

선발 5세대 북방전복 성장형질의 유전모수 및 선발효과 추정

김혜진¹, 양혜림², 박종원²

¹국립수산과학원 수산종자육종연구소, ²국립수산과학원 어류육종연구센터

Estimation of genetic parameter and breeding effect for growth traits of Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*

Hyejin Kim¹, Hye-Rim Yang² and Jong-Won Park²

¹Fisheries Seed and Breeding Research Institute, NIFS, Haenam 59002, Republic of Korea

²Fish Genetics and Breeding Research Center, NIFS, Geoje 53334, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was conducted for the purpose of estimating the genetic improvement and effects of selection on growth traits of Pacific Abalone, *Haliotis discus hannai*. For the analysis, 2,733 individuals of 5th generation of selective breeding produced in 2017, their pedigree data and phenotypic data of growth traits at the age of 30-months. Genetic parameter, heritability, and breeding value were estimated by the Best linear unbiased prediction (BLUP) method using REMLF90, with sex treated as a fixed effect. At the age 30-months after hatching, the overall means of shell length, shell width, and total weight were 88.3 mm, 57.8 mm and 79.4 g, respectively. and the coefficient of variation of weight was 22.6%, showing the greatest variation among the three growth traits. A high level of significance was recognized as a result of ANOVA of growth traits for sex ($P < 0.001$). The heritability of shell length, shell width, and total weight were 0.315, 0.339, and 0.304, respectively. The higher the selection intensity, the higher the expected genetic improvement and selection effect. However, in order to minimize inbreeding while maintaining the genetic diversity of the population, selection intensity should be appropriately considered.

Keywords: Pacific abalone, Breeding value, Genetic parameter, Growth trait

서 론

전복은 우리나라 전체 패류 생산액의 약 60% 이상을 차지하는 주요 양식 대표품종으로서 전라남도 지역을 중심으로 양식 생산되고 있다. 우리나라의 전복 양식에 관한 연구는 1960년대에 북방전복의 종묘생산 연구를 시작으로 증양식, 산란 유발, 수정률, 유생 발생 및 생존율 등에 관한 다양한 연구를 수행해 오면서 현재의 전복 종자 대량생산체제 기술을 확립하게

되었다 (NFRDI, 2008). 북방전복 (*Haliotis discus hannai*)은 한류성으로 생애 특성상 3-4년의 긴 양성 기간으로 세대간 격이 길어 상품크기까지 소요되는 시간과 생산비를 절감할 필요가 있다. 일반적으로 어패류와 같은 수산생물은 육상동물보다 후대에 생산되는 자손 수가 매우 많고 선발반응도 높으며, 성장형질에 대한 변동계수 또한 높아서 선발효과가 크다 (Gjedrem, 1997; Olesen *et al.*, 2003). 이에 유전적인 성장 개선을 위해 가장 일반적이고 효율적인 방법인 선발육종이 이용되고 있으며, 어패류의 주요 경제형질에 대한 통계학적 및 유전학적인 평가를 통해 선발의 효과를 예측하는 데 활용하고 있다 (Argue *et al.*, 2002; Gjerde *et al.*, 2004; Lucas *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2020). 선발에 따른 후대의 기대되는 유전적 개량량은 선발의 정확도, 선발강도 및 집단 내 존재하는 상가적 유전변이의 크기에 의해 결정된다. 또한 선발육종에 있어서 가장 중요한 목표는 유전적 개량량을 극대화시키는 것이며, 이를 위해서는 모집단과 선발되는 모체들의 평균의 편

Received: December 10, 2022; Revised: December 21, 2022;
Accepted: December 30, 2022

Corresponding author: Jong-Won Park

Tel: +82 (55) 639-5811, e-mail: dapowind@korea.kr
1225-3480/24830

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

차, 즉 선발차가 커야 하며, 체계적이고 과학적인 선발과 계획 교배가 필요하다 (Park *et al.*, 2012, Park *et al.*, 2020). 또한 성공적인 육종을 위해서는 먼저 유전적 다양성이 확보된 유효 집단이 만들어져야 하며, 친자확인을 통한 혈통자료를 이용하여 정확한 유전능력평가로 대상형질에 대한 유전모수 및 육종가를 추정하는 기술도 중요하다 (Su *et al.*, 1996; Park *et al.*, 2020). 성장형질에 대한 유전적 개량은 우선 육종가가 정확하게 추정되어야 하며, 이를 위해서는 먼저 모집단의 주요 경제형질에 대한 유전력 및 유전상관 등의 유전모수 추정이 필수적으로 선행되어야 한다 (Park *et al.*, 2020).

