

# 선발육종 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 성장형질에 대한 유전모수 및 유전적 개량효과 추정

박종원\* · 이다인 · 정효선 · 김주란 · 양혜림 · 이정호

국립수산과학원 어류육종연구센터

## Estimation of Genetic Parameters and Improvements for Growth Traits of Selected Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Jong-Won Park\*, Da-In Lee, Hyo Sun Jung, Julan Kim, He-Rim Yang and Jeong-Ho Lee

Fish Genetics and Breeding Research Center, National Institute of Fisheries Science, Geoje 53334, Korea

The aim of this study was to evaluate genetic parameters of growth traits for improving selective breeding in olive flounder *Paralichthys olivaceus* produced in April 2019. The total length and body weight at 11-, 18-, and 22-months-old were measured for 7,479, 2,831 and 1,904 individuals, respectively. Since 2004, we have been conducting a selective breeding program to improve growth traits in the olive flounder. Data were analyzed using the restricted maximum likelihood method using the multiple traits animal model. The effect of sex and production period showed significant differences in all traits ( $P < 0.05$ ). The heritability of all traits was 0.428–0.520, which is relatively high by measurement month. Therefore, it is considered that individual selection will be more advantageous than family selection. However, to maintain an appropriate degree of inbreeding and genetic diversity for future generations, it is necessary to consider family selection adequately. Results of the correlation analysis between the same traits according to the measurement period indicated that considering production costs such as feed cost, selection at 18-months-old will be advantageous. Olive flounder is a major aquaculture species in Korea, and continuous selective breeding research is essential to improve productivity.

Keywords: Genetic parameter, Heritability, Growth traits, Selection, Olive flounder

### 서론

넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 분류학적으로 가자미목 넙치과 넙치속에 해당되는 어종이며, 우리나라 및 일본의 전 연안, 중국해 연안에 널리 분포한다(NIFS, 2016). 우리나라 넙치 양식은 1980년대 초반 국립수산과학원에서 자연산 넙치를 수집하여 인공 종자 생산 기술을 개발하면서부터 시작되었으며, 이를 기반으로 넙치 양식이 본격적인 산업으로 발전하였다. 이후 생활수준 향상에 따른 소비 확대와 생산성 향상을 위한 양식 기술이 개발됨에 따라 넙치 생산량은 비약적으로 증가하여 최근 우리나라 양식어류 생산량의 약 50%를 차지하고 있다. 그러나 수십년간의 양식으로 인한 품종 열성화로 성장둔화 및 잦은 질병이 발생하였고, 이에 대한 대책으로 선발육종을 통한 우량 종

자 개발의 필요성이 대두되었다. 이에 국립수산과학원에서는 2004년부터 넙치를 대상으로 성장 형질 개선을 위해 선발육종 연구를 수행해 오고 있다. 일반적으로 어류의 유전적 개량량 증가를 위한 가장 효과적인 방법이 선발육종이며(Gjerde et al., 2004; Zheng et al., 2006; Choe et al., 2009), 이를 통한 생산성 향상에 관한 많은 연구가 진행되고 있다(Lucas et al., 2006; Mathilde et al., 2007; Kim et al., 2008; Kim et al., 2011; Park et al., 2013; Baoqing et al., 2017). 선발육종에 의한 유전적 개량량은 세대가 지날수록 누적되어 생산성을 지속적으로 향상시킬 수가 있는데, 육종효과를 예측하기 위해 유전모수(genetic parameter)를 추정하여 이용하고 있다. 특히, 어류는 산란 수가 많고 표현형의 변이가 커서 선발육종에 의한 유전적 개량이 육상 동물에 비해 매우 큰 장점을 가지고 있으며, 어류의 전장과

\*Corresponding author: Tel: +82. 55. 639. 5811 Fax: +82. 55. 639. 5809

E-mail address: dapowind@korea.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.2021.0974>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 974-981, December 2021

Received 12 October 2021; Revised 31 October 2021; Accepted 11 November 2021

저자 직위: 박종원(연구사), 이다인(연구사), 정효선(연구사), 김주란(연구사), 양혜림(연구사), 이정호(연구관)

체중 등은 성장과 생산성 관련 형질로 선발에 직접 이용된다. 후대의 유전적 개량량은 선발의 정확도, 선발 강도 및 그 집단의 상가적 유전변이의 크기에 의해 결정되며 이를 위해서는 체계적인 선발과 계획 교배가 필요하다(Refstie, 1990; Park et al., 2020). 또한 보다 효율적인 개량 효과를 기대하려면 우선 유전적 다양성이 유지되는 모집단이 확보되어야 하며, 혈통을 이용한 정확한 유전모수 및 육종가를 추정하는 기술도 중요하다(Su et al., 1996). 따라서 본 연구는 넘치 집단의 유전모수 및 육종가를 이용하여 선발 시기를 결정하고 이에 따른 후대의 유전적 개량 효과를 추정하여 우리나라 넘치 생산성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 시험어 생산 및 성장 측정

