

## 60일령 나일틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 계측형질에 대한 遺傳母數 推定

홍경표 · 이광전\*  
한국해양연구소, \*건국대학교 축산대학

### Estimation of Genetic Parameters on Metric Traits in *Oreochromis niloticus* at 60 Days of Age

Kyung Pyo HONG and Kwang Jeon LEE\*

KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea \*College of Animal Husbandary, Konkuk University  
E-mail : kphong@kordi.re.kr

To analyze the possibility for the genetic improvement at the early growth period at 60 days of age in tilapia, *Oreochromis niloticus*. Genetic parameters on eight metric traits, total length (TL), standard length (SL), head length (HL), body depth (BD), body height at the origin of dorsal fin (BH1), length from the origin of dorsal fin to the origin of anal fin (BH2), snout length (SNL), and body weight (BW), were estimated by sib analysis. Heritabilities estimated from sire, dam and full-sib components were moderately high in all metric traits, ranged 0.08~0.70, 0.22~0.41 and 0.18~0.55, respectively. Those of SL from sire, dam, and full-sib component were estimated as 0.13, 0.22, and 0.18, respectively. Besides BH1, BH2 also showed high heritabilities,  $h^2_s$  (0.08),  $h^2_d$  (0.38) and  $h^2_{s+d}$  (0.23), indicating that it would be a new production-related metric trait for selection. Among the metric traits, phenotypic and genetic correlation coefficients were ranged from 0.86 to 0.97 and from 0.90 to 0.99, respectively. Thus, genetic improvement would be possible at the early growth rate by the individual selection in tilapia.

Key words: genetic parameter, metric traits, sib analysis

#### 서 론

우리 나라의 수산양식은 1960년 이후 대상 생물의 사육환경 및 제반 사육기술의 개발을 통해 급속하게 발전하여 왔으며 (Kim, 1997), 최근에는 양식 어류 집단의 생산성을 높이기 위한 선발육종의 필요성이 제기되고 있다. 선발육종에 따른 유전적 개량량 ( $\Delta G$ )은 세대를 거듭할수록 누적적으로 커지게 되어 생산성을 지속적으로 제고시킬 수가 있는데, 선발의 기준으로는 유전율 (heritability,  $h^2$ ) 등 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 있는데, 체중, 체장 등 어류의 주요 계측형질들은 특정 연령에서 생산성 관련 형질로써 직접 선발에 이용되어질 수 있다 (Gjedrem, 1997; Refstie, 1990). 따라서, 육종계획 수립 및 선발의 정확도 (accuracy of selection)를 높이기 위해서는 유전모수를 정확하게 추정하여야 하는데, 이를 위해서는 전체 표현형 변이 중에서 순수한 상가적 유전분산 (additive genetic variance)만을 추정하는 것이 매우 중요하다 (Su et al., 1996). 한편, 양식 어류에 있어서 초기에 성장이 빠르면 생산비 절감은 물론 총 사육기간 단축 등 생산성을 크게 향상시킬 수가 있다.

우리 나라에서는 1955년 이후 태국, 일본 및 대만 등지에서 양식되고 있던 *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* 및 *O. aureus* 계통의 틸라피아와 이들간의 잡종을 도입하여 각 양식장에서 혼합 사육하고 있으며, 이 중 대형종인 나일틸라피아 (*O. niloticus*)를 가장 많이 양식하고 있다 (Kim, 1994). 따라서, 본 연구는 60일령의 나일틸라피어를 대상으로 초기 성장에 있어서의 유전모수 추정을 위하여 체장, 체고, 체중 등 계측형질 (metric traits)에 대한

통계모형 (statistical model)을 개발하고, 각 형질별로 유전을 및 이들 형질간의 유전상관 (genetic correlation)과 표현형상관 (phenotypic correlation) 등을 추정하였다.

#### 재료 및 방법

##### 실험어류 및 반형매가계생산

1997년 6월부터 1997년 11월까지 한국해양연구소에서 6~12개월령의 0세어 나일틸라피아중 수컷 23마리와 암컷 32마리를 무작위로 확보하여 sire와 dam으로 사용하였다. 친어의 개체식별을 위해 각각 고유의 ID 번호를 가지는, transponder (Trovan ID-100, Germany)를 근육내에 삽입하였다. 사용한 sire와 dam의 평균체장 ( $\pm$  SD)은 각각 213.36  $\pm$  23.89와 190.72  $\pm$  22.17 mm였으며 평균체중은 각각 391.15  $\pm$  128.09 및 266.75  $\pm$  98.79 g이었다.

