

養豚生産体系における豚肉品質特性の向上
に関する総合的研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
博士（農学）学位論文

野口 剛

目 次

第1章 緒論

1 国内の養豚生産と消費動向	1
1-1 養豚の飼養動向	1
1-2 豚肉の消費動向と近年の動き	2
2 消費者ニーズに対応する安心・安全・おいしい豚肉の生産	5
2-1 豚肉の枝肉評価	5
2-2 豚肉の安心・安全への対応	5
2-3 特徴ある豚肉の生産	7
3 本研究の目的	15

第2章 豚肉を中心とした国産食肉の化学成分特性

1 緒言	17
2 材料および方法	17
2-1 原材料	17
2-2 挽肉試料	17
2-3 化学分析	18
3 結果および考察	24
3-1 食肉別挽肉の一般成分	24
3-2 食肉別挽肉の脂肪酸組成	24
3-3 食肉別挽肉の遊離アミノ酸組成	25
4 まとめ	29

第3章 肥育期の低リノール酸摂取量が背脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響

1 緒言	30
2 材料および方法	30
2-1 試験および供試飼料	30
2-2 試験方法	31

2-3 調査項目	31
3 結果および考察	33
3-1 供試飼料と栄養成分摂取量	33
3-2 発育, 枝肉成績	34
3-3 背脂肪内層の脂肪酸組成	35
3-4 栄養成分摂取量と体脂肪の脂肪酸組成等の相関	36
3-5 肉質と体脂肪の脂肪酸組成等の相関	37
3-6 飼料のリノール酸摂取量と体脂肪の脂肪酸組成	39
4 まとめ	42
第4章 肥育期の高度不飽和脂肪酸の給与が豚肉に及ぼす影響	
1 緒言	44
2 材料および方法	44
2-1 試験区分	44
2-2 試験方法	45
2-3 調査項目	46
3 結果および考察	49
3-1 飼料中のビタミンEの変化	49
3-2 背脂肪および肉中の脂肪酸組成	49
3-3 肉質成績	50
3-4 背脂肪および肉中のビタミンEの変化とウィーブ量	51
3-5 背脂肪および肉中の経時的変化	51
3-6 発育成績と枝肉成績	53
4 まとめ	54
第5章 肥育期のアミノ酸摂取量がロース部の筋肉内脂肪含量に及ぼす影響	
1 緒言	56
2 材料および方法	56
2-1 試験および供試飼料	56

2-2 試験方法	57
2-3 調査項目	58
3 結果および考察	60
3-1 発育, 枝肉および肉質成績	60
3-2 栄養成分摂取量とロース部位の筋肉内脂肪含量	62
3-3 L y s 摂取量, 発育成績および背脂肪厚	65
4 まとめ	68

第6章 肥育期の低リジン飼料給与が発育成績, 筋肉内脂肪含量および 筋肉のアミノ酸組成等に及ぼす影響

1 緒言	70
2 材料および方法	70
2-1 試験区分および方法	70
2-2 供試飼料	71
2-3 調査項目	72
3 結果および考察	73
3-1 発育成績	73
3-2 枝肉成績	74
3-3 肉質成績	74
3-4 ロース部の構成アミノ酸	77
3-5 ロース部の遊離アミノ酸	77
3-6 ロース部および背脂肪内層の脂肪酸組成	80
4 まとめ	82

第7章 肉豚の椎骨数遺伝子型と枝肉・肉質形質との関連性の解析

1 緒言	84
2 材料および方法	85

2-1 試験材料および方法	85
2-2 調査項目	85
3 結果および考察	87
3-1 椎骨数の発生頻度と椎骨長	87
3-2 増体量および枝肉成績	88
3-3 肉質成績	89
3-4 背脂肪内層の脂肪酸組成および融点	91
3-5 椎骨数遺伝子型と椎骨数	91
4 まとめ	95
第8章 総合考察	97
Summary	102
謝辞	107
参考文献	108

第1章 緒論

1 国内の養豚生産と消費動向

1-1 養豚の飼養動向

平成23年2月現在における，わが国の豚の飼養頭数は，9,768千頭，飼養戸数が6,010戸になっている（農林水産省大臣官房統計部，2012）。戦後，米作農家による有畜畜産から始まった国内養豚は，庭先養豚と呼ばれ，昭和37年の飼養戸数は100万戸を記録している。その後，庭先養豚と中小農家の廃業が進み，飼養戸数は大幅に減少するとともに，国内の生産量が低下した。その間における，養豚生産を取り巻く環境は，生産者の高齢化と後継者不足，ピッグサイクル等の要件による豚価の低迷，海外の飼料原料依存した配合飼料による生産方式，悪臭による公害問題と糞尿処理，輸入豚肉との競合，新たなウィルス性疾患の国内での発生，国内外での家畜法定伝染病の発生など課題を抱えて進んできた。現在，わが国の養豚は，先進的な生産者が農場の規模を拡大し，母豚千頭以上の養豚生産方式を確立し，現在は2万頭以上の母豚を有する企業養豚が出現するなど，大規模な養豚生産構造に変化している。

昭和30年代からの養豚生産を検証すると，庭先養豚に対応する粗放な飼養に耐え，生産能力が低い中ヨークシャー，パークシャーの中型品種を中心に普及し，零細な頭数による管理方式がとられていた。戦後の経済成長とともに，食肉の需要がいつきに高まった昭和40年に入ると各県に種豚改良センターが設置され，産肉性や発育が優れるランドレース種，大ヨークシャー種，デュロック種などの大型品種が導入され，豚肉の生産量が飛躍的に拡大し，消費者の需要に応える養豚生産体制が整った。昭和50年代に入り，養豚農家の飼養頭数の規模拡大が顕著になったが，後発に開発された周辺の住宅地より，養豚農家に対する悪臭等の公害問題が発生した。これに伴い養豚生産地は，都市近郊から九州，東北などの遠隔地へ移行することとなり，産地間競争が激しくなった（鹿熊，1984）。

養豚における生産量の推移をみると，戦後の社会混乱から経済社会が回復するなかで，豚肉の枝肉生産量は，昭和35年（1960年）が147千トンから，昭和40年（1965年）になると407千トンに拡大した。昭和60年（1985年）は40年の約4倍になる1,532千トン，平成元年（1989年）には1,594千トンになり，35年からみると元年には約11倍に拡大している。しかし，国内生産量は，元年をピークに，その後の生産量が低下した。わが国の豚肉供給は，輸入豚肉に依存する構造に変化して行くことになる。

豚肉に対する輸入自由化は，昭和40年代前半から要請が高まり，昭和46年に差額関税制

度（注 1）に基づく輸入豚肉の自由化が実施された（農林水産省生産局，2005）。昭和 50 年前半に入ると，わが国での慣習の一つである盆暮れの贈答品として，ロースハムに限定された加工製品が珍重されることになる。ロースハムは，豚肉のロース部の肉を原料としており，需要時期が一時期に集中すると，国内生産量だけではこの原料を賄いきれなくなった。デンマークなどから輸入する凍結ロース肉が必需品になり，輸入豚肉が定着し，豚肉の供給は国際的な生産競争時代に突入した。差額関税制度は，当初，安価な輸入豚肉が流通することに対し，国内需給の混乱を防止する方策が採られていたが，平成 5 年（1993 年）のウルグアイランド農業交渉に基づき豚肉の輸入基準価格が引下げられ，その代償として豚肉関税の緊急措置の発動が盛り込まれた（注 2）。しかし，安価な輸入豚肉の歯止めができず，平成の年代に入ると，農産物の対日輸出圧力により，豚価の安い輸入肉が年々増加し，加工原料肉用ばかりでなく，精肉用まで進出することになり，輸入肉の原産地表示のもとに小売店やスーパーで販売されようになった（図 1-1）。

1-2 豚肉の消費動向と近年の動き

わが国における食糧の消費は，昭和 55 年に入ると経済成長とともに大幅に回復し，農業白書のなかで飽食の時代を迎えたと報告された（農林統計協会，1985）。昭和 55 年における食料の栄養摂取量をみると，国民の食料の総熱量供給量は 2500kcal に達している。この内訳をみると国内からの熱量供給量は 62%にとどまり，蛋白質摂取量は 54%，脂質摂取量にいたっては 31%になり（図 1-2），海外からの食料に依存する構造がみられている（安達，1983）。

食肉のなかで豚肉・鶏肉は，国内の購入量が減少し，食肉の消費停滞が顕著になった（図 1-3）。豚肉は供給過剰の状態が続くことになり，国内の卸売り豚価が低迷し，戦後の経済成長とともに養豚農家の経営を行ってきた層のなかで，負債を抱えた農家の離脱が進んだ。国内の養豚基盤を守るために作られた養豚経営安定推進会議（注 3）は，豚肉の生産調整などの方策を講じ，国内の養豚生産者の保護に努めたが，中小農家の廃業に歯止めがかからなかった。国内の枝肉生産量は，平成元年から低下し始め，基盤の縮小が平成 8 年（1996 年）まで続くことになり，枝肉生産量ベースで 1,200 千トン台まで低下し，以降，この水準で推移している。

この間，豚肉の消費は，平成 13 年に日本での BSE 発生（牛海綿状脳症），平成 15 年に米国での BSE の発生，鳥インフルエンザの発生などにより，牛肉，鶏肉の代替による国内の豚肉

需要が高まるが、国内産豚肉の生産量は伸びず、輸入豚肉が増加し、自給率（生産量ベース）が平成 17 年（2005）に 50%まで低下した。平成 20 年に入り輸入豚肉がやや減少し、豚肉の自給率がやや向上しているが、わが国における豚肉の供給体制は、輸入に依存する体質になったことを顕著に表している。

平成 20 年（2008 年）には、世界的な天候不順による小麦などの穀物の不作、米国におけるトウモロコシ由来のバイオエタノール生産量の拡大、穀物市場への投機資金の流入等の穀物を巡る環境が大きく変化した。トウモロコシの価格が上昇し、過去最高値を記録した。これに伴い、配合飼料価格も大幅に上昇することになり、畜産農家の生産費を圧迫した。また、平成 22 年（2010 年）には、宮崎県で豚と牛に家畜法定伝染病である口蹄疫が発生し、豚の殺処分が 220 千頭にのぼり、宮崎県内の養豚農家は壊滅的被害を受けた。

- 注 1. 差額関税制度は国内の豚肉生産を安定的に実施するために、輸入時の関税について、輸入価格に基準税率を乗じて得た額と輸入価格と基準価格との差額のいずれかの大きい額を課す制度。
- 注 2. ウルグアイランドの農業合意により、従来の従価税に加えて、輸入価格が一定以下の部分には従価税を適用せず、重量税が創設された。豚肉関税の緊急措置は年間の輸入累計が一定水準を超えた場合、年度の残り期間に輸入価格を高くする制度。
- 注 3. 豚価の暴落を受けて、昭和 54 年 11 月、養豚関係団体が結集し、肉豚の計画的生産を推進するため養豚経営安定推進会議を設立。

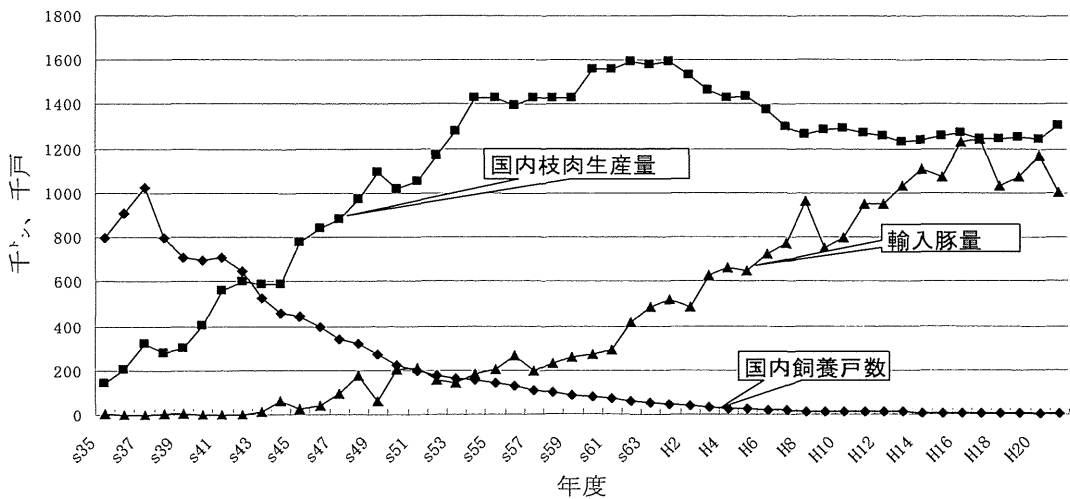


図 1-1 わが国の養豚の生産状況の推移

戸数（千戸）、生産量（枝肉、千トン）、輸入量（枝肉、千トン）

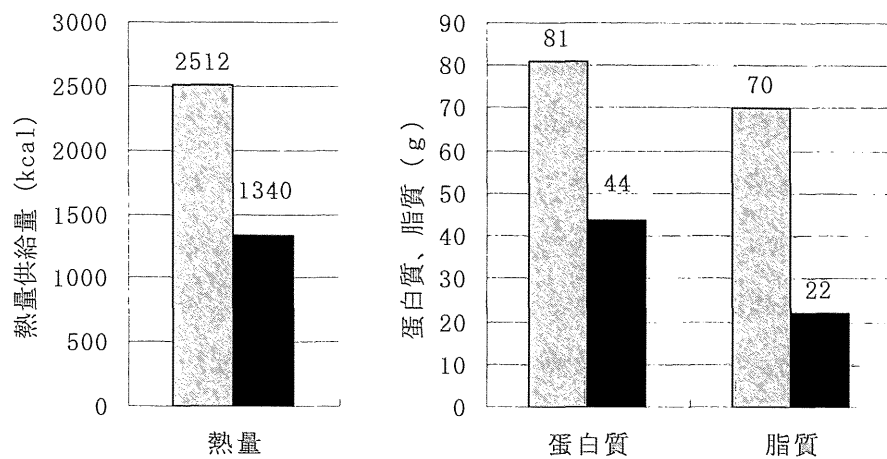


図 1-2 昭和 56 年度 農業白書による国民栄養供給量（1 人 1 日当）
（安達から引用）

 S55 年度の総供給量,
  S55 年度の国内からの供給量（試算）

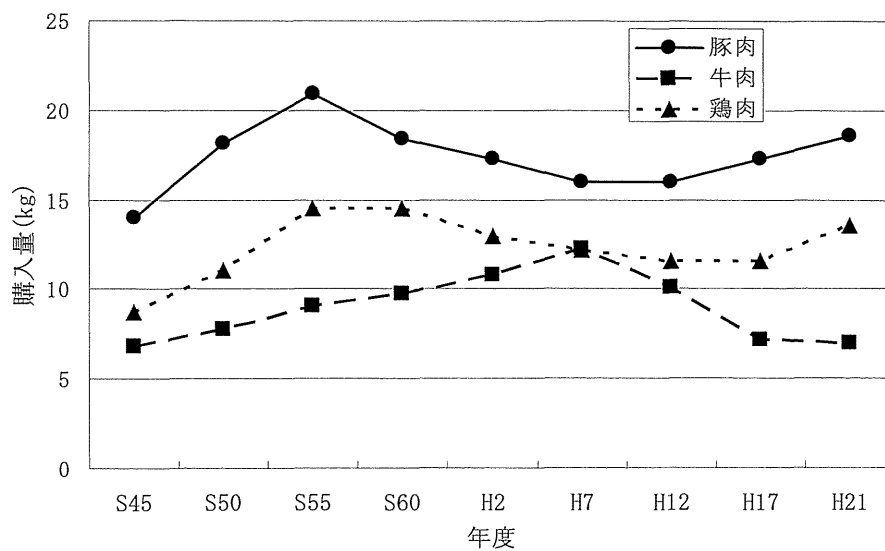


図 1-3 わが国の食肉の購入量の推移

2 消費者ニーズに対応する安心・安全・おいしい豚肉の生産

2-1 豚肉の枝肉評価

豚は、1年間に母豚1頭から約20数頭の子豚を産み、豚肉の生産を行っている。子豚は生まれてから約6ヵ月間に渡り肥育され、生体重110kgになると肥育が終了し、と畜場に出荷される。と畜場では、検査手順に基づき生体検査、解体検査が行なわれ、と畜、放血、内臓摘出、頭部、四肢端、尾部を除去と剥皮を行う解体の一連の処理が行われ、衛生検査に合格し、枝肉となる（図1-4）。枝肉は背柱の中心に沿って左右に背割され半丸と呼ばれる。半丸となった枝肉は、カタ、ロース、バラ、モモに分割され、それぞれ除骨後、余分な脂肪等を整形し、正肉として消費者に販売される。肉豚1頭の正肉割合は約50%とされる。

枝肉は、豚枝肉取引規格に基づき5等級（極上、上、中、並、等外）で評価される（日本格付協会 HP, 2011）。その規格は、①枝肉半丸重量と背脂肪厚（注4）、②外観、③肉質の3項目からなり（図1-5、表1-1）、枝肉の品質欠格に応じて枝肉等級が決定される。生産者から出荷された枝肉は、市場相場等に基づき、等級に応じて格落額が決まり、生産者の販売単価となる。

わが国の豚枝肉規格は、赤肉量と共に、枝肉の姿、体脂肪の蓄積量と質が等級判定の大きな要件になる（斎藤不二夫, 1969）。特に、背脂肪の厚さ、さらに脂質の硬さと色拓が厳しく評価される。枝肉の体脂肪の質が評価されるため、豚の肥育後期の飼料内容が重視される。一方、近年に入り、欧米では、枝肉の姿による評価でなく、枝肉中に赤肉量が何%あるかで枝肉等級を判定する科学的な評価法を採用している（Chadwick, 1988）。

豚枝肉の格付成績は、平成21年の上物率が47.4%であったが、22年には上物率が約47.1%にやや低下し、中物率が34%、並物率が14%、等外が5%になった（表1-2）。等級「上」には入れない「中」になった理由は、枝肉重量が小さい70kg以下になると枝肉の姿が劣るとされる「均称」、肉量が少ない「肉付」による要因が多く、枝肉重量が大きい70kg以上になると脂肪付着が多い「厚脂」による要因が多くなる。次いで、脂肪付着が少ない「薄脂」、肉質の不良、脂肪の質が劣る要因が取り上げられている（日本格付協会, 2011）。

