BSPE 97644-00-1034-3

# 어류의 생산형질에 대한 유전모수 추정에 관한 연구

# Studies on the Genetic Parameter Estimate on Economic Traits in Fish

1998. 2

한 국 해 양 연 구 소

# 제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 '97 연구지원사업인 "어류의 생산형질에 대한 유전모수 추정에 관한 연구"의 최종보고서로 제출합니다.

1998년 2월

연구책임자 : 홍 경 표

참여연구원 : 김종만 · 박철원
김형배 · 명정구
김병기 · 김형선
노충환

연구조원 : 노봉호 · 김효찬

# 요 약 문

Ⅰ. 제 목

어류의 생산형질에 대한 유전모수 추정에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 어류 유전육종 연구는 1980년대 후반에 시작된 이후 주로 3배체 어류생산 및 성전환 등 주로 생물공학적 연구에 치중되어 왔다.

1970년대 이후 내수면 양식의 경우 이스라엘잉어, 무지개송어, 틸라피아 등 도입어종이 주요 양식대상종으로서 자리잡고 있는데, 최근에 들어와 무계획적인 근친교배에 의한 생산성 저하로 양식산업의 위기를 맞이하고 있다. 이는 우리나라 양식업의 역사가 비교적 짧고 경영의 규모가 영세할 뿐만 아니라 inbreeding depression을 방지하기 위한 육종교배에 대한 인식 부족 등에 기인한 것이다. 한편, 넙치, 우럭 등 해산어류 양식에 있어서도 최근 양식가들은 근친교배에 의한 생산성 저하를 호소하고 있는 실정이다.

현재 세계적인 어류 유전육종 분야의 추세는 그동안 거의 생물공학적 연구에 편중되어온 것과는 달리, 어류 고유의 유전적 능력을 이용하여 생산성을 제고하려는 선발육종 (selective breeding) 기술개발의 노력이 진행되고 있다. 이는 생물공학적 방법에 의한 유전적 생태계 파괴의 위험성을 완전히 배제할 수 없는 상황에서 바람직한 움직임으로 판단되며 어류의 잠재적인 유전능력을 이용함으로써 세대를 거듭하면서 지속적이고 점진적인 능력개량을 달성할 수 있다는 점에서 양식산업의 효율성을 극대화시킬 수 있다는 장점이 있다.

이 연구분야의 특징은 통계학적 방법에 의해 경제적 형질에 대하여 유전율 (heritability)등 유전모수 (genetic parameter)에 의해 육종가 (breeding value)를 추정하여 선발 (selection)과 도태 (culling)의 기준으로 삼고, 점진

적으로 군 (population)의 유전적 능력을 개량하여 생산성을 제고하는 방법으로 유전적 개량량 ($\Delta G$)은 세대를 반복할수록 축적되므로 지속적으로 개량효과를 증대시킬 수 있다.

현재 어류를 비롯한 해양수산 생물에 대한 유전육종학 연구의 세계적인 추세는 지금까지는 주로 염색체조작 및 유전변이체 유도 등 생물공학적 방법에만 국한되어 왔으나, 1980년대에 들면서 생태계의 유전적 impact를 주지않고 생산성을 향상시키려는 연구가 한창 진행되고 있는데, 이는 생물의 주요 형질에 대한 유전적 모수를 추정하여 육종가를 추정하고 이를 대상생물의 유전적 개량의 지표로 삼을 뿐만 아니라 환경요인과의 상호관계를 규명하기 위한 기초자료로 활용할 수 있다. 따라서 우리나라의 생물다양성을 보존하고 양식 및 방류어류의 생산성을 극대화하기 위해서는 선발육종에 의한 유전적 능력 개량기술의 개발 및 보급이 시급한 실정이다.

## Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 양식어류의 유전적 능력개량을 위한 유전모수 추정의 모델을 개발하고자 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 대상으로 전형매 (full-sib) 및 반형매 가계 (half-sib families)를 생산, 사육하였다. 60 일령 및 90 일령 틸라피아의 계측형질 및 체형형질에 대한 통계모형을 각각 설정하였고 이들 형질에 대하여 각각의 유전율 (heritability), 유전상관 (genetic correlation) 및 표현형 상관 (phenotypic correlation), 회귀계수 (regression coefficient) 등을 구하였다.

## Ⅳ. 연구결과

### 1. 자료의 구성

모두 33 마리의 sire와 41 마리의 dam을 각각 사용하여 60 일령의 경우 51 개, 90 일령의 경우 68 개의 전형매 가계를 대상으로 각 가계당 60 일

령 30 마리 및 90 일령 25 마리씩 계측을 실시하여 모두 2,873 개의 계체 기록 (individual records)을 확보하였다.

2. 계측형질

주요 생산형질인 TL과 BH1은 60 일령의 경우 sire, dam-component 및 full-sib component에서 0.23 이상의 높은 유전율을 나타내었으며 BW는 dam-component에서 0.27을 기록하였으나 sire와 full-sib component에서는 0.20 이하로 낮았다. 한편, 60 일령에서의 이들 유전율에 대한 표준오차는 전체적으로 유전율보다 더 크게 나타났다. 또한 암수간의 유의차를 나타내는 SL, SNL 및 BW의 유전율은 sire 보다 dam component에서 모두 높게 나타났는데 특히 이들 형질에서 maternal effect가 크게 작용하는 것으로 보인다.

90 일령 틸라피아의 경우 HL을 제외한 모든 계측형질에서 sire 보다 dam의 유전율이 월등히 높았으며, 표준오차는 60 일령에 비해 상당히 작게 나타났다. 특히 TL, SL, BH1, BH2 및 BW 등 주요 생산형질의 dam component 유전율은 0.40 이상으로 매우 높았는데 90 일령에 있어서도 이들 형질에 대하여 maternal effect가 상대적으로 크게 작용하는 것으로 보인다.

표현형상관 및 유전상관은 60 일령에서는 거의 모든 형질간에 0.90 이상의 높은 상관계수를 보였으나 90 일령에서는 일부 형질간에서 상당히 감소하였다. 이는 성장 초기에는 변이의 폭이 작아서 실제보다 크게 상관이 추정될 수 있으며, 후기로 갈수록 정확한 계측 및 추정이 가능해지는 것으로 보인다.

본 연구에서 새로운 계측형질로 이용한 BH2의 경우 BW와의 표현형상관 및 유전상관이 BH1 보다 높게 나타났다.

양식어종으로서 중요한 경제적 형질인 BW는 적어도 부화후 90 일령까지는 다른 계측형질들에 비하여 TL 및 BH2와 상대적으로 높은 표현형상관을 가지며, HL을 비롯한 SNL, UJ, HW 등 두부형질들과는 상관이 낮았

다. 또한 BH1 보다는 BH2와의 상관이 더 높은 것으로 나타났으며, 이 시기에 BD는 다른 형질들과 상관은 그리 크지 않았다.

한편, BW에 대한 BH2의 회귀계수가 기존에 일반적인 계측형질로 널리 이용되어 오던 BH1 보다 높게 나타난 것은 BH2의 표현형 상관이 BH1보다 높게 나타난 결과와도 일치하여 앞으로 새로운 틸라피아의 생산형질 관련 계측형질로 이용될 수 있는 가능성을 보였다.

3. 체형형질

60 일령과 90 일령을 비교할 때 암수 모두에서 TLBH1, TLBH2 및 HLSNL은 90 일령으로 가면서 약간 값이 증가하였으나, TLHL, TLBD, BDBH1, BDBH2, BH12 및 FATNESS는 감소하였다. 이는 틸라피아가 성장을 거듭할수록 numerator 형질의 상대성장이 느려 그만큼 비중이 낮아지는 것을 의미한다. TL을 중심으로 볼 때, 시간이 지날수록 HL과 BD의 비중이 낮아지는 반면에 BH1과 BH2의 비중이 커진다. 또한, BH1과 BH2를 놓고 볼 때 BH1이 BH2에 비해 상대적으로 비중이 감소하였다.

60 일령의 경우 모든 계측형질에서 유의차를 보인 반면에 체형형질에서는 HLSNL만 암수간 차이가 있었을 뿐 ($p<0.01$) 다른 8 가지의 체형형질에서는 유의성이 전혀 없었다. 즉 60 일령 틸라피아의 체형형질에서는 두부형질을 제외하고는 암수간의 차이는 거의 없는 것으로 판명되었다.

90 일령의 경우에는 TLHL, TLBH1, TLBH2, HLSNL, HLUJ 및 HLHW 등 6 개의 체형형질에서 암수간에 고도의 유의차를 나타내었으며 ($p<0.01$), BDBH2에서도 암수간 차이가 인정되었다 ($p<0.05$).

90 일령에서 TLHL의 경우 $h^2_s$, $h^2_d$, 및 $h^2_{s+d}$이 각각 0.25 ($\pm$0.2312, SE), 0.34 ($\pm$0.2621) 및 0.29 ($\pm$0.1416)로 나타나 60 일령에서보다 $h^2_s$는 감소하였고 $h^2_d$는 오히려 증가하였다. TLHL을 비롯하여 TLBD, TLBH1 및 TLBH2 등 TL이 denominator인 체형형질은 모두 $h^2_d$이 $h^2_s$보다 높았으며, 이들의 전형매 분산성분에 의한 유전율은 각각 0.29 ($\pm$0.1426), 0.47 ($\pm$0.2027), 0.25 ($\pm$0.1571) 및 0.34 ($\pm$0.1549)였다.

특히 틸라피아는 본 연구결과 90 일령에서 TLHL, TLBH2, HLUJ 및 HLHW 등은 암수 식별을 위한 체형형질로의 이용 가능성을 보였으며, 유전율도 비교적 높게 나타나서 유전적 개량을 위한 선발 대상형질로의 이용 가능성을 보였다. 또한 이러한 차이는 90 일령 이후 성장을 거듭할수록 더욱 크게 나타날 것이므로 이에 대한 지속적 연구를 통해 정확한 척도를 마련할 필요가 있다.

## V. 종합건의

이상의 결과를 놓고 볼 때 선발에 의한 유전적 능력 개량을 위해서는 많은 양의 정확한 계측 자료가 필수적이며, 또한 이로부터 유전 외적인 모수를 배제하고 순수한 유전모수만을 추정하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 먼저 종 특유의 성질을 정확히 이해하고, 여러 가지 통계모델을 적용하여 특이적 환경 및 예측 가능한 제반 요인에 대한 분류가 엄밀하게 이루어져야 하고, 주어진 환경 내에서 대상종에 대한 가장 합리적이고 정확한 어종별, 연령별로 고유의 모델을 확립하여야 한다. 이러한 유전모수를 바탕으로 선발육종을 실시하여야만 선발의 정확도를 높일 수 있을뿐만 아니라 유전적 개량량도 극대화할 수 있는 것이다.

# SUMMARY

## I. Title

**Study on the genetic parameter estimate on economic traits in fish**

## II. Objectives and Significance

Recently, rapid decrease of productivities for most of commercial culture species with decreased growth rate and resistance to disease has become serious problems to aquaculture industry in Korea. General indifference to fish genetics and breeding has resulted in this situation by cumulative inbreeding. In fact, since the early part of 1980's, most studies on fish genetics and breeding in Korea have not been focused on genetic improvement but on production of polyploidy, sex reversed fish and transgenic fish to develop high productive fish stock.

To improve productivity of aquaculture, systematic management of brood stock to prevent inbreeding and establishment of selective breeding technique cohering with specific environmental characteristics are needed. In addition to this traditional method, if some efforts for finding biochemical genetic markers for some economic traits were made, we could increase an accuracy of selection and will get maximal amount of genetic improvement.

## Ⅲ. Contents and Scope

- Production of full-sib and half-sib families.
- Application of statistical model for the estimation of genetic parameters.
- Estimation of heritabilities, genetic correlations and phenotypic correlations among various metric and type traits.

## Ⅳ. Results and Recommendations

### 1. Data used in this study

Total 2,873 individual records containing 51 full-sib families for 60 day old tilapia and 68 full-sib families for 90 days old tilapia were used in this analysis.

### 2. Metric traits

Heritability estimates ($h^2$) on TL and BH1 at 60 days of age were higher than 0.23 and that on BW was 0.27 with both sire and dam components. At this age, those on SL, SNL and BW with dam components were higher than those with sire components, and standard errors of heritability were generally higher than heritability. At 90 days of age, heritability estimates with dam components on the most of metric traits were higher than those with sire components. Especially, heritabilities on major traits, TL, SL, BH1, BH2 and BW, were estimated as higher than 0.40.

Genetic and phenotypic correlations between metric traits were higher than 0.90 at 60 days of age, and decreased remarkably at 90 days of age. Among them, BW was closely correlated with TL and BH2 at 90 days of age. BH2 also showed higher regression coefficient on BW than BH1, and it would be available as a new metric trait related productivity in fish aquaculture.

3. Type traits

The ratios of TLBH1, TLBH2 and HLSNL were increased at 90 days of age compared with those at 60 days while TLHL, TLBD, BDBH1, BDBH2, BH12 and fatness were decreased. There was no significant difference in type traits between sex except in HLSNL ($p<0.01$) at 60 days of age. On the other hand, at 90 days of age, 6 type trais including TLHL showed highly significant differences between sex ($p<0.01$).

# 목 차

표목차 ..... xiii

그림목차 ..... xvii

서론 ..... 1

재료 및 방법 ..... 4

1. 공시재료 ..... 4

1) 친어 및 반형매 가계 생산 ..... 4

2) 사육 ..... 6

3) 표본계측 ..... 6

2. 유전모수 추정을 위한 통계적 방법 ..... 9

1) 60 일령 틸라피아의 계측형질에 대한 통계모형 ..... 9

2) 90 일령 틸라피아의 계측형질에 대한 통계모형 ..... 10

3) 틸라피아의 체형형질에 대한 통계모형 ..... 10

4) 유전율 추정 ..... 11

5) 유전상관 ..... 12

6) 표현형 상관 ..... 12

결과 및 고찰 ..... 14

제 1 절 자료의 구성 ..... 14

제 2 절 계측형질에 대한 유전모수 추정 ..... 15

1. 자료의 분포 및 기초통계량 ..... 15

2. 분산성분 및 유전율 ..... 21

3. 유전상관 및 표현형상관 ..... 26
4. 회귀계수 추정 ..... 32
제 3 절 체형형질에 대한 유전모수 추정 ..... 34
1. 자료의 분포 및 기초통계량 ..... 34
2. 체형형질의 암수비교 ..... 36
3. 분산성분 및 유전율 ..... 41

참고문헌 ..... 50

# CONTENTS

List of Tables ..... xiii

List of Figures ..... xvii

Introduction ..... 1

Materials and Methods ..... 4

1. Materials ..... 4

1) Parents and producing half-sib families ..... 4

2) Stocking ..... 6

3) Sampling ..... 6

2. Statistical methods ..... 9

1) Statistical model for metric traits of 60-day-old tilapia ..... 9

2) Statistical model for metric traits of 90-day-old tilapia ..... 10

3) Statistical model for type traits of tilapia ..... 10

4) Heritability ..... 11

5) Genetic correaltion ..... 12

6) Phenotypic correlation ..... 12

Results and Discussion ..... 14

Section 1. Data classification ..... 14

Section 2. Genetic parameter estimation on metric traits ..... 15

1) Data distribution and statistics ..... 15
2) Variance component and heritability ..... 21
3) Genetic and phenotypic correlation ..... 26
4) Regression ..... 32
Section 3. Genetic parameter estimation on type traits ..... 34
1) Data distribution and statistics ..... 34
2) Comparision between sex on tyoe traits ..... 36
3) Variance components and heritability ..... 41

References ..... 50

# 표 목 차

표 1. 친어의 계측형질별 평균 및 표준편차
표 2. 친어의 체형형질별 평균 및 표준편차
표 3. 자료의 구분
표 4. 계측형질의 자료분포 및 기초통계량
표 5. 60 일령 틸라피아에서의 고정효과의 최소자승평균과 표준오차
표 6. 90 일령 틸라피아에서의 고정효과의 최소자승평균과 표준오차
표 7. 60 일령 틸라피아의 계측형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)
표 8. 60 일령 틸라피아 계측형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차
표 9. 90 일령 틸라피아의 계측형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)
표 10. 90 일령 틸라피아 계측형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차
표 11. 60 일령 틸라피아 암수의 계측형질간 상관계수 비교
표 12. 90 일령 틸라피아 암수의 계측형질간 상관계수 비교
표 13. 60 일령 틸라피아의 계측형질간 표현형 상관계수 및 유전상관계수
표 14. 90 일령 틸라피아의 계측형질간 표현형 상관계수 및 유전상관계수
표 15. 60 일령과 90일령 틸라피아의 체중(BW)에 대한 각 계측형질의 회귀계수 추정
표 16. 체형형질의 자료분포 및 기초통계량
표 17. 60 일령 틸라피아 계측형질의 성별 최소자승평균 및 F-검정
표 18. 90 일령 틸라피아 계측형질의 성별 최소자승평균 및 F-검정
표 19. 60 일령 틸라피아의 체형형질에 대한 최소자승평균 추정치 및 F-검정
표 20. 90 일령 틸라피아의 체형형질에 대한 최소자승평균 추정치 및

F-검정
표 21. 60 일령 틸라피아의 체형 형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)
표 22. 90 일령 틸라피아의 체형 형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)
표 23. 60 일령 틸라피아 체형형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차
표 24. 90 일령 틸라피아 체형형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차

# List of Tables

Table 1. Summary of sire and dam's metric traits

Table 2. Summary of sire and dam's type traits

Table 3. Data classification (obsl = 2,873 records)

Table 4. Properties and distributions of metric traits

Table 5. Least square means and standard errors of fixed effects in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age (obs = 1402)

Table 6. Least square means and standard errors of fixed effects in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 7. Variance components and heritability estimates on metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 8. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on metric traits of *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 9. Variance components and heritability estimates on metric traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 10. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on metric traits of *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 11. Correlation coefficients on metric traits of male and female in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age ( Prob > |R| of correlation is 0.0001 under Ho: Rho=0)

Table 12. Correlation coefficients on metric traits of male and female *Oreochromis niloticus* at 90 days of age ( Prob > |R| of correlation is 0.0001 under Ho: Rho=0)

Table 13. Phenotypic and genetic correlation coefficients between metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 14. Phenotypic and genetic correlation coefficients between metric traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 15. Regression coefficients on metric traits for dependent variable BW in *Oreochromis niloticus* at 60 and 90 days of age

Table 16. Properties and distributions of type traits

Table 17. F-test on sex and lsmeans of metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 18. F-test on sex and lsmeans of metric traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 19. F-test on sex and lsmeans of type traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 20. F-test on sex and lsmeans of type traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 21. Variance components and heritability estimates on type traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 22. Variance components and heritability estimates on type traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

Table 23. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on type traits of *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

Table 24. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on type traits of *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

# 그림목차

그림 1. 부계 및 모계 반형매 생산을 위한 교배법 모식도.

