

繁殖形質の改良を主とした大ヨークシャー種系統豚の造成

内倉健造¹⁾・長渕政弘²⁾・山本るみ子³⁾・栗田隆之¹⁾

摘要：繁殖性の改良を目標とした大ヨークシャー種系統豚の造成を2010年から2016年にかけて行い(6世代)、「アイリスW3」として完成した。第2世代までのデータを用いて算出した産子数及び離乳時総体重の遺伝率はそれぞれ0.13及び0.15と低かった。しかし、アニマルモデルBLUP (best linear unbiased prediction)法を用いて、育種価を推定し選抜を行うことで、総産子数は一腹あたり基礎世代の9.72頭から11.60頭と増加した。離乳時総体重についても、一腹あたり53.97 kgから60.27 kgと増加した。

また、総産子数と離乳時総体重の2形質の育種価から成る総合育種価は順調に上昇した。標準化した選抜差の累積は、系統豚認定基準1.00を超える1.54となり、遺伝的な改良が進んだと考えられた。

キーワード：豚、系統造成、大ヨークシャー種、総産子数、離乳時総体重

Development of a New Large White Swine Strain with Improved Fertility

UCHIKURA Kenzo, NAGABUCHI Masahiro, YAMAMOTO Rumiko
and KURITA Takayuki

Abstract : A new Large White swine strain, 'Iris W3,' was developed in 2016. Pigs were selected from within closed herds from 2010-2016. Heritability of litter size at birth (LS) and weaning weight of litter (WW), estimated from the data of the first three generations, were low (0.13 and 0.15, respectively). However, the LS at birth and WW of litter from the first generation to the sixth generation increased from 9.72 to 11.6 (piglets/litter) and 53.97 to 60.27 (kg/litter), respectively. Pigs were selected mainly based on the best linear unbiased prediction (BLUP) animal model to estimate the breeding values of LS and WW.

The aggregate breeding value (ABV) for LS and WW increased steadily. The cumulative selection differential of ABV reached 1.54 and exceeded the Japanese authorization standard (1.00) for a strain.

Key Words : Swine, Strain development, Large White, Litter size, Litter weight at weaning.

¹⁾ 畜産研究部 ²⁾ 畜産研究部(現西三河農林水産事務所) ³⁾ 畜産研究部(現農業大学校)

緒言

系統豚は遺伝的斉一性の高い集団であり、これを利用することで品質の安定した豚肉生産を行うことが出来る。系統豚は地域防疫の観点及び輸送コストの低減のために、各県で造成、維持及び生産者への供給が行われてきた。本県では、1970年に、全国に先駆けて系統豚(ランドレース種)の造成を開始し、1979年に系統豚「アイリス」として完成した。その後も、計画的に系統造成を行い1988年には大ヨークシャー種「アイリスW」、1996年には「アイリスL2」^{1,2)}、2003年には「アイリスW2」³⁾、2010年には「アイリスL3」⁴⁾と系統豚を開発してきた。また2006年には岐阜県と共同でデュロック種「アイリスナガラ」を開発し、本県単独で三元肉豚生産のもととなる3品種の系統豚の供給が可能となる体制を整えた。

系統豚は、閉鎖集団内での近交系として作出されるため、長期の維持増殖により、近交係数が上昇し能力の低下が生じる。2003年に完成した「アイリスW2」についても、2016年にはその後継となる系統豚が必要となったことから、新たな大ヨークシャー系統豚の造成を2010年から開始した。大ヨークシャー種は、三元肉豚の生産では、ランドレース種とともに雌系として供用することから、繁殖に関する形質を主な改良形質とした。繁殖に関する形質として、総産子数と離乳時総体重の2形質を設定した。愛知県家畜改良増殖計画を参考に、目標として総産子数は11.5頭、離乳時総体重は60 kgに設定した。形質の改良では、これまで本県において行われてきた系統造成(栗田ら^{1,2)}、田島ら³⁾及び長瀬ら⁴⁾)と同様に、繁殖能力などの遺伝率の低い形質の改良に有効なアニマルモデルBLUP(best liner unbiased prediction)法を採用して選抜を行った。その結果改良目標を達成し、2016年10月に造成を完了し、2016年12月に一般社団法人日本養豚協会から「アイリスW3」として系統認定された。

