

선발 3세대 북방전복의 성장형질에 대한 가계변이 및 유전모수 추정

박종원, 박철지, 이정호, 노재구, 김현철, 황인준, 김성연

국립수산과학원 육종연구센터

Estimation of Family Variation and Genetic Parameter for Growth Traits of Pacific Abalone, *Haliotis discus hannai* on the 3th Generation of Selection

Jong-Won Park, Choul-Ji Park, Jeong-Ho Lee, Jae-Koo Noh, Hyun-Chul Kim, In-Joon Hwang and Sung-Yeon Kim

Genetics and Breeding Research Center, NFRDI, 89-1, GeojeNamseo-ro, Geoje 656-842, Korea

ABSTRACT

The purpose of this paper is to compare and analyze family variations for growth-related traits of Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. Genetic parameters and breeding values were estimated using all measurement data like shell length, shell width, and total weight as 18-month-old growth traits of 5,334 individuals of selected third generation's Pacific abalone produced in 2011. Family variations of 865 individuals of the upper 10 families with the largest number were inspected. Overall mean in phenotypic traits of 18-month-old Pacific abalone which was investigated in this study showed 54.5 mm of shell length, 36.8 mm of shell width and 21.3 g of total weight respectively. And, variation coefficient of total weight was 51.0%, so variability of data was shown to be higher than 21.1% of shell length and 20.7% of shell width. The family effects showed significant difference by each family ($p < 0.05$), and heritability of shell length, shell width, and total weight was medium with 0.370, 0.382, and 0.367 respectively. So it is considered that family selection is more advantageous than individual selection. On the basis of breeding values of estimated shell length and total weight, to investigate distribution and ranking by each individual about the upper 10 families with the largest number of individuals, the values were used by being changed into standardized breeding values. Based on shell length, it was investigated that the individual number of the upper 5.4% is 152 and the number of the lower 5.4% is 8. In case of total weight, it was inspected that the individual number of the upper 5.4% is 164 and the number of the lower 5.4% is 1. Like these, phenotypic and genetic diverse variations between families could be checked. By estimating genetic parameters and breeding values of a population for production of the next generation, if they are used properly in selection and mating, it is considered that more breeding effects can be expected.

Key words : Pacific abalone, Breeding value, Genetic parameter, Growth trait

서 론

Received: November 25, 2013; Revised: December 17, 2013;
Accepted: December 19, 2013

Corresponding author : Sung-Yeon Kim

Tel: +82 (55) 639-5800 e-mail: ssykim@korea.kr
1225-3480/24502

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.

우리나라에서 전복 양식에 관한 연구는 1964년 국립수산과학원 (구, 국립수산진흥원) 의 한국산 전복 증식에 관한 생태학적 분야에서 북방전복의 종묘생산에 관한 연구, 1970년 전복 증식에 관한 연구, 1971년에 여수 근해산 북방전복의 춘계 채묘시험을 실시하여 산란유발자극, 수정률, 유생발생, 부착재료 및 치패의 생존율 등에 관한 연구를 수행하여 전복 종묘의 대량생산체제 기술을 확립하였다 (NFRDI, 2008). 그러나 전복

은 성장속도가 더디고 출하상품이 되기까지 장시간을 필요로 할 뿐만 아니라 여름철 고수온에 의한 폐사 등의 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 또한 생산 단가를 절감하고 효율적인 양식을 위한 사료와 최적의 사육환경 등은 성장률 향상에 있어 매우 중요한 요인이다.

이에 전복 양식 산업에 있어 성장률 향상을 위한 다양한 육종연구가 국내외적으로 수행되고 있으며 (Hara and Kikuchi, 1992; Vinna, 2002; Park *et al.*, 2012), 특히 선발육종의 방법은 양식생물의 생산성 향상을 위한 가장 효과적인 방법으로서 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다 (Gjedrem, 1983, 1997, 2000; Argue *et al.*, 2002; Gjerde *et al.*, 2004; Lucas *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2006). 일반적으로 전복을 포함한 패류 등은 후대 자손수가 많아 육상동물보다 선발육종의 효과가 크다고 보고되고 있다 (Olesen *et al.*, 2003). 선발육종의 주목적은 유용한 유전적 형질 개량을 극대화하는 것이며, 유전적인 능력을 향상시키기 위해서는 선발과 교배 등의 체계적인 계획이 필요하다. 또한 양적형질과 질적형질 모두 유전과 환경요인이 동시에 작용하므로 유전적 요인과 더불어 사육수온 및 밀도 등의 환경요인에 대한 영향도 함께 고려해야 한다. 국내에서도 수산생물의 양적형질에 있어서 유전능력평가를 통한 선발육종에 관한 연구가 진행되어 왔으며 (Choe *et al.*, 2007; Yang, 2007; Choe *et al.*, 2009, Kim *et al.*, 2011), 생물의 혈통 및 성장형질에 대한 계측자료를 이용하여 추정된 유전모수와 육종가는 가계 또는 개체 간의 비교를 통해 어떤 개체를 선발하고 도태할 것인가를 결정하는데 이용된다. 이러한 유전능력에 따른 선발과 도태를 통한 선발육종은 세대를 거듭할수록 수산생물이 지니는 고유의 능력을 증가시켜 실질적인 생산성 향상과 경제적 이익을 동시에 도모할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 북방전복의 성장관련 형질의 계측자료를 이용하여 표현형 분석과 더불어 추정된 유전모수와 육종가를 토대로 가계간의 변이를 살펴보고, 국내 전복양식의 생산성 향상 및 성장형질의 능력 개량을 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에 이용된 재료는 2011년에 생산된 선발 3세대 북방전복으로서, 18개월령 성장형질인 각장, 각폭 및 중량에 대한 유전모수와 각 개체별 육종가 추정을 위해 친자확인 된 전체 5,334마리를 이용하였고, 그 중 가계별 개체 수가 많은 상위 10가계의 865마리를 성장형질에 대한 가계변이 분석에 이용하였다.

