermented soybean meal as an alternative protein sources for 6 weeks

	CON	LM1-1	LM2-2
IW <sup>a</sup> (g)	127.5 ± 0.5	127.5 ± 0.5	127.8 ± 0.3
FW <sup>b</sup> (g)	207.5 ± 1.3 <sup>a</sup>	195.0 ± 11.0 <sup>b</sup>	174.0 ± 0.6 <sup>c</sup>
WG <sup>c</sup> (g)	80.0 ± 1.0 <sup>a</sup>	67.5 ± 11.5 <sup>b</sup>	46.2 ± 0.3 <sup>c</sup>
DFI <sup>d</sup> (g)	145.6 ± 0.9 <sup>a</sup>	146.8 ± 2.8 <sup>a</sup>	134.8 ± 15.7 <sup>b</sup>
FE <sup>e</sup> (%)	55.0 ± 0.6 <sup>a</sup>	46.3 ± 8.4 <sup>a</sup>	32.1 ± 3.0 <sup>b</sup>
PER <sup>f</sup> (%)	1.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.9 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.7 ± 0.1 <sup>c</sup>
WGR <sup>g</sup> (%)	62.7 ± 0.7 <sup>a</sup>	52.7 ± 8.3 <sup>b</sup>	36.3 ± 0.3 <sup>c</sup>
SGR <sup>h</sup> (%)	1.4 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	0.9 ± 0.0 <sup>b</sup>
SR <sup>i</sup> (%)	100 ± 0.0	100 ± 0.0	100 ± 0.0

<sup>a</sup>Initial weight (g/fish)

<sup>b</sup>Final weight (g/fish)

<sup>c</sup>Weight gain (g) = final wt - initial wt

<sup>d</sup>Dry feed intake (g) = Total dry feed intake

<sup>e</sup>Feed efficiency (%)

= (wet weight gain/dry feed intake) × 100

<sup>f</sup>Protein efficiency ratio (%)

= weight gain / protein consumed

<sup>g</sup>Weight gain rate (%) =

(final wt - initial wt) × 100/initial wt

<sup>h</sup>Specific growth rate (%/day) = [

(loge final wt - loge initial wt)/days] × 100

<sup>i</sup>Survival rate (%) =

(number of fish at end of experiment/number of fish at end of experiment) × 100

Data are represented as mean values ± SD.

Values in the each row with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ).

All tests are performed by three replicates.

## IV. 고찰

지금까지 우리나라 주 민물장어 양식종으로 대 표되는 극동산 실뱀장어(*A. japonica*)는 체포량이 매년 추세적으로 감소되고 있으며, 이의 대안으 로 동남아시아 지역으로부터 수입되는 무태장어 (*A. marmorata*) 실뱀장어(glass eel)를 양식하고자 하는 시도가 우리나라, 중국 등에서 최근 이루어 지고 있다. 그렇지만, 무태장어는 분포 지역이 겹 치는 열대성 민물장어인 비콜라(*A. bicolor pacifica*) 종보다도 증체율(WGR)과 사료효율(FE) 이 높지 않다고 알려졌으며(Mingzhong et al., 2013), 극동산 민물장어와 비교하여 사육수 내 암 모니아 농도에 대한 감수성이 높아 수질 내 암모 니아 농도의 대한 대처 및 뱀장어와의 차별적 양 성조건이 요구되는 것으로 보고된 바 있다(Lim et al., 2015). 또한, 성장단계별로 일일성장률과 사료효율 등에서 극동산 민물장어와는 동일하지 않은 것으로 평가되었다(미발표 데이터). 현재 무 태장어의 양식을 위한 양어사료는 없으며, 극동 산 민물장어용 사료를 준용하고 있다.

