

배합사료의 단백질 및 지질 함량이 어린 돌기해삼 *Stichopus japonicus*의 성장 및 체조성에 미치는 영향

서주영, 최 진¹, 김근업², 조성수², 박흥기, 이상민*
강릉대학교 해양생명공학부, ¹강릉대학교 해양생물교육연구센터,
²강원도수산자원연구소

Effects of Dietary Protein and Lipid Levels on Growth and Body Composition of Juvenile Sea Cucumber *Stichopus japonicus*

Joo-Young Seo, Jin Choi¹, Guen-Up Kim², Sung-Su Cho², Heum Gi Park and Sang-Min Lee*
Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea
¹Marine Biology Center for Education and Research, Kangnung National University, Gangneung 210-853, Korea
²Gangwon Province Fisheries Resources Institute, Gangneung 210-860, Korea

We investigated the proper dietary protein and lipid levels for growth and body composition of juvenile sea cucumber *Stichopus japonicus*. Three replicate groups of the sea cucumber (average weight of 1.1 g) were fed the experimental diets containing different levels of protein (10, 20, 30 and 40%) and lipid (3, 7 and 11%) for 10 weeks. At the end of the feeding trial, survival of each group was over 87%, and there was no significant difference among the groups. Weight gain and specific growth rate (SGR) of sea cucumber were significantly affected by dietary protein ($P<0.005$) and lipid levels ($P<0.001$). The highest weight gain and SGR were observed when sea cucumber fed the diet containing 30% protein with 3% lipid ($P<0.05$). Weight gain and SGR of the sea cucumber fed the diet containing 3% lipid were higher than the other groups at the same protein level except for 40% protein group ($P<0.05$). Protein content of the sea cucumber fed the diet containing 30% protein with 3% lipid was significantly ($P<0.05$) higher than those fed 20% protein diets with 7% or 11% lipids and 10% protein diet with 7% lipid. Moisture, lipid and ash contents of the whole body were not significantly different among the groups. Fatty acid compositions such as linoleic acid, EPA (20:5n-3) and DHA (22:6n-3) of the whole body were affected by those of dietary lipid sources. The results of this study indicate that the diet containing 30% protein and 3% lipid is optimal for growth of juvenile sea cucumber.

Keywords: *Stichopus japonicus*, Sea cucumber, Dietary protein, Dietary lipid, Growth

서 론

해삼류는 세계적으로 1,100여종 이상 분포하고 있으며, 우리나라에는 돌기해삼 *Stichopus japonicus*이 주로 식용으로 이용되고 있다. 해삼은 칼로리가 낮고 필수아미노산과 미네랄 등이 풍부한 well-being 보양식품으로 오래전부터 한국, 중국, 일본 및 러시아 등에서 비교적 고가로 판매되고 있을 뿐 아니라 그 수요도 높다(Sloan, 1984). 그러나 최근에 무분별한 남획과 환경오염 등으로 인해 해삼 생산량이 감소함에 따라(Chen, 2004; Conand, 2004; Uthicke, 2004) 해삼의 인공종묘생산기술의 확립과 함께 양식에 대한 관심이 증가되고 있다. 중국과 일본에서는 1980년대부터 해삼 종묘생산이 수행되었으며(Zhang and Liu, 1998), 우리나라에서는 1990년대 종묘생산기술이 개발됨에 따

라 매년 종묘를 연안에 방류하고 있다.

지금까지 해삼에 관한 연구로는 섭식과 소화(Tanaka, 1958b), 생식(Tanaka, 1958a), 유생사육(Sui et al., 1986; Sui, 1989), 대사(Kato and Hirata, 1990; Kashenko, 2000; Li et al., 2002) 및 추출물(Tian et al., 2005) 등 생물학적 특성에 초점을 두고 진행되었고, 해삼 양식에 필요한 배합사료에 관한 연구는 거의 없다. 이처럼 우리나라의 해삼 양식은 초기단계에 있고 배합사료 개발에 관한 연구가 거의 없기 때문에 해삼 양식시 사용되는 양성용 먹이는 자연산 해조류(Sui, 1988; Battaglione et al., 1999) 또는 외국에서 수입되는 사료에 대부분 의존하고 있다. 해조류의 경우, 해삼을 양성하기 위한 필요량을 항상 충족시키기 어려워 수급이 불안정하며, 수입 배합사료는 조성이나 가공 형태에 대한 체계적인 연구 결과 없이 제조되어 시판되고 있다. 실제 수입 사료의 영양성분을 분석하여 보면 그 영양소 함량 변화가

*Corresponding author: smlee@kangnung.ac.kr

심한데, 이는 해삼 배합사료의 배합비가 일정하지 않은 상태로 사료가 제조되고 있음을 의미한다. 또한, 수입 사료는 수급의 불안정 및 외화 낭비 등의 제반 문제점들을 가지고 있어 효율적인 해삼 양식의 걸림돌이 될 수 있다. 그러므로 효율적인 해삼 양식을 위해 경제성이 있는 적정 배합사료를 개발하는 것이 필요하다.