본 연구는 선발 5세대의 북방전복을 대상으로 집단의 유전모수, 유전력 및 육종가를 조사하고 후대 생산을 위한 모패의 선발강도에 따른 유전적 개량량과 선발의 효과를 추정하여 국내 전복 양식에 있어서 성장형질의 유전적인 개선과 생산성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험생물

본 연구에 이용된 생물은 2017년에 생산된 선발 5세대 북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 으로서, 부화 후 30개월째 성장형질인 각장, 각폭 및 중량에 대한 유전모수, 유전력, 육종가와 모패 선발 비율에 따른 선발의 효과 추정을 위해 친자확인이 완료된 206개 가계의 2,733 마리를 이용하였다.

2. 사육관리 및 형질 계측

본 연구에 이용된 선발 5세대 북방전복은 집단의 유전적 다양성 유지를 위해 microsatellite DNA 표지를 이용하여 개체 및 가계 간 유전적 유연관계 분석을 실시하고, 성숙도 및 유연관계를 고려한 교배지침에 의해 암수 1:1 교배로 생산되었다. 생산시기의 오차를 줄이기 위해 암수 모패를 동시에 채란, 채정한 후 인공수정을 하였다. 또한 수온, 사육밀도 등 환경요인의 영향을 최소화하기 위해 동일한 환경에서 사육하였다. 초기 부화유생의 먹이로는 규조류와 분말배합사료를 공급하였으며, 치패 단계부터는 생미역과 생다시마를 공급하였다. 부화 후 30개월째 디지털 버니아캘리퍼스와 전자저울을 이용하여 각장과 각폭은 0.01 mm 단위, 중량은 0.01 g 단위로 전 개체의 성장형질을 측정하였다. 유전모수 및 육종가 추정에 있어서 측정 자료의 이상치 제거를 위해 표준편차의 ± 3배의 자료는 분석에서 제외하였다.

3. 통계분석방법

1) 성의 효과

본 연구의 각 형질에 대한 성별 등분산성에 대한 t-검정을

실시한 결과 각 형질에 대한 분산이 같지 않다는 결과를 보여 각장, 각폭 및 중량에 대한 성의 효과를 추정하기 위해 SAS Package (Ver. 9.2) 의 GLM (General linear model) 으로 분산분석을 실시하였으며, 최소제곱평균치간의 유의성 검정을 위해 $H_0 : LSM(i) = LSM(j)$ 와 같은 귀무가설을 유의수준 5%로 Pairwise T 검정을 하였다. 여기서, $LSM(i(j))$ 는 $i(j)$ 번째 효과의 최소제곱평균치이다.

2) 유전모수 및 육종가

조사된 북방전복 집단의 각장, 각폭 및 중량에 대한 유전모수, 유전력 및 각 개체별 육종가를 추정하기 위해 성을 고정효과로 처리하였으며, EL-REML (Restricted maximum likelihood) algorithm을 전산 프로그램화한 REMLF90 (Miszta, 1990) 을 이용하여 최적선형불편예측법 (Best linear unbiased prediction : BLUP) 에 의해 다음과 같은 다형질 개체모형 (Multiple traits of animal model) 을 이용하였다.

$$y_{ijk} = \mu_i + SEX_{ij} + a_{ijk} + e_{ijk}$$

여기서, y_{ijk} 는 i 번째 형질에서 j 번째 성에 속하는 k 번째 개체에 대한 측정치, μ_i 는 i 번째 형질의 전체 평균, SEX_{ij} 는 i 번째 형질의 j 번째 성의 효과 ($j = 1, 2$), a_{ijk} 는 개체에 대한 임의 효과 $-N(0, G)$ 그리고 e_{ijk} 는 임의오차 $-N(0, R)$ 이다. G 는 형질들 사이의 상가적 유전-공분산, R 은 임의오차의 분산-공분산이며, 추정된 값이 지역 최대값 (Local maximum) 으로 수렴하는 것을 방지하기 위하여 최종적으로 구해진 추정치를 시작 값으로 하여 그 차이가 10⁻⁹ 이하로 되는 경우를 수렴 값으로 결정하였다. 구해진 분산-공분산 값을 이용하여 상가적 유전분산 (σ_a^2) 과 환경 분산 (σ_e^2) 에 의한 유전력 (h^2) 계산은 다음과 같이 구하였다 (Groeneveld and Kovac, 1990).

