

다형질 Animal Model에 의한 한국산 전복 2 아종의 초기 치패의 성장관련 형질에 대한 유전모수 추정

최미경, 한석중¹, 양상근², 원승환³, 박철지, 여인규⁴

국립수산과학원 육종연구센터, ¹국립수산과학원 제주수산연구소, ²국립수산과학원 남부내수면 연구소, ³국립수산과학원 자원회복사업단, ⁴제주대학교 해양과학대학

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

Mi-Kyung Choe, Seock-Jung Han¹, Sang-Geun Yang², Seung-Hwan Won³, Choul-Ji Park and In-Kyu Yeo⁴

Genetic and Breeding Research Center, National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI), Busan 619-920, Korea

¹Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju-do, 690-192, Korea

²Southern Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Jinhae 645-250, Korea

³Fisheries Resources Enhancement Research Team, NFRDI, Busan 619-920, Korea

⁴College of Ocean Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to estimate the general genetic parameters, heritabilities, and genetic and phenotypic correlations on growth-related traits by studying multiple trait animal model in two Korean abalone species, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*. The data was collected from the records of 3,795 individuals produced from 54 sires and 74 dams in *Haliotis discus hannai* and 399 individuals produced from 7 sires and 7 dams in *Haliotis discus discus*. The data was evaluated by the Genetics and Breeding Research Center, National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). Genetic parameters were estimated for two abalone species raised in Bukjeju branch, NFRDI, from May 20 to November 1, 2004. The heritability estimates for growth traits of shell length, shell width and body weight obtained from

restricted maximum likelihood (REML) were ranging from 0.73 to 0.78 in *Haliotis discus hannai*, and from 0.87 to 0.89 in *H. discus discus*. The heritabilities for shell shape and condition factor were ranging from 0.17 to 0.20 in *Haliotis discus hannai*, and from 0.01 to 0.45 in *H. discus discus*. Genetic and phenotypic correlations were over than 0.96 between shell parameters and weight in both of abalone subspecies, indicating that breeding for weight gains could successfully be achieved by selecting for shell length.

Key words: *Haliotis discus hannai*, *H. discus discus*, Selective breeding, Genetic parameters, Growth, Heritability.

서 론

전복은 육질을 섭취할 수 있는 해산물로서 경제적으로 매우 가치가 높은 종으로 알려져 왔고, 특히 야생 수산자원에 대한 과도한 채취에 의한 자원고갈로 지난 수 십년 동안 전복 양식은 전 세계적으로 널리 확장되어져 왔다 (Gordon and Cook, 2004). 특히 대만이나 중국에서의 전복 양식 생산은 야생에서의 자원감소 이상으로 증대되어져왔다 (Gordon and Cook,

Received November 7, 2007; Accepted December 12, 2007

Corresponding author: Choe, Mi-Kyung

Tel: +82 (55) 633-1272 e-mail: choemk@momaf.go.kr

1225-3480/23208

© The Malacological Society of Korea

2004). 그러나 전복 양식은 오랜 기간의 역사에도 불구하고 장기간의 양식 기간을 요하는 양식생물로서 산업으로서의 정착에 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서 전복 양식생산에 있어서는 성장률 향상을 위한 육종연구가 매우 중요하게 취급되어지고 있다 (Viana, 2002).

전복의 유전적 개량은 합리적이고 과학적인 선발에 의해 이루어질 수 있다. 선발에 의한 효과는 얼마나 정확하게 그 개체의 육종가를 추정할 수 있는가에 따라 좌우되며, 전복의 육종가를 정확히 추정하기 위해서는 경제 형질의 유전모수를 알아야 한다. 그러므로 전복의 주요 경제형질에 대한 유전력과 유전상관과 같은 유전모수를 정확하게 추정하는 것이 필요하다. 분산과 공분산의 추정에는 동물 육종에 있어 1) 선발지수식의 결정, 2) 혼합모형에서 BLUP을 얻기 위하여, 3) 유전력, 유전상관, 표현형 상관 및 환경상관의 추정, 4) 육종계획의 수립 및 5) 양적 형질에 대한 유전적 기작의 설명 등에 널리 이용되어지고 있다 (Henderson, 1986).

한편, 우리나라에 분포하고 있는 전복은 북방전복 (참전복, *Haliotis discus hannai*), 동근전복 (까막전복, *H. discus discus*), 시볼트전복 (*H. sieboldii*), 말전복 (*H. gigantea*), 오분자기 (*H. diversicolor aquatilis*) 그리고 마데오분자기 (*H. diversicolor diversicolor*) 의 6 종이 보고되고 있다 (한, 1998). 그 중 한류성인 북방전복과 난류성인 동근전복은 우리나라를 비롯한 일본 등에서 자연산이나 양식산 모두 경제적으로 매우 중요한 종으로 취급되고 있다. 우리나라의 전복 양식생산량은 1990년 2 톤에서 2006년 약 3,000 톤으로 비약적인 발전을 이루어왔다. 그러나 전복 종묘생산은 비계획적인 어미집단의 관리 및 자연에서의 자원량 감소 등으로 양질의 우수한 어미자원 확보가 어려워지고 있으며, 생산성 감소 등 문제점들이 야기되고 있다. 따라서 전복양식의 안정적인 생산, 양질의 어미 확보 및 관리와 더불어 우수한 품종을 개발하여 전복양식어의 생산성 향상 등을 위한 장기적이고 체계적인 육종연구가 시급한 실정이다. 국립수산물과학원에서는 전복 육종프로그램 개발 연구를 2004년부터 시작하여 속성장 전복의 개발로 양식 경쟁력 확보를 위한 연구에 주력하고 있다. 본 연구는 전복 육종을 위한 한국산 전복 두 종류에 대하여 초기 성장시기의 성장관련 형질에 대한 유전모수를 추정하여 국내에서 양식되고 있는 전복 집단의 유전적 개량을 위한 기초 자료를 제공하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

