

180일령 넙치 *Paralichthys olivaceus*의 성장형질에 대한 유전모수 추정 및 유전능력평가 재현성 검증

김현철, 노재구, 이정호, 김종현, 박철지, 강정하¹, 김경길¹, 이정규², 명정인*
국립수산과학원 육종연구센터, ¹국립수산과학원 생명공학연구소, ²경상대학교 농생명학부

Estimation of Genetic Parameters and Reproductivity Test of Genetic Evaluation for Growth-related Traits of olive Flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 Days of Age

Hyun Chul Kim, Jae-Koo Noh, Jeong-Ho Lee, Jong-Hyun Kim, Choul-Ji Park, Jung-Ha Kang¹, Kyung-Kil Kim¹, Jung-Gyu Lee² and Jeong-In Myeong*

Genetics and Breeding Research Center, NFRDI, Gyeongsangnamdo 656-842, Korea

¹Biotechnology Research Center, NFRDI, Busan 619-902, Korea

²Division of Applied Life Science, GyeongSang National University, Gyeongsangnamdo 660-701, Korea

This study estimated the genetic parameters and breeding values for the growth-related traits of the 1st generation produced in 2005. The heritability of body weight, total length, body height, body shape and condition factor of 180 days old olive flounders *Paralichthys olivaceus*, the 1st generation of selection, was estimated as 0.564, 0.590, 0.588, 0.306 and 0.332, respectively. And reproductivity of genetic evaluation for crossing superior flounders and inferior ones was tested using the subsequent generation produced in 2006 based on the breeding values of 1st generation. In the least-squares means of body weight and total length for each group of crossing, the values of crossing group between superior flounders (S×S) showed 145.6±1.8 g and 22.4±0.1 cm, respectively. The values of crossing group between superior and inferior flounders (S×I) showed 133.2±2.5 g and 22.1±0.1 cm, respectively. The values of crossing group between inferior flounders (I×I) showed 114.0±2.1 g and 21.08±0.12 cm, respectively. In the results, flounders are determined as appropriate selective breeding fish with the high heritability of flounders in early ages at 180 days old, and the reproductivity of genetic evaluation was also high.

Keywords: *Paralichthys olivaceus*, Olive flounder, Genetic parameter, Genetic evaluation

서 론

1980년대 초 자연산 넙치를 수집하여 수정란과 종묘를 생산하기 위한 시도가 이루어지면서 시작된 우리나라 넙치 양식은 실내수조에서 자연산란이 이루어지면서 인공종묘 생산이 가능하게 되었고, 이를 기반으로 넙치 양식이 본격적인 산업으로 발전하기 시작하였다.

생활 수준의 향상에 따른 소비 확대와 생산량 증대를 위한 기술 개발에 힘입어 양식 생산량의 비약적인 증가를 보였으나, 2000년대 접어들어 외국산 저가 활어의 대량 수입에 의한 가격 하락과 더불어 양식 종묘의 열성화 등으로 경영에 어려움을 겪고 있다. 최근에는 잦은 질병 발생으로 폐사량이 증가하고, 치

료에 사용되는 치료제 비용과 인건비가 가중되어 양식 생산 단가가 높아지고 있다.

이러한 어려운 상황을 타파하기 위해 최근에 양식 넙치 집단의 생산성을 높이기 위한 선발육종의 필요성이 제기되고 있다. 선발육종에 따른 유전적 개량량은 세대를 거듭할수록 누적적으로 커지게 되어 생산성을 지속적으로 제고시킬 수 있으며 선발의 기초가 되는 정보로는 유전력(heritability), 유전상관(genetic correlation) 등의 유전모수(genetic parameter)가 이용되고 있다 (Gall and Huang, 1988; McIntyre and Amend, 1978; Hussein and Joyce, 1978).

특히, 어류는 일회 산란수가 많고 표현형의 유전적 변이가 커서 선발육종에 의한 유전적 개량에 이점을 가지고 있어 체중, 체장 등 어류의 주요 계측형질들은 생산성 관련 형질로써 직접

*Corresponding author: cosmo@nfrdi.go.kr

Table 1. Number of parents and means and standard deviations of growth-related traits by collected location and sex

