

사료내 석류(*Punica granatum*) 주스 착즙 부산물 첨가가 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어의 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성상 및 lysozyme 활성에 미치는 영향

이태훈 · 오화용 · 강다예 · 권도현 · 김영욱 · 김기태* · 김희성†
경상국립대학교(학생 · †교수) · *국립수산과학원(연구사)

Effects of Pomegranate *Punica granatum* Juice By-products Supplementation in Diet on Growth Performance, Feed Utilization, Body Composition, Blood Chemistry, and Lysozyme Activity of Juvenile Korean Rockfish *Sebastes schlegelii*

Tae-Hoon LEE · Hwa-Yong OH · Da-Ye KANG · Do-Hyun KWON · Young-Wook KIM ·
Ki-Tae KIM* · Hee-Sung KIM†

Gyeongsang National University(student · †professor) · *National Institute of Fisheries Science(researcher)

Abstract

This study evaluated the effects of dietary supplementation with pomegranate (*Punica granatum*) juice by-products (PJBP) on growth performance, feed utilization, body composition, blood chemistry, and lysozyme activity of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). Fish with an initial average body weight of 15.2 g were randomly distributed into 50 L rectangular flow-through plastic tanks and fed one of the experimental diets: a control (without PJBP) or diets supplemented with 0.5% and 1.0% PJBP powder, each in triplicate groups. After a 56-day feeding trial, results revealed that dietary PJBP had no significant influence on final body weight, weight gain, specific growth rate, feed consumption, feed efficiency, and survival. Similarly, whole-body proximate composition (moisture, crude protein, crude lipid, and ash) and blood chemistry remained unaffected by PJBP supplementation. In contrast, fish receiving the diet containing 1.0% PJBP exhibited a significantly higher lysozyme activity compared with the control group. Collectively, these findings suggest that PJBP can be incorporated into the diet of juvenile Korean rockfish without adverse effects on growth performance, nutrient utilization, and physiological condition, while also enhancing lysozyme activity, and a supplementation level of 1.0% is recommended as optimal.

Key words : Korean rockfish, Pomegranate juice by-products, Feed additive, Growth performance, Lysozyme activity

I. 서론

조피볼락(*Sebastes schlegelii*)은 한국, 일본 및

중국 일부 지역의 얇은 암반 해안에 서식하는 어종으로 알려져 있다(Mizanur et al., 2014). 조피볼락 양식업은 1987년부터 발전하기 시작하였으며

† Corresponding author : 055-772-9254, bluesonn@gnu.ac.kr

* 이 논문은 2025년도 국립수산과학원 수산시험연구사업 패류양식 먹이생물 확보 및 생산기술 개발(R2025046) 지원으로 수행된 연구입니다.

‡ 이 논문은 교육부와 경상남도의 재원으로 지원을 받아 수행된 경상남도 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 연구입니다.

(Bai et al., 2001), 낮은 수온에 대한 높은 내성, 빠른 성장 속도, 높은 생존율 등과 같은 다양한 장점으로 인해 양식에 적합한 어종으로 평가받고 있다(Lee et al., 2000; Moore et al., 2000). 2024년 기준 국내 조피볼락 양식 생산량은 14,463톤으로 나타났으며(KOSIS, 2025), 이는 국내 해산 양식어류 총생산량의 약 18%로, 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에 이어 두 번째로 높은 생산량을 기록하였다. 일반적으로 해산어류 양식에서 사료비는 전체 생산비용의 절반 이상을 차지하며(Lee and Nam, 2020), 이에 사료비 절감은 양식산업의 경제성 확보에 있어 핵심적인 요소로 작용한다. 그러나 기존 사료원료의 높은 단가와 국제 원료 가격 변동은 사료비용 상승의 주요 요인으로 작용하고 있다(Glencross et al., 2020). 이에 따라, 영양학적 가치가 높고 비용이 비교적 저렴한 식물성 부산물과 폐기물을 사료 원료로 활용하려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Naylor et al., 2021).

전 세계적으로 농업 및 식품 가공 산업에서는 과일과 채소의 가공 과정에서 대량의 부산물이 발생하며(Caipang et al., 2019), 과일의 경우 약 1/3이 폐기되고 있는 실정이다(Dawood et al., 2022). 그러나 이러한 과일 부산물에는 anthocyanins, polyphenols, flavonoids, tannins, 미네랄, 지방산, 생리활성 펩타이드 등 다양한 기능성 생리활성 화합물이 함유되어 있다(Dawood et al., 2022). 이들 성분은 수생 동물의 항산화 활성, 면역 반응 및 스트레스 저항성을 향상시키는 데 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Frosi et al., 2021), 이에 따라 최근에는 kinnow (*Citrus reticulata* L.) 껍질 분말, 포도(*Vitis vinifera*) 씨 추출물, 망고스틴(*Garcinia mangostana*) 껍질 추출물, 광귤(*C. aurantium* L.) 껍질 분말, 블러드오렌지(*C. sinensis* L. Osbeck) 껍질 등과 같은 과일 부산물을 기능성 사료원료로 활용하여 다양한 어종을 대상으로 한 연구 결과가 보고된 바 있다(Singh and Srivastava, 2022; Terzi et al., 2023; Yostawonkul et al., 2023; Gressler et al., 2024; Lee

et al., 2024). 따라서, 과일 부산물을 사료첨가제로 활용하는 것은 자연 순환을 통해 산업 폐기물 문제를 완화하고 환경 부담을 경감시키는 동시에, 경제적 부가가치를 창출할 수 있는 지속가능한 대안으로 주목받고 있다(Elferink, Nonhebel, Moll, 2008).

