

공급 사료에 따른 강도다리 (*Platichthys stellatus*)의 성장과 혈액성분의 변화

박성덕^{1,3} · 김재원¹ · 김병기¹ · 전중균^{2,*}

¹강원도립대학교 해양생명과학과, ²강릉원주대학교 해양생물공학과

³강원도수산자원연구원

Growth Performance and Blood Chemistry of Starry Flounder *Platichthys stellatus* Fed Extruded and Moist Pellet

Seongdeok Park^{1,3}, Jae Won Kim¹, Pyong Kih Kim¹ and Joong-Kyun Jeon^{2,*}

¹Department of Marine Bio-Science, Gangwon State University, Gangneung 25425, Republic of Korea

²Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University,
Gangneung 25457, Republic of Korea

³Gangwon Province Fisheries Resources Institute, Gangneung 25435, Republic of Korea

Abstract - This study was evaluated individual growth and hematological changes of young starry flounder, using hyperpigmentation marks on the blind side of body after feeding extruded pellet (EP) and moisture pellet (MP) for 45 days. As a result, the fish grew up to 220.1 ± 47.8 g in the EP treatment and 224.7 ± 42.4 g in the MP treatment, so the weight gain was significantly higher in the MP treatment ($74.6 \pm 17.3\%$) than in the EP treatment ($63.7 \pm 16.9\%$) ($P < 0.05$). Osmolalities of flounder after 45 days culture were similar between the treatments ($P > 0.05$), showing values of 359.8 ± 4.2 mOsm kg^{-1} in the EP treatment and 358.5 ± 6.2 mOsm kg^{-1} in the MP treatment. Similarly, other blood chemistry indicators such as sodium, chloride, total protein, albumin, glucose, total cholesterol, BUN, creatinine, ammonia, triglyceride, cortisol, GOT, GPT and hematocrit showed no differences between the treatments. However, the free fatty acid concentration was significantly higher in the MP treatment than in the EP treatment ($P < 0.05$).

Key words : starry flounder, extruded-dry pellet, moist pellet, blood chemistry

서 론

어류의 사육에 사용되는 사료로는 배합사료 (extruded-dry pellet, EP)와 습사료 (raw-based moist, MP)가 있는데 대부분의 양어가들은 EP사료 대신 MP사료를 이용하여 사육하고 있다. 이는 EP사료 공급 시 성장 둔화로 인한 출하시기 연장

과 육질의 탄력도 및 맛이 떨어진다는 인식이 주요 원인이 다 (Kim *et al.* 2008; Hwang and Kim 2009). 그러나 MP사료의 사용은 양식용수 오염, 원료인 치어의 남획, 어병 발생 및 사료 제조비나 창고보관비 등 비용적인 문제점들을 발생시킬 수가 있다 (Hwang and Kim 2009).

우리나라 동해안에서 주로 서식하는 강도다리 (*Platichthys stellatus*)는 초겨울부터 이듬해 봄 (11월~4월)에 걸쳐 어획되고 있으며, 넙치에 비해 고도불포화지방산 (EPA) 함량이

* Corresponding author: Joong-Kyun Jeon, Tel. 033-640-2412,
Fax. 033-640-2340, E-mail. jkjeon@gwnu.ac.kr

1.6배나 높고, 식감을 결정하는 육질의 강도(Texture)도 약 1.7배 높아 소비자들이 좋아하는 어종이다(NFRDI 2008). 또한, 담수 및 기수역에서도 서식이 관찰되는 광염성 어종으로 급격한 염분 변화에서 적응력이 뛰어나며, 내병성이 강한 것으로 알려져 있다(Kim *et al.* 2009).

그동안 넙치(*P. olicaceus*)의 영양 요구 및 EP사료 및 MP사료의 성장 평가에 대한 연구들은 많이 이루어져 왔지만(Cho *et al.* 2006; Kim *et al.* 2006; Seo *et al.* 2007; Kim *et al.* 2008; Kim *et al.* 2010), 강도다리를 대상으로 한 연구로는 담수 사육의 영향(Kwon *et al.* 2007; Kim *et al.* 2009; Lim *et al.* 2012), 사육수온에 따른 생리적 영향(Jeong *et al.* 2009; Oh *et al.* 2009a, b) 등 사육환경에 대한 연구를 비롯하여 자원증식기술(Lim *et al.* 2006; Lim and Kim 2007; Lim *et al.* 2007) 등이 주로 연구되었다.

성장에 따른 강도다리의 소화생리에 관한 연구는 필수지방산 함량(Lee *et al.* 2003)이나 단백질, 탄수화물 및 지질 함량(Lee *et al.* 2004), 그리고 단백질 함량(Lee *et al.* 2006)에 따른 영향 등 매우 제한적으로만 이루어졌을 뿐 EP사료 및 MP사료에 대한 성장 비교 자료는 찾아보기 어려운 실정이다. 더구나 최근에는 어류의 혈액 성분을 분석하여 영양 성분의 소화생리뿐 아니라(Kaushik and Teles 1985; Wilson and Poe 1985), 질병 진단(Jantrarotai *et al.* 1990), 스트레스 진단(Avella *et al.* 1990), 환경 적응도 진단(Hong *et al.* 2004)에도 활용하고 있으나, 강도다리에 대해서는 아직 시도된 바가 없다.