そこで、本報告は系統豚「アイリスW3」の造成過程

のデータを取りまとめ、その遺伝的パラメーターについて検証した。

材料及び方法

1 基礎豚

導入豚は、雄8頭(系統豚3系統6頭、系統造成途中豚1か所1頭、民間育種農場1か所1頭)、雌48頭(系統豚4系統34頭、系統造成途中豚1か所4頭、民間育種農場2か所10頭)、精液(系統豚1系統6頭、民間育種農場2か所5頭)とした。これらの交配から得た産子から、発育及び体型の良いものを家系内選抜し、基礎豚とした。

2 系統造成の方法

(1) 交配方法

毎年春(3~4月)に生産された子豚について、一次及び二次選抜を行い、選抜した雄15頭、雌50頭程度を12月~翌年1月にかけて交配し、翌年春に次世代の子豚を生産した。

次世代生産のための交配に際しては、交配雄1頭あたり、3~5頭の雌豚を割り当て、できる限り遠縁同士の交配を行うことを原則とした。また、基礎豚以外には、導入を行わず、閉鎖群で交配を行った。

(2) 選抜

ア 一次選抜(外貌による選抜)

体重約15 kgの時点で乳頭数、不良形質(陰囊ヘルニア、臍ヘルニア及び表皮の黒斑点)について独立淘汰した。また、発育の良い個体を選抜した。

イ 二次選抜(体型及び産肉形質による選抜)

二次選抜は体重105 kgに達した時点でを行った。第1及び2世代については、基礎豚の血統を考慮しつつ、総産子数、離乳時総体重及び背脂肪の厚さの総合育種価を基に選抜を行った。各形質の遺伝的パラメーターについては田島ら³⁾が報告した値を用い(表1)、推定育種価の推定は、アニマルモデルBLUP法の計算を行うプログラムソ

表1 第1及び第2世代の二次選抜に用いた遺伝的パラメーター

選抜形質	総産子数	離乳時総体重	背脂肪の厚さ
総産子数	0.13	-0.19	0.01
離乳時総体重	-0.11	0.18	0.01
背脂肪の厚さ	0.00	0.00	0.45

注) 対角：遺伝率、対角下：遺伝相関、対角上：環境相関

表2 第3世代以降の二次選抜に用いた遺伝的パラメーター

選抜形質	総産子数	離乳時総体重	背脂肪の厚さ
総産子数	0.13	-0.17	0.21
離乳時総体重	-0.10	0.15	0.21
1日平均増体重	-0.20	0.25	0.41

注) 対角：遺伝率、対角下：遺伝相関、対角上：環境相関

フトMTDFREML⁵⁾により行った。総合育種価を求めるための算出式は、選抜指数のための一般化プログラム(SINDEX)⁶⁾を用いて作成した。総合育種価は各推定育種価を算出式に当てはめて計算した。算出式は以下の通りである(LSEBV:総産子数の推定育種価、WWEBV:離乳時総体重の推定育種価、BFEBV:背脂肪の厚さの推定育種価)。

$$H = 21.281839 \times \text{LSEBV} + 11.612386 \times \text{WWEBV} - 2.574249 \times \text{BFEBV}$$

第3世代以降については、総産子数及び離乳時総体重の総合育種価を基に体型を重視して選抜を行った。遺伝パラメーターは第2世代までのデータからMTDFREMLにより算出した(表2)。離乳時総体重の遺伝率の算出には哺乳頭数を母数効果として用いた。総合育種価の算出は第1及び2世代目と同様に行った。その際、1日平均増体重の遺伝相関を利用した。算出式は以下の通りである。

$$H = 36.447924 \times \text{LSEBV} + 14.627888 \times \text{WWEBV}$$

(3) 飼養管理

飼養管理については、当場の慣行の管理に従って行った。すべての豚は開放型豚舎で飼養した。育成期及び妊娠期の豚については4頭を群飼とし、一次選抜から漏れた個体(去勢及び雌)については枝肉調査豚とし10頭を群飼とした。

(4) 体型測定及び枝肉調査

一次選抜された個体について、体重105 kg時において体型測定を行った。測定項目は、体長、胸囲、管囲、胸幅、胸深及び体高とした。枝肉調査豚は、体重110～

120 kg程度でと殺を行い、冷凍保管後、と殺日の翌日に枝肉の調査を行った。調査項目は、と体重、と体長、背腰長Ⅱ、背脂肪厚及びロース断面積とした。

試験結果

2011年から雄15頭、雌50頭規模で1年1世代により造成を行い、系統豚の認定要件を超えた第5世代が完成世代とした。

2世代目までのデータを用いて遺伝的パラメーターを推定したところ総産子数、離乳時総体重及び1日平均増体重の遺伝率はそれぞれ、0.13、0.15及び0.41であった(表2)。

