

9개월령 참굴의 계측형질에 대한 유전모수 및 육종가 추정

박기열·김현철^{1*}·김병학·최낙중²·문태석
국립수산과학원 남해특성화연구센터, ¹육종연구센터, ²제주수산연구소

Estimation of Genetic Parameters and Breeding Value for Measurement Traits of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* at Nine Months Old

Ki Yeol Park, Hyun Chul Kim^{1*}, Byoung Hak Kim, Nack Joong Choi² and Tae Seok Moon

South Sea Mariculture Research Center, NFRDI, Namhae 668-821, Korea
¹*Genetic and Breeding Research Center, NFRDI, Geoje 656-842, Korea*
²*Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju 690-756, Korea*

Genetic and phenotypic parameter estimates for measurement traits were obtained from pacific oyster *Crassostrea gigas* at nine months old. For the growth-related traits among nine months old pacific oyster, heritabilities of shell length, shell height, shell width, total weight, body weight and shell weight were estimated as 0.4855, 0.5248, 0.0884, 0.7236, 0.7726 and 0.6957, respectively. Genetic correlations among the growth-related traits of pacific oyster at nine months old, shell length, shell height, shell width, total weight, body weight, shell weight were showing highly positive correlations. Breeding value on growth-related traits of pacific oyster at nine months old were estimated as shell length -7.044-11.870, shell height -11.380-18.370, shell width -1.234-2.831, total weight -8.339-17.140, body weight -1.813-3.507 and shell weight -4.422-8.837. The results show that there is quite substantial additive genetic variance for measurement traits in pacific oyster that can be exploited through selective breeding.

Key words: Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, Genetic parameters, Heritability

서 론

굴은 세계적으로 현재 3속, 100종 이상으로 분류되고 있으며, 그 중 주요 산업종은 20여종에 이른다. 우리나라에 분포하는 굴류 중 산업적으로 중요한 종은 양식생산량이 가장 많은 참굴이며, 그 외 강굴, 바윗굴, 벚굴 등이 있다.

우리나라의 굴 수하식 양식은 1962년 경남 창원, 통영 지방을 중심으로 시작한 이래, 발전을 거듭하여 현재는 통영, 거제, 고성, 창원, 남해 및 여천 등의 남해안 주변 해역은 세계적인 굴 산지로 자리 잡게 되었다. 이와 같은 굴 양식 산업의 급속한 발전으로 2007년도의 경우 굴 양식 생산량은 321,276톤으로, 수산물 총 생산량 3,270,727톤의 9.8%, 양식 생산량 1,385,785톤의 23.2%, 패류 양식 생산량 478,646톤의 67.1%를 점유함으로써 (MIFAFF, 2008) 우리나라 양식 수산물 생산에서 굴이 차지하는 비중은 매우 높다.

그러나 최근에 이르러 굴 양식장이 장기간 양식에 의한 노후화, 산업화에 따른 환경악화, 과밀양식에 의한 양적생산의 치중으로 질적 저하 및 생산과잉 등이 지적되고 있어, 굴 양식의 안정적인 생산, 양질의 어미 확보 및 관리와 더불어 우수한 품종을 개발하여 장기적이고 체계적인 육종연구가 시급한 실정이다.

국립수산과학원에서는 참굴 품종개량 연구를 2005년부터 시작하여 유전적 다양성이 높은 속성장 참굴의 개발로 양식 경쟁력 확보를 위한 연구에 주력하고 있다. 본 연구는 참굴 양식산업의 지속적인 생산을 위한 품종개량의 기초 연구로서 9개월령 참굴의 계측형질에 대한 유전모수와 육종가를 추정하여 국내에서 양식되고 있는 참굴의 유전적 개량을 위한 기초 자료를 제공하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구는 남해특성화연구센터에서 중점 추진 중인 참굴 품종개량의 일환으로 2005년 참굴 10개 집단을 사육한 결과에 의거, 성장이 우수한 가덕(GD), 곰소(GS), 일본(JP), 자란(JR) 등 4개 집단을 어미로 사용하였으며, 종 다양성을 높이기 위해 1:1 교배하여 11개 F1 집단 생산하였다. 이를 경남 거제시 사등면 앞바다 및 남해특성화연구센터 중간육성장장에서 양성하였으며, 부화 후 9개월령 참굴의 계측형질(각장, 각고, 각폭, 전중, 육중, 각중)을 측정하였다.