한편, 넙치를 비롯한 flatfishes의 사육 시에는 자연산과 달리 환경적 요인(Stickney and White 1975), 영양적 요인(Tarui *et al.* 2006), 조도나 기질 요인(Iwata and Kikuchi 1998; Yamanome *et al.* 2007) 등 다양한 요인들에 의해 복부의 색소침착(흑화) 및 배부의 색소결핍(백화) 현상이 종종 보고되고 있다. 그리고 특히 무안축 흑화 패턴은 개체가 성장하면서도 달라지지 않기 때문에, 어류 고유 개체를 인식할 수 있는 표지로 활용할 수도 있을 것이라 여겨진다.

이런 배경 하에서, 본 연구에서는 강도다리의 소화생리를 파악하고자, EP사료와 MP사료를 강도다리에게 급이하고, 무안축 흑화 패턴을 이용하여 사육 개체별로 성장도와 혈액의 생화학적 특성을 조사비교하였다.

재료 및 방법

1. 사육시스템 및 수질

실험에는 Kim (2011)이 사용했던 것과 같은 4개의 사육수조, 저수조 1개, 침전조 3개, 포말분리기 1개, 살수식 생물학적 여과조 1개로 구성된 총 수량 약 4,500 L의 순환여과시스템을 이용하였다. 실험기간 중의 수질은 매일 두 차례 사료 공급 후 30분 후에 다항목수질측정기(Multiparameter system) (YSI 556MPS, U.S.A.)로 측정하였으며, 총암모니아성 질소, 아질산성 질소 및 질산성 질소는 분광광도계(Spectrophotometer) (HACH DR 4000U, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다. 실험기간 동안의 수질은 Table 1과 같다.

2. 실험 조건

사육 어류로는 강원도립대학 수족사육실에서 키우던 130 g 내외의 강도다리를 실험에 이용하였고, 실험구는 EP사료 시험구 2개 수조(각각 1.0 m × 1.0 m × 1.0 m)와 동일한 크기의 MP사료 시험구 2개 수조로 구성하였으며, 수조별 각 50 마리씩을 수용하였다. 시험용 EP사료는 시판용 해산어류 사료(밀레니엄, 우성사료)를, 시험용 MP사료는 MP제조용 분말(밀레니엄, 우성사료)과 잘게 마쇄한 냉동 고등어를 혼합(고등어 65%, 분말사료 35%, 습중량 기준)하여 사용하였다. 이들 사료는 -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였고, 어류에게는 매일 2회(09:00, 19:00) 반복 공급하였다. EP사료와 MP사료의 조단백과 조지질 함량은 각각 43.5% 및 11.8% 그리고 45.5% 및 23.5%이었다(건물량 기준). 사육 기간은 45일이었다.

3. 생체무늬를 이용한 개체별 성장 조사

개체별 성장 지표를 조사하기 위하여 수조에 넣기 전에 개체별로 전장과 체중을 측정하였다. 이때 디지털 카메라를 이용하여 무안축의 특이적인 생체무늬(흑화)를 촬영하여 두고 실험 종료 후에 이것을 비교하여 개체를 확인하였다.

강도다리 성장과 관련된 지표는 다음의 식 1, 2 및 3을 이용하여 계산하였다.

Table 1. Water qualities during the experimental period

| | Water temperature (°C) | Dissolved oxygen (mg L ⁻¹) | pH | Salinity (psu) | Total ammonia nitrogen (mg L ⁻¹) | Nitrite nitrogen (mg L ⁻¹) | Nitrate nitrogen (mg L ⁻¹) |
|----|------------------------|--|-----------|----------------|--|--|--|
| EP | 15.0 ± 1.2 | 8.3 ± 0.8 | 7.7 ± 0.3 | 34.0 ± 0.2 | 0.039 ± 0.002 | 0.041 ± 0.005 | 17.88 ± 0.42 |
| MP | 15.0 ± 1.2 | 8.2 ± 0.9 | 7.7 ± 0.3 | 34.0 ± 0.2 | 0.046 ± 0.003 | 0.042 ± 0.006 | 18.15 ± 0.16 |

