

# 사육 수온이 강도다리(*Platichthys stellatus*)와 교잡종(*P. stellatus*♀ × *Kareius bicoloratus*♂) 3배체의 성장에 미치는 영향

박종열 · 이효빈 · 윤지혜 · 조윤수<sup>1</sup> · 이일영<sup>2</sup> · 임한규\*

국립목포대학교 해양수산자원학과, <sup>1</sup>국립부경대학교 수산생물학과, <sup>2</sup>마린씨드

## Comparison of Growth in Starry Flounder *Platichthys stellatus* and Hybrid Triploid (*P. stellatus*♀ × *Kareius bicoloratus*♂)

Jung Yeol Park, Hyo Bin Lee, Ji Hye Yoon, Yoon Soo Jo<sup>1</sup>, Il Young Lee<sup>2</sup> and Han Kyu Lim\*

Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Muan 58554, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

<sup>2</sup>Marin Seed, Yeosu 59777, Republic of Korea

Triploid fish have attracted the attention of fish farmers owing to of their larger cell size compared to that of diploid fish and their ability to utilize the energy required for sexual maturation for growth instead. However, the effect of increased growth in triploid fish has shown varying results. Therefore, this study aimed to compare growth between diploid and triploid starry flounders and diploid and triploid hybrid juveniles (starry flounder, *Platichthys stellatus* ♀ × stone flounder, *Kareius bicoloratus* ♂) based on breeding water temperature to investigate the effect of increased growth in triploid fishes. The experiment was performed by categorizing the water temperature as high temperature (EXP. 1, 14.5–23.5°C) and low temperature (EXP. 2, 6.4–13.3°C) based on the optimal water temperature for starry flounder breeding. In EXP. 1, the growth of starry flounder triploids and hybrid triploids was significantly higher than that of diploids. However, in EXP. 2 the weight gain and specific growth rate of the starry flounder triploid were higher, and the growth of starry flounder was higher than that of the hybrids.

Keywords: Starry flounder, Stone flounder, Growth, Hybrid

### 서론

양식장에서 어류의 성장 촉진은 양식기간 단축과 사료 절감을 통해 생산성을 향상시킬 수 있는 장점을 제공한다(Devlin et al., 2004). 이러한 이유 때문에 양식 어류의 성장을 촉진하기 위한 연구는 오래 전부터 수행되어 왔으며, 선행된 연구들은 육종, 불임 유도, 교잡종, 성장 촉진제 등 매우 다양한 주제들이 있었으며 양식 어류의 성장에 긍정적인 결과를 보였다(Kerby et al., 2002; Janssen et al., 2017; Guan and Qiu, 2020; Jo et al., 2021). 어류 성장 촉진을 위한 선행 연구들 중 3배체 유도는 불임 어류를 대량으로 생산하기 위해 가장 일반적으로 사용되었던 기술 중 하나였다(Arai, 2001; Golpour et al., 2016). 3배체 불임 어류는 생식소 발달이 억제되기 때문에 2배체 어류에서

성 성숙과 번식에 소요되는 에너지를 3배체 어류에서는 성장에 활용할 수 있었다(Nascimento et al., 2017). 또한, 3배체 어류는 2배체 어류보다 큰 세포 크기를 가지고 있어 빠른 성장을 보인다는 선행 연구도 보고된 바 있다(Ferguson, 1992; Shah et al., 1999). 그러나 3배체와 2배체 어류의 성장 능력을 평가한 연구들은 종과 연령 및 사육 환경 조건에 따라 매우 다양한 결과를 보였다(Ihssen et al., 1990; Nascimento et al., 2017). 연구자에 따라 3배체 어류의 성장이 2배체 어류의 성장과 유사하였거나(Sacobie et al., 2012) 더 나쁜 결과를 보인 경우도 있었다(Friars et al., 2001). 이종간 교잡은 교잡강세를 통하여 개체 내에 서로 다른 두 종에서 원하는 형질을 얻어 새로운 품종을 생산하는데 목적이 있다. 교잡종 유도 기술은 단기간에 적은 노력으로 양식생물의 생산량 증대, 유통 가공성, 광역 적응성, 내병

\*Corresponding author: Tel: +82. 61. 450. 2395 Fax: +82. 61. 452. 8875

E-mail address: limhk@mokpo.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0903>

Korean J Fish Aquat Sci 55(6), 903-909, December 2022

Received 7 October 2022; Revised 21 November 2022; Accepted 12 December 2022

저자 직위: 박종열(대학원생), 이효빈(연구원), 윤지혜(대학원생), 조윤수(연구원), 이일영(대표), 임한규(교수)

성, 관리의 적합성 등 양식에서 중요 형질을 향상시키는 신품종 개발기법 중 하나이다(Gu et al., 2000). 즉, 교잡을 통해 종자의 성비 조절, 불임, 성장, 육질 개선, 내병성, 환경 내성 등을 개선하는데 이용되어 왔다(Bartley and Imink, 2004; David and Pandian, 2006; Guan and Qiu, 2020).

