

까막전복(*Haliotis discus*) 치패용 EP (Extruded pellet)사료내 어분과 다시마(*Saccharina japonica*) 대체원으로서 대두박과 생미강의 대체 효과

김희성 · 정해승¹ · 김준¹ · 윤아영¹ · 이기욱 · 조성환^{1*}

한국해양대학교 해양생명과학부, ¹한국해양대학교 해양과학기술전문대학원

Substitution Effect of Fish Meal and *Saccharina* with Soybean Meal and Rice Bran in the Extruded Pellet on Juvenile Abalone *Haliotis discus* (Reeve 1846)

Hee Sung Kim, Hae Seung Jeong¹, June Kim¹, Ahyeong Yun¹, Ki Wook Lee and Sung Hwoan Cho^{1*}

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

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

Substitution effect of fish meal and *Saccharina japonica* with soybean and rice bran in extruded pellet (EP) on juvenile abalone was determined. Two thousand five hundred and twenty juvenile abalone were distributed into 36 plastic containers. Four EP were prepared and extruder-pelletized. Twenty percent fish meal, 12% soybean meal and 14% *Saccharina japonica* were included in the Control diet. Fifty percent of fish meal, combined 50% of fish meal and *Saccharina japonica*, and 100% of fish meal and *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal, and combined soybean meals and rice brans, referred to as FS50, FS50+SS50 and FS100+SS100 diets, respectively. Four domestic and 3 imported commercial diets for abalone and salted *Saccharina japonica* were prepared. The diets were fed to abalone once a day for 16 weeks. The highest survival was obtained in abalone fed FS50+SS50 diet. Weight gain and SGR of abalone fed FS50+SS50 diet was higher than those of abalone fed the FS50 and FS100+SS100 diets. Proximates of abalone was affected by dietary nutrient composition. In conclusion, 50% fish meal and combined 50% fish meal and *Saccharina japonica* could be replaced with the same amount of soybean meal and combined soybean meal and rice bran in EP of abalone.

Key words: Abalone *Haliotis discus* (Reeve 1846), Fish meal, *Saccharina japonica*, Soybean meal, Rice bran

서 론

전복류(*Haliotis* spp.)의 국내 양식총생산량은 2000년에는 20톤에 불과하였으나 2016년에는 12,346톤으로 증가하였으며, 세계 양식총생산량은 2000년에는 2,540톤에 불과하였으나 2015년에는 139,594톤으로 크게 증가하여서(FAO, 2017) 전복의 양식대상종으로서의 중요성은 앞으로도 지속될 것으로 예상된다. 양어용 배합사료뿐만 아니라 전복용 배합사료에서도 동물성 단백질 공급원으로서 어분(fish meal)은 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나 어분의 국제 가격이 매년 상승하고 있는 추세에 있기 때문에 이들 어분을 대체할 수 있는 사료원의 개발

이 절실히 필요한 실정이다. 수산용 배합사료내 어분 대체원으로서 가장 선호되는 단백질원 중의 하나가 대두박이다. 대두박은 가격이 어분에 비하여 저렴하고 공급이 안정적인 뿐만 아니라 단백질 함량(45-55%)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). 대두박은 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*), 방어(*Seriola quinqueradiata*), tin foil barb (*Barbodes altus*), cobia (*Rachycentron canadum*)와

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0731>



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) 731-737, December 2017

Received 10 October 2017; Revised 30 October 2017; Accepted 14 November 2017

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

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

같은 다양한 어종의 배합사료내 어분 대체원(Viyakam et al., 1992; Elangovan and Shim, 2000; Choi et al., 2004; Chou et al., 2004; Heikkinen et al., 2006)으로서 뿐만 아니라 전복(*H. discus hannai*)용 배합사료내 카제인이나 어분 대체원으로서도 우수한 단백질원(Uki et al., 1985; Lee et al., 1998; Cho, 2010)이라고 알려진 바 있다. 특히, Cho (2010)는 전복 치패용 배합사료내 어분대체원으로서 대두박과 대두박에 부족하기 쉬운 methionine의 0.5% 혼합 대체시 배합사료내 함유되어 있는 35% 어분을 전량 대체 가능하다고 보고하였다.

