

자연산이 도입된 넙치 기초집단의 11개월령 성장형질에 대한 유전모수 추정

김현철¹ · 노재구¹ · 이정호¹ · 박철지¹ · 민병화² · 김경길³ · 김종현⁴ · 이정규⁵ · 명정인^{1*}

¹국립수산물과학원 육종연구센터, ²국립수산물과학원 해역산업과, ³국립수산물과학원 연구기획과,

⁴국립수산물과학원 양식관리과, ⁵경상대학교 축산학과

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

Hyun Chul Kim¹, Jae-Koo Noh¹, Jong-Ho Lee¹, Choul-Ji Park¹, Byung Hwa Min², Kyung-Kil Kim³, Jong-Hyun Kim⁴, Jung-Gyu Lee⁵ and Jeong-In Myeong^{1*}

¹Genetics & Breeding Research Center, National Fisheries & Development Institute, 81-9 Geojenamseo-ro, Geoje-si, Gyeongsangnam-do, 656-842, Korea, ²Aquaculture Industry Division, National Fisheries & Development Institute, 482, Sacheonhaean-ro, Yeongok-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, 210-861, Korea, ³Research and Development Planning Division, National Fisheries & Development Institute, 152-1, Haean-ro, Gijang-up, Gijang-gun, Busan, 619-705, Korea, ⁴Aquaculture Management Division, National Fisheries & Development Institute, 152-1, Haean-ro, Gijang-up, Gijang-gun, Busan, 619-705, Korea, ⁵Division of Animal Science, Gyeongsang National University, 501, Jinjudaero, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, 660-701, Korea

ABSTRACT

This study estimated the genetic parameters of growth-related traits from 11-month-old olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) base population in which wild and cultured broodstocks were introduced. The heritability of body weight, total length, body height, body shape, and condition factor of the base population was estimated to be 0.754, 0.753, 0.789, 0.438, and 0.369, respectively. Genetic correlations between body weight and total length, between body weight and body height, and between total length and body height were 0.969, 0.960, and 0.960, respectively, showing highly positive correlation. Genetic correlations between body weight and body shape, between total length and body shape, between body height and body shape were -0.403, -0.344, and -0.0593, respectively, showing low negative correlation. Overall, olive flounder might be an appropriate selective breeding species with the high heritability of the traits in an 11-month-old population.

(Key words : Olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), Growth-related traits, Genetic parameter, Heritability, 11-month-old)

서 론

우리나라 넙치 양식은 1980년대 초반 국립수산물과학원에서 자연산 넙치로부터 인공 종묘생산 기술을 개발하면서 시작되었으며, 그 후로 국내 자연산 어미와 일본에서 수입한 수정란을 이용하여 대규모 양식이 이루어졌다.

지금까지 수정란을 생산하는 양식가들은 외형적으로 성장이 빠른 개체를 친어로 선발해 수정란을 공급해 왔으며, 최근에는 친어 집단의 유전적 다양성을 확보하고자 일부 자연산 넙치를 친어 집단에

가입시켜 교배를 시도했지만, 자연산란을 유도하는 방법 하에서 실제로 교배가 이루어졌는지는 확실치 않다. 이처럼 양식가들은 친어 개체간의 유전적 유연관계나 근친도를 이용한 교배가 아니라 외형적으로 나타나는 형질만을 기준으로 선발된 친어들간의 교배를 통해 후대를 생산했기 때문에 현재 우리나라 넙치 친어 집단의 유전적 다양성은 자연집단에 비해 낮은 상태이다.

Jeong (2009)은 양식산 넙치의 대립유전자 빈도 및 기대 이형 접합체율은 각각 15.50, 0.880인 반면에 자연산 넙치는 각각 28.17, 0.939로 자연산에 비해 양식산 넙치가 대립유전자 빈도 및

* Corresponding author : Jeong-In Myeong, #81-9 Geojenamseo-ro, Geoje-si, Gyeongsangnam-do, 656-842, Korea. Tel: 82-55-633-1272, E-mail: cosmo@nfrdi.go.kr

이형집합체 비율이 낮다고 보고하였다.

따라서 현재 우리나라에서 양식되고 있는 넙치 친어 집단의 유전적 다양성을 높이기 위해서는 유전적 다양성이 높은 자연산 넙치의 도입이 필수적이며, 이와 더불어 선발할 형질의 유전모수 (genetic parameter) 즉 유전력 (heritability), 유전상관 (genetic correlation) 의 정확한 추정이 이루어져야 한다 (Gall and Huang, 1988; McIntyre and Amend, 1978; Hussein and Joyce, 1978). 어류는 일회 산란수가 많고 표현형의 유전적 변이가 커서 선발육종에 의한 유전적 개량에 이점을 가지고 있어 체중, 체장 등 어류의 주요 측정형질들은 생산성 관련 형질로서 직접 선발에 이용될 수 있다 (Gjedrem, 1997; Refstie, 1990). 따라서 육종계획 수립 및 선발의 정확도를 높이기 위해서는 유전모수를 정확하게 추정해야 하며, 이를 위해서는 전체 표현형 변이 중에서 순수한 상가적 유전분산을 추정하는 것이 매우 중요하다 (Su et al., 1996).

