

# 다형질 Animal model에 의한 9개월령 한국산 전복 2 아종의 성장관련형질에 대한 유전모수 추정

최미경\*·양상근<sup>1</sup>·원승환<sup>2</sup>·박철지<sup>3</sup>·한석중·여인규<sup>4</sup>  
 국립수산물과학원 제주수산연구소, <sup>1</sup>국립수산물과학원 남부내수면연구소,  
<sup>2</sup>국립수산물과학원 자원조성사업단, <sup>3</sup>국립수산물과학원 육종연구센터,  
<sup>4</sup>제주대학교 해양의생명과학부

## 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

Mi-Kyung Choe\*, <sup>1</sup>Sang-Geun Yang, <sup>2</sup>Seung-Hwan Won,  
<sup>3</sup>Choul-Ji Park, Seock-Jung Han and <sup>4</sup>In-Kyu Yeo

Jeju Fisheries Research Institute, National Fisheries Research Institute (NFRDI),  
 Jeju 690-192, Korea

<sup>1</sup>Southern Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Jinhae 645-230, Korea

<sup>2</sup>Fisheries Resources Enhancement Research Team, NFRDI, Busan 619-705, Korea

<sup>3</sup>Genetic and Breeding Research Center, NFRDI, Geoje 656-842, Korea

<sup>4</sup>Faculty of Marine Biomedical Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Genetic parameters for growth-related traits were estimated in 9-month old of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, using multiple traits of animal model. The data were collected from the records of 3,504 individuals produced from 16 sires and 17 dams in *H. discus hannai* and 821 individuals produced from 3 sires and 4 dams in *H. discus discus*, which was evaluated at the Bukjeju branch, NFRDI, from May 20, 2004 to February 14, 2005. The heritability estimates obtained from restricted maximum likelihood (REML) method range from 0.29 to 0.31 for three growth traits (shell length, shell width and body weight) in *H. discus hannai* and from 0.22 to 0.28 in *H. discus discus*, respectively. The heritabilities for shell shape and condition factor were lower than others of growth traits such as ranging from 0.03 to 0.24 in *H. discus hannai* and from 0.06 to 0.11 in *H. discus discus*, respectively. Genetic and phenotypic correlations were >0.91 between shell parameters and weight in two abalone subspecies, respectively, indicating that breeding for weight gains could be successfully achieved by selecting for shell length.

Key words: *Haliotis discus hannai*, *Haliotis discus discus*, Selective Breeding, Genetic Parameters, Multiple Traits Animal Model

### 서 론

경제적인 가치가 높은 전복은 야생 수산자원에 대한 고갈로 전 세계적으로 양식이 널리 확장되어져 왔다 (Gordon and Cook, 2004). 우리나라의 경우에도 마찬가지로 천연 자원에 의한 생산량은 급속히 감소하고 있으며, 2007년의 전복 어획량은 197톤에 그쳤으나 양식생산량은 4,350,000여톤으로 전체 전복생산량의 95.7%를 차지하고 있다. 이러한 전복 양식생산량은 '70년대에 비해 60배 이상 증가한 것이다. 그러나 우리나라의 전복 양식산업은 판매가격 하락, 인건비 상승, 호주, 칠레와 같은 경쟁국의 등장 등으로 산업으로서의 지속적 발전

에 큰 위협을 받고 있다. 뿐만 아니라 전복은 성장기간이 길어 양식 산업으로서의 취약점까지 내포하고 있어 우리나라 전복의 성장률 향상을 위한 개량은 생산기간 단축에 의한 원가절감 및 가격 경쟁력 향상을 위해 시급히 해결해야 할 중요과제로 대두되고 있다.

한편, 수산생물의 유전적 개량을 위한 가장 일반적인이고 효과적인 방법으로 선발육종이 이용되고 있으며, 어류 및 패류 등의 중요 경제형질들에 대한 양적 유전학적 평가가 선발육종 및 육종효과 예측을 목적으로 적용되어지고 있다 (Argue et al., 2002; Gjerde et al., 2004; Gjedrem, 2005; Zheng et al., 2006). 선발에 의한 개량효과는 선발의 정확도, 집단 내 변이의 정도 그리고 중요형질간의 유전상관 및 표현형 상관 등에

\*Corresponding author: choemk@nfrdi.go.kr

의하여 좌우된다. 전복의 성장능력에 관여하는 주요 경제형질로는 각장, 각폭, 중량 및 비만도 등이 있는데 이들 형질은 모두 양적형질로써 여러 쌍의 유전자가 관여할 뿐만 아니라 환경요인에 의하여서도 영향을 받는다. 따라서 효율적이고 과학적인 전복 선발육종을 위해서는 이상에서 밝힌 형질들에 대한 유전능력 평가가 절대적으로 요구된다. 그러나 전 세계적으로 전복의 양적형질에 대한 개체별 유전능력 평가를 통한 선발 육종연구는 매우 드물다. Lucas et al. (2006)이 열대전복 (tropical abalone, *Haliotis asinina*)에 대하여 Animal model에 의한 유전능력 평가를 실시하고 선발강도 5%에서 세대당 25%의 유전적 개량에 대한 보고 등 일부에 그치고 있으며, 한국의 전복에 대한 양적형질 개량을 위한 개체별 유전능력 평가에 의한 선발육종연구는 본 연구진들에 의해 이루어진 Choe et al. (2007)의 보고를 제외하고는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 한국산 전복의 성장능력을 유전적으로 개량하기 위한 효율적인 육종계획을 수립하는데 필요한 기초 자료를 얻고자 한국산 전복 두 아종의 9개월령에 대하여 성장 관련형질에 대한 유전력과 유전상관, 표현형 상관 및 환경상관 추정과 육종가 예측을 실시하였다.

## 재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 2003년부터 2004년 사이에 전국에서 자연산과 양식산의 북방전복과 등근전복의 2 아종 40마리의 전복을 각각 구분하여 수집하였으며, 이로부터 생산된 가계들의 각각의 개체에 대하여 성장관련 형질자료를 수집하여 유전능력 평가를 실시하였다.