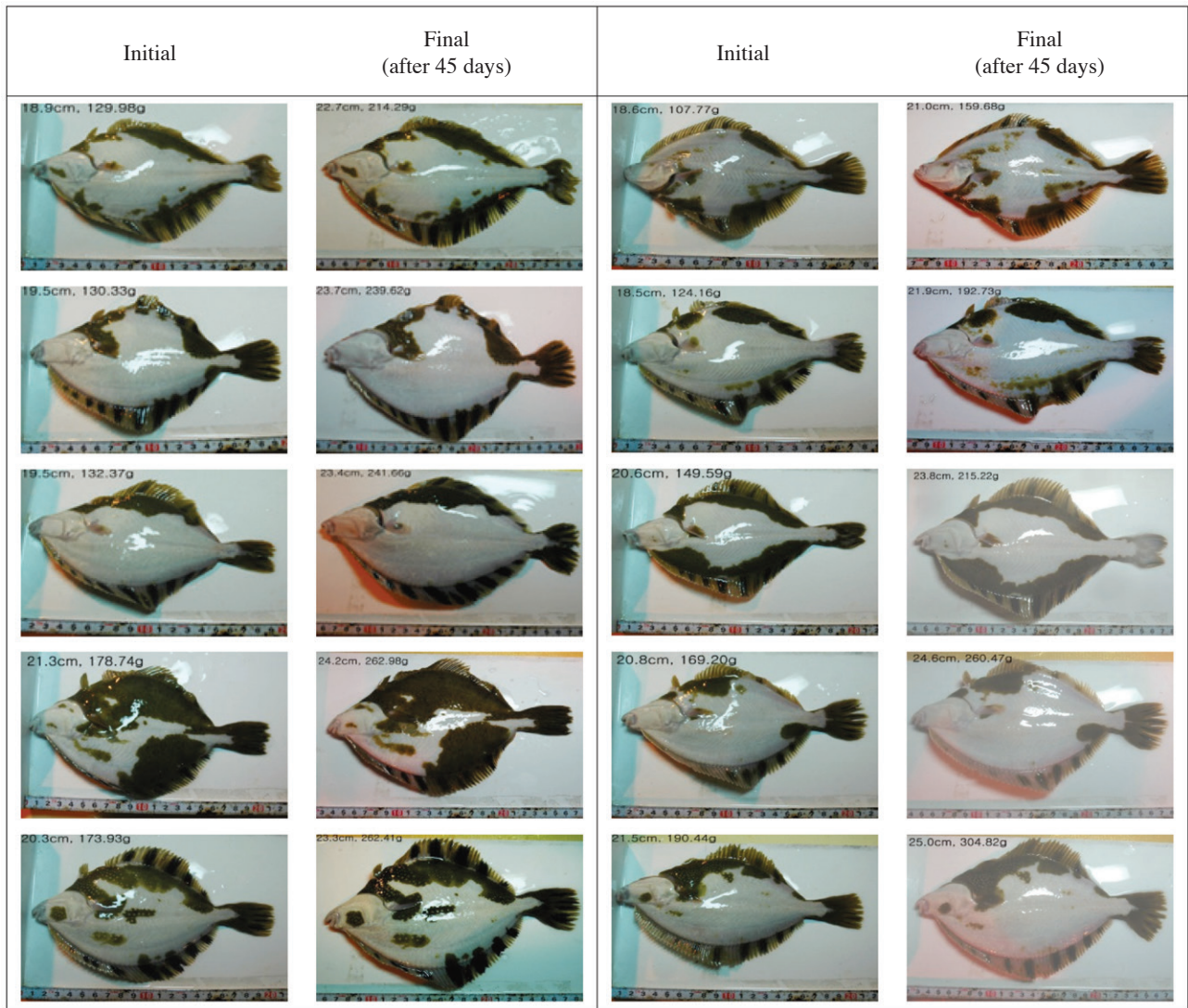


Fig. 1. Some examples of individual recognition and specific growth rate of starry flounder *Platichthys stellatus* using hyperpigmentation marks.

$$\begin{aligned} \text{Weight gain (\%)} \\ &= (\text{Final body weight} - \text{initial body weight}) \\ &\quad \times 100 / \text{initial body weight} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Specific growth rate (\%)} \\ &= (\text{Ln final total length} - \text{Ln initial total length}) \\ &\quad \times 100 / \text{days} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Condition factor} = \text{Fish weight} \times 100 / \text{total length}^3 \quad (3)$$

4. 사료 종류에 따른 혈액성분 조사

사육실험 종료 후 각 사육수조에서 5마리씩 무작위로 꺼

내어 미부의 동맥으로부터 채혈하고, 이를 냉장고에서 3시간 방치하여 응고시킨 뒤 원심분리(3,000 rpm, 10 min)하여 상등부의 혈청(serum)을 생화학성분 분석에 이용하였다.

Hematocrit은 헤마토크리트용 원심분리기(Micro Hematocrit VS-12000, Korea)를 사용하였고, 환경 스트레스에 가장 민감하게 반응하는 총 삼투질 농도(osmolality)는 micro osmometer (μ OsmetteTM, Precision System, U.S.A.)로 측정하였으며, 스트레스 호르몬인 코티졸(cortisol) 분석은 Jeon *et al.* (2000)의 방법을 따랐다. 그리고 영양상태의 지표로는 총 단백질(total protein), 알부민(albumin), 혈당(glucose), 콜레스테롤(total cholesterol) 중성지질(triglyceride), 유리지방산(free fatty acid)을 측정하였으며, 간장 건강도의 지표효소

인 GOT (glutamic oxaloacetic transaminase), GPT (glutamic pyruvic transaminase), 그리고 섭취 단백질의 소화능 지표로 요소질소(BUN), 크레아티닌(creatinine), 암모니아(ammonia)를 비롯하여 전해질로는 sodium (Na^+), chloride (Cl^-)를 혈액 자동분석기 (Cobas Integra 800 analyzer, Roche Diagnostics, U.S.A.)로 측정하였다.

