

까막전복(*Haliotis discus*) 치패용 EP사료내 어분과 해조류 대체원으로서 참치부산물분과 생미강의 효과

윤아영 · 김준 · 정해승¹ · 이기욱¹ · 조성환*

한국해양대학교 해양생명과학부, ¹해양과학기술전문대학원

Effects of Substituting Fish Meal and Macroalgae for Tuna Byproduct Meal and Rice Bran in Extruded Pellets Fed to Juvenile Abalone *Haliotis discus* (Reeve 1846)

Ahyeong Yun, June Kim, Hae Seung Jeong¹, Ki Wook Lee¹ and Sung Hwoan Cho*

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

¹Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

We investigated the effect of replacing tuna byproduct meal (TBM) and rice bran (RB) with fish meal (FM) and macroalgae (MA) in extruded pellets (EP) supplied as a diet to juvenile Abalone *Haliotis discus* in aquaculture. In total, 80,000 juvenile abalone were distributed among eight indoor raceways and supplied with one of four experimental diets. The control diet consisted of FM, fermented soybean meal, corn gluten meal and shrimp meal as protein sources, with wheat flour and dextrin as carbohydrate sources; the control diet also contained MA. In the FM50 diet, TBM was replaced with 50% FM. In the MA 50 diet, RB was replaced with 50% MA. The final diet, FM50+MA50, included TBM and RB in place of 50% FM and 50% MA. Abalone were fed to satiation with little food leftover for 16 weeks. Weight gain and specific growth rate of abalone fed the control diet were greater than those of abalone fed the FM50 and MA50 diets, but not different from those of abalone fed FM50+MA50 diet. The proximate composition of abalone soft body did not vary according to experimental diets. Based on these results, it appears that the traditional commercial diet for juvenile abalone, comprising FM and MA, could be replaced with one containing 50% TBM and 50% RB without any retardation of growth.

Key words: *Haliotis discus*, Fish meal, Macroalgae, Tuna byproduct, Rice bran

서론

전복류(*Haliotis* spp.)의 세계 양식생산량은 2000년에는 2,540톤에서 2015년에는 139,594톤으로 크게 증가하였으며 (FAO, 2018), 이러한 증가 추세는 앞으로도 지속될 것으로 예상되고 있기 때문에 전복에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다. 특히 전복의 안정적인 양식생산을 위해서는 저비용 고효율의 배합사료 사용이 필수적이지만, 국내 전복 양식장에서는 여전히 자연산 먹이(미역, 다시마, 톳 등)의 공급이 선호되고 있는 실정이다. 그러나 이들 해조류는 전복의 빠른 성장을 위한 주

요 영양소(Mai et al., 1995a, b; Fleming et al., 1996; Bautista-Teruel et al., 2003) 요구량(단백질 요구량 25-35%, 지질 요구량 3-7%)을 충족시키지 못하기 때문에 성장 저하로 양식생산 단가를 상승시키는 원인이 되기도 한다.

전복용 배합사료 원료 중에서 어분(2,000-2,500원/kg)과 해조류 분말(4,000-5,000원/kg)은 가장 값비싼 원료들이다. 따라서 저비용 고효율의 전복용 배합사료를 개발하기 위해서는 이들 어분과 해조류를 대체할 수 있는 공급이 안정적이고 가격이 저렴한 사료원료의 사용이 필요하다. 전복용 배합사료내 어분 대체원 개발을 위한 다양한 동물성과 식물성 원료 및 이들 혼합분

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0376>



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 51(4) 376-382, August 2018

Received 24 April 2018; Revised 16 May 2018; Accepted 23 May 2018

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

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

의 이용성에 대한 연구(Uki et al., 1985; Britz, 1996; Guzmán and Viana, 1998; Lee et al., 1998; Shipton and Britz, 2001; Bautista-Teruel et al., 2003; Cho 2010; Tung and Alfaro, 2012; Jung et al., 2016; Myung et al., 2016; Kim et al., 2017)와 해조류 대체원 개발에 대한 연구들(Reyes and Fermin, 2003; Kim et al., 2016; Kim et al., 2017; Jang et al., 2018)이 수행되어져 왔다.