### 전복 수집 및 성숙유도

전복 어미의 수집은 2003년부터 2004년 사이에 전국의 11개소에서 자연산과 양식산의 북방전복과 등근전복의 2 아종의 전복 성패를 각각 구분하여 수집하였다. 본 연구를 위하여 수집된 북방전복은 남해 및 서해안의 자연산 및 양식산을, 등근전복은 제주연안의 자연산 및 양식산 전복을 각각 수집하여 사용하였다. 양식산의 경우, 각 해역의 자연산을 수집하여 몇 대에 걸쳐 양식을 해온 성패들이다. 수집된 전복성패들은 DNA에 의한 유연거리 분석을 위하여 외투막 일부를 sampling 한 후 동시성숙을 위해 특별히 마련된 수조에서 성숙관리를 실시하였다. 자연산 7개소와 양식산 3개소에서의 수집장소 및 마리수는 Table 1에 표시된 바와 같다.

### 가계생산 및 사육

유전능력 평가를 위한 가계생산의 경우 환경요인을 최대한 배제하는 것이 정확도를 높이는데 유리하므로 어미의 동시 성숙, 산란 유발 및 수정으로 생산일을 동일시함으로써 생산일에 의한 오차를 최소화했다. 가계생산은 2004년 5월 20일에 국립수산물과학원 복제주시험포 (구, 패류육종연구센터)에서 실시하였다. 가계생산을 위한 아비, 어미의 비율은 1:1 혹은 1:2의 전형매 혹은 반형매군으로 작성하였다. 또한 유연관계 분석을 실시하여 근친교배에 의한 근교 약세현상을 방지하기

Table 1. Collected locations and numbers of wild type and cultured type of two abalone subspecies

Item	Location	No. Animal
Southern sea	Yeosu (wild / cultured)	4 / 15
	Wando (wild)	5
Western sea	Buan (wild)	3
	Boryeong (cultured)	2
	Baengnyeongdo (wild)	4
Jeju sea	Chujado (wild)	4
	Jejudo (wild / cultured)	1 / 2
Total (wild / cultured)		21 / 19

위해 원거리 교배디자인으로 교배를 실시하였다. 유연관계분석을 실시하기 위해서는 국립수산물과학원에서 자체개발한 유연관계분석 프로그램(FGAP, 2004)을 활용하였다. 교배는 북방전복 및 등근전복의 수정을 동시에 실시하기 위하여 동일한 날에 방란방정 및 수정이 가능했던 디자인으로 실시하였다. 북방전복에 대하여는 자연산(♂)×자연산(♀), 자연산(♂)×양식산(♀), 양식산(♂)×양식산(♀)의 3 타입을, 등근전복에 대하여는 자연산(♂)×자연산(♀), 자연산(♂)×양식산(♀)의 2 타입을 생산하였다. 본 연구에서는 북방전복과 등근전복을 동시에 가계생산을 유도함으로써 두 전복 아종간에 대한 동일 환경 조건에서 유전능력 평가를 실시하여 비교가 가능하도록 하였다. 가계생산 및 수정관 사육은 Choe et al. (2007)의 방법으로 가계별 분리사육을 실시하였다.

### 성장관련 형질 측정

성장관련 형질측정은 채도후 9개월령 (2005년 2월 14일)에 각 가계당 생존 전 개체를 대상으로 각장 (shell length, SL, 0.01 mm), 각폭 (shell width, SW, 0.01 mm) 및 체중 (Body weight, BW, 0.01 g)을 개체별로 각각 측정하였다. 각형 (shell shape)은 SL/SW로, 비만도 (condition factor, CF)는  $(BW \times 1,000)/SL^3 \times 100$  (%)의 공식을 이용하여 계산하였다.

### 통계적 분석방법

#### 환경효과분석

본 연구에서 조사한 성장관련 형질에 영향을 미치는 환경요인을 분석하기 위하여 사육밀도, 교배 sire의 수집해역, 교배 dam의 수집해역 및 교배 sire와 dam의 자연산과 양식산의 교배타입 각각에 대하여 다음과 같은 선형모형에 의해 최소자승법으로 분석하였다(Harvey, 1979).

북방전복의 경우,

$$Y_{ijkl} = \mu + SL_i + DL_j + WC_k + A_l + e_{ijkl}$$

여기서,

$$Y_{ijkl} : ijk\text{ 번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,}$$

- $\mu$  : 전체 평균,
- $SL_i$  :  $i$  번째 교배 sire의 수집해역효과 ( $i = 1, 2$ ),
- $DL_j$  :  $j$  번째 교배 dam의 수집해역 효과 ( $j = 1, 2$ ),
- $WC_k$  :  $k$  번째 자연산(wild)과 양식산(cultured)의 교배타입에 대한 효과 ( $k = 1, 2, 3$ ),
- $A_l$  :  $l$  번째 개체의 임의효과,
- $e_{ijkl}$  : 임의 오차  $\sim N(0, I\delta^2_e)$  이다.

여기서  $Y_{ijkl}$  는  $ijk$  번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,  $\mu$  는 형질의 전체 평균,  $SL_i$  는  $i$  번째 교배 sire의 수집해역효과 ( $i = 1, 2$ ),  $DL_j$  는  $j$  번째 교배 dam의 수집해역 효과 ( $j = 1, 2$ ),  $WC_k$  는  $k$  번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ( $k = 1, 2, 3$ ),  $A_l$  는  $l$  번째 개체의 임의효과,  $e_{ijkl}$  는 임의 오차  $\sim N(0, I\delta^2_e)$  이다.

둥근전복의 경우,

$$Y_{ijk} = \mu + WC_i + A_j + e_{ijk}$$

여기서  $Y_{ijk}$  는  $ijk$  번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,  $\mu$  는 형질의 전체 평균,  $WC_i$  는  $i$  번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ( $i = 1, 2$ ),  $A_j$  는  $j$  번째 개체의 임의효과,  $e_{ijk}$  는 임의 오차  $\sim N(0, I\delta^2_e)$  이다.

