〔ミニレビュー〕

豚の産肉、肉質及び生理的形質間の遺伝的関連

鈴木啓一¹・門脇 宏²・柴田知也²・西田 朗¹¹東北大学大学院農学研究科資源生物科学専攻動物遺伝育種学分野、²宮城県畜産試験場種豚家きん部**Genetic correlation between meat production traits, meat quality traits and physiological traits in pigs**Keiichi SUZUKI¹, Hiroshi KADOWAKI², Tomoya SHIBATA² and Akira NISHIDA¹¹ Department of Animal Genetics and Breeding, Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University² Miyagi Prefecture Animal Industry Experiment Station

1. はじめに

近年、豚における選抜目標は産肉形質から肉質形質へと変化してきており、食味に関連した研究が報告されている (Cameron 1993; Hovenier ら 1993)。わが国では豚肉は主に精肉の消費が多い。精肉の場合、軟らかさ、保水性が食味に影響する重要な形質と思われる。加えて、筋肉内脂肪は食味性と口の中での肉のなめらかさに関連して重要な形質である。日本人はしもふりの牛肉と同様に豚肉でも筋肉内脂肪の入った肉に強い興味を持っている。筋肉内脂肪に関する遺伝率は中程度であることが報告 (Sellier 1998 の総説) されているが、生きている豚で肉質を測定することは困難である。肉質に関連する測定は経費と多くの時間を要する。このため、筋肉内脂肪を直接の選抜形質とした事例は TOKYO-X を除いてない。宮城県畜産試験場では、1995 年にデュロック豚の産肉形質と肉質形質を選抜形質とした 7 世代の選抜試験を開始し、2001 年に終了した。この選抜試験の目的は、豚の品種の中でも筋肉内脂肪含量の高いデュロック種において、産肉形質と筋肉内脂肪の両方を選抜形質とした改良が可能かどうかを検討することであった。試験では、7 世代で育成雄、育成雌と調査豚の合計 1,643 頭の産肉能力検定を行い、このうち、543 頭の調査豚について、筋肉内脂肪を含む様々な肉質形質を測定した。そこで、以下に述べた課題を設け他の研究機関との協力により肉質形質、生理的形質の詳しい分析を行った。

本稿では、直接選抜反応、肉質形質の遺伝的パラメータと相関反応、脂肪組織の脂肪酸組成と融点に関する遺伝的パラメータと相関反応、生理的指標としての血中 IGF-1、レプチン濃度と産肉、肉質形質間の遺伝的関連と相関反応、筋肉内脂肪と Seam fat score (口

一ス周辺の筋肉間脂肪蓄積スコア) や枝肉全体の脂肪蓄積との遺伝的関連について紹介する。最期に今後の課題を付け加えた。

2. 産肉、肉質形質を選抜形質としたデュロック豚の選抜試験

選抜試験を行うに当たり基礎集団を導入したが、特徴は産肉能力に優れた雄豚を精液として海外から導入したことである。雄豚 23 頭のうち、生豚は 2 頭だけであり残りは凍結と液状精液で導入した。また、雌豚は県外、県内から広く合計 49 頭導入した。選抜試験の基本計画は系統造成の一般的なスタイルとしたが、能力検定は体重が 30 kg から 105 kg までとした。また、肉質調査のため、一腹から 2 頭の調査豚 (去勢を主体とした) を設け、毎世代 80 頭前後の調査豚の肉質を分析した。選抜形質は一日平均増体量、ロース断面積、背脂肪厚と筋肉内脂肪の 4 形質とし、第一世代の検定成績から希望改良量を設定した。また、相関形質として肉の柔らかさ (TENDERNESS) を測定し、第一世代の記録の 78 kg f/cm² をできるだけ低め、肉を軟らかくすることを検討した。選抜方法は第 1, 2 世代では選抜指数法により行った。改良目標量と遺伝的パラメータにより選抜指数式を作成した。第 3 世代以降は PEST プログラム (PEST 1990) により BLUP 法アニマルモデルにより育種価を計算し、個体ごとに総合育種価を計算した。なお、相対的重要度は改良目標量から逆算して計算した。また、遺伝的パラメータの推定は VCE4.25 (Neumaier と Groeneveld 1998) を使い、世代と性を母数効果、相加的遺伝の効果と共通環境効果を変量としたアニマルモデル REML 法により推定した。

表 1 には全世代の個体を含めて計算した遺伝率推定

表1. 選抜形質及び相関形質の基本統計量と遺伝率 (h^2) $\pm$ 標準誤差 (SE)、共通環境効果 (c^2) $\pm$ 標準誤差 (SE) および表型標準偏差 (σ_p)

形 質	N	Mean	SD	$h^2 \pm SE$	$c^2 \pm SE$	σ_p
1日平均増体量, g/day	1,642	873.6	109.3	0.48 ± 0.02	0.04 ± 0.01	80.6
ロース断面積, cm^2	1,639	37.00	4.05	0.45 ± 0.03	0.02 ± 0.01	3.71
背脂肪厚, cm	1,642	2.37	0.43	0.72 ± 0.03	0.01 ± 0.01	0.39
筋肉内脂肪, %	543	4.25	1.46	0.46 ± 0.03	0.06 ± 0.02	1.40
テンダーネス, kg f/ cm^2	544	72.51	12.71	0.45 ± 0.04	0.06 ± 0.02	12.6
飼料要求率	379	2.65	0.17	0.34 ± 0.04	0.19 ± 0.03	0.17
1日平均飼料摂取量, kg/day	379	2.62	0.23	0.52 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.24

表2. デュロック豚の遺伝相関と表型相関推定値

形質	EM	BF	IMF	TEND	FCR	FID
DG ^a r_G	-0.09 ± 0.05	0.34 ± 0.04	0.23 ± 0.07	-0.42 ± 0.07	-0.09 ± 0.07	0.83 ± 0.02
r_P	-0.08	0.28	0.07	-0.34	-0.25	0.74
EM r_G		-0.45 ± 0.04	-0.24 ± 0.04	0.28 ± 0.06	-0.59 ± 0.07	-0.42 ± 0.05
r_P		-0.29	-0.24	0.20	-0.21	-0.22
BF r_G			0.24 ± 0.04	-0.58 ± 0.04	0.65 ± 0.07	0.68 ± 0.03
r_P			0.21	-0.39	0.21	0.54
IMF r_G				-0.10 ± 0.05	0.26 ± 0.07	0.33 ± 0.06
r_P				-0.20	0.16	0.48
TEND r_G					-0.36 ± 0.07	-0.57 ± 0.06
r_P					-0.07	-0.36
FCR r_G						0.48 ± 0.06
r_P						0.48

^a DG, 1日平均増体量 EM, ロース断面積; BF, 背脂肪厚; IMF, 筋肉内脂肪; TEND, テンダーネス; FCR, 飼料要求率; FID, 1日平均飼料摂取量.

r_G , 遺伝相関 $\pm$ 標準誤差.

r_P , 表型相関.

