

배합 사료내 녹색 원료 첨가에 따른 참다슬기(*Semisulcospira coreana*)의 성장 및 가식부 색소 함량 변화

박지훈 · 김에스더¹ · 정성목¹ · 유상권² · 이상민^{1*}

수협사료 연구개발부, ¹강릉원주대학교 해양생물공학과, ²강릉원주대학교 해양식품공학과

Effects of Dietary Supplementation of Green Pigment Sources on the Growth and Pigment Contents of *Semisulcospira coreana*

Ji-Hoon Park, Esther Kim¹, Seong-Mok Jeong¹, Sang-Guan You² and Sang-Min Lee^{1*}

Research and Development Department, Ssuhyupfeed, Uiryeong 52159, Korea

¹Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

²Department of Marine Food Science and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

Three separate feeding trials were performed to evaluate the dietary inclusion of pigments on growth and pigmentation of *Semisulcospira coreana*. In the first trial (Exp-1), snails (80 mg/snail) were fed diets containing green laver *Enteromorpha intestinalis*, seaweed fulvescens *Capsosiphon fulvescens*, chlorella *Chlorella vulgaris*, green tea, mugwort, kale, broccoli, sea tangle, dried laver *Pyropia yezoensis*, a synthetic edible dye, and a diet containing no pigment (control) for 12 weeks. Results showed that dietary treatments had no significant effects on growth performance. However, total chlorophyll and chlorophyll a contents of the snail's edible portion were markedly affected and the highest values were found in snails fed green laver. In the second (Exp-2) and third (Exp-3) experiments, the effect of green laver and chlorella were examined in diets for relatively smaller (35 mg/snail) and bigger (139 mg/snail) snails than those examined in the Exp-1, respectively. Feeding the bigger snails with chlorella significantly enhanced their growth rates compared to control group. Total chlorophyll and chlorophyll a contents of the edible portions of snails were significantly increased by dietary chlorella supplementation. These findings suggest that dietary green laver or chlorella could improve the pigmentation of *S. coreana* without any adverse effects on growth.

Key words: Snail, *Semisulcospira coreana*, Chlorophyll, Green laver, Chlorella

서 론

참다슬기(*Semisulcospira coreana*)는 연체동물문 복족강 흡강목 다슬기과에 속하는 종으로 하천이나 호수 등에서 쉽게 발견되는 고동류이며, 강원도를 비롯하여 지역 축제의 소재로 사용되고 있을 정도로 인기 있는 수산물이다. 국내 다슬기류의 양식 총생산량은 2018년 기준 742톤으로(KOSIS, 2018) 생산량이 낮기 때문에 양식을 통한 생산성 확대에 안정적인 공급 필요성이 증대되고 있다. 최근에 다슬기 관련 연구가 다수 수행되어 왔지만, 대부분이 생태(Kim et al., 2012) 및 식품 영양학적 연구(Lim et al., 2009; Kim et al., 2009; Lee et al., 2010)에 대해

기술하고 있으며 배합사료에 대한 자료는 매우 부족하다. 따라서 아직은 다슬기 양식을 위한 전용 상품 배합사료가 개발되어 있지 않아 다슬기를 사육하는 양어가는 전복 또는 타어종 사료를 구입하여 공급하고 있는 실정이다. 이처럼 타어종 사료를 사용하게 되면 영양소 불균형으로 인한 사료효율 저하 및 성장의 감소로 인하여 양식 생산 비용을 증가시키는 요인이 될 수 있다. 또한 양어장에서 배합사료로 사육된 다슬기들은 자연산 다슬기보다 폐각 및 가식부에 청록색의 색소가 잘 축적되지 않는 등 외견상으로 차이를 보이고 있다. 색은 소비자가 품질을 인지하는 데 영향을 미치는 중요한 요소이며(Francis, 1995), 다슬기의 경우 소비자들은 진한 청록색을 원하고, 이에 영향을 주는 색소

*Corresponding author: Tel: +82. 033. 640. 2414 Fax: +82. 033. 640. 2417

E-mail address: smlee@gwnu.ac.kr



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0637>

Korean J Fish Aquat Sci 52(6), 637-643, December 2019

Received 19 November 2019; Revised 6 December 2019; Accepted 10 December 2019

저자 직위: 박지훈(연구원), 김에스더(연구원), 정성목(대학원생), 유상권(교수), 이상민(교수)

는 엽록소(chlorophyll)로 추정된다. Chlorophyll은 조류, 해조류 및 식물의 엽록체 내에 존재하는 청록색을 나타내는 주된 색소이다. 녹색 식물 내에서 chlorophyll은 다양한 형태로 존재하며, 그 중에서도 chlorophyll a가 차지하는 비중이 높다고 보고되었다(Chernomorsky and Segelman, 1988; Jeon et al., 2009).

