

요크셔종에 대한 경제형질의 유전모수 추정

송광림* · 김병우* · 김시동** · 최진성** · 김명직** · 이정규*

경상대학교 응용생명과학부 · 농업생명과학연구원*, 축산기술연구소 종축개량부**

Estimation of Genetic Parameters for Economic Traits in Yorkshire

K. L. Song*, B. W. Kim*, S. D. Kim**, C. S. Choi**, M. J. Kim** and J. G. Lee*

Division of Applied Life Science · Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University*, Department of Livestock Improvement, National Livestock Research Institute, R.D.A.**

ABSTRACT

This study was conducted to estimate the heritabilities and genetic and phenotypic correlations among average daily gain, age at 90kg and backfat thickness in Yorkshire pigs. The data were obtained from 2,111 heads of Yorkshire tested at National Livestock Research Institute from May, 1994 to April, 2000.

Genetic parameters were estimated with a multiple trait animal model by using DF-REML (Derivative-Free REstricted Maximum Likelihood).

The results obtained are summarized as follows ;

The means of traits studied were 0.871 ± 0.124 kg for average daily gain, 145.397 ± 11.718 days for age at 90kg and 1.476 ± 0.241 cm for backfat thickness.

The estimated heritabilities were 0.55 for average daily gain, 0.56 for age at 90kg and 0.55 for backfat thickness.

The genetic correlation of average daily gain with age at 90kg and backfat thickness were -0.82 , 0.10 , respectively. The genetic correlation of age at 90kg with backfat thickness was -0.25 .

The phenotypic correlations of average daily gain(ADG) with age at 90kg and backfat thickness and age at 90kg with backfat thickness were -0.77 , 0.02 and -0.05 respectively.

Though phenotypic correlation of ADG and age at 90kg was low, breeding project should be carefully considered by high genetic correlation.

High heritabilities on all economic traits were obtained. Therefore, it is considered that suitable selection and management is needed successful improvement.

(Key words : Yorkshire, Genetic parameter, Heritability, Genetic correlation, Swine)

I. 서 론

돼지개량에 있어 육종체계는 집단 구조가 피라미드형으로 형성된 최상부에 핵돈군(nucleus

herd)이 그 아래에 증식돈군(multiplier herd) 그리고 최하단에 실용돈군(commercial herd)으로 이루어지는 것이 가장 효과적인 돼지 개량 체계이다(Bichard 등, 1986). 우리나라는 종돈개량

Corresponding author : Jung-Gyu Lee, Division of Applied Life Science · Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea. Tel : (055) 751-5509, Fax : (055) 751-6113, E-mail : jglee@nongae.gsnu.ac.kr

에 대한 중요성을 인식하고 국가적 시책으로 종돈개량사업인 GGP, GP사업을 추진해 오고 있으며, 축산기술연구소, 한국종축개량협회 및 종돈능력검정소 등에서도 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 아직은 종돈에 대한 정확한 육종체계가 미비한 실정이기 때문에 외국으로부터 많은 종돈들을 수입하여 증식활용하고 있는데, 이는 핵돈군에 대한 관리 소홀, 육종에 대한 인식부족 등 제반 여건이 미흡하기 때문이다. 지금도 종돈수입으로 인해 많은 외화가 낭비되어 국가적 손실을 가져오고 있으며 잦은 종돈수입으로 우리나라 환경 및 여건에 맞는 즉, 한국형 핵돈군이라 부를 수 있는 돈군형성이 뚜렷하지 않다.

돼지의 유전적 능력을 개량하기 위한 노력이 여러 연구자에 의해 수행되어온 결과를 보면 유전모수는 시대, 환경, 분석대상집단 및 추정 방법 등에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 그러므로 어떤 집단에 대한 효과적인 개량을 위해서는 그 집단만이 가지고 있는 유전모수의 정확한 특성을 알아야 한다. 특히, 우수한 종돈군을 확보하기 위해서는 보유 돈군에 대한 지속적인 선발과 교배계획의 수립이 요구되며, 정확한 선발을 위해서는 돈군단위의 유전모수를 정확히 추정하여 활용하여야 한다.