1. 실험 전복

유전적 다양성 확보로 육종효율을 극대화 하기위하여 전국의 동해안 2 개소, 남해안 4 개소, 서해안 3 개소, 제주연안 2 개소의 총 11 개 지소로부터 북방전복과 동근전복에 대한 양

식산 및 자연산 전복을 각각 수집하였다 (Fig. 1). 북방전복과 동근전복의 지리적 분포특성을 고려하여 북방전복은 동서남해 연안에서 각각 수집하였으며 동근전복은 제주연안에서 수집하였다. 수집된 전복은 유전적 유연거리 분석을 위해 DNA sampling을 실시하였다. 또한 동일한 birth-day의 후대 생산을 위하여 인위적인 성숙 제어관리를 실시하였다. 성숙관리 동안의 수온범위는 16.2-28.8℃ 이었으며, 먹이로는 염장 다시마를 1일 1회 공급하고 유수식으로 사육을 실시하였다.

2. 성숙제어관리

각 지역에서 수집된 어미는 각 개체당 라벨을 실시하고 국립수산물과학원 제주수산연구소 북제주 시험포의 성숙제어 관리시스템에서 순환어과식의 수온조절 방식을 이용하여 성숙제어를 실시하였다.

3. 교배에 의한 가계생산

근친교배에 의한 근교약세 현상을 사전에 방지하고 유전적 다양성을 유지하기 위하여 microsatellite DNA marker를 이용한 유전적 유연관계를 분석하였다. 유전적 유연관계 분석은 Nei's standard genetic distance (Nei, 1978) 을 기초로 국립수산물과학원에서 개발한 전산프로그램인 FGAP으로 실시하였다. 그 결과에 따라 유전적으로 원원거리인 개체들을 기초로 sire와 dam의 1:2 형식의 반형매군 및 1:1 형식의 전형매군을 각각 생산하였다. 2004년 5월 20일 국립수산물과학원 제주수산연구소 북제주시험포에서 교배디자인에 의한 가계를 생산하기위하여, 북방전복 및 동근전복의 어미를 각각의 산란수



Fig. 1. Map showing collected locations of wild type and cultured type of two abalone subspecies.

조에 수용하고 동시에 방란 및 방정을 유발하여 54 마리의 sire와 74의 dam으로부터 76 가계의 북방전복 형매군 및 7 마리의 sire와 7의 dam으로부터 8 가계의 동근전복 형매군을 생산하였다. 산란유발은 간출자극 후 각각 1 마리씩 sire와 dam 개체를 산란 유발용기 (25 × 21 × 16 cm) 에 넣고 자외선 조사해수로 자극을 실시하였다. 방란, 방정된 알과 정자는 교배디자인에 따라 각각 수정이 이루어졌으며, 수정된 각 가계의 수정란은 충분한 세란 과정을 거친 후 부화수조 (34 × 26 × 12 cm) 에 옮겨 부화를 실시하였다. 유생사육은 유생사육 용기 (38 × 52 × 30 cm) 에서 각 가계별로 실시하였다. 채묘는 미리 설계 디자인된 가계생산용 수조 (146 × 664 × 56 cm) 에 채묘 10일 전부터 각 수조당 100 개의 파란을 걸어서 부착 규조를 배양하였으며, 채묘수조는 수조당 60,000 개의 유생이 수용될 수 있도록 설계하였다. 각각의 발생 단계별 사육수조 수용시 수정란 및 부화 유생의 개체수를 일정하게 하기위하여 각 가계로부터 생산된 수정란 및 부화 유생의 개체수는 각각의 가계별로 계수하여 수용하였다.

4. 사육관리

생산된 각 가계는 가계별로 수조 및 가두리에 격리 수용되어, 채묘로부터 치패막리까지는 한 수조에 파란 (38 cm × 38 cm) 100 장을 수용한 PP수조 (132 cm × 51 cm × 52 cm) 에서 부착규조를 먹이로 사육하였으며, 채묘시 유생의 수는 가계당 25,000 마리로 하였다. 막리후에는 FRP수조 (6.14 m × 1.11 m × 0.75 m) 에 수조당 4 개의 가두리 (1.32 m × 0.51 m × 0.52 m) 를 설치하고 가두리당 2 개의 파형 셀터 (1 m × 0.6 m) 를 사용하여 배합사료, 파래, 미역 및 다시마 등을 공급하여 사육하였다. 사육기간 동안의 사육밀도는 4-38%였으며, 수온은 17.7-29.9℃, 비중은 1.020-1.025이였으며 각각의 수조별로 가능한 동일한 사육조건이 되도록 사육환경을 유지 및 관리하였다.