다슬기 가식부 색채변화에 대한 연구는 다슬기 전용 사료 개발의 중요한 부분이 될 수 있다. 따라서 본 연구는 녹색 색소가 함유된 다양한 원료들을 선정하여, 다슬기 배합사료의 색소 원료의 효능을 평가하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료

본 연구에서는 총 3회의 사육실험을 실시하였는데, 실험 1에서는 다양한 색소 원료를 선정하여 실험 배합사료에 첨가하였다. 실험 1에서 참다슬기 가식부 chlorophyll 함량 및 성장이 우수했던 원료를 선정하여 실험 2와 3에 적용하였는데, 실험 2와 실험 3에서는 각각 각고 0.5 cm 전후의 참다슬기 치패와 1.0-1.5 cm의 참다슬기를 대상으로 가식부 chlorophyll 함량 및 성장에 미치는 영향을 연구하였다. 실험사료 제조에 사용된 색소 원료의 일반성분 및 chlorophyll 함량을 Table 1에 나타내었다. 실험사료에 사용된 모든 색소 원료는 시중에서 식품원료로 판매되고 있는 제품을 구매하여 사용하였다.

실험사료의 원료조성, 일반성분 및 chlorophyll 함량을 Table 2와 3에 각각 나타내었다. 주 단백질원으로 전갱이어분 및 대두박을 사용하였으며, 지질원으로 대두유와 아미노유를 혼합하여 사용하였다. 색소원료 첨가에 따른 성장 및 가식부 chlorophyll 함량의 변화를 조사하기 위하여 녹조류 3종[클로렐라(*Chlorella vulgaris*, CH), 파래(*Enteromorpha intestinalis*, GL), 매생이(*Capsosiphon fulvescens*, SF), 갈조류 1종 [다시마(sea tangle, ST), 육상식물 4종 [녹차(green tea, GT), 쑥(mugwort, MW), 케일(kale, KA), 브로콜리(broccoli, BR)] 및

식용 녹색색소(edible dye, ED)를 각각 20% 및 2%를 대조사료(con)의 대두박과 소맥분 대신 첨가한 총 11개의 배합사료를 설계하였다. 실험 2 및 실험 3은 실험 1에서 성장 및 chlorophyll 함량이 높았던 실험사료(클로렐라 및 파래)를 대상으로 사육실험을 실시하였다.

위와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후, 원료 1 kg당 물 300 g을 첨가하여 moist pellet 제조기로 성형 후에 직경 1-2 cm의 크기로 절단하여 건조하였고, 건조된 사료는 -24°C 냉동고에 보관하면서 사용하였다.

다슬기 사육 및 관리

사육실험에 사용된 참다슬기는 개인 양어장(Sabdarisusan, Yesan, Korea)에서 생산된 치패를 강릉원주대학교내 사육시설로 운반하여 상품사료를 1일 1회 공급하면서 1주간 적응시켰다.

실험 1은 외형적으로 건강한 다슬기 치패(실험 시작시 평균 체중 80 mg)를 총 22개의 60 L 사각유리수조에 각 수조마다 100 마리씩 2반복으로 수용하여 12주간 사육하였다. 실험 2 (평균 체중 35 mg)와 실험 3 (평균 체중 139 mg)은 60 L 사각유리수조에 각각 80마리 및 100마리씩 2반복으로 수용하여 8주간 사육하였다. 실험사료는 각 수조에 수용된 다슬기 총체중의 5%씩을 1일 1회(13:00 h)공급하였으며, 사료 공급 후 사육수 공급을 1시간 중단하여 다슬기의 사료 섭취가 가능하도록 하였다. 사육조는 순환여과장치를 이용하였으며, 사육수온은 온도 조절 장치를 이용하여 평균 수온이 21°C가 되도록 조절하였다. 사료 공급전 수조 바닥에 쌓인 노폐물을 사이펀으로 제거하였으며, 여과시스템 내에 부족한 사육수는 매일 보충하여 주었다.