Collected location	Parentage	No. of fishes	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
CA	Dam	57	3463±604	64.7±3.5	25.3±1.5	9.6±0.28	12.7±0.9
	Sire	17	2315±461	57.4±3.6	21.9±1.3	10.0±0.33	12.1±0.9
CB	Dam	43	2903±688	63.2±4.3	23.3±1.9	10.1±0.34	11.3±1.0
	Sire	18	1736±280	53.3±2.9	19.4±1.3	10.5±0.26	11.4±0.6
CC	Dam	24	3090±242	62.4±1.5	24.3±0.9	9.5±0.38	12.7±0.6
	Sire	91	1631±421	51.0±3.9	19.1±1.7	10.2±0.38	12.1±1.0
CD	Dam	23	2294±337	57.6±2.5	21.5±1.1	10.6±0.36	11.9±0.6
WB	Dam	27	1964±474	54.9±3.1	20.5±1.8	10.9±0.46	11.7±0.8
	Sire	35	1304±331	48.9±3.3	17.5±1.6	11.1±0.38	10.9±0.9
WE	Dam	20	1890±448	55.9±4.9	20.6±1.7	10.9±0.33	10.7±1.2
	Sire	17	1322±228	50.0±2.5	17.8±0.9	10.9±0.44	10.5±0.7
WG	Dam	13	2799±731	62.3±5.2	23.4±1.9	10.5±0.34	11.3±0.8
	Sire	10	1926±359	55.6±3.6	20.5±1.5	10.7±0.42	11.1±0.3
WT	Dam	11	2501±630	60.0±5.1	22.4±2.0	10.9±0.30	11.4±0.6
	Sire	9	1717±629	52.2±5.1	19.4±2.4	10.9±0.45	11.5±1.0
Total	Dam	218	2870±779	61.7±5.0	23.4±2.3	10.2±0.65	11.9±1.1
	Sire	197	1632±476	51.5±4.3	19.1±2.0	10.5±0.54	11.6±1.1

선발에 이용되어질 수 있다(Gjedrem, 1997; Refstie, 1990). 따라서 육종계획 수립 및 선발의 정확도(accuracy of selection)를 높이기 위해서는 유전모수를 정확하게 추정해야 하며, 이를 위해서는 전체 표현형 변이 중에서 순수한 상가적 유전분산(additive genetic variance)을 추정하는 것이 매우 중요하다(Su et al., 1996).

본 연구는 180일령의 넙치를 대상으로 초기 성장에 있어서의 유전모수 추정을 위하여 체장, 체고, 체중, 체형지수, 비만도 등의 각 형질별로 유전력(heritability) 및 이들 형질간의 유전상관(genetic correlation)과 표현형 상관(phenotypic correlation) 등을 추정하였으며, 육종가 추정 결과를 토대로 선발된 우량 친어와 열등 친어간의 교배에 의해 생산된 후대의 부화 후 180일령 성장형질에 대한 교배그룹, 교배수컷 및 교배암컷의 효과를 검증하였다.

재료 및 방법

부화 후 180일령 넙치의 유전변이 추정

1) 공시재료

(1) 친어의 수집 및 가계생산

본 연구는 2004년에 육종연구센터에서 넙치의 유전적 다양성을 확보하기 위해 4개 지역(WB; 부안산, WE; 동해안산, WG; 거제산, WT; 태안산)의 자연산과 4개 수정란 공급업체에서 생산한 양식산 친어를 각각 수집하였다. 수집된 친어 중 최종 교배에 사용된 친어의 수집 장소별, 성별 개체수와 계측형질 측정치의 평균과 표준편차는 Table 1에 표시하였다.

교배는 다양성이 확보된 기초 집단을 만들기 위해 Microsatellite DNA maker 8개를 이용하여 유전적 유연관계를 계산하고, 이를 근거로 교배지침을 작성하였다. 작성된 교배지침을 이용하여 2005년 4월 19일(batch 1; B1) 및 4월 28일(batch 2; B2) 2

차례 걸쳐 복부 압박법으로 각각 난과 정액을 추출한 후 건식법으로 인공수정을 실시하였다. Batch 1, batch 2에서 각각 145 가계 및 181가계를 생산하였으며, 중복 가계를 제외한 총 생산 가계수는 210가계이다.

(2) 자치어 사육

동일한 환경에서 사육하기 위해 수정을 감안하여 batch 별로 한 가계당 각각 5 mL 수정란을 20톤 콘크리트 수조에 혼합하여 사육하였다. 먹이로는 부화 직후 소량의 *Chlorella*를 사육수에 혼합하였고, 부화 후 3일째부터는 rotifer를 공급하였으며, 성장함에 따라 artemia와 배합사료를 공급하였다. 사육수의 관리는 배합사료 공급 이전에는 지수식으로, 그 이후부터는 일부 환수와 유수식으로 하였다. 사육기간 동안의 수온은 15.7~27.0, 염분은 30.7~34.8 psu, 그리고 DO는 6.0~7.9 mg/L 범위였다.

(3) 친자확인

친자확인의 시료는 계측형질 측정시 넙치 가슴지느러미 조직 100 µg을 5% Chelex 100 용액을 미리 분주한 96 well plate에 넣고 55°C에서 30분간 proteinase K 처리하고, 100°C에서 10분간 열처리한 후, 원심 분리하여 상등액을 multiplex PCR 반응에 사용하였으며, microsatellite DNA maker의 크기 및 형광 표지에 따른 primer 조합으로 동시에 8개의 유전자좌위를 증폭하였다. ABI 3100 (Applied Biosystems, USA)을 이용하여 Microsatellite DNA genotyping을 하였으며, 친자확인은 멘델의 유전 법칙에 위배되는 친어를 배제시키는 방법(exclusion method)으로 친어 및 자손의 유전자형을 분석하여 추정된 부모 조합을 교배지침과 비교하여 방법으로 실시하였다.