본 연구에서는 유전적 다양성이 확보된 넙치 기초집단을 만들기 위해 자연산과 양식산 넙치 친어로부터 생산된 넙치 기초집단의 부화 후 11개월령 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도 측정치의 유전력 및 이들 형질간의 유전상관과 표현형상관 등을 추정하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

(1) 친어의 수집 및 가계생산

실험에 생산을 위한 친어집단은 우리나라 연안(서해 부안산, WB; 서해 태안산, WT; 동해 속초산, WE; 남해 거제산, WG)의 자연산 넙치와 각각 다른 4개의 수정란 공급업체에서 생산된 수정란으로 생산한 넙치(CA, CB, CC, CD)였다. 수집된 친어 중 최종 교배에 사용된 친어는 자연산 암컷 149마리(전장: 48.9±7.8 cm, 체중: 1294±744 g), 자연산 수컷 92마리(전장: 42.8±4.3 cm, 체중: 792±326 g), 양식산 암컷 375마리(전장: 50.4±7.0 cm, 체중: 1651±721 g), 양식산 수컷 149마리(전장: 42.2±4.1 cm, 체중: 898±287 g)이다.

교배는 microsatellite loci 8개를 이용하여 유전적 유연관계를 계산하고, 이를 근거로 유전적 다양성을 확보하기 위해 교배지침을 작성하였다. 작성된 교배지침에 따라 2005년 4월 6일 (Batch1,

B1), 4월 19일 (Batch2, B2) 및 4월 28일 (Batch3, B3) 3차례에 걸쳐 복부 압박법으로 각각 성숙란과 정액을 추출한 후 건식법으로 인공수정을 실시하였다. Table 1은 생산시기별, 자연산 넙치(W) 및 양식산 넙치(C)를 이용한 교배그룹별 생산가계수를 나타내었다. B1, B2 및 B3에서 각각 158가계, 145가계 및 181가계를 생산하였으며, 중복가계를 제외한 총 생산 가계수는 401가계였다.

(2) 자치어 사육

동일한 환경에서 사육하기 위해 그룹별로 한 가계당 각각 약 6,000개의 수정란을 20톤 콘크리트 수조에 혼합하여 사육하였다. 먹이로는 클로렐라, 부화 후 3일째부터 로티퍼를 공급하였으며, 성장함에 따라 13일째부터 알테미아와 배합사료를 공급하였다. 사육수의 관리는 배합사료 공급 이전에는 지수식(클로렐라 첨가)으로 그 이후부터는 일부 환수와 유수식으로 1일 0.5~6회전으로 조절하였다. 사육기간 동안의 수온은 10.6~27.0℃, 염분은 30.7~34.8 psu, 그리고 용존산소는 6.0~7.9 mg/l 범위였다.

(3) 친자 확인

친자 확인의 시료는 계측형질 측정시 넙치 가슴지느러미 조직 100 μg을 5% Chelex 100 용액을 미리 분주한 micro well plate 에 넣고 55℃에서 30분간 proteinase K 처리하고, 100℃에서 10분간 열처리한 후, 원심분리하여 상등액을 multiplex PCR 반응에 사용하였으며, microsatellite DNA maker의 크기 및 형광 표지에 따른 primer 조합으로 동시에 8개의 유전좌위를 증폭하였다 (Noh et al., 2008). 유전자서열분석기 (ABI 3100)를 이용하여 microsatellite marker를 genotyping 하였으며, 친자 확인은 멘델의 유전법칙에 위배되는 marker를 가지는 친어를 배제시키는 방법 (Exclusion method)으로 친어 및 자손의 유전자형을 분석하여 추정된 부모 조합을 교배지침과 비교하는 방법으로 실시하였다.