배합사료를 개발하기 위해서는 먼저 대상종의 필수영양소 요구에 대한 연구를 수행하여 그 중에 적합한 사료를 설계해야 한다. 사료 단백질은 성장에 직접적으로 영향을 미치는 가장 중요한 요소이며, 단백질 원료 가격이 비싸기 때문에 사료 단가에도 영향을 미칠 수 있다(Lovell, 1989). 또한, 지질은 에너지 value가 높은 영양소로서 동물의 성장이나 사료섭취에 영향을 미칠 수 있을 뿐 아니라, 사료내 적절한 지질함량은 단백질 효율을 향상시켜 단백질 절약효과를 가져올 수 있다. 따라서 사료 단백질과 지질 함량은 사료 배합시 중요하게 고려되어야 할 사항으로 경제적인 배합사료 개발을 위해 우선적으로 연구되어야 한다.

본 연구는 단백질과 지질 함량이 다르게 함유된 배합사료가 어린 돌기해삼의 성장과 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료조성, 일반성분 및 지방산 조성을 Table 1과 2에 나타내었다. 단백질(10%, 20%, 30% 및 40%)과 지질(3%,

7% 및 11%) 함량을 달리한 4×3 factorial design으로 총 12 종류의 실험사료를 제조하였다. 실험사료의 단백질원으로 어분과 casein을, 지질원으로는 오징어간유와 대두유를 그리고 탄수화물원으로 dextrin을 사용하였으며, 사료내 단백질과 지질 함량은 이 원료들의 비율에 따라 조절되었다. 이와 같이 설계된 실험사료의 원료들을 잘 혼합하여 펠릿으로 성형한 후, 펠릿을 분말형태로 다시 분쇄하여 냉장(-30°C) 보관하면서 공급하였다.

해삼 및 사육관리

전남 완도의 개인 양식장에서 종묘 생산된 치삼을 구입하여 대형 콘크리트 수조에 수용후 상품사료를 1일 1회 공급하면서 2주간 적응시켰다. 사육실험은 총 36개의 수조(50 L 사각수조)에 외형적으로 건강한 치삼(평균 체중: 1.1±0.05 g)을 각각 50마리씩 3반복으로 수용하였으며, 실험사료를 치삼 체중의 5%씩 1일 1회(17:00 h) 공급하면서 8주간 사육실험 하였다. 사육실험 기간 동안 수온은 9.8±2.30°C, 비중은 1.025±0.0006 이었으며, 각 수조마다 여과해수를 1 L/min로 조절하여 흘려주었다. 그리고 각 수조에 남은 사료 찌꺼기는 이틀마다 사이펀으로 제거하였다.

성분분석 및 통계처리

성분 분석용으로 최초 치삼 100마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에 생존한 모든 치삼을

Table 1. Ingredient and proximate composition of the experimental diets for *Stichopus japonicus*

Ingredients (%)	Diets											
	P10 L3	P10 L7	P10 L11	P20 L3	P20 L7	P20 L11	P30 L3	P30 L7	P30 L11	P40 L3	P40 L7	P40 L11
Casein	3.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	9.0	9.0	9.0	12.0	12.0	12.0
White fish meal ¹	9.0	9.0	9.0	18.0	18.0	18.0	27.0	27.0	27.0	36.0	36.0	36.0
Dextrin	65.0	65.0	65.0	55.0	55.0	55.0	45.0	45.0	45.0	35.0	35.0	35.0
Squid liver oil	2.3	2.3	2.3	1.7	1.7	1.7	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3
Soybean oil		4.0	8.0		4.0	8.0		4.0	8.0		4.0	8.0
Vitamin premix ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mineral premix ³	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Cellulose	15.5	11.5	7.5	14.1	10.1	6.1	12.8	8.8	4.8	11.5	7.5	3.5
Choline	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Nutrient contents (% of dry matter)												
Dry matter	92.3	93.3	92.0	96.3	94.3	89.6	94.9	93.7	92.5	94.8	96.8	94.8
Crude protein	10.0	11.1	10.4	19.4	19.6	20.0	27.5	27.9	26.9	36.3	36.2	37.1
Crude lipid	3.2	7.1	10.1	2.3	6.7	10.2	2.8	7.5	9.7	2.7	6.7	11.2
Crude fiber	24.6	19.9	16.0	27.5	17.4	16.6	24.5	19.7	15.4	22.2	17.6	13.9
Ash	3.0	3.0	3.1	4.3	4.3	4.5	5.5	5.7	5.8	7.6	7.1	7.1
N-free extract	59.2	58.9	60.4	46.4	52.0	48.7	39.7	39.1	42.4	31.2	32.3	30.7
Gross energy (kcal/g diet)	4.0	4.2	4.4	4.0	4.2	4.4	4.0	4.2	4.4	4.0	4.2	4.4

¹Provided by Fisheries Co-op Feeds Co., Ltd. Gyeongsangnam province, Korea.

