

# 실험사료 중 크릴 첨가가 조피볼락 *Sebastes schlegeli* 치어의 성장 및 체성분에 미치는 영향

이해영 · 남명모\*

국립수산과학원 동해수산연구소

**Effect of Experimental Diets Containing Krills on the Growth and Body Composition of Juvenile Black Rockfish *Sebastes schlegeli* by HaeYoung Lee and Myung-Mo Nam\*** (Aquaculture Industry Division, East Sea Fisheries Institute, NIFS, Gangneung 25435, Republic of Korea)

**ABSTRACT** A feeding experiment was conducted to investigate the effects of replacement of dietary fish meal by frozen whole krill (FWK) and/or krill meal (KM) on growth performance and body composition of juvenile black rockfish, *Sebastes schlegeli*. The basal experimental diet (ED) contained 58.4% fish meal (FM) as a control, the other five EDs were formulated with the protein replacement ratio of fish meal by as 0, 10, 20, 30, and 40%, respectively (FWKM0, FWK10, FWK20, FWK20KM10, FWK20KM20 and FWK20KM20HP). Each diet was fed to juvenile rockfish initially weighing  $3.09 \pm 0.02$  g/fish in a flow-through system. The control ED containing 58.4% FM and 10% FWK diet showed significantly higher weight gain and feed efficiency than all the other EDs containing 20, 30, and 40% FWK and/or KM. But the survivals, whole-body moistures, crude proteins and lipids of black rockfish fed all EDs were similar in all EDs. The only whole-body ashes of juvenile black rockfish were significantly differentiated by feeding the various EDs containing different levels of FWK and/or KM with a protein and lipid levels adjustment. These results suggest that dietary frozen whole Antarctic krill and/or krill meal inclusions could not improve the growth but change the whole-body ashes in juvenile black rockfish. Therefore, this study further indicates that dietary more than 20% of FWK and/or KM supplementation could not be a potential source of animal protein to replace fishmeal in juvenile black rockfish.

**Key words:** Black rockfish, frozen krill, krill meal, growth, body composition

## 서 론

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 1990년대 종자생산과 함께 배합사료가 개발 시판되면서 대한민국의 주요한 양식품종으로 자리잡았다. 이후 조피볼락 양식생산량 및 생산 금액이 지속적으로 증가하여 현재까지 해산 양식 어류 중 2위를 차지하고 있으며 2007년 최대 35,564톤까지 증가하였지만 이후 생산량이 감소, 정체되면서도 2018년 22,686톤을 생산하였다(Statistics Korea, 2019). 해산 어류인 조피볼락을 포함하

여 양식 시 공급되는 먹이인 사료는 생산단가의 절반가량을 차지하며 생산비 절감에 큰 역할을 하고 있다. 조피볼락을 포함한 어류 성장에 필요한 필수영양소는 약 40여 종이며 이들 요구량에 대한 다양한 영양 연구에 실험사료가 개발 사용되어왔다(NRC, 1983, 1993, 2011). 조피볼락 치어에서도 실험사료 단백질 함량은 유사하였지만 비타민 혼합물(vitamin premix, VP) 무첨가 시 단백질 원료의 종류 및 함량 차이에 의하여 성장 차이가 약 10배로 나타났다(Lee, 2016). 조피볼락(Lee, 2016) 및 홍민어(*Sciaenops ocellatus*) 치어에서 먹이인 실험사료 중 유사한 단백질 함량에도 다양한 단백질 원료의 종류가 사육실험 후 성장 및 체성분에 영향을 주었다(Moon and Gatlin, 1994). 따라서 어류의 먹이인 실험사료 설계 후 제

저자 직위: 이해영(해양수산연구소), 남명모(해양수산연구소)  
\*Corresponding author: Myung-Mo Nam Tel: 82-31-589-5140,  
Fax: 82-31-589-5151, E-mail: mmnam@korea.kr