그림 2. 틸라피아 계측형질의 모식도.

그림 3. 60 일령 틸라피아에서의 고정효과의 최소자승평균과 표준오차

그림 4. 90 일령 틸라피아에서의 고정효과 MO의 최소자승평균.

그림 5. 90 일령 틸라피아에서의 고정효과 SSQ의 최소자승평균.

그림 6. 60 일령 틸라피아 계측형질의 유전율.

그림 7. 90 일령 틸라피아 계측형질의 유전율.

그림 8. 60 일령과 90 일령 틸라피아 암수 계측형질의 최소자승평균.

그림 9. 60 일령과 90 일령 틸라피아 암수 체형형질의 최소자승평균.

그림 10. 60 일령 틸라피아 체형형질의 유전율 ($h^2$).

그림 11. 90 일령 틸라피아 체형형질의 유전율 ($h^2$).

# LIST OF FIGURES

Fig. 1. Mating scheme to produce paternal and maternal half-sibs in *Oreochromis niloticus*. (S; sire, D; dam)

Fig. 2. Diagram of several metric traits in *Oreochromis niloticus*.

Fig. 3. Least square means of fixed effects in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age.

Fig. 4. Least square means of fixed effects MO in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age.

Fig. 5. Least square means of fixed effects SSQ in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age.

Fig. 6. Heritability estimates on metric traits at 60 days of age in *Oreochromis niloticus*.

Fig. 7. Heritability estimates on metric traits at 90 days of age in *Oreochromis niloticus*.

Fig. 8. Least square means on metric traits of *Oreochromis niloticus* at 60 and 90 days of age.

Fig. 9. Least square means on type traits of *Oreochromis niloticus* at 60 and 90 days of age.

Fig. 10. Heritability estimates on type traits at 60 days of age in *Oreochromis niloticus*.

Fig. 11. Heritability estimates on type traits at 90 days of age in *Oreochromis niloticus*.

# 서 론

현재 세계적인 어류 유전육종 분야의 추세는 그동안 거의 생물공학적 연구에 편중되어온 것과는 달리, 어류 고유의 유전적 능력을 이용하여 생산성을 제고하려는 노력이 진행되고 있다. 이는 생물공학적 방법에 의한 유전적 생태계 균형 파괴의 위험성을 완전히 배제할 수 없는 상황에서 바람직한 움직임으로 판단된다.

지금까지 어류의 생산성을 높이기 위한 노력은 주로 사육환경 및 사육기술의 개선에 치중하여 왔다. 이는 대상생물의 생산성을 높이는데 크게 기여하여 온 것은 사실이나 그 효과는당 세대에만 국한되는 것으로 그 자체만으로는 지속적으로 군의 생산성 제고를 기대할 수는 없는 것이다.

또한, 지금까지 우리나라의 경우, 무지개송어를 비롯한 넙치 및 우럭 등의 어류양식에서 경험한 바 있듯이, 그동안 선발육종에 의한 생산성 제고의 노력이 전무하였음은 물론이거니와 오히려 육종에 대한 인식부족으로 인하여 무계획적인 근친교배를 거듭하여 결국 양식 어류집단의 급격한 생산성 저하 (inbreeding depression)를 자초하여 양식산업의 생산성에 큰 문제를 제기하고 있다.

이에 최근 선진국에서는 유전적 개량을 위한 선발육종 (selective breeding)기술을 도입하여 활발한 연구를 진행중인데, 축산의 경우 이미 100 년이 넘는 연구 역사를 가지고 이러한 유전적 개량에 의해 생산성을 극대화하여 최소의 노력으로 최대의 생산량을 획득함으로써 경영의 합리화를 이루어가고 있으나, 어류를 비롯한 해양 수산 생물에 관한 연구는 세계적으로도 아직은 초보적인 단계이며 국내에서는 전무한 실정이어서 기술의 개발이 시급한 것으로 판단된다.

이 연구분야의 특징은 통계학적 방법에 의해 유전율 (heritability)등 유전적 모수 (genetic parameter)를 추정하여, 선발 (selection)의 기준으로 삼

고, 유전적 능력에 입각한 선발에 의해 점진적으로 양식어류 집단의 생산성을 제고하는 방법으로 그 유전적 개량량 ($\Delta G$)은 세대를 반복할수록 축적되므로 지속적으로 개량을 할 수 있다는 점이다.

현재 어류를 비롯한 해양수산 생물에 대한 유전육종학 연구의 세계적인 추세는 지금까지는 주로 염색체조작 및 유전변이체 유도, 성전환 등 생물공학적 방법에만 국한되어 왔으나, 1980년대에 들면서 생태계에 유전적 impact를 주지않고 생산성을 향상시키려는 연구가 한창 진행되고 있는데, 이는 생물의 주요 형질에 대한 유전적 모수를 추정하여 육종가를 추정하고 이를 대상생물의 유전적 개량의 지표로 삼을뿐만아니라 환경요인과의 상호관계를 규명하기 위한 기초자료로 활용하려는 것이다.

세계적으로는 연어과 어류의 유전모수 추정에 관한 연구가 1970 년대 후반부터 활발하게 이루어지고 있는데 (Gall and Gross 1978, Ferguson et al. 1995, Smoker et al. 1994), 연어류의 체중과 체장에 대한 유전율 (heritability), dominance variation, 공통환경효과 및 유전자형 등을 환경과의 상호작용을 적용하여 추정하는 등 상당한 연구가 진행되고 있다. 또한 외국의 경우 틸라피아를 대상으로도 많은 연구가 이루어진 바 있다 (Tave, 1986; Tave and Smitherman, 1980; Tave et al., 1989; 1990).

모든 생물의 표현형은 유전과 환경, 그리고 이들간의 상호작용에 의해 좌우된다. 어류는 거의 대부분 체외수정을 하며 포유류와 같은 육상의 고등동물에 비하여 그 기작이 상대적으로 하등한 것으로 알려져 있으나 그만큼 유전자 연구에 상당한 잠재력을 내포하고 있다. 그러나 서식 공간의 특성상 환경효과의 추정 자체가 어렵기 때문에 그만큼 유전효과를 정확히 추정하기란 그리 쉬운 일이 아니다. 또한 개체식별 및 관리가 어렵고 인위적인 계획교배에도 상당한 어려움이 있으며, 무지개송어를 비롯한 대부분의 양식대상 어종은 세대간격이 보통 2 년 정도로 비교적 길고, 또한 산란 횟수도 한정되어 연중 종묘생산을 할 수가 없는 점 등이 지금까지 어

류의 육종연구에 큰 제약으로 여겨져 온 것이 사실이다. 또한 이들의 생활 터전이 수중이라는 특수성 때문에 안정적인 실험을 위한 유지 관리가 어려운 단점이 있어서 쉽게 접근하기가 힘든 면도 있다. 그러나 근래에 들어 양식산업이 발전하면서 이들 생물에 대한 인위적 관리기술이 상당한 수준에 이르고 있어 수산생물의 유전연구에 많은 도움을 주고 있다.

반면에 어류의 경우 일회 산란수가 많아서 단기간에 상당수의 full-sib family는 물론, half-sib 관계의 여러 batch의 후손을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 어류의 초기 성장은 양식산업의 생산성에 지속적으로 영향을 미치게 되므로 이에 대한 유전모수의 추정은 초기 성장에 대한 선발의 기준을 마련할 수가 있을 뿐만 아니라, 선발의 기준을 제공하여 비교적 단기간 내에 집단의 유전적 능력을 개량할 수 있다. 또한, 체중 체장 등 어류의 주요 계측형질들은 쉽게 측정할 수 있을 뿐만 아니라 특정 연령에서 생산성 관련형질로써 직접 선발에 이용할 수 있다. 동시에 이들 양적형질들은 상당한 표현형 변이를 나타내고 있어서 그만큼 선발에 의한 유전적 능력 개량의 잠재력을 가지고 있는 것이다.

그러나, 정확한 육종계획을 수립하고 동시에 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 정확히 추정하는 것이 매우 중요하다 (Su et al. 1996). 이에 본 연구에서는 대상어류를 세대간격이 짧고 (약 8 개월 전후), 동일한 세대에 수 회 (3~7회)에 걸쳐 산란을 하는 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 대상으로 중요한 생산형질인 여러 계측형질 (metric traits)과 체형형질 (type traits)에 대하여 성장 초기의 연령별 유전율 (heritabilities) 등 유전모수 (genetic parameter)를 보다 정확히 추정할 수 있는 모델을 개발하고자 하였으며, 또한 이들 형질들간의 유전상관 (genetic correlation) 및 표현형상관 (phenotypic correlation) 등을 추정하였다.

# 재료 및 방법

## 1. 공시재료

한국해양연구소에서 사육중이던 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 대상종으로 하였으며, 종묘생산 및 사육은 1997년 2월부터 11월 말까지 당 연구소의 수조실에서 실시하였다.

### 1) 친어 및 반형매 가계 생산

한국해양연구소에서 보유하고 있던 부화후 6~ 12 개월령의 0 세어 틸라피아중 male 33 마리와 famale 41 마리를 무작위로 확보하여 sire와 dam으로 사용하였다. 이 때 각 sire와 dam간에 혈연관계는 없는 것으로 가정하였다. 친어의 개체식별을 위해 각각 고유의 ID 번호를 가지는 Trovan ID-100 (made in Germany)을 근육내에 삽입하였으며 이들 친어의 주요 계측형질별 특징은 Table 1과 같다.

또한, 각 친어는 개체별로 산란일자, 배우자 및 산차 (spawning sequence) 등 기록을 관리하였다.

1997 년 2 월부터 8 월까지 Fig. 1과 같은 방법으로 자연수정과 인공수정을 병행하면서 부계 및 모계 반형매 가계를 생산하였다. 자연수정은 12 개의 사각 유리수조 (200 ℓ)에 sire 1마리와 dam 3-4마리씩 수용하여 자연산란을 유도하였으며, 인공수정은 자연산란 직전의 dam을 마취하여 인공 채란을 한 후 egg를 균할한 다음 sire 3-4 마리와 건도법으로 각각 수정하여 동시에 母系半兄妹家系 (maternal half-sib families)를 생산하였다. 또한 sire는 父系半兄妹家系 (paternal half-sib families) 생산을 위해 연속적으로 각각 다른 dam과의 교배를 유도하였다. 부화는 인공부화기를 제작하여 사용하였으며 부화 수온은 28 ± 1 ℃를 유지하였다.

표 1 . 친어의 계측형질별 평균 및 표준편차

Table 1. Summary of sire and dam's metric traits

| Trait[*1] | Records | Dam | | Sire | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mean[*2] | SD | Mean | SD |
| TL | 102 | 238.12 | 25.80 | 268.63 | 30.25 |
| SL | 103 | 190.72 | 22.17 | 213.36 | 23.89 |
| HL | 103 | 61.85 | 14.97 | 66.53 | 7.50 |
| SNL | 103 | 18.60 | 2.62 | 20.67 | 2.77 |
| UJ | 103 | 16.20 | 2.25 | 18.30 | 2.92 |
| BH1 | 103 | 68.71 | 9.18 | 80.59 | 9.76 |
| BH2 | 103 | 101.47 | 13.25 | 117.85 | 14.31 |
| BD | 103 | 36.57 | 4.54 | 41.06 | 4.43 |
| HW | 103 | 22.33 | 2.67 | 25.80 | 3.31 |
| BW | 103 | 266.75 | 98.79 | 391.15 | 128.09 |

[*1] TL; total length, SL; standard length, HL; head length, SNL; snout length, UJ; length of upper jaw, BH1; body height 1, BH2; body height 2 (length of anus to the orign of dorsal fin), BD; body depth, HW; head width

[*2] Unit : mm except BW (g)

| ♀ \ ♂ | S1 | S2 | S3 | . . . . . Sn |
|---|---|---|---|---|
| D1 | S1D1 | S2D1 | S3D1 | . . . . SnD1 |
| D2 | S1D2 | S2D2 | S3D2 | . . . . SnD2 |
| D3 | S1D3 | S2D2 | S3D3 | . . . . SnD3 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| Dm | S1Dm | S2Dm | S3Dm | . . . . SnDm |

그림 1. 부계 및 모계 반형매 생산을 위한 교배법 모식도.

Fig. 1. Mating scheme to produce paternal and maternal half -sibs in *Oreochromis niloticus*. (S; sire, D; dam)

### 2) 사육 (Stocking)

틸라피아는 수정후 3 일만에 부화하였으며 부화후 약 3 일 만에 부상하였다. 부상 직후의 틸라피아 자어를 순환여과식 2 톤 수조에서 190×130×105 ㎜의 floating cage에 수용하여 부화후 약 25 일간 사육한 다음 200×300×400 ㎜의 cage로 옮겨서 90 일령까지 사육하였다. 이 때 cage 별 밀도는 부화후 60 일까지는 60 마리, 90 일까지는 25 마리 정도로 유지하였다. 사료는 부화후 25 일까지 평일에는 일일 5 회씩 송어 치어용 사료를 급여하였고, 휴일 및 야간에는 뱀장어용 분말사료를 이용한 반죽사료를 일정량 급여하였다. 그 밖에 사료의 입자 크기가 성장의 주요 환경요인으로 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 가장 작은 개체의 입 크기를 기준으로 그보다 한 단계 작은 입자 크기의 사료를 하루 3회 급여하였다.

사육수온은 27~31℃, 용존산소 (DO)는 3.5~5.5 ㎎/ℓ를 유지하였다. 사육수는 순환여과시스템 내에서 계속 보충수를 공급하였으며 여과된 물은 유수식 자외선 살균기를 통하여 살균하였다. 기타 모든 환경은 동일한 것으로 간주하였다.

### 3) 표본계측 (Sampling)

부화후 60 일령에 약 30 마리씩 무작위로 표본을 추출하였으며, 90일령째에는 모두 취하여 다음의 형질에 대한 계측을 실시하였다. 개체별 계측형질은 Fig. 2에 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 1, BH1), 체고 2 (body height 2, BH2), 체폭 (body depth, BD), 두폭 (head width, HW) 및 체중 (body weight, BW) 등 10 개이며, 또한 sex를 확인하였다. Sex의 판정은 계측후 복부를 절개하여 gonad을 적출한 다음 slide glass에

놓고 cover glass로 spreading-out하여 현미경하 (×100)에서 난자의 유무로 결정하였다.

체형의 특징을 알아보기 위해 TL에 대한 HL, BD, BH1, BH2의 백분율 (%), BD에 대한 BH1, BH2의 백분율 (%), BH1에 대한 BH2의 백분율 (%), HL에 대한 SNL, UJ, HW의 백분율 (%) 등 10 가지를 각각 체형형질 (type traits)로서 구하였으며, 비만도 (fatness)를 계산하였다.

이후 이들 계측형질들과 체형형질의 표기는 본 논문에서 편의상 계측형질의 경우 영문 약자로 하고 (예 : TL, HL 등), 체형형질은 각각 TLHL, TLBD, TLBH1, TLBH2, BDBH1, BDBH2, BH12, HLSNL, HLUJ, HLHW 등으로 표기하기로 한다 (Table 2).

표 2. 친어의 체형형질별 평균 및 표준편차

Table 2. Summary of sire and dam's type traits

| Trait*1 | Records | Dam | | Sire | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mean | SD | Mean | SD |
| TLHL | 102 | 25.97 | 5.02 | 24.80 | 1.34 |
| TLBD | 102 | 15.36 | 0.70 | 15.31 | 0.80 |
| TLBH1 | 102 | 28.81 | 1.27 | 29.99 | 1.28 |
| TLBH2 | 102 | 42.59 | 2.68 | 43.84 | 1.29 |
| BDBH1 | 103 | 53.33 | 2.22 | 51.07 | 2.25 |
| BDBH2 | 103 | 36.23 | 3.81 | 34.92 | 1.60 |
| BH12 | 103 | 67.98 | 7.01 | 68.42 | 2.25 |
| HLSNL | 103 | 30.52 | 3.10 | 31.07 | 2.31 |
| HLUJ | 103 | 26.62 | 3.02 | 27.46 | 2.69 |
| HLHW | 0 | - | - | - | - |
| FATNESS | 102 | 18.96 | 1.42 | 19.56 | 1.92 |

(Ratio between metric traits (%) except fatness).