2. 사육관리 및 형질 계측

본 연구에 이용된 북방전복은 집단의 유전적 다양성 유지를 위해 microsatellite DNA 마커를 이용하여 가계 간 유전적 유연관계 분석을 실시하고, 이를 바탕으로 한 교배지침에 의해 암:수 1:1 교배로 생산되었으며, 생산시기에 따른 생산일령의 오차를 줄이기 위해 어미의 동시 산란 및 수정을 하였고, 환경 요인에 대한 영향을 최소화하기 위해 동일한 수조환경에서 사육하였다. 채묘 후 18개월령에서 측정 시 정확하고 세밀한 계측형질 측정을 위해 고정밀 디지털 버니어캘리퍼스 및 전자저울을 이용하여 각장과 각폭은 0.01 mm 단위, 중량은 0.01 g 단위로 각 개체별로 측정하였다. 유전모수 및 육종가 추정에 있어서 측정 자료의 이상치 제거를 위해 표준편차의 ± 3 배의 자료는 분석에서 제외하였다.

3. 통계분석방법

1) 가계의 효과

본 연구의 각 형질에 대한 가계별 등분산성에 대한 t-검정을 실시한 결과 각 형질에 대한 분산이 같지 않다는 결과를 보여 각장, 각폭 및 중량에 대한 가계의 효과를 추정하기 위해 SAS Package (Ver. 9.2) 의 GLM (General linear model) 으로 분산분석을 실시하였으며, 최소자승평균치간의 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 최소자승평균치이다.

2) 유전모수 및 육종가

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

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

여기서, y_{ijk} 는 i 번째 형질에서 j 번째 생산시기에 속하는 k 번째 개체에 대한 측정치, μ_i 는 i 번째 형질의 전체 평균, BY_{ij} 는 i 번째 형질의 j 번째 생산시기의 효과 ($j = 1, 2$), a_{ijk} 는 개체에 대한 임의효과 $-N(0, G)$ 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

Table 1. Overall means and standard deviations (STD) of phenotypic value for shell length, shell width and total weight in pacific abalone

Item	Phenotypic value		
	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
means ± STD	54.5 ± 11.4	36.8 ± 7.6	21.3 ± 10.9
Maximum	77.9	53.9	57.5
Minimum	19.8	15.9	1.2
CV ¹⁾ (%)	21.1	20.7	51.0

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

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 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.

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

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

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) 이다.

결 과

1. 일반능력 및 성장형질의 관계

본 연구에서 조사된 선발 3세대 북방전복의 18개월령 성장형질에 대한 표현형의 전체평균과 표준편차 그리고 변이계수

를 조사한 결과 각장, 각폭 및 중량의 전체평균은 각각 54.5 mm, 36.8 mm 및 21.3 g로 나타났고, 각 형질의 최대값과 최소값의 경우 각장은 각각 77.9 mm, 19.8 mm, 각폭은 53.9 mm와 15.9 mm 그리고 중량은 57.5 g과 1.2 g로 나타났다 (Table 1). 변이계수는 표준편차의 평균치에 대한 비율로서 측정단위가 다른 자료들의 변동성을 비교하는데 이용되며, 그 수치가 작을수록 평균치에 가깝게 분포하고 있다는 것을 의미한다. 표현형에 있어서 각장, 각폭 및 중량의 변이계수가 각각 21.1%, 20.7% 및 51.0%로 나타나 중량이 다른 두 형질에 비해 자료의 변동성이 가장 크게 나타났다.

개체수가 많은 상위 10가계를 대상으로 각장, 각폭 및 중량의 관계를 산점도로 표시한 결과 각장과 중량의 상관관계식은 $TW = 0.0002SL^{2.8796}$ ($R^2 = 0.9864$) 과 같이 지수곡선식으로 추정되었고, 각장과 각폭의 상관관계식은 $SW = 0.6585SL + 0.9836$ ($R^2 = 0.9787$) 으로 1차 방정식 (Linear equation) 으로 추정되었다 (Fig. 1A, B).