조 시 단백질 원료의 종류 및 함량은 우수한 성장, 사료효율 및 생존을 위하여 중요한 요소 중 하나가 되었다(Moon and Gatlin, 1994; Lee, 2016). 단백질 원료와 함께 단백질 함량(Lee *et al.*, 2001) 및 구성 성분인 필수 아미노산(amino acid, AA) 중 하나인 메티오닌이나 시스틴 함량과 비율도 성장, 사료효율 및 생존에 영향을 주기도 하였다(Moon and Gatlin, 1991). 또한, 어류에서 실험사료 중 갑상선호르몬 등 첨가제도 성장 등에 영향을 미침을 보고하였다(MacKenzie *et al.*, 1993; Moon *et al.*, 1994). 조피볼락 먹이인 사료 개발에서도 경제적인 단백질 원료의 다양한 첨가가 조피볼락의 성장 등에 미치는 영향을 조사하였다(Lee *et al.*, 1996a, 1996b; Lee and Kang, 2006; Lee and Choi, 2013; Lee, 2016). 주요 단백질 원료로는 어분(FM), 카제인, 젤라틴 및 합성 아미노산(crystalline AA)을 함유한 기초사료가 주로 사용되었고 실용사료에서도 성장 차이가 나타났다(NRC, 1993; Moon and Gatlin, 1989, 1994). 조피볼락 치어에서 어분, 카제인, 젤라틴 등을 이용한 반정제 실험사료 중 단백질 원료가 성장 등에 영향을 미침을 구명하기도 하였다(Lee, 2016). 조피볼락에서 일부 필수 영양소 조사 및 다양한 단백질 원료로 단독 또는 혼합 첨가 등에 의한 조피볼락 배합사료 개발(NFRDI, 1993), 메티오닌(Yan *et al.*, 2007), 필수지방산(fatty acid, FA) 및 비타민(Bai and Lee, 1998) 등 일부 영양소 요구량이 구명되었지만 성장단계별 이들 영양소의 함량으로 이용 가능한 원료 이용성 구명 후 완전한 사료를 개발할 수 있다. 조피볼락 치어에서 사용 가능한 단백질 원료로 설계 후 제조된 다양한 실험사료에 대한 사육 효과 비교 결과 어분은 필수적인 단백질 원료로 나타났다(Lee, 2016). 어업 생산량 정체와 양식배합사료 사용 증가로 어분 및 부산물을 포함한 양식 사료 원료 가격은 지속적으로 상승하여 종류, 품질 및 수급 상황에 따라 변동이 있으나 1톤에 약 1,500~3,000달러이며 양식사업인의 경영은 갈수록 어려운 실정이다. 또한, 어분 및 생사료의 과다사용으로 수질오염 유발은 지금까지 문제점으로 대두되고 있다. 따라서 어분 대체 가능한 원료는 매우 중요하고 시급하여 다양한 양식품종에서 연구가 수행되어왔다(NFRDI, 1993; Lee *et al.*, 2012). 조피볼락 먹이인 배합사료에서도 어분 대체 단백질 원료에 대한 연구는 식물성(대두박 등), 동물성(우모분, 육골분 등), 오징어간분말 처럼 식물성과 동물성 단백질의 혼합물에서 이루어졌다(NFRDI, 1993, 2009; Lee *et al.*, 1996a, 1996b; Lee and Choi, 2013).

남빙양 크릴은 풍부한 자원량(Nicol *et al.*, 1987)과 함께 1970년대 말부터 인류를 위한 단백질 원료로서 식량공급 및 양식용 사료 원료로 이용되었다(Storebakken, 1988). 하지만 어분 공급 증가와 크릴 가공기술 부족과 함께 경제적인 상업적 사용은 제한적이었다. 냉동크릴(frozen whole krill, FWK)로 공급되면서 낚시 밀밥이나 미끼, 일부 양식장에서 양식용

생사료 등으로 사용되기도 하였다. 최근 들어 전 세계적으로 다양한 건강식품으로 지속적으로 개발 시판 중이며 또한, 양식 사료 사용량 증가와 함께 어분 사용 증가에 따른 부족한 어분 대체 원료로 영양성분이 우수한 크릴이 탐색 되고 있다. 크릴은 선상에서 가공기술이 발달하면서 크릴분말(krill meal, KM) 등 다양한 제품이 상업적으로 생산 시판되고 있는 실정이다. 가공기술 개발로 품질이 지속적으로 향상되고 기호성도 우수하여 연어(Storebakken, 1988; Hansen *et al.*, 2010), 송어(Wei, 2019), 해산어 및 새우류 등에서 사료 원료로 사용 중에 있다. 하지만 조피볼락 치어를 대상으로 한 크릴 먹이효과 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 시판 중인 냉동크릴(FWK)과 크릴분말(KM)을 조피볼락 치어에서 먹이로서의 효과를 사육실험을 통하여 조사하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험사료

조피볼락 치어에서 어분과 유사한 영양성분을 함유한 크릴의 어분(fishmeal, FM)대체 효과를 조사하기 위하여 수산 관련 업체(IS, 부산, 대한민국)에서 제공한 냉동크릴(frozen whole krill, FWK) 및 크릴분말을 사용하였다. 6가지 실험사료는 대조구(control)로서 냉동크릴 무첨가한 FM 100%로 하였으며 FM 대체 가능한 FWK는 10%, 20%, 그리고 KM은 10%, 20% 추가 대체하여 설계(FWK10, FWK20, FWK20KM10, FWK20KM20)하였고 40%구에서는 단백질 함량을 FM으로 높여(FWK20KM20HP) 크릴 40% 첨가 시 어분으로 단백질 함량을 높였을 때의 효과를 보기 위하여 제조한 사료를 포함 총 6가지 실험사료를 공급하면서 사육실험을 실시하였다. 조피볼락 실험사료의 사료조성은 Table 1에 나타내었다. 이때 사용한 다양한 단백질 원료의 일반성분과 아미노산 성분은 Table 2에 나타내었다. 대조구의 단백질 함량은 45% 내외가 되도록 설계하였고, FM구는 조피볼락 치어에서 우수한 단백질 원료로 밝혀져 대조구(Lee, 2016)로 사용되었고 FM 58.4%에 단백질 원료인 FWK10%와 지질 원료로 필수지방산을 함유한 오징어간유를 첨가하여 사료 내 지질 함량을 9.9~17.4%로 설정하였다(Lee and Choi, 2013; Lee, 2016). 탄수화물 원료는 소맥분을 29.9% 첨가하여 에너지함량을 적정하게 조절하였다. 모든 실험사료는 미네랄혼합물(mineral premix, MP)을 2%, 비타민혼합물을 3% 첨가하였다. 또한, 사료의 수중에서 풀림 방지를 위하여 점결제로 2%의 Carboxymethyl cellulose(CMC)를 첨가하였다(Moon and Gatlin, 1991). 단백질, 지질 및 필수지방산, 탄수화물, 미네랄 및 비타민을 조피볼락 요구량에 맞도록 설계하였다(Lee, 2016). 먹이인 실험사료 제

