

전복(*Haliotis discus hannai*) 치패용 배합사료내 미역(*Undaria pinnatifida*) 대체원으로서 김(*Porphyra tenera*) 부산물의 대체 효과

김준 · 김강웅 · 정성목 · 배진호 · 황일기¹ · 김신권² · 허상우*

국립수산과학원 사료연구센터, ¹국립수산과학원 수산식품품질관리센터, ²국립수산과학원 양식연구과

Effects of Dietary Substitution of *Undaria pinnatifida* with Laver *Porphyra tenera* By-product on Juvenile Abalone *Haliotis discus hannai*

June Kim, Kang-Woong Kim, Seong-Mok Jeong, Jinho Bae, Il Ki Hwang¹, Shin-Kwon Kim² and Sang-Woo Hur*

Aquafeed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37517, Republic of Korea

¹Aquatic Plant Variety Center, National Institute of Fisheries Science, Mokpo 58746, Republic of Korea

²Aquaculture Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

This study investigates the effect of substituting *Undaria pinnatifida* with a laver *Porphyra tenera* by-product (LB) on the growth performance, and soft body composition of juvenile abalone *Haliotis discus hannai*. A total of 750 juvenile abalones were evenly distributed across 15 tanks with 90 individuals per tank. Five diets were formulated; a control diet (Con) containing 30% *U. pinnatifida* and four experimental diets in which 25%, 50%, 75%, and 100% *U. pinnatifida* were substituted with equal amounts of LB (LB25, LB50, LB75, and LB100, respectively). The feeding trial lasted for 6 weeks, with daily feeding at 16:00. Survival rate, growth performance (weight gain and specific growth rate), and soft body composition of the abalones were not affected by the substitution levels ($P>0.05$). Therefore, this study concluded that complete replacement of LB with 100% *U. pinnatifida* in the abalone diet did not adversely affect survival, growth performance, or soft body composition.

Keywords: *Undaria pinnatifida*, Laver by-product, *Porphyra tenera*, Abalone, Formulated diet

서론

전복(*Haliotis* spp.) 양식은 한국, 중국, 일본 등 동아시아 지역에서 전복의 수요가 지속적으로 증가함에 따라 빠르게 확장되고 있다. 이러한 추세는 전 세계적으로 전복 양식의 중요성을 보여 주며, 2023년 국내 전복 생산량은 24,126톤에 달하고, 생산 가치는 5,404억원에 이르는 것으로 나타났다. 이는 전체 패류 양식 생산량의 5.8%와 생산금액의 57.3%를 차지하여 전복이 양식 분야에서 산업적으로 고부가 가치 종으로 자리매김하고 있음을 의미한다(KOSIS, 2024). 전복 양식업 종사자들은 관리의 용이성과 양식장 내 수질 유지에 유리한 자연산 해조류인 미역(*Undaria pinnatifida*)이나 다시마(*Saccharina japonica*)를 배합사료보다 선호하는 경향이 있다(Jang et al., 2018; Ansary et

al., 2019c). 그러나 이 해조류는 겨울철에만 자연 상태에서 이용 가능하며, 수온이 높은 하절기에는 건조하거나 염장하여 사용되기 때문에 해조류의 계절적 이용성 또한 전복 사료로써의 사용에 있어 제한적이다(Lee et al., 2018). 또한, 해조류의 높은 수분 함량은 영양밀도를 감소시켜 전복이 영양 요구량을 충분히 섭취하기 어렵게 하며, 특히 단백질과 필수 아미노산의 부족으로 인해 단백질 침착이 느려지고 성장이 저하된다(Bansemer et al., 2016). 단일 해조류만 공급한 전복(*Haliotis midae*)에서 배합사료를 공급한 전복에 비해 낮은 체중증가와 조직 내 단백질 함량이 더 낮았으며(Britz, 1996), 유사하게 다시마를 공급한 전복(*Haliotis rufescens*)은 25–38% 단백질을 함유한 배합사료를 먹인 전복에 비해 낮은 성장이 나타났다(Garcia-Esquivel and Felbeck, 2009). 전복(*Haliotis discus hannai*)의 단백질과