5. 통계처리

본 실험에 대한 결과는 mean \pm S.D.로 나타내었고, SPSS ver. 17.0 프로그램을 이용하여 실험구별 성장 및 혈액성상은 *t*-test를 실시하여 평균 간의 유의성을 검정하였다 ($P < 0.05$). 그리고 생체무늬를 이용한 강도다리 인식 자료와 혈액 검사 결과를 공급사료별 일간 성장률이 높았던 그룹과 낮았던 그룹 (SGR-low와 SGR-high)으로 구분하여 ANOVA로 검증한 후, $P < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성 비교를 하였다.

결과 및 고찰

1. 개체별 성장 조사를 위한 생체무늬의 활용가능성

종전에는 개체별 확인을 위해 주로 태그(tag)를 사용하였으나, 이것이 생물에게 즉각적인 폐사를 초래할 수 있고 (Uglen and Grimsen 1995), 스트레스로 인해 섭취량도 크게 줄어든다고 한다 (MIFAFF 2009). 그래서 본 실험에서는 양식 넙치류에게서 흔히 관찰되는 무안측 흑화 (Stickey and White 1975)를 개체 인식에 활용하고자, 실험개시 전과 종료 후에 강도다리의 무안측 생체무늬를 사진 촬영하여 개체 인식 가능성을 확인하였는데, 생체무늬의 큰 변화가 관찰되지

않았기에 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 이 방법은 향후 강도다리를 비롯한 넙치류에서의 개체 인식 수단으로 사용할 수 있을 것이라 여겨진다 (Fig. 1).

2. 공급사료에 따른 성장 비교

EP사료와 MP사료를 45일간 공급한 강도다리의 성장지표는 Table 2와 같다.

실험개시 시 EP사료 및 MP사료 시험구의 어류 체중은 각각 136.0 ± 33.3 g 및 130.4 ± 28.7 g이었고, 종료 시에는 각각 220.1 ± 47.8 g 및 224.7 ± 42.4 g으로 성장하여, 이들의 증중률은 각각 $63.7 \pm 16.9\%$ 및 $74.6 \pm 17.3\%$ 였으며, 시험구 간에 유의적인 차이가 있었다 ($P < 0.05$). 그리고 EP사료 시험구와 MP사료 시험구에서는 전장에 대한 일간 성장률 ($0.36 \pm 0.07\%$ 및 $0.40 \pm 0.07\%$)이나 체중에 대한 일간 성장률 ($1.08 \pm 0.23\%$ 및 $1.23 \pm 0.22\%$)은 모두 MP사료 시험구가 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 그러나 비만도는 시험구 간에 유의적인 차이는 없었다 ($P > 0.05$). 이처럼 두 사료 시험구에서 어류 생존율은 99~100%로 차이가 없었지만, 증중량과 일간 성장률은 MP사료 시험구가 EP사료 시험구보다 유의적으로 높았다.

Seo *et al.* (2007)은 넙치를 78일간 사육한 결과 EP사료와 MP사료의 증중률은 차이가 없었으며, Lee *et al.* (2005)은 넙치를 8주간 사육한 결과 MP사료 시험구의 사료효율이 저조한 결과를 보여 본 실험과는 차이가 있었다. 이는 저수온에서도 잘 성장하는 강도다리가 EP사료에 비해 상대적으로 지질이 많이 함유된 MP사료를 넙치보다 효율적으로 에너지 원으로 활용했을 것으로 판단된다. 또한 점결력이 낮고 수분 함량이 높은 MP사료는 수중으로 허실되는 양이 많이 발생하지만 (Cho *et al.* 2005), 본 연구에서는 소규모의 (1 m 사

Table 2. Comparison in growth performance of starry flounder *Platichthys stellatus* fed extruded-dry pellet and raw-based moist pellet for 45 days

| | Exp. Diet | | Significance | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | EP | MP | | |
| Initial mean weight (g) | 136.0 ± 33.3 | 130.4 ± 28.7 | | |
| Final mean weight (g) | 220.1 ± 47.8 | 224.7 ± 42.4 | | |
| Total feed ingested (g) | 7111 ± 403 | 8813 ± 113 | | |
| Weight gain (%) ¹ | 63.7 ± 16.9 | 74.6 ± 17.3 | $P < 0.05$ | |
| Feed conversion ² | 1.46 ± 0.02 | 1.08 ± 0.05 | $P < 0.05$ | |
| Specific growth rate (%) | Total length ³ | 0.36 ± 0.07 | 0.40 ± 0.07 | $P < 0.05$ |
| | | Weight ⁴ | 1.08 ± 0.23 | 1.23 ± 0.22 |
| Condition factor ⁵ | | 1.82 ± 0.29 | 1.82 ± 0.16 | |

¹(Final body weight - initial body weight) \times 100 / initial body weight.

²Dry feed intake / wet weight gain.

³(Ln final total length - Ln initial total length) \times 100 / days.

⁴(Ln final weight - Ln initial weight) \times 100 / days.

⁵Fish weight \times 100 / total length.