강도다리(*Platichthys stellatus*)는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae)의 어류로 몸길이는 30–40 cm 정도 까지 성장한다. 분포 지역은 북태평양에 넓게 분포하여 미국 서부연안과 Bering해로부터 동해에 이르는 수심 80–350 m 정도의 부드러운 모래질 해역에서 서식한다(Cho et al., 2008). 강도 다리는 공식이 없고 강한 내병성과 광염성으로 우수한 삼투압 조절 능력을 가지고 있어 급격한 염분 변화에도 생존이 가능하다(Kim et al., 2009). 또한, 10°C 이하의 저수온에서도 생존은 물론 성장할 수 있고 고밀도 사육이 가능하여 양식종 다양화 측면에서 넓치 대체 품종으로 인식되고 있다. 돌가자미(*Kareius bicoloratus*)는 국내 전 해역에 서식하고 고급 횡감으로 각광받고 있어 경제적 가치가 높은 양식 대상종이다. 그러나 고수온 스트레스 및 질병에 약해 국내에서는 양식이 활발히 이루어지지 못하고 있지만, 중국에서는 자연산 종자를 이용한 축제식 양식이 이뤄지고 있다(Jun et al., 2009).

본 연구는 강도다리와 돌가자미의 생물학적 장점을 활용하기 위해 강도다리 2배체와 3배체 그리고 교잡종(강도다리, *P. stellatus* ♀ × 돌가자미, *K. bicoloratus* ♂)과 교잡종 3배체 종자를 생산한 후 사육 수온에 따른 성장을 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 실험어와 실험조건

실험은 고수온 시기(실험 1)와 저수온 시기(실험 2)로 구분

하여 각각 8주간 진행하였다. 실험 1의 실험어는 강도다리 2배체(평균 전장 10.62±0.06 cm, 체고 4.70±0.07 cm, 중량 16.18±0.15 g), 강도다리 3배체(평균 전장 10.66±0.09 cm, 체고 4.70±0.07 cm, 중량 16.58±0.17 g), 교잡종 3배체(평균 전장 10.12±0.09 cm, 체고 4.39±0.02 cm, 중량 14.86±0.21 g)를 각각 30마리씩 3반복으로 사용하였다. 사육 조건으로 광주기는 12D:12L, 사육 수조는 FRP (fiber reinforced plastics)재질의 20 L 사각수조를 사용하였다. 사육수는 자연 해수를 사용하였으며 사육 수온은 14.5–23.5°C로 평균 18.2°C였다(Fig. 1). 먹이는 시판용 수협사료 침강골드 2S호(Suhypufeed, Uireong, Korea)를 사용하였으며, 사료 조성은 조단백질 48.0% 이상, 조지방 10.0% 이상, 조섬유 3.0% 이하, 조회분 17.0% 이하, 칼슘 1.5% 이상, 인 2.7% 이하, 수분 14.0% 이하였다. 사료공급은 1일 3회로 만복상태를 유지하였고, 유실된 사료는 수거하여 계수 후 먹이 공급량에서 제외시켰다. 수질관리를 위해 1일 1회 사이펀을 통해서 찌꺼기를 제거하였다.

실험 2의 실험어는 강도다리 2배체(평균 전장 12.38±0.12 cm, 체고 5.65±0.02 cm, 중량 26.72±0.18 g), 강도다리 3배체(평균 전장 12.42±0.10 cm, 체고 5.42±0.08 cm, 중량 24.34±0.13 g), 교잡종 2배체(평균 전장 13.24±0.09 cm, 체고 5.99±0.05 cm, 중량 32.27±0.98 g), 교잡종 3배체(평균 전장 12.34±0.04 cm, 체고 5.39±0.03 cm, 중량 25.66±0.72 g)를 각각 30마리씩 3반복으로 사용하였다. 사육 조건으로 광주기는 12D:12L, 사육 수조는 FRP재질의 40 L 사각 수조를 사용하였다. 사육수는 자연 해수를 사용하였으며 사육 수온은 6.4–13.3°C로 평균 9.1°C였다(Fig. 1). 먹이는 실험 1과 동일하게 수협사료 침강골드 2S호를 사용하였다. 기타 사육 방법은 실험 1과 동일하였다.