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

3) 상관계수 및 선발효과 추정

집단의 확률분포에 대한 정규성 검정 (Normality test) 을 위해 SAS Package (Ver. 9.2) 의 Univariate proceduer를 이용하였으며, 조사된 각 형질 간의 표현형 상관계수 (r_p), 및 유전 상관계수 (r_G) 는 아래와 같은 공식을 이용하였다.

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

Table 1. Overall means and standard deviations (STD) of shell length, shell width and total weight of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months

Item	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
N	2,733	2,733	2,733
means ± STD	88.3 ± 6.45	57.8 ± 4.34	79.4 ± 17.97
Maximum	110.7	73.3	148.9
Minimum	65.9	43.5	24.3
Kurtosis	0.13	0.14	0.29
Skewness	-0.13	-0.03	0.26
CV ¹⁾ (%)	7.31	7.49	22.6

¹⁾CV : Coefficient of variation ($CV = \frac{STD}{Mean} \times 100$)

Table 2. Source of the variation, degree of freedom (df), mean square and test of significance for growth traits

Source	df	Shell length	Shell width	Total weight
Sex	1	3620.9**	1370.9**	23489.0**
Error	2,731	40.3	18.3	314.5

** : P < 0.001

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

여기서, σ_p^2 와 σ_a^2 는 각각 표현형 분산 (Phenotypic variation) 과 상가적 유전분산 (Additive genotypic variation), $COV_{p(i,j)}$ 와 $COV_{a(i,j)}$ 는 두 형질 i 와 j 간의 표현형 공분산 (Phenotypic covariance) 과 유전 공분산 (Genotypic covariance) 이며, 선발차는 모집단의 평균-선발 집단의 평균, 선발강도는 선발차 ÷ 모집단의 표현형 표준편차 그리고 선발의 효과는 선발차 × 유전력 (h^2) 으로 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 전체평균 및 분산분석

본 연구에서 조사된 선발 5세대 북방전복의 부화 후 30개월 째에서 각장, 각폭 및 중량의 각 성장형질별 전체평균과 표준편차 등을 Table 1에 표시하였다. 전체평균의 경우 각장 88.3 mm, 각폭 57.8 mm 그리고 중량이 79.4 g으로 조사되었다. 각장의 최대값과 최소값은 각각 110.7 mm와 65.9 mm로 44.8 mm의 차이를 보였고, 각폭의 최대값과 최소값은 각각 73.3 mm와 43.5 mm로 29.8 mm의 차이를 보였으며, 중량의 경우 최대값과 최소값은 각각 148.9 g와 24.3 g로 124.6 g의 차이를 보였다. 자료분포의 뾰족한 정도를 나타내는 첨도와

비대칭 정도를 나타내는 왜도는 정규분포의 지표로 사용되는데 첨도의 절대값이 7미만이고, 왜도의 절대값이 3미만이면 정규분포에 부합하는 것으로 판단할 수 있다 (Park *et al.*, 2021). 각 형질에 대한 첨도와 왜도의 값을 살펴보면 자료의 정규성에 부합하는 것으로 조사되었다. 변동계수는 표준편차의 평균에 대한 비율로서 측정단위가 서로 다른 자료간의 변동성을 비교하는데 이용되며 (Park *et al.*, 2013), 본 연구에서 조사된 각 성장형질의 변동계수의 경우 각장과 각폭은 각각 7.31%와 7.49%로 비슷하였으며, 중량이 22.6%로 다른 두 형질보다 자료의 변동성이 가장 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 먹이, 수온 등 전복 육상양식장과 최대한 유사한 환경에서 사육하고 유전적 다양성이 확보된 집단을 유지하기 위해 철저한 계획교배에 따른 결과로 사료된다.

본 연구에서 조사된 선발 5세대 북방전복의 성장형질에 영향을 미치는 성에 대한 분산분석을 통해 유의성을 검정한 결과 각장, 각폭 및 중량의 모든 형질에 있어서 고도의 유의성 ($P < 0.001$) 이 인정되었다 (Table 2).