자연상태에서 전복의 먹이뿐만 아니라 배합사료 제조시에도 미역이나 다시마와 같은 해조류가 폭 넓게 사용되고 있으며, 이들 해조류는 전복용 배합사료 제조시 가장 비싼 원료 (3,000-4,000원/kg) 중 하나이다. 이용 가능한 해조류의 종류나 가격에 따라서 다소 다르기는 하지만 국내에서 제조되고 있는 국내산 전복용 배합사료의 경우에는 약 5-25% 내외의 해조류가 전복용 배합사료에 함유된다. 따라서 이들 값비싼 해조류를 대체할 수 있는 새로운 사료원료의 개발이 절실히 필요한 실정이다. Kim et al. (2016)의 연구 결과에 따르면 까막전복(*H. discus*) 치패의 경우 배합사료내 20% 다시마 첨가시 다시마 대신에 곡물 부산물인 생미강(rice bran)으로 전량 대체 가능하였으며, 특히 다시마의 40%를 생미강으로 대체시 가장 우수한 전복의 성장을 보였다.

과거 전복용 배합사료내 어분과 다시마 대체원으로서 대두박이나 생미강의 대체 가능성이나 그 효과는 실험용 배합사료를 제조하여 공급한 전복에서의 결과이지만 이러한 결과를 전복 양식산업 현장에 보급시키거나 상용화시키기 위해서는 EP (extruded pellet)에서 이들 대체 원료의 효과 검증이 반드시 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 대두박과 생미강의 어분 및 다시마 대체 효과 및 그 유용성을 시판용 배합사료와 동일한 EP의 형태로 제조하여서 검증하고자 한다. 또한 이들 사료의 효능을 국내에서 제조된 국내산 4종류와 해외에서 수입되어 사용되고 있는 3종류의 전복용 수입 사료와 비교하였다.

재료 및 방법

전복의 사육 및 관리

실험에 이용된 까막전복 치패는 개인양식장(평대수산, 제주특별자치도)에서 구입하여 사육실험 조건에 2주간 적응시켰으며, 적응 기간 동안에는 건미역(*Undaria*)을 1일 1회 전체 중의 2% 정도 공급하였다. 36개의 70 L 플라스틱 수용기(120 cm×36 cm)에 각각 70마리의 전복 치패(시작시 평균 무게, 5.3 g/마리)를 수용하였고, 2개의 9톤 콘크리트 raceway (수량, 3톤)에 각각 18개의 플라스틱 수용기를 분산 수용하였다. 이때 모든 수용기에는 충분한 양의 air를 공급하여 주었으며, 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 평균 사육수온 (Mean±SD)은 18.4±0.99°C (16.7°C-21.8°C)이었으며, raceway 당 환수량은 48.2 L/min 이었고, 빛은 자연광주기를 따랐다. 전복 사육실험 기간은 총 16주간이었다.

실험용 사료 및 전복 가식부의 일반성분 분석

전복 실험용 사료의 조성표와 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 대조구(Control) 사료에는 20% 어분과 12% 대두박을 주요 단백질원으로 공급하였으며, 22% 소맥분과 10% dextrin을 주요 탄수화물원 및 2% 오징어 간유와 1% 대두유를 주요 지질원으로 각각 공급하였다. 또한 Control사료에는 14%의 다시마를 첨가하였다. Control사료에 함유된 어분의 50%를 대두박으로 대체한 실험구(FS50)와 어분과 해조류를 각각 대두박과 생미강으로 50%씩 혼합 대체한 실험구(FS50+SS50) 및 어분과 해조류를 각각 대두박과 생미강으로 전량 100%씩 혼합 대체한 실험구(FS100+SS100)를 두었다. 이들 4종류의 실험사료는 (주)이화유지공업에 의뢰하여 상업용 시판사료와 동일하게 extruded pelleter (Jyoda, Japan)으로 제조하였다. 또한 국내에서 제조된 4종류의 국내 시판용 사료(D1, D2, D3, D4)와 수입되어 시판되고 있는 3종류의 수입 시판용 사료[Taiwan (T), China (C), Japan (J)]를 준비하였다. 실험용 사료의 유용성을 비교하기 위하여 제주도 전복 양식산업 현장에서 폭 넓게 사용되고 있는 염장미역을 공급하는 실험구를 두었다. 모든 실험구는 3반복구를 두었다.

