

돌가자미(*Platichthys bicoloratus*) 암컷과 강도다리(*P. stellatus*) 수컷 간 교잡종 종자 생산을 위한 최적 사육 온도

백인국¹ · 박종연² · 김동수² · 방인철^{1,2*}

¹순천향대학교 생명과학과, ²(주)아쿠아바이오텍

Optimum Rearing Temperature for Fingerling Production Between Stone Flounder *Platichthys bicoloratus* ♀ and Starry Flounder *P. stellatus* ♂

In-Gug Baek¹, Jong Yeon Park², Dong Soo Kim² and In-Chul Bang^{1,2*}

¹Department of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 31538, Republic of Korea

²Aqua Bio-Tech Co., Taeon 32156, Republic of Korea

Interspecific hybridization is a beneficial strategy in aquaculture. In this study, diploid hybrids were produced through interspecies hybridization of flounder *Platichthys bicoloratus* ♀ × starry flounder *P. stellatus* ♂, which became commercial within a year. These hybrids exhibited an advantage in growth ability, with female hybrids growing twice as large as males at 11 months. Furthermore, hybrid flounders exhibited faster growth rates than starry flounders and reciprocal hybrids. The average growth rate of hybrids was 1.37 and 1.18 times greater than that of starry flounder and reciprocal hybrids at 5.5 months, respectively; Additionally, feed efficiency was 1.21 and 1.10 times higher than that of the experimental groups. The experiments were conducted at five temperatures to determine the optimal fry production method. Six weeks of culture resulted in a significant temperature effect, with maximum growth at 27°C. However, over 90% of the males occurred in the groups at temperatures above 24°C. Therefore, the optimum temperatures for survival, growth, condition factor and frequency of the best-sized fingerling at 13 weeks of age were estimated at 21°C. Thus, hybrid flounders are of great potential for use in the flounder aquaculture industry.

Keywords: Hybrid, Stone flounder, Starry flounder, Temperature, Sex ratio

서론

잡종 유도는 두 종간의 우량 형질을 동시에 발현시켜 산업성을 증가시킴으로써 단기간에 생산성 향상을 꾀할 수 있다(Bartley et al., 2000). 특히 경골 어류는 체외수정을 하므로 인공 수정을 통해 수정란을 특정 조건 하에서 대량으로 생산할 수 있는 장점이 있어 어류 양식업에 형질 개선과 생산성 향상 기법 중 하나로 다양한 종 들에서 이미 널리 사용되고 있다(Koehn and Gaffney, 1984; Danzmann et al., 1986; Tave, 1986). 우리나라의 넙치와 가자미류 양식은 그간 넙치가 주를 이루었으나 질병에 약해 많은 양식 어가가 강도다리의 생산으로 어종의 변경을 꾀해 최근 강도다리의 양식 생산량이 크게 증가하고 있으나 성장이 느려 당년생의 경우 300 g 내외의 어류가 뼈째 썰기용으

로 주로 판매되고 있다(NIFS, 2019). 돌가자미는 육질과 맛이 좋아 경제적 가치가 높은 양식 대상종이나 질병에 약해 국내에서는 방류용 종자의 생산이 이루어지고 있다. 이에 Lee (2021)는 두 종이 가진 형질들을 동시에 발현하는 우수한 품종을 생산하기 위해 암컷 강도다리와 수컷 돌가자미를 교배시켜 강도다리보다 성장률과 비만도가 증가된 우량 잡종을 보고한 바 있다. 유도된 잡종에 있어 형질의 발현은 대체로 두 종간의 중간을 나타냄이 보고되고 있으나 부모 종의 암수를 바꿔 상반 교배를 시행할 시 두 종 중 특정 형질이 더욱 발현되거나 두 종이 갖고 있지 않은 새로운 형질이 나타나기도 함이 보고되어 있다(Kim et al., 1995; Wolters and DeMay, 1996). 그러나 돌가자미와 강도다리간의 잡종의 경우 종자생산 시기에 착저 시 상반 교배 잡종과 계통간 성장차이는 없음이 보고되어 있다(Yamashita et al.,

*Corresponding author: Tel: +82. 41. 530. 1286 Fax: +82. 41. 530. 1493

E-mail address: incbang@sch.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.2023.0109>

Korean J Fish Aquat Sci 56(1), 109-115, February 2023

Received 3 November 2022; Revised 27 December 2022; Accepted 17 January 2023

저자 직위: 백인국(대학원생), 박종연(선임연구원), 김동수(책임연구원), 방인철(교수, 대표이사)