2. 성의 효과

Table 3에는 분산분석 결과를 이용한 각 형질의 최소제곱평균과 그 표준오차를 나타내었으며, 각 성장형질에 대한 성의 효과를 분석한 결과 각장의 경우 암컷이 89.1 mm, 수컷이 86.7 mm로 암컷이 2.4 mm 정도 길었으며, 각폭의 경우 암

Table 3. Least-square means and standard errors for growth traits of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months

Sex	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
Female	89.1 ^a ± 0.14	58.3 ^a ± 0.10	81.5 ^a ± 0.41
male	86.7 ^b ± 0.20	56.8 ^b ± 0.14	75.3 ^b ± 0.58

Means in the same column with different letter are statistically significant at 5% level of significance

Table 4. Genetic variance, covariance and heritability for growth traits of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months

Item	Shell length	Shell width	Total weight
Genetic variances	Shell length	12.07	26.54
	Shell width	5.877	18.11
	Total weight		70.11
Residual variances	Shell length	26.21	60.16
	Shell width	11.44	39.33
	Total weight		160.2
heritability	0.315	0.339	0.304

컷이 58.3 mm, 수컷은 56.8 mm로 암컷이 1.5 mm 정도 길었고, 중량이 경우 암컷이 81.5 g, 수컷이 75.3 g로 암컷이 수컷보다 6.2 g 정도 더 무겁게 나타나 모든 형질에 있어서 암컷이 수컷보다 유의적으로 높게 조사되었다 ($P < 0.05$). 이와 같이 북방전복의 암컷이 수컷보다 유의적으로 크게 나타난 결과는 Park *et al.* (2012) 이 보고한 부화 후 31개월 북방전복의 성장형질에 대한 선발반응 추정 연구 결과 및 Park *et al.* (2016) 의 부화 후 30개월째 북방전복의 성별에 따른 성장형질 및 유전모수 추정의 연구결과와 유사하였다. 또한 Park *et al.* (2020) 의 육종기 기반 북방전복 성장형질의 유전적 개량량 추정 연구의 결과와도 일치하여 북방전복의 암컷과 수컷은 생물학적으로 성별에 따른 성장 차이가 존재함을 알 수 있다.

3. 유전모수, 유전력 및 상관계수 추정

본 연구에서 조사된 부화 후 30개월째 북방전복의 성장형질에 대한 유전분산, 유전공분산, 잔차분산, 잔차공분산 및 유전력을 Table 4에 나타내었다. 유전분산의 경우 각장은 12.07, 각폭은 5.877 그리고 중량은 70.11로 조사되었으며, 잔차분산의 경우 각장이 26.21, 각폭이 11.44 그리고 중량이 160.2로 조사되었다. 각장과 중량 간의 유전공분산과 잔차공분산이 각각 26.54와 60.16으로 다른 형질 간의 공분산보다 높게 나타났는데 이는 각장과 중량이 다른 형질보다 유전적 그리고 환경적으로 더 밀접한 관계에 있음을 알 수 있다. 유전력의 범위는 0-1이며, 0.2 이하를 저도의 유전력, 0.2-0.4의 범위는 중도의

유전력 그리고 0.4 이상의 범위를 고도의 유전력이라고 하며, 유전력이 낮을 경우 가계선발을 하고 유전력이 높을 경우 개체선발을 하는 것이 선발효과가 더 좋다. 유전력이 낮은 형질에 있어서는 개체 간의 차이가 주로 환경요인에 의하여 나타나 개체의 표현형에만 근거하여 유전자형을 정확하게 추정하기 어렵기 때문이다 (Park *et al.*, 2020). 본 연구에서 추정된 유전력의 경우 각장은 0.315, 각폭은 0.339 그리고 중량이 0.304로 중도의 유전력을 보여 개체선발보다는 가계선발 또는 가계내 선발을 하는 것이 더 유리할 것으로 사료된다. 본 연구에서와 같이 전복의 성장형질에 대한 유전력 추정에 대한 국외 연구결과를 살펴보면 Lucas *et al.* (2006) 은 개체모형으로 전복의 성장형질에 대한 유전모수를 추정한 결과 각장, 각폭 및 중량의 유전력을 각각 0.48, 0.38 및 0.36으로 보고하였으며, Jonasson *et al.* (1999) 의 경우 18개월령 및 24개월령 양식산 붉은 전복에 대한 각장의 유전력이 각각 0.27과 0.34로 보고한 바 있다. 국내 연구결과인 경우 Choe *et al.* (2009) 은 9개월령 북방전복에 있어서 각장, 각폭 및 중량의 유전력이 각각 0.29, 0.29 및 0.31로 중도의 유전력을 나타내었다고 보고하였으며, Park *et al.* (2013) 은 선발 3세대 북방전복의 각장, 각폭 및 중량의 유전력은 0.370, 0.382 및 0.367로 보고하였다. Park *et al.* (2020) 은 선발 4세대 북방전복의 유전적 개량량 추정 연구에서 부화 후 30개월째 각장, 각폭 및 중량의 유전력을 각각 0.303, 0.354 및 0.324로 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다.