(4) 부화 후 11개월령 성장형질 자료

분석에 사용된 자료는 부화 후 11개월령까지 동일한 사육환경에서 사육한 넙치 기초집단 7,550마리 (batch1: 803마리, batch2: 2,433마리, batch3: 4,314마리) 중 친자확인 완료된 7,212마리 (batch1: 757마리, batch2: 2,287마리, batch3: 4,168마리)의 성장형질 자료를 이용하였으며, 생산시기별, 교배수컷의 수집장소별, 교

Table 1. Number of families produced by scheme with wild and cultured *P. olivaceus* broodstocks at three times trials

Batch	Mating group*				Total
	C×C	C×W	W×C	W×W	
B1	78	56	16	8	158
B2	72	31	35	7	145
B3	77	29	62	13	181

* C×C: cultured ♀×cultured ♂, C×W: cultured ♀×wild ♂, W×C: wild ♀×cultured ♂, W×W: wild ♀×wild ♂, B1: the families produced at April 6, 2005, B2: the families produced at April 19, 2005, B3: the families produced at April 28, 2005.

Table 2. Number of records by sex, batches, and collected location of sire and dam

Sex	No. of fishes	Batch	No. of fishes	Location of sire	No. of fishes	Location of dam	No. of fishes
Female	3,490	B1	757	CA	559	CA	2,501
Male	3,722	B2	2,287	CB	979	CB	1719
				CC	4,403	CC	1229
				WB	648	CD	500
				WE	101	WB	634
				WG	284	WE	261
				WT	238	WG	180
						WT	188
Total	7,212		7,212		7,212		7,212

배암컷의 수집장소별 분석 개체수는 Table 2와 같다.

조사형질로는 체중(BW), 전장(TL), 체고(BH), 체형지수(body shape; BS), 비만도(CF)이며, 이때 체형지수와 비만도는 아래의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{체형지수 (Body shape)} = \frac{\text{전장 (Total length)}}{\text{체고 (Body height)} \times 3.65}$$

$$\text{비만도 (Condition factor)} = \frac{\text{체중 (Body weight)}}{\text{전장 (Total length)}^3} \times 100$$

2. 통계적 분석방법

(1) 성별, 생산시기, 교배수컷 및 교배암컷 수집장소의 효과

부화 후 11개월령 넙치의 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도 형질에 영향을 미치는 효과를 분석하기 위해 다음과 같은 선형모형에 의해 분산분석을 실시하였다.

$$Y_{ijklm} = \mu + S_i + B_j + LS_k + LD_l + LS \times LD_{kl} + e_{ijklm}$$

여기서,

Y_{ijklm} : i 번째 성별, j 번째 생산시기의 k 번째 교배수컷의 수집장소, l 번째 교배암컷의 수집장소에 속하는 개체에 대한 각 형질별 측정치,

μ : 전체 평균,

S_i : i 번째 성별의 효과 ($i = Female, Male$),

B_j : j 번째 생산시기의 효과 ($j = Batch1, Batch2, Batch3$),

LS_k : k 번째 교배수컷 수집장소의 효과 ($k = CA, CB, CC, WB, WE, WG, WT$),

LD_l : l 번째 교배암컷 수집장소의 효과 ($l = CA, CB, CC, CD, WB, WE, WG, WT$),

$LS \times LD_{kl}$: k 번째 교배수컷 수집장소와 l 번째 교배암컷 수집장소의

상호작용 효과 (가계생산이 안된 $CB \times WG, WB \times WD, WB \times WG, WB \times WT, WD \times WB, WG \times CC, WG \times WD, WT \times WB, WT \times WD, WT \times WT$ 는 제외),

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

위의 선형모형에 의한 정규방정식을 풀기 위하여 형질에 마지막 효과를 0으로 하는 제한을 가하였다. 본 연구에서 설정한 선형모형은 PC용 SAS Package (Ver. 8.2)를 이용하여 분석하였으며, GLM (Generalized linear model) 분석 결과 제공되는 4가지 제곱합 중에서 TYPE III 제곱합을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 최소자승 평균치간의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 실시하여 다음과 같은 귀무가설을 유의수준 1%로 각각 검정하였다.

(2) 유전모수의 추정

부화 후 11개월령의 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도의 유전모수를 추정하기 위하여 다음과 같은 다형질 혼합모형을 사용하였다.

$$Y_{ijkl} = \mu_i + S_{ij} + B_{ik} + a_{ijkl} + e_{ijkl}$$

여기서,

Y_{ijkl} : i 번째 형질에서 j 번째 성별의 k 번째 생산시기에 속하는 개체에 대한 측정치,

μ_i : i 번째 형질의 전체 평균,

S_{ij} : i 번째 형질의 j 번째 성별의 효과 ($j = Female, Male$),

B_{ik} : i 번째 형질의 k 번째 생산시기의 효과 ($k = Batch1, Batch2, Batch3$),

a_{ijkl} : 개체에 대한 임의 효과 $\sim N(0, A\sigma_a^2)$, A는 혈연 계수 행렬,

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

본 연구에서는 EM-REML algorithm을 바탕으로 전산 프로그램

한 REMLF90 (Misztal, 2002)을 이용하여 상가적 유전분산 및 잔차분산을 추정하였으며, 수렴척도는 10^{-11} 이하로 분산을 구하였다. 이를 통하여 얻어진 분산값을 이용하여 유전력과 유전상관은 다음과 같이 구하였다.