2014). 수온이 성장에 미치는 영향은 변온 동물인 어류의 경우 매우 크게 나타나며 일반적으로 어체의 성장은 생존에 영향을 주지 않는 온도 조건의 경우 높을수록 촉진된다(Imsland et al., 2006; Boltaña et al., 2017). 그러나 넙치의 경우 Kim (1993)이 특정 시기에 고수온처리는 수컷의 발생 빈도를 높인다는 점을 발견하여 자성발생성 2배체 넙치의 암컷을 수온 조절만으로 성 전환을 유도하는 특허를 출원 및 획득한 후 다양한 가자미류에서 수온이 생식소 분화에 영향을 끼쳐 성비가 달라짐이 보고되어 있고(Imsland et al., 2008), 최근 넙치와 Atlantic halibut에서 이에 대한 분자생물학적 기작이 밝혀져 고온은 ovary-type aromatase 유전자 *cyp19a1*의 mRNA 합성을 저해하는 것으로 알려져 있다(Nes and Anderson, 2006; Kitano et al., 2007; Yamaguchi et al., 2010).

이에 본 연구에서는 돌가자미를 암컷 그리고 강도다리를 수컷으로 사용한 교잡종을 생산한 후 이들의 성장을 측정하였다. 특히 가자미과 어류의 경우 암 수간에 성장차가 매우 심한 점을 고려하여, 잡종의 암 수 개체간 성장 차이를 중요한 요소로 분석하였다. 또한 유도된 잡종의 초기 성장률을 현재 양식되고 있는 강도다리와 비교하여 그 생산성을 분석하였고, 기존에 보고된 강도다리를 암컷으로 사용한 상반 교배 잡종과의 생산성도 비교하였다. 아울러 자치어의 성장을 증가시켜 타 업체보다 빠른 시기에 종자를 생산할 경우 판매 경쟁에서 우위에 설 수 있는 장점을 지닐 수 있음을 고려, 다양한 수온 조건 하에서 종자를 생산함으로써 성장이 빨라져 종자 생산 시기를 앞당기나, 성장의 느린 수컷 비율이 낮은 적정 사육 수온 조건을 구하였다.

재료 및 방법

시제품 생산 및 암 수간 성장 비교

2021년 1월 30일 여수 연안에서 포획된 13마리의 암컷 돌가자미로부터 3.5 L의 알을 복부 압박법에 의해 채란한 후 태안의 (주)아쿠아바이오텍(Taean, Korea) 양식사업소에서 채정한 강도다리 5마리의 정자와 수정시켰다. 수정 30분 후 부상한 2.1 L의 수정란을 태안의 부화 수조로 옮겨 9.5°C의 수온 조건에서 72 시간 동안 부화시킨 후 사란을 제거하고 배체가 형성된 1.2 L의 수정란을 지름 8 m의 원형 수조에 수용한 후 상법에 의해 종자를 생산하였다. 암 수간 성장 비교 실험을 위하여 수정 5개월 후부터 강도다리의 상품 크기인 평균 300 g 이상의 크기에 도달할 때까지 4회에 걸쳐 20마리씩을 무작위로 채취하여 각각의 무게를 측정 후 해부하여 생식소를 절취, 스쿼시 한 후 현미경으로 관찰하거나 조직학적 분석을 실시하였다. 이때 상, 하위 2마리의 무게를 제외한 나머지의 개체를 대상으로 평균 무게와 표준 편차를 구하였다.

잡종, 강도다리 및 상반 잡종의 초기 성장 비교

2022년 1월 16일 (주)아쿠아바이오텍에서 종자의 대량 생산을

위해 수정시켜 생산된 잡종과 상반 잡종 및 태안 동진수산에서 생산된 강도다리 종자 각각 95미를 600 L의 원형 수조에 넣고 2개월간 사육하며 증 중량과 사료 계수를 구하였다. 이때 각 실험군의 어체 당 평균 무게는 6.8 g (5.5개월령)이었고 2반복으로 사육하였다.