Table 5. Genetic and phenotypic correlations among growth traits of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months by sex

	Item	Shell length	Shell width	Total weight
Female	Shell length		0.907	0.928
	Shell width	0.912		0.920
	Total weight	0.921	0.906	
male	Shell length		0.915	0.938
	Shell width	0.928		0.929
	Total weight	0.940	0.928	

Upper diagonal : genetic correlation coefficient, bottom diagonal : phenotypic correlation coefficient

Table 6. Residual correlations among growth traits of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months by sex

Item	Shell length	Shell width	Total weight
Shell length		0.929	0.924
Shell width	0.946		0.918
Total weight	0.944	0.940	

Upper diagonal : residual correlation coefficient of female, bottom diagonal : residual correlation coefficient of male

Table 5에는 본 연구에서 조사된 부화 후 30개월째 북방전복의 성장형질인 각장, 각폭 및 중량 간에 표현형 및 유전적 상관계수를 나타내었다. 암수별 빈 대각을 기준으로 상단은 유전상관 계수이며, 하단은 표현형 상관계수고, 그 범위는 -1.1이다. 먼저 암컷의 경우 각장과 각폭 간의 유전상관 및 표현형 상관계수는 각각 0.907과 0.912, 각장과 중량 간의 유전상관 및 표현형 상관계수는 각각 0.928 및 0.921 그리고 각폭과 중량 간의 유전상관 및 표현형 상관계수는 각각 0.920 및 0.906으로 나타나 조사된 모든 성장형질은 높은 정의 상관관계를 보였다. 수컷의 경우 각장과 각폭 간의 유전상관 및 표현형 상관계수는 각각 0.915와 0.928, 각장과 중량 간의 유전상관 및 표현형 상관계수는 각각 0.938 및 0.940 그리고 각폭과 중량 간의 유전상관 및 표현형 상관계수는 각각 0.929 및 0.928로 나타나 수컷 역시 조사된 모든 성장형질이 높은 정의 상관관계를 보였다. 이와 같은 결과는 북방전복의 성장형질인 각장, 각폭 및 중량 중에서 한 형질만 개량하여도 다른 두 형질이 동시에 개량이 가능함을 시사하였다.

Table 6에는 본 연구에서 조사된 부화 후 30개월째 북방전복의 성장형질인 각장, 각폭 및 중량 간의 잔차 상관계수를 나타내었다. 잔차상관은 환경상관이라고도 하는데, 성장형질 간에 영향을 받는 환경효과 사이의 밀접한 관계를 나타내는 척도이다. 빈 대각을 기준으로 상단은 암컷 성장형질의 잔차 상관계수이며, 하단은 수컷 성장형질의 잔차 상관계수이다. 암컷의

잔차 상관계수의 경우 각장과 각폭 간은 0.929, 각장과 중량 간은 0.924 그리고 각폭과 중량 간은 0.918로 조사되었으며, 수컷의 잔차 상관계수의 경우 각장과 각폭 간은 0.946, 각장과 중량 간은 0.944 그리고 각폭과 중량 간은 0.940으로 조사되었는데, 암컷보다는 수컷이 다소 높았으며, 암수 모두 한 형질이 유리하거나 불리한 환경적인 영향을 받으면 다른 두 형질도 동시에 같은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 즉, 성장에 장애가 되는 환경적인 영향이 적거나 최적의 조건에서 사육한다면 세 형질 모두 동시에 유전적인 개량이 가능하다는 것을 알 수 있다.

4. 성장형질의 육종가 (breeding value) 추정

부화 후 30개월째 북방전복의 성장형질에 대한 가계별 육종가 평균을 Table 7에 표시하였다. 친자확인이 완료된 총 206개의 가계 내에서 중량 육종가 평균을 기준으로 상위 5개의 가계와 하위 5개의 가계를 표시하였다. 육종가는 다음 세대에 유전적으로 공여될 수 있는 유전효과, 즉 선발할 모페로서의 유전적 가치를 나타낸다. 육종가는 상대적이고 수학적 개념이며, 조사된 전체 육종가 평균보다 얼마나 높고 낮은지 파악하여 선발할 모페의 가치와 능력을 판단할 수 있다. 본 연구 결과에 의하면 17-0014번 가계의 각장, 각폭 및 중량의 육종가 평균이 각각 9.82 mm, 7.18 mm 및 26.93 g로 가장 높았고, 17-0254번 가계가 각각 -1.44 mm, -1.47 mm 및 -2.68 g로

Table 7. Breeding value for growth traits of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months by family