5. 성장관련 형질 측정

성장관련 형질측정은 채묘후 5개월령에 각 가계당 50 마리씩 임의로 추출하여 각장 (shell length, SL, 0.1 mm), 각폭 (shell width, SW, 0.1 mm) 및 체중 (body weight, BW, 0.01 g) 을 개체별로 각각 측정하였다. 각형 (shell shape) 은 SL/SW로, 비만도 (conditionfactor, CF) 는 (BW × 1,000)/SL³의 공식을 이용하여 계산하였다.

6. 통계적 분석방법

1) 환경요인 효과

본 연구에서 조사한 성장관련 형질에 영향을 미치는 환경요인을 분석하기 위하여 사육밀도, 교배 sire의 수집해역, 교배 dam의 수집해역, 교배 sire와 교배 dam의 자연산과 양식산의

교배타입과 이들의 상호작용 및 생산시기 효과를 고정효과로 가정하고 다음과 같은 선형 혼합모형 (Equation 1) 과 (Equation 2) 를 이용하여 분석하였다.

북방전복의 경우 (Equation 1),

$$Y_{ijklmnpqr} = \mu + D_i + SL_j + DL_k + WC_l + SL \times DL_m + SL \times WC_n + DL \times WC_o + B_p + A_q + e_{ijklmnpqr}$$

여기서,

$Y_{ijklmnpqr}$: $ijklmnpqr$ 번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,

μ : 전체 평균,

D_i : i 번째 사육밀도 효과 ($i = 1, 2$),

SL_j : j 번째 교배 sire의 수집해역효과 ($j = 1, 2, 3$),

DL_k : k 번째 교배 dam의 수집해역 효과 ($k = 1, 2, 3$),

WC_l : 1 번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ($l = 1, 2, 3, 4$),

$SL \times DL_m$: m 번째 교배 sire의 수집해역과 교배 dam의 수집해역간의 상호작용 효과,

$SL \times WC_n$: n 번째 교배 sire의 수집해역과 자연산과 양식산의 교배타입의 상호작용 효과,

$DL \times WC_o$: o 번째 교배 dam의 수집해역과 자연산과 양식산의 교배타입의 상호작용 효과,

B_p : p 번째 생산시기 효과 ($p = 1, 2, 3$),

A_q : q 번째 개체의 임의효과,

$e_{ijklmnpqr}$: 임의 오차 $\sim N(0, I\delta^2)$ 이다.

동근전복의 경우 (Equation 2),

$$Y_{ijk} = \mu + WC_i + A_{ij} + e_{ijk}$$

여기서,

Y_{ijk} : ijk 번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,

μ : 전체 평균,

WC_i : i 번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ($i = 1, 2, 3$),

A_{ij} : j 번째 개체의 임의효과,

e_{ij} : 임의 오차 $\sim N(0, I\delta^2)$ 이다.

본 연구에서 설정한 혼합모형은 SAS 통계 프로그램 Package (Ver. 9.1) 를 이용하여 분석하였으며, GLM (generalized linear model) 분석을 통하여 각 요인들에 대한 분산분석을 실시하고, 최소자승 평균치간의 Duncan's multiple range test를 실시하여 유의수준 5%로 유의성 검정을 실시하였다.

2) 유전모수 추정

유전모수를 추정하기 위하여 필요한 유전 및 오차 분산을 다형질 (multiple-traits) 개체모형으로 설정하여 추정하였다. 다형질 개체모형에 의한 추정을 위해서는 선형혼합모형을 (Equation 3) 와 (Equation 4) 와 같이 설정하였다.

복방전복의 경우 (Equation 3),

$$Y_{ijklmnop} = \mu_i + D_{ij} + SL_{ik} + DL_{il} + WC_{im} + B_{in} + A_{io} + e_{ijklmnop}$$

여기서

- $Y_{ijklmnop}$: ijklmnop 번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,
- μ_i : i 번째 형질의 전체 평균,
- D_{ij} : i 번째 형질의 j 번째 사육밀도 효과 ($j = 1, 2$),
- SL_{ik} : i 번째 형질의 k 번째 교배 sire의 수집해역효과 ($k = 1, 2, 3$),
- DL_{il} : i 번째 형질의 l 번째 교배 dam의 수집해역 효과 ($l = 1, 2, 3$),
- WC_{im} : i 번째 형질의 m 번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ($m = 1, 2, 3, 4$),
- B_{in} : i 번째 형질의 n 번째 생산시기 효과 ($n = 1, 2, 3$),
- A_{io} : i 번째 형질의 o 번째 개체의 임의효과,
- $e_{ijklmnop}$: 임의 오차 $\sim N(0, I\delta_e^2)$ 이다.

등근전복의 경우 (Equation 4),

$$Y_{ijkl} = \mu_i + WC_{ij} + A_{ijk} + e_{ijkl}$$

여기서,

- Y_{ijkl} : i 번째 형질의 ijkl 번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,
- μ_i : i 번째 형질의 전체 평균,
- WC_{ij} : i 번째 형질의 j 번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ($j = 1, 2, 3$),
- A_{ijk} : i 번째 형질의 k 번째 개체의 임의효과 $\sim N(0, A\delta_a^2)$, A는 혈연 계수 행렬,
- e_{ijkl} : 임의 오차 $\sim N(0, I\delta_e^2)$ 이다.