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 230. 3630 Fax: +82. 54. 230. 3635

E-mail address: maverickhur@korea.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.2024.0349>

Korean J Fish Aquat Sci 57(4), 349-354, August 2024

Received 31 May 2024; Revised 24 June 2024; Accepted 17 August 2024

저자 직위: 김준(박사후 연구원), 김강웅(연구관), 정성목(연구사), 배진호(연구사), 황일기(연구관), 김신권(연구관), 허상우(연구사)

지질 요구량은 각각 25.2–36.6%와 3.11–7.09% 범위로 알려져 있으나, 해조류의 영양 성분은 전복의 효율적인 성장을 달성하기 위한 단백질(아미노산)과 지질(지방산) 영양요구량에 부합하지 못하여, 지속 가능하고 안정적인 전복 생산을 위한 배합 사료 개발의 필요성이 대두되고 있다(Mai et al., 1995a, 1995b; Bansemer et al., 2016). 또한, 전복 치패용 배합 사료 내 해조류(미역, 다시마)의 사용은 양식 생산 비용을 상승시키는 주요 원인 중 하나이다. 이에 따라, 전복 양식 생산 비용을 절감하고 해양 자원의 효율적 사용을 도모하기 위해, 전복 배합사료 내 해조류를 대체할 수 있는 안정적인고 값싼 대체 원료의 개발이 필수적이다. 한국에서는 전복 사료에서 미역을 대체하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. Jeong et al. (2023)은 전복 사료 내 어분 10%와 미역을 30% 함유하였을 때 팽생이모자반(*Sargassum horneri*)으로 20%까지 대체 가능하다고 보고하였다. Ansary et al. (2019b)와 Ansary et al. (2019c)의 연구에 따르면 전복 사료 내 어분 25%와 미역을 20% 함유하였을 때 구멍갈파래(*Ulva australis*)와 팽생이모자반으로 각각 100%와 80%까지 성장의 저하 없이 대체 가능하였다. 또한, 전복 사료내 미역을 팽생이모자반과 구멍갈파래의 혼합분(1:1)으로 100% 대체하였을 때, 공기 노출 스트레스 테스트에서 팽생이모자반과 구멍갈파래의 혼합분을 공급한 실험구에서 높은 성장율과 생존율을 보였다(Ansary et al., 2019a). 국내 김(*Porphyra tenera*) 생산량은 2023년 총 해조류 생산량 174만톤 중 30.5%인 53만톤을 차지하여(KOSIS, 2024) 경제적으로 중요한 위치를 점하고 있으며, 국내 김 제품의 고품질화로 인해 수출성이 확대되어 향후 생산량은 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 그러나 김 제품의 가공 폐기되는 김 부산물(laver by-product, LB)은 해양 쓰레기로 환경오염을 유발하며, 해조산업의 발전을 저해하는 요인으로 작용하고 있다(Kim et al., 2005).

이 연구에서는 전복 배합사료 내 해조류(미역)를 폐기되는 LB로 대체하였을 때 전복의 생존율, 성장 및 가식부 일반성분 분석에 대하여 조사하였다. 또한, 폐기되는 LB를 전복용 배합 사료 내 해조류(미역, 다시마) 대체 원료로 이용함으로써 양식 생산 비용 절감, 해양 자원의 효율적인 사용과 지속 가능한 수산 양식 산업의 발전 가능성을 판단하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료 조성 및 일반성분

전복 치패용 실험사료 조성표 및 일반성분 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 실험사료 제조에 사용한 LB는 국립수산과학원 양식연구과의 협조를 받아 부산시 기장군 소재 양식장에서 폐기되는 김을 수거하여 자연 건조 후 가공하여 원료로 활용하였다. 대조구 사료는 어분 10%, 콘글루텐 13.5%, 대두박 17.3%를 주요 단백질원으로 하고, 소맥분 20.4%와 텍스트린 1.6%를 주요 탄수화물원으로 사용하였으며, 주요 지질원으로