한편, 육식성 어류에서 사료 내 식물성 원료의 이용 효율은 높지 않다고 알려져 있다(Olsen and Hasan, 2012). 이는 어분의 아미노산 구성에 비교 하여 식물성 단백질의 필수아미노산이 상대적으로 저조하여 아미노산의 체내 흡수가 낮은 것으 로 보고되기도 하였다(Jackson et al., 1982; Murai et al., 1989). 또한 일부 어류는 식물성 원료에 존 재하는 항영양인자에 대하여 보다 민감하게 반응 하므로 영양소 흡수의 이용성이 저하되는 것으로 보고되었다(Wee and Shu, 1989). 실제로, 본 실험 어인 무태장어 역시 대두박의 농도별 어분 대체 평가에서 농도에 비례하여 증체율과 사료효율을 현저하게 떨어뜨리는 것으로 평가되었다(데이터 미제시). 이러한 식물성 단백질의 이용성을 높이 기 위하여 발효를 통하여 기호성과 증체율을 올 리려는 시도가 활발히 이루어지고 있으며, 양식



어종인 치어기 넙치의 경우 어분단백질을 발효대두박으로 30%까지 대체하여 대조구에 비교하여 성장이 뒤지지 않았다고 보고되기도 하였다(Kim et al., 2013), 이러한 보고에 기초하여 본 실험어 무태장어 검둥어를 대상으로 한 식물성 단백질의 어분 대체율 평가에서, 반죽사료 위주의 사료공급을 하는 민물장어의 경우 발효대두박 30% 이상의 첨가는 반죽사료 점성 등 물성에 영향을 미쳐 사육수내 반죽사료의 풀어짐이 빠른 단점을 보이기도 하였다(데이터 미제시). 아울러, 치어기 넙치와 달리 증체율과 사료효율 등에서 대조구에 비교하여 유의적 감소가 확인되었다. 다만, 오징어간분 및 콘글루텐밀과 달리 발효대두박의 경우 반복급이 실험에서 총급이량(DFI)이 대조구 보다 높게 나타났다(<Table 4>). 식물성 단백질 첨가사료를 급이한 실험어 전어체 내 일반성분(수분, 조단백질, 조지방 및 회분 등)의 차이는 거의 없었다(<Table 5>). 또한 실험어 전어체 구성 아미노산 조성비 역시 대조구와 식물성 단백질 첨가구에서 glycine 함량의 유의적 차이를 제외하면 거의 차이가 없는 것으로 나타났다(<Table 6>).

지방산 조성은 사료 내 지질 종류 또는 함량에 따라 대상 생물의 지방산 조성에 영향을 미친다고 보고되어 있다(Silver et al., 1993; Geurden et al., 1997; Lee and Lim, 2005). 본 실험에서는 대조구와 식물성 단백질 첨가사료 급이 실험어와의 차이는 크지 않았으나, 대조구를 제외한 나머지 식물성 단백질 첨가 실험구에서 식물성 지질원에서 많이 함유되어있는 담수어류의 필수 지방산인 Linoleic acid(C18:2n6)이 약간 높게 나타났다(Table 7). 이로 인해 지질원이 아니더라도 배합사료의 각기 다른 원료의 지방산 조성이 어체 내 지방산 조성에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

육식성 어류에서 식물성 단백질의 이용 제한은 식물이 갖는 항영양인자와는 별도로 필수아미노산의 부족에 의한 영양불균형이라고 보고된 바 있다(Jackson et al., 1982; Murai et al., 1989). 실제로 어분에 비교하여 대두박, 유채씨분, 면실박

분 등 식물성 단백질은 lysine과 methionine 함량은 어분의 절반 이하 수준이다(Hu et al., 2008). 이점에서, 식물성 단백질 사료에 methionine을 추가한 어린 민어(*Pseudosciaena crocea*)의 양성실험에서 methionine의 첨가효과 및 약 1.44% 첨가농도에서 가장 높은 일성장율, 사료전환효율이 확인되었다(Mai et al., 2006). Lysine 역시 Cichlid (*Etroplus suratensis*)의 사료실험에서 0.5%의 첨가로 사료 단백질 농도 (25% ~ 40%)에 무관하게 증체율과 일간성장률에서 증가효과를 보였다(Palavesam et al., 2008). 실제로, 넙치에서는 lysine과 methionine을 첨가하여 어분 단백질의 30%까지를 식물성 단백질원으로 대체가 가능하였다 (Choi et al., 2004).