실험용 사료와 전복 가식부의 일반성분 분석

16주간의 사육실험 종료 시 각각의 실험구에서 생존한 전복 10마리씩을 무작위로 샘플하여 냉동보관(-70°C) 하였으며, 각 전복의 각장과 각쪽은 digital caliper (Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japan)을 이용하여 측정하였고, 영양학적 상태 지수 측정을 위해 전중량에 대한 가식부의 비를 계산하였다.

실험용 사료와 전복 가식부의 일반성분분석은 AOAC (1990)에 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

One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로서 SAS version 9.3 program (SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 각 실험구간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

전복용 실험사료와 국내의 시판용 사료를 16주간 공급한 전

복의 성장 결과는 Table 2와 같다. 전복의 생존율은 73.3-92.7%의 범위이었으며, 실험구간에 유의적인 차이가 나타났다. 어분과 다시마를 대두박과 생미강으로 50%씩 혼합 대체한 사료(FS50+SS50)를 공급한 실험구에서 가장 높은 생존율을 보였으며, 대조구(Control) 사료나 또는 어분과 다시마를 100%씩 혼합 대체한 사료(FS100+SS100)와는 유의적인 차이가 없었으나(P>0.05), 어분 50%를 대두박으로 대체한 사료(FS50)보다는 유의적(P<0.05)으로 높았다. D4사료는 수입용 시판 사료(T, C, J)와 유의적인 차이는 없었다(P>0.05). D1사료를 공급한 실험구에서 가장 낮은 생존율을 보였다. 염장미역을 공급한 실험구에서도 D1사료를 공급한 실험구를 제외한 다른 배합사료 공급구에 비하여 비교적 낮은 생존율이 관찰되었다.

전복의 체중 증가(weight gain)와 일일성장률(SGR, specific growth rate)은 수입 사료인 J사료를 공급한 실험구에서 가장

높았으며, 그 다음으로 국내산 시판사료인 D4와 D3 사료의 순이었으나, 이들 3종류의 사료간에 유의적인 차이는 없었다(P>0.05). FS50+SS50사료를 공급한 실험구에서 전복의 체중 증가와 SGR이 Control 사료 공급구와는 유의적인 차이가 없었으나(P>0.05), FS50이나 FS100+SS100 사료를 공급한 실험구보다는 유의적(P<0.05)으로 우수하였다. FS100+SS100, D1 사료와 염장다시마를 공급한 실험구간에 전복의 체중 증가와 SGR은 유의적인 차이가 없었다(P>0.05). 가장 낮은 체중 증가와 SGR이 D2사료를 공급한 실험구에서 관찰되었다.

FS50+SS50사료 공급구에서 전복의 생존율과 성장(체중과 SGR)은 Control 사료 공급구에 비하여 비유의적이지만 높았으며, FS50이나 FS100+SS100사료 공급구에 비하여 유의적으로 우수한 성장을 보인 결과는 전복용 배합사료내 어분을 대두박으로 50% 대체 가능하거나 또는 어분과 다시마를 대두박

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

	Experimental diets											
	Control	FS50	FS50 +SS50	FS100 +SS100	D1	D2	D3	D4	Taiwan (T)	China (C)	Japan (J)	Salted <i>Saccharina japonica</i>
Fish meal (CP:65.0%, CL:11.3%)	20	10	10									
Soybean meal (CP:53.5%, CL:2.0%)	12	22	22	32								
<i>Saccharina japonica</i> (CP:10.5%, CL:0.1%)	14	14	7									
Rice bran (CP:13.7%, CL:18.2%)	10	10	17	24								
Wheat flour	22	22	22	22								
Dextrin	10	10	10	10								
Yeast	2	2	2	2								
Squid liver oil	2	2	2	2								
Soybean oil	1	1	1	1								
Mineral premix ¹	5	5	5	5								
Vitamin premix ²	2	2	2	2								
Nutrients (% , DM)												
Dry matter	95.5	95.9	95.3	99.7	91.0	97.7	91.9	93.1	92.1	91.9	94.3	35.6
Crude protein	28.7	26.5	27.0	23.8	34.1	18.1	39.3	34.2	33.5	32.7	34.1	7.6
Crude lipid	5.7	3.8	8.2	12.0	2.5	1.4	3.9	0.6	1.9	1.6	0.9	1.2
Ash	9.1	9.1	8.3	7.6	12.6	32.3	16.0	11.4	15.5	29.8	20.1	65.5