어유 1.3%를 사용하였다. 대조구 사료는 미역을 30% 함유하였으며, 대조구 사료 내 미역을 LB로 각각 25%, 50%, 75%, 100% 대체한 LB25%, LB50%, LB75%, LB100% 사료를 각각 제조하였다. 모든 사료원료와 물은 1:1의 비율로 첨가하여 vertical mixer (HYVM-1214; Hanyoung Co., Hanam, Korea)를 사용하여 혼합하였으며, 2 mm의 두께의 1×1 cm 크기 펠렛형태로 잘라 제조하였다. 50°C 전기건조기(SHI-300; Shinhanil, Gwangju, Korea)에서 3시간 동안 건조시켜주었으며, -25°C 냉동고에 보관하였다.

실험동물 사육관리

이 실험에 사용된 전복 치패는 전라남도 해양수산과학원 수산 종자연구소의 협조를 받아 국립수산과학원 사료연구센터로 이송 후 사용하였다. 전복 치패는 3톤 FRP (fiberglass reinforced plastic) 사각수조에서 2주간 순치 및 예비사육을 실시하였다. 전복 치패(평균 체중, 1.01 g) 90마리를 20 L 유수식 사각수조

Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets (% DM basis)

	Experimental diets				
	Con	LB25	LB50	LB75	LB100
Ingredients (%)					
Fish meal	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
<i>Undaria pinnatifida</i> ^a	30.0	22.5	15.0	7.5	0.0
Laver by-product ^b	0.0	7.5	15.0	22.5	30.0
Corn gluten	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Soybean meal	17.3	17.0	16.7	16.3	16.0
Wheat flour	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2
Dextrin	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Vitamin mix ^c	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Mineral mix ^d	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Choline	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Calcium carbonate	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
CMC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fish oil	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8
Nutrients (%)					
Dry matter	87.0	86.4	87.6	88.9	87.5
Crude protein	31.2	33.6	34.7	36.1	37.2
Crude lipid	7.8	7.6	6.8	7.0	7.0
Ash	15.2	14.2	12.6	11.2	9.6

^a*U. pinnatifida* (crude protein, 20.04%; crude lipid, 2.54%; ash, 29.93%). ^bLaver *Porphyra tenera* by-product (crude protein, 34.09%; crude lipid, 0.96%; ash, 11.68%). ^cVitamin mix (Aqua-best-V, FEEDBEST CO., LTD. Cheonan, Korea). ^dMineral mix (Aqua-best-M, FEEDBEST CO., LTD. Cheonan, Korea). CMC, Carboxy methyl cellulose; LB, Laver by-product.

에 시험구별 3반복으로 각각 15개 수조에 분배하여 수용하였다. 자연광주기 조건으로 사육 기간은 총 6주간 실시하였으며, 사육 기간 동안 평균 수온은 $22.0 \pm 2.14^\circ\text{C}$ 의 범위였다. 실험 사료는 매일 16:00시에 전체 체중의 2%가 되도록 공급하였고, 매일 09:00시에 사육 수조 청소 및 전복 치폐 상태를 관찰하였다.

전복 성장 측정

6주간의 사육 실험 종료 후, 증체량(weight gain, WG)과 일일성장률(specific growth rate, SGR)을 측정하였다. 수조별로 20마리씩 개별로 digital vernier caliper (CD-P15S; Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japan)를 이용하여 각장(cm), 각폭(cm), 각고(cm), 가식부 무게(g) 및 전중량에 대한 가식부 비율을 측정하였다.

실험 사료 및 전복 가식부 일반성분 분석

전복 치폐 가식부를 수조별로 20마리씩 무작위로 샘플링하여 일반성분을 분석하였다. 사료 원료, 실험 사료와 전복 가식부의 일반성분 분석은 AOAC (1990) 방법에 따라 수분은 상압 가열건조법(135°C , 2시간), 조지방(에테르 추출법), 조단백질은 질소정량법($\text{N} \times 6.25$) Automatic Kjeldahl (Kjeldahl 8400; FOSS, Hillerød, Denmark)를 사용하여 분석하였으며, 조회분은 직접회화법(600°C , 6시간)으로 분석하였다.

