KFAS 한국수산과학회지 Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 50(6), 738-744, 2017

Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 50(6),738-744,2017

배합사료내 규조류 우점인 미세조류 오일 추출물 첨가가 까막전복(*Haliotis discus*)의 성장, 체조성 및 패각 색채에 미치는 영향

김희성 · 이기욱 · 정해승[1] · 김준[1] · 윤아영[1] · 조성환[1]* · 이계안[2] · 김근용[3]

한국해양대학교 해양과학기술전문대학원, [1]한국해양대학교 해양생명과학부, [2]㈜엔엘피, [3]아쿠아진텍

Effect of Dietary Microalgae, Diatom-Dominant, Oil Extracts on Growth, Body Composition and Shell Color of Juvenile Abalone *Haliotis discus*

Hee Sung Kim, Ki Wook Lee, Hae Seung Jeong[1], June Kim[1], Ahyeong Yun[1], Sung Hwoan Cho[1]*, Gye-An Lee[2] and Keun-Yong Kim[3]

Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea
[1]Division of Marine BioScience, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea
[2]NLP Corporation, Busan 46047, Korea
[3]AquaGenTech, Busan 48520, Korea

Effect of dietary inclusion of microalgae, diatom-dominant, oil extracts (MOE) on growth, body composition and shell color of juvenile abalone *Haliotis discus* was investigated. One thousand four hundred and seventy juvenile abalone were distributed into 21 plastic rectangular containers. Seven experimental diets were prepared: MOE0, MOE0.01, MOE0.05, MOE0.1, MOE0.5, MOE1 and MOE2 diets containing MOE at the concentrations of 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1 and 2% at the expense of mixture of squid liver and soybean oils, respectively. The experimental diets were fed to abalone in triplicate once a day with a little leftover for 16 weeks. Weight gain and specific growth rate of abalone fed the MOE1 and MOE2 diets were higher than those of abalone fed the all other diets. The shell length and soft body weight of abalone fed the MOE2 diet were longer and heavier than those of abalone fed the all other diets. Crude protein and ash content of the soft body of abalone were affected by dietary inclusion of MOE. The shell color of abalone fed the all experimental diets was different from that of wild abalone. In conclusion, dietary inclusion of MOE improved growth of abalone, but did not shell color of abalone.

Key words: Abalone *Haliotis discus*, Microalgae oil extract (MOE), Growth, Body composition, Shell color

서 론

2016년 국내 전복류(*Haliotis* spp.) 양식생산량은 약 12,000톤으로 패류양식 총생산량인 약 362,000톤의 3.3%에 불과하지만, 가치 면에서는 전복양식 생산금액이 약 3,500억원으로 국내 패류양식 총생산금액인 약 6,300억원의 55.5% 이상을 차지하는 것으로 나타나서 국내 패류 양식업에 있어서 전복이 얼마나 중요한 위치를 차지하고 있는지를 잘 보여주고 있다(KOSIS, 2017). 전복류의 세계 양식총생산양도 2000년에는 2,540톤에 불과하였으나, 2015년에는 139,594톤으로 약 55배 증가하였으며(FAO, 2017), 이러한 국내외 전복 양식생산양의 증가 추세는 앞으로도 지속될 것으로 예상된다.

전복의 상업적 중요성 때문에 국내외적으로 전복의 영양소 요구량(Uki et al., 1986a, b; Mai et al., 1995a, b; Britz, 1996; Lee and Park, 1998; Gómez-Montes et al., 2003; Thongrod et al., 2003), 전복용 배합사료 개발(Viana et al., 1993; Britz et al., 1994; Lee, 1998; Garcia-Esquivel and Felbeck, 2009), 전복용 배합사료내 어분과 카제인(Uki et al., 1986; Lee et al., 1998a;

https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0738

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial Licens (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(6) **738-744,** December **2017**

Received 31 October 2017; **Revised** 17 November 2017; **Accepted** 21 November 2017

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

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

Shipton and Britz, 2001; Cho et al., 2008; Cho, 2010; Jung et al., 2016; Myung et al., 2016) 및 해조류(Kim et al., 2015; Jang et al., 2017) 대체원 개발 등에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있다. 일반적으로 양식산 전복은 자연산 전복과의 패각 색채 차이에 따른 소비자들의 선호도가 낮아진다. 따라서 양식산 전복의 패각을 자연산 전복과 유사하게 만들기 위한 사료첨가제 개발 등에 대한 연구도 수행된 바 있으며(Cho et al., 2006; Ju et al., 2016), 특히, Lim and Lee (2003)는 참전복(*Haliotis discus hannai*)의 경우 *Spirulina*와 *Porphyra* powder를 배합사료에 첨가시 패각의 색채가 자연산 전복과 유사하게 나타난다고 보고한 바 있다.