Family	Breeding value			Rank
	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)	
17-0014	9.82 ± 1.14	7.18 ± 0.85	26.93 ± 2.64	1
17-0015	9.78 ± 1.17	7.00 ± 0.90	25.31 ± 2.88	2
17-0059	7.58 ± 0.58	6.33 ± 1.07	21.87 ± 2.45	3
17-0028	7.17 ± 1.14	5.72 ± 0.83	21.25 ± 2.62	4
17-0021	8.42 ± 1.42	5.16 ± 0.96	21.12 ± 3.78	5
...
17-0207	0.95 ± 1.21	-0.62 ± 0.77	0.24 ± 2.79	202
17-0199	0.61 ± 1.17	-0.23 ± 0.69	-0.7.0 ± 2.88	203
17-0272	-0.06 ± 0.81	-0.27 ± 0.50	-1.16 ± 1.48	204
17-0441	0.14 ± 0.88	-0.39 ± 0.60	-1.8.0 ± 1.67	205
17-0254	-1.44 ± 0.74	-1.47 ± 0.32	-2.68 ± 1.88	206

가장 낮았으며, 가계별로 다양한 육종가의 변이를 보였고 개체 별로도 다양한 육종가 변이를 보였다 (Fig. 1 and Fig. 2). 성장형질과 같이 경제형질에 대한 유전모수, 유전력 그리고 육종가의 추정값은 시대, 대상, 집단, 사육관리 및 환경뿐만 아니라 분석을 위한 고정효과, 추정방법 등에 의해 매우 다양하게 나타나며, 이러한 결과들은 향후 육종계획을 수립하는데 중요한 기초자료로 활용된다.

5. 선발의 효과 추정

본 연구에서 조사된 북방전복의 부화 후 30개월제에서 중량 육종가 기준으로 암수 각각 상위 개체의 선발 비율에 따라 추정된 유전적 개량량과 선발의 효과를 Table 8에 나타내었다. 유전적 개량량은 모집단과 선발된 집단의 암수별 선발차와 집단의 유전력을 이용하여 추정할 수 있으며, 본 연구 결과에 의하면 중량의 육종가 기준 암수 각각 상위 5%를 선발할 때 각각의 유전적 개량량과 선발효과는 각각 2.67 mm 및 3.03%,

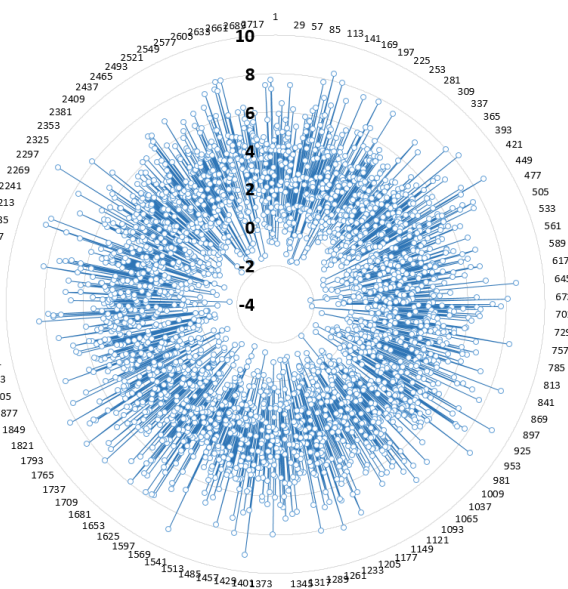


Table 8. Breeding effect and genetic improvement when selecting for breeding value of total weight of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 30-months

Traits	Selection rate	Differential ¹⁾		Intensity ²⁾		ΔG ³⁾	Breeding effect
		Female	Male	Female	Male		
Shell length (mm)	top 5%	8.83	8.09	1.39	1.64	2.67	3.03%
	top 10%	7.55	7.39	1.19	1.50	2.35	2.68%
	top 20%	6.35	6.19	1.00	1.26	1.98	2.25%
	top 30%	5.05	5.09	0.80	1.03	1.60	1.82%
Shell width (mm)	top 5%	6.36	5.76	1.51	1.70	2.05	3.56%
	top 10%	5.26	5.06	1.25	1.49	1.75	3.04%
	top 20%	4.46	4.46	1.06	1.31	1.51	2.62%
	top 30%	3.56	3.66	0.85	1.08	1.22	2.12%
Total weight (g)	top 5%	25.9	22.19	1.45	1.51	7.31	9.32%
	top 10%	23.2	21.19	1.30	1.44	6.75	8.60%
	top 20%	19.7	18.89	1.11	1.29	5.86	7.48%
	top 30%	15.6	15.09	0.88	1.03	4.66	5.95%