2. 성장형질에 대한 가계효과

선발 3세대 북방전복의 18개월령 성장형질에 미치는 가계효과를 분석하기 위하여 가계효과를 고정효과 (Fixed effect) 로 처리하고 분산분석을 실시 한 결과 각장, 각폭 및 중량의 모든 형질에서 고도의 유의성 ($p < 0.01$) 이 인정되었다 (Table 2). 가계간의 평균간 유의성 검정을 위해 각장, 각폭 및 중량의 표현형에 있어서 각 성장형질에 대한 가계별 최소자승평균과 그 표준오차를 조사한 결과 가계간의 유의적인 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 특히, 각장과 각폭의 경우 C 가계가 각각 63.2 mm 와 42.6 mm로 가장 높게 나타났고, G 가계가 각각 45.0 mm 와 30.5 mm로 가장 낮게 나타났으며, C 와 G 가계의 각장과 각폭이 각각 18.2 mm와 12.1 mm의 성장차이를 보였다. 중량의 경우는 C 가계가 30.3 g로 가장 높게 나타났고, G 가계가 13.2 g로 가장 낮게 나타났다. 특히, C 가계의 경우 세 형질 모두 다른 가계에 비해 유의적으로 가장 높게 나타나 개체

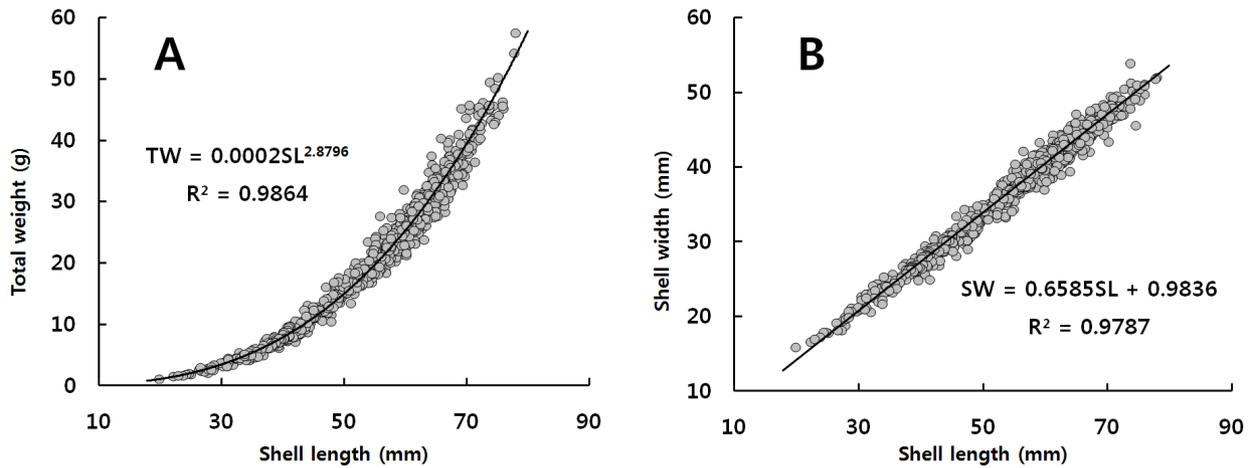


Fig. 1. Relationship between each traits of phenotypic value. A: Shell length and Total width. B: Shell length and Shell width.

수가 많은 상위 10가계 중에서 표현형적으로 가장 우수한 가계로 조사되었다. 반면, F 가계와 G 가계의 경우 각장, 각폭 및 중량의 세 형질 모두가 다른 가계에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타나 가장 불량한 가계로 조사되었다 (Table 3).

3. 유전모수 및 육종가 추정

표현형은 유전과 환경의 공동 작용에 의해 나타나는데 형질에 따라 유전의 영향을 많이 받는 형질이 있는 반면에 유전의 영향을 적게 받는 형질이 있으며, 이 형질들의 변이를 일으키는데 있어서 유전과 환경의 상대적인 중요성을 유전력으로 나

Table 2. Source of the variation, degree of freedom (df), mean square and test of significance for shell length (SL), shell width (SW) and total weight (TW)

Source	df	Phenotypic value			Breeding value		
		SL	SW	TW	SL	SW	TW
Family	9	2773.4**	1266.5**	2651.4**	2512.4**	1142.2**	2291.8**
Error	855	103.9	45.6	92.4	5.6	2.5	5.2

** : P < 0.01

Table 3. Least-square means and standard errors of phenotypic value for shell length, shell width and total width by family in pacific abalone

Family	Phenotypic value		
	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
A	59.0 ^b ± 1.04	39.7 ^{bc} ± 0.69	26.4 ^b ± 0.98
B	52.5 ^c ± 0.96	35.7 ^e ± 0.64	18.4 ^c ± 0.91
C	63.2 ^a ± 1.04	42.6 ^a ± 0.69	30.3 ^a ± 0.98
D	53.8 ^c ± 1.09	36.5 ^{de} ± 0.72	20.0 ^c ± 1.03
E	60.3 ^{ab} ± 1.07	41.0 ^{ab} ± 0.71	27.3 ^b ± 1.01
F	46.9 ^d ± 1.05	31.6 ^f ± 0.69	14.7 ^d ± 0.99
G	45.0 ^d ± 1.24	30.5 ^f ± 0.82	13.2 ^d ± 1.17
H	55.1 ^c ± 1.25	38.1 ^{cd} ± 0.83	21.1 ^c ± 1.18
I	52.7 ^c ± 1.13	35.0 ^e ± 0.75	18.9 ^c ± 1.06
J	53.4 ^c ± 1.22	36.3 ^{de} ± 0.81	21.2 ^c ± 1.15

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

Table 4. Heritability (h^2), additive genetic variance (σ_a^2) and environmental variance (σ_e^2) of shell length, shell width and total weight in pacific abalone

