

# 사료내 블루베리 주스부산물 첨가가 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성, 항산화효소 활성 및 *Streptococcus iniae*에 대한 질병저항성에 미치는 영향

이다연 · 이태훈 · 이창환 · 오화용 · 김희성<sup>†</sup>  
경상국립대학교(학생) · <sup>†</sup>경상국립대학교(조교수)

## Effect of Blueberry Pomace Supplementation in Diet on Growth, Feed Utilization, Antioxidant Enzyme Activity and Challenge Test with *Streptococcus iniae* of Juvenile Black Rockfish *Sebastes schlegelii*

Da-Yeon LEE · Tae Hoon LEE · Chang-Hwan LEE · Hwa Yong OH · Hee Sung KIM<sup>†</sup>  
Gyeongsang National University(student) · <sup>†</sup>Gyeongsang National University(assistant professor)

### Abstract

This study investigated that the effects of dietary blueberry pomace (BP) on growth performance, antioxidant enzyme activity, and resistance to *Streptococcus iniae* of juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*). A total of 720 juvenile rockfish (average 2.8 g) was randomly assigned to 12 flow-through tanks. Four experimental diets with BP concentrations of 0 (control, BP0), 0.25% (BP0.25), 0.5% (BP0.5) and 1% (BP1) were prepared in triplicate. At the end of the 8 weeks feeding trial, fish were challenged with *S. iniae*, and cumulative survival was observed for seven days. Growth (weight gain and specific growth rate) and feed utilization (feed efficiency and protein efficiency ratio) were significantly greater in BP1 diet compared with other diets. Dietary BP supplementation had no significant effect on the proximate composition and plasma chemistry. Activity of plasma lysozyme, superoxide dismutase and catalase of fish fed the BP1 diet was significantly higher than that of fish fed the other diets. Moreover, in the *S. iniae* challenge test, fish fed the BP1 diet had a significantly greater survival rate. Our findings demonstrated that 1% BP dietary supplementation enhanced the growth performance, antioxidant enzyme activity, and disease resistance against *S. iniae* of juvenile black rockfish.

**Key words** : Blueberry pomace (BP), Growth performance, Antioxidant enzyme, Resistance against *Streptococcus iniae*, *Sebastes schlegelii*

### I. 서론

조피볼락(*Sebastes schlegelii*)은 넙치(*Paralichthys olivaceus*)와 더불어 국내 주요 양식 대상종으로 2021년 조피볼락의 양식 생산량은 17,473톤을 보

였으며, 넙치(41,971톤) 다음으로 높은 생산량을 보였다(KOSIS, 2022). 이와 같이 조피볼락의 양식 산업에서의 중요성 때문에 배합사료내 주요 영양소 요구량(Kim et al., 2001; Cho et al., 2015), 다양한 단백질원에 대한 소화율(Lee, 2002), 적정

<sup>†</sup> Corresponding author : 055-772-9254, bluesonn@gnu.ac.kr

\* This work was supported by development fund foundation, Gyeongsang National University, 2019

사료공급 횟수 및 공급률(Lee et al., 2000; Mizanur et al., 2004), 어분 대체 단백질원 개발(Takakuwa et al., 2021; Yang et al., 2022), 기능성 사료첨가제 개발(Mohammadiazarm et al., 2020; Lee et al., 2020) 등 다양한 영양학적 연구가 이루어진 바 있다.

국내에서 조피볼락 양식은 연중 고밀도 사육으로 생산이 이루어지고 있으며, 고밀도 사육으로 인한 면역력 감소, 스트레스 등으로 인하여 질병이 발생하여 대량 폐사가 빈번하게 발생하고 있다. 이에 따라 양어 현장에서는 질병으로 인한 폐사를 저감하기 위하여 합성항생제를 사료내 첨가하여 공급하고 있으나(Pan et al., 2019; Huo et al., 2022), 합성항생제의 과도한 사용은 항생제 내성 증가, 어체내 항생제 잔류, 환경오염 등의 문제를 야기할 수 있다(Ring et al., 2010; Mousavi et al., 2016). 특히 2006년 1월 유럽연합에서는 전 세계적으로 양식산업의 발전을 위한 항생제의 사용을 규제(European Parliament and Council Regulation (EC) No 1831/2003) 하였으며(Ng and Koh, 2016), 국내 또한 2011년부터 사료내 합성항생제의 사용을 금지하고 있으나 치료 및 예방의 목적으로 항생제의 사용은 줄어들지 않고 있는 실정이다(Lee et al., 2021). 이에 따라 항생제를 대체할 수 있는 식물기원의 사료첨가제에 관한 연구가 다수 이루어진 바 있다(Cho and Lee, 2012; Yun et al., 2016; Kim et al., 2017; Oh et al., 2022).

블루베리는 항산화물질로 알려진 flavonoids, phenolics, anthocyanin 등이 풍부한 것으로 알려져 있으며(Seeram, 2008; Lee et al., 2015; Michalska and Lysiak, 2015), 육상동물에 경구 투여시 항산화, 항염증, 항바이러스 효과가 보고된 바 있다(Dunlap et al., 2006; Molan et al., 2008; Selim et al., 2020). 특히 수산동물인 조피볼락과 넙치 치어 사료내 블루베리 분말 첨가시 성장뿐만 아니라 질병저항성 향상에도 효과적인 것으로 보고된 바 있다(Lee et al., 2016; Kim et al., 2019; Lee et

al., 2020). 그러나 블루베리 분말은 국내에서 kg 당 10만원 이상의 고가로 양어 배합사료용 사료 첨가제로 이용하기에는 비용적인 측면에서 매우 제한적인 것으로 생각된다.