¹Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): riboflavin, 23.8; pyridoxine, 4.7; niacin, 95.2; Ca-pantothenate, 33.3; inositol, 476.9; folic acid, 1.5; p-amino benzoic acid, 47.6; filler, 31.7. ²Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄, 140.8; NaH₂PO₄, 92.4; KH₂PO₄, 246; Ca(H₂PO₄)₂, 139.5; ZnSO₄, 22.5; Ca-lactate, 310; AlCl₃, 0.15; KI, 0.15; MnSO₄, 2; CoCl₂, 1; filler, 45.5. FS50, 50% fish meal was substituted with the same amount of soybean meal; FS50+SS50, 50% fish meal and 50% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; FS100+SS100, 100% fish meal and 100% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; D1, domestic 1; D2, domestic 2; D3, domestic 3; D4, domestic 4.

과 생미강으로 50%씩 혼합 대체 가능하다는 것을 의미하며, 어분과 다시마를 대두박과 생미강으로 100%씩 혼합 대체 시에는 전복의 성장에 부정적인 영향을 미친다는 것을 의미한다. 특히, FS50+SS50사료에서 전복의 생존율과 성장(체중과 SGR)이 FS50사료에 비하여 유의적으로 향상된 것은 주로 다시마의 생미강 대체 효과에서 기인하는 것으로 판단되며, 이러한 결과는 전복용 배합사료내 다시마를 생미강으로 40% 대체시 대조구(생미강 0% 대체)보다 더 우수한 성장을 보였으나 생미강으로 100% 대체시 대조구에 비하여 비유의적이지만 전복의 성장이 감소하였다는 연구(Kim et al., 2016) 결과와 일치하였다. 그러나 Uki et al. (1985)은 전복용 배합사료내 다양한 종류의 단백질원 이용시 카제인을 함유한 배합사료를 공급받은 참전복(*H. discus hannai*)의 성장이 다른 종류의 단백질원을 함유한 배합사료를 공급받은 전복보다 우수하였으며, 특히 대두박을 함유한 배합사료를 공급받은 전복의 성장이 어분을 함유한 배합사료를 공급받은 전복보다 우수하였다고 보고하였다. 또한 Cho (2010)는 참전복 치패용 배합사료내 어분을 대두박과 0.5% methionine의 혼합 대체시 전량 대체 가능하였다는 과거 연구 결과와 본 연구에서 FS50사료 공급시 비유의적이지만 소량 감소한 전복의 성장과 FS100+SS100사료를 공급받은 전복에서의 유의적인 성장 감소를 고려하면, 전복용 배합사료내 어분을 대두박으로 전량 대체하기 위해서는 대두박에 부족하기 쉬운 methionine의 보충이나 또는 대두박과 동물성 단백질원의 혼합 대체 등과 같은 방법 개선이 필요해 보인다. Bautista-

Teruel et al. (2003)도 전복(*H. asinina*)용 배합사료내 동물성 단백질과 식물성단백질원 혼합분(어분, 새우분과 탈지대두박 또는 *Spirulina*)이 식물성단백질원들의 혼합분(탈지대두박과 *Spirulina*)보다 우수한 성장을 보인다고 보고하였다.