2-2 豚肉の安心・安全への対応

平成22年において、国内の食肉需要量は、豚肉が2,373千トン、鶏肉が1,731千トン、牛肉が1,182千トンになり、豚肉が食肉の中で第1位を占めている。（日本食肉協議会, 日本食

肉加工協会，2011)。

わが国の養豚は，生産規模の拡大が進む中で，海外から輸入したトウモロコシ，大豆粕主体の配合飼料を給与する飼育方法が普及し，豚肉の品質が均一化している。これにより，豚肉は，消費者からは，いつでも手に入る良質なタンパク源の食材として，調理アイテムの中に定着している。一方，先に記述したように豚肉供給は自給率が 50% 台に落ち込み，輸入肉との競合状態になるなかで，消費者からは，安全で安心できる，おいしい国産豚肉を求める声が高まっている。

生産面からの取り組みとして，消費者に安全で健康な豚肉を届けるために，疾病の少ない SPF 豚 (Specific Pathogen Free: 特定病原菌不在の豚) の生産が拡大している (日本 SPF 豚協会編，1985)。特に，農協系では平成 14 年頃から SPF 豚 150 万頭構想を掲げ，新しい SPF 豚農場建設を積極的に行ない，生産量が拡大している。SPF 豚の豚肉は消費者から安全で臭みのないさっぱりした味として評価されている (東京食肉市場，1993，中井，2006)。

さらに，養豚においても食の安全を消費者に伝えるトレーサビリティシステムが検討された。平成 13 年に，全国家畜畜産物衛生指導協会 (2001) から「養豚経営における衛生管理について」という冊子なかで具体的な実施内容を解説している。実際に，養豚生産農場のなかで安全性を検証する管理が行われ，飼料や動物用医薬品等の生産資材を正しく使用し，それらを記録，保存し，いつでも消費者に生産情報を開示できる生産現場と消費地を結びつけたシステムが実施されている (原，2005)。農林水産省でも，養豚農場の飼養衛生管理について危害分析・重要管理点 (HACCP) の考え方を取り入れた基準を提案し推進している (農林水産省消費・安全局，2009)。

養豚用配合飼料は，「飼料の安全性の確保及び品質改善に関する法律」(通称，飼料安全法) により (農林水産省消費・安全局衛生管理課，2005)，使用できる抗生剤等の薬剤は，発育ステージ別に明確に決められている。わが国では，生体重 70kg から出荷まで給与する配合飼料には抗生剤等の薬剤が添加できない無薬飼料になり，豚肉に薬剤が残留しない生産体系がとられている。一方，米国は肥育終了まで一部の抗生剤の使用が認められている。

国内生産の豚肉は，有利販売に結びつけるために 300 以上の銘柄豚 (食肉通信社，2009) がみられている。銘柄豚は，①中小生産者をグループ化することで地産地消と結び付けた豚肉，②地域の生産地名を冠とした豚肉，③企業養豚による大ロット生産の豚肉，④バークシャーの純粋品種により差別化を図った黒豚生産，⑤遺伝子組み換え作物を使わない飼料で飼

育した豚肉，⑥いも類や大麦を給与した豚肉，⑦SPF 豚を掲げた豚肉等になり多様な展開となっている。豚肉を銘柄化することは，生産者，生産地が明確になり，消費者に対し安心・安全を担保している面もみられている。

2-3 特徴ある豚肉の生産

(1) 飼料の栄養成分と豚肉の体脂肪の性状

飼料安全法の中で飼料とは，「家畜等の栄養に供することを目的として使用されるもの」と定義されている。

飼料成分は，飼料に含まれる家畜の栄養代謝に関与する物質で栄養学的，科学的に類似したものをまとめて分類し，蛋白質，脂質，炭水化物，無機質，ビタミン等となる。

炭水化物は，消化によってブドウ糖やガラクトースなどの単糖類に分解され，小腸から吸収されて肝臓に入り，多くはグリコーゲン（エネルギーの貯蔵庫）として肝臓に貯えられ，一部は，ブドウ糖として血液中に入り，生体のエネルギー源となる。過剰な養分は脂質に転換され体内に中性脂肪（トリグリセリド）として蓄積する。

蛋白質は，消化によってアミノ酸に分解され小腸から吸収され，体の各組織の蛋白質に合成されて体細胞の主な成分となる。蛋白質はアミノ酸が 20 種類以上結合した非常に大きな高分子化合物であるが，蛋白質が加水分解するとアミノ酸になる。体内を構成するアミノ酸は 20 数種類になり，体内で必要に応じてアミノ酸を別のアミノ酸に変えることができる。このうち，リジン，メチオニン，シスチン，トレオニン，イソロイシン，ロイシン，トリプトファン，バリンなどの 8 種類は豚の体内で合成できないため，必須アミノ酸といわれて，飼料から栄養養分要求量を満たすことが必要となる。養豚用飼料のなかで，トウモロコシ，大豆粕主体の飼料を給与すると，発育に影響するアミノ酸のなかで最初に不足するのがリジンとされ，第一制限アミノ酸といわれている。ついで，重要なアミノ酸はトレオニン，トリプトファン，メチオニン，シスチン，イソロイシンがあげられている。

脂質は，大半が小腸で吸収され，体内でのエネルギー源として使用される。その後，余分な脂質は体脂肪として組織に蓄積する。体脂肪は，生命を維持するカロリー源として重要な役割と環境温度や機械的衝撃から生体を保護する役割を果たしている。豚の体脂肪は，グリセロールに 3 つの脂肪酸がエステル結合したトリグリセリドとして蓄積している。豚脂の脂肪酸組成は，化学式に 2 重結合がない飽和脂肪酸と 2 重結合がある不飽和脂肪酸で構成され

ている。

飼料中の栄養成分である炭水化物および脂質は、体内でカロリーとして利用され、過剰な養分は、体脂肪中にパルミチン酸 (C16:0)、ステアリン酸 (C18:0)、オレイン酸 (C18:1) 等として蓄積する。これらの脂肪酸は体内でお互いに生合成されるため、内因性脂肪酸と呼ばれる。飼料中に含有している2価の不飽和脂肪酸であるリノール酸は、体内で合成できないとされ、飼料から摂取したものが体脂肪に蓄積するため、外因性脂肪酸と呼ばれている。リノール酸は、細胞膜の構造などの生体維持に係わり、生体内に必要な成分になるため、栄養成分から必須脂肪酸と呼ばれている (図 1-6)。

豚の体脂肪は、給与された飼料の内容で影響を受けて、体脂肪のパルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸の脂肪酸組成の割合が変動することになる。炭水化物が多いいも類、麦類の穀物を多給与すると体内で生合成される内因性脂肪酸が多くなり、リノール酸の少ない、良質で硬い脂肪が生産される (入江, 1989)。わが国で最も多く使われているトウモロコシは、いも類、麦類に比べて成分中の粗脂肪量が高いため、トウモロコシの代替として、いも類や麦類を多く使用し、豚の体脂肪の質が優れることを特徴とした銘柄豚生産が多くみられる。

さらに、飼料中に含まれる特定の脂肪酸についても、給与することで豚の体脂肪に蓄積することが推定される。魚油に含まれる高度不飽和脂肪酸は健康維持に有効であるといわれているため (藤巻, 1999)、肉中に移行すれば機能性成分を持つ豚肉生産が可能になる。

(2) 豚肉質に影響する諸要因

豚の肉質は、給与する飼料と深い関係があり、優れた肉質の豚肉を生産するためには、飼養管理マニュアルに沿った適切な飼料給与が必要である。何らかの飼養管理失宜によって蛋白質の摂取量が要求量を満たさない場合は、発育が遅れるとともに過剰のエネルギーが脂肪となって蓄積され厚脂になる。反対に蛋白質の摂取量が過剰な場合には、脱アミノ反応により脂肪蓄積に必要なエネルギーが不足して薄脂になる。豚への栄養管理は生産された畜産物の性状に大きく影響してくる。

また、飼料摂取量が肉質、枝肉生産におよぼす影響の例をみると、肥育期における給餌方法として常時飼料が食べることができる不断給餌法と飼料が制限される制限給餌法がある。一般に、制限給餌を行うと体内の脂肪蓄積が抑えられ、飼料効率が改善され、背脂肪厚が薄くなる。大規模養豚においては一つの豚房に十数頭を入れた飼養管理が一般的になっており、

このなかで、飼料を制限すると豚房の群内の発育にバラツキがみられるなど生産性の低下がみられる。さらに、豚房内の弱い豚は飼料を十分に摂取できないと枝肉の背脂肪が薄くなり（西ら，1993）、不飽和脂肪酸含量のリノール酸が増加して背脂肪の融点が低下し、薄脂による格落や体脂肪が柔らかくなる軟脂豚の原因となる（野口，1979）。このため、大規模養豚において飼料タンクから自動給餌ラインで飼料を粉餌で与える不断給餌による飼養管理を行っており、制限給与法はほとんど行っていない。現在、ヨーロッパで普及している飼料と水を混合して給与量をパソコンで管理できるリキッドフィーディングという飼養管理方式が、わが国でも一部の農場に導入され、大規模農場でも制限給与方式が可能になり、成績向上が図られている報告がみられている（畜産技術協会，2003a）。

厳冬期に飼料摂取量が不足した場合や、肥育豚が疾病に罹患し、体内の消耗が激しい場合には、蓄積していた体脂肪が特異的にエネルギー源として利用されることになる。この時、融点の高い飽和脂肪酸がエネルギーとして優先的に消費され、融点の低い不飽和脂肪酸が体内に残るといわれ、体脂肪の性状は薄脂や軟脂豚になり易いわれている（入江，1989）。このため、飼養管理にあたっては、環境、衛生対策は十分配慮しなければならない。

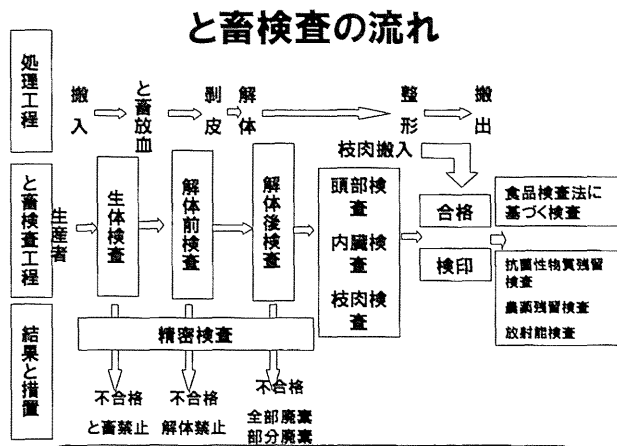
また、豚の飼養管理のなかで、肥育用の雄は生まれてすぐに去勢されるため、豚肉生産において性別（雌，去勢）の特徴が発育や枝肉形質に差がみられる。去勢豚は、雌豚に比較して不断給餌すると飼料摂取量が5～15%多くなり、日増体量が良くなるが、枝肉の背脂肪が厚なり、枝肉評価として厚脂による格落が増加する傾向にある。雌は、去勢豚に比べ発育が遅れるが、背脂肪厚が薄く、ロース断面積が大きく、肉量が多くなるとされ（全国農業組合連合会，2000）、性別を踏まえた飼養管理が重視されている。

（3）豚肉質の評価の考え方

食肉を評価するに当たっては、肉を食べる前に視覚で、肉の色、光沢、形状などから食肉の情報を得ながら、次に、調理した肉を食し、味・香り・テクスチャー（食感）・風味などを口の中で認識し、経験的に食味の好みを判断するといわれている。具体的には、豚肉のおいしさの評価は、①食肉の第1番目の購入因子となる適度な肉色を保持している、②物理的な特性である保水性が良好で、ドロップの発生が少ない、③肉が熟成し、やわらかくなり、旨味成分のグルタミン酸、イノシン酸が形成されている、④ロース芯等の部位に適度な筋肉内脂肪含量（サシ）が入っている、⑤肉の風味が良く、脂肪中のオレイン酸が多いなどで判定されるといわれている（入江，2002）。

肉の風味、食味を改善するとされるサシは、筋肉内の筋束間・筋線維間に脂肪細胞が沈着することである。豚肉と和牛では筋線維の構造が異なるため、豚肉のサシは和牛と違いがあるとしている（星野，1990）。サシの遺伝率は比較的高く（Sellier, 1998），育種改良のプログラムに組み込めば遺伝的改良は十分可能あるといわれている。栄養面からは飼料中のアミノ酸水準がサシの蓄積に関っている報告がみられている（Katsumata *et al.*, 2005）。しかし，豚肉におけるサシと肉の硬さ等の品質について報告がみられるが，一定した見解になっていない（DeVol *et al.*, 1988）。

全農飼料畜産中央研究所における先行研究のなかで，肉中のサシと食味，各脂肪酸と食味との関連を調べた。食味得点は1から5段階で評価し、得点が高いほど食味が優れる。その結果，肉中のサシが多くなると食味得点が良くなり，統計的に1％水準で有意な関係が認められた（図 1-7）。一方，体脂肪の性状を示す各脂肪酸との関連では，オレイン酸が多くなると食味得点が良くなり，統計的に5％水準で有意な関係が認められた（図 1-8），リノール酸が多くなると食味得点が悪くなり，統計的に5％水準で有意な関係が認められた（図 1-9），一方，ステアリン酸が変動しても食味得点に影響が認められなかった（図 1-10）。これらのことから，豚肉においても肉中の脂肪含量や脂肪酸などの質が肉のおいしさに関与していることを示している。



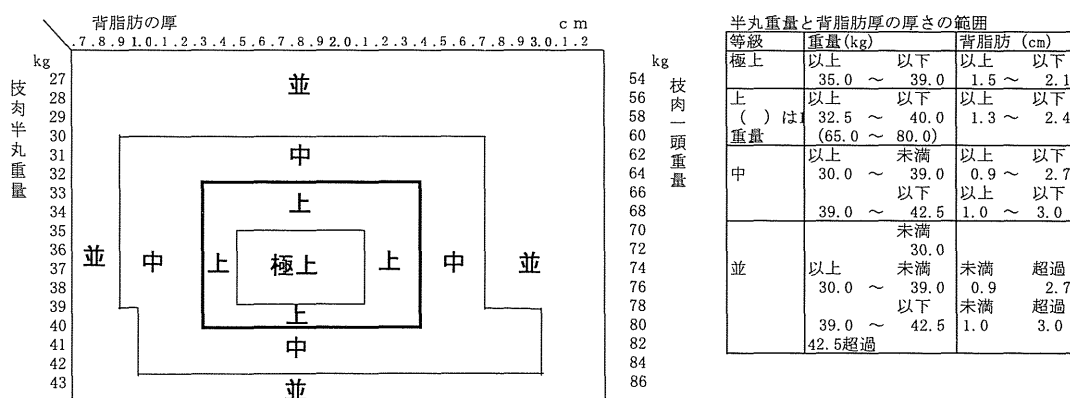
生体検査…と畜前の家畜が健康であるかを検査する。申請書や診断書のチェック、さらに各個体毎に望診、視診、触診を行い異常の有無を調べる。その結果に基づき、①一般と室で処理、②病畜と室、③と畜禁止の三つの取り扱いに区分する。

解体前検査…放血する際の血液性状などを検査し、異常があれば解体を禁止する。

解体時検査…解体の際のと体の色、臭気などについて観察し、異常があれば作業停止、必要に応じて精密検査を行う。

解体後検査…と畜検査の中心的な検査で、解体後のと体各部について視診及び触診を行う。この検査は①頭部検査、②内臓検査、③枝肉検査の三つに区分され、異常が認められた場合には、全部廃棄、部分廃棄を行う。

図 1-4 豚のと畜検査



枝肉半丸重量と背脂肪の厚さによる等級の判定表（皮はぎ用）

図 1-5 枝肉半丸重量と背脂肪厚による等級判定表（日本格付協会）

注 4 枝肉半丸とは枝肉の背柱の中心に沿って左右に背割りした左右の枝肉、

背脂肪厚は背部で最も薄い部分の厚さ

表 1-1 豚枝肉の取引規格

等級	重量および背外観		肉質			
	脂肪の厚さの範囲 (半丸)	均称	肉づき	脂肪付着	仕上げ	肉の締まりおよびきめ
極上	皮はぎ 32kg 以上 39kg 以下, 1.5cm 以上 2.1cm 以下	長さ、広さが適当で厚く、まも、か、ろース、ばら、か、たの各部がよく充実して、釣合いのとよく、釣合いのもの	厚く、なめらかで肉づきがとくによろしく、枝肉の割合が脂肪の割合より多いもの	背脂肪および腹部脂肪の付着が適度のもの	放血が十分で、疾病などがよく、枝肉の割合が適度のもの	肉の色は、淡灰紅色で、鮮明であり、光沢のよいもの
上	32.5kg 以上 40kg 以下, 1.3cm 以上 2.4cm 以下	長さ、広さが適当で厚く、まも、か、ろース、ばら、か、たの各部が充実し、釣合いのよいもの	厚く、なめらかで肉づきがよ、枝肉の割合が脂肪の割合より多いもの	背脂肪および腹部脂肪の付着が適度のもの	放血が十分で、疾病などがよく、枝肉の割合が適度のもの	肉の色は、淡灰紅色で、鮮明であり、光沢のよいもの
中	30g 以上 42.5kg 以下, 0.9cm 以上 2.7cm 以下	長さ、広さ、全体の形、各部の釣合いにいいもの	厚く、なめらかで肉づきがよ、枝肉の割合が脂肪の割合より多いもの	背脂肪および腹部脂肪の付着に大きな欠点のないもの	放血が十分で、疾病などがよく、枝肉の割合が適度のもの	肉の色は、淡灰紅色で、鮮明であり、光沢のよいもの
並	30kg 未満 42kg 超過, 0.8cm 未満 3.0cm 超過	長さ、広さ、全体の形、各部の釣合いにいいもの	厚く、なめらかで肉づきがよ、枝肉の割合が脂肪の割合より多いもの	背脂肪および腹部脂肪の付着に大きな欠点のないもの	放血が十分で、疾病などがよく、枝肉の割合が適度のもの	肉の色は、淡灰紅色で、鮮明であり、光沢のよいもの
等外	(1) 以上の等級のいずれにも該当しないもの (2) 外観または肉質のとくに悪いもの (3) 黄豚または脂肪の質のとくに悪いもの	(4) 杜臭そのほか異臭のあるもの (5) 衛生検査による割除部の多いもの (6) 著しく汚染されているもの				

(日本格付協会)

表 1-2 豚枝肉の格付成績 (%)