개체 측정 및 성분분석

개체 측정은 실험 개시시와 종료시 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 다슬기 전체 무게를 측정하였다. 성분 분석을 위하여 사육된 모든 다슬기의 패각을 제거한 후 가식부를 실험수조별로 혼합하여 분쇄하였으며, 가식부에 패각이

Table 1. Nutrient composition of the tested pigment sources

Pigment sources	Crude protein (% DM)	Crude lipid (% DM)	Ash (% DM)	Total chlorophyll (µg/mL)	Chlorophyll a (µg/mL)
<i>Enteromorpha intestinalis</i> powder	38.6	0.2	10.6	17.8	8.8
<i>Capsosiphon fulvescens</i> powder	29.5	0.7	35.6	25.2	8.8
<i>Chlorella vulgaris</i> powder	55.2	0.4	5.9	23.4	8.3
Green tea powder	18.3	4.9	5.8	22.6	8.1
Mugwort powder	9.4	2.2	7.4	23.4	8.3
Kale powder	21.1	2.6	15.3	30.1	10.9
Broccoli powder	17.9	3.3	14.5	25.9	8.5
Sea tangle powder	10.5	0.7	25.2	2.1	0.7
<i>Pyropia yezoensis</i> powder	35.8	0.2	8.5	22.0	10.5

Table 2. Formulation and ingredient contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets										
	Con	ED	GL	SF	CH	GT	MW	KA	BR	ST	DL
Mackerel meal ¹	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Soybean meal	30.0	30.0	20.0	25.0	15.0	25.0	25.0	25.0	25.0	30.0	20.0
Wheat gluten meal	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Wheat flour	40.0	38.0	30.0	25.0	37.0	25.0	25.0	25.0	25.0	20.0	30.0
Soybean+linseed oil	5.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Edible dye (green)		2.0									
<i>Enteromorpha intestinalis</i> powder			20.0								
<i>Capsosiphon fulvescens</i> powder				20.0							
<i>Chlorella vulgaris</i> powder					20.0						
Green tea powder						20.0					
Mugwort powder							20.0				
Kale powder								20.0			
Broccoli powder									20.0		
Sea tangle powder										20.0	
<i>Pyropia yezoensis</i> powder											20.0
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
Mineral premix ³	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Vitamin C (Stay-C)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Vitamin E (25%)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Choline (50%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

¹Mackerel meal from Chile supplied by Suhyupfeed. ²Vitamin mix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): DL- α -tocopheryl acetate, 20; thiamin hydrochloride, 5; riboflavin, 8; pyridoxine hydrochloride, 2; nicin, 40; Ca-D-pantothenate, 12; myo-inositol, 200; D-biotin, 0.4; folic acid (98%), 1.5; p-aminobenzoic acid, 20; menadione, 4; retinyl acetate, 1.5; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003. ³Mineral mix contained the following ingredients (g/kg mix): NaCl, 10, MgSO₄·7H₂O, 150; NaH₂PO₄·2H₂O, 250; KH₂PO₄, 320; CaH₄(PO₄)₂·H₂O, 200; Ferric citrate, 25; ZnSO₄·7H₂O, 4; Ca-lactate, 38.5; CuCl, 0.3; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KIO₃, 0.03; Na₂S₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2; CoCl₂·6H₂O, 0.1·Con, control; ED, edible dye; GL, *Enteromorpha intestinalis*; SF, *Capsosiphon fulvescens*; CH, *Chlorella vulgaris*; GT, green tea; MW, mugwort; KA, kale; BR, broccoli; ST, sea tangle; DL, *Pyropia yezoensis*.

Table 3. Proximate composition and chlorophyll content of the experimental diets

Diets	Crude protein (% DM)	Crude lipid (% DM)	Ash (% DM)	Total chlorophyll (µg/mL)	Chlorophyll a (µg/mL)
Con	38.5	8.0	8.0	1.0	0.4
ED	38.2	7.2	7.4	3.3	0.5
GL	36.5	6.7	10.1	3.8	2.9
SF	38.2	6.3	13.6	10.3	6.5
CH	40.4	6.4	6.8	15.1	9.5
GT	36.9	8.0	7.8	8.2	4.7
MW	35.4	6.6	8.3	8.2	3.4
KA	37.2	7.1	9.5	3.0	2.6
BR	37.1	7.3	9.4	4.6	3.4
ST	35.7	7.4	12.5	1.3	1.1
DL	47.7	10.2	11.3	15.1	6.7

Con, control; ED, edible dye; GL, *Enteromorpha intestinalis*; SF, *Capsosiphon fulvescens*; CH, *Chlorella vulgaris*; GT, green tea; MW, mugwort; KA, kale; BR, broccoli; ST, sea tangle; DL, *Pyropia yezoensis*.