値を示した。一日平均増体量 (DG)、ロース断面積 (EM)、筋肉内脂肪 (IMF) に関する遺伝率は中程度か 0.5 前後の値が得られた。背脂肪厚の遺伝率推定値は高い値が得られた。肉の軟らかさ (TEND) もまた、中程度の遺伝率が推定された。不断給餌下での産肉形質に関しては、DG では 0.31、BF では 0.49 の平均の遺伝率推定値が報告されている (Clutter と Brascamp 1998)。BF に関する Kuhlers らによる最近の報告ではランドレース種で 0.56 (2001)、デュロック種で 0.58 (2003) の遺伝率が報告されている。EM に関する遺伝率は 0.47–0.48 の値が報告されている (Sellier 1998; Kuhlers ら 2001)。本研究で得られた推定値は同じ程度だが、DG や BF ではこれまでの報告より高い値だった。さ

らに、筋肉内脂肪 (IMF) に関しては本研究での推定値 0.46 は Hovenier ら (1993) と Sellier (1998) により報告された値 (平均 0.5) と同程度だった。Tenderness は通常パネルテストやワーナーブラザーの剪断力価により評価され、0.21 から 0.37 の遺伝率が報告されている (Hovenier ら 1993)。Sellier (1998) もまた、パネルテストでは 0.29 (0.18–0.70)、機械測定では 0.26 (0.17–0.46) の遺伝率を報告している。本試験ではテンシプレッサーを使い 0.46 の中程度の遺伝率が得られ、きょうだいの情報に基づく選抜だが肉の軟らかさの改良が可能であることが示唆された。

表2には選抜形質と相関形質の遺伝相関と表型相関を示した。産肉形質間の遺伝と表型相関は従来報告さ

れている値 (Clutter と Brascamp 1998; Lo ら 1992; Kuhlars ら 2001) と同程度の相関だった。DG と IMF との遺伝相関、表型相関は 0.22 と 0.07 であり、比較的低い値だった。Lo ら (1992) はデユロック、ランドレース種とそれらの交雑豚から 0.27 と 0.06 の遺伝相関と表型相関を推定している。Hovenier ら (1992) もデユロック種と大ヨークシャー種について 0.19 と 0.13 の遺伝相関と表型相関を報告している。これに対し、de Vreis ら (1994) は大ヨークシャー種について -0.05 と 0.15 の遺伝相関と表型相関を、Hermesh ら (2000) は大ヨークシャー種とランドレース種について、IMF と 0-18 週の増体量および 18-22 週の増体量の間に 0.01 と -0.21 の遺伝相関を報告している。さらに、Sonesson ら (1998) は背脂肪厚低、増体量高に選抜された大ヨークシャー種の DG と IMF の間に -0.30 と -0.17 の遺伝相関と表型相関を報告している。これらの報告を整理すると、対象とする品種の違いにより相関が異なることが示唆された。すなわち、デユロック種を含む集団では DG と IMF の間の相関は正だが、ランドレース種や大ヨークシャー種についての相関は負である。ロース断面積と IMF の間の遺伝相関、表型相関は -0.27 と -0.24 である。Lo ら (1992) はデユロック、ランドレース種及びそれらの交雑豚で -0.31 と -0.06 の遺伝相関と表型相関、Hovenier ら (1992) はデユロック種とオランダ大ヨークシャー種について筋肉内脂肪と赤肉割合との -0.44 と -0.31 の遺伝と表型相関、Sonesson ら (1998) は大ヨークシャー種について赤肉割合と筋肉内脂肪の間に 0.02 と -0.05 の遺伝と表型相関を報告している。それゆえ、ロース断面積や赤肉割合は筋肉内脂肪とは負の遺伝的関連があると結論され

る。皮下脂肪厚と筋肉内脂肪との遺伝と表型相関は本研究ではいずれも 0.20 の値が得られた。両者の間には低から中の遺伝と表型相関が報告されている。本研究では TEND と DG との間に負の好ましい遺伝と表型相関が得られた (-0.38 と -0.34)。一方、TEND と EM との間では正の好ましくない相関 (0.20 と 0.18)、BF との間にも負の相関 (-0.55 と -0.39) が得られた。肉の軟らかさと産肉形質との関連の報告は少ない。TEND についての高い遺伝率や産肉形質との高い遺伝相関から、本研究で肉の軟らかさを判定するために使ったテンシプレッサー (Nakai ら 1992) は肉の軟らかさの遺伝的識別のためには優れた測定機器と判断される。IMF と TEND との遺伝と表型相関は -0.06 と -0.20 であり、Sellier (1998) が報告しているように IMF と TEND との遺伝的関連は低いと言えよう。つまり、肉の軟らかさは筋肉内脂肪含量に依存しているのではない。

豚の系統造成試験では無選抜の対照系を置いていない。毎年一定の時期に分娩、能力検定、選抜、交配を行っており、能力検定での環境は各世代一定と見なしてきた。そして世代を重複して雄豚を使用するなど環境の影響を遺伝的評価から分離する方策をとっておらず、選抜反応の正確な評価という点で問題となると思われた。そこで、選抜形質及び相関形質の選抜に伴う変化について、表型値と育種価の重み付け累積選抜差を計算し、各形質の育種価の世代変化を比較した。表 3 には表型値と育種価の重み付け累積選抜差、遺伝率と選抜差から予測した期待選抜反応および希望改良量を示した。DG、EM と BF の 6 世代での重み付け累積選抜差はそれぞれ 225.07 g、4.06 cm² と 0.10 cm であり、これに遺伝率を乗じた予

表 3. 選抜形質と相関形質の表型値及び育種価の重み付け累積選抜差、期待選抜反応および希望改良量

	DG g	EM cm ²	BF cm	IMF %	TEND kg f/cm ²
表型値重み付け累積選抜差 (SD: G1-G6)	225.07	4.06	0.10		
遺伝率 h ²	0.48	0.45	0.72	0.46	0.45
期待反応: SD×h ²	108.03	1.83	0.07		
育種価の重み付け累積選抜差 (G1-G6)	114.87	2.03	0.05	1.24	-3.92
第 7 世代の育種価	122.5	1.73	0.09	1.20	-4.34
希望改良量	135	3.9	-0.54	0.70	

DG : 1 日平均増体量、EM : ロース断面積、BF : 背脂肪厚、IMF : 筋肉内脂肪、TEND : テンダーネス

想選抜反応は 108.03 g、 1.83 cm^2 と 0.07 cm だった。一方、6 世代での育種価の累積選抜差は 114.87 g、 2.03 cm^2 と 0.05 cm であり、第 7 世代の DG、EM および BF の育種価の平均値は 122.5 g、 1.73 cm^2 および 0.09 cm だった。選抜差と遺伝率から推定した選抜反応と育種価の平均値が大体一致していることから、BLUP 法で推定した育種価の平均は選抜反応を反映していることが示唆された。また、IMF に関しては第 6 世代の育種価の重み付け選抜差と第 7 世代の育種価の平均がそれぞれ 1.24 % と 1.20 % であり、IMF についても 1.2 % 前後の選抜反応が得られた。さらに、TEND は直接の選抜形質ではないが、第 4 世代以降の選抜差が大きくなり、第 6 世代での育種価の累積選抜差と第 7 世代の育種価平均はそれぞれ -3.92 kg f/cm^2 と -4.34 kg f/cm^2 となり、約 4 kg f/cm^2 軟らかくなった。第 1 世代の能力から設定した改良目標量は DG、EM、BF および IMF がそれぞれ 135 g、 3.9 cm^2 、 -0.54 cm と 0.7 % だった。従って、EM と BF に関しては改良目標量を達成することは出来なかったが、DG についてはほぼ達成し、IMF についても目標量を上回った。

このデユロック種の選抜に伴う繁殖成績の全体の世代を通した平均分娩頭数、生産頭数、離乳頭数はそれぞれ 9.3 頭、8.8 頭、7.4 頭だった。また、第 7 世代の近交係数、血縁係数はそれぞれ 8.03 %、23.97 %、個体間の最小血縁係数も 10 % 以上となり、系統豚の認定基準を満たした。さらに、米国 NPPC (1991) の 5 段階を基準に第 7 世代の調査豚のマーブリングスコアを判定した。その結果、4 以上にランクされたものが去勢と雌の合計全体の 87.7 % をしめた。