年次	調査頭数	極上	上	中	並	等外
H22年	12,267	千 0.1	47.1	34.4	13.5	5
H21年	12,267	千 0.1	47.4	33.9	13.7	4.9

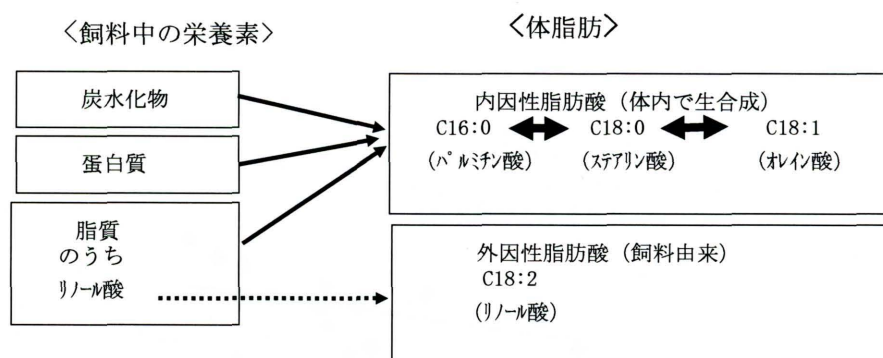


図 1-6 飼料中の栄養素と体脂肪

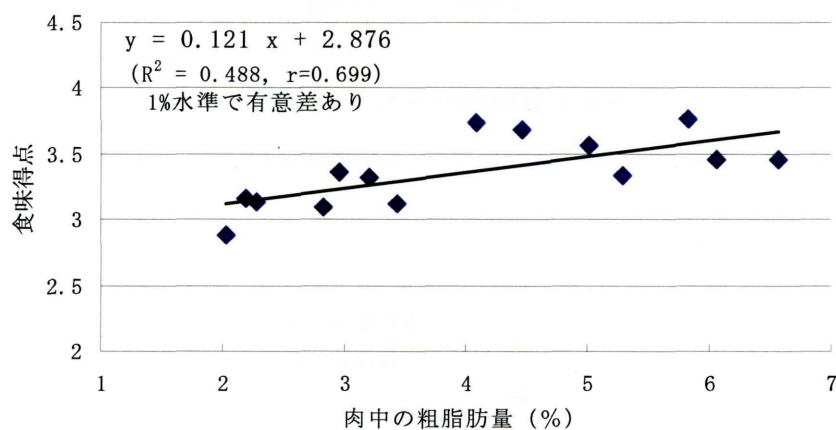


図 1-7 肉中の粗脂肪量と食味得点

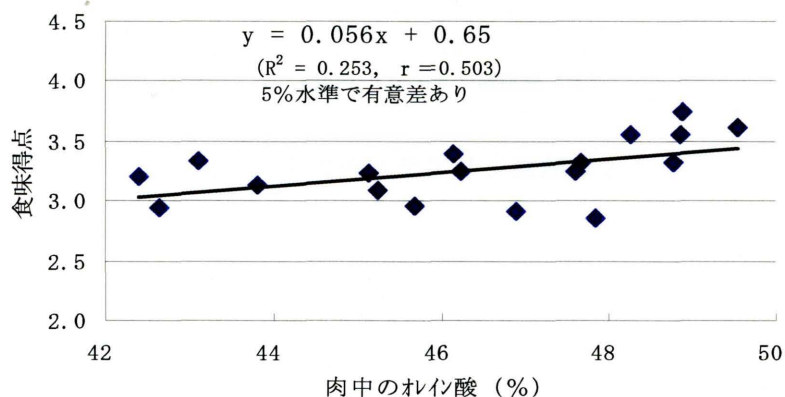


図 1-8 肉中のオレイン酸組成と食味得点

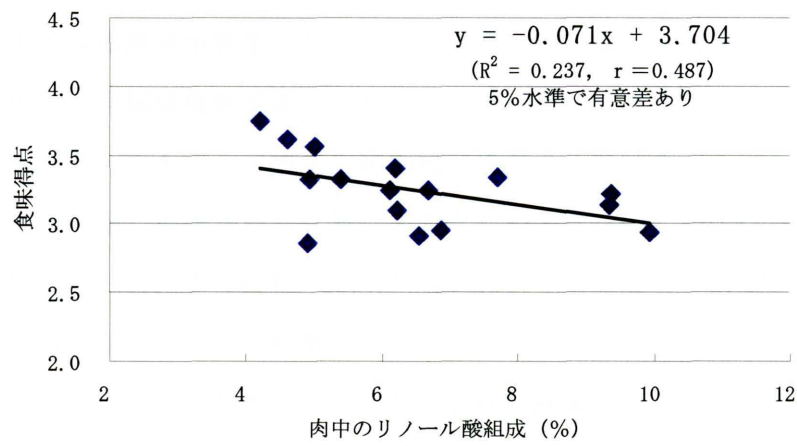


図 1-9 肉中のリノール酸組成と食味得点

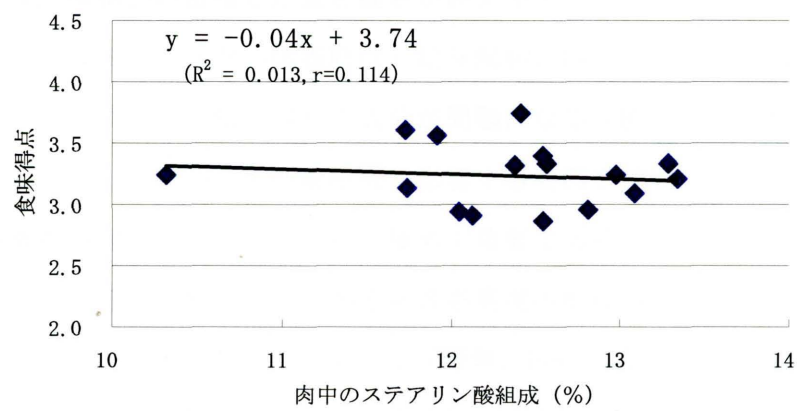


図 1-10 肉中のステアリン酸組成と食味得点

3. 本研究の目的

わが国の養豚生産は、戦後の高度成長経済が進むなかで飽食の時代に入り、豚肉は、供給過剰に陥り、中小規模農家が脱落するなかで、価格の安い輸入豚肉との競合となっている。今後の国産豚肉は、大規模養豚が確立されるなかで、おいしさ等による品質の差別化が求められ、さらに、安心・安全で合理的な生産方式が追求されている。

畜肉のなかで牛肉は、筋肉内脂肪含量であるサシが多く、特に和牛は和牛香といわれる好ましい香りを持つといわれる（松石，2007）。鶏肉は、うま味成分であるグルタミン酸等の含量が多い（藤村ら，2006）などの特徴を有しているため、鍋料理の素材として重宝されている。一方、豚肉は、肉の味の特性が少ないといわれ、欧米において、豚肉はハムやソーセージなどの加工原料としての位置づけが高いが、わが国の豚肉は、精肉用としての生肉流通が大きなウェートを占めている。家庭では豚の生肉を用いて「とんかつ」などを調理しているため、肉色を含めた豚肉の品質の特徴を明らかにすることは、畜肉の中における豚肉の科学的評価につながり、消費者における購入動機の根拠となると推定される。

豚肉の枝肉は、体脂肪の蓄積した量と硬さが評価要因になり、出荷までの仕上げ期の飼養管理が重要になる。また、豚肉の体脂肪は、給与飼料の内容により大きく影響するため、特に4ヶ月以降に給与する肥育期用飼料の成分が問題になる（勝俣ら，2009）。この時期における栄養成分摂取量が、体脂肪の脂肪酸組成に影響する要因を網羅的に解明することが豚肉の品質保持、特徴ある豚肉を生産するに当り極めて重要である。

魚油に含まれている脂肪酸の系列である ω 3系高度不飽和脂肪酸（EPA，DHA）は、人の生体において機能性的な効果が報告されている（藤巻，1999）。飼料中にこの脂肪酸を添加することにより、肉や脂肪に移行すれば特別な畜産物になる。しかし、高度不飽和脂肪酸を含んだ畜産物は過酸化脂質が形成されやすく、保存性、食品としての適正等に問題が生じてくることが示唆されている。この課題を克服することが生産現場での実用化につながる。

おいしい豚肉を生産する方法が検討されるなかで、ロース部の筋肉内脂肪含量を蓄積させる生産方法が育種面および栄養面から研究が行なわれ、数多く報告されている。特に、育種面からは、デュロック種等の系統造成（Suzuki *et al.*，2005，兵頭，1997）のなかで、栄養面では、肥育期にパン屑の給与や飼料中のリジン水準が筋肉内脂肪蓄積に関与することが明らかにされている（岩本ら，2007，家入ら，2007，大津ら，2009，Castell *et al.*，1994，芦原，2009）。本技術を生産現場で使用するためには、筋肉内脂肪含量に関与するリジン水準

の分岐点を明らかにするとともに栄養面からみると成長の第一制限アミノ酸とされるため、発育等への影響を明らかにする必要がある。

本研究の中で、3元交雑の肉豚を用いて、栄養水準を中心に豚肉の品質改善を総合的に探求しているが、豚においても遺伝子分野からの研究が大きく発展している。豚の椎骨数とその遺伝子を特定する技術が確立され、椎骨数遺伝子診断により豚個体の遺伝子の判定が可能になっている。豚は品種改良により、イノシシの椎骨数が19個であったものが、豚の品種改良により、20～24個を持つ変異型がみられている（戸原ら，1983a）。これまで豚の肉質や生産性を判定する指標として、豚の椎骨数は、枝肉形質、産肉性の関係について取り上げられている。新しい遺伝子診断技術を活用し、豚肉の肉質の品質判定や生産性の向上に用いることは今後の養豚生産の発展に寄与するものである。

以上のことから、養豚生産体系における豚肉品質特性の向上を図るために、おいしい豚肉生産の重要な観点になる飼料中のアミノ酸、リノール酸等の脂肪酸、可消化養分総量（TDN）、粗蛋白質、粗脂肪、炭水化物等における栄養成分摂取量が、生産された肉質および体脂肪の品質への影響を調査し、養豚の生産現場での実用化を図っていくものである。

本研究は、①牛肉、鶏肉といった他の畜肉と比較して、豚肉の化学成分の特性を明らかにすること、②体脂肪の品質特性が優れた特徴ある豚肉生産法を明らかにすること、③体脂肪に機能性成分を含む豚肉生産法を明らかにすること、④豚肉に筋肉内脂肪含量（サシ）を入れたおいしい豚肉の生産法を明らかにすること、さらに、⑤遺伝子解析に基づく手法を取り入れた豚個体の遺伝子に基づく肉質の品質と生産性向上との関連に明らかにすることについて検討した。これらの研究は、養豚における新しい生産技術の開発、消費者の要請に応えるとともに輸入豚肉に対抗し、わが国の養豚生産における競争力の強化・維持拡大に結び付くものである。

第2章 豚肉を中心とした国産食肉の化学成分特性

1 緒言

わが国において、豚肉・牛肉・鶏肉は、常に購入できる食材であり、それぞれ異なった化学成分組成を有する。また、同種の肉でもロース、モモ、スネ、バラなどの部位により、化学成分組成が大きく異なる。上記の畜肉は、重要な蛋白質、カロリー、ミネラル、ビタミン源になるため、栄養素となる化学成分は、畜種別、部位別に詳細な分析値が日本食品標準成分表（文部省科学技術・学実審議会 資源調査分科会，2005a）のなかで報告されている。また、畜肉における水分・脂肪・蛋白質などの一般成分、食味に関係するアミノ酸、及び、異種間で違いが大きい脂肪酸組成については、豚肉が Suzuki *et al.* (2006)、牛肉が小堤ら (1985)、鶏肉が Hargis *et al.* (1993) により畜種別に報告されている。しかし、これらの報告は、各肉畜間における化学成分値の比較を十分に行っていない。今後、畜肉のなかで豚肉の特性を明らかにすることは、豚肉の生産方式を検討するに当たり重要な基礎的な資料となる。

本章では、豚肉、牛肉、および鶏肉において部位別に試料を集め、肉中の水分、脂肪、蛋白質の一般成分、肉中の脂肪酸組成、および遊離アミノ酸組成について分析し、牛肉、鶏肉と比較した豚肉の特性を取りまとめた。

2 材料および方法

2-1 原材料

豚肉、牛肉、鶏肉を原材料とした。豚肉は、全農飼料畜産中央研究所において 110kg まで飼育した肉豚を当研究所内のと畜場でと畜し、翌日、部分肉（ロース、モモ、スネ、バラ）に解体したものを 5 日間熟成させて原材料とした。牛肉は、F1 交雑種から部分肉（ロース、モモ、スネ）に加工し、2kg ずつ真空包装したものを㈱全農ミートフーズから購入、原材料とした。これらの牛肉はと畜後、数十日経ており、肉の熟成が進んでいた。鶏肉は、十文字チキンカンパニーで飼育し、全農チキンフーズ（宇都宮営業所）で加工したモモ、ムネ肉（2kg 包装）を購入、原材料とした。

2-2 挽肉試料

部位別の豚肉、牛肉、鶏肉を挽肉に加工し供試材料とした。各原材料を約 3cm 角のブロッ

ク肉に細切し，その細切した肉を用いて直径 3.2mm のプレートを装着した電動式キッチンミキサー（ボニーBK-220，以後キッチンミキサー）を用いて試料を作製した。1 試料当たり約 280g の挽肉を供試した。

試験では，豚肉，牛肉，鶏肉の畜種別の挽肉を供試し，豚肉と牛肉ではロース，モモ，スネからそれぞれ畜種を計 90 試料，鶏肉ではモモ，ムネから計 70 試料を抽出し試験に用いた。水分，粗タンパク質，粗脂肪，および脂肪酸組成の分析は豚肉，牛肉が 90 試料，鶏肉は 70 試料したが，遊離アミノ酸の分析は豚肉，牛肉が 60 試料，鶏肉は 40 試料で行った。試験で供試した挽肉試料の数を表 2-1 に示した。

表 2-1 供試した食肉

肉種	部位	試料数	合計
豚肉	ロース	24 (20)	90 (60)
	モモ	35 (20)	
	スネ	31 (20)	
牛肉	ロース	23 (20)	90 (60)
	モモ	35 (20)	
	スネ	32 (20)	
鶏肉	モモ	35 (20)	70 (40)
	ムネ	35 (20)	

() は遊離アミノ酸の分析点数

2-3 化学分析

挽肉試料の化学分析（水分，粗蛋白質，粗脂肪および脂肪酸組成）は「日本食品標準成分表 分析マニュアル」(文部省科学技術・学術審議会 資源調査分科会食品成分委員会, 2005)，遊離アミノ酸組成は食品分析法（日本食品工業学会・食品分析法編集委員会，1982）に基づいて分析した。

水分は常圧加熱乾燥法に基づき測定した。すなわち，風袋質量を予め測定したアルミニウム製秤量容器に，挽肉を更にキッチンミキサーで 20 秒間ホモジナイズした試料約 2 g を採り，送風定温乾燥機（WF0-610SI，東京理化）を用いて 135℃で 2 時間乾燥した。乾燥後，乾燥機内で秤量容器に蓋をして，それをシリカゲルの入ったデシケーター内で約 40 分間放冷し，室温に戻した試料の質量を電子天秤（メトラー，測定精度 0.001g）で測定し，乾燥前後の質量から水分含量を求めた（図 2-1）。

粗脂肪は，ソックスレー抽出法に基づき分析した。すなわち，前述の分析用試料 2 g を精

秤し、精秤した試料を円筒ろ紙に入れ、それを 99℃で 2 時間乾燥させた。乾燥した試料が入った円筒ろ紙を抽出管に挿入し、所定の方法によりジエチルエーテルを加え、16 時間抽出した。抽出終了後、脂肪定量瓶のジエチルエーテルを回収し、脂肪定量瓶を乾燥、放冷後に精秤した。抽出前後の質量から粗脂肪を求めた。なお、脂肪定量瓶の乾燥は 99℃2 時間、放冷はシリカゲルの入ったデシケーター内で約 50 分間の条件で行なった（図 2-2）。

粗タンパク質はケルダールオート法に基づき分析した。前述の分析用試料 2 g を精秤し、精秤した試料をケルテック分解瓶に入れ、市販の分解促進剤（硫酸銅と硫酸カリウムの混合品）と 15ml 濃硫酸を加え、その分解瓶を分解装置（ケルテックオート TD2520 オートリフト フォスジャパン）にセットし、420℃で 2 時間分解した。放冷後、80ml の蒸留水を加えた。オートサンプラー（ケルテックオート 2400/2460 サンプラー、フォスジャパン）にセットし、蒸留・滴定を行い、粗タンパク質を求めた。なお、試料の蒸留・滴定を行う前には分解瓶に蒸留水を入れ、蒸留・滴定を行い、ブランク値を求めた（図 2-3）。

脂肪酸組成は、前述の分析用試料 3～15g（脂質として 0.3g 以上採取できる量）にクロロホルム：メタノール（2：1）を 50ml 加え、ホモジナイズし、吸引ろ過により溶媒を取り除き、分液ロートに移し、0.8%塩化カリウムを加えて、振とう、静置し、ロータリーエバポレーターで溶媒を取り除き乾固し、脂質を抽出した。抽出した脂質は 0.5N 水酸化ナトリウム・メタノール溶液を加え水浴上で加熱還流し、けん化を行い、三フッ化ホウ素メタノール、ヘキサンを加えメチル化した。ヘキサンに転溶後、分離し、無水硫酸ナトリウムで脱水し、脂肪酸のメチルエステルをガスクロマトグラフィー（島津 CG18A）にかけて測定した（図 2-4）。

遊離アミノ酸は、分析用試料 3～5g に蒸留水 20ml を加え、ホモジナイザーで攪拌し抽出し、遠心分離を行い、ろ過する。ろ液に 10%トリクロル酢酸を等量混合し、除蛋白した後アミノ酸自動分析計（日立 L 8900）で測定した（図 2-5）。

測定項目は遊離アミノ酸（アスパラギン酸、グルタミン酸、グリシン、アラニン、トレオニン、プロリン、セリン、グルタミン、フェニールアラニン、チロシン、アルギニン、ロイシン、イソロイシン、バリン、メチオニン、ヒスチジン、リジン）、ジペプチド（アンセリン、カルノシン）、尿素、アンモニア等の約 40 種類とした。