자연수정과 인공수정을 병행하면서 부계 (paternal) 및 모계 반형매 (maternal half-sib) 집단을 생산하였다. 12개의 사각 유리수조 (250 l)에 sire 1마리와 dam 3~4마리씩 수용하여 자연산란을 유도하였으며, 산란 직후 암컷의 구강내 수정란을 수거하여 인공으로 부화시켰다. 인공수정은 자연산란 직전의 dam을 마취하여 인공 채란을 한 후 난을 균할한 다음 각각 다른 sire를 이용하여 건도법으로 수정시켜 모계 반형매 집단 생산을 시도하였다. 또한 각 sire는 부계 반형매 집단 생산을 위해 연속적으로 각각 다른 dam과의 교배를 유도하였다. 부화는 인공부화기를 제작하여 사용하였으며 부화 수온은 28  $\pm$  1 $^{\circ}$ C를 유지하였다.

##### 사육 (Stocking)

부화후 약 3일 만에 난황이 흡수되면서 부상한 부화자어는

순환여과식 2톤 수조에서 190×130×105 mm 크기의 가두리에 수용하여 부화후 25일간 사육한 다음 200×300×400 mm 크기의 가두리로 옮겨서 사육하였다. 이 때 가두리별 밀도는 부화후 60일까지 60마리 정도로 유지하였으며, 각 가두리별로 사육수가 직접 공급되도록 하였다. 사료는 부화후 25일까지 평일에는 하루에 5회씩 송어용 분말 사료를 급여하였고, 휴일 및 야간에는 뱀장어용 분말 사료를 이용한 반죽사료를 급여하였다. 그 후 60일령까지 급여 사료의 입자 크기가 개체간 성장 차이를 가속화시키는 환경요인으로 작용하는 것을 방지하도록 적정 크기의 사료를 매회 더 이상 먹지 않을 때까지 하루 3회 급여하였다.

사육수온은 실험기간 내내 수중히터를 사용하여 27~31°C, 용존 산소 (DO)는 3.5~5.5 mg/l을 유지하였다. 사육수는 순환여과를 하면서 보충수를 공급하였으며 여과된 물은 유수식 자외선 살균기를 통하여 연속 살균하였다. 기타의 모든 환경 조건은 동일한 것으로 간주하였다.

#### 표본계측 (Sampling)

부화후 60일령에 약 30마리씩 무작위로 표본을 추출하여 다음의 형질에 대한 계측을 실시하였으며, 성을 확인하였다. 이 때 최소 계측 단위는 길이의 경우 0.1 mm 이며, 무게는 0.01 g으로 하였다. 개체별 계측형질은 Fig. 1에 나타내었으며 다음과 같다. 전장 (total length, TL), 체장 (standard length, SL), 두장 (head length, HL), 주둥이길이 (snout length, SNL), 위턱길이 (length of upper jaw, UJ), 체고 1 (body height at the origin of dorsal fin, BH1), 체고 2 (length from the origin of dorsal fin to the origin of anal fin, BH2), 체폭 (body depth, BD), 두폭 (head width, HW) 및 체중 (body weight, BW) 등 10 개였다. 성의 판정은 계측후 복부를 절개하여 생식소를 적출한 다음 slide glass에 놓고 cover glass로 덮은 후 현미경하 (×100)에서 난모세포의 유무로 결정하였다.

#### 통계모형 (statistical model)

60일령 나일틸라피아의 계측형질에 대한 분산성분 (variance component)을 추정하기 위해 restricted maximum-likelihood (REML) 방법을 이용하였으며, 통계모형은 다음과 같다.

$$Y_{ijklmn} = \mu + X_i + C_j + H_k + S_i + D_m + \gamma_{lm} + E_{ijklmn}$$

위에서,

$Y_{ijklmn}$ :  $i$ 번째 sire와  $m$ 번째 dam의 후손인  $n$ 번째 개체의 관측치

$\mu$ : 전체평균

$X_i$ :  $i$ 번째 성의 고정효과 (fixed effect)

$C_j$ :  $j$ 번째 부화 월별 고정효과

$H_k$ :  $k$ 번째 초기 밀도의 고정효과

$S_i$ :  $i$ 번째 sire의 임의효과 (random effect)

$D_m$ :  $m$ 번째 dam의 임의효과

$\gamma_{lm}$ :  $i$ 번째 sire와  $m$ 번째 dam간 상호작용의 임의효과

$E_{ijklmn}$ : 기타 임의효과 (residuals)

