KFAS 한국수산과학회지 Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 52(4), 358-365, 2019

Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 52(4),358-365,2019

사료내 손바닥선인장(*Opuntia ficus-indica*) 첨가가 육성기 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*)의 성장, 육질, 비특이적 면역반응 및 조직 성상에 미치는 영향

김경덕* · 서정수[1] · 허상우[2] · 김강웅 · 이봉주[2] · 배기민[3]

국립수산과학원 양식관리과, [1]수산방역과, [2]사료연구센터, [3]강원도내수면자원센터

Effects of Dietary Supplementation of Cactus *Opuntia ficus-indica* on Growth, Flesh Quality, Lysozyme Activity and Histological Change of Growing Korean Rockfish *Sebastes schlegeli*

Kyoung-Duck Kim*, Jung Soo Seo[1], Sang-Woo Hur[2], Kang-Woong Kim, Bong-Joo Lee[2] and Ki-Min Bae[3]

Aquaculture Management Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 46083, Korea
[1]Pathology Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 46083, Korea
[2]Aquafeed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Pohang 37517, Korea
[3]Gangwondo Inland Resource Center, Chuncheon 24210, Korea

This study investigated the effects of dietary cactus *Opuntia ficus-indica* stem and fruit extract on the growth, flesh quality, lysozyme activity, and histological changes of growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Three replicates of fish (152 g/fish) were fed one of the following diets: containing 0 additions (control); 0.1, 0.5, or 1.0% cactus stem powder; or 1.0% fruit extract for 11 weeks. Growth performance did not differ significantly among treatments, including survival, final weight, feed efficiency, and daily feed intake. The experimental diets did not affect the proximate and fatty acid compositions, plasma biochemistry, or dorsal muscle texture of the fish. However, the plasma lysozyme activity of the fish fed the diet containing 0.1% cactus stem was significantly higher than that of the fish fed the control diet. These fish had variously sized lipid vacuoles in the liver tissue compared with the control. Distinct mucosal folds and mucus-secreting goblet cells developed in the fish fed the diet containing 1% cactus stem compared with the other dietary groups. These results suggest that feeding growing Korean rockfish cactus stem might increase the plasma lysozyme activity and induce histological changes in the gastrointestinal tract that might be related to digestion.

Key words: Cactus, *Opuntia ficus-indica*, Korean rockfish, Lysozyme activity, Histological change

서 론

조피볼락은 넙치와 함께 우리나라에서 가장 많이 양식되는 해산어류이다. 조피볼락은 넙치에 비해 저수온에도 성장이 비교적 빠르며, 난태생으로 종자 생산이 용이할 뿐만 아니라 근육의 탄력성이 좋아 횟감으로 소비자들의 선호도가 높은 어종이다.

어류 양식에 있어 사료비는 양식 총 생산비 중 많은 부분을 차지하므로 효율적인 양식경영을 위해서는 양식 대상종의 성장을 최대화시킬 수 있는 경제적인 사료개발이 필요하다.

조피볼락의 적정 성장에 필요한 필수 영양소 요구량 구명에 관한 연구가 수행되었으며(Lee et al., 1993; Lee and Kim, 2009), 양식생산 비용에 높은 비중을 차지하고 있는 사료비용을 절감

***Corresponding author:** Tel: +82. 51. 720. 2431 Fax: +82. 51. 720. 2439
E-mail address: kimkd92@korea.kr

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.

https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0358
Korean J Fish Aquat Sci 52(4), 358-365, August 2019
Received 25 March 2019; **Revised** 22 April 2019; **Accepted** 8 August 2019
저자 직위: 김경덕(연구원), 서정수(연구원), 허상우(연구원), 김강웅(연구원), 이봉주(연구원), 배기민(연구원)

시키기 위한 실용사료 연구도 수행되어왔다(Lee et al., 2005). 또한 양식 대상종의 배합사료가 시판되고 있다고 하더라도 그 품질을 계속 개선하여 사료효율을 높이고 양식어의 성장과 품질, 건강도를 개선시키기 위한 연구는 지속적으로 수행되어야 한다. 이러한 연구의 일환으로 생약제, 마늘, 감귤 및 생강과 같은 천연원료를 사료 첨가제로 사용하여 양식어의 사육 효능을 개선하기 위한 연구들이 수행되어왔다(Kim et al., 1998; Seo et al., 2010; Kim et al., 2011).