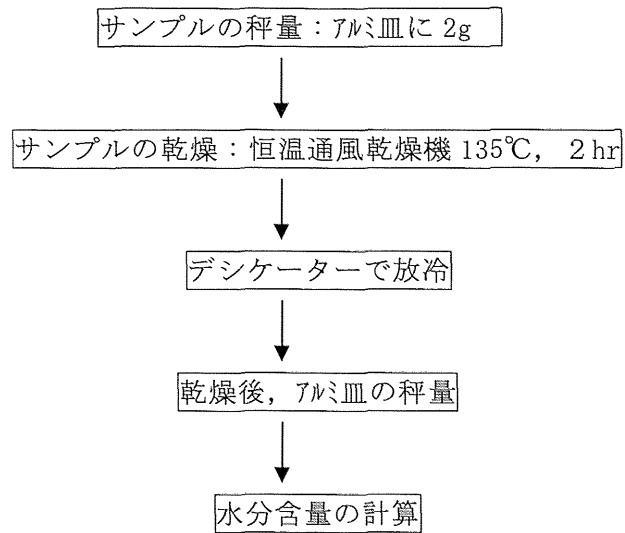


図 2-1 肉中の水分の測定手順

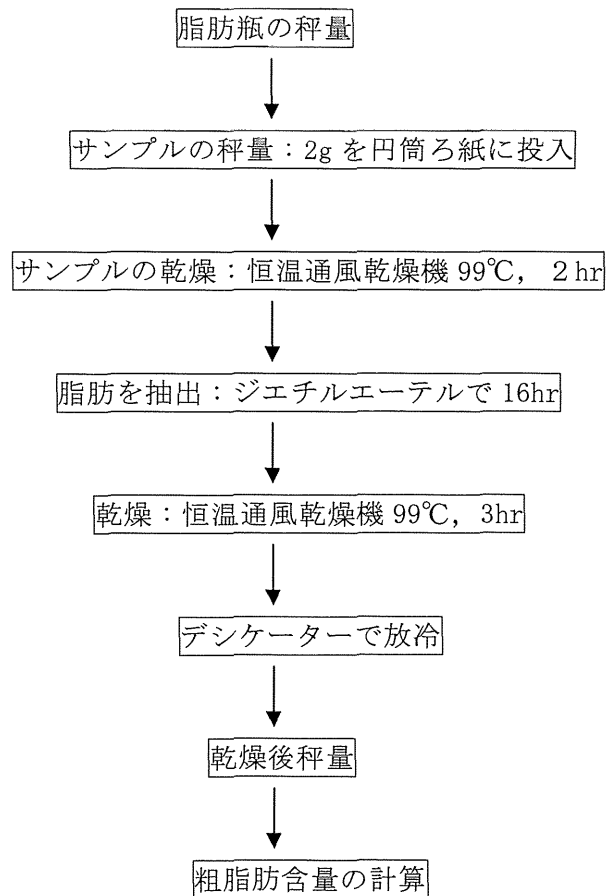


図 2-2 肉中の粗脂肪の測定手順

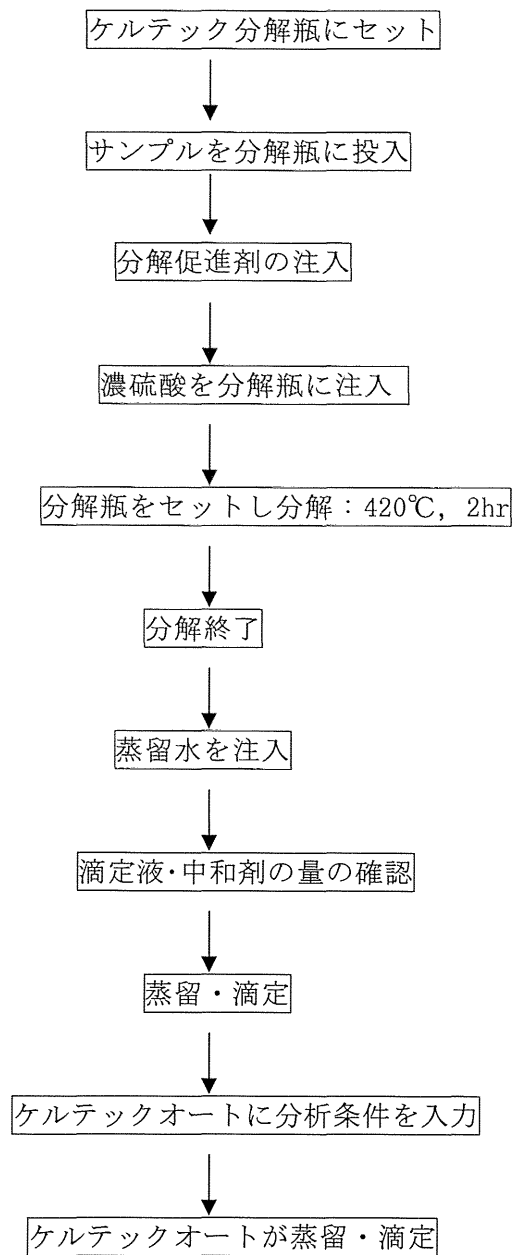


図 2-3 肉中の粗蛋白質定量（ケルテックオート法）手順

<脂質の抽出>

サンプルの秤量：肉を約 3～15g 三角フラスコに投入



ホモジナイズ：クロロホルム 2:メタノール 1 混合液



溶媒を除去：ロータリーエバポレーター



洗浄：クロロホルム 2:メタノール 1 混合液



抽出物を分液ロートに移行



塩化カリウムを添加：振とう後静置



溶媒を取り除き乾固：ロータリーエバポレーター



<メチルエステル化>

サンプルの秤量：脂質をフラスコに計量



ケン化：水酸化 Na・メタノール混液で加熱還流



メチルエステル化：三フッ化ホウ素メタノール，ヘキサンで加熱還流



水洗：分液ロートで振とう，静置分離



脱水：ヘキサン層



ガスクロマトグラフィーに注入

《ガスクロマトグラフィーの分析条件》

カラム：ULBON HS-SS-10 0.25mm×25m, キャリーガス：ヘリウムガス, 注入温度：250℃,

カラム温度：215℃5 分保持, 検出器：水素炎イオン化検出器

図 2-4 肉中の脂肪酸組成の測定手順

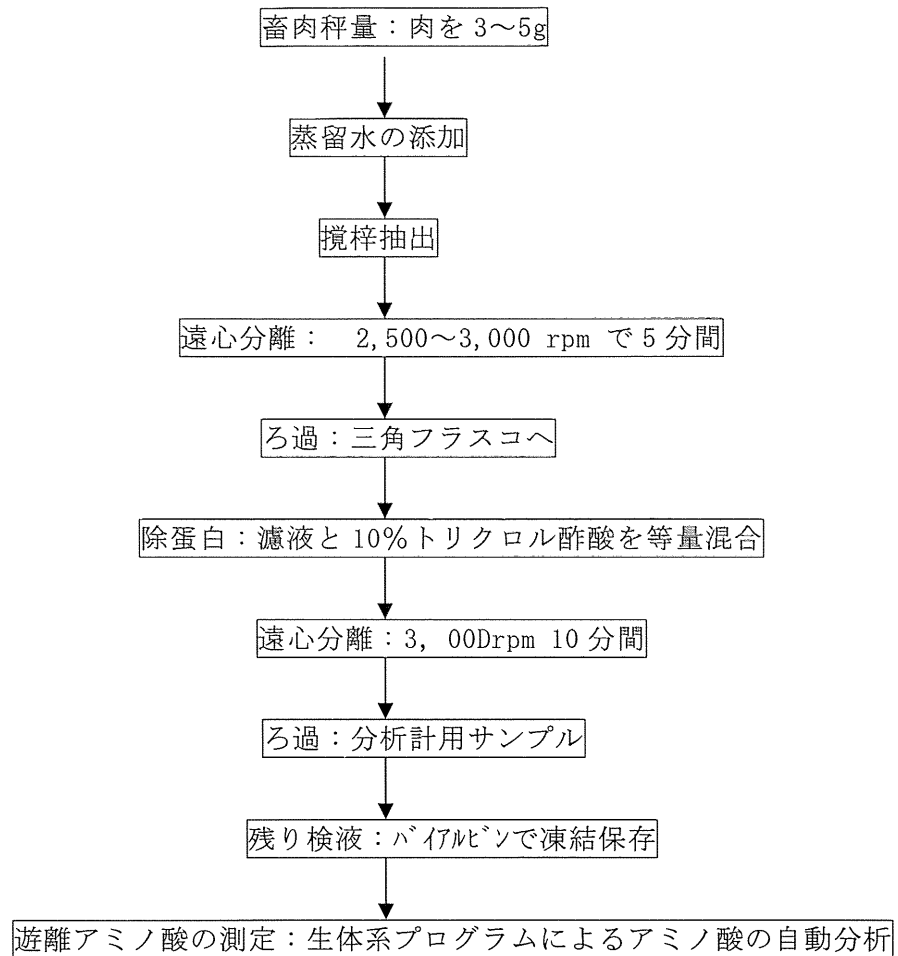


図 2-5 肉中の遊離アミノ酸の測定手順

3 結果および考察

3-1 食肉別挽肉の一般成分

豚肉、牛肉および鶏肉の部位別における挽肉の一般成分値の結果を図 2-6, 2-7, 2-8 に示した。粗脂肪含量は、豚肉の場合ロース、モモ、スネでの値はさほど変化はなく、順に 7.2%, 5.3%, 7.4% であった。牛肉の場合ロース、モモ、スネで、その値が大きく異なり、順に 27.0%, 15.4%, 9.4% であった。鶏肉の場合、その値はモモで 13.2%, ムネで 5.9% と大きく異なった。粗タンパク質含量は粗脂肪含量ほど部位別による違いはなく、豚肉で 19.8~21.3%, 牛肉で 17.5~20.1%, 鶏肉で 17.4~21.5% の範囲であった。部位別による水分含量の違いは粗脂肪含量と逆の傾向を示した。すなわち、粗脂肪含量の最も高い牛肉のロースでは最も低い水分含量を、粗脂肪含量の最も低い豚肉のモモで最も高い水分含量を示した。

以上のように、一般成分値の含量は部位による違いが大きく、畜種別の各一般成分値の傾向も明確でないことから、一般成分値による畜種の差を判定することは難しいと考えられた。

3-2 食肉別挽肉の脂肪酸組成

豚肉、牛肉、および鶏肉における挽肉の脂肪酸組成を表 2-2 に示した。豚肉、牛肉はロース、モモ、バラで、鶏肉はムネ、モモの部位別に分析を行っているが、部位による脂肪酸組成は差が少ないため、食肉別の全試料の平均値とした。

豚肉のパルミチン酸 (C16:0)、ステアリン酸 (C18:0)、オレイン酸 (C18:1) およびリノール酸 (C18:2) は、それぞれ 24.0%, 13.1%, 46.2%, および 8.4% になり、牛肉で見られたミリストレイン酸 (C14:1)、ペンタデカン酸 (C15:0) は検出されなかった。

牛肉の C16:0, C18:0, C18:1 および C18:2 は、それぞれ 22.8%, 8.7%, 51.3%, および 3.4% になり、C18:2 が少ない傾向にあり、豚、鶏肉で見られたドコサペンタエン酸 (C22:5) およびドコサヘキサエン酸 (C22:6) は検出されなかった。

鶏肉の C16:0, C18:0, C18:1 および C18:2 はそれぞれ 23.3%, 6.5%, 44.6%, および 14.4% になり、C18:2 が牛肉、豚肉より高く、牛肉で見られた C15:0, および C15:1 は検出されなかった。

C18:1 は牛肉、豚肉、鶏肉の順に少なく、C18:0 は豚肉、牛肉、鶏肉の順に少なく、C18:2 は牛肉、豚肉、鶏肉の順に多くなった。飽和脂肪酸は豚肉が最も高くなり、不飽和脂肪酸は鶏肉が最も高くなった。リノール酸とステアリン酸の比 (C18:2/18:0) は、豚肉が 0.58~0.85,

牛肉が 0.28～0.45 およびで鶏肉が 2.18～2.28, 食肉による差が明らかで, 牛肉が最も硬く, 豚肉, 鶏肉の準であった。

特定の脂肪酸において 3 つの食肉間で差が見られ, 豚肉, 牛肉および鶏肉における挽肉の脂肪酸組成のなかで, 縦軸にステアリン酸, 横軸にリノール酸をとった試料の散布図を図 2-9 に示した。各食肉の試料には部位別の挽肉が含まれているが, 3 つ食肉での分布に重なりはなく, 食肉の違いが明らかになった。

3-2 食肉別挽肉の遊離アミノ酸組成

豚肉, 牛肉, および鶏肉の部位別における挽肉の遊離アミノ酸を表 2-3, 図 2-10 に示した。豚肉, 牛肉はロース, モモ, バラで, 鶏肉はムネ, モモの部位別に分析を行っているが, 取りまとめは食肉別の全試料の平均値とした。遊離アミノ酸は呈味特性で取りまとめ(小俣, 1986), 旨味アミノ酸はアスパラギン酸とグルタミン酸の合計, 甘味アミノ酸はグリシン, アラニン, トレオニン, プロリン, セリン, グルタミンの合計, 苦味アミノ酸はフェニールアラニン, チロシン, アルギニン, ロイシン, イソロイシン, バリン, メチオニン, ヒスチジン, リジンの合計, ジペプチドはアンセリン, カルノシンの合計とした。

総遊離アミノ酸は豚肉が 168.0mg/100g, 牛肉が 272.2mg/100g, 鶏肉が 499.2mg/100g であった。旨味アミノ酸は豚肉が 14.0mg/100g, 牛肉が 20.6mg/100g, 鶏肉が 98.5mg/100g, このなかの呈味に最も関わりとされるグルタミン酸は豚肉が 10.2mg/100g, 牛肉が 16.6mg/100g, 鶏肉が 66.6mg/100g であった。甘味アミノ酸は豚肉が 90.8mg/100g, 牛肉が 147.6mg/100g, 鶏肉が 201.0mg/100g, 苦味アミノ酸は豚肉が 44.2mg/100g, 牛肉が 75.3mg/100g, 鶏肉が 171.5mg/100g, ジペプチドは豚肉が 445.4mg/100g, 牛肉が 242.9mg/100g, 鶏肉が 533.2mg/100g であった。

総遊離アミノ酸含量は鶏肉が最も高く, 豚肉より 3 倍, 牛肉より約 2 倍であった。また, 鶏肉のグルタミン酸は豚肉, 牛肉より約 6 倍含まれていた。アミノ酸が 2 つ結合しているジペプチドのうち豚肉はカルノシンが高く, 鶏肉はアンセリンが高い特徴を有した。畜種の遊離アミノ酸は畜種により明らかな特徴を有していた。

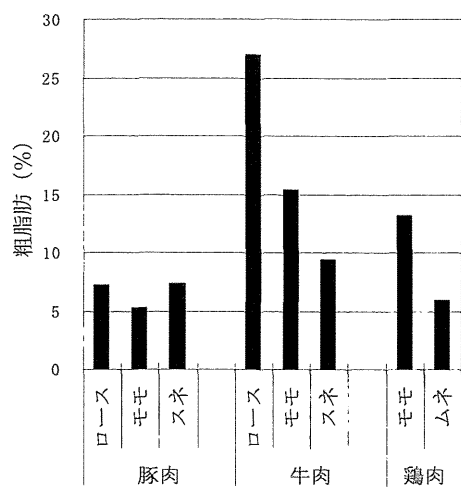


図 2-6 食肉別, 部位別における
粗脂肪

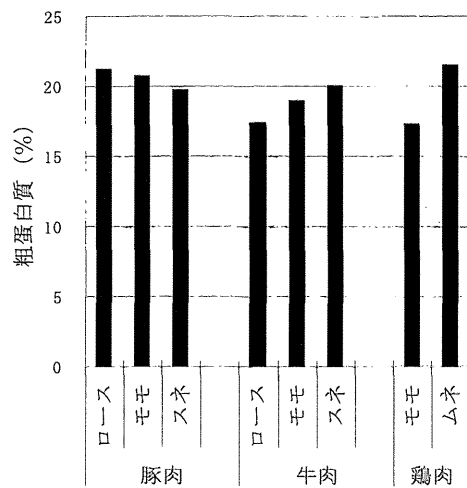


図 2-7 食肉別, 部位別における
粗蛋白質

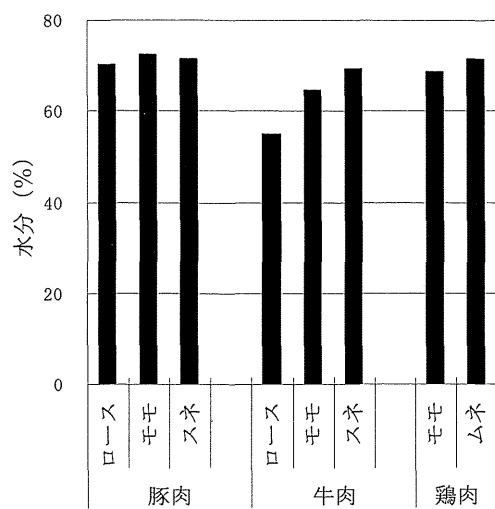


図 2-8 食肉別, 部位別における
水分割合

表 2-2 豚肉，牛肉および鶏肉の脂肪酸組成等

脂肪酸の項目		豚(n=90)		牛(n=90)		鶏(n=70)	
		平均値	偏差	平均値	偏差	平均値	偏差
ミリスチン酸	C14:0	1.2	± 0.1	2.3	± 0.5	0.8	± 0.0
ミストレイン酸	C14:1	—		0.9	± 0.3	0.2	± 0.0
ペンタデカン酸	C15:0	—		0.3	± 0.2	—	
パルミチン酸	C16:0	24.0	± 1.2	22.8	± 2.3	23.4	± 0.7
パルミトレイン酸	C16:1	2.5	± 0.3	5.0	± 0.8	5.7	± 0.6
ヘプタデカン酸	C17:0	0.3	± 0.1	0.7	± 0.1	0.2	± 0.0
ヘプタデセン酸	C17:1	0.5	± 0.2	0.9	± 0.2	0.2	± 0.1
ステアリン酸	C18:0	13.1	± 1.7	8.7	± 1.6	6.5	± 0.6
オレイン酸	C18:1	46.2	± 2.1	51.3	± 3.1	44.4	± 1.2
リノール酸	C18:2	8.4	± 1.7	3.4	± 0.7	14.4	± 0.7
リノレン酸	C18:3	0.3	± 0.1	0.1	± 0.0	0.8	± 0.0
アラキジン酸	C20:0	0.2	± 0.0	0.4	± 0.1	0.1	± 0.0
イコセン酸	C20:1	0.7	± 0.1	0.3	± 0.1	0.5	± 0.1
イコサジエン酸	C20:2	0.3	± 0.1	0.0	± 0.0	0.1	± 0.0
アラキドン酸	C20:4	0.9	± 0.3	0.4	± 0.2	0.9	± 0.3
トコサヘンタエン酸	C22:5	0.1	± 0.0	—		0.2	± 0.1
トコサヘキサエン酸	C22:6	0.2	± 0.0	—		0.3	± 0.1
飽和脂肪酸	SFA	38.4	± 0.5	35.2	± 3.8	31.0	± 0.8
不飽和脂肪酸	unSFA	60.4	± 2.8	62.4	± 3.5	67.8	± 1.3
SFA/unSFA		1.6	± 0.2	1.8	± 0.3	2.2	± 0.1
C18:2/C18:0		0.7	± 0.2	0.4	± 0.1	2.2	± 0.2
未同定脂肪酸		1.2	± 0.5	2.4	± 0.6	1.2	± 0.5