²Vitamin premix, contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 200; DL- α -tocopheryl acetate, 20; thiamin hydrochloride, 5; riboflavin, 8; pyridoxine hydrochloride, 2; niacin, 40; Ca-D-pantothenate, 12; myo-inositol, 200; D-biotin, 0.4; folic acid, 1.5; p-aminobenzoic acid, 20; menadione, 4; retinyl acetate, chloecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

³Mineral premix, contained the following ingredients (g/kg mix): NaCl, 7; MgSO₄·7H₂O, 105; NaH₂PO₄·2H₂O, 175; KH₂PO₄, 224; CaH₄(PO₄)₂·H₂O, 140; Ferric citrate, 17.5; Ca-lactate, 21.8; ZnSO₄·7H₂O, 2.8; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.11; KIO₃, 0.02; Na₂Se₂O₃, 0.007; MnSO₄·H₂O, 1.4; CoCl₂·6H₂O, 0.07.

Table 2. Fatty acid compositions (% of total fatty acid) of the experimental diets for *Stichopus japonicus*

Fatty acids (%)	Diets											
	P10 L3	P10 L7	P10 L11	P20 L3	P20 L7	P20 L11	P30 L3	P30 L7	P30 11	P40 L3	P40 L7	P40 L11
14:0	6.0	2.3	1.5	5.1	2.4	1.7	4.1	2.2	1.7	3.9	2.4	1.5
15:0	0.6	0.2	0.2	0.7	0.3	0.2	0.7	0.4	0.3	0.7	0.4	0.3
16:0	21.5	16.1	15.4	20.8	16.9	16.1	21.6	18.2	17.9	22.5	19.5	16.2
16:1	6.9	2.8	2.6	5.6	2.5	1.8	3.7	2.1	1.5	3.1	1.8	1.2
17:0	0.5	0.2	0.2	0.5	0.3	0.2	0.6	0.4	0.3	0.6	0.4	0.3
18:0	4.9	4.4	4.0	5.4	4.8	4.5	6.4	5.6	5.6	7.1	6.2	5.2
18:1n-9	22.4	22.9	22.8	19.5	21.0	19.7	15.5	18.0	18.2	13.2	15.9	22.6
18:2n-6	7.0	36.0	40.4	6.3	32.6	39.2	7.5	29.5	36.6	6.0	26.6	33.7
18:3n-3	1.2	3.8	4.2	1.0	3.4	4.1	0.9	3.0	3.7	0.7	2.7	3.4
20:0	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
20:1	2.5	1.0	0.7	5.4	2.5	1.6	5.0	2.7	1.9	5.2	2.7	1.9
20:2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
20:3n-3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0
20:4n-6	0.8	0.3	0.3	1.0	0.4	0.4	1.4	0.7	0.4	1.6	0.9	0.7
20:5n-3	9.8	3.6	2.5	8.2	3.5	2.5	6.3	3.2	2.1	5.3	3.0	1.9
22:5n-3	2.5	1.0	0.8	2.6	1.2	1.0	2.6	1.5	1.1	2.8	1.7	1.0
22:6n-3	12.8	4.9	3.9	17.1	7.7	6.5	23.0	12.0	8.3	26.5	15.1	9.8
n-3HUFA ¹	25.3	9.5	7.3	28.1	12.5	10.0	32.2	16.8	11.5	34.9	19.8	12.7

¹Highly unsaturated fatty acid (C \geq 20).

성분분석용 시료로 취하여 동결건조하여 보관하였다. AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N \times 6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 600°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량 하였다. 또한, 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator, Sweden)를 이용하여 분석하였으며, 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr, USA)를 이용하여 측정하였다. 지방산 분석을 위해 Folch et al. (1957)의 방법에 의해 총 지질을 추출하여 14% BF₃-methanol로 methylation시킨 후, capillary column (OMEGWAX™ 250, 30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m, USA)이 장착된 gas chromatography (HP-6890 PLUS GC, USA)로 지방산을 분석하였다. Carrier gas는 헬륨을 사용하였으며, oven 온도는 최초 200°C에서 230°C까지 5°C/min 증가시켰고, 이어서 237°C까지 0.5°C/min 증가시켰다. 이때 injector 온도는 250°C, detector (FID) 온도는 270°C로 각각 설정하였으며, 표준 지방산으로 37개 지방산 혼합물(PUFA 37 Component FAME Mix, USA)을 사용하였다.