사육 수온에 따른 잡종의 성장, 생존율, 비만도 및 실험 군 내 5 cm 이상 종자의 빈도 측정

다양한 수온 조건에 따른 잡종의 성장률을 비교하기 위하여 (주)아쿠아바이오텍 양식사업소에서 생산된 초기 치어 평균 전장 18 mm (부화 7주령)의 잡종 각 165미를 선별하여 5개의 40 L 수조에 수용하고 10 w 용량의 걸이식 여과기를 설치하여 6주간 사육하였다. 80% 이상의 사육수를 1일 2회 교환하였고 실험 기간 중 수온은 각 수조별로 15°C, 18°C, 21°C, 24°C 및 27°C로 유지하며 사육하였다. 성장은 실험 시작 후, 2주간격으로 모 눈송이 위에 어류를 올려놓은 후 사진을 찍어 전장을 측정하였고 9 및 11주령의 경우 실험군의 측정이 끝나면 각 온도군별로 평균 체중에 근접한 33미의 어류를 실험 수조에서 제거하였다. 최종 실험이 종료된 13주령의 경우 전장과 함께 무게도 측정하였다. Fulton (1904)의 비만도 공식에 의해 비만도를 측정하였고, 실험 기간 중 폐사체를 매일 제거하고 최종 살아 있는 어류에 66미를 더한 값으로 각 온도 실험군별 생존율을 구하였다. 또한, 실험 종료 후 최소 종자의 판매 크기인 5 cm 이상 되는 개체의 빈도를 각 실험 군별로 계수하였다. 각 실험 군별 성장 차이는 SPSS program version 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 각 실험 군간 유의성 ($P < 0.05$)을 검정하였다.

성비 분석

치어의 성비 분석을 위하여 각 수온 실험 군별로 6주간 치어가 끝난 어류를 10주간 유수식으로 사육한 후 생식소 조직을 채취하여 압착한 후 현미경 하에서 관찰하거나 상법에 의해 5–6 μm 로 조직 절편을 만들어 H&E 염색한 후 성비 분석을 실시하였다.

결 과

시제품 잡종 생산 및 암 수간 성장 비교

성장에 따른 암수 간의 체중 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보듯이 잡종의 성장은 부화 5개월 후 암컷 32.2±7.9 g 그리고 수컷의 경우 19.3±4.7 g이었으나, 9개월 후에는 205.7±20.7 g, 수컷의 경우 80.0±16.3 g이었고 실험 종료 시인 11개월에는 암컷 328.9±23.9 g 그리고 수컷의 경우 154.3±16.3 g으로 나타났다. 이에 본 잡종의 암수간 성장 차는 해부현미경 하에서 생식소 절취가 가능하여 조직학적으로 성 판별이 가능

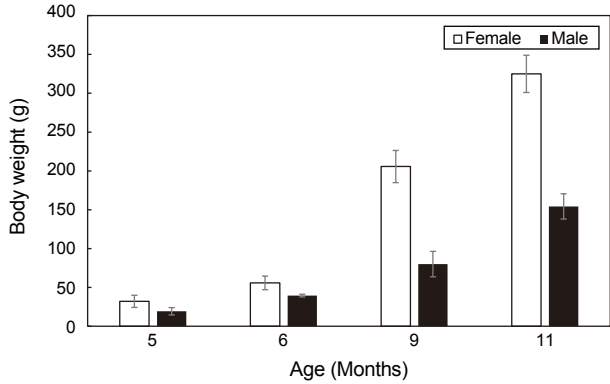


Fig. 1. Growth differences between female and male hybrids of stone flounder *Platichthys bicoloratus* ♀×starry flounder *P. stellatus* ♂.

한 5개월령에 이미 1.7배로 나타났고, 이후 성장함에 따라 그 차이는 더욱 벌어져 생후 11개월에는 2.13배로 암컷이 수컷에 비해 성장이 빠른 것으로 나타났다. Fig. 2는 압착법과 조직분석법에 의한 생후 9개월된 잡종의 생식소 조직이다.

초기 성장

각 실험군별 성장 및 사료 계수는 Table 1과 같다. Table 1에서 보듯이 각 실험군 모두 6.8 g의 어류를 15, 30 및 60일간 성장시킨 결과 실험 시작 후 첫 분석이 이루어진 15일부터 본 잡종

의 성장이 강도다리에 비해 16.9% 그리고 상반 잡종에 비해서도 15.0% 빠름을 알 수 있었고 사료 계수도 7.8% 및 5.9% 높아 본 잡종의 사료 효율이 타 실험군에 비해 우수함을 알 수 있었다. 이러한 경향은 실험 사육 30일 및 60일에는 더욱 더 뚜렷하여 30일의 경우 잡종은 그 성장이 강도다리 및 상반 잡종에 비해 13.7% 및 7.1% 그리고 사료 계수는 23.0% 및 9.2% 우수하였고, 실험이 종료된 60일의 경우 성장은 36.7% 및 17.6% 그리고 사료 계수도 20.8%와 9.7% 높게 나타나 본 잡종은 강도다리와 상반 잡종에 비해 빠른 성장과 높은 사료 효율을 지니고 있음을 알 수 있었다.