(4) 부화 후 180일령 성장형질 자료

분석에 사용된 시료는 부화 후 180일령까지 동일한 사육 환경에서 사육한 넙치에서 무작위로 선정된 3,360마리(batch 1:

1,536, batch 2: 1,824) 중 친자확인이 된 3,113마리(batch 1: 1350, batch 2: 1,763)의 성장형질 자료를 이용하였으며, 생산 시기별, 교배수컷의 수집 장소별, 교배암컷의 수집 장소별 분석 개체수는 Table 2와 같다.

조사 형질로는 체중(body weight; BW), 전장(total length; TL), 체고(body height; BH) 등을 측정하였다. 측정 부위는 Fig. 1과 같으며, 체형지수(body shape; BS)와 비만도(condition factor; CF)는 아래의 공식을 이용하여 계산하였다.

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

$$\text{비만도(Condition factor)} = \frac{\text{체중(Body weight)}}{\text{전장(Total length)}^3} \times 1000$$

2) 통계적 분석방법

(1) 생산 시기, 교배수컷 및 교배암컷 수집 장소의 효과

부화 후 180일령의 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도 형질에 영향을 미치는 효과를 분석하기 위해 다음과 같은 선형모형에 의해 분산분석을 실시하였다.

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + RS_j + RD_k + RS \times RD_{jk} + e_{ijkl}$$

여기서,

Y_{ijkl} : i번째 생산시기의 j번째 교배수컷의 수집 장소, k번째 교배암컷의 수집 장소에 속하는 개체에 대한 각 형질별 측정치,
 μ : 전체 평균,

B_i : i번째 생산 시기의 효과(j = batch 1, batch 2),

RS_j : j번째 교배수컷 수집 장소의 효과(j = CA, CB, CC, WB, WE, WG, WT),

RD_k : k번째 교배암컷 수집 장소의 효과(k = CA, CB, CC, CD, WB, WE, WG, WT),

$RS \times RD_{jk}$: j번째 교배수컷 수집 장소와 k번째 교배암컷 수집 장소의 상호작용 효과,

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

위의 선형 혼합모형에 의한 정규방정식을 풀기 위하여 형질에 마지막 효과를 0으로 하는 제한을 가하였다. 본 연구에서 설정한 선형 혼합모형은 PC용 SAS Package(Ver. 8.2)를 이용하

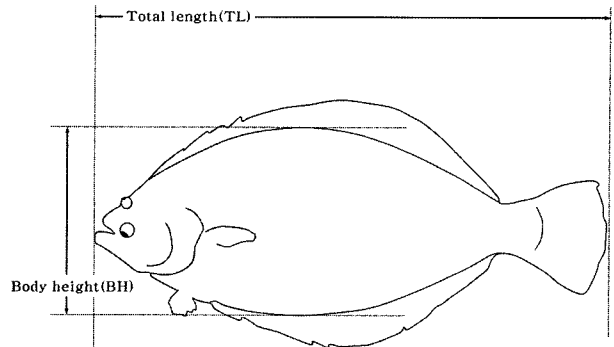


Fig. 1. Scheme of measurements for olive flounder *Paralichthys olivaceus*.

여 분석하였으며, GLM (Generalized linear model) 분석 결과 제공되는 4가지 제곱항 중에서 TYPE 제곱항을 이용하여 분산 분석을 실시하였고, 최소자승평균치간의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 실시하여 다음과 같은 귀무가설을 유의수준 1%로 각각 검정하였다.

(2) 유전모수 및 육종가의 추정

부화 후 180일령의 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도의 유전모수와 육종가를 추정하기 위하여 다음과 같은 다형질 혼합모형을 사용하였다.

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

여기서,

Y_{ijk} : i번째 형질에서 j번째 생산 시기에 속하는 개체에 대한 측정치,

μ_i : i번째 형질의 전체 평균,

B_{ij} : i번째 형질의 j번째 생산시기의 효과(j = batch 1, batch 2),

a_{ijk} : 개체에 대한 임의 효과 $\sim N(0, Ad^2_{ij})$, A는 혈연 계수 행렬,

e_{ijk} : 임의 오차. $\sim N(0, Id^2_{ij})$ 이다.