본 연구에서 설정한 혼합선형모형은 SAS 통계 프로그램 Package (Ver. 9.1)를 이용하여 분석하였으며, GLM (Generalized linear model) 분석을 통하여 각 요인들에 대한 분산분석을 실시하고, 요소별 최소자승 평균치 및 표준오차를 구하고 유의성 검정을 실시하였다. 또한 북방전복 및 둥근전복에 대한 9개월령까지의 각 개체별 생존개체의 차이로 인한 가족별 사육밀도차가 분석그룹 내에서 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SAS package (ver. 9.1) 에 의한 유의성 검정을 실시하였다.

#### 유전모수 추정

본 연구에서 조사된 두 전복 아종에 대한 각 개체의 각장, 각폭, 중량, 각형 및 비만도의 유전모수 추정을 위하여 다음과 같은 다형질 혼합 모형을 사용하였다.

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

여기서  $Y_{ijkl}$  는  $i$  번째 형질의  $j$  교배타입의  $k$  번째 개체에 대한 각 형질의 측정치,  $\mu_i$  는  $i$  번째 형질의 전체 평균,  $WC_{ij}$  는  $i$  번째 형질의  $j$  번째 자연산과 양식산의 교배타입에 대한 효과 ( $j = 1, 2, 3$  for *H. discus hannai*;  $j = 1, 2$  for *H. discus discus*),  $A_{ik}$  는  $i$  번째 형질의  $k$  번째 개체의 임의효과,  $e_{ijk}$  는 임의 오차  $\sim N(0, I\delta^2_e)$  이다. 다형질 혼합 모형을 행렬에 의한 방정식으로 표시하면 다음과 같다 (Henderson, 1976). 또한 선형 혼합모형에 의한 정규방정식을 풀기 위하여서는 형질에 마지막 효과를 0으로 하는 제한을 가하였다.

$$y = Xb + Zu + e$$

여기서,  $y$ 는 각 형질의 관측치에 대한  $N \times 1$  vector,  $y' = [y_1', y_2', \dots, y_i']$  ( $i =$  형질의 수,  $n =$  각 형질의 관측치의 수,  $N = n \times i$ ),  $b$ 는 알려지지 않은 고정 효과의  $NF \times 1$ 의 vector (공분산의 효과 포함)  $b' = [b_1', b_2', \dots, b_i']$ ,  $X$ 는 고정 효과에 대한  $N \times NF$ 의 계수 행렬,  $u$ 는 알려지지 않은 임의 효과의  $NR \times 1$ 의 vector  $u' = [u_1', u_2', \dots, u_i']$  그리고  $Z$ 는 고정 효과에 대한  $N \times NR$ 의 계수 행렬,  $e$ 는 각 형질에 대한 관측치의 임의 오차  $N \times 1$  vector이다. 본 연구에서는 다형질 혼합모형으로 EL-REML (Restricted Maximum Likelihood method)를 전산 프로그램화한 REMLF90 (Misztal, 1990)을 이용하여 유전모수를 추정하였다.

Groeneveld and Kovac (1990)이 지적한 것과 같이 추정치가 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. 추정된 분산-공분산 값을 이용하여 유전력 (heritability,  $h^2$ )과 유전 상관 (genetic correlation,  $r_G$ ), 표현형 상관 (phenotypic correlation,  $r_P$ ) 및 환경상관 (environmental correlation,  $r_E$ )은 다음과 같이 구하였다.

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

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

$$r_P = \frac{COV_{p(i,j)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_p^2(i) \times \hat{\sigma}_p^2(j)}} \quad (i \neq j)$$

여기서,  $\sigma_a^2$  는 상가적 유전분산 (additive genetic variance),  $\sigma_p^2$  는 표현형 분산 (phenotypic variation),  $\sigma_e^2$  는 환경효과 및 비상가적 유전효과에 의한 잔차분산 (residual variance) 이며,  $Cov_{a(i,j)}$ ,  $Cov_{p(i,j)}$  및  $Cov_{e(i,j)}$  는 두 형질  $i$  와  $j$  간의 유전공분산 (genetic covariance), 표현형 공분산 (phenotypic covariance) 그리고 환경효과 및 비상가적 유전효과에 의한 잔차공분산 (residual covariance) 이다.

육종가(Breeding value, BV)는 최적선형불편예측법 (Best linear unbiased prediction: BLUP) 에 의하여 개체별 추정을 실시하였다. 본 연구에서의 육종효과 (Breeding effect) 는 임의의 선발 강도에서 선발되어진 개체들의 육종가와 집단의 평균 (Mean, M) 을 이용하여,  $BV \times 100 / (BV + M)$  의 공식을 이용하여 산출하였다.

## 결 과

### 가족 생산 및 성장

초기성장시기인 9개월령에서의 성장관련 형질은 북방전복

17가계의 3,504마리와 둥근전복 4가계의 812마리에서 측정이 이루어졌다. 북방전복에서 평균 ± 표준편차가 각각 각장 24.30 ± 4.43 mm, 각폭 17.20 ± 3.06 mm 및 중량 1.90 ± 1.09 g이었으며, 둥근전복에서는 각각 각장 23.95 ± 4.45 mm, 각폭 16.68 ± 2.98 mm 및 중량 1.79 ± 1.01 g 이었다 (Table 2).

Table 2. Number of animals, number of families recorded, overall means (M)±standard deviations (SD), maximum (MAX) and minimum (MIN) of growth-related traits at age of 9 months in two abalone species, *Haliotis discus hanani* and *H. discus discus*

Traits	<i>Haliotis discus hanani</i>			<i>Haliotis discus discus</i>		
	M±SD	MAX	MIN	M±SD	MAX	MIN
Shell length (mm)	24.30±4.43	39.13	11.12	23.95±4.45	40.81	11.76
Shell width (mm)	17.10±3.06	28.56	8.06	16.68±2.98	27.61	7.49
Body weight (g)	1.90±1.09	12.11	0.20	1.79±1.01	7.81	0.21
Shell shape	1.42±0.06	2.30	0.80	1.44±0.06	1.93	1.10
Condition factor (%)	12.06±3.27	88.65	3.07	11.74±0.02	30.72	4.36
No. Animals	287.7±25.48	321	238	292.7±33.3	332	258

성장관련형질에 대한 환경요인 효과

개체의 성장형질에 영향을 미치는 환경효과분석을 위해 Animal model에 의한 선형모형을 이용하여 SAS 통계 프로그램 Package (Ver. 9.1)로 통계분석을 실시하였다.

