

해조류 분말 종류를 다르게 첨가한 배합사료가 어린 해삼(*Apostichopus japonicus*)의 성장 및 체조성에 미치는 영향

김경덕* · 김강웅¹ · 이봉주¹ · 한현섭² · 배기민³

국립수산과학원 양식관리과, ¹국립수산과학원 사료연구센터, ²군산대학교, ³강원도내수면자원센터

Effects of Practical Diets Containing Different Seaweed Powders on the Growth and Body Composition of Juvenile Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

Kyoung-Duck Kim*, Kang-Woong Kim¹, Bong-Joo Lee¹, Hyon-Sob Han² and Ki-Min Bae³

Aquaculture Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Aquafeed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37517, Korea

²Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

³Gangwondo Inland Resource Center, Chuncheon 24210, Korea

This study was conducted to investigate the effects of practical diets containing different seaweed powders on the growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Six experimental diets were formulated to contain 40% of the following seaweed powders: *Sargassum thunbergii* (ST), *Undaria pinnatifida* (UP), *Ascophyllum nodosum* (AN), *Hizikia fusiformis* (HF), fermented *Laminaria japonica* (FLJ), and fermented *Hizikia fusiformis* (FHF). Sea cucumbers (30 per tank; initial mean weight 0.4±0.01 g) in three replicates of six groups were fed one of the six experimental diets for 15 weeks. Survival in all groups was 83-93%, with no significant differences among the experimental groups. The specific growth rates of the sea cucumbers fed the ST and UP diets were significantly higher than those of sea cucumbers fed the HF, FLJ, and FHF diets, but did not significantly differ from those of sea cucumbers fed the AN diet. The results of this study suggest that *S. thunbergii*, *U. pinnatifida*, and *A. nodosum* could be useful sources of seaweed powder for practical diets of juvenile sea cucumber.

Key words: Sea cucumber, *Apostichopus japonicas*, Seaweed powder, Growth

서론

해삼은 우리나라를 비롯한 중국 및 일본 등에서 수요가 높은 종이며, 비교적 고가로 판매되고 있는 수산물이다. 중국은 해삼 양식을 위한 종자 생산 및 양성 기술을 확립하여 세계 해삼 생산량의 대부분을 차지하고 있다. 국내 해삼 생산량은 2016년에 2,385톤이었으며 대부분 어획 생산에 의한 것이다(Statistics Korea, 2016). 해삼은 2004년부터 자원 회복을 위한 방류 품종으로 지정되면서 종자 생산 및 어린 해삼 생산이 활성화 되고 있다. 특히 해삼은 중국의 수요가 높아 수출 전망이 높은 양식 종이며, 국내에서도 해삼 양식을 시도하는 양어인들이 증가하는 추세이다.

해삼은 퇴적물식자(deposit-feed)로써 자연에서는 바다 퇴적물 내 유기물 및 해조류 부식물 등을 섭취한다(Zhang et al., 1995). 해조류 분말은 해삼 배합사료에 필수적인 사료원료이며(Xia et al., 2012a), 이 중 지충이는 해삼 양식인들이 가장 선호하는 해조류이다. 국내 해삼 양식장에서 사용되고 있는 해삼 사료 및 지충이 분말은 대부분 중국에서 수입된 것이며, 수입산 해삼 사료 및 지충이 분말은 고가로 판매되고 있어 사료 가격 상승 및 외화 낭비 등의 문제점을 초래하고 있다. 따라서 국내 해삼 양식의 활성화를 위해서는 경제적인 해삼 배합사료를 개발해서 사용하는 것이 필요하다. 양식 대상종의 사육에 적합한 배합사료 개발을 위해서는 대상종이 요구하는 단백질, 지질, 탄수화물 및 에너지 등과 같은 필수영양소 요구량을 규명하는 연구가 선

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0142>



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(2) 142-147, April 2018

Received 23 January 2018; Revised 6 March 2018; Accepted 27 March 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2420 Fax: +82. 51. 720. 2439

E-mail address: kimkd92@korea.kr

행되어야 하며, 이러한 결과들을 토대로 공급이 안정적이며 품질이 우수하고 가격이 저렴한 원료를 선정하여 사료가 만들어질 수 있도록 해야 한다. 그러므로 경제적인 해삼 배합사료 제조를 위하여 고가로 수입되어 사용되는 지충이를 대신할 수 있는 경제적이고 공급이 안정적인 해조류 분말의 사용이 필요하다.