손바닥선인장은 선인장과에 속하는 열대성 식물로 신안군과 제주도 등에서 자생하는 귀화식물이다. 손바닥선인장의 줄기와 열매는 당뇨, 변비, 고혈압 및 기관지 천식에 효능이 있는 것으로 알려져 있다(Chung, 2000). 또한 손바닥선인장은 플라보노이드, 식이섬유, 비타민, 무기성분 및 복합다당류가 다량 함유되어 있으며(Joung, 2004), 이로 부터 분리된 pectin성분은 콜레스테롤 성분을 낮추는 기능이 있는 것으로도 보고되었다(Fernadez, 1990, Joung, 2004). 또한 사료 내 손바닥선인장 첨가 효과를 조사한 기존 연구에서 참돔의 성장 및 넙치의 면역능을 개선시키는 효과가 보고되었으며(Go et al,. 2007; Jee et al., 2007), 어류의 세포막 스트레스에 미치는 부정적인 영향을 감소시킬 수 있는 것으로도 보고되었다(Boerrigter et al., 2014).

그래서 본 연구는 조피볼락 사료 첨가제로써 손바닥선인장 효과를 평가하기 위하여 손바닥선인장 줄기분말과 열매액 첨가 사료가 육성기 조피볼락의 성장, 체조성, 육질, 비특이적 면역능 및 소화조직에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료조성과 일반성분 분석결과를 Table 1에 나타내었다. 실험사료의 단백질원으로는 갈색어분을 사용하였고, 지질원으로는 대두유를, 탄수화물원으로는 소맥분을 각각 사용하였다. 사료 내 손바닥선인장 첨가 효과를 조사하기 위하여 손바닥선인장을 첨가하지 않은 대조사료의 소맥분 함량을 감소시키는 대신 손바닥선인장 줄기 분말 0.1%, 0.5%, 1% 및 열매액 1%를 각각 첨가한 총 5개의 실험사료를 설계하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후, 원료 분말 100 g 당 물 40 g 내외를 첨가하고 다시 혼합한 다음, 실험용 펠렛제조기로 실험사료를 성형하였다. 제조된 실험사료는 상온에서 24시간 건조시킨 후, -24℃에 보관하면서 사용하였다.

사육관리 및 어체측정

사육실험을 위해 외형적으로 건강한 조피볼락(152±2.6 g)을 선별하여 15개의 400 L원형수조(지름 80 cm, 높이 90 cm)에 25마리씩 각 사료별로 3반복으로 수용하였다. 실험사료를 1일 1회(주 6회) 만복 공급하며(Lee et al., 2000), 11주간 실험어를 사육하였다. 사육수는 각 수조에 분당 10 L가 되도록 조절하여 흘려주었으며, 각 수조에 공기를 공급하였다. 사육기간 동안의 수온은 11.2-21.5℃였으며, 평균 수온은 16.2±2.8℃(±표준편차)였다. 어체 측정은 측정 전 48시간 절식시킨 후, 각 수조에 수용된 실험어 전체체중을 측정하였다.

성분분석

실험사료와 실험어의 조단백질(N×6.25)은 auto kjeldahl system (Gerhardt VAP50OT/TT125, KG, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지질은 조지질추출기(Velp SER148, Usmate, Italy)를 사용하여 에테르로 추출하여 분석하였다. 수분은 135℃에서 2시간 건조 후 측정하였고, 조회분은 600℃에서 6시간 태운 후 측정하였다. 지방산 분석을 위하여 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 클로로포름과 메탄올 혼합액(2:1)으로 총 지질을 추출하였고, 14% BF_3-methanol로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (SPTM-2560, 100 m×0.25 mm i.d., film thickness 0.2 μm, USA)을 사용하여 gas chromatography (HP-6890II, Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, USA)로 지방산을 분석하였다.

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets				
	Con	CSP0.1	CSP0.5	CSP1.0	CFE1.0
Ingredients (%)					
Brown fish meal[1]	62	62	62	62	62
Soybean oil	6	6	6	6	6
Wheat flour	25	24.9	24.5	24	24
Cactus stem powder		0.1	0.5	1	
Cactus fruit extract					1
α-Cellulose	3	3	3	3	3
Vitamin premix[2]	2	2	2	2	2
Mineral premix[3]	2	2	2	2	2
Proximate composition (%, dry matter basis)					
Crude protein	49.5	48.9	49.2	48.6	48.5
Crude lipid	14.2	14.3	14.2	14.2	14.2
Ash	10.8	10.8	10.8	10.6	10.7

[1]Produced in Chile. [2]Vitamin 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. [3]Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): NaCl, 43.3; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 136.5; $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$, 86.9; KH_2PO_4, 239; $CaHPO_4$, 135.3; Ferric citrate, 29.6; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 21.9; Ca-lactate, 304; CuCl, 0.2; $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, 0.15; KI, 0.15; $MnSO_4 \cdot H_2O$, 2.0; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 1.0. CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract.