**Table 1.** Composition (% dry weight) of experimental diets

Diet Ingredients	Diet designation <sup>1</sup>					
	Control (FWKM0)	FWK10 -	FWK20 -	FWK20 + KM10	FWK20 + KM20	FWK20 + KM20HP
White fishmeal <sup>2</sup>	58.4	48.4	38.4	28.4	18.4	23.0
Frozen whole krill <sup>3</sup>	0.0	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Krill meal <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	10.0	20.0	20.0
Wheat flour <sup>4</sup>	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	30.0
Squid liver oil <sup>5</sup>	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	0.0
Mineral premix <sup>6</sup>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Vitamin premix <sup>7</sup>	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Carboxymethyl cellulose <sup>8</sup>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Calculated composition (% dry weight)						
Crude protein	45.0	44.0	43.0	42.0	41.0	44.2
Crude lipid	9.9	11.7	13.5	15.5	17.4	13.1
Crude ash	11.5	10.8	10.2	9.5	8.9	9.8

<sup>1</sup>Abbreviations used; FWKM0 = frozen whole krill 0% + krill meal 0%; FWK10 = frozen whole krill 10%; FWK20 = frozen whole krill 20%; FWK20KM10 = frozen whole krill 20% + krill meal 10%; FWK20KM20 = frozen whole krill 20% + krill meal 20%; FWK20KM20HP = frozen whole krill 20% + krill meal 20%; with high protein.

<sup>2</sup>Purchased from Koryo Co., Korea. Produced by steam-dry method.

<sup>3</sup>Purchased from Insung Corporation, Busan, Korea.

<sup>4</sup>Purchased from Cheonha Jeil Feed Co. Ltd, Busan, Korea.

<sup>5</sup>Purchased from E-Hwa Oil&Fat Ind. Co. Ltd, Busan, Korea.

<sup>6</sup>H-440 premix (mineral) (NAS, 1973).

<sup>7</sup>H-440 premix (vitamin) (NAS, 1973).

<sup>8</sup>Purchased from Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA.

조를 위하여 분말상태의 사료원료를 혼합기 (Twin-Shell Pin Intensifier Blender, Patterson-Kelly Co., England)에서 혼합한 후, 지질을 첨가 혼합하면서 다양한 원료를 사용하면서 실험 사료 종류에 따라 달라진 수분 함량을 증류수를 조절하여 첨가하여, 모이스트펠릿 (MP) 제조기로 성형하였다. 제조된 사료는 냉동고에 보관한 후 먹이 공급 시마다 적절한 크기로 절단하여 사용하였다 (Moon and Gatlin, 1991).

## 2. 실험어 및 사육관리

2톤 FRP 수조에서 유수식으로 1일 2회 먹이 공급하여 예비 사육 중이던, 평균 체중  $3.09 \pm 0.02$  g (mean  $\pm$  SD)의 조피볼락 치어 20마리씩을 60 L (지름 66 cm, 높이 70 cm) 원형 FRP 수조에 3반복 수용하여 1일 2회 (09:00, 16:00) 반복으로 실험 사료를 공급하였다. 고압모래여과장치로 여과된 자연해수를 실험 시작 시에 3 L/min씩 흘려주었고, 조피볼락 치어가 성장함에 따라 실험 종료 시에는 5 L/min로 조절하였다. 각 수조에 에어스톤을 설치하였으며 적정 성장을 위하여 용존산소를 5 ppm 이상으로 사육 기간 동안 유지하였다. 사육 수온은 자연수 (13.0~26.5°C)에 의존하였으며, 자연적인 광주기를 사용하였으며 7주간 사육실험을 실시하였다.

## 3. 샘플 수집 및 분석

어체 측정은 실험 시작 시 전 실험어인 조피볼락 치어의 체중을 측정하였고, 실험 종료 후에는 2일간 절식시킨 후 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 각 실험수조에 수용된 조피볼락 치어 전체 체중을 측정하였다. 분석용으로 냉동 보관하던 어체 중 전어체 분석을 위하여 실험구별로 5마리씩 무작위 추출하였으며, 어체를 잘 간 다음 균질하게 혼합하여 일반성분을 분석하였다 (AOAC, 1990). 수분은 상압가열건조법으로 105°C의 dry oven에서 4시간 동안 건조 후 측정하였다. 회분은 직접회화법으로 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. 조단백질 (CP)은 Automatic analyzer (Vapodest 5/6, Gerhardt)를 사용하여 질소정량법 (Nx6.25), 조지질 (CL)은 샘플을 12시간 동결 건조한 후 Soxhlet system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 각각 분석하였다.