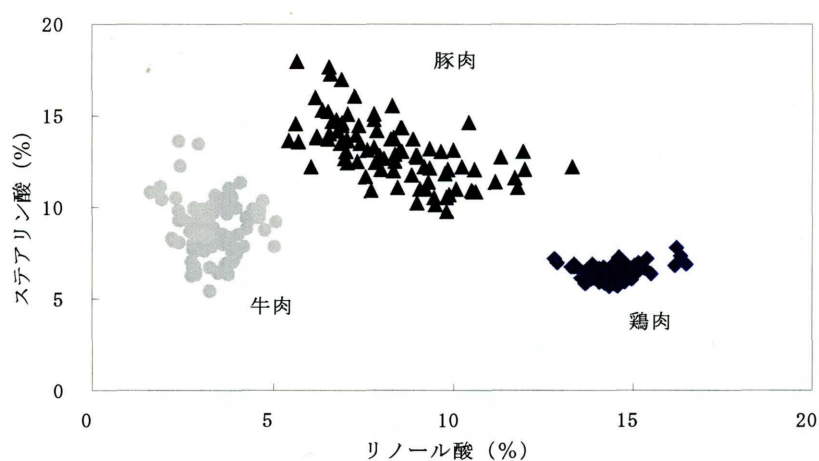


図 2-9 豚肉，牛肉，鶏肉におけるリノール酸および
ステアリン酸の分布

表 2-3 肉種における呈味別遊離アミノ酸

項目	豚肉 (n=60)	牛肉 (n=60)	鶏肉 (n=40)
アスパラギン酸	3.8	3.9	31.8
グルタミン酸	10.2	16.6	66.6
旨味アミノ酸の計	14.0	20.6	98.5
グリシン	13.6	10.3	27.3
アラニン	24.7	40.0	42.6
トレオニン	5.7	9.2	25.2
プロリン	5.1	6.3	21.7
セリン	6.4	11.6	31.0
グルタミン	35.2	70.2	53.2
甘味アミノ酸の計	90.8	147.6	201.0
フェニルアラニン	4.7	9.6	13.7
チロシン	4.9	1.7	13.5
アルギニン	5.8	6.4	23.3
ロイシン	7.4	15.3	26.8
イソロイシン	4.3	8.0	15.9
バリン	5.4	11.3	22.7
メチオニン	2.7	5.9	11.8
ヒスチジン	3.0	5.6	17.4
リジン	6.0	11.7	26.4
苦味アミノ酸の計	44.2	75.3	171.5
総遊離アミノ酸計	168.0	272.7	499.2
アンセリン	19.0	44.4	359.1
カルノシン	426.3	198.5	174.0
ジベプチド計	445.4	242.9	533.2

単位：mg/100g

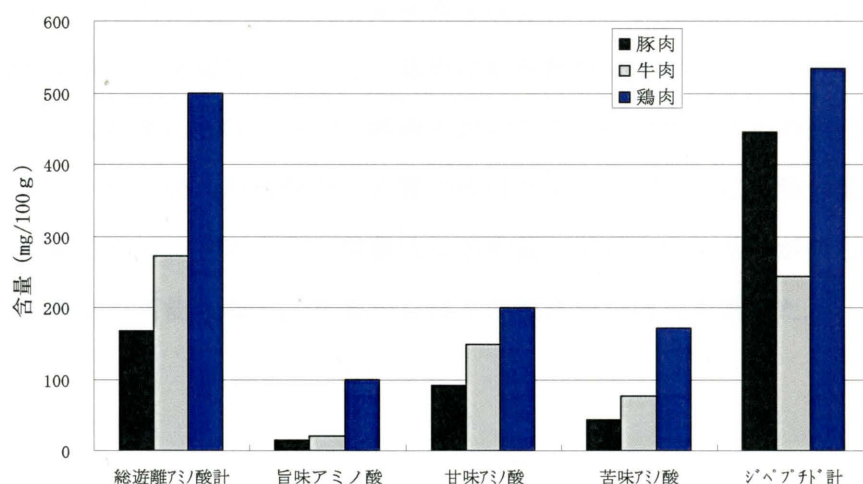


図 2-10 食肉別遊離アミノ酸組成

4 まとめ

豚肉を中心とした牛肉、鶏肉の国産食肉における一般成分（水分、粗脂肪、粗蛋白）、肉中の脂肪酸組成および遊離アミノ酸組成について栄養成分を畜種間で比較した。得られた知見は次のとおりである。

- (1) 豚肉、牛肉、および鶏肉の部位別における挽肉の一般成分の含量は部位による違いが大きく、畜種別の各一般成分含量の傾向も明確でないことから、一般成分による食肉の差を判定することは難しい。
- (2) 肉中のオレイン酸は牛肉、豚肉、鶏肉の順に少なく、ステアリン酸は豚肉、牛肉、鶏肉の順に少なくなり、リノール酸は牛肉、豚肉、鶏肉の順に多くなった。リノール酸とステアリン酸の比（C18:2/18:0）は、牛肉、鶏肉および豚肉で明かに差がみられた。
- (3) 畜種の遊離アミノ酸なかで、鶏肉は、総遊離アミノ酸、呈味に影響するグルタミン酸が豚肉、牛肉より明らか多くなった。
- (4) アミノ酸が2つ結合しているジヘプチドのうち鶏肉はアンセリンが高く、豚肉はカルノシンが高い特徴を有した。

本章の結果より、豚肉、牛肉、鶏肉における化学成分のなかで、豚肉は、牛肉や鶏肉のモモに比べると肉中の粗脂肪含量が比較的少なく、ステアリン酸などの飽和脂肪酸が高くなった。豚肉の遊離アミノ酸は、鶏肉・牛肉より明らかに低く、違いがみられることがわかった。藤村ら（2006）は、鶏肉において飼料と呈味有効成分について報告しており、西村（2008）は食肉に関わる呈味成分を報告している。豚肉は給与飼料により、体脂肪の品質が変化するといわれているが（高橋正也ら，1968），豚肉のおいしさを引き出すための生産法に関する報告が少ないなかで、体脂肪の脂肪酸などの質の改良を図り、筋肉中に脂肪含量を増加させるなどの改善が求められる。どのような栄養成分が肉質に関わっているかが明らかになれば、おいしい豚肉生産法が可能となる。次章からはこの観点から研究を進めた。

第3章 肥育期の低リノール酸摂取量が背脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響

1 緒言

前章では、畜肉なかでの豚肉の品質特性について触れたが、本章においては、豚が体内に取り入れる栄養成分が体脂肪の性状にどのように影響するかについて検討した。

養豚肥育期における飼料中の油脂は、体脂肪の性状に関与していることが明らかにされている (Dahl *et al.*, 1965, Koch *et al.*, 1968, 高橋正也ら, 1968)。また、わが国において戦後間もない頃から、都市近郊で人が食べ残した残飯を集めて豚に給与する飼育が行なわれていた (篠原, 1979, 大成, 1986)。回収した残飯中に油脂が多く残っているため、豚に給与すると昼夜冷蔵しても体脂肪が柔らかくてしまらない枝肉が高率に発生し、軟脂豚として嫌われている。軟脂豚は、2 価の不飽和脂肪酸であるリノール酸 (C18:2) が過剰に蓄積することによるとされている (井坂, 1977, 野口, 1978, 1981, 大武, 1983)。近年、大規模化が進むなかで飼養管理が配合飼料の中心の給与体系になり、ひどい軟脂豚は見られなくなっているが、体脂肪のしまりがやや劣る枝肉は、流通現場で問題になっている (野口, 1984)。一方、肥育期用飼料にいも類や麦類を多配し、リノール酸が少ない飼料を給与することにより、体脂肪の改善をうたった銘柄豚が多くみられるが、体脂肪のリノール酸がどの程度まで低下するかは十分に判っていない。種々の栄養条件が豚の体脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響について、網羅的に解析することは、合理的な食肉の生産・流通システムの構築の観点からもデータの蓄積・整備が求められている。

本章は、肥育期における飼料中のリノール酸、オレイン酸等の脂肪酸、炭水化物、可消化養分総量 (TDN)、粗脂肪、蛋白質等の栄養成分摂取量が豚の背脂肪の脂肪酸組成への影響を検討した結果を取りまとめた。

2 材料および方法

2-1 試験および供試飼料

全農飼料畜産中央研究所は、所内で生産された 3 元交雑肉豚を用いて継続的に肉質関連の肥育試験を行っており、そのなかの試験データを活用し、栄養成分摂取量が体脂肪の組成にどのように影響するかを取りまとめた。

供試飼料は、肉豚肥育期用飼料 (マッシュ) として、㈱東日本くみあい飼料の鹿島工場で製造し、栄養成分と原料が異なる 77 種類の飼料を用いた。飼料原料は、穀類がトウモロコシ、

グレインソルガム（マイロ）、小麦、大麦、ライ麦、キャッサバミール、精白米とし、植物性油粕類が大豆粕、ナタネ粕、コーングルテンミールとし、糟糠類が脱脂米ヌカ粕、フスマとし、その他原料が動物性油脂、菓子屑、ビタミン、ミネラル等を使用した。

2-2 試験方法

試験は、当研究所の養豚飼育区内の豚舎において、1区当たり5～6頭の群飼育で行なった。肥育試験は群平均60～70kgの肥育期から開始し、出荷目標の約110kg到達時を終了とした。その後、研究所内のと畜場でと畜解体し、一昼夜冷蔵保管後、枝肉検査を実施し、ロース部の肉と背脂肪内層を採取した。供試豚は当研究所で生産したLWDまたはWLDの3元交雑種肉豚の計406頭を使用した。本研究の取りまとめにあたっては群飼育での平均値を採用したため、試験の母数は77となった。

2-3 調査項目

(1) 供試飼料成分

供試飼料における成分分析は一般成分が水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分とし、飼料分析法・解説2009（農林水産消費安全技術センター飼料分析基準研究会、2010）に基づいて行った。可溶無窒素物（NFE）は炭水化物含量として、水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分の総和を100から引いて求めた。脂肪酸組成は三フッ化ホウ素メタノール法（日本油脂化学会制定、1996）に基づいて行なった。

(2) 発育調査

発育成績は群飼（5～6頭/群）の平均日増体量、群飼の総飼料摂取量から全頭の飼育期間で除して1日1頭当りの飼料摂取量、飼料要求率は飼料摂取量を増体量で除して求めた。各栄養成分の摂取量は群平均の1日、1頭当りの飼料摂取量から求めた。

(3) 枝肉検査

枝肉成績はと畜翌日にわが国の産肉能力検定要領（日本種豚登録協会1991）に基づき枝肉を計測し、枝肉重量、枝肉歩留、と体長、背腰長Ⅰ、Ⅱ、と体幅、背脂肪厚（カタ、セ、コシの3部位）、3分割割合（カタ、ロース・バラ、モモ）、ロース断面積（第5～6胸椎部間上）とした（写真3-1, 3-2, 3-3）。

枝肉重量はと畜後12時間以上冷蔵したと体重とした（冷と体重）。枝肉歩留は冷と体重を

と畜当日の生体重で除した割合とした。体長は恥骨前端から第1頸椎の凹窩部までの直線の長さ、背腰長Ⅰは恥骨前端から第1胸椎前縁までの直線の長さ、背腰長Ⅱは最後腰椎後端から第1胸椎前縁までの直線の長さ、と体幅は第5-6胸椎直上部の幅とした。背脂肪厚は頸椎部より上部のカタで最も厚い部分、セの最も薄い部分、コシで最も厚い部分を測定した。3分割割合は第5-6胸椎との間で背線に直角に切断し、最後腰椎後端ところで背線に直角に切断し、カタとロースとバラ、モモに3分割した重量割合で示した。ロース断面積は5-6胸椎面で切断したカタのカット面のロース部をスリガラスで写し取り、面積を測定した。

(4) 体脂肪の脂肪酸組成の分析

体脂肪の脂肪酸組成の分析は、と畜1日目に第6～13胸椎部上のロース部の背脂肪内層を採取した。脂肪を包丁で細切、ろ紙を引いたロートに乗せ60℃の恒温器で油脂をフラスコに抽出し、肉中の脂肪酸組成の測定手順と同様に実施した（第2章参照）。

ロース部の肉中の粗脂肪量は、と畜1日目に第8～11胸椎部上の肉を採取し、挽肉に処理した後、ソックスレー抽出法に基づき分析した（第2章参照）。

結果の取りまとめにあたって、個体の体脂肪の脂肪酸組成と肉中の粗脂肪量は、群の平均値を用い、栄養成分摂取量と比較した。

(5) 統計処理法

統計処理はExcel 統計 2002（㈱社会情報サービス）の統計機能を用いて、クラスカル・ウォリス検定により区間の検定を行い、各区間の平均値の差はシェッフの方法による多重比較で検定した。

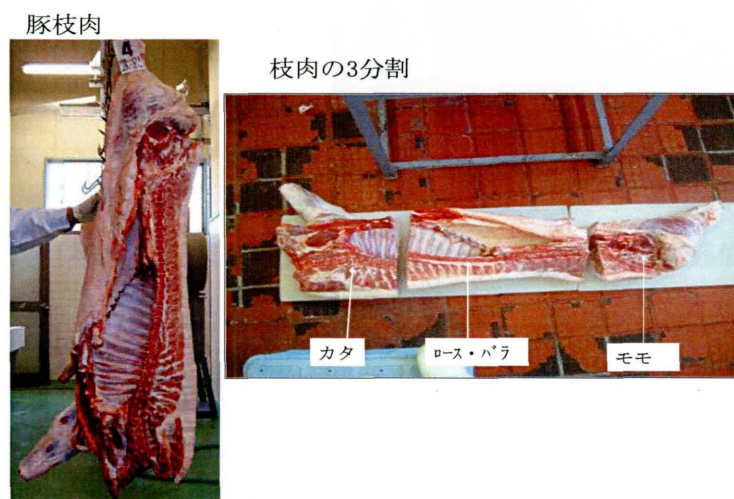


写真 3-1 豚枝肉と分割

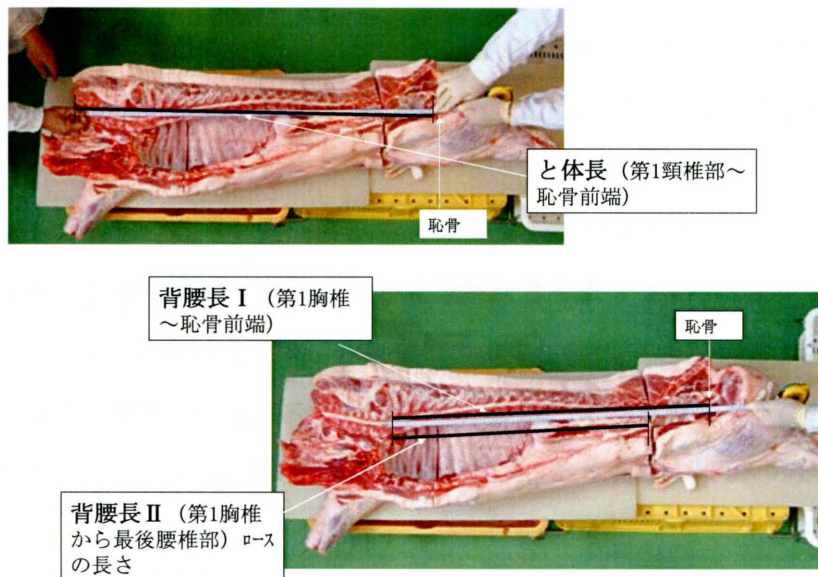


写真 3-2 枝肉の測定法

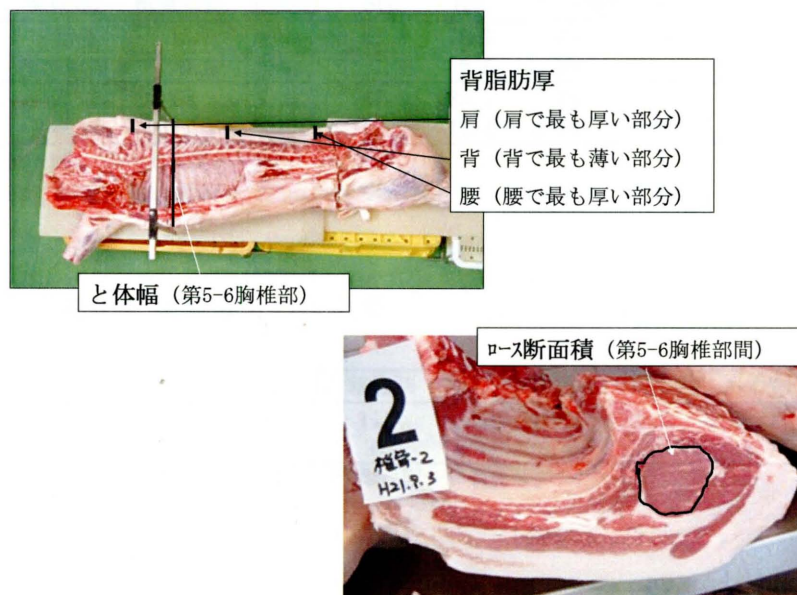


写真 3-3 枝肉の背脂肪厚とロース断面積の測定部位

3 結果および考察

3-1 供試飼料と栄養成分摂取量

供試した飼料成分は表 3-1 に示した。粗蛋白質は平均 13.8%，粗脂肪が平均 3.84%，可溶

無窒素物（NFE）が平均 62.4%，可消化養分総量（TDN）が平均 78.2%であった。飼料中の脂肪酸組成はパルミチン酸が 0.64%，ステアリン酸が 0.18%，オレイン酸が 1.31%，リノール酸が 1.51%であった。飼料中のリノール酸の割合については、最低が極めて低い 0.33%から脂肪のしまりをやややわらかくする 2.23%の間の飼料を給与した。パルミチン酸，ステアリン酸，オレイン酸を合計とした内因性脂肪酸は 2.13%であった。