가축의 유전모수 추정에는 Patterson과 Thompson(1971)이 제안한 REML (REstricted Maximum Likelihood) 방법이 타 방법에 비해 더욱 정확한 추정치를 나타내는 것으로 알려져 있다. 이 방법은 미분에 의한 추정 방법으로 대용량의 컴퓨터를 이용하여만 하는 단점을 가지고 있었으나, Smith와 Graser(1986)가 제안한 DF-REML 방식을 이용하여 이러한 단점을 극복할 수 있게 되었다.

본 연구는 축산기술연구소 종축개량부의 요크셔종 돼지에 대한 자료를 이용하여 돼지의 주요경제 형질인 등지방두께, 일당증체량, 90kg 도달 일령 등에 대한 유전력, 유전 상관 및 표현형 상관 추정을 통한 돼지집단의 유전적 개량을 위한 기초자료를 제공하기 위하여 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에 이용된 재료는 1994년부터 2000년까지 축산기술연구소 종축개량부에서 사육된 Yorkshire종의 2,111두에 대한 능력자료 및 관련혈통자료를 근거로 하여 이를 조사 분석한 것으로 성별, 출생 연도별, 출생 계절별 두수는 Table 1에 표시한 바와 같다.

2. 조사 형질

본 연구에서 분석한 형질은 일당증체량, 90 kg 도달 일령 및 등지방두께 3개 형질이며, 이들 형질의 측정 방법은 다음과 같다.

(1) 일당증체량

검정개시부터 검정 종료 체중까지의 평균 증체량을 이용하였고, 다음의 공식에 의해 계산하였다.

$$\text{일당증체량} = (\text{종료시 체중} - \text{개시시 체중}) \div (\text{종료 일령} - \text{개시 일령})$$

(2) 90kg 도달 일령

90kg 도달 일령은 검정 종료 체중, 종료시 일령 및 검정 기간중의 일당증체량을 가지고 다음의 공식에 의하여 계산하였다(농림부 고시).

$$90\text{kg 도달 일령} = \text{종료일령} - (\text{종료 체중} - 90) / \text{일당증체량}$$

(3) 평균 등지방두께

초음파 측정기 Piglog-105[®]를 사용하여 측정하였으며, 측정부위는 어깨(제 4 늑골), 등(최후 늑골), 허리(최후요추) 3부분의 정중선에서 좌측 또는 우측 5cm 부분을 측정하여 그 평균값의 보정치를 이용하였다(농림부 고시). 보정치 산출식은 다음과 같다.

Table 1. Number of animals by sex, year, season of birth and year-season of birth in Yorkshire pigs

Sex	No. of pigs	Year of birth	No. of pigs	Season of birth	No. of pigs	YS ³⁾	No. of pigs.
Male	1,014	1994	269	Sum. ¹⁾	1,642	1	225
Female	1,097	1995	173	Win. ²⁾	469	2	60
		1996	432	3		157	
		1997	405	4		64	
		1998	405	5		348	
		1999	271	6		60	
		2000	156	7		340	
		8	91				
		9	286				
		10	79				
		11	221				
		12	115				
		13	65				
		Total	2,111			2,111	

¹⁾ May ~ October,

²⁾ November ~ April,

³⁾ Year-Season of birth(contemporary group).

보정된 등지방두께 = 종료 등지방두께 +
 {(90kg - 종료체중) × 종료 등지방두께 ÷ (종료체중 - 11.34)}

3. 통계 분석 방법

본 연구에서 조사된 일당증체량, 90kg 도달 일령 및 평균 등지방두께 등의 유전모수를 추정하기 위하여 다음과 같은 다형질 혼합 모형을 사용하였다.

$$y_{ijkl} = \mu_i + s_{ij} + ys_{ik} + a_{ijkl} + e_{ijkl}$$

여기서,

y_{ijkl} : i번째 형질의 j번째 성의 k번째 년도-계절에 태어난 l번째 개체에 대한 측정치,

μ_i : i번째 형질의 전체 평균,

s_{ij} : i번째 형질의 j번째 성의 효과(j = male, female),

ys_{ik} : i번째 형질의 k번째 년도-계절의 효과(k=1, 2, ..., 13),

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

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

이상의 다형질 혼합 모형을 행렬식으로 표시하면 다음과 같다(Henderson, 1976).

$$y = Xb + Zu + e \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

여기서,

y : 각 형질에 대한 관측치에 대한 N×1 vector,

$$y' = [y_1', y_2', \dots, y_i']$$

(i = 형질의 수, n = 각 형질의 관측치의 수, N=n×i)

b : 알려지지 않은 고정 효과의 NF×1의 vector,

$$b' = [b_1', b_2', \dots, b_i']$$

X : 고정 효과에 대한 N × NF의 계수 행렬,
 u : 알려지지 않은 임의 효과의 NR × 1의
 vector,
 $u' = [u_1', u_2', \dots, u_i']$
 Z : 임의 효과에 대한 N × NR의 계수 행렬.