## 4. 통계분석

결과 통계처리는 SPSS Version 14.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 실험구간 유의적 차이가 있으면 ( $P < 0.05$ ), Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균

**Table 2.** Proximate and amino acid composition of dietary various protein sources

Protein source Composition (%) <sup>1</sup>	Fish meal (FM)	Frozen whole krill (FWK)	Krill meal (KM)	Wheat flour (WF)
Moisture	5.4	79.6	7.7	11.6
Crude protein	69.9	59.9	59.8	14.0
Crude lipid	8.9	27.2	28.1	1.8
Crude ash	19.4	13.1	12.8	0.4
Indispensable amino acid (g/100g <sup>2</sup> )/(% in protein <sup>3</sup> )				
Arginine	4.1 <sup>2</sup> /7.1 <sup>3</sup>	–	3.5 <sup>2</sup> /6.4 <sup>3</sup>	0.5 <sup>2</sup> /3.9 <sup>3</sup>
Histidine	1.8/1.7	–	2.8/2.7	0.3/1.9
Isoleucine	3.4/3.7	–	2.8/4.8	0.5/2.9
Leucine	5.4/8.1	–	4.4/7.8	1.0/7.0
Lysine	5.5/4.9	–	4.2/7.8	0.3/1.7
Methionine	2.2/3.2	–	1.8/3.1	0.2/1.0
+ Cystine <sup>4</sup>	0.7/1.1	–	– /0.6	0.4/1.8
Phenylalanine	3.0/4.4	–	2.5/4.7	0.7/5.0
+ Tyrosine <sup>4</sup>	2.4/3.5	–	0.5/3.9	0.4/1.9
Threonine	3.0/4.9	–	2.5/4.4	0.4/3.0
Valine	3.8/4.1	–	2.8/4.9	0.6/3.4

<sup>1</sup>Analyzed. Expressed on a dry weight basis.

<sup>2</sup>See Table 5 (NRC, 1983) and Table 19-2 (NRC, 2011).

<sup>3,4</sup>See Table 2 (Lee, 2016) and Table 1-4 (NFRDI, 2009).

간의 유의성 ( $P < 0.05$ ) 검정을 실시하였다 (SPSS).

### 결과 및 고찰

실험사료의 일반성분은 (Table 1), FWK 그리고 KM 첨가 시 단백질과 지질 함량은 각각 41.0~45.0%와 9.9~17.4%로 조피볼락 치어의 적정 성장을 위한 단백질 및 지질 함량과 유사하였지만 (Lee, 2016), FWK 및 KM의 단백질 함량은 건물기준으로 60%로 70%인 FM보다는 낮았다. 따라서 FWK 및 KM의 지질 함량은 건물기준으로 각각 27.2% 및 28.1%로 FM보다 높았다. 크릴 함량이 높아지면서 실험사료의 지질 성분도 높아졌다. 조피볼락 치어에 공급한 시판 중인 상품사료는 단백질 56% 및 지질 8%로 크릴 첨가 실험사료보다 이들 성분이 높거나 낮았다. 단백질 및 지질 요구량보다 과다하거나 부족한 경우 성장에 차이가 나타나므로 사육조건별, 크기별 단백질 및 지질 요구량에서 재평가가 필요한 것으로 사료된다 (Lee, 2016). 또한, 상품사료의 경우 단백질 함량이 높으면 성장은 빨랐지만 사료효율은 낮아 양식경영 향상을 위하여 양질의 균형 잡힌 단백질 원료를 사용하면서 품질은 향상되어야 할 것이다. 조피볼락 치어의 성장 차이는 다양한 단백질 원료를 함유한 실험사료의 먹이공급량으로 보면 기호성에서 기인한 것으로 나타났다 (Lee, 2016). 즉, 어분은 잘 섭취하면서 성

장이 빠르지만 어분 대체 가능한 다양한 단백질 원료로 제조한 사료를 공급하면 조피볼락 치어의 성장 및 사료효율은 감소한다는 결과 (Lee and Choi, 2013; Lee, 2016)처럼 크릴 첨가 실험사료에서도 유사하게 나타났다. 즉, 단백질 원료의 종류 및 함유량은 조피볼락 (NFRDI, 1993; Lee, 2016)과 홍민어 (Moon and Gatlin, 1994) 치어의 성장 및 사료효율에 중요한 영향을 미치는 인자다. 단백질 원료의 종류 및 품질 차이는 소화율, 필수아미노산 조성, 이용성 및 항영양인자 또는 독소화합물의 존재 유무에 따라 영향을 받는다 (Scott *et al.*, 1976). 대두박 (NFRDI, 1993), 오징어간분말 (Lee and Choi, 2013)처럼 냉동크릴 및 크릴분말은 어분보다는 낮은 단백질 및 아미노산 함량을 나타내면서 함유량이 증가하면서 낮은 성장 및 사료효율을 보였고 기호성이나 항영양인자 및 독성화합물의 존재 및 함량에 대한 상세한 연구가 추후 수행되어야 할 것으로 판단된다. 크릴의 이용 가능성을 높일 수 있는 다양한 고도의 추출 방법 등의 가공기술 향상 (Hansen *et al.*, 2010)에 따른 어분 대체 가능한 양식용 사료 원료 개발에 박차를 가해야 할 것이다. 홍민어에서는 사료 내 필수아미노산인 히스티딘, 이소류신, 류신, 메치오닌 등에서 특히 메치오닌 부족 시 낮은 성장 및 사료효율을 나타내었고 (Moon and Gatlin, 1989), 또한 홍민어 치어에서 실험사료 내 메치오닌 함량이 0.35%에서 생존율은 39%로 사료 내 시스틴: 메치오닌 (70:30)에서는 약 10%로 나타나 약 100%인 대조구와 비교하면 가장 낮아 필수아미노