Item	Shell length	Shell width	Total weight
σ_a^2	42.6	19.2	37.1
σ_e^2	72.6	31.0	63.9
h^2	0.370	0.382	0.367

Table 5. Phenotypic and genetic correlations among shell length, shell width and total weight in pacific abalone

Traits	Shell length	Shell width	Total weight
Shell length	-	0.989	0.968
Shell width	0.996	-	0.965
Total weight	0.990	0.984	-

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

Table 6. Overall means and standard deviations (STD) of breeding value for shell length, shell width and total weight in pacific abalone

Item	Breeding value		
	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
means \pm STD	0.77 \pm 4.96	0.52 \pm 3.32	0.80 \pm 4.73
Maximum	14.5	9.4	14.7
Minimum	-16.1	-10.5	-14.1
CV ¹⁾ (%)	644.1	635.2	587.2

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

타낼 수 있다. 본 연구에서 조사된 선발 3세대 북방전복의 18개월령 성장형질에 대한 유전분산, 환경분산 및 유전력을 조사한 결과 각장, 각폭 및 중량의 유전력이 각각 0.370, 0.382 및 0.367로 중도의 유전력을 보여 개체선발 보다는 가계선발을 이용하는 것이 효과가 좋을 것으로 사료된다 (Table 4). 또한, 각 형질간의 표현형 상관계수 및 유전 상관계수의 범위가 각각 0.965-0.989과 0.990-0.996의 범위로 매우 강한 정의 상관관계를 나타내어 한 형질의 개량만으로도 다른 형질의 개량효과를 동시에 기대할 수 있을 것으로 사료 된다 (Table 5).

본 연구에서 조사된 선발 3세대 북방전복의 유전모수를 이용하여 18개월령 성장형질에 대한 각 개체별 육종가를 추정할 결과 각장, 각폭 및 중량에 대한 육종가의 전체평균은 각각 0.77 mm, 0.52 mm 및 0.80 g로 나타났고, 각 형질의 최대값과 최소값의 경우 각장은 각각 14.5 mm와 -16.1 mm, 각폭의 경우 각각 9.4 mm와 -10.5 mm 그리고 중량은 각각 14.7 g과 -14.1 g로 조사되었다. 또한, 각 형질에 대한 육종가의 변이계수는 587.2%-644.1%의 범위로 세 형질 모두 육종가의 변동성이 매우 크게 나타나 평균치에서 멀리 분포하고 있는 것으로 조사되었다 (Table 6). 본 연구에서 추정된 각 개체별 육

종가를 토대로 개체수가 많은 상위 10가계의 평균간 비교를 위해 각 개체별 육종가의 최소자승평균치와 그 표준오차를 조사한 결과 가계 간 유의적인 차이를 보였다 ($p < 0.05$). C 가계의 각장, 각폭 및 중량에 대한 육종가의 평균이 각각 9.45 mm, 6.08 mm 및 9.33 g로 다른 가계에 비해 유의적으로 가장 높았고, G 가계의 경우 각각 -8.33 mm, -5.72 mm 및 -7.22 g로 가장 낮게 나타나 C 가계가 다른 가계에 비해 유전적으로 우수한 가계로 조사되었다. Table 3에서와 같이 표현형은 물론 유전적으로도 가장 우수한 가계는 C 가계이며, 반대로 가장 불량한 가계는 G 가계로 조사되었다 (Table 7). 육종가는 상대적인 값일 뿐 절대적인 값이 아니며, 측정단위가 서로 다른 형질의 능력 비교를 위해 평균을 0으로 하고 편차가 ± 1 이 되는 표준화육종가를 구하여 집단 내 개체별 순위를 정하기도 하며, 이러한 표준화육종가는 개량 대상형질에 가중치를 부여하기 위해 선발지수 등에도 이용된다. 본 연구에서는 개체수가 많은 상위 10가계의 865마리를 대상으로 각장과 중량의 육종가에 따른 개체별 빈도와 순위를 조사하기 위해 이들 형질의 육종가를 표준화하여 분석에 이용하였다 (Fig. 2 and Fig. 3). 각장의 표준화육종가를 기준으로 했을 때 상위 5.4%의 개

Table 7. Least-square means and standard errors of breeding value for shell length, shell width and total width in pacific abalone

Family	Breeding value		
	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
A	4.04 ^c ± 0.24	2.31 ^c ± 0.16	4.17 ^c ± 0.23
B	-1.08 ^f ± 0.22	-0.72 ^f ± 0.15	-1.91 ^f ± 0.22
C	9.45 ^a ± 0.24	6.08 ^a ± 0.16	9.33 ^a ± 0.23
D	0.30 ^e ± 0.25	0.16 ^e ± 0.17	-0.20 ^e ± 0.24
E	6.57 ^b ± 0.24	4.43 ^b ± 0.16	6.50 ^b ± 0.23
F	-6.36 ^g ± 0.24	-4.47 ^h ± 0.16	-5.52 ^g ± 0.23
G	-8.33 ^h ± 0.28	-5.72 ⁱ ± 0.19	-7.22 ^h ± 0.27
H	1.50 ^d ± 0.29	1.54 ^d ± 0.20	0.71 ^d ± 0.28
I	-1.00 ^f ± 0.26	-1.39 ^g ± 0.17	-1.50 ^f ± 0.25
J	-0.15 ^e ± 0.28	-0.17 ^e ± 0.19	0.56 ^d ± 0.27