통계적 분석방법

사육지역, 교배수컷 및 교배암컷 수집장소의 효과

*Corresponding author: kimhc@nfrdi.go.kr

부화후 9개월령 참굴의 각장, 각고, 각폭, 전중, 육중 및 각종 형질에 영향을 미치는 효과를 분석하기 위하여 다음과 같은 선형모형에 의해 분산분석을 실시하였다.

$$Y_{ijklm} = \mu_i + R_{ij} + RS_{ik} + RD_{il} + RS \times RD_{ikl} + e_{ijklm}$$

여기서,

- Y_{ijklm} : i 번째 형질의 j 번째 생산지역, k 번째 교배수컷의 수집장소, l 번째 교배암컷의 수집장소에 속하는 개체에 대한 측정치,
- μ_i : i 번째 형질의 전체 평균,
- R_{ij} : i 번째 형질의 j 번째 생산지역의 효과 ($j =$ 거제, 남해),
- RS_{ik} : i 번째 형질의 k 번째 교배수컷 수집장소의 효과 ($k = JP, GD, JR, GS$),
- RD_{il} : i 번째 형질의 l 번째 교배암컷 수집장소의 효과 ($k = JP, GD, JR, GS$),
- $RS \times RD_{ikl}$: i 번째 형질의 k 번째 교배수컷 수집장소와 l 번째 교배암컷 수집장소의 효과 ($k = JP, GD, JR, GS$),
- e_{ijklm} : 임의 오차 $\sim N(0, I\sigma_e^2)$ 이다.

위의 선형 혼합모형에 의한 정규방정식을 풀기 위하여 형질에 마지막 효과를 0으로 하는 제한을 가하였다. 본 연구에서 설정한 선형 혼합모형은 PC용 SAS Package (Ver. 9.1)를 이용하여 분석하였으며, GLM (Generalized linear model) 분석 결과 제공되는 4가지 제곱합 중에서 Type III 제곱합을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 평균치간의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 실시하여 유의수준 5%로 각각 검정하였다.

유전모수 및 육종가의 추정

각 형질에 대한 상가적 유전효과에 대한 유전모수와 육종가를 추정하기 위하여 다음과 같은 다형질 혼합모형을 사용하였다.

$$Y_{ijk} = \mu_i + R_{ij} + a_{ijk} + e_{ijk}$$

여기서,

- Y_{ijk} : i 번째 형질에서 j 번째 생산지역에 속하는 개체에 대한 측정치,
- μ_i : i 번째 형질의 전체 평균,
- R_{ij} : i 번째 형질의 j 번째 생산지역의 효과($j =$ 거제, 남해),
- a_{ijk} : 개체에 대한 임의 효과 $\sim N(0, Ad_a^2)$, A 는 혈연 계수행렬,
- e_{ijk} : 임의 오차 $\sim N(0, I\sigma_e^2)$ 이다.

본 연구에서는 EM-REML algorithm을 바탕으로 전산 프로그램인 REMLF90 (Misztal, 2002)을 이용하여 유전모수를 추정하였으며, 수렴척도는 10^{-11} 이하로 분산을 구하였다. 이를 통하여 얻어진 분산값을 이용하여 유전력과 유전상관은 다음

의 식을 이용하여 구하였다.

$$h^2 = \frac{\widehat{\sigma}_a^2}{\widehat{\sigma}_a^2 + \widehat{\sigma}_e^2} \quad \text{여기서, } \sigma_a^2 = \text{Additive genetic variance}$$

$$r_G = \frac{\widehat{COV}_{a(i,j)}}{\sqrt{\widehat{\sigma}_a^2(i) \times \widehat{\sigma}_a^2(j)}} \quad (i \neq j) \quad \sigma_e^2 = \text{Residual variance}$$

$$r_P = \frac{\widehat{COV}_{p(i,j)}}{\sqrt{\widehat{\sigma}_p^2(i) \times \widehat{\sigma}_p^2(j)}} \quad (i \neq j) \quad h^2 = \text{Heritability}$$

$$r_G = \text{Genetic correlation}$$

$$r_P = \text{Phenotypic correlation}$$

결과 및 고찰

분산분석

성장형질의 분산분석

본 연구에서 분석한 성장형질인 각고를 제외한 대부분의 형질에 대한 생산지역, 교배수컷의 수집장소, 교배암컷의 수집장소, 암컷, 수컷 수집장소의 상호효과 모두에서 유의성을 나타내었다 ($P < 0.001, P < 0.01$). 특히 생산지역에 따른 각장과 각고는 유의적인 차이를 보였으나, 각폭, 전중, 육중, 각종에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Table 1).