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

Table 2. Number of records of 180 days olds by batches, collected location of sire and dam

Batch	No. of fishes	Location of sire	No. of fishes	Location of dam	No. of fishes
Batch 1	1,350	CA	277	CA	992
Batch 2	1,763	CB	401	CB	778
		CC	1,868	CC	468
		WB	329	CD	219
		WE	37	WB	271
		WG	95	WE	194
		WT	106	WG	96
		WT		WT	95
Total	3,113		3,113		3,113

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$$

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

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

여기서, σ_a^2 = Additive genetic variance

σ_e^2 = Residual variance

h^2 = Heritability

r_G = Genetic correlation

r_P = Phenotypic correlation

180일령 성장형질의 유전능력평가 결과 검증

1) 공시재료

(1) 우량친어 및 열등친어의 선발

본 연구는 2005년에 생산한 부화 후 180일령 성장형질의 유전능력평가 결과를 검증하기 위해 실시하였다. 2005년에 생산된 부화 후 180일령 넙치의 유전능력 평가 결과를 분석하여 육중가가 높은 양식산 친어 7마리와 낮은 양식산 친어 4마리를 선정하였다.

(2) 교배

우량 친어간의 교배, 열등 친어간의 교배 및 우량 친어와 열등 친어간의 교배로 나누어 실시하였으며, 수정은 2006년 4월 18일에 복부 압박법으로 각각 난과 정액을 추출한 후 건식법으로 인공수정을 실시하였다. 가계생산은 우량군인 암컷(CA014, CA093)과 열등군인 암컷(CB105, CA015)을 난을 혼합하고, 우량군인 수컷(CC055, CC168)과 열등군인 수컷(CC111, CB067)

의 정액을 혼합하여 인공수정을 실시하여 16가계를 생산하고, 추가적으로 CB003(♀) × CC142(♂), CB003(♀) × CC055(♂), CA053(♀) × CC142(♂)간의 인공수정으로 생산된 우량군 3가계를 포함시켰다.

(3) 분석에 사용된 자료

생산된 수정란은 동일한 사육환경을 위해 혼합하여 5톤 FRP 수조에서 사육하였으며, 부화 후 180일령의 넙치를 무작위 선별한 520마리 중 친자확인 완료된 518마리의 계측형질 자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

부화 후 180일령 넙치의 유전변이 추정

1) 분산분석 및 일반능력

(1) 180일령 성장형질의 분산분석

본 연구에서 분석한 성장형질인 체중, 전장, 체고, 체형지수, 비만도 등의 대부분의 형질에 대한 생산 시기, 교배수컷의 수집 장소, 교배암컷의 수집 장소 및 교배수컷의 수집 장소와 교배암컷의 수집 장소의 상호효과 모두에서 고도의 유의성($P < 0.001$)을 나타내었다(Table 3).

(2) 180일령 성장형질의 일반능력

넙치의 부화 후 180일령의 성장형질에 대한 평균과 표준편차는 체중 85.5 ± 25.3 g, 전장 19.63 ± 1.85 cm, 체고 6.83 ± 0.73 cm, 체형지수 10.52 ± 0.46 , 비만도 10.98 ± 0.87 로 나타났다(Table 4).

2) 생산 시기, 교배수컷 및 교배암컷 수집 장소의 효과

(1) 생산 시기의 효과

부화 후 180일령 넙치의 성장형질에 대한 생산 시기별 최소 자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 생산 시간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다(Table 5). 체중, 전장 및

Table 3. Source of variation, degree of freedom, mean squares and tests of significance for growth-related traits at 180 days old

Source	df	Body weight	Total length	Body height	Body shape	Condition factor
Batch	1	112054***	164.22***	23.296***	15.267***	368.81***
Location of sire	6	5518***	36.00***	1.574***	0.964***	2.75***
Location of dam	7	3940***	29.50***	4.492***	0.611**	0.74
RS×RD	23	1353***	8.70***	1.566***	0.518***	1.27**
Error	3075	517	2.88	0.443	0.0144	0.59

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

Table 4. Overall means of growth-related traits at 180 days olds and their standard deviations

Source	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
Overall mean	85.5	19.6	6.83	10.52	10.98
Standard deviation	25.3	1.8	0.733	0.46	0.87

Table 5. Least-squares means and standard errors of growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days old by batch

Batch	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
Batch 1	84.2 ± 0.1^a	19.2 ± 0.1^a	6.72 ± 0.03^a	10.47 ± 0.02^b	11.36 ± 0.03^a
Batch 2	71.2 ± 0.1^b	18.7 ± 0.1^b	6.45 ± 0.03^b	10.62 ± 0.02^a	10.61 ± 0.03^b

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 of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days old by collected locations of sire

Location of sire	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
CA	90.1±1.5 ^a	19.8±0.1 ^a	7.00±0.04 ^a	10.36±0.03 ^c	11.21±0.05 ^a
CB	82.3±1.4 ^b	19.3±0.1 ^b	6.76±0.04 ^b	10.46±0.03 ^{bc}	11.07±0.05 ^{ab}
CC	84.0±0.7 ^b	19.5±0.1 ^b	6.75±0.02 ^b	10.55±0.01 ^a	11.01±0.02 ^b
WB	70.1±1.4 ^c	18.4±0.1 ^c	6.37±0.04 ^c	10.59±0.03 ^a	10.94±0.05 ^b
WE	64.5±3.8 ^c	18.0±0.3 ^c	6.14±0.11 ^c	10.70±0.07 ^a	10.87±0.13 ^{ab}
WG	68.8±2.4 ^c	18.3±0.2 ^c	6.30±0.07 ^c	10.64±0.05 ^a	10.85±0.08 ^b
WT	83.8±2.3 ^{ab}	19.4±0.2 ^{ab}	6.76±0.07 ^b	10.51±0.04 ^{ab}	10.92±0.08 ^b