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

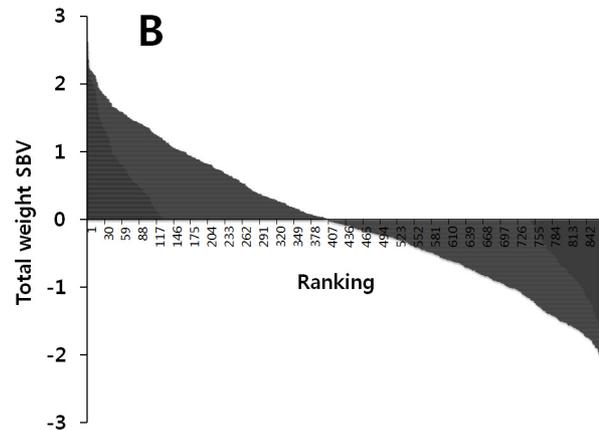
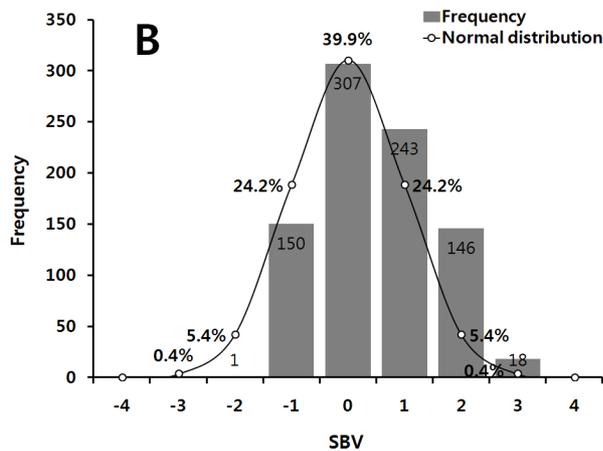
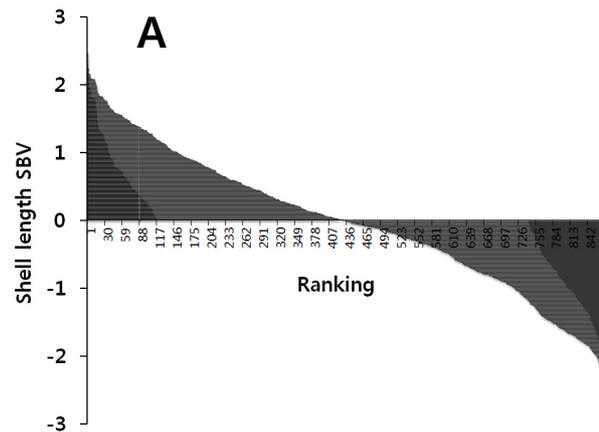
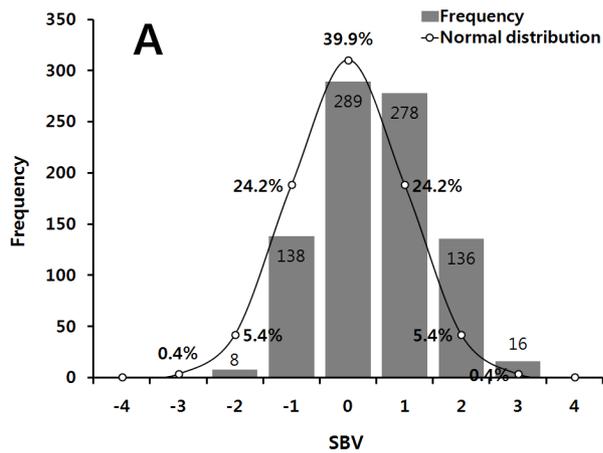


Fig. 2. Frequency and normal distribution by standardized breeding value (SBV). **A:** Shell length, **B:** Total weight.

Fig. 3. Ranking by standardized breeding value (SBV). **A:** Shell length. **B:** Total weight.

체 수는 총 152마리로 조사되었고, 반대로 하위 5.4%의 개체 수는 총 8 마리로 조사되었다 (Fig. 2A). 또한 중량의 표준화 육중가를 기준으로 했을 때 상위 5.4%의 개체 수는 총 164마리로 조사되었고, 하위 5.4%의 개체 수는 총 1마리로 조사되었다 (Fig. 2B). 본 연구에서 구해진 표준화육중가를 이용하여 전체 10가계의 각 개체별 순위를 조사한 결과 각장과 중량의 두 형질 모두 각 개체순위의 경향이 유사하게 나타났다 (Fig. 3A, B).

고 찰

우리나라 수산업은 2000년대에 들어 세계화 및 개방화되면서 수입 수산물의 증가로 국내 수산물 가격이 하락하고 국제경쟁력이 위축되고 있다. 이러한 국제적인 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 새로운 수산 기술이 절실히 요구되고 있는 바, 국립수산물과학원 육종연구센터에서는 2004년부터 양식경쟁력 강화와 전복 육종에 의한 우수한 품종 개발을 목적으로 양적유전학적 기법에 의한 선발육종과 유전자표지를 이용한 분자육종기술을 접목하여 근친방지 및 육종효율향상을 위한 전복육종프로그램 개발 사업을 시작하였다. 육종이 성공적으로 수행되기 위해서는 무엇보다도 먼저 유전적 다양성을 가진 변이가 큰 집단 선택이 우선이 되어야 하며, 친자확인기술과 더불어 정확한 유전능력평가를 통해 육종 대상형질에 대한 유전모수 및 육중가를 추정하여 선발과 교배에 이용하는 기술 또한 중요하다 (Su *et al.*, 1996).