혼입되지 않도록 증류수로 씻어서 분석용으로 사용하였다. 실험사료의 일반성분은 AOAC (1995)의 방법에 따라 조단백질 ($N \times 6.25$)은 auto Kjeldahl system (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Swizerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 600°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

실험 1에서 색소원료, 실험사료 및 다슬기 가식부의 chlorophyll 추출 및 측정에는 Hiscox and Israelstram (1979)의 방법을 이용하였다. Dimethyl sulfoxide (DMSO)를 추출 용매로 이용하였으며, 시험관에 DMSO 10 mL를 넣은 후 색소원료, 실험사료 및 다슬기 가식부 0.1 g을 측정하여 시험관에 넣고, 65°C 조건의 항온기에서 8시간동안 chlorophyll을 추출하였으며, 추출액은 분광광도계(V-550, Jasco, Japan)를 사용하여 645 nm와 663 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 다음의 식을 이용하여 chlorophyll 함량을 측정하였다(Amon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/mL}) = (12.7A_{663} - 2.69A_{645})$$

$$\text{Total Chlorophyll } (\mu\text{g/mL}) = (8.02A_{663} + 20.20A_{645})$$

실험 2 및 실험 3의 다슬기 가식부 chlorophyll 추출 및 측정은 Chappelle et al. (1992)의 방법을 이용하였다. 시험관에 DMSO 10 mL를 넣은 후 다슬기 가식부 0.5 g을 측정하여 시험관에 넣고, 30°C 조건의 항온기에서 48시간동안 chlorophyll을 추출하였다. 추출액은 분광광도계(Lambda 3B, Perkin Elmer, USA)를 사용하여 470, 648 및 664 nm에서 흡광도를 측정하

여 다음의 식을 이용하여 chlorophyll 및 carotenoids 함량을 측정하였다.

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/mL}) = 12.25A_{664} - 2.79A_{648}$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g/mL}) = 21.50A_{648} - 5.10A_{664}$$

$$\text{Total chlorophyll } (\mu\text{g/mL}) = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

$$\text{Carotenoids } (\mu\text{g/mL}) = (1000A_{470} - 1.82\text{chl a} - 85.02\text{chl b}) / 198$$

통계 분석

결과의 통계처리는 SPSS Version 25.0 (SPSS Inc, Chicago IL, 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

실험 1 (시작시 평균 체중 80 mg)에서 참다슬기 치패를 12주간 사육한 결과, 참다슬기의 최종 체중은 13 g-23 g/tank의 범위로 모든 실험 구간에 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 실험 2 (시작시 평균 체중 35 mg)에서 참다슬기를 8주간 사육한 결과(Table 4), 생존율 및 성장 효과는 색소 원료 첨가에 따른 영향을 받지 않았다($P > 0.05$). 실험 3 (시작시 평균 체중 139 mg)에서 참다슬기를 8주간 사육한 결과(Table 5), 성장은 사료 내 색소 원료 첨가 따른 영향을 받았다. 다슬기의 최종 평균무게(final weight), 체중 증가(weight gain) 및 일간성장률(specific

Table 4. Growth performance of the *Semisulcospira coreana* fed the experimental diets for 8 weeks (Exp-2)

Diets	Final weight (mg/snail)	Weight gain (mg/snail)	SGR (%/day) ¹	Survival (%)
Con	79.27±6.44 ^{ns}	44.15±6.07 ^{ns}	1.45±0.13 ^{ns}	68.2±1.9 ^{ns}
GL	97.45±6.00	63.01±7.31	1.86±0.18	74.4±5.6
CH	85.22±12.66	49.91±11.72	1.55±0.22	62.6±13.8

Values (mean±SE of two replicate) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$). ¹SGR (specific growth rate, %) = $[(\ln(W_f) - \ln(W_i)) / \text{days of feeding}] \times 100$, where $\ln(W_f)$ = natural log of the final mean weight of snail and $\ln(W_i)$ = natural log of the initial mean weight of snail. ^{ns}Not significant ($P > 0.05$). Con, Control; GL, *Enteromorpha intestinalis*; CH, *Chlorella vulgaris*.

