

어린 해삼(*Apostichopus japonicus*)용 사료 개발을 위한 실험사료의 사육효능 평가

김경덕* · 배기민¹ · 김강웅 · 이봉주 · 허상우 · 장지원 · 한현섭

국립수산과학원 사료연구센터, ¹강원도내수면자원센터

Evaluation of Experimental Practical Diets for Juvenile Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

Kyoung-Duck Kim, Ki-Min Bae¹, Kang-Woong Kim, Bong-Joo Lee, Sang-Woo Hur, Ji Won Jang and Hyon-Sob Han

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

¹Gangwondo Inland Resource Center, Chuncheon 24210, Korea

Six experimental diets for juvenile sea cucumbers *Apostichopus japonicus* were evaluated and compared with current commercial diets. Sea cucumbers (50 per tank; initial mean weight 2.3±0.1g) in three replicates of seven groups were fed one of six experimental diets (ED1, 20% wild-harvested *Sargassum thunbergii* powder; ED2, 20% commercial *S. thunbergii* powder; ED3, 20% *Undaria pinnatifida* and *Ascophyllum nodosum* powders; ED4, 40% *U. pinnatifida* and *A. nodosum* powders; ED5, 10% brewer's yeast; and ED6, 10% sea shell powder) or a commercial diet (CD) for 28 weeks. The survival rate in all groups was 85-94%, with no significant difference among the experimental groups. The mean body weight of the sea cucumbers was significantly different among the experimental groups 6 weeks after the feeding trial. The final mean weight of the sea cucumbers was highest in ED1, ED3, and ED4, followed by ED6, ED5, ED2, and CD, in decreasing order. The results of this study suggest that *U. pinnatifida* and *A. nodosum* powders could provide a substitute for the *S. thunbergii* powder commonly used in commercial sea cucumber diets. Thus, the EP4 diet formulation, which contains no *S. thunbergii*, could be used as a practical feed for juvenile sea cucumbers.

Key words: Sea cucumber *Apostichopus japonicus*, Practical feed, *Sargassum thunbergii*, 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 양식종이며, 국내에서도 해삼 양식을 시도하는 양어인들이 증가하는 추세이다. 현재 국내 해삼 양식의 대부분은 종자 생산 및 어린 해

삼 육성 위주로 이루어지고 있으며, 중국 해삼 종자 생산 기술자들이 채용하여 종자 생산을 실시하는 양식장이 상당수를 차지하고 있다. 그러나 국내 사료회사에서의 해삼 전용 배합사료 개발 및 생산은 미비한 실정이다. 해조류 분말은 해삼 배합사료에 필수적인 사료원료이며(Xia et al., 2012), 지충이는 해삼 양식가들이 선호하는 해조류이다. 국내 해삼 양식장에서 사용되고 있는 지충이 분말은 대부분 중국에서 수입된 것이며, 수입산 지충이 분말은 고가로 판매되고 있어 사료 가격 상승 및 외화 낭비 등의 문제점을 초래하고 있다. 따라서 국내 해삼 양식 활성화를 위해서는 경제적인 해삼 배합사료 개발이 필요하며, 이를 위해서는 지충이를 대신할 수 있는 경제적이고 공급이 안정적인 해조류 분말의 사용이 필요하다.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0366>



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(4) 366-371, August 2017

Received 17 May 2017; Revised 10 June 2017; Accepted 26 July 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 230. 3630 Fax: +82. 54. 232. 3697

E-mail address: kimkd92@korea.kr

양식에 있어 사료비는 양식 총 생산비의 많은 부분을 차지하므로 경제적으로 중요하며, 양식에 의한 수질 오염은 공급된 사료에 영향을 받기 때문에 적합한 사료의 사용은 양식 생산성과 환경보호 측면에서 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항이다. 배합사료 개발을 위해서는 양식 대상종이 요구하는 단백질, 지질, 탄수화물 및 에너지 등과 같은 필수영양소 요구량을 규명하는 연구가 선행되어야 하며, 이러한 결과들을 토대로 공급이 안정적이며 품질이 우수하고 가격이 저렴한 원료를 선정하여 경제적인 사료가 만들어 질 수 있도록 해야 한다. 해삼 양식용 사료 개발을 위한 연구로는 어린 해삼의 단백질 및 지질과 같은 필수 영양소 요구량(Seo et al., 2008; Seo and Lee, 2011)과 사료 원료 이용성(Seo et al., 2011a; 2011b)에 관한 연구들이 보고되었으나, 어린 해삼 육성용 실용배합사료 개발에 관한 연구는 제한적인 실정이다.