양식산업에 있어서 미세조류(microalgae)는 이매패류의 전성장 단계, 전복과 갑각류와 몇몇 어종의 유생과 초기 먹이생물 및 동물성플랑크톤의 먹이로서 폭넓게 사용되고 있다(Brown et al., 1997; Brown, 2002; Spolaore et al., 2006). 특히, 미세조류는 단백질(6%-52%), 탄수화물(5%-23%)과 지질(7%-23%)을 다양하게 함유하며, 모든 종들이 유사한 아미노산 조성을 구성하고 있고 필수아미노산이 풍부한 것으로 알려져 있다(Brown et al., 1997). 또한 미세조류에는 chlorophyll (0.5%-1%)과 carotenoids (0.1%-0.2%)를 함유하며, *Dunaliella*는 약 14% β-carotene을 함유하는 것으로 알려져 있다(Spolaore et al., 2006; Christaki et al., 2013). Christaki et al. (2013)은 미세조류에 다량으로 함유된 지용성물질인 carotenoids의 특성, 추출 방법과 양식산업에서의 응용과 중요성뿐만 아니라 화장품이나 약품 소재로서의 개발 가능성 및 그 가치에 대해서 잘 보고하였다. 따라서 다양한 carotenoids를 함유한 미세조류를 양식산 전복의 패각 색채 개선용 사료첨가제로서 이용 가능할 것으로 생각된다.

최근 미세조류는 biofuel 생산을 위한 재료로서도 많은 관심을 받고 있으며(Li et al., 2008; Lam and Lee, 2011), 특히 *Nannochloropsis*는 실내에서 대규모로 바이오디젤 생산에 적합한 미세조류로 알려져 있다(Moazami et al., 2012). 또한 바이오디젤 생산에 이용되고 남은 미세조류(*Nannochloropsis oceanica*) 잔사(biomass residue)는 다량의 단백질을 함유하고 있기 때문에 참전복용 배합사료내 어분 대체원으로서 아주 우수하다고 보고된 바 있다(Myung et al., 2016). 따라서 본 연구에서는 까막전복 치패용 배합사료내 미세조류 오일 추출물(Microalgae oil extracts, MOE)의 첨가가 까막전복의 성장, 체조성 및 패각 색채 개선에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

미세조류 오일 추출물

미세조류 오일 추출 방법은 Bligh and Dyer (1959), Xu et al. (2006)와 Lee et al. (2010) 의 방법을 응용하였으며, MOE는 ㈜엔엘피(부산시 기장군 소재)에서 제공 받았다. 미세조류 오일 추출 방법은 다음과 같다. MOE는 규조류 혼합 미세조류 분말(*Navicula*, *Melosira, Stephanopyxis*와 *Odontella* 우점종) 500 g을 5 L 비이커에 담근 후 hexane 3.5 L를 첨가하였다. 교반기를 이용하여 상온에서 3시간 동안 잘 섞어주고 브후너 깔때기를 감압 플라스크에 꽂아 여과지를 놓고 aspirator (Eyela, A1000S, Japan)를 이용하여 여과한 후 회전증발농축기(Buchi, Vacuum controller V-850, Rotapor R-215, Vacuum pump V-700, Heating bath B-491, Refrigerator Eyela cca-111, Japan)를 50℃, 241 mbar, 120 rpm으로 설정하여 MOE를 수거하였다.