각장 (shell length), 각폭 (shell width), 중량 (body weight), 각형 (shell shape) 및 비만도 (condition factor) 형질에 영향을 미치는 환경효과를 분석하기 위해 선형 혼합모형에 의한 분석을 실시하였다. 북방전복과 둥근전복 9개월령에서 성장관련형질에 영향을 미치는 환경효과 분석을 위하여 자연산 혹은 양식산 sire와 dam의 교배타입효과를 고정효과로 가정하고 분석을 실시한 분산분석표를 Table 3과 4에 각각 나타내었다. 북방전복 및 둥근전복에 대한 9개월령까지의 각 가계에 대한 평균 생존 개체수는 238~321 및 258~332마리 사이였으며 가계별 생존마리수의 차가 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시한 유의성 검정 결과 개체수가 성장에 미치는 부의 영향은 없는 것으로 나타났다 ( $P<0.05$ ). 따라서 본 연구의 유전모수의 추정에서는 생존개체수에 의한 환경적 영향은 무시 가능한 것으로 판단되었다.

Table 3. Source of variation, degree of freedom (df), mean squares and tests of significance for growth-related traits at age of 9 months in *Haliotis discus hanani*

Source	df	Shell length	Shell Width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Sea location of sire	1	1022.478***	392.517***	22.297***	0.033*	329.366***
Sea location of dam	1	1279.317***	470.466***	52.655***	0.082***	23.378
Wild/Cultured	2	1937.252***	830.272***	128.647***	0.057***	301.546***
Error	3,499	18.440	8.806	1.112	0.004	10.332

\*\*\* $P<0.0001$ ; \*\* $P<0.001$ ; \* $P<0.01$

Table 4. Source of variation, degree of freedom(df), mean squares and tests of significance for growth-related traits at age of 9 months in *Haliotis discus discus*

Source	df	Shell length	Shell Width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Wild/Cultured	1	2.77	1.60	0.23	0.05**	0.002*
Error	810	19.83	8.91	1.05	0.003	0.0002

\*\* $P<0.001$ ; \* $P<0.01$

각 환경요인효과에 따른 성장관련형질의 분산분석과 그에 따른 유의적 수준은 북방전복의 경우, 계측된 모든 형질에 대하여 교배 sire와 dam의 수집해역별 및 교배 sire와 dam의 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 대하여 고도의 유의적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다 ( $P<0.0001$ ). 둥근전복의 경우 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 대하여 각형에서 고도의 유의적인 차이를 보였으나 ( $P<0.001$ ), 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 평균치와 표준오차 및 유의성 검정 결과를 Table 5와 6에 각각 나타냈다.

Table 5. Least squares breed means and their standard errors (M±SE) and significances for growth-related traits at age of 9 months in *Haliotis discus hanani*

Source	Group	No. Animals	Shell length	Shell Width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Sea location of sire	South sea	2,206	26.57±0.29 <sup>a</sup>	18.47±0.20 <sup>a</sup>	2.28±0.07 <sup>a</sup>	1.44±0.004 <sup>a</sup>	11.19±0.22 <sup>b</sup>
	West sea	1,298	23.73±0.14 <sup>b</sup>	16.71±0.10 <sup>b</sup>	1.86±0.03 <sup>b</sup>	1.42±0.002 <sup>b</sup>	12.80±0.10 <sup>a</sup>
Sea location of dam	South sea	2,622	23.39±0.13 <sup>b</sup>	16.53±0.09 <sup>b</sup>	1.172±0.03 <sup>b</sup>	1.42±0.002 <sup>b</sup>	12.24±0.10 <sup>1a</sup>
	West sea	882	26.91±0.31 <sup>a</sup>	18.66±0.22 <sup>a</sup>	2.43±0.08 <sup>a</sup>	1.44±0.004 <sup>a</sup>	11.76±0.24 <sup>2b</sup>
Wild / Cultured	W(♂)×W(♀)	1,458	23.33±0.11 <sup>a</sup>	16.45±0.078 <sup>a</sup>	1.67±0.028 <sup>a</sup>	1.42±0.002 <sup>a</sup>	11.90±0.085 <sup>a</sup>
	W(♂)×C(♀)	599	26.57±0.33 <sup>c</sup>	18.38±0.228 <sup>c</sup>	2.28±0.081 <sup>b</sup>	1.45±0.005 <sup>b</sup>	11.39±0.247 <sup>b</sup>
	C(♂)×C(♀)	1,447	25.55±0.13 <sup>b</sup>	17.94±0.088 <sup>b</sup>	2.28±0.031 <sup>b</sup>	1.42±0.002 <sup>a</sup>	12.71±0.096 <sup>a</sup>

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

Table 6. Significances by least square means and standard errors (M±SE) for growth-related traits at age of 9 months in *Haliotis discus discus*

Source	Group	Shell length	Shell Width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Wild/Cultured	W(♂)×W(♀)	24.01±0.22	16.63±0.15	1.77±0.05	1.44±0.003 <sup>a</sup>	11.57±0.08 <sup>b</sup>
	W(♂)×C(♀)	23.89±0.22	16.72±0.15	1.81±0.05	1.43±0.003 <sup>b</sup>	11.90±0.08 <sup>a</sup>

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

Table 5에서와 같이 북방전복의 성장관련 형질에 대한 최소자승 평균치에 대한 유의성 검정 결과, 교배 sire 및 교배 dam의 수집해역간에 유의적인 성장차이를 보였다. 채묘후 9개월령에서의 북방전복의 성장은 sire의 경우 남해안의 것이 서해안의 것보다 빠른 것으로 나타났으나 dam의 경우 반대의 결과가 나타났다. 또한 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 있어서도 자연산 (♂) × 자연산 (♀)이 다른 타입에 비해 성장이 유의적으로 낮은 것으로 나타났다.