Table 2. Growth performance of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

	Diets				
	Con	CSP0.1	CSP0.5	CSP1.0	CFE1.0
Initial mean weight (g/fish)	151±0.5^{ns}	153±0.9	153±0.6	151±0.6	151±0.8
Survival (%)	92±8.0^{ns}	95±5.3	99±1.3	91±7.4	97±1.3
Final mean weight (g/fish)	232±4.9^{ns}	234±3.2	233±7.1	230±5.0	237±4.7
Feed efficiency (%)[1]	79±4.3^{ns}	84±1.2	85±1.8	83±4.2	86±1.8
Protein efficiency ratio[2]	1.62±0.09^{ns}	1.73±0.02	1.71±0.03	1.70±0.08	1.74±0.03
Daily feed intake[3]	0.66±0.04^{ns}	0.62±0.03	0.64±0.03	0.64±0.02	0.66±0.03
Condition factor[4]	1.7±0.07^{ns}	1.6±0.07	1.6±0.07	1.7±0.02	1.6±0.08
Hepatosomatic index[5]	2.6±0.24^{ns}	2.4±0.14	2.6±0.20	2.9±0.16	2.4±0.07
Viscerasomatic index[6]	4.6±0.02^{ns}	4.3±0.49	5.0±0.60	5.2±0.28	4.7±0.27

[1]Fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter). [2]Fish wet weight gain×100/protein intake. [3]Feed intake (dry matter)×100/[(initial fish weight+final fish weight+dead fish weight)×days fed/2]. [4]Fish weight (g)×100/fish length (cm)^3. [5]Liver weight×100/body weight. [6]Viscera weight ×100/body weight. ^{ns}Not significant (P>0.05). CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values (mean±SE of three replications) in each row with the different superscript are significantly different (P<0.05).

혈액분석 및 등근육 물성측정

사육실험 종료 시, 실험어의 혈액성분 분석을 위해 각 수조의 실험어 2마리의 혈액 샘플을 채취하였다. 혈장의 총단백질, 중성지질, 총콜레스테롤 및 glutamic-oxaloacetic acid transaminase (GOT) 함량은 혈액분석기(Fuji Dri-Chem 3500i, Fuji photo film Co., LTD, Japan)를 사용하여 분석하였다.

등근육의 물성측정은 각 수조별 실험어 2마리를 시료로 채취하여, 등근육(15×15×10 mm)을 분리하고 호일에 싼 다음 얼음 위에 1시간 올려 둔 후, rheometer (COMPAC-100, Sun Scientific Co., Japan)를 사용하여 씹힘성, 경도 및 강도를 측정하였다.

라이소자임 활성 측정

실험어 혈장의 라이소자임(lysozyme) 활성은 Parry et al. (1965)의 방법을 토대로 측정하였다. 라이소자임 활성은 0.05mM sodium phosphate buffer (pH 6.2)에 녹여둔 *Micrococcus lysodeikticus* (0.2 mg/mL)를 기질로 사용하여 분석하였다. 실험어 혈장 원액 및 10배 희석액을 기질과 혼합하고, 37°C에서 0.5분 및 5분 간 흡광도(600 nm)를 측정하였다. 라이소자임 활성은 units/mL으로 나타내었으며, 1 unit은 흡광도 값이 0.001/min 감소한 양으로 계산하였다.

조직학적 검사

사료별 실험어 소화기관의 조직학적 변화를 조사하기 위해 각 수조에서 실험어 2마리를 시료로 채취하여 간, 위 및 장 조직을 분리하여 10% 중성완충포르말린에 고정하였다. 각 조직은 12-24시간 이내에 세절하여 12시간 2차 고정, 수세(3시간) 및 농도별 알코올 용액(100-70%)에 탈수와 xylene으로 투명화 과정을 거쳤다. 투명화된 조직은 파라핀에 포매하여 파라핀 조직블럭을 제작한 후, 마이크로톰(Leica, Germany)으로 4 μm두께로 박절하여 슬라이드 글라스에 부착시켜 50°C에서 건조시켰

Table 3. Proximate composition of the dorsal muscle, liver and viscera in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