본 연구에서는 2019년에 생산된 넘치를 대상으로 부화 후 11개월령 7,479마리, 18개월령 2,831마리 및 22개월령 1,904마리의 성장 형질인 전장과 체중의 측정 자료를 이용하여 측정 시기별 성, 생산 시기의 효과와 각 형질별 유전모수 및 육종가를 추정하였다. 본 연구에 이용된 넘치 생산을 위해 유전적 다양성이 확보된 친어 집단에서 각 개체의 유전적 유연관계를 이용하여 최대의 선발 효과와 근친도의 적정 균형을 유지하는 최적 교배지침을 작성하였으며, 2019년 4월 29일과 5월 14일의 2회에 걸쳐 암수 1:1 인공수정을 통해 총 351가계를 생산하였다. 사육 수조에 따른 환경효과를 최소화하기 위해 전 가계를 혼합하여 사육하였으며, 부화 후 11개월령에 성장형질 측정, 복부 압박을 통한 성 확인, 친자 감별을 위한 가슴지느러미 조직을 채취하고, 개체 식별을 위한 전자칩을 모든 개체에 삽입하였다. 이후 성장에 따른 사육 밀도 조절 및 선발을 실시하고 18개월 및 22개월령에 각각 성장형질을 측정하였다. 유전모수 및 육종가 추정을 위해 친자 감별이 안되는 개체와 이상치 제거를 위한 표준편차의  $\pm 3$ 배의 자료는 분석에서 제외하였다.

### 통계분석방법

각 측정 시기별 성 및 생산 시기의 효과를 추정하기 위해 조사된 형질에 대한 등분산성에 대한 t-검정을 실시한 결과 성 및 생산 시기별 분산이 같지 않다는 결과를 보여 SAS package의 GML (general linear model)에서 TYPE III 제곱합을 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 최소제곱평균치간의 유의성 검정을 위해  $H_0: LSM(i) = LSM(j)$ 와 같은 귀무가설을 유의수준 5%로 Pairwise T 검정을 실시하였다. 여기서, LSM(i)와 LSM(j)는 각각 i와 j ( $i \neq j$ )번째 효과의 최소제곱평균치이다. 성장 형질에 대한 유전모수 및 각 개체별 육종가 추정을 위해 성과 생산 시기를 고정 효과로 처리하였으며, EM-REML (expectation maximization-restricted maximum likelihood) 알고리즘을 전산 프로그램화한 REMLF90 (Misztal, 1990)을 이용하여 최적

선형불편예측법(best linear unbiased prediction, BLUP)에 의해 다음과 같은 다형질 개체모형(Henderson and Quass, 1976)을 이용하였다.

$$Y_{ijkl} = u_i + Sex_{ij} + Batch_{ik} + a_{ijkl} + e_{ijkl}$$

여기서,  $Y_{ijkl}$ 은 i번째 형질에서 j번째 성의 k번째 생산 시기에 속하는 l번째 개체에 대한 측정치,  $u_i$ 는 i번째 형질의 전체 평균,  $Sex_{ij}$ 는 i번째 형질의 j번째 성의 효과( $j=1, 2$ ),  $Batch_{ik}$ 는 i번째 형질의 k번째 생산 시기의 효과,  $a_{ijkl}$ 는 개체에 대한 임의효과  $N(0, G)$  그리고  $e_{ijkl}$ 는 임의오차  $N(0, R)$ 이다. G와 R은 각각 상가적 유전분산과 잔차분산이며, G는 추정된 값이 지역 최대값(local maximum)으로 수렴하는 것을 방지하기 위해 최종적으로 구해진 추정치를 시작 값으로 하여 그 차이가  $10^{-9}$  이하로 되는 경우를 수렴 값으로 결정하였다. 추정된 분산 및 공분산 값을 이용하여 상가적 유전분산( $\sigma_a^2$ )과 잔차분산( $\sigma_e^2$ )에 의한 유전력( $h^2$ )은 다음과 같이 계산하였다(Groeneveld and Kovac, 1990).

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}$$

집단의 확률 분포에 대한 정규성 검정(normality test)을 위해 SAS package의 univariate procedure (SAS, Cary, NC, USA)를 이용하였으며, 조사된 각 형질의 표현형 상관계수( $r_p$ ) 및 유전적 상관계수( $r_G$ )는 아래와 같은 공식을 이용하였다.

$$r_p = \frac{COV_{p(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{p(i)}^2 \times \sigma_{p(j)}^2}}, (i \neq j), r_G = \frac{COV_{a(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{a(i)}^2 \times \sigma_{a(j)}^2}}, (i \neq j)$$

여기서,  $\sigma_p^2$ 와  $\sigma_a^2$ 는 각각 표현형 분산과 상가적 유전분산이며,  $COV_{p(i,j)}$ 와  $COV_{a(i,j)}$ 는 각각 i와 j간의 표현형 공분산 및 유전 공분산이다.

선발차는 선발한 집단의 평균-모집단의 평균, 선발 강도는 선발차 ÷ 모집단의 표현형표준편차 그리고 유전적 개량량은 유전력 × 선발차로 계산하였다.

## 결과 및 고찰

본 연구에서 조사된 넘치 집단의 부화 후 11개월령, 18개월령 및 22개월령의 전장 및 체중에 대한 성 및 생산 시기별 분산 분석을 실시한 결과 모든 형질에 있어서 고도의 유의성( $P < 0.001$ )이 인정되었다(Table 1).