통계 분석

실험 결과의 통계 처리는 SPSS version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 분석하였다. 각 측정 항목에 대해 One-way ANOVA를 실시한 후, Duncan's multiple range test를 이용하여 각 실험구 간의 유의성을 검정하였다. 실험 데이터는 평균±표준편차로 표현하였으며, $P < 0.05$ 를 유의 수준으로 설정하여 유의성을 판단하였다.

결과 및 고찰

실험사료를 6주간 공급한 전복의 성장결과를 Table 2에 나타

내었다. 전복의 생존율은 모든 실험구에서 100%였다. 전복의 WG와 SGR은 모든 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 이는 전복의 생존율과 성장이 대조구와 유사하게 나타나 전복 사료내 미역을 김부산물로 100% 대체 가능한 것으로 판단된다.

전복 사료 및 어류 사료에서 부산물을 활용하는 것은 환경 친화적이고, 양식 생산 비용 절감할 수 있는 방법 중 하나이다. 전복 사료내 해조류 및 어분을 대체하기 위해 무 부산물, 멧게피낭, 생미강, 참치부산물, 당근 잎 부산물, 양파 부산물 등 다양한 부산물을 활용한 결과가 보고된 바 있다(Jung et al., 2016; Kim et al., 2016; Lee et al., 2017, 2018; Choi et al., 2018; Jang et al., 2018; Baek et al., 2019; Jeong et al., 2020). 하지만 전복 사료내 해조류 대체원으로써 LB를 활용한 연구 결과는 보고되지 않았다. 김은 식이섬유와 미네랄이 풍부하며, 다른 해조류(미역, 다시마)에 비해 상대적으로 높은 단백질 함량을 가지고 있다(Mok et al., 2011). 또한, 홍조류인 김은 polyphenol, carotenoid, tocopherol, phlorotannin, fucoxanthin과 같은 다양한 무기질과 유기물질이 함유되어 있어 항산화제의 풍부한 원천으로 알려져 있으며 주요 탄수화물인 isofloridoside와 floridoside 같은 다량의 유리당이 함유되어 있다(Chanda et al., 2010; Lee et al., 2021). Mai et al. (1995b)의 연구에 따르면 전복치폐(*H. discus hannai*; 초기무게 0.38 g)의 적정 단백질요구량은 2차 회귀 분석(quadratic regression analysis) 결과 23.3–35.6%라고 보고되었다. 25% 실험구에서 가장 높은 WG가 나타났으며, 25% 실험구와 유의적인 차이는 나타나지 않았지만 단백질 함량이 높아지는 실험구의 WG가 오히려 감소하는 경향($30.4\% > 35.3\% > 40.0\%$)이 나타났다(Mai et al., 1995b).

또한, 2차다항회귀분석(second order polynomial regression analysis)에 따른 전복(*H. discus hannai*; 초기무게 2.7 g) 배합 사료내 단백질 요구량은 33.0%라고 보고되었으며, 각 단백질 함량별(25, 30, 35, 40%) 실험구간의 전복의 성장은 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Baek and Cho, 2021).

이 연구에서 실험사료의 단백질 함량은 31.2–37.2%였으며,

Table 2. Survival (%), weight gain (g/abalone) and specific growth rate (SGR) of abalone *Haliotis discus hannai* fed the experimental diets substituting *Undaria pinnatifida* with larva *Porphyra tenera* by-product for 6 weeks

Experimental diets	Initial weight (g/abalone)	Final weight (g/abalone)	Survival (%)	Weight gain (g/abalone)	SGR ¹ (%/day)
Control	1.01±0.003 ^a	2.48±0.069 ^a	100.00±0.000 ^a	1.48±0.067 ^a	2.15±0.061 ^a
LB25	1.00±0.004 ^a	2.53±0.032 ^a	100.00±0.000 ^a	1.53±0.031 ^a	2.20±0.029 ^a
LB50	1.00±0.001 ^a	2.52±0.022 ^a	100.00±0.000 ^a	1.51±0.022 ^a	2.19±0.021 ^a
LB75	1.00±0.004 ^a	2.55±0.056 ^a	100.00±0.000 ^a	1.55±0.052 ^a	2.22±0.042 ^a
LB100	1.02±0.002 ^a	2.58±0.049 ^a	100.00±0.000 ^a	1.57±0.049 ^a	2.22±0.045 ^a
P-value	P>0.1	P>0.5	P>0.3	P>0.6	P>0.8

¹Specific 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. LB, Laver by-product. Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P > 0.05$).