사육 수온에 따른 성장 및 생존

부화 후 7주된 평균 전장 18 mm의 치어를 6주간 서로 다른 수온에서 사육하며 2주 간격으로 전장을 측정할 결과 각 수온별 실험 개시 후 9, 11 및 13주의 성장은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 수온이 높을수록 성장률이 증가되는 현상을 보여주었다. 각 온도별 처리군에서 27°C로 2주간 사육한 경우 15°C에서 동일 기간 사육한 것보다 5% 정도의 성장 증가가 관찰되었고, 13주의 경우에는 15°C, 6주 사육한 실험군에 비해 높은 수온 즉, 18°C 군은 14.6%, 21°C와 24°C는 22.2% 그리고 27°C의 경우 26.2% 더 성장이 빠르게 나타났으나 21°C 이상의 실험군 간 통계적 유의성은 나타나지 않았다(P<0.05). 비만도의 경우도 모든 실험군에서 1.6으로 실험군별 차이는 보이지 않았고 온도 실험군별 생존율은 15°C 실험군의 생존율이 약간 낮아 66.1%였고 여타 실험군은 73.3-78.2%로 큰 차이를 보이지 않았다(Table 2).

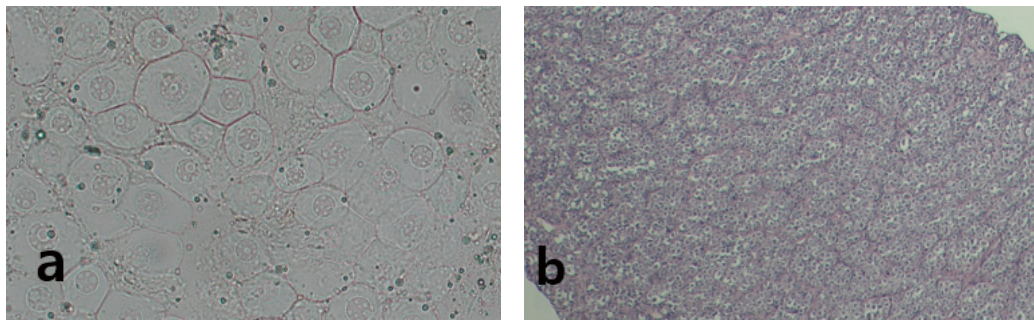


Fig. 2. Gonads of 9-month-old hybrid between stone flounder *Platichthys bicoloratus* ♀ and starry flounder *P. stellatus* ♂ by squash and histological analysis. a, Female, 40X; b, Male, 100X.

Table 1. Comparisons of body weight and feed coefficient with 3 different experimental groups

Exp. groups	15 days*		30 days		60 days	
	Body weight (g)	Feed coefficient	Body weight (g)	Feed coefficient	Body weight (g)	Feed coefficient
<i>Platichthys bicoloratus</i> × <i>P. stellatus</i>	14.5±0.1	0.51±0.02	16.5±0.2	0.65±0.05	28.7±0.4	0.72±0.02
<i>P. stellatus</i>	12.4±0.1	0.55±0.02	14.5±0.5	0.80±0.03	21.0±0.2	0.87±0.03
<i>P. stellatus</i> × <i>P. bicoloratus</i>	12.6±0.5	0.54±0.02	15.4±0.7	0.71±0.08	24.4±0.1	0.79±0.04

*5.5-month-old fish (6.8 g).

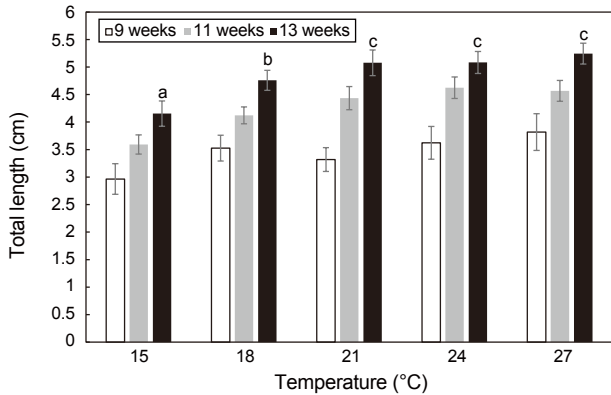


Fig. 3. Total length of stone flounder *Platichthys bicoloratus* ♀ and starry flounder *P. stellatus* ♂ hybrid fingerlings reared at 5 different water temperature for experiment period ($P < 0.05$).