실험에 사용한 모든 3배체들은 유세포분석기(flow cytometer; Partec Co., Münster, Germany)를 이용하여 DNA 함량을

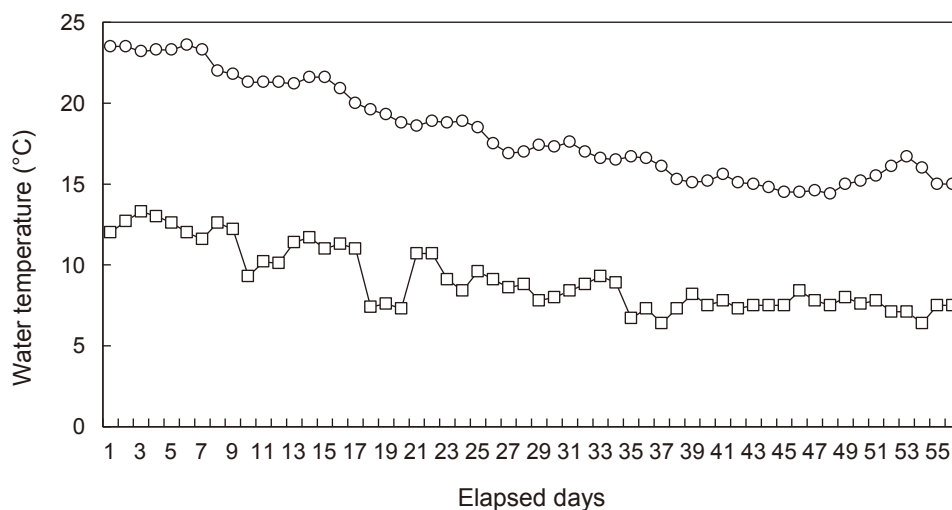


Fig. 1 Change in water temperature in growth experiments during.

측정한 후, 3배체가 확인된 개체만 실험에 이용하였다.

**성장과 생존율 측정**

실험 시작부터 종료 시까지 사료 공급량을 기록하였고, 버니어캘리퍼스와 전자저울을 사용하여 실험어의 전장, 체고 및 중량을 각각 0.1 cm와 0.1 g까지 측정하였다. 측정된 성장 자료와 사료 공급량을 바탕으로 성장관련 요인들을 아래의 식을 이용하여 계산하였다. 생존율은 실험기간 중 매일 각 실험 수조에서 폐사 개체를 파악한 후 그 수를 역산하여 계산하였다.

$$\text{증중률(Weight gain; \%)} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

$$\text{일간성장률(Specific growth rate; I, \%)} = \{ \ln(W_2) - \ln(W_1) \} / D \times 100$$

$$\text{일간사료섭취율(Daily feed intake; B, \%)} = F / \{ (W_1 + W_2 + W_3) / D / 2 \} \times 100$$

$$\text{사료효율(Feed efficiency; \%)} = (G / F) \times 100$$

$$\text{비만도(Condition factor; \%)} = (W_2 / L^3) \times 100$$

D, 사육일수; F, 총사료공급량; G, 증중량; W<sub>1</sub>, 사육개시 시 어류 총 중량; W<sub>2</sub>, 사육종료 시 어류 총 중량; W<sub>3</sub>, 사육기간 폐사어 총 중량; L, 사육 종료 시 어류 전장

**통계분석**

각 실험 결과로부터 얻어진 측정값(mean±SD)들의 유의차 유무는 SPSS-통계프로그램(version 23)을 이용하여 ANOVA 및 Tukey's test로 검정하였다(P>0.05).

**결 과**

실험 1의 성장을 확인한 결과(Fig. 2), 실험 종료 후의 전장은 강도다리 2배체에서 14.51±0.12 cm로 가장 낮은 값을 보였으며, 교잡종 3배체에서 15.70±0.13 cm로 강도다리 2배체에 비해 유의하게 높은 값을 보였다(P<0.05). 실험 종료 시 체고는 강도다리 2배체에서 6.90±0.10 cm로 가장 낮은 값을 보였으며, 교잡종 3배체에서 7.42±0.04 cm로 강도다리 2배체에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다(P<0.05).

실험 1의 증중률, 일간성장률, 사료효율, 일간사료섭취율 및 비만도를 확인한 결과(Table 1), 증중률은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 3배체에서 각각 202.86±9.44, 280.49±3.71, 333.57±3.21%로 교잡종 3배체에서 다른 실험구에 비해 유의적으로 가장 높은 값을 보였다(P<0.05). 일간성장률은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 3배체에서 각각 1.98±0.06, 2.39±0.02, 2.62±0.01%로 나타났으며, 강도다리 2배체에서 다른 실험구