전복의 사육 및 관리

실험에 이용된 까막전복 치패는 전복양식장(제주특별자치도 제일수산)에서 구입하여 사육실험 조건에 2주간 적응시켰으며, 적응 기간 동안에는 건미역을 1일 1회 전체중의 2-3% 정도 공급하였다. 21개의 70 L 플라스틱 수용기(가로×세로×높이, 120 cm×36 cm×30 cm)에 각각 70마리의 전복 치패(평균 마리당 무게, 1.68 g)를 수용하였다. 플라스틱 수용기는 3개의 9톤 콘크리트 raceway (수량, 3톤)에 분산 수용하여서 충분한 양의 air를 공급해 주었고, 각각의 플라스틱수용기에는 shelter를 넣어 주어서 전복의 은신처를 제공해 주었다. 환수량은 48.2 L/min/raceway이었고, 사료의 공급은 1일 1회(17:00) 충분한 양의 먹이를 공급(전체중의 2.5%-3.5%)하였으며, 남은 먹이는 매일 제거하여 주었다. 16주간의 사육실험 기간 동안 수온은 14.8℃-17.1℃ (Mean ± SD, 16.6 ± 0.52℃)의 범위이었으며, 빛은 자연광주기를 따랐다.

실험사료의 준비

전복용 실험사료의 사료 조성표는 Table 1과 같다. 대조구 사료(MOE0)는 주요 단백질원으로 어분 20%, 대두박 10%와 카제인 10%를 첨가하였으며, 주요 탄수화물원으로 α-전분 20%를 첨가하였다. 대조구 사료의 주요 지질원으로 오징어간유와 대두유의 혼합유(1:1 혼합) 2%를 첨가하였으며, 이 혼합유의 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1및 2%를 MOE로 각각 대체한 MOE0.01, MOE0.05, MOE0.1, MOE0.5, MOE1 및 MOE2 사료를 각각 준비하였다. 모든 실험사료는 전복의 영양소 요구량을 충족하도록 설계 제조하였다(Uki et al., 1986a; Mai et al., 1995a, b). 실험용 배합사료의 성형은 각각의 사료 원료를 잘 혼합하여 혼합물 100 g당 물 100 g을 가하여 다시 잘 혼합한 후, 압착하여 가로 1 cm, 세로 1 cm, 두께 0.15 cm가 되도록 실험사료를 절단하여 5%의 염화칼슘 수용액에 담궈 알긴산나트륨을 칼슘염으로 치환시켰다. 제조한 실험사료는 그늘에서 건조시킨 이후 냉동고(-20℃)에 저장하면서 사료 공급시 소량씩 사용하였다.

전복의 Biological index 측정 및 일반성분분석

16주간의 사육실험 종료 시 각각의 실험구에서 생존한 전복 20마리씩을 무작위로 샘플하여 냉동보관(-70℃) 하였으며, 전복의 각장, 각폭 및 각고는 digital caliper (Mitutoyo Corpora-

tion, Kawasaki, Japan)을 이용하여 측정하였고, 전중량에 대한 가식부의 비율을 계산하였다. 전복의 일일성장율(Specific growth rate, SGR)은 Britz (1996)의 방법에 따라서 계산하였다: SGR=[(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.

실험사료와 전복 가식부의 일반성분 분석은 AOAC(1990)에 따라 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.

전복의 패각 색채 분석

실험 종료시 각 수조별 무작위로 30마리(실험사료 당 총 90마리)의 전복을 샘플하여 전복 패각의 색채 분포를 한국 표준색표집(케이비에스 한국색채연구소, 1991)에 의거하여 분리하여 가장 빈번한 상위 3가지의 색채와 그 빈도를 측정하여 자연산 전복과 비교하여 MOE 첨가에 따른 전복 패각의 색채 변화를 조사하였다.

Table 1. Ingredients (%, dry matter basis) and nutrient composition of the experimental diets

	Experimental diets						
	MOE0	MOE 0.01	MOE 0.05	MOE 0.1	MOE 0.5	MOE 1	MOE 2
Ingredient (%)							
Fish meal	20	20	20	20	20	20	20
Soybean meal	10	10	10	10	10	10	10
Casein	10	10	10	10	10	10	10
α-starch	20	20	20	20	20	20	20
Sea tangle	10	10	10	10	10	10	10
Mixture of squid liver and soybean oils (1:1)	2	1.99	1.95	1.9	1.5	1	0
Microalgae[1] oil extracts (MOE)		0.01	0.05	0.1	0.5	1	2
Sodium alginate	22	22	22	22	22	22	22
Mineral premix[2]	4	4	4	4	4	4	4
Vitamin premix[3]	2	2	2	2	2	2	2
Nutrients (DM, %)							
Dry matter	85.4	85.4	86.9	85.3	87.2	86.7	87.7
Crude protein	35.4	35.8	35.4	35.8	35.1	35.2	35.1
Crude lipid	3.3	3.4	3.2	3.6	3.5	3.2	3.1
Ash	13.5	13.9	14.1	14.3	14.2	14.4	14.5