Table 3. Comparison in serum components of starry flounder *Platichthys stellatus* fed extruded-dry pellet and raw-based moist pellet for 45 days

| Field | Components | Exp. Diet | | Significance |
|-----------------|--|--------------|--------------|----------------|
| | | EP | MP | |
| Osmosis-related | Osmolality (mOsm kg ⁻¹) | 359.8±4.2 | 358.5±6.2 | |
| | Sodium (Na ⁺) (mEq L ⁻¹) | 182.3±2.6 | 178.2±0.8 | |
| | Chloride (Cl ⁻) (mEq L ⁻¹) | 149.0±2.5 | 148.0±1.3 | |
| Liver-related | GOT (IU L ⁻¹) | 20.5±8.7 | 17.0±9.4 | |
| | GPT (IU L ⁻¹) | 3.5±0.6 | 3.8±1.2 | |
| Stress-related | Cortisol (µg dL ⁻¹) | 13.14±3.96 | 17.29±2.33 | |
| Protein-related | Total Protein (g dL ⁻¹) | 3.70±0.24 | 3.71±0.32 | |
| | Albumin (g dL ⁻¹) | 1.37±0.09 | 1.39±0.14 | |
| | BUN (mg dL ⁻¹) | 3.54±0.54 | 2.90±0.47 | |
| | Creatinine (mg dL ⁻¹) | 0.05±0.03 | 0.08±0.09 | |
| | Ammonia (µmol L ⁻¹) | 1569.5±203.4 | 1339.7±309.3 | |
| Energy-related | Glucose (mg dL ⁻¹) | 35.3±3.4 | 39.3±7.4 | |
| | Total Cholesterol (mg dL ⁻¹) | 272.2±26.4 | 265.3±20.3 | |
| | Triglyceride (mg dL ⁻¹) | 85.7±21.8 | 80.0±8.6 | |
| | Free Fatty acid (µmol L ⁻¹) | 275.0±8.7 | 419.8±38.8 | |
| | Hematocrit (%) | 27.86±1.30 | 26.85±2.92 | <i>P</i> <0.05 |

각수조) 사육수조에서 사육실험을 진행하였기 때문에 MP사료의 급이 시 수중으로 허실되는 양이 최소화되었을 것으로 사료된다.

강도다리 사육 시 사료 중의 단백질과 지질의 함량은 성장에 크게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데, 지질 함량이 7%일 경우에는 단백질 함량이 50% 이상이라야 성장이 좋다고 하며 (Lee *et al.* 2004; Lee *et al.* 2006), 지질은 최소 10% 이상이라야 성장을 개선시킬 수 있다고 하였다 (Ding *et al.* 2010).

본 연구에서도 지질 함량 11.8%인 EP사료보다 23.5%인 MP사료에서 증중량이 더 컸기에, 상기한 연구자들의 결과와 일치하는 경향을 보였다.

3. 공급사료에 따른 혈액성분 비교

45일간의 사육실험 후 EP사료와 MP사료를 섭취한 강도다리 (n=10)의 혈액성분은 Table 3과 같다.

일반적으로 어류가 다양한 외부 스트레스에 의해 자극을 받으면 1차적으로는 코티졸 등의 호르몬에 변화가 일어나고, 그로 인해 삼투질 농도나 혈당 농도 등에 변화가 일어난다고 잘 알려져 있다 (Mazeud *et al.* 1977; Barton and Iwama 1991).

본 실험에서는 삼투압과 관련된 전해질 농도 (osmolality) 는 EP사료와 MP사료 시험구에서 각각 359.8±4.2 및 358.5±6.2 mOsm kg⁻¹로 시험구 간에 유의적인 차이는 없었고, 염소

(Cl⁻)와 나트륨(Na⁺) 이온 농도도 각각 149.0±2.5 및 148.0±1.3 mEq L⁻¹, 182.3±2.6 및 178.2±0.8 mEq L⁻¹로 유의적인 차이가 없었으며 (*P*>0.05), 코티졸 (cortisol) 농도도 각각 13.14±3.96 및 17.29±2.33 µg dL⁻¹로 유의적인 차이는 없었다 (*P*>0.05).

그리고, 간장 건강도 지표인 GOT와 GPT 활성은 EP사료 및 MP사료 시험구에서 각각 20.5±8.7 및 17.0±9.4 IU L⁻¹, 3.5±0.6 및 3.8±1.2 IU L⁻¹로 시험구 간에 유의적 차이가 없었고 (*P*>0.05), 영양 지표인 총 단백질과 알부민 농도는 EP사료 및 MP사료 시험구에서 유의적인 차이가 없었고 (*P*>0.05), 알부민과 글로부린의 비율 (A/G)도 0.60으로 차이가 없었다 (*P*>0.05). 그리고 단백질의 대사산물인 요소질소 (BUN), 크레아티닌 및 암모니아 농도도 EP사료 및 MP사료 시험구에서 유의적인 차이가 없었다 (*P*>0.05).

그리고 에너지와 관련된 지표성분인 포도당, 총 콜레스테롤 및 중성지질 농도는 EP사료와 MP사료 시험구에서 유의적인 차이는 없었지만 (*P*>0.05), 유리지방산 농도는 MP사료 시험구에서 유의적으로 높았다 (*P*<0.05). 이처럼 혈중 유리지방산 농도가 MP사료 시험구에서 유의적으로 높은 것은 MP사료의 지질 함량이 상대적으로 많았기 때문일 것이라 여겨지며, MP사료 시험구가 증중량이나 일간 성장률이 높았던 것과는 관련이 있을 것이라 여겨진다.