Table 2에는 본 연구에서 조사된 측정 시기에 따른 각 성장 형질에 대한 전체 평균과 그 표준편차를 표시하였다. 부화 후 11개월령 전장과 체중의 평균은 각각 34.8 cm 및 525.7 g로 조사되었으며, 전장의 최대값과 최소값은 각각 42.5 cm 및 26.5 cm, 체중은 각각 968.0 g 및 210.0 g로 나타났다. 18개월령 전장과

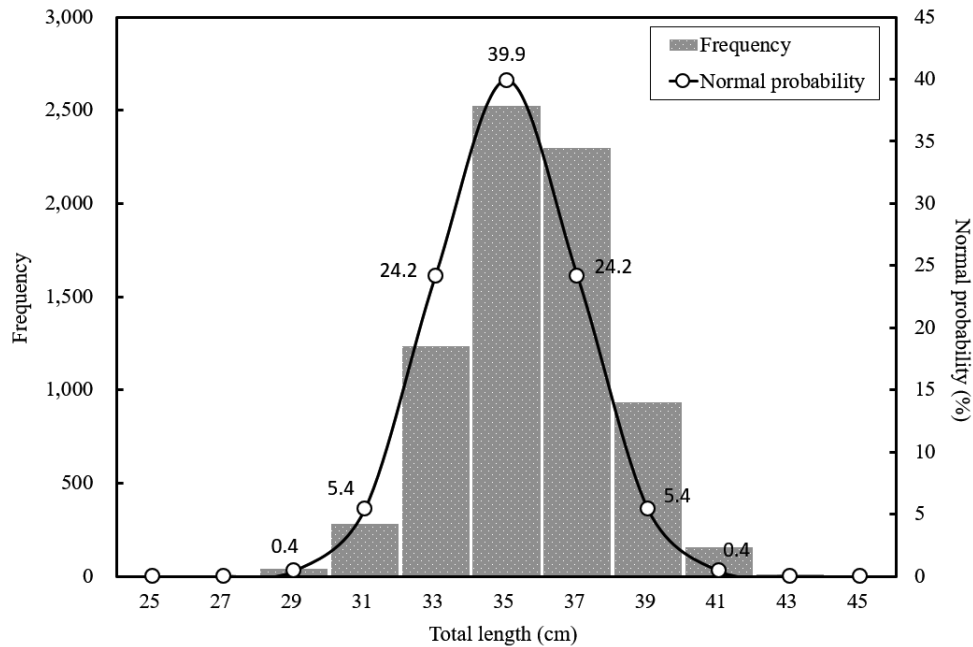


Fig. 1. Frequency and normal probability of total length at 11-months-old.

체중의 평균은 각각 47.3 cm 및 1,310.9 g로 조사되었고, 전장의 최대값과 최소값은 각각 57.5 cm 및 36.3 cm, 체중은 각각 2,338.0 g 및 528.0 g로 조사되었다. 그리고 22개월령 전장과 체중의 평균은 각각 53.3 cm 및 2,160.5 g로 조사되었으며, 전장의 최대값과 최소값은 각각 64.0 cm 및 39.5 cm, 체중은 각각 4,021.0 g 및 804.0 g로 조사되었다. 분포의 뾰족한 정도를 나타내는 첨도(kurtosis)와 분포의 비대칭 정도를 나타내는 왜도(skewness)는 정규분포에서 어느정도 범위에 있는 지 알 수 있는 지표로 사용되며, 첨도와 왜도의 절대값이 각각 7미만과 3미만이면 정규분포에 부합되는 것으로 판단한다. Table 2에서 조사된 측정 시기별 각 형질에 대한 첨도 및 왜도의 절대값을 살펴보면 왜도는 0.04-0.37, 첨도는 0.08-0.74의 범위로 정규분포

에 부합하는 것으로 나타났다. 또한, Fig. 1 및 Fig. 2에는 부화 후 11개월령 성장 형질에 대한 정규 확률에 대한 빈도수를 표시하였으며, 본 연구에 이용된 11개월령, 18개월령 및 22개월령의 자료 모두 정규분포의 기준에 부합하는 것으로 조사되었다. 변이 계수(coefficient of variation)는 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 측정 단위가 다른 자료들의 상대적 변동성을 비교하는 데 용이하며, 그 값이 작을 수록 평균에 가깝게 분포하고 있다는 것을 의미한다(Park et al., 2013). 본 연구에서 조사된 측정 시기별 전장과 체중의 변이 계수를 살펴보면 11개월령에 6.1% 및 18.9%, 18개월령에 8.2% 및 24.1% 그리고 22개월령의 경우 8.0% 및 26.9%로 조사되어 전장보다는 체중의 변동성이 더 크게 나타났다.

Table 1. Source of the variation, mean squares and test of significance for growth traits

Age	Source	Sex	Batch	Error
11-months-old	df <sup>1</sup>	1	1	7476
	Total length	3676.1*	3020.2*	3.6
	Body weight	7045944.4*	3424310.0*	8353.9
18-months-old	df	1	1	2828
	Total length	22385.0*	1208.2*	6.3
	Body weight	144371724.9*	4763172.9*	45686.5
22-months-old	df	1	1	1901
	Total length	19411.6*	741.3*	7.5
	Body weight	388641207.7*	2110863.8*	129914.0

<sup>1</sup>Degree of freedom; \*High significance (P<0.001).