석류(*Punica granatum*)는 석류과에 속하는 대표적인 식용 과일로 전 세계 여러 지역에서 널리 재배되며(Acar et al., 2018), 주로 와인, 잼, 주스 등 가공 형태로 소비된다(Sönmez et al., 2022). 특히, 석류 주스 생산 과정에서는 껍질을 포함한 부산물이 대량으로 발생하는데(Kaderides et al., 2015), 기능성 성분이 풍부함에도 불구하고 대부분 폐기되고 있다. 석류에는 ellagitannins와 gallotannins (punicalin, punicalagin, pedunculagin, punigluconin, granatin B, strictinin A, tellimagrandin I 등)과 같은 polyphenols (Satomi et al., 1993), 그리고 delphinidin, cyanidin, pelargonidin 등의 anthocyanins (Noda et al., 2002)이 풍부하게 함유되어 있으며, 이러한 성분들은 항산화, 항종양, 항염증, 항암 및 항균 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다(Prashanth et al., 2001; Braga et al., 2005; Reddy et al., 2007; Lansky and Newman, 2007). 이러한 이점으로 인해 석류 껍질 (Hamed and Abdel-Tawwab, 2021; Yousefi et al., 2023) 및 석류 껍질 추출물(Gupta et al., 2023; Sayed-Lafi et al., 2024)을 사료첨가제로 활용한 연구들이 수행된 바 있으나, 석류 주스 착즙 부산물 (pomegranate juice by-products, PJPB)을 이용하여 조피볼락의 성장과 건강 증진에 미치는 영향을 평가한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 조피볼락 치어 사료 내 PJPB 첨가시 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성장 및 lysozyme 활성에 미치는 영향을 평가하여 석류 주스 제조 과정에서 발생하는 부산물의 기능성 사료 첨가제로서의 활용 가능성을 검증하고자 하였다.

사료내 석류(*Punica granatum*) 주스 착즙 부산물 첨가가 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어의 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성상 및 lysozyme 활성에 미치는 영향

II. 연구 방법

1. 실험어 및 사육 조건

조피볼락 치어는 개인 양어장(경상남도, 남해)에서 구입한 후, 경상국립대학교 해양생물교육연구센터(경상남도, 통영)로 운송하였다. 이후 2주간의 순치 기간을 통해 사육환경에 적응시켰으며, 순치 기간 동안에는 1일 2회 시판용 침강사료(천하제일사료, 조단백질: 52%, 조지질: 10%)를 충분히 공급하였다. 사육실험 개시 전 24시간 동안 절식시킨 조피볼락 치어(마리당 평균: 15.2 ± 0.00 g)는 각 수조당 무작위로 15마리씩 9개의 50 L 직사각형 유수식 플라스틱 수조(유수량: 2.7 L/min)에 수용하였으며, 실험구는 3반복구로 두었고 모든 수조에는 충분한 aeration을 시켜주었다. YSI Pro Plus multiparameter (YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA)를 사용하여 수온(20.6 ± 0.1 °C), 염도(30.5 ± 0.06 psu) 및 용존산소(6.0 ± 0.11 mg/L)를 매일 측정하였으며, 광주기는 자연 광주기를 따랐다. 또한, 사육실험은 경상국립대학교 동물실험윤리위원회의 윤리규정(승인번호, GNU-240325-E0065)을 준수하면서 진행되었다.

2. 석류 주스 착즙 부산물(PJBP) 분말 제조

본 연구에 사용된 석류는 개인 업체로부터 구매하였으며, 흐르는 물로 세척한 후 착즙기(H-300L-DBFC03, Hurom Co. Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 PJBP를 얻었다. PJBP는 건조기(KED-M07D1; Kiturami Co. Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 40°C에서 48시간 동안 건조한 뒤 분쇄하였다. 이후 제조된 PJBP 분말은 사료 제조 전까지 -20°C에서 보관하였다.

3. PJBP 기능성 물질 분석

총 phenolics 함량은 Folin-Ciocalteu reagent (Gutfinger, 1981)로 측정하였다. 샘플 50- μ L를 1

mL Folin-Ciocalteu reagent와 혼합 후, 3분간 반응시키고 10% sodium carbonate solution 1 mL를 첨가하여 실온에서 60분간 배양시킨 뒤 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였으며, 결과는 gallic acid mg/100g로 표시하였다.

총 flavonoid 함량은 Moreno et al.(2000)의 방법에 따라 분석되어졌다. 샘플 1 mL를 10% aluminum nitrate 0.1 mL, 1 mol/L aqueous potassium acetate 0.1mL, 80% ethanol 4.3mL로 희석하였고 실온의 암실에서 40분간 반응시킨 후 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 quercetin (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였으며, 결과는 quercetin mg/g로 표시하였다.

4. 실험사료

본 연구에서 사용된 실험사료의 조성 및 일반 성분 결과는 <Table 1>에 나타내었다. 실험사료는 전갱이분과 탈피대두박을 주요 단백질원으로 사용하였고, 지질원으로는 어유 및 대두유를 사용하였으며, 탄수화물원으로는 소맥분을 사용하였다. 대조구(Con) 사료는 PJBP를 첨가하지 않았으며, 나머지 실험사료는 대조구 사료에 첨가한 소맥분을 각각 0.5 및 1%의 PJBP로 대체하여 (PJBP0.5 및 PJBP1) 총 3종류의 실험사료를 제조하였다. 모든 실험원료는 균일하게 혼합한 뒤, 실험실용 펠렛 제조기(3 mm diameter; SL Machinery, Incheon, Korea)를 사용하여 압출 성형하였다. 이후 성형된 펠렛은 24°C에서 48시간 동안 건조기(KED-M07D1, Kiturami Co., Seoul, Korea)를 사용하여 건조시킨 후, 사료공급 전까지 -20°C에 보관하였다. 또한 사육실험 기간 동안 실험사료는 1일 2회(09:00, 17:00) 반복 공급하였다.