Seo *et al.* (2007)은 단백질과 지질 함량을 달리한 EP사료와 MP사료로 넙치를 사육한 결과 포도당, 총 단백질, 중성지질, GPT에서 유의한 차이를 나타내지 않는다고 하였고, Lee

Table 4. Comparison in serum components of starry flounder *Platichthys stellatus* depending on the specific growth rate

| Field | Components | Exp. Diet | | | |
|-----------------|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | EP | | MP | |
| | | SGR-high | SGR-low | SGR-high | SGR-low |
| | Specific growth rate (%) | 1.28±0.16 ^b | 0.95±0.09 ^a | 1.29±0.12 ^b | 1.02±0.06 ^a |
| Osmosis-related | Osmolality (mOsm kg ⁻¹) | 363.6±8.9 | 359.0±5.5 | 360.8±9.44 | 358.0±9.8 |
| | Sodium (Na ⁺) (mEq L ⁻¹) | 179.8±4.3 | 184.0±2.7 | 178.6±1.9 | 177.6±1.7 |
| | Chloride (Cl ⁻) (mEq L ⁻¹) | 147.0±3.7 | 151.0±3.1 | 149.0±0.7 | 146.4±1.7 |
| Liver-related | GOT (IUL ⁻¹) | 33.0±24.0 | 17.8±11.3 | 22.6±13.8 | 19.8±20.3 |
| | GPT (IUL ⁻¹) | 3.6±1.1 | 3.2±0.8 | 6.8±4.2 | 2.8±1.3 |
| Stress-related | Cortisol (µg dL ⁻¹) | 12.35±10.17 | 13.48±4.32 | 17.39±2.86 | 16.09±9.54 |
| Protein-related | Total Protein (g dL ⁻¹) | 3.96±0.57 | 3.58±0.38 | 3.53±0.45 | 3.85±0.60 |
| | Albumin (g dL ⁻¹) | 1.47±0.16 | 1.28±0.14 | 1.36±0.19 | 1.49±0.40 |
| | BUN (mg dL ⁻¹) | 3.82±1.03 | 3.36±1.11 | 3.02±0.63 | 2.62±0.76 |
| | Creatinine (mg dL ⁻¹) | 0.11±0.12 | 0.04±0.02 | 0.17±0.17 | 0.12±0.22 |
| | Ammonia (µmol L ⁻¹) | 1376.8±603.2 | 1595.8±258.6 | 1498.6±391.6 | 1144.4±421.2 |
| Energy-related | Glucose (mg dL ⁻¹) | 42.2±23.9 | 36.0±3.4 | 45.2±8.0 | 31.2±12.2 |
| | Total Cholesterol (mg dL ⁻¹) | 286.0±41.6 | 267.2±45.3 | 264.4±23.4 | 264.6±48.4 |
| | Triglyceride (mg dL ⁻¹) | 93.4±32.2 | 92.6±40.2 | 75.0±10.4 | 88.0±22.5 |
| | Free Fatty acid (µmol L ⁻¹) | 302.8±51.1 ^{ab} | 267.0±38.6 ^a | 483.0±108.8 ^c | 392.6±71.6 ^{bc} |
| | Hematocrit (%) | 29.42±3.72 | 27.49±2.80 | 26.10±2.36 | 27.04±4.32 |

Values in each row with the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

et al. (2005)은 EP사료와 MP사료를 8주간 사육한 결과, 총 단백질은 차이가 없었고, 중성지질은 단백질 46.9% 및 지질 9.6% 함유된 사료 실험구에서 높은 값을 보였지만, 대부분의 다른 실험구 간에 유의한 차이가 없는 것으로 보고하여, 본 연구 결과와 유사하였다.

한편, 동일한 사료를 공급하더라도 사육어의 성장도는 개체마다 차이가 있을 것으로 생각하여 일간 성장률을 조사한 결과, 두 시험구 모두 일간 성장률에 유의적인 차이를 보이는 두 그룹(SGR-low와 SGR-high)으로 나눌 수 있었는데 (Table 4), 이것은 동일한 사료를 주더라도 개체에 따라 성장에 차이가 있음을 보여준다.

그러나 사료 시험구별 어류의 혈중 삼투질 농도는 두 사료 시험구 모두에서 일간 성장률의 차이에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으며 ($P > 0.05$), 전해질(Na⁺와 Cl⁻) 농도, 간장 효소(GOT와 GPT) 활성, 코티졸 농도, 단백질과 관련된 여러 성분(요소질소, 크레아티닌, 암모니아) 농도는 모두 유의적인 차이가 없었고 ($P > 0.05$), 에너지원이 되는 혈당이나 총 콜레스테롤, 중성지질 농도도 유의적인 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 다만, 두 사료 시험구에서 유리지방산 농도는 일간 성장률이 높았던 그룹이 낮은 그룹에 비해 유의적인 차이를 보이지 않았지만 더 높았다. 즉, 사료 내 지질 함량의 높고 낮음을 떠나 성장이 높았던 그룹은 상대적으로 낮은 성장을 보인 그룹보다 혈액 내에 더 많은 유리지방산

을 함유하고 있음을 알 수 있다.