[1]Microalgae dominantly composed of *Navicula*, *Melosira*, *Stephanopyxis* and *Odentella* oil extracts (MOE) was supplied by NLP Co. Ltd (Busan, Korea). [2]Mineral premix and [3]Vitamin premix were same as Jung et al. (2016)'s study.

Table 2. Survival, weight gain and specific growth rate of juvenile abalone *Haliotis discus* fed the experimental diets containing various levels of microalgae oil extracts for 16 weeks

Experimental diets	Initial weight (g/abalone)	Final weight (g/abalone)	Survival (%)	Weight gain (g/abalone)	SGR[1] (%/day)
MOE0	1.68±0.006	4.86±0.100	97.1±0.82^{a}	3.19±0.095^{d}	0.93±0.015^{d}
MOE0.01	1.67±0.002	4.87±0.090	98.6±0.82^{a}	3.20±0.089^{d}	0.93±0.016^{d}
MOE0.05	1.67±0.004	5.05±0.103	97.6±0.95^{a}	3.37±0.105^{cd}	0.96±0.019^{c}
MOE0.1	1.68±0.001	5.32±0.069	94.3±1.43^{a}	3.65±0.070^{bc}	1.00±0.012^{bc}
MOE0.5	1.68±0.002	5.42±0.089	97.1±0.82^{a}	3.74±0.091^{b}	1.02±0.015^{b}
MOE1	1.68±0.002	5.79±0.061	97.1±1.43^{a}	4.12±0.061^{a}	1.08±0.009^{a}
MOE2	1.68±0.001	5.99±0.114	96.7±1.26^{a}	4.31±0.113^{a}	1.11±0.016^{a}

MOE, microalgae, diatom-dominant, oil extracts. [1]Specific growth rate (SGR) = [(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. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different (P>0.05).

통계 분석

One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로서 SAS version 9.3 program (SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 실험구간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

MOE를 농도별로 첨가한 배합사료를 16주간 공급하여 사육한 결과(Table 2), 까막전복 치패의 생존율은 94.3%-98.6%의 범위로서 MOE 첨가 농도별에 따른 유의적인 차이는 없었다 ($P>0.05$). 그러나 전복의 증체량(Weight gain)과 일일성장율(SGR)은 MOE1과 MOE2 사료공급구가 다른 사료공급구들보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 배합사료내 MOE 함량과 전복의 증체량과 일일성장율은 2차 함수적 상관관계를 보였으며($Y= -0.3257X^2+1.1578X+3.2922$, $R^2=0.8427$, Y=증체량, X=MOE 함량; $Y= -0.0551X^2+0.1896X+0.9457$, $R^2=0.8290$, Y=일일성장율, X=MOE 농도), 최대 증체량은 MOE 함량 1.78%와 최대 일일성장율은 MOE 함량 1.72%이었다.