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

Table 7. Least-squares means and standard errors of growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days old by collected locations of dam

Location of dam	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
CA	86.6±1.0 ^b	19.7±0.1 ^b	6.86±0.03 ^b	10.53±0.02 ^{ab}	10.95±0.03 ^{bc}
CB	82.5±1.1 ^c	19.3±0.1 ^c	6.74±0.03 ^c	10.46±0.02 ^c	11.11±0.04 ^a
CC	81.4±1.3 ^c	19.3±0.1 ^c	6.70±0.04 ^c	10.55±0.03 ^{ab}	10.92±0.05 ^{bc}
CD	94.4±1.8 ^a	20.2±0.1 ^a	7.07±0.05 ^a	10.47±0.03 ^{bc}	11.03±0.06 ^{ab}
WB	73.0±1.8 ^d	18.7±0.1 ^d	6.46±0.05 ^d	10.59±0.03 ^a	10.81±0.06 ^c
WE	69.7±1.8 ^{de}	18.2±0.1 ^c	6.31±0.05 ^{de}	10.59±0.04 ^{ab}	11.05±0.06 ^{ab}
WG	65.1±2.4 ^e	17.9±0.2 ^c	6.22±0.07 ^c	10.51±0.05 ^{abc}	11.20±0.08 ^a
WT	68.7±2.6 ^{de}	18.3±0.2 ^{de}	6.30±0.08 ^{de}	10.64±0.05 ^{ab}	10.80±0.09 ^{bcd}

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

체고의 각 생산 시기별 최소자승평균치에 있어서, batch 1에서는 각각 84.2±1.0 g, 19.2±0.1 cm, 6.72±0.03 cm로 나타났으며, batch 2에서는 각각 71.2±1.0 g, 18.7±0.1 cm, 6.45±0.03 cm로 나타났다. 성장과 관련이 높은 형질인 체중, 전장 및 체고는 생산시기가 9일 빠른 batch 1에서 유의적으로 높게 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 각 생산시기별 최소자승평균치에 있어서, batch 1에서는 각각 10.47±0.02, 11.36±0.03으로 나타났으며, batch 2에서는 각각 10.62±0.02, 10.61±0.03으로 나타났다. 전장에 대한 체고의 비로 나타난 체형지수의 경우 생산시기가 느린 batch 2에서 유의적으로 높게 나타났으며, 비만의 정도를 표시하는 비만도의 경우는 생산시기가 빠른 batch 1에서 유의적으로 높게 나타났다($P<0.01$).

(2) 교배수컷 수집 장소의 효과

부화 후 180일령 넙치의 성장형질에 대한 교배수컷 수집 장소별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 수집 장소간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다(Table 6). 체중, 전장 및 체고의 각 교배수컷 수집 장소별 최소자승평균치에 있어서, 양식산 A는 각각 90.1±1.5 g, 19.8±0.1 cm, 7.00±0.04 cm로 나타나 타 지역에서 수집한 집단보다 유의적으로 높게 나타났으며, 자연에서 수집한 동해안산은 각각 64.5±3.8 g, 18.0±0.3 cm, 6.14±0.11 cm로 나타나 타 지역에서 수집한 집단보다 유의적으로 낮게 나타났다. 전체적으로 성장과 관련이 높은 체중, 전장 및 체고는 자연산 집단(WB, WE, WG, WT)에 비해 양식산 집단(CA, CB, CC)이 대체적으로 높게 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 각 교배수컷 수집 장소별 최소자승평균치에 있어서, 동해안산은 각각 10.70±0.07, 10.87±0.13으로 나타났으며, 양식산 A가 각각 10.36±0.03, 11.21±0.05로 나타났다. 체형지수의 경우 동해안산이 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 비만도의 경우 양식산 A가 유의적으로 가장 높게 나타났다($P<0.01$).

(3) 교배암컷 수집 장소의 효과

부화 후 180일령 넙치의 성장형질에 대한 교배암컷 수집 장소별 최소자승평균치를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 수집 장소간의 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다(Table 7). 체중, 전장 및 체고의 각 교배암컷 수집 장소별 최소자승평균치에 있어서, 양식산 D는 각각 94.4±1.8 g, 20.2±0.1 cm, 7.07±0.05 cm로 나타나 타 지역에서 수집한 집단보다 유의적으로 높게 나타났으며, 거제 지역에서 수집한 자연산이 각각 65.1±2.4 g, 17.9±0.2 cm, 6.22±0.07 cm로 나타나 타 지역에서 수집한 집단보다 유의적으로 낮게 나타났다. 전체적으로 성장과 관련이 높은 체중, 전장 및 체고는 자연산 집단(WB, WE, WG, WT)에 비해 양식산 집단(CA, CB, CC, CD)이 대체적으로 높게 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 각 교배암컷 수집 장소별 최소자승평균치에 있어서, 태안산은 각각 10.64±0.05, 10.80±0.09로 나타났으며, 양식산 B가 각각 10.46±0.02, 11.11±0.04로 나타났다. 체형지수의 경우 태안산이 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 비만도의 경우 양식산 B가 유의적으로 가장 높게 나타났다.