유리지방산은 조직 내 지질대사 및 당대사를 반영하는 지표이며, 간과 지방세포에서 지방합성 및 지방분해의 속도에 의해 영향을 받는 지표이다. 또한, 혈중으로 유리된 유리지방산은 알부민이 결합된 형태로 간과 골격근으로 운반이 되며, 간에서 중성지질 합성의 기질로 이용이 되고, 근육에서는 에너지 기질로 사용될 수 있다 (Park *et al.* 1987).

따라서 본 연구 결과와 비교하면, 혈중 높은 유리지방산의 함량에도 불구하고 중성지질의 농도가 유의한 차이를 보이지 않은 것은 대부분의 유리지방산이 체내 에너지 기질로 사용되었음을 유추할 수 있다.

이상의 결과를 정리하면, 본 실험을 통해 수온이 낮은 수역에 주로 서식하는 강도다리는 지질을 에너지원으로 활용한다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 두 사료 시험구에서는 모두 일간 성장률이 큰 그룹이 낮은 그룹에 비해 혈중 유리지방산 농도가 높았기 때문에 이들 간의 상관성에 대해서는 향후 더욱 상세한 검토가 필요할 것이다.

적 요

본 연구는 EP사료와 MP사료를 공급한 강도다리의 성장과 혈액성분의 변화 조사를 통해 강도다리 양식에 대한 기

초 자료를 제공하고자 수행되었다. 실험 개시 전과 종료 후에 강도다리의 무안측 생체무늬를 사진 촬영하여 개체 인식 가능성을 확인한 바, 생체 무늬의 큰 변화가 관찰되지 않아 향후 강도다리를 비롯한 넙치류에서의 개체 인식 수단으로 활용 가능할 것으로 여겨진다. 증중량과 일간 성장률은 MP 사료 시험구가 EP사료 시험구보다 높았으며, 혈액성분 중 삼투압과 관련된 전해질 농도, 코티졸 농도, 간장 건강도 지표, 영양 지표 등은 시험구 간 차이가 나타나지 않았다. 그러나 공급 사료의 지질 함량이 상대적으로 많았던 MP사료 시험구의 혈중 유리지방산 농도가 높게 나타나, 증중량이나 일간 성장률이 높았던 것과도 관련이 있을 것으로 여겨지며, 수온이 낮은 수역에 주로 서식하는 강도다리가 지질을 에너지원으로 효과적으로 활용한다는 것을 확인할 수 있었다. 두 사료 시험구에서 모두 일간 성장률이 큰 그룹이 낮은 그룹에 비해 혈중 유리지방산 농도가 높았던 것에 대한 상관성에 대해서는 향후 더욱 상세한 검토가 필요할 것으로 생각한다.

REFERENCES

- Avella M, G Young, P Prunet and CB Schreck. 1990. Plasma prolactin and cortisol concentrations during salinity challenges of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) at smolt and post-smolt stages. *Aquaculture* 91:359-372.
- Barton BA and GK Iwama. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the responses and effects of corticosteroids. *A Rev. Fish Diseases* 1:3-26.
- Cho SH, SM Lee and JH Lee. 2005. Effect of the extruded pellets and raw fish-based moisture pellet on growth and body composition of flounder, *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. *J. Aquaculture* 18:60-65.
- Cho SH, SM Lee, BH Park and SM Lee. 2006. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. *Aquaculture* 251:78-84.
- Ding LY, LM Zhang, JY Wang, JJ Ma, XJ Meng, PC Duan, LH Sun and YZ Sun. 2010. Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquacult. Res.* 41:1470-1478.
- Hong KP, PK Kim, JK Jeon, YH Kim, YJ Park, JG Myoung and JM Kim. 2004. Serum stress responses during seawater acclimation in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Ocean Polar Res.* 26:433-438.
- Hwang JW and DH Kim. 2009. An economic feasibility comparison of the extruded pellets and moist pellet on the olive flounder culture farms. *J. Fish. Business Administration* 40:198-205.
- Iwata N and K Kikuchi. 1998. Effects of sandy substrate and light on hypermelanosis of the blind side in cultured Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Environ. Biol. Fish.* 52:291-297.
- Jeon JK, PK Kim, JG Myoung and JM Kim. 2000. Changes of serum cortisol concentration and stress responses in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) to netting. *J. Kor. Fish. Soc.* 33:115-118.
- Jantrarotai W, RT Lovell and JM Grizzle. 1990. Acute toxicity of aflatoxin B1 to channel catfish. *J. Aquat. Anim. Health* 2:237-247.
- Jeong MH, SG Byun, HK Lim, BH Min, YS Kim and YJ Chang. 2009. Effects of water temperature on oxygen consumption in starry flounder *Platichthys stellatus* reared in seawater and freshwater. *Kor. J. Environ. Biol.* 27:285-291.
- Kaushik SJ and AO Teles. 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. *Aquaculture* 50:89-101.
- Kim PK. 2011. Effects of stocking density and dissolved oxygen concentration on the growth and hematology of the parrotfish *Oplegnathus fasciatus* in a recirculating aquaculture system (RAS). *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 44:747-752.
- Kim KD, YJ Kang, HY Lee, KW Kim, KM Kim and SM Lee. 2006. Evaluation of extruded pellets as a growing diet for adult flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquaculture* 19:173-177.
- Kim KD, YJ Kang, JY Lee, MM Nam, KW Kim, MS Jang and SM Lee. 2008. Evaluation of extruded pellets and raw fish-based moist pellet for growth of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquaculture* 21:102-106.
- Kim KW, KD Kim, SK Kim, MH Son, MS Jang, YJ Kang, SC Bai and KJ Lee. 2010. Quality characteristics of olive flounder muscle fed with extruded pellet and raw fish-based moist pellet. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 43:451-456.
- Kim YS, YH Do, BH Min, HK Lim, BK Lee and YJ Chang. 2009. Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speeds in salinity change. *J. Aquaculture* 22:28-33.
- Kwon MG, HK Lim, BH Min, SG Byun, YC Kim and BY Cho. 2007. Effects of aquaculture conditions on blood chemistry property and lysozyme activity of starry flounder, *Platichthys stellatus*. *J. Fish. Pathol.* 20:281-289.
- Lee SM, JH Lee and KD Kim. 2003. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 225:269-281.