**Table 3.** Performance of juvenile black rockfish fed different experimental diets for 7 weeks<sup>1,2</sup>

Diet designation <sup>3</sup>	Initial body weight (g)	Final body weight (g)	Weight gain <sup>5</sup> (% of initial wt.)	Feed efficiency <sup>6</sup> (%)	Survival rate (%)
FWKM0 (Control)	3.10	12.0 <sup>a</sup>	286 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>	93
FWK10	3.11	9.3 <sup>ab</sup>	198 <sup>ab</sup>	58 <sup>ab</sup>	88
FWK20	3.10	7.5 <sup>b</sup>	141 <sup>b</sup>	54 <sup>b</sup>	97
FWK20KM10	3.08	7.8 <sup>b</sup>	154 <sup>b</sup>	36 <sup>c</sup>	100
FWK20KM20	3.08	7.4 <sup>b</sup>	141 <sup>b</sup>	48 <sup>bc</sup>	93
FWK20KM20HP	3.09	7.5 <sup>b</sup>	142 <sup>b</sup>	48 <sup>bc</sup>	93
<i>P</i>	–	0.04	0.04	0.006	0.49
Pooled s.e. <sup>4</sup>	–	0.99	31.69	5.18	4.02

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups.

<sup>2</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>3</sup>Abbreviations used; FWKM0 = frozen whole krill 0% + krill meal 0%; FWK10 = frozen whole krill 10%; FWK20 = frozen whole krill 20%; FWK20KM10 = frozen whole krill 20% + krill meal 10%; FWK20KM20 = frozen whole krill 20% + krill meal 20%; FWK20KM20HP = frozen whole krill 20% + krill meal 20% with high protein.

<sup>4</sup>Pooled standard error of mean: SD/vn.

<sup>5</sup>Weight gain (WG, %): (final wet body wt. – initial wet body wt.)/initial wet body wt. × 100.

<sup>6</sup>Feed efficiency (FE, %): (wet body wt gain/dry feed intake) × 100.

산의 요구량에 충족되는 첨가는 필수적이며 성장 및 사료효율에 큰 영향을 주었다(Moon and Gatlin, 1991). 사료 중 필수아미노산 종류 및 함량 차이에 따라 성장 및 사료효율에 차이가 있어 황함유아미노산인 메티오닌은 라이신(Craig and Gatlin, 1992)보다 홍민어 치어의 성장에 더 중요한 제한 인자였다. 어류에서는 10여 종의 필수아미노산이 있으며(Moon and Gatlin, 1991) 조피볼락의 필수아미노산 중 하나인 메티오닌 요구량(Yan *et al.*, 2007)은 적정 성장을 위하여 건물기준 사료 내 약 1.4%로 다양한 실험사료(Tables 1, 2)는 충족하였다. 향후 10여 종 필수 아미노산에 대한 요구량 구명 및 성장과의 연관성 등에 대한 검토도 필요한 것으로 판단된다. 하지만 유사한 필수아미노산 조성인 다양한 단백질 원료의 품질 차이는 유럽산 가자미(*Pleuronectes platessa*)에서도 보고되었다(Cowey *et al.*, 1974).

크릴 첨가 실험사료를 공급하며 7주간 사육한 결과 유의적인( $P < 0.05$ ) 성장 차이가 나타났다(Table 3). 평균체중 3.09 g 이던 조피볼락은 먹이 중 FWK 및 KM함량(0~40%)별 사육실험 후 최종 평균 체중 7.4~12.0 g으로 유의적인 성장 차이를 보였다. 이 중 냉동크릴 무첨가구인 대조구(FWK0구)와 10% 첨가한 FWK10구에서 각각 12.0 g 및 9.3 g으로 높았으며 FWK20구, FWK20KM10구, 그리고 FWK20KM20구 순서로 유의적인 성장 차이를 나타냈다( $P < 0.05$ ). 증체율(WG)은 체중과 유사하게 141~286%로 약 2배의 차이를 보였다(Table 3). 증체율은 냉동크릴 무첨가구인 대조구(FWK0구)와 10% 첨가한 FWK10구에서 각각 286% 및 198%로 높았고 FWK20 이상구에서 141~154%로 유의적으로 낮았다( $P < 0.05$ ). 즉, 크릴 무첨가구와 FWK10구에서 증체율이 높았으며, FWK20