Table 5. Growth performance of the *Semisulcospira coreana* fed the experimental diets for 8 weeks (Exp-3)

Diets	Final weight (mg/snail)	Weight gain (mg/snail)	SGR (%/day) ¹	Survival (%)
Con	267.10±8.70 ^a	129.60±10.79 ^a	1.19±0.09 ^a	66.5±2.5 ^{ns}
GL	351.75±21.75 ^{ab}	212.98±26.48 ^{ab}	1.66±0.17 ^{ab}	57.5±5.5
CH	405.40±31.70 ^b	263.30±30.75 ^b	1.87±0.13 ^b	50.5±1.5

Values (mean±SE of two replicate) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$). ¹SGR (specific growth rate, %) = $[(\ln(W_f) - \ln(W_i)) / \text{days of feeding}] \times 100$, where $\ln(W_f)$ = natural log of the final mean weight of snail and $\ln(W_i)$ = natural log of the initial mean weight of snail. ^{ns}Not significant ($P > 0.05$). Con, Control; GL, *Enteromorpha intestinalis*; CH, *Chlorella vulgaris*.

growth rate, SGR)은 클로렐라(*Chlorella vulgaris*, CH) 첨가 실험구가 대조구보다 유의적으로 높았으며($P<0.05$), 파래(*Enteromorpha intestinalis*, GL) 첨가구와는 차이가 없었다. 클로렐라는 유산균 성장 촉진 물질인 CGF (chlorella growth factor) 뿐만 아니라 항산화 작용, 중금속 축적 억제 등과 같은 생리활성 물질을 포함하고 있고(Shibata et al., 2003; Shim et al., 2008;), 파래는 무기질, 비타민이 풍부하기 때문에(Hong et al., 1991; Lim, 2008) 본 연구에서 다슬기 성장에 긍정적인 영향을 준 것

으로 판단된다. 사료 내 클로렐라와 파래를 각각 첨가하면 gibel carp (Wei X et al., 2014)와 은어(Jeong et al., 2004)의 성장이 개선된다는 결과가 보고된 바 있다. 클로렐라 및 파래는 섭취된 후 장내에서 소화가 어려워 세포벽 파쇄 및 열수 추출 등 추가적인 공정을 통하여 소화 및 흡수율을 개선하고 있다. 해조류 및 식물의 세포벽은 주로 cellulose로 구성되어 있으며, 이는 구조성 다당류로 β -1,4-glycosidic 결합으로 이루어진 식물체 세포벽의 주요 구성성분으로 보고되었다(Saha et al., 2006; Nishida et al., 2007; Park et al., 2012). Cellulose 가수분해 효소인 cellulase는 달팽이를 포함한 연체동물의 소화맹장에 존재하는 것으로 알려져 있다.

Table 6. Chlorophyll content of the edible portion of the *Semisulcospira coreana* fed the experimental diets for 12 weeks (Exp-1)

Diets	Total chlorophyll ($\mu\text{g/mL}$)	Chlorophyll a ($\mu\text{g/mL}$)
Con	1.45 \pm 0.09 ^d	0.47 \pm 0.05 ^e
ED	0.70 \pm 0.08 ^{bc}	0.21 \pm 0.04 ^{bcd}
GL	2.46 \pm 0.08 ^e	0.83 \pm 0.05 ^f
SF	0.44 \pm 0.01 ^{abc}	0.09 \pm 0.02 ^{abc}
CH	0.47 \pm 0.07 ^{abc}	0.13 \pm 0.04 ^{abc}
GT	1.14 \pm 0.15 ^d	0.35 \pm 0.07 ^{de}
MW	0.19 \pm 0.02 ^a	0.04 \pm 0.01 ^a
KA	0.78 \pm 0.05 ^c	0.24 \pm 0.03 ^{cd}
BR	0.35 \pm 0.02 ^{ab}	0.08 \pm 0.01 ^{ab}
ST	0.18 \pm 0.09 ^a	0.04 \pm 0.03 ^a
DL	1.31 \pm 0.27 ^d	0.39 \pm 0.09 ^e

Values (mean \pm SE of two replicate) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$). Con, control; ED, edible dye; GL, *Enteromorpha intestinalis*; SF, *Capsosiphon fulvescens*; CH, *Chlorella vulgaris*; GT, green tea; MW, mugwort; KA, kale; BR, broccoli; ST, sea tangle; DL, *Pyropia yezoensis*.