그러나 건강 음료로 이용되고 남은 블루베리 주스부산물(blueberry pomace, BP)에는 기능성 물질로 알려진 anthocyanins, phenolics, flavonoids 등이 상당량 함유되어 있어 사료 원료로서의 이용 가능성이 보고된 바 있다(Bener et al., 2013; Zielinska and Michalska, 2018). 따라서 본 연구에서는 배합사료내 BP의 첨가 함량에 따른 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성, 체조성, 혈액성상, 라이소자임 활성, 항산화효소 활성 및 *Streptococcus iniae*에 대한 질병저항성에 미치는 영향을 평가하였다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 실험어 준비 및 사육 조건

실험어는 경상남도 남해에 위치한 개인 양어장에서 구입하였다. 구입 후 사육실험 환경에 2주간 순치시켰으며 순치 기간에는 1일 2회 충분한 양의 조피볼락용 침강사료(천하제일사료, 한국)를 공급하였다. 마리당 평균 2.8 g의 조피볼락 치어는 12개의 300 L 원형 유수식 플라스틱 수조에 각각 60마리씩 분산 수용하였다. 배설물과 찌꺼기는 사이펀을 통해 매일 제거하였고, 죽은 개체는 즉시 제거하였다. 각각의 수조에는 일정한 용존산소를 유지하기 위해 액화산소 공급 및 충분한 aeration을 하였다. 실험기간 동안 평균 사육 수온, 염분 및 용존산소는 각각 22.2 °C, 27.0 psu, 8.56 mg/L이었으며, 광주기는 자연광주기를 따랐다.

### 2. 실험사료의 준비

블루베리 주스부산물(BP)은 개인 건강주스업체로부터 공급받았으며, 이후 BP는 건조기를 사용

사료내 블루베리 주스부산물 첨가가 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성, 항산화효소 활성 및 *Streptococcus iniae*에 대한 질병저항성에 미치는 영향

하여 20°C에서 72시간동안 건조 후 분쇄 후 사료 제조시까지 -20°C 냉동고에 보관하였다. 실험에 이용된 실험사료 조성표는 (<Table 1>)과 같다.

<Table 1> Feed formulation of the experimental diets containing different concentration of blueberry pomace (BP) (DM basis, %)

| Ingredients (% DM)                 | Experimental diets |        |       |      |
|------------------------------------|--------------------|--------|-------|------|
|                                    | BP0                | BP0.25 | BP0.5 | BP1  |
| Sardine meal                       | 50                 | 50     | 50    | 50   |
| Fermented soybean meal             | 11.5               | 11.5   | 11.5  | 11.5 |
| Wheat flour                        | 27                 | 26.75  | 26.5  | 26   |
| Blueberry pomace (BP) <sup>1</sup> | 0                  | 0.25   | 0.5   | 1    |
| Fish oil                           | 4.5                | 4.5    | 4.5   | 4.5  |
| Soybean oil                        | 4.5                | 4.5    | 4.5   | 4.5  |
| Vitamin premix <sup>2</sup>        | 1                  | 1      | 1     | 1    |
| Mineral premix <sup>3</sup>        | 1                  | 1      | 1     | 1    |
| Choline                            | 0.5                | 0.5    | 0.5   | 0.5  |
| Nutrients (%)                      |                    |        |       |      |
| Dry matter                         | 94.9               | 95.0   | 95.3  | 95.4 |
| Crude protein                      | 50.6               | 50.7   | 50.7  | 50.4 |
| Crude lipid                        | 14.0               | 14.1   | 13.6  | 14.1 |
| Ash                                | 8.9                | 8.8    | 9.0   | 9.1  |

<sup>1</sup>BP (blueberry pomace) were supplied from the local health food store (Daegu, Korea). <sup>2</sup>Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- $\alpha$ -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. <sup>3</sup>Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 80.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 370.0; KCl, 130.0; ferric citrate, 40.0; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.15; KI, 0.15; Na<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.01; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 2.0; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 1.0.

주요 단백질원으로는 정어리분과 발효대두박을 사용하였으며, 소맥분 및 어유와 대두유를 각각 탄수화물원 및 지질원으로 사용하였다. 대조구 (BP0) 사료에는 BP를 첨가하지 않았으며, 나머지 실험사료에는 BP0 사료에 첨가된 소맥분 대신 BP를 각각 0.25% (BP0.25), 0.5% (BP0.5) 및 1% (BP1)씩 첨가하여 실험사료를 준비하였다. 이후 건조기에 20°C에서 48시간 동안 건조한 후 공급 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다. 사육기간은 총 8주였으며 매일 1일 2회(9:00, 17:00) 실험사료를 반복으로 공급하였다.

### 3. 어체 측정 및 혈액 채취

8주간의 사육실험 종료시 24시간 절식한 어류를 MS-222 (100 ppm; Sigma-Aldrich, St Louis, MI, USA)로 마취시켜 각 수조당 생존한 개체 수와 최종 무게를 측정하였다. 생물학적 지표를 측정하기 위해 각 수조당 10마리씩 무작위로 선택하여 전어체 무게, 체장, 간 및 내장 무게를 측정하였다. 측정 후 어체중증가(weight gain), 일일성장률(specific growth rate), 사료효율(feed efficiency), 비만도(condition factor), 간중량지수 (hepatosomatic index, HSI) 및 내장중량지수 (visceralsomatic index, VSI)를 분석하였다.

혈액 샘플은 24시간 공복 상태의 실험어를 각 수조당 10마리를 선택하여 MS-222 (150 ppm)로 마취한 후 1 mL 주사기를 이용하여 미부정맥에서 혈액을 채취하였다. 이후 혈액은 10분간 원심 분리(8,000 rpm)하여 혈장을 분리하였고, 분리한 혈장은 혈액성장, lysozyme 및 항산화효소활성 분석에 이용하였다.