비록 본 연구에서 MOE의 영양학적인 분석은 이루어지지 않았지만, 전복용 배합사료내 MOE 첨가에 따른 전복의 성장 개선 효과는 이들 미세조류에 함유된 여러 가지 유용성 물질, 특히 필수지방산이나 지용성 carotenoids 또는 지용성 비타민 등의 영양학적 개선에서 기인한 것으로 판단된다. 5종의 해조류 (*Alaria esculenta*, *Laminaria digitata*, *L. saccharina*, *Palmaria palmatu*, *Ulva lactuca*)를 2종의 전복(*H. discus hannai*, *H. tuberculata*)에 공급시 eicosapantenoic acid (EPA, 20:5n-3)가 2종의 전복 성장에 필수적이었으며, 또한 18:3n-3를 포함한 n-3계 polyunsaturated fatty acid (PUFA)와 18:2n-6를 포함한 n-6계 PUFA가 이들 전복의 빠른 성장에 기여한다고 보고한 바 있다(Mai et al., 1996). 참굴(*Crassostrea gigas*)과 바지락(*Ruditapes decussatus*)과 같은 패류의 먹이로서 미세조류와 사료 공급을 비교한 결과, 미세조류내 함유된 필수지방산, 특히 20:5n-3와 22:6n-3와 같은 n-3 PUFA의 중요성이 잘 알려져 있다(Knauer and Southgate, 1997; Fernández-Reiriz et al., 1999). 그리고 배합사료내 지용성비타민(A, D, E, K)이 참전복의 생존율이나 성장에 미치는 영향에 대해서 보고된 바 있다(Tan, 2001; Zhou et al., 2001; Fu et al., 2006; Zhang et al., 2007). Dang et al. (2011)은 전복(*H. laevigata*) 치패용 배합사료내 미세조류인 *Dunaliella salina* 또는 *Arthrospira maxima*을 10% 첨가시 성장이 개선된다고 보고하였다. 또한 Duong et al. (2016)은 3년생 전복(*H. laevigata*)의 경우 시판용 배합사료

Table 3. Shell length, shell width, shell height, soft body weight and the ratio of soft body weight to total weight of juvenile abalone *Haliotis discus* fed the experimental diets containing various levels of microalgae oil extracts for 16 weeks

Experimental diets	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Shell height (mm)	Soft body weight (g)	Soft body weight/total weight
MOE0	34.7±0.17^{f}	24.1±0.07^{c}	7.1±0.05^{a}	2.6±0.03^{e}	0.61±0.007^{d}
MOE0.01	34.9±0.14^{ef}	24.4±0.01^{c}	7.2±0.05^{a}	2.7±0.13^{e}	0.62±0.009^{d}
MOE0.05	35.1±0.03^{e}	24.4±0.16^{c}	7.3±0.03^{a}	2.9±0.09^{d}	0.65±0.004^{c}
MOE0.1	35.8±0.08^{d}	25.3±0.09^{b}	7.3±0.05^{a}	3.2±0.06^{c}	0.65±0.001^{bc}
MOE0.5	36.6±0.07^{c}	25.6±0.08^{ab}	7.2±0.02^{a}	3.4±0.01^{c}	0.66±0.007^{bc}
MOE1	37.0±0.08^{b}	25.9±0.45^{ab}	7.3±0.06^{a}	3.6±0.07^{b}	0.67±0.006^{ab}
MOE2	37.9±0.06^{a}	26.4±0.54^{a}	7.4±0.12^{a}	3.9±0.08^{a}	0.68±0.013^{a}

MOE, microalgae, diatom-dominant, oil extracts. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

Table 4. Chemical composition (%) of the soft body of juvenile abalone *Haliotis discus* at the end of the 16-week feeding trial

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
MOE0	25.4±0.09^{a}	21.4±0.03^{c}	1.4±0.03^{a}	3.2±0.06^{b}
MOE0.01	25.6±0.08^{a}	21.9±0.05^{a}	1.5±0.04^{a}	3.2±0.05^{ab}
MOE0.05	25.6±0.06^{a}	21.4±0.07^{c}	1.5±0.07^{a}	3.2±0.04^{ab}
MOE0.1	25.6±0.09^{a}	21.8±0.02^{b}	1.5±0.06^{a}	3.3±0.02^{a}
MOE0.5	25.6±0.12^{a}	21.1±0.05^{d}	1.4±0.03^{a}	3.3±0.05^{a}
MOE1	25.6±0.07^{a}	21.1±0.03^{d}	1.5±0.07^{a}	3.1±0.07^{b}
MOE2	25.7±0.04^{a}	20.8±0.03^{e}	1.5±0.06^{a}	3.2±0.04^{ab}

MOE, microalgae, diatom-dominant, oil extracts. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

Table 5. The hue of shell of juvenile abalone *Haliotis discus* at the end of 16-week feeding trial