*1 TLHL; HL/TL, TLBD; BD/TL, TLBH1; BH1/TL, TLBH2; BH2/TL, BDBH1; BD/BH1, BDBH2; BD/BH2, BH12; BH1/BH2, HLSNL; SNL/HL, HLUJ; UJ/HL, HLHW; HW/HL,
Fatness = BW / $TL(cm)^3$ * 1000

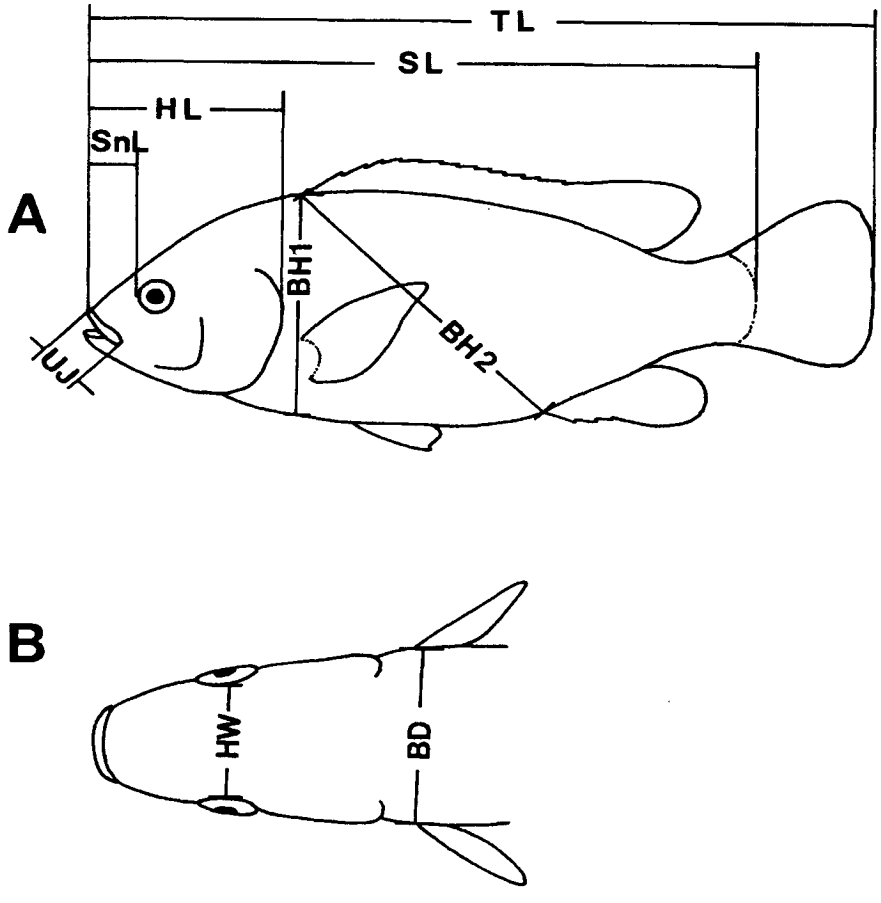


그림 2. 틸라피아 계측형질의 모식도.

Fig. 2. Diagram of several metric traits in *Oreochromis niloticus*.

A : TL; total length, SL; standard length, HL; head length, SNL; snout length, UJ; length of upper jaw, BH1; body height 1, BH2; body height 2

B : HW; head width, BD; body depth

## 2. 유전모수 추정을 위한 통계적 방법

계측형질과 체형형질에 대한 분산분석 (ANOVA)과 분산성분 (variance component)을 추정하기 위해 Henderson's Method 3을 적용하여 일반 혼합모형 (general mixed model equation, MME)을 이용하였으며 (Henderson 1984), REML (restricted maximum likelihood) 추정치 (estimator)를 구하였다.

### 1) 60 일령 틸라피아의 계측형질에 대한 통계모형

$$Y_{tijklmn} = \mu + S_{ti} + D_{tj} + \gamma_{tij} + X_{tk} + C_{tl} + H_{tm} + E_{tijklmn}$$

위에서,

$Y_{tijklmn}$: $t$ 번째 형질에 있어서 $i$ 번째 sire와 $j$ 번째 dam의 후손인 $n$ 번째 개체의 관측치 (체중, 체장 등)

$\mu$ : 전체평균

$S_{ti}$ : $i$ 번째 sire의 임의효과

$D_{tj}$ : $j$ 번째 dam의 임의효과

$\gamma_{tij}$ : $i$ 번째 sire와 $j$ 번째 dam의 interaction

$X_{tk}$ : $k$ 번째 sex의 고정효과

$C_{tl}$ : $l$ 번째 hatching month 내 cage의 고정효과

$H_{tm}$ : $m$ 번째 초기 밀도의 고정효과

$E_{tijklmn}$ : residual error

2) 90 일령 틸라피아의 계측형질에 대한 통계모형

$$Y_{tijklmn} = \mu + S_{ti} + D_{tj} + \gamma_{tij} + X_{tk} + C_{tl} + Q_{tm} + E_{tijklmn}$$

위에서,

$Y_{tijklmn}$: $t$ 번째 형질에 있어서 $i$ 번째 sire와 $j$ 번째 dam의 후손인 $n$ 번째 개체의 관측치 (체중, 체장 등)

$\mu$ : 전체평균

$S_{ti}$ : $i$ 번째 sire의 임의효과

$D_{tj}$ : $j$ 번째 dam의 임의효과

$\gamma_{tij}$ : $i$ 번째 sire와 $j$ 번째 dam의 interaction

$X_{tk}$ : $k$ 번째 sex의 고정효과

$C_{tl}$ : $l$ 번째 hatching month 내 cage의 고정효과

$Q_{tjm}$ : $j$ 번째 dam의 $m$ 번째 산차의 고정효과

$E_{tijklmn}$ : residual error

3) 60 일령과 90 일령 틸라피아의 체형형질에 대한 통계모형

$$Y_{tijkl} = \mu + S_{ti} + D_{tj} + \gamma_{tij} + X_{tk} + E_{tijkl}$$

여기서,

$Y_{tijkl}$ : $t$ 번째 형질에 있어서 $i$ 번째 sire 후손인 $l$ 번째 개체의 관측치 (체중, 체장 등)

$\mu$ : 전체평균

$S_{ti}$ : $i$ 번째 sire의 임의효과

$D_{tj}$ : $j$ 번째 dam의 임의효과

$\gamma_{tij}$ : $i$ 번째 sire와 $j$ 번째 dam의 interaction 임의 효과

$X_{tk}$ : $k$ 번째 sex 의 고정효과

$E_{tijkl}$ : residual error

4) 유전율 (heritability, $h^2$) 추정 (Falconer, 1985)

$$h^2_s = \frac{4\sigma^2_s}{\sigma^2_T}$$

$$h^2_d = \frac{4\sigma^2_d}{\sigma^2_T}$$

$$h^2_{s+d} = \frac{2(\sigma^2_s + \sigma^2_d)}{\sigma^2_T}$$

여기서,

$\sigma^2_s$ : sire의 분산성분

$\sigma^2_d$ : dam의 분산성분

$\sigma^2_T$ : 총분산으로 임의효과 (random effect)의 분산성분들과 고정효과 (fixed effect) 및 $\sigma^2_e$이 포함된다.

$\sigma^2_{s+d}$ : 전형매 (full-sib) 분산으로 sire와 dam의 분산성분의 합

한편, 유전율에 대한 표준오차 (standard error of heritability)는 Becker (1984)의 방법에 의해 구하였다.

5) 유전상관 (genetic correlation, $\gamma_G$)

**a. Sire components of variance and covariance**

$$\gamma_G = COV_S / \sqrt{(\sigma^2_{S(X)} \cdot \sigma^2_{S(Y)})}$$

**b. Dam components of variance and covariance**

$$r_G = COV_D / \sqrt{(\sigma^2_{D(X)} \cdot \sigma^2_{D(Y)})}$$

위에서,

$r_G$ : 유전상관계수

$COV_S$ : Sire 내 공분산 추정치

$COV_D$ : Dam 내 공분산 추정치

$\sqrt{(\sigma^2_{S(X)} \cdot \sigma^2_{S(Y)})}$ : X 및 Y 형질의 sire내 분산곱의 제곱근

$\sqrt{(\sigma^2_{D(X)} \cdot \sigma^2_{D(Y)})}$ : X 및 Y 형질의 dam내 분산곱의 제곱근

6) 표현형상관 (phenotypic correlation, $r_P$)

$$r_P = \frac{COV_W + COV_S + COV_D}{\sqrt{(\sigma^2_{W(X)} + \sigma^2_{S(X)} + \sigma^2_{D(X)})} \cdot \sqrt{(\sigma^2_{W(Y)} + \sigma^2_{S(Y)} + \sigma^2_{D(Y)})}}$$

여기서,

$r_P$ : 표현형상관계수

$COV_W$ : progeny 내 공분산 추정치

$COV_S$ : sire 내 공분산 추정치

$COV_D$ : dam 내 공분산 추정치

$\sqrt{(\sigma^2_{W(X)}+\sigma^2_{S(X)}+\sigma^2_{D(X)})}$ : X 형질에 대한 within progeny, sire 및 dam 분산성분 합의 제곱근

$\sqrt{(\sigma^2_{W(Y)}+\sigma^2_{S(Y)}+\sigma^2_{D(Y)})}$ : Y 형질에 대한 within progeny, sire 및 dam 분산성분 합의 제곱근

# 제 3 장 결과 및 고찰

## 제 1 절 자료의 구성

모두 33 마리의 sire와 41 마리의 dam을 각각 사용하여 60 일령의 경우 51 개, 90 일령의 경우 68 개 전형매 가계의 개체를 대상으로 각 계측형질에 대하여 모두 2,873 개의 계측기록을 확보하였다 (Table 3). Sex는 M과 F로 구분하였고, 각 cage는 각각 전형매 집단 (full-sib family)으로 부화월과 record의 수를 고려하여 2 월과 3 월에 부화한 구간은 'group 1', 4 월과 5 월 부화는 'group 2', 6 월은 'group 3', 7 월생은 'group 4', 그리고 8 월생은 'grout 5'로 grouping하여 cage within month (MO)로써 고정효과 (fixed effect)에 포함시켰다. 60 일령 기록에는 고정효과로써 초기 감모를 고려한 초기 사육밀도 (D)가 포함되었으며, 90 일령 기록의 경우 dam의 산차 (spqwning sequence, SSQ)의 parity를 포함시켰다.

표 3. 자료의 구분

Table 3. Data classification (total = 2,873 records)

| Age (days) | No. of Sire | No. of Dam | No.of full-sib family | Sex | Mo*1 | D*2 | SSQ*3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 23 | 32 | 51 | M<br>F | 3, 4, 5 | H<br>M<br>L | - |
| 90 | 30 | 36 | 68 | M<br>F | 1, 2, 3, 4, 5 | - | 1, 2, 3 4, 5, 6, 7 |
| Total | 33 | 41 | 74 | 2 | 5 | 3 | 7 |

*1 Fixed effect group of cage within hatching month
*2 Initial rearing density (high; H, medium; M, low; L)
*3 Parity of dam's spawning sequence

## 제 2 절 계측형질

### 1. 자료의 분포 및 기초통계량

60 일령의 계측형질에 대한 기록은 총 1,454 개로 암컷이 461, 수컷이 992 개 였으며, 90 일령의 경우는 총 1,419 개의 기록중 암컷이 431, 수컷이 940 개였다. 이들 계측형질 자료의 분포 및 기초통계량을 Table 4에 요약하였다. 60 일령 기록에는 TL 및 BW를 비롯하여 8 가지 계측형질의 평균 및 표준편차를 구하였고, 90 일령의 경우는 모두 10 가지 계측형질에 대하여 기초통계량을 구하였다.

Table 5와 Table 6 에는 60 일령과 90 일령 틸라피아에 있어서 각 계측형질에 대하여 혼합모형방정식 (mixed model equation, MME)에 포함된 여러 고정효과 (fixed effects)에 대한 최소자승평균 (least square mean, LSMEAN)과 그에 대한 표준오차 (standard error, SE)를 구하였으며, 또한 각 고정효과별로 Duncan's multiple range test ( $\alpha$ =0.05 수준)를 실시하였다.

60 일령의 경우 TL, SL, SNL 및 BW에서는 암수간 평균값에서 유의차를 보였으나, 그 밖의 형질에서는 암수간에 유의차가 없었다. Cage within month (MO) 그룹간에는 각각 유의차가 있었으며 모든 계측형질에서 MO 5 그룹이 가장 큰 것으로 나타나 여름철인 8 월에 부화한 구간이 성장도 가장 우수한 것으로 나타났다 (Fig.3). 한편 초기 사육 밀도에서는 medium group이 가장 크게 나타났고 그 다음은 high, low group의 순이었는데 (Table 5, Fig. 3), 이는 초기에는 고밀도 사육 보다도 저밀도 사육이 생산성 저하의 요인이 될 수 있음을 시사한다.

한편, 90 일령에서는 모든 계측형질에서 암수간 차이를 보였으며, 60 일령에서와는 달리 수컷이 암컷과 큰 차이를 나타내고 있다 (Table 6). 고정효과 MO의 경우 TL, SL, BD, BH1, BH2, HW 및 BW에서는 MO 3,

표 4. 계측형질의 자료분포 및 기초통계량

Table 4. Properties and distributions of metric traits

| Traits[*1] | Total records | Age | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 60 days (1,454)[*3] | | 90 days (1,419) | |
| | | Male (461) | Female (992) | Male (431) | Female (940) |
| | | Mean[*3] ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD |
| TL | 2,873 | 67.61 ± 9.33 | 68.52 ± 9.45 | 114.03 ± 12.80 | 108.03 ± 11.47 |
| SL | 2,873 | 54.38 ± 7.74 | 55.10 ± 7.73 | 92.22 ± 10.53 | 87.56 ± 9.55 |
| HL | 2,873 | 17.02 ± 2.25 | 17.17 ± 2.24 | 27.80 ± 2.98 | 26.58 ± 2.85 |
| SNL | 2,873 | 4.28 ± 0.73 | 4.34 ± 0.70 | 7.37 ± 1.04 | 7.01 ± 1.01 |
| BH1 | 2,873 | 21.31 ± 3.41 | 21.55 ± 3.37 | 36.39 ± 4.90 | 34.30 ± 4.42 |
| BH2 | 2,873 | 28.12 ± 4.50 | 28.39 ± 4.58 | 49.24 ± 6.29 | 46.15 ± 5.62 |
| BD | 2,873 | 11.11 ± 1.86 | 11.24 ± 1.90 | 18.06 ± 2.55 | 17.13 ± 2.27 |
| UJ | 1,419 | - | - | 7.07 ± 0.98 | 6.53 ± 0.79 |
| HW | 1,419 | - | - | 10.45 ± 1.35 | 9.79 ± 1.26 |
| BW | 2,873 | 6.65 ± 2.88 | 6.88 ± 3.02 | 30.99 ± 10.89 | 26.30 ± 9.20 |

[*1, 2] Refer to Table 1.

[*3] No. of records

[*4] Unit : ㎜ except BW (g)

표 5. 60 일령 틸라피아에서의 고정효과의 최소자승평균과 표준오차

Table 5. Least square means and standard errors of fixed effects in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age (No. of records = 1402)

| Effects | | TL | | SL | | HL | | BD | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE |
| SEX | F | $73.85^{A*1}$ | 1.47 | $59.27^{A}$ | 1.18 | $18.47^{A}$ | 0.36 | $12.02^{A}$ | 0.32 |
| SEX | M | $74.90^{B}$ | 1.50 | $60.14^{B}$ | 1.20 | $18.74^{A}$ | 0.36 | $12.21^{A}$ | 0.33 |
| MO*2 | 3 | $69.87^{C}$ | 1.90 | $55.90^{C}$ | 1.54 | $17.64^{C}$ | 0.46 | $11.19^{C}$ | 0.42 |
| MO | 4 | $75.54^{A}$ | 1.42 | $60.88^{A}$ | 1.15 | $18.90^{A}$ | 0.34 | $12.47^{A}$ | 0.31 |
| MO | 5 | $77.72^{B}$ | 2.01 | $62.34^{B}$ | 1.60 | $19.29^{B}$ | 0.49 | $12.70^{B}$ | 0.44 |
| D*3 | H | $70.69^{B}$ | 1.44 | $56.87^{B}$ | 1.18 | $17.62^{B}$ | 0.36 | $11.81^{B}$ | 0.32 |
| D | M | $86.05^{C}$ | 3.72 | $68.87^{C}$ | 3.03 | $21.44^{C}$ | 0.91 | $13.65^{C}$ | 0.82 |
| D | L | $66.39^{A}$ | 0.94 | $53.38^{A}$ | 0.73 | $16.76^{A}$ | 0.22 | $10.89^{A}$ | 0.20 |

| Effect | | BH1 | | BH2 | | SNL | | BW | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE |
| SEX | F | $23.38^{A}$ | 0.56 | $31.03^{A}$ | 0.72 | $4.66^{A}$ | 0.11 | $8.96^{A}$ | 0.46 |
| SEX | M | $23.82^{A}$ | 0.57 | $31.54^{A}$ | 0.73 | $4.77^{B}$ | 0.11 | $9.33^{B}$ | 0.47 |
| MO | 3 | $21.94^{C}$ | 0.72 | $29.08^{C}$ | 0.94 | $4.33^{C}$ | 0.14 | $7.84^{C}$ | 0.60 |
| MO | 4 | $23.90^{A}$ | 0.54 | $31.91^{A}$ | 0.70 | $4.86^{A}$ | 0.10 | $9.46^{A}$ | 0.45 |
| MO | 5 | $24.98^{B}$ | 0.77 | $32.87^{B}$ | 0.97 | $4.96^{B}$ | 0.15 | $10.14^{B}$ | 0.62 |
| D | H | $22.33^{B}$ | 0.54 | $29.39^{B}$ | 0.72 | $4.49^{B}$ | 0.10 | $7.60^{B}$ | 0.46 |
| D | M | $27.54^{C}$ | 1.40 | $36.89^{C}$ | 1.84 | $5.41^{C}$ | 0.27 | $13.55^{C}$ | 1.18 |
| D | L | $20.94^{A}$ | 0.36 | $27.57^{A}$ | 0.44 | $4.25^{A}$ | 0.07 | $6.30^{A}$ | 0.28 |

Unit : mm except BW (g)

*1 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 without letter are significantly different each other ( $\alpha$ =0.05).