### 4. 혈액성장, 혈장내 lysozyme 및 항산화효소 활성 분석

혈액성장분석은 자동혈액분석기(Fuji Dri-Chem NX500i; Fujifilm, Tokyo, Japan)을 사용하여 alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase

(AST), total cholesterol (T-CHO), total protein (TP) 및 glucose (GLU)를 분석하였다.

혈장내 lysozyme assay kit (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였고, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) 활성 및 glutathione (GSH) 함량은 Cayman assay kit (Cayman Chemical, Ann Arbor, MI)를 이용하여 측정하였다.

### 5. 일반성분분석

실험어의 일반성분분석을 위해 사육실험 종료 시 수조당 10마리씩을 무작위로 샘플하여 일반성분분석에 이용하였으며, 수분, 조단백질, 조지질 및 회분은 AOAC 표준분방법(1990)에 따라 분석하였다. 수분은 105°C dry oven에서 6시간 동안 건조하였고, 조단백질은 Kjeldahl method (KD200-B-1038 KjelROC Analyzer (OPSIS Liquid LINE, Sweden)로 조지질은 Ether-extraction method (ST 243 Soxtec™; Foss, Hillerod, Sweden)로 분석하였다. 회분은 550°C 회화로에서 4시간 태운 후 정량하였다.

### 5. 세균공격성 실험

8주간의 사육실험 종료 후 생존 개체 중 무작위로 20마리씩 선택하여 국립수산과학원 한국수산미생물자원은행(부산, 한국)으로부터 분양받은 *S. iniae*를  $7.9 \times 10^6$  CFU/mL의 농도로 0.1 mL씩 복강내 주사하여 감염시켰다. 이후 총 7일간 누적 폐사율을 관찰하였으며 폐사한 개체는 즉시 제거하였다. 폐사 관찰기간 동안 수온은  $22.4 \pm 0.20$  °C (mean±SD)이었다.

### 6. 통계 분석

모든 분석 결과는 SPSS program (version 25.0, SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 One-way ANOVA와 Tukey's HSD를 사용하

여 실험구간의 유의성(P<0.05) 분석을 실시하였다. 세균공격성 실험에 따른 조피볼락의 생존율은 Kaplan-Meier, Log-rank와 Wilcoxon tests를 통해 분석을 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

BP의 첨가 함량을 달리한 실험사료를 8주간 공급받은 조피볼락의 생존율(%), 어체중증가(g/fish), 일일성장율(%/day)은 (<Table 2>)에 나타내었다. 조피볼락의 생존율은 99.4-100%로 BP 첨가함량에 따른 실험구간 유의한 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 어체중증가 및 일일성장율은 BP1 공급구가 BP0, BP0.25 및 BP0.5 사료공급구에 비해 유의하게 높게 나타났다(P<0.05). 본 연구결과와 유사하게 블루베리 분말 1%를 조피볼락 치어 사료내 첨가시 성장 향상에 효과적인 것으로 나타났다 (Kim et al., 2018). 블루베리와 같이 생리활성 물질이 풍부한 berry류를 사료첨가제로 이용한 선

<Table 2> Survival, weight gain and specific growth rate of juvenile rockfish fed the experimental diets containing different concentration of blueberry pomace (BP) for 8 weeks

| Experimental diets           | BP0                    | BP0.25                 | BP0.5                  | BP1                    |
|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Initial weight (g/fish)      | 2.3±0.02 <sup>a</sup>  | 2.3±0.02 <sup>a</sup>  | 2.4±0.01 <sup>a</sup>  | 2.3±0.02 <sup>a</sup>  |
| Final weight (g/fish)        | 11.6±0.02 <sup>a</sup> | 11.7±0.10 <sup>a</sup> | 11.8±0.09 <sup>a</sup> | 12.3±0.09 <sup>a</sup> |
| Survival (%)                 | 100±0.00 <sup>b</sup>  | 100±0.00 <sup>b</sup>  | 99.4±0.56 <sup>a</sup> | 100±0.00 <sup>b</sup>  |
| Weight gain (g/fish)         | 27.7±0.5 <sup>d</sup>  | 27.6±0.3 <sup>d</sup>  | 27.9±0.9 <sup>d</sup>  | 29.9±0.6 <sup>b</sup>  |
| Specific growth rate (%/day) | 0.08 <sup>d</sup>      | 0.08 <sup>d</sup>      | 0.09 <sup>d</sup>      | 0.11 <sup>b</sup>      |

Significantly different values (means of triplicate SE) in the same row with a different superscript (P<0.05): SGR, specific growth rate; Con, Control; BP, Blueberry pomace.

행연구와 비교하면 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 사료내 black mulberry syrup 2%와 blackberry syrup 15% 첨가는 성장 향상에 효과적인 것으로 나타났으며(Yilmaz, 2019a; Yilmaz et al., 2020), barberry 추출물을 시베리아 철갑상어 (*Acipenser baerii*) 사료내 첨가는 무첨가에 비해 성장 향상에 효과적인 것으로 나타났다(Ramezani et al., 2021). 특히 black mulberry에 함유된 benzoic acid, flavonoids 및 anthocyanins은 어류의 소화효소 활성 증가 및 영양소 흡수 촉진을 통하여 성장 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Sánchez-Salcedo et al., 2015; Yilmaz, 2020; Shekarabi et al., 2020).