FS100+SS100사료 공급구에서 전복의 성장(체중과 SGR) 감소는 어분을 대두박으로 전량 대체함에 따른 사료내 단백질 함량 감소와 다시마를 생미강으로 전량 대체함에 따른 사료내 지질 함량 증가의 복합적인 요인에서 기인한 결과로 생각된다. 전복용 배합사료내 단백질과 지질 요구량은 각각 25-35% 및 3-7%인 것으로 알려져 있으며(Mai et al., 1995a, 1995b; Fleming et al., 1996; Bautista-Teruel et al., 2003), FS100+SS100 사료의 단백질 함량은 전복의 단백질 요구량에 비하여 낮으며, 또한 지질 함량은 요구량에 비하여 높았다. 전복은 protease, amylase, cellulose와 alginase와 같은 소화 효소를 다량으로 함유하고 있으나 lipases 소화효소 함량이 낮기 때문에 (Emerson, 1967; Gomez-Pinchetti and Garcia-Reina, 1993; Britz et al., 1994; Garcia-Esquivel and Felbeck, 2006) 에너지원으로서 지질보다는 탄수화물을 잘 이용하는 것으로 알려져 있다(Britz et al., 1994; Monje and Viana, 1998; Thongrod et al., 2003). Yokoe and Yasumasu (1964)는 2종의 전복(*H. gigantea*와 *H. japonica*)의 장내에서 cellulase를 발견하였고, Nakagawa and Nagayama (1988)는 전복(*Haliotis discus hannai*와 *H. seibaldii*)의 추출물에서 고효성의 xylanase와 carboxymethylcellulase를 발견하여 해양무척추동물의 소화기내

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 ¹ (%/day)
Control	5.3±0.00	7.2±0.12	88.0±3.06 ^{abc}	1.9±0.12 ^{cd}	0.27±0.015 ^{cd}
FS50	5.3±0.01	7.1±0.03	85.3±0.67 ^{bcd}	1.8±0.02 ^d	0.26±0.003 ^d
FS50+SS50	5.3±0.00	7.5±0.18	92.7±1.33 ^a	2.2±0.18 ^{bc}	0.31±0.021 ^{bc}
FS100+SS100	5.3±0.00	6.4±0.17	87.3±1.76 ^{abc}	1.1±0.17 ^e	0.17±0.024 ^e
D1	5.3±0.00	6.3±0.11	73.3±0.67 ^e	1.0±0.11 ^e	0.16±0.016 ^e
D2	5.3±0.00	6.0±0.16	81.3±3.71 ^{cd}	0.7±0.15 ^f	0.11±0.023 ^f
D3	5.3±0.00	8.4±0.11	83.3±1.33 ^{cd}	3.1±0.11 ^a	0.41±0.011 ^a
D4	5.31±0.01	8.5±0.07	86.0±1.15 ^{abcd}	3.2±0.06 ^a	0.42±0.006 ^a
T	5.3±0.01	7.3±0.05	92.0±0.00 ^{ab}	2.0±0.04 ^{cd}	0.29±0.005 ^{cd}
C	5.3±0.01	7.8±0.15	84.0±2.31 ^{cd}	2.5±0.15 ^b	0.34±0.017 ^b
J	5.3±0.01	8.6±0.07	88.0±2.00 ^{abc}	3.3±0.07 ^a	0.43±0.007 ^a
Salted <i>Saccharina japonica</i>	5.3±0.00	6.5±0.07	79.3±2.91 ^d	1.2±0.07 ^e	0.18±0.010 ^e

¹Specific growth rate (SGR, %/day)=[(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. FS50, 50% fish meal was substituted with the same amount of soybean meal; FS50+SS50, 50% fish meal and 50% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; FS100+SS100, 100% fish meal and 100% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; D1, domestic 1; D2, domestic 2; D3, domestic 3; D4, domestic 4; T, Taiwan; C, China; J, Japan. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different (P>0.05).