사육 온도에 따른 체중 증가, 성비 및 온도 실험군별 상품 크기 종자 빈도

사육 온도 실험군별 체중의 증가와 성비는 Table 2와 같다. 15–21°C간에는 유의적인 체중 증가가 관찰되었으나, 21°C 이상의 3개 실험군 간에는 온도 증가에 따른 체중 증가는 유의적으로 나타나지 않았다($P < 0.05$). 성비에 있어서는 Table 2에서 보듯이 15–21°C범위 내에서는 암수가 1:1의 빈도를 보이거나 24°C 이상의 경우 90% 이상의 수컷 빈도를 보였다. 또한 종자 유통 최소 크기인 5 cm를 기준으로, 이들 크기를 만족시키는 어체의 빈도를 각 수온 처리 실험군별로 구한 결과 15°C 실험군에서는 전혀 나타나지 않았으며 18°C의 경우 65.4%, 21°C에서는 96.2%로 나타났고 24°C 이상의 실험군에서는 100%로 나타났다. 이에 본 연구 결과 21°C 실험군이 암 수 성비 1:1의 빈도를 유지하며 성장과 판매 크기의 종자 빈도가 높아 암컷 돌가자미와 수컷 강도다리의 교배를 통한 잡종 종자의 생산에 최적 조건으로 판명되었다.

고찰

잡종은 부모로 사용된 두 종간 유용 형질의 발현과 아울러 환

경에 유전자 오염을 방지할 수 있는 불임 어류를 단순 교배에 의해 생산할 수 있어 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 어류의 육종 방법이다(Bartly et al., 2000). 어류 양식에 있어 성장률은 가장 중요한 형질 중의 하나로써 white bass와 striped bass의 잡종은 sunshine bass라는 이름으로 미국에서 널리 양식되고 있으며 이 잡종은 부모로 사용된 두 종 보다 훨씬 빠른 성장을 보인다(Smith, 1988). 본 연구의 예비 실험으로 돌가자미와 강도다리의 잡종을 유도한 후 성장률을 분석한 결과, 강도다리의 상품 크기가 300 g 내외임을 고려할 때, 본 잡종은 강도다리와 마찬가지로 당년에 상품 크기로 성장함을 알 수 있어 국내 양식 산업에서 강도다리의 대체 가능성을 보여주었다. 그러나 본 연구에서 잡종의 암 수간 성장을 비교한 결과 상품 크기의 어류에서 수컷의 성장이 암컷의 50%에도 못 미쳐 앞으로 전 암컷 잡종의 생산이 생산성 향상을 위한 육종의 큰 방향임을 알 수 있었다. 국내에서 널리 양식되고 있는 넙치의 경우 이미 전 암컷 넙치(NIFS, 2016)가 연구되어 생산 유통되어 양식 어가의 수익 증대에 기여하고 있음을 고려, 본 잡종에 대해서도 여타 산업성 평가와 함께 염색체 공학 및 성전환 기법을 통한 육종이 필요할 것으로 판단된다.

Yamashita et al. (2014)은 돌가자미와 강도다리의 잡종과 상반 교배 잡종의 착색 시 까지 성장은 차이가 없음을 보고하였다. 그러나 본 연구에서 유도된 잡종의 성장 비교를 위해 강도다리와 이를 암컷으로 사용한 상반 교배 잡종과의 성장을 비교한 결과, 잡종은 강도다리에 비해 36.7%의 빠른 성장과 20.8% 높은 사료 효율을 나타내었고 상반 교배 잡종에 비해서도 17.6% 빠른 성장과 9.7% 높은 사료 효율을 보여주었다. 해산어 잡종의 경우 이미 brown-marbled grouper와 giant grouper의 잡종은 본 연구결과와 마찬가지로 빠른 성장과 함께 높은 비브리오 저항성을 보임이 보고되어 있고(Bunlipatanon and U-taynapun, 2017), gilthead seabream과 참돔의 잡종도 상기 잡종과 마찬가지로 성장과 사료효율에서 높은 산업성을 인정받아 이미 이스라엘에서 대량 양식되고 있으며(Hulata, 1995) 참돔과 common dentax의 잡종은 그 성장의 우수성을 인정받아 지중해 연안의 가두리에서 이미 널리 양식되고 있다(Colombo et al., 1998). 이에 본 연구에서 생산된 잡종에 대하여 국내 수서 환경의 적응력 등에 대한 후속 연구가 이루어진다면 국내 양식 산업

