

## 배합사료내 대두박 및 발효대두박 첨가가 까막전복(*Haliotis discus*) 치패의 성장과 체조성에 미치는 영향

김희성 · 정해승<sup>1</sup> · 최동규<sup>1</sup> · 장복일<sup>1</sup> · 김현종<sup>1</sup> · 이기욱 · 조성환<sup>1\*</sup>

한국해양대학교 해양과학기술전문대학원, 한국해양대학교 해양생명과학부<sup>1</sup>

### Effects of Dietary Inclusion of Soybean Meal and Fermented Soybean Meal on Growth and Body Composition of Juvenile Abalone *Haliotis discus* (Reeve 1846)

Hee Sung Kim, Hae Seung Jeong<sup>1</sup>, Dong Gyui Choi<sup>1</sup>, Bok-II Jang<sup>1</sup>, Hyeon Jong Kim<sup>1</sup>, Ki Wook Lee and Sung Hwoan Cho<sup>1\*</sup>

Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

<sup>1</sup>Division of Marine Environment and BioScience, College of Ocean Science and Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

This study evaluated the effects of dietary inclusion of soybean (SM) and fermented soybean meal (FSM) on growth promotion in juvenile abalone *Haliotis discus*. Six hundred and thirty juvenile abalone were distributed into nine plastic containers. Three diets were prepared with 22% fish meal, 2% casein, and either 25% SM or FSM used as the protein sources in the experimental diets, and *Undaria* was used as a control diet to compare the effects of the experimental diets on the growth performance of abalone. The diets were assigned to three containers each and fed to the abalone once daily to satiation for 16 weeks. Weight gain and specific growth rate (SGR) were higher in abalone fed the SM diet than in those fed the FSM diet. Weight gain and SGR of abalone fed the SM and FSM diets were higher than those of abalone fed *Undaria*. The crude protein and lipid contents of the edible portions of abalone fed the SM and FSM diets were higher than those of abalone fed *Undaria*. SM was superior to FSM as a protein source in abalone feed. The SM and FSM diets facilitated greater growth than *Undaria*.

Key words: Abalone, *Haliotis discus* (Reeve 1846), Dietary inclusion, Soybean meal, Fermented soybean meal

## 서론

전복류의 국내 양식 총 생산량은 2000년에는 20톤에 불과하였으나 2016년에는 12,346톤으로 약 617배 증가하였다(KO-SIS, 2017). 따라서 전복의 안정적인 양식생산을 위한 전복용 배합사료 개발에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있다(Kim et al., 1998; Lee et al., 1998; Cho et al., 2008; Jung et al., 2016). 전복용 배합사료내 단독 단백질원으로서 카제인(casein)은 어분이나 대두박 또는 이들과 해조류의 혼합분에 비하여 우수한 것으로 알려져 있으나(Uki et al., 1985a, b, 1986; Viana et al., 1993), 가격이 비싸기 때문에 상업용 배합사료 제

조시에는 거의 사용되고 있지 않다. Lee et al. (1998)은 18주간 사육실험에 있어서 참전복(*Haliotis discus hannai*) 치패의 경우 다양한 종류의 단일 동물성 및 식물성단백질원의 공급 시 유의적인 차이는 없었지만 백색어분, 대두박과 면실박을 함유한 사료 공급구가 카제인을 함유한 공급구보다 우수한 성장을 보인다고 보고한 바 있다. Cho et al. (2008)은 참전복 배합사료내 카제인을 어분, 대두박과 갑각류의 혼합분으로 완전 대체가 가능하다고 보고한 바 있다. 국내에서 수산용 사료원으로 사용되고 있는 어분은 대부분 해외에서 수입되고 있으며, 어분원(고등어, 전갱이 등)으로 널리 사용되어 왔던 수산자원량의 감소로 인하여 어분의 가격도 매년 상승하고 있는 추세이다. 이러

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0812>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 50(6) 812-817, December 2017

Received 11 August 2017; Revised 20 November 2017; Accepted 21 November 2017

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 410. 4755 Fax: +82. 51. 404. 4750

E-mail address: chosunh@kmou.ac.kr

한 문제점을 해결하기 위하여 전복용 배합사료내 주요 단백질 원인 어분을 대체하기 위한 다양한 종류의 동물성 및 식물성 단백질원 개발에 대한 연구가 수행된 바 있다(Bautista-Teruel et al., 2003; Cho, 2010; Jung et al., 2016).