*1 Fixed effect of cage within month effect.

*1 Fixed effect of initial density.

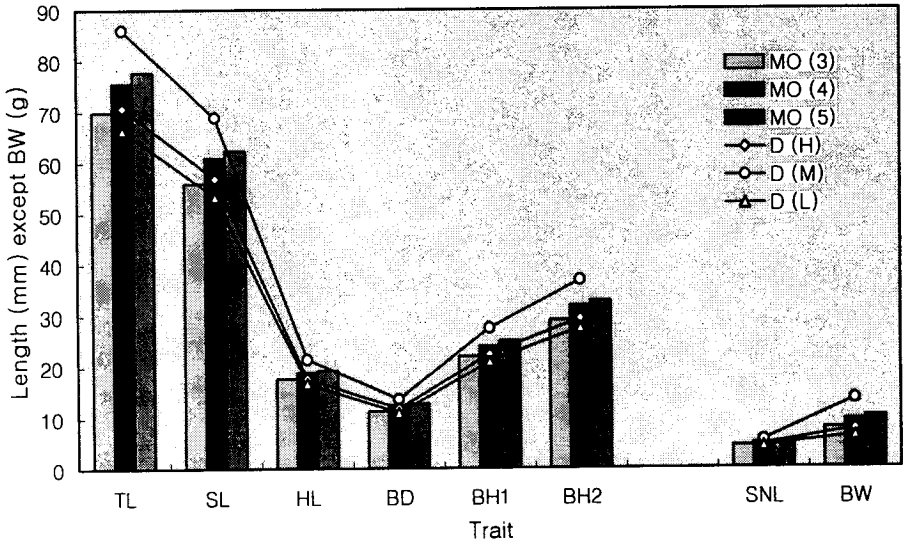


그림 3. 60 일령 틸라피아에서의 고정효과의 최소자승평균

Fig. 3. Least square means of fixed effects in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age.

4, 및 MO 5간의 차이가 없었으나 HL을 비롯한 SNL, UJ 등 두부 형질에서는 차이를 나타내었다 ($\alpha$=0.05, Fig. 4). 또한 SSQ에서는 대체로 모든 계측형질에서 5 번째 산차 그룹이 가장 큰 것으로 나타났으며 그다음이 3, 4, 6 번째 그리고 7 번째의 순이었으며, 1 과 2 번째 산차는 가장 작게 나타났다 (Fig. 5).

60 일령과 90 일령 틸라피아에 있어서 모두 MO group 간에 상당한 유의차를 보인 것은 동일한 사육 시설 내에서도 인위적인 관리상의 차이나 부화 월별 혹은 부화 계절별 환경에 의한 차이가 초기 성장 및 생산성에 중요한 환경 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 또한 앞으로 어류를 대상으로 하는 실험 설계시 여러 환경효과 중에서 MO 효과는 중요한 환경요인의 하나로 활용되어질 수 있을 것으로 보인다.

표 6. 90 일령 틸라피아에서의 고정효과의 최소자승평균과 표준오차

Table 6. Least square means and standard errors of fixed effects in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| Effect | | TL(1,297)[*1] | | SL(1,304) | | HL(1,304) | | BD(1,304) | | BH1(1,304) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE |
| SEX | F | $106.58^{B}$[*2] | 1.92 | $86.07^{B}$ | 1.58 | $26.36^{B}$ | 0.44 | $16.63^{B}$ | 0.40 | $33.73^{B}$ | 0.72 |
| SEX | M | $115.52^{A}$ | 1.95 | $93.19^{A}$ | 1.60 | $28.27^{A}$ | 0.45 | $18.03^{A}$ | 0.40 | $36.87^{A}$ | 0.73 |
| MO[*3] | 1 | $103.37^{C}$ | 5.89 | $82.78^{C}$ | 4.83 | $25.75^{D}$ | 1.33 | $14.95^{C}$ | 1.22 | $32.16^{C}$ | 2.20 |
| MO | 2 | $110.10^{B}$ | 4.17 | $88.92^{B}$ | 3.43 | $26.93^{C}$ | 0.95 | $17.17^{B}$ | 0.87 | $34.45^{B}$ | 1.56 |
| MO | 3 | $112.44^{A}$ | 2.26 | $90.76^{A}$ | 1.85 | $27.50^{B}$ | 0.51 | $18.06^{A}$ | 0.47 | $36.02^{A}$ | 0.84 |
| MO | 4 | $115.03^{A}$ | 1.74 | $93.35^{A}$ | 1.44 | $28.11^{AB}$ | 0.41 | $18.10^{A}$ | 0.36 | $36.63^{A}$ | 0.67 |
| MO | 5 | $114.31^{A}$ | 2.01 | $92.31^{A}$ | 1.67 | $28.31^{A}$ | 0.48 | $18.35^{A}$ | 0.42 | $37.24^{A}$ | 0.77 |
| SSQ[*4] | 1 | $103.71^{D}$ | 2.50 | $83.67^{C}$ | 2.04 | $25.41^{D}$ | 0.55 | $16.29^{D}$ | 0.52 | $32.68^{C}$ | 0.92 |
| SSQ | 2 | $109.96^{C}$ | 2.40 | $88.95^{B}$ | 1.98 | $27.05^{C}$ | 0.54 | $17.46^{C}$ | 0.50 | $35.07^{B}$ | 0.90 |
| SSQ | 3 | $113.99^{BC}$ | 2.65 | $91.84^{B}$ | 2.17 | $27.67^{C}$ | 0.59 | $17.17^{C}$ | 0.55 | $35.62^{B}$ | 0.98 |
| SSQ | 4 | $112.35^{BC}$ | 3.09 | $90.78^{B}$ | 2.52 | $27.23^{C}$ | 0.68 | $17.64^{BC}$ | 0.64 | $35.50^{B}$ | 1.14 |
| SSQ | 5 | $116.27^{A}$ | 4.21 | $93.86^{A}$ | 3.39 | $28.96^{A}$ | 0.91 | $18.02^{AB}$ | 0.86 | $37.03^{A}$ | 1.52 |
| SSQ | 6 | $112.18^{BC}$ | 3.32 | $90.73^{B}$ | 2.73 | $27.84^{B}$ | 0.74 | $17.58^{BC}$ | 0.69 | $36.08^{A}$ | 1.24 |
| SSQ | 7 | $108.89^{B}$ | 4.33 | $87.55^{B}$ | 3.52 | $27.07^{B}$ | 0.94 | $17.11^{A}$ | 0.90 | $35.12^{A}$ | 1.58 |

| Effect | | BH2(1,304) | | SNL(1,304) | | UJ(1,302) | | HW(1,299) | | BW(1,304) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE |
| SEX | F | $45.21^{B}$ | 0.94 | $6.91^{B}$ | 0.15 | $6.46^{B}$ | 0.13 | $9.68^{B}$ | 0.19 | $24.98^{B}$ | 1.60 |
| SEX | M | $49.40^{A}$ | 0.95 | $7.54^{A}$ | 0.15 | $7.22^{A}$ | 0.13 | $10.62^{A}$ | 0.19 | $32.03^{A}$ | 1.63 |
| MO | 1 | $42.16^{C}$ | 2.89 | $6.71^{C}$ | 0.46 | $6.68^{AB}$ | 0.41 | $9.51^{C}$ | 0.58 | $21.83^{C}$ | 4.88 |
| MO | 2 | $47.16^{B}$ | 2.03 | $6.87^{C}$ | 0.32 | $6.80^{AB}$ | 0.26 | $9.97^{B}$ | 0.43 | $27.28^{B}$ | 3.48 |
| MO | 3 | $48.37^{A}$ | 1.10 | $7.32^{B}$ | 0.17 | $6.75^{B}$ | 0.14 | $10.29^{A}$ | 0.22 | $29.95^{A}$ | 1.88 |
| MO | 4 | $49.34^{A}$ | 0.85 | $7.54^{A}$ | 0.14 | $7.10^{A}$ | 0.11 | $10.50^{A}$ | 0.18 | $31.41^{A}$ | 1.47 |
| MO | 5 | $49.48^{A}$ | 0.98 | $7.69^{A}$ | 0.16 | $6.88^{B}$ | 0.12 | $10.47^{A}$ | 0.21 | $32.05^{A}$ | 1.70 |
| SSQ | 1 | $44.55^{D}$ | 1.21 | $6.50^{D}$ | 0.18 | $6.51^{C}$ | 0.16 | $9.41^{C}$ | 0.24 | $23.07^{D}$ | 2.07 |
| SSQ | 2 | $46.88^{C}$ | 1.17 | $7.20^{C}$ | 0.18 | $6.84^{BC}$ | 0.15 | $10.05^{B}$ | 0.24 | $28.31^{C}$ | 2.00 |
| SSQ | 3 | $48.41^{BC}$ | 1.29 | $7.19^{C}$ | 0.19 | $6.75^{BC}$ | 0.16 | $10.26^{B}$ | 0.26 | $29.50^{C}$ | 2.19 |
| SSQ | 4 | $47.64^{BC}$ | 1.50 | $7.09^{C}$ | 0.22 | $6.84^{BC}$ | 0.19 | $10.07^{B}$ | 0.30 | $29.52^{C}$ | 2.55 |
| SSQ | 5 | $49.61^{A}$ | 2.01 | $7.77^{A}$ | 0.29 | $7.32^{A}$ | 0.25 | $10.66^{A}$ | 0.41 | $32.79^{A}$ | 3.43 |
| SSQ | 6 | $47.76^{BC}$ | 1.62 | $7.48^{B}$ | 0.25 | $7.00^{B}$ | 0.21 | $10.35^{A}$ | 0.33 | $29.28^{BC}$ | 2.77 |
| SSQ | 7 | $46.26^{AB}$ | 2.10 | $7.33^{A}$ | 0.31 | $6.62^{BC}$ | 0.27 | $10.25^{A}$ | 0.42 | $27.07^{AB}$ | 3.57 |

(Unit : ㎜ except BW (g))

[*1] Degree of freedom

[*2] 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 ( $\alpha$ =0.05).

[*3] Fixed effect of cage within month effect.

[*4] Parity of spawning squence of dam.

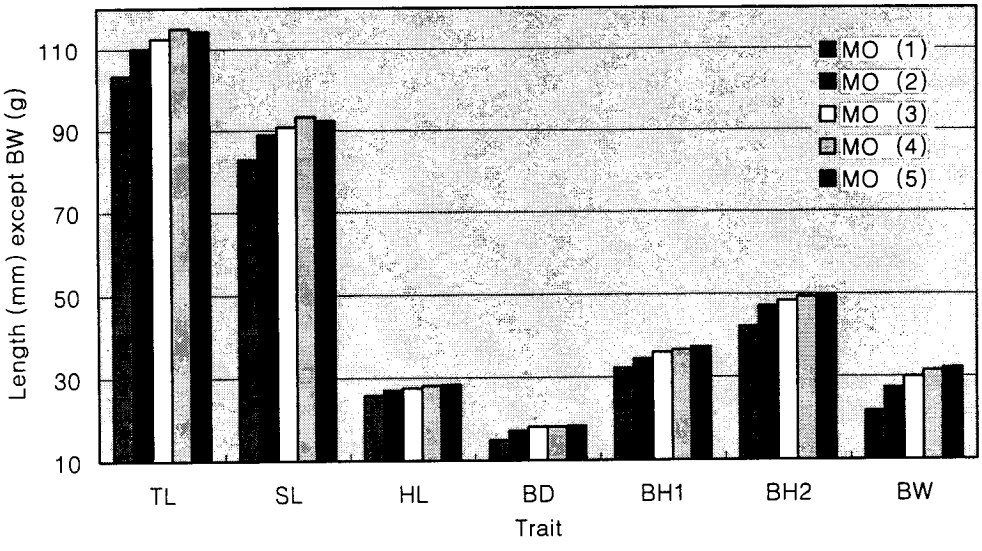


그림 4. 90 일령 틸라피아에서의 고정효과 (MO)의 최소자승평균.

Fig. 4. Least square means of fixed effects MO in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age.

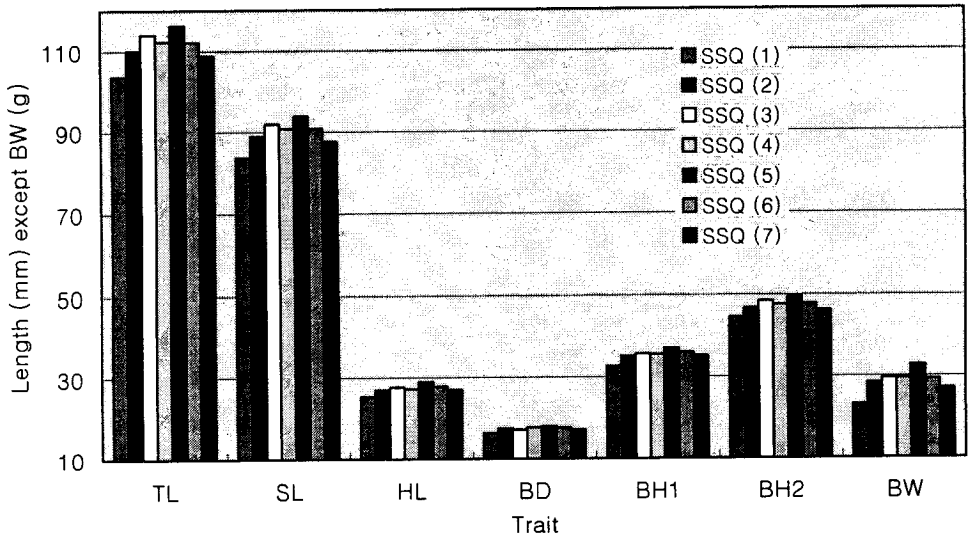


그림 5. 90 일령 틸라피아에서의 고정효과 SSQ의 최소자승평균.

Fig. 5. Least square means of fixed effects SSQ in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age.

또한 90 일령의 경우 dam의 산차간에도 유의성으로 나타낸 것으로 보아 다회산란 어종인 틸라피아의 경우 종묘생산을 위해서는 0 세어의 경우, 적어도 세 번째 산차 이후의 암컷을 선택하는 것이 생산성을 높이는데 도움이 될 것으로 판단된다.

## 2. 분산성분 (variance components) 및 유전율 (heritability)

60 일령 틸라피아의 8 개 계측형질 및 90 일령 틸라피아의 10 개 계측형질에 대한 sire와 dam의 분산성분 및 유전율을 추정하였다 (Table 7, Table 9). 이들 계측형질들은 양식어류의 생산성은 물론 상품적 가치에 영향을 미치는 경제적 생산형질로 각 형질에 대한 유전율은 그 자체로서 어류의 선발시 선발효과를 미리 예측할 수 있는 중요한 근거를 제공하게 된다. 한편 이들 계측형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차는 Table 8 및 Table 10과 같다.

일반적으로 어느 양적형질에 대한 유전율이 0.25 이상이면 선발에 의한 효과적인 유전적 개량이 가능한 것으로 보는데, 주요 생산형질인 TL과 BH1은 60 일령의 경우 sire, dam-component 및 full-sib component에서 0.23 이상의 높은 유전율을 나타내었으며 BW는 dam-component에서 0.27을 기록하였으나 sire와 full-sib component에서는 0.20 이하로 낮았다 (Fig. 6). 한편, 60 일령에서의 이들 유전율에 대한 표준오차는 전체적으로 유전율보다 더 크게 나타났다. 또한 암수간의 유의차를 나타내는 (Table 5) SL, SNL 및 BW의 유전율은 sire 보다 dam component에서 모두 높게 나타났는데, 이들 형질에서는 maternal effect가 크게 작용하는 것으로 보인다.

90 일령 틸라피아의 경우 HL을 제외한 모든 계측형질에서 sire 보다

dam의 유전율이 월등히 높았으며 (Fig.7). 표준오차는 60 일령에 비해 상당히 작게 나타났다. 특히 TL, SL, BH1, BH2 및 BW 등 주요 생산형질의 dam component 유전율은 0.40 이상으로 매우 높았는데 90 일령까지도 이들 형질에 대하여 maternal effect가 상대적으로 크게 작용하는 것으로 보인다.

참고로 dam의 분산성분에는 sire에 비해서 $\frac{1}{4}V_A$ (additive effect) 외에도 $\frac{1}{4}V_D$ (dominance effect) 및 $V_{Ec}$ (common environment effect)가 포함되므로 dam의 유전율을 추정하기 위해서는 $\frac{1}{4}V_D$와 $V_{Ec}$을 제외하고 상가적 효과에 대한 분산만을 정확히 분석하는 것이 무엇보다 중요하다 (Falconer 1989).

한편, 60 일령과 90 일령 틸라피아의 TL에 있어서 반형매상관 (half-sib correlation)은 각각 0.073 및 0.047 이었고 BW에서는 각각 0.026과 0.052였다. 또한 전형매 상관 (full-sib correlation)은 TL이 0.134 및 0.130, BW가 0.094 및 0.157로 나타났다.