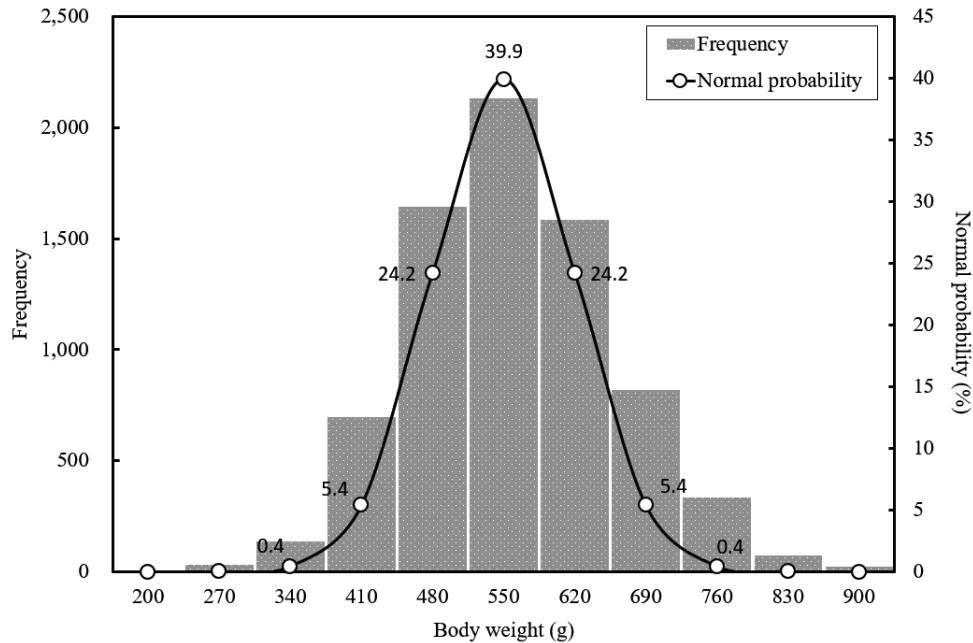


Fig. 2. Frequency and normal probability of body weight at 11-months-old.

Table 3에는 조사된 각 형질에 대한 성 및 생산 시기의 효과에 대한 최소제곱 평균과 그 표준오차를 표시하였다. 부화 후 11개월령에 있어서 전장의 경우 암컷이 35.3 cm로 수컷의 33.8 cm보다 1.5 cm 길었으며, 체중은 암컷이 546.9 g로 수컷의 484.8 g보다 62.1 g 더 무거웠다. 부화 후 18개월령 전장의 경우 암컷

이 49.3 cm로 수컷의 43.5 cm보다 5.8 cm 길었으며, 체중은 암컷이 1,475.0 g로 수컷의 1,006.6 g로 468.4 g 더 무거웠다. 부화 후 22개월령의 경우 전장은 암컷이 55.4 cm로 수컷의 48.5 cm보다 6.9 cm 더 길었으며, 체중의 경우 암컷이 2,468.8 g로 수컷의 1,505.2 g보다 966.6 g 더 무겁게 나타났다. 일반적으로 양식

Table 2. Overall means, standard deviations (STD) and coefficient of variation (CV) for growth traits

Items	11-months-old		18-months-old		22-months-old	
	TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)
Mean±STD	34.8±2.16	525.7±99.4	47.3±3.88	1310.9±316.4	53.3±4.29	2160.5±581.1
Maximum	42.5	968.0	57.5	2338.0	64.0	4021.0
Minimum	26.5	210.0	36.3	528.0	39.5	804.0
Kurtosis	0.08	0.20	-0.68	-0.64	-0.49	-0.74
Skewness	-0.07	0.27	-0.15	0.14	-0.37	-0.04
CV (%)	6.1	18.9	8.2	24.1	8.0	26.9

TL, total length; BW, body weight.

Table 3. Least-square means and standard errors of growth traits by measurement month

Items		11-months-old		18-months-old		22-months-old	
		TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)	TL (cm)	BW (g)
Sex	Female	35.3 <sup>a</sup> ±0.03	546.9 <sup>a</sup> ±1.48	49.3 <sup>a</sup> ±0.06	1475.0 <sup>a</sup> ±5.22	55.4 <sup>a</sup> ±0.07	2468.8 <sup>a</sup> ±10.3
	Male	33.8 <sup>b</sup> ±0.03	484.8 <sup>b</sup> ±1.59	43.5 <sup>b</sup> ±0.07	1006.6 <sup>b</sup> ±6.60	48.5 <sup>b</sup> ±0.11	1505.2 <sup>b</sup> ±14.4
Batch	Batch 1	35.2 <sup>a</sup> ±0.03	538.4 <sup>a</sup> ±1.32	47.2 <sup>a</sup> ±0.06	1283.3 <sup>a</sup> ±5.25	52.6 <sup>a</sup> ±0.08	2021.4 <sup>a</sup> ±11.0
	Batch 2	33.9 <sup>b</sup> ±0.04	493.3 <sup>b</sup> ±1.78	45.8 <sup>b</sup> ±0.07	1198.3 <sup>b</sup> ±6.57	51.3 <sup>b</sup> ±0.10	1952.6 <sup>b</sup> ±13.6

TL, total length; BW, body weight. <sup>a, b</sup>Means in the same column with different letter are statistically significant at 5% level of significance.