Abalone	Most abundant color of shell			Frequency		
	1	2	3	1	2	3
Wild	7.5YR-10YR[1]			2		
MOE0	5GY[2]-7.5GY	7.5GY-10GY	2.5GY-5GY	34	33	16
MOE0.01	5GY-7.5GY	7.5GY-10GY	2.5GY-5GY	38	24	17
MOE0.05	5GY-7.5GY	2.5GY-5GY	7.5GY-10GY	29	25	23
MOE0.1	5GY-7.5GY	7.5GY-10GY	2.5GY-5GY	36	23	21
MOE0.5	5GY-7.5GY	7.5GY-10GY	10GY-2.5G[3]	36	29	11
MOE1	5GY-7.5GY	7.5GY-10GY	2.5GY-5GY	30	25	20
MOE2	5GY-7.5GY	7.5GY-10GY	2.5GY-5GY	41	29	10

MOE, microalgae, diatom-dominant, oil extracts. [1]YR, yellow red-orange. [2]GY, green-yellow. [3]G, green.

에 포도추출물(항산화제와 catechins과 같은 polyphenol 함유)과 녹차추출물(catechins과 같은 polyphenol 함유)의 첨가시 고수온(25℃)에 노출된 전복의 생존율이 개선되었으나, 땅콩추출물이나 vitamin C 첨가에 따른 전복의 생존율 개선 효과는 없었다고 보고하였다.

16주간 까막전복 사육실험 종료시 전복의 각장과 가식부 무게는 MOE2 사료공급구에서 다른 사료들을 공급한 실험구보다 유의적으로 길거나 무거웠으며($P<0.05$), MOE 농도에 따라서 길어지거나 무거워지는 것으로 나타났다(Table 3). 각폭은 MOE2 사료공급구가 MOE0, MOE0.01, MOE0.05와 MOE0.1 사료공급구보다 유의적으로 높았으나($P<0.05$), MOE0.5 또는 MOE1 사료공급구와는 유의적인 차이가 없었다. 각고는 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 전체중에 대한 가식부 중량의 비는 MOE2 사료공급구가 MOE0, MOE0.01, MOE0.05, MOE0.1과 MOE0.5 사료공급구보다 유의적으로 높았으나($P<0.05$), MOE1 사료공급구와는 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 전체중에 대한 가식부의 비율도 MOE 첨가량에 따라서 증가하는 경향을 보였다. 각고를 제외한 전복의 biological index (각장, 각폭, 가식부 무게와 전체중에 대한 가식부의 비율)도 전복의 성장을 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 나타났으며, 유사한 연구 결과가 보고된 바 있다(Bautista-Teruel et al., 2003; Cho, 2010; Lee et al., 2017).

까막전복 가식부의 수분 함량과 조지질 함량은 MOE 첨가에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$) (Table 4). 조단백질 함량은 MOE0.01 사료공급구가 다른 사료공급구들보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), MOE2 사료공급구에서 가장 낮게 나타났다. 회분 함량은 MOE0.1과 MOE0.5 사료공급구가 MOE0 또는 MOE1 사료공급구보다 유의적으로 높게 나타났으나($P<0.05$), MOE0.01, MOE0.05 또는 MOE2 사료공급구와는 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$).

자연산 전복의 경우 패각은 주로 yellow red-orange색을 띄지만(Table 5), MOE를 첨가한 사료공급구에서 동일하게 주로 green-yellow색을 띄는 것으로 나타났다. 본 연구에서MOE가 함유된 사료를 공급한 모든 전복의 패각 색채가 주로 green-yellow로 나타나는 점을 고려할 때 자연산 전복의 패각 색채와 유사한 색소를 가진 미세조류를 선정하여 이들의 MOE를 전복용 배합사료내 첨가시 자연산 전복 패각 색채에 가까운 색채 개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. Lim and Lee (2003)에 따르면 배합사료내 김(*Porphyra*) 분말과 *Spirulina*를 첨가한 사료를 공급한 참전복의 패각 색채가 paprika추출물이나 yeast astaxanthin을 첨가한 사료를 공급한 전복의 패각 색채보다 자연산 전복과 유사하게 나타났으며, 패각 색채 변화에는 phycoerythrin이나 phycocyanin과 같은 수용성 단백색소가 영향을 미친다고 서술한 바 있다. 또한 Ju et al. (2016)은 참전복용 배합사료내 carotenoid 색소가 풍부한 oleopaprika carotenoid 추출물 0.5%를 첨가하여 7개월간 공급한 결과, 배합사료내 여러 가지 영양소가 해조류 먹이인 Pacific dulse *Palmaria mollis*보다 우수함에도 불구하고 배합사료를 공급한 전복이 낮은 성장을 보였으며, 0.5% oleopaprika carotenoid 추출물을 첨가한 배합사료를 공급한 전복의 패각 색채는 해조류를 공급한 전복의 패각 색채와 다르게 나타나서 oleopaprika carotenoid 추출물 첨가에 따른 전복 패각의 색채 개선 효과는 없는 것으로 나타났으며, 해조류를 공급한 전복 패각의 주된 색소는 biliverdin과 cysteine-biliverdin이라고 보고하였다.