8주간의 사육실험 종료시 조피볼락의 사료섭취량(g/fish), 사료효율과 단백질전환효율은 (<Table 3>)에 나타내었다. 사료섭취량은 BP 첨가함량에 따른 실험구간 유의한 차이가 나타나지 않았다 ( $P>0.05$ ). 그러나 사료효율과 단백질전환효율은 BP1 공급구가 BP0, BP0.25 및 BP0.5 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다( $P<0.05$ ). 본 연구와 유사하게 나일틸라피아 사료내 blackberry syrup 15% 첨가는 사료전환효율 향상을 보였으며 (Yilmaz, 2019b), 잉어(*Cyprinus carpio*) 사료내 juniper berry oil 0.5%와 1% 첨가는 사료전환효율 향상에 효과적인 것으로 나타났다(Kesbic, 2018). 또한 *Acipenser baerii* 사료내 barberry 추출물 첨가는 무첨가에 비해 높은 사료전환효율을 보이는 것으로 나타났으나, 단백질전환효율에는 유의한 영향을 보이지 않았다(Ramezani et al., 2021). Chakraborty et al. (2014)는 식물기원의 사료첨가제내 다양한 생리활성 물질(phenolics, flavonoids, saponin 등)은 어류의 장내 소화를 촉진하고 단백질 동화 증대시키는 것으로 보고한 바 있다.

8주간의 사육실험 종료시 비만도(condition factor, CF), 간중량지수(hepatosomatic index, HSI) 및 내장중량지수(visceralsomatic index, VSI)는 (<Table 4>)에 나타내었다. CF, HSI 및 VSI는 BP 첨가 함량에 따라 실험구간의 유의한 차이가 나

타나지 않았다( $P>0.05$ ). 본 연구결과와 유사하게 Kim et al. (2019)의 연구에서도 넙치 치어 사료내 1% 블루베리 분말 첨가는 CF에 유의한 영향을 보이지 않았다. 그러나 본 연구와는 달리 시베리아 철갑상어 사료내 barberry 추출물 첨가 함량이 증가할수록 HSI와 VSI는 감소하는 경향이 나타났다(Ramezani et al., 2021).

<Table 3> Feed consumption, feed efficiency (FE) and PER (protein efficiency ratio) of rockfish fed the experimental diets containing different concentration of blueberry pomace (BP) for 8 weeks

| Experimental diets        | BP0                     | BP0.25                  | BP0.5                   | BP1                     |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Feed consumption (g/fish) | 10.9±0.39 <sup>a</sup>  | 11.1±0.08 <sup>a</sup>  | 11.0±0.09 <sup>a</sup>  | 11.0±0.16 <sup>a</sup>  |
| FE                        | 0.85±0.012 <sup>a</sup> | 0.85±0.009 <sup>a</sup> | 0.86±0.005 <sup>a</sup> | 0.92±0.01 <sup>b</sup>  |
| PER                       | 1.67±0.024 <sup>a</sup> | 1.66±0.007 <sup>a</sup> | 1.69±0.008 <sup>a</sup> | 1.79±0.014 <sup>b</sup> |

Significantly different values (means of triplicate SE) in the same row with a different superscript ( $P<0.05$ ): FE, feed efficiency; PER, protein efficiency ratio; BP, blueberry pomace.

<Table 4> Condition factor (CF), hepatosomatic index (HSI) and visceralsomatic index (VSI) of juvenile rockfish fed the experimental diets containing different concentration of blueberry pomace (BP) for 8 weeks

| Experimental diets | BP0                     | BP0.25                  | BP0.5                   | BP1                     |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| CF                 | 1.68±0.034 <sup>a</sup> | 1.77±0.058 <sup>a</sup> | 1.74±0.031 <sup>a</sup> | 1.61±0.039 <sup>a</sup> |
| HSI                | 2.70±0.053 <sup>a</sup> | 2.69±0.058 <sup>a</sup> | 2.71±0.045 <sup>a</sup> | 2.69±0.051 <sup>a</sup> |
| VSI                | 8.47±0.217 <sup>a</sup> | 8.48±0.265 <sup>a</sup> | 8.46±0.217 <sup>a</sup> | 8.48±0.227 <sup>a</sup> |

Significantly different values (means of triplicate SE) in the same row with a different superscript ( $P<0.05$ ): CF, condition factor; HSI, hepatosomatic index; VSI, visceralsomatic index; BP, blueberry pomace.

또한 무지개송어 사료내 barberry 뿌리 추출물 0.05% 첨가는 다른 공급구에 비하여 HSI 및 VSI가 유의하게 낮게 나타났으며, 이는 간과 내장내 지방 생체 축적을 감소시키는 사료첨가제의 기능에 의한 것으로 보고하였다(Ramezanzadeh et al., 2020).

BP가 함유된 실험사료를 8주간 공급받은 조피볼락 전어체의 일반성분 분석 결과는 (<Table 5>)에 나타내었다. 전어체의 수분, 조단백질, 조지질 및 회분 함량은 모든 실험사료 공급구간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 본 연구결과와 유사하게 조피볼락 및 넙치 치어 사료내 블루베리 분말 첨가는 전어체의 일반성분조성에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Lee et al., 2016; Kim et al., 2018; Kim et al., 2019).