이상의 다형질 혼합 모형은 행렬식으로 표시하면 다음과 같다 (Henderson and Quass, 1976). 또한 선형 혼합모형에 의한 정규방정식을 풀기 위하여서는 형질에 마지막 효과를 0으로 하는 제한을 가하였다.

$$y = Xb + Zu + e$$

여기서,

y: 각 형질에 대한 관측치에 대한 $N \times 1$ vector,

$$y' = [y_1', y_2', \dots, y_i']$$

(i = 형질의 수, n = 각 형질의 관측치 수, $N = n \times i$)

b: 알려지지 않은 고정 효과의 $NF \times 1$ 의 vector (공분산의 효과 포함)

$$b' = [b_1', b_2', \dots, b_i']$$

X: 고정 효과에 대한 $N \times NF$ 의 계수 행렬

u: 알려지지 않은 임의 효과의 $NR \times 1$ 의 vector

$$u' = [u_1', u_2', \dots, u_i']$$

Z: 고정 효과에 대한 $N \times NR$ 의 계수 행렬

이상의 행렬식에 의한 유전모수의 추정은 EL-REML (restricted maximum likelihood) method를 전산 프로그램화한 REMLF90 (Misztal, 1990) 을 이용하여 다형질 혼합 모형으로 실시하였다.

결 과

1. 가족 생산 및 성장

초기 성장시기인 5개월령에서의 성장관련 형질은 복방전복 76 가계의 3,795 마리와 등근전복 8 가계의 399 마리에서 측정이 이루어졌다. 복방전복에서 평균 \pm 표준편차가 각각 각장 15.11 ± 4.04 mm, 각폭 10.64 ± 2.70 mm 및 중량 0.44 ± 0.33 g이었으며, 등근전복에서는 각각 각장 14.57 ± 4.01 mm, 각폭 10.19 ± 2.67 mm 및 중량 0.40 ± 0.30 g 이었다 (Table 1).

2. 성장관련형질에 대한 환경요인 효과

각장 (shell length, SL), 각폭 (shell width, SW), 중량 (body weight, BW), 각형 (shell shape, SS) 및 비만도 (condition factor, CF) 형질에 영향을 미치는 환경효과를 분석하기 위해 선형 혼합모형에 의한 분석을 실시하였다. 복방전복 5개월령에서 성장관련형질에 영향을 미치는 환경효과 분석

Table 1. Overall growth-related traits of two abalone species, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus* at 5 months of age.

Traits	<i>Haliotis discus hannai</i>	<i>Haliotis discus discus</i>
Shell length (mm)	15.11 \pm 4.04	14.57 \pm 4.01
Shell width (mm)	10.64 \pm 2.70	10.19 \pm 2.67
Body weight (g)	0.44 \pm 0.33	0.40 \pm 0.30
Shell shape	1.42 \pm 0.062	1.42 \pm 0.043
Condition factor (%)	10.63 \pm 2.33	10.96 \pm 2.84

No. of *Haliotis discus hannai* recorded was 3,795 in 76 families and No. of *Haliotis discus discus* recorded was 399 in 8 families

Table 2. Source of variation, degree of freedom (df), mean squares and tests of significance for growth-related traits of *Haliotis discus hannai* at 5 months of age.

Source	df	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Density	1	5377.07 ^{***}	2461.60 ^{***}	41.59 ^{***}	0.07 ^{***}	52.78 [*]
Location of sire (LS)	2	501.25 ^{***}	223.22 ^{***}	2.87 ^{***}	0.06 ^{***}	15.04
Location of dam (LD)	2	36.20	20.27	0.77 ^{**}	0.04 ^{***}	13.21
LS × LD	1	6.39	5.04	0.72 [*]	0.006	78.46 ^{**}
Wild/Cultured (W_C)	3	446.71 ^{***}	225.92 ^{***}	1.61 ^{***}	0.001	2.79
Batch	2	110.71 ^{**}	88.03 ^{***}	0.68 ^{**}	0.13 ^{***}	23.23
LS × (W_C)	1	37.74	21.94	0.02	0.000	8.36
LD × (W_C)	2	182.85 ^{***}	101.95 ^{**}	0.89 ^{***}	0.04 ^{***}	14.96
Error	3,780	13.49	6.01	0.09	0.004	5.35

^{***} p < 0.0001; ^{**} p < 0.001; ^{*} p < 0.01

Table 3. Source of variation, degree of freedom (df), mean squares and tests of significance for growth-related traits of *Haliotis discus discus* at 5 months of age.

Source	df	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Wild/Cultured (W_C)	2	108.03 [*]	50.12 ^{**}	0.20	0.01 [*]	106.58 ^{***}
Error	396	15.65	6.91	0.09	0.002	7.57

^{***} p < 0.0001; ^{**} p < 0.001; ^{*} p < 0.01

을 위하여 사육밀도, 교배 sire의 수집해역, 교배 dam의 수집해역, 교배 sire의 수집해역과 교배 dam의 수집해역간의 상호작용효과, 자연산 혹은 양식산 sire와 dam의 교배타입효과, 생산시기 효과 및 교배 sire의 수집해역과 자연산 혹은 양식산 sire와 dam의 교배에 의한 상호작용효과를 고정효과로 가정하고 분석을 실시한 분산분석표를 Table 2에, 둥근전복의 5개월령에서 성장관련형질에 영향을 미치는 환경효과 분석을 위하여 자연산 혹은 양식산 sire와 dam의 교배타입효과에 대한 분산분석 결과를 Table 3에 각각 나타내었다.