결과의 통계 처리는 SPSS Version 12 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였으며, Two-way ANOVA-test를 통해 실험 사료내 단백질과 지질의 상호관계를 조사하였다.

결과 및 고찰

사료의 단백질과 지질 함량이 다른 실험 사료로 평균 체중 1.1g의 해삼을 8주간 사육실험한 결과를 Table 3에 나타내었다. 생존율은 모든 실험구에서 86% 이상으로 실험사료의 단백질과 지질 함량에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 증중율과 일간성장율은 사료의 단백질($P<0.005$)과 지질($P<0.001$) 함량에 각각 영향을 받았다. 성장율은 P30L3 공급구가 다른 실험구에 비해 높은 값을 나타내었다($P<0.05$). 단백질 10-30% 함유사료에서는 지질 3% 첨가구에서 유의하게 높은 증중율과 일간성장율을 보였으며($P<0.05$), 단백질 10%와 20% 첨가사료에서는 지질함량이 증가할수록 오히려 성장이 감소하는 결과를 보였으나, 단백질 40% 사료에서는 지질함량에 따른 유의한 차이 없이 낮은 증중율을 보였다.

일반적으로 사료내 단백질 함량이 증가하면 어류의 성장이 향상되는 것으로 알려져 있다(NRC, 1993). 본 연구에서도 3% 지질함량에서 사료내 단백질이 10%에서 30%로 증가함에 따라 치삼의 증중율이 증가하였다. 기존의 해삼 단백질 요구량 실험 (Sun et al., 2004)에서 사료내 단백질 함량이 증가할수록 치삼의 성장이 향상되어 21.5% 실험구에서 가장 양호한 성장을 보였지만, 이들의 연구에서 사료에 함유된 최대 단백질 함량이 21.5%여서 요구량 구명에 한계가 있었다. 본 연구에서는 30% 단백질 함량에서 성장이 가장 양호한 것으로 나타나, Sun et al. (2004)의 연구에서 설정된 21.5% 단백질은 해삼의 요구량에 미치지 못했음을 알 수 있다. 그리고 사료내 단백질 함량이 30%

Table 3. Weight gain and survival of sea cucumber *Stichopus japonicus* fed the experimental diets for 8 weeks¹

Diets	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	Survival (%)	Weight gain (%) ²	Specific growth rate (%) ³
P10L3	1.11±0.001 ^{ns}	1.27±0.025 ^c	92±4.2 ^{ns}	14.3±2.24 ^c	0.23±0.033 ^c
P10L7	1.10±0.003	1.01±0.032 ^{ab}	97±1.3	-8.7±3.06 ^{abc}	-0.20±0.058 ^{ab}
P10L11	1.11±0.003	0.98±0.003 ^a	94±1.2	-11.6±0.27 ^a	-0.20±0.001 ^{ab}
P20L3	1.10±0.006	1.25±0.011 ^{de}	93±0.7	13.6±0.64 ^e	0.20±0.001 ^{de}
P20L7	1.11±0.006	1.08±0.060 ^{abc}	92±5.3	-2.7±5.85 ^{abcd}	-0.67±0.133 ^{abc}
P20L11	1.11±0.010	0.99±0.045 ^{ab}	94±1.2	-11.1±3.97 ^{ab}	-0.23±0.088 ^a
P30L3	1.11±0.006	1.43±0.011 ^f	89±4.8	28.5±1.33 ^f	0.47±0.033 ^f
P30L7	1.11±0.006	1.12±0.055 ^{bcd}	92±1.2	0.6±5.01 ^{bcd}	0.01±0.116 ^{abcde}
P30L11	1.10±0.006	1.12±0.031 ^{bcd}	93±1.3	0.8±3.00 ^{bcd}	0.01±0.058 ^{abcde}
P40L3	1.10±0.006	1.12±0.062 ^{bcd}	90±1.2	1.3±5.59 ^{cd}	0.03±0.088 ^{bcde}
P40L7	1.12±0.006	1.21±0.047 ^{cde}	87±2.4	8.9±4.22 ^{de}	0.13±0.067 ^{cde}
P40L11	1.11±0.006	1.10±0.047 ^{abc}	97±1.8	-0.3±4.08 ^{abcd}	-0.03±0.067 ^{cde}
Two-way ANOVA					
CP level			<i>P</i> <0.6	<i>P</i> <0.005	<i>P</i> <0.005
CL level			<i>P</i> <0.2	<i>P</i> <0.001	<i>P</i> <0.001
CP×CL			<i>P</i> <0.4	<i>P</i> <0.005	<i>P</i> <0.005

¹Values (mean±SEM of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (*P*<0.05).

²Weight gain (%)=(final body weight - initial body weight)×100 / initial body weight.