<Table 5> Chemical composition (% , wet weight basis) of whole-body of rockfish fed the experimental diets with different concentration of blueberry pomace (BP) for 8 weeks

| Experimental diets | BP0                    | BP0.25                 | BP0.5                  | BP1                    |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Moisture           | 72.3±0.03 <sup>a</sup> | 71.6±0.18 <sup>a</sup> | 72.0±0.15 <sup>a</sup> | 72.4±0.38 <sup>a</sup> |
| Crude protein      | 16.6±0.07 <sup>a</sup> | 16.6±0.12 <sup>a</sup> | 16.5±0.26 <sup>a</sup> | 16.7±0.17 <sup>a</sup> |
| Crude lipid        | 6.6±0.24 <sup>a</sup>  | 6.6±0.20 <sup>a</sup>  | 6.6±0.17 <sup>a</sup>  | 5.9±0.15 <sup>a</sup>  |
| Ash                | 4.1±0.09 <sup>a</sup>  | 4.3±0.12 <sup>a</sup>  | 4.0±0.10 <sup>a</sup>  | 4.4±0.10 <sup>a</sup>  |

Significantly different values (means of triplicate SE) in the same row with a different superscript (P<0.05): BP, blueberry pomace.

조피볼락 혈장내 AST, ALT, T-CHO, TP 및 GLU 함량은 (<Table 6>)에 나타내었다. 측정된 모든 항목은 BP 함량에 따른 유의한 영향을 받지 않았다(P>0.05). 일반적으로 어류의 혈액성상은 질병, 환경조건, 영양상태, 스트레스 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Grant, 2015). 본 연구결과와 유사하게 사료내 블루베리 분말 1% 첨가는 조피볼락과 넙치의 혈액성상에 유의한 영향을 미치지 않았으며(Kim et al., 2019; Lee

et al., 2020), 나일틸라피아 또한 사료내 black mulberry syrup 첨가는 혈액성상에 유의한 영향을 보이지 않았다(Yilmaz et al., 2020).

<Table 6> Plasma chemistry of rockfish fed the experimental diets containing different concentration of blueberry pomace (BP) for 8 weeks

| Experimental diets | BP0                     | BP0.25                  | BP0.5                   | BP1                    |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| AST (U/L)          | 1190±232 <sup>a</sup>   | 1203±202 <sup>a</sup>   | 913±1568 <sup>a</sup>   | 75.7±7.75 <sup>a</sup> |
| ALT (U/L)          | 30.0±3.79 <sup>a</sup>  | 33.3±8.95 <sup>a</sup>  | 22.6±1.86 <sup>a</sup>  | 21.7±0.33 <sup>a</sup> |
| TCHO(mg/dL)        | 144.3±8.82 <sup>a</sup> | 139.3±20.5 <sup>a</sup> | 140.6±20.5 <sup>a</sup> | 139.3±4.9 <sup>a</sup> |
| TP (g/dL)          | 5.3±0.32 <sup>a</sup>   | 6.9±1.12 <sup>a</sup>   | 6.1±1.17 <sup>a</sup>   | 5.0±0.15 <sup>a</sup>  |
| GLU (mg/dL)        | 65.0±4.36 <sup>a</sup>  | 71.3±4.70 <sup>a</sup>  | 76.3±3.93 <sup>a</sup>  | 77.3±7.17 <sup>a</sup> |

Significantly different values (means of triplicate SE) in the same row with a different superscript (P<0.05): AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; T-CHO, total cholesterol; TP, total protein; GLU, glucose; BP, blueberry pomace.

8주간의 사육실험 종료에 따른 조피볼락 혈장내 lysozyme, SOD와 CAT 활성 및 GSH 함량은 (<Table 7>)에 나타내었다. Lysozyme 활성은 BP1 사료를 공급한 공급구가 BP0, BP0.25와 BP0.5공급구보다 유의하게 높았으나(P<0.05), SOD와 CAT 활성은 BP 첨가 함량에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 그러나 GSH 함량은 BP1 사료를 공급한 실험구가 다른 모든 실험사료를 공급한 공급구에 비해 유의하게 높았다(P<0.05). 본 연구 결과와 유사하게 나일틸라피아 사료내 blackberry syrup 1.5% 첨가는 혈청내 lysozyme을 포함한 비특이적면역능 향상에 효과를 보였을 뿐만 아니라 조직내 항산화(glutathione peroxidase) 및 면역(interleukin 1 beta 및 tumor necrosis factor) 관련 유전자의 발현 향상에도 효과적인 것으로 나타났다(Yilmaz, 2019b). 특히, 사

사료내 블루베리 주스부산물 첨가가 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성, 항산화효소 활성 및 *Streptococcus iniae*에 대한 질병저항성에 미치는 영향

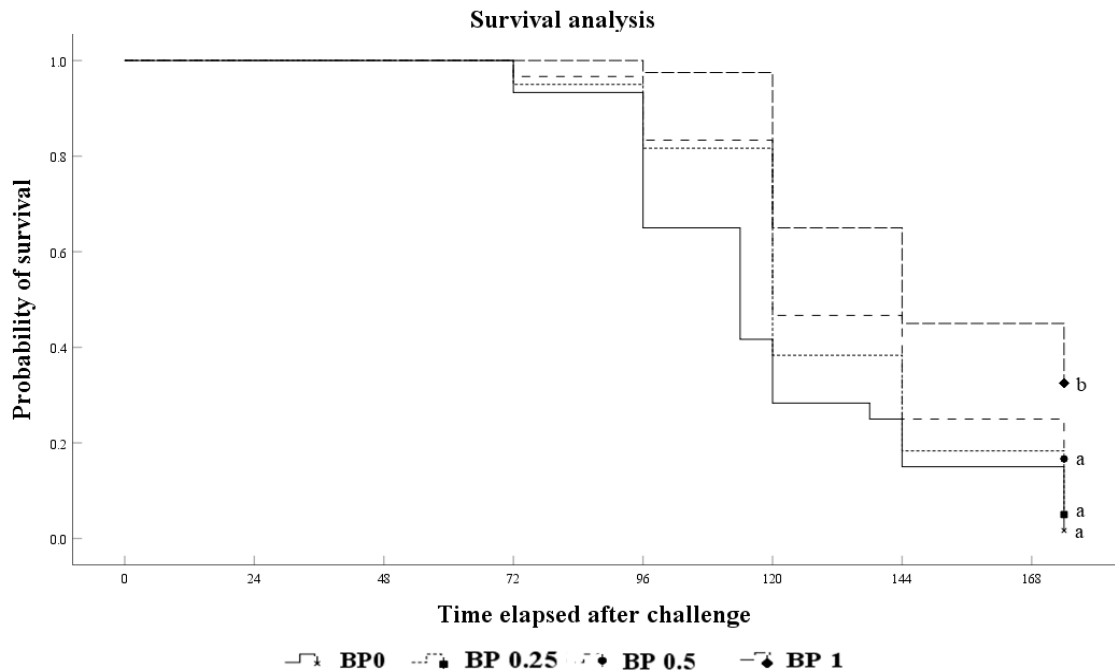
료내 0.002% anthocyanin 첨가는 나일틸라피아의 항산화, 비특이적면역 및 면역관련 유전자의 발현 향상에 효과적인 것으로 나타났다(Yilmaz, 2019a).