이상의 결과에서 자연산 집단에 비해 양식산 집단을 어미로 이용하여 생산된 1세대의 성장이 유의적으로 높게 나타났다. 이는 수정란 생산업체의 넙치 선발방향이 체형을 고려하지 않고 체중 중심으로 진행된 것으로 추정된다. 이는 Thodesen et al. (1999)이 보고한 자연산과 선발된 대서양연어를 이용하여 생산된 후대의 체중과 체중증가율을 비교한 결과, 자연산은 각각 743 ± 20 g, 39%, 선발된 연어는 각각 1455 ± 32 g, 79%로 나타났다는 것과 유사한 결과를 보여 준다.

3) 유전모수

(1) 유전력

부화 후 180일령 넙치의 성장형질에 대한 유전력 추정치를 살펴보면(Table 8), 성장과 관련이 높은 형질인 체중, 전장 및 체고의 유전력은 각각 0.564, 0.590, 0.588로 추정되었고, 체형과 관련이 높은 형질인 체형지수와 비만도는 각각 0.306, 0.332로 추정되었다(Table 8). 이는 Hong et al. (1999)이 보고한 나일틸라피아의 부화 후 60일령 체중에 대한 유전력 0.28~0.51 범위보다 높은 결과이고, Choe et al. (1998)이 보고한 유어기 시마연어인 7개월령 전장에 대한 유전력 0.35~0.47보다 높은 추정치를 보였다. 이와 같은 결과는 넙치 선발 1세대 생산 시 여러지역 자연산 어미의 도입으로 가계 및 개체변이가 커졌기 때문으로 보여진다.

(2) 유전상관과 표현형 상관

부화 후 180일령의 주요 계측 형질간의 유전상관 및 표현형

상관을 살펴보면, 체중과 전장, 체고, 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 0.981, 0.976, -0.387, 0.373이었고, 표현형 상관은 0.954, 0.929, -0.230, 0.379이었다. 또한 전장과 체고, 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 0.963, -0.288, 0.213이었고, 표현형 상관은 0.916, -0.105, 0.130이었으며, 체고와 체형지수 및 비만도간의 유전상관은 각각 -0.535, 0.397이었고, 표현형 상관은 -0.492, 0.336이었다. 체형지수와 비만도간의 유전상관과 표현형 상관은 각각 -0.740, -0.549이었다. 이는 Wikelman et al. (1994)이 보고한 치누크연어의 9개월령 체중과 전장간의 유전상관 0.98과 비슷한 결과이다. 대체적으로 성장과 관련이 높은 체중, 전장 및 체고간의 유전상관 및 표현형상관은 높은 정(+)의 상관을 보였고, 이는 하나의 형질만을 선발하면 다른 형질의 개량이 가능할 것으로 판단되며, 성장형질과 체형형질의 상관관계가 약하므로 성장과 체형을 동시에 선발할 때에는 선발지수를 이용하는 것이 바람직하다.

180일령 성장형질의 유전능력평가 결과 검정

1) 교배그룹의 효과

조사된 성장형질의 교배그룹별(우량×우량; S×S, 우량×우량; S×I, 열등×열등; I×I) 비교 결과를 살펴보면, 조사된 대부분의 형질에서 교배그룹별로 뚜렷한 통계적 유의차를 보였다(Table 7). 체중, 전장 및 체고의 각 교배그룹별 최소자승평균치에 있어서 우량친어간의 교배에 의해 생산된 교배구(S×S)가 각각 145.6 ± 1.8 g, 22.4 ± 0.1 cm, 8.15 ± 0.04 cm로 나타났고, 우량친어와 열등친어간의 교배에 의해 생산된 교배구(S×I)가 각각 133.2 ± 2.5 g, 22.1 ± 0.1 cm, 7.84 ± 0.06 cm로 나타났으며, 열등친어간의 교배에 의해 생산된 교배구(I×I)가 각각 114.0 ± 2.1 g, 21.1 ± 0.1 cm, 7.38 ± 0.05 cm로 나타났다. 성장과 관련이 높은 형질인 체중, 전장 및 체고는 우량하다고 평가된 친어간의 교배구가 전 형질에서 유의적으로 높게 나타났다.