구와 FWK20구에서는 KM을 높여 첨가한 FWK20KM10 및 FWK20KM20구에서는 증체율은 낮았다(Table 3). 최대 크릴 첨가구인 FWK20KM20구에서 증체율이 141%~142%로 성장이 낮았다(Table 3). 따라서 FWK는 사료에서는 최대 10% 이하만 첨가해야 할 것으로 사료된다. 즉, 증체율에서도 단백질 원료인 FWK첨가량이 증가되면서 성장이 감소하는 것으로 나타나 FWK첨가로 조피볼락 치어의 성장이 감소하였다. 특히 사료 내 가장 높은 FWK함량구인 FWK20구에서 조피볼락 치어의 성장은 FM구의 약60% 수준으로 나타났으므로 FWK은 조피볼락 치어용 사료에서 신중하게 판단하여 소량 첨가해야 할 것으로 사료된다. 이는, FWK가 정제 단백질 원료처럼 소량 사용하는 것이 바람직하다는 홍민어의 결과와 유사하다(Moon and Gatlin, 1989).

크릴 첨가 실험사료를 공급한 조피볼락 치어에서 사료효율은 36~72% 범위로 체중 성장과 유사한 경향을 보였다(Table 3). 냉동크릴 무첨가구인 FWK0구와 10% 첨가한 FWK10구에서 각각 72% 및 58%로 유의적으로 높았으며, 냉동크릴 20% 이상 첨가한 시험구에서는 36~54%로 낮았다. 성장처럼 사료 효율도 어분 함량이 줄어들고 냉동크릴 함량이 증가하면서 감소하는 경향이였다. 특히, FWK20KM20구 실험사료는 어분이 주 단백질 원료로 함유된 실험사료에 비교하여 사료효율이 38~48%로 낮았다. 이상의 결과는 어분만을 단백질 원료로 함유한 실험사료와 비교하면 어분이 제한적으로 첨가된 실험사료에서 성장을 포함하여 사료효율이 감소한다는 이전 조피볼락 치어에서와 유사하였다(Lee, 2016). 사료 내 크릴분말 대체 첨가로 어류인 송어의 성장 및 사료효율을 향상시킨다는 이전 연구결과(Wei *et al.*, 2019)와는 다르게 넙치 육성어(Seo

**Table 4.** Whole-body composition of juvenile black rockfish fed different experimental diets 7 weeks<sup>1,2</sup>

Diet designation <sup>3</sup>	Moisture	Whole-body composition (%) <sup>5</sup>		
		Crude protein	Crude lipid	Ash
FWKM0 (Control)	69.34	16.07	9.88	4.29 <sup>ab</sup>
FWK10	68.78	15.81	10.04	4.68 <sup>ab</sup>
FWK20	69.70	15.43	9.86	3.93 <sup>b</sup>
FWK20KM10	70.55	15.54	8.57	4.94 <sup>a</sup>
FWK20KM20	70.21	15.16	11.15	4.62 <sup>ab</sup>
FWK20KM20HP	70.31	15.71	10.28	5.01 <sup>a</sup>
<i>P</i>	0.69	0.69	0.23	0.05
Pooled s.e. <sup>4</sup>	0.86	0.41	0.67	0.23

<sup>1,2,3,4</sup>See Table 3.<sup>5</sup>Means of composite samples of five fish from each of three replicate groups expressed on a wet basis.

*et al.*, 2010) 및 연어 (Hansen *et al.*, 2010)의 성장은 개선되지 않았다, 따라서, 조피볼락 치어용 사료를 설계하여 제조할 때는 냉동크릴 20% 첨가는 극히 제한할 필요가 있으며 성장 감소 요인에 대하여는 추후 상세한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

본 실험에서 사육 수온은 자연수온(13.0~26.5°C)으로 36~72%의 사료효율과 88% 이상의 생존율로 조피볼락 치어 사육을 위한 적정 수온이었지만 이전 사육실험 결과(Lee and Choi, 2013; Lee, 2016)와 비교하여 사료효율이 낮게 나타난 것은 이전 사육실험보다 수온이 낮은 것에 기인한 것으로 판단된다. 어류의 사료효율은 사육수온뿐만 아니라 사육 어체의 크기, 먹이인 사료조성, 환경요인 중 하나인 용존산소 등에 따라 달라질 가능성이 있으므로 (Weatherly and Gill, 1987) 좀 더 상세하고 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다. 특히, FWK20KM10구에서 성장은 높지 않았지만 생존율 100%는 폐사 없이 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

크릴 함량별 실험사료 공급으로 조피볼락 치어의 전어체의 수분, 조단백질(CP), 조지질(CL) 및 조회분(CA) 함량은 각각 68.78~70.55%, 15.16~16.07%, 8.57~11.15% 및 3.93~5.01%로 나타났다 (Table 4). 조피볼락 치어의 전어체의 수분, CP 및 CL 함량은 유의적인 차이 없어 FWK 및 KM을 첨가하여도 영향은 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 조피볼락 치어에서 어분을 일부 식물성 단백질원료인 대두박과 콘글루텐밀로 대체한 실험사료로 52일간 사육한 조피볼락 치어의 전어체의 수분, 조단백질, 조지질 및 조회분 함량처럼 유사하게 나타났다 (Lee, 2016). FWK 및 KM 첨가 실험사료 공급에 따라 전어체 일반성분 중 회분 함량은 일부 시험구에서 유의적 차이를 나타내었다. 하지만 양식산 조피볼락 치어와 유