供試飼料成分分析値に基づき計算した各成分摂取量を表 3-2 に示した。試験期間における 1 日 1 頭当りの TDN 摂取量は 2,249g, 粗蛋白質が 399g, 粗脂肪が 111g, NFE は 1,794g, 一方，脂肪酸のパルミチン酸が 18.3g, ステアリン酸が 5.2g, オレイン酸が 37.9g, リノール酸が 43.7g, 内因性脂肪酸が 61.4g であった。蛋白，脂肪，炭水化物（NFE）の摂取比率は 17：5：78 であった。

表 3-1 供試飼料の成分分析値

項目(%)	粗蛋白質	粗脂肪	NFE	TDN	パルミチン酸	ステアリン酸	オレイン酸	リノール酸	内因性脂肪酸
平均値	13.8	3.84	62.4	78.2	0.64	0.18	1.31	1.51	2.13
標準偏差	0.9	0.99	1.9	2.5	0.29	0.12	0.45	0.36	0.82
最高値	15.2	5.85	67.3	83.1	1.94	0.46	2.22	2.23	3.77
最低値	11.5	1.06	58.7	71.4	0.18	0.04	0.41	0.33	0.65

注1) NFE, TDNは計算値

注2) 内因性脂肪酸はC16:0, C18:0, C18:1の合計

表 3-2 栄養成分の摂取量

摂取量(g)	TDN	粗蛋白質	粗脂肪	NFE	パルミチン酸	ステアリン酸	オレイン酸	リノール酸	内因性脂肪酸
平均値	2,249	399	111	1,794	18.3	5.2	37.9	43.7	61.4
標準偏差	226	53	31	168	8.4	3.4	13.7	11.6	24.4

注) 内因性脂肪酸はパルミチン酸，ステアリン酸，リノール酸の合計

3-2 発育，枝肉成績

今回，取りまとめた母数の 77 群を平均した発育成績は表 3-3 に示した。

試験開始体重は 64.6kg, 試験終了時体重は 112.0kg であった。この期間の日増体量は 818g, 1 日当の飼料摂取量は 2.88kg, 飼料要求率は 3.55 であった。肥育期間の発育成績は，全農が作成したウィークリー養豚マニュアル 2000（全農農業協同組合連合会，2000）が示した日増体量の 792g より優れ，飼料摂取量の 2.81kg よりやや多くなり，飼料要求率の 3.55 と等しくなり，ほぼ標準的な値を示していた。

枝肉成績および肉質成績は表 3-4 に示した。枝肉重量が 74.7kg, 筋肉中の背脂肪厚のカタ, セ, コシの 3 部位平均が 2.82cm, ロース断面積が 25.4cm², ロース部のサシを示す筋肉内脂肪含量が 3.46%であった。

表 3-3 発育成績

項目	開始体重 (kg)	終了体重 (kg)	日増体量 (g/d)	量 (kg/d)	飼料要求率
平均	64.6	112.0	818	2.88	3.55
標準偏差	4.5	3.2	113	0.29	0.37

表 3-4 枝肉および肉質成績

項目	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	ロース断面積 (cm ²)	筋肉内脂肪含量 (%)
平均値	74.7	2.82	25.4	3.48
標準偏差	2.8	0.21	2.5	1.03

注) 背脂肪厚はカタ, セ, コシの3部位の平均値

3-3 背脂肪内層の脂肪酸組成

体脂肪に蓄積した背脂肪内層の脂肪酸組成は表 3-5 に示した。

背脂肪内層のパルミチン酸が 24.9%, ステアリン酸が 15.8%, オレイン酸が 44.0%, リノール酸が 9.16%であった。内因性脂肪酸は 84.6%, リノール酸とステアリン酸の比 (C18:2/C18:0) が 0.58 であった。リノール酸の最低値と最高値は 7.07%から 12.21%になり, C18:2/C18:0 の最低値と最高値は 0.38 から 0.82 であった。体脂肪が明らかに柔らかい軟脂豚は, リノール酸が 19%以上, C18:2/C18:0 が 1.4 以上とされ, 体脂肪のしまりがやや劣る中じまりといわれるものは, リノール酸が 14%以上, C18:2/C18:0 が 0.8 以上とされている (野口 1984)。本研究での C18:2/C18:0 の値はほぼ中じまり以下に当り, 脂肪が硬い範疇にあるなかでの比較になった。

表 3-5 背脂肪内層の脂肪酸組成

項目	パ ル ミ チ ン 酸 (%) C16:0	ス テ ア リ ン 酸 (%) C18:0	オ レ イ ン 酸 (%) C18:1	リ ノ ール 酸 (%) C18:2	内因性脂肪 酸 (%)	C18:2/C18:0
平均値	24.9	15.8	44.0	9.16	84.6	0.58
標準偏差	0.7	1.0	1.4	1.17	1.4	0.09
最高値	26.6	18.4	47.9	12.21	87.7	0.82
最低値	23.0	12.9	40.8	7.07	80.8	0.38

注) 内因性脂肪酸はC16:0, C18:0, C18:1の合計

3-4 栄養成分摂取量と体脂肪の脂肪酸組成等の相関

栄養成分摂取量と体脂肪の脂肪酸組成等との相関は表 3-6 に示した。

飼料中の NFE 摂取量は、体脂肪の内因性脂肪酸含量と正の相関、リノール酸含量および C18:2/C18:0 と負の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。また、体脂肪のパルミチン酸含量との間に 5%水準で有意な正の相関が認められた。炭水化物摂取が多くなると内因性脂肪酸のパルミチン酸が増加し、2 価の不飽和脂肪酸のリノール酸が減少し、蓄積脂肪を硬くなることを示した。

飼料中の粗脂肪摂取量は、体脂肪の内因性脂肪酸含量と負の相関、リノール酸含量と C18:2/C18:0 が正の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。また、体脂肪のステアリン酸含量との間に負の相関があり、5%水準で有意な差が認められた。脂肪摂取が多くなる NFE 摂取量とは逆に、内因性脂肪酸含量の中でステアリン酸含量が減少し、リノール酸含量が増加し、蓄積脂肪が柔らかくなることを示した。

飼料中のパルミチン酸の摂取量は、体脂肪の C18:2/C18:0 との間に正の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。また、ステアリン酸含量、内因性脂肪酸含量と負の相関、リノール酸含量と正の相関があり、5%水準で有意な差が認められた。パルミチン酸の摂取量は蓄積脂肪が柔らかくする傾向になることを示した。

飼料中のステアリン酸の摂取量は、体脂肪のステアリン酸含量との間に負の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。

飼料中のオレイン酸の摂取量は、体脂肪のステアリン酸含量、内因性脂肪酸含量と負の相関があり、リノール酸含量、C18:2/C18:0 と正の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。またパルミチン酸含量との間に負の相関があり、5%水準で有意な差が認められた。オレイン酸の摂取量は蓄積脂肪が柔らかくする傾向になることを示した。

内因性脂肪酸の摂取量は、ステアリン酸含量、内因性脂肪酸含量と負の相関、リノール酸含量、C18:2/C18:0 と正の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。内因性脂肪酸の摂取量は、ステアリン酸含量が減少し、リノール酸含量が増加し、蓄積脂肪が柔らかくなることを示した。

飼料中からのリノール酸の摂取量は、体脂肪のオレイン酸含量、内因性脂肪酸含量と負の相関、リノール酸、C18:2/C18:0 と正の相関があり、1%水準で有意な差が認められた。リノール酸の摂取量が多くなると内因性脂肪酸含量が減少し、リノール酸含量が増加し、蓄積脂

肪を柔らかくすることを示した。リノール酸摂取量は相関係数が高く、最も体脂肪の脂肪酸組成に影響していた。

飼料の TDN 摂取量，蛋白質摂取量は，体脂肪中のパルミチン酸含量，ステアリン酸含量，オレイン酸含量，リノール酸含量，内因性脂肪酸含量，C18:2/C18:0 といずれについても有意な相関が認められなかった。

体脂肪中のオレイン酸含量は，リノール酸摂取量との相関が認められたが，炭水化物摂取量，パルミチン酸，ステアリン酸，オレイン酸の摂取量との相関が認められずオレイン酸の増減に関わる要因が不明であった。

3-5 肉質と体脂肪の脂肪酸組成等の相関

肉質と体脂肪の脂肪酸組成等との相関は表 3-7 に示した。背脂肪厚は，体脂肪のパルミチン酸含量と正の相関があり，5%水準で有意な差が認められたが，他の項目との相関が見られず脂肪酸組成との関係が低いと示唆された。

筋肉内脂肪含量（サシ）は，パルミチン酸含量，ステアリン酸含量，内因性脂肪酸含量が正の相関，リノール酸含量，C18:2/C18:0 が負の相関があり，1%水準で有意な相関が認められた。筋肉内脂肪含量の増加は，内因性脂肪酸のなかでも飽和脂肪酸との関係が強いことを示し，脂肪が硬くなる傾向にあった。

ロース断面積は，パルミチン酸含量，ステアリン酸含量，内因性脂肪酸含量と負の相関，オレイン酸含量，リノール酸含量，C18:2/C18:0 と正の相関があり，有意な相関が認められた。ロース断面積が大きくなると飽和脂肪酸が減少し，不飽和脂肪酸が増加する傾向が認められた。Martin *et al.*, (1972) はロース断面積がパルミチン酸含量，ステアリン酸含量と負の相関，オレイン酸含量，リノール酸含量と負の相関があると報告しており，本試験結果と一致していた。

表 3-6 栄養成分摂取量と体脂肪の脂肪酸組成との関係係数

体脂肪	飼料	TDN 摂取量	NFE 摂取量	蛋白質 摂取量	脂肪 摂取量	パルミン酸 摂取量	ステアリン酸 摂取量	オレイン酸 摂取量	内因性脂肪 酸摂取量	リノール酸 摂取量
内因性脂肪酸 リノール酸 C18:2/C18:0	パルミン酸	0.15	0.26*	0.11	-0.22	-0.15	-0.13	-0.22*	-0.20	-0.18
	ステアリン酸	-0.01	0.19	-0.02	-0.25*	-0.24*	-0.29**	-0.30**	-0.30**	0.01
	オレイン酸	0.08	0.08	-0.01	-0.10	-0.03	0.15	-0.03	-0.01	-0.36**
	内因性脂肪酸	0.16	0.36**	0.04	-0.41**	-0.29*	-0.13	-0.37**	-0.33**	-0.46**
	リノール酸	-0.16	-0.34**	-0.07	0.40**	0.28*	0.13	0.35**	0.32**	0.46**
	C18:2/C18:0	-0.13	-0.35**	-0.05	0.41**	0.31**	0.21	0.40**	0.36**	0.36**

注1) 相関の検定は，*が：5%，**：が1%で有意差あり

注2) 内因性脂肪酸はパルミン酸，ステアリン酸，リノール酸の合計

注3) C18:2/C18:0はリノール酸とステアリン酸の比

表 3-7 肉質と体脂肪の脂肪酸組成との関係

体脂肪	肉質	背脂肪厚	筋肉内脂肪 含量	肉質断面積
内因性脂肪酸 リノール酸 C18:2/C18:0	パルミン酸	0.24*	0.35**	-0.44**
	ステアリン酸	0.21	0.46**	-0.42**
	オレイン酸	-0.13	-0.04	0.27*
	内因性脂肪酸	0.14	0.49**	-0.26*
	リノール酸	-0.11	-0.43**	0.28*
	C18:2/C18:0	-0.17	-0.53**	0.39**

注1) 相関の検定は，*が：5%，**：が1%で有意差あり

注2) 内因性脂肪酸はパルミン酸，ステアリン酸，リノール酸の合計

注3) C18:2/C18:0はリノール酸とステアリン酸の比

3-6 飼料のリノール酸摂取量と体脂肪の脂肪酸組成

飼料中のリノール酸摂取量が体脂肪の脂肪酸組成に大きく影響するため、リノール酸摂取量を 24g/d 以下から 10g 間隔で 60g/d 以上まで摂取した量により 5 段階に区分し、体脂肪の脂肪酸組成への影響を調べた結果を表 3-8 に示した。摂取量が 24g 以下は 5 頭となり区分 20 とし、25～34g は 13 頭 (区分 30)、35～44g は 22 頭 (区分 40)、45～54g は 26 頭 (区分 50)、55g 以上は 11 頭 (区分 60) からの平均値で示した。

飼料中のリノール酸摂取量が区分 20 から区分 60 に増加すると、体脂肪のリノール酸含量が連動して 8.27% から 10.24% に増加し (図 3-1)、逆に内因性脂肪酸含量は 85.7% から 83.4% に減少した (図 3-2)。

内因性脂肪酸を構成する個々の脂肪酸組成をみるとパルミチン酸含量はリノール酸摂取量にかかわらず、25% 前後を推移した (図 3-3)。

ステアリン酸含量は 15～16% の間を推移し、区分 40 がピークになる曲線を描いており、リノール酸摂取量に大きく影響を受けなかった (図 3-4)。

オレイン酸含量はリノール酸摂取量の区分 20 が最も高くなっていたが、リノール酸摂取量が増加するに従い減少傾向が認められた (図 3-5)。

リノール酸摂取量における内因性脂肪酸含量への影響はリノール酸摂取量が少ない区分 20 はオレイン酸含量が高く、飽和脂肪酸であるパルミチン酸、ステアリン酸が低い。リノール酸摂取量が区分 40 まで増加するにつれてオレイン酸含量が低くなり、パルミチン酸、ステアリン酸が高くなりなるが、区分 50、区分 60 ではパルミチン酸、ステアリン酸が減少した。

C18:2/C18:0 はリノール酸摂取量が区分 20、区分 30、区分 40 では値が変わらず、硬い脂肪が生産されていた (図 3-6)。リノール酸摂取量が 44g/d 以下であれば脂肪の硬さに大きく影響しないことを示した。摂取量が区分 60 になると C18:2/C18:0 が上昇し、この相関式から推定すると 100g/日 摂取すると C18:2/C18:0 は 0.89 に、さらに、リノール酸の相関式からリノール酸を推定すると 16% になり、軟脂豚に判定される水準に達している (野口, 1984)。本試験から推定した相関式はリノール酸摂取量と体脂肪の硬さとの関係を表していると推察される。一方、低脂肪飼料を給与するとリノール酸が優先的に蓄積する (入江, 1989) としており、本研究のなかでリノール酸摂取量が最小値は 9.1g/d で体脂肪のリノール酸は 7.24% であった。飼料中のリノール酸を大きく下げても必須脂肪酸であるリノール酸は体脂肪中に 7% 以上を蓄積することが明らかになった。

表 3-8 リノール酸摂取量と体脂肪の脂肪酸組成の影響

区分	リノール酸摂取量 (g)	n	パルミチン酸 C16:0(%)	ステアリン酸 C18:0(%)	オレイン酸 C18:1(%)	リノール酸 C18:2(%)	内因性 脂肪酸(%)	C18:2/C18:0
20	24 g 以下	5	24.8	15.2	45.7	8.27	85.7	0.55
30	25~34 g	13	25.1	15.8	44.1	8.78	85.0	0.56
40	35~44 g	22	25.1	16.1	44.0	8.60	85.3	0.54
50	45~54 g	26	24.7	15.7	43.9	9.40	84.3	0.60
60	55 g 以上	11	24.6	15.5	43.3	10.24	83.4	0.66