Diets	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)
Dorsal muscle			
Con	74.8±0.20^{ns}	22.0±0.09^{ns}	2.0±0.27^{ns}
CSP0.1	75.0±0.24	22.5±0.18	1.4±0.26
CSP0.5	75.2±0.10	21.9±0.21	1.6±0.15
CSP1.0	75.1±0.22	22.4±0.44	1.5±0.18
CFE1.0	74.9±0.46	22.6±0.33	1.4±0.25
Liver			
Con	59.1±0.85^{ab}	10.4±0.12^{ns}	19.7±1.47^{ns}
CSP0.1	59.8±0.61^{b}	10.7±0.19	16.9±0.83
CSP0.5	56.8±0.90^{a}	10.0±0.01	17.5±1.65
CSP1.0	59.5±0.62^{b}	10.3±0.12	18.6±0.31
CFE1.0	61.3±0.97^{b}	10.6±0.25	18.1±1.91
Viscera			
Con	37.3±0.45^{ns}	8.0±0.98^{ns}	51.8±2.02^{ns}
CSP0.1	40.3±1.89	7.0±0.41	50.1±1.17
CSP0.5	34.6±2.82	7.5±0.38	54.6±3.48
CSP1.0	34.1±0.52	7.1±0.26	56.2±0.93
CFE1.0	37.5±1.60	7.0±0.23	53.1±1.37

^{ns}Not significant (P>0.05). CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

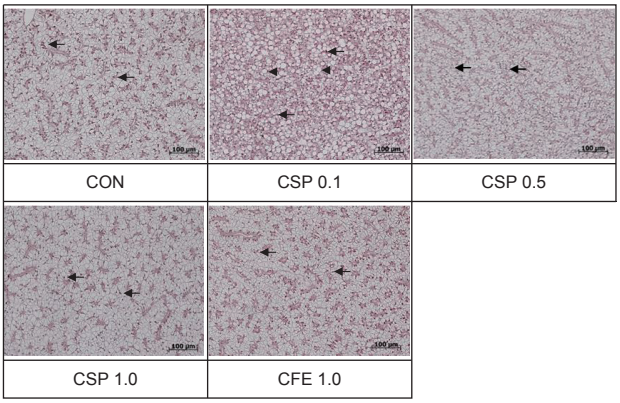

Fig. 1. Histological changes of the liver of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks (H&E stain, ×400). Arrows; hepatocyte contain intracytoplasmic lipid, Arrowheads; lipid vacuole. CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract.

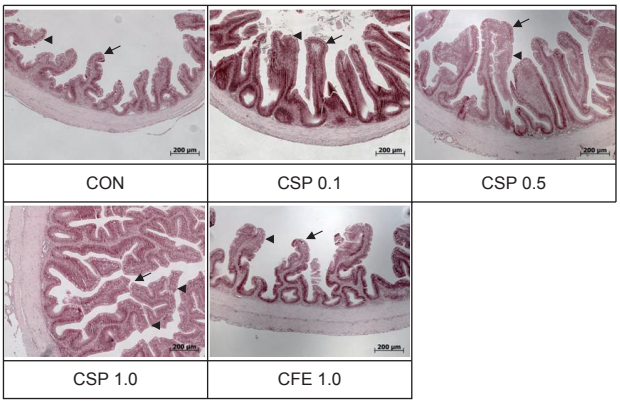

Fig. 3. Histological changes of the intestine in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks (H&E stain, ×400). Arrows; mucosal fold, Arrowheads; mucus-secreting goblet cell. CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract.

다. 건조된 슬라이드는 자동염색 시스템기(Leica, Germany)로 hematoxyline and eosin (H&E) 염색을 하였다. 염색된 조직표본을 광학현미경(CarlZeiss, Germany)으로 조직학적 관찰 및 사진촬영을 실시하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS 프로그램을 사용하여 One-way ANOVA test를 실시하고 Duncany ANOVA test) cus buffer (pH 6.2) (GOT로 평균간의 유의성을 검정하였다.

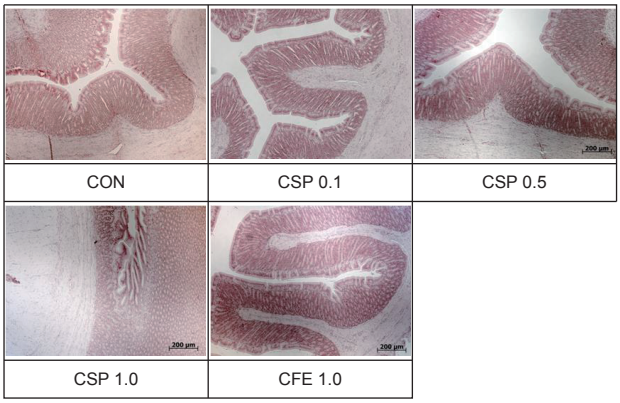

Fig. 2. Histological changes of the stomach in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks (H&E stain, ×400). CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract.