総産子数について、表型値の推移(表3)および各世代の推定育種価の選抜状況(表4)を表に示した。推定育種価の集団平均値は世代とともに上昇し、表型値は第4世代で11.6頭/腹と目標値(11.5頭)を上回った。一方、表4において第3世代以降、推定育種価による切断型選抜とかい離度合いである「切断型選抜からのずれ(rb)」が特に雄で小さかった。

離乳時総体重について、表型値の推移(表3)および各世代の育種価の選抜状況(表5)を表に示した。表5において各世代の雄雌ともに選抜差(D)は正の値をとり、離乳時総体重の上位のものが順調に選抜された。第4世代には、60.27 kg/腹と目標値60 kgを上回った。推定育種価についても世代とともに順調に上昇していった。

推定総合育種価の選抜状況を表6に示した。第2世代までは、rbは雌より雄で大きいが、第3、4世代では雄より雌で大きくなった。世代ごとに順調に育種価は上昇し、第5世代では、標準化された選抜差の累積(雄雌平均)は、1.54(系統豚認定基準1以上)となった。

背脂肪の厚さの推移を表7に示した。背脂肪の厚さは、世代ごとに上下があるものの第5世代には、雄1.74 cm、雌1.86 cmと第1世代よりやや薄くなった。

1日平均増体重の推移を表8に示した。1日平均増体重は、大きな変化は見られず、第5世代には、雄912.8 g、雌791.9 gと第1世代とはほぼ同等となった。

体重105 kg時の体型の世代推移を表9に示した。世代とともに体高がやや低くなったが、その他の項目に変化

表3 総産子数及び離乳時総体重(雌)の推移

世代	総産子数(頭)	離乳時総体重(kg)
0	9.72 ± 2.95	53.97 ± 12.50
1	11.76 ± 2.13	54.83 ± 8.30
2	10.93 ± 3.15	60.72 ± 9.75
3	11.29 ± 2.74	61.59 ± 7.19
4	11.60 ± 2.98	60.27 ± 15.01

表4 総産子数の推定育種価の推移

世代	性	n	n'	P	M	s	M'	M' - M	D	i	rb
1	♂	72	13	0.18	0.04	0.17	0.13	0.26	0.09	0.53	0.41
	♀	172	53	0.31	0.05	0.17	0.06	0.23	0.01	0.06	0.06
2	♂	77	14	0.18	0.14	0.24	0.22	0.50	0.08	0.33	0.22
	♀	184	53	0.29	0.09	0.24	0.11	0.36	0.02	0.08	0.07
3	♂	73	13	0.18	0.30	0.24	0.32	0.50	0.02	0.08	0.10
	♀	183	54	0.30	0.27	0.27	0.34	0.36	0.07	0.26	0.78
4	♂	69	12	0.17	0.39	0.29	0.35	0.84	-0.04	-0.14	-0.09
	♀	166	58	0.35	0.37	0.29	0.39	0.68	0.02	0.07	0.06
5	♂	83	14	0.17	0.53	0.20	0.46	0.83	-0.07	-0.35	-0.23
	♀	206	55	0.27	0.55	0.21	0.56	0.81	0.01	0.04	0.03

rb: 切断型選抜からのずれ((M' - M)/(M' - M))

表5 離乳時総体重の推定育種価の推移

世代	性	n	n'	P	M	s	M'	M' '	D	i	rb
1	♂	43	13	0.30	0.03	0.67	0.17	0.85	0.14	0.21	0.17
	♀	43	38	0.88	0.00	0.63	0.05	0.62	0.05	0.08	0.08
2	♂	77	14	0.18	0.49	0.87	0.75	1.70	0.26	0.30	0.21
	♀	184	53	0.29	0.37	0.89	0.44	1.38	0.07	0.08	0.07
3	♂	73	13	0.18	0.63	0.60	0.71	1.70	0.08	0.13	0.07
	♀	183	54	0.30	0.48	0.61	0.59	1.38	0.11	0.18	0.12
4	♂	69	12	0.17	0.66	0.95	0.96	1.97	0.30	0.32	0.23
	♀	166	58	0.35	0.50	0.94	0.79	1.49	0.29	0.31	0.29
5	♂	83	14	0.17	1.11	0.62	1.52	2.11	0.41	0.66	0.41
	♀	206	55	0.27	0.96	0.66	1.07	1.81	0.11	0.17	0.13