여기서, σ_a^2 = 상가적 유전분산
 r_G = 유전상관
 r_P = 표현형상관 이다.

$$V(y) = ZGZ' + R$$

$$V(u) = G = G^* \otimes A, \quad V(e) = R = R^* \otimes I$$

여기서,

- A : 혈연 계수 행렬 (Numerator relationship matrix)
- G* : 상가적 유전 분산-공분산 행렬
- R* : 임의 환경 효과의 분산-공분산 행렬
- I : 항등행렬
- ⊗ : kroneker product(Searle, 1982)

본 연구에서는 MTDFREML Package (Boldman 등, 1995)를 이용하여 유전모수와 육종가를 추정하였으며, MTDFREML Package에서 G와 R의 적절한 값을 주기 위해 사용된 Simplex 방법(Nelder와 Mead, 1965)에 따라 Simplex의 분산이 10^{-9} 이하로 수렴 될 때까지 반복 추정하였다.

얻어진 분산-공분산 값을 이용하여 유전력과 유전 분산은 다음과 같이 구하였다.

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

$$r_G = \frac{\widehat{COV}_{a(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{a(i)}^2 \times \sigma_{a(j)}^2}} \quad (i \neq j)$$

$$r_P = \frac{\widehat{COV}_{p(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{p(i)}^2 \times \sigma_{p(j)}^2}} \quad (i \neq j)$$

III. 결과 및 고찰

1. 평균 능력

Table 2에는 조사된 각 형질에 대한 평균치와 그 표준 오차가 표시되어 있다. 본 연구에서 추정된 각 형질의 평균치는 일당증체량이 $0.871 \pm 0.124\text{kg}$, 90kg 도달일령이 145.397 ± 11.718 일, 등지방두께가 $1.476 \pm 0.241\text{cm}$ 였다.

본 연구에서 추정된 일당증체량 0.871kg 은 Ferraz와 Johnson(1993)의 두 농장에 대한 검정개시 30kg에서 검정종료 104kg까지의 Yorkshire종의 일당증체량 평균 및 표준편차인 N집단에서의 $761.9 \pm 93.7\text{g}$, K집단에서의 $766.4 \pm 84.5\text{g}$ 보다 높은 성적이었으며, 본 연구에서의 일당증체량의 평균과 비슷한 결과를 보인 보고로는 백 등(1995)의 Yorkshire종 일당증체량에 대한 최소제공평균이 $883.0 \pm 0.004\text{g}$, 나 등(1998)의 Yorkshire종 일당증체량 $869.9 \pm 1.948\text{g}$ 의 보고가 있었다. 반면, Van Alst와 Robison(1992)은 Yorkshire종과 Duroc종에 대해 검정개시체중 31.8kg에서 종료체중 104.3kg까지의 일당증체량이 각각 1,036g, 1,062g이라고 보고한 바 있는데 이는 본 연구결과 보다 높은 결과치를 나타내었다.

90kg도달 일령에 대해서는 Van Alst와 Robison(1992)의 Yorkshire종, Duroc종에 대한 104.3kg 도달 일령 평균이 각각 144.5일, 143.2일 이라고 보고하여 본 연구의 90kg 도달 일령 보다도 더 좋은 결과치를 보였다.

백 등(1995)이 보고한 Yorkshire종 90kg 도달

Table 2. Means of the traits studied and their standard error

	Ave. daily gain (kg)	Age at 90kg (days)	Backfat thickness (cm)
Means	0.871	145.397	1.476
Std. error	0.003	0.255	0.005

일령에 대한 최소제곱평균이 142.5 ± 0.318 일 보다는 본 연구 결과가 다소 길었으며, 나 등(1998)의 Yorkshire종에 대한 145.2 ± 0.216 일과는 비슷한 결과를 보였다. Li와 Kennedy(1994)의 Yorkshire종에서의 100kg 도달 일령 165.4 ± 17.9 일, Culbertson 등(1998)의 Yorkshire종에서의 104.5kg 도달 일령 165.2 ± 16.8 일 보다는 본 연구의 결과가 비교적 좋은 성적을 보였다.