본 연구의 결과로 실험에 사용된 클로렐라 및 파래를 배합사료 내 첨가하는 것이 다슬기 성장 개선에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 하지만 사육 환경 및 해당 종의 상태 등에 따라 사료 첨가제의 이용성이 다를 수 있기에(Lindsay et al., 1984; Shiao and Yu, 1999), 클로렐라 및 파래에 대한 다슬기의 원료 이용성에 대해서는 추가적인 상세한 연구가 필요하다.

실험 1의 참다슬기 치패 가식부 chlorophyll 함량 분석 결과를 Table 6에 나타내었다. Total chlorophyll 함량과 chlorophyll a 함량은 사료 색소 원료의 종류에 따른 영향을 받았다. Total chlorophyll 함량은 0.18-2.46 $\mu\text{g/mL}$ 수준으로 나타났으며, 이 중 파래(GL) 첨가 실험구가 2.46 $\mu\text{g/mL}$ 으로 다른 사료구에 비해 유의적으로 높은 결과값을 나타내었다 ($P<0.05$). Chlorophyll a 함량은 0.04-0.83 $\mu\text{g/mL}$ 의 수준으로 나타났으며, 파래(GL) 첨가 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 결과값을 나타내었다($P<0.05$). 실험 2와 실험 3의 참다슬기 치패 가식부 chlorophyll 및 carotenoids 함량 분석 결과를 각각 Table 7 및 8에 나타내었다. 실험2의 참다슬기 치패 가식부 total chlorophyll 및 chlorophyll a 함량은 클로렐라(CH) 첨

Table 7. Chlorophyll and carotenoid contents of the *Semisulcospira coreana* fed the experimental diets for 8 weeks (Exp-2)

Diets	Chlorophyll a ($\mu\text{g/mL}$)	Chlorophyll b ($\mu\text{g/mL}$)	Total chlorophyll ($\mu\text{g/mL}$)	Carotenoids ($\mu\text{g/mL}$)
Con	0.48 \pm 0.00 ^a	0.82 \pm 0.02 ^{ns}	1.30 \pm 0.02 ^a	0.08 \pm 0.01 ^a
GL	0.48 \pm 0.03 ^a	0.85 \pm 0.04	1.33 \pm 0.07 ^a	0.11 \pm 0.01 ^{ab}
CH	0.75 \pm 0.01 ^b	0.81 \pm 0.02	1.55 \pm 0.02 ^b	0.15 \pm 0.02 ^b

Values (mean \pm SE of three replicate) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$). ^{ns}Not significant ($P>0.05$). Con, Control; GL, *Enteromorpha intestinalis*; CH, *Chlorella vulgaris*.

Table 8. Chlorophyll and carotenoid contents of the edible portion of the *Semisulcospira coreana* fed the experimental diets for 8 weeks (Exp-3)

Diets	Chlorophyll a ($\mu\text{g/mL}$)	Chlorophyll b ($\mu\text{g/mL}$)	Total chlorophyll ($\mu\text{g/mL}$)	Carotenoids ($\mu\text{g/mL}$)
Con	0.47 \pm 0.00 ^b	0.81 \pm 0.01 ^{ns}	1.28 \pm 0.01 ^a	0.09 \pm 0.00 ^a
GL	0.44 \pm 0.01 ^a	0.86 \pm 0.03	1.31 \pm 0.04 ^a	0.07 \pm 0.00 ^a
CH	0.75 \pm 0.00 ^c	0.82 \pm 0.03	1.56 \pm 0.03 ^b	0.15 \pm 0.01 ^b

Values (mean \pm SE of three replicate) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$). ^{ns}Not significant ($P>0.05$). Con, Control; GL, *Enteromorpha intestinalis*; CH, *Chlorella vulgaris*.