5. 어체 측정

56일간의 사육실험 종료 후 어체 측정을 위해

<Table 1> Formulation and proximate composition of the experimental diets (DM basis, %) containing different concentration of pomegranate juice by-products (PJPB)

	Experimental diets		
	Con	PJPB0.5	PJPB1
Jackmackerel meal	60	60	60
Dehulled soybean meal	10	10	10
Wheat flour	20.5	20	19.5
PJPB1	0	0.5	1
Fish oil	3.5	3.5	3.5
Soybean oil	3.5	3.5	3.5
Vitamin premix ²	1	1	1
Mineral premix ³	1	1	1
Choline	0.5	0.5	0.5
<i>Proximate composition (%)</i>			
Dry matter	95.6	94.9	95.4
Crude protein	52.0	51.9	52.1
Crude lipid	13.6	13.3	13.8
Ash	12.7	12.9	13.0

¹PJPB (pomegranate juice by-products) was supplied from the local store. ²Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): 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; cyanocobalamin, 0.003. ³Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

모든 실험어를 24시간 동안 절식시켰다. 이후 100 ppm 농도의 tricaine methanesulfonate (MS-222; Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MI, USA)를 사용하여 마취시킨 뒤 각 수조의 최종 무게 및 생존 개체 수를 측정하여 기록하였으며, 어체의 무게 및 체장을 측정하여 어체중증가(weight gain, WG), 일일성장률(specific growth rate, SGR), 사료효율(feed efficiency, FE), 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER) 및 비만도(condition factor, CF)를 평가

하였다. 또한, 간중량지수(hepatosomatic index, HSI) 및 내장중량지수(viscerosomatic index, VSI)를 계산하기 위해 간과 내장을 박리하여 각각의 무게를 측정하였다.

6. 혈액 샘플

혈액성상 및 lysozyme 활성 분석을 위한 혈액 샘플을 얻기 위해 각 수조당 무작위로 5마리를 선택하여 MS-222 (100 ppm)로 마취하였다. 이후 조피볼락 치어의 미부정맥으로부터 헤파린 처리한 1 mL 주사기와 처리하지 않은 1 mL 주사기를 이용하여 혈액을 채혈하였다. 채혈한 혈액은 혈장 및 혈청을 분리하기 위해 8,000 rpm으로 10 분간 원심분리한 뒤, 분석 전까지 -80°C에 보관하였다.

7. 일반성분 분석

일반성분 분석은 AOAC(2005) 표준분석방법에 따라 수행하였으며, 이를 위해 각 수조당 무작위로 2마리를 선택하여 균질화하였다. 조단백질은 KD310-A-1015 KjelROC Analyzer (OPSIS Liquid LINE, Swden)를 사용하여 분석하였고 조지질은 에테르 추출법(ST 243 Soxtec TM; FOSS, Hillerod, Denmark)을 이용하여 분석하였으며, 수분은 10 5°C의 dry oven에서 24시간 동안 건조한 후 분석하였다. 또한, 회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다.

8. 혈액성상 분석

혈액성상 분석은 자동혈액분석기(FUJI Dri-Chem NX500i; Fujifilm, Tokyo, Japan)를 이용하여 혈장 내 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), total cholesterol (T-CHO), glucose (GLU) 및 total protein (TP) 함량을 분석하였다.

사료내 석류(*Punica granatum*) 주스 착즙 부산물 첨가가 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어의 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성상 및 lysozyme 활성에 미치는 영향

9. Lysozyme 활성 분석

혈청 lysozyme 활성 분석은 Lange et al.(2001)의 방법에 따라 수행되었으며, 최종 농도가 0.4 mg/ml인 균액을 제조하기 위해 *Micrococcus lysodeikticus*를 pH 6.2로 조절한 50 mM Phosphate Buffer에 현탁한 후, 96 well plate에 혈청 시료와 균액을 각각 25 μ l 및 75 μ l씩 분주하여 상온에서 0분 반응하고 5분 간격으로 600 nm에서 총 30분 동안 spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, Tewksbury, MA, USA)를 사용하여 흡광도를 측정하였다.

10. 통계 분석

모든 실험 결과는 mean \pm SE로 나타내었으며, 통계 분석은 SPSS version 27.0 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 수행하였다. 또한, 각 실험구간의 유의성(P<0.05)을 검정하기 위해 One-way analysis of variance (ANOVA)와 Tukey's HSD test를 실시하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. PJBP의 화학적 조성

PJBP의 화학적 조성은 <Table 2>에 나타내었다. 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량은 각각 16.2 mg/100g 및 14.5 mg/g로 나타났다.

<Table 2> Total phenolics and total flavonoids contents of the pomegranate juice by-products (PJBP)

Experimental diets	PJBP ¹ Composition
Chemical compounds	
Total phenolics (gallic acid mg/100g)	16.2 \pm 4.88
Total flavonoids (quercetin mg/g)	14.5 \pm 6.79

¹PJBP, pomegranate juice by-products.

2. 성장 및 사료이용성

56일간의 사육실험 종료시 PJBP 첨가 함량에 따른 조피볼락 치어의 성장 및 사료이용성 결과를 <Table 3>에 나타내었다. 최종 무게, 어체중증가, 일일성장률, 사료공급량, 사료효율, 비만도, 내장중량지수, 간중량지수, 생존율은 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05).

<Table 3> Growth performance and feed utilization of Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) fed experimental diets for 56 days

Experimental diets	Con	PJBP0.5	PJBP1
IBW ¹ (g/fish)	15.2 \pm 0.00	15.2 \pm 0.00	15.2 \pm 0.00
FBW ² (g/fish)	35.9 \pm 0.23	35.8 \pm 0.84	34.7 \pm 1.10
WG ³ (g/fish)	20.7 \pm 0.23	20.6 \pm 0.84	19.5 \pm 1.10
SGR ⁴ (%/day)	1.8 \pm 0.01	1.8 \pm 0.05	1.8 \pm 0.07
FC ⁵ (g/fish)	25.6 \pm 0.60	23.7 \pm 1.10	24.1 \pm 2.02
FE ⁶	0.8 \pm 0.02	0.9 \pm 0.02	0.8 \pm 0.02
PER ⁷	1.6 \pm 0.02	1.7 \pm 0.03	1.6 \pm 0.04
CF ⁸	1.7 \pm 0.07	1.7 \pm 0.02	1.8 \pm 0.05
VSI ⁹	2.0 \pm 0.03	2.0 \pm 0.06	1.9 \pm 0.05
HSI ¹⁰	3.4 \pm 0.16	3.2 \pm 0.09	3.2 \pm 0.21
Survival (%)	97.8 \pm 2.22	100.0 \pm 0.00	100.0 \pm 0.00

Values are mean of triplicate groups and presented as mean \pm SE. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments. ¹IBW, initial body weight; ²FBW, final body weight; ³Weight gain (WG, g/fish)=final body weight-initial body weight; ⁴Specific growth rate (SGR, %/day)=(In final weight of fish-In initial weight of fish)/days of feeding trial \times 100; ⁵Feed consumption (FC, g/fish)=dry feed consumed; ⁶Feed efficiency (FE)=weight gain of fish/feed consumed; ⁷Protein efficiency ratio (PER)=weight gain of fish/Protein consumed, ⁸Condition factor (CF)=fish weight/total length³; ⁹Viscerosomatic index (VSI, %)=100 \times (visceral weight/body weight); ¹⁰Hepatosomatic index (HSI, %)=100 \times (hepatopancreas weight/body weight).