각 환경요인효과에 따른 성장관련형질의 분산분석과 그에 따른 유의적 수준은 북방전복의 경우, 계측된 모든 형질에 대하여 사육밀도, 교배 sire의 수집해역 및 자연산과 양식산에 의한 교배타입, 교배 dam의 자연산과 양식산에 의한 교배타입간의 상호작용 효과 및 일부의 형질에 대한 생산시기에 대하여 고도의 유의적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다 (p < 0.0001). 둥근전복의 경우 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 대하여 비만도에서 고도의 유의적인 차이를 보였으나 (p < 0.0001), 그 외의 계측된 성장관련형질에서 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 대하여 저도의 유의적 차이 (p < 0.01) 혹은 유의적인 영향은 없는 것으로 나타났다.

각 환경 효과에 대한 최소자승 평균에 따른 Duncan's multiple range test에 의한 유의성 검정 결과를 Table 4와 5에 각각 나타내었다. Table 4에서와 같이 북방전복의 성장관련 형질에 대한 최소자승 평균치에 대한 Duncan's multiple test 결과, 사육밀도 그룹간 및 생산시기에 대해 유의적인 성장차이를 보였다. 또한 교배 sire 및 교배 dam의 수집해역간에도 유의적인 성장차이를 보여 체포후 5개월령에서의 북방전복의 성장은 남해안 및 서해안의 것이 동해안의 것보다 빠른 것으로 나타났다. 또한 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 있어서도 자연산 (♂) × 자연산 (♀) 이나 양식산 (♂) × 양식산 (♀) 의 경우가 다른 타입에 비해 성장이 유의적으로 우수한 것으로 나타났다.

둥근전복의 경우 Table 5에서와 같이 성장관련 형질에 대한 최소자승 평균치에 대한 Duncan's multiple test 결과, 교배 sire와 dam의 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 있어서 유의적인 성장차이를 보여 자연산 (♂) × 자연산 (♀) 의 것이 우수한 성장을 보이긴 하였으나 자연산 (♂) × 양식산 (♀) 에 비해 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 양식산 (♂) × 자연산 (♀) 의 경우가 다른 타입에 비해 성장이 유의적으로 낮은 것으로 나타났다.

Table 4. Significances by Duncan's multiple range test and means for growth-related traits of *Haliotis discus hannai* at 5 months of age.

Source	Duncan grouping	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Density	1	16.67 ^a	11.69 ^a	0.57 ^a	1.42 ^a	10.74 ^a
	2	14.04 ^b	9.91 ^b	0.35 ^b	1.41 ^b	10.46 ^b
Location of sire (LS)	East sea	12.99 ^b	9.31 ^b	0.28 ^b	1.39 ^c	10.36 ^b
	South sea	15.49 ^a	10.85 ^a	0.47 ^a	1.42 ^a	10.61 ^{ab}
	West sea	15.14 ^a	10.67 ^a	0.44 ^a	1.42 ^b	10.67 ^a
Location of dam (LD)	East sea	13.82 ^b	9.77 ^b	0.33 ^b	1.41 ^a	10.77 ^a
	South sea	15.08 ^a	10.62 ^a	0.43 ^a	1.42 ^a	10.62 ^a
	West sea	15.30 ^a	10.76 ^a	0.46 ^a	1.42 ^a	10.63 ^a
Wild/Cultured (W_C)	W (♂) × W (♀)	15.58 ^a	10.96 ^a	0.48 ^a	1.42 ^a	10.62 ^a
	W (♂) × C (♀)	14.24 ^b	10.09 ^b	0.36 ^b	1.41 ^b	10.61 ^a
	C (♂) × W (♀)	10.66 ^c	7.65 ^c	0.15 ^c	1.39 ^c	10.82 ^a
	C (♂) × C (♀)	15.24 ^a	10.69 ^a	0.44 ^a	1.42 ^a	10.63 ^a
Batch	1	15.49 ^a	10.84 ^a	0.47 ^a	1.43 ^a	10.67 ^a
	2	14.60 ^b	10.39 ^b	0.40 ^b	1.40 ^b	10.57 ^a
	3	14.17 ^c	10.08 ^c	0.35 ^c	1.40 ^b	10.52 ^a

Means with the same letter are not significantly different; W = wild abalone, C = cultured abalone

Table 5. Significances by Duncan's multiple range test and means for growth-related traits of *Haliotis discus discus* at 5 months of age.