Table 4. Heritability ( $h^2$ ), additive genetic variance ( $\sigma_a^2$ ) and environmental variance ( $\sigma_e^2$ ) of growth traits by measurement month

Items	11-months-old			18-months-old			22-months-old		
	$h^2$	$\sigma_a^2$	$\sigma_e^2$	$h^2$	$\sigma_a^2$	$\sigma_e^2$	$h^2$	$\sigma_a^2$	$\sigma_e^2$
Total length	0.435	1.738	2.253	0.509	3.219	3.095	0.520	4.002	3.693
Body weight	0.428	3,698.0	4,930.0	0.479	21,810	23,690	0.503	60,300	59,590

넙치는 암컷이 수컷보다 크며, 18개월을 양성하면 암컷의 체중이 수컷의 약 1.5배가 되는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 전장과 체중 모두 성장함에 따라 그 차이는 더 크게 나타났는데 암수 간의 생리적 특성뿐만 아니라 집단의 유전적 다양성 유지를 위한 성장 단계별 가계 또는 개체 선발의 결과로 사료된다. 본 연구에 이용된 넙치 집단은 두 차례에 걸쳐 생산되었으며, 전장 및 체중 모두 생산 시기가 15일 빠른 1차에 생산된 그룹이 2차에 생산된 그룹보다 크게 나타났다. 이와 같이 성 및 생산 시기에 있어서 전장과 체중 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

Table 4는 본 연구에서 조사된 넙치 집단의 부화 후 11개월, 18개월 및 22개월령 성장 형질에 대한 유전분산 및 잔차분산에 따른 유전력을 나타내었다. 전장과 체중의 유전력은 부화 후 11개월령에 각각 0.435 및 0.428, 18개월령에는 각각 0.509 및 0.479 그리고 22개월령의 경우 각각 0.520 및 0.503으로 측정 시기별 모든 형질에 있어서 높은 유전력을 보였다. 유전력은 특정 형질의 전체 변이 중에서 유전 효과로 설명될 수 있는 부분의 비율을 의미하며, 이는 표현형분산에 대한 유전분산의 비율로 표현한다. 성장형질과 같은 양적형질의 경우 유전력은 최고치 1 및 최저치 0의 값을 갖기 보다는 일반적으로 이들 사이의 값을 나타낸다. 유전력이 0-0.2 범위는 낮은 유전력, 0.4 이상이면 높은 유전력이라고 한다. 유전력이 클수록 유전효과가 표현형 값에 미치는 영향이 크므로 유전력이 높을 때 유전효과에 기초한 선발은 유전적 개량과 표현형 값의 증가에 효율적으로 작용한다. 또한 유전모수, 유전력 및 육종가의 추정치는 시대, 품종, 집단, 형질, 사육관리 및 추정방법 등에 의해 매우 다양하게 나타나며, 특히 유전력의 높고 낮음에 따라 대상 형질의 선발 반응을 예측하고 선발 방법을 결정할 뿐만 아니라 육종 계획을 수립하는데 매우 중요한 기초 자료로 활용된다(Park et al., 2020). 보통 유전력이 낮으면 가계선발을 하고 유전력이 높으면 개체선발이 효율적이다. 이는 유전력이 낮을 경우 개체 간의 능력 차이가 주로 환경요인에 의해 나타나므로 표현형 값에만 근거하여 정확한 유전자형을 추정하기 어렵기 때문이다. 본 연구에서 조사된 각 형질은 높은 유전력을 보여 개체선발이 유리할 것으로 판단되며, 후대 집단의 적정 근친도 유지 및 유전적 다양성 유지를 위해서는 가계선발도 적절히 고려해야 할 것이다. 넙치의 성장형질에 대한 본 연구와 유사한 연구결과를 살펴보면 Kim et al. (2008)은 부화 후 180일째 넙치의 성장형질에 대한 유전모수 추정 및 유전능력평가 재현성 검증에서 전장과 체중의 유전력을 각각 0.590과 0.564로 보고하였고, Kim et al. (2011)은 자연산이 도입된 넙치 기초집단의 부화 후 11개월령의 성장형

질 유전모수 추정에서 전장과 체중이 각각 0.753 및 0.754의 높은 유전력을 보고한 바 있다. Tian et al. (2011)은 부화 후 8개월령 넙치의 전장과 체중의 유전모수 추정에 있어서 각각 0.40과 0.48의 유전력을 보고하였고, Liu et al. (2011)는 다형질 개체 모형을 이용한 부화 후 12개월령 넙치 성장형질의 유전모수 추정에 있어서 전장과 체중이 각각 0.47 및 0.63으로 높은 유전력을 보고한 바 있으며, Li et al. (2018)는 넙치의 성장형질에 대한 유전모수 추정에서 전장과 체중의 유전력을 각각 0.61 및 0.74로 보고하였다.