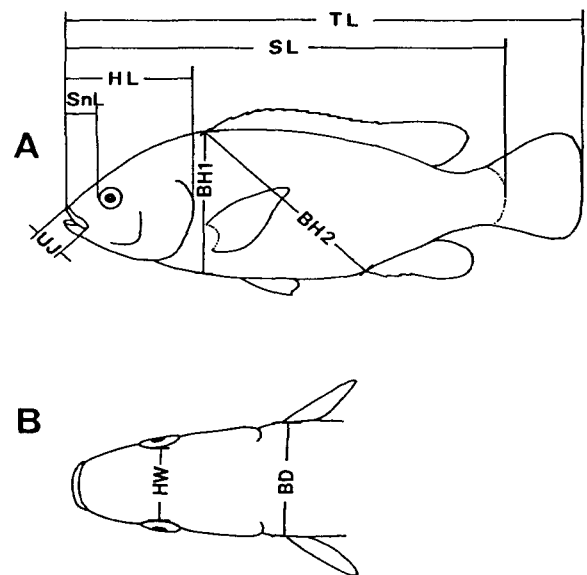


Fig. 1. Diagram of several metric traits in *Oreochromis niloticus*. (A: side view of fish, B: dorsal view of fish)

Side view of fish: TL; total length, SL; standard length, HL; head length, SNL; snout length, UJ; length of upper jaw, BH1; body height at the origin of dorsal fin (body height 1), BH2; length from the origin of dorsal fin to the origin of anal fin (body height 2)

Dorsal view of fish: HW; head width, BD; body depth

유전율은 Falconer (1981)의 방법에 따라 형태분석 (sib analysis)을 통한 sire 및 dam의 분산성분을 이용하여 추정하였다. 유전율에 대한 표준오차 (standard error of heritability, SE  $h^2$ ), 유전상관 ( $\gamma_G$ ) 및 표현형상관 ( $\gamma_P$ ) 등은 Becker (1984)의 방법에 의해 구하였다.

#### 결과 및 고찰

분석에 이용된 계측기록은 모두 51개 반형태 관계 전형매 집단 of 개체들을 대상으로 하였으며, 각 계측형질별로 1,454 개였다 (Table 1). 이 때 각 sire와 dam은 반형태 집단을 생산하기 위하여 일부 서로 교차되면서 각기 다른 배우자와 반복 교배되었기 때문에 전형매 집단의 수와 sire 및 dam의 수가 일치하지는 않았다. 성은 암컷 (M)과 수컷 (F)으로 구분하였고, 각 전형매 집단은 부화월을 따라서 6월은 '1', 7월은 '2', 그리고 8월은 '3'으로 각각 그룹화하여 부화 월별 효과로써 고정효과에 포함시켰다. 한편, 일부 구간에서 약간의 밀도 차이를 나타내어 기준밀도 (60마리, M)를 중심으로 70마리 이상은 high (H), 50마리 이하는 low (L) 등으로 구분하여 초기 사육밀도 효과로써 통계모형에 포함시켰다. 한편, Dam의 산차는 3~7산까지 분포하였으나 유의차가 없었으므로 ( $p > 0.05$ ) 고정효과에 포함시키지 않았다.

각 계측형질에 대하여 여러 고정효과에 대한 최소자승평균 (least square mean, LSM)과 그에 대한 표준오차 (standard error, SE)를 추정하였으며, 또한 각 고정효과별로 Duncan's multiple range test ( $\alpha = 0.05$ )를 실시하였다 (Table 2). 단, HW 및 UJ는

**Table 1. Data classification and distribution (total=1,454 records)**

No. of Sire	No. of Dam	No. of full-sib family	Sex	Mo <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>
23	32	51	F (991) <sup>3</sup>	1 (428)	H (377)
			M (463)	2 (552)	M (1,040)
				3 (474)	L (37)

<sup>1</sup> Hatching month (1, Jun; 2, Jul.; 3, Aug.)