그래서 본 연구에서는 고가의 수입 해삼 사료를 대체할 수 있는 경제적인 해삼용 사료 개발을 위하여 주요 사료원료를 다르게 사용하여 제조한 실험용 사료와 시판사료로 어린 해삼의 사육 효능을 비교하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료 제조에 사용된 주요 사료원료인 지충이(*Sargassum thunbergii*) 분말, 미역(*Undaria pinnatifida*) 분말 및 켈프밀(kelp meal, *Ascophyllum nodosum*)의 영양 성분 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 지충이 분말은 경북 포항 연안에서 채취하여 건조 및 분쇄한 것과 중국에서 수입되어 상업용으로 시판

되는 2종류를 사용하였다. 미역 분말(미진자연식품, 한국) 및 켈프밀(Acadian Seaplants Ltd., Canada)은 상업용 제품을 사용하였다.

어린 해삼의 사육효능 비교를 위하여 총 7종류의 실험사료를 설정하였으며, 실험사료의 원료 조성 및 일반 성분 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 주요 사료원료로 채집한 지충이 분말과 시판 수입산 지충이 분말의 효과를 비교하기 위하여 사료1은 채집한 지충이 분말 20%, 사료2는 시판 지충이 분말을 20% 첨가하였고, 지충이 분말 대체원으로 미역 분말과 켈프밀의 이용성을 조사하기 위하여 사료3은 미역 분말과 켈프밀을 10%씩 첨가하였으며, 사료4는 미역 분말과 켈프밀을 20%씩 첨가하였다. 사료5는 맥주효모 10%를, 사료6은 조개 폐각 분말을 10% 첨가하였다. 사료7은 상업용 시판 해삼 사료(중국산)를 사용하였다. 모든 실험사료에는 단백질원으로 대두박과 콘글루텐밀을 사용하였으며, 탄수화물원으로는 소맥분을 사용하였다. 이와 같이 설계된 실험사료는 각 원료들을 잘 혼합한 후, 분쇄기(Pulverisette 16, Fritsch, Germany)를 사용하여 150 µm 이하의 입자도로 분쇄하여 사육 실험에 사용하였다.

사육실험

해삼 양식장(전북 군산)에서 종자 생산된 어린 해삼을 구입하여, 실험용 사육수조에서 2주간 순치시켰다. 사육실험은 외형적으로 건강한 어린 해삼(평균 체중 2.3±0.1 g)을 총 21개의 400 L 원형수조에 각 수조당 50마리씩 3반복으로 수용하여 유수식으로 28주간 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 침지 시킨 후, 각

Table 1. Nutrient contents of the dietary ingredients

	<i>Sargassum thunbergii</i> ¹	<i>Sargassum thunbergii</i> ²	<i>Undaria pinnatifida</i> ³	<i>Ascophyllum nodosum</i> ³
Proximate composition (% dry matter basis)				
Crude protein	17.3	7.2	17.0	10.6
Crude lipid	1.9	0.5	1.9	5.4
Ash	16.8	52.5	26.1	19.5
Essential amino acids (% dry matter basis)				
Arg	0.6	0.2	0.7	0.3
His	0.2	0.1	0.3	0.1
Ile	0.7	0.2	0.7	0.3
Leu	1.0	0.4	1.2	0.5
Lys	0.8	0.3	0.8	0.4
Met+Cys	0.5	0.2	0.4	0.3
Phe+Tyr	1.1	0.4	1.1	0.5
Thr	0.7	0.2	0.7	0.3
Val	0.9	0.4	0.9	0.5

¹Collected in Pohang, Korea. ²Imported from China (commercial feed). ³Supplied by E-wha Oil and Fat Ind. Co., Busan, Korea.