注1) 内因性脂肪酸はC16:0, C18:0, C18:1の合計

注2) C18:2/C18:0はリノール酸とステアリン酸の比

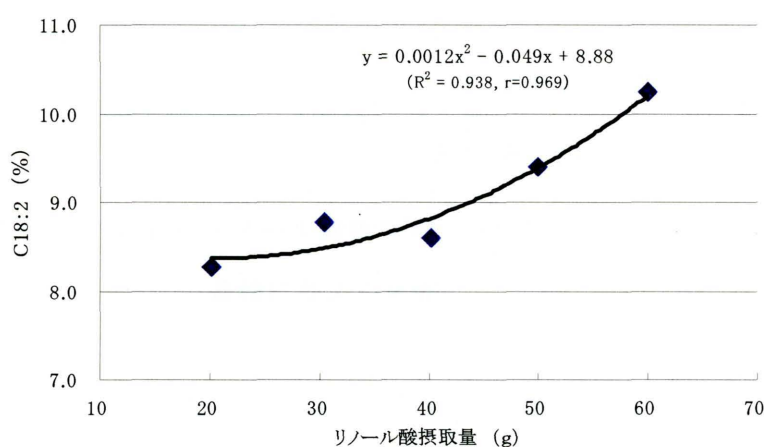


図 3-1 リノール酸 (C18:2) 摂取量が背脂肪の
リノール酸蓄積に与える影響

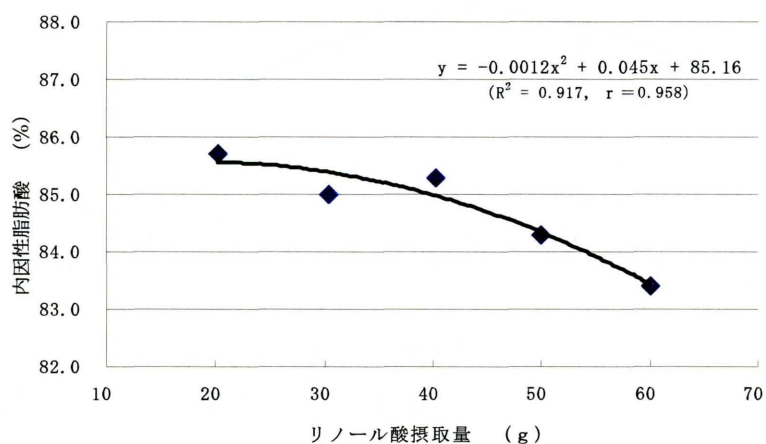


図 3-2 リノール酸摂取量が背脂肪の内因性脂肪酸に
与える影響

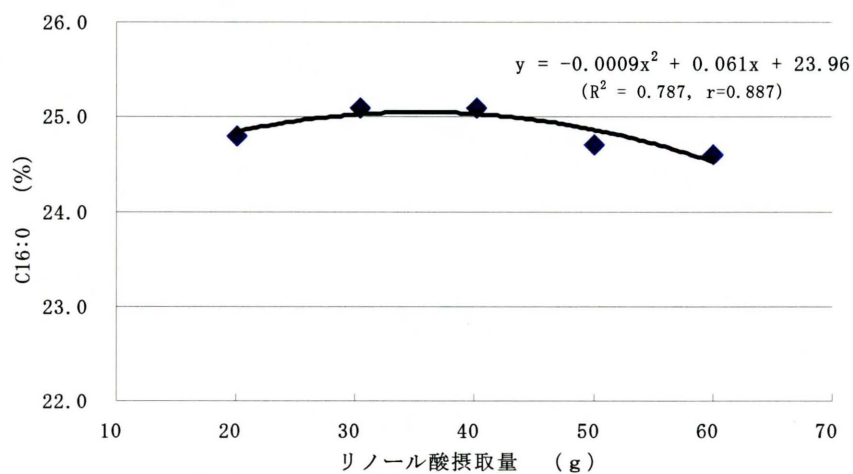


図 3-3 リノール酸摂取量が背脂肪のパルミチン酸 (C16:0) 蓄積に与える影響

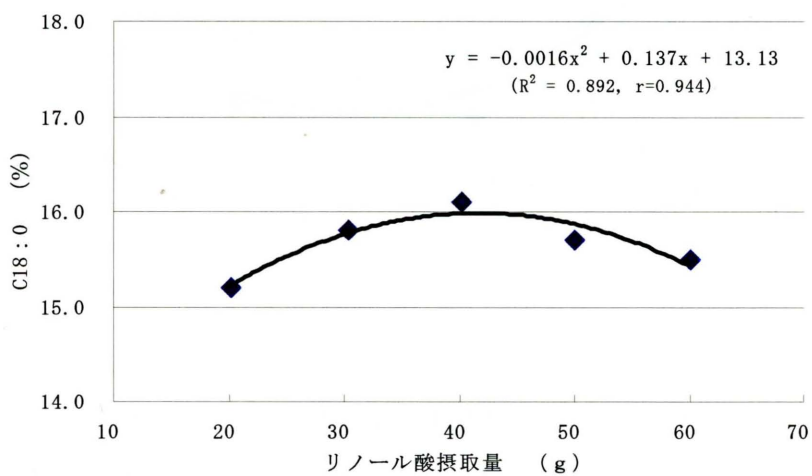


図 3-4 リノール酸摂取量が背脂肪のステアリン酸 (C18:0) 蓄積に与える影響

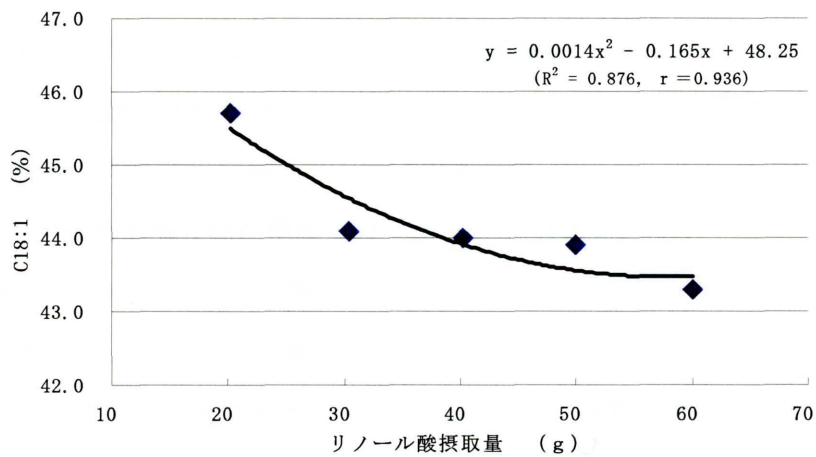


図 3-5 リノール酸摂取量が背脂肪のオレイン酸 (C18:1)
蓄積に与える影響

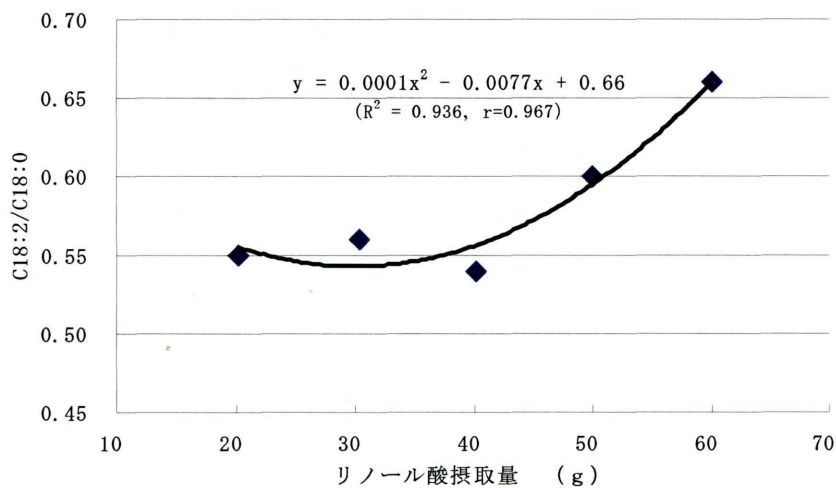


図 3-6 リノール酸摂取量が背脂肪の C18:2/C18:0
に与える影響

4 まとめ

肥育期の3元交雑肉豚を用いて、飼料中のリノール酸等の摂取量が豚の背脂肪の脂肪酸組成の影響について検討した。肥育試験1区当たり5～6頭の群飼育で行なったため、試験結果は群の平均値で表し、試験の母数は77として処理した。得られた知見は次のとおりである。

- (1) 試験開始体重は 64.6kg, 試験終了時体重は 112.0kg であった。1 頭当りの栄養成分摂取量は, TDN が 2,249g/d, 粗蛋白質が 399g/d, 粗脂肪が 111g/d, NFE は 1,794g/d, 脂肪酸組成のパルミチン酸が 18.3g/d, ステアリン酸が 5.2g/d, オレイン酸が 37.9g/d, リノール酸が 43.7g/d, 内因性脂肪酸が 61.4g/d であった。
- (2) 枝肉の背脂肪内層の脂肪酸組成はパルミチン酸が 24.9%, ステアリン酸が 15.8%, オレイン酸が 44.0%, リノール酸が 9.2%, 内因性脂肪酸が 84.6% であった。
- (3) NFE, 粗脂肪, パルミチン酸, オレイン酸, リノール酸の栄養成分摂取量は体脂肪の脂肪酸組成との有意な相関が認められた。特にリノール酸の摂取量が体脂肪の脂肪酸組成に強く関係していた。飼料中のリノール酸摂取量が増加すると体脂肪のリノール酸が連動して有意に増加し, 逆に内因性脂肪酸は有意に減少した。一方, TDN, 粗蛋白摂取量は体脂肪の脂肪酸組成に相関が認められなかった。
- (4) リノール酸摂取量が 44g/d 以下であれば, C18:2/C18:0 が変わらず脂肪の硬さに影響しないことを示した。
- (5) 飼料中のリノール酸を大きく減少させても必須脂肪酸であるリノール酸は体脂肪中には一定割合 (約 7%) を蓄積することが明らかになった。

本章の結果より, 栄養成分のなかでもリノール酸摂取量が, 体脂肪の脂肪酸組成に最も影響を与えていた。豚の体脂肪は飼料からリノール酸を過剰に摂取すると, 体脂肪にリノール酸が過剰に蓄積し, 異常肉である軟脂豚になる (野口, 1981, 入江, 1989)。一方, リノール酸が少ない飼料を給与しても, リノール酸は必須脂肪酸であるため, 体脂肪に一定量のリノール酸が優先的に蓄積することが示唆された。体脂肪を硬くすることも目的として, 極端にリノール酸の低い飼料を与えても体脂肪を硬くすることに限界があることが明らかになった。いも類, 麦類を多配することにより, 特徴ある豚肉生産を行なうに当たっては, 一定量のリノール酸の摂取を抑えることは必要であるが, 体脂肪の性状のみに結果を求めず, 豚の能力を発揮させる適切で, 合理的な配合飼料を給与することが必要である。食味の優れる豚肉は, 体脂肪中のリノール酸を押さえて, 豚の体内で生合成される内因性脂肪酸を増加させ, さらに, オレイン酸の増加が求められる。本結果からは, 豚の体脂肪のなかでリノール酸量は優先的に蓄積するが, 畜産物中のオレイン酸の蓄積についての関係は充分解明されておらず, 今後の課題である。

第4章 肥育期の高度不飽和脂肪酸の給与が豚肉に及ぼす影響

1 緒言

第3章では、給与した飼料中の油脂により、豚肉の体脂肪の性状が影響を受けることを明らかにした。本章では、飼料中に、体内で機能性的な役割を果たす特殊な脂肪酸を添加した時、その成分が豚肉に内に取り込むかを注目した。

近年、血栓症の疫学的研究の中でオメガ（ ω ）3系高度不飽和脂肪酸を多く含む魚類を主食とするエスキモー人は、動脈硬化、脳梗塞、心筋梗塞が少ないことが分かり、魚油に含まれる ω 3系高度不飽和脂肪酸の体内でのメカニズムについて、注目が浴びることになった（奥山，1988，熊谷朗，1981）。この不飽和脂肪酸はエイコサペンタエン酸（EPA）とドコサヘキサエン酸（DHA）とされ、ホウマグロ、マイワシ、サバ、サンマ等の魚に含まれている（鈴木，1991）。しかし、我が国の食生活は経済の発展とともに大きな変化が生じ、特に、若年層では「米ばなれ」、「魚ばなれ」がみられ、豚肉などの食肉主体に移行し、 ω 3系高度不飽和脂肪酸を摂取する機会が少なくなっている。

一方、不飽和脂肪酸の過剰摂取は、過酸化脂質が生じやすく、生体内・畜産物に悪影響を及ぼすため、栄養学的に注意が必要である。特に、 ω 3系高度不飽和脂肪酸は過酸化脂質の形成が早いといわれている（亀，1983）。したがって、 ω 3系高度不飽和脂肪酸の利用にあたっては、生体・畜産物の保存中に過酸化脂質の生成を防止することが必要となる。不飽和脂肪酸の増加にともなって生じる過酸化脂質を抑制するものとして抗酸化作用を持つビタミンEがあげられている。ビタミンEは抗酸化作用に基づく生体内過酸化脂質のレベル低下と畜産物中に含まれる過酸化脂質生成防止等の作用があるとされている（仁木，1988）。

本章は、豚にEPAやDHAを含む魚油を配合した飼料を給与し、豚肉に蓄積させる生産方式を検討した。 ω 3系高度不飽和脂肪酸は健康の維持に有効なものであるが、この脂肪酸を含む豚肉は、過酸化脂質が形成されやすく、保存性、食品としての適正等に問題が生じてくることが示唆されている。生産された豚肉に ω 3系高度不飽和脂肪酸が移行したとき、保存中に生じる過酸化脂質を防止するビタミンEの使用方法についても併せて検討し、その結果を取りまとめた。

2 材料および方法

2-1 試験区分

魚油等に多く含まれる EPA と DHA を畜産物中へ移行させることを検討するため、EPA と DHA が 40%含まれる魚油エステルを使用し、その添加水準により 3 区設けた。対照区は市販の肉豚肥育用配合飼料とし、試験 1 区は魚油エステルを 1%、試験 2 区は 3%添加とした。飼料成分は CP が全区とも 14%とし、TDN は対照区が 76.5%、試験 1 区が 77%、試験 2 区が 79%とした。ビタミン E は対照区を無添加とし、試験 1 区と試験 2 区に 20mg%（ビタミン E が 10%含まれるビタミン E 100 を 0.2%）添加した。対照区、1～2 区までの配合割合は表 4-1、分析値は表 4-2、魚油エステルの脂肪酸組成は表 4-3 に示した。

2-2 試験方法

肥育試験は 2 回反復し、生体重 60kg から開始し、100kg 到達時を終了としてと畜解体した。供試豚は 6 腹の LWH 種と 1 腹の LWD 種から各区 4 頭とし合計 24 頭（4 頭×3 区×2 反復）とした。

と畜解体したと畜 1 日目の枝肉から第 6～13 胸椎部上のロース部とその上部にある背脂肪内層を採取し、肉質、肉の保存性、背脂肪および肉中の脂肪の性状を調査した。

畜産物の保存性をみるために、肉中のと畜後 1 日目、7 日目、13 日目の pH 値、チオバルビツール酸価（TBA 値）、7 日目、13 日目の揮発性塩基窒素（塩基 N）を測定した。背脂肪からは 7 日目、13 日目の過酸化値（POV）を測定した。肉と体脂肪は 8℃の冷蔵庫で保存した。ビタミン E 含量、pH 値、TBA 値、揮発性塩基窒素、POV のサンプルは各区 4 頭とした。

表 4-1 供試飼料の配合割合（%）

成分	対照区	試験1区	試験2区
トウモロコシ	41.9	41.1	39.1
グレイソルガム	36.2	36.2	36.2
大豆粕	13.1	13.9	13.9
魚粉	3.0	3.0	3.0
糖蜜	4.0	3.0	3.0
ミネラル	1.5	1.5	1.5
ビタミン	0.3	0.3	0.3
魚油エステル		1.0	3.0
合計	100.0	100.0	100.0

注）試験1, 2区にビタミンEとして20mg%を添加

表 4-2 供試飼料の成分分析値

成分		対照区	試験1区	試験2区
粗蛋白質	(%)	14.5	14.2	15.0
粗脂肪	(%)	3.01	4.20	5.66
ビタミンE	(mg%)	2.65	15.4	15.2
TDN	(%)	76.5	77.2	79.1

注) TDNは成分計算値

表 4-3 魚油エステルの脂肪酸組成

脂肪酸	割合 (%)
C14:0 ミリスチン酸	0.6
C16:0 パルミチン酸	5.7
C16:1 パルミトレイン酸	2.0
C18:0 ステアリン酸	2.4
C18:1 オレイン酸	12.9
C18:2 リノール酸	1.6
C20:0 アラキドン酸	1.0
C20:1 イコセン酸	10.9
C20:4 アラキドン酸	11.3
C20:5 エイコサペンタエン酸	18.2
C22:6 トコサヘキサエン酸	25.5
C20:5+C22:6*	43.7
その他	7.9

注) *はC20:5とC22:6の合計

2-3 調査項目

(1) 飼料の分析

供試飼料における成分分析は一般成分が水分、粗蛋白質 (CP)、粗脂肪 (Fat)、粗繊維 (Fib)、粗灰分 (Ash) とし、脂肪酸組成およびビタミン E を飼料分析法・解説 2009 (農林水産消費安全技術センター飼料分析基準研究会, 2010) に基づいて当研究所で行った。脂肪酸組成はメタノール・クロロホルムの混合液で脂質を抽出し、ガスクロマトグラフィー (島津 CG18A) を用いて測定した。ビタミン E は酢酸エチル・*n*-ヘキサンによる抽出法により高速液体クロマトグラフ (島津 LC-6A) でトコフェロールとして飼料製造直後と 2 ヶ月保存した製品を測定した。

(2) 肉質の分析法

pH 値はロース部から背脂肪を除いたブロックを細切し、挽肉にした後、ガラス電極式 pH メーター (堀場 D5 型) で測定した。

肉色は第 5~6 胸椎部のロース断面において、畜試式豚標準肉色 (PCS) で判定し、その

基準は6段階（スコアが小さいほど肉色が淡いとされ、3、4が標準の肉色）で判定した（写真4-1）。

さらに、分光式色差計（日本電色工業Σ80型）でL*値（明度）、a*値（赤味）、b*値（黄味）を測定した。彩度は $(a^*^2 + b^*^2)^{1/2}$ 、色相は b^*/a^* とした。色差（ ΔE ）は $(\Delta L^*^2 + \Delta a^*^2 + \Delta b^*^2)^{1/2}$ （ Δ は2サンプル間の差を示す）で求め、感覚との差を表4-4に基づいて判定した。 ΔE が1.5以下であれば肉眼でみても2点間に差がないとし、1.5以上であれば2点間に差あると判定した（斉藤不二夫，1965）。

肉の保水性は、第7～10胸椎部のロース部から筋繊維の縦面を直角に切断し0.4～0.6gを採取し、ろ紙に乗せ、2枚の亚克力板で挟み、加圧計（今田製作所SV-201N-50SL）で35kg/cm²で1分間加圧した。この操作を4回行いその平均値とした。肉汁がしみ込んだ面積 S_1 （cm²）と肉片の面積 S_2 （cm²）を測定し、肉の水分含量（MM，mg）を計算し、次式で加圧ろ紙による保水性（WHC，%）を求めた。

$$WHC = \{1 - (S_1 - S_2) \times 9.47 \div MM\} \times 100 \quad \text{式 (4-1)}$$

伸展率（E，cm²/g）は保水性で測定した際に計測した肉片の面積 S_2 （cm²）と肉片重量M（g）により求めた

$$E = S_2 \div M \quad \text{式 (4-2)}$$

保水性の装置と肉片を加圧した後のろ紙を写真4-2に示した。

ウィープ量は約100gのロースのステーキ肉を1週間4℃の冷蔵庫に放置し、保存前後の重量差の割合とした。

肉の水分は135℃における常圧加熱乾燥法、粗脂肪はジエチルエーテルで抽出するソックスレー抽出法で測定した（第2章参照）。

脂肪酸組成は背脂肪内層とロース部の肉のそれぞれからメタノール・クロロホルムの混合液で脂質を抽出し、第2章で示した方法でガスクロマトグラフィー（島津CG18A）を用いて測定した（第2章参照）。

TBA値はターナー法（五十嵐ら，1986）で、揮発性塩基窒素は微量拡散法で（厚生省環境衛生局1973），POVは日本油化学協会法（五十嵐脩ら，1986）で測定した。ビタミンEは液体クロマトグラフィー（島津LC-6A）によりトコフェノールとして測定した（日本食品工業学会・食品分析法編集委員会，1982）。