³Specific growth rate (%)=[ln (final weight) - ln (initial weight)] / days×100.

이상에서는 치삼의 성장이 향상되지 않고 오히려 감소하였는데, 이는 단백질의 과잉으로 인한 부작용(Lee et al., 2002a)으로 보인다.

단백질 10% 또는 20% 실험구에서 사료 지질함량이 증가함에 따라 성장이 감소하는 경향을 보여 치삼의 지질 이용성이 매우 낮음을 알 수 있다. 해삼은 해저 저질속의 유기물을 섭취하기도 하고 해조류가 무성한 지역에 서식하면서 해조류 부산물이나 부스러기를 섭취한다. 해삼이 섭취하는 해조류의 지질 함량이 매우 낮은 것으로 미루어 보아 해삼의 지질 이용성이 낮을 수 있음을 짐작 할 수 있고, 본 연구 결과도 이러한 짐작을 뒷받침하고 있다. 일반적으로, 영양소 요구량을 조사할 때, 영양소 요구량이 조사되지 않아 영양소 요구에 대한 정보가 부족한 경우, 대상생물의 체성분을 근거로 요구량을 대략적으로 추정하기도 한다. 해삼의 체조성은 건물 기준으로 단백질은 30%, 지질은 2% 전후로 나타났으며, Dong et al. (2006)의 연구에서도 이와 유사한 함량을 보여 본 연구에 추정된 단백질과 지질 요구값과 비교된다. 위의 결과들로부터, 어린 돌기해삼의 성장에 적절한 단백질함량은 30%이고 지질함량은 3%로 판단된다.

본 연구에서 해삼의 증중율은 모든 실험구에서 대체로 낮은 값을 보였으며, 단백질 10%와 20% 실험구에서는 지질함량이 증가하면서 오히려 최초로 비해 체중이 감소하였다. 이러한 현상은 여러 가지 요인들로 설명될 수 있는데, 예를 들면, 사육실험 기간 동안 낮은 수온(평균 9.8°C)으로 인하여 사료섭취가 감소하였거나 대사율이 낮아 성장에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. Yang et al. (2005)은 돌기해삼의 사료섭취와 성장에 대한 적정 수온이 14-15°C라고 보고하였다. 또한 사료내 영양소

간의 상호작용, 즉 단백질에 비해 과다한 지질함량으로 인해 해삼체내의 대사부작용 등이 성장을 저하 시킬 수도 있다. 이에 대해서는 차후 상세한 연구가 필요하다.

사료의 단백질과 지질 함량은 어류의 성장과 체성분에 영향을 미친다(Garling and Wilson, 1976; Lee et al., 2002b). 그러나 단백질에 비해 에너지 함량이 높은 사료를 공급하면, 대상 어류의 사료섭취량이 감소하여 필수영양소가 충분히 공급되지 못하거나, 과잉의 에너지가 체내에 축적되어 어체 품질이 저하될 수 있다. 에너지가 낮은 사료가 공급되면 단백질이 에너지로 사용되는 비율이 증가하여 단백질 낭비가 초래된다. 이처럼, 비 단백질 에너지 함량은 어류의 단백질 요구량에 영향을 미칠 수 있다(Cho and Kaushik, 1990; De Silva et al., 1991). 본 연구에서 치삼은 단백질 절약효과를 보이지 않았고, 다른 어종의 연구결과에서도 이와 비슷한 경향을 보였는데(Lee and Lim, 2005), 이는 지질 이용성이 낮기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

사육실험 종료 후, 치삼의 일반성분 분석 결과를 Table 4에 표시하였다. 치삼의 수분, 지질 및 회분 함량은 사료의 단백질과 지질함량에 따른 차이를 보이지 않았으나, 단백질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였다(*P*<0.05). P30L3 공급구에서 단백질 함량이 가장 높게 나타났으며, P20L11 공급구에서 가장 낮았다. 이처럼 P30L3 사료의 공급은 성장 뿐 아니라 치삼의 영양적 가치를 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

일반적으로 사료내 지질 종류 또는 함량은 대상 생물의 지방산 조성에 영향을 미친다고 보고되어 있다(Silver et al., 1993; Geurden et al., 1997; Lee and Lim, 2005). Table 5에 나타난 것처럼, 치삼의 지방산 조성에서 16:0, 18:1n-9, 20:4n-6, 20:5n-3 및 22:6n-3의 함량이 높게 나타났다. 동일한 사료 단백질 함량