Table 2. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets						
	ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	ED6	CD
Ingredients (%)							
<i>Sargassum thunbergii</i> powder ¹	20						Closed
<i>Sargassum thunbergii</i> powder ²		20	20				
<i>Undaria pinnatifida</i> powder ³			10	20	5	5	
<i>Ascophyllum nodosum</i> powder ³			10	20	5	5	
Soybean meal	30	30	20	20	30	20	
Corn gluten meal	25	25	15	15	25	25	
Wheat flour	20	20	20	20	20	20	
Brewer yeast					10	10	
Shell powder						10	
Squid liver powder	2	2	2	2	2	2	
Calcium lactate	1	1	1	1	1	1	
Vitamin premix ⁴	1	1	1	1	1	1	
Mineral premix ⁵	1	1	1	1	1	1	
Proximate composition (% dry matter basis)							
Crude protein	42.0	40.3	31.4	33.6	45.3	41.3	14.7
Crude lipid	1.8	1.5	1.5	1.8	1.4	1.8	0.4
Ash	6.8	13.7	19.4	14.9	7.9	13.3	58.8
Essential amino acids (% dry matter basis)							
Arg	1.7	1.6	1.2	1.3	1.8	1.6	0.5
His	0.8	0.7	0.5	0.6	0.8	0.7	0.1
Ile	1.5	1.4	1.1	1.2	1.6	1.4	0.5
Leu	4.2	3.8	2.7	3.1	4.1	3.8	0.9
Lys	1.4	1.2	1.0	1.1	1.4	1.2	0.6
Met+Cys	1.1	0.9	0.7	0.6	1.0	1.0	0.5
Phe+Tyr	3.3	3.0	2.2	2.4	3.1	2.9	0.7
Thr	1.3	1.2	0.9	1.1	1.3	1.2	0.6
Val	1.8	1.6	1.3	1.3	1.9	1.6	0.8

¹Collected in Pohang, Korea. ²Imported from China (commercial feed). ³Supplied by E-wha Oil and Fat Ind. Co., 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. ⁵Mineral 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. ED, experimental diet; CD, commercial diet.

실험수조로 분당 3 L로 조절하여 흘려주었으며, 각 수조에 에어를 공급하였다. 사육기간 동안의 평균 수온은 19.5±3.9(12.4-24.8)°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. 일일 사료 공급량은 사료 공급 후 다음날 사료 공급 전까지 해삼이 사료를 섭취하고 사육수조 바닥에 소량 남아 있을 정도로 조절하였다. 사육실험 기간 동안의 일일 사료 공급량은 사료1-6은 해삼 체중의 1-2.5%였으며, 사료7은 해삼 체중의 4-6%였다.

해삼측정 및 성분분석

해삼의 체중 측정을 위하여 사육실험 시작시와 종료시에 측정 전일 48시간 절식시킨 후, 각 수조에 수용된 해삼의 전체 무게를 측정하였다. 최초 성분 분석용으로 해삼 50마리를 샘플하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 생존한 해삼 중 중간 크기의 해삼을 10마리씩 성분 분석용으로 샘플하여 -25℃에 보관하였다. 실험사료와 해삼 어체의 성분 중 수분은 135℃에서 2시간 건조 후 측정하였고, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Gerhardt VAP50SC/KBL20, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지질은 조지질추출기(Velp SER148, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 회분은 회화로를 사용하여 550℃에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS 프로그램을 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 주요 사료원료의 영양 성분을 분석한 결과(Table 1), 채집한 지충이 분말은 조단백질이 17.3%, 조지질 1.9% 및 조회분은 16.8%(건물 기준)였으나, 상업용 지충이 분말은 조단백질이 7.2%, 조지질 0.5% 및 조회분은 52.5%로 동일

한 영양소 종류간에도 그 함량은 두 종류의 지충이 분말 간에 현저한 차이를 보였다. 이와 같이 상업용 지충이 분말은 채집한 지충이 분말에 비하여 조단백질과 조지질 함량은 현저히 낮았으나, 조회분 함량은 3배 이상으로 월등히 높게 나타났으며, 상업용 해삼 사료도 조회분 함량이 58.8%(Table 2)로 상당히 높아, 중국에서 수입된 상업용 지충이 분말과 해삼 사료에는 해삼 양어자들이 선호하여 사료에 혼합하여 사용하고 있는 펄이 상당량 함유되어 있을 가능성을 시사하고 있다.