체형과 관련이 높은 체형지수와 비만도의 각 교배그룹별 최소자승평균치에 있어서, 우량친어간의 교배에 의해 생산된 교

Table 8. Genetic variance(σ_g^2), residual variance(σ_e^2) and heritability(h^2) on growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days old

Traits	Genetic variance	Residual variance	Heritability
Body weight	337.30	260.80	0.564
Total length	2.0380	1.4160	0.590
Body height	0.3110	0.2177	0.588
Body shape	0.0046	0.0105	0.306
Condition factor	0.2030	0.4081	0.332

Table 9. Genetic and phenotypic correlations among the growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days old

Traits	Body weight	Total length	Body height	Body shape	Condition factor
Body weight		0.954	0.929	-0.230	0.379
Total length	0.981		0.916	-0.105	0.130
Body height	0.976	0.963		-0.492	0.336
Body shape	-0.387	-0.288	-0.535		-0.549
Condition factor	0.373	0.213	0.397	-0.740	

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

Table 10. Least-squares means and standard errors of growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days old by mating group

Mating group	Body weight (g)	Total length (cm)	Body height (cm)	Body shape	Condition factor
S×S	145.6 ± 1.8^a	22.4 ± 0.1^a	8.15 ± 0.04^a	10.06 ± 0.02^c	12.74 ± 0.04^a
S×I	133.2 ± 2.5^b	22.1 ± 0.1^a	7.84 ± 0.06^b	10.28 ± 0.03^b	12.20 ± 0.06^b
I×I	114.0 ± 2.1^c	21.1 ± 0.1^b	7.38 ± 0.05^c	10.45 ± 0.02^a	11.90 ± 0.05^c

Table 11. Breeding value of mating sire and least-squares means and standard errors of growth-related traits at 180 days old by mating sire

Sire	Breeding value			Growth-related traits		
	BW(rank/total)	BS	CF	BW(g)	BS	CF
CC168	35.56(2/140)	-0.059	-0.003	148.5±5.1 ^a	10.16±0.06 ^b	12.48±0.12 ^{ab}
CC055	33.09(3/140)	0.007	0.194	139.9±3.5 ^a	10.13±0.04 ^b	12.25±0.08 ^{bc}
CC142	27.34(6/140)	0.024	0.478	138.7±4.6 ^{ab}	10.12±0.05 ^b	12.91±0.11 ^a
CC111	-12.60(116/140)	0.015	-0.001	118.3±3.7 ^c	10.36±0.04 ^a	11.97±0.09 ^c
CB067	-21.05(133/140)	0.015	-0.263	127.3±3.5 ^{bc}	10.33±0.04 ^a	12.09±0.08 ^c

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

Table 12. Breeding value of mating dam and least-squares means and standard errors of growth-related traits at 180 days old by mating dam

Dam	Breeding value			Growth-related traits		
	BW(rank/total)	BS	CF	BW	BS	CF
CA014	20.81(6/161)	0.000	0.087	142.4±4.8 ^a	10.29±0.05 ^{abc}	12.39±0.11 ^{ab}
CA093	20.15(8/161)	-0.052	0.448	130.0±8.4 ^{ab}	10.13±0.09 ^{abc}	12.65±0.20 ^a
CB003	13.11(19/161)	-0.062	0.441	141.3±4.2 ^a	10.10±0.05 ^c	12.45±0.10 ^a
CA053	12.21(23/161)	-0.017	-0.113	141.1±5.7 ^{ab}	10.29±0.06 ^{ab}	11.97±0.13 ^b
CB105	-8.08(125/161)	0.026	-0.293	125.2±2.4 ^b	10.35±0.03 ^a	12.17±0.06 ^{ab}
CA045	-12.29(142/161)	-0.025	0.097	127.3±4.9 ^{ab}	10.17±0.05 ^{bc}	12.43±0.11 ^{ab}

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

배구(S×S)가 각각 10.06±0.02, 12.74±0.04로 나타났고, 우량친어와 열등친어간의 교배에 의해 생산된 교배구(S×I)가 각각 10.28±0.03, 12.20±0.06으로 나타났으며, 열등친어간의 교배에 의해 생산된 교배구(I×I)가 각각 10.45±0.02, 11.90±0.05로 나타났다. 전장에 대한 체고의 비로 나타낸 체형지수의 경우 열등하다고 평가된 친어간의 교배구가 유의적으로 높게 나타났으며, 비만의 정도를 표시하는 비만도의 경우 우량하다고 평가된 친어간의 교배구가 유의적으로 높게 나타났다.

2) 교배수컷의 효과

교배에 사용된 수컷의 육종가와 교배에 의해 생산된 후대의 교배수컷별 최소자승평균치를 살펴보면(Table 11), 교배에 사용된 수컷 CC168, CC055, CC142, CC111 및 CB067의 개체별 체중 육종가는 각각 35.56, 33.09, 27.34, -12.60, -21.05로 추정되었으며, 체중의 교배수컷별 최소자승평균치는 각각 148.5±5.1 g, 139.9±3.5 g, 138.7±4.6 g, 118.3±3.7 g, 127.3±3.5 g으로 나타났다. 육종가가 높게 평가된 CC168과 CC055의 후대가 다른 수컷에서 생산된 후대보다 유의적으로 높게 나타났다.