결 과

손바닥선인장 분말과 열매액을 첨가한 사료로 육성기 조피볼락을 11주간 사육실험한 성장결과를 Table 2에 나타내었다. 생존율은 모든 실험구에서 90%이상으로 높았으며, 유의한 차이가 없었다. 최종체중은 대조구가 232 g, 손바닥선인장 분말과 열매액 첨가구가 230-237 g으로 모든 실험구간 통계적인 차이가 없었다. 사료효율(79-86%)과 단백질효율(1.62-1.74)도 손바닥선인장 첨가에 영향을 받지 않았으며, 일일사료섭취율도 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 사육실험 종료 후, 실험어의 비만도, 간 중량지수 및 장 중량지수도 실험구간에 유의한 차이가 없었다.

사육실험 종료 후 실험어의 등근육, 간 및 장의 일반성분 분석결과를 Table 3에 나타내었다. 등근육과 내장의 수분, 조단백질 및 조지질 함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 간의 수분 함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였으나($P<0.05$), 조단백질 및 조지질 함량은 유의한 차이가 없었다. 실험어 간의 지방산 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 간의 지방산 중 C16:0, C16:1n-7, C18:1n-9, C18:2n-6, C20:5n-3 및 C22:6n-3의 함량이 높았으며, 모든 지방산에서 실험구간에 유의한 차이는 없었다.

사육실험 종료 시 실험어의 혈장 성분 분석결과를 Table 5에 나타내었으며, 혈장의 총단백질, 중성지질, 총콜레스테롤 및 GOT 함량 모두 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 사료별 실험어 등근육의 물성측정 결과, 어육의 씹음성, 강도 및 경도 모두 실험구간에 통계적인 차이는 없었다(Table 6).

실험어 혈장의 라이소자임 활성 분석결과를 Table 7에 나타내었다. 혈장의 라이소자임 활성은 손바닥선인장 분말 0.1% 첨가구가 대조구에 비하여 유의하게 높았으며($P<0.05$), 손바닥선인

장 분말 0.5%, 1% 첨가구 및 열매액 1% 첨가구는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다.

사육실험 종료 시, 사료별 실험어 소화기관 조직 검사 결과를 Fig. 1-3과 Table 8에 나타내었다. 실험어 간 조직의 경우 손바닥선인장 분말 0.1% 첨가구에서 10-20 μm 크기의 지방구(lipid vacuole)가 산재되어 있었으며(Fig. 1), 손바닥선인장 분말 0.5%, 1% 첨가구 및 열매액 1% 첨가구의 간 조직은 대조구와 유사한 경향을 보였다. 사료별 실험어의 위 조직은 모든 실험구에서 위 점막주름 상피층을 중심으로 위선이 잘 발달된 정상적인 위 조직 특성을 보였다(Fig. 2). 장 조직은 손바닥선인장 분말 함량이 증가할수록 장 점막주름이 길어지는 경향을 나타내었다(Table 8). 손바닥선인장 분말 1% 첨가구는 대조구를 포함한 타 실험구들과는 다르게 장의 점막주름이 수지화되어 복잡한 가지 형태를 보였고, 장 점막주름 상피층에서 공포상으로 관찰되는 배상세포의 수가 점막주름당 37±16개로 다른 실험구에 비해 높았다. 대조구와 열매액 1% 첨가구 실험어의 장 점막주름은 손바닥선인장 분말 첨가구에 비해 위축된 소견이 관찰되었다(Fig 3).

Table 4. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of the liver in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

	Diets				
	Con	CSP0.1	CSP0.5	CSP1.0	CFE1.0
Fatty acids					
C14:0	1.7±0.2^{ns}	1.6±0.1	1.5±0.1	1.9±0.2	1.8±0.2
C16:0	15.4±0.9^{ns}	14.1±0.6	14.2±0.3	15.3±0.3	14.3±0.4
C16:1n	6.4±0.9^{ns}	5.6±0.6	5.7±0.7	6.3±0.2	6.0±0.8
C17:0	0.3±0.2^{ns}	0.5±0.1	0.8±0.5	0.9±0.5	0.9±0.1
C17:1n	0.3±0.1^{ns}	0.5±0.1	0.3±0.2	0.6±0.4	0.9±0.2
C18:0	5.3±0.3^{ns}	5.2±0.2	5.1±0.3	5.5±0.2	4.9±0.4
C18:1n-9	32.2±1.6^{ns}	28.9±0.6	29.0±0.6	30.8±0.4	30.3±1.4
C18:2n-6	21.5±2.2^{ns}	24.1±0.9	23.0±1.4	20.4±0.9	22.2±1.2
C18:3n-3	2.4±0.3^{ns}	2.6±0.1	2.7±0.1	2.4±0.1	2.4±0.1
C20:0	1.8±0.1^{ns}	1.8±0.1	1.7±0.2	1.9±0.3	1.8±0.1
C20:1n-9	0.7±0.1^{ns}	0.6±0.1	0.9±0.2	0.5±0.3	0.2±0.2
C20:3n-3	0.9±0.1^{ns}	1.0±0.1	1.1±0.1	1.1±0.1	1.0±0.1
C20:4n-6	0.3±0.1^{ns}	0.5±0.1	0.2±0.2	0.1±0.1	0.3±0.2
C20:5n-3	3.1±0.3^{ns}	3.9±0.3	3.9±0.1	3.2±0.2	3.7±0.4
C22:0	0.3±0.1^{ns}	0.5±0.1	0.5±0.3	0.5±0.3	0.3±0.2
C22:3n-3	0.5±0.3^{ns}	0.6±0.1	0.7±0.3	0.9±0.2	0.7±0.1
C22:5n-3	1.2±0.1^{ns}	1.5±0.1	1.4±0.1	1.2±0.1	1.4±0.2
C22:6n-3	5.8±0.6^{ns}	6.7±0.4	7.3±0.4	6.6±0.5	7.0±0.7