선발육종에 의한 전복의 유전적 개량은 육중가의 정확도에 따라 좌우되며, 보다 정확한 육중가를 추정하기 위해서는 전복의 주요 경제형질에 대한 유전력과 유전상관 등의 유전모수가 바탕이 되어야 한다. 분산과 공분산의 추정은 육종에 있어서 선발지수식을 설정하고, 유전력, 유전 및 표현형 상관의 추정, 육종계획의 수립 그리고 양적형질에 대한 유전적 기작의 설명 등에 널리 이용되어 진다. 이와 같이 분산 및 공분산 분석법은 지난 수십 년간 유전 및 환경분산과 이들의 공분산을 추정하는 표준 방법이 되어왔다. 또한, 육중가 추정을 위해 일반적으로 많이 이용되는 방법에는 선발지수법 (Selection index), 최소제곱법 (Least-square method) 및 최적선형불편예측법 등이 있다. 특히, 최적선형불편예측법은 육중가 추정 시 필요한 가정을 만족시키는데 가장 탄력적이며, 유전적 이론이나 환경적인 조건을 만족시키는데 가장 유리한 방법으로 알려져 있다 (Henderson, 1974).

지금까지 전복의 육종연구에 관한 많은 보고가 있으며, 그 중에서 Hara and Kikuchi (1992) 는 북방전복의 선발육종 3세대에서 각장의 경우 63%의 개량을 나타내었다고 보고하였으며, Lucas *et al.* (2006) 은 열대전복 (*Tropical abalone, Haliotis asinina*) 에 대하여 개체모형 (Animal model) 에

의한 선발강도 5%에서 세대당 25%의 유전적 개량의 효과를 보고한 바 있다. 개체모형이라고 불리는 이 방법은 최초의 용어 사용이 어디에서 기인하였는지는 불분명하지만, 아마도 Quaas and Pollack (1980) 의 축소개체모형의 보고에서 기인한 것으로 알려져 있다. Henderson (1986) 은 개체모형의 장점으로 선발이나 계획교배에 의한 편의를 피할 수 있으며, 이용할 수 있는 자료의 수를 증가시켜 육중가 추정의 정확도를 향상시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

이에 본 연구는 북방전복의 성장형질인 각장, 각폭 및 중량의 계측자료를 이용하여 유전분산, 환경분산 그리고 유전력 등의 유전모수와 이를 통해 추정된 각 개체별 육중가를 바탕으로 가계의 성장형질에 대한 변이를 조사하여 국내 전복양식의 생산성 및 성장형질의 능력향상을 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다. 본 연구에서는 선발 3세대 북방전복의 18개월령 성장형질 계측자료와 혈통을 이용하여 유전모수와 육중가를 추정하였고, 그 중 개체수가 많은 상위 10가계의 자료를 가계변이 분석에 이용하였다. 그 결과 18개월령에서의 각장, 각폭 및 중량에 대한 표현형의 전체평균은 각각 54.5 mm, 36.8 mm 및 21.3 g로 나타났으며, 자료의 변동성에 있어서 중량이 각장 및 각폭에 비해 가장 크게 나타났다. 이 결과는 최적의 사육조건이나 환경에서의 성장과는 조금 차이가 있을 수 있으나 본 연구에 이용된 선발 3세대 북방전복은 양식현장과 최대한 유사한 환경에서 사육되었으며, 집단의 유전적 다양성 유지를 위한 선발육종의 계획교배에 의한 결과로 사료된다.

본 연구에서 조사된 성장형질 간의 관계에서 각장과 중량의 관계를 산점도로 나타낸 결과 상관관계식이 $TW = 0.0002SL^{2.8796}$ ($R^2 = 0.9864$) 의 지수곡선식으로 추정되었으며, Yang (2007) 은 21개월령에 있어서 교배조합별 북방전복의 각장과 중량의 관계를 산점도와 지수곡선식으로 추정한 결과 자연산 × 자연산은 $TW = 0.00011SL^{3.0268}$ ($R^2 = 0.9786$), 자연산 × 양식산은 $TW = 0.00014SL^{2.9656}$ ($R^2 = 0.9656$), 양식산 × 자연산은 $TW = 0.00008SL^{3.1033}$ ($R^2 = 0.9801$) 그리고 양식산 × 양식산은 $TW = 0.00009SL^{3.0710}$ ($R^2 = 0.9750$) 로 보고한 바 있다. 조사된 성장형질의 표현형에 대한 가계별 비교분석을 위해 본 연구에서 설정한 선형모형을 이용한 결과 C 가계의 경우 각장, 각폭 및 중량이 각각 63.2 mm, 42.6 mm 및 30.3 g로 가장 높았고, G 가계의 경우 각각 45.0 mm, 30.5 mm 및 13.2 g로 가장 낮게 나타나 동일한 사육조건에서도 각 가계별로 유의적인 차이를 보여 환경에 의한 영향보다는 유전적인 영향이 더 크게 작용한 것으로 사료된다.