사한 값의 범위를 보였다 (Lee *et al.*, 2000). 크릴 첨가 실험사료를 공급한 조피볼락 전어체 지질 함량은 영향을 받지 않아 크릴 첨가에 따른 실험사료 간 지질 함량 차이는 전어체에 영향을 미치지 못하는 범위인 것으로 판단된다. 양식산 및 자연산 조피볼락 치어의 전어체의 영양학적 비교 결과 지질 함량에서 유의적인 차이 (Lee *et al.*, 2000)가 나타났으며 기존 양식산 조피볼락 치어의 전어체 지질 함량과는 유사하였다. 또한, 양식산 조피볼락 치어의 전어체의 수분 함량과도 유사하여 자연산 조피볼락 치어의 전어체 수분 함량 (Lee *et al.*, 2000) 보다는 낮았다. 넙치 치어의 경우 먹이인 사료 중 단백질 52% 이상에서는 전어체 단백질 함량에 차이 없이 유사하였다 (Lee and Yoo, 2016). 하지만 실험사료 및 상품사료의 지질 함량은 4.8~15.0%로 3배 이상 차이가 나타나면서 넙치 치어 전어체의 지질에 유의적인 차이가 없었다.

본 연구 결과를 조피볼락 양식 생산자 및 소비자들에게 제 공함으로써 조피볼락 치어용 배합사료 개발에 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 요 약

최초 체중 3.09±0.02 g 조피볼락 치어에서 먹이원으로 냉동크릴 (FWK) 그리고 크릴분말 (KM) 첨가량 (0~40%)에 따라 6종 실험사료로 7주간 사육한 결과 최종 체중, 증체율, 사료효율 및 전어체의 일반성분 중 회분에서는 유의적으로 차이가 나타났지만, 생존율과 전어체의 일반성분 중 수분, 조단백질 및 지질에서는 유의적인 차이 없이 유사하였다. 사육실험 후 크릴 첨가 먹이 종류에 따른 최종 체중은 7.4~12.0 g, 증체율은 141~286%로 먹이 종류에 따라서 유의적으로 성장 차이를 나타내었다. 사료효율은 36~72%로 성장처럼 유사한 경향을 보였다. 크릴을 첨가하지 않은 대조구에서는 12.0 g으로 FWK10구에서 9.3 g과 유의적으로 유사한 최종 체중을 나타내어 다른 시험구보다는 높은 최종 체중을 나타내었다. 즉, FWK 20% 이상 및 크릴분말 0%, 10%, 20%구에서는 7.4~7.8 g으로 유의적으로 낮게 나타났다. 냉동크릴구에서 냉동크릴 무첨가구와 유사하거나 냉동크릴 및 크릴분말 함유량에 따라 유의적으로 낮은 전어체 회분 함량을 나타내었다. 또한 FWK20KM20구에서 어분으로 단백질 함량을 높여주어도 성장, 사료효율 및 전어체의 일반성분에서 차이가 나지 않았다. 이상의 결과로 조피볼락 치어 사료에 냉동크릴 및 크릴분말 10~40% 첨가 시 성장, 사료효율 및 생존율 향상에 효과가 없었다. 그러나 냉동크릴만 10% 첨가 시에는 어분만을 첨가한 사료와 유사한 양호한 성장, 사료효율 및 생존율을 나타내었다.