등지방두께에 대해 Ferraz와 Johnson(1993)은 두 농장에서 Yorkshire종의 104kg으로 보정된 등지방두께를 N집단에서는 16.6 ± 3.2 mm, K집단에서는 14.4 ± 2.5 mm라고 보고 하였는데, K집단은 본 연구결과 보다 낮았으나, N집단은 높은 결과치를 보이고 있는데, 검정종료 시점 등을 생각한다면 본 연구결과와 N집단의 결과치는 유사한 결과라고 사료된다. Li와 Kennedy(1994)는 Yorkshire종의 100kg 체중으로 보정한 등지방두께를 13.6 ± 2.4 mm라고 보고하여, 본 연구결과보다 낮은 결과치를 보였다. 그 외 Van Alst와 Robison(1992)이 Yorkshire종에 대해 종료체중 104.3kg때의 등지방두께가 19.84 mm라고 보고하였으며, Culbertson 등(1998)은 Yorkshire종에서 104.5kg때의 등지방두께를 17.3 ± 4.8 mm라고 보고하였는데 이들은 모두 본 연구 결과보다 두꺼웠다.

국내에서는 백 등(1995)이 Yorkshire종의 등지방두께가 1.467 ± 0.004 cm, 나 등(1998)이 Yorkshire종에서 1.432 ± 0.002 cm라고 보고하여 본 연구결과와 유사한 결과치를 보였으나, 이(1994)의 1.685 ± 0.003 cm, 박(1995)의 1.688 ± 0.0089 cm, 최(1995)의 1.719 ± 0.005 cm 및 서(1996)의 1.741 ± 0.004 cm는 본 연구 결과보다 두꺼웠으며, 최(2001)의 10.58 ± 0.0028 mm는 본 연구결과보다 얇게 추정되었다.

2. 형질별 유전력

Table 3에는 각 형질에 대한 유전력 추정치를 나타내었다.

일당증체량에 대한 유전력은 0.55로 나타났고, 90kg 도달 일령에 대한 유전력은 0.56, 등지방두께에 대한 유전력은 0.55로 나타나 전 형질에 대해 고도의 유전력을 보였다.

Yorkshire종의 일당증체량에 대한 유전력에 대한 보고 중 본 연구보다 낮은 결과들을 살펴보면, Bryner 등(1992)의 미국의 26개 central boar test stations의 보정된 개시체중 36kg 및 종료체중 104.5kg으로 검정된 수컷이 0.24, Johnson 등(1999)의 검정개시 100일령에서 검정종료 176.2일령으로 검정한 수컷이 0.24, 서(1996)는 수컷이 0.30, 암컷이 0.21이라 하였으며, 조 등(1998)이 0.17, 송 등(1999)이 0.180이라고 보고하였다.

최(2001)는 0.50으로 추정하여 본 연구결과와 유사한 보고를 하였으며, Mrode와 Kennedy(1993)은 3품종(Yorkshire종, Landrace종, Duroc종)의 유전력이 0.43이라고 보고하였다.

Yorkshire종의 90kg 도달 일령의 유전력에 대한 연구결과들을 살펴보면, Li와 Kennedy(1994)가 100kg 도달 일령에서 0.31, 서 등(1996)이 90kg 도달 일령에 대한 수컷이 0.39, 암컷이 0.25, 조 등(1998)이 0.25, 송 등(1999)이 0.316, 최와 이(2001)가 0.38의 유전력을 보고하여 본 연구결과보다는 낮은 결과를 보고하였다.

Yorkshire종의 등지방두께에 대한 연구결과들을 살펴보면, Bryner 등(1992)이 종료체중 104.5kg때 0.56, Li와 Kennedy(1994)가 0.51으로 보고하여 본 연구결과와 부합되었다.