해삼 양식용 사료 개발을 위한 연구로는 어린 해삼의 단백질 및 지질과 같은 필수 영양소 요구량(Seo et al., 2008; Seo and Lee, 2011), 사료원료 이용성(Seo et al., 2011a; 2011b) 및 실용배합사료 효과에 관한 연구들이 일부 보고되었다. Liu et al. (2010)와 Xia et al. (2012a)는 다양한 해조류 분말을 펄 또는 황토와 단순 혼합한 형태의 먹이로 어린 해삼의 사육효과를 비교한 결과를 보고하였다. 그러나 해삼의 영양소 요구량을 충족시킬 수 있는 배합사료의 형태에서 해조류 종류별 이용성을 조사한 연구는 미비한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 해삼 사료의 해조류 종류별 이용성을 조사하기 위하여 해조류 분말을 다르게 첨가한 배합사료가 어린 해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료에 사용된 해조류 분말 종류별 일반성분 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험사료의 원료 조성 및 영양 성분 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 배합사료 내 해조류 분말 종류에 따른 어린 해삼 사육 효과를 비교하기 위하여 지충이(*Sargassum thunbergii*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 켈프밀(*Ascophyllum nodosum*), 툃트(*Hizikia fusiformis*), 발효 다시마(*Laminaria japonica*) 및 발효 툃트(*H. fusiformis*) 분말을 각각 첨가한 6종의 사료를 설계하였다. 발효 다시마와 발효 툃트는 다시마와 툃트에 *Lactobacillus brevis*를 첨가하여 37°C에서 48시간 동안 발효한 후, 여과 및 건조하여 제조되었다. 지충이 분말은 전라남도 진도 연안에서 채집하여 건조하였으며, 지충이를 제외한 다른 해조류 분말은 상업용 제품을 사용하였다. 모든 실험사료에는 단백질원으로 발효 대두박, 오징어간분 및 갈색어분을 사용하였으며, 탄수화물원으로는 밀가루를 사용하였다. 이와 같이 설계된 실험사료는 각 원료들을 잘 혼합한 후, 분쇄기(Pulverisette 16,

Table 2. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets					
	ST	UP	AN	HF	FLJ	FHF
Ingredients (%)						
<i>Sargassum thunbergii</i> ¹	40					
<i>Undaria pinnatifida</i> ²		40				
<i>Ascophyllum nodosum</i> ²			40			
<i>Hizikia fusiformis</i> ²				40		
Fermented <i>Laminaria japonica</i> ³					40	
Fermented <i>Hizikia fusiformis</i> ³						40
Fermented soybean meal	40	40	40	40	40	40
Squid liver powder	10	10	10	10	10	10
Brown fish meal	2	2	2	2	2	2
Wheat flour	4	4	4	4	4	4
Vitamin premix ⁴	2	2	2	2	2	2
Mineral premix ⁵	2	2	2	2	2	2
Proximate composition (% , dry matter basis)						
Crude protein	36.2	38.2	32.7	36.2	44.6	42.7
Crude lipid	3.6	4.0	4.4	3.6	3.4	3.2
Crude Ash	14.0	15.2	12.6	11.6	11.3	10.9

¹Collected in Pohang, Korea. ²Supplied by E-wha Oil and Fat Ind. Co., Busan, Korea. ³Supplied by Marine Bioprocess Co., LTD., Busan, Korea. ⁴Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003. ⁵ Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): NaCl, 43.3; MgSO₄·7H₂O, 136.5; NaH₂PO₄·2H₂O, 86.9; KH₂PO₄, 239; CaHPO₄, 135.3; Ferric citrate, 29.6; ZnSO₄·7H₂O, 21.9; Ca-lactate, 304; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0. ST, *Sargassum thunbergii*; UP, *Undaria pinnatifida*; AN, *Ascophyllum nodosum*; HF, *Hizikia fusiformis*; FLJ, Fermented *Laminaria japonica*; FHF, Fermented *Hizikia fusiformis*.