^{ns}Not significant (P>0.05). CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values are mean±SE of three replications.

Table 5. Plasma biochemical parameters of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

Diets	Total protein (g/100 mL)	Triglyceride (units/L)	Total cholesterol (mg/100 mL)	GOT[1] (units/L)
Con	4.7±0.57^{ns}	310±101^{ns}	257±51^{ns}	26±6.1^{ns}
CSP0.1	4.6±0.46	276±119	238±46	27±7.2
CSP0.5	4.9±0.36	202±46	277±61	24±5.8
CSP1.0	5.0±0.88	184±55	297±70	26±7.2
CFE1.0	5.5±0.60	259±47	322±23	24±3.6

[1]Glutamic-oxaloacetate transaminase. ^{ns}Not significant (P>0.05). CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values are mean±SE of three replications.

고 찰

사료에 손바닥선인장 추출물 첨가가 양식어류의 성장과 면역능에 미치는 영향을 조사한 연구들이 수행되어왔다(Go et al., 2007; Jee et al., 2007). 본 연구에서 손바닥선인장 첨가 사료 공급에 따른 조피볼락 육성어의 성장 및 사료효율 개선효과는 나타나지 않았다. 손바닥선인장 줄기 가수분해 분획물 1%를 첨가한 사료로 넙치(최초체중 147 g)를 사육한 Jee et al. (2007)의 연구에서 실험어의 성장은 대조사료 실험구와 차이를 보이지 않아 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 그러나 참돔을 손바닥선인장 열매 발효액을 첨가한 사료로 사육한 Go et al. (2007)의 연구에서 손바닥선인장 열매 발효액 1% 첨가구가 대조구에 비해 높은 성장을 보여 손바닥선인장 첨가에 따른 성장개선 효과를 나타내었다. 손바닥선인장은 유용한 생리활성 물질이 함유하여 항산화 및 항균효과에 효능이 있다고 알려져 있지만, 줄기 및 열매와 같은 원료 부위, 원료 가공방법 및 대상종에 따라 사육효능 개선 효과는 다르게 작용할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 양어사료내 첨가제의 효능은 대상어종과 사료원료 조성비에 따라 다르게 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(Lindsay et al., 1984; Shiau and Yu, 1999). 본 사육실험에서 대조사료를 11주간 섭취한 실험어(최초체중 151 g)의 최종체중은 232 g이었으며, 사료효율은 79%로 양호한 성장과 사료이용률을 보였다.

본 연구에서 손바닥선인장 첨가에 따른 조피볼락의 성장개선 효과가 나타나지 않은 이유를 명확히 판단할 수는 없지만, 양식대상종이 요구하는 영양소가 충분히 함유된 품질이 우수한 사료에 첨가제를 사용하는 것은 예상했던 만큼 그 효능을 발휘하지 못할 가능성도 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 실험어의 조직별 일반성분과 간 조직의 지방산 조성은 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았는데, 이러한 결과로 볼 때 사료내 손바닥선인장 첨가는 조피볼락의 체성분에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 사육실험 종료 시 혈액의 총단백질, 중성지질, 총콜레스테롤 및 GOT 함량도 모든 실험구간에 차이가 없었으며, 손바닥선인장 줄기 가수분해 분획물 첨가 사료를 공급한 넙치도 혈액의 글루코오스, 총단백질, 콜레스테롤, GOT 및 GPT 함량이 대조사료 실험구와 차이를 보이지 않아 본 연구와 유사한 결과를 보였다(Jee et al., 2007).