Table 1. Source of variation, degree of freedom, mean squares and tests of significance for growth-related traits of pacific oyster at 9 months old

Source	d.f.	Shell length	Shell height	Shell width	Total weight	Body weight	Shell weight
Producing area	1	2963.51***	425.56**	58.11	103.22	2.23	29.64
Location of sire	3	174.31***	1134.76***	22.32	678.85***	30.37***	199.89***
Location of dam	3	473.19***	887.80***	38.40	675.39***	28.19***	168.65***
RS×RD	4	95.41**	381.59***	20.26	135.83***	2.67	45.04***
Error	648	24.32	56.27	10.55	23.82	0.95	7.00

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$

생산지역, 교배수컷 및 교배암컷 수집장소의 효과

생산지역의 효과

부화후 9개월령 참굴의 성장형질에 대한 생산지역별 최소자승평균치를 살펴보면, 거제지역에서 생산된 참굴의 각장, 각고, 각폭, 전중, 육중 및 각종이 각각 33.82 ± 0.29 mm, 63.14 ± 0.38 mm, 17.33 ± 0.19 mm, 18.39 ± 0.28 g, 3.34 ± 0.06 g, 10.46 ± 0.15 g으로 나타났으며, 남해지역에서 생산된 참굴은 각각 38.06 ± 0.29 mm, 64.74 ± 0.49 mm, 17.92 ± 0.17 mm, 19.18 ± 0.31 g, 3.22 ± 0.06 g, 10.88 ± 0.17 g으로 조사되어 육중을 제외한 대부분의 형질에서 거제지역보다는 남해지역에서 생산된 참굴이 유의적으로 성장이 뛰어난 것으로 나타났다 (Table 2).

Table 2. Least-squares means and standard errors of growth-related traits of pacific oyster at 9 months old by producing area

Producing area	Shell length	Shell height	Shell width	Total weight	Body weight	Shell weight
Geoje	33.79±0.28 ^b	63.29±0.43 ^b	17.28±0.18 ^b	18.33±0.28 ^b	3.35±0.06	10.44±0.15 ^b
Namhae	38.03±0.28 ^a	64.90±0.43 ^a	17.88±0.18 ^a	19.13±0.28 ^a	3.23±0.06	10.86±0.15 ^a

Different superscript indicate significantly different ($P<0.05$).

교배수컷 수집장소의 효과

부화 후 9개월령 참굴의 성장형질에 대한 교배수컷 수집장소별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 수집 장소간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다 (Table 3). 자란만에서 수집한 수컷을 사용하여 생산된 후대의 각장, 각고, 각폭, 전중, 육중 및 각중이 각각 38.12±0.52 mm, 66.75±0.80 mm, 18.21±0.34 mm, 21.63±0.52 g, 3.97±0.10 g, 12.26±0.28 g으로 나타나, 가덕, 곰소, 일본에서 수집하여 생산된 후대보다 성장이 유의적으로 빠른 것으로 나타났다 ($P<0.05$).

Table 3. Least-squares means and standard errors of growth-related traits of pacific oyster at 9 months old by collected location of sire

Collected location of sire	Shell length(mm)	Shell height(mm)	Shell width(mm)	Total weight(g)	Body weight(g)	Shell weight(g)
Gadeok	32.79±0.52 ^c	59.05±0.80 ^c	16.89±0.34 ^b	14.50±0.52 ^c	2.42±0.10 ^c	8.36±0.28 ^c
Gomso	36.87±0.40 ^{ab}	67.00±0.61 ^a	17.58±0.26 ^{ab}	19.58±0.40 ^b	3.45±0.08 ^b	11.22±0.22 ^b
Japan	35.97±0.32 ^b	63.56±0.49 ^b	17.64±0.21 ^{ab}	19.20±0.32 ^b	3.33±0.06 ^b	10.77±0.17 ^b
Jaran	38.12±0.52 ^a	66.75±0.80 ^a	18.21±0.34 ^a	21.63±0.52 ^a	3.97±0.10 ^a	12.26±0.28 ^a

Different superscript indicate significantly different ($P<0.05$).