Table 2. Comparisons of body weight, survival rate, condition factor, sex ratio and frequency of commercial size of fingerlings at 5 different water temperatures ($P < 0.05$)

Exp. groups (°C)	Body weight (g)	Survival rate (%)	Condition factor	Sex ratio (%)	Frequency of commercial size of fry (%)
				F:M	
15	1.19±0.23 ^a	66.0	1.6	14:13 (51.9)	0
18	1.83±0.28 ^b	78.1	1.6	11:12 (47.8)	65.4
21	2.47±0.32 ^c	75.1	1.6	12:11 (52.2)	96.2
24	2.78±0.40 ^c	73.3	1.6	2:26 (92.8)	100.0
27	2.87±0.30 ^c	72.2	1.6	3:27 (90.0)	100.0

에서 가자미류의 양식을 대체할 수 있는 어종으로 각광받을 수 있을 것으로 기대된다. 상반 교배 잡종의 경우 두 종간의 중간 형질을 가져 대체로 산란에 유리한 종을 모계로 사용하는 것이 일반적이거나(Basavaraju et al., 1995), 미꾸리속 어류의 경우 암컷의 형질을 닮고 channel catfish와 blue catfish의 잡종은 수컷의 형질이 크게 발현됨이 보고되어 있다(Dunham et al., 1990; Kim et al., 1995). 따라서 돌가자미와 강도다리 간 잡종을 양식 대상 종으로 개발할 때, 산업성이 더 높은 잡종의 생산으로 집중하는 것이 필요할 것이므로 특별한 경우를 제외하고 강도다리를 암컷으로 사용하는 상반 교배 잡종의 양식은 산업성을 떨어뜨리는 요인이 될 것이다.

돌가자미는 유안측 옆줄 아래, 위, 머리 부분에 골질판이 있고, 강도다리는 둥근 마름모 형태로 등, 꼬리, 뒷지리미에 겹겹피 모양이 분포 되어 다른 가자미류와 구분이 쉽지만 본 연구에서 생산된 교잡종은 채색은 모계인 돌가자미에 가깝지만 추후 더 성장시켜야 구분이 명확해 질 것이라 판단된다.

어류는 변온 동물로서 수온의 변화는 생존에 필요한 체온 유지를 위한 에너지 소모와 관련되어 중요하여 어종마다 최적의 생존과 성장을 나타내는 수온 범위가 존재한다(Gadomski and Gaddell, 1991; Boltaña et al., 2017). 본 연구에서 7주령의 자어를 다양한 수온 조건으로 6주간 사육 시 비만도는 각 실험군 간 차이가 없으나 온도의 증가에 따른 체중 증가가 15°C와 18°C 그리고 21°C 이상의 실험군 간 유의적인 차이가 관찰되었다($P < 0.05$). 따라서 본 실험에서 사용한 사육 수온은 모두 7-13주령 잡종 어류의 사육에 적절한 수온으로 생각되나 적정 수온은 성장 단계에 따라 변화됨이 보고되어 있어(Brett and Groves, 1979), 앞으로 본 잡종에 대하여 성장 단계에 따른 적정 사육 수온을 조사할 필요가 있을 것으로 사료된다.

어류의 특정 발생 시기에 있어 수온의 영향은 그의 성 분화 기작에 영향을 끼칠 수 있음이 보고되어 있다(Strüssmann and Patiño, 1995; Patiño et al., 1996). 특히 가자미류에 있어 넙치와 노랑가자미, turbot, Atlantic halibut 그리고 southern flounder는 발생 초기 수온의 영향이 생식소 분화에 있어 매우 큰 영향력을 끼침이 보고되어 있다(Kim, 1993; Imsland et al., 1997; Goto et al., 1999; Yamamoto, 1999; Nes and Anderson, 2006). 본 연구에서 잡종은 부모로 사용한 두 종이 겨울 산란군임에도 초기 성장기 21°C 이상의 수온에 대하여 적응력이 매우 큼을 알 수 있었으나 각 실험군별 성비를 분석한 결과 24°C 이상의 실험군에서는 수컷의 빈도가 90% 이상으로 높게 나타났다. 이에 본 잡종은 7주령에서 13주령의 시기가 생식소 분화에 있어 매우 민감한 시기로 보이며, 기존에 보고된 가자미류들과 같이 고수온이 생식소의 분화에 지대한 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다. 따라서 앞서의 연구 결과 종자의 상품 크기에 도달한 수컷의 성장이 암컷의 비해 50%에도 못 미치는 점을 고려할 때, 본 잡종의 종자 생산업체에서는 7주령 정도 이후부터는 자어를 21°C 이상의 온도로 사육하는 것을 금해야 할 것이다. 그러나 고온

과 함께 estrogen을 처리하면 수컷으로의 발생을 막아 정상적인 성비를 유지할 수 있음도 보고되어 있어(Kitano et al., 1999, 2000) 성장 증가만을 목적으로 이들 물질을 처리할 수 있으나, 이들은 강력한 발암 물질이므로 사용에 신중을 기하여야 할 것이다(Parida and Sharma, 2019).