Johnson 등(1999)이 수컷에 대해 검정개시 100일령에서 검정종료 176.2일령의 유전력이 0.36으로 보고하여 중도의 유전력을 보였으며, Yorkshire종에 대해 서 등(1996)이 수컷이 0.62, 암컷이 0.43, 조 등(1998)이 0.54, 송 등(1999)은

Table 3. Heritabilities of the traits studied

Traits	Ave. daily gain	Age at 90kg	Backfat thickness
Heritabilities	0.55	0.56	0.55

Table 4. Genetic and phenotypic correlations among the traits studied

Traits	Ave. daily gain	Age at 90kg	Backfat thickness
Ave. daily gain		-0.77	0.02
Age at 90kg	-0.82		-0.05
Backfat thickness	0.10	-0.25	

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

0.522, 최와 이(2001)의 0.57이라고 보고하여 본 연구결과와 부합되었다.

여러 연구자에 의해 가축 형질의 유전력 추정치가 다양한 유전력을 나타내는 것은 형질의 측정방법 및 분석방법, 분석대상 축군의 특징과 사양관리 및 개량정도에 영향을 받는다고 사료된다. 그러므로 어느 한 축군의 개량을 위해서는 각종 추정치의 정확도를 높이기 위하여 그에 맞는 유전모수를 가축개량에 활용하여야 된다고 사료된다.

3. 유전 상관 및 표현형 상관

Table 4에는 Yorkshire종에서 추정된 조사된 각 형질간의 유전 상관 및 표현형 상관을 표시하였다.

일당증체량 및 90kg 도달 일령간에는 높은 부의 상관 관계를 나타내었으며, 등지방두께와 일당증체량간에는 정의 상관관계를, 등지방두께와 90kg 도달 일령 간에는 부의 상관관계를 나타내었다.

등지방두께와 90kg 도달 일령간 및 일당증체량간의 표현형상관은 각각 -0.05, 0.02로 나타나 형질간 상관관계가 상당히 낮게 나타났고, 유전상관은 각각 -0.25 및 0.10으로 나타나 90kg 도달 일령 및 일당증체량을 개량할 경우 등지방두께와의 부의 상관도 어느정도 고려하여야 할 것으로 보인다.

따라서 가축을 표현형상관 자료만 가지고 개량에 이용한다면, 유전상관을 함께 고려한 개량보다는 가축의 정확한 능력 추정이 떨어진다고 사료된다. 따라서 본 논문의 유전모수 추정 목적이 여기에 있다고 할 수 있다.

IV. 요약

본 연구는 1994년부터 2000년까지 축산기술 연구소 종축개량부에서 사육된 Yorkshire종 돼지 2,111두의 자료를 근거로 하여 주요 경제형질인 일당증체량, 90kg 도달 일령, 등지방두께에 대한 유전력, 유전상관, 표현형상관을 추정하기 위하여 MTFREML Package에서 Animal model를 이용하여 분석하였다.

본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 분석한 돼지의 주요 경제형질의 평균치는 등지방두께가 1.476 ± 0.241 cm, 일당증체량이 0.871 ± 0.124 kg, 90kg 도달 일령이 145.397 ± 11.718 일이었다.

2. 분석한 형질들의 유전력은 등지방두께가 0.55, 일당증체량이 0.55, 90kg 도달 일령이 0.56으로 전체적으로 고도의 유전력을 보였다.

3. 분석한 형질들의 유전상관은 일당증체량과 90kg 도달 일령에서는 -0.82, 일당증체량과 등지방두께에서는 0.10, 90kg 도달 일령과 등지방두께 사이에서는 -0.25로 나타났다. 조사된 형질들의 표현형상관은 일당증체량과 90kg 도달 일령에서는 -0.77, 일당증체량과 등지방두께에서는 0.02, 90kg 도달 일령과 등지방두께 사이에서는 -0.05로 나타났다.

등지방두께에 대한 일당증체량과 90kg 도달 일령사이의 표현형상관은 낮게 나타났지만 유전상관은 다소 높게 나타나 개량시 이점에 대하여 고려하여야 할 것이라 사료된다. 유전력에 있어서는 주요 경제형질 모두 고도의 유전력을 나타내어 적절한 선발 및 사양관리가 이루어진다면 Yorkshire종에 대한 유전적 개량

이 높을 것으로 사료된다.

V. 사 사

본 연구의 자료를 제공하여 주시고 도움을 주신 축산기술연구소 연구진께 감사 드립니다.