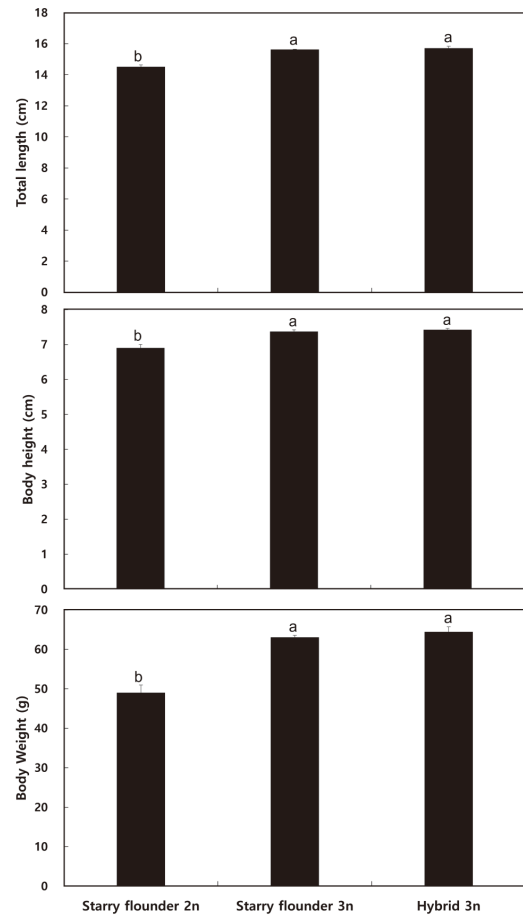


Fig. 2 Total length, body height and body weight of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* diploid (2n), triploid (3n) and hybrid 2n, 3n (*P. stellatus* ♀ × *K. bicoloratus* ♂) reared at high temperature during the experimental period. Data are the mean±SE (n=30). Different small letters indicate significant differences between species at growth factor (P<0.05).

에 비해 유의하게 낮은 결과를 보였다(P<0.05). 사료효율은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 3배체에서 각각 133.11±1.00, 148.18±5.83, 130.38±2.30%로 강도다리 3배체가 교잡종 3배체에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다(P<0.05). 일간사료섭취율은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 3배체에서 각각 1.35±0.02, 1.41±0.06, 1.70±0.02%로 나타났으며, 교잡종 3배체에서 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다(P<0.05). 비만도는 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 3배체 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05).

실험 2의 성장을 비교한 결과(Fig. 3), 실험 종료 시 전장은 강도다리 2배체, 강도다리 3배체, 교잡종 2배체, 교잡종 3배체에서 각각 14.63±0.10, 14.97±0.11, 15.08±0.18, 13.98±0.14 cm로 나타났으며, 교잡종 3배체에서 다른 실험구에 비해 유의적

으로 낮은 값을 보였다( $P<0.05$ ). 체고도 전장과 같이 교잡종 3배체에서 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다 ( $P<0.05$ ).

실험 2의 증중률, 일간성장률, 사료효율, 일간사료섭취율 및 비만도를 확인한 결과 (Table 2), 증중률은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 2배체, 교잡종 3배체에서 각각  $98.58\pm 8.79$ ,  $128.27\pm 4.42$ ,  $67.18\pm 2.03$ ,  $54.45\pm 1.69\%$ 로 강도다리 3배체에서 다른 실험구에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다( $P<0.05$ ). 일간성장률도 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 2배체, 교잡종 3배체에서 각각  $1.22\pm 0.08$ ,  $1.47\pm 0.03$ ,  $0.92\pm 0.02$ ,  $0.78\pm 0.02\%$ 로 나타나 강도다리 3배체가 가장 높았다( $P<0.05$ ). 사료효율은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 2배체, 교잡종 3배체에서 각각  $116.61\pm 8.04$ ,  $132.39\pm 2.54$ ,  $93.38\pm 4.10$ ,  $76.94\pm 3.43\%$ 로 강도다리 2배체와 3배체에서 높은 값을 보였으며, 교잡종 3배체에서 가장 낮은 값을 보였다( $P<0.05$ ). 일간 사료 섭취율은 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 2배체, 교잡종 3배체에서 각각  $1.01\pm 0.01$ ,  $1.05\pm 0.01$ ,  $0.96\pm 0.02$ ,  $0.99\pm 0.02\%$ 였다. 비만도는 강도다리 2배체, 3배체, 교잡종 2배체, 교잡종 3배체에서 각각  $1.69\pm 0.04$ ,  $1.66\pm 0.02$ ,  $1.57\pm 0.01$ ,  $1.45\pm 0.01$ 로 강도다리 2배체에서 가장 높은 값을 보였고 교잡종 3배체에서 가장 낮았다 ( $P<0.05$ ).