Source	Duncan grouping	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Wild/Cultured (W_C)	W (♂) × W (♀)	15.19 ^a	10.66 ^a	0.43 ^a	1.43 ^a	12.84 ^a
	W (♂) × C (♀)	14.54 ^a	10.12 ^a	0.40 ^{ab}	1.42 ^{ab}	10.90 ^b
	C (♂) × W (♀)	12.79 ^b	9.05 ^b	0.33 ^b	1.41 ^b	10.54 ^b

Means with the same letter are not significantly different; W = wild abalone, C = cultured abalone

3. 유전모수 추정

다형질 EL-REML 추정 방법에 따른 성장관련형질의 체묘 후 5개월령에 대한 북방전복과 동근전복의 유전력 추정치를 Table 6에 나타내었다.

북방전복의 경우, 분석모형에서 사육밀도 효과, sire와 dam의 수집해역효과, 자연산과 양식산 sire와 dam의 교배타입효과 및 생산시기효과를 고정효과로 유전력을 추정한 결과 각장, 각폭 및 중량에서 0.73 이상의 고도의 유전력이 추정된 반면 체형 및 비만도에서 각각 0.20, 0.17로 저도의 유전력이 추정되었다. 동근전복은 각장, 각폭 및 중량에서 0.87 이상의 고도의 유전력이 추정되었고 체형에서는 0.45로 중도의 유전력이, 비만에서는 0.01로 저도의 유전력이 추정되었다.

본 연구에서 추정된 각장, 각폭, 중량, 각형 및 비만도에 대

한 북방전복과 동근전복의 유전상관 및 표현형 상관은 Table 7과 8에 각각 나타내었다.

북방전복과 동근전복의 성장관련형질에 대한 유전상관은 각장과 각폭, 각장과 중량 및 각폭과 중량 간에 각각 0.99, 0.96, 0.96, 0.99, 0.90, 0.98로 추정되어 두 종 모두에서 형질들 간의 높은 유전상관을 나타내었다. 표현형 상관의 경우에서도 두 종 모두에서 각장과 각폭, 각장과 중량 및 각폭과 중량간에 0.93 이상의 높은 상관을 나타내었다. 그러나 북방전복의 경우 각형과 관련하여서는 중도의 유전상관 및 표현형 상관을 나타내었으며, 비만도와 관련한 유전상관 및 표현형 상관에서 모든 형질에서 음의 상관을 나타내었다. 또한 동근전복의 경우에는 북방전복에서와 같이 각형의 상관관계는 중도의 값을 나타내었고 비만도에서는 저도 혹은 음의 상관관계를 나타내었다.

Table 6. Genetic variance (σ_a^2), residual variance (σ_e^2) and heritability (h^2) of growth-related traits of two Korean abalone species at 5 months of age.

Traits	<i>Haliotis discus hannai</i>			<i>Haliotis discus discus</i>		
	σ_a^2	σ_e^2	h^2	σ_a^2	σ_e^2	h^2
Shell length	11.47	3.56	0.76	15.55	2.01	0.89
Shell width	5.23	1.51	0.78	6.75	1.04	0.87
Body weight	0.075	0.03	0.72	0.085	0.011	0.89
Shell shape	0.0018	0.003	0.20	0.001	0.001	0.45
Condition factor	0.95	4.54	0.17	0.04	7.54	0.01

Table 7. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits of *Haliotis discus hannai* at 5 months of age.

Traits	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Shell length		0.99	0.94 ^{***}	0.38 ^{***}	-0.12 ^{***}
Shell width	0.99		0.93 ^{***}	0.24 ^{***}	-0.08 ^{***}
Body weight	0.96	0.96		0.31 ^{***}	0.03 [*]
Shell shape	0.51	0.44	0.47		-0.27 ^{***}
Condition factor	-0.24	-0.22	-0.14	-0.35	

^{***} p < 0.0001; ^{*} p < 0.01; Genetic correlations are lower and phenotypic correlations are upper diagonal.

Table 8. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits of *Haliotis discus discus* at 5 months of age.

Traits	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Shell length		0.99 ^{***}	0.95 ^{***}	0.48 ^{***}	-0.20 ^{***}
Shell width	0.99		0.94 ^{***}	0.39 ^{***}	-0.19 ^{**}
Body weight	0.90	0.98		0.46 ^{***}	-0.06
Shell shape	0.67	0.62	0.78		-0.18 ^{**}
Condition factor	-0.02	0.01	-0.05	-0.30	

^{***} p < 0.0001; ^{*} p < 0.01; Genetic correlations are lower and phenotypic correlations are upper diagonal.

고 찰

본 연구에서는 EL-REML을 이용하여 다형질 animal model에 의한 복방전복과 둥근전복의 초기 성장시기에 대하여 성장관련형질들의 유전모수를 추정하였다. 유전력, 표현형 및 유전에 대한 환경 상관계수 등의 유전적 수치정보는 양적 형질의 유전을 연구하고, 가축과 실험동물의 육종을 위해서는 기본이 되는 중요한 정보이다 (이기만 등, 1998). 성장, 질병, 내병성 및 재생산 등 경제적으로 중요한 형질들의 대부분이 양적 형질들로서, 양적 형질의 경우 그 표현형 값이 연속 변이를 나타내고, 그 변이에는 유전적인 변이와 환경적인 변이 양쪽이 모두 포함되어 나타난다. 그러나 표현형 값에서 보여 지는 변