polysaccharidases의 분포는 먹이 습성과 관련이 있다고 보고 하였다. 또한, Erasmus et al. (1997)도 전복(*H. midae*) 간체장 내에서 alginate lyase, carboxymethylcellulase, laminarinase, agarase와 carragenase를 관찰하였으며, 전복의 소화기에 있는 bacteria가 먹이내 함유된 alginate, laminarin, agarose, carra-

genan와 cellulose의 소화를 돕는다고 주장하였다. 따라서 전복용 배합사료내 다시마와 같은 값비싼 해조류 대체원으로서 농작물 기원의 탄수화물 함량이 높은 원료나 이들 부산물은 전복용 배합사료내 해조류 대체원으로서 이용 가능 할 것으로 생각 된다. Reyes and Fermin (2003)은 필리핀에서 동물성단백질

Table 3. Shell length, shell width, shell height, soft body weight and the ratio of soft body weight to total weight of abalone *Haliotis discus* fed the experimental diets for 16 weeks

Experimental diets	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Shell height (mm)	Soft body weight (g)	Soft body weight/total weight
Control	43.3±0.41 ^b	29.5±0.21 ^a	7.9±0.07 ^a	4.7±0.11 ^a	0.63±0.002 ^a
FS50	43.1±0.85 ^{bc}	28.8±0.85 ^a	7.7±0.25 ^a	4.6±0.40 ^a	0.60±0.009 ^a
FS50+SS50	42.9±0.60 ^{cd}	29.1±0.21 ^a	7.9±0.12 ^a	4.8±0.06 ^a	0.63±0.002 ^a
FS100+SS100	41.4±0.50 ^{cd}	28.0±0.33 ^a	7.6±0.09 ^a	3.6±0.07 ^a	0.59±0.005 ^a
D1	43.5±0.57 ^b	29.6±0.33 ^a	8.0±0.16 ^a	4.5±0.16 ^a	0.64±0.006 ^a
D2	40.5±0.97 ^d	27.2±0.72 ^a	7.3±0.43 ^a	3.4±0.33 ^a	0.59±0.011 ^a
D3	45.8±0.31 ^a	31.5±0.08 ^a	7.9±0.02 ^a	5.5±0.13 ^a	0.64±0.007 ^a
D4	45.0±0.48 ^{ab}	30.7±0.39 ^a	8.0±0.13 ^a	5.5±0.21 ^a	0.63±0.008 ^a
T	44.3±0.34 ^{ab}	29.8±0.15 ^a	7.9±0.07 ^a	4.6±0.04 ^a	0.61±0.002 ^a
C	45.0±0.31 ^{ab}	30.5±0.28 ^a	8.1±0.18 ^a	5.3±0.15 ^a	0.61±0.002 ^a
J	46.0±0.82 ^a	31.1±0.49 ^a	8.1±0.22 ^a	5.7±0.18 ^a	0.65±0.005 ^a
Salted <i>Saccharina japonica</i>	41.4±0.25 ^{cd}	27.5±0.11 ^a	7.4±0.08 ^a	3.9±0.12 ^a	0.58±0.003 ^a

FS50, 50% fish meal was substituted with the same amount of soybean meal; FS50+SS50, 50% fish meal and 50% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; FS100+SS100, 100% fish meal and 100% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; D1, domestic 1; D2, domestic 2; D3, domestic 3; D4, domestic 4; T, Taiwan; C, China; J, Japan. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ($P>0.05$).

Table 4. Chemical composition (%) of the soft body of juvenile abalone *Haliotis discus* fed experimental diets for 16 weeks

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Control	74.1±0.56 ^{ef}	16.8±0.06 ^e	2.2±0.00 ^c	2.0±0.00 ^{ef}
FS50	75.3±0.82 ^{de}	16.4±0.10 ^{fg}	2.0±0.03 ^d	2.0±0.00 ^{ef}
FS50+SS50	74.1±0.06 ^{ef}	16.6±0.19 ^{ef}	2.4±0.03 ^b	1.9±0.03 ^f
FS100+SS100	75.7±0.60 ^{cde}	16.1±0.03 ^g	2.8±0.09 ^a	2.0±0.03 ^{ef}
D1	77.8±0.52 ^{ab}	18.1±0.06 ^b	1.8±0.03 ^e	2.3±0.00 ^d
D2	78.1±0.09 ^a	15.7±0.10 ^h	1.4±0.09 ^f	3.0±0.03 ^a
D3	74.1±0.71 ^{ef}	19.0±0.09 ^a	2.1±0.03 ^d	2.5±0.03 ^c
D4	72.3±0.70 ^g	18.1±0.18 ^b	1.1±0.03 ^g	2.0±0.03 ^e
T	77.1±0.72 ^{abc}	17.6±0.13 ^c	1.7±0.03 ^e	2.5±0.03 ^c
C	72.9±0.45 ^g	17.3±0.03 ^d	1.1 ± 0.03 ^g	2.6±0.03 ^b
J	76.4±0.12 ^{bcd}	18.2±0.03 ^b	1.4 ± 0.00 ^f	2.6±0.03 ^b
Salted <i>Saccharina japonica</i>	75.3±0.19 ^{de}	15.7±0.00 ^h	1.4 ± 0.00 ^f	3.0±0.00 ^a