Jung et al. (2016)의 연구에서 어분을 28% 첨가한 까막전복 (*H. discus*, Reeve 1846) 치패용 실험사료내 국내에서 시판되는 참치부산물분(Tuna byproduct meal)으로 어분을 75% 대체하여도 전복의 생존율과 성장은 차이를 보이지 않았다. 배합사료내 참치부산물분의 어분 대체는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에서는 30% (Kim et al., 2014)와 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)에서는 40% (Jeon et al., 2014)까지 가능하였다. 그리고 Kim et al. (2016)은 까막전복 치패용 실험사료내 20% 다시마 첨가시 농산물 부산물인 생미강(Rice bran)으로 80%까지 대체하여도 전복의 생산성에 부정적인 영향을 미치지 않는다고 보고한 바 있다. 전복(*H. midae*) 간체장 내에서 alginate lyase, carboxymethyl cellulase, laminarinase, agarase, carragenase가 관찰되었으며, 전복의 소화기에 있는 bacteria가 먹이내 함유된 alginate, laminarin, agarose, carragenan, cellulose의 소화를 돕는 것으로 보고되었다(Erasmus et al., 1997). 필리핀에서 *Moringa oliefera*의 잎과 담수산 수서식물(*Azolla pinnata*)이 전복(*H. asinina*) 배합사료의 우수한 사료원으로 사용될 수 있다는 Reyes and Fermin (2003)의 연구 결과들을 고려할 때 생미강도 전복용 사료원료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. Jung et al. (2016)과 Kim et al. (2016)의 연구 결과를 전복 양식현장에 적용하기 위해서는 이들 원료들의 어분 및 해조류 대체 가능성과 유용성을 상업용 사료 형태인 extruded pellet (EP)으로 제조하여 검증하는 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 전복용 EP사료내 어분과 해조류 대체원으로서 참치부산물분과 생미강의 이용성을 조사하였다.

재료 및 방법

사육 관리

실험에 이용된 까막전복 치패는 개인양식장(제주특별자치도)에서 구입하여 사육실험 조건에 2주간 적응시켰으며, 적응 기간 동안에는 건미역(*Undaria pinnatifida*)을 1일 1회 체중의 1.5-2.0% 공급하였다. 8개의 1,800 L FRP (fiber-reinforced plastic) raceway 수조(6 m×1 m)에 각각 10,000마리의 전복 치패(시작시 마리당 평균 무게 1.9 g)를 무작위로 수용하였으며, 각 수조 내에는 shelter를 넣어 주었다. Raceway별 주수량은 37.6 L/min이었고, 사육실험 기간 동안 충분한 양의 에어를 공급하였다.

실험사료는 2일 1회(17:00)씩 체중의 1.9-2.2%를 공급하였으

며, 섭취되지 않고 남은 먹이와 찌꺼기는 3-4일 간격으로 제거하고 바닥 청소를 실시하였다. 사육실험 기간 동안의 사육수온은 13.8℃-25.3℃[평균 수온 18.4±3.15℃ (Mean±SD)]이었으며, 빛은 자연광주기를 따랐다. 사육실험은 2반복으로 16주간 실시하였다.

실험 사료의 준비

실험용 EP사료의 원료 조성과 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 실험용 EP사료는 총 4종류를 두었다. 대조구(control) 사료에는 어분 13%, 발효대두박 23%, 옥수수 글루텐밀 4.4%

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

Ingredient (%)	Experimental diets			
	control	FM50	MA50	FM50+MA50
Fish meal	13	6.5	13	6.5
Tuna byproduct meal ¹		8.5		8.5
Fermented soybean meal	23	23	23	23
Corn gluten meal	4.4	4.4	4.4	4.4
Shrimp meal	3	3	3	3
Wheat flour	26	24	26	24
Dextrin	4	4	4	4
Macroalgae (MA) ²	23	23	11.5	11.5
Rice bran			11.5	11.5
Others	1.4	1.4	1.4	1.4
Vitamin premix ³	0.2	0.2	0.2	0.2
Mineral premix ⁴	2	2	2	2
Nutrients (% DM)				
Dry matter	86.1	91.4	85.7	90.5
Crude protein	33.4	33.4	33.2	33.8
Crude lipid	2.3	2.5	4.4	4.3
Ash	16.4	16.3	11.0	10.8