Table 1. Nutrient contents (% , dry matter basis) of seaweed powders used in diets

	<i>Sargassum thunbergii</i> ¹	<i>Undaria pinnatifida</i> ²	<i>Ascophyllum nodosum</i> ²	<i>Hizikia fusiformis</i> ²	Fermented <i>Laminaria japonica</i> ³	Fermented <i>Hizikia fusiformis</i> ³
Moisture	8.2	8.6	13.4	11.2	7.7	5.8
Crude protein	17.5	19.3	10.1	17.0	37.2	33.6
Crude lipid	1.2	0.9	3.8	1.2	1.5	1.1
Crude Ash	24.1	24.4	22.5	18.6	17.3	16.3

¹Collected in Pohang, Korea. ²Supplied by E-wha Oil and Fat Ind. Co., Busan, Korea. ³Supplied by Marine Bioprocess Co., LTD., Busan, Korea.

Fritsch, Germany)를 사용하여 150 µm 이하의 입자도로 분쇄하여 사육 실험에 사용하였다.

사육실험

사육실험을 위하여 해삼 양식장(충남 태안)에서 생산된 어린 해삼을 구입하여, 실험용 사육수조에 2주간 순치시켰다. 사육실험은 외형적으로 건강한 어린 해삼(평균 체중 0.4 ± 0.01 g)을 총 18개의 400 L 원형수조에 각 수조당 30마리씩 3반복으로 수용하여 우수식으로 15주간 실시하였다. 각 실험수조에는 검은색 플라스틱 사각 은신처(shelter)를 3개씩 넣어 해삼이 은신할 수 있는 사육 환경을 만들어 주었다(Seo et al., 2009). 사육수는 자연해수를 10톤 사각수조에 수용하여 해수 찌꺼기를 침지시킨 후, 각 실험수조로 분당 3 L 내외로 조절하여 흘려주었으며, 각 수조에 에어를 공급하였다. 사육기간 동안의 평균 수온은 12.0 ± 1.9 (9.6-16.8) °C 였다. 사육기간 동안 사육 실험장에 빛을 최대한 차단시켜 어두운 조건에서 사육실험을 실시하였으며, 사육기간 중 죽은 개체는 매일 제거하였고, 이틀에 한 번씩 수조 청소를 실시하였다.

실험사료는 각 사육 수조별로 50 mL 튜브에 1일 공급량을 측정하고, 이를 해수에 혼합하여 사료가 물에 잘 풀리도록 준비하여 1일 1회 공급하였다(14:00). 사료 공급 후에는 2시간 동안 사육수 공급을 중단시켜 사료가 바닥에 가라앉아 해삼의 사료 섭취가 원활하도록 하였다. 1일 사료 공급량은 사료 공급 후 다음날 사료 공급 전까지 해삼이 사료를 섭취하고 사육수조 바닥에 소량 남아 있을 정도로 조절하였다. 사육실험 기간 동안의 1일 사료 공급량은 해삼 체중의 2-4%였다.

해삼측정 및 성분분석

해삼의 체중 측정을 위하여 측정 전일 48시간 절식시킨 후, 각 수조에 수용된 해삼의 전체 무게를 측정하였다. 실험 종료 시에는 각 실험수조에서 생존한 모든 해삼을 성분 분석용으로 샘플하여 냉동(-25 °C) 보관하였다. 실험사료와 해삼 어체의 성분 중 수분은 135 °C에서 2시간 건조 후 측정하였고, 조단백

질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Gerhardt VAP50SC/KBL20, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지질은 조지질 추출기(Velp SER148, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 회분은 회화로를 사용하여 550 °C에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS 프로그램(SPSS, Chicago, Illinois, USA)을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성 ($P < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

실험사료에 사용된 해조류 분말들의 영양 성분을 분석한 결과 (Table 1), 지충이, 미역, 켈프밀 및 톳 분말은 조단백질이 10.1-17.3%였으나, 발효 다시마 및 발효 톳 분말은 조단백질이 33.6-37.2%로 발효해조류 분말이 일반 해조류 분말에 비하여 다소 높은 결과를 보였다.