가 실험구가 대조구(Con) 및 파래(GL) 첨가 실험구보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). 실험3의 참다슬기 가식부의 total chlorophyll, chlorophyll a 및 carotenoids 함량은 클로렐라(CH) 첨가 실험구가 대조구(Con) 및 파래(GL) 첨가 실험구보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). 본 연구의 크기가 다른 다슬기를 대상으로 한 사육실험 결과에서 가식부 chlorophyll 함량이 실험에 따라 변화 경향이 다르게 나타나고 있어, 이에 대한 상세한 검토가 필요하다. 전복(Lee et al., 1998; Lim and Lee, 2003; Cho et al., 2006; Ju et al., 2017) 및 쉬리(Kim et al., 2006)를 대상으로 한 기존의 연구에서 어체의 색상이 사료 색소에 영향을 받았지만, 사료의 색소가 어체 및 패각 색 개선에 영향을 미치지 않았다는 연구결과도 보고되어 있다(Lee and Lee, 2008). 이러한 결과들에서 나타나는 차이들로부터 종합적으로 판단해보면, 어체의 체색 변화에 영향을 미치는 요인으로 사용된 원료의 종류, 사료 조성의 차이, 어체크기에 따른 원료 이용성 및 사육환경의 변화 등이 있으며, 이러한 차이로 인해 사료의 색소 이용성이 달라질 있을 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 실험에 사용된 참다슬기의 어미 대의 교배 차이로 인한 유전적인 요인도 실험 결과에 영향을 미칠 수 있을 것으로 짐작된다. 본 연구에서 사용된 치패의 어미가 양식으로 생산된 것인지, 자연에서 생산된 것인지에 따라 유전적인 요인에 의해 가식부 chlorophyll 함량이 달라질 수 있으므로 이에 대한 급후 상세한 연구가 요구된다.

이상의 결과를 고려할 때, 참다슬기 배합사료 내 클로렐라 및 파래를 첨가한 사료가 색소를 첨가하지 않은 사료보다 성장 및 가식부 chlorophyll 함량이 우수하였다. 또한 본 연구에서 제시한 배합사료의 이용성을 실질적으로 평가하기 위해서는 다양한 조건을 갖춘 현장에서의 사육 실험이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원 지원(다슬기 대량 양식 기술개발을 위한 시설 개선과 기능성 사료 개발, 20160332)으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다. 또한, 다슬기를 제공해주신 삼다리수산 김성락 대표님께 감사드립니다.

References

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official methods of analysis. 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, VA, U.S.A.

Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiol 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.

Chappelle EW, Kim MS and McMurtrey JE. 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for remote

estimation of the concentration of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids in soybean leaves. Remote Sens Environ 39, 239-247. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90089-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90089-3).

Chernomorsky SA and Segelman AB. 1988. Biological activities of chlorophyll derivatives. N J Med 85, 669-673.

Cho SH, Park JE, Kim CI, Yoo JH, Lee SM and Choi CY. 2006. Effect of the various sources of dietary additives on growth, body composition and shell color of Abalone *Haliotis discus hannai*. J Aquacult 19, 275-280.

Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1-42.

Francis FJ. 1995. Quality as influenced by color. Food Qual Prefer 6, 149-155. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00026-r](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00026-r).

Hiscox JD and Israelstam GF. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can J Bot 57, 1332-1334. <https://doi.org/10.1139/b79-163>.

Hong JS, Kwon YJ, Kim YH, Kim YH, Kim MK, Park IW and Kang KH. 1991. Fatty acid composition of Miyeok *undaria pinnatifida* and Pare *Enteromorpha compressa*. J Korean Soc Food Nutr 20, 376-380.

Jeon HY, Jeong KK, Seo DB and Lee SJ. 2009. Effects of chlorophyll a on UVB-induced cellular responses and type 1 pN collagen synthesis in vitro. Food Sci Biotechnol 41, 700-705.

Jeong WG, Moon SK, Jeong BY, Jang WS, Kim IS, Maita M, Lim DH and Lee SM. 2004. Effects of dietary perilla oil and *Enteromorpha compressa* meal on growth, fatty acid composition and hematology of the cultured sweet smelt *Plecoglossus altivelis*. J Fish Sci Tech 7, 1-9. <https://doi.org/10.5657/fas.2004.7.1.001>.