앞으로 본 잡종의 양식 산업화를 위한 질병 저항성 및 환경에 대한 영향 등과 아울러 영양 성분 분석 그리고 육질과 식감 등 대량 생산과 소비문화를 진작시킬 수 있는 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 산학연 collabo R&D 사업 지원[S3254373] 및 순천향대학교의 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- Bartley DM, Rana K and Immink AJ. 2000. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. *Rev Fish Biol Fish* 10, 325-337. <https://doi.org/10.1023/A:1016691725361>.
- Basavaraju Y, Devaraj KV and Ayyar SP. 1995. Comparative growth of reciprocal carp hybrids between *Catla catla* and *Labeo fimbriatus*. *Aquaculture* 129, 187-191. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00246-K](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00246-K).
- Brett JR. and Groves TDD. 1979. Physiological energetics. In: *Fish Physiology*. Hoar WS, Randall DJ and Brett JR, eds. Academic Press, Cambridge, MA, U.S.A., 1-786.
- Boltaña S, Sanhueza N, Aguilar A, Gallardo-Escarate C, Arriagada G, Valdes JA, Soto D and Quiñones, RA. 2017. Influences of thermal environment on fish growth. *Ecol Evol* 7, 6814-6825. <https://doi.org/10.1002/ece3.3239>.
- Bunlipatanon P and U-taynapun K. 2017. Growth performance and disease resistance against *Vibrio vulnificus* infection of novel hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* × *Epinephelus fuscoguttatus*). *Aquac Res* 48, 1711-1723. <https://doi.org/10.1111/are.13008>.
- Colombo L, Bortolussi M, Argenton F, Dalla Valle L, Vianello S, Belvedere P, Barbaro A, Francescon A and Libertini A. 1998. Towards an integration between chromosome set manipulation, intergeneric hybridization and gene transfer in marine fish culture. *Cahiers Options Méditerranéennes* 34, 77-122.
- Danzmann RG, Ferguson MM and Allendorf FW. 1986. Does enzyme heterozygosity influence developmental rate in rainbow trout?. *Heredity* 56, 417-425.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11, 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Dunham RA, Brummett RE, Ella MO and Smitherman RO. 1990. Genotype-environment interactions for growth of blue, channel and hybrid catfish in ponds and cages at