표 7. 60 일령 틸라피아의 계측형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)

Table 7 . Variance components and heritability estimates on metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| Trait | $\sigma^2_s$ | $\sigma^2_d$ | $\sigma^2_{s+d}$ | $\sigma^2_w$ | $\sigma^2_T$ | $h^2_s$ | $h^2_d$ | $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | 4.59 | 3.89 | 15.27 | 39.37 | 63.12 | 0.29 | 0.25 | 0.27 |
| SL | 1.38 | 2.37 | 11.78 | 27.25 | 42.79 | 0.13 | 0.22 | 0.18 |
| HL | 0.17 | 0.37 | 0.90 | 2.29 | 3.73 | 0.19 | 0.40 | 0.29 |
| BD | 0.17 | 0.29 | 0.72 | 1.69 | 2.87 | 0.23 | 0.40 | 0.32 |
| BH1 | 0.85 | 0.49 | 2.13 | 5.19 | 8.66 | 0.39 | 0.23 | 0.31 |
| BH2 | 0.31 | 1.45 | 4.11 | 9.57 | 15.44 | 0.08 | 0.38 | 0.23 |
| SNL | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.22 | 0.36 | 0.70 | 0.41 | 0.55 |
| BW | 0.17 | 0.44 | 1.79 | 4.11 | 6.51 | 0.10 | 0.27 | 0.19 |

표 8. 60 일령 틸라피아 계측형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차

Table 8. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on metric traits of *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| | Var $\sigma^2_s$ | Var $\sigma^2_d$ | Cov ($\sigma^2_s$ $\sigma^2_s$) | SE* $\sigma^2_s$ | SE $\sigma^2_d$ | SE $h^2_s$ | SE $h^2_d$ | SE $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | 57.10 | 35.30 | -19.97 | 7.56 | 5.94 | 0.48 | 0.38 | 0.23 |
| SL | 26.70 | 17.40 | -10.65 | 5.17 | 4.17 | 0.48 | 0.39 | 0.22 |
| HL | 0.18 | 0.15 | -0.06 | 0.42 | 0.39 | 0.45 | 0.42 | 0.25 |
| BD | 0.35 | 0.23 | -1.88 | 0.59 | 0.48 | 0.82 | 0.67 | 0.82 |
| BH1 | 2.00 | 0.75 | -0.50 | 1.41 | 0.87 | 0.65 | 0.40 | 0.31 |
| BH2 | 2.98 | 2.31 | -0.58 | 1.73 | 1.52 | 0.45 | 0.39 | 0.26 |
| SNL | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.03 | 0.50 | 0.31 | 0.25 |
| BW | 0.69 | 0.37 | -0.11 | 0,83 | 0.61 | 0.51 | 0.37 | 0.28 |

* Standard error

표 9. 90 일령 틸라피아의 계측형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)

Table 9. Variance components and heritability estimates on metric traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| Trait | $\sigma^2_s$ | $\sigma^2_d$ | $\sigma^2_{s+d}$ | $\sigma^2_w$ | $\sigma^2_T$ | $h^2_s$ | $h^2_d$ | $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | 4.42 | 14.30 | 31.47 | 94.06 | 144.25 | 0.12 | 0.40 | 0.26 |
| SL | 4.42 | 9.87 | 19.48 | 64.69 | 98.46 | 0.18 | 0.40 | 0.29 |
| HL | 0.78 | 0.75 | 1.08 | 5.62 | 8.24 | 0.38 | 0.37 | 0.37 |
| BD | 0.22 | 0.70 | 1.32 | 3.42 | 5.66 | 0.16 | 0.50 | 0.33 |
| BH1 | 1.36 | 2.19 | 3.48 | 13.50 | 20.53 | 0.26 | 0.43 | 0.35 |
| BH2 | 1.24 | 3.69 | 6.92 | 23.15 | 34.99 | 0.14 | 0.42 | 0.28 |
| SNL | 0.10 | 0.12 | 0.08 | 0.63 | 0.94 | 0.44 | 0.52 | 0.48 |
| UJ | 0.02 | 0.11 | 0.08 | 0.56 | 0.76 | 0.08 | 0.57 | 0.33 |
| HW | 0.12 | 0.12 | 0.26 | 1.19 | 1.68 | 0.28 | 0.30 | 0.29 |
| BW | 5.01 | 10.25 | 19.86 | 62.01 | 97.13 | 0.21 | 0.42 | 0.31 |

표 10. 90 일령 틸라피아 계측형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차

Table 10. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on metric traits of *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| | Var $\sigma^2_s$ | Var $\sigma^2_d$ | Cov ($\sigma^2_s$ $\sigma^2_s$) | SE* $\sigma^2_s$ | SE $\sigma^2_d$ | SE $h^2_s$ | SE $h^2_d$ | SE $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | 102.1700 | 97.0000 | 8.7600 | 10.1079 | 9.8489 | 0.2803 | 0.2731 | 0.2041 |
| SL | 43.2500 | 44.7400 | 4.4300 | 6.5765 | 6.6888 | 0.2672 | 0.2717 | 0.1999 |
| HL | 0.4700 | 0.2600 | -0.2900 | 0.6856 | 0.5099 | 0.3328 | 0.2475 | 0.0940 |
| BD | 0.1040 | 0.2020 | 0.0112 | 0.3225 | 0.4494 | 0.2279 | 0.3176 | 0.2025 |
| BH1 | 2.0600 | 1.9900 | -0.0400 | 1.4353 | 1.4107 | 0.2796 | 0.2749 | 0.1941 |
| BH2 | 4.3400 | 5.9400 | 0.5600 | 2.0833 | 2.4372 | 0.2382 | 0.2786 | 0.1930 |
| SNL | 0.0050 | 0.0030 | -0.0003 | 0.0707 | 0.0548 | 0.3009 | 0.2331 | 0.1830 |
| UJ | 0.0010 | 0.0020 | 0.0003 | 0.0316 | 0.0447 | 0.1664 | 0.2354 | 0.1579 |
| HW | 0.0110 | 0.0090 | 0.0003 | 0.1049 | 0.0949 | 0.2497 | 0.2259 | 0.1709 |
| BW | 41.8600 | 46.0300 | 2.7500 | 6.4699 | 6.7845 | 0.2664 | 0.2794 | 0.1990 |

* Standard error

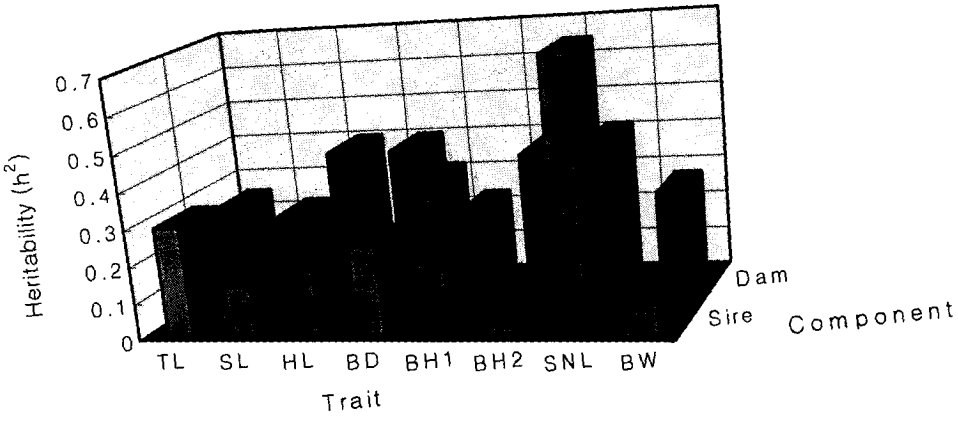


그림 6. 60 일령 틸라피아 계측형질의 유전율.

Fig. 6. Heritability estimates on metric traits at 60 days of age in *Oreochromis niloticus*.

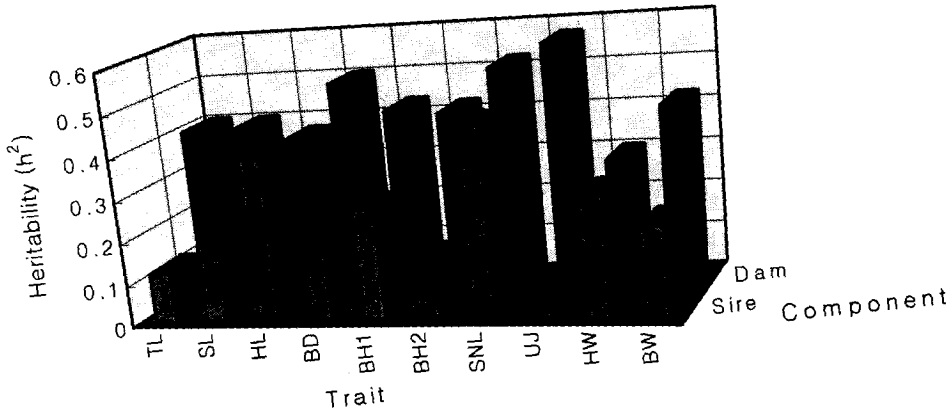


그림 7. 90 일령 틸라피아 계측형질의 유전율.

Fig. 7. Heritability estimates on metric traits at 90 days of age in *Oreochromis niloticus*.

3. 유전상관 및 표현형상관 (genetic and phenotypic correlation)

유전상관 및 표현형상관 등 각 형질들간의 상관 (correlation)은 major gene의 다면발형 (pleiotropy)과 관계가 있으며, 특히 선발육종에 있어서 어떤 두 형질간의 상관이 높을 경우 한가지 형질에 대한 유전적 개량이 동시에 다른 형질에 대한 개량을 유발할 수 있다는 점에서 의미를 갖는다. 이에 본 연구에서는 각 계측형질간 일령별 유전상관을 계산하였으며 표현형상관계수를 일반적 방법에 의한 상관계수와 비교하였다.

먼저 틸라피아 암수의 일령별 계측형질간의 일반 상관계수를 Table 11과 Table 12에 나타내었다. 60 일령에서는 암수 모두 모든 계측형질에서 높은 상관을 보였으며, HL과 각 계측형질과의 상관에서는 암컷에서부다 수컷에서 높은 상관을 보였다. BW와 각 형질간의 상관은 SNL과 HL 등 두부 형질과의 상관이 암컷에서 0.90 이하로 낮았고 TL, SL 및 BH1과는 0.95 이상으로 높은 상관을 보였다. 한편, HL과 SNL의 두부형질간의 상관은 암수에서 모두 비교적 낮았다 (Table 11). 60 일령 틸라피아 수컷의 경우, BW는 60 일령 암컷과는 달리 BD와 0.9438로 상관이 높았고, 그 밖에 TL, SL, BH1, BH2, HL, SNL 등과도 각각 0.9653, 0.9606, 0.9682, 0.9519, 0.9541 및 0.9108로 암컷에서보다 다소 높게 나타났다. BD는 TL, SL, BH1, BH2 및 BW와 각각 0.9159, 0.9126, 0.9473, 0.9213, 0.9438로 높은 상관을 보였고, 두부 형질인 HL 및 SNL과는 각각 0.8946과 0.8880으로 비교적 낮았다.

90 일령에서는 전체적으로 각 계측형질간의 상관이 60 일령에서 보다 낮았다. 특히 HL등 두부 형질은 BW를 제외하고는 다른 형질들과의 상관이 0.90 이하였으며, SNL 및 UJ와 같은 다른 두부형질과의 상관도 0.80 이하로 나타났다. BW는 TL, SL, BD 및 BH1과 암수 모두에서 높은 상관을 나타내었고, 그 중 BH1의 암컷에서 0.9740으로 가장 높았다 (Table 12).

한편, 계측형질간의 일령별 표현형 및 유전상관계수를 Table 13과 Table 14에 나타내었다. 60 일령과 90 일령에서 표현형상관은 전술한 일반상관

표 11. 60 일령 틸라피아 암수의 계측형질간 상관계수 비교

Table 11. Correlation coefficients on metric traits of male and female in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age ( Prob > |R| of correlation is 0.0001 under Ho: Rho=0)

| | TL | SL | HL | BD | BH1 | BH2 | SNL | BW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | | 0.9860[*1]<br>0.9722[*2] | 0.9159<br>0.8762 | 0.9562<br>0.9503 | 0.9562<br>0.9617 | 0.9608<br>0.9563 | 0.9189<br>0.9008 | 0.9653<br>0.9581 |
| SL | | | 0.9126<br>0.8627 | 0.9484<br>0.9366 | 0.9495<br>0.9488 | 0.9514<br>0.9426 | 0.9125<br>0.8867 | 0.9606<br>0.9442 |
| HL | | | | 0.9473<br>0.9112 | 0.9203<br>0.8896 | 0.8946<br>0.8549 | 0.8880<br>0.8439 | 0.9438<br>0.8984 |
| BD | | | | | 0.9516<br>0.9562 | 0.9475<br>0.9435 | 0.9240<br>0.9023 | 0.9682<br>0.9642 |
| BH1 | | | | | | 0.9356<br>0.9454 | 0.9033<br>0.8936 | 0.9519<br>0.9557 |
| BH2 | | Symmetric | | | | | 0.9313<br>0.9163 | 0.9451<br>0.9422 |
| SNL | | | | | | | | 0.9108<br>0.8853 |
| BW | | | | | | | | |

[*1] Pearson coefficients of male (No. of records = 461)

[*2] Pearson coefficients of female (No. of records = 992)

표 12. 90 일령 틸라피아 암수의 계측형질간 상관계수 비교

Table 12. Correlation coefficients on metric traits of male and female *Oreochromis niloticus* at 90 days of age ( Prob > |R| of correlation is 0.0001 under Ho: Rho=0)

| | TL | SL | HL | BD | BH1 | BH2 | SNL | UJ | HW | BW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | | 0.9925*1<br>0.9933*2 | 0.8688<br>0.8743 | 0.9152<br>0.8945 | 0.9615<br>0.9630 | 0.9345<br>0.9341 | 0.8572<br>0.8538 | 0.8184<br>0.8033 | 0.9389<br>0.9101 | 0.9680<br>0.9610 |
| SL | | | 0.8626<br>0.8637 | 0.9059<br>0.8832 | 0.9598<br>0.9580 | 0.9250<br>0.9262 | 0.8461<br>0.8446 | 0.8189<br>0.8018 | 0.9295<br>0.8995 | 0.9626<br>0.9539 |
| HL | | | | 0.8840<br>0.8927 | 0.8895<br>0.9182 | 0.8059<br>0.8286 | 0.7747<br>0.7943 | 0.6868<br>0.7375 | 0.8340<br>0.8525 | 0.9233<br>0.9298 |
| BD | | | | | 0.9189<br>0.9243 | 0.8904<br>0.8934 | 0.8572<br>0.8573 | 0.7416<br>0.7610 | 0.8995<br>0.9024 | 0.9417<br>0.9342 |
| BH1 | | | | | | 0.9069<br>0.9142 | 0.8364<br>0.8449 | 0.7931<br>0.8006 | 0.9237<br>0.9154 | 0.9669<br>0.9740 |
| BH2 | | | | | | | 0.9158<br>0.9153 | 0.7946<br>0.8045 | 0.9351<br>0.9283 | 0.9183<br>0.9248 |
| SNL | | | | | | | | 0.7218<br>0.7553 | 0.8645<br>0.8659 | 0.8595<br>0.8675 |
| UJ | | Symmetric | | | | | | | 0.7891<br>0.7835 | 0.7997<br>0.7997 |
| HW | | | | | | | | | | 0.9345<br>0.9246 |
| BW | | | | | | | | | | |

*1 Pearson coefficients of male (No. of records = 431, except TL = 428 due to missing values)

*2 Pearson coefficients of female (No. of records = 940, except TL = 936 due to missing values)

계수 (Table 11, 12)와 다소의 차이는 있으나 전체적으로 비슷한 경향을 나타내었다. 또 표현형상관 및 유전상관은 60 일령에서는 거의 모든 형질간에 높은 상관계수를 보였으나 90 일령에서는 일부 형질간에서 상당히 감소하였다. 이는 성장 초기에는 변이의 폭이 작아서 실제보다 크게 상관이 추정될 수 있으며, 후기로 갈수록 변이가 커지므로 계측의 오차를 최소화 하여야 정확한 추정이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서 새로운 계측형질로 이용한 BH2의 경우 60 일령에서 일반 상관과는 달리 BW와의 표현형상관 및 유전상관이 BH1 보다 높게 나타났다 (Table 13). 특히 BH2의 경우 90 일령의 표현형 상관에서도 BW와 0.9700으로 가장 높게 나타나 일반 상관계수 (0.9183)와는 큰 차이를 보였다. 또한 유전상관도 암수에서 각각 0.9660 및 0.9783으로 매우 높아서 BH1과 더불어 중요한 생산형질의 하나임이 입증되었다 (Table 14). 반면에 BD는 60 일령에서 90 일령으로 갈수록 생산성과 직결되는 주요 계측형질들 즉 BH1, BH2를 비롯하여 TL, SL 및 HL 등과는 표현형상관 및 유전상관이 낮게 나타났는데, 이는 BD가 환경요인에 의해 크게 좌우될 수 있으며, 따라서 선발의 대상 형질로는 적합하지 않는 것으로 보인다.

한편, 고밀도 양식어류에서 꼬리지느러미 손상으로 인하여 TL의 계측이 불가능한 경우가 있는데 TL과 SL의 표현형 및 유전상관이 거의 1.00에 가까운 것으로 볼 때, TL 대신 SL을 선발에 이용하여도 무방할 것으로 판단된다.

전체적으로 양식어종으로서 중요한 경제적 형질인 BW는 적어도 부화후 90 일령까지는 다른 계측형질들에 비하여 TL 및 BH2와 상대적으로 높은 표현형상관을 가지며, HL을 비롯한 SNL, UJ, HW 등 두부형질들과는 상관이 낮았다. 또한 BH1 보다는 BH2와의 상관이 더 높은 것으로 나타났으며, 이 시기에 BD는 다른 형질들과 상관은 그리 높지 않았다.