대두박은 가격이 어분에 비하여 저렴하고 공급이 안정적인 뿐만 아니라 단백질 함량(40-50%)이 다른 곡물류에 비하여 비교적 높으며, 옥수수나 다른 곡물류에 부족하기 쉬운 lysine, tryptophan, threonine, isoleucine, valine과 같은 필수아미노산이 풍부하여 동물 사료용 식물성단백질원으로서 우수하다고 인식되어 왔다(Emmert and Baker, 1997; Storebakken et al., 2000; Kim et al., 2012). 그러나 대두박과 같은 식물성단백질원에는 trypsin inhibitor, tannins, oligosaccharide, phytic acid와 같은 항영양인자(anti-nutritional factors)를 함유하고 있기 때문에 양어용 사료에는 제한적으로 이용되고 있다(NRC, 1993; Francis et al., 2001; Guimaraes et al., 2008). 따라서 대두박을 양어용 사료원료로 효율적으로 이용하기 위해서는 이들 항영양인자를 제거시킨 이후에 사용하는 것이 바람직하다(Liener, 1981; Grant, 1989; Kook et al., 2014). 대두박의 항영양인자는 대두박의 공정 과정이나 사료 제조 과정 중에서 발생하는 열에 의하여 제거될 수 있으나(Frideman et al., 1991), 과잉의 열 노출은 아미노산과 당의 maillard reaction을 증가시켜서 결과적으로 아미노산의 소화율을 저하시킬 수도 있다(Parsons et al., 1992; Friedman and Brandon, 2001).

발효(fermentation)도 대두박의 항영양인자를 효율적으로 제거할 수 있는 방법 중의 하나일 뿐만 아니라 가축(livestock)을 포함한 육상동물의 건강도를 향상시킬 수 있는 가용성 단백질 및 저분자량 펩타이드 함량을 증가시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Hong et al., 2004; Kook et al., 2014). Shimeno et al. (1993b)는 방어(*Seriola quinqueradiata*)용 배합사료내 대두박을 *Aspergillus oryzae*와 *Eurotium repens*로 발효시킨 대두박의 공급시 일반대두박에 비하여 비유의적이지만 우수한 성장과 사료이용성을 보였으며, trypsin inhibitor와 oligosaccharide 감소 및 저분자량 펩타이드를 증가시켜 발효대두박의 소화율을 향상시킨다고 보고한 바 있다.

어류용 배합사료내 발효대두박의 유용성은 주로 어분대체원으로서 이용 가능성에 대한 연구가 대부분이며, 넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 30%, 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)은 60% 및 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)는 100% (Yamamoto et al., 2010; Jang et al., 2013; Kim et al., 2013; Jeong et al., 2014)가 대체 가능하다고 보고된 바 있다. 그러나 전복용 배합사료내 대두박이나 발효대두박 첨가에 따른 그 이용성이나 유용성에 대한 정보는 전혀 없는 실정이다. South African 전복(*Haliotis midae*)에 있어서 탈지(defatted)시킨 대두박은 소화율이 우수하여서 전복용 배합사료내 우수한 단백질원이라고 보고된 바 있다(Sales and Britz, 2001).

따라서 본 연구에서는 일본과 우리나라 제주도 연안의 특산

종인 까막전복(*H. discus*, Reeve 1846) (Han, 1998)용 배합사료내 대두박과 발효대두박 첨가시 까막전복 치패의 성장과 체조성에 미치는 영향을 해조류 먹이인 미역을 공급한 까막전복과 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 전복의 사육 및 관리