등근전복의 경우 Table 6에서와 같이 성장관련 형질에 대한 최소자승 평균치에 대한 유의성 검정 결과, 교배 sire와 dam의 자연산과 양식산에 의한 교배타입에 있어서 유의적인 성장차이를 보였으나 일률적이진 않았다. 각장은 자연산 (♂) × 자연산 (♀)이 성장이 우수하고 중량에서는 자연산 (♂) × 양식산 (♀)의 성장이 좋은 것으로 나타났으며 각장, 각폭 및 중량에서의 유의적인 차이는 각형과 비만도에 영향을 미쳐 이들 형질에 대한 유의적인 차이를 나타냈다.

유전모수 추정

유전모수 추정은 성장 관련 형질인 각장, 각폭, 중량, 체형 및 비만도에 대해 각각 실시하였다. 분석모형에서 sire와 dam의 자연산 혹은 양식산 효과를 고정효과로 하였다. 다형질 EL-REML 추정 방법에 따른 성장관련형질의 채묘후 9개월령에 대한 북방전복과 등근전복의 유전력 추정치를 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Genetic variance ( $\sigma_a^2$ ), residual variance ( $\sigma_e^2$ ) and heritability ( $h^2$ ) of growth-related traits at age of 9 months in two Korean abalone species

Traits	<i>Haliotis discus hanani</i>			<i>Haliotis discus discus</i>		
	$\sigma_a^2$	$\sigma_e^2$	$h^2$	$\sigma_e^2$	$\sigma_e^2$	$h^2$
Shell length	5.53	13.31	0.29	5.28	15.60	0.25
Shell width	2.57	6.22	0.29	1.98	7.20	0.22
Body weight	0.36	0.74	0.31	0.32	0.83	0.28
Shell shape	0.001	0.003	0.24	.0006	0.005	0.11
Condition factor	0.001	0.033	0.03	.0007	0.011	0.06

북방전복의 경우, 분석모형에서 자연산과 양식산 sire와 dam의 교배타입효과를 고정효과로 유전력을 추정된 결과 각장, 각폭, 중량 및 각형에서 0.24~0.31의 중도의 유전력이 추정된 반면 비만도에서는 0.03으로 저도의 유전력이 추정되었다. 등근전복의 각장, 각폭 및 중량에서 0.22~0.28의 중저도의 유전력이 추정되었고 체형에서는 0.11, 비만에서는 0.06으로 저도의 유전력이 추정되었다.

본 연구에서 추정된 각장, 각폭, 중량, 각형 및 비만도에 대한 북방전복과 등근전복의 유전상관 및 표현형 상관은 Table 8과 9에 각각 나타내었다.

북방전복과 등근전복의 성장관련형질에 대한 유전상관은 각장과 각폭, 각장과 중량 및 각폭과 중량 간에 각각 0.97, 0.95, 0.96, 0.99, 0.99로 추정되어 두 종 모두에서 형질들

간의 높은 유전상관을 나타내었다. 표현형 상관의 경우에서도 두 종 모두에서 각장과 각폭, 각장과 중량 및 각폭과 중량간에 0.91이상의 높은 상관을 나타내었다. 그러나 북방전복의 경우 각형 및 비만도와 관련한 유전상관 및 표현형 상관은 극히 저도 혹은 부의 상관을 나타내었다. 또한 등근전복의 각형과 관련하여서는 북방전복과 비교하여 각장, 각폭, 중량간에 비교적 높은 유전상관을 나타내었으나, 표현형상관은 저도의 값을 나타내었다. 비만도에서는 북방전복과 같이 저도 혹은 부의 상관관계를 나타내었다.

Table 8. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits at age of 9 months in *Haliotis discus hannai*

Traits	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Shell length		0.97***	0.91***	0.21***	-0.008
Shell width	0.97		0.91***	-0.01	0.05*
Body weight	0.95	0.96		0.10***	0.30***
Shell shape	0.25	0.03	0.10		-0.25***
Condition factor	-0.31	-0.28	-0.31	-0.14	

\*\*\* $P < 0.0001$ ; \* $P < 0.01$ ; Genetic correlations are lower diagonal and phenotypic correlations are upper diagonal.

Table 9. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits at age of 9 months in *Haliotis discus discus*

Traits	Shell length	Shell width	Body weight	Shell shape	Condition factor
Shell length		0.97***	0.94***	0.26***	0.08
Shell width	0.99		0.93***	0.02	0.15***
Body weight	0.99	0.99		0.15***	0.29***
Shell shape	0.69	0.58	0.60		-0.28***
Condition factor	-0.73	-0.68	-0.69	-0.70	

\*\*\* $P < 0.0001$ ; Genetic correlations are lower diagonal and phenotypic correlations are upper diagonal.

Table 10. Breeding effects expected in selection intensity by breeding values of growth-related traits on top superior populations at 9-month old in *Haliolis discus hannai*

Traits	Intensity									
	<i>Haliolis discus hanani</i>									
	5%		10%		20%		30%		40%	
	Mean	%	Mean	%	Mean	%	Mean	%	Mean	%
Shell length (mm)	3.54	12.72	3.07	11.22	2.43	9.09	1.93	7.36	1.49	5.78
Shell width (mm)	2.49	12.65	2.17	11.20	1.74	9.19	1.36	7.33	1.05	5.75
Body weight (g)	0.99	34.26	0.85	30.91	0.66	25.78	0.51	21.16	0.38	16.67
Shell shape	0.06	4.05	0.05	3.40	0.04	2.74	0.03	2.07	0.02	1.39
Condition factor (%)	0.04	0.33	0.03	0.25	0.03	0.25	0.02	0.17	0.02	0.17

또한, 최적선형불편예측법(BLUP)에 의한 성장관련형질의 채묘후 9개월령에서의 북방전복에 대해 추정된육종가는 각장이 -6.45~5.83 mm, 각폭이 -4.32~4.11 mm, 중량이 -1.22~1.79 g, 각형이 -0.21~0.33 그리고 비만도가 -0.98~0.35의 범위로 추정되었다. 또한 둥근전복의 육종가는 각장이 -5.12~5.25 mm, 각폭이 -3.70~3.37 mm, 중량이 -0.78~1.70 g, 각형이 -0.26~0.15 그리고 비만도가 -0.64~0.014의 범위로 추정되었다. 추정된 육종가에 의한 임의의 선발 강도별 예측되는 육종효과를 Table 10과 11에 각각 나타내었다.