8주간의 조피볼락 사육실험 종료시 *S. iniae*로 인위 감염에 따른 누적 생존율 변화는 [Fig. 1]에 나타내었다. 인위 감염 후 7일째, 생존율은 BP1 공급구가 BP0, BP0.25 및 BP0.5 공급구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다( $P<0.05$ ). 본 연구결과와 유사하게 조피볼락 치어 사료내 블루베리 분말 1% 첨가는 무첨가에 비하여 *S. parauberis* 감염시 생존율 저감에 효과를 보였으며(Kim et al., 2016), 나일틸라피아 사료내 blackberry syrup 15% 첨가는 *Plesiomonas shigelloides*에 대한 높은 질병 저항성이 관찰되었다(Yilmaz, 2019b). 또한 Yilmaz et al. (2020)에 따르면 black mulberry syrup을

<Table 7> Lysozyme and antioxidant enzymes activities of rockfish fed the experimental diets with different concentration of blueberry pomace (BP) for 8 weeks

| Experimental diets | BP0                    | BP0.25                 | BP0.5                  | BP1                    |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Lysozyme (U/mL)    | 59.0±2.01 <sup>a</sup> | 58.2±2.05 <sup>a</sup> | 59.5±1.98 <sup>a</sup> | 68.0±1.71 <sup>b</sup> |
| SOD (U/mL)         | 5.6±0.47 <sup>a</sup>  | 5.7±0.34 <sup>a</sup>  | 5.6±0.40 <sup>a</sup>  | 7.4±0.42 <sup>a</sup>  |
| CAT (mU/ml)        | 2.2±0.09 <sup>a</sup>  | 2.0±0.17 <sup>a</sup>  | 2.0±0.12 <sup>a</sup>  | 2.6±0.09 <sup>a</sup>  |
| GSH (μM)           | 16.3±0.33 <sup>a</sup> | 16.3±0.49 <sup>a</sup> | 15.4±0.58 <sup>a</sup> | 19.6±0.84 <sup>b</sup> |

Significantly different values (means of triplicate SE) in the same row with a different superscript ( $P<0.05$ ): SOD, superoxide dismutase; CAT, catalase, GSH, glutathione; BP, blueberry pomace.



[Fig. 1] Survival of juvenile rockfish fed the experimental diets including blueberry pomace (BP) for 8 weeks, then artificially infected by *Streptococcus iniae* (means of triplicate±SE) ( $P<0.001$  for Log Rank and Wilcoxon tests)

나일틸라피아 사료내 1.5%, 2% 및 3% 첨가는 *Aeromonas veronii*의 인위감염에 대한 질병저항성 개선에 효과적인 결과를 보였으며, 이는 비특이적면역능(lysozyme과 myeloperoxidase 활성) 및 면역관련 유전자의 발현 향상에 의한 것으로 보고하였다.

이상의 연구 결과를 고려할 때, 사료내 1% BP 첨가는 조피볼락 치어의 성장, 사료이용성, lysozyme 활성 및 GSH 함량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 추후 BP의 양어 사료 산업으로의 적용을 위해서는 양식 현장 규모에서의 검증 연구가 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## References