표 13. 60 일령 틸라피아의 계측형질간 표현형 상관계수 및 유전 상관계수

Table 13. Phenotypic and genetic correlation coefficients between metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| | TL | SL | HL | BD | BH1 | BH2 | SNL | BW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | | 0.9770[*1] | 0.9582 | 0.8896 | 0.9528 | 0.9606 | 0.9071 | 0.9607 |
| SL | 0.9987[*2]<br>0.9986[*3] | | 0.9462 | 0.8796 | 0.9413 | 0.9498 | 0.8959 | 0.9497 |
| HL | 0.9876<br>0.9868 | 0.9868<br>0.9859 | | 0.8685 | 0.9455 | 0.9431 | 0.9215 | 0.9435 |
| BD | 0.9352<br>0.9192 | 0.9382<br>0.9211 | 0.9266<br>0.9028 | | 0.9233 | 0.9002 | 0.8606 | 0.9127 |
| BH1 | 0.9837<br>0.9783 | 0.9837<br>0.9770 | 0.9813<br>0.9770 | 0.9543<br>0.9507 | | 0.9554 | 0.9105 | 0.9655 |
| BH2 | 0.9938<br>0.9917 | 0.9940<br>0.9910 | 0.9849<br>0.9825 | 0.9510<br>0.9365 | 0.9911<br>0.9874 | | 0.8975 | 0.9552 |
| SNL | 0.9423<br>0.9439 | 0.9427<br>0.9412 | 0.9567<br>0.9554 | 0.9571<br>0.9216 | 0.9581<br>0.9534 | 0.9520<br>0.9543 | | 0.8936 |
| BW | 0.9851<br>0.9825 | 0.9855<br>0.9825 | 0.9804<br>0.9792 | 0.9408<br>0.9319 | 0.9880<br>0.9848 | 0.9908<br>0.9877 | 0.9421<br>0.9326 | |

[*1] Phenotypic correlation coefficient (upper triangle)

[*2] Genetic correlation coefficient with sire component

[*3] Genetic correlation coefficient with dam component

표 14. 90 일령 틸라피아의 계측형질간 표현형 상관계수 및 유전 상관계수

Table 14. Phenotypic and genetic correlation coefficients between metric traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| | TL | SL | HL | BD | BH1 | BH2 | SNL | UJ | HW | BW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TL | | 0.9934[*1] | 0.9400 | 0.8701 | 0.9097 | 0.9650 | 0.8641 | 0.8295 | 0.9217 | 0.9653 |
| SL | 0.9939[*2]<br>0.9947[*3] | | 0.9329 | 0.8597 | 0.8988 | 0.9617 | 0.8550 | 0.8279 | 0.9105 | 0.9581 |
| HL | 0.9388<br>0.9349 | 0.9111<br>0.9223 | | 0.8208 | 0.8999 | 0.9189 | 0.9200 | 0.8164 | 0.9290 | 0.9258 |
| BD | 0.8077<br>0.8671 | 0.7865<br>0.8466 | 0.7959<br>0.7939 | | 0.8915 | 0.8994 | 0.7911 | 0.7228 | 0.8497 | 0.9260 |
| BH1 | 0.9083<br>0.9303 | 0.8788<br>0.9106 | 0.9436<br>0.9381 | 0.9112<br>0.9197 | | 0.9258 | 0.8654 | 0.7731 | 0.9052 | 0.9411 |
| BH2 | 0.9619<br>0.9712 | 0.9624<br>0.9662 | 0.9154<br>0.9108 | 0.8517<br>0.9050 | 0.9146<br>0.9461 | | 0.8498 | 0.8222 | 0.9171 | 0.9700 |
| SNL | 0.8422<br>0.8459 | 0.8119<br>0.8306 | 0.9505<br>0.9514 | 0.7897<br>0.7693 | 0.9368<br>0.9133 | 0.8162<br>0.8205 | | 0.7549 | 0.8691 | 0.8713 |
| UJ | 0.7829<br>0.8264 | 0.8121<br>0.8423 | 0.7023<br>0.7921 | 0.6027<br>0.7010 | 0.6530<br>0.7347 | 0.8082<br>0.8317 | 0.5691<br>0.6929 | | 0.7938 | 0.8149 |
| HW | 0.8875<br>0.9053 | 0.8509<br>0.8839 | 0.9623<br>0.9578 | 0.8534<br>0.8348 | 0.9516<br>0.9399 | 0.8937<br>0.9012 | 0.9057<br>0.9037 | 0.6413<br>0.7506 | | 0.9300 |
| BW | 0.9602<br>0.9705 | 0.9438<br>0.9580 | 0.9440<br>0.9243 | 0.9158<br>0.9434 | 0.9739<br>0.9747 | 0.9660<br>0.9783 | 0.8915<br>0.8696 | 0.7321<br>0.7962 | 0.9378<br>0.9239 | |

[*1] Phenotypic correlation coefficient (upper triangle)

[*2] Genetic correlation coefficient with sire component

[*3] Genetic correlation coefficient with dam component

4. 회귀계수 추정

성장 초기 틸라피아의 체중에 대한 각 계측형질들의 상대적 중요도를 알아보고자 60 일령 및 90 일령 틸라피아에서 각 계측형질의 BW에 대한 회귀계수를 SAS의 Backward Elimination Procedure에 따라서 추정하였다 (Table 15).

60일령의 경우 UJ와 HW를 제외한 7 개의 모든 계측형질들이 회귀방정식 모델에 적합하였으며 ($p<0.01$), 결정계수도 상당히 높게 나타났다 ($R^2 = 0.9543$). BH1의 회귀계수가 0.3311 (표준오차 0.0219)로 가장 높았고 그 다음이 BD (0.1855), HL (0.1319)의 순이었다. 한편, BW에 대하여 SNL의 경우 부 (-)의 회귀계수를 (-0.2543 ± 표준오차 0.0641) 가지고 있었으며, TL 및 SL은 각각 0.0773 (±0.0103) 및 0.0345 (±0.0104)로 낮았다.

90일령의 경우 9 개의 계측형질들중 SL, HL, UJ 등은 유의수준이 낮아서 ($p>0.05$) Backward Elimination Procedure에 의해 본 회귀모델에서 제외되었다 (Table 9). 그 외 6 개의 계측형질이 포함되었는데 ($p<0.01$), 결정계수 역시 매우 높게 나타났다 ($R^2 = 0.9724$). 회귀계수는 60 일령에서와는 달리 BD가 0.9427 (±0.0458)로 가장 높았으며, 그 다음으로 HW, BH2, SNL, BH1, TL의 순이었다. 한편, BW에 대한 BH2의 회귀계수가 기존에 일반적인 계측형질로 널리 이용되 오던 BH1 보다 높게 나타난 것은 BH2의 표현형상관이 BH1 보다 높게 나타난 결과 (Table 14)와도 일치하여 앞으로 새로운 틸라피아의 생산형질 관련 계측형질로 이용될 수 있는 가능성을 보였다.

물론 전술한 바와 같이 체중과 각 계측형질간에는 표현형상관 및 유전상관이 매우 높지만, 선발의 기준을 정하는데는 이와 같은 계측형질을 비롯하여 뒤에서 다룰 체형형질 등에 대한 유전모수와 더불어 연령별 회귀계수도 참고가 될 것으로 생각된다.

표 15. 60 일령과 90일령 틸라피아의 체중(BW)에 대한 각 계측형질의 회귀계수 추정

Table 15. Regression coefficients on metric traits for dependent variable BW in *Oreochromis niloticus* at 60 and 90 days of age ($R^2$ = 0.9543)

| Variable | 60 days ($R^2$ = 0.9543) | | | | 90 days ($R^2$ = 0.9724) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Parameter Estimate | SE* | F | Prob>F | Parameter Estimate | SE | F | Prob>F |
| INTERCEP | -13.1393 | 0.1481 | 7876.03 | 0.0001 | -53.3534 | 0.4316 | 15279.70 | 0.0001 |
| TL | 0.0773 | 0.0103 | 56.68 | 0.0001 | 0.2614 | 0.0150 | 304.36 | 0.0001 |
| SL | 0.0345 | 0.0104 | 11.10 | 0.0009 | — | — | — | — |
| BD | 0.1855 | 0.0236 | 61.58 | 0.0001 | 0.9427 | 0.0458 | 423.24 | 0.0001 |
| BH1 | 0.3311 | 0.0219 | 227.79 | 0.0001 | 0.2542 | 0.0297 | 73.47 | 0.0001 |
| BH2 | 0.0861 | 0.0153 | 31.50 | 0.0001 | 0.3921 | 0.0327 | 143.52 | 0.0001 |
| HL | 0.1319 | 0.0306 | 18.63 | 0.0001 | — | — | — | — |
| SNL | -0.2543 | 0.0641 | 15.74 | 0.0001 | 0.3377 | 0.0951 | 12.61 | 0.0004 |
| HW | — | — | — | — | 0.6229 | 0.0990 | 39.55 | 0.0001 |

* Standard error (Produced by Backward Elimination Procedure in SAS)

## 제 3 절 체형형질

계측형질의 계측자료를 바탕으로 암수간 체형의 특징을 비교하고, 나아가서 좀더 적극적으로 생산형질의 가치를 판정하는 척도를 개발하고자 주요 계측형질간의 백분율을 구하여 체형형질로 간주하였다. 또한 이들 체형형질에 대한 유전적 개량의 가능성을 알아보고자 유전율을 추정하였다.

### 1. 자료의 분포 및 기초통계량

60 일령 틸라피아의 대상 체형형질은 비만도 (fatness)를 포함하여 모두 9 가지 였으며 기록의 수는 암수 각각 992 및 461 개였다. 90 일령은 11 가지의 체형형질에 대하여 암수 각각 940 및 431 개로서 총 1,419 개의 기록을 분석하였다. 이들에 대한 형질별, 연령별 평균 및 표준편차를 Table 16에 나타내었다. 한편, 연령별 암수간의 비교는 뒤에서 다루기로 한다.

60 일령과 90 일령을 비교할 때, 암수 모두에서 TLBH1, TLBH2 및 HLSNL은 90 일령으로 가면서 약간 값이 증가하였으나, TLHL, TLBD, BDBH1, BDBH2, BH12 및 FATNESS는 감소하였다. 이는 틸라피아가 성장을 거듭할수록 numerator 형질의 상대성장이 느려 그만큼 비중이 낮아지는 것을 의미한다. 즉 TL을 중심으로 볼 때, TL에 대하여 시간이 지날수록 HL, BD 등의 비중이 낮아지는 반면에 BH1과 BH2의 비중이 커진다. 또한, BH1과 BH2를 놓고 볼 때 BH1이 BH2에 비해 상대적으로 비중이 감소하는 것을 볼 수 있다. 비만도의 감소도 전술한 바 (Table 15)와 같이 90 일령에서 BD의 BW에 대한 회귀계수가 높았던 점을 감안하면 60 일령에 비해 BD의 비중이 줄어드는 만큼 결과적으로 BW의 상대적 감소를 예상할 수가 있다.

표 16. 체형형질의 자료분포 및 기초통계량

Table 16. Properties and distributions of type traits

| Traits[*1] | Total records | Age | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 60 days (1,454)[*2] | | 90 days (1,419) | |
| | | Male (461) | Female (992) | Male (431) | Female (940) |
| | | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD |
| TLHL | 2,873 | 25.21 ± 0.92 | 25.11 ± 0.97 | 24.41 ± 0.97 | 24.61 ± 0.94 |
| TLBD | 2,873 | 16.39 ± 1.17 | 16.38 ± 1.35 | 15.83 ± 1.11 | 15.84 ± 1.03 |
| TLBH1 | 2,873 | 31.45 ± 1.57 | 31.40 ± 1.54 | 31.88 ± 1.74 | 31.72 ± 1.82 |
| TLBH2 | 2,873 | 41.49 ± 2.05 | 41.33 ± 2.00 | 43.15 ± 1.63 | 42.66 ± 1.47 |
| BDBH1 | 2,873 | 52.12 ± 2.84 | 52.17 ± 3.65 | 49.72 ± 4.03 | 50.09 ± 5.91 |
| BDBH2 | 2,873 | 39.56 ± 3.06 | 39.68 ± 3.41 | 36.70 ± 2.62 | 37.12 ± 1.96 |
| BH12 | 2,873 | 75.93 ± 4.67 | 76.08 ± 4.37 | 73.96 ± 4.53 | 74.35 ± 3.61 |
| HLSNL | 2,873 | 25.05 ± 1.75 | 25.21 ± 1.71 | 26.46 ± 1.60 | 26.31 ± 1.67 |
| HLUJ | 1,419 | - | - | 25.42 ± 2.10 | 24.59 ± 1.77 |
| HLHW | 1,419 | - | - | 37.52 ± 1.74 | 36.77 ± 1.81 |
| FATNESS | 2,873 | 20.22 ± 1.87 | 20.14 ± 1.86 | 20.09 ± 1.50 | 20.10 ± 1.70 |

[*1] Refer to Table 2.

[*2] No. of records

2. 체형형질의 암수비교

체형형질의 암수비교에 앞서 각 계측형질의 최소자승평균 (lsmean) 및 연령별, 성별 F-test를 Table 17과 Table 18에 나타내었다.

고정효과로서 sex의 최소자승평균을 보면 60 일령에서 TL의 경우 수컷이 69.10 ㎜ 였고 암컷이 67.99 ㎜로 암수간에 차이가 있었으며 ($p<0.01$), 이 때의 표준오차는 암수 모두 1.43이었다 (Table 17). BD도 수컷이 11.42, 암컷이 11.22로 암수간 차이를 나타내었고 ($p<0.05$), BW를 비롯한 그 밖의 계측형질에서도 모두 고도의 유의차를 보였다 ($p<0.01$). 한편, 최소자승추정치는 고정효과로서 sex 외에 cage within month (MO) 및 initial density (D) 등을 모델에 포함시켰을 경우 (Table 5) 보다 상당히 낮게 나타났다.

Fig 8에 암수간 주요 계측형질의 연령별 변이를 나타내었는데, 90 일령에서는 암수간의 차이가 60 일령에서보다 모든 계측형질에서 월등하게 크게 나타났다 ($p=0.0001$, Table 18). 한편, 최소자승추정치는 고정효과로서 sex 외에 cage within month (MO) 및 parity of dam's spawning squence (SSQ) 등을 모델에 포함시켰을 경우 (Table 6) 보다 오히려 약간 높게 나타났다.

연령별 체형형질에 대한 최소자승 추정치 및 sex 간의 F-검정 결과를 Table 19 및 Table 20에 요약하였으며, Fig 9에서는 TL 관련 체형형질의 연령별 비교를 나타내었다.

60 일령의 경우 모든 계측형질에서 유의차를 보인 반면에 (Table 17) 체형형질에서는 HLSNL만 암수간 차이가 있었을 뿐 ($p<0.01$, Table 19) 다른 8 가지의 체형형질에서는 유의성이 전혀 없었다. 즉 60 일령 틸라피아의 체형형질에서는 두부형질을 제외하고는 암수간의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

90 일령의 경우에는 TLHL, TLBH1, TLBH2, HLSNL, HLUJ 및 HLHW

표 17. 60 일령 틸라피아 계측형질의 성별 최소자승평균 및 F-검정

Table 17. F-test on sex and lsmeans of metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| Trait | Male (461)* | | Female (992) | | F-value | Pr>F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | | |
| TL | 69.10 | 1.43 | 67.99 | 1.43 | 7.47 | 0.0064 |
| SL | 55.54 | 1.16 | 54.63 | 1.14 | 7.20 | 0.0074 |
| HL | 17.38 | 0.33 | 17.10 | 0.33 | 8.19 | 0.0043 |
| BD | 11.42 | 0.29 | 11.22 | 0.29 | 5.82 | 0.0159 |
| BH1 | 21.90 | 0.53 | 21.45 | 0.52 | 9.59 | 0.0020 |
| BH2 | 28.81 | 0.69 | 28.28 | 0.68 | 7.05 | 0.0080 |
| SNL | 4.45 | 0.11 | 4.33 | 0.11 | 15.84 | 0.0001 |
| BW | 7.19 | 0.45 | 6.80 | 0.44 | 8.57 | 0.0035 |

Unit : ㎜ except BW (g)

* No. of records.

표 18. 90 일령 틸라피아 계측형질의 성별 최소자승평균 및 F-검정

Table 18. F-test on sex and lsmeans of metric traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| Trait | Male (431)* | | Female (940) | | F-value | Pr>F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | | |
| TL | 116.65 | 1.31 | 107.79 | 1.24 | 174.17 | 0.0001 |
| SL | 94.26 | 1.11 | 87.20 | 1.06 | 161.75 | 0.0001 |
| HL | 28.34 | 0.31 | 26.45 | 0.30 | 133.37 | 0.0001 |
| BD | 18.48 | 0.27 | 17.10 | 0.26 | 116.90 | 0.0001 |
| BH1 | 37.35 | 0.51 | 34.24 | 0.49 | 151.12 | 0.0001 |
| BH2 | 50.28 | 0.64 | 46.13 | 0.60 | 156.66 | 0.0001 |
| SNL | 7.57 | 0.11 | 6.94 | 0.11 | 136.06 | 0.0001 |
| UJ | 7.23 | 0.08 | 6.48 | 0.07 | 219.84 | 0.0001 |
| HW | 10.07 | 0.13 | 9.74 | 0.12 | 153.17 | 0.0001 |
| BW | 33.11 | 1.09 | 26.14 | 1.04 | 164.90 | 0.0001 |

Unit : ㎜ except BW (g)

* No. of records.