Table 3. Shell length, Shell width, Shell height, soft body weight and ratio of soft body to total weight of abalone *Haliotis discus hannai* fed the experimental diets substituting *Undaria pinnatifida* with lavar *Porphyra tenera* by-product for 6 weeks

Experimental diets	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Shell height (mm)	Soft body weight (g)	Soft body weight/total weight
Control	26.08±0.502 ^a	17.57±0.301 ^a	5.68±0.047 ^a	1.58±0.087 ^a	0.66±0.006 ^a
LB25	26.25±0.306 ^a	17.57±0.173 ^a	5.69±0.049 ^a	1.60±0.021 ^a	0.67±0.006 ^a
LB50	26.70±0.430 ^a	18.09±0.220 ^a	5.70±0.093 ^a	1.78±0.088 ^a	0.67±0.003 ^a
LB75	26.90±0.300 ^a	18.16±0.076 ^a	5.49±0.070 ^a	1.80±0.038 ^a	0.67±0.003 ^a
LB100	27.18±0.260 ^a	18.51±0.143 ^a	5.70±0.030 ^a	1.84±0.024 ^a	0.67±0.003 ^a
P-value	P>0.6	P>0.2	P<0.3	P<0.2	P>0.3

LB, Laver by-product. Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different (P>0.05).

전복의 성장은 사료내 단백질 함량에 따른 영향을 받지 않았을 것으로 사료된다. 이러한 결과를 고려할 때 장기간의 사육 실험시 LB의 전복의 성장 개선 효과가 나타날 것으로 사료된다.

전복의 각장, 각폭, 각고, 가식부 무게 및 가식부 비율을 Table 3에 나타내었다. 각장, 각폭, 각고는 모든 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 전복의 가식부 무게 및 가식부 비율은 모든 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 전복의 각장, 각폭, 각고 및 가식부 중량은 전복의 성장에 따라 반영되는 것으로 보고되었다(Ansary et al., 2019a, 2019b, 2019c; Baek et al., 2019; Jeong et al., 2020). 앞선 연구들과 유사하게, 이 연구 또한 체중증가와 SGR의 결과를 잘 반영하였으며, 전복의 각장, 각폭, 각고 및 가식부 무게 또한 미역을 김부산물로 대체할수록 높은 결과가 나타나 장기간 사육 실험시 유의적으로 우수한 결과가 나타날 것으로 사료된다.

전복의 사육실험 종료 시 전복 가식부의 일반성분 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전복 가식부의 수분함량은 76.7–78.0%, 조단백질 함량은 14.0–14.7%, 조지질 함량은 1.8–2.1%, 회분 함량은 2.2–2.7%의 범위로서 모든 실험구간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 이 연구와 유사하게, 전복의 사료

내 미역을 당근 잎 부산물분과 양파 부산물분으로 대체하여도 전복 가식부의 화학적 조성에 영향을 미치지 않는다고 보고하였으며(Baek et al., 2019; Jeong et al., 2020), 전복의 사료내 미역을 구멍갈파래와 팽생이모자반으로 각각 대체하여도 전복의 가식부의 화학적 조성에 영향을 미치지 않았다(Ansary et al., 2019a, 2019b). 그러나 본 연구와 달리 전복 사료 내 생미강, 무 부산물과 명게피낭으로 해조류(미역, 다시마)를 대체한 실험사료는 전복 가식부의 화학적 조성에 큰 영향을 미친다고 보고되었다(Lee et al., 2017, 2018; Jang et al., 2018).