Table 11. Breeding effects expected in selection intensity by breeding values of growth-related traits on top superior populations at 9-month old in *Haliotis discus discus*

Intensity	<i>Haliotis discus discus</i>									
	5%		10%		20%		30%		40%	
Traits	Mean	%	Mean	%	Mean	%	Mean	%	Mean	%
Shell length (mm)	3.11	11.49	2.49	9.42	1.97	7.60	1.66	6.48	1.37	5.41
Shell width (mm)	2.02	10.79	1.59	8.69	1.21	6.76	1.03	5.81	0.87	4.95
Body weight (g)	0.85	32.08	0.63	25.93	0.48	21.05	0.39	17.80	0.33	15.49
Shell shape	0.038	2.59	0.027	1.85	0.020	1.38	0.016	1.11	0.013	0.90
Condition factor (%)	0.014	10.45	0.014	10.45	0.014	10.45	0.013	9.77	0.009	6.98

본 연구에서의 육종효과 (Breeding effect) 는 임의의 선발 강도에서 선발되어진 개체들의 육종가 (Breeding value)와 집단의 평균 (Mean) 을 이용하여 산출하였다. 최적선형불편예측법(BLUP)에 의해 추정된 육종가를 선발 강도에 따라 예측되어지는 선발효과를 보면 북방전복의 경우 선발 강도 5%에서는 각장이 12.72%, 중량이 34.26%, 둥근전복의 경우 각장이 11.49%, 중량이 32.08%의 개량효과가 있는 것으로 나타났고, 선발 강도 40%에서는 북방전복의 경우 각장이 8.62%, 중량이 24.87%, 둥근전복의 경우 각장이 5.41%, 중량이 15.49%의 개량효과가 있는 것으로 예측되었다.

## 고 찰

어류 및 패류의 많은 수산양식생물들에서 선발육종을 통하여 성장률을 크게 향상시키는 개량 결과를 얻어왔다 (Bentsen et al., 1998; Argue et al., 2002; Gjerde et al., 2004; Gjedrem, 2005). 전복의 성장률에 대한 유전력은 0.30~0.36으로 중도의 유전력이 추정되고 있다 (Jonasson et al., 1999; Lucas et al., 2006). Jonasson et al. (1999)은 *Haliotis rufescens*의 성장률에 대한 유전력 추정을 실시하고 8개월령에서는 0.08로, 17개월령에서는 0.30, 24개월령에서는 0.34로 추정된 결과를 보고하였다. Rourke et al. (2003) 은 각장과 중량사이에서의 0.9 이상의 높은 상관을 보고하였다. Kawahara et al. (1997)은 *H. discus hannai*는 선발을 통하여 세대당 10~15%의 개량 뿐 만 아니라

13개월령에서의 중량과 3.5년의 중량간의 높은 상관을 보고하였다.

한편, 전복 양식에서는 성장률 혹은 marketing size가 전복 양식 산업의 수익을 결정하는 매우 중요한 항목이다. 또한 선발육종을 통한 형질의 개량을 위해서는 선발시기, 선발방법 및 교배방법 등이 매우 중요하다. 그 중 선발 시기는 marketing size에 실시하는 것이 가장 이상적인데, 전복의 경제적 주요 marketing size는 전복의 양식 산업적인 측면으로 볼 때 크게 종묘시기와 양성시기의 두 부분으로 형성되고 있어 전복을 연구하는 데는 이와 같은 크기에 도달하는 연령을 대상으로 하는 선발육종연구가 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 한국산 북방전복과 둥근전복에 대한 성장률 향상을 위한 전복 육종 프로그램 연구의 일환으로 9개월령에 대한 한국산 전복 두 아종의 유전모수 추정을 실시하였다. 9개월령 북방전복의 각장, 각폭 및 중량에 대한 유전력은 0.29~0.31로, 둥근전복은 0.22~0.28의 범위로 추정되었다. 또한 이들 두 아종에 대한 유전상관 및 표현형 상관은 >0.91로 이들 형질간의 높은 상관관계가 추정되었다. 유전모수의 추정은 선발육종프로그램의 디자인과 실행에 관한 결정을 위해 매우 중요하다 (Mgaya, 2000). 가축에서는 농장의 수익성 향상을 위한 방법으로 선발 육종에 의한 증명된 많은 보고들이 있음에도 불구하고 수산양식생물 육종에의 적용은 매우 더디게 진행되어져 오고 있다 (Lymbery et al., 2000; Gjedrem, 2002; Mair, 2002). 특히 전복과 *Haliotids*에 대한 성장률 유전력 추정에 관한 연구는 매우 소수가 있을 뿐이다 (Hara and Kikuchi, 1992; Kawahara et al., 1997; Jonasson et al., 1999, Mgaya, 2000). 그러나 이들 모두는 선발 육종에 의해 성장률이 향상될 것을 시사하였다. Lucas et al. (2006)은 12개월령 *H. asinina* 에 대해 microsatellite에 의한 친자확인법을 이용하여 유전모수를 추정하고, 각장, 각폭 및 중량에 대한 유전력은 0.48, 0.38, 0.36으로 각각 보고하였다. 그리고 각장과 중량, 각폭과 중량간의 유전상관은 0.98 이상인 것으로 추정하였다. 이들의 결과는 본 연구에서 실시한 9개월령 북방전복과는 유사한 것으로 나타났으며, 9개월령 둥근전복은 이전의 5개월령, 12개월령의 보고들에 비해 다소 낮은 수치로 나타났다. Choe et al. (2007) 에 의한 5개월령의 북방전복, 둥근전복에 대해서는 전복치패에 대해 보고한 유전력 0.73~0.78 및 0.87~0.89 보다는 낮은 값으로 나타났다. Choe et al. (2008)에 의해 추정된 북방전복과 둥근전복 12개월령에서의 성장관련형질에 대한 유전력, 북방전복이 각장, 각폭 및 중량에서 0.40 이상, 둥근전복에서는 각장 0.33, 각폭 0.26 및 중량 0.51 과 비슷한 결과를 나타내었다. 이는 기존에 보고된 red abalone (*H. rufescens*)의 0.34, tropical abalone (*H. asinina*)의 0.48 (shell length)과 유사한 값이다 (Jonasson et al., 1999 and Lucas et al., 2006). 유전율은 육종가의 예측에 영향을 미치므로 본 연구에 있어서 추정된 유전력들은 산업적으로 매우 유용한 것이나, 유전력은 사육집단과 환경에 따라 변화를 유발시킨다는 것을 함께 알아둘 필요가 있다 (Falconer and Mackey, 1996).