<sup>2</sup> Rearing density (H ; more than 70 individuals per cage, M ; 60 individuals per cage, L ; less than 50 individuals per cage)

<sup>3</sup> No of records

**Table 2. Least square means and standard errors (in parenthesis) of fixed effects, sex, hatching month (MO) and rearing density (D), in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age (Unit : mm except BW (g))**

	Sex		MO <sup>1</sup>			D <sup>2</sup>		
	F	M	1	2	3	H	M	L
TL	73.85 <sup>A3</sup> (1.47)	74.90 <sup>B</sup> (1.50)	69.87 <sup>C</sup> (1.90)	75.54 <sup>A</sup> (1.42)	77.72 <sup>B</sup> (2.01)	70.69 <sup>B</sup> (1.44)	86.05 <sup>C</sup> (3.72)	66.39 <sup>A</sup> (0.94)
SL	59.27 <sup>A</sup> (1.18)	60.14 <sup>B</sup> (1.20)	55.90 <sup>C</sup> (1.54)	60.88 <sup>A</sup> (1.15)	62.34 <sup>B</sup> (1.60)	56.87 <sup>B</sup> (1.18)	68.87 <sup>C</sup> (3.03)	53.38 <sup>A</sup> (0.73)
HL	18.47 <sup>A</sup> (0.36)	18.74 <sup>A</sup> (0.36)	17.64 <sup>C</sup> (0.46)	18.90 <sup>A</sup> (0.34)	19.29 <sup>B</sup> (0.49)	17.62 <sup>B</sup> (0.36)	21.44 <sup>C</sup> (0.91)	16.76 <sup>A</sup> (0.22)
BD	12.02 <sup>A</sup> (0.32)	12.21 <sup>A</sup> (0.33)	11.19 <sup>C</sup> (0.42)	12.47 <sup>A</sup> (0.31)	12.70 <sup>B</sup> (0.44)	11.81 <sup>B</sup> (0.32)	13.65 <sup>C</sup> (0.82)	10.89 <sup>A</sup> (0.20)
BH1	23.38 <sup>A</sup> (0.56)	23.82 <sup>A</sup> (0.57)	21.94 <sup>C</sup> (0.72)	23.90 <sup>A</sup> (0.54)	24.98 <sup>B</sup> (0.77)	22.33 <sup>B</sup> (0.54)	27.54 <sup>C</sup> (1.40)	20.94 <sup>A</sup> (0.30)
BH2	31.03 <sup>A</sup> (0.72)	31.54 <sup>A</sup> (0.73)	29.08 <sup>C</sup> (0.94)	31.91 <sup>A</sup> (0.70)	32.87 <sup>B</sup> (0.97)	29.39 <sup>B</sup> (0.72)	36.89 <sup>C</sup> (1.84)	27.57 <sup>A</sup> (0.44)
SNL	4.66 <sup>A</sup> (0.11)	4.77 <sup>B</sup> (0.11)	4.33 <sup>C</sup> (0.14)	4.86 <sup>A</sup> (0.10)	4.96 <sup>B</sup> (0.15)	4.49 <sup>B</sup> (0.10)	5.41 <sup>C</sup> (0.27)	4.25 <sup>A</sup> (0.07)
BW	8.96 <sup>A</sup> (0.46)	8.96 <sup>A</sup> (0.47)	7.84 <sup>C</sup> (0.60)	9.46 <sup>A</sup> (0.45)	10.14 <sup>B</sup> (0.62)	7.60 <sup>B</sup> (0.46)	13.55 <sup>C</sup> (1.18)	6.30 <sup>A</sup> (0.28)

(Produced by Mixed Procedure in SAS)

<sup>1</sup> Hatching month (1, Jun; 2, Jul.; 3, Aug.)

<sup>2</sup> Rearing density (H ; more than 70 individuals per cage, M ; 60 individuals per cage, L ; less than 50 individuals per cage)

<sup>3</sup> Duncan's multiple range test grouping using the means not adjusted for other terms in the model. Means with the same letter are not significantly different and means without letter are significantly different each other ( $\alpha=0.05$ ).

측정치가 매우 작아 측정하기 어려운 관계로 본 분석에서 제외하였다.

나일틸라피아는 수컷이 암컷에 비해 성장이 빠른 것으로 알려져 있는데, 60일령에서 HL, BD, BH1 및 BH2에서는 암수간 차이가 없었으나, TL, SL, SNL 및 BW 등에서는 암수간 유의차가 있는 것으로 나타났다 ( $p>0.05$ ). 따라서, 60일령 이후 나일틸라피아의 유전모수 추정시 성의 효과를 고정 효과에 포함하는 것은 바람직한 것으로 판단되었다. 한편, 이 시기에 있어서 성의 중요성에 대해서는 뒤에서 다시 언급하기로 한다.