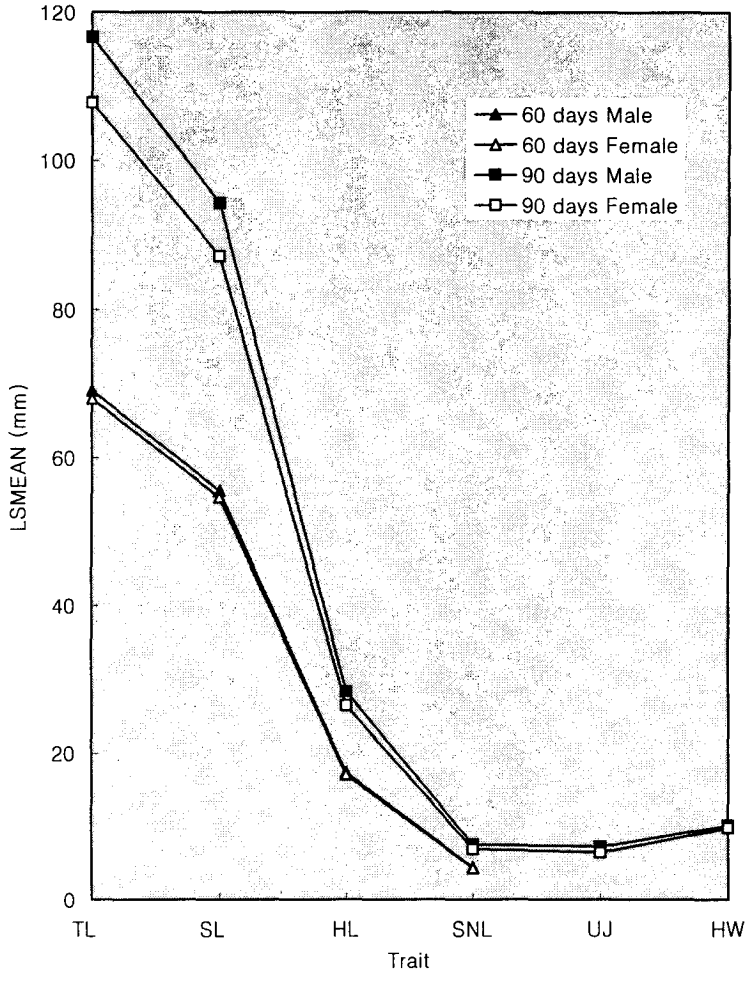


그림 8. 60 일령과 90 일령 틸라피아 암수 계측형질의 최소자승평균.

Fig. 8. Least square means on metric traits of *Oreochromis niloticus* at 60 and 90 days of age.

표 19. 60 일령 틸라피아의 체형형질에 대한 최소자승평균 추정치 및 F-검정

Table 19. F-test on sex and lsmeans of type traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| Trait[*1] | Male (461)[*2] | | Female (991) | | F | Pr>F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | LSMEAN | SE | LSMEAN | SE | | |
| TLHL | 25.17 | 0.08 | 25.16 | 0.08 | 0.01 | 0.9087 |
| TLBD | 16.40 | 0.16 | 16.38 | 0.16 | 0.06 | 0.8105 |
| TLBH1 | 31.55 | 0.17 | 31.43 | 0.17 | 1.92 | 0.1657 |
| TLBH2 | 41.54 | 0.18 | 41.44 | 0.17 | 0.72 | 0.3950 |
| BDBH1 | 52.07 | 0.40 | 52.22 | 0.39 | 0.79 | 0.3742 |
| BDBH2 | 39.54 | 0.33 | 39.57 | 0.31 | 0.03 | 0.8671 |
| BH12 | 76.10 | 0.32 | 75.98 | 0.28 | 0.21 | 0.6458 |
| HLSNL | 25.57 | 0.27 | 25.33 | 0.26 | 8.52 | **0.0036** |
| FATNESS | 20.28 | 0.20 | 20.22 | 0.19 | 0.36 | 0.5480 |

[*1] Refer to Table 2. [*2] No of records.

표 20. 90 일령 틸라피아의 체형형질에 대한 최소자승평균 추정치 및 F-검정

Table 20. F-test on sex and lsmeans of type traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| Trait[*1] | Male (428)[*2] | | Female (936) | | F | Pr>F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mean | SE | Mean | SE | | |
| TLHL | 24.38 | 0.09 | 24.61 | 0.09 | 18.57 | **0.0001** |
| TLBD | 15.83 | 0.12 | 15.85 | 0.12 | 0.24 | 0.6239 |
| TLBH1 | 32.02 | 0.10 | 31.75 | 0.16 | 6.87 | **0.0089** |
| TLBH2 | 43.10 | 0.15 | 42.77 | 0.14 | 13.57 | **0.0002** |
| BDBH1 | 49.60 | 0.37 | 50.04 | 0.30 | 1.70 | 0.1925 |
| BDBH2 | 36.73 | 0.21 | 37.04 | 0.19 | 6.14 | **0.0133** |
| BH12 | 74.42 | 0.38 | 74.30 | 0.35 | 0.23 | 0.6301 |
| HLSNL | 26.62 | 0.17 | 26.17 | 0.17 | 24.52 | **0.0001** |
| HLUJ | 25.47 | 0.22 | 24.42 | 0.21 | 94.61 | **0.0001** |
| HLHW | 37.58 | 0.15 | 36.74 | 0.13 | 57.76 | **0.0001** |
| FATNESS | 20.10 | 0.18 | 20.09 | 0.17 | 0.01 | 0.9053 |

[*1] Refer to Table 2. [*2] No of records.

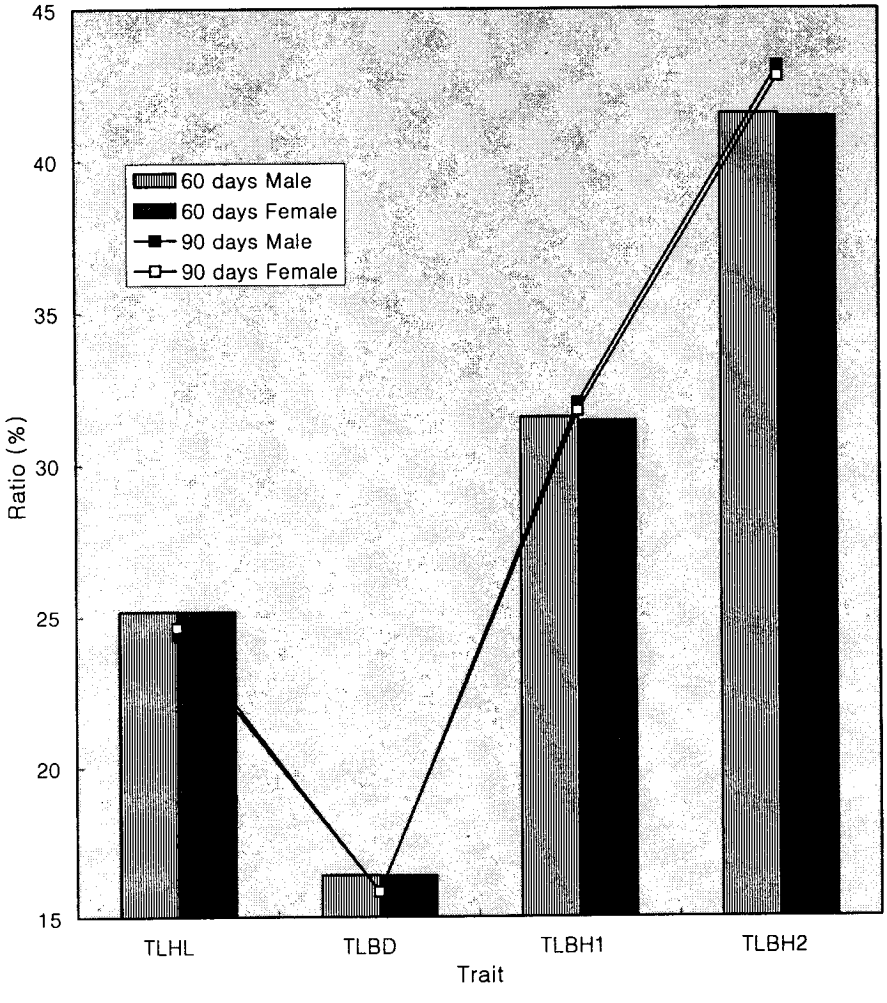


그림 9. 60 일령과 90 일령 틸라피아 암수 체형형질의 최소자승평균.

Fig. 9. Least square means on type traits of *Oreochromis niloticus* at 60 and 90 days of age.

등 6 개의 체형형질에서 암수간에 고도의 유의차를 나타내었으며 ($p<0.01$), BDBH2에서도 암수간 차이가 인정되었다 ($p<0.05$, Table 20). 반면에, TLBD, BDBH1, BH12 및 fatness 등 BD 관련 형질에서는 암수간 차이를 거의 볼 수 없었다.

3. 분산성분 및 유전율

60 일령과 90 일령 틸라피아의 체형형질별 분산성분 및 유전율을 Table 21과 Table 22에 나타내었으며, 이들 분산성분 추정치의 분산 (variance of variance component estimates) 및 이들간의 공분산 (covariance)과 표준오차, 그리고 유전율 추정치에 대한 표준오차를 Table 23과 Table 24에 정리하였다.

60 일령에서 TLHL은 $h^2_s$ 가 0.27 $h^2_d$ 은 0.22 였으며 각 유전율에 대한 표준오차는 모두 0.2033이었다. 또한 전형매 분석에 있어서의 유전율 ($h^2_{s+d}$)은 0.24 ($\pm$0.1086)로 추정되었다. 한편, TLBH1에서는 $h^2_s$ 및 $h^2_d$이 각각 0.11 및 0.66이었으며, 또 TLBH2에서는 0.12 및 0.20으로 나타났으나 이들에 대한 표준오차가 더욱 크게 나타나서 큰 의미가 없는 것으로 보인다. TLBD의 경우 dam의 분산이 0.4838로 sire 가 0.0321인데 비하여 $\sigma^2_T$의 1.8409에서 너무 큰 비중을 차지하고 있어서 over estimated된 것으로 보인다. 이와는 반대로 HLSNL에서는 $\sigma^2_s$ 가 1.3139로 $\sigma^2_T$ 3.3539의 39%를 점하고 있어 이 역시 over estimation으로 보인다. 한편, BDBH2 및 BH12의 경우는 sire component가 0.00으로 나타나 유전율을 계산할 수가 없었다. 그것은 REML에 따른 계산상 분산성분의 실제값은 positive (+)인데 반하여 negative estimate가 된 경우인데 이는 BD의 변이가 큰 것이 원인으로 여겨진다 (Fig. 10).

대체로 60 일령에서는 분산성분의 추정이 형질에 따라서 매우 불안정하였던 것으로 나타났는데, 이에 대해서는 계측 형질의 변이 폭이 비교적 작

은 어류 성장 초기 의 분석모델에 대한 다각적인 검토가 필요한 것으로 사료된다.

90 일령에서 TLHL의 경우 $h^2_s$, $h^2_d$, 및 $h^2_{s+d}$이 각각 0.25 (±0.2312, SE), 0.34 (±0.2621) 및 0.29 (±0.1416)로 나타나 60 일령에서보다 $h^2_s$는 감소하였고 $h^2_d$는 오히려 증가하였다 (Table 22, 24). TLHL을 비롯하여 TLBD, TLBH1 및 TLBH2 등 TL이 denominator인 체형형질은 모두 $h^2_d$이 $h^2_s$보다 높았으며, 이들의 전형매 분산성분에 의한 유전율은 각각 0.29 (±0.1426), 0.47 (±0.2027), 0.25 (±0.1571) 및 0.34 (±0.1549)였다. BDBH1은 sire, dam 그리고 전형매 성분에 의한 유전율이 각각 0.03, 0.08, 0.06으로 체형형질중 가장 낮았으며, 표준오차를 감안하면 거의 0에 가까웠다 (Fig. 11). 한편, TLBH2 및 BDBH2 등 BH2가 denominator이인 체형형질의 유전율은 $h^2_s$, $h^2_d$ 및 $h^2_{s+d}$에서 BH1이 denominator인 형질보다 높았다. 또한 BH12도 $h^2_d$ 및 $h^2_d$이 각각 0.45 (±0.33) 및 0.22 (±0.15)로 높았으며, HLSNL, HLUJ 등 두부형질에서는 $h^2_d$에 비해 $h^2_s$가 월등히 높았다. 90 일령의 비만도에서도 60 일령에서와 마찬가지로 $h^2_d$ 이 0.44로 높게 나타났다.

지금까지 국내외적으로 양식어류의 체형형질에 관한 연구 보고는 거의 전무하나, 특히 우리나라의 경우, 대부분의 양식어류에 있어서 체형형질은 그 자체로서 중요한 의미를 가질 수가 있다. 즉, 먼저 TL에 대한 HL, BD, BH1, BH2 등은 어류의 비만도 (fatness)를 보완하여 식용으로서 실제 가식부위의 다소를 판정하는 척도로 활용될 수 있으며, 회를 즐겨먹는 우리나라 국민의 성향을 감안할 때, 어류의 외관에 대한 소비자의 기호에 부응하여 상품 가치를 높이기위한 유전적 개량의 목표로 이용할 수 있다는 것이다. 또한 대부분의 어류에서 육안으로 성을 구분하기가 매우 어려운데, 각 종에 있어서 암수간의 체형형질에 대한 면밀한 비교연구를 한다면 복부를 절개하여 물고기를 희생시키지 않고서도 성을 구분할 수 있는 기준

표 21. 60 일령 틸라피아의 체형 형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)

Table 21. Variance components and heritability estimates on type traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| Trait | $\sigma^2_s$ | $\sigma^2_d$ | $\sigma^2_{s+d}$ | $\sigma^2_w$ | $\sigma^2_T$ | $h^2_s$ | $h^2_d$ | $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TLHL | 0.0609 | 0.0493 | 0.0630 | 0.7286 | 0.9018 | 0.2701 | 0.2187 | 0.2444 |
| TLBD | 0.0321 | 0.4838 | 0.3308 | 0.9942 | 1.8409 | 0.0699 | - | 0.5605 |
| TLBH1 | 0.0780 | 0.4319 | 0.3931 | 1.7099 | 2.6129 | 0.1193 | 0.6612 | 0.3903 |
| TLBH2 | 0.1290 | 0.2145 | 0.6040 | 3.2987 | 4.2463 | 0.1215 | 0.2021 | 0.1618 |
| BDBH1 | 0.7056 | 2.1540 | 1.6516 | 7.5001 | 12.0113 | 0.2350 | 0.7173 | 0.4762 |
| BDBH2 | 0.0000 | 1.3017 | 2.2798 | 7.7388 | 11.3203 | 0.0000 | 0.4600 | 0.2300 |
| BH12 | 0.0000 | 0.1881 | 2.6517 | 17.4888 | 20.3287 | 0.0000 | 0.0370 | 0.0185 |
| HLSNL | 1.3139 | 0.1738 | 0.2058 | 1.6604 | 3.3539 | - | 0.2072 | 0.8871 |
| FATNESS | 0.1811 | 0.3874 | 0.5555 | 2.5720 | 3.6960 | 0.1960 | 0.4192 | 0.3076 |

표 22. 90 일령 틸라피아의 체형 형질별 분산성분 및 유전율 ($h^2$)

Table 22. Variance components and heritability estimates on type traits in *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| Trait | $\sigma^2_s$ | $\sigma^2_d$ | $\sigma^2_{s+d}$ | $\sigma^2_w$ | $\sigma^2_T$ | $h^2_s$ | $h^2_d$ | $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TLHL | 0.0574 | 0.0793 | 0.1869 | 0.5920 | 0.9156 | 0.2507 | 0.3464 | 0.2986 |
| TLBD | 0.1176 | 0.1583 | 0.2344 | 0.6527 | 1.1631 | 0.4045 | 0.5445 | 0.4745 |
| TLBH1 | 0.2054 | 0.2196 | 0.5983 | 2.2761 | 3.2995 | 0.2490 | 0.2662 | 0.2576 |
| TLBH2 | 0.1411 | 0.2748 | 0.3050 | 1.7147 | 2.4357 | 0.2318 | 0.4513 | 0.3415 |
| BDBH1 | 0.2790 | 0.6410 | 1.7530 | 26.3788 | 29.0518 | 0.0384 | 0.0883 | 0.0633 |
| BDBH2 | 0.3851 | 0.1103 | 0.9321 | 3.3537 | 4.7812 | 0.3222 | 0.0923 | 0.2072 |
| BH12 | 1.7701 | 0.8940 | 0.8991 | 12.0837 | 15.6469 | 0.4525 | 0.2285 | 0.3405 |
| HLSNL | 0.3503 | 0.1290 | 0.5297 | 1.7799 | 2.7889 | 0.5024 | 0.1850 | 0.3437 |
| HLUJ | 0.7849 | 0.1944 | 0.4905 | 2.4712 | 3.9410 | 0.7967 | 0.1973 | 0.4970 |
| HLHW | 0.1482 | 0.0920 | 0.3221 | 2.6860 | 3.2483 | 0.1825 | 0.1133 | 0.1479 |
| FATNESS | 0.2438 | 0.3139 | 0.5735 | 1.6943 | 2.8254 | 0.3451 | 0.4444 | 0.3947 |