¹Tuna byproduct meal was purchased from HIF Co., Ltd. (Changwon-si, Gyeongsangnam-do, Korea). ²Macroalgae (MA) is the mixture of *Undaria pinnatifida* and *Hizikia fusiforme* at a ratio of 1:1. ³Vitamin 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. ⁴Mineral 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. FM50, 50% fish meal was replaced with tuna byproduct meal in the diet; FA50, 50% macroalgae was replaced with rice bran in the diet; FM50+MA50, 50% fish meal and 50% macroalgae was replaced with tuna byproduct meal and rice bran in the diet.

와 새우분 3%를 주요 단백질원으로 사용하였다. 소맥분 26%와 텍스트린 4%를 탄수화물원으로 사용하였고, control사료에는 미역과 톳을 1:1 분말로 혼합한 해조류 혼합분을 23% 첨가하였다. Control사료에 함유된 어분과 해조류 분말을 참치부산물분과 생미강으로 50%씩 각각 대체한 FM50과 MA50사료를 설계하였다. 또한 어분과 해조류 혼합분을 동시에 각각 50%씩 대체한 FM50+MA50사료를 설계하였다. 모든 실험사료는 영양소 요구량에 적합하도록 설계하였다(Uki et al., 1986a; Mai et al., 1995a, b). EP 형태로의 사료 제조를 위하여 사료회사(Ewha Oil and Fat Industry Co. Ltd., Busan, Korea)에 의뢰하여 실험사료를 제조하였다.

전복의 성장 측정

16주간의 사육실험 종료시 생존한 전복의 성장 측정은 전복 박리제(아발론 S: vitamin C 10%, citric acid 10%) 16 g을 10 L 해수에 희석한 용액을 분무하는 방식으로 이용하여 각각의 실험구에서 무작위로 샘플한 200마리 전복의 전체중을 측정하였으며, 이중 50마리는 분석시까지 냉동(-70℃) 보관하였다. 각 장, 각폭 및 각고는 digital caliper (Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japan)을 이용하여 측정하였고, 영양학적 상태 지수를

Table 2. Amino acid composition of the experimental diets (% of the diet)

	Experimental diets			
	control	FM50	MA50	FM50+MA50
Alanine	1.81	1.85	1.92	1.82
Arginine	1.96	1.99	2.12	2.12
Aspartic acid	3.08	3.17	3.16	3.24
Cystine	0.41	0.41	0.44	0.48
Glutamic acid	5.71	5.67	5.89	6.03
Glycine	1.71	1.74	1.91	1.70
Histidine	0.73	0.78	0.76	0.78
Isoleucine	1.39	1.41	1.41	1.42
Leucine	2.66	2.68	2.72	2.71
Lysine	1.68	1.72	1.75	1.67
Methionine	0.58	0.56	0.60	0.56
Phenylalanine	1.58	1.59	1.61	1.65
Proline	1.85	1.84	1.90	1.89
Serine	1.52	1.52	1.60	1.61
Threonine	1.28	1.30	1.32	1.30
Tyrosine	1.11	1.14	1.15	1.20
Valine	1.55	1.57	1.60	1.60

FM50, 50% fish meal was replaced with tuna byproduct meal in the diet; FA50, 50% macroalgae was replaced with rice bran in the diet; FM50+MA50, 50% fish meal and 50% macroalgae was replaced with tuna byproduct meal and rice bran in the diet.

측정을 위해 전중량에 대한 가식부 무게의 비를 계산하였다.

실험용 사료와 전복 가식부의 영양학적 분석

실험용 EP사료와 전복 가식부의 일반성분 분석은 AOAC (1990) 방법에 따라서 조단백질은 Kjeldahl method (Auto Kjeldahl System, Buchi B-324/435/412, Switzerland)과 조지방(에테르 추출법)을 분석하였으며, 조회분은 550℃ 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였고, 수분은 105℃ dry oven에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다. 실험용 EP사료의 아미노산 구성은 high speed amino acid analyzer (Hitachi L-8800, Tokyo, Japan)을 이용하여 분석하였다. 지방산 조성 분석은 AOCS official method Ce 1b-89 (AOCS, 2005)에 따라 분석하였다.