### 고 찰

어류 양식장에서 사료비용은 양식 생산에 소요되는 전체 비용 중 가장 큰 부분을 차지하며, 양식 어류의 성장과 밀접한 관계가 있어 이윤을 남기는데 중요한 요소이다. 수온은 먹이 섭취 및 성장에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이며, 양식 생산성을 향상시키는데 필수적인 요소이다. 그러나 양식 어종에 따라 적정 사육 수온이 다르기 때문에 우리나라와 같은 온대지역에서는 고수온기와 저수온기의 성장 및 사료 효율이 각각 다르게 나타

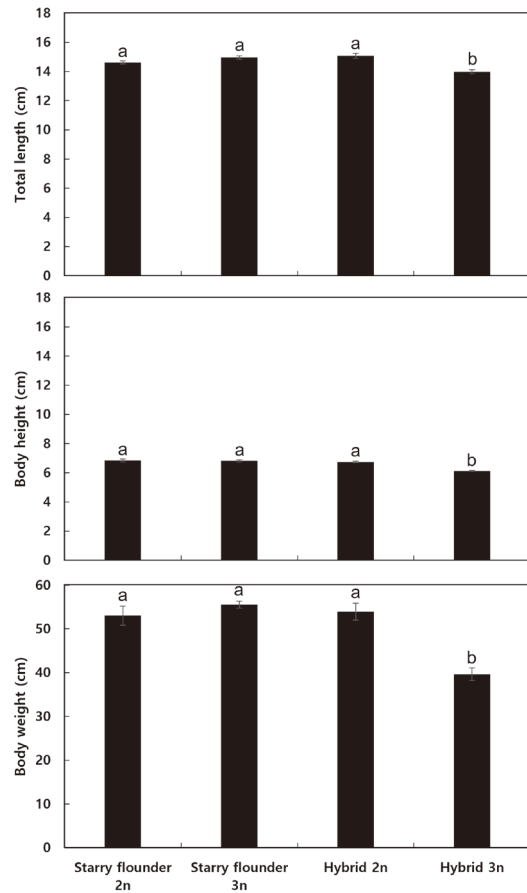


Fig. 3 Total length, body height and body weight of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* diploid (2n), triploid (3n) and hybrid 2n, 3n (*P. stellatus* ♀×*K. bicoloratus* ♂) reared at low temperature during the experimental period. Data are the mean±SE (n=30). Different small letters indicate significant differences between species at growth factor ( $P<0.05$ ).

Table 1. Growth performance of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* diploid (2n), triploid (3n) and hybrid 2n, 3n (*P. stellatus* ♀×*K. bicoloratus* ♂) reared during the high temperature period

	Starry flounder		Hybrid
	2n	3n	3n
Initial mean body weight (g/fish)	16.18±0.15	16.58±0.17	14.86±0.21
Final mean body weight (g/fish)	49.02±1.97	63.08±0.52	64.42±1.31
Weight gain (%) <sup>1</sup>	202.86±9.44 <sup>c</sup>	280.49±3.71 <sup>b</sup>	333.57±3.21 <sup>a</sup>
Specific growth rate (%) <sup>2</sup>	1.98±0.06 <sup>b</sup>	2.39±0.02 <sup>a</sup>	2.62±0.01 <sup>a</sup>
Feed efficiency (%) <sup>3</sup>	133.11±1.00 <sup>ab</sup>	148.18±5.83 <sup>a</sup>	130.38±2.30 <sup>b</sup>
Daily feed intake (%) <sup>4</sup>	1.35±0.02 <sup>b</sup>	1.41±0.06 <sup>b</sup>	1.70±0.02 <sup>a</sup>
Condition factor	1.60±0.03	1.65±0.01	1.66±0.04

<sup>1</sup>Weight gain=[(final body weight-initial body weight)/initial body weight×100]. <sup>2</sup>Specific growth rate=[ln (final body weight)-ln (initial body weight)]×100/rearing days. <sup>3</sup>Feed efficiency=(wet weight gain/feed intake)×100. <sup>4</sup>Daily feed intake=feed intake×100/[(initial body weight+final body weight+dead fish weight)×rearing days/2]. <sup>5</sup>Condition factor=(body weight/total length<sup>3</sup>)×100. The values are mean±SD (n=30). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ( $P>0.05$ ).

나는 경우가 많다. 따라서 양식 어류의 최적 사육 수온을 기준으로 고수온기와 저수온기의 성장 및 사료효율을 확인하고 적절한 사료공급 및 성장 기대치에 대한 데이터를 통해 계획적인 양식 방법을 찾는 연구가 진행되어야 한다. 본 연구는 냉수성 어류인 강도다리 2, 3배체와 교잡종(강도다리, *P. stellatus* ♀ × 돌가자미, *K. bicoloratus* ♂) 2, 3배체를 대상으로 고수온기(실험 1)와 저수온기(실험 2)에 성장 및 사료효율을 확인하였다.