반면에 담수어인 비단잉어(*Cyprinus carpio*)와 메기(*Ictalurus punctatus*)에서는 아미노산 보충이 성장개선효과를 보이지 않았다(Murai et al., 1982; Andrew and Page, 1974; Lim and Dominy, 1989). 잉어의 경우는 proline, glutamic acid, aspartic acid 및 alanine이 섭이촉진에 효과가 있는 반면, tryptophane, arginine, threonine 및 methionine은 섭이촉진을 저해 한다고 보고하였다(Kasumyan and Morsi, 1996). 극동산 민물장어는 glutamine, asparagine, glutamic acid 및 alanine이 사료섭취촉진 효과를 보였다(Fukuda et al., 1989; Elias and Hoseph, 1999). 이처럼 사료에 아미노산의 첨가효과는 어종과 아미노산 종류에 따라 다를 수 있음이 보고되었다. 마찬가지로 AAs의 첨가는 무태장어에서 부정적 효과임이 확인되었다. 하지만, 무태장어를 비롯한 민물장어의 증체율과 사료효율 등에 대한 아미노산 첨가 효과는 보다 다양한 아미노산을 대상으로 체계적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 무태장어 양식용 배합사료제조 시 어분의 대체 단백질원으로서 발효대두박의 이용성을 증가시키기 위해서는 식물성 단백질에 대한 항영양인자의 선택적 제거 혹은 발효균주의 적절한 활용에 대한 연구 또한 뒷받침 되어야 할 것으로 사료된다.

## References

- Ahn, J. C. Chong, W. S. Na, J. H. Yun, H. B. Shin, K. J. Lee, K. W. and Park, J. T.(2015). An evaluation of major nutrients of four farmed freshwater eel species(*Anguilla japonica*, *A. rostrata*, *A. bicolor pacifica* and *A. marmorata*). Kor J Fish Aquat Sci 48, 044~050.
- Andrews, J. W. and Page, J. W.(1974). Growth factors in the fishmeal component of catfish diets. J Nutr 104, 1091~1096.
- AOAC(Association of Official Analytical Chemists) (1995). Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- Burr, G. S. Wolters, W. R. Barrows, F. T. and Hardy, R. W.(2012). Replacing fishmeal with blends of alternative proteins on growth performance of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 334~337, 110~116.
- Choi, S, M. Wang, X. J. Park, G. J. Lim, S. R. Kim, K. W. · Bai, S. C. and Shin, I. S.(2004). Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquac Res 35, 410~418.
- Collins, S. A. · Desai, A. R. Mansfield, G. S. Hill, J. E. Kessel, A.G.V. and Drew, M. D.(2012). The effect of increasing inclusion rates of soybean, pea and canola meals and their protein concentrates on the growth of rainbow trout: Concepts in diet formulation and experimental design for ingredient evaluation. Aquaculture 344-349, 90~99.
- Dabrowski, K. Poczyczynski, P. Kock, G. and Berger, B.(1989). Effect of partially or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on growth, food utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). New in vivo test exocrine pancreatic secretion. Aquaculture 77, 29~49.
- Deng, J. Mai, K. Ai, Q. Zhang, W. Wang, X. Xu, W. and Liufu, Z.(2006). Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 258, 503~513.
- Elias, P. and Joesph, S. H.(1999). Identification of feeding stimulants for striped bass, *Morone saxatilis*. Aquaculture 185, 339~352.
- Folch, J. Lees M. and Stanley G.H.S.(1956). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem 226, 497~509
- Fukuda, K. Kohbara, J. Zeng, C. and Hidaka, I.(1989). The Feeding-stimulatory effects of squid muscle extracts on the young Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 791~797.
- Gatlin, D. M. Barrows, F. T. Brown, P. Dabrowski, K. Gaylord, T. G. Hardy, R. W. Herman, E. Hu, G. Krogdahl, A. Nelson, R. Overturf, K. Rust, M. Sealey, W. Skonberg, D. Souza, E. J. Stone, D. Wilson, R. and Wurtele, E.(2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. Aquac Res 38, 551~579.
- Geurden, I. Coutteau, P. and Sorgeloos, P.(1997). Effect of a dietary phospholipid supplementation on growth and fatty acid composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles from weaning onwards. Fish Phy Biochem 16, 259~272.
- Hu, M. Wang, Y. Wang, Q. Zhao, M. Xiong, B. Qian, X. Zhao, Y. and Lua, Z.(2008) Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. Aquaculture 275, 260~265.
- Jackson, A. J. Capper, B. S. and Matty, A. J.(1982). Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon massambicus*. Aquaculture 27, 97~109.
- Kasumyan, A. O and Morsi A. M. Kh.(1996). Taste sensitivity of common carp *Cyprinus carpio* to free amino acids and classical taste substances. J of Ichthyology 36, 391~403.
- Kim, K. W. Kim, K. D. Lee, B. J. Lee, J. H. Han, H. S. · Koo, J. W. · Choi, Y. H. and Bai, S. C.(2013). Dietary fermented soybean meal as a replacement for fish meal in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Kor J Fish Aquat Sci 46(6), 769~776.