통계 분석

One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan,

Table 3. Fatty acid composition of the experimental diets (% of total fatty acid)

	Experimental diets			
	control	FM50	MA50	FM50+MA50
C14:0	2.90	3.16	1.35	0.88
C16:0	19.66	21.06	18.38	18.16
C18:0	2.88	4.16	2.30	2.27
C20:0		0.28	0.37	0.40
C22:0		0.29	0.29	0.34
C24:0		0.28	0.42	0.46
∑Saturates	25.42	29.23	23.11	22.51
C16:1n-7	3.32	3.70	1.75	1.11
C18:1n-9	21.70	20.91	29.42	30.14
C20:1n-9	2.94	2.45	1.72	1.26
C22:1n-9	1.98	1.24	0.85	0.54
C24:1n-9	0.34	0.35		
∑Monoenes	30.28	28.65	33.74	33.05
C18:2n-6	30.31	27.87	35.06	39.12
C18:3n-3	2.81	2.65	2.33	2.56
C18:4n-3	0.67	0.63	0.38	
C20:3n-3	1.04	1.16	0.31	
C20:5n-3	4.26	3.60	2.25	1.37
C22:5n-3	0.76	0.62	0.40	
C22:6n-3	3.94	4.59	2.41	1.40
∑n-3 HUFA	10.00	9.97	5.37	2.77
Unknown	0.49	0.99		

FM50, 50% fish meal was replaced with tuna byproduct meal in the diet; FA50, 50% macroalgae was replaced with rice bran in the diet; FM50+MA50, 50% fish meal and 50% macroalgae was replaced with tuna byproduct meal and rice bran in the diet.

1955)로서 SAS version 9.3 program (SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 실험구간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

실험용 EP사료의 아미노산 및 지방산 분석 결과는 Table 2와 3에 각각 나타내었다. EP사료내 비필수아미노산 중에서 aspartic acid와 glutamic acid가 가장 풍부하였으며, 필수아미노산 중에서 arginine과 leucine이 가장 풍부하였다. 그리고 어분과 해조류 혼합분을 참치부산물분이나 생미강으로 대체하여도 control사료에 비하여 다른 실험용 EP사료에서 필수아미노산 함량이 뚜렷하게 줄어드는 경향은 보이지 않았다. 그러나 지방산은 EPA (eicosapentaenoic acid, 20:5n-3)와 n-3 고도불포화 지방산(highly unsaturated fatty acids, HUFA) 함량이 어분과 해조류 혼합분을 참치부산물분과 생미강으로 대체함에 따라서 점차 감소하는 경향을 보였다.

실험용 EP사료를 16 주간 공급한 전복의 성장 결과는 Table 4와 같다. 전복의 생존율은 82.9-87.8%의 범위이었으며, 실험용 EP사료간에 유의적인 차이는 없었다. 그러나 control사료를 공급한 실험구보다 FM50과 MA50사료를 공급한 실험구에서 유의적($P < 0.05$)으로 낮은 전복의 성장과 일일성장률(specific growth rate, SGR)을 보였다. 본 연구에서 전복의 가장 느린 성장은 FM50사료를 공급한 실험구에서 관찰되었으며, 까막전복용 실험사료내 28% 어분 첨가시 참치부산물분으로 75% 대체 가능하였다는 Jung et al. (2016)의 연구 결과와 상이한 결과를 보였다. 본 연구에서 까막전복의 SGR은 0.78-0.90%/day의 범위로서 유사한 크기(시작시 마리당 무게, 1.3 g)의 동일한 종의 전복을 평균수온 18.4°C(수온범위, 16.7°C-21.8°C)에서 16주간 사육한 Jung et al. (2016)에서 보고된 SGR (0.28-0.34 %/day)보다 훨씬 우수하였다. 또한 동일한 종의 어린 치패(시작시 마리당 무게, 0.43 g)를 평균수온 18.4°C(수온범위, 16.7°C-21.8°C)에서 16주간 사육한 결과, 실험사료내 20% 다시마 첨가시 생미강으로 80%까지 대체 가능하였으며, 특히 다시마를 생미강으로 40% 대체 시에는 다시마를 첨가한 대조구보다 훨