FS50, 50% fish meal was substituted with the same amount of soybean meal; FS50+SS50, 50% fish meal and 50% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; FS100+SS100, 100% fish meal and 100% *Saccharina japonica* were substituted with the same amount of soybean meal and rice bran, respectively; D1, domestic 1; D2, domestic 2; D3, domestic 3; D4, domestic 4; T, Taiwan; C, China; J, Japan. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ($P>0.05$).

어분과 새우분)과 식물(*Moringa oleifera*) 잎 또는 담수산 수서 식물(*Azolla pinnata*)을 혼합 사용시 전복(*H. asinina*)용 배합 사료의 우수한 사료원이라고 보고한 바 있다. 본 연구에서 염장다시마를 공급한 실험구에서 전복의 생존율에서는 D1사료를 제외하며, 성장(체중과 SGR)에서는 FS100+SS100, D1과 D2사료를 제외한 다른 배합사료에 비하여 전복의 낮은 생존율과 성장을 보인 결과는 영양학적으로 균형이 잘 맞는 배합사료의 공급은 다시마, 미역 또는 kelp와 같은 해조류의 공급시보다 우수한 생산성을 보인다는 연구 결과와 일치하였다(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). 전복의 각장, 각폭, 각고, 가식부 무게 및 전중에 대한 가식부의 비율은 Table 3에 나타내었다. 가장 긴 각장은 J사료를 공급한 실험구에서 관찰되었으나 D3, D4, T와 C사료를 공급한 실험구와 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 가장 짧은 각장은 D2사료를 공급한 실험구에서 관찰되었으며, FS50+SS50와 FS100+SS100사료 또는 염장다시마를 공급한 실험구와 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 각폭, 각고, 가식부 무게 및 전중에 대한 가식부의 비율은 실험용 사료 간에 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$).

전복 가식부의 일반성분 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전복 가식부의 수분 함량은 D2사료를 공급한 실험구에서 가장 높게 나타났으며, D4사료를 공급한 실험구에서 가장 높게 나타났다. 전복 가식부의 조단백질 함량은 D3사료를 공급한 실험구에서 가장 높게 나타났으며, D2사료와 염장다시마를 공급한 실험구에서 가장 낮게 나타났다. 전복 가식부의 조지질 함량은 FS100+SS100사료를 공급한 실험구에서 가장 높게 나타났으며, D4사료를 공급한 실험구에서 가장 낮게 나타났다. 전복 가식부의 회분 함량은 D2사료와 염장다시마를 공급한 실험구에서 가장 높게 나타났으며, FS50+SS50사료를 공급한 실험구에서 가장 낮게 나타났다. D3사료를 공급한 실험구에서 전복 가식부의 높은 단백질 함량, D2사료와 염장다시마를 공급한 실험구에서 낮은 단백질 함량, FS100+SS100사료를 공급한 실험구에서 높은 지질 함량, D4사료를 공급한 실험구에서 낮은 지질 함량과 염장다시마를 공급한 실험구에서 높은 회분 함량은 실험에 이용된 사료들의 영양소 함량을 잘 반영하고 있으며, 이러한 결과는 전복 가식부의 영양소 함량은 공급한 사료내 영양소 함량에 의해서 크게 영향을 받는다는 과거의 연구 결과(Lee et al., 1998; Cho et al., 2008; Jung et al., 2016)와 일치하였다.