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2} \quad \text{여기서, } \sigma_a^2 = \text{상가적 유전분산}$$

$$r_G = \frac{\widehat{cov}_{a(i,j)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{a(i)}^2 + \hat{\sigma}_{a(j)}^2}} \quad (i \neq j) \quad \sigma_e^2 = \text{잔차분산}$$

$$r_p = \frac{\widehat{cov}_{p(i,j)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{p(i)}^2 + \hat{\sigma}_{p(j)}^2}} \quad (i \neq j) \quad h^2 = \text{유전력}$$

$$r_G = \text{유전상관} \quad r_p = \text{표현형 상관}$$

결 과

1. 분산분석 및 일반능력

(1) 11개월령 성장형질의 분산분석

본 연구에서 분석한 성장형질인 체중, 전장, 체고, 체형지수, 비만도의 거의 모든 형질에 대한 성별, 생산시기, 교배수컷의 수집장소, 교배암컷의 수집장소 및 교배수컷과 교배암컷의 수집장소의 상호효과 모두에서 고도의 유의성 ($p < 0.001$)을 나타내었다 (Table 3).

(2) 11개월령 성장형질의 일반능력

넙치의 부화 후 11개월령의 성장형질에 대한 값은 체중 288.70

± 82.74 g, 전장 28.49 ± 2.59 cm, 체고 10.35 ± 1.02 cm, 체형지수 10.07 ± 0.38 , 비만도 12.15 ± 0.92 로 나타났다 (Table 4).

2. 성별, 생산시기, 교배수컷 및 교배암컷 수집 장소의 효과

(1) 성별의 효과

부화 후 11개월령 넙치의 성장형질에 대한 성별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 암·수간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다 (Table 5). 성에 따른 체중, 전장 및 체고의 최소자승평균치를 살펴보면, 암컷이 각각 286.36 ± 1.96 g, 28.40 ± 0.06 cm, 10.21 ± 0.02 cm로 나타났고, 수컷이 각각 262.67 ± 2.00 g, 27.63 ± 0.06 cm, 9.97 ± 0.03 cm로 나타났다. 성장과 관련이 높은 형질인 체중, 전장 및 체고는 암컷이 수컷에 비해 각각 9.1%, 2.8%, 2.4% 높은 것으로 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 성별에 따른 최소자승평균치는 암컷이 각각 10.17 ± 0.01 , 11.90 ± 0.03 으로 나타났고, 수컷이 각각 10.13 ± 0.01 , 12.05 ± 0.03 으로 나타났다. 전장에 대한 체고의 비로 나타낸 체형지수의 경우, 수컷에 비해 암컷이 유의적으로 높게 나타났으며, 비만의 정도를 표시하는 비만도의 경우는 암컷에 비해 수컷이 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.01$).

(2) 생산시기의 효과

부화 후 11개월령 넙치의 성장형질에 대한 생산시기별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 생산시기 간의 뚜렷

Table 3. Source of variation, degree of freedom (d.f.), mean squares and tests of significance of growth-related traits from 11-month-old populations

Source	d.f.	Body weight	Total length	Body height	Body shape	Condition factor
Sex	1	962998***	1020.4***	100.49***	3.0293***	39.289***
Batch	2	3052664***	2824.5***	287.58***	5.7853***	12.336***
Location of sire	6	139215***	182.9***	28.15***	0.5272***	2.927**
Location of dam	7	107604***	142.0***	23.77***	0.5993***	2.174**
LS×LD	32	11795***	16.40***	2.77***	0.2945***	2.361***
Error	7163	4448	4.406	0.7147	0.1336	0.7922

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$

Table 4. Overall means and standard deviation of growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations

Source	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
Overall mean	288.70	28.49	10.35	10.07	12.15
Standard deviation	82.74	2.59	1.02	0.38	0.92

Table 5. Least-squares means and standard errors of growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations by sex

Sex	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
Female	286.36±1.96 ^a	28.40±0.06 ^a	10.21±0.02 ^a	10.17±0.01 ^b	11.90±0.03 ^b
Male	262.67±2.00 ^b	27.63±0.06 ^b	9.97±0.03 ^b	10.13±0.01 ^a	12.05±0.03 ^a

Note: Means in the same column with the same letter are statistically insignificant at 1% level of significance.