해조류 분말 종류를 다르게 첨가한 배합사료로 어린 해삼을 15주간 사육실험한 결과를 Table 3에 나타내었다. 생존율은 모든 실험구에서 83-93%였으며, 실험구간에 유의한 차이는 없었다. 사료별 해삼의 평균 체중은 사육실험 5주후부터 실험구간에 유의한 차이를 보였으며, 사육실험 15주 후의 최종체중은 지충이 및 미역 분말 실험구가 켈프밀, 모자반, 발효다시마 및 발효 모자반 분말 실험구에 비하여 유의하게 높았다($P < 0.05$). 일일 성장률(specific growth rate)은 지충이 및 미역 분말 실험구가 톳, 발효다시마 및 발효모자반 분말 첨가구에 비하여 높았지만 ($P < 0.05$), 켈프밀 실험구와는 유의한 차이가 없었다.

해삼은 자연에서는 바다 퇴적물 내 해조류 부식물 등을 섭취하기 때문에(Zhang et al., 1995), 해조류는 해삼 사료의 주요한 원료이다(Xia et al., 2012a). 본 연구에서는 해삼의 사육에 적합한 사료내 해조류 분말을 조사하기 위하여 지충이, 미역, 켈프밀, 톳, 발효다시마 및 발효톳 분말을 각각 첨가한 사료로 사

Table 3. Growth performance of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed the experimental diets for 15 weeks

		Diets					
		ST	UP	AN	HF	FLJ	FHF
	Initial	0.4±0.00 ^{ns}	0.4±0.01	0.4±0.00	0.4±0.01	0.4±0.01	0.4±0.00
Body weight (g)	5 week	2.5±0.15 ^{ab}	2.7±0.15 ^a	2.6±0.09 ^a	1.9±0.11 ^c	2.1±0.08 ^{bc}	1.9±0.02 ^c
	10 week	7.1±0.22 ^a	7.4±0.93 ^a	6.2±0.93 ^{ab}	5.2±0.14 ^b	5.9±0.03 ^{ab}	5.2±0.29 ^b
	15 week	13.5±0.35 ^a	13.2±1.22 ^a	10.9±0.76 ^b	10.0±0.53 ^b	10.5±0.23 ^b	9.7±0.20 ^b
Survival (%)		83±3.3 ^{ns}	86±8.0	92±4.8	93±1.9	89±2.9	92±4.0
Specific growth rate ¹		3.26±0.03 ^a	3.22±0.09 ^a	3.09±0.07 ^{ab}	2.96±0.06 ^b	3.03±0.00 ^b	2.96±0.01 ^b

¹[ln(final body weight)-ln(initial body weight)]×100/day. ^{ns}Not significant ($P > 0.05$). ST, *Sargassum thunbergii*; UP, *Undaria pinnatifida*; AN, *Ascophyllum nodosum*; HF, *Hizikia fusiformis*; FLJ, Fermented *Laminaria japonica*; FHF, Fermented *Hizikia fusiformis*. Values (mean±SE of three replications) in each row with a different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

육한 결과, 지층이, 미역 분말 및 켈프밀 첨가 실험구가 우수한 성장을 보여 어린 해삼 사료의 해조류 원료로는 지층이, 미역 및 켈프밀을 사용하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 그리고 고가로 수입되고 있는 지층이 분말을 대체할 수 있는 원료로 지층이에 비하여 가격이 저렴하고 공급이 안정적인 미역 분말이나 켈프밀을 사용하여도 좋을 것으로 판단된다.