이 연구는 전복 배합사료에서 미역을 LB로 대체한 모든 실험구에서 전복의 생존율, 성장 및 가식부 일반성분 결과는 대조구와 비교하여 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 LB가 전복 사료의 경제적이고 지속 가능한 해조류(미역) 대체 원료로 사용될 수 있음을 시사한다. 이 연구결과를 바탕으로, 보다 명확한 결론 도출을 위해 추후 사료원료, 사료 및 전복의 지방산, 아미노산 분석, 사료의 수중안정성, 전복의 건강도 평가 및 장기적인 사육 실험 등을 실시하여, 이를 통해 전복 양식 산업의 비용 절감 및 해양 자원의 효율적 사용을 도모할 수 있을 것이라 사료된다.

사 사

이 논문은 2024년도 국립수산물과학원 미이용 해조류 활용 사료 자원화 연구(R2024037) 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Ansary MWR, Baek SI, Jeong HS, Lee KW, Cho SH, Kim HS and Jwa MS. 2019a. Substitution effect of the combined fouling macroalgae *Ulva australis* and *Sargassum horneri* for *Undaria pinnatifida* in formulated diets on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846) subjected to air exposure stressor. *J Appl Phycol* 31, 3245-3254. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01812-x>.
- Ansary MWR, Jeong HS, Lee KW, Kim HS, Kim J, Yun A,

Table 4. Proximate composition (% of wet weight) of abalone *Haliotis discus hannai* fed the experimental diets substituting *Undaria pinnatifida* with lavar *Porphyra tenera* by-product for 6 weeks

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Control	76.7±0.14 ^a	14.6±0.07 ^a	2.0±0.02 ^a	2.7±0.01 ^a
LB25	77.5±0.01 ^a	14.7±0.12 ^a	2.1±0.02 ^a	2.3±0.00 ^a
LB50	77.8±0.07 ^a	14.7±0.13 ^a	1.9±0.07 ^a	2.2±0.01 ^a
LB75	78.0±0.03 ^a	14.0±0.01 ^a	2.0±0.03 ^a	2.3±0.01 ^a
LB100	78.0±0.04 ^a	14.5±0.03 ^a	1.8±0.01 ^a	2.3±0.01 ^a
P-value	P>0.4	P>0.5	P>0.4	P>0.4

LB, Laver by-product. Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different (P>0.05).