- Lee SM, JY Seo, YW Lee, KD Kim, JH Lee and HS Jang. 2005. Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growing flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquaculture 18:287-292.
- Lee SM, JH Lee, KD Kim and SH Cho. 2006. Optimum dietary protein for growth of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. J. World Aquacult. Soc. 37:200-203.
- Lee JH, SH Cho, HK Lim, KD Kim and SM Lee. 2004. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of adult starry flounder (*Platichthys stellatus*). J. Fish. Sci. Tech. 7:184-191.
- Lim HK, CM An, MH Son, MW Park, EO Kim and SG Byun. 2006. Effect of diluents and temperature on sperm storage in starry flounder (*Platichthys stellatus*). J. Aquaculture 19:47-51.
- Lim HK and SY Kim. 2007. Effect of exogenous hormones on spermiation in the starry flounder *Platichthys stellatus*. J. Kor. Fish. Soc. 40:374-379.
- Lim HK, SG Byun, JH Lee, SU Park, YC Kim, HK Han, BH Min and BY Lee. 2007. Sexual maturity and reproductive cycle of starry flounder *Platichthys stellatus* cultured in indoor tank. J. Aquaculture 20:212-218.
- Lim HK, YS Kim, MH Son, KD Kim, MH Jeong and YJ Chang. 2012. Quality characteristics of starry flounder *Platichthys stellatus* meat reared in different salinity. J. Fish. Mar. Sci. Edu. 24:324-332.
- Mazeaud MM, F Mazeaud and EM Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. Trans. Am. Fish. Soc. 106:201-221.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2009. Studies on the development of marine ranching program 2009 in the East, West and Jeju coast of Korea. Gwachan, Korea, 1269.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2008. Manual of starry flounder culture. East Sea Fish Res Inst, Uljin, Korea, 131.
- Oh SY, YS Jang, CH Noh, HJ Choi, JG Myoung and CK Kim. 2009a. Effect of water temperature on ammonia excretion of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Kor. J. Ichthyol. 21:1-6.
- Oh SY, YS Jang, CH Nor, HJ Choi, JG Myoung and CK Kim. 2009b. Effect of water temperature and body weight on oxygen consumption rate of starry flounder *Platichthys stellatus*. Kor. J. Ichthyol. 21:7-14.
- Park KS, DJ Park, BD Rhee, SY Kim, HK Lee, CS Koh and HK Min. 1987. Effect of hyperglycemia per se on plasma free fatty acid levels in dog. Kor. J. Internal. Medicine 33: 771-778.
- Seo JY, J Choi, JH Lee and SM Lee. 2007. Development of extruded pellet for growth of flounder (*Paralichthys olivaceus*) in commercial scale feeding trials. J. Aquaculture 22: 114-120.
- Stickney RR and DB White. 1975. Ambicoloration in tank cultured flounder, *Paralichthys dentatus*. Trans. Amer. Fish. Soc. 104:158-160.
- Tarui F, Y Haga, K Ohta, Y Shima and T Takeuchi. 2006. Effect of *Artemia* nauplii enriched with vitamin A palmitate on hypermelanosis on the blind side in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish. Sci. 72:256-262.
- Uglen I and S Grimsen. 1995. Tag retention and survival of juvenile lobsters, *Homarus gammarus* (L.), marked with coded wire tags. Aquacult. Res. 26:837-841.
- Wilson RP and JD Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. Aquaculture 46:19-25.
- Yamanome T, M Amano, N Amiya and A Takahashi. 2007. Hypermelanosis on the blind side of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* diminished by rearing in a white tank. Fish. Sci. 73:466-468.

Received: 24 November 2015

Revised: 11 January 2016

Revision accepted: 23 February 2016