以上、選抜の効果をみると 1 日平均増体量、ロース断面積、背脂肪厚については、改良目標量を達成できなかったが、筋肉内脂肪では目標量を上回った。第 7 世代の調査豚についてマーブリングスコアの 4 以上が約 9 割を占めた。県内 100 世帯で試食モニターを実施した結果、8 割が通常食べている豚肉より優れると評価した。さらに、パークシャー純粋種やその交雑豚、首都圏銘柄豚との肉質比較調査 (100 名の主婦) の結果でも、デユロック種系統豚の豚肉の優位性を確認した (第 6 世代 H12)。また、卸売業者、小売り業者を対象とした試食会でも絶賛の評価があり、仙台駅エスパルでの試験販売でも好評だった (第 7 世代豚)。このデユロック種は現在、LWD の止め雄として宮城県畜産試験場から年間 6,000 本の精液と 100 頭以上の雄豚の供給を行っている。同時に、純粋肉豚としての利用を考

え、平成 15 年度 2,000 頭、平成 16 年度には 3,500 頭、平成 17 年度には 5,000 頭の純粋肉豚を目指す取り組みを開始しており、ほぼ順調に進んでいる。

3. 産肉形質と肉質形質を選抜形質としたデユロック豚の肉質形質における相関反応

デユロック種の選抜試験では筋肉内脂肪、軟らかさの他にこれまで報告されている文献や既に肉質について詳しい調査を行ってきた国内の研究機関の情報を取り入れ可能な限り多くの肉質に関する測定を行った。肉色についてはと殺 24 時間後に採材したロース肉の肉色標準模型 (PCS: Nakai 1975) と色差計による L^* 、 a^* 、 b^* を測定した。また、24 時間後の肉の pH も測定した。保水性については、精肉と加熱した肉について測定した。まず、精肉ではナイロンバック法を変形した方法を採用した。これは、スライスした一定重量 (約 50 g) のロース肉をふたにフックのついた標本ケースにぶら下げ、 4°C の冷蔵庫で 24 時間、48 時間放置し、この間の肉重量を測定してドリップロスとする方法である。また、加熱した肉の保水性 (加熱損失率あるいはクッキングロス) は以下のような方法で測定した。2 胸椎分のロース肉を筋線維の方向に沿って 2 分割しさらに、2 分割したそれぞれの部分から約 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ の肉片を 1 つずつ採取した。正確に重量測定後、ビニール袋に入れてパッキングした後、 70°C の温浴で 30 分加熱し、その後 30 分冷水で冷ました後、水を拭き取り重量を測定した。加熱前の重量に対する重量損失の割合を計算した。この肉片をさらに厚さ 1 cm に整形してテンシプレッサーを使い、物理的特性値 (tenderness、pliability など) を測定した。1 つの肉片について 5 カ所、従って一頭について 10 カ所の測定を平均した。

表 4 には肉質形質の遺伝率を示した。筋肉内脂肪と tenderness の遺伝率は中程度の値を示し、肉色 (PCS と L^*) は低かった。保水性 (ドリップロス: DL と加熱損失率: CL) の遺伝率も低く、pH も 0.07 と低かった。Sellier (1998) は、筋肉内脂肪は 0.5 前後、器械で測定した TENDERNESS は 0.26、ドリップロスとクッキングロス は 0.16、肉色明るさは 0.28、pH は 0.21 の遺伝率を報告している。TENDER を除く本試験での値はほとんどこの報告の値と同程度の遺伝率だった。さらに、DL と PH について、0.18 と 0.15 の比較的高い共通環境効果の値が得られた。第 4 から 6 世代まで筋肉の電気伝導度を示すインピーダンス値 (IMP) と総コラーゲン量 (COL) について測定した。これらの遺伝率はそれ

表4. 選抜形質と肉質形質の基本統計量、遺伝率、共通環境効果および遺伝標準偏差

Trait		n	Mean	sd	h^2 (se)	c^2 (se)	σ_G
DG		1642	873.6	109.3	0.47 (0.02)	0.04 (0.01)	55.3
EM	cm ²	1639	37.0	4.0	0.45 (0.02)	0.02 (0.01)	2.5
BF	cm	1642	2.37	0.43	0.72 (0.02)	0.02 (0.01)	0.33
IMF	%	544	4.25	1.46	0.39 (0.02)	0.10 (0.02)	0.87
TEND	kg f/cm ²	545	72.52	12.71	0.45 (0.02)	0.07 (0.01)	8.26
PCS		541	3.42	0.46	0.18 (0.02)	0.08 (0.01)	0.19
L		543	48.44	3.16	0.16 (0.02)	0.15 (0.02)	1.13
DL24	%	543	2.21	1.31	0.14 (0.01)	0.17 (0.02)	0.49
CL	%	545	24.7	3.33	0.09 (0.02)	0.16 (0.02)	0.97
PH		515	5.97	0.43	0.07 (0.02)	0.22 (0.02)	0.07
IMP	Ω	232	486.3	163.9	0.22 (0.03)	0.18 (0.02)	76.2
COL	%	225	0.51	0.14	0.23 (0.05)	0.15 (0.02)	0.06

IMF: 筋肉内脂肪、TEN: テンダーネス、PCS: 肉色標準模型、L: 明度、DL24: ドリップロス 24 時間後、CL: クッキングロス (加熱損失率)、PH: pH、IMP: インピーダンス、COL: 総コラーゲン量

表5. 産肉形質と肉質形質間の遺伝相関 (r_G : カッコ内は標準誤差) と表型相関 (r_P)

形質		DG	EM	BF
IMF	r_G	0.25 (0.03)	-0.26 (0.04)	0.28 (0.03)
	r_P	0.06	-0.24	0.22
TEND	r_G	-0.44 (0.03)	0.32 (0.04)	-0.59 (0.03)
	r_P	-0.34	0.19	-0.39
PCS	r_G	-0.33 (0.05)	-0.08 (0.06)	-0.13 (0.05)
	r_P	-0.16	0.04	-0.13
L*	r_G	0.33 (0.05)	-0.13 (0.05)	0.55 (0.05)
	r_P	0.20	-0.11	0.23
DL	r_G	-0.14 (0.05)	0.64 (0.05)	-0.25 (0.06)
	r_P	-0.05	0.07	-0.08
CL	r_G	0.10 (0.07)	-0.01 (0.08)	-0.30 (0.07)
	r_P	0.07	0.00	-0.04
PH	r_G	0.24 (0.11)	-0.40 (0.12)	0.47 (0.10)
	r_P	0.08	-0.03	-0.01
IMP	r_G	-0.28 (0.05)	-0.69 (0.04)	0.29 (0.05)
	r_P	0.05	-0.15	0.04
COL	r_G	0.04 (0.05)	0.19 (0.07)	-0.35 (0.07)
	r_P	0.13	0.04	-0.07

IMF: 筋肉内脂肪、TEN: テンダーネス、PCS: 肉色標準模型、L: 明度、DL24: ドリップロス 24 時間後、CL: クッキングロス (加熱損失率)、PH: pH、IMP: インピーダンス、COL: 総コラーゲン量

ぞれ0.22と0.23の低い値を示した。

表5に産肉形質と肉質形質との遺伝と表型相関を示した。DGはTENDと負の中程度の遺伝と表型相関を、PCSとL*との間でも中程度の遺伝相関を示した。これらの結果から、増体量への改良は肉の軟らかさを増し、肉色を淡くすることが示唆された。一方、DGとIMFとの遺伝相関と表型相関は低かった。ロース断面積はドリップロスと高い遺伝相関を示し、筋肉内脂肪やTENDERNESSとも関連は弱いものの好ましくない相関を示した。さらに、背脂肪厚はTENDERNESSやL値とそれぞれ負と正の高い遺伝相関を示し、背脂肪厚を薄く改良することが肉の硬さを増し、肉色を濃くすることが示唆された。さらに、背脂肪厚と筋肉内脂肪との遺伝と表型相関は0.28と0.22と低く、皮下への脂肪蓄積と筋肉内への脂肪の蓄積は関連が低いことが示唆された。Sellier (1998)も両者の遺伝相関は0.30を超えず、筋肉内への脂肪蓄積の遺伝的変異は枝肉の全体の脂肪蓄積に関する遺伝的変異と独立していることを指摘している。IMPとロース断面積との間に負の高い遺伝相関(-0.69)が推定された。断面積の太い個体から採材したロース肉は抵抗値(レジスタンス)が小さい。これは水分含量が高いためと思われる。