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body in juvenile sea cucumber *Stichopus japonicus* fed the diets containing different protein and lipid levels for 8 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Initial	3.4	33.5	1.7	44.7
P10L3	4.0±0.69 ^{ns}	32.9±0.38 ^{abcd}	3.0±0.85 ^{ns}	45.0±0.69 ^{ns}
P10L7	3.2±0.65	31.6±0.62 ^{ab}	2.8±0.72	43.2±1.73
P10L11	4.4±1.67	33.4±0.33 ^{bcd}	1.7±0.97	45.5±0.49
P20L3	3.8±1.66	33.1±0.86 ^{abcd}	3.3±0.87	45.6±0.36
P20L7	4.3±1.38	32.1±0.42 ^{abc}	3.3±0.51	43.4±1.14
P20L11	4.2±0.46	31.2±0.80 ^a	3.3±0.46	42.4±0.50
P30L3	4.0±0.97	34.2±0.63 ^d	1.6±0.88	44.1±0.76
P30L7	3.8±0.94	32.4±0.40 ^{abcd}	1.4±0.80	43.8±0.74
P30L11	4.2±0.29	33.0±1.19 ^{abcd}	1.2±0.74	45.8±0.80
P40L3	3.6±0.20	33.0±0.27 ^{abcd}	2.1±0.72	46.2±0.89
P40L7	2.9±0.45	33.9±0.34 ^{cd}	3.1±0.46	45.4±1.57
P40L11	3.9±1.50	33.4±0.21 ^{bcd}	2.4±0.46	45.4±1.29
Two-way ANOVA				
CP level	<i>P</i> <0.9	<i>P</i> <0.06	<i>P</i> <0.03	<i>P</i> <0.2
CL level	<i>P</i> <0.7	<i>P</i> <0.2	<i>P</i> <0.7	<i>P</i> <0.2
CP×CL	<i>P</i> <1.0	<i>P</i> <0.2	<i>P</i> <1.0	<i>P</i> <0.3

¹Values (mean±SEM of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (*P*<0.05).

Table 5. Fatty acid compositions (% of total fatty acid) of the whole body in juvenile sea cucumber *Stichopus japonicus* fed the diets containing different protein and lipid levels for 8 weeks¹

Fatty acids (%)	Diets													SEM ³
	Initial	P10 L3	P10 L7	P10 L11	P20 L3	P20 L7	P20 L11	P30 L3	P30 L7	P30 L11	P40 L3	P40 L7	P40 L11	
14:0	1.4	1.8	2.2	1.5	1.9	1.9	1.7	1.7	1.9	2.0	2.1	1.4	1.5	0.07
16:0	8.4	5.1	8.4	3.9	5.8	6.7	7.8	5.4	6.7	7.1	7.7	5.6	5.4	0.36
16:1	2.1	4.3 ^c	3.3 ^{cd}	2.6 ^{abc}	3.9 ^e	3.1 ^{bcd}	2.7 ^{abc}	3.2 ^{cd}	2.2 ^{ab}	2.1 ^{ab}	2.1 ^a	2.1 ^a	1.9 ^a	0.14
17:0	0.8	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.02
18:0	5.2	5.8 ^b	4.8 ^{ab}	3.9 ^a	5.7 ^b	4.2 ^a	4.5 ^{ab}	4.9 ^{ab}	4.7 ^{ab}	4.9 ^{ab}	5.8 ^b	5.5 ^b	5.0 ^{ab}	0.14
18:1n-9	14.3	18.6	17.6	15.8	17.1	15.3	16.7	16.8	14.6	14.2	13.6	16.2	15.3	0.41
18:2n-6	9.6	7.6 ^a	16.8 ^{cd}	21.5 ^e	6.2 ^a	16.6 ^{cd}	15.7 ^{bcd}	6.6 ^a	12.8 ^b	17.0 ^{cd}	4.7 ^a	15.1 ^b	18.8 ^{de}	0.93
18:3n-3	1.4	0.8 ^{abc}	1.4 ^{ef}	1.5 ^f	0.6 ^{ab}	1.3 ^{def}	1.1 ^{cd}	0.6 ^{ab}	0.9 ^{abcd}	1.3 ^{ef}	0.5 ^a	0.8 ^{abc}	1.0 ^{bcd}	0.06
20:0	2.2	1.9 ^{abc}	1.3 ^a	1.4 ^a	1.9 ^{abc}	1.4 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{abc}	1.8 ^{abc}	1.9 ^{abc}	2.3 ^c	2.3 ^c	2.2 ^{bc}	0.07
20:1	1.2	3.2 ^d	2.1 ^{abc}	2.1 ^{abc}	2.9 ^{cd}	1.9 ^{abc}	1.6 ^a	2.7 ^{bcd}	1.6 ^a	1.7 ^a	1.7 ^{ab}	2.7 ^{abcd}	1.9 ^{ab}	0.12
20:2	3.6	4.6 ^b	5.9 ^c	7.2 ^d	3.7 ^{ab}	6.6 ^{cd}	6.4 ^{cd}	4.0 ^{ab}	6.0 ^c	6.7 ^{cd}	3.6 ^a	6.3 ^{cd}	6.7 ^{cd}	0.22
20:3n-3	2.2	1.2	1.0	1.0	1.3	1.0	1.2	1.1	1.4	1.4	1.8	1.0	1.5	0.06
20:4n-6	24.1	15.2	15.6	17.5	17.7	16.8	16.9	16.9	19.3	18.1	21.6	16.3	16.6	0.55
20:5n-3	9.3	14.1 ^{bc}	9.1 ^{ab}	10.4 ^{abc}	12.7 ^{abc}	11.2 ^{abc}	10.1 ^{ab}	16.3 ^c	11.7 ^{abc}	9.0 ^{ab}	12.7 ^{abc}	8.2 ^{ab}	7.1 ^a	0.60
22:6n-3	9.9	12.6 ^{bcd}	8.0 ^a	7.3 ^a	14.5 ^{cd}	9.5 ^{ab}	9.3 ^{ab}	15.0 ^{cd}	11.1 ^{abc}	9.8 ^{ab}	15.7 ^d	13.2 ^{bcd}	12.5 ^{bcd}	0.54
n-3HUFA ²	21.4	27.8 ^{cd}	18.2 ^a	18.7 ^a	28.5 ^{cd}	21.7 ^{ab}	20.5 ^{ab}	32.3 ^d	24.2 ^{bc}	20.2 ^{ab}	30.2 ^d	22.4 ^{ab}	21.2 ^{ab}	0.84