본 연구에서 사료별 실험어 등근육의 씹음성, 강도 및 경도는 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않아 손바닥선인장 분말 첨가에 따른 등근육의 육질에 현저한 영향을 미치니 않는 것으로 판단된다. 사료내 생약제 첨가가 양식어류의 면역능에 미치는

Table 6. Physical properties of the dorsal muscle in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

	Diets				
	Con	CSP0.1	CSP0.5	CSP1.0	CFE1.0
Gumminess (g)	240±13.7^{ns}	274±21.0	263±22.7	265±9.4	228±15.9
Hardness (g/cm^2)	185±11.8^{ns}	214±15.7	205±20.1	200±7.4	175±12.7
Strength (g/cm^2)	240±14.9^{ns}	281±21.1	264±25.8	259±9.2	232±15.0

^{ns}Not significant (P>0.05). CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values are mean±SE of three replications.

Table 7. Lysozyme activity of plasma for Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

	Diets				
	Con	CSP0.1	CSP0.5	CSP1.0	CFE1.0
Lysozyme activity (units/mL)	420±26.0^{ab}	540±32.0^{c}	496±35.8^{bc}	409±24.3^{ab}	355±37.0^{a}

CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values (mean±SE of three replications) in the same row not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

Table 8. Morphological and histological features of the digestive tract in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed the experimental diets for 11 weeks

	Digestive tract		
	Mucosal fold Form	Mucosal fold Length(μm)	Goblet cell Numbers/mucosal fold
Con	regular branch	352.2±55.4	19±7
CSP0.1	regular branch	628.9±51.7	16±4
CSP0.5	regular branch	852.4±33.7	25±7
CSP1.0	complex branch	926.7±90.7	37±16
CFE1.0	regular branch	453.3±60.1	23±10

CON; control, CSP; cactus stem powder, CFE; cactus fruit extract. Values are mean±SE of three replications.

영향을 조사한 연구들은 지속적으로 수행되어져 왔다(Seo et al , 2016). 본 연구에서 혈장의 라이소자임 활성은 손바닥선인장 분말 0.1% 첨가구가 대조구에 비하여 높은 결과를 보였다. 넙치를 대상으로 한 Jee et al. (2007)의 연구에서도 손바닥선인장 줄기 가수분해 분획물 0.1% 첨가 사료를 4주간 섭취한 실험어는 대조사료 실험구에 비하여 높은 대식세포 활성을 보여, 손바닥선인장 첨가에 따른 비특이적 면역능 향상 결과를 보였다. Jung et al. (2008)의 연구에서도 손바닥선인장 줄기 가수분해 분획물은 어류 질병의 대표적 원인 세균인 그람음성균 및 그람양성균에 대해 광범위한 항균 스펙트럼을 가지는 것으로 보고되었다.

어류의 소화기관은 성장에 필요한 대사물질과 에너지를 얻는 과정인 소화 및 흡수 기능을 담당하고 있다. 본 연구에서 실험어 간 조직의 지질 함량과 간 중량지수가 실험구간에 유의적인 차이를 보이지는 않았지만, 조직학적 관찰 결과 손바닥선인장 분말 0.1% 첨가구에서 지방구(lipid vacoule)가 다른 실험구에 비해 높게 관찰되었다. 조피볼락과 같은 양식어류는 사료섭취 및 사육환경과 같은 외부 요인에 의해 간 조직의 이상 소견이 관찰되기도 한다(Choi et al., 2011). 금후 해부소견상 간의 육안적 특성 분석과 병리조직학적 분석으로 지방 축적에 관한 정확한 원인을 파악하는 연구도 수행될 필요가 있다. 장 점막주름과 배상세포는 소화 활성에 중요한 기능을 한다(Hur et al., 2013). 본 연구에서 사료별로 실험어의 성장은 유의한 차이가 없었으나, 사료별 실험어 장 조직은 손바닥선인장 분말 함량이 증가할수록 장 점막주름이 복잡한 가지 형태로 수지화되어 발달된 경향을 나타내었다. 점액물질을 분비하여 장내 표면을 보호하고 소화효소 활성에 관여하는 배상세포는 손바닥선인장 분말 첨가 함량이 증가할수록 장 점막주름 상피층에 분포하는 비율이 높아지는 경향을 나타내었다. 추후 손바닥선인장 함량별 첨가 사료의 장기간 공급에 따른 양식어류 소화기관의 조직화학적 변화와 소화호르몬 활성 변화에 의한 성장도 차이에 관한 연구도 필요한 것으로 판단된다. 본 연구의 결과로 볼 때 사료 내 손바닥선인장 줄기 분말 첨가는 조피볼락 육성어의비특이적 면역능 향상(0.1%), 장 점막주름 발달 및 배상세포 활성에 도움이 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산과학연구사업(RP-2019004)과 어업법인 신안우럭㈜의 지원에 의해 운영되었습니다.