表6 推定総合育種価の推移

世代	性	n	n'	P	M	s	M'	M' '	D	i	rb
1	♂	72	13	0.18	1.27	8.07	4.64	11.17	3.37	0.42	0.34
	♀	172	53	0.31	1.13	7.60	2.05	8.74	0.92	0.12	0.12
2	♂	77	14	0.18	8.72	11.03	13.34	25.55	4.62	0.42	0.27
	♀	184	53	0.29	6.30	11.27	7.48	19.57	1.18	0.10	0.09
3	♂	73	13	0.18	20.11	9.45	21.86	33.45	1.75	0.19	0.13
	♀	183	54	0.30	16.74	11.97	21.05	29.92	4.31	0.36	0.33
4	♂	69	12	0.17	23.84	12.45	26.81	41.65	2.97	0.24	0.17
	♀	166	58	0.35	20.73	13.16	25.85	34.22	5.12	0.39	0.38
5	♂	83	14	0.17	35.58	6.16	39.06	45.1	3.48	0.56	0.37
	♀	206	55	0.27	34.34	6.15	36.06	42.15	1.72	0.28	0.22

表7 背脂肪の厚さ¹⁾の推移

(cm)

世代	雄	雌
1	1.84 ± 0.31	1.90 ± 0.32
2	1.76 ± 0.29	1.78 ± 0.29
3	1.78 ± 0.33	1.97 ± 0.40
4	1.83 ± 0.25	2.00 ± 0.35
5	1.74 ± 0.24	1.86 ± 0.30

1) 105 kg 体重時

表8 1日平均増体重¹⁾の推移

(g)

世代	雄	雌
1	957.9 ± 55.1	816.7 ± 77.9
2	866.7 ± 57.5	879.3 ± 61.4
3	948.5 ± 55.7	793.9 ± 72.6
4	932.1 ± 57.1	841.8 ± 57.1
5	912.8 ± 67.2	791.9 ± 69.8

1) 体重 30 kg から 105 kg までの間

表9 体型の世代推移

(cm)

世代	性	n	体長	胸囲	管囲	胸幅	胸深	体高
1	♂	72	111 ± 3	104 ± 3	18.0 ± 0.5	29.3 ± 1.2	34.5 ± 1.3	62.3 ± 2.4
	♀	172	111 ± 8	103 ± 2	17.1 ± 0.6	28.9 ± 1.0	34.3 ± 1.0	62.4 ± 2.3
2	♂	77	111 ± 3	102 ± 2	18.0 ± 0.5	29.4 ± 1.3	35.0 ± 1.1	62.8 ± 2.2
	♀	184	114 ± 3	101 ± 2	17.1 ± 0.5	29.1 ± 1.0	35.3 ± 1.1	61.2 ± 2.1
3	♂	73	111 ± 3	101 ± 2	18.0 ± 0.5	29.6 ± 1.2	34.7 ± 1.1	60.5 ± 2.7
	♀	183	110 ± 3	102 ± 2	17.1 ± 0.5	29.7 ± 1.4	34.9 ± 1.2	60.3 ± 2.3
4	♂	69	111 ± 3	101 ± 2	18.0 ± 0.5	29.2 ± 1.2	33.9 ± 1.3	61.4 ± 2.4
	♀	166	110 ± 3	102 ± 2	17.1 ± 0.5	29.2 ± 1.0	34.8 ± 1.2	60.3 ± 2.1
5	♂	34	111 ± 4	108 ± 2	19.3 ± 0.6	29.8 ± 1.2	34.2 ± 1.2	60.1 ± 2.9
	♀	58	112 ± 3	108 ± 3	18.4 ± 0.9	29.1 ± 1.4	34.8 ± 1.3	60.1 ± 3.0