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis (15th edn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Bener M, Shen Y, Apak R, Finley JW and Xu Z (2013). Release and degradation of anthocyanins and phenolics from blueberry pomace during thermal acid hydrolysis and dry heating. *J Agric Food Chem* 61, 6643~6649. <http://doi.org/10.1021/jf401983c>
- Chakraborty SB, Horn P and Hancz C(2014). Application of phytochemicals as growth-promoters and endocrine modulators in fish culture, *Reviews in Aquaculture* 6, 1~19. <http://doi.org/10.1111/raq.12021>
- Cho SH, Kim HS, Myung SH, Jung W, Choi J and Lee S(2015). Optimum dietary protein and lipid levels for juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*, Hilgendorf 1880). *Aquacult Res* 46, 2954~2961. <http://dx.doi.org/10.1111/are.12450>.
- Cho SH and Lee S(2012). Onion powder in the diet of the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*: Effects on the growth, body composition, and lysozyme activity. *J World Aquacult Soc* 43, 30~38. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345-2011.00489.x>.
- Dunlap KL, Reynolds AJ and Duffy LK(2006). Total antioxidant power in sled dogs supplemented with blueberries and the comparison of blood parameters associated with exercise. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 143, 429~434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2005.09.007>.
- DeFuria J, Bennett G, Strissel KJ, Perfield II, JW, Milbury PE, Greenberg AS and Obin MS(2009). Dietary blueberry attenuates whole-body insulin resistance in high fat-fed mice by reducing adipocyte death and its inflammatory sequelae. *J Nutr* 139, 1510~1516. <https://doi.org/10.3945/jn.109.105155>.
- Gabor E, Sara A and Barbu A(2010). The effects of some phytoadditives on growth, health and meat quality on different species of fish. *Sci Pap Anim Sci Biotechnol* 43, 61~65.
- Grant KR(2015). Fish hematology and associated disorders. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice* 18, 83~103. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.007>
- Huo HJ, Yang TZ, Gao CB, Cao M, Xue T, Fu Q and Li C(2022). Molecular characterization, antibacterial activity and mechanism analyzation of three different piscidins from black rockfish, *Sebastes schlegelii*. *Dev Comp Immunol* 131, 104394. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2022.104394>
- Imenshahidi M and Hosseinzadeh H(2019). Berberine and barberry (*Berberis vulgaris*): a clinical review. *Phytother Res* 33, 504~523. <https://10.1002/ptr.6252>
- Jones SM, Zhong Z, Enomoto N, Schemmer P and Thurman RG(1998). Dietary juniper berry oil minimizes hepatic reperfusion injury in the rat. *Hepatology* 28(4), 1042~1050. <https://doi.org/10.1002/hep.510280419>
- Kesbic OS(2019). Effects of juniper berry oil on growth performance and blood parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquac Res* 50(1), 342~349. <http://doi.org/10.1111/are.13908>
- Kim HS, Kim HJ, Choi DG, Jang B, Cho SH, Kwon M, Min B and Kim DS(2016). Effect of various sources of dietary additives on growth, body composition, and challenge test survival of



- juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. Turk J Fish Aquat Sci 16, 759~766.  
[https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16\\_4\\_02](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_4_02)
- Kim HS, Lee KW, Jung HS, Kim J, Yun A, Cho SH and Kwon M(2017). Effects of dietary inclusion of yacon, ginger and blueberry on growth, body composition and challenge test of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*) against *Edwardsiella tarda* Aquac Nutr 24, 1048~1055.  
<https://doi.org/10.1111/anu.12643>
- Kim J, Lee KW, Jeong HS, Ansary MWR, Kim HS, Kim T, Kwon MG and Cho SH(2019). Oral administration effect of yacon, ginger and blueberry on the growth, body composition and plasma chemistry of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and immunity test against *Streptococcus iniae* compared to a commercial probiotic, *Lactobacillus fermentum* Aquacult Res 15, 100212.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100212>
- Kim K, Wang XJ and Bai SC(2001). Reevaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). Aquacult Res 32, 119~125.  
<http://lps3.doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00010.x>
- KOSIS(2021). Korean Statistical Information Service.  
[https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?parentId=K2.1&vwcd=MT\\_ZTITLE&menuId=M\\_01\\_01#content-group](https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?parentId=K2.1&vwcd=MT_ZTITLE&menuId=M_01_01#content-group)
- Lange S, Gudmundsdottir BK and Magnadottir B(2001). Humoral immune parameters of cultured Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). Fish Shellfish Immunol 11, 523~535.  
<https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0333>
- Lee B, Kim Min, Hur S, Lee S, Lee J, Kim HJ, Kim Y, Lee S and Kim K(2021). Effects of dietary medicinal plant by-products on growth performance, blood biochemistry and immune responses of the juvenile red lip mullet *Liza haematocheila*. Korea J Fish Aquat Sci 54(4), 411~417.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0411>
- Lee D, Lee C, Kim K, 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 KW, Jeong HS and Cho SH(2020). Dietary inclusion effect of yacon, ginger, and blueberry on growth, body composition, and disease resistance of juvenile black rockfish (*Sebastes schlegeli*) against *Vibrio anguillarum*. Fish Aquatic Sci 23, 7.  
<https://doi.org/10.1186/s41240-020-00157-8>
- Lee KW, Kim HS, Cho SH, Park CI and Ha MS (2016). Effects of dietary inclusion of yacon, ginger and blueberry on growth, feed utilization, serum chemistry and challenge test against *Streptococcus iniae* of juvenile rockfish *Sebastes schlegelii*. Korean J Fish Aquat Sci 49, 823~829.  
<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0823>
- Lee S, Hwang U and Cho SH(2000). Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 187, 399~409.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S00448486\(00\)00318-5](http://dx.doi.org/10.1016/S00448486(00)00318-5)
- Lee SM(2002). Apparent digestibility coefficients of various feeding ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 207, 79~95.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00751-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00751-7)
- Lee Y, Lee JH, Kim SD, Shang MS, Jo IS, Kim SJ, Hwang KT, Jo HB and Kim JH(2015). Chemical composition, functional constituents, and antioxidant activities of berry fruits produced in Korea. J Korean Soc Food Sci Nutr 44, 1295~1303.  
<http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.9.1295>
- Michalska A and Lysiak G(2015). Bioactive compounds of blueberries: post-harvest factors influencing the nutritional value of products. Int J Mol Sci 16, 18642~18663.  
<https://doi.org/10.3390/ijms160818642>
- Mizanur RM, Yun H, Moniruzzaman M, Ferreira F, Kim K and Bai SC(2014). Effects of feeding rate and water temperature on growth and body composition of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf 1880). Asian-Australas J Anim Sci 27, 690~699.  
<http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13508>
- Mohammadiazarm H, Maniat M, Ghorbanijeze H K