Table 6. Least-squares means and standard errors of growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations by batch

Batch	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
B1	336.87±2.93 ^a	29.94±0.09 ^a	10.71±0.04 ^a	10.22±0.02 ^a	11.98±0.04 ^{ab}
B2	255.25±2.04 ^b	27.35±0.06 ^b	9.85±0.03 ^b	10.15±0.01 ^b	12.05±0.03 ^a
B3	231.44±1.86 ^c	26.75±0.06 ^c	9.70±0.02 ^c	10.09±0.01 ^c	11.90±0.02 ^b

Note: Means in the same column with the same letter are statistically insignificant at 1% level of significance, B1: the families produced on April 6, 2005, B2: the families produced on April 19, 2005, B3: the families produced on April 28, 2005.

한 통계적 유의차를 보였다(Table 6). 생산시기별 체중, 전장 및 체고의 최소자승평균치를 살펴보면, B1은 각각 336.87±2.93 g, 29.94±0.09 cm, 10.71±0.04 cm로 나타났고, B2는 각각 255.25±2.04 g, 27.35±0.06 cm, 9.85±0.03 cm로 나타났으며, B3는 각각 231.44±1.86 g, 26.75±0.06 cm, 9.70±0.02 cm로 나타났다. 성장과 관련이 높은 형질인 체중, 전장 및 체고는 생산시기에 따라 B1, B2, B3 순서로 생산시기가 빠를수록 성장이 빠른 것으로 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 생산시기별 최소자승평균치를 살펴보면, B1은 각각 10.22±0.02, 11.98±0.04로 나타났고, B2는 각각 10.15±0.01, 12.05±0.03으로 나타났으며, B3는 각각 10.09±0.01, 11.90±0.02로 나타났다. 전장에 대한 체고의 비로 계산되는 체형지수의 경우, 생산시기가 빠른 B1이 유의적으

로 높게 나타났으며, 비만의 정도를 표시하는 비만도의 경우, B2가 B3에 비해 유의적으로 높게 나타났다($p<0.01$).

(3) 교배수컷 수집장소의 효과

부화 후 11개월령 넙치의 성장형질에 대한 교배수컷 수집장소별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 수집장소간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다(Table 7). 체중, 전장 및 체고의 각 교배수컷 수집장소별 최소자승평균치에 있어서, 양식산의 경우 CA가 각각 323.92±3.14 g, 29.52±0.10 cm, 10.82±0.04 cm로 나타나 타지역에서 수집한 양식산 집단보다 유의적으로 높게 나타났다. 자연산의 경우 거제산(WG)이 각각 227.65±4.30 g, 26.41±0.14 cm, 9.36±0.05 cm로 나타나 타지역에서 수집한 자연산 집단보다 유의적으로 낮게 나타났다. 전체적으로 성장과 관련

Table 7. Least-squares means and standard errors of growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations by collected locations of sire

Location of sire	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
CA	323.92±3.14 ^a	29.52±0.10 ^a	10.82±0.04 ^a	9.97±0.02 ^e	12.24±0.04 ^a
CB	300.76±2.75 ^b	28.79±0.09 ^b	10.41±0.04 ^b	10.10±0.02 ^d	12.11±0.04 ^{ab}
CC	300.35±1.66 ^b	28.81±0.05 ^b	10.37±0.02 ^b	10.16±0.01 ^c	12.09±0.02 ^b
WB	250.70±3.11 ^d	27.26±0.10 ^d	9.77±0.04 ^d	10.19±0.02 ^{bc}	11.88±0.04 ^{cd}
WE	243.09±6.76 ^{de}	27.27±0.21 ^d	9.68±0.09 ^d	10.28±0.04 ^{ab}	11.72±0.09 ^d
WG	227.65±4.30 ^e	26.41±0.14 ^e	9.36±0.05 ^e	10.27±0.02 ^a	11.76±0.06 ^d
WT	275.15±4.55 ^c	28.04±0.14 ^c	10.16±0.06 ^c	10.09±0.02 ^d	12.02±0.06 ^{bc}

Note: Means in the same column with the same letter are statistically insignificant at 1% level of significance.

Table 8. Least-squares means and standard errors of growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations by collected locations of dam

Location of dam	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
CA	304.22±1.83 ^b	29.04±0.06 ^a	10.51±0.02 ^b	10.10±0.01 ^c	12.07±0.02 ^b
CB	309.65±2.13 ^b	28.99±0.07 ^b	10.55±0.03 ^b	10.04±0.01 ^d	12.28±0.03 ^a
CC	293.13±2.47 ^c	28.69±0.08 ^c	10.35±0.03 ^c	10.12±0.01 ^c	12.07±0.03 ^b
CD	325.63±3.36 ^a	29.66±0.11 ^a	10.79±0.04 ^a	10.04±0.02 ^d	12.13±0.04 ^b
WB	253.17±3.60 ^c	27.48±0.11 ^d	9.82±0.05 ^d	10.23±0.02 ^{ab}	11.77±0.05 ^c
WE	241.25±4.49 ^{cd}	26.62±0.14 ^e	9.60±0.06 ^e	10.25±0.02 ^{ab}	11.77±0.06 ^c
WG	233.34±5.23 ^d	26.72±0.16 ^e	9.61±0.07 ^e	10.16±0.03 ^{bc}	11.76±0.07 ^c
WT	235.74±5.40 ^d	26.59±0.17 ^e	9.47±0.07 ^e	10.26±0.03 ^a	11.95±0.07 ^{bc}