表10 枝肉調査豚の枝肉成績の世代別推移

世代	性	n	枝肉重 (kg)	と体長 (cm)	背腰長Ⅱ (cm)	背脂肪厚 ¹⁾ (cm)	ロース芯断面積 ²⁾ (cm ²)
1	去勢	49	77.7 ± 1.9	94.9 ± 2.5	69.3 ± 2.4	2.4 ± 0.4	14.9 ± 3.0
	♀	48	76.0 ± 3.8	95.6 ± 3.1	69.7 ± 2.4	2.0 ± 0.4	16.2 ± 3.7
2	去勢	30	74.8 ± 2.3	94.6 ± 2.3	70.1 ± 1.8	2.3 ± 0.4	15.8 ± 2.0
	♀	29	76.2 ± 2.4	96.3 ± 2.7	71.4 ± 2.4	1.9 ± 0.4	17.8 ± 3.1
3	去勢	23	72.7 ± 0.4	96.5 ± 4.8	70.5 ± 3.5	2.2 ± 0.2	14.6 ± 3.5
	♀	26	76.2 ± 1.9	96.4 ± 1.9	71.2 ± 2.1	2.2 ± 0.4	16.6 ± 2.5
4	去勢	27	73.2 ± 1.4	93.6 ± 2.0	69.1 ± 2.0	2.3 ± 0.3	16.8 ± 4.0
	♀	24	76.3 ± 2.9	95.1 ± 2.8	70.0 ± 2.4	2.2 ± 0.3	18.6 ± 3.9
5	去勢	17	70.0 ± 3.7	92.1 ± 1.7	68.2 ± 1.3	3.1 ± 4.0	16.3 ± 2.5
	♀	24	72.5 ± 4.8	93.8 ± 2.8	69.7 ± 2.9	2.9 ± 3.7	20.1 ± 2.9

1) 3部位(肩、背及び腰)の平均

2) 1及び2世代は4-5胸椎間、3世代以降は5-6胸椎間

はみられなかった。枝肉の成績の世代別推移を表10に示した。それぞれの項目に大きな変化はみられなかった。

考 察

本造成において、推定された総産子数の遺伝率は0.13と、これまで報告されている数値⁷⁻¹⁰⁾同様、低いものであった。本県の系統造成においても、遺伝率が0.2(アイリスW2³⁾)および0.15(アイリスL3⁴⁾)と報告されている。今回、BLUP法によって血縁データを含めて産子数の育種価の推定を行うことで、遺伝率が低くても改良目標に達することが出来たと考えられる。一方、海外ハイブリット豚等ではこの総産子数の低い遺伝率を補うために国もしくは世界的な血縁関係を構築し、育種集団を大きくすることでBLUP法を用いた改良を強力に進めている¹¹⁾。このことから総産子数をより向上させるためには、より大きな集団を用いることを検討する必要があると考えられた。

離乳時総体重は1腹ごとに哺乳頭数が異なるため、個の哺乳能力を比較するためには哺乳開始頭数を統一する¹²⁾か、哺乳頭数によるデータの補正を必要とする。系統造成の場合、集団規模が小さく、1世代で更新を行うことから、哺乳頭数を統一することは難しい。そこで、アイリスW2の造成では産子検定で行われている哺乳頭数による補正を利用することで離乳時総体重の遺伝率を0.18になったと報告されている³⁾。一方、補正を行わない場合は離乳時総体重の遺伝率は0に近く、総産子数との遺伝相関と表型相関がともに高くなったと報告されている。本試験では哺乳頭数を母数効果としてBLUP法の計算上で補正することで田島らの補正後の遺伝率と同程度の遺伝率(0.15)が得ることが出来た。一方、アイリスL3について長淵らは離乳頭数を母数効果に取り入れることでより高い遺伝率(0.20)を報告している⁴⁾。しかし、離乳頭数を母数効果に入れることは哺乳頭数の少ない母豚の育種価を過大に推定する恐れがあるため、今回は用いなかった。

今回の造成では第2世代までに本造成における集団のデータが蓄積されたことから、各形質の遺伝率の推定を行った。さらに繁殖性の選抜にウエイトを置くとともに、体型の選抜を重視するために、第2世代までの遺伝率を用いて、第3世代から総合育種価を求めるための算出式の見直しを行った。しかし、総産子数については第1世代ですでに表型値の平均が11.76頭と高かったことから、第3世代以降、雌雄ともにrbが小さく、強い選抜がかかっていたことが考えられた。また、雄で体型を重視したこともこのrbが小さくなった要因と考えられた。一方で離乳時総体重については、算出式の見直し後もrbが安定しており、このことが総合育種価において十分な選抜差を得ることが出来た要因と考えられた。