이상의 결과를 고려할 때 전복 치패용 EP내 어분을 50% 대체하거나 또는 어분과 다시마를 대두박과 생미강으로 각각 50%씩 혼합 대체하여도 전복의 생산성에는 부정적인 영향을 미치지 않았으며, 50%씩 혼합 대체시 오히려 생산성이 증가하였다.

사 사

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한

국연구재단의 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

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis (15th 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>.
- Choi S, Wang X, Park G, Lim S, Kim K, Bai SC and Shin I. 2004. Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquacult Res* 35, 410-418. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01046.x>.
- Chou RL, Her BY, SU MS, Hang G, Wu YH and Chen HY. 2004. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture* 229, 325-333. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00395-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00395-8).
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Elangovan A and Shim KF. 2000. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*). *Aquaculture* 189, 133-144. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00365-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00365-3).
- Emerson DN. 1967. Carbohydrate metabolism of *Planorbis corneus* (Mollusca, Planorbidae) during starvation. *Comp Biochem Physiol* 22, 571-579. [https://doi.org/10.1016/0010-406X\(67\)90619-6](https://doi.org/10.1016/0010-406X(67)90619-6).
- 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.
- Erasmus JH, Cook RA and Coyne VE. 1997. The role of bacteria in the digestion of seaweed by the abalone *Haliotis*

- midae*. Aquaculture 155, 377-386. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00112-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00112-9).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Fleming AE, Barneveld RJ and Hone P. 1996. The development of artificial diets for abalone: A review and future directions. Aquaculture 140, 5-53. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01184-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01184-6).
- Gomez-Pinchetti JL and Garcia-Reina G. 1993. Enzymes from marine phycophages that degrade cell walls of seaweeds. Mar Biol 116, 553-558. <https://doi.org/10.1007/BF00355473>.
- Gracia-Esquivel Z and Felbeck H. 2006. Activity of digestive enzymes along the gut of juvenilered abalone, *Haliotis rufescens*, fed natural and balanced diets. Aquaculture 261, 615-625. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.022>.
- 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>.
- Heikkinen J, Vielma J, Kemilainen O, Tirola M, Eskelinen P, Kiuru T, Navia-Paldanius D and Wright AV. 2006. Effects of soybean meal based diet on growth performance, gut histopathology and intestinal microbiota of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 261, 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.012>.
- 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 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 YE, Myung SH, Kim HS, Jung W, Cho SH, Jwa MS, Kim PY, Kim MK, Park M and Kim B. 2016. Effect of dietary substitution of sea tangle (ST), *Laminaria japonica* with rice bran (RB) on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*). Aquacult Res 47, 120-1208. <https://dx.doi.org/10.1111/are.12577>.
- 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.
- Mai K, Mercer JP and Donlon J. 1995a. Comparative studies on the nutrition of species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. Responses of abalone to various levels of dietary lipid. Aquaculture 134, 65-80. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00043-2](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(95)00043-2).
- Mai K, Mercer JP and Donlon J. 1995b. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. Aquaculture 136, 165-180. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01041-6](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(95)01041-6).
- 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.
- Nakagawa T and Nagayama F. 1988. Distribution of glycosidase activities in marine invertebrates. J Tokyo Univ Fish 75, 239-246.
- Reyes OS and Fermin AC. 2003. Terrestrial leaf meals or freshwater aquatic fern as potential feed ingredients for farmed abalone *Haliotis asinina* (Linnaeus 1758). Aquacult Res 34, 593-599.
- 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. 1985. 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>.
- 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).
- Viyakarn V, Watanabe T, Aoki H, Tsuda H, Sakamoto H, Okamoto N, Iso N, Satoh S and Takeuchi T. 1992. Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. Nip Sui Gakk 58, 1991-2000. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.58.1991>.
- Yokoe Y and Yasumasu I. 1964. The distribution of cellulase in invertebrates. Comp Biochem Physiol 13, 323-338. [https://doi.org/10.1016/0010-406X\(64\)90027-1](https://doi.org/10.1016/0010-406X(64)90027-1).