3) 교배암컷의 효과

교배에 사용된 암컷의 육종가와 교배에 의해 생산된 후대의 교배암컷별 최소자승평균치를 살펴보면(Table 12), 교배에 사용된 암컷 CA014, CA093, CB003, CA053, CB105 및 CA045 개체별 체중 육종가는 각각 20.81, 20.15, 13.11, 12.21, -8.08, -12.29로 추정되었으며, 체중의 교배암컷별 최소자승평균치는 육종가가 높은 개체순으로 각각 142.4±4.8 g, 130.0±8.4 g, 141.3±4.2 g, 141.1±5.7 g, 125.2±2.4 g, 127.3±4.9 g으로 나타났다. 육종가가 높게 평가된 CA014와 CB003의 후대가 다른 암컷에서 생산된 후대보다 유의적으로 높게 나타났다.

넙치 선발 1세대 유전능력평가 결과의 재현성 검정결과에서 교배된 어미의 유전능력에 따라 후대의 표현형이 결정되는 것으로 나타났고, 유전력도 대체적으로 높게 추정되어 넙치를 대상으로 선별하여 꾸준히 대를 이어 선발한다면 노르웨이의 연어 못지않은 성과를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 2005년에 생산한 넙치 선발 1세대의 초기 성장에 대한 유전모수 및 유전능력평가 결과의 재현성을 검정하기 위해 부화 후 180일령 넙치의 성장형질 측정치를 EM-REML 알고리즘(Miszta, 2001)을 이용하여 유전모수와 육종가를 추정하였으며, 추정된 육종가를 기준으로 선발된 우량 친어와 열등한 친어간의 교배에 의해 2006년에 생산된 가계를 이용하여 유전능력평가의 재현성을 검정하였다.

넙치 선발 1세대의 부화 후 180일령 체중, 전장, 체고, 체형지수 및 비만도의 유전력은 각각 0.564, 0.590, 0.588, 0.306, 0.332로 추정되었다.

체중 및 전장의 각 교배그룹별 최소자승평균치에 있어서 우량친어간의 교배에 의해 생산된 가계(S×S)가 각각 145.6±1.8 g, 22.4±0.1 cm로 나타났고, 우량친어와 열등친어간의 교배에 의해 생산된 가계(S×I)가 각각 133.2±2.5 g, 22.1±0.1 cm로 나타났으며, 열등친어간의 교배에 의해 생산된 가계(I×I)가 각각 114.0±2.1 g, 21.1±0.1 cm로 나타났다. 체형 관련 형질인 체형지수와 비만도의 각 교배그룹별 최소자승평균치에 있어서, S×S 가계가 각각 2.756±0.005, 12.74±0.04로 나타났고, S×I가계가 각각 2.817±0.008, 12.20±0.06으로 나타났으며, I×I가계가 각각

2.863±0.007, 11.90±0.05로 나타났다.

이상의 결과에서 넙치의 성장초기인 부화 후 180일령의 유전력은 대체적으로 높게 추정되어 선발육종 대상어종으로 적합한 것으로 판단되며, 유전능력평가의 재현성도 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원(육종기술개발, RP-2008-AQ-074)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- Choe, M. K. and F. Yamazaki, 1998. Estimation of heritabilities of growth traits, and phenotypic and genetic correlations in juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou*. Fish. Sci., 64, 903-908.
- Gall, G. A. E. and N. Huang, 1988. Heritability and selection schemes of rainbow trout: body weight. Aquaculture, 73, 43-56.
- Gjedrem, T., 1997. Selective breeding to improve aquaculture production. World Aquacul., 28, 33-45.
- Hussein, M. E., J. A. Joyce, 1978. Heritability of body size traits, dressing weight and lipid content in channel catfish. J. Anim. Sci., 47, 82-88.
- McIntyre, J. D. and D. F. Amend, 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/numbub/blupf90/docs/remlf90.pdf>
- Refstie, T., 1990. Application of breeding schemes. Aquaculture, 85, 163-169.
- Su, G. S., L. E. Liljedahl, G. A. E. Gall, 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., B. Gjerde, 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 180, 237-246.
- Winkelman, A. M. and R. G. Peterson, 1994. Genetic parameter (heritabilities, dominance ratios and genetic correlations) for body weight and length of chinook salmon after 9 and 22 months of saltwater rearing. Aquaculture, 125, 31-36.
- Hong, K. P. and K. J. Lee, 1999. Estimation of genetic parameters on metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age. J. Kor. Fish. Soc., 32, 404-408..

원고접수 : 2008년 10월 23일

심사완료 : 2008년 10월 31일

수정본 수리 : 2008년 11월 1일