부화 월별 효과의 최소자승 평균치는 모든 계측형질에서 8월에 부화한 구간 (3)에서 가장 높았으며 그 다음으로 7월 (2), 6월 (1)의 순이었다. 따라서, 전 실험 기간동안 수조 내 사육수온을 일정하게 유지하였지만, 부화 월간 차이가 나는 것은 일조시간 등 월별

자연 환경 조건이 어류의 성장에 또 다른 영향을 미치고 있다는 것으로, 부화 월별 효과도 중요한 고정 효과중의 하나로 입증되었다.

한편, 실험 계획상으로는 사육밀도를 비롯한 기타 환경요인을 가능한 한 동일하게 하려고 하였으나, 실제로는 초기 사망 등으로 인해 가두리별로 약간의 밀도 차이를 나타내었기에 이를 구분하여 사육밀도간 유의성 검정을 한 결과 ( $p>0.05$ ), M 구간의 성장이 가장 우수하였다. 특히, BW에서는 H 및 L 구간보다 두 배에 가까운 성장차이를 나타내었으므로 본 연구에서 초기 사육밀도도 주요 환경요인으로 작용하고 있었다.

다음은 부계반형매, 모계반형매 및 전형매 분산성분을 이용하여 계측형질별로 각각의 유전을 즉,  $h^2_s$ ,  $h^2_d$ ,  $h^2_{s+d}$ 을 구하였다 (Table 3). 분산성분 중에서  $\sigma^2_s$ 은 반형매간의 공분산 ( $COV_{HS}$ )으로 상가적 유전분산 ( $1/4V_A$ )에 해당하는 반면에  $\sigma^2_d$ 은  $1/4V_A$  외에도 우성효과 ( $1/4V_D$ )와 공통환경 효과 ( $V_{Ec}$ )를 포함하므로 보통  $\sigma^2_s$ 보다 크게 나타난다 (Falconer, 1981). 이러한 이유로 선발에는 sire의 유전모수를 이용하는 것이 효과적이다.

본 연구에서는 TL, BH1과 SNL을 제외하고는  $\sigma^2_d$ 이  $\sigma^2_s$ 보다 높게 나타났다. 예를 들어, 가식부위와 밀접한 관계가 있는 체고 형질로서 본 연구에서 새로운 계측형질로 이용한 BH2의 경우,  $\sigma^2_s$ 은 0.31인 반면  $\sigma^2_d$ 은 1.45로 상당히 높게 나타났으며, 유전을 역시  $h^2_s$ 과  $h^2_d$ 에서 각각 0.08 및 0.38로 dam이 높게 나타났고, HL의 경우도 유전율이 각각 0.19와 0.40으로 역시 dam이 높게 나타났다. 한편, BH1의 경우는  $h^2_s$ 이 0.39로  $h^2_d$ 의 0.23 보다 높게 나타났는데, 이것은 상가적 유전분산이 공통환경효과를 비롯한 모계효과 (maternal effect)보다 크게 작용하고 있는 것으로 볼 수 있으며, 그만큼 sire의 선발에 의한 유전적 개량효과가 클 것으로 판단된다. Tave and Smitherman (1980)에 의하면, 나일틸라피아는 45일령에서 90일령으로 가면서 급속하게 성장을 하며 이 기간중에 성성숙 등 생리적인 변화가 이루어지는데, 45일령에는 환경과 우성 유전분산이 공히 표현형에 영향을 미치나, 90일령에 가서는 환경분산이 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 따라서, 선발시 sire의 분산 성분 추정에 의한 유전율을 이용하는 것이 더 정확할 것이다. 한편, 이들 유전을 추정치에 대한 표준오차는 0.22~0.82로 비교적 크게 추정되었는데 이는 sire 및 dam의 수가 적었기 때문이며 (Becker, 1984), 향후 추가적인 연구를 통해 자료를 축적해 나간다면 더욱 정확한 추정이 가능할 것이다.