이 중 후대에 유전하는 것은 유전적 변이이지 환경적인 변이가 아니다. 따라서 유전과 육종의 관점에서는 전체 표현형 값 중 유전적인 변이가 차지하는 비율 등에 관심이 있으며, 이러한 정보를 제공하는 유전력 (heritability), 유전상관 (genetic parameter) 등의 유전모수가 유전적인 개량량을 세대를 거쳐 누적적으로 증가시키고자 하는 육종 연구에 이용되고 있다 (Gall and Huang, 1988). 축산 등 일반적인 동물의 육종연구에 있어서는 유전적 개량량을 세대를 거쳐 누적적으로 커지게 하는 선발 육종법이 주로 이용되고 있으며, 유전적 개량을 위한 선발육종의 기초정보로서 유전력, 유전상관, 육종가 등의 유전모수가 이용되고 있다 (이기만 등, 1998). 따라서 육종효

을 높이기 위해서는 정확한 유전모수의 추정이 이루어져야 한다 (Su *et al.*, 1996). REML (restricted maximum likelihood) 방법에 의한 유전모수 추정은 Patterson and Thompson (1971) 이 제안한 방법으로 animal model에 의한 육종연구에 널리 이용되고 있다. 이는 대용량의 자료를 다루기에 곤란하다는 단점은 있으나 정확도는 매우 우수한 것으로 알려져 있어 축산동물의 육종연구에서는 매우 활발하게 이용되고 있는 방법이다. 특히, 비교적 최근 몇 년 사이에 수산동물에도 도입되기 시작하여 개체모형에 의한 단형질 또는 다형질 REML 추정방법이 유전모수의 추정에 이용되고 있으나, 우리의 수산동물 육종연구에서는 국립수산과학원에서의 유전능력 평가프로그램의 개발로 처음 시도되고 있는 방법이다.

본 연구에서는 북방전복 79 가계의 3,795 마리와 동근전복 8 가계의 399 마리로부터 초기성장시기인 체표후 5 개월령에서 성장관련 형질들에 대한 측정을 실시하고 유전모수를 추정하였다. 이 두 종에서의 초기 성장은 북방전복에서 평균 \pm 표준편차가 각각 각장 15.11 ± 4.04 mm, 각폭 10.64 ± 2.70 mm 및 중량 0.44 ± 0.33 g이었으며, 동근전복에서는 각각 각장 14.79 ± 4.12 mm, 각폭 10.41 ± 2.79 mm 및 중량 0.43 ± 0.33 g 이었다. 이는 본 연구가 산업적인 측면에서 전복 양식현장 상황을 고려하여 실험설계가 이루어진 것으로, 최적의 사육조건에서의 성장과는 다소 차이가 있을 수도 있다.

본 연구에서 추정된 북방전복과 동근전복 5개월령에서의 성장관련형질에 대한 유전력은 두 종 모두에서 각장, 각폭 및 중량에서 > 0.73 으로 고도의 유전력을 나타내었다. 이는 기존에 보고된 red abalone, *Haliotis rufescens*의 0.34, tropical abalone, *H. asinina*의 0.48 (shell length) 보다는 매우 높은 값이다 (Jonasson *et al.*, 1990 and Lucas *et al.*, 2006). 본 연구에 있어서 만약 산업적인 환경에서의 사육 조건이 사육 개체들간의 성장을 위한 자원경쟁을 야기했다면 (Vandeputte *et al.*, 2004), 가족 내에서의 변이를 증가시켜 가족간 차이를 감소시킬 수도 있으므로 이로 인하여 유전력이 크게 추정되어질 수도 있다 (Falconer and Mackey, 1996). 따라서 보다 대규모 스케일에서의 산업적인 환경에서 최적의 사육조건으로 실현유전율을 추정하는 것이 바람직할 것이다 (Lucas *et al.*, 2006).

일반적으로 수산육종연구에서는 시장에서의 취급기준에 따라 각장보다는 중량에 더 많은 관심을 가진다. 본 연구에서의 중량에 대한 유전력이 북방전복과 동근전복 각각에서 0.73, 0.89로 높게 추정되었고, 각장과 중량에 대한 유전상관이 0.96, 0.99로 매우 높게 추정되어 각장만의 개량으로도 높은 중량의 개량효과를 기대할 수 있다 (Table 6, 7, 8). Hara and Kikuchi (1992) 는 북방전복의 선발 육종 3세대에서 각장에 대하여 63%의 개량을 나타내었다고 보고하고 있으며,

Lucas *et al.* (2006) 은 animal model에 의한 선발강도 5%에서 세대당 25%의 유전적 개량을 보고하였다. 이들은 본 연구에서 추정된 고도의 유전력으로부터 높은 육종효과가 기대된다는 것과 매우 부합되는 결과들이다.

또한 본 연구에서 추정된 북방전복과 동근전복 5개월령에 대한 유전모수들을 기초로 우리나라의 북방전복과 동근전복은 집단선발에 의해서도 높은 육종효과가 기대된다는 것을 강하게 시사하고 있다. Falconer (1989) 에 의하면, 유전력이 0.5 이상의 고도의 유전력을 가진 형질에 대해서는 개체선발이 유용하고, 0.5 미만의 중도, 혹은 저도의 유전력을 가진 형질에 대해서는 가족선발이 유용함을 보고하였다. 따라서 본 연구에서 추정된 성장관련 형질들에 대한 0.73 이상의 고도의 유전력은 우리나라 북방전복 및 동근전복에 대한 표현형에 의한 개체선발로서도 높은 육종효과를 얻을 수 있다는 것을 시사하고 있다.