씬 우수한 성장을 보였다는 Kim et al. (2016)의 연구 결과와도 상이하였으며, 이때 보고된 SGR은 0.45-0.46 %/day의 범위이었다. 본 연구에서 관찰된 전복의 높은 일일성장율은 기존의 소규모 실험들(Jung et al., 2016; Kim et al., 2016)에서는 매일 남은 먹이를 제거하고 바닥 청소를 해주었으나 본 실험에서는 상업성 규모의 전복양식장 사육관리 방법과 유사하게 3-4일마다 남은 먹이를 제거하고 청소를 해주어서 소규모 실험들에서 야기된 빈번한 청소나 또는 공기중 노출 등으로 인한 스트레스 등에 의하여 낮은 일일성장율이 관찰된 것으로 생각된다.

어분과 해조류 혼합분을 참치부산물분과 생미강으로 동시에 50%씩 대체한 FM50+MA50사료를 공급한 실험구에서 전복의 성장과 SGR이 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않은 결과는 전복용 EP사료내 어분과 해조류 혼합분을 참치부산물분과 생미강으로 동시에 각각 50%씩 대체 가능하다는 것을 의미한다. 뿐만 아니라 어분이나 해조류 혼합분의 가격과 참치부산물분과 생미강의 가격을 고려하면 FM50+MA50사료가 본 실험에 사용된 어떠한 사료보다 훨씬 더 경제적이다. 실험용 EP사료간의 필수아미노산에 뚜렷한 차이가 없으며(Table 2), FM50+MA50사료의 불포화지방산, 특히 DHA와 n-3 고도불포화지방산 함량(사료내 함량 각각 0.06%와 0.12%)이 낮음(Table 3)에도 불구하고 control사료(사료내 DHA 함량 0.09%, n-3 고도불포화지방산 함량 0.23%)와 유사한 전복의 성장을 보인 결과는 본 실험 조건하에서 FM50+MA50사료의 DHA와 n-3 고도불포화지방산의 낮은 함량이 전복의 성장에 부정적인 영향을 미치지 않았다는 것을 의미한다. 본 결과와 유사하게 Kim et al. (2017)은 EP사료내 어분과 다시마를 동시에 각각 50%씩 대두박과 생미강으로 대체시 까막전복 치패의 성장이 개선되었지만 어분만을 50% 대체하거나 또는 어분과 다시마를 동시에 전량(각각 100%) 대체하였을 경우에는 전복의 성장이 뚜렷하게 둔화되었다고 보고하였다.

그러나 전복용 배합사료내 어분을 동물성과 식물성단백질원 또는 이들 혼합분으로 대체시 필수아미노산인 lysine, methionine, histidine (Shipton and Britz, 2001; Bautista-Teruel et al., 2003; Cho et al., 2008; Cho, 2010)과 참치부산물 100% 대체

Table 4. Survival (%), weight gain (g/abalone) and specific growth rate (SGR, %/day) of juvenile abalone *Haliotis discus* fed the experimental diets substituting fish meal and macroalgae with tuna byproduct meal and rice bran, respectively for 16 weeks

Experimental diets	Initial weight (g/abalone)	Final weight (g/abalone)	Survival (%)	Weight gain (g/abalone)	SGR ¹ (%/day)
control	1.9±0.01	5.0±0.01	87.8±0.07 ^a	3.2±0.01 ^a	0.90±0.001 ^a
FM50	1.9±0.01	4.4±0.01	82.9±1.73 ^a	2.5±0.02 ^c	0.78±0.003 ^c
MA50	1.9±0.01	4.9±0.01	86.9±0.05 ^a	3.0±0.01 ^b	0.87±0.002 ^b
FM50+MA50	1.9±0.00	5.0±0.01	85.2±1.28 ^a	3.1±0.01 ^a	0.90±0.002 ^a

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. FM50, 50% fish meal was replaced with tuna byproduct meal in the diet; FA50, 50% macroalgae was replaced with rice bran in the diet; FM50+MA50, 50% fish meal and 50% macroalgae was replaced with tuna byproduct meal and rice bran in the diet. Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ($P > 0.05$).