어린 해삼용 실용 배합사료의 사육효능을 조사한 Kim et al. (2017b)의 연구에서 지층이 분말을 첨가한 사료와 미역 분말 및 켈프밀을 혼합 첨가한 사료로 어린 해삼을 장기간 사육한 결과, 두 실험구간에 성장 차이를 보이지 않아 본 연구와 유사한 결과를 보였으며, 해삼 배합사료에 사용되고 있는 지층이 분말을 미역 분말과 켈프밀을 혼합 첨가하여 대체 가능한 것으로 보고하였다. 또한 Seo et al. (2011a)의 연구에서도 사료내 지층이와 미역 혹은 다시마 분말을 혼합 첨가한 실험구가 지층이만 첨가한 실험구에 비해 높은 성장을 보여 미역 및 다시마 분말의 지층이 분말 대체 가능성을 보고한 바 있다. Liu et al (2010)의 연구에서 지층이, 모자반(*Sargassum polycystum*), 다시마 엽상체(tallus) 및 다시마 부착기(holdfast) 분말과 펄 혹은 황토 분말을 혼합(8:2)한 먹이로 최초 체중 6.7 g의 해삼을 사육한 결과, 다시마 부착기 분말 사료 실험구의 해삼 성장이 지층이 및 모자반 분말 사료 실험구와 유사하였으며, 사료섭취율은 다시마 줄기 분말 사료 실험구가 높은 결과를 보였다. 그리고 다양한 해조류 분말과 펄 분말을 혼합(3:7)한 먹이로 어린 해삼을 사육한 기존 연구에서(Xia et al. 2012a) 다시마와 갈파래(*Ulva lactuca*) 분말 사료를 섭취한 해삼이 지층이 및 모자반 분말 첨가 사료 실험구에 비하여 성장 및 사료섭취율이 높고, 암모니아성 질소 생산(ammonia-nitrogen production)이 낮아 해삼 양식을 위한 경제적인 해조류원으로써 다시마와 갈파래가 적합한 것으로 보고되었지만, 해삼의 지층이, 갈파래 및 다시마 사료의 건물 및 조단백질 소화율은 차이가 없었다. 여러 종류의 해조류에 대한 해삼의 먹이 섭취 기호성(feeding preferences)을 조사한 Xia et al. (2012b)의 연구에서 다시마에 대한 기호성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과들로 볼 때 해삼 사료내 해조류 분말 원료로는 지층이 분말 외에도 해삼의 크기, 사료원료 조성비

및 가격 등을 감안하여 미역 분말 및 켈프밀 등을 사용하여도 좋을 것으로 판단된다.

본 연구에서 모든 실험구의 일일성장률은 2.96-3.26으로 기존에 보고된 타 연구들(Liu et al. 2010; Seo et al. 2011b; Xia et al. 2012a)에 비하여 현저히 높은 결과를 보였다. 해조류 분말과 펄 분말 만을 혼합(3:7)한 먹이를 공급하여 어린 해삼(최초 4.0 g)을 사육한(평균수온 15℃) Xia et al. (2012a)의 연구에서 각 실험구의 일일성장률은 0.48-0.80이었으며, 해조류 분말과 펄 혹은 황토 분말을 혼합(8:2)한 먹이로 최초 체중 6.7 g의 해삼을 사육한 Liu et al (2010)의 연구에서의 실험구별 일일성장률은 1.9-2.5 (평균수온 17℃)였다. 그리고 단백질원으로 다르게 첨가한 배합사료로 최초 체중 0.8 g의 해삼을 사육한(평균수온 10℃) Seo et al. (2011b)의 연구에서도 실험구별 일일성장률은 0.78-1.20이었다. 이와 같은 일일성장률의 차이는 실험에 사용된 해삼의 체중, 사료원료 조성비와 영양소 함량 및 수온과 같은 사육환경에 따라 차이는 있겠지만, 본 연구에 사용된 모든 실험사료의 사료원료 조성비는 어린 해삼의 사육에 적합한 것으로 판단된다.