북방전복 및 둥근전복의 9개월령에 대한 유전상관 및 표현

형 상관은 각장, 중량 및 각폭에 대한 유전상관이 0.95 이상으로 매우 높게 추정되었으며, 표현형 상관의 경우에도 두 종 모두에서 0.91 이상으로 추정되어 하나의 성장관련 형질에 대한 선발 육종만으로도 다른 형질의 개량을 얻을 수 있는 것을 시사하였다. 그러나 각형과 비만도에서 나타난 유전상관과 표현형 상관에서의 낮거나 부의 상관관계는 이시기에서의 개량에 대해서는 개량효과가 거의 없거나 부의 효과가 시사되어졌으며, 각장, 각폭 및 중량에 의한 개량에 의해서도 거의 개량효과를 볼 수 없거나 부의 결과를 초래 할 수 있음을 시사하였다.

양적유전학적 이론에 따르면 유전력이 0.5 이상의 고도의 유전력을 가진 형질에 대해서는 개체선발이 유용하고, 0.5 미만의 중도, 혹은 저도의 유전력을 가진 형질에 대해서는 가족선발이 유용한 것으로 알려져 있다 (Falconer and Mackey, 1996). 따라서 본 연구에서 추정된 북방전복과 둥근전복 9개월령에 대한 0.22~0.31의 중저도의 유전력 및 그 외의 유전모수들을 기초로 우리나라의 북방전복과 둥근전복은 가족선발이나 조합선발로 높은 선발육종효과를 얻을 수 있을 것으로 나타났다.

일반적으로 가족의 개량에 이용되는 육종가의 추정방법은 선발지수법 (Selection index), 최소제곱법 (Least-square method) 및 최적선형불편예측법 (Best linear unbiased prediction: BLUP) 등이 있으며, 이 중 Henderson이 제시한 최적선형불편예측법 (BLUP)이 유전적 이론이나 환경적 조건을 만족시키는 가장 유리한 방법으로 알려져 있다 (Henderson, 1974; Schaeffer and Wilton, 1981). 본 연구에서는 수산생물의 육종가 추정에 가장 널리 쓰이는 최적선형불편예측법 (BLUP)에 의하여 개체별 육종가를 추정하였다. 또한 추정된 개체별 육종가로 선발 강도별 육종효과에 대해서도 예측을 실시하였다. 본 연구에서 추정된 9개월령 전복 두 아종에 대한 육종효율은 선발 강도에 따라 북방전복의 경우 선발 강도 5%에서는 각장이 12.72%, 중량이 34.26%, 둥근전복의 경우 각장이 11.49%, 중량이 32.08%의 개량효과가 있는 것으로 나타났고, 선발 강도 40%에서는 북방전복의 경우 각장이 8.62%, 중량이 24.87%, 둥근전복의 경우 각장이 5.41%, 중량이 15.49%의 개량효과가 있는 것으로 예측되었다. 이러한 결과는 북방전복 및 둥근전복의 경우 중량의 육종가에 의한 선발만으로도 양식 종으로서의 개량효과가 크게 기대됨을 시사하였다. Hara and Kikuchi (1992), Hara and Sekino (2007)와 Kawahara et al. (1997)은 세대당 10~23%의 실제 육종효율에 대해 보고하였고, Lucas et al. (2006)은 5%의 선발 강도에서 각장의 경우 25%, 각장과의 관계로부터 추정된 중량의 경우 56%의 개량효과를 예측하였다. 본 연구 결과는 이들의 연구와 유사하게 나타났다. 그러나 이와 같은 높은 강도에서의 선발은 세대를 거듭함에 따라 유전자 빈도변화와 표현형적 변이 축소를 야기한다 (Falconer and Mackay, 1996). 따라서 선발된 그룹에서 가계들의 다양성을 최대화로 근친의 가능성을 감소시키는 것이 필요하다.

선발 육종연구의 대부분은 본 연구에서와 같이 개별적인

수조에서 각기 별도로 사육되어진 가계간의 비교에 의해 수행되고 있다. 이런 선발 육종연구들은 수행하기 위하여 요구되어지는 기반 시설 및관리에 많은 비용이 소요 된다 (Herbinger et al., 1995; de Leon et al., 1998). 또한 이것들이 가계의 크기를 제한하는 요인이 되기도 한다. 따라서 최근에는 이러한 방법에 대한 대안으로 유전자 마커를 이용하여 친자확인을 하는 혼합사육법에 의한 연구가 시도되고 있다. 이러한 혼합사육법은 사육비용의 절감 및 환경요인을 최소한으로 줄여 추정의 정확도를 높일 수 있는 장점이 있으나, 친자확인을 위한 DNA 마커의 개발이나 DNA분석 등의 추가적인 비용발생으로 인해 가계내의 최적 크기의 마리수를 결정하는 것이 중요하다 (Hayes et al., 2007). Winkler et al. (2007)은 치패기 북방전복의 생리관련 형질인 산소 소비량, 암모니아 배출과 ON율에 대한 유전력이 각각 0.16, 0.08과 0.64로 추정하여 보고하였다. 이와 같이 한국산 전복양식 산업을 위한 선발육종을 위하여 성장관련 형질 뿐 만 아니라 생리적 형질, 내병성 형질 등에 대한 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있을 것이다.