선발육종의 실질적인 목적은 경제형질의 유전적 개량이며, 이 경제형질은 보통 양적형질로서 다양한 유전적 요인과 환경적인 요인에 의해 서로 다른 표현형으로 발현된다 (Yang, 2007). 따라서 그 집단의 육종 대상형질의 유전적 요인이 어느

정도인지를 파악함으로써 선발을 하고 계획적인 교배를 통해 다음 세대의 실질적인 유전적 개량량을 예측할 수 있다. 일반적으로 유전력의 범위는 0에서부터 1까지이며, 이것을 %로 표시하면 0에서부터 100%까지가 되며, 0.2 이하를 저도의 유전력, 0.2-0.4의 범위는 중도의 유전력 그리고 0.4 이상의 범위를 고도의 유전력이라고 하는데, 보통 유전력이 낮은 경우 가계선발을, 유전력이 높을 경우 개체선발을 하는 것이 유리하다 (Park *et al.*, 1999). 유전력이 낮은 형질에 있어서는 개체간의 차이가 주로 환경적인 원인에 의하여 나타나므로 개체의 표현형에만 근거하여 그 개체의 유전자형을 정확하게 추정하기 어렵다. 이에 본 연구에서 조사된 선발 3세대 북방전복의 18개월령 성장형질에 대한 유전력을 추정한 결과 각장, 각폭 및 중량이 각각 0.370, 0.382 및 0.367로 중도의 유전력을 보여 개체선발보다는 가계선발이 유리할 것으로 사료된다. 이와 유사한 결과로 Choe *et al.* (2009) 는 9개월령 북방전복에 있어서 각장, 각폭 및 중량의 유전력이 각각 0.29, 0.29 및 0.31로 중도의 유전력을 나타내었다고 보고하였고, Lucas *et al.* (2006) 은 microsatellite에 의한 친자확인법을 이용하여 개체모형으로 유전모수를 추정한 결과 각장, 각폭 및 중량의 유전력이 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 보고하였다. 또한, 본 연구에서 조사된 성장형질간의 표현형 및 유전 상관계수를 추정한 결과 각각 0.965-0.989 및 0.990-0.996으로 매우 높은 정도의 상관관계를 보여 한 형질의 개량만으로도 다른 형질의 개량효과를 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

각 성장형질에 대한 가계별 유전적 변이를 바탕으로 최적 선형불편예측법에 의해 다형질 개체모형을 이용하여 각 개체별로 육종가를 추정한 결과 각장, 각폭 및 중량에 대한 육종가의 전체평균은 각각 0.77 mm, 0.52 mm 및 0.80 g로 나타났고, 각장, 각폭 및 중량이 각각 -16.1-14.5 mm, -10.5-9.4 mm 및 -14.1-14.7 g의 변이가 있는 것으로 나타났으며, 또한 가계효과에 있어서 표현형과 육종가의 평균은 가계간의 유의적인 차이를 보였으며, 표현형이 높은 가계가 육종가도 높게 나타나 유전적으로 우수한 가계가 있는 반면, 표현형과 육종가가 모두 불량한 가계도 나타났는데, 이는 선발시 표현형과 육종가를 동시에 고려하여 이들의 상관관계가 높은 가계와 어미를 선발해야함을 시사한다. 육종가 추정에 관한 유사한 연구로서 Yang (2007) 은 북방전복의 월령별 각 성장형질에 대한 육종가를 추정하였는데, 특히 21개월령에서 각장은 -18.2-18.3 mm, 각폭은 -11.9-12.3 mm 그리고 중량은 -31.9-35.8 g로 나타나 본 연구의 결과와 같이 다양한 변이를 보였다고 보고한 바 있다.

본 연구에서 추정된 각장, 각폭 및 중량의 육종가를 토대로

개체수가 많은 상위 10가계에 대한 개체별 빈도와 순위를 조사하기 위해 육종가를 표준화하였으며, 그 결과 각장을 기준으로 상위 5.4%의 개체 수는 총 152마리로 나타났고, 하위 5.4%의 경우 총 8마리로 조사되었다. 그리고 중량을 기준으로 했을 경우 상위 5.4%의 개체 수는 총 164마리, 하위 5.4%의 개체 수는 총 1마리로 나타났다. 또한, 표준화육종가를 이용하여 각장 및 중량을 기준으로 각 개체별로 순위를 조사한 결과 각장과 중량에 있어서 각 개체순위의 경향이 유사하게 나타났다. 이처럼 표준화육종가는 개체 또는 가계 간의 형질을 서로 비교하여 순위를 정하는 데 유용하며, 개량방향에 따른 선발지수식의 설정 시 대상형질에 가중치를 부여할 때 이용함으로써 원하는 육종효과를 더 빠르게 달성 할 수 있을 것으로 사료된다.