- and Ghotbeddin N(2020). Effects of spirulina powder (*Spirulina platensis*) as a dietary additive on Oseaf fish, *Astronotus ocellatus*: Assessing growth performance, body composition, digestive enzyme activity, immune-biochemical parameters, blood indices and total pigmentation. *Aquac Nutr* 27, 252~260.  
<https://10.111/anu.13182>
- Molan AL, Lila MA and Mawson J(2008). Satiety in rats following blueberry extract consumption induced by appetite-suppressing mechanisms unrelated to *in vitro* or *in vivo* antioxidant capacity. *Food Chem* 107, 1039~1044.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.018>.
- Mousavi E, Mohammadiazarm H, Mousavi SM and Ghatrami ER(2016). Effects of inulin, savory and onion powders in diet of juveniles carp *Cyprinus carpio* (Linnaeus 1758) on gut micro flora, immune response and blood biochemical parameters. *Turk J Fish Aquat Sci* 16, 831~838.  
[https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16\\_4\\_09](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_4_09)
- Ng WK and Koh CB(2017). The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Rev Aquac* 9(4), 342~368.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12141>
- Oh HY, Lee TH, Lee D, Lee C, Joo M, Kim HS and Kim K(2022). Dietary supplementation with ginger (*Zingiber officinale*) residue from juice extraction improves juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*) growth performance, antioxidant enzyme activity and resistance to *Streptococcus iniae* infection. *Animals* 12, 546.  
<https://doi.org/10.3390/ani12050546>
- Pan Y, Zheng LB, Mao Y, Wang J, Lin LS, Su YQ and Li Y. 2019. The antibacterial activity and mechanism analysis of piscidin 5 like from *Larimichthys crocea*. *Dev Comp Immunol* 92, 43~49.  
<https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.10.008>
- Papandreou MA, Dimakopoulou A, Linardaki ZI, Cordopatis P, Klim is-Zacas D, Margarity M and Lamari FN(2009). Effect of a polyphenol-rich wild blueberry extract on cognitive performance of mice, brain antioxidant markers and acetylcholinesterase activity. *Behav Brain Res* 108, 352~358.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2008.11.013>.
- Punitha SMJ, Babu MM, Sivaram V, Shankar VS, Dhas SA, Mahesh TC, Immanuel G and Citarasu T(2008). Immunostimulating influence of herbal biomedicines on nonspecific immunity in grouper *Epinephelus tauvina* juvenile against *Vibrio harveyi* infection. *Aquacult Int* 16, 511~523.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10499-007-9162-6>.
- Ramezani F, Shekarabi SPH, Mehrgan MS, Foroudi F and Islami HR(2021). Supplementation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) diet with barberry (*Berberis vulgaris*) fruit extract: Growth performance, hemato-biochemical parameters, digestive enzyme activity, and growth-related gene expression. *Aquaculture* 540, 736750.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736750>
- Ramezanzadeh S, Abedian Kenari A, Esmaeili M and Rombenso A(2020). Effects of different forms of barberry root (*Berberis vulgaris*) on growth performance, muscle fatty acids profile, whole-body composition, and digestive enzymes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J World Aquac Soc* 52, 284~302.  
<https://doi.org/10.1111/jwas.12722>.
- Rossi M, Giussani E, Morelli R, Lo Scalzo R, Nani RC, and Torreggiani D(2003). Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. *Food Res Int* 36, 999~1005.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.07.002>
- Sanchez-Salcedo EM, Mena P, Garcia-Viguera C, Martinez JJ, Hern'andez F(2015). Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties. *J Funct Foods* 2, 399~408.  
<https://10.1016/j.jff.2014.12.010>
- Seeram NP(2008). Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *J Agric Food Chem* 56, 627~629.  
<https://doi.org/10.1021/jf071988k>
- Shekarabi SPH, Omidi AH, Dawood MA, Adel M, Avazeh A and Heidari F(2020). Effect of black mulberry (*Morus nigra*) powder on growth performance, biochemical parameters, blood carotenoid concentration, and fillet color of

- rainbow trout. *Ann Anim Sci* 20, 125~136.  
<https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0068>.
- Takakuwa F, Tanabe R, Nomura S, Inui T, Yamada S, Biswas A and Tanaka H(2021). Availability of black soldier fly meal as an alternative protein source to fish meal in red sea bream (*Pagrus major*, Temminck & Schlegel) fingerling diets. *Aquac Res* 53, 36~49.  
<https://doi.org/10.1111/are.15550>
- Yang H, Bian Y, Huang L, Lan Q, Ma L, Li X and Leng X(2022). Effects of replacing fish meal with fermented soybean meal on the growth performance, intestinal microbiota, morphology and disease resistance of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquac Rep* 22, 100954.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100954>
- Yilmaz E(2019a). Effects of dietary anthocyanin on innate immune parameters, gene expression responses, and ammonia resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol* 93, 694~701.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.08.033>
- Yilmaz S(2019b). Effects of dietary blackberry syrup supplement on growth performance, antioxidant, and immunological responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* to *Plesiomonas shigelloides* *Fish Shellfish Immunol* 84, 1125~1133.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.11.012>
- Yilmaz S, Ergun S, Yigit M, Yilmaz E and Ahmadifar E(2020). Dietary supplementation of black mulberry (*Morus nigra*) syrup improves the growth performance, innate immune response, antioxidant status, gene expression responses, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol* 107, 211~217.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.041>
- Yun A, Kim HS, Seo Y, Cho SH and Bae JY(2016). Effects of dietary antioxidant supplementation on the growth, serum chemistry, body composition and challenge test results of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 323~329.  
<https://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0323>
- Zielinska M and Michalska A(2018). The influence of convective, microwave vacuum and microwave-assisted drying on blueberry pomace physicochemical properties. *International Journal of Food Engineering*, 14.  
<https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0332>
- 
- Received : 07 April, 2022
  - Revised : 04 May, 2022
  - Accepted : 11 May, 2022