肉質形質間の遺伝、表型相関を表6に示した。食味

性に直接関連すると思われるIMF、TENDERとDL、CLと肉質予測基準値となる形質(肉色、pH、IMPとコラーゲンなど)との関連から、精肉と加熱肉の保水性は筋肉内脂肪が増加すると改善されること、一方、筋肉内脂肪とTENDの間の遺伝相関は-0.09と低く関連がないことが示唆された。

選抜に伴う肉質形質の育種価の推移を検討した結果、選抜世代が進むにつれてIMFは増加し、肉色のL*が高くなった。一方、ドリップロスはわずかに減少し、pHはほとんど変化しなかった。TENDは4世代以降7世代まで減少し、肉が軟らかくなったことが示唆された。以上のことから、デユロック豚において、増体量と筋肉内脂肪を選抜形質とした7世代の選抜の結果、相関反応として肉が軟らかくなり、肉色が淡くなった。

4. 選抜に伴う豚皮下脂肪の脂肪酸組成と融点、筋肉内および筋肉間脂肪の脂肪酸組成の変化と遺伝的パラメータの推定

脂肪酸組成を分析した材料の採材部位はいずれも最期胸椎から3胸椎前の部分の皮下脂肪を含むロース部位とした。皮下脂肪内層と外層、筋肉間脂肪と筋肉内脂肪に分割し、脂肪酸組成はガスクロマトグラフィー

表6. 肉質形質間の遺伝相関(対角線上側; カッコ内は標準誤差)と表型相関(対角線の下側)

	IMF	TEN	PCS	L	DL	CL	PH	IMP	COL
IMF		-0.09 (0.04)	-0.05 (0.06)	0.42 (0.05)	-0.70 (0.05)	-0.42 (0.09)	-0.51 (0.12)	0.31 (0.06)	0.43 (0.08)
TEN	-0.20		0.59 (0.07)	-0.59 (0.08)	0.04 (0.06)	0.24 (0.07)	-0.16 (0.12)	0.26 (0.06)	0.26 (0.06)
PCS	-0.18	0.19		-0.81 (0.04)	-0.31 (0.07)	-0.13 (0.09)	0.16 (0.11)	0.68 (0.05)	0.29 (0.09)
L	0.43	-0.24	-0.50		0.06 (0.07)	-0.22 (0.13)	-0.10 (0.12)	-0.28 (0.07)	-0.17 (0.10)
DL	-0.13	0.02	-0.13	0.19		0.01 (0.11)	0.20 (0.14)	-0.60 (0.07)	-0.09 (0.12)
CL	-0.07	0.19	-0.20	0.25	0.35		0.21 (0.17)	-0.28 (0.11)	-0.64 (0.08)
PH	-0.07	-0.05	0.07	-0.12	-0.20	0.00		0.28 (0.15)	-0.42 (0.20)
IMP	0.07	0.01	0.20	-0.12	-0.44	-0.30	0.05		0.20 (0.13)
COL	0.12	0.00	-0.02	0.18	0.03	0.06	0.03	0.08	

IMF: 筋肉内脂肪、TEN: テンダーネス、PCS: 肉色標準模型、L: 明度、DL24: ドリップロス24時間後、CL: クッキングロス(加熱損失率)、PH: pH、IMP: インピーダンス、COL: 総コラーゲン量

を使い測定した。

選抜に伴う皮下脂肪内層、外層の各脂肪酸組成の表型値の変化をみると、飽和脂肪酸であるミリスチン酸(14:0)、パルミチン酸(16:0)、ステアリン酸(18:0)は有意に減少し、不飽和脂肪酸であるオレイン酸(18:1)が有意に増加した。また、リノール酸は変化が少なかった。さらに、内層及び外層の融点は世代が進むと有意に低くなった。

表7に皮下脂肪内層、外層の融点と脂肪酸組成、筋肉間と筋肉内脂肪の脂肪酸組成の平均値と遺伝率を示した。ステアリン酸(C18:0)が内層と外層でそれぞれ0.51と0.54と最も高く、筋肉間脂肪と筋肉内脂肪でも0.51と0.40の高い値が推定された。パルミチン酸は筋肉間で0.79と高い遺伝率だったが、他の部位では0.30–0.50と中から高の値だった。パルミトレイン酸(C16:1)は0.20–0.36、オレイン酸(C18:1)は

表7. 皮下脂肪内層と外層、筋肉間と筋肉内脂肪の脂肪酸組成の基本統計量と遺伝率

		N	Mean	SD	遺伝率	標準誤差
皮下脂肪内層						
C14:0	%	517	1.6	0.4	0.15	0.04
C16:0	%	517	27.0	1.9	0.30	0.06
C16:1	%	517	2.0	0.7	0.36	0.04
C18:0	%	517	16.9	1.9	0.51	0.06
C18:1	%	517	42.9	2.5	0.28	0.04
C18:2	%	517	9.6	1.7	0.32	0.04
融点	℃	509	39.4	3.0	0.61	0.08
皮下脂肪外層						
C14:0	%	515	1.6	0.4	0.07	0.03
C16:0	%	515	25.3	2.1	0.50	0.06
C16:1	%	515	2.8	0.8	0.20	0.04
C18:0	%	515	13.9	1.7	0.54	0.04
C18:1	%	515	45.8	2.5	0.26	0.04
C18:2	%	515	10.6	1.7	0.44	0.04
融点	℃	509	34.7	3.2	0.56	0.06
筋肉間脂肪						
C14:0	%	481	1.7	0.5	0.18	0.04
C16:0	%	481	27.1	2.1	0.79	0.06
C16:1	%	481	2.8	0.8	0.22	0.05
C18:0	%	481	15.4	1.9	0.51	0.04
C18:1	%	481	43.4	2.6	0.44	0.05
C18:2	%	481	9.6	1.8	0.39	0.05
筋肉内脂肪						
C14:0	%	523	1.5	0.3	0.09	0.03
C16:0	%	523	26.6	1.5	0.32	0.04
C16:1	%	523	4.5	0.9	0.20	0.04
C18:0	%	523	13.5	1.4	0.40	0.04
C18:1	%	523	48.4	2.2	0.36	0.03
C18:2	%	523	5.4	1.2	0.44	0.04

0.26–0.44、リノール酸でも 0.32–0.44 の遺伝率が推定された。なお、皮下脂肪内層と外層の融点の遺伝率はそれぞれ 0.61 と 0.56 と高い値が推定された。豚脂肪酸組成の遺伝的パラメータに関する報告は少なく、Sellier (1998) は皮下脂肪のステアリン酸 (C18:0) で 0.51、リノール酸 (C18:2) で 0.58 の遺伝率平均値を報告している。また、Fernandez ら (2003) は、筋肉内脂肪の脂肪酸組成の遺伝率を推定し、最も高いのがステアリン酸 (C18:0) の 0.41、C16:0 が 0.31、オレイン酸 (C18:1) が 0.31、リノール酸 (C18:2) が 0.29 の遺伝率を報告している。筋肉内脂肪の脂肪酸組成に及ぼす遺伝的影響よりも給与される飼料内容の影響が大きい (Cameron ら 2000) もの、脂肪酸組成の遺伝率は中から高の遺伝率であると言える。