**Table 3. Variance components and heritability estimates on metric traits in 60-day-old *Oreochromis niloticus***

Trait	$\sigma^2_s$	$\sigma^2_d$	$\sigma^2_T$	$h^2_s$	$h^2_d$	$h^2_{s+d}$	SE <sup>*</sup> ( $h^2_s$ )	SE ( $h^2_d$ )	SE ( $h^2_{s+d}$ )
TL	4.59	3.89	63.12	0.29	0.25	0.27	0.48	0.38	0.23
SL	1.38	2.37	42.79	0.13	0.22	0.18	0.48	0.39	0.22
HL	0.17	0.37	3.73	0.19	0.40	0.29	0.45	0.42	0.25
BD	0.17	0.29	2.87	0.23	0.40	0.32	0.82	0.67	0.82
BH1	0.85	0.49	8.66	0.39	0.23	0.31	0.65	0.40	0.31
BH2	0.31	1.45	15.44	0.08	0.38	0.23	0.45	0.39	0.26
SNL	0.06	0.04	0.36	0.70	0.41	0.55	0.50	0.31	0.25
BW	0.17	0.44	6.51	0.10	0.27	0.19	0.51	0.37	0.28

\* Standard error

선발에 의한 유전적 개량량은 유전율을 비롯하여 선발강도 (intensity of selection) 및 선발차 (selection differential)에 의해 결정된다. 일반적으로 어느 양적형질에 대한 유전율이 0.25 이상이면 선발에 의한 효과적인 유전적 개량이 가능하지만 (Tave, 1986a), 어류의 경우는 산자수가 많기 때문에 친어의 선발강도를 크게 할 수 있으므로 어종에 따라서는 유전율이 0.15 정도만 되더라도 근 전체적으로는 상당 수준의 유전적 개량량을 얻을 수가 있을 것으로 예상된다. 한편, 형질간의 상관을 추정하는 일은 어류의 선발시 하나의 형질에 대한 선발이 동시에 다른 형질들에게도 변화를 초래하게 되므로 중요하다 (Falconer, 1981; Siitonen and Gall, 1989). 이에 본 연구에서는 전장을 비롯한 8 개 계측형질간의 표현형상관 및 유전상관을 추정하였다 (Table 4). 표현형상관의 경우 TL은 SL과 0.9770으로 가장 높은 상관을 보인 것을 비롯하여 BW와 0.9607, BH2와 0.9606, 그리고 BH1과는 0.9528의 순으로 나타났으며, BD와는 0.8896으로 가장 낮았다. 그러나, SL은 BH2와 0.9498, BW와 0.9497, HL과 0.9462, BH1과 0.9413의 순이었으며 BD와는 역시 TL과 마찬가지로 0.8796으로 가장 낮았다.

계측형질간의 유전상관계수에 있어서도 BD는 다른 계측형질과 sire 및 dam 성분에서 모두 0.9028~0.9571 정도로 SNL (0.9216~0.9581)과 함께 가장 낮은 상관을 나타내었으며, 그 밖의 형질들 간에는 대체로 0.98 이상으로 거의 1에 가까운 유전상관이 추정되었다. 한편, sire 및 dam 성분을 이용한 유전상관 계수는 dam 쪽이 0.01~0.03 정도 낮았으나 대체로 이 시기에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서는 BH2를 생산성과 관련한 새로운 선발 대상형질로서의 이용 가능성을 타진해 보았는데, 타 형질과의 유전 및 표현형 상관계수는 BH1과 거의 비슷한 수준이었으며, TL, SL, BW 등 주요 직접적인 생산 관련 형질들과 거의 0.99 이상으로서 BH1보다 오히려 표현형 및 유전상관에서 0.10 정도의 우세를 보여 앞으로 BH1의 대체 또는 보완 형질로서의 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

Tave and Smitherman (1980)은 형태분석에 의한 45일령 나일틸라피아의 sire 및 dam의 유전율은 전장은 각각 0.10과 0.54, 체중은 0.04 및 0.35였다고 보고한 바 있다. 이는 본 연구 결과와 비교할 때, sire 유전율은 상당히 낮았고 dam의 유전율은 더 높았다. 이들의 연구에서는 고정효과로서 cage 효과만을 분석모형에 포함시켰으나, 본 연구의 경우 60일령 나일틸라피아는 45일령에 비해 암수간 성장 차이가 크게 나타나므로 성을 모델에 포함시켰다. 따라서, 본 연구에서는  $\sigma^2_e$ 에서 어느 정도 성의 고정효과를 제거하였기에 dam의 유전율은 참값 (true value)에 가까운 쪽으로 낮게 추정된 것으로 생각된다. Crandell and Gall (1993)에 의하면 개체표지를 한 무지개송어의 체중에 대한 유전율 추정시 성을 고려하지 않은 경우 유전율은 0.12~0.57로 나타났던 반면, 성을 고정효과로 포함시켰을 경우에는 0.21~0.53 정도로 성을 포함시킨 모형을 사용한 경우가 거의 50% 이상의 높은 추정치를 가지는 것으로 보고하였다. 이는 유전모수 추정시 어종의 특성에 따라서 적절한 분석 모델을 선택하는 것이 매우 중요함을 시사한다. 따라서, 어류의 선발육종을 위해서는 반드시 어종별로, 주어진 양식 환경 하에서, 적합한 분석모형을 이용하여 가능한 한 정확한 유전모수를 추정하여야 하며, 이를 바탕으로 합리적인 선발육종의 목표를