3. 체조성

56일간의 사육실험 종료 후, 전어체의 일반성분 분석 결과는 <Table 4>에 나타내었다. 일반성분 분석 결과, 수분, 조단백질, 조지질 및 회분함량은 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

<Table 4> Whole-body composition of Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) fed experimental diets for 56 days

Experimental diets	Con	PJBP0.5	PJBP1
Moisture (%)	68.0±0.10	68.2±0.07	68.1±0.07
Crude protein (%)	17.5±0.03	17.4±0.15	17.7±0.20
Crude lipid (%)	9.9±0.03	10.0±0.12	9.9±0.09
Ash (%)	4.3±0.09	4.1±0.09	4.2±0.12

Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SE. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments.

4. 혈액성상

56일간의 사육실험 종료시 조피볼락 치어의 혈액성상 분석 결과를 <Table 5>에 나타내었다. 혈액내 AST, ALT, T-CHO, GLU 및 TP 함량은 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

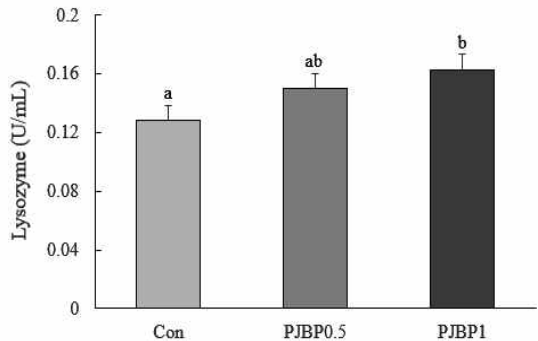
5. Lysozyme 활성

사육실험 56일 후 조피볼락 치어의 혈청 내 lysozyme 활성은 [Fig. 1]에 나타내었다. 혈청 lysozyme 활성 분석 결과, Con 사료를 공급한 실험구는 PJBP0.5 사료를 공급한 실험구와 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 ($P>0.05$), PJBP1 사료를 공급한 실험구와는 유의적인 차이가 나타났다($P<0.05$).

<Table 5> Hematological parameters of Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) fed experimental diets for 56 days

Experimental diets	Con	PJBP0.5	PJBP1
AST ¹ (U/L)	84.0±15.70	74.7±6.36	59.0±0.58
ALT ² (U/L)	35.7±5.61	38.3±7.97	35.3±2.91
T-CHO ³ (mg/dL)	185.0±37.22	204.7±13.30	205.3±8.45
GLU ⁴ (mg/dL)	51.7±8.09	51.7±11.84	60.7±5.04
TP ⁵ (g/dL)	4.9±0.43	3.7±0.50	4.5±0.41

Values are mean of triplicate groups and presented as mean±SE. The lack of superscript letter indicates no significant differences among treatments. ¹AST, aspartate aminotransferase; ²ALT, alanine aminotransferase; ³T-CHO, total cholesterol; ⁴GLU, glucose; ⁵TP, total protein.



[Fig. 1] Lysozyme activity (U/mL) of Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) fed experimental diets 56 days. All data are shown as mean±SE of three replicates. The bars assigned with different letters denote that differences are statistically significant ($P<0.05$).

IV. 결론

과일 부산물은 환경 친화적일 뿐만 아니라, 저렴한 비용과 더불어 anthocyanins, polyphenols 등

다양한 생리활성 화합물을 풍부하게 함유하고 있어(Naylor et al., 2021) 사료첨가제로서의 활용 가능성이 높게 평가되고 있다(Frosi et al., 2021). 특히, 석류 부산물은 polyphenol 및 flavonoid와 같은 생리활성 화합물(Nazeam et al., 2020; Ko et al., 2021)을 함유하고 있는 것으로 보고되었다. 본 연구에서도 PJPB에서 총 phenolic 및 flavonoid 함량을 확인하였으며, 이는 PJPB가 항산화 및 면역 개선 효과를 기대할 수 있는 기능성 사료첨가제로 활용될 가능성을 시사한다.

본 연구 결과, 사료내 PJPB 첨가는 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성 및 생존율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 특히, PJPB0.5 및 PJPB1 실험구의 생존율은 100%로 나타났으며, 이는 PJPB가 조피볼락 치어의 생존에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 보여진다. 이전 연구에 따르면, Asian sea bass (*Lates calcarifer*) 사료내 발효 레몬(*C. aurantifolia*) 껍질 첨가는 성장 및 사료이용성에 영향을 미치지 않았으며(Zhuo et al., 2021), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)의 경우에도 사료내 포도 주스부산물 및 건조 레몬 껍질 첨가가 성장, 사료이용성 및 생존율에 영향을 주지 않았다(Peña et al., 2020; Chekani et al., 2021). 또한, 사료내 2% 파인애플(*Ananas comosus*) 부산물(껍질 및 줄기)이 첨가된 사료를 공급받은 European sea bass (*Dicentrarchus labrax*)에서도 유사한 결과가 나타났다(Pereira et al., 2025). 반면, 일부 연구에서는 사료내 과일 부산물의 첨가가 대상 어종에게 긍정적이거나 부정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. Qiang et al.(2019)에 따르면, 0.2%의 사과(*Malus Pumila*) 껍질 분말을 첨가한 사료를 공급받은 GIFT 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)는 성장이 개선되었으나, 0.8% 이상 첨가하였을 경우에는 부정적인 영향이 보고되었다. 이는 과도한 섬유질이 장 구조 손상을 유발하거나 미네랄과 결합하여 영양소의 생체 이용률을 저하시킴으로써, 결과적으로 질소 및 에너지 이용 효율을 감소시킨 것으로 보여진다