- Cho SH, Kim PY and Kim T. 2019c. The effect of substituting *Undaria pinnatifida* in formulated feeds with *Sargassum horneri* on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *J Appl Phycol* 31, 2125-2132. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1672-2>.
- Ansary MWR, Jeong HS, Lee KW, Kim PY, Kim J, Yun A, Cho SH and Kim T. 2019b. Dietary substitution effect of *Ulva australis* for *Undaria pinnatifida* on growth, body composition and air exposure of juvenile abalone, *Haliotis discus* (Reeve 1846). *J Appl Phycol* 31, 1467-1474. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1654-4>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis (15th edn). AOAC, Arlington, VA, U.S.A.
- Baek SI and Cho SH. 2021. Dietary protein requirements of abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846) depending on abalone size. *Fish Aquatic Sci* 24, 129-136. <https://doi.org/10.47853/FAS.2021.e13>.
- Baek SI, Kim PY, Jeong HS, Ansary MWR, Lee KW, Cho SH, Kim HS and Byun SG. 2019. The effect of dietary substitution of *Undaria pinnatifida* with carrot leaf by-product on the growth and soft body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *J Appl Phycol* 31, 3235-3243. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01796-8>.
- Bansemmer MS, Qin JG, Harris JO, Howarth GS and Stone DA. 2016. Nutritional requirements and use of macroalgae as ingredients in abalone feed. *Rev Aquac* 8, 121-135. <https://doi.org/10.1111/raq.12085>.
- Britz PJ. 1996. The suitability of selected protein sources for inclusion in formulated diets for the south African abalone, *Haliotis Midiae*. *Aquaculture* 140, 63-73. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01197-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01197-8)
- Garcia-Esquivel Z and Felbeck H. 2009. Comparative performance of juvenile red abalone, *Haliotis rufescens*, reared in laboratory with fresh kelp and balanced diets. *Aquac Nutr* 15, 209-217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00585.x>.
- Chanda S, Dave R, Kaneria M and Nagani K. 2010. Seaweeds: A novel, untapped source of drugs from sea to combat infectious diseases. In: Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. Méndez-Vilas A, eds. ed. Formatex Research Center, Badajoz, Spain, 473-480.
- Choi DG, Kim J, Yun A, Cho SH, Jeong HS, Lee KW, Kim HS, Kim PY and Ha MS. 2018. Dietary substitution effect of fish meal with tunic meal of sea squirt, *Halocynthia roretzi*, Drasche on growth and soft body composition of juvenile abalone, *Haliotis discus*, Reeve 1846. *J World Aquacult Soc* 49, 1095-1104. <https://doi.org/10.1111/jwas.12537>.
- Lee CW, Ahn YT, Zhao R, Kim YS, Park SM, Jung DH, Kim JK, Kim HW, Kim SC and An WG. 2021. Inhibitory effects of *Porphyra tenera* extract on oxidation and inflammatory responses. *Evid Based Complement Alternat Med* 2021, 6650037. <https://doi.org/10.1155/2021/6650037>.
- Lee KW, Kim HS, Choi DG, Jang BI, Kim HJ, Yun A, Cho SH, Min B, Kim K and Han H. 2017. Effects of substitution of fish meal (FM) and macroalgae (MA) with soybean meal and rice bran in a commercial juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) diet on growth performance. *Turk J Fish Aquat Sci* 17, 519-526. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_3_08.
- Lee KW, Kim HS, Kim PY, Jeong HS, Kim J, Yun A and Cho SH. 2018. Substitution effect of white radish (*Raphanus sativus* L.)' by-product and tunic of sea squirt (*Halocynthia roretzi*, von Drasche) for *Undaria pinnatifida* in feed of abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *Fish Aquat Sci* 21, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0089-9>.
- Jang B, Kim PY, Kim HS, Lee KW, Kim HJ, Choi DG, Cho SH, Min B, Kim K and Han H. 2018. 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). *Aquac Nutr* 24, 586-593. <https://doi.org/10.1111/anu.12593>.
- Jeong HS, Cho SH and Lee KW. 2020. Dietary substitution effect of *Undaria pinnatifida* with onion extract by-product on growth, chemical composition and air exposure stress of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846). *Aquaculture* 529, 735718. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735718>.
- Jeong SM, Gunathilaka BE, Khosravi S, Cho MU, Kwak I, Han YS and Lee SM. 2023. Effects of *Sargassum horneri* as a substitute for *Undaria pinnatifida* in high plant protein diet for juvenile Pacific abalone (*Haliotis discus discus*, Reeve 1846). *Aquac Rep* 30, 101607. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101607>.
- 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. <https://doi.org/10.1111/jwas.12255>.
- Kim SJ, Ma SJ and Jang YS. 2005. Extraction and quality characteristics of porphyran from laver (*Porphyra yezoensis*) waste. *Korean J Food Culture* 20, 446-450.
- Kim Y, Myung SH, Kim HS, Jung W, Cho SH, Jwa MS, Kim PY, Kim MK, Park M and Kim B. 2016. Effect of dietary substitution of sea tangle (ST), *Laminaria japonica* with rice bran (RB) on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*). *Aquac Res* 47, 1202-1208. <https://doi.org/10.1111/are.12577>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2024. Survey on Trend in Aquaculture. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on Jul 18, 2024.
- 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. III. Responses of abalone to various levels of dietary lipid. *Aquaculture* 134, 65-80. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00043-2](https://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. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01041-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01041-6).
- Mok JS, Lee TS, Son KT, Song KC, Kwon JY, Lee KJ and Kim JH. 2011. Proximate composition and mineral content of laver *Porphyra yezoensis* from the Korean coast. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 554-559. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.0554>.