또한 선발육종을 위해서는 많은 시간과 노력, 그리고 자본이 소요되는 만큼 선발시기를 가능한 앞당기는 것이 무엇보다도 중요하며, 전복의 marketing size가 다양화되고 있어각각의 산업적 목적에 맞는 크기에서의 연구도 함께 수행되어야 할 것이다. 그리고 전복 산업이 종묘와 양성으로 나뉘어져 형성되어 있고 초기 연령에서는 종묘로서의 marketing size에 해당함에 따라 이시기에서의 전복에 대한 선발 및 도태에 대한 적정 지침 마련이 절실히 요구되고 있다. 향후 이를 위해서는 초기 생활시기를 비롯한 전 생애에 걸친 유전적인 특성 및 능력에 관한 지속적인 연구가 함께 이루어져야 할 것이다.

## 사 사

이 논문은 국립수산물연구원 (패류육종프로그램 개발 (전복), RP-2009-AQ-093) 의 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 참고문헌

- Argue BJ, Arce SM, Lotz JM, and Moss SM. 2002. Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura Syndrome Virus. *Aquaculture* 204, 447-460.
- Bentsen HB, Eknath AE, Palada-de Verra MS, Danting JC, Bolivar HL, Reyes RA, Diorusio EE, Longalong FM, Circa AV, Tatamen MM and Gjerde B. 1998. Genetic improvement of farmed tilapias : growth performance in a complete dialled cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 160, 145-173.
- Choe MK, Han SJ, Yang SG, Won SW, Park CJ, and Yeo IK. 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. Korean J Malacology 23 (2), 217-225.
- Choe MK, Han SJ, Yang SG, Won SW, Park CJ and Yeo IK. 2008. Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 1-year old of two Korean abalone of subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. Korean J Malacology 24 (2), 121-130.
- de Leon FJG, Canonne M, Quillet E, Bonhomme F and Chatain B. 1998. The application of microsatellite markers to breeding programmes in the sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture 159, 303-316.
- Falconer DS and Mackey TFC. 1996. Introduction to quantitative genetics Prentice Hall. New York, pp. 480.
- Gjedrem T. 2002. Selective breeding essential for further productivity, sustainability in aquaculture. Global Aquaculture Advocate 5, 46-47.
- Gjedrem T. 2005. Selection and breeding programs in aquaculture Springer Netherlands. pp. 364.
- 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.
- Gordon HR and Cook PA. 2004. World abalone fisheries and aquaculture update: supply and market dynamics. J Shellfish Res 23, 935-939.
- Groeneveld and Kovac. 1990. Groeneveld E and Kovac M. A note on Multiple solutions in multivariate restricted maximum likelihood covariance component estimation. J Dairy Sci 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.
- Hara M and Sekino M. 2007. Parentage testing for hatchery-produced abalone *Haliotis discus hannai* based on microsatellite markers : preliminary evaluation of early growth of selected strains in mixed family farming. Fisheries Science 73, 831-836.
- Harvey WR. 1979. Least squares analysis of data with unequal subclass numbers. USDA ARS 20, 8.
- Hayes B, Baranski M, Goddard ME and Robinson N. 2007. Optimization of marker assisted selection for abalone breeding programs. Aquaculture 265, 61-69.
- Henderson CR. 1974. General flexibility of linear model techniques for sire evaluation. J Dairy Sci 57, 963.
- Herbinger CM, Doyle RW, Pitman ER, Paquet D, Mesa KA, Morris DB, Wright JM and Cook D. 1995. DNA fingerprint based analysis of paternal and maternal effects on offspring growth and survival in communally reared rainbow trout. Aquaculture 137, 245-256.
- Jonasson J, Stefansson SE, Gudnason A and Steinarsson A. 1999. Genetic variation for survival and shell length of cultured red abalone (*Haliotis refescens*) in Iceland. J Shellfish Research 18, 621-625.
- Kawahara M, Noro M, Omori O, Hasekura O and Kijima A. 1997. Genetic progress for growth in different selected populations of abalone, *Haliotis discus hannai*, at different hatcheries. Fish Genet Breed Sci 25, 73-80.
- 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.
- Lymbery AJ. 2000. Genetic improvement in the Australian aquaculture industry. Aquac Res 31, 145-149.
- Mair GC. 2002. Domestication and brookstock management-Implications for Long-term Quality of Cultured Stocks. Global Aquaculture Avocate 5, 39-42.
- Mgaya YD. 2000. A quantitative genetic analysis of juvenile growth for the abalone *Haliotis tuberculata* Linnaeus. In : Recent Advances in Marine Biotechnology. Fingerman M, Nagabhushanam R. (Eds.), Science Publishers pp. 59-73.
- 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.
- Rourke M, Baranski M, Mckinnon L, Hayes B and Robinson N. 2003. Preliminary investigation of growth and meat quality traits in farmed abalone. Proc 15th Assoc Advanc Anim Breed Genet Melbourne, Victoria.
- Schaeffer LR and Wilton JW. 1981. Comparison of single and multiple trait beef sire evaluations. Can J Anim Sci 61, 565.
- Winkler FM, Gonzalez GV, Valencia MP and Brokordt KB. 2007. Repeatability and heritability ( $h^2$ ) of physiological traits in juvenile of the Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*). Seventh International



Congress of Comparative Physiology and Biochemistry,  
Salvador, Bahia, Brazil, August 12-16 : S22

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.

---

2009년 8월 19일 접수  
2009년 10월 27일 수정  
2009년 12월 1일 수리