- varying densities. *Aquaculture* 85, 143-151. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90013-D](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90013-D).
- Fulton TW. 1904. The Rate of Growth of Fishes. Part III. Twenty-second Annual Report, Fisheries Board of Scotland Press, Scotland, 141-241.
- Gadomski DM and Caddell SM. 1991. Effects of temperature on early-life-history stages of California halibut *Paralichthys californicus*. *Fish Bull* 89, 567-576.
- Goto R, Mori T, Kawamata K, Matsubara T, Mizuno S, Adachi S and Yamauchi K. 1999. Effects of temperature on gonadal sex determination in barfin flounder *Verasper moseri*. *Fish Sci* 65, 884-887. <https://doi.org/10.2331/fishsci.65.884>.
- Hulata G. 1995. The history and current status of aquaculture genetics in Israel. *Isr J Aquac* 47, 142-154.
- Imsland AK, Folkvord A, Grung GL, Stefansson SO and Taranger GL. 1997. Sexual dimorphism in growth and maturation of turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque, 1810). *Aquac Res* 28, 101-114. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1997.t01-1-00829.x>.
- Imsland AK, Foss A, Sparboe LO and Sigurdsson S. 2006. The effect of temperature and fish size on growth and feed efficiency ratio of juvenile spotted wolffish *Anarhichas minor*. *J Fish Biol* 68, 1107-1122. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00989.x>.
- Imsland AK, Gústavsson A, Gunnarsson S, Foss A, Árnason J, Arnarson I, Jónsson AF, Smáradóttir H and Thorarensen H. 2008. Effects of reduced salinities on growth, feed conversion efficiency and blood physiology of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 274, 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.11.021>.
- Kitano T, Takamune K, Kobayashi T, Nagahama Y and Abe SI. 1999. Suppression of P450 aromatase gene expression in sex-reversed males produced by rearing genetically female larvae at a high water temperature during a period of sex differentiation in the Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J Mol Endocrinol* 23, 167-176. <https://doi.org/10.1677/jme.0.0230167>.
- Kitano T, Takamune K, Nagahama Y and Abe SI. 2000. Aromatase inhibitor and 17 α -methyltestosterone cause sex-reversal from genetical females to phenotypic males and suppression of P450 aromatase gene expression in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Mol Reprod Dev* 56, 1-5. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2795\(200005\)56:1<1::AID-MRD1>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2795(200005)56:1<1::AID-MRD1>3.0.CO;2-3).
- Kitano T, Yoshinaga N, Shiraishi E, Koyanagi T and Abe SI. 2007. Tamoxifen induces masculinization of genetic females and regulates P450 aromatase and Müllerian inhibiting substance mRNA expression in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Mol Reprod Dev* 74, 1171-1177. <https://doi.org/10.1002/mrd.20603>.
- Kim DS. 1993. Method for all-female production of *Paralichthys olivaceus*. Korea Patent 1001121300000, Korean Intellectual Property Office, Daejeon, Korea.
- Kim DS, Nam YK and Park IS. 1995. Survival and karyological analysis of reciprocal diploid and triploid hybrids between mud loach (*Misgurnus mizolepis*) and cyprinid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*). *Aquaculture* 135, 257-265. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01031-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01031-9).
- Koehn RK and Gaffney PM. 1984. Genetic heterozygosity and growth rate in *Mytilus edulis*. *Mar Biol* 82, 1-7. <https://doi.org/10.1007/BF00392757>.
- Lee IY. 2021. Production of hybrid between female starry flounder (*Platichthys stellatus*) and male stone flounder (*Kareius bicoloratus*) and analysis of usefulness in aquaculture industry. Ph. D. Dissertation, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea.
- Nes S and Anderson Q. 2006. Temperature effects on sex determination and ontogenetic gene expression of aromatase *cyp19a* and *cyp19b*, and the estrogen receptors and *esr1* and *esr2* in atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Mol Reprod Dev* 73, 1481-1490. <https://doi.org/10.1002/mrd.20514>.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2016. Studies on the Sex Determination Mechanism Using Olive Flounder Genome. NIFS, Busan, Korea, 39-41.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2019. Technical Manual for the Starry flounder Aquaculture. NIFS, Busan, Korea, 12-14.
- Parida S and Sharma D. 2019. The microbiome-estrogen connection and breast cancer risk. *Cells* 8, 1642. <https://doi.org/10.3390/cells8121642>.
- Patiño R, Davis KB, Schoore JE, Uguz C, Strüssmann CA, Parker NC, Simco BA and Goudie CA. 1996. Sex differentiation of channel catfish gonads: Normal development and effects of temperature. *J Exp Zool* 276, 209-218. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19961015\)276:3<209::AID-JEZ5>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19961015)276:3<209::AID-JEZ5>3.0.CO;2-R).
- Smith TIJ. 1988. Aquaculture of striped bass and its hybrids in North America. *Aquacult Mag* 14, 40-49.
- Strüssmann CA and Patiño R. 1995. Temperature manipulation of sex differentiation in fish. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish. Goetz F and Thomas P, eds. Fish Symp 95, Austin, TX, U.S.A., 153-157.
- Tave D. 1986. Genetics for Fish Hatchery Managers. AVI Publishing Co. Inc., Westport, CT, U.S.A., 1-299.
- Wolters WR and DeMay R. 1996. Production characteristics of striped bass \times white bass and striped bass \times yellow bass hybrids. *J World Aquac Soc* 27, 202-207. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1996.tb00270.x>.
- Yamaguchi T, Yoshinaga N, Yazawa T, Gen K and Kitano T. 2010. Cortisol is involved in temperature-dependent sex determination in the Japanese flounder. *Endocrinology* 151, 3900-3908. <https://doi.org/10.1210/en.2010-0228>.

- Yamamoto E. 1999. Studies on sex-manipulation and production of cloned populations in hirame, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquaculture* 173, 235-246. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00448-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00448-7).
- Yamashita YT, Aritaki M, Kurita Y and Tanaka M. 2014. Early growth and development of reciprocal hybrids of the starry flounder *Platichthys stellatus* and stone flounder *Kareius bicoloratus*. *J Fish Biol* 84, 1503-1518. <https://doi.org/10.1111/jfb.12376>.