교배암컷 수집장소의 효과

부화 후 9개월령 참굴의 성장형질에 대한 교배암컷 수집장소별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 수집 장소간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다 (Table 4). 일본에서 수집한 암컷을 사용하여 생산된 후대의 각장, 각고, 각폭, 전중, 육중 및 각중이 각각 37.88±0.40 mm, 65.46±0.61 mm, 18.29±0.26 mm, 21.51±0.40 g, 3.82±0.08 g, 12.06±0.22 g으로 나타나, 가덕, 곰소, 자란만에서 수집하여 생산된 후대보다 성장이 유의적으로 빠른 것으로 나타났다 ($P<0.05$).

Table 4. Least-squares means and standard errors of growth-related traits of pacific oyster at 9 months old by collected location of dam

Collected location of dam	Shell length(mm)	Shell height(mm)	Shell width(mm)	Total weight(g)	Body weight(g)	Shell weight(g)
Gadeok	36.68±0.52 ^{ab}	67.61±0.80 ^a	17.22±0.34 ^b	19.96±0.52 ^b	3.62±0.10 ^a	10.22±0.28 ^b
Gomso	35.64±0.40 ^b	60.64±0.62 ^d	17.56±0.26 ^{ab}	16.65±0.40 ^c	2.88±0.08 ^b	9.60±0.22 ^c
Japan	37.88±0.40 ^a	65.46±0.61 ^b	18.29±0.26 ^a	21.51±0.40 ^a	3.82±0.08 ^a	12.06±0.22 ^a
Jaran	33.43±0.40 ^c	62.66±0.62 ^c	17.25±0.26 ^b	16.80±0.40 ^c	2.83±0.08 ^b	9.73±0.22 ^c

Different superscript indicate significantly different ($P<0.05$).

유전모수

유전력

부화 후 9개월령 참굴의 성장형질에 대한 유전력 추정치를 살펴보면 (Table 5), 각장 및 각고는 각각 0.486, 0.525로 추정되었으며, 전중, 육중 및 각중은 각각 0.724, 0.773, 0.696으로 높게 추정되었다. 반면 각폭은 0.088로 추정되어 낮은 유전력을 보였다. 이는 Davis (2000)가 보고한 *Crassostrea virginica*의 부화 후 7개월령의 유전력 0.1~0.51 범위보다 높은 결과이고, Toro et al. (1995)이 보고한 *Ostrea chilensis*의 부화 후 8개월령의 유전력 0.35~0.69 범위보다 높은 결과이며, Dégremont et al. (2007)이 보고한 *Crassostrea gigas*의 부화 후 8개월령의 유전력 0.07~0.15 범위보다 높은 결과이다. 유전력이 높게 추정된 형질인 각장, 각고, 전중, 육중 및 각중의 경우, 개체의 능력으로 선발하는 개체선발이 적당한 선발방법으로 보인다.

본 연구에서 추정된 참굴의 유전력은 다른 굴을 대상으로 연구된 유전력 추정치 보다 대체적으로 높은 추정치를 나타냈다. 이는 참굴의 다양성을 확보하기 위해 여러 지역의 참굴 어미를 수집하여 이를 기반으로 생산된 후대에 대한 유전력을 추정하였기 때문으로 사료된다.

Table 5. Genetic variance, residual variance and heritability on growth-related traits of pacific oyster at 9 months old

	Genetic variance	Residual variance	Heritability
Shell length	15.87	16.82	0.4855
Shell height	41.45	37.54	0.5248
Shell width	0.9761	10.06	0.0884
Total weight	27.77	10.61	0.7236
Body weight	1.204	0.3543	0.7726
Shell weight	7.717	3.376	0.6957