## 사 사

이 논문은 해양수산부 국립수산물과학원 수산과학연구소에서 동해 특산품종 양식기술 개발(R2020009)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, U.S.A.
- Bai, S.C. and K.J. Lee. 1998. Different levels of dietary DL-tocopheryl acetate affects the vitamin E status of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*, 161: 405-414. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00288-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00288-3).
- Cowey, C.B., J. Adron, A. Blair and A.M. Shanks. 1974. Studies on the nutrition of marine flatfish. Utilization of various dietary proteins by plaice (*Pleuronectes platessa*). *Br. J. Nutr.*, 31: 297-306. <https://doi.org/10.1079/bjn19740038>.
- Craig, S.R. and D.M. Gatlin. 1992. Dietary lysine requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *J. World Aquaculture. Soc.*, 23: 133-137. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1992.tb00761.x>.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11: 1-42.
- Hansen, J.O., M. Penn, M. Øverland, K.D. Shearer, A. Kroghdal, L.T. Mydland and T. Storebakken. 2010. High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 310: 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.10.003>.
- Lee, H.M. 2016. Effect of dietary proteins without vitamin premix supplementation on the growth and body composition of juvenile black rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.*, 49: 146-153. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0146>.
- Lee, H.M. and H.-k. Yoo. 2016. Effects of various diets on growth and body composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Korean J. Ichthyol.*, 28: 200-206.
- Lee, H.M., K.C. Cho, J.E. Lee and S.G. Yang. 2001. Dietary protein requirement of juvenile giant croaker, *Nibea japonica* Temminck & Schlegeli. *Aquaculture Res.*, 32: 112-118. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00050.x>.
- Lee, H.M. and S.-M. Choi. 2013. The effect of partial replacement of fish meal by new squid *Sepia esculenta* liver powders on growth and body composition of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 746-752. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0746>.
- Lee, H.M., S.-M. Choi and H.-S. Ji. 2012. Effect of partial replacement of fish meal by new squid *Sepia esculenta* liver powders on growth and body composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 45: 132-138. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0132>.
- Lee, H.M. and Y.J. Kang. 2006. Composition of feed stuff for black rockfish aquaculture. Patent number 0595967. NFRDI, Korea.
- Lee, H.M., M.W. Park and I.G. Jeon. 2000. Comparison of nutritional characteristics between wild and cultured juvenile black rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean Fish. Soc.*, 33: 137-142.
- Lee, K.J., K.W. Kim and S.C. Bai. 1998. Effects of different dietary levels of L-ascorbic acid on growth and tissue vitamin C concentration in juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquaculture Res.*, 29: 237-244. <https://doi.org/10.1111/are.1998.29.4.237>.
- Lee, S.M., I.G. Jeon, J.Y. Lee, S.R. Park, Y.J. Kang and K.S. Jeong. 1996b. Substitution of plant and animal proteins for fish meal in the growing Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) feeds. *J. Korean Fish. Soc.*, 29: 651-662.
- Lee, S.M., J.H. Yoo and J.Y. Lee. 1996a. The use of soybean meal, corn gluten meal, meat meal, meat and bone meal or blood meal as a dietary protein source replacing fish meal in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Korean J. Anim. Nutr. Feed*, 20: 21-30.
- MacKenzie, D.S., H.Y. Moon, D.M. Gatlin and L.R. Perez. 1993. Dietary effects on thyroid hormones in the red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Fish Physiol. Biochem.*, 11: 329-335. <https://doi.org/10.1007/bf00004582>.
- Moon, H.Y. and D.M. Gatlin. 1989. Amino acid nutrition of the red drum (*Sciaenops ocellatus*); Determination of limiting amino acids and development of a suitable amino acid test diet. In: Takeda, M. and T. Watanabe (eds.), The current status of fish nutrition in aquaculture. Proceedings of the Third International Symposium of Feeding and Nutrition in Fish, Toba, Japan, Aug. 28~Sept. 1, 1989, pp. 201-208.
- Moon, H.Y. and D.M. Gatlin. 1991. Total sulfur amino acid requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 95: 97-106. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90076-J](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90076-J).
- Moon, H.Y. and D.M. Gatlin. 1994. Effects of dietary animal proteins on growth and body composition of the red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*, 120: 327-340. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90089-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90089-2).
- Moon, H.Y., D.S. MacKenzie and D.M. Gatlin. 1994. Effects of dietary thyroid hormones on the red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Fish Physiol. Biochem.*, 12: 369-380.
- National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) 1993. Development of practical feed for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Final Report, NFRDI, Korea, 294pp.
- National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) 1997. Development of practical feed for the abalone *Haliotis discus hannai*. Final Report, NFRDI, Korea, 245pp.
- National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) 2009. Studies on development of high quality practical

- feed. Final Report, NFRDI, Korea, 241pp.
- National Research Council (NRC). 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., 102pp.
- National Research Council (NRC). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad Press, Washington, DC, U.S.A., 108pp.
- National Research Council (NRC). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Acad Press, Washington, DC, U.S.A., 376pp.
- Nicol, S., A. James and G. Pitcher. 1987. A first record of daytime surface swarming by *Euphausia lucens* in the Southern Bengueia region. Mar. Biol., 94: 7-10.
- Scott, M.L., M.G. Nesheim and R.J. Young. 1976. Feedstuffs for poultry. In: Nutrition of the Chicken, 2nd edition. M.L. Scott and Associates, Ithaca, New York, U.S.A., pp. 428-466.
- Seo, J.-Y., K.-D. Kim, M.H. Son and S.-M. Lee. 2010. Growth performance, hematological parameter and fatty acid composition of growing olive flounder (*Paralichthys Olivaceus*) to dietary inclusion of kelp meal, krill meal, garlic powder or citrus meal. J. Korean Fish. Soc., 43: 557-561. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.557>.
- Statistics Korea. 2019. Statistics database for aquaculture production. Retrieved from <http://kostat.go.kr> on June. 28.
- Storebakken, T. 1988. Krill as a potential feed source for salmonids. Aquaculture, 70: 193-205.
- Weatherley, A.H. and H.S. Gill. 1987. The Biology of Fish Growth. Academic Press, New York, U.S.A., 443pp.
- Wei, Y., H. Chen, M. Jia, H. Zhou, Y. Zhang, W. Xu, W. Zhang and K. Mai. 2019. Effects of dietary Antarctic krill *Euphausia superba* meal on growth performance and muscle quality of triploid rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* farmed in seawater. Aquaculture, 509: 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.013>.
- Yan, Q., S. Xie, X. Zhu, W. Lei and Y. Yang. 2007. Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*. Aquaculture Nutr., 13: 163-169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00461.x>.