발효 공정은 대두박 및 면실박과 같은 식물성 사료원료의 이용성을 감소시키는 항영양인자(anti-nutritional factors)를 제거하거나 그 활성도를 저하시킬 수 있으며, 발효균주에 의해 생산된 효소는 원료의 단백질 중 분자량이 작은 형태의 펩타이드량을 증가시킬 수 있는 것으로 보고되었다(Egounlety and Aworh, 2003; Sun et al., 2012; Tang et al., 2012). 본 연구에서 비록 일 반 톳 및 일반 다시마 분말 첨가 실험구는 없었지만, 발효 톳 및 발효 다시마 분말 사료 공급구는 지층이 및 미역 분말 사료 공급구에 비하여 낮은 성장을 보여 발효 해조류 분말 첨가에 따른 성장 개선 효과는 나타나지 않았다. 본 연구에 사용된 발효 톳 및 발효 다시마 분말 첨가 실험사료의 단백질 함량은 42-44%로 일반 해조류 분말 첨가 실험사료의 32-38%에 비하여 다소 높았지만, Seo and Lee (2011)의 연구에서 단백질 20% 사료를 섭취한 어린 해삼의 증체율은 단백질 40% 사료를 섭취한 실험구와 차이를 보이지 않아 본 실험에 사육된 사료 단백질 함량 차이는 어린 해삼의 성장에 현저한 영향을 미치지 않았을 것으로 판단

Table 4. Proximate composition (%) of whole body in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicas* fed the experimental diets for 15 weeks

	Diets					
	ST	UP	AN	HF	FLJ	FHF
Moisture	89.7±0.17 ^a	89.9±0.32 ^a	90.0±0.24 ^a	89.6±0.16 ^a	89.1±0.13 ^{ab}	88.5±0.44 ^b
Crude protein	4.5±0.14 ^b	4.5±0.29 ^b	4.5±0.24 ^b	4.8±0.13 ^{ab}	4.7±0.23 ^b	5.5±0.34 ^a
Crude lipid	0.3±0.01 ^{ns}	0.4±0.11	0.6±0.04	0.7±0.06	0.5±0.01	0.3±0.17
Crude Ash	3.6±0.02 ^{ns}	3.4±0.05	3.6±0.05	3.6±0.03	3.5±0.04	3.4±0.14

^{ns}Not significant (P>0.05). ST, *Sargassum thunbergii*; UP, *Undaria pinnatifida*; AN, *Ascophyllum nodosum*; HF, *Hizikia fusiformis*; FLJ, Fermented *Laminaria japonica*; FHF, Fermented *Hizikia fusiformis*. Values (mean±SE of three replications) in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

된다. 그러나 어린 해삼 사료내 식물성 단백질 원료별 이용성을 조사한 Seo et al. (2011a)의 연구에서 지층이와 일반 대두박을 첨가한 대조사료 공급구에 비하여 대조사료의 일반 대두박 함량을 감소시키는 대신 발효 대두박과 주정박(막걸리 발효 부산물, distillers dried grain powder)을 각각 10% 첨가한 사료 공급구의 해삼이 우수한 성장을 보여 본 연구 결과와 차이를 보였다. 배합사료의 단백질원으로 일반 대두박과 발효 대두박을 각각 첨가한 실험사료로 까막전복 치패를 사육 실험한 Kim et al. (2017a)의 연구에서 전복 치패의 성장은 발효 대두박을 첨가한 사료 공급구가 일반 대두박을 첨가한 사료 공급구기에 비하여 낮은 결과를 보였다. 발효 사료원료에 대한 이와 같은 이용성의 차이는 어종, 실험사료의 원료 조성비 및 어체 크기(Cho et al., 2004) 등에 영향을 받을 수 있을 것으로 판단된다.