시 대부분의 필수아미노산(Jung et al., 2016)이 제한 영양소이었으나, 본 연구에서 어분을 참치부산물분으로 50% 대체함에 따른 필수아미노산의 뚜렷한 감소 경향은 보이지 않았다. Uki et al. (1986b)은 전복(*H. discus hannai*) 치패의 경우 5% 지질사료내 n-3 HUFA 요구량이 1%라고 보고하였으며, 본 연구에서 사용된 모든 EP사료는 전복의 n-3 HUFA 요구량을 모두 충족시켜 준 것으로 판단된다. Bautista-Teruel et al. (2011)은 대구 간유와 대두박유의 1:1 혼합유를 3.6% 함유한 배합사료내 필수 지방산[linoleic acid, linolenic acid (18:3n-3)와 HUFA의 혼합] 함량을 0-1.6%까지 달리한 경우 1.6% 필수지방산을 함유한 사료가 가장 우수한 전복(*H. asinina*)의 성장을 보였다고 보고한 바 있다. Xu et al. (2011)은 전복(*H. discus hannai*)은 Linoleic acid (18:2n-6)로부터 Arachidonic acid (20:4n-6)를 합성하며, 아마도 EPA로부터 DHA (Docosahexaenoic acid, 22:6n-3)도 합성할 수 있을 것이라고 제안한 바 있다. 이러한 결과는 본 실험에서 도출된 전복의 성장 차이는 EP사료 간의 영양적(아미노산, 지방산) 차이나 결핍이 원인이 되기보다는 다른 요인에 의한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 실험사료들의 수중안정성은 조사하지는 않았지만, 사료의 수중안정성도 전복의 생산성에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Knauer et al., 1993; Mai et al., 1995a; Guzmán and Viana, 1998; Bautista-Teruel et al., 2003; Gómez-Montes et al., 2003; Lee et al., 2016, 2017). 또한 Britz et al. (1997)은 전복용 EP사료는 사육수온이 12℃에서 24℃로 증가함에 따라 EP사료의 건물 용출율이 5.7%에서 12%로 크게 증가한다고 보고한 바 있다.

16주간의 사육실험 종료시 생존한 전복의 각장, 각폭, 각고, 가식부 무게 및 전중에 대한 가식부의 비율은 Table 5에 나타내었다. 각장, 각폭과 각고는 실험용 EP사료 간에 유의적인 차이는 없었지만($P>0.05$), 각장과 각폭은 전복의 성장 결과와 유사한 경향을 보였다. control, MA50과 FM50+MA50사료를 공급받은 전복의 가식부 무게와 전중에 대한 가식부의 비율은 FM50사료를 공급받은 전복보다 모두 유의적($P<0.05$)으로 높았다. 전복의 생물학적인 측정 항목(각장, 각폭, 각고, 가식부 무게 등)은 전복의 성장률과 일치하는 것으로 알려져 있다(Bautista-Teruel et al., 2003; Cho, 2010).

16주간의 사육실험 종료시 생존한 전복 가식부의 일반성분 분석 결과는 Table 6에 나타내었다. 전복 가식부의 일반성분(수분, 조단백질, 조지방과 회분)은 실험용 EP사료간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 이러한 결과는 전복 가식부의 영양소 함량은 공급한 사료내 영양소 함량이나 대체원에 따라서 영향을 받는다는 과거의 연구 결과와 상이하였다(Mai et al., 1995a, b; Lee et al., 1998; Thongrod et al., 2003; Cho et al., 2008; Garcia-Esquivel and Felbeck, 2009; Cho, 2010; Jung et al., 2016; Kim et al., 2016; Myung et al., 2016).