Table 4. Phenotypic and genetic correlation coefficients between metric traits in 60-day-old *Oreochromis niloticus*

	TL	SL	HL	BD	BH1	BH2	SNL	BW
TL		0.9770 <sup>*1</sup>	0.9582	0.8896	0.9528	0.9606	0.9071	0.9607
SL	0.9987 <sup>*2</sup> 20.9986 <sup>*3</sup>		0.9462	0.8796	0.9413	0.9498	0.8959	0.9497
HL	0.9876 0.9868	0.9868 0.9859		0.8685	0.9455	0.9431	0.9215	0.9435
BD	0.9352 0.9192	0.9382 0.9211	0.9266 0.9028		0.9233	0.9002	0.8606	0.9127
BH1	0.9837 0.9783	0.9837 0.9770	0.9813 0.9770	0.9543 0.9507		0.9554	0.9105	0.9655
BH2	0.9938 0.9917	0.9940 0.9910	0.9849 0.9825	0.9510 0.9365	0.9911 0.9874		0.8975	0.9552
SNL	0.9423 0.9439	0.9427 0.9412	0.9567 0.9554	0.9571 0.9216	0.9581 0.9534	0.9520 0.9543		0.8936
BW	0.9851 0.9825	0.9855 0.9825	0.9804 0.9792	0.9408 0.9319	0.9880 0.9848	0.9908 0.9877	0.9421 0.9326	

<sup>\*1</sup> Phenotypic correlation coefficient (upper triangle)

<sup>\*2</sup> Genetic correlation coefficient with sire component (lower triangle)

<sup>\*3</sup> Genetic correlation coefficient with dam component (lower triangle)

설정하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다.

선발육종시 또한 고려해야 할 것은 선발하려는 대상 형질이 예기치 않게도 다른 어느 형질과의 부(-)의 상관 관계에 있을 수 있다는 점이다. Siitonen and Gall (1989)에 의하면 무지개송어 암컷의 조기산란 집단 선발에 대한 선발효과에 관한 연구에서 산란 일자에 대한 유전율이 높게 나타났지만 조기산란에 대한 선발은 난의 크기에 부(-)의 효과가 있다고 하였다. 이와 같이 유전적 개량을 위한 선발육종 사업의 설계시 형질간의 유전상관은 그 자체로서 관련 형질의 간접적인 선발효과와 밀접한 관계가 있으므로 중요하다 (Huang and Gall, 1990). Tave and Smitherman (1980)은 45일령에서의 전장과 체중의 유전상관계수는  $\gamma_s$ 가 1.09,  $\gamma_D$ 가 0.98, 그리고 표현형상관 ( $\gamma_P$ )은 0.94로 보고하였는데, 본 연구 결과와 대체로 비슷하였다.

미국의 Hershberger et al. (1990)은 은연어 (coho salmon)도 장기적인 선발육종 사업을 통하여 상당한 유전적 능력개량을 이룩할 수 있는 것으로 보고하였다. 그들은 은연어를 대상으로 10년에 걸쳐서 어체중에 대한 선발을 실시하여 60% 이상의 유전적 개량을 달성하였다고 보고하였다. 이는 세대당 15% 정도의 유전적 개량량에 해당한다. 또한, 유전율 추정 방법에 따라서 추정치간에 큰 차이를 나타내었는데, 8개월간의 해상가두리 사육 후 체중에 있어서 형태분석에 따른 유전율 추정치는 0.20이었지만, 선발실험에 의한 유전율 (realized heritability)은 0.81과 1.22를 나타내었다. 이때 선발실험에 의한 유전율은 선발반응 (R)과 선발차 (S)에 의해 좌우되는데 여러 환경요인을 고려할 수 없기 때문에 형태분석에 의한 유전율 추정치에 비하여 정확도가 떨어지는 편이다. 또한, 유전율은 환경이나 유전자빈도 등 여러 가지 요인에 의해서 고정된 값이 될 수 없다. 따라서, 선발을 실시할 지역의 환경 조건하에서 각각 추정된 값만이 실제 사용될 수 있으며, 같은 종, 같은 계통이라 하더라도 다른 지역에서 추정된 유전율이라면 단지 가이드라인으로 활용할 수 있을 뿐이다 (Tave, 1986b).