選抜形質である 4 形質と皮下脂肪内層と外層の脂肪酸組成との遺伝相関、表型相関のうち皮下脂肪内層についてみると、飽和脂肪酸である C16:0 と C18:0 は DG (0.23, 0.17 と 0.36, 0.22) と背脂肪厚 (0.47, 0.24 と 0.47, 0.24) との間で正の遺伝相関、表型相関を示した。一方、ロース断面積とは負の遺伝相関 (–0.20 と –0.44) と表型相関 (–0.13 と –0.20) を示した。逆に C16:1 と C18:2 は DG と BF との間では比較的高い負の遺伝相関と表型相関を示し、ロース断面積との間では正の遺伝相関、表型相関を示した。C18:1 は DG と BF との間に 0.1 以下の低い遺伝相関、表型相関を示し、ロース断面積との間でも 0.20 の低い遺伝相関だった。IMF は C14:0 (–0.33) および C18:1 (–0.17) と負の遺伝相関を示したが、その他の脂肪酸組成とは 0.1 以下の低い遺伝相関だった。

皮下脂肪外層の脂肪酸組成と産肉、肉質形質との関連は内層と同じ傾向だが、全体として遺伝相関、表型相関ともその絶対値が内層との相関より低かった。さらに、外層融点との相関も内層融点と同様の傾向が見られ、C18:0 と正の C18:1 および C16:1 と負の遺伝相関と表型相関を示した。

筋肉間および筋肉内脂肪の脂肪酸組成と産肉、肉質形質間の遺伝相関と表型相関について、飽和脂肪酸の C16:0 と C18:0 は DG、BF と正の遺伝相関と表型相関を示し、EM と負の遺伝相関、表型相関を示した。一価の不飽和脂肪酸である C16:1 と多価不飽和脂肪酸である C18:2 は DG、BF と負の遺伝相関、表型相関を示し、EM と正の遺伝相関、表型相関を示した。そして、C18:1 は DG とはゼロに近い負の相関だが、BF とは正の遺伝と表型相関を、C16:1 と C18:2 とは負の遺伝と表型相関を示した。

以上のことから、増体の改良は飽和脂肪酸を増加させること、ロースの太さの増加と皮下脂肪厚の減少は飽和脂肪酸を減少させ、多価不飽和脂肪酸を増加させることになることが示唆された。そして、筋肉内脂肪酸組成は皮下脂肪内層脂肪酸組成とは必ずしも関連が無いことが示された。さらに、融点は、C18:1 と負の高い遺伝相関 (–0.87) と表型相関 (–0.40) を示し、C16:1 との遺伝相関 (–0.64) も高かった。逆に C18:0 との間には高い正の遺伝相関 (0.85) と表型相関 (0.56) を示した。

パークシャー種純粋種とデユロック種第 6 世代を同じ飼養条件下で肥育、と殺し、皮下脂肪内層、外層筋肉内脂肪の脂肪酸組成を比較した。その結果、デユロック種はパークシャー種と比べ飽和脂肪酸が少なく、C18:1 のオレイン酸の割合が多かった。また、C18:2 と C18:3 の高度不飽和脂肪酸もデユロックが多いことが明らかとなった。その結果皮下脂肪内層、外層の融点はいずれもデユロック種がパークシャー種より低かった (Suzuki ら 2003)。

5. 豚の血中 IGF-₁ およびレプチン濃度と産肉・肉質形質との遺伝的関連

a. 血中 IGF-1 濃度と産肉・肉質形質との遺伝的関連

インスリン様成長因子 1 (IGF-1) などの血液中の生理活性物質は生きた動物から容易に採血できるので生産形質の選抜指標として有用と思われる。さらに、若齢時に測定した濃度が動物の将来の能力を予測できれば選抜にとって特に有用となる。IGF-1 は成長ホルモンの刺激を受け、おもに肝臓から分泌される。GH ホルモンは日内変動が大きい、IGF-1 濃度は成長に伴い安定して増加するので、遺伝的改良の生理的指標としての有効性が指摘されている (Scanlan ら 1987)。マウスについて、血中 IGF-1 に関して 7 世代と 5 世代の選抜実験から 0.15 と 0.10 の低い実現遺伝率が推定されている (Blair ら 1989; Baker ら 1991)。これらの報告では IGF-1 と体重の間に正の遺伝相関を報告している。一方、豚については Bunter ら (2002) が 0.20–0.58 の遺伝率と皮下脂肪厚および飼料転換効率との間に正の遺伝相関を報告している。しかし、肉牛については IGF-1 と成長、皮下脂肪厚の間に負の遺伝相関の報告がある (Davis と Simmen 1997; Davis と Simmen 2000)。全体として産肉形質と IGF-1 との遺伝的関連についての報告は少ない。そこで、選抜の第 4 世代以降 IGF-1 を測定し、遺伝率と産肉形質との遺伝相関を推定すること、IGF-1 が成長率に関する選抜の性的指標として

有効かどうかを検討した。

選抜4世代以降、8週齢時と体重105 kg時点で採血し、遠心分離後血清を -30°C で凍結保存し、IGF-1結合蛋白を除去後、二抗体RIA法によりIGF-1濃度測定した。遺伝的パラメータはVCE4.25 (NeumaierとGroeneveld 1998)を使い、世代と性を母数効果、相加的遺伝的效果と共通環境効果を変量とした多形質アニマルモデルREML法により推定した。

表8には産肉形質とIGF-1濃度の遺伝率を示した。8週齢時と105 kg体重時のIGF-1濃度の遺伝率は0.23と0.26だった。また、105 kg時と比べ8週齢時のIGF-

1の共通環境効果は0.20と大きかった。8週齢時IGF-1濃度は8週齢時の体重とは中程度の遺伝相関だが、DG、EM、BF、IMF、TENDERNESSとの遺伝相関は低かった。105 kg時のIGF-1濃度はEM、TENDERNESSと中程度の遺伝相関を示したが、その他の産肉形質との遺伝相関は低かった。8週齢時と105 kg時点のIGF-1濃度の遺伝相関は高かったが、表型相関は低かった(表9)。

表10には第4世代から7世代までの8週齢と105 kg時点のIGF-1濃度を性別に示した。8週齢時IGF-1濃度は選抜が進むにつれて増加したが、7世代では8週

表8. 選抜形質、相関形質とIGF-1濃度の基本統計量、遺伝率(h^2)、共通環境効果(c^2)と表型標準偏差(σ_p)

形 質	N	Mean	SD	$h^2 \pm \text{SE}$	$c^2 \pm \text{SE}$	σ_p
1日平均増体量, g/day	1,642	873.6	109.3	0.49 ± 0.03	0.04 ± 0.01	80.7
ロース断面積, cm^2	1,639	37.00	4.05	0.43 ± 0.03	0.02 ± 0.01	3.69
背脂肪厚, cm	1,642	2.37	0.43	0.73 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.39
筋肉内脂肪, %	543	4.25	1.46	0.39 ± 0.03	0.08 ± 0.02	1.40
テンダーネス, kg f/ cm^2	544	72.51	12.71	0.39 ± 0.04	0.08 ± 0.02	12.7
8週齢時体重, kg	1,642	—	22.69	0.24 ± 0.02	0.36 ± 0.03	3.18
8週齢時背脂肪厚, cm	1,639	1.02	0.20	0.41 ± 0.02	0.17 ± 0.02	1.66
飼料要求率	379	2.65	0.17	0.35 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.17
IGF1-8W ^a , ng/ml	832	102.8	62.0	0.23 ± 0.03	0.20 ± 0.02	40.0
IGF1-105KG ^b , ng/ml	834	128.5	68.9	0.26 ± 0.03	0.03 ± 0.01	44.5