이상의 결과를 고려할 때 전복 치패용 EP사료내 어분과 해조류 혼합분을 각각 50%씩 참치부산물분과 생미강으로 대체한 사료보다는 이들을 동시에 50%씩 혼합 대체한 사료가 전복의 성장에 우수할 뿐만 아니라 사료 제조 가격 고려 시에도 훨씬 저렴하다.

Table 5. 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 substituting fish meal and macroalgae with tuna byproduct meal and rice bran, respectively for 16 weeks

Experimental diets	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Shell height (mm)	Soft body weight (g)	Soft body weight/total weight
control	33.5±0.01 ^a	22.7±0.11 ^a	6.1±0.02 ^a	2.4±0.05 ^a	0.62±0.001 ^a
FM50	31.8±0.50 ^a	21.7±0.34 ^a	5.8±0.00 ^a	2.0±0.05 ^b	0.60±0.000 ^b
MA50	33.0±0.19 ^a	22.5±0.04 ^a	6.1±0.10 ^a	2.2±0.03 ^a	0.62±0.005 ^a
FM50+MA50	33.3±0.00 ^a	22.7±0.01 ^a	6.3±0.05 ^a	2.3±0.01 ^a	0.62±0.000 ^a

FM50, 50% fish meal was replaced with tuna byproduct meal in the diet; FA50, 50% macroalgae was replaced with rice bran in the diet; FM50+MA50, 50% fish meal and 50% macroalgae was replaced with tuna byproduct meal and rice bran in the diet. Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ($P>0.05$).

Table 6. Chemical composition (%) of the soft body of juvenile abalone *Haliotis discus* at the end of 16-week feeding trial

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
control	75.4±0.65 ^a	17.2±0.82 ^a	2.1±0.00 ^a	2.7±0.12 ^a
FM50	73.0±2.94 ^a	16.3±0.04 ^a	2.1±0.04 ^a	2.7±0.08 ^a
MA50	71.8±1.59 ^a	16.3±0.24 ^a	2.0±0.00 ^a	3.0±0.04 ^a
FM50+MA50	76.8±0.00 ^a	18.3±0.04 ^a	2.1±0.04 ^a	2.5±0.08 ^a

FM50, 50% fish meal was replaced with tuna byproduct meal in the diet; FA50, 50% macroalgae was replaced with rice bran in the diet; FM50+MA50, 50% fish meal and 50% macroalgae was replaced with tuna byproduct meal and rice bran in the diet. Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ($P>0.05$).

사 사

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(No. 2017R1A2B4009773), 이에 감사드립니다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis (15thedn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, U.S.A.
- AOCS (American Oil Chemists' Society). 2005. The official methods and recommended practices of the AOCS (5thedn). American Oil Chemists' Society, Urbana, IL, 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).
- Bautista-Teruel MN, Koshio SS and Ishikawa M. 2011. Diet development and evaluation for juvenile abalone, *Haliotis asinina* Linne: Lipid and essential fatty acids levels. *Aquaculture* 312, 172-179. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.004>.
- Britz PJ. 1996. Effect of dietary protein level on growth performance of South African abalone, *Haliotis midae*, fed fishmeal-based semi-purified diets. *Aquaculture* 140, 55-61. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01198-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01198-6).
- Britz PJ, Hecht T and Mangold S. 1997. Effect of temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet. *Aquaculture* 152, 191-203. [https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00002-1](https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00002-1).
- 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>.
- 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. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02561.x>.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- 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://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00112-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00112-9).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, 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://dx.doi.org/10.1016/00448486\(95\)01184-6](https://dx.doi.org/10.1016/00448486(95)01184-6).
- Gómez-Montes L, García-Esquivel Z, D'Abramo LR, Shimada A, Vásquez-Peláez and Viana MT. 2003. Effect of dietary protein:energy ratio on intake, growth and metabolism of juvenile green abalone *Haliotis fulgens*. *Aquaculture* 220, 769-780. [https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00533-1](https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00533-1).
- García-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>.
- Guzmán JM and Viana MT. 1998. Growth of abalone *Haliotis fulgens* fed diets with and without fish meal, compared to commercial diet. *Aquaculture* 165, 321-331. [https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00271-3](https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00271-3).
- Jang B, Kim PY, Kim HS, Lee KW, Kim HJ, Choi DG, Cho SH, Min B, Kim K and Han H. 2018. Substitution effect of sea tangle (ST) (*Laminaria japonica*) with tunic of sea squirt (SS) (*Halocynthia roretzi*) in diet on growth and carcass composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *Aquacult Nutr* 24, 586-593. <https://dx.doi.org/10.1111/anu.12593>.
- Jeon GH, Kim HS, Myung SH and Cho SH. 2014. The effect of the dietary substitution of fishmeal with tuna by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquacult Nutr* 20, 753-761. <http://dx.doi.org/10.1111/anu.12153>.
- 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 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, 1202-1208. <https://dx.doi.org/10.1111/are.12577>.
- Kim HS, Jung W, Myung SH, Cho SH and Kim DS. 2014. Substitution effect of fishmeal with tuna byproduct meal in the diet on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 431, 92-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.025>.
- Kim HS, Jeong HS, Kim J, Yun A, Lee KW and Cho SH. 2017. Substitution effect of fish meal and *Saccharina* with soybean meal and rice bran in the extruded pellet on juvenile abalone *Haliotis discus* (Reeve 1846). *Korean J Fish Aquat Sci* 50,