요 약

본 연구는 국립수산과학원에서 2004년도부터 시작된 전복 육종 프로그램 개발의 일환으로서, 전복 집단에서 개체에 대한 유전적 평가를 바탕으로 우량전복을 효과적으로 선발하기 위해 전복 성장 형질에 대한 초기 성장시기에 있어 각 종별 유전모수를 추정하였다. 실험에 사용한 한국산 북방전복과 동근전복은 동해안, 남해안, 서해안 및 제주연안의 전국 11 개소로부터 자연산과 양식산으로 구분하여 수집한 후, DNA 분석에 의한 원거리 유연관계를 기초로 F1 세대의 반형매군을 생산하고 체표후 5개월간 사육을 실시하였다. 이중 임의로 추출한 북방전복 76가계 (3,795 마리), 동근전복 8가계 (399 마리) 에 대해 각장 (mm), 각폭 (mm) 및 중량 (g) 에 대해 측정을 실시하고, 유전모수는 성장관련형질인 각장, 각폭, 중량, 체형 및 비만도에 대해 추정하였다. 개체에 대한 성장형질에 영향을 미치는 효과분석을 위해 animal model에 의한 선형 혼합모형을 이용하여 SAS 통계 프로그램으로 통계분석을 실시하였다. 또한 EL-REML (restricted maximum likelihood) method를 전산 프로그램화한 REMLF90 (Misztal, 1990) 을 이용하여 다형질 혼합모형으로 유전모수를 추정하였다. 분석모형은 sire와 dam의 수집해역효과, 자연산 혹은 양식산 sire와 dam의 교배 효과, 생산시기 및 사육밀도를 고정효과로 하였다. 분석결과 초기성장시기인 체표후 5개월령에서의 성장관련 형질은 북방전복에서 평균 \pm 표준편차가 각각 각장 15.11 ± 4.04 mm, 각폭 10.64 ± 2.70 mm 및 중량 0.44 ± 0.33 g이었으며, 동근전복에서는 각각 각장 14.56 ± 4.01 mm, 각폭 10.19 ± 2.67 mm 및 중량 0.40 ± 0.30 g 이었다. 체표후 5개월령에서의 북방전복의 유전력은 각장, 각폭, 중량, 체형 및 비만도에서 각각 0.76, 0.78, 0.73, 0.20, 0.17로 추정되었다.

등근전복의 각장, 각폭, 중량, 체형 및 비만도에 대한 유전력은 각각 0.89, 0.87, 0.89, 0.45, 0.01로 추정되었다. 이러한 결과로 보아, 북방전복과 등근전복 모두 각장, 각폭 중량에서 고도의 유전력이 추정되어 개체선발만으로도 높은 육종효과가 기대되는 것으로 판단된다. 한편 북방전복과 등근전복의 성장관련 형질에 대한 유전상관은 각장과 각폭, 각장과 중량 및 각폭과 중량 간에 각각 0.99, 0.96, 0.96, 0.99, 0.99, 0.98로 추정되어 두 종 모두에서 형질들 간의 높은 유전상관을 나타내었다.

감사의 말씀

이 논문은 국립수산물과학원 (패류육종프로그램 개발 (전복), RP-2007-AQ-065)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

- Falconer, D.S. (1989) Introduction to Quantitative Genetics. (3rd ed.) 438 pp. Longman Scientific & Technical, Harlow/John Wiley & Son, New York.
- Falconer, D.S. and Mackey, T.F.C. (1996) Introduction to Quantitative Genetics. (4th. ed.) 480 pp. Prentice Hall, New York
- Gall, G.A.E. and Huang, N. (1988) Heritability and selection schemes of rainbow trout: body weight. *Aquaculture*, **73**: 43-56.
- Gordon, H.R. and Cook, P.A. (2004) World abalone fisheries and aquaculture update: supply and market dynamics. *Journal of Shellfish Research*, **23**: 935-939.
- 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. and Quass, R.L. (1976) Multiple trait evaluation using relative's record. *Journal of Animal Science*, **43**: 1188-1197.
- Henderson, C.R. (1986) Recent development in variance and covariance estimation. *Journal of Animal Science*, **63**: 208-216.
- 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**: 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.
- Nei, M. (1978) Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a number of individuals. *Genetics*, **89**: 538-590.
- Patterson, H.D. and Thompson, R. (1971) Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, **58**: 545-554.
- Su, G.S., Lilijedahl, L.E. and Gall, G.A.E. (1996) Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **144**: 71-80.
- Vandeputte, M., Kocour, M., Mauger, S., Dupont-Nivet, M., De Guerry, D., Rodina, M., Gela, D., Vallod, D., Chevassus, B. and Linhart, O. (2004) Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, **235**: 223-236.
- Viana, M.T. (2002) Abalone Aquaculture, An Overview. *World Aquaculture*, pp. 34-39.
- 이기만, 박영일, 오봉국 (1998) 가축육종학. pp. 1-366, 향문사.
- 한석중 (1998) 전복 양식, pp. 1-260, 구덕사.