실험에 이용된 까막전복 치패는 제주도에 위치한 개인양식장(대건수산)에서 구입하여 사육실험 조건에 2주간 적응시켰으며, 적응 기간 동안에는 건미역(*Undaria*)을 1일 1회 전체중의 1-3% 정도 공급하였다. 9개의 70 L플라스틱 수용기(120 cm×36 cm)에 각각 70마리의 전복 치패(시작시 평균 무게 3.1 g/마리)를 수용하였고, 1개의 9톤 콘크리트 raceway (수량 3톤)에 분산 수용하였다. 이때 모든 수용기에는 충분한 양의 air를 공급하여 주었다. 플라스틱 수용기에는 shelter를 넣어 주어 전복의 은신처를 제공하여 주었다. 사육실험 기간 동안 실험사료의 공급은 1일 1회(17:00) 충분한 양의 먹이를 공급(전체중의 2-3%)하였으며, 남은 먹이는 매일 제거하여 주었다. 사육실험 기간 동안 사육수온 범위는 16.8°C-20.7°C (Mean±SD, 18.0±0.69°C)이었고, raceway 당 환수량은 110 L/min 이었고, 빛은 자연광주기를 따랐다. 전복 사육실험 기간은 총 16주간이었다.

### 실험용 사료 및 전복 가식부의 일반성분 분석

전복 실험용 사료의 사료 조성표는 Table 1과 같다. 2종류의 실험용 사료를 준비하였으며, 22% 어분, 2% 카제인 및 25% 대두박을 주요 단백질원으로 공급하였다. 이때 사용한 대두박은 일반대두박(SM)과 발효대두박(FSM)으로 구분하였으며, CJ 제일 제당에서 구입하여 사용하였다. 또한 5% 소맥분과 5% 텍스트린을 주요 탄수화물원으로 공급하였으며, 0.5% 오징어 간유와 0.5% 대두유를 실험용 사료내 주요 지질원으로 공급하였다. 실험용 사료의 유용성을 비교하기 위하여 자연산 먹이인 건미역을 공급하는 실험구를 두었다. 모든 실험구는 3반복구를 두었다.

22%의 알긴산나트륨을 실험용 사료에 첨가하였으며, 실험용 사료원들은 잘 혼합한 후 물과 1:1의 비율로 섞어서 혼합기로 혼합하였다. 잘 혼합된 반죽은 1 cm (가로)×1 cm (세로)×0.15 cm (두께)의 크기로 잘라서 5% CaCl<sub>2</sub> 용액에 1분간 담구어서 알긴산나트륨을 칼슘염으로 치환시켰다. 제조한 실험용 사료는 그늘에서 2일간 건조시킨 이후 -20°C 냉동고에 보관하면서 공급하였다.

### 실험용 사료와 전복 가식부의 일반성분 분석

16주간의 사육실험 종료 시 각각의 실험구에서 생존한 전복의 전체중을 측정하였으며, 이중 20마리를 각 수조마다 무작위 샘플하여 냉동보관(-70°C) 하였다. 실험용 사료의 일반성분분

석은 AOAC (1990) 방법에 따라 조단백질은 Kjeldahl method (Auto Kjeldahl System, Buchi B-324/435/412, Switzerland) 과 조지방(에테르 추출법)을 분석하였으며, 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였고, 수분은 105°C dry oven에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다.

### 통계 분석

통계학적 분석은 SPSS (version 19.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 각 실험구간의 유의성을 검정하였다.

### 결과 및 고찰

실험용 사료를 16주간 공급한 전복의 성장 결과는 Table 2와 같다. 전복의 생존율은 88.6%-92.9%의 범위이었으며, 실험구간에 유의적인 차이는 없었다. 전복의 체중 증가(Weight gain)와 일일성장률(SGR, specific growth rate)은 대두박(SM, soybean meal)을 공급한 실험구가 발효대두박(FSM, fermented soybean meal)을 공급한 실험구보다 유의적( $P<0.05$ )으로 우수하였다. 그리고 실험용 사료(SM과 FSM)를 공급한 모든 실험구에서의 전복 체중 증가와 일일성장률은 미역을 공급한 실험구보다 유의적( $P<0.05$ )으로 우수하였으며, 이러한 결과는 영양

Table 1. Ingredients of the experimental diets (% DM basis)