어류는 3배체 처리에 의해 불임과 함께 성장 증가가 나타난다고 보고된 바 있다(Yu et al., 2011). 본 연구의 결과 수온이 강도다리 3배체와 교잡종 3배체의 성장에 영향을 미치는 중요한 요인이었다. 실험 1에서 강도다리와 교잡종 3배체의 성장에서 3배체는 2배체보다 좋은 결과를 보였다. 비록 일부 어종에서 3배체 처리가 성장에 부정적인 효과를 보였다는 연구 결과가 있었지만(Felip et al., 1999; Mori et al., 2006; Derayat et al., 2013), 넙치를 비롯한 많은 양식 어류에서 성장에 긍정적인 영향을 미치는 보고도 있다(Kerby et al., 2002; Wang et al., 2011; Nascimento et al., 2017). 3배체 어류의 성장은 종 및 연령에 따라 다를 수 있으며 실험 조건 및 환경과 유전적 특성에 따라 달라질 수 있다(Dunham, 2004). 다양한 조건에 의해 3배체의 특성이 결정되는데, 특히 3배체 어류의 부정적인 영향 중 하나로 높은 수온에서 산소소비 능력 저하와 그로 인한 만성 스트레스이다(Altimiras et al., 2002; Hyndman et al., 2003; Ern et al., 2016). 만성 스트레스는 성장 감소와 사료 섭취 제한뿐만 아니라 생존에 직접적인 영향을 미칠 수도 있다(Wilhelm et al., 2005; Bergheim et al., 2006; Maffezzolli and Nuñez, 2006). 실험 1에서 보인 강도다리 3배체와 교잡종 3배체의 높은 성장률은 적응할 수 있는 범위 내에서 높은 수온은 이들의 성장에 도움이 되는 반면 저산소증으로 인한 만성 스트레스와 성장 저하는 없는 것으로 생각된다. 증중률과 일간성장률의 경우 강도다리 2배체에 비해 3배체에서 유의하게 높은 결과 값을 보였지만,

사료효율과 일간사료섭취율에서는 유의한 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 또한 교잡종 3배체에서 증중률과 일간사료섭취율이 가장 높은 값을 보였으나 사료효율 면에서는 낮은 값을 보였다. 이것은 성장의 경우 수온뿐만 아니라 실험어의 행동 특성도 함께 고려해야 함을 암시하고 있다. 즉 강도다리는 매우 온순하고 사료 섭취에 있어 수동적이지만 돌가자미는 매우 적극적으로 사료를 섭취하는 특성을 가지고 있다. 따라서 수온 적응 범위 내에서 강도다리 2배체보다 교잡종 3배체가 더 적극적으로 사료를 섭취했기 때문에 성장과 사료 섭취율은 좋았으나, 사료 효율은 낮아졌다고 생각된다.

실험 2에서 증중률과 일간성장률은 강도다리 3배체가 유의적으로 높은 결과를 보였다( $P<0.05$ ). 강도다리는 8°C 이하부터 급격한 사료 섭취 감소로 인해 성장률과 사료효율 측면에서 부정적인 영향을 미친다고 알려져 있다(Lee et al., 2021). 저수온이라는 온대성 어류의 성장에 불리한 조건에서도 3배체가 2배체보다 증중률과 일간성장률에서 우수한 결과를 보였다. 저수온 기간 교잡종 3배체의 성장이 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮은 것은 교잡종 2배체의 초기 중량이 다른 실험구에 비해 무거웠고, 교잡종의 섭이 행동이 적극적이기 때문에 적정 수온 범위에서는 강도다리보다 교잡종이 사료를 잘 먹지만 저수온 조건에서는 이런 긍정적인 효과가 없어졌기 때문에 저수온기 교잡종의 성장이 낮아졌다고 생각된다.

본 연구의 결과 고수온기간(실험 1) 강도다리 2배체보다 3배체와 교잡종 3배체의 높은 성장과 사료효율은 3배체 처리에 의해 개선된 효과로 생각된다. 또한 본 연구에서 설정한 실험 1의 수온 범위 내에서 3배체의 고수온에 대한 성장의 부정적인 영향은 없는 것으로 나타났다. 저수온기간(실험 2) 강도다리 2배체와 3배체의 성장 차이는 없었으나, 교잡종 2배체와 3배체에서 저수온에 의한 섭이 감소로 성장이 느리게 나타났다. 따라서 강도다리 3배체는 성장 측면에서 양식 대상으로 가치가 있는 것으로

Table 2. Growth performance of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* diploid (2n), triploid (3n) and hybrid 2n, 3n (*P. stellatus* ♀ × *K. bicoloratus* ♂) reared during the low temperature period