이상의 결과를 고려할 때, 본 실험에 이용된 규조류 우점종 혼합의 미세조류 오일 추출물(MOE)은 배합사료내 오징어간유와 대두유의 혼합유 대신에 1.72%까지 첨가시 까막전복 치패의 성장을 개선시켰으나, 패각 색채 개선 효과는 나타나지 않았다.

사 사

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

References

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis (15th edn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 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. https://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00410-6.

Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem and Physiol 37, 911-917. http://dx.doi.org/10.1139/o59-099.

Britz PJ. 1996. The suitability of selected protein sources for inclusion in formulated diets for the South African abalone, *Haliotis midae*. Aquaculture 140, 63-73. http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(95)01197-8.

Britz PJ, T. Hecht T, Knauer and Dixon MG. 1994. The development of an artificial feed for abalone farming. S Afr J Sci 90, 7-8.

Brown MR, Jeffrey SW, Volkman JK and Dunstan GA. 1997. Nutritional properties of microalgae for mariculture. Aquaculture 151, 351-331. http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01501-3.

Brown MR. 2002. Nutritional value of microalgae for aquaculture. In: Cruz-Suarez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Gaxiola-Cortes MG, Simoes N (eds) Advances en nutricion acuicola VI. Memorias del VI symposium Internacional de Nutricion Acuicola. 3-6th September, Cancun, Mexico.

Cho S H. 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. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02561.x.

Cho SH, Park J, Kim C, Yoo J, Lee S and Choi C. 2006. Effect of the various sources of dietary additives on growth, body composition and shell color of abalone *Haliotis discus hannai*. J Aquaculture 19, 275-280. http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5902.

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 Nut 14, 61-66. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00505.x.

Christaki E, Bonos E, Giannenas I and Florou-Paneri P. 2013. Functional properties of carotenoids originating from algae. J Sci Food Agric 93, 5-11. http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5902.

Dang VT, Li Y, Speck P and Benkendorff K. 2011. Effects of micro and macroalgal diet supplementations on growth and immunity of greenlip abalone, *Haliotis laevigata.* Aquaculture 320, 91-98. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.009.

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

Duong DN, Qin JG, Harris JO, Hoang TH, Bansemer MS, Currie K, Phan-Thien K, Dowell A and Stone, DAJ. 2016. Effects of dietary grape seed extract, green tea extract, peanut extract and vitamin C supplementation on metabolism and survival of greenlip abalone (*Haliotis laevigata* Donovan) cultured at high temperature. Aquaculture 464, 364-373. http://dx.doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.07.011.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Fernández-Reiriz MJ, Labarta U, Albentosa M and Pérez-Camacho A. 1999. Lipid profile and growth of the clam spat, *Ruditapes decussatus* (L), fed with microalgal diets and cornstarch. Comp Biochem Physiol B 124, 309-318. http://dx.doi.org/10.1016/S0305-491(99)00129-7.

Fu J, Zhang W, Mai K, Feng X, Xu W, Liufu Z and Tan B. 2006. Effects of dietary vitamin A on antioxidant response of abalone *Haliotis discus hannai* Ino. Acta Oceanol Sin 25, 141-150.

Garcia-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.

Gómez-Montes L, García-Esquivel Z, D´Abramo LR, Shimada A, Vásquez- Peláez C 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.

Jang B, Kim PY, Kim HS, Lee KW, Kim HJ, Choi DG, Cho SH, Min B, Kim K and Han H. 2017. 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 (in press). http://dx.doi.org/10.1111/anu.12593.