(Gorinstein et al., 2001). 또한, 사료내 5 g/kg 석류 껍질 첨가는 잉어(*Cyprinus carpio*)의 성장 및 사료이용성에 영향을 미치지 않았으나, 10-20 g/kg 첨가할 경우, 부정적인 영향이 나타났다(Yousefi et al., 2023). 이러한 결과는 소화율을 감소시키는 다량의 polyphenols 및 식이섬유의 존재 때문인 것으로 알려져 있으며(Skrt et al., 2022), 석류 부산물은 polyphenols, 식이섬유 등을 함유하고 있는 것으로 보고된 바 있다(Mphahlele et al., 2016; Ko et al., 2021). 본 연구에서는 PJPB 첨가 함량에 따른 성장 및 사료이용성의 차이가 나타나지 않았으며, 이는 PJPB 내 polyphenols 및 식이섬유의 함량이 조피볼락 치어에서 부정적인 영향을 유발하지 않는 수준이었음을 시사한다. 그러나 석류 부산물의 부위, 가공 방법, 첨가 함량에 따라 미치는 영향이 달라질 가능성이 있으므로, 이러한 요인을 고려한 추가 연구가 필요하다

어체 내 수분, 조단백질, 조지질 및 회분 함량은 영양소 이용성과 전반적인 건강 상태를 평가하는 중요한 지표이다(Shabana et al., 2019). 본 연구의 전어체 일반성분 분석 결과, 수분, 조단백질, 조지질 및 회분 함량은 PJPB 첨가 함량에 따른 변화가 나타나지 않았다. 이전 연구에 따르면, European sea bass 사료내 파인애플 껍질 및 줄기를 첨가하였을 경우에도 유사한 결과가 보고되었으며(Pereira et al., 2025), 사료내 발효 레몬 껍질 첨가 함량에 따른 Asian sea bass 전어체 내 수분, 회분 및 조단백질 함량의 변화가 나타나지 않았다(Zhuo et al., 2021). 또한, 조피볼락 사료내 야콘(*Smallanthus sonchifolius*) 주스부산물 첨가는 전어체 내 수분, 조단백질, 조지질 및 회분 함량에 영향을 주지 않은 것으로 보고된 바 있다(Oh et al., 2023). 반면, gilthead sea bream (*Sparus aurata*) 사료내 오렌지(*C. sinensis*) 껍질 1, 3 및 5 g/kg 첨가시 전어체 내 단백질 함량은 증가하였으나 3 및 5g/kg 첨가하였을 경우, 지질 함량은 감소하였다(Salem et al., 2019). Al-Khalaifah et al.(2020)에 따르면, 사료내 15 g/kg doum palm (*Hyphaene*

thebaica) 분말 첨가는 African catfish (*Clarias gariepinus*) 전어체 내 조단백질, 조지질 및 회분 함량이 향상되었다고 보고하였다. 따라서 이러한 연구 결과들의 차이는 어종, 과일 부산물의 종류, 가공 형태, 첨가 함량 등 다양한 요인에 기인할 수 있으며(Lizárraga-Velázquez et al., 2019; Lopes et al., 2020; Hamed and Abdel-Tawwab, 2021), 본 연구의 결과는 PJPB가 조피볼락 치어의 영양소 이용성 및 건강 상태에 부정적인 영향을 미치지 않음을 보여준다.

어류의 혈액성상은 생리적 및 병리적 상태를 반영하는 신뢰성 높은 지표로 활용되며(Chandra et al., 2012), 해당 수치가 정상 범위를 벗어날 경우, 대사 기능의 이상을 의미한다(Fazio et al., 2019; Khalafalla et al., 2022). 이번 연구에서 PJPB 첨가 함량에 따른 혈액성상의 변화는 나타나지 않았으며, 이는 PJPB가 조피볼락 치어의 대사와 건강 상태를 저해하지 않았음을 시사한다. 이와 유사하게 식물성 착즙부산물을 첨가한 사료를 공급하였을 때 조피볼락 치어의 혈액성상은 영향을 받지 않은 것으로 나타났다(Lee et al., 2021). 또한, 잉어와 나일틸라피아 사료내 각각 레몬 껍질 및 오렌지 과육을 첨가하였을 경우에도 혈액성상에 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 보고된 바 있다(Mohamed et al., 2021; Sadeghi et al., 2021).

Lysozyme은 항균 및 옹소닌화 기능을 동시에 수행하며, 선천면역체계 및 방어 메커니즘에서 중요한 역할을 한다(Saurabh and Sahoo, 2008). 본 연구에서 PJPB1 실험구는 대조구에 비해 향상된 lysozyme 활성을 보였으며, 이는 PJPB 내 함유된 다양한 페놀성 화합물의 면역조절 작용에 기인한 것으로 사료된다. 일부 연구에서 보고된 과일부산물(폴리페놀, 안토시아닌 및 탄닌)의 존재와 밀접하게 연관되어 있으며(Aguilar et al., 2017; Singh et al., 2018), 이들 화합물은 장에서 흡수된 후 장내 면역체계와 상호작용하여 방어적 면역

반응을 유도하는 것으로 알려져 있다(Ding et al., 2018). 이는 PJPB가 어류의 병원체 감염 방어 능력을 강화할 수 있는 가능성을 시사한다. 본 연구 결과와 유사하게, striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*)에 있어 사료내 20, 40 및 80 g/kg rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) 껍질 분말을 첨가하였을 경우, lysozyme 활성이 증가한 것으로 보고된 바 있다(Le Xuan et al., 2022). 또한, 잉어 사료내 석류 껍질 5, 10 및 15g/kg 첨가하였을 때 유사한 결과가 나타났으며(Yousefi et al., 2023), 건조 레몬 껍질을 첨가한 사료를 공급한 나일틸라피아와 African catfish의 lysozyme 활성도 향상된 것으로 보고된 바 있다(Rahman et al., 2019). 반면, 사료내 패션프루트(*Passiflora edulis*) 껍질 첨가 함량에 따른 나일틸라피아의 lysozyme 활성은 변화가 나타나지 않았다(Outama et al., 2022). 본 연구에서는 조피볼락 치어의 면역능을 평가하기 위해 lysozyme 활성을 주요 지표로 활용하였으므로, 향후 다양한 면역학적 지표를 포함한 후속 분석을 통해 결과의 타당성을 검증할 필요가 있다.