- 731-737. <https://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2017.0731>.
- Knauer J, Britz PJ and Hecht T. 1993. The effect of seven binding agents on 24-hour water stability of an artificial weaning diet for the South African abalone, *Haliotis midae* (Haliotidae, Gastropoda). *Aquaculture* 115, 327-334. [https://dx.doi.org/10.1016/00448486\(93\)90146-P](https://dx.doi.org/10.1016/00448486(93)90146-P).
- Lee S, Yun SJ and Hur SB. 1998. Evaluation of dietary protein sources for abalone (*Haliotis discus hannai*). *J Aquaculture* 11, 19-29.
- Lee KW, Kim HS, Yun A, Choi D, Jang BI, Kim HJ, Cho SH, Joo Y, Kim B and Kim B. 2016. Effect of the formulated diets on performance and resistance of juvenile abalone [*Haliotis discus* (Reeve, 1846)] subjected to various stress conditions. *J Shellfish Res* 35, 481-491. <http://dx.doi.org/10.2983/035.035.0221>.
- Lee KW, Kim HS, Kim HS, Choi DG, Jang BI, Cho SH, Min B, Kim K and Joo Y. 2017. Effects of dietary carbohydrate sources on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve). *J Shellfish Res* 36, 151-156. <https://dx.doi.org/10.2983/036.036.0115>.
- 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. III. 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).
- Myung SH, Jung W, Kim HS, Kim YE, Cho SH, Jwa MS, Kim PY, Kim MK, Park M and Kim B. 2016. Effects of dietary substitution of fishmeal with the combined dry microalgae, *Nannochloropsis oceanica* (NO) biomass residue and casein on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*). *Aquacult Res* 47, 341-348.
- 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.
- Shipton TA and Britz PJ. 2001. The partial and total replacement of fishmeal with selected plant protein sources in diets for the South African abalone, *Haliotis midae* L. *J Shellfish Res* 20, 637-645.
- 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://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00287-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00287-4).
- Tung C and Alfaro AC. 2012. Alternative protein sources in artificial diets for New Zealand's black-footed abalone, *Haliotis iris*, Martyn 1784, juveniles. *J World Aquacult Soc* 43, 1-29. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00545.x>.
- 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>.
- Uki N, Kemuyama A and Watanabe T. 1986a. Optimum protein level in diets for abalone. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 52, 1005-1012. <https://dx.doi.org/10.2331/suisan.52.1005>.
- Uki N, Sugiura M and Watanabe T. 1986b. Requirement of essential fatty acids in the abalone *Haliotis discus hannai*. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 52, 1013-1023. <https://dx.doi.org/10.2331/suisan.52.1013>.
- Xu W, Mai KS, Ai QH, Tan BP, Zhang WB, Ma HM and Liufu ZG. 2011. Influence of 18:2n-6/20:5n-3 ratio in diets on growth and fatty acid composition of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquacult Nutr* 17, 346-351. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00802.x>.