^a 8週齢時 IGF-1 濃度

^b 105 kg 時 IGF-1 濃度

表9. IGF-1濃度と選抜形質相関形質の遺伝相関(r_G)と表型相関(r_p)

形 質	IGF1-8W ^a		IGF1-105KG ^b	
	$r_G \pm \text{SE}$	r_p	$r_G \pm \text{SE}$	r_p
1日平均増体量	0.26 ± 0.08	0.08	0.22 ± 0.07	0.05
ロース断面積	0.22 ± 0.10	0.02	0.42 ± 0.08	0.19
背脂肪厚	0.13 ± 0.08	0.10	-0.02 ± 0.07	-0.11
筋肉内脂肪	0.32 ± 0.10	0.04	0.26 ± 0.09	-0.17
テンダーネス	-0.05 ± 0.12	0.02	0.36 ± 0.10	0.30
8週齢時体重	0.45 ± 0.08	0.40	0.09 ± 0.09	-0.08
8週齢時背脂肪厚	0.33 ± 0.06	0.28	0.00 ± 0.06	-0.09
飼料要求率	0.20 ± 0.08	0.13	-0.17 ± 0.07	-0.21
IGF-1濃度 at 8 wk			0.73 ± 0.08	0.15

^a 8週齢時 IGF-1 濃度

^b 105 kg 時 IGF-1 濃度

表 10. 性間、成長ステージと選抜世代別 IGF-1 濃度の最小二乗平均値

世 代	IGF1-8W ^a , ng/ml			IGF1-105KG ^b , ng/ml		
	雄	雌	去勢 ^c	雄	雌	去勢
4	45.4 ± 6.2	44.9 ± 4.1		67.3 ± 6.4 ^f	49.8 ± 4.7 ^g	
5	104.7 ± 5.7 ^d	75.3 ± 3.7 ^e	90.1 ± 5.5 ^d	159.3 ± 6.0 ^f	101.1 ± 3.8 ^g	86.2 ± 5.7 ^h
6	158.9 ± 5.9 ^d	129.3 ± 3.6 ^e	133.6 ± 5.6 ^e	184.4 ± 5.9 ^f	132.5 ± 3.7 ^g	98.2 ± 5.7 ^h
7	126.6 ± 4.4 ^d	107.5 ± 3.5 ^e	117.3 ± 5.6 ^{de}	256.4 ± 4.5 ^f	146.4 ± 3.5 ^g	116.2 ± 5.7 ^h

^a 8 週齢時 IGF-1 濃度^b 105 kg 時 IGF-1 濃度^c これらの雄豚は採血後に全きょうだい検定用として去勢された。^{d,e} 同じ行の異なる上付き文字間で IGF1-8W について有意な性間差有り (P < 0.05)^{f,g,h} 同じ行の異なる上付き文字間で IGF1-105KG について有意な性間差有り (P < 0.05)

齢体重が減少したためか IGF-1 濃度も下がった。雄、雌共に 8 週齢時と比べ 105 kg 時点では IGF-1 濃度が増加したが、去勢では変化せず、6 世代では減少した。

Hermesch ら (2001) および Cameron ら (2003) は遺伝率推定時における共通環境効果の影響を指摘したが、本試験でも共通環境効果を考慮せず推定した 8 週齢時の IGF-1 濃度の遺伝率は 0.37 と適度な値を示した。共通環境効果を考慮した本試験や他の報告から判断される IGF-1 の遺伝率は低いと言える。IGF-1 と産肉能力との遺伝相関から早期の判定に IGF-1 濃度は有効とは言えないことが明かとなった。IGF-1 と IMF との間に適度な遺伝相関が得られた。しかし、IGF-1 と肉質の遺伝的関連についての報告はほとんどない。本研究では筋肉内脂肪の比較的多いデユロック種について検討した。従って、この点については筋肉内脂肪の少ない他の品種について確認する必要がある。若い日齢である 8 週齢で測定した IGF-1 と EM および TENDERNESS との遺伝相関と比べ、より年取った日齢である 105 kg 時点の IGF-1 濃度と EM および TENDERNESS との遺伝相関は大きくなった。このことは、IGF-1 濃度が EM の太さや赤肉量の増加と関連することを示唆している。雄の血清 IGF-1 濃度は日齢が進むと雌や去勢よりも増加量が大きい。このことは IGF-1 濃度の発現がホルモンにより調節され、日齢に依存することを示唆する。Cameron ら (2003) も、6 週齢で測定した IGF-1 は背脂肪厚や飼料要求率と正の相関を得たが、検定終了の 90 kg 時点の IGF-1 濃度はこれらと負の相関を示すことを報告している。

8 週齢時の IGF-1 濃度は筋肉内脂肪と正の遺伝相関を示した。また、105 kg 時点の IGF-1 濃度はロース断面積と適度な遺伝相関を示した。これらの結果は血清

表 11. レプチン濃度の遺伝率と選抜形質および相関形質との遺伝相関、表型相関

形 質	遺伝相関	表型相関
日々平均増体量	-0.14 ± 0.05	0.08
ロース断面積	-0.64 ± 0.05	-0.32
背脂肪厚	0.69 ± 0.03	0.51
8 週齢時背脂肪厚	0.82 ± 0.04	0.26
筋肉内脂肪	0.22 ± 0.06	0.24
テンダーネス	-0.06 ± 0.05	-0.18
1 日平均飼料摂取量	0.32 ± 0.06	0.32
レプチンの遺伝率	0.65 ± 0.04	
レプチン、共通環境効果	0.18 ± 0.04	

中 IGF-1 濃度は成長や産肉形質と何らかの関連を持つことを示唆しており、豚の育種に際して将来の筋肉内脂肪蓄積能力を成長の初期の段階で間接的に選抜する基準として有効かも知れないことを示している (Suzuki ら 2004)。

b. 血中レプチン濃度と産肉・肉質形質との遺伝的関連

選抜第 5、6、7 世代の調査豚 226 頭について測定したレプチン濃度と産肉、肉質形質間の関連を表 11 に示した。体重 105 kg 時点で採血し、遠心分離後血清を -30℃ で凍結保存した。RIA 法により測定した血中レプチン濃度について、VCE4.25 プログラム (Neumaier と Groeneveld 1998) を使い、共通環境効果と相加的遺伝子効果を変量、選抜世代と性を母数としたモデルで遺伝的パラメータを推定した。血中レプチン濃度の遺伝率は 0.65 ± 0.02 と高く、共通環境効果による遺伝率

も 0.18 ± 0.04 と比較的高かった。背脂肪厚との遺伝相関 (0.69 ± 0.08) と表型相関 (0.51) は高かったが、筋肉内脂肪との遺伝相関は 0.22 ± 0.06 、表型相関も 0.24 と低く、血中レプチン濃度は体全体の脂肪蓄積量を反映した。また、一日平均増体量との遺伝相関と表型相関はそれぞれ、 -0.14 ± 0.05 と 0.08 、ロース断面積との遺伝相関、表型相関はそれぞれ、 -0.64 ± 0.05 、 -0.32 と推定された。レプチン濃度に関する遺伝的パラメータ推定の報告は無く、他品種でも本試験で得られた皮下脂肪厚との遺伝的関連を調べる必要があると思われる。

6. 豚の筋肉内脂肪を選抜形質とした選抜に伴う Seam fat スコアの変化

筋肉内脂肪 (IMF) を選抜形質の一つとして選抜を行った場合、相関反応として筋肉間脂肪の増加が予想される。一方、高生産性の観点からは赤肉生産効率の高い種豚の改良が望まれている。これまで豚体の脂肪割合を減らすため、背脂肪厚を選抜形質として改良が行われてきた。しかし、筋肉内脂肪と赤肉割合との間には負の遺伝相関があり (Sellier 1998)、美味しい豚肉を作ることと赤肉生産効率の高い豚肉を作るための改良目標は矛盾した関係になっている。ところで、脂肪の