Ingredient (%)	Experimental diets		
	Soybean meal (SM)	Fermented soybean Meal (FSM)	<i>Undaria</i>
Fish meal	22	22	
Casein	2	2	
Soybean meal <sup>1</sup> (CP: 51.0%, CL:1.4%)	25		
Fermented soybean meal <sup>1</sup> (CP: 57.6%, CL: 1.1%)		25	
Wheat flour	5	5	
Dextrin	5	5	
<i>Undaria</i> powder	15	15	
Squid liver oil	0.5	0.5	
Soybean oil	0.5	0.5	
Sodium alginate	22	22	
Mineral premix <sup>2</sup>	2	2	
Vitamin premix <sup>3</sup>	1	1	
Nutrients (% DM basis)			
Dry matter	89.3	90.9	86.0
Crude protein	35.0	35.6	20.7
Crude lipid	3.5	3.3	0.8
Ash	16.8	16.2	36.1

<sup>1</sup>Soybean and <sup>1</sup>fermented soybean meal fermented with *Bacillus subtilis* were purchased from CJ CheilJedang Corp. (Seoul, Korea). <sup>2</sup>Mineral premix and <sup>3</sup>Vitamin premix were same as Jung et al. (2016)'s study.

Table 2. Survival (%), weight gain (g/abalone) and specific growth rate (SGR, %/day) of juvenile abalone *Haliotis discus* fed the experimental diets for 16 weeks

Experimental diets	Initial weight (g/abalone)	Final weight (g/abalone)	Survival (%)	Weight gain (g/abalone)	SGR <sup>1</sup> (%/day)
SM	3.0±0.00	5.5±0.05 <sup>a</sup>	90.5±0.48 <sup>a</sup>	2.5±0.03 <sup>a</sup>	0.54±0.005 <sup>a</sup>
FSM	3.0±0.00	5.2±0.07 <sup>b</sup>	92.9±3.60 <sup>a</sup>	2.2±0.07 <sup>b</sup>	0.49±0.012 <sup>b</sup>
<i>Undaria</i>	3.3±0.00	5.2±0.03 <sup>b</sup>	88.6±2.18 <sup>a</sup>	1.9±0.03 <sup>c</sup>	0.40±0.005 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>Specific growth rate (SGR)=[(Ln(Wf)-Ln(Wi))/days of feeding]×100, where Ln(Wf)=natural log of the final mean weight of abalone and Ln(Wi)=natural log of the initial mean weight of abalone. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ( $P>0.05$ ).

Table 3. Chemical composition (%) of edible portion of juvenile abalone *Haliotis discus* fed experimental diets for 16 weeks

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
SM	74.4±0.63 <sup>a</sup>	21.1±0.26 <sup>a</sup>	1.7±0.09 <sup>a</sup>	2.2±0.10 <sup>a</sup>
FSM	74.8±0.29 <sup>a</sup>	20.9±0.14 <sup>a</sup>	1.5±0.07 <sup>a</sup>	2.1±0.08 <sup>a</sup>
<i>Undaria</i>	74.1±0.11 <sup>a</sup>	15.9±0.09 <sup>b</sup>	0.8±0.01 <sup>b</sup>	2.0±0.02 <sup>a</sup>

Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different (P>0.05).

학적으로 균형이 잘 맞는 전복용 배합사료를 공급한 전복의 성장이 해조류(미역, 다시마, kelp)를 공급한 전복의 성장보다 우수하다는 다른 연구들(Lee et al., 1997; Kim et al., 1998; Viana et al., 1993; Lee et al., 1998; Cho et al., 2008; Garcia-Esquivel and Felbeck, 2009; Jung et al., 2016)과 일치하였다.