표 23. 60 일령 틸라피아 체형형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차

Table 23. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on type traits of *Oreochromis niloticus* at 60 days of age

| | Var $\sigma^2_s$ | Var $\sigma^2_d$ | Cov ($\sigma^2_s$ $\sigma^2_d$) | SE $\sigma^2_s$ | SE $\sigma^2_d$ | SE $h^2_s$ | SE $h^2_d$ | SE $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TLHL | 0.0021 | 0.0021 | -0.0009 | 0.0458 | 0.0458 | 0.2033 | 0.2033 | 0.1086 |
| TLBD | 0.0360 | 0.0040 | -0.0426 | 0.1897 | 0.0632 | 0.4123 | - | 0.2310 |
| TLBH1 | 0.0458 | 0.2176 | -0.0688 | 0.2140 | 0.4665 | 0.3276 | 0.7141 | 0.2715 |
| TLBH2 | 0.0435 | 0.0932 | 0.0236 | 0.2086 | 0.3053 | 0.1965 | 0.2876 | 0.2020 |
| BDBH1 | 1.2615 | 1.7632 | -0.5743 | 1.1232 | 1.3279 | 0.3740 | 0.4422 | 0.2281 |
| BDBH2 | 0.0000 | 1.0739 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0363 | 0.0000 | 0.3662 | 0.1831 |
| BH12 | 0.0000 | 0.3932 | 0.0000 | 0.0000 | 0.6271 | 0.0000 | 0.1234 | 0.0617 |
| HLSNL | 0.2300 | 0.0302 | -0.0031 | 0.4796 | 0.1738 | - | 0.2073 | 0.3005 |
| FATNESS | 0.2769 | 1.4375 | -0.5515 | 0.5262 | 1.1990 | 0.5695 | 1.2976 | 0.4231 |

표 24. 90 일령 틸라피아 체형형질에 대한 분산성분 추정치의 분산과 표준오차 및 유전율의 표준오차

Table 24. Variances and standard errors of variance component estimates and heritabilities on type traits of *Oreochromis niloticus* at 90 days of age

| | Var $\sigma^2_s$ | Var $\sigma^2_d$ | Cov ($\sigma^2_s$ $\sigma^2_d$) | SE $\sigma^2_s$ | SE $\sigma^2_d$ | SE $h^2_s$ | SE $h^2_d$ | SE $h^2_{s+d}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TLHL | 0.0028 | 0.0036 | -0.0011 | 0.0529 | 0.0600 | 0.2312 | 0.2621 | 0.1416 |
| TLBD | 0.0082 | 0.0109 | -0.0026 | 0.0906 | 0.1044 | 0.3114 | 0.3591 | 0.2027 |
| TLBH1 | 0.0613 | 0.0557 | -0.0249 | 0.2476 | 0.2360 | 0.3002 | 0.2861 | 0.1571 |
| TLBH2 | 0.0121 | 0.0247 | -0.0006 | 0.1100 | 0.1572 | 0.1806 | 0.2581 | 0.1549 |
| BDBH1 | 0.2369 | 0.4072 | -0.0181 | 0.4867 | 0.6381 | 0.0670 | 0.0879 | 0.0537 |
| BDBH2 | 0.1049 | 0.0916 | -0.2667 | 0.3239 | 0.3027 | 0.2710 | 0.2532 | 0.2428 |
| BH12 | 1.7406 | 0.3642 | -0.3239 | 1.3193 | 0.6035 | 0.3373 | 0.1543 | 0.1543 |
| HLSNL | 0.0792 | 0.0220 | -0.0076 | 0.2814 | 0.1483 | 0.4036 | 0.2127 | 0.2103 |
| HLUJ | 0.2275 | 0.0357 | -0.0278 | 0.4770 | 0.1889 | 0.4841 | 0.1918 | 0.2312 |
| HLHW | 0.0108 | 0.0149 | 0.0023 | 0.1039 | 0.1221 | 0.1280 | 0.1503 | 0.1072 |
| FATNESS | 0.0466 | 0.0804 | -0.0249 | 0.2159 | 0.2835 | 0.3056 | 0.4014 | 0.1967 |

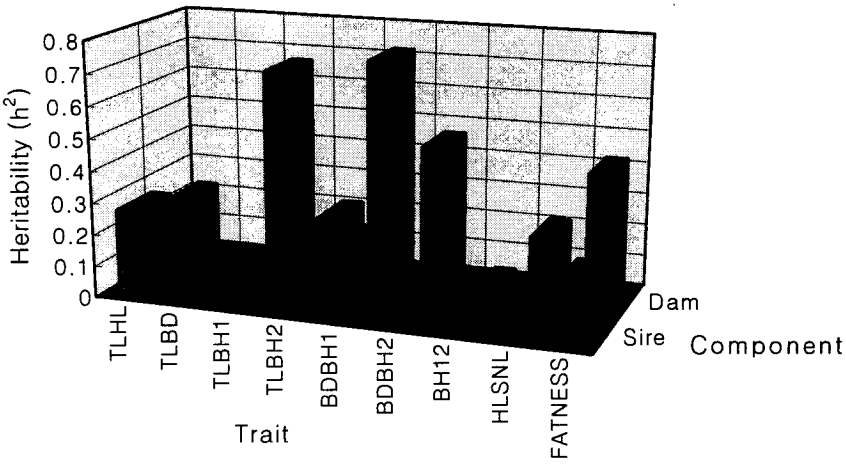


그림 10. 60 일령 틸라피아 체형형질의 유전율 ($h^2$).

Fig. 10. Heritability estimates on type traits at 60 days of age in *Oreochromis niloticus*.

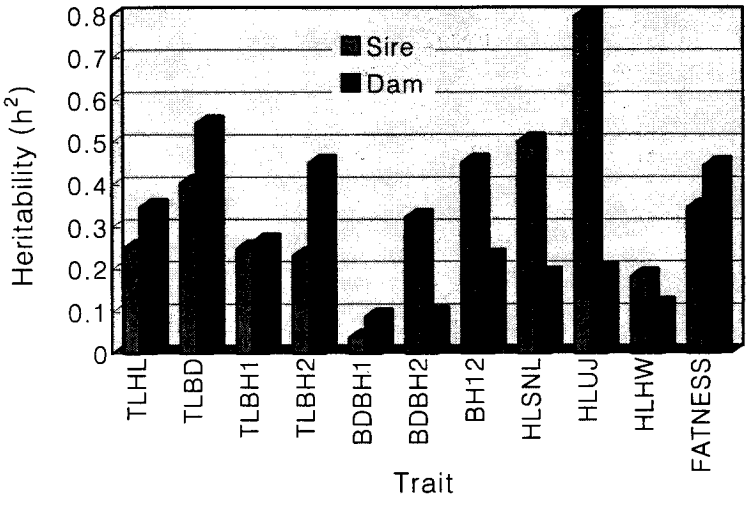


그림 11. 90 일령 틸라피아 체형형질의 유전율 ($h^2$).

Fig. 11. Heritability estimates on type traits at 90 days of age in *Oreochromis niloticus*.

을 마련할 수도 있을 것으로 사료된다.

특히 틸라피아는 본 연구결과 90 일령에서 TLHL, TLBH2, HLUH 및 HLHW 등은 암수 식별을 위한 체형형질로의 이용 가능성을 보였으며, 유전율도 비교적 높게 나타나서 유전적 개량을 위한 선발 대상형질로의 이용 가능성을 보였다. 또한 이러한 차이는 90 일령 이후 성장을 거듭할수록 더욱 크게 나타날 것이므로 이에 대한 지속적 연구를 통해 어류의 성장단계별로 정확한 척도를 마련할 필요가 있다.

Kronert et al. (1989)은 136일령 틸라피아의 반형매 분산성분의 유전율이 0.3-0.4였으며 개체선발에 근거를 둔 mass selection의 가능성을 제시하였다. 또한, 생식소 발달과 성장과의 유전상관이 암컷에서는 0, 수컷에서는 부의 상관 (negative correlation)이 있어서 틸라피아의 성성숙 지연을 위한 육종사업에는 가계선발 (family selection)이 효과적이고, 성장에 대한 유전적 개량을 위해서는 개체선발 (individual selection)이 유리하다고 발표하였다. 또한 Oldorf et al. (1989)에 의하면 틸라피아의 성장과 성선발달 (성성숙)의 유전율이 계통간에 크게 차이가 있었으며, lab condition과 field condition 간에도 상당한 차이를 보인다고 하였다.

Tave and Smitherman (1980)은 45일령과 90 일령 틸라피아의 체장 및 체중 에 대한 유전율을 계산하였는데 $h^2_s$의 경우 45일과 90 일령 모두 0.04~0.10의 범위로 아주 낮았으며 표준오차도 크게 나타났다. $h^2_d$의 경우 45 일령에서는 체장이 0.54, 체중이 0.35로 높았던 반면에 90 일령에서는 체장이 -0.02, 체중이 0.04로 본 연구 결과와 큰 차이를 보이고 있다. 특히 90 일령에서의 낮은 유전의 원인을 다음과 같이 보고 있는데, 즉, 45 일령에서 90 일령으로 가면서 틸라피아는 급속하게 성장을 하며 이 기간중에 성성숙 등 생리적인 변화가 이루어지게 되는데 따라서 45 일령에는 환경과 dominance genetic variance가 공히 표현형에 크게 영향을 미치며, 90 일령에는 환경분산이 가장 큰 영향을 미친다고 해석하였다. 그는 또한 유전 변이가 작았던 이유를 공시어류의

근친 (inbreeding)과 연계하고 있다. 한편, Teichert-Coddington and Smitherman (1988)과 Hulata et al. (1986) 등은 mass selection이 틸라피아의 성장률에 대한 유전적 개량에 크게 도움이 되지 않으며 종내 잡종교배가 효과적이라고 하였는데, 이는 그들의 연구 결과 유전율 (realized heritability)이 너무 낮게 추정되었기 때문이다.

그러나, Tave et al. (1989, 1990)에 의하면 질적형질 (quantitative trait)의 하나인 틸라피아의 내한성 (cold tolerance)에 대해서도 우성효과 보다 상가적 유전효과가 더 크므로 선발에 의해 유전적 개량이 가능하다고 하였다. Huang and Liao (1990)은 틸라피아의 체중과 전장에 대하여 bidirectional selection을 실시하였는 바 선발효과가 작을뿐만 아니라 유전율 (realized heritability)도 매우 낮았던 것으로 보고하였다. SU et al. (1996)은 animal model을 이용하여 무지개송어의 체중에 대한 유전율을 추정하였는데 0.03~0.13으로 비교적 낮게 나타났으며 또한 유전율은 연령이 높은수록 높아지는 것으로 보고하였다.

그러나 본 연구에서 추정한 체형형질에 대한 유전모수 추정 연구 사례는 거의 찾아볼 수 없었으며 다만 Gunnes and Gjedrem (1978)이 대서양연어의 비만도에 대한 유전율을 추정하였는데 0.03~0.05로 낮았으며, 한편 체중과 체장에 대한 유전율은 각각 0.31 및 0.28로 높았다.

한편, Tave (1986)는 틸라피아의 골격형질등 계수형질에 대한 유전율도 추정한 바 있다.

유전적 개량을 위한 선발육종 사업의 설계시 형질간의 유전상관은 그 자체로서 관련 형질의 선발효과와 밀접한 관계가 있는데 (Huang and Gall 1990), Tave (1980)에 의하면 체장과 체중간의 유전상관 ($\gamma_G$)이 45일령에서는 1.09였고 90 일령에서는 1.12였으며, 표현형상관 ($\gamma_P$)은 각각 0.94와 1.01로 보고한바 있다. Maria et al. (1992)은 성장에 있어서 틸라피아의 계통간 poor nutrition에 대한 성잘실험에서 유전과 환경의 상호작용 (interaction)의 효과가 크게 작용한다고 하였는데, 이와는 달리 Eknath et al. (1993)은 상이한 서식 환경에서

계통간의 성장비교를 결과 strain과 서식 환경간의 interaction은 낮다고 보고하였다.

한편, Tave et al. (1990)은 틸라피아의 계통간 교잡종에 대하여 체장 및 체중에 대한 다중회귀 분석 결과 두 형질에서 individual 및 maternal heterosis의 partial regression coefficient가 가장 크다고 보고한 바 있는데, 우리나라의 경우도 향후생산성을 높이고 내한성을 증대시키기 위해 잡종강세를 이용하려는 노력도 필요한 것으로 보인다.

또한 어류의 육종에서 주의하여야 할 점은 근친 (inbreeding)인데, 무계획적인 근친교배에 의해 주요 생산형질에서 genetic variation이 감소하게되고 (Tave 1980), 결국 inbreeding depression이 올 수가 있기 때문에 (Su et al. 1996) 육종계획을 설계할 때는 이에 대한 고려를 하는 것도 매우 중요하다.

한편, 어류의 선발에 분자유전학적 기술을 병행한다면 선발의 정확도를 높일 수가 있는데, Palti et al. (1997)은 DNA fingerprint기술을 이용하여 multilocus DNA marker를 근연 어류집단의 유전 변이 연구나 육종사업에 활용할 수 있다고 하였다. 그 밖에도 microsatellite DNA marker를 틸라피아 양식산업에서 성장률, carcass quality 항병성 등 경제적 형질의 marker로 이용하고자 하는 연구등이 활발하게 이루어지고 있다 (Lee and Kocher 1996).

이상의 결과를 놓고 볼 때 선발에 의한 유전적 능력 개량을 위해서는 많은 양의 정확한 계측 자료가 필수적이며, 또한 이로부터 유전 외적인 모수를 배제하고 순수한 유전모수만을 추정하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 먼저 종 특유의 성질을 정확히 이해하고, 여러 가지 통계모델을 적용하여 특이적 환경 및 예측 가능한 모든 요인에 대한 분류가 엄밀하게 이루어져야 하고, 주어진 환경내에서 대상종에 대한 가장 합리적이고 정확한 고유의 모델을 확립하여야 한다. 이러한 유전모수를 바탕으로 한다면 선발의 정확도를 높일 수 있을뿐만 아니라 유전적 개량량도 극대화할 수 있는 것이다.

# REFERENCES


Becker, W.A. 1984. Manual of quantitative genetics. Academic Enterprises, Pullman, WA 99163-0666, U.S.A. 188 pp.

Eknath, A. E., M. M. Tayamen, M. S. P. Vera, J. C. Danting, R. A. Reyes, E. E. Dionisio, J. B. Capili, H. L. Bolivar, T. A. Abella, A. V. Circa, H. B. Bentsen, B. Gjerde, T. Gjedrem, and R. S. V. Pullin. 1993. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. Aquaculture, 111, 171-188.

Falconer, D.S. 1989. Introduction to quntitative genetics. Longman Scientific & Technical, England, 3rd ed. 438 pp.

Ferguson, M. M., A. P. Liskauskas, and R. G. Danzmann. 1995. Genetic and environmental correlates of variation in body weight of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 307-314.

Gall, G. A. E. and S. J. Gross. 1978. A genetics analysis of the performance of three rainbow trout broodstocks. Aquaculture, 15, 113-127.

Gunnes, K. and T. Gjedrem. 1978. Selection experiments with salmon Ⅳ. growth of atlantic salmon during two years in the sea. Aquaculture, 15, 19-33.

Henderson, C.R. 1984. Applications of linear models in animal breeding. Univ. of Guelph, Canada, 423 pp.

Huang, C. -M. and I. C. Liao. 1990. Response to mass selection for growth rate in *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 85, 199-205.

Huang, N. and G. A. E. Gall. 1990. Correlation of body weight and reproductive characteristics in rainbow trout. Aquaculture, 86,

191-200.

Hulata, G., G.W. Wohlfarth and A. Halevy. 1986. Mass selection for growth in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 57:177-184.

Kronert, U., G. Horstgen-Schwark, and H. J. Langholz. 1989. Prospects of selecting for late marurity in tilapia (*Oreochromis niloticus*) I. family studies under laboratory conditions. Aquaculture, 77, 113-121.

Lee. W.J. and T. D. Kocher. 1996. Microsatellite DNA markers for genetic mapping in *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fish Biology* 49, 169-171.

Maria R. R. R. -E., and R. W. Doyle. 1992. Genotype-environment interaction in the response of three strains of Nile tilapia to poor nutrition. Aquaculture, 108, 1-12.

Oldorf, W., U. Kronert, J. Balarin, R. Haller, G. Horstgen-Schwark , and H. J. Langholz. 1989. Prospects of selecting for late marurity in tilapia(*Oreochromis niloticus*) II. strain comparisons under laboratory and field conditions. Aquaculture, 77, 123-133.

Palti, Y., J. E. Parsons, and G. H. Thorgaard. 1997. Assessment of genetic variability among strains of rainbow and cutthroat trout using multilocus DNA fingerprints. Aquaculture, 149, 47-56.

SAS/STAT User's Guide. 1990. 4-th ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.

Smoker, W. W., A. J. Gharrett, M. S. Stekoll , and J. E. Joyce. 1994. Genetic analysis of size in an anadromous population of pink salmon. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51, 9-15.

Su, G.-S., L.-E. Liljedahal, and G.A.E. Gall. 1996. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus*

*mykiss*). Aquaculture, 142, 139-148.

Su, G.-S., L.-E. Liljedahl, and G.A.E. Gall. 1996. Genetic and environmrntal variation of body weight in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture, 144, 71-80.

Tave, D. 1986. A quantitative genetic analysis of 19 phenotypes in *Tilapia nilotica*. Copeia, 3, 672-679.

Tave, D., R. O. Smitherman , and V. Jayaprakas. 1989. Estimates of additive genetic effects, maternal effects, specific combining ability, maternal heterosis, and egg cytoplasm effects for cold tolerence in *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture and Fisheries Management, 20, 159-166.

Tave, D., R. O. Smitherman, and V. Jayaprakas. 1990. Estimates of additive genetic effects, maternal genetic effects, individual heterosis, maternal heterosis, and egg cytoplasmic effects for growth in *Tilapia nilotica*. Journal of the World Aquaculture Society, 21, 263-270.

Tave, D., V. Jayaprakas, and R. O. Smitherman. 1990. Effects of intraspecific hybridization in *Tilapia nilotica* on survival under ambient winter temperature in alabama. Journal of the World Aquaculture Society, 21, 201-204.

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.

Teichert-Coddington, D. R., and R. O. Smitherman. 1988. Lack of response by *Tilapia nilotica* to mass selection for rapid early growth. Transactions of the American Fisheries Society, 117, 297-300.