蓄積部位を枝肉で見ると皮下脂肪、筋肉間脂肪、腹部脂肪に分けられる。枝肉全体の脂肪割合と筋肉内脂肪との関連は報告されているが、皮下脂肪、筋肉間脂肪および腹部脂肪の蓄積量と筋肉内脂肪との関連を明らかにした報告はない。この関連を明らかにするためには皮下脂肪、筋肉間脂肪及び腹部脂肪に脂肪蓄積を分けて測定する必要がある。そこで、枝肉断面画像の筋肉内脂肪と皮下と筋肉間及び腹部の脂肪蓄積について、画像解析装置を用いて測定しこれらの遺伝的関連を検討した。また、第5、6胸椎間の断面について米国 NPPC で発表されている Seam fat score (ロース部分を取り巻いている筋肉間脂肪蓄積を1-5段階でスコア一化したもの) により評価した。

第1から6世代まで464頭について筋肉内脂肪と Seam fat score との遺伝相関、表型相関を計算した結果、 0.16 、 0.23 と低い正の相関であり、筋肉内脂肪の改良の際に留意すべき点と思われた。

表12には体長1/2部位で超音波探傷器で測定した背脂肪厚およびロース筋肉内脂肪と第5、6胸椎、体長1/2部位および最後胸椎部位の切断面各脂肪面積割合との間の遺伝相関、それらの形質の遺伝率を示した。背脂肪厚および筋肉内脂肪含量の遺伝率はそれぞれ 0.69 と 0.57 であり比較的高い値だった。各胸椎の脂肪

表12. 枝肉横切断面の各脂肪面積割合の遺伝率と皮下脂肪および筋肉内脂肪との遺伝相関

	遺伝相関		
	背脂肪厚	筋肉内脂肪	$h^2 \pm SE$
第5-6胸椎			
皮下脂肪面積割合	0.76 ± 0.09	-0.46 ± 0.15	0.58 ± 0.09
筋肉間脂肪面積割合	0.22 ± 0.09	0.80 ± 0.15	0.54 ± 0.12
全脂肪面積割合	0.89 ± 0.07	0.14 ± 0.17	0.38 ± 0.10
体長1/2部位			
皮下脂肪面積割合	0.89 ± 0.06	-0.26 ± 0.14	0.56 ± 0.11
筋肉間脂肪面積割合	0.45 ± 0.18	0.19 ± 0.23	0.42 ± 0.14
腹部脂肪面積割合	0.32 ± 0.27	0.25 ± 0.29	0.19 ± 0.12
全脂肪面積割合	0.83 ± 0.06	0.00 ± 0.19	0.54 ± 0.11
最期胸椎部位			
皮下脂肪面積割合	0.90 ± 0.06	0.14 ± 0.15	0.80 ± 0.11
筋肉間脂肪面積割合	0.68 ± 0.64	0.59 ± 0.74	0.01 ± 0.02
腹部脂肪面積割合	0.09 ± 0.19	-0.09 ± 0.22	0.41 ± 0.12
全脂肪面積割合	0.86 ± 0.08	0.10 ± 0.21	0.39 ± 0.10
$h^2 \pm SE$	0.69 ± 0.10	0.57 ± 0.12	

面積割合についてみると皮下脂肪面積割合はどの部位でも高い遺伝率であり特に、最後胸椎部位の遺伝率は0.80と最も高かった。次に生体で測定した背脂肪厚と各脂肪面積割合との遺伝相関をみると、皮下脂肪面積および全脂肪面積の割合はどの部位でも高い遺伝相関だった。すなわち、第5、6胸椎間部位では0.76と0.89、体長1/2部位では0.89と0.83、最後胸椎部位では0.90と0.86、そして、遺伝相関の標準誤差も低く、信頼性のある値であることが示された。このように、超音波を使い生体で測定している背脂肪厚測定値は皮下に蓄積した脂肪量を推定する上で精度も高い測定値と言える。しかし、筋肉間や腹部脂肪面積割合との遺伝相関は中程度でありこれらの脂肪蓄積を推定するためには他の手法を使う必要があると思われる。

筋肉内脂肪と各切断面脂肪面積割合との遺伝相関は切断面の部位や脂肪蓄積の種類が異なると相関の程度が異なった。まず、皮下脂肪面積割合との相関では第5、6胸椎間部位、体長1/2部位および最後胸椎部位でそれぞれ、-0.46、-0.26および0.14の遺伝相関だった。このことから体の前半部分の皮下に脂肪を蓄積する個体は筋肉内に脂肪を蓄積しない傾向にあると言える。逆に、第5、6胸椎間の筋肉間脂肪面積割合と筋肉内脂肪との遺伝相関は0.80と高い値だった。しかし、体長1/2部位および最後胸椎部位の筋肉間脂肪面積割合との遺伝相関は0.19および0.59だった。最後胸椎部位の筋肉間脂肪面積割合との遺伝相関は標準誤差が0.73と非常に大きく信頼性に欠ける。また、腹部脂肪面積割合との遺伝相関も体長1/2部位および最後胸椎部位でそれぞれ0.25および-0.09といずれも低い相関だった。さらに、全脂肪面積割合との遺伝相関は第5、6胸椎間部位、体長1/2部位および最後胸椎部位でそれぞれ0.14、0.00および0.10といずれも低い相関だった。これらのことから筋肉内脂肪含量の高い個体は体の前半部分の筋肉間に脂肪を蓄積し、皮下には脂肪を蓄積しない個体である可能性が高いことが示唆された。しかし、筋肉内脂肪と第5、6胸椎間切断面の皮下脂肪および筋肉間脂肪面積の表型相関は0.02と0.36であり、筋肉間脂肪面積については遺伝相関も同様の傾向だが、皮下脂肪面積割合については遺伝相関と表型相関が異なる傾向が示された。

以上、背脂肪厚と各切断面皮下脂肪や全脂肪面積割合との遺伝相関はいずれも高く、背脂肪厚が枝肉全体の脂肪蓄積を推定する上で有効な形質であることが示唆された。また、ロース筋肉内脂肪含量と枝肉切断面各脂肪面積割合との遺伝相関から、枝肉前半部分の筋

肉内脂肪面積割合が筋肉内脂肪含量を推定する上で重要な形質であることが示唆された。本試験では158頭についての分析を行ったが、さらに例数を増やして分析し、今回の分析で得られた結果を確認する必要があると思われる。

7. 豚の系統造成の課題

豚の系統造成試験は、各県、改良センターや全農が養豚産業に利用される種豚の造成を第一の目的としている。この試験は労力的にも大変な作業だが、人件費を含む資金面でも多額の経費を要する。反面、周到に準備された計画をこの試験に設定できれば得られる成果は他県の系統造成はもとより、育種企業にとっても参考になる情報が得られると思われる。1999年にエジンバラ、ロスリン研究所のキャメロン博士を宮城県に招聘しロスリン研究所での豚に選抜試験のねらいについて質問した際、得られた成果をイギリスの育種会社提供すること、その見返りとして資金を提供してもらうことを聞いた。系統造成試験を種畜の造成とともに、育種改良上の諸課題を解決するための試験研究としても位置づけるべきだろう。