실험용 사료와 상품사료를 공급하며 어린 해삼을 28주간 사육한 결과를 Table 3에 나타내었다. 생존율은 모든 실험구에서 85-94%였으며, 실험구간에 유의한 차이는 없었다. 사료별 해삼의 평균 체중은 사육실험 6주 후부터 실험구간에 유의한 차이를 보였으며(P<0.05), 사육실험 28주 후의 최종체중은 사료1(채집 지충이), 사료3(미역+켈프밀+시판 지충이) 및 사료4(미역+켈프밀) 실험구가 가장 높았으며, 다음에는 사료6(조개패각), 사료5(맥주효모), 사료2(시판 지충이) 및 사료7(시판 사료)의 순을 보였다. 본 연구에서 채집 지충이, 미역+켈프밀+시판 지충이 및 미역+켈프밀 실험구가 가장 좋은 성장을 보였으며, 이 실험구들 간에는 유의한 차이가 없었다. 본 연구에서 지충이 분말 대체 원료로 가격이 다소 경제적이며 안정적으로 사용할 수 있는 해조류 중 미역 분말과 켈프밀의 이용성을 비교한 결과, 미역 분말 및 켈프밀 혼합 실험구들과 채집 지충이 분말 첨가 실험구간에 유사한 성장을 보여 해삼 배합사료에 사용되고 있는 지충이 분말을 미역 분말 및 켈프밀로 대체하여도 좋을 것으로 판

Table 3. Growth performance of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed the experimental diets for 28 weeks

		Diets							Pooled SEM	MWT ¹ (°C)
		ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	ED6	CD		
Body weight (g)	Initial	2.2 ^{ns}	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	0.02	
	6 week	5.8 ^{ab}	5.1 ^d	5.7 ^{bc}	6.1 ^a	5.3 ^d	5.4 ^{cd}	2.2 ^e	0.28	16.4
	14 week	5.9 ^a	4.6 ^b	5.5 ^a	5.8 ^a	4.7 ^b	5.0 ^b	2.6 ^c	0.24	20.8
	20 week	5.7 ^a	3.5 ^{cd}	5.5 ^a	5.6 ^a	3.9 ^{bc}	4.5 ^b	3.0 ^d	0.24	23.4
	28 week	10.3 ^a	6.1 ^{cd}	9.8 ^a	9.1 ^{ab}	6.9 ^{cd}	7.8 ^{bc}	5.2 ^d	0.43	19.6
Survival (%)		94 ^{ns}	85	95	87	86	88	92	1.35	

¹Mean water temperatures. ED, experimental diet; CD, commercial diet. Values (mean of three replications) in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05). Pooled standard error of means, SD/√n. ^{ns}Not significant (P>0.05).

Table 4. Proximate composition (%) of whole body in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed the experimental diets for 28 weeks

	Diets							Pooled SEM
	ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	ED6	CD	
Moisture	90.8 ^{ab}	90.7 ^{ab}	91.0 ^{ab}	91.0 ^{ab}	90.5 ^b	90.6 ^b	91.2 ^a	0.67
Crude protein	3.9 ^b	4.6 ^a	3.9 ^b	4.0 ^{ab}	4.4 ^{ab}	4.2 ^{ab}	3.9 ^b	0.08
Crude lipid	0.32 ^a	0.28 ^{ab}	0.27 ^{ab}	0.16 ^d	0.18 ^{cd}	0.25 ^{ab}	0.23 ^{bc}	0.01
Ash	3.7 ^a	3.6 ^a	3.7 ^a	3.6 ^a	3.4 ^b	3.6 ^a	3.5 ^{ab}	0.03

ED, experimental diet; CD, commercial diet. Values (mean of three replications) in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05). Pooled standard error of means, SD/√n. ^{ns} Not significant (P>0.05).

단된다. 다양한 해조류 분말과 펄 및 황토 분말을 혼합한 먹이로 어린 해삼을 사육한 기존 연구에서도(Liu et al., 2010; Xia et al., 2012) 해삼 사료의 해조류 분말 원료로써 다시마와 갈파래(*Ulva lactuca*)는 가격이 비싸고 생산이 제한적인 지층이를 대체 할 수 있는 것으로 보고되었다. 본 연구에서 상업용 지층이 분말 실험구는 채집 지층이 분말 실험구에 비해 낮은 성장을 보였는데($P<0.05$), 이러한 결과는 상업용 지층이 분말의 조단백질과 같은 필수 영양소 함량이 채집 지층이에 비하여 현저히 낮기 때문으로 판단된다. 또한 상업용 지층이 분말의 조회분 함량은 52.5%로 상당히 높았는데, 이는 중국에서 수입된 상업용 지층이 분말에는 지층이 분말 외에 다른 원료들이 상당량 혼합되어 있을 것으로 판단된다.