Ju ZY, Viljoen C, Hutchinson P, Reinicke J, Horgen FD, Howard L and Lee C. 2016. Effects of diets on the growth performance and shell pigmentation of Pacific abalone. Aquacult Res 47, 4004-4014. http://dx.doi.org/10.1111/are.12851.

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, Park M and Kim B. 2015. 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. http://dx.doi.

org/10.1111/are.12577.

Knauer J, and Southgate PC. 1997. Growth and fatty acid composition of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat fed a spray-dried freshwater microalga (*Spongiococcum excentricum*) and microencapsulated lipids. Aquaculture 154, 293-303. http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00056-2.

Lam MK and Lee KT. 2012. Microalgae biofuels: a critical review of issues, problems and the way forward. Biotechnol Adv 30, 673-690. http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.11.008.

Lee SM and Park HG. 1998. Evaluation of dietary lipid sources for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). J Aquaculture 11, 381-390.

Lee SM, Yun SJ and Hur SB. 1998. Evaluation of dietary protein sources for abalone (*Haliotis discus hannai*). J Aquaculture 11, 19-29.

Lee J., Yoo C, Jun S, Ahn C and Oh H. 2010. Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. Bioresour Technol 101, S75-S77. https://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.058.

Lee KW, Kim HJ, 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.

Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ and Dubois-Calero N. 2008. Biofuels from microalgae. Biotechnol Prog 24, 815-820. http://dx.doi.org/10.1021/bp.070371k.

Lim T and Lee SM. 2003. Effect of dietary pigment sources on the growth and shell color of abalone (*Haliotis discus hannai*). J Aquaculture 36, 601-605. http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2003.36.6.601.

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. Responses of abalone to various levels of dietary lipid. Aquaculture 134, 65-80. 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.

Mai K, Mercer JP and Donlon J. 1996. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. V. The role of polyunsaturated fatty acids of macroalgae in abalone nutrition. Aquaculture 139, 77-89. https://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(95)01158-7.

Moazami N, Ashori A, Ranjbar R, Tangestani M, Eghtesadi R and Nejad AS. 2012. Large-scale biodiesel production using microalgae biomass of *Nannochloropsis*. Biomass Bioenergy 39, 449-453. https://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.01.046.

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. http://dx.doi.org/10.1111/are.12562.

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.

Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E and Isambert A. 2006. Commercial applications of microalgae. J Biosci Bioeng 101, 87-96. http://dx.doi.org/10.1263/jbb.101.87.

Tan B and Mai K. 2001. Effects of dietary vitamin K on survival, growth, and tissue concentrations of phylloquinone (PK) and menaquinone-4 (MK-4) for juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. J Exp Mar Biol Ecol 256, 229-239. https://dx.doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00316-6.

Thongrod S, Tamtin M, Chairat C and Boonyaratpalin M. 2003. Lipid to carbohydrate ratio in donkey's ear abalone (*Haliotis asinine*, Linne) diets. Aquaculture 225, 165-174. http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00287-4.

Uki N, Kemuyama A and Watanabe T. 1986a. Optimum protein level in diets for abalone. Bull Jpn Soc Sci Fish 51, 1825-1833. http://dx.doi.org/ suisan.51.1005.

Uki N, Sugiura M and Watanabe T. 1986b. Requirement of essential fatty acids in the abalone *Haliotis discus hannai*. Bull Jpn Soc Sci Fish 51, 1835-1839. http://dx.doi.org/10.2331/suisan.

Viana MT, Lopez LM and Salas A. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens* evaluation of two artificial diets and macroalgae. Aquaculture 117, 149-156. http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(93)90131-H.

Xu H, Miao X and Wu Q. 2006. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella* protothecoides by heterotrophic growth in fermenters. J Biotechnol 126, 499-507. http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2006.05.002.

Zhang W, Mai K, Xu W, Tan B, Ai Q, Liufu Z, Ma H and Wang X. 2007. Interaction between vitamins A and D on growth and metabolic responses of abalone *Haliotis discus hannai*, Ino. J Shellfish Res 26 51-58. http://dx.doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[51:IBVAAD]2.0.CO;2.

Zhou Q, Mai K, Tan B and Xu W. 2001. The effects of dietary vitamin E on growth, survival and carcass composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai* Ino). Oceanol et Limnol Sin 32, 125-131.