VI. 인 용 문 헌

1. Bichard, M., David, P. J. and Bovey, M. 1986. Selection between and within lines and cross breeding strategies for world wide production of hybrids. Proceeding of the 3rd World Congress Genetics Applied to Livestock Production. Lincoln. X:130.
2. Boldman, K., Kriese, L. A., Van Vleck, L. D., Van Tassell, C. P. and Kachman, S. D. 1995. A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (Draft). U. S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service.
3. Bryner, S. M., Mabry, J. W., Bertrand, J. K., Benyshek, L. L. and Kriese, L. A. 1992. Estimation of direct and maternal heritability and genetic correlation for backfat and growth rate in swine using data from centrally tested Yorkshire boars. *J. Anim. Sci.* 70:1755.
4. Culbertson, M. S. and Mabry, J. W., Misztal, I., Genger, N., Bertrand, J. K. and Varona, L. 1998. Estimation of dominance variance in purebred Yorkshire Swine. *J. Anim. Sci.* 1998. 76:448.
5. Ferraz, J. B. S. and Johnson, R. K. 1993. Animal model estimation of genetic parameters and response to selection for litter size and weight, growth, and backfat in closed seedstock populations of Large White and Landrace swine. *J. Anim. Sci.* 71:850.
6. Henderson, C. R. 1976. Multiple trait sire evaluation using the relationship matrix. *J. Dairy. Sci.* 59:769.
7. Johnson, Z. B., Chewning, J. J. and Nugent, R. A. III. 1999. Genetic parameters for production traits and measures off residual feed intake in Large White swine. *J. Anim. Sci.* 77:1679.
8. Li, X. and Kennedy, B. W. 1994. Genetic parameters for growth rate and backfat in Canadian Yorkshire, Landrace, Duroc, and Hampshire pigs. *J. Anim. Sci.* 72:1450.
9. Mrode, R. A. 1996. Linear Models for the Prediction of Animal Breeding Values. Cab International, UK.
10. Nelder, J. A. and Mead, R. 1965. A simplex method for function minimization. *Computer J.* 7: 308.
11. Patterson, H. D. and Thompson, R. 1971. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika.* 58:545.
12. SAS. 1996. SAS/STAT guide for personal computers @6.12. SAS institute Inc., Cary, NC., USA.
13. Searle, S. R. 1982. Matrix algebra useful for statistics. John Wiley and Sons, New York, NY.
14. Smith, S. P. and Graser, H. U. 1986. Genetic and environmental trends for litter size in swine. *J. Anim. Sci.* 69:3177.
15. Van Alst, G. and Robison, O. W. 1992. Prediction of performance of progeny from test station boars. *J. Anim. Sci.* 70:2078.
16. 나종삼, 김종승, 백동훈, 최호성, 송주엽, 오하식. 1998. 검정돈의 생산형질 및 선발지수에 미치는 제요인의 효과. *한국축산학회.* 40(4):345.
17. 박병호. 1995. 랜드레이스종 돼지의 경제형질에 대한 유전모수와 성의 효과 추정에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
18. 백동훈, 최호성, 송주엽, 손삼규, 오하식. 1995. 돼지의 주요 경제형질에 대한 환경요인의 영향. *한국축산학회.* 37(6):589.
19. 서강석. 1996. 다형질 애니멀 모델에 의한 돼지의 경제형질의 유전모수, 육종가 및 유전적 변화 추세의 추정에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
20. 송주엽, 최호성, 백동훈, 박화춘. 1999. 돼지의 경제형질에 대한 직접 및 모계유전 효과의 비교. *한국축산학회.* 41(6):605-612.
21. 이수찬. 1994. 돼지의 경제능력에 대한 조합능력의 추정. 서울대학교 석사학위 논문.
22. 조영춘, 김계웅, 박홍양. 돼지의 주요 경제형질에

- 대한 유전모수 추정에 관한 연구. 한국축산학회. 40(5):447-454.
23. 최성의. 1995. 돼지의 경제형질에 대한 유전 분산과 유전력의 추정에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
24. 최진성, 이정규. 2001. 농장 검정돼지의 품종, 성 및 환경 요인이 경제형질에 미치는 효과. 한국축산학회. 43(4):431-444.
25. 최진성. 2001. 농장 검정돼지 경제형질의 유전모수, 육종가 및 유전적 변화 추세의 추정에 관한 연구. 경상대학교 박사학위논문.
- (접수일자 : 2002. 8. 7 / 채택일자 : 2002. 10. 21)