Note: Means in the same column with the same letter are statistically insignificant at 1% level of significance.

이 높은 체중, 전장 및 체고는 자연산 집단에 비해 양식산 집단이 대체적으로 높게 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 각 교배수컷 수집장소별 최소자승평균치에 있어서, WE가 각각 10.28±0.04, 11.72±0.09로 나타났으며, CA가 각각 9.97±0.02, 12.24±0.04로 나타났다. 체형지수의 경우 WE가 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 비만도의 경우 CA가 유의적으로 가장 높게 나타났다(p<0.01).

(4) 교배암컷 수집장소의 효과

부화 후 11개월령 넙치의 성장형질에 대한 교배암컷 수집장소별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 수집장소간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다(Table 8). 체중, 전장 및 체고의 각 교배암컷 수집장소별 최소자승평균치에 있어서, CD가 각각 325.63±3.36 g, 29.66±0.11 cm, 10.79±0.04 cm로 나타나 타지역에서 수집한 집단보다 유의적으로 높게 나타났으며, 자연산의 경우는 거제산(WG)이 각각 233.34±5.23 g, 26.72±0.16 cm, 9.61±0.07 cm로 나타나 타지역에서 수집한 집단보다 유의적으로 낮게 나타났다. 전체적으로 성장과 관련이 높은 체중, 전장 및 체고는 자연산 집단에 비해 양식산 집단이 대체적으로 높게 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 각 교배암컷 수집장소

Table 9. Genetic variance (σ_a^2), residual variance (σ_e^2) and heritability (h^2) on growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations

Traits	Genetic variance	Residual variance	Heritability
Body weight	4254	1387	0.754
Total length	4.344	1.428	0.753
Body height	0.7516	0.2016	0.789
Body shape	0.0639	0.0819	0.438
Condition factor	0.3066	0.5240	0.369

별 최소자승평균치는 태안산(WT)이 각각 10.26±0.03, 11.95±0.07로 나타났으며, CB가 각각 10.04±0.01, 12.28±0.03로 나타났다. 체형지수의 경우 태안산이 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 비만도의 경우 CB가 유의적으로 가장 높게 나타났다.

3. 유전모수

(1) 유전력

부화 후 11개월령 넙치의 성장형질에 대한 유전력 추정치를 살

Table 10. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits from 11-month-old *P. olivaceus* populations

Traits	Body weight	Total length	Body height	Body shape	Condition factor
Body weight		0.959	0.952	-0.182	0.364
Total length	0.969		0.925	-0.020	0.138
Body height	0.960	0.960		-0.396	0.412
Body shape	-0.403	-0.344	-0.593		-0.749
Condition factor	0.623	0.469	0.619	-0.726	

Note: Genetic correlations are lower left section and phenotypic correlations are upper right section.

해보면, 성장과 관련이 높은 형질인 체중, 전장 및 체고의 유전력은 각각 0.754, 0.753, 0.789로 추정되었고, 체형과 관련이 높은 형질인 체형지수와 비만도는 각각 0.438, 0.369로 추정되었다 (Table 9).

(2) 유전상관과 표현형 상관

부화 후 11개월령 넙치의 성장 및 체형 형질간의 유전상관 및 표현형 상관을 살펴보면 (Table 10), 체중과 전장, 체고, 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 0.969, 0.960, -0.403, 0.623이었고, 표현형 상관은 0.959, 0.952, -0.182, 0.364이었다. 또한 전장과 체고, 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 0.960, -0.344, 0.469이었고, 표현형 상관은 0.925, -0.020, 0.138이었으며, 체고와 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 -0.593, 0.619이었고, 표현형 상관은 -0.396, 0.412이었다. 체형지수와 비만도간의 유전상관과 표현형 상관은 각각 -0.726, -0.749이었다.