본 연구에 사용된 자체 제조한 6종류의 실험용 사료 모두 시판 사료에 비하여 유의하게 높은 성장을 보였다. 이러한 결과는 시판 사료의 조단백질 함량은 14.7%로 실험용 사료의 31-45%에 비하여 현저히 낮기 때문으로 판단되며, 기존에 보고된 해삼의 단백질 요구량에 관한 연구에서 어린 해삼의 적정 성장을 위한 단백질 요구량은 사료내 20%인 것으로 보고되었다(Seo and Lee, 2011). 일반적으로 사료 종류별 사육효과 비교를 위해서는 사료의 단백질 및 에너지 함량이 유사하도록 설계하지만, 본 연구에 사용된 실험사료의 원료조성은 실용적인 면을 우선적으로 고려하여 α -cellulose와 같은 filler를 사용하지 않았다. 실험용으로 제조한 사료6종의 단백질 함량은 31-45%로 차이를 보였으나, 해삼의 단백질 요구량이 20%인 점을 감안할 때 이와 같은 사료 단백질 함량의 차이는 해삼의 성장에 현저한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

본 연구의 사육실험 기간 중 사육 14주 및 20주 후의 실험구별 해삼의 평균 체중은 사육 6주 후의 평균 체중과 유사하거나 오히려 감소하는 결과를 보였다. 체중 증가가 거의 이루어지지 않은 사육실험 6-14주 및 15-20주의 평균 수온은 각각 20.8℃ 및 23.4℃였다. 이와 같은 해삼의 성장 저하는 여름철의 높은 수온에 영향을 받은 것으로 판단된다. 그러나 사육실험 20-28주의 평균 수온은 19.6℃이었으나 실험구별 해삼의 평균 체중은 증가하여 평균 수온이 20.8℃였던 6-14주의 성장 결과와 차이를 보였다. 이러한 차이는 사육실험 6-14주의 수온은 대부분 20℃ 전후였으나, 사육실험 20-28주의 경우 4주 동안은 수온이 15-20℃로 저하되었으며, 이 기간 동안에 해삼의 성장이 원활히 이루어진 것으로 판단된다. 수온에 따른 해삼의 성장도 변화를 조사한 Dong et al. (2006)의 연구에서 수온 21℃에서 사육된 해삼은 수온 15℃ 및 18℃에서 사육된 해삼에 비하여 성장이 감소하였으며, 해삼의 성장을 위한 최적 수온은 16-18℃로 보고되었다. Yang et al. (2005)의 연구에서 해삼의 사료섭취 및 성장을 위한 최적 수온은 14-15℃이었으며, 수온 20℃ 이상에서는 사료섭취 및 성장이 감소하고, 25℃ 이상에서는 하면(aestivation)하는 것으로 보고되었다. 사육실험 종료시, 해삼의 일반 성분 분석 결과를 표 4에 나타내었다. 해삼 어체의 수분, 조단백질, 조지

질 및 회분 함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 그러나 해삼 사료내 식물성 사료원료의 이용성을 조사한 기존의 연구에서 해삼 어체의 일반 성분은 사료원료에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다(Seo et al., 2011b).

본 연구의 결과에서 실험용으로 제조한 사료 6종 모두 시판사료에 비해 우수한 성장을 보였으며, 해삼 사료내 지층이 분말은 미역 분말과 켈프밀로 대체가 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 실험에 사용된 사료4의 사료원료 조성비는 어린 해삼용 실용배합사료의 조성으로 사용하여도 좋을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2017021) 및 해양수산부의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Dong Y, Dong S, Tian X, Wang F and Zhang M. 2006. Effects of diel temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. *Aquaculture* 255, 514-521. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.12.013>.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- 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.
- 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 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>.
- Seo JY, Shin IS and Lee SM. 2011b. 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>.
- Statistics Korea. 2016. Fishery production survey. Korean Sta-

tistical Information Service, Daejeon, Korea. Retrieved from <http://kosis.kr> on Apr 12, 2017.

- Xia S, Yang H, Li Y, Zhou Y and Zhang Y. 2012. 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>.
- Yang H, Yuan X, Zhou Y, Mao Y, Zhang T and Liu Y. 2005. Effects of body size and water temperature on food consumption and growth in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) with special reference to aestivation. *Aquac Res* 36, 1085-1092. [http://doi: 10.1111/j.1365-2109.2005.01325.x](http://doi:10.1111/j.1365-2109.2005.01325.x).