Table 5에는 본 연구에서 조사된 각 측정 시기별 성장형질 간의 유전 상관 및 표현형 상관계수를 나타내었다. 부화 후 11개월령의 전장과 체중의 유전 상관계수는 0.928, 표현형 상관계수는 0.935로 조사되었고, 부화 후 18개월령 전장과 체중의 유전 상관계수는 0.957, 표현형 상관계수는 0.956 그리고 부화 후 22개월령 전장과 체중의 유전 및 표현형 상관계수는 각각 0.934와 0.944로 조사되었다. Kim et al. (2008)은 부화 후 180일째 넙치에 있어서 전장과 체중의 유전 및 표현형 상관계수를 각각 0.981과 0.954로 보고하였고, Kim et al. (2011)은 부화 후 11개월령 넙치에 있어서 전장과 체중의 유전 및 표현형 상관계수를 각각 0.969과 0.959로 보고하였다. Liu et al. (2011)은 부화 후 12개월령 넙치를 대상으로 전장과 체중의 유전 상관계수를 0.96으로 보고하였으며, 또한 Tian et al. (2011)는 부화 후 8개월령 넙치의 전장과 체중의 유전 및 표현형 상관계수가 각각 0.960 및 0.930으로 보고하였으며, Li et al. (2018)는 부화 후 12개월령 넙치의 전장과 체중의 유전 및 표현형 상관계수가 각각

Table 5. Genetic and phenotypic correlations<sup>1</sup> among growth traits by measurement month

Traits <sup>2</sup>	TL11	BW11	TL18	BW18	TL22	BW22
TL11		0.935	0.725	0.660	0.676	0.597
BW11	0.928		0.675	0.685	0.624	0.627
TL18	0.816	0.735		0.956	0.972	0.914
BW18	0.780	0.791	0.957		0.923	0.936
TL22	0.766	0.643	0.985	0.905		0.944
BW22	0.764	0.767	0.960	0.972	0.934	

<sup>1</sup>Genetic correlations are below diagonal and phenotypic correlations are above diagonal. <sup>2</sup>TL11, total length at 11-months-old; BW11, body weight at 11-months-old; TL18, total length at 18-months-old; BW18, body weight at 18-months-old; TL22, total length at 22-months-old; BW22, body weight at 22-months-old.

0.94 및 0.90으로 보고한 바 있다. 이처럼 넙치의 전장과 체중의 상관관계는 강한 정의 상관관계를 보이므로 전장 및 체중 중에서 하나의 형질을 직접 선발함에 따른 다른 형질의 간접 선발 효과를 동시에 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 측정 시기별 동일 형질 간의 상관관계를 조사한 결과 부화 후 11개월령 전장과 18개월령 전장의 유전 및 표현형 상관계수 0.816 및 0.725보다 18개월령 전장과 22개월령 전장의 유전 및 표현형 상관계수가 각각 0.985 및 0.972로 더 높게 조사되었으며, 11개월령 체중과 18개월령 체중의 유전 및 표현형 상관계수 0.791 및 0.685보다 18개월령 체중과 22개월령 체중의 유전 및 표현형 상관계수가 0.972 및 0.936으로 더 높게 추정되었다. 또한 11개월령과 22개월령에 있어서 전장의 유전 및 표현형 상관계수가 각각 0.766 및 0.676, 체중의 유전 및 표현형 상관계수가 각각 0.767 및 0.627로 비교적 낮은 정의 상관관계를 보였다.

Table 6에는 본 연구에서 조사된 측정 시기별 동일 형질 간의 순위 상관 분석 결과를 표시하였다. 전장의 경우 11개월령과 18개월령의 유전 및 표현형 순위 상관계수가 각각 0.829 및 0.718, 18개월령 및 22개월령의 유전 및 표현형 순위 상관계수가 0.985 및 0.970으로 나타나 18개월령과 22개월령의 순위 상관이 더 높게 추정되었다. 체중의 경우 11개월령과 18개월령의

유전 및 표현형 순위 상관계수가 각각 0.794 및 0.666, 18개월령과 22개월령의 유전 및 표현형 순위 상관계수가 각각 0.973 및 0.935으로 나타나 18개월령과 22개월령의 순위 상관이 더 높았다. 그리고 11개월령과 22개월령 전장의 유전 및 표현형 순위 상관계수가 0.778 및 0.678, 체중의 유전 및 표현형 상관계수가 0.768 및 0.614로 비교적 약한 정의 순위 상관관계를 보였다. Table 5와 Table 6에서와 같이 측정 시기별 같은 형질 간의 상관 분석 결과를 종합해 보면 부화 후 11개월령에서 22개월령까지 성장함에 따라 개체 또는 가계 간의 성장 역전현상이 일부 진행되었음을 알 수 있었다. 또한, 11개월령과 18개월령의 성장형질 간의 상관보다 18개월령과 22개월령의 성장형질 간의 상관이 매우 높게 추정되어 한정된 사육 시설 및 사료 비용 절감을 위해 친어 선발은 18개월령에 하는 것이 효율적이라고 판단된다.