고 찰

동일한 사육환경에서 부화 후 11개월 동안 사육한 넙치 암컷과 수컷의 체중은 각각 286 ± 2 g, 263 ± 2 g으로 수컷의 체중이 암컷 체중의 92%에 불과하였다. 이는 Kim et al.(1997)이 보고한 12개월 동안 사육한 넙치 암컷과 수컷의 체중이 각각 622 ± 37 g, 472 ± 31 g으로 수컷의 체중이 암컷 체중의 75%에 불과하다고 보고했다는 암컷과 수컷의 성장차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

교배에 사용된 친어의 수집장소별로 체중의 평균치를 비교한 결과 자연산 집단에 비해 양식산 집단을 어미로 이용하여 생산된 1세대의 성장이 유의적으로 높게 나타났다. 이는 수정란 생산업체의 넙치 선발방향이 성장 중심으로 진행된 것으로 추정된다. 이는 Thodesen et al. (1999)이 보고한 자연산과 선발된 대서양연어를 이용하여 생산된 후대의 체중과 체중 증가율을 비교한 결과, 자연산은 743 ± 23 g인데 반해 선발된 연어는 $1,455 \pm 32$ g으로 나타났다는 것과 유사한 결과를 보였다.

선발 육종은 수산생물의 유전적 개량을 위한 가장 일반적이고 효과적인 방법으로 이용되고 있으며, 어류 및 이매패류들에서 중요 경제형질들에 대한 양적 유전학적 평가가 선발 육종 및 육종효율 예측을 목적으로 적용되어지고 있다 (Argue et al., 2002; Gjerde et al., 2004; Zheng et al., 2006). 유전력, 유전상관 등의 유전모수는 양적 형질의 유전을 연구하고, 가축과 실험동물의 육종을 위해서는 기본이 되는 중요한 정보이다 (Lee et al., 1998). 양적 유전학적 이론에 따르면 유전력이 0.5 이상의 고도의 유전력을 가진 형질에 대해서는 개체선발이 유용하고, 0.5 미만의 중도, 혹은 저도의 유전력을 가진 형질에 대해서는 가계선발이 유용한 것으로 알려져 있다 (Falconer and Mackey, 1996).

본 연구에서 넙치의 11개월령 성장관련 형질에 대한 유전력은 0.753~0.789 범위로 추정되었으며, 체형관련 형질에 대한 유전력

은 0.369~0.438 범위로 추정되었다. 이는 Kim et al.(2008)이 보고한 부화 후 180일령 넙치의 성장관련 형질에 대한 유전력 0.564~0.590 범위보다 높게 추정되었으며, 체형관련 형질의 유전력 0.306~0.332 범위보다 다소 높게 추정되었다. 다른 어종에서의 유전력 추정치를 살펴보면, Hong et al. (1999)이 보고한 나일틸라피아의 부화 후 60일령 체중에 대한 유전력 0.28~0.51, Choe et al. (1998)이 보고한 유어기 시마연어인 7개월령 전장에 대한 유전력 0.35~0.47 범위보다 높은 추정치를 보였다. 이는 선발 육종을 위한 기초집단을 만들기 위해 여러 지역에서 수집한 자연산과 양식산 친어를 이용하여 가계를 생산한데서 비롯된 것으로 보이고, 11개월령 성장관련 형질은 고도의 유전력으로 개체선발이 바람직하며, 체형관련 형질은 가계선발이나 조합선발을 통한 선발육종이 효과적인 것으로 보인다.

넙치의 11개월령 성장 형질인 체중, 전장, 체고간의 유전상관은 0.96 이상으로 높은 정의 상관을 보였으며, 표현형 상관 또한 0.92 이상으로 높은 정의 상관을 보였다. 이는 Kim et al. (2008)이 보고한 180일령 넙치의 성장 형질간 유전상관 0.96~0.98, 표현형 상관 0.92~0.95 범위와 유사한 결과를 보였다. 11개월령 성장 형질과 체형간의 유전상관은 -0.59~-0.34 범위로 부의 상관을 보였으며, 표현형 상관은 -0.40~-0.02 범위로 부의 상관을 보였다. 이는 Kim et al. (2008)이 보고한 180일령 넙치의 성장 형질과 체형간의 유전상관 -0.54~-0.29, 표현형 상관 -0.49~-0.11 범위와 유사한 결과를 보였다. 이상의 유전상관과 표현형 상관 추정치 결과에서 하나의 성장관련 형질에 대한 선발 육종만으로도 다른 형질의 개량을 얻을 수 있는 것을 시사하였다. 그러나 성장관련 형질과 체형간의 유전상관 및 표현형 상관은 낮은 부의 상관관계를 보여 넙치 성장도 향상과 체형개선을 목적으로 한 선발육종을 위해서는 체중과 체형지수에 가중치를 부여한 선발지수를 이용하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

사 사

이 연구는 국립수산물연구원 (육종기술개발, RP-2009-AQ-071)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

요 약

본 연구는 넙치의 선발 육종을 위한 유전적 다양성이 확보된 기초집단을 만들기 위해 2005년에 수집한 자연산과 양식산 친어를 이용하여 생산된 기초집단의 부화 후 11개월령 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도 측정치의 유전력 및 이들 형질간의 유전상관과 표현형상관을 추정하였다.