- Lee, N. S. Kim, J. H. Lee, B. I. Kim, S. K. NA, J. H. Kim, K. S. and Kim, D. J.(2015). Morphological and Molecular Identification of a Tropical Glass eels *Anguilla marmorata* and *A. bicolor pacifica* from Philippines Coast. JFM SE, 27(4), 1109~1117.
- Lee, S. M. and Lim, T. J.(2005). Effects of dietary protein and energy level on growth and lipid composition of juvenile snail (*Semisulcospira gottschei*). Shell. Res., 24, 99~102.
- Lim, C. and Dominy, W.(1989). Utilization of plant proteins by warm water fish proceedings of world congress on Vegetable Protein Utilization in human food and animal feed stuffs: 2445-251. American Oil Chemists Society, Champaign, Illinois.
- Lim, T. J. Park, S. B. Cheong, W.S. Kim, S.H. and Ahn, J.C.(2015). Influence of ammonia nitrogen concentration in marbled eel(*Anguilla marmorata*) aquaculture. Collected Papers of Basic Medical Science Institute affiliated with Seonam Univ.,10, 73~81.
- Luzier, J. M. Summerfelt, R. C. and Ketola, H.G.(1995). Partial replacement of fish meal with spray-dried blood powder to reduce phosphorus concentrations in diets for juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquac Res 26, 577~587.
- Mai, K. Wan, J. Ai, Q. Xu, W. Liufu, Z. Zhang, L. Zhang, C. and Li, H.(2006). Dietary methionine requirement of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* R. Aquaculture 253, 564~572
- Mingzhong, L. Ruizhang, G. Zhongqin, L. Heng, J.(2013). The effects of water temperature on the survival, feeding, and growth of the juveniles of *Anguilla marmorata* and *A. bicolorpacifica*. Aquaculture, 61, 400~401.
- Morrison, W. R. and Smith L. M.(1964). Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with Boron fluoride-methanol. L Lipid Res 5, 600~608
- Murai, T. Ogata, H. and Nose, T.(1982). Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*. Jpn Soc Sci Fish 48, 85~88.
- Murai, T. Ogata, H. Villaneda, A. and Watanabe, T.(1989). Utilization of soy flour by fingerling rainbow trout having different body size. Nippon Suisan Gakk 55, 1067~1073.
- Olsen, R. L. and Hasan, M.(2012). A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. Trends Food Sci Tech 27, 120~128
- Palavesam, A. Beena, S. and Immanuel, G.(2008). Effect of L-lysine supplementation with different protein levels in diets on growth, body composition and protein metabolism in pearl spot *Etroplus suratensis*(Bloch). Turkish J of Fisheries and Aquatic Sci 8, 133~139
- Pongmaneerat, J. and Watanabe, T.(1993). Effect of extrusion processing on the utilization of soybean meal diets for rainbow trout. Nippon Suisan Gakk 59, 1407~1414.
- Silver, G. R, Higgs, D. A. Dosanjh, B. A. Mckeown, B. A. Deacon, G. and French, D.(1993). Effect of dietary protein to lipid ratio on growth and chemical composition of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water, Fish nutrition in practice. Paris: Les Colloqu, No.61, INRA Edns, 459~468.
- Watanabe, T. Shuichi, S. and Toshio, T.(1988). Availability of mineral in fish meal to fish. Asian Fish Sci 1, 175~195.
- Wee, K. L. and Shu, S. W.(1989). The nutritive value of boiled full fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. Aquaculture 81, 303~312
- Yamamoto, T. Iwashita, Y. Matsunari, H. Sugita, T. Sugita, T. Furuita, H. Akimoto, A. Okamatsu, K. and Suzuki, N.(2010). Influence of fermentation conditions for soybean meal in a non-fish meal diet on the growth performance and physiological condition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 309, 173~180.

- 
- Received : 25 October, 2017
  - Revised : 16 January, 2018
  - Accepted : 22 January, 2018