본 연구에서 추정된 60일령 나일틸라피아의 주요 계측형질의 유전모수로 볼 때, sire 및 dam의 선발에 의해 이 시기에서의 성장에 대한 유전적 개량이 가능할 것으로 판단되었으며, 특히, BH2는 앞으로 BH1을 대체 또는 보완하여 주요 선발 대상 형질로 활용할 수 있을 것으로 기대되었다.

## 요 약

본 연구에서는 나일틸라피아의 초기성장에 대한 유전적 개량의 가능성을 알아보기 위해 60일령 나일틸라피아를 대상으로 체고(BH1, BH2)를 비롯한 8 가지의 계측형질에 대해 형매분석(sib analysis)에 의하여 유전모수를 추정하였다. 각 계측형질에서의 sire 유전율( $h^2_s$ )은 0.08~0.70, dam 유전율( $h^2_d$ )은 0.22~0.41, 전형매 유전율( $h^2_{s+d}$ )은 0.18~0.55의 범위였다. SL의 경우 각각 0.13, 0.22 및 0.18로 추정되었다. 한편, 본 연구에서 계측형질로 채택한 BH2의  $h^2_s$ ,  $h^2_d$  및  $h^2_{s+d}$ 은 각각 0.08, 0.38 및 0.23으로서 새로운 선발 대상 형질로의 활용 가능성을 보였다. 또한 이들 8 개 계측형질간의 표현형상관 및 유전상관을 추정하였는데, 표현형상관계수는 0.86~0.97의 범위였고, 유전상관계수는 0.90~0.99로 나타났다. 앞으로 더욱 정확한 유전모수의 추정을 위한 지속적인 연구가 필요하나, 본 연구 결과 개체선발에 의해서 나일틸라피아의 초기 성장에 대한 유전적 개량의 가능성을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- Becker, W.A. 1984. Manual of Quantitative genetics. 4th ed. Academic Enterprises Pullman, Washington, 188 pp.
- Crandell, C.A. and G.A.E. Gall. 1993. The effect of sex on heritability estimates of body weight determined from data on individually tagged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 113, 47~45.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 3rd ed. Longman Scientific & Technical, England, 438 pp.
- Gall, G.A.E. and N. Huang. 1988. Heritability and selection schemes for rainbow trout: Body weight. *Aquaculture*, 73, 43~56.
- Gjedrem, T. 1997. Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquaculture*, 28 (1), 33~45.
- Hershberger, W.K., J.M. Myers, R.N. Iwamoto, W.C. Mcauley and A. M. Saxton. 1990. Genetic changes in the growth of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in marine net-pens, produced by ten years of selection. *Aquaculture*, 85, 187~197.
- Hussein, M.E. and J.A. Joyce. 1978. Heritability of body size traits, dressing weight and lipid content in channel catfish. *J. Anim. Sci.*, 47 (1), 82~88.
- Kim, I.-B. 1994. Present status of fish culture and fish feed supply in Korea. Proceedings of FOID '94. 3~4, June, 1994. National Fisheries University of Pusan, Korea, 21~43p.
- Kim, I.-B. 1997. Aquaculture in Korea. Proc. Sccond Int. Seminar on Fisheries Sci., in Tropical Area, Tokyo Aug. 19~22, Japan, 173~193.
- McIntyre, J.D. and D.F. Amend. 1978. Heritability of tolerance for infectious hematopoietic necrosis in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107 (2), 305~308.
- Siitonen, L. and G.A.E. Gall. 1989. Response to selection for early spawn date in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 78, 153~161.
- Su, G.-S., L.-E. Liljedahl and G.A.E. Gall. 1996. Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 144, 71~80.
- Refstie, T. 1990. Application of breeding schemes. *Aquaculture*, 85, 163~169.
- Tave, D. 1986a. A quantitative genetic analysis of 19 phenotypes in *Tilapia nilotica*. *Copeia*, 3 : 672~679.
- Tave, D. 1986b. Genetics for fish hatchery managers. The AVI Publishing Company, Inc, USA., 299pp.
- Tave, D. and R.O. Smitherman. 1980. Predicted response to selection for early growth in *Tilapia nilotica*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 109, 439~445.

1998년 9월 7일 접수

1999년 6월 22일 수리