	Starry flounder		Hybrid	
	2n	3n	2n	3n
Initial mean body weight (g/fish)	26.72±0.18 <sup>b</sup>	24.34±0.13 <sup>c</sup>	32.27±0.98 <sup>a</sup>	25.66±0.72 <sup>bc</sup>
Final mean body weight (g/fish)	53.04±2.18 <sup>a</sup>	55.56±0.78 <sup>a</sup>	53.97±1.95 <sup>a</sup>	39.65±1.46 <sup>b</sup>
Weight gain (%) <sup>1</sup>	98.58±8.79 <sup>b</sup>	128.27±4.42 <sup>a</sup>	67.18±2.03 <sup>c</sup>	54.45±1.69 <sup>c</sup>
Specific growth rate (%) <sup>2</sup>	1.22±0.08 <sup>b</sup>	1.47±0.03 <sup>a</sup>	0.92±0.02 <sup>c</sup>	0.78±0.02 <sup>c</sup>
Feed efficiency (%) <sup>3</sup>	116.61±8.04 <sup>a</sup>	132.38±2.54 <sup>a</sup>	93.38±4.10 <sup>b</sup>	76.94±3.43 <sup>c</sup>
Daily feed intake (%) <sup>4</sup>	1.01±0.01 <sup>ab</sup>	1.05±0.01 <sup>a</sup>	0.96±0.02 <sup>b</sup>	0.99±0.02 <sup>b</sup>
Condition factor	1.69±0.04 <sup>a</sup>	1.66±0.04 <sup>a</sup>	1.57±0.01 <sup>b</sup>	1.45±0.01 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>Weight gain=[(final body weight-initial body weight)/initial body weight×100]. <sup>2</sup>Specific growth rate=[ln (final body weight)-ln (initial body weight)]×100/rearing days. <sup>3</sup>Feed efficiency=(wet weight gain/feed intake)×100. <sup>4</sup>Daily feed intake=feed intake×100/[(initial body weight+final body weight+dead fish weight)× rearing days/2]. <sup>5</sup>Condition factor=(body weight/total length<sup>3</sup>)×100. The values are mean±SD (n=30). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ( $P>0.05$ ).

로 판단되나, 교잡종 3배체는 강도다리 3배체와는 다른 생리적 특성을 가지고 있기 때문에 이에 대한 더 많은 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2018년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20180373, 고부가가치 가자미류 수정란 연중 생산 기반 구축 및 생산성 향상).