宮城県でのデユロック種の系統造成試験では未解決の課題がいくつか残った。その1つは遺伝的改良効果の判定方法である。系統造成では施設の収容能力に限界があるため、無選抜の対照系を設定できない。BLUP法で育種価を推定する際、選抜世代を母数効果として設定しているが、世代を重複して数頭の雄豚を使うなど選抜世代と環境効果を分離して選抜の効果を判定することも検討すべきだろう。また、正確な能力測定に基づき表型値の選抜を行えば遺伝的改良は可能だが、その生理的背景は不明なままの場合が多い。例えば、肉の軟らかさとコラーゲンや筋線維型等との関連、筋肉内脂肪蓄積のメカニズムなど他分野の研究者との共同による生理的背景の原因解明が必要と思われる。肉質形質の測定は煩雑であり、環境条件にも影響される。相関の高い生理的指標や、*ryr1* 遺伝子や *RN* 遺伝子のようなDNAマーカーを指標とした選抜法が今後も期待される。いくつかの県の系統造成ではこれまでも大学や他研究機関との共同研究を行っている。今後はますます、そうした研究体制が望まれる。

謝 辞

本試験の大部分は宮城県畜産試験場で行なわれたが、著者らの他に清水ゆう子、鹿野裕志(いずれも現宮城県畜産試験場)、日野正浩(宮城県畜産課)の各氏

が造成の途中に関与した。本稿で紹介した研究成果のうち、脂肪組織の脂肪酸組成は宮城県農業短期大学の石田光晴博士、IGF-1 濃度の測定やレプチン測定は東北大学の加藤和雄博士と大学院生の中川一輝氏（現味の素）、肉のコラーゲン量は旧大阪府農林技術センターの入江正和博士（現宮崎大学農学部）との共同研究により得られたものである。さらに、紙面の都合で紹介できなかったが、上述した内容の他に、東北大学の西田朗教授には抗病性形質の調査、山口高弘教授には筋肉線維特性の調査、家畜改良センターの小林栄治博士には肉質の DNA マーカーとの関連解析、新潟大学の楠原征治教授と杉山稔恵博士には約 500 頭の肢蹄の骨軟骨病変の調査を共同研究として取り組んだことを付す。

引用文献

- Baker RL, Peterson AJ, Bass JJ, Amyes N, Breier NC, Gluckman NC. 1991. Replicated selection for insulin-like growth factor-1 and body weight in mice. *Theor. Appl. Genet.*, 81: 685–692.
- Blair HT, McCutcheon SN, Mackenzie DS, Gluckman PD, Ormsby JE, Brier BH. 1989. Responses to divergent selection for plasma concentrations of insulin-like growth factor-1 in mice. *Genet. Res., Camb.*, 53: 187–191.
- Bunter K, Hermes S, Luxford BG, Lahti K, Sutcliffe E. 2002. IGF-1 concentration measured in juvenile pigs provides information for breeding programs: a mini review. *Proc. 7th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, France Communication No. 03–09.*
- Cameron ND. 1993. Selection for meat quality: objectives and criteria. *Pig News Info.*, 14: 161N–168N.
- Cameron ND, Enser M, Nute GR, Whittington FM, Penman JC, Fisker AC, Perry AM, Wood JD. 2000. Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat. *Meat Science.*, 55: 187–195.
- Cameron ND, McCullough E, Troup K, Penman C. 2003. Serum insulin-like growth factor-1 concentration in pigs divergently selected for daily food intake or lean growth rate. *J. Anim. Breed. Genet.*, 120: 1–10.
- Clutter AC, Brascamp EW. 1998. Genetics of performance traits. In: Rothschild M F, Ruvinsky A. (Eds.), *The Genetics of Pigs*. CAB International, New York, pp. 427–462.
- Davis ME, Simmen RCM. 1997. Genetic parameter estimates for serum insulin-like growth factor 1 concentration and performance traits in Angus beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 75: 317–324.
- Davis ME, Simmen RCM. 2000. Genetic parameter estimates for serum insulin-like growth factor 1 concentration and carcass traits in Angus beef cattle. *J. Anim. Sci.* 78: 2305–2313.
- de Vries AG, van der Wal PG, Long T, Eikelenboom G, Merks JWM. 1994. Genetic parameters of pork quality and production traits in Yorkshire populations. *Livest. Prod. Sci.*, 40: 277–289.
- Fernandez A, de Pedro E, Nunez N, Silio L, Garcia-Casco J, Rodriguez C. 2003. Genetic parameters for meat and fat quality and carcass composition traits in Iberian pigs. *Meat Sci.* 64: 405–410.
- Hermesch S, Luxford B G, Graser HU. 2000. Genetic parameters for lean meat yield, meat quality, reproduction and feed efficiency traits for Australian pigs. 2. Genetic relationships between production, carcass and meat quality traits. *Livest. Prod. Sci.*, 65: 249–259.
- Hermesch S, Bunter KL, Luxford BG. 2001. Estimates of genetic correlations between IGF-1 recorded at 4 wk of age and individual piglet weights at birth and 14 days, along with lifetime growth rate and backfat. *Proc. Assoc. Advan. Anim. Breed. Genet. Queenstown, New Zealand*, 14: 227–230.
- Hovenier R, Kanis E, van Asseldonk Th, Westerink NG. 1992. Genetic parameters of pig meat quality traits in a halothane negative population. *Livest. Prod. Sci.*, 32: 309–321.
- Hovenier R, Kanis E, van Asseldonk Th, Westerink NG. 1993. Breeding for pig meat quality in halothane negative populations – a review. *Pig News Info.*, 14: 17N–25N.
- Kuhlers DL, Nadarajah K, Jungst SB, Anderson BL. 2001. Genetic selection for real-time ultrasound loin eye area in a closed line of Landrace pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 72: 225–231.
- Kuhlers DL, Nadarajah K, Jungst SB, Anderson BL, Gamble BE. 2003. Genetic selection for lean feed conversion in a closed line of Duroc pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 84: 75–82.
- Lo LL, McLaren DG, McKeith FK, Fernando RL,

- Novakofski J. 1992. Genetic analyses of growth, real-time ultrasound, carcass and pork quality traits in Duroc and Landrace pigs. II Heritabilities and correlations. *J. Anim. Sci.*, 70: 2387–2396.
- Nakai H, Saito F, Ikeda T, Ando S, Komatsu A. 1975. Standard models of pork colour. *Bull. Nat. Inst. Animal Industry*, 29: 69–74.
- Nakai H, Tanabe R, Ikeda T, Nishizawa M. 1992. Development of a technique for measuring tenderness in meat using a “Tensipresser”. In *Proceedings 38th International Congress of Meat Science and Technology*, pp 947–950. 23–28 August
- National Pork Producers Council. 1991. Procedures to evaluate market hogs, third edition. Des Moines: NPPC.
- Neumaier A, Groeneveld E. 1998. Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet. Sel. Evol.*, 30: 3–26.
- PEST. 1990. PEST User’s Manual. Eildert Groeneveld Institute of Animal Husbandry and Animal Behaviour, FAL, Germany.
- Scanes CG, Lazarus D, Bowen S, Buonomo FC, Gilbreath RL. 1987. Postnatal changes in circulating concentrations of growth hormone, somatomedin C and thyroid hormones in pigs. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 4: 253–257.
- Sellier P. 1998. Genetics of meat and carcass traits. In: Rothschild MF, Ruvinsky A. (Eds.), *The Genetics of Pigs*. CAB International, New York, pp. 463–510.
- Sonesson AK, de Greef KH, Meuwissen THE. 1998. Genetic parameters and trends of meat quality, carcass composition and performance traits in two selected lines of large white pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 57: 23–32.
- Suzuki K, Shibata T, Kadowaki H, Abe H, Toyoshima T. 2003. Meat quality comparison of Berkshire, Duroc and crossbred pigs sired by Berkshire and Duroc. *Meat Sci.*, 64: 35–42.
- Suzuki K, Nakagawa K, Katoh K, Kadowaki H, Shibata T, Uchida H, Obara Y, Nishida A. 2004. Genetic correlation between serum insulin-like growth factor-1 concentration and performance and meat quality traits in Duroc pigs. *J. Anim. Sci.*, 82: 994–999.