넙치 기초집단의 부화 후 11개월령 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도의 유전력은 각각 0.754, 0.753, 0.789, 0.438, 0.369로 추정되었으며, 체중과 전장, 체고, 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 0.969, 0.960, -0.403, 0.623으로 추정되었고, 전장과

체고, 체형지수 및 비만도간의 유전상관을 각각 0.960, -0.344, 0.469로 추정되었으며, 체형지수와 비만도간의 유전상관은 -0.726으로 추정되었다.

자연산이 도입된 넙치 기초집단의 부화 후 11개월령 넙치의 체중, 전장, 체고 등 성장형질의 유전력은 대체적으로 높게 추정되어 개체선발을 통한 개량이 가능할 것으로 나타났으며, 체중, 전장, 체고 등의 성장형질과 체형지수간의 유전상관 및 표현형 상관은 낮은 상관계수를 보여 넙치 성장도 향상과 체형개선을 목적으로한 선발육종을 위해서는 체중과 체형지수에 가중치를 부여한 선발지수를 이용하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

(주제어: 넙치, 성장형질, 유전모수, 유전력, 부화후 11개월령 측정 자료)

인 용 문 헌

- 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*. *Fish. Sci.* 64:903-908.
- Falconer, D. S. and Mackey, T. F. C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. (4th. ed.) Prentice Hall, New York. pp. 480.
- Gall, G. A. E. and Huang, N. 1988. Heritability and selection schemes of rainbow trout: body weight. *Aquaculture* 73:43-56.
- Gjedrem, T. 1997. Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquaculture* 28:33-45.
- Gjerde, B., Terjesen, B. F., Barr, Y., Lein, I. and Thorland, I. 2004. Genetic variation for juvenile growth and survival in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 236: 167-177.
- Hussein, M. E. and Joyce, J. A. 1978. Heritability of body size traits, dressing weight and lipid content in channel catfish. *J. Anim. Sci.* 47:82-88.
- Hong, K. P. and Lee, K. J. 1999. Estimation of Genetic Parameter on Metric Traits in *Oreochromis niloticus* at 60 Days of Age. *J. Korean Fish. Soc.* 32:404-408.
- Jeong, J. G. 2009. Comparison of genetic variability in wild and cultivated olive flounder in Korea using microsatellite DNA marker. Master's thesis, Pukyong National University, pp. 41.
- Kim, H. C., Noh, J. K., Lee, J. H., Kim, J. H., Park, C. J., Kang, J. H., Kim, K. K., Lee, J. G. and Myeong, J. I. 2008. Estimation of Genetic Parameters and Reproductivity Test of Genetic Evaluation for Growth-related Traits of olive Flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 Days of Age. *J. Aquaculture* 21: 317-324.
- Kim, T. J., Yoon, H. D., Lee, S. M. and Kim, K. G. 1997. Biochemical Properties of Myofibrillar Protein in Olive Flounder by the Sex. *J. Korean Fish. Soc.* 30:349-354.
- Lee, K. M., Park, Y. I. and Oh, B. K. 1998. Animal Breeding. Hyangmunsa, pp. 366.
- McIntyre, J. D. and Amend, D. F. 1978. Heritability of tolerance for infectious hematopoietic necrosis in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Trans Am. Fish. Soc.* 170:305-308.
- Misztal, I. 2002. REMLF90 Manual. <http://nce.ads.uga.edu/~ignacy/numpub/blupf90/docs/remlf90.pdf/>. Accessed 1 Oct 2009.
- Noh, J. K., Kim, H. C., Park, C. J., Lee, J. H., Kim, J. H., Lee M. S., Kim, W. J., Kim, K. K. and Myeong, J. I. 2008. Genetic Variability of Farmed Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) Populations Managed with no Consideration of Genetic Diversity. *Korean J. Ichth.* 20:248-254.
- Refstie, T. 1990. Application of breeding schemes. *Aquaculture* 85:163-169.
- SAS. 2003. SAS/STAT guide for personal computers@8.2 SAS institute Inc., Cary, NC., USA.
- Su, G. S., Liljedahl, L. E. and Gall, G. A. E. 1996. Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 144:71-80.
- Thodesen, J., Grisdale-Helland, B., Helland, S. J. and Gjerde, B. 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 180:237-246.
- 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.

(Received Oct. 28, 2010; Revised Mar. 9, 2011; Accepted Mar. 18, 2011)