## References

- Altimiras J, Axelsson M, Claireaux G, Lefrancois C, Mercier C and Farrell AP. 2002. Cardiorespiratory status of triploid brown trout (*Salmo trutta*) during swimming at two acclimation temperatures. *J Fish Biol* 60, 102-116. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb02390.x>.
- Arai K. 2001. Genetic improvement of aquaculture finfish species by chromosome manipulation techniques in Japan. *Aquaculture* 197, 205-228. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00588-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00588-9).
- Bartley DM, Rana K and Immink AJ. 2004. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. *Rev Fish Biol Fish* 14, 225-237. <https://doi.org/10.1023/A:1016691725361>.
- Bergheim A, Gausen M, Naess A, Hoelland PM, Krogedal P and Crampton V. 2006. A newly developed oxygen injection system for cage farms. *Aquacult Eng* 34, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.003>.
- Cho MY, Lee JI, Kim MS, Choi HJ, Lee DC and Kim JW. 2008. Isolation of *Streptococcus parauberis* from starry flounder, *Platichthys stellatus* Pallas. *J Fish Pathol* 21, 209-217.
- David CJ and Pandian TJ. 2006. Maternal and parental hybrid triploids of tetras. *J Fish Biol* 69, 1102-1119. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01183.x>.
- Derayat A, Magnusson A, Steinarrsson A and Bjornsson B. 2013. Growth and gonadal development in diploid and triploid Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Fish Physiol Biochem* 39, 1195-1203. <https://doi.org/10.1007/s10695-013-9775-9>.
- Devlin RH, Biagi CA and Yesaki TY. 2004. Growth, viability and genetic characteristics of GH transgenic Coho salmon strains. *Aquaculture* 236, 607-632. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.02.026>.
- Dunham RA. 2004. Polyploidy and Xenogenesis. In: *Aquaculture and Fisheries Biotechnology: Genetic Approaches*. Dunham RA, ed. CABI Publishing, Cambridge, U.K., 93-127.
- Ern R, Norin T, Gamperl AK and Esbaugh AJ. 2016. Oxygen dependence of upper thermal limits in fishes. *J Exp Biol* 219, 3376-3383. <https://doi.org/10.1242/jeb.143495>.
- Felip A, Zanuy S, Carrillo M and Piferrer F. 1999. Growth and gonadal development in triploid sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) during the first two years of age. *Aquaculture* 173, 389-399. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00464-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00464-5).
- Ferguson MM. 1992. Enzyme heterozygosity and growth in rainbow trout: genetic and physiological explanations. *Heredity* 68, 115-122. <https://doi.org/10.1038/hdy.1992.18>.
- Friars GW, McMillan I, Quinton VM, O'Flynn FM, McGeachy SA and Benfey TJ. 2001. Family differences in relative growth of diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 192, 23-29. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00438-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00438-5).
- Golpour A, Siddique MAM, Siqueira-Silva DH and Pšenička M. 2016. Induced sterility in fish and its potential and challenges for aquaculture and germ cell transplantation technology: A review. *Biologia* 71, 853-864. <https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0118>.
- Guan WZ and Qiu GF. 2020. Transcriptome analysis of the growth performance of hybrid mandarin fish after food conversion. *PLoS One* 15, e0240308. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240308>.
- Hyndman CA, Kieffer JD and Benfey TJ. 2003. Physiology and survival of triploid brook trout following exhaustive exercise in warm water. *Aquaculture* 221, 629-643. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00119-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00119-4).
- Ihssen PE, McKay LR, McMillan I and Phillips RB. 1990. Ploidy manipulation and gynogenesis in fishes: Cytogenetic and fisheries applications. *Trans Am Fish Soc* 119, 698-717. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0698:PMAGIF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0698:PMAGIF>2.3.CO;2).
- Janssen K, Chavanne H, Berentsen P and Komen H. 2017. Impact of selective breeding on European aquaculture. *Aquaculture* 472, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.012>.
- Jo HS, Park ME and Hong SM. 2021. Effect of dietary supplementation of fermented mealworm on the growth of juvenile stone flounder (*Kareius bicoloratus*). *J Korea Acad Ind Coop Soc* 22, 312-320. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.4.312>.
- Jun JC, Kang HW, Kim BG, Choi KH and Jo KC. 2009. Fecundity and hatchability of natural stone flounder *Kareius bicoloratus* from the west coast of Korea. *Korean J Ichthyol* 21, 239-246.
- Kerby H, Everson M, Harrell M, Geiger R, Starling C and Revels H. 2002. Performance comparisons between diploid and triploid sunshine bass in fresh water ponds. *Aquaculture* 211, 91-108. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00009-1).
- Kim YS, Do YH, Min BH, Lim HK, Lee BK and Chang YJ. 2009. Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speed in salinity change. *Korean J Aquacult* 22, 28-33.
- Lee KW, Han GS, Lim HJ and Byun SG. 2021. Influence of water temperature on growth of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *J Korean Soc Fish Mar Sci Edu* 33, 515-524. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.4.33.2.515>.

- Maffezzoli G and Nuñez APO. 2006. Crescimento de alevinos de jundiá, *Rhamdia quelen* (Pisces, Pimelodidae), em diferentes concentrações de oxigênio dissolvido. *Acta Sci Biol Sci* 28, 41-45.
- Mori T, Saito S and Kishioka C. 2006. Aquaculture performance of triploid barfin flounder *Verasper moseri*. *Fish Sci* 72, 270-277. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2006.01148.x>.
- Nascimento NF, Pereira-Santos M, Piva LH, Manzini B, Fujimoto T, Senhorini JA, Yasui GS and Nakaghi LSO. 2017. Growth, fatty acid composition, and reproductive parameters of diploid and triploid yellowtail tetra *Astyanax altiparanae*. *Aquaculture* 471, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.007>.
- Sacobie CFD, Glebe BD, Barbeau MA, Lall SP and Benfey TJ. 2012. Effect of strain and ploidy on growth performance of Atlantic salmon, *Salmo salar*, following seawater transfer. *Aquaculture* 334, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.014>.
- Shah MS, Thorgaard GH and Wheeler P. 1999. Viability of diploid and triploid hybrids between a few salmon and trout species. In: The Fourth Indian Fisheries Forum Proceedings. Joseph MM, Menon NR and Nair NU, eds. Asian Fisheries Society, Kochi, India, 259- 262.
- Wang L, Chen SL, Xie MS, Deng H, Li WL and Gao FT. 2011. Induction of triploidy and its effect on growth and gonadal development in *Paralichthys olivaceus*. *J Fish China* 35, 1258-1265.
- Wilhelm FD, Torres MA, Zaniboni-Filho E and Pedrosa RC. 2005. Effect of different oxygen tensions on weight gain, feed conversion, and antioxidant status in piapara, *Leporinus elongatus* (Valenciennes, 1847). *Aquaculture* 244, 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.024>.
- Yu F, Xiao J, Liang X, Liu S, Zhou G, Luo K, Liu Y, Hu W, Wang Y and Zhu Z. 2011. Rapid growth and sterility of growth hormone gene transgenic triploid carp. *Chin Sci Bull* 56, 1679-1684. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4446-7>.