Table 7은 위의 결과를 토대로 부화 후 18개월령에서 후대 생산을 위한 친어 선발 비율을 상위 1%, 15% 및 30%로 하였을 때 각각의 선발 강도, 유전적 개량량 및 선발 효과를 표시하였다. 전장 육종가를 기준으로 상위 1%를 선발할 때 후대의 18개월령에서의 유전적 개량량은 전장 2.3 cm 및 체중 175.8 g로 각각 4.4%와 10.5%의 선발 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났고, 상위 15%를 선발할 때 유전적 개량량은 전장 1.63 cm 및 체중 116.9 g로 각각 3.2%와 7.5%의 선발 효과를 기대할 수 있으며, 상위 30%를 선발할 때 유전적 개량량은 전장 1.22 cm 및 체중 86.8 g로 각각 2.5%와 5.8%의 선발 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 체중의 육종가를 기준으로 상위 1%를 선발할 때 후대의 18개월령에서의 유전적 개량량은 전장 2.5 cm 및 체중 246.7 g로 각각 4.8%와 13.5%의 선발 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났고, 상위 15%를 선발할 때 유전적 개량량은 전장 1.55 cm 및 체중 131.1 g로 각각 3.1%와 8.3%의 선발 효과를 기대할 수 있으며, 상위 30%를 선발할 때 유전적 개량량은 전장 1.12 cm 및 체중 90.1 g로 각각 2.7%와 6.0%의 선발 효과를 기대할 수 있는 것으로 조사되었다. 조사된 바와 같이 모집단에서 친어의 선발 비율이 높을 수록 선발 강도와 유전적 개량량은 떨어지며, 선발 강도가 형질 별로 다르게 나타난 것은 모집단으로부터 최종 선발된 암컷과 수컷의 비율이 달랐기 때문인 것으로 사료된다. 특히, 전장보다는 체중을 기준으로 선발하였을 때

Table 6. Rank correlations<sup>1</sup> among growth traits by measurement month

Traits <sup>2</sup>	TL11	BW11	TL18	BW18	TL22	BW22
TL11		0.933	0.718	0.647	0.678	0.590
BW11	0.934		0.667	0.666	0.625	0.614
TL18	0.829	0.750		0.961	0.970	0.911
BW18	0.792	0.794	0.959		0.924	0.935
TL22	0.778	0.661	0.985	0.909		0.944
BW22	0.774	0.768	0.961	0.973	0.935	

<sup>1</sup>Genetic rank correlations are below diagonal and phenotypic rank correlations are above diagonal. <sup>2</sup>TL11, total length at 11-months-old; BW11, body weight at 11-months-old; TL18, total length at 18-months-old; BW18, body weight at 18-months-old; TL22, total length at 22-months-old; BW22, body weight at 22-months-old.

Table 7. Genetic improvement when selecting the top 1%, 15% and 30% for breeding value of total length and body weight at 18-months old

Criteria <sup>1</sup>	Traits <sup>2</sup>	Rate of selection								
		1%			15%			30%		
		<i>i</i> <sup>3</sup>	$\Delta G$ <sup>4</sup>	<i>E</i> <sup>5</sup>	<i>i</i>	$\Delta G$	<i>E</i>	<i>i</i>	$\Delta G$	<i>E</i>
TL_BV	TL (cm)	1.16	2.3	4.4%	0.83	1.63	3.2%	0.62	1.22	2.5%
	BW (g)	1.16	175.8	10.5%	0.77	116.9	7.5%	0.57	86.8	5.8%
BW_BV	TL (cm)	1.27	2.5	4.8%	0.78	1.55	3.1%	0.57	1.12	2.7%
	BW (g)	1.63	246.7	13.5%	0.87	131.1	8.3%	0.59	90.1	6.0%

<sup>1</sup>TL\_BV, when selecting for breeding value of total length; BW\_BV, when selecting for breeding value of body weight. <sup>2</sup>TL, total length; BW, body weight. <sup>3</sup>Intensity of selection. <sup>4</sup>Genetic improvement. <sup>5</sup>Breeding effect.

조금 더 높은 효과를 기대할 수 있는 것으로 조사되었다. 이처럼 선발 강도가 높을 수록 기대되는 유전적 개량 효과도 높아지지만, 너무 높은 선발 강도를 유지할 경우 세대를 거듭할수록 근친 교배에 따른 유전자 빈도가 변할 뿐만 아니라 표현형 변이도 줄어들 수 있다(Flaconer and Mackay, 1996). 이러한 문제를 사전에 방지하기 위해서는 적정 선발 강도를 유지함으로써 근친화를 최소화하여 매 세대 유전적 다양성을 유지할 필요가 있다.