References

Choi HS, Huh MD, Lee MG, Choi HJ and Park MA. 2011. Histopathological observation of liver in cultured black rock fish *Sebastes schlegeli* in low temperature season. J Fish Pathol 24, 225-236. https://doi.org/10.7847/jfp.2011.24.3.225.

Boerrigter JGJ, Van de Vis HW, Van den Bos R, Abbink W, Spanings T, Zethof J, Martinez LL, Van Andel WFM, Lopez-Juna J and Flik G. 2014. Effects of pro-tex on zebrafish (*Danio rerio*) larvae, adult common carp (*Cyprinus carpio*) and adult yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). Fish Physiol Biochem 40, 1201-1212.

Chung HJ. 2000. Antioxidative and antimicrobial activities of *Opuntia ficus indica* var. saboten. Korean J Soc Food Sci 16, 160-166.

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

Ferandz ML and Mcnamar DJ. 1990. Pectin isolation from prickly pear (*Opuntia* sp.) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol fed guinea pigs. Lipids 25, 1283-1290.

Folch J, Lees M and Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem 226, 497-509.

Go GM, Oh GM, 97 Satoh S. 2007. Effects of the dietary supplementation of fermented cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) fluid on the growth of red sea bream, *Pagrus major*. J Aquacult 20, 1-6.

Hur SW, Lee CH, Lee SH, Kim BH, Kim HB, Baek HJ and Lee YD. 2013. Characterization of cholecystokinin-producing cells and mucus-secreting goblet cells in the blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus*. Tissue Cell 45, 153-157. https://doi.org/10.1016/j.tice.2012.10.005.

Jee BY, Lee NS, Kim JW, Park MS and Jeong SH. 2007. The preventive effects of hydrolysis compound of cactus opuntia genus, *Opuntia ficus-indica* var. saboten Makino against bacterial disease on cultured flounder, *Paralichthys olivaceus*. J Fish Pathol 20, 179-187.

Joung HS. 2004. Quality of characteristics of Paeksulgis added powder of *Opuntia ficus indica* var. saboten. Korean J Food Cook Sci 20, 637-642.

Jung SH, Lee NS, Jee BY and Park MS. 2008. Antimicrobial activity of hydrolysis compound of cactus stem (*Opuntia ficus-indac* var. saboten makino) against fish pathologenic bacteria. J Fish Pathol 21, 29-34.

Kim DS, KimJH, Jong CH, Lee SY. Lee SM and Moon YB. 1998. Utilization of obosan (dietary herbs). I. Effects on survival, growth, feed conversion ratio and condition factor in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. J Aquacult 11, 213-221.

Kim KD, Seo JY, Hong SH, Kim JH, Byun HG, Kim KW, Son MH and Lee SM. 2011. Effects of dietary inclusion of various additives on growth performance, hematological parameters, fatty acid composition, gene expression and histopathological changes in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean J Fish Aquat Sci 44, 141-148.

Lee SM and Kim KD. 2009. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and body composition of juvenile and grower rockfish, *Sebastes schlegeli*. Aquacult Res 40, 1830-1837.

Lee JY, Kang YJ, Lee SM and Kim IB. 1993. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. J Aquacult 6, 13-17.

Lee SM, Hwang UG and Cho SH. 2000. Effect of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 187, 399-409.

Lee SM, Seo JY, Lee YW, Kim KD, Lee JH and Jang HS. 2005. Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growing flounder, *Paralichthys olivaceus*. J Aquacult 18, 287-297.

Lindsay GJ, 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.

Parry RM, Chandau RC and Shahani RM. 1965. A rapid and sensitive assay of muramidase. Proc Soc Exp Biol Med 119, 384-386.

Seo JS, Jeon EJ, Kwon MG, Hwang JY, Jung SH, Kim NY, Jee BY and Park MA. 2016. Disease resistance against bacterial infection on treatment of hot-water extract with 6 herbal mixtures in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. JFMSE 28, 1715-1723. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.6.1715.

Seo JY, Kim KD, Son MH and Lee SM. 2010. Growth performance, hematological parameter and fatty acids composition of growing olive flounder (*Paralichthys olivaceus)* to dietary inclusion of kelp meal, krill meal, garlic powder or citrus meal. Korean J Fish Aquat Sci 43, 557-561. https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.557.

Shiau SY and Yu YP. 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture 179, 439-446.