¹Values (mean of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (*P*<0.05).

²Highly unsaturated fatty acid (C≥20).

³Standard error of the treatment mean calculated from the residual mean square in the analysis of variance.

에서, 사료내 지질함량이 증가함에 따라 18:2n-6과 18:3n-3의 함량은 증가한 반면, 20:5n-3과 22:6n-3과 같은 n-3HUFA의 함량은 낮아졌다. 이러한 결과는 실험사료의 지질함량을 높이기 위해 18:2n-6이 많이 함유된 대두유 첨가에 따른 결과로 보이며, Lee et al. (2000)의 연구결과와 유사한 경향이였다. 또한, 본 연구에서 사료내 총 지질함량 중 20:4n-6의 함량이 1% 전후로 낮았음에도 불구하고 치삼의 20:4n-6 함량은 실험구간에

유의한 차이 없이 모든 실험구에서 15% 이상으로 높은 함량을 보였다. 이것은 치삼이 20:4n-6을 합성하는 능력을 가지고 있음을 의미하며, 다슬기를 대상으로 연구된 결과와 유사하다(Lee and Lim, 2005).

이상의 결과로부터, 어린 돌기해삼의 성장에 적절한 사료의 단백질함량은 30%이며 지질함량은 3%일 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 어린 돌기해삼 *Stichopus japonicus* 사료의 적정 단백질과 지질 함량을 조사하기 위해 단백질(10%, 20%, 30% 및 40%)과 지질(3%, 7% 및 11%)이 달리 함유된 12 종류의 실험사료를 제조하였다. 평균 체중 1.1 g의 치삼을 각 수조마다 50마리씩 3반복으로 수용하여 8주간 수행하였다. 사육실험 종료 후, 생존율은 86% 이상으로 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 증중율과 일간성장율은 동일한 지질함량에서 단백질 30%에 지질 3% 함유 사료 공급구가 다른 실험구에 비해 유의하게 높은 값을 나타내었다($P<0.05$). 치삼의 수분, 지질 및 회분 함량은 사료의 단백질과 지질함량에 따른 차이를 보이지 않았으나, 단백질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였으며($P<0.05$), 단백질 30%에 지질 3% 함유 사료 공급구에서 가장 높게 나타났고, 단백질 20%에 지질 11% 공급구에서 가장 낮았다. 지방산 조성은 사료의 지방산에 영향을 받아 지질함량이 증가함에 따라 18:2n-6은 증가하였고 n-3HUFA는 감소하는 경향을 보였다. 이상의 결과로부터, 해삼의 최대 성장에 필요한 단백질함량은 30%이고, 지질함량은 3%로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298 pp.
- Battaglione, S. C., E. J. Seymour and C. Ramofafia, 1999. Survival and growth of cultured juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra*. *Aquaculture*, 178, 293–322.
- Chen, J., 2004. Present status and prospects of sea cucumber industry in China. (in) A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. F. Hamel and A. Mercier (eds.), *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*. FAO, Rome, Italy, pp. 25–38.
- Cho, C. Y. and S. J. Kaushik, 1990. Nutritional energetics in fish energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Rev. Nutr. Diet.*, 61, 132–172.
- Conand, C., 2004. Present status of world sea cucumber resources and utilization: an international overview. (in) A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. F. Hamel and A. Mercier (eds.), *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*. FAO, Rome, Italy, pp. 13–23.
- De Silva, S. S., R. M. Gunasekera and K. F. Sim, 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. *Aquaculture*, 95, 305–318.
- Dong, Y., S. Dong, X. Tian, F. Wang and M. Zhang, 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.
- Duncan, D. B., 1995. Multiple-range and multiple F test. *Biometrics*, 11, 1–42.
- Folch, J., M. Lees and G. H. S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem.*, 226, 469–509.
- Garling, D. L. and R. P. Wilson, 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106, 1368–1375.
- Geurden, I., P. Coutteau and P. Sorgeloos, 1997. Effect of a dietary phospholipid supplementation on growth and fatty acid composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles from weaning onwards. *Fish Phy. Biochem.*, 16, 259–272.
- Kashenko, S. D., 2000. Acclimation of sea cucumber *Apostichopus japonicus* to decreased salinity at the blastula and gastrula stages: its effect on the desalination resistance of larvae at subsequent stage of development. *Russian J. Mar. Biol.*, 26, 422–426.
- Kato, A. and H. Hirata, 1990. Effects of water temperature on the circadian rhythm of the sea cucumber *Stichopus japonicus* in the culture. *Suisanzoshoku*, 38, 75–80.