본 연구 결과를 종합해 보자면, 사료내 PJPB 1% 첨가는 조피볼락 치어의 lysozyme 활성을 향상시켰으며, 모든 실험구에서 성장, 사료이용성, 생존율, 체조성 및 혈액성상에 부정적인 영향은 나타나지 않았다. 다만, 본 연구는 0.5 및 1% 첨가 함량과 56일간 사육실험이 수행되었으므로, 향후에는 장기 사육실험 및 다양한 첨가 함량을 고려한 추가 연구가 필요하다.

References

- Acar Ü, Parrino V, Kesbiç OS, Lo Paro G, Saoca C, Abbate F, Yilmaz S and Fazio F(2018). Effects of different levels of pomegranate seed oil on some blood parameters and disease resistance against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout. *Front Physiol*, 9, 596.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00596>.

- Adel M, Amiri AA, Zorriehzahra J, Nematolahi A and Esteban MA(2015). Effects of dietary peppermint (*Mentha piperita*) on growth performance, chemical body composition and hematological and immune parameters of fry Caspian white fish (*Rutilus Frisii kutum*). *Fish Shellfish Immunol*, 45(2), 841~847.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.06.010>.
- Aguilar Zárte P, Wong Paz JE, Michel M, Buenrostro Figueroa J, Díaz HR, Ascacio JA, Contreras-Esquível JC, Gutiérrez-Sánchez G and Aguilar CN(2017). Characterisation of pomegranate husk polyphenols and semi preparative fractionation of punicalagin. *Phytochem Anal*, 28(5), 433~438.
<https://doi.org/10.1002/pca.2691>.
- Ahmed I, Reshi QM and Fazio F(2020). The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: a review. *Aquac Int*, 28, 869~899.
<https://doi.org/10.1007/s10499-019-00501-3>.
- Al-Khalaifah HS, Khalil AA, Amer SA, Shalaby SI, Badr HA, Farag MFM, Altohamy DE and Abdel Rahman AN(2020). Effects of dietary doum palm fruit powder on growth, antioxidant capacity, immune response, and disease resistance of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.). *Animals*, 10(8), 1407.
<https://doi.org/10.3390/ani10081407>.
- Bai SC, Choi SM, Kim KW and Wang XJ(2001). Apparent protein and phosphorus digestibilities of five different dietary protein sources in Korean rockfish, *Sebastes schlegelii* (Hilgendorf). *Aquac Res*, 32, 99~105.
<https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00009.x>.
- Braga LC, Shupp JW, Cummings C, Jett M, Takahashi JA, Carmo LS, Chartone-Souza E and Nascimento AMA(2005). Pomegranate extract inhibits *Staphylococcus aureus* growth and subsequent enterotoxin production. *J. Ethnopharmacol.*, 96(1-2), 335~339.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.08.034>.
- Caipang CMA, Mabuhay-Omar J and Gonzales-Plasus MM(2019). Plant and fruit waste products as phytogenic feed additives in aquaculture. *Aquac Aquar Conserv Legis*, 12(1), 261~268.
- Chandra S, Tripathi AK, Mishra S, Amzarul M and Vaish AK(2012). Physiological changes in hematological parameters during pregnancy. *Indian J Hematol Blood transfuse*, 28, 144~146.
<https://doi.org/10.1007/s12288-012-0175-6>.
- Chekani R, Akrami R, Ghiasvand Z, Chitsaz H and Jorjani S(2021). Effect of dietary dehydrated lemon peel (*Citrus limon*) supplementation on growth, hemato-immunological and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under exposure to crowding stress. *Aquaculture*, 539, 736597.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736597>.
- Dawood MA, Habotta OA, Elsabagh M, Azra MN, Van Doan H, Kari ZA and Sewilam H(2022). Fruit processing by products in the aquafeed industry: a feasible strategy for aquaculture sustainability. *Rev Aquac*, 14(4), 1945~1965.
<https://doi.org/10.1111/raq.12680>.
- Ding S, Jiang H and Fang J(2018). Regulation of immune function by polyphenols. *J Immunol Res*, 2018(1), 1264074.
<https://doi.org/10.1155/2018/1264074>.
- Fazio F(2019). Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review. *Aquaculture*, 500, 237~242.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.030>.
- Frosi I, Montagna I, Colombo R, Milanese C and Papetti A(2021). Recovery of Chlorogenic acids from Agri-food wastes: updates on green extraction techniques. *Molecules*, 26(15), 4515.
<https://doi.org/10.3390/molecules26154515>.
- Glencross BD, Baily J, Berntssen MHG, Hardy R, MacKenzie S and Tocher DR(2020). Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds. *Rev Aquac*, 12(2), 703~758.
<https://doi.org/10.1111/raq.12347>.
- Gorinstein S, Zachwieja Z, Folta M, Barton H, Piotrowicz J, Zemser M, Weisz M, Trakhtenberg S and Martín-Belloso O(2001). Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *J Agric Food Chem*, 49(2), 952~957.
<https://doi.org/10.1021/jf000947k>.
- Gressler LT, Centenaro JR, Braz PH, Costa SZR,