Ju ZY, Deng DF, Viljoen C and Forster IP. 2017. Effects of algae and shell pigment extract-supplemented diets on shell pigmentation and growth performance of pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. J World Aquacult Soc 48, 93-102. <https://doi.org/10.1111/jwas.12343>.

Kim DH, Bang IC, Lee WO and Baek JM. 2012. Reproductive ecology of the freshwater melania snail, *Semisulcospira coreana* (v. martens) in bukhan river. Korean J Malacol 28, 175-185. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.2.175>.

Kim SR, Lee CR and Lee SM. 2006. Effect of dietary supplementation of paprika and spirulina on pigmentation of swiri *Coreoleuciscus splendidus*. J aquacult 19, 261-266.

Kim YK, Moon HS, Lee MH, Park MJ, Lim CW, Park HY, Park JI, Yoon HD and Kim DH. 2009. Biological activities of seven melania snails in Korea. Korean J Fish Sci 42, 434-441. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.5.434>.

KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2018. Survey on the status of fish culture. Retrieved from http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0005&conn_path=I2 on Oct 31, 2019.

Lee CR and Lee SM. 2008. Effect of dietary supplementation of pigment sources on pigmentation of round tailed

- paradise fish *Macropodus chinensis* and pale chub *Zacco platypus*. J Aquacult 21, 213-217. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90462>.
- Lee MH, Kim YK, Moon HS, Kim YA, Yoon NY, Lim CW, Park HY and Kim DH. 2010. Antioxidant activities of five melania snails of the genus *Semisulcospira* in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 43, 188-194. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.188>.
- Lee SM, Lim YS, Moo YB, Yoo SK and Rho S. 1998. Effects of supplemental macroalgae and spirullina in the diets on growth performance in Juvenile abalone *Haliotis discus hannai*. J aquacult 11, 31-38.
- Lim CW, Kim YK, Kim DH, Park JI, Lee MH, Park HY and Jang MS. 2009. Comparison of quality characteristics of melania snails in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 555-560. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.555>.
- Lim EJ. 2008. Quality characteristics of cookies with added enteromorpha intestinalis. Korean J Food Nutr 21, 300-305.
- Lim T and Lee SM. 2003. Effect of dietary pigment sources on the growth and shell color of abalone *Haliotis discus hannai*. J Aquacult 36, 601-605. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.6.601>.
- Lindsay GJH, Walton MJ, Adron JW, Fletcher TC, Cho CY and Cowey CB. 1984. The growth of rainbow trout *Salmo gairdneri* given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. Aquaculture 37, 315-334. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90297-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90297-7).
- Mackinney G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. J Biol Chem 140, 315-322.
- Nishida Y, Suzuki KI, Kumagai Y, Tanaka H, Inoue A and Ojima T. 2007. Isolation and primary structure of a cellulase from the Japanese sea urchin *Strongylocentrotus nudus*. Biochimie 89, 1002-1011. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2007.03.015>.
- Park EY, Jeong SM, Kim YJ and Lee DH. 2012. Review on hydrolysis methods of the macroalgae for production of bioethanol. J Korea Soc Waste Manage 29, 323-333.
- Saha S, Roy R, Sen SK and Ray AK. 2006. Characterization of cellulase-producing bacteria from the digestive tract of tilapia, *Oreochromis mossambica* (Peters) and grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes). Aquac Res 37, 380-388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01442.x>.
- Shiau SY and Yu YP. 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture 179, 439-446. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00177-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00177-5).
- Shibata S, Natori Y, Nishihara T, Tomisaka K, Matsumoto K, Sansawa H and Nguyen VC. 2003. Antioxidant and anti-cataract effects of *Chlorella* on rats with streptozotocin-induced diabetes. J Nutr Sci Vitaminol 49, 334-339. <https://doi.org/10.3177/jnsv.49.334>.
- Shim JY, Shin HS, Han JG, Park HS, Lim BL, Chung KW and Om AS. 2008. Protective effects of *Chlorella vulgaris* on liver toxicity in cadmium-administered rats. J Med Food 11, 479-485. <https://doi.org/10.1089/jmf.2007.0075>.
- Wei X, Gao Z, Qi Z, Qiu M, Peng JQ and Shao R. 2014. Effect of dietary chlorella on the growth performance and physiological parameters of gibel carp *Carassius auratus gibelio*. Turkish J Fish Aquat Sci 14, 53-57.