본 연구에서 SM을 함유한 사료를 공급한 실험구에서 전복의 성장과 일일성장율이 FSM을 공급한 사료에 비하여 우수한 결과는 전복에 있어서 FSM보다 SM이 우수한 단백질원이라는 것을 의미한다. 이러한 차이는 자연 상태에서 전복의 먹이는 주로 미역과 다시마와 같은 해조류이며 에너지원으로서 지질보다는 탄수화물을 잘 이용하는 특성(Britz et al., 1994; Monje and Viana, 1998; Thongrod et al., 2003)을 고려하면 대두박과 같은 식물성단백질원에 함유된 항영양인자가 크게 악영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. Kim et al. (2009)에 따르면 돌돔 치어의 경우, *A. oryzae* 균주로 발효시킨 FSM 첨가시 SM에 비하여 비유의적이기는 하지만 성장이 둔화된다고 보고하였다. 또한 Lim and Lee (2011)는 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)에 있어서 SM과 면실박 또는 *A. oryzae* 균주로 발효시킨 FSM과 발효면실박의 사료내 첨가시 어체의 성장이나 사료이용성에 뚜렷한 차이가 없었으나, 발효박 첨가에 따른 배합사료와 이를 공급 받은 어체의 항산화 활성(antioxidant activity)이 향상된다고 보고하였다. 이러한 연구 결과는 발효대두박의 사료원으로 이용시 어류의 성장이나 사료효율 개선 또는 배합사료내 어분 대체원으로서의 이용성 개선 측면에서 우수하다는 과거의 여러 연구들(Hong et al., 2004; Guimaraes et al., 2008; Yamamoto et al., 2010; Jang et al., 2013; Kim et al., 2013; Jeong et al., 2014; Kook et al., 2014)과 상이하였다.

FSM의 사료원으로서 공급시 FSM의 영양학적 가치 차이나 또는 어류나 기타 수산동물에 있어서 이용성 차이는 발효에 이용된 균주의 종류나 여러 가지 발효 조건 등에 따라서 다르게 나타난다고 보고되었다(Shimeno et al., 1993a, b; Hong et al., 2004; Refsite et al., 2005; Yamamoto et al., 2010; Kook et al., 2014). 특히 Yamamoto et al. (2010)은 대두박을 45% 수분 함량으로 10시간 동안 *Bacillus* spp.로 발효시킨 대두박을 첨가한 실험구에서의 무지개송어가 30% 수분 함량으로 7시간 동안 발효시킨 대두박을 첨가한 사료보다 뚜렷하게 우수한 성장과 사료이용성을 보여서 발효 조건에 따라서 공급된 발효분의 효능이 크게 다르게 나타났다. 따라서 SM과 FSM의 전복을 포함한 수산동물에 있어서 이용성 및 그 효능을 평가하기 위해서는 발

효에 이용된 균주의 종류나 또는 발효 조건 등에 따른 자세한 조사가 필요해 보인다.

전복 가식부의 일반성분 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 전복 가식부의 수분과 회분 함량은 실험구간에 유의적인 차이가 없었다. 그러나 전복 가식부의 단백질과 지질 함량은 실험용 사료를 공급한 실험구(SM과 FSM)에서 미역을 공급한 실험구에 비하여 유의적(P<0.05)으로 높았다. 전복용 배합사료를 공급받은 실험구에서 전복 가식부의 높은 단백질과 지질 함량은 해조류 먹이인 미역이나 다시마에 비하여 공급된 배합사료의 높은 단백질과 지질 함량을 잘 반영하고 있다는 과거의 여러 결과(Lee et al., 1998; Cho et al., 2008; Jung et al., 2016)와 일치하였다.

이상의 결과를 고려할 때 까막전복 치패 배합사료내 발효대두박(FSM)보다는 대두박(SM)이 우수한 단백질원으로 판단된다. 또한 영양학적으로 균형이 잘 맞는 전복용 배합사료 공급시 미역에 비하여 우수한 까막전복의 성장을 이루었다.

## 사 사

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(No. 2017R1A2B4009773), 또한 2014년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(“과립형 양어 미립자 초기사료 개발”)로서 이에 감사 드립니다.

## References

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis (15<sup>th</sup> edn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, U.S.A.

Bautista-Teruel MN, Fermin AC and Koshio SS. 2003. Diet development and evaluation for juvenile abalone, *Haliotis asinina*: animal and plant protein sources. *Aquaculture* 219, 645-653. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00410-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00410-6).

Britz PJ, T. Hecht T, Knauer and Dixon MG. 1994. The development of an artificial feed for abalone farming. *S Afr J Sci* 90, 7-8.

Cho SH. 2010. Effect of fishmeal substitution with various animal and/or plant protein sources in the diet of the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquacult Res* 41, e587-e593. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02561.x>.