- Battisti EK, Gressler LT, Finamor IA and Sutili FJ(2024). Influence of dietary bitter orange peel powder on growth, body composition, blood parameters, gut morphometry, and thermal tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiol Biochem*, 50, 2179~2190.
<https://doi.org/10.1007/s10695-024-01383-w>.
- Gupta SK, Gupta A, Sarkar B, Gupta R, Kumar M, Kumari A and Foysal MJ(2023). Pomegranate (*Punica granatum*) peel extract supplementation in diet influences growth performance, haematological responses and cytokine expression in pathogen-aggravated *Labeo rohita* fingerlings. *Aquaculture*, 562, 738823.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738823>.
- Gutfinger T(1981). Polyphenols in olive oils. *J Am Oil Chem Soc*, 58(11), 966-968.
<https://doi.org/10.1007/BF02659771>.
- Hamed HS and Abdel-Tawwab M(2021). Dietary pomegranate (*Punica granatum*) peel mitigated the adverse effects of silver nanoparticles on the performance, haemato-biochemical, antioxidant, and immune responses of Nile tilapia fingerlings. *Aquaculture*, 540, 736742.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736742>.
- Kaderides K, Goula AM and Adamopoulos KG (2015). A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation *Innovat. Food Sci Emerg Technol*, 31, 204~215.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.006>.
- Khalafalla MM, Zayed NF, Amer AA, Soliman AA, Zaineldin AI, Gewaily MS, Hassan AM, Doan HV, Tapingkae W and Dawood MA(2022). Dietary *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 relieves the impacts of aflatoxin B1 toxicity on the growth performance, hepatorenal functions, and antioxidative capacity of thinlip grey mullet (*Liza ramada*) (Risso 1826). *Probiotics Antimicrob Proteins*, 14(1), 189~203.
<https://doi.org/10.1007/s12602-021-09888-z>.
- Ko K, Dadmohammadi Y and Abbaspourrad A(2021). Nutritional and bioactive components of pomegranate waste used in food and cosmetic applications: A review. *Foods*, 10(3), 657.
<https://doi.org/10.3390/foods10030657>.
- Lansky EP and Newman RA(2007). *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *J Ethnopharmacol*, 109(2), 177~206.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.006>.
- Le Xuan C, Wannavijit S, Outama P, Montha N, Lumsangkul C, Tongsir S, Chitmanat C, Hoseinifar SH and Van Doan H(2022). Effects of dietary rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel powder on growth performance, immune response and immune-related gene expressions of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) raised in biofloc system. *Fish Shellfish Immunol*, 124, 134~141.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.03.039>.
- Lee DY, Lee CH, Kim KD, Lim HJ and Kim HS(2021). Effects of diet supplementation with plant juice processing by-products on juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*) growth performance, feed utilization, non-specific immunity, and disease resistance against *Vibrio harveyi*. *Aquac Rep*, 21, 100831.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100831>.
- Lee H and Nam MM(2020). Effect of Experimental Diets Containing Krills on the Growth and Body Composition of Juvenile Black Rockfish *Sebastes schlegelii*. *Korean J Ichthyol*, 32(2), 70~77.
- Lee SM, Hwang UG and Cho SH(2000). Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture*, 187(3-4), 399~409.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00318-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00318-5).
- Lee TH, Kim KT, Oh HY, Park SY, Lee GJ, Kim HS and Kim HS(2024). Effect of Blood Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) Peel Waste as a Feed Additive on the Growth Performance, Digestive Enzyme Activity, Antioxidant Capacity, and Immune Response in Juvenile Black Rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Antioxidants*, 13(12), 1452.
<https://doi.org/10.3390/antiox13121452>.
- Lizárraga-Velázquez CE, Hernández C, González-guilar GA and Heredia JB(2019). Effect of dietary intake of phenolic compounds from mango peel extract on growth, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in zebrafish (*Danio*

사료내 석류(*Punica granatum*) 주스 착즙 부산물 첨가가 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어의 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성상 및 lysozyme 활성에 미치는 영향

- erio). Lat Am J Aquat Res, 47(4), 602~611.
<http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue4-fulltext-3>.
- Lopes JM, Marques NC, dos Santos MDDMC, Souza CF, Baldissera MD, Carvalho RC, Santos LL, Pantoja BTS, Heinzmann BM and Baldisserotto B(2020). Dietary limon *Citrus × latifolia* fruit peel essential oil improves antioxidant capacity of tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles. Aquac Res, 51(12), 4852~4862.
<https://doi.org/10.1111/are.14771>.
- Mizanur RM, Yun H, Moniruzzaman M, Ferreira F, Kim KW and Bai SC(2014). Effects of feeding rate and water temperature on growth and body composition of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegelii* (Hilgendorf 1880). Asian-Australas J Anim Sci, 27(5), 690.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13508>.
- Mohamed RA, Yousef YM, El Tras WF and Khalafallaa MM(2021). Dietary essential oil extract from sweet orange (*Citrus sinensis*) and bitter lemon (*Citrus limon*) peels improved Nile tilapia performance and health status. Aquac Rep, 52(4), 1463~1479.
<https://doi.org/10.1111/are.15000>.
- Moore RK, Scott AP and Collins PM(2000). Circulating C-21 steroids in relation to reproductive condition of a viviparous marine teleost, *Sebastes rastrelliger* (grass rockfish). Gen Comp Endocrinol, 117(2), 268~280.
- Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR and Vatuone MA(2000). Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. J Ethnopharmacol, 71(1-2), 109~114.
[https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(99\)00189-0](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(99)00189-0).
<https://doi.org/10.1006/gcen.1999.7422>.
- Mphahlele RR, Fawole OA, Makunga NP and Opara UL(2016). Effect of drying on the bioactive compounds, antioxidant, antibacterial and antityrosinase activities of pomegranate peel. BMC Complement Med Ther, 16(1), 143.
<https://doi.org/10.1186/s12906-016-1132-y>.
- Naylor RL, Hardy RW, Buschmann AH, Bush SR, Cao L, Klinger DH, Little DC, Lubchenco J, Shumway SE and Troell M(2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. Nature, 591, 551~563.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.
- Nazeam JA, Al-Shareef WA, Helmy MW and El-Haddad AE(2020). Bioassay-guided isolation of potential bioactive constituents from pomegranate agrifood by-product. Food Chem, 326, 126993.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126993>.
- Noda Y, Kaneyuki T, Mori A and Packer L(2002). Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: delphinidin, cyanidin, and pelargonidin J Agric Food Chem, 50(1), 166~171.
<https://doi.org/10.1021/jf0108765>.
- Oh HY, Lee TH, Lee CH, Lee DY, Sohn MY, Kwon RW, Kim JG and Kim HS(2023). Effects of by-products from producing yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice as feed additive on growth performance, digestive enzyme activity, antioxidant status, related gene expression, and disease resistance against *Streptococcus iniae* in juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*). Aquaculture, 569, 739383.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739383>.
- Outama P, Linh NV, Xuan CL, Wannavijit S, Tongsiri S, Chitmanat C, Montha N and Van Doan H(2022). Passionfruit (*Passiflora edulis*) peel powder stimulates the immune and antioxidant defense system in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultivated in a biofloc system. Fishes, 7(5), 233.
<https://doi.org/10.3390/fishes7050233>.
- Seeram NP, Schulman RN and Heber, D(2006). Pomegranates: Ancient Roots to Modern Medicine. Seeram NP, Schulman RN and Heber D eds. CRC Press, Boca Raton, U.S.A., 264.
- Peña E, Badillo Zapata D, Viana MT and Correa Reyes G(2020). Use of grape pomace in formulated feed for the rainbow trout fry, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). J World Aquac Soc, 51(2), 542~550.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12669>.
- Pereira R, Basto A, Pintado M, Valente LM, Velasco C(2025). Inclusion of Pineapple By-Products as Natural Antioxidant Sources in Diets for European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). Antioxidants, 14(3), 333.
<https://doi.org/10.3390/antiox14030333>.
- Prashanth D, Asha M and Amit A(2001). Antibacterial activity of *Punica granatum* Fitoterapia,