¹⁾ Differential : differential of selection, ²⁾ Intensity : intensity of selection, ³⁾ genetic improvement

각쪽은 각각 2.05 mm 및 3.56% 그리고 중량은 각각 7.31 g 및 9.32%로 추정되었다. 선발 비율을 상위 30%로 확대할 경우 각장의 유전적 개량량과 선발효과는 각각 1.60 mm 및 1.82%, 각쪽은 각각 1.22 mm 및 2.12% 그리고 중량은 각각 4.66 g 및 5.95%로 추정되어 선발 비율을 확대할수록 즉, 선발강도가 낮을수록 유전적 개량량과 선발에 따른 육종효과는 떨어지는 것으로 조사되었으며, 암수의 선발 강도가 다른 것은 모패로 선발되는 암컷과 수컷의 비율 차이 때문이다. 본 연구와 유사한 연구로 Lucas *et al.* (2006) 은 선발강도 5%에서 각장과 중량이 각각 25%와 56%의 개량 효과가 있다고 하였으며, Choe *et al.* (2009) 은 개체들의 육종가를 이용하여 선발효과를 예측한 결과 선발강도 5%에서 각장과 중량이 각각 12.7%와 34.3%, 선발강도 40%에서는 각각 8.6%와 24.9%의 개량 효과가 있을 것으로 보고한 바 있다. 또한, Park *et al.* (2020) 은 육종가 기반 북방전복 성장형질의 유전적 개량량 추정 연구에서 부화 후 30개월째 중량 육종가를 기준으로 상위 10%로 선발 할 때 각장이 2.86%, 각쪽은 3.47% 그리고 중량은 8.33%의 육종효과를 예측하였다. 이처럼 선발강도가 높을수록 기대되는 유전적 개량량과 선발효과도 높게 추정되는데 너무 높은 선발강도를 유지할 경우 세대가 거듭될수록 유전자 빈도가 변하게 될 뿐만 아니라 표현형 변이도 줄어들 수가 있다 (Falconer and Mackay, 1996). 따라서 이러한 현상을 사전에 방지하기 위해서는 개체가 속한 집단의 유전적 다양성을 유지하면서 근친화를 최소화해야 한다 (Park *et al.*, 2012;

Park *et al.*, 2020). 이와 같이 다음 세대에 기대되는 선발효과 즉 육종효과는 모집단으로부터 모패의 선발비율 또는 선발강도가 중요하므로 이를 적절히 고려하여 선발과 교배 등의 육종계획을 수립한다면 더욱 효율적이고 빠른 개량을 기대할 수 있을 것이다. 특히, 북방전복의 경우 성장이 느려 오랜 양생 기간이 필요하며, 이를 개선하기 위해서는 지속적인 선발 육종연구를 통해 집단 및 개체의 유전적인 능력을 정확하게 평가하고 이를 선발과 교배에 적절히 활용해야 할 것이다.

요 약

본 연구에서는 북방전복의 성장형질에 대한 유전적 개량량과 선발의 효과를 추정하기 위한 목적으로 2017년에 생산된 선발 5세대 북방전복 2,733 마리에 대한 30개월째 각장, 각쪽 및 중량의 표현형자료 및 혈통자료를 이용하였다. 유전모수, 유전력 및 육종가는 성을 고정효과로 처리하고, EM-REML algorithm을 전산 프로그램화한 REMLF90을 이용하여 최적 선형불편예측법에 의해 추정하였다. 부화 후 30개월째에서 각장, 각쪽 및 중량의 전체 평균은 각각 88.3 mm, 57.8 mm 및 79.4 g으로 조사되었으며, 중량의 변동계수가 22.6%로 나타나 세 형질 중 변이가 가장 크게 나타났다. 성에 대한 성장형질의 분산분석 결과 고도의 유의성이 인정되었다 ($P < 0.001$). 부화 후 30개월째 암컷의 성장이 수컷보다 유의적으로 높게 나타났다. 유전분산 및 공분산 분석 결과 각장과 중량이 각쪽

보다 유전적으로 더 밀접한 관계에 있는 것을 알 수 있었다. 각 장, 각폭 및 중량의 유전력은 각각 0.315, 0.339 및 0.304로 중도의 유전력으로 추정되어 개체선발보다는 가계선발이 더 유리할 것으로 사료된다. 각 성장형질 간에는 유전적으로 높은 정의 상관관계를 보였으며 한 형질만 개량하여도 다른 두 형질도 동시에 개량이 가능할 것이다. 육종가를 추정한 결과 가계 및 개체별로 다양한 변이를 보였다. 선발강도가 높을수록 기대되는 유전적 개량량과 선발효과도 높게 추정되었다. 그러나 집단의 유전적 다양성을 유지하면서 근친화를 최소화하기 위해서는 적절한 선발강도가 매우 중요하다. 특히, 북방전복의 경우 장성이 느려 오랜 양성 기간이 필요하며, 이를 개선하기 위해서는 지속적인 선발 육종연구를 통한 성장 향상이 요구된다.