Cho SH, Park J, Kim C and Yoo J. 2008. Effect of casein

- substitution with fishmeal, soybean meal and crustacean meal in the diet of the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquacult Nutr* 14, 61-66. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00505.x>.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Emmert JL and Baker DH. 1997. A chick bioassay approach for determining the bioavailable choline concentration in normal and overheated soybean meal, canola meal and peanut meal. *J Nutr* 127, 745-752.
- Francis G, Makkar HPS and Beker K. 2001. Antinutritional factors present in plan-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00526-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00526-9).
- Friedman M, Brandon DL, Bates AH and Hymowitz T. 1991. Comparison of a commercial soybean cultivar and an isolate lacking the Kunitz trypsin inhibitor: composition, nutritional value, and effects of heating. *J Agric Food Chem* 39, 327-335. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00002a022>.
- Friedman M and Brandon DL. 2001. Nutritional and health benefits of soy proteins. *J Agric Food Chem* 49, 1069-1086. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0009246>.
- Garcia-Esquivel Z and Felbeck H. 2009. Comparative performance of juvenile red abalone, *Haliotis rufescens*, reared in laboratory with fresh kelp and balanced diets. *Aquacult Nutr* 15, 209-217. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00585.x>.
- Grant G. 1989. Anti-nutritional effects of soyabean, a review. *Prog Food Nutr Sci* 13, 317-348.
- Guimaraes IG, Pezzato LE and Barros MM. 2008. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquacult Nutr* 14, 396-404. [10.1111/j.1365-2095.2007.00540.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00540.x)
- Han S. 1998. *Abalone Culture*. Guduk Publishing, Busan, Korea.
- Hong K, Lee C and Kim SW. 2004. *Aspergillus oryzae* GB-107 fermentation improves nutritional quality of food soybeans and feed soybean meals. *J Med Food* 7, 430-435. <http://dx.doi.org/10.1089/jmf.2004.7.430>.
- Iwashita Y, Suzuki N, Yamamoto T, Shibata J, Isokawa K, Soon AH, Ikehata Y, Furuita H, Sugita T and Goto T. 2008. Supplemental effect of cholytaurine and soybean lecithin to a soybean meal-based fish meal-free diet on hepatic and intestinal morphology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Sci* 74, 1083-1095. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01628.x>.
- Jang M, Park H, Nam K, Han H, Kim K, Kim K and Lee B. 2013. Effect of extruded pellets containing fermented soybean meal as a partial substitute for fish meal on growth performance and muscle quality of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J Agri Life Sci* 47, 203-215.
- Jeong U, Jin F, Han J, Choi B and Kang S. 2014. Effects of DHA-rich fermented soybean meal as a dietary protein replacement for fish meal in the parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 376-382. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0376>.
- Jung W, Kim HS, Lee KW, Kim YE, Choi DK, Jang B, Cho SH, Choi CY, Kim B and Joo Y. 2016. Growth and body composition effects of tuna byproduct meal substituted for fish meal in the diet of juvenile abalone, *Haliotis discus*. *J World Aquacult Soc* 47, 74-81. <http://dx.doi.org/10.1111/jwas.12255>.
- Kim J, Lee S, Han S, Kim B and Park S. 1998. Effects of experimental diet, commercial diets and algae (*Undaria*) on growth and body composition among juvenile abalones (*Haliotis discus*, *H. sieboldii* and *H. discus hannai*). *J Aquaculture* 11, 505-512.
- Kim SS, Galaz GB, Pham MA, Jang JW, Oh DH, Yeo IK and Lee KJ. 2009. Effects of dietary supplementation of a Meju, fermented soybean meal, and *Aspergillus oryzae* for juvenile parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Asian-Aust J Anim Sci* 22, 849-856. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2009.80648>.
- Kim EJ, Utterback PL and Parsons CM. 2012. Comparison of amino acid digestibility coefficients for soybean meal, canola meal, fish meal, and meat and bone meal among 3 different bioassays. *Poult Sci* 91, 1350-1355. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01861>.
- Kim K, Kim K, Lee B, Lee J, Han H, Koo J, Choi YH and Bai S. 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. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0769>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service) 2017. Korean Statistical Information Service. KOSIS, Daejeon, Korea
- Kook M, Cho S, Hong Y and Park H. 2014. *Bacillus subtilis* fermentation for enhancement of feed nutritive value of soybean meal. *J Appl Biol Chem* 57, 183-188. <https://doi.org/10.3839/jabc.2014.030>.
- Lee S, Lee GA, Jeon I and Yoo SK. 1997. Effects of experimental formulated diets, commercial diet and natural diet on growth and body composition of abalone (*Haliotis discus hannai*). *J Aquaculture* 10, 417-424.
- Lee S, Yun SJ and Hur SB. 1998. Evaluation of dietary protein sources for abalone (*Haliotis discus hannai*). *J Aquaculture* 11, 19-29.
- Liener IE. 1981. Factors affecting the nutritional quality of soya products. *J Am Oil Chem Soc* 58, 406-415.
- Lim S and Lee KJ. 2011. A microbial fermentation of soybean and cottonseed meal increases antioxidant activity and gossypol detoxification in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *J World Aquacult Soc* 42, 494-503. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00491.x>.
- Monje H and Viana MT. 1998. The effect of cellulose on the growth and cellulolytic activity of abalone *Haliotis fulgens*