- 72, 171~173.
[https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(00\)00270-7](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(00)00270-7).
- Qiang J, Khamis OAM, Jiang HJ, Cao ZM, He J, Tao YF, Xu P and Bao JW(2019). Effects of dietary supplementation with apple peel powder on the growth, blood and liver parameters, and transcriptome of genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*). PLoS One, 14(11), e0224995.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224995>.
- Rahman ANA, ElHady M and Shalaby SI(2019). Efficacy of the dehydrated lemon peels on the immunity, enzymatic antioxidant capacity and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African catfish (*Clarias gariepinus*). Aquaculture, 505, 92~97.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.051>.
- Reddy MK, Gupta SK, Jacob MR, Khan, SI and Ferreira D(2007). Antioxidant, antimalarial and antimicrobial activities of tannin-rich fractions, ellagitannins and phenolic acids from *Punica granatum* L. Planta Med, 73(5), 461~467.
<https://doi.org/10.1055/s-2007-967167>.
- Sadeghi F, Ahmadifar E, Shahriari Moghadam M, Ghiyasi M, Dawood MAO and Yilmaz S(2021). Lemon, *Citrus aurantifolia*, peel and *Bacillus licheniformis* protected common carp, *Cyprinus carpio*, from *Aeromonas hydrophila* infection by improving the humoral and skin mucosal immunity, and antioxidative responses. J World Aquac Soc, 52 (1), 124~137.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12750>.
- Salem MES, Abdel Ghany HM, Sallam AE, El Feky MM and Almisherfi HM(2019). Effects of dietary orange peel on growth performance, antioxidant activity, intestinal microbiota and liver histology of Gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae. Aquac Nutr, 25(5), 1087~1097.
<https://doi.org/10.1111/anu.12925>.
- Satomi H, Umemura K, Ueno A, Hatano T, Okuda T and Noro T(1993). Carbonic anhydrase inhibitors from the pericarps of *Punica granatum* L. Biol Pharm Bull, 16, 787~790.
<https://doi.org/10.1248/bpb.16.787>.
- Saurabh S and Sahoo PK(2008). Lysozyme: An important defence molecule of fish innate immune system. Aquac Res, 39, 223~239.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01883.x>.
- Sayed-Lafi, RM, Shtewi HH, Sultan FA and Al-Shammari NAH(2024). Pomegranate peel extract diet enhances health and immunity of common carp (*Cyprinus carpio*) against *Aeromonas veronii*. Open Vet J, 14(11), 2762.
<https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i11.5>.
- Shabana MS, Karthika M and Ramasubramanian V(2019). Effect of dietary *Citrus sinensis* peel extract on growth performance, digestive enzyme activity, muscle biochemical composition, and metabolic enzyme status of the freshwater fish, *Catla catla*. J Basic Appl Zool, 80, 51.
<https://doi.org/10.1186/s41936-019-0119-x>.
- Singh B, Singh JP, Kaur A and Singh N(2018). Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review. Food chem, 261, 75~86.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.039>.
- Singh, P and Srivastava, A(2022). Effect of dietary supplementation of kinnow peel powder on survival, growth performance and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* (L.) fingerlings. J Exp Zool India, 25(2), 2149~2155.
- Skrt M, Albreht A, Vovk I, Constantin OE, Răpeanu G, Sežun M, Črnivec IGO, Zalar U and Poklar Ulrih, N(2022). Extraction of polyphenols and valorization of fibers from Istrian-grown pomegranate (*Punica granatum* L.). Foods, 11(18), 2740.
<https://doi.org/10.3390/foods11182740>.
- Terzi F, Demirci B, Acar Ü, Yüksel S, Salum Ç, Erol HS and Kesbiç OS(2023). Dietary effect of grape (*Vitis vinifera*) seed extract mitigates hepatic disorders caused by oxidized fish oil in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Physiol Biochem, 49(3), 441~454.
<https://doi.org/10.1007/s10695-023-01193-6>.
- Yostawonkul J, Kamble MT, Sakuna K, Madyod S, Sukkarun P, Medhe SV, Rodkhum C, Pirarat N and Sewaka M(2023). Effects of Mangosteen (*Garcinia mangostana*) peel extract loaded in nanoemulsion on growth performance, immune response, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Aeromonas veronii*

사료내 석류(*Punica granatum*) 주스 착즙 부산물 첨가가 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어의 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성상 및 lysozyme 활성에 미치는 영향

infection. *Animals*, 13(11), 1798.
<https://doi.org/10.3390/ani13111798>.

Yousefi M, Hoseini SM, Kulikov EV, Babichev NV, Bolshakova MV, Shopinskaya MI, Rogov RV and Zharov AN(2023). Effects of dietary pomegranate peel supplementation on growth performance and biochemical responses of common carp, *Cyprinus carpio*, to chronic crowding stress. *Aquac Rep*, 30, 101532.

<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101532>.

Zhuo LC, Zamhari DNJBA, Yong ASK, Shapawi R

and Lin YH(2021). Effects of fermented lemon peel supplementation in diet on growth, immune responses, and intestinal morphology of Asian sea bass, *Lates calcarifer*. *Aquac Rep*, 21, 100801.

<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100801>.

-
- Received : 05 September, 2025
 - Revised : 17 October, 2025
 - Accepted : 24 October, 2025