유전상관 및 표현형 상관

부화 후 9개월령 참굴의 성장형질간의 유전상관은 대부분 0.810~0.997로 추정되어 높은 정의 상관을 보였으나, 각고와 각폭간은 유전상관은 0.569로 다른 형질간의 상관에 비해 낮은 유전상관을 보였다. 표현형 상관의 경우 각장과 각고, 각장과 각폭, 각고와 각폭간의 상관이 각각 0.193, 0.268, 0.040으로 나타나 낮은 정의 상관을 보였으며, 전중과 육중, 전중과 각중, 육중과 각중간에는 각각 0.820, 0.929, 0.781로 나타나 높은 정의상관을 보였다. 이는 Choe et al. (2007)이 보고한 북방전복과 등근전복의 부화 후 5개월령의 유전상관이 각장과 각폭, 각장과 중량 및 각폭과 중량간에 각각 0.99, 0.96, 0.96, 0.99, 0.90 및 0.98로 추정되었고, 표현형 상관의 경우에도 두 중모두 0.93 이상의 높은 상관을 나타내어 본 연구보다 높은 결과를 보였으며, Choe et al. (2008)이 보고한 북방전복과 등근전복의 부화 후 12개월령의 유전상관이 각장과 각폭, 각장과

중량 및 각폭과 중량간에 각각 0.99, 0.98, 0.96, 0.99, 0.94 및 0.94로 추정되었고, 표현형 상관의 경우에도 두 종 모두 0.93 이상의 높은 상관을 나타내어 본 연구보다 높은 결과를 보였다. 이상의 결과에서 죽어야만 측정이 가능한 형질인 육중은 전중과의 표현형 상관 및 유전상관이 각각 0.820, 0.997로 높은 정의 상관을 보여, 죽이지 않고 측정이 가능한 전중을 측정하여 선발하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

육종가

부화 후 9개월령 참굴의 성장형질에 대한 각 개체별 육종가 추정치의 범위를 살펴보면(Table 7), 각장, 각고, 각폭, 전중, 육중 및 각중이 각각 -7.044~11.810, -10.070~16.890, -1.234~2.831, -8.339~17.140, -1.813~3.507, -4.422~8.837로 추정되었다.

Table 6. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits of pacific oyster at 9 months old

	Shell length	Shell height	Shell width	Total weight	Body weight	Shell weight
Shell length	-	0.193	0.268	0.568	0.502	0.539
Shell height	0.810	-	0.040	0.471	0.350	0.526
Shell width	0.881	0.569	-	0.597	0.549	0.555
Total weight	0.945	0.897	0.849	-	0.820	0.929
Body weight	0.956	0.907	0.833	0.997	-	0.781
Shell weight	0.947	0.907	0.853	0.997	0.995	-

* Genetic correlations are lower left section and phenotypic correlations are upper right section.

Table 7. Breeding value on growth-related traits of pacific oyster at 9 months old

ID	Rank*	Shell length (mm)	Shell height (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)	Body weight (g)	Shell weight (g)
208004	1	11.810	16.890	2.831	17.140	3.507	8.837
203004	2	11.870	18.370	2.382	15.380	3.240	8.206
208027	3	9.973	13.740	2.395	14.180	2.912	7.321
105008	4	10.490	14.580	2.359	13.790	2.906	7.304
102006	5	8.764	15.120	1.569	12.810	2.694	6.559
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
206007	656	-4.906	-9.846	-0.755	-6.940	-1.486	-3.705
204005	657	-4.757	-10.650	-0.688	-7.243	-1.550	-3.857
110016	658	-6.272	-9.012	-1.051	-7.412	-1.624	-3.907
205028	659	-4.689	-11.380	-0.750	-8.073	-1.658	-4.211
110027	660	-7.044	-10.070	-1.234	-8.339	-1.813	-4.422

* Rank of body weight.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원 (패류양식 기술개발, RP-2009-AQ-074)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

Davis CV. 2000. Estimation of narrow-sense heritability for laval and juvenile growth traits in selected and unselected sub-lines of eastern oysters, *Crassostrea virginica*. J Shellfish Res 19, 613.

Dégremont L, Ernande B, Bédier E and Boudry P. 2007. Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). I. Estimation of genetic parameters for survival and growth. Aquaculture 262, 41-53.

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 Malacol 23, 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 subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model in early growth period. Korean J Malacol 24, 121-130.

MIFAFF. 2008. Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Year Book. 453pp.

Misztal I. 2002. REMLF90 Manual. <http://nce.ads.uga.edu/~ignacy/numpub/blupf90/docs/remlf90.pdf>

Toro M, Sanhueza MA, Winter JE, Aguila P and Vergara M. 1995. Selection response and heritability estimates for growth in the Chilean oyster *Ostrea chilensis* (Philippi, 1845). J Shellfish Res 14, 87-92.

2009년 9월 7일 접수
2009년 11월 25일 수정
2009년 12월 11일 수리