- when uses as an ingredient in formulated artificial diet. J Shellfish Res 17, 667-671.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutritional requirements of fish. National Academic Press, Washington DC, U.S.A.
- Parsons CM, Hashimoto K, Wedekind KJ, Han Y and Baker DH. 1992. Effect of over-processing on availability of amino acids and energy in soybean meal. Poultry Sci 71, 133-140. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.0710133>.
- Sales J and Britz PJ. 2001. Evaluation of different markers to determine apparent nutrient digestibility coefficients of feed ingredients for South African abalone (*Haliotis midae* L.) Aquaculture 202, 113-129. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00575-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00575-0).
- Shimeno S, Masumoto T, Mima T and Ando Y. 1993a. Improvement of nutritive value of soybean meal diet through fermentation. Aquacult Sci 41, 113-117. <http://dx.doi.org/10.1123/aquaculturesci1953.41.113>.
- Shimeno S, Mima T, Yamamoto O and Ando Y. 1993b. Effects of fermented defatted soybean meal in diet on the growth, feed conversion, and body composition of juvenile yellow-tail (*Seriola quinqueradiata*). Nip Sui Gak 59, 1883-1888.
- Storebakken T, Refstie S and Ruyter B. 2000. Soy products as fat and protein sources in fish diets for intensive aquaculture. Pages 127-170 in J. K. Drackley, editor. Soy in animal nutrition. Federation of Animal Science Societies, Savoy, Illinois, U.S.A.
- Thongrod S, Tamtin M, Chairat C and Boonyaratpalin M. 2003. Lipid to carbohydrate ratio in donkey's ear abalone (*Haliotis asinina*, Linne) diets. Aquaculture 225, 165-174. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00287-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00287-4).
- Uki N, Kemuyama A and Watanabe T. 1985a. Development of semipurified test diets for abalone. Bull Jpn Soc Sci Fish 51, 1825-1833. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.51.1825>.
- Uki N, Kemuyama A and Watanabe T. 1985b. Nutritional evaluation of several protein sources in diets for abalone *Haliotis discus hannai*. Bull Jpn Soc Sci Fish 51 1835-1839. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.51.1835>.
- Uki N, Kemuyama A and Watanabe T. 1986. Optimum protein level in diets for abalone. Bull Jpn Soc Sci Fish 52, 1005-1012. <http://dx.doi.org/suisan.51.1005>.
- Viana MT, López LM and Salas A. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens* evaluation of two artificial diets and macroalgae. Aquaculture 117, 149-156. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90131-H](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(93)90131-H).
- Yamamoto T, Suzuki N, Furuita H, Sugita T, Tanaka N and Goto T. 2007. Supplemental effect of bile salts to soybean meal-based diet on growth and feed utilization of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fish Sci 73, 123-131. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01310.x>.
- Yamamoto T, Iwashita Y, Matsunari H, Furuita H, Akimoto A, Okamoto K and Suzuki N. 2010. Influence of fermentation conditions for soybean meal in non-fish meal diet on the growth performance and physiological conditions of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 309, 173-180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.021>.