사육실험 종료시, 해삼의 일반 성분 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 해삼 어체의 수분과 조단백질 함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였으며($P<0.05$), 발효모자반 분말 실험구 해삼은 수분 함량이 가장 낮았으며, 조단백질 함량은 가장 높은 결과를 보였다. 해삼 어체의 조지질 및 조회분 함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 어린 해삼용 실용 배합사료의 사육효과를 조사한 Kim et al. (2017b)의 연구에서도 해삼 어체의 일반 성분은 사료 원료에 따라 유의한 차이를 보여 본 연구 유사한 결과를 보였다.

이상의 결과로 볼 때, 어린 해삼의 최대 성장을 위한 사료내 해조류 원료로는 지층이, 미역 분말 및 켈프밀이 적합하였으며, 미역 분말과 켈프밀은 가격이 높고 생산량이 제한적인 지층이 분말을 대신하여 사용하여도 좋을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국립수산물연구원 수산과학연구사업(R2018005) 및 해양수부의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Choi SM, Wang X, Park GJ, Lim SR, Kim KW, Bai SC and Shin IS. 2004. Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquac Res* 35, 410-418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01046.x>.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Egounlety M and Aworh OC. 2003. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). *J Food Engin* 56, 249-254. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.036>.
- Kim HS, J HS, Choi DG, Jang BI, Kim HJ, Lee KW and Cho SH. 2017a. Effects of dietary inclusion of soybean meal and fermented soybean meal on growth and body composition of juvenile abalone *Haliotis discus* (Reeve 1846). *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 812-817. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0812>.
- Kim KD, Bae KM, Kim KW, Lee BJ, Hur SW, Jang JW and H HS. 2017b. Evaluation of experimental practical diets for juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 366-371. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0366>.
- Liu Y, Dong S, Tian X, Wang F and Gao Q. 2010. The effect of different macroalgae on the growth of sea cucumbers (*Apostichopus japonicus* Selenka). *Aquac Res* 41, 881-885. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02585.x>.
- Seo JY and Lee SM. 2011. Optimum dietary protein and lipid levels for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquacult Nutr* 17, 56-61. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00728.x>.
- Seo JY, Choi J, Kim GU, Cho SS, Park HG and Lee SM. 2008. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile sea cucumber *Stichopus japonicus*. *J Aquacult* 21, 19-25.
- Seo JY, Kim DG, Kim GU, Cho SS, Park HG and Lee SM. 2009. Effect of different substrates in the rearing tank on growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *J Aquacult* 22, 118-121.
- Seo JY, Shin IS and Lee SM. 2011a. Effect of dietary inclusion of various plant ingredients as an alternative for *Sargassum thunbergii* on growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquacult Nutr* 17, 549-556. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00849.x>.
- Seo JY, Shin IS and Lee SM. 2011b. Effect of various protein sources in formulated diets on the growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquac Res* 42, 623-627. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02653.x>.
- Statistics Korea. 2016. Fishery production survey. Retrieved from <http://kosis.kr> on Apr 12, 2017.
- Sun H, Tang JW, Yao XH, Wu YF, Wang X and Feng J. 2012. Improvement of the nutritional quality of cottonseed meal by *Bacillus subtilis* and the addition of papain. *Int J Agric Biol* 14, 563-568.
- Tang JW, Sun H, Yao XH, Wu YF, Wang X and Feng J. 2012. Effects of replacement of soybean meal by fermented cottonseed meal on growth performance, serum biochemical parameters and immune function of yellow-feathered broilers. *Asian-Australas J Anim Sci* 25, 393-400. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11381>.
- Xia S, Yang H, Li Y, Zhou Y and Zhang Y. 2012a. Effects of different seaweed diets on growth, digestibility, and ammonia-

- nitrogen production of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture* 338, 304-308. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.01.010>.
- Xia S, Zhao P, Chen K, Li Y, Liu S, Zhang L and Yang H. 2012b. Feeding preferences of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) on various seaweed diets. *Aquaculture* 344, 205-209. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.022>.
- Zhang B, Sun D and Wu Y. 1995. Preliminary analysis on the feeding habit of *Apostichopus japonicus* in the rocky coast waters off Lingshan Island. *Mar Sci* 3, 11-13.