- Lee, S. M., S. H. Cho and K. D. Kim, 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. World Aquacult. Soc.*, 31, 306–315.
- Lee, S. M., C. S. Park and I. C. Bang, 2002a. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. *Fish. Sci.*, 68, 158–164.
- Lee, S. M., I. G. Jeon and J. Y. Lee, 2002b. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture*, 211, 227–239.
- Lee, S. M. and T. J. Lim, 2005. Effects of dietary protein and energy levels on growth and lipid composition of juvenile snail (*Semisulcospira gottschei*). *J. Shell. Res.*, 24, 99–102.
- Li, B., H. Yang, T. Zhang, Y. Zhou and C. Zhang, 2002. Effect of temperature on respiration and excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Oceanol. Limnol. Sin.*, 33, 182–187.
- Lovell, R. T., 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- NRC (National Research Council), 1993. *Nutrient requirements of fish*. National Academy Press Washington D. C, 114 pp.
- Silver, G. R., D. A. Higgs, B. A. Dosanjh, B. A. McKeown, G. Deacon and D. French, 1993. Effect of dietary protein to lipid ratio on growth and chemical composition of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in seawater. (in) S. J. Kaushik and P. Luquet (eds.), *Fish nutrition in practice*. Paris: Les Colloques, No. 61, INRA Edns, pp. 459–468.
- Sloan, N. A., 1984. Echinoderm fisheries of the world: a review. *Echinodermata (Proceedings of the Fifth International Echinoderm Conference)*. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands, pp. 109–124.

- SPSS Inc., 1997. SPSS Bass 12.0 for Window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Sui, X., 1988. Culture and Enhance of Sea Cucumber. Agriculture Press, Beijing, China, pp. 54–55.
- Sui, X., 1989. The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Oceanol. Limnol. Sin., 20, 314–321.
- Sui, X., Q. Hu and Y. Chen, 1986. A study on technology for rearing of postlarvae and juvenile of sea cucumber *Apostichopus japonicus* in high density tanks. Oceanol. Limnol. Sin., 17, 513–520.
- Sun, H., M. Liang, J. Yan and B. Chen, 2004. Nutrient requirements and growth of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. (in) A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. F. Hamel and A. Mercier (eds.), Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management. FAO, Rome, Italy, pp. 327–331.
- Tanaka, Y., 1958a. Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 9, 29–36.
- Tanaka, Y., 1958b. Feeding and digestive processes of *Stichopus japonicus*. Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 9, 14–28.
- Tian, F., X. Zhang, Y. Tong, Y. Yi, S. Zhang, L. Li, P. Sun, L. Lin and J. Ding, 2005. PE, a new sulfated saponin from Sea Cucumber, exhibits anti-angiogenic and anti-tumor activities in vitro and in Vivo. Can. Biol. Ther., 4, 874–882.
- Uthicke, C., 2004. Overfishing of holothurians: lessons from the Great Barrier Reef. (in) A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. F. Hamel and A. Mercier (eds.), Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management. FAO, Rome, Italy, pp. 163–171.
- Yang, H. X. Yuan, Y. Zhou, U. Mao, T. Zhang and Y. Liu, 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, Aquacult. Res., 36, 1085–1092.
- Zhang, Q. and Y. Liu, 1998. The culture and enhancement techniques of sea cucumbers and sea urchins. Qingdao Ocean Univ., Publishing House, Qingdao, China, p. 157.

원고접수 : 2007년 12월 21일

수정본 수리 : 2008년 2월 18일