본 연구결과로 미루어볼 때 후대의 유전적 개량 효과를 높이고자 할 때에는 우선 대상 형질의 유전력을 높여야 하며, 모집단과 후대 생산을 위해 선발되는 집단 간의 평균 차인 선발차를 크게 해야 한다(Park et al., 2012). 또한 적절한 선발 강도를 고려해야하기 때문에 모집단의 개체별 성장 변이가 큰 것이 유리하다. 선발육종은 경제형질의 실질적인 유전적 개량이 목적이며, 수산동물에 있어서 가장 이상적인 육종방법이다. 성장형질과 같은 양적형질은 다양한 유전자 및 여러가지 환경요인에 의해 표현형으로 나타나기 때문에 대상형질이 가지는 유전적 요인의 크기를 먼저 파악함으로써 선발 시기와 선발 방법을 결정하고 이에 따른 선발 효과를 예측할 수 있다. 넘치는 우리나라 주요 양식생물로서 생산성 향상을 위한 성장형질의 지속적인 선발 육종연구가 반드시 필요하며, 정확한 유전모수와 유전력의 추정을 통해 선발육종에 이용한다면 보다 효과적인 개량을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산과학연구사업(양식생물 육종 품종 개발 및 산업화, R2021001)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Baoqing Y, Ziyi W, Le W, Hongyan P, Yanfei W, Huliming L, Bing L, Huan SL, Junhui J and Genhua Y. 2017. Heritability of growth traits in the Asian seabass *Lates calcarifer*. Aquac Fish 2, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.06.001>.
- Choe MK, Yang SG, Won SH, Park CJ, Han SJ and Yeo IK. 2009. Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 9-month old of two Korean abalone subspecies *Haliotis discus hannii* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. Korean J Fish Aquat Sci 42, 591-599. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.591>.
- Gjerde B, Terjesen BF, Barr Y, Lein I and Thorland I. 2004. Genetic variation for juvenile growth and survival in Atlantic cod *Gadus morhua*. Aquaculture 236, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.03.004>.
- Groeneveld E and Kovac M. 1990. A note on multiple solutions in multivariate restricted maximum likelihood covariance component estimation. J Dairy Sci 73, 2221-2229. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78902-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78902-3).
- Flaconer DS and Mackey TFC. 1996. Introduction to quantitative genetics. Prentice Hall, New York, NY, U.S.A.
- Henderson CR and Quass RL. 1976. Multiple trait evaluation using relative's record. J Anim Sci 43, 1188-1197. <https://doi.org/10.2527/jas1976.4361188x>.
- Li Y, Zhang B, Lu S, Tian Y, Yang Y and Chen S. 2018. Genetic parameters estimates for growth performance traits at harvest in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 489, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.010>.
- Liu YX, Wang GX, Wang YF, Si F, Sun ZH, Zhang XY, Wang JD and Liu HJ. 2011. Estimation of genetic parameters for growth traits of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* using an animal model. Fish Sci 77, 87-93. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0311-x>.
- Lucas T, Macbeth M, Degnan SM, Knibb W and Degnan BM. 2006. Heritability estimates for growth in the tropical abalone *Haliotis asinina* using microsatellites to assign parentage. Aquaculture 259, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.039>.
- Kim HC, Noh JK, Lee JH, Kim JH, Park CJ, Kang JH, Kim KK, Lee JG and Myeong JI. 2008. Estimation of genetic parameters and reproductivity test of genetic evaluation for growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days of age. J Aquaculture 21, 317-324.
- Kim HC, Noh JK, Lee JH, Park CJ, Min BH, Kim KK, Kim JH, Lee JG and Myeong JI. 2011. Estimation of genetic parameters of growth-related traits from 11-month-old olive flounder *Paralichthys olivaceus* base population in which wild flounder broodstocks were introduced. J Anim Sci Technol 53, 99-106. <https://doi.org/10.5187/JAST.2011.53.2.99>.
- Mathilde DN, Marc V, Alain V, Olivier M, Pierrick H, Herve C and Beatrice C. 2007. Heritabilities and GxE interactions for growth in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) using a marker-based pedigree. Aquaculture 275, 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.032>.
- Misztal I. 1990. Restricted maximum likelihood estimation of variance components in animal model using sparse matrix inversion and a supercomputer. J Dairy Sci 73, 163-172. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78660-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78660-2).
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2016. Standard manual of olive flounder culture. NIFS, Busan, Korea.
- Park JW, Park CJ, Lee DI, Jung HS, Kim HJ, Kim JL and Kim WJ. 2020. Estimation of genetic improvement based on the breeding values of growth traits of the abalone *Haliotis discus hannai*. Korean J Fish Aquat Sci 53, 544-550. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0544>.
- Park JW, Park CJ, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Hwang IJ and Kim SY. 2012. The estimation of selection response for growth traits in 31-months old of pacific abalone *Haliotis discus hannai*. Korean J Malacol 28, 335-342. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.4.335>.

- Park JW, Park CJ, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Hwang IJ and Kim SY. 2013. Estimation of family variation and genetic parameter for growth traits of pacific abalone *Haliotis discus hannai* on the 3th generation of selection. Korean J Malacol 29, 325-334. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.4.325>.
- Refstie T. 1990. Application of breeding schemes. Aquaculture 85, 163-169. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90015-F](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90015-F).
- Su GS, Liljedahl LE and Gall GAE. 1996. Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 144, 71-80. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01306-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01306-3).
- Tian Y, Xu T, Liang Y and Chen S. 2011. Estimates of genetic and phenotypic parameters for weight and length in *Paralichthys olivaceus* (Temmink et Schlegel). Acta Oceanol Sin 30, 58-64. <https://doi.org/10.1007/s13131-011-0161-0>.
- Zheng H, Zhang G, Liu X and Guo X. 2006. Sustained response to selection in an introduced population of the hermaphroditic bay scallop *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819). Aquaculture 255, 579-585. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.037>.