사 사

이 연구는 2022년도 국립수산물품질관리원 수산시험연구소 양식생물 육종품종 개발 및 산업화 과제 (R2022001) 의 지원으로 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- Argue, B.J., Arce, S.M., Lotz, J.M. and Moss, S.M. (2002) Selective breeding of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to taura syndrome virus. *Aquaculture*, **204**: 447-460.
- Choe, M.K., Yang, S.G., Won, S.H., Park, C.J., Han, S.J., and Yeo, I.K. (2009) Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 9-month old of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using Multiple traits of animal model. *The Korean Journal Malacology*, **24**(2): 121-130.
- Flaconer, D.S. and Mackey, T.F.C. (1996) Introduction to quantitative genetics. Fourth Edition. pp. 464-480, Prentice hall Publishing. New York.
- Gjedrem, T. (1997) Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquaculture*, **28**: 33-45.
- Gjerde, B., Terjesen, B.F., Barr, Y., Lein, I., Thorland, I. (2004) Genetic variation for juvenile growth and survival in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, **236**: 167-177.
- Groeneveld, E. and Kovac, M. (1990) A note on multiple solutions in multivariate restricted maximum likelihood covariance component estimation. *Journal of Dairy Science*, **73**: 2221-2229.
- Jonasson, J., Stefansson, S.E., Gudnason, A. and Steinarsson, A. (1999) Genetic variation for survival and shell length of cultured red abalone (*Haliotis rufescens*) in Iceland. *Journal of Shellfish Research*, **18**(2): 621-625.
- Lucas, T., Macbeth, M., Degnan, S.M., Knibb, W. and Degnan, B.M. (2006) Heritability estimates for growth in the tropical abalone *Haliotis asinina* using microsatellites to assign parentage. *Aquaculture*, **259**: 146-152.
- Misztal, I. (1990) Restricted maximum likelihood estimation of variance components in animal model using sparse matrix inversion and a supercomputer. *Journal of Dairy Science*, **73**: 163-172.
- NFRDI (2008) National fisheries research and development institute. Standard manual of abalone culture, Busan, Korea.
- Olesen, I., Gjedrem, T., Bentsen, H.B., Gjerde, B. and Rye, M. (2003) Breeding programs for sustainable aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture*, **13**: 179-204.
- Park, C.J., Lee, J.H., Noh, J.K., Kim, H.C., Park, J.W., Hwang, I.J. and Kim, S.Y. (2012) Growth of Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*, using selection breeding techniques. *The Korean Journal Malacology*, **28**(4): 343-347.
- Park, J.W., Park, C.J., Lee, J.H., Noh, J.K., Kim, H.C., Hwang, I.J. and Kim, S.Y. (2013) Estimation of Growth Traits of Pacific Abalone *Haliotis discus hannai* on the 3th Generation of Selection. *The Korean Journal Malacology*, **29**(4): 325-334.
- Park, C.J., Park, J.W., Kim, B.R., Jeong, K.H., Kim, Y.J., Son, Y.S. and Kim, K.K. (2016) Estimation of genetic parameter and growth traits by sex of pacific abalone *Haliotis discus hannai*. *The Korean Journal Malacology*, **32**(4): 249-254.
- Park, J.W., Park, C.J., Lee, D.I., Jung, H.S., Kim, H.j., Kim, J.L. and Kim, W.J. (2020) Estimation of Genetic Improvement Based on the Breeding Values of Growth Traits of the Abalone *Haliotis discus hannai*. *Korean Journal Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**(4): 544-550.
- Park, J.W., Lee, D.I., Jung, H.S., Kim, J.L., Yang, H.R. and Lee, J.H. (2021) Estimation of Genetic Parameters and Improvements for Growth Traits of Selected Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*. *The Korean Journal Fish Aquat Sci.*, **54**(6): 974-981.
- SU, G.S., Liljedahl, L.E., Gall, G.A.E. (1996) Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **144**: 71-80.
- 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.