今回完成した系統豚は、第5世代において総合育種価の標準化した選抜差の累計が系統豚認定基準1以上を満たした¹³⁾。また、主要な改良形質である繁殖性に関する形質について、目標とする値に達することができた。

第4世代の総産子数(11.6頭)はアイリスW2³⁾の完成時の総産子数(11.2頭)より0.4頭多くなった。年間分娩回数(2.2回¹⁴⁾)とすると母豚1頭当たりの年間産子数が0.88頭多くなり、生産者段階での生産性向上が期待される。

第4世代の離乳時総体重(21日齢で60.27 kg)は、アイリスW2の完成時の離乳時総体重(20日齢で53.6 kg ; 21日齢換算で56.28 kg)より大きくなった。一方、30 kg以降の1日平均増体重については基礎豚から大きな変化はないため、肥育期の発育は低下することなく初期発育が向上したと考えられる。このことからアイリスW3を供用した肉豚生産を行うことで、生産現場でのコスト削減が期待される。

背脂肪の厚さは第5世代には第1世代よりやや薄くなり、雄1.74 cm及び雌1.86 cmとなった。豚枝肉取引規格において「上」等級の背脂肪厚の範囲が1.3~2.4 cm(中間点は1.85 cm)であることから、適正な背脂肪であると考えられた。

アイリスW2はすでに県内で広く利用されている。体型や枝肉に基礎豚から大きな変化がなかったことから、

アイリスW3についてもこれまでと同様の管理で種豚もしくはこれを利用した肉豚として生産者段階で飼養できると考えられた。

今回、繁殖性の形質についてBLUP法を用いることで目標とする値まで改良することができた。一方、生産現場では一代交雑種を使い、三元肉豚生産が広く行われていることから、今後「アイリスW3」を用いて組み合わせ検定を行い、一代交雑種および三元肉豚の成績や飼養管理方法について検討していく必要がある。

引用文献

1. 栗田隆之, 北島秀俊, 家入誠二. アニマルモデルBLUP法を用いた豚の産子数の改良と遺伝的趨勢. 日豚会誌. 36, 111-116(1990)
2. 栗田隆之, 安藤康紀, 北島秀俊, 鈴木治夫, 榊原徳造. ブタの系統造成における産子数の改良とその遺伝的評価. 愛知農総試研報. 28, 341-344(1996)
3. 田島茂行, 栗田隆之, 安藤康紀, 平山鉄夫. 豚の系統造成における繁殖形質の改良と遺伝的評価. 愛知農総試研報. 35, 161-166(2003)
4. 長淵政広, 山本るみ子, 河野建夫, 上田淳一. 繁殖性の改良を主としたランドレース種系統豚の造成. 愛知農総試研報. 43, 79-88(2011)
5. Boldman, K.G., Kriese, L.A., Van Vleck, L.D., Van Tassell, C.P. and Kachman, S.D. User Notes for MTDFREML. A manual for use of MTDFREML. Chapter1, 1-22 U.S. department of agricultural research service(1995)
6. 佐藤正寛. 選抜指数のための一般化プログラム. 農林水産省研究計算センター. 1-65(1997)
7. Estanyt, J. and Sorensen, D. Estimation of genetic parameters for litter size in Danish Landrace and Yorkshire pigs. Anim. Sci. 60, 315-324(1995)
8. Haley, C.S., Avalos, E. and Smith C. Selection for litter size in the pig. Anim. Breed. Abst. 56, 317-332(1988)
9. Irgang, R., Favero, J. A. and Kennedy, B. W. Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. J. Anim. Sci. 72, 2237-2246(1994)
10. Ferraz, J. B. and Johnson, R. K. Animal model estimation of genetic parameters and response to selection for litter size and weight, growth, and backfat in closed seedstock population of Large White and Landrace swine. J. Anim. Sci. 71, 850-858(1993)
11. 高畑隆. ハイポー豚の育種改良. 日豚会誌. 35, 140-142(1998)
12. Vangen, O. Studies on a two trait selection experiment in pigs. Acta Agriculturae Scandinavica. 30, 320-326(1980)
13. 日本養豚協会. 登録・証明関係諸規定. p.146(2005)
14. 日本養豚協会. 養豚農業実態調査全国集計結果. p.9(2016)