이상의 결과에 따라 본 연구에서 조사된 선발 3세대 북방전복의 18개월령 성장형질인 각장, 각폭 및 중량에 대한 표현형 계측자료와 혈통을 바탕으로 유전모수와 육종가를 추정한 결과 가계 및 개체별 변이가 다양하게 나타났다. 가계정보뿐만 아니라 각 개체의 능력에 근거하여 육종가를 추정하고, 이 육종가의 크기정도에 따라 최종 어미를 선발하는 것은 매우 과학적인 방법이다. 추정된 유전모수와 육종가를 토대로 유전적 유연관계뿐만 아니라 각 성장형질의 특성을 적절히 고려해서 최종 어미의 선발과 교배에 이용한다면 보다 나은 개량효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되며, 국내 전복 양식산업 발전을 위한 기초자료의 축적을 위해 성장관련 형질뿐만 아니라 환경내성 및 내병성 등의 관련된 연구도 지속적으로 병행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 전복의 성장형질에 대한 가계변이를 비교분석하기 위한 목적으로 2011년에 생산된 선발 3세대 북방전복 5,334마리에 대한 18개월령 성장형질인 각장, 각폭 및 중량의 전체 계측자료를 이용하여 유전모수와 육종가를 추정하였으며, 그 중 개체수가 많은 상위 10가계의 865마리 대한 가계변이를 조사하였다. 가계효과를 추정하기 위해 개체모형에 근거한 선형모형을 이용하였고, 유전모수 및 육종가는 생산시기를 고정효과로 처리하고, EM-REML algorithm을 전산 프로그램화한 REMLF90을 이용하여 최적선형불편예측법에 의해 추정하였다. 본 연구에서 조사된 18개월령 북방전복의 표현형에 있어 각장, 각폭 및 중량의 전체평균은 각각 54.5 mm, 36.8 mm 및 21.3 g로 나타났고, 중량의 변이계수가 51.0%로 나타나 각장의 21.1% 및 각폭의 20.7% 보다 자료의 변동성이 크게 나타났다. 개체수가 많은 상위 10가계를 대상으로 각장과 중량의 관계를 산점도로 표시한 결과 상관관계식이 $TW = 0.0002SL^{2.8796}$ ($R^2 = 0.9864$) 과 같이 지수곡선식으로 추정되었다. 가계효과에 있어서는 각 가계별로 유의적인 차이를 보

였으며 ($p < 0.05$), 각장, 각폭 및 중량의 유전력은 각각 0.370, 0.382 및 0.367로 중도의 유전력을 보여 개체선발 보다는 가계선발이 유리할 것으로 사료된다. 또한 각 형질 간 상관관계수는 매우 높은 정의 상관관계를 보여 한 형질만의 개량으로 다른 형질의 개량효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 추정된 각장 및 중량의 육종가를 토대로 개체수가 많은 상위 10가계에 대한 각 개체별 분포와 순위를 조사하기 위해 표준화육종가로 변환하여 이용하였으며, 각장을 기준으로 상위 5.4%의 개체 수는 152마리, 하위 5.4%의 개체 수는 8마리로 조사되었고, 중량의 경우 상위 5.4%의 개체 수는 164마리, 하위 5.4%의 개체 수는 1마리로 조사되었다. 이와 같이 가계간의 표현형 및 유전적인 다양한 변이를 확인 할 수 있었고, 다음 세대 생산을 위한 모집단의 유전모수와 육종가를 추정하여 선발과 교배에 적절히 이용한다면 보다 나은 육종효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 (육종기술개발, RP-2013-AQ-199)의 지원에 의해 연구되었습니다.

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. and Yamazaki, F. (1998) Estimation of heritabilities of growth traits, and phenotypic and genetic correlations in juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fisheries Science*, **64**: 903-908.
- Choe, M.K., Han, S.J., Yang, S.G., Won, S.W., Park, C.J. and Yeo, I.K. (2007) Estimation of genetic parameters for growth-related traits of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model in early growth period. *The Korean Journal Malacology*, **23**(2): 217-225.
- 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.
- Gjedrem, T. (1983) Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish. *Aquaculture*, **33**: 51-72.
- Gjedrem, T. (1997) Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquaculture*, **28**: 33-45.
- Gjedrem, T. (2000) Generic improvement of cold-water species. *Aquaculture Research*, **31**: 25-33.
- 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.
- Hara, M. and Kikuchi, S. (1992) Increasing growth rate of abalone, *Haliotis discus hannai*, using selection techniques. *NOAA Technical report*, **106**: 21-26.
- Henderson, C.R. (1974) General flexibility of linear model techniques for sire evaluation. *Journal of Dairy Science*, **57**: 963-972.
- Henderson, C.R. (1986) Recent developments in variance and covariance estimation. *Journal of Animal Science*, **63**: 208-216.
- Jonasson, J., Stefansson, S.E., Gudnason, A. and Steinarrson, 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.
- Kim, H.C., Noh, J.K., Lee, J.H., Park, C.J., Min, B.H., Kim, K.K., Kim, J.H., Lee, J.G. and Myeong, J.I. (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. *Journal of Animal Science and Technology*, **53**(2): 99-106.
- 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, Y.I., KIM, J.H. and HAN, J.Y. (1999) Science of animal breeding. Korean national open university press. pp. 156-157.
- Quass, R.L. and Pollak, E.J. (1980) Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. *Journal of Animal Science*, **51**: 1277-1287.
- 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.
- Viana, M.T. (2002) Abalone Aquaculture, An overview. *World Aquaculture*, pp 34-39.
- Yang, S.G. (2007) Genetic diversity and evaluation for selective breeding in pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. Ph. D. thesis, University of Dong-eui.
- 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.