（3）発育、枝肉調査

発育成績は群飼（4頭/群）の日増体量，群飼の総飼料摂取量から全頭の飼育期間で除して1日1頭当りの飼料摂取量，飼料要求率は飼料摂取量を増体量で除して求めた。

枝肉成績はと畜翌日に枝肉重量，枝肉歩留，と体長，背腰長Ⅱ，と体幅，背脂肪厚（カタ，セ，コシの3部位），3分割肉片割合のモモ，ロース断面積（第5～6胸椎部間上）とした（第3章参照）。

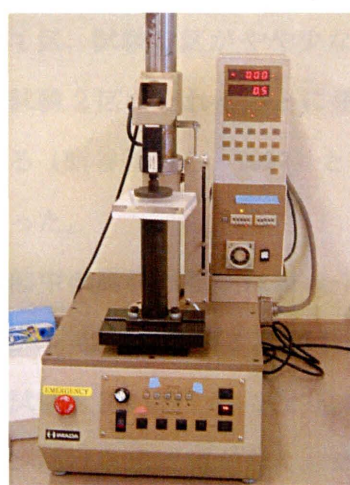


写真 4-1 畜試式豚標準肉色（PCS）

表 4-4 色差の判定基準

Δ E（色差）	色差の程度の評価
0-0.5	きわめてわずかに異なる
0.5-1.5	わずかに異なる
1.5-3.0	感知し得るほど異なる
3.0-6.0	著しく異なる
6.0-12.0	極めて著しく異なる
12.0以上	別な色の系統になる

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$



ろ紙の上で肉片を加重すると内側に肉片の広がり
外側に肉汁がしみ込んだ跡が残る

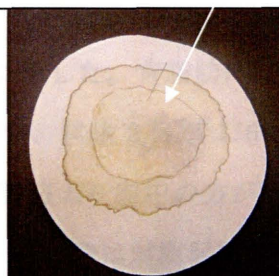


写真 4-2 加圧計による肉の保水性の測定

3 結果および考察

3-1 飼料中のビタミン E の変化

供試飼料中のビタミン E は表 4-5 に示した。対照区のビタミン E が原料由来で 2.65mg% で計算値より高い値であった。試験 1 区はビタミン E 単体を 20mg% 添加しているが、分析値は 15.4mg% になり、計算値より低くなった。試験 2 区は 15.2mg% で試験 1 区と同様な傾向を示した。保存中のビタミン E の変化は対照区が 2.65 mg% から 2.11mg% の 20% 減、試験 1 区は 15.4 mg% から 16.4mg% になり、試験 2 区が 15.2 mg% から 16.4mg% で減少がみられなかった。

表 4-5 飼料中のビタミン E の経時変化

含量 (mg%)	製造直後		2ヵ月後
対照区	2.65	(1.73)	2.11
試験1区	15.4	(21.7)	16.4
試験2区	15.2	(21.7)	16.4

注) () は成分計算値

3-2 背脂肪および肉中の脂肪酸組成

背脂肪内層の脂肪酸組成は表 4-6 に示した。EPA (C20:5) と DHA (C22:6) は対照区が 0.47%，試験 1 区が 1.50%，試験 2 区が 2.94% となり、魚油エステルの添加水準に比例して増加し、魚油エステルを 3% 添加した試験 2 区は無添加の対照区に比べ 6.3 倍になった。内因性脂肪酸であるパルミチン酸 (C16:0)，ステアリン酸 (C18:0)，オレイン酸 (C18:1) は対照区に比べて試験 1 区，試験 2 区がやや少なくなる傾向にあった。リノール酸 (C18:2) は対照区と試験 1 区，試験 2 区のそれぞれとに差がなかった。高度不飽和脂肪酸の多給は異常肉である黄豚が生じる（熊谷哲生ら，1997）といわれているが、3% 魚油エステルを給与しても黄豚は発現しなかった。

ロース部中の脂肪酸組成は表 4-7 に示した。背脂肪内層と同様な傾向にあり、EPA と DHA は対照区が 0.42%，試験 1 区が 1.16%，試験 2 区が 1.60% であった。その増加割合は対照区に比べ試験 2 区が約 4 倍になり、背脂肪より肉中の方が低い傾向にあった。パルミチン酸，ステアリン酸は各区に差がなく、オレイン酸は対照区に比べ試験 1，試験 2 区がやや低い傾向にあった。リノール酸は試験 2 区が高くなった。

表 4-6 背脂肪内層における脂肪酸組成 (%)

	対照区	試験1区	試験2区
C14:0 ミリスチン酸	1.35	1.42	1.47
C16:0 パルミチン酸	24.8	25.0	24.8
C16:1 パルミトレイン酸	2.44	2.60	2.63
C18:0 ステアリン酸	14.5	13.6	13.1
C18:1 オレイン酸	42.6	40.6	39.1
C18:2 リノール酸	10.2	10.5	10.3
C18:3 リノレン酸	0.63	0.76	0.74
C20:0 アラキドン酸	0.28	0.31	0.29
C20:1 イコセン酸	0.81	0.91	1.60
C20:4 アラキドン酸	0.23	0.27	0.27
C20:5 エイコサペンタエン酸	0.16	0.50	0.86
C22:6 トコサヘキサエン酸	0.31	1.00	2.08
C20:5+C22:6	0.47	1.50	2.94
不飽和脂肪酸	57.8	57.5	57.8
C18:2/C18:0	0.70	0.77	0.78

表 4-7 ロース部における脂肪酸組成 (%)

	対照区	試験1区	試験2区
C14:0 ミリスチン酸	1.94	2.17	2.22
C16:0 パルミチン酸	25.1	25.1	25.1
C16:1 パルミトレイン酸	4.28	4.48	4.19
C18:0 ステアリン酸	11.5	10.5	11.3
C18:1 オレイン酸	48.7	46.5	45.0
C18:2 リノール酸	4.98	4.24	5.96
C18:3 リノレン酸	0.14	0.20	0.24
C20:0 アラキドン酸	0.21	0.20	0.19
C20:1 イコセン酸	0.73	0.75	0.86
C20:4 アラキドン酸	0.71	0.93	0.82
C20:5 エイコサペンタエン酸	0.18	0.44	0.50
C22:6 トコサヘキサエン酸	0.24	0.72	1.10
C20:5+C22:6	0.42	1.16	1.60
不飽和脂肪酸	60.2	60.4	58.9

3-3 肉質成績

屠殺 24 時間後に調査した肉の理化学的性状は表 4-8 に示した。

pH 値は各区とも極限 pH5.6 まで低下し、異常はみられなかった。保水性は各区とも約 76% になり差がみられなかった。伸展率は各区とも約 28cm²/g になり差がみられなかった。粗脂肪は各区で約 3.8% になり差が認められなかった。肉色の差を判定する色差は対照区と比べると試験 1 区が 2.03, 試験 2 区が 2.83 になり、いずれも 1.5 以上になり、肉眼で差が認められる値になった。各区の L*, a*, b* の差から判定すると対照区に比べ試験 1, 試験 2 区の

L*値が低くなることにより，肉色がやや濃くなる傾向にあった。PCS でも試験 2 区がやや濃い判定になっている。

表 4-8 ロース部における肉質成績

区分	対照区	試験1区	試験2区
pH	5.57	5.60	5.59
PCS (ホークカラー)	3.50	3.50	3.7
L* (明度)	53.9	51.9	51.1
a* (赤味)	6.58	6.85	6.96
b* (黄味)	8.74	8.55	8.55
色相	1.37	1.24	1.27
彩度	11.0	11.1	11.1
対照区との色差 (ΔE)		2.03	2.83
保水性 (%)	77.4	76.0	75.9
伸展率 (cm ² /g)	28.4	27.5	27.7
水分 (%)	74.0	73.7	73.5
ロース部の粗脂肪 (%)	3.79	3.85	3.87

3-4 背脂肪および肉中のビタミン E の変化とウィープ量

畜産物中のビタミン E とウィープ量は表 4-9 に示した。背脂肪内層中のビタミン E 量は対照区の 0.05mg% に比べ，試験 1 区が 0.27mg%，試験 2 区が 0.29mg% で，試験区が約 5 倍に増加した。肉中は背脂肪と同様に対照区が 0.35mg%，試験 1 区が 1.85mg%，試験 2 区が 2.23mg% で，対照区より試験 1 区が約 5 倍，試験 2 区が約 6 倍に増加した。ウィープ量は対照区に比べ試験 1 区が高く，試験 2 区が少なかった。ビタミン E 添加によるウィープ低減効果がみられなかった。

表 4-9 畜産物中のビタミン E とウィープ量

区分	対照区	試験1区	試験2区
ビタミンE (mg%)			
脂肪中	0.05	0.27	0.29
筋肉中	0.35	1.85	2.23
ウィープ量 (%)	3.80	5.05	3.53

3-5 肉中および背脂肪の経時的変化

畜産物の経時的変化は表 4-10，4-11 に示した。pH 値は各区とも屠殺 1 日目の 5.6 前後から 7 日目，13 日も上昇する変化がみられず，さらに各区にも差がなく，pH 値からは初期腐敗の状態を示さなかった。

肉中の揮発性塩基窒素は 7 日目が各区で約 10mg% で差がなく，13 日目の対照区と試験 1 区

が約 13mg%, 試験 2 区が 14mg%であった。肉中の TBA 値は, 対照区が 5.12nmol/g, 試験 1 区が 5.26nmol/g, 2 区が 9.31nmol/g で, 1 日目から試験 2 区が他の区に比べてやや高く, 7 日, 13 日目は対照区がそれぞれ 7.0nmol/g, 12.4nmol/g に比べ試験 2 区がそれぞれ 21.5 nmol/g, 34.6nmol/g になり, 試験 2 区が明らかに高くなった。

背脂肪の POV は 7 日目の対照区が 1.0meq/kg と試験 1 区が 0.9 meq/kg, 試験 2 区が 2.0 mEq/kg で, 試験 2 区がやや高くなった。13 日目の対照区が 3.3meq/kg と試験 1 区が 2.7 meq/kg, 試験 2 区が 4.4 meq/kg で, 試験 2 区がやや高くなった。

脂質の劣化を示すなかで肉中の揮発性塩基窒素, 背脂肪の POV より肉中の TBA 値が最も差がみられた。TBA 値が生体組織や食品の酸化の指標といわれている (五十嵐ら, 1986)。ビタミン E は抗酸化作用があり (仁木, 1988), 生体内の過酸化脂質形成を防止し, さらに, 畜産物中の保存性を向上させると (Marusich, 1978) といわれ, ビタミン E の添加量が肉の保存性等に関連してくる。屠殺 1 日目, 保存中の TBA 値の上昇は, 生体時に酸化作用が進んでいることを示し, 魚油エステルを 3%添加した場合, ビタミン E は飼料中に 20mg%以上にすることが必要であると思われた。

表 4-10 肉中の経時的変化

区分	対照区	試験1区	試験2区
pH値			
1日目	5.57	5.60	5.59
7日目	5.54	5.58	5.58
13日目	5.59	5.60	5.60
塩基性N			
7日目	10.7	10.3	10.7
13日目	13.5	12.8	14.3
TBA			
1日目	5.1	5.3	9.3
7日目	7.0	9.7	21.5
13日目	12.4	20.1	34.6

塩基性N: 揮発性塩基窒素 (mg%)

TBA: 肉中のチオバルビツル価 (nmol/g)

表 4-11 背脂肪における過氧化物価 (POV)

の経時的変化

区分	対照区	試験1区	試験2区
7日目	1.0	0.9	2.0
13日目	3.3	2.7	4.4

(meq/kg)

3-6 発育成績と枝肉成績

発育成績は表 4-12 に示した。試験 1, 試験 2 区の増体量は対照区に比べ若干優れる傾向にあった。飼料摂取量は対照に比べて 1 区がやや多く, 試験 2 区はやや少なかった。飼料要求率は試験 2 区がやや優れた。魚油エステルを 3% 使用するとエネルギーが高くなるため, 発育成績がやや優れた。

枝肉成績は表 4-13 に示した。と体長は各区で約 96cm, 背腰長Ⅱは約 71cm で各区に差がみられなかった。背脂肪厚は 3 部位平均で対照区が 2.54cm, 試験 1 区が 2.66cm, 試験 2 区が 2.58cm で試験 2 区がやや厚くなった。後軀割合, ロース断面積は各区に差がみられなかった。魚油エステルの添加による枝肉成績は脂肪の硬さを除くと影響が少ないものと思われた。

枝肉評価を専門に行っている関係者によると, 試験 2 区の枝肉は軟脂と判定しており, 商品性に問題があることを示し、試験 1 区の脂肪はしまりがやや劣るものの, 枝肉の商品性は対照区と差がない評価であった。したがって, 魚油エステルを使用する場合, 大麦, キャッサバ等の体脂肪を硬くする飼料原料を使用することが必要であると判断された。

表 4-12 発育成績

区分		対照区	試験1区	試験2区
開始時体重	(kg)	56.5	56.9	56.4
終了時体重	(kg)	102.4	103.7	103
日増体量	(g)	682	711	699
飼料摂取量	(kg)	2.20	2.28	2.10
飼料要求率		3.23	3.23	3.08

表 4-13 枝肉成績

区分		対照区	試験1区	試験2区
枝肉重量	(kg)	71.5	71.4	70.3
枝肉歩留	(%)	71.3	71.0	69.9
と体長	(cm)	96.5	96.8	96.3
背腰長Ⅱ	(cm)	70.8	71.0	71.0
と体幅	(cm)	34.2	33.4	32.7
背脂肪厚	(cm)			
カク		3.3	3.3	3.2
セ		1.9	2.0	1.9
コシ		2.5	2.7	2.7
平均		2.54	2.66	2.58
後軀割合	(%)	32.2	32.9	32.7
ロース断面積	(cm ²)	20.7	20.4	21.5

4 まとめ

肥育期における肉豚に ω 3系高度不飽和脂肪酸とビタミンEを含有した肉豚用飼料を給与し、安全性の高い食肉の生産方法について検討した。なお、豚肉および体脂肪にその不飽和脂肪酸が移行した場合、肉の保存中に生じる過酸化脂質を防止することが必要となる。得られた知見は以下のとおりである。

(1) 飼料中に魚油エステルを配合し、豚に給与することにより動脈硬化等を予防する効果があるといわれるEPAとDHAが添加水準に応じて体脂肪および肉中に移行することか明らかになった。

(2) 魚油エステルを多く給与すると、生体組織や食品の酸化の指標となるTBA値が、対照区、試験1区（魚油エステル1%）に比べ試験2区（魚油エステル3%）が1日目からやや高く、7日、13日目は対照区、試験1区に比べ試験2区が明らかに高くなった。

(3) 高度不飽和脂肪酸は酸化されやすいため、魚油エステルの使用水準に応じて抗酸化作用をもつビタミンEの添加が必要であることを確認した。

(4) 豚肉を差別化する肥育期用飼料に魚油エステルを使用する場合、エステル量を3%まで高めれば畜産物中に多く移行するが、軟脂豚になり商品性が問題になる、保存期間における過酸化脂質の生成、飼料単価等を考えるとその添加量は約1%が適当であり、ビタミンE量は本試験で添加した20mg%は必要と思われた。

(5) 肉質は魚油エステルの給与により、肉色がやや濃くなった。魚油エステルとビタミンEの添加はウィープ量の改善はみられなかった。

(6) 飼料中に魚油エステルを配合しても、発育成績、枝肉成績には大きな影響はみられなかった。

本章の結果より、先行研究が少ないなかで、肥育用飼料に ω 3系高度不飽和脂肪酸を添加する効果について、これらの脂肪酸が添加割合に比例して体脂肪および肉中に移行することが明らかになった。しかし、融点の低いこの不飽和脂肪酸が体脂肪に蓄積すると体脂肪が柔らかくなること、さらに過酸化脂質が生成しやすくなるため、畜産物の保存性が低下するなどの問題が生じることが推察された。

本技術を生産現場で実用化するに当たって、油脂の添加水準は低くし、ビタミンE等の抗酸化作用を持つ原料の添加が必要であることを明確にした。さらに、豚の体脂肪は油脂に対

しては速やかに蓄積することが判明し、畜産物としての商品性を保持する飼料中の油脂水準が明らかになった。

この結果に基づき「豚肉用飼料並びに食肉の生産方法、豚肉飼育方法及びビタミンEの使用方法」という特許を1990年に公開し、1996年に成立した（野口ら，1996）。一方，生産現場で，DHA豚肉という差別化豚の生産が行なわれ，消費者に販売した。また，本試験の知見を活用しDHAと同系列の $\omega 3\alpha$ リノレン酸を使用した特徴ある豚肉も生産現場で行われた。

さらに，脂肪酸の免疫能との関連についての研究が進んでおり，健康食として位置づけが高まれば拡大の余地がでてくるものと思われる。

第5章 肥育期のアミノ酸摂取量がロース部の筋肉内脂肪含量に及ぼす影響

1 緒言

これまで3, 4章では飼料中に含まれる栄養成分から影響を受ける体脂肪の品質に関わる研究について述べてきた。本章では、高品質豚肉生産に関わる課題として、国産の豚肉関連業界が注目している筋肉内脂肪含量（サシ）を増加させたおいしい豚肉が、養豚現場で生産し、消費者の要望に応えられるかを検証した。

関西地区においては肉豚の肥育期にパン屑を大量に給与すると、ロース芯に呈味に影響するサシが増えることが分かり、それを検証する試験が行なわれている（岩本ら, 2005, 家入ら, 2007, 大津ら, 2009）。この中で飼料中のリジン, トレオニン水準がサシの蓄積に大きく関与することが報告されている（Katsumata *et al.*, 2005）。

一方、著者らの先行研究において、市販の配合飼料とパン屑を50%ずつの等量混合を行なうと高いTDN含量（エネルギー成分）になり、リジンおよびカルシウムが日本飼養標準：豚（2005）の養分要求量より不足し、アミノ酸バランスとCa/P比が崩れることが明らかになっている。その後、ロース部の筋肉内脂肪含量の蓄積はパン屑のような穀類原料、ミネラルやエネルギー成分ではなく、リジン水準が影響することを明らかにしている（Katsumata *et al.*, 2011, 高田ら, 2006）。

おいしい豚肉を生産するため、全農の飼料畜産中央研究所ではこれまでに栄養水準をコントロールすることで肉質に及ぼす肥育試験を数多く実施している。特に、飼料中のアミノ酸水準を調整することでロース部に筋肉内脂肪を蓄積させる試験を行ない、すでに2006年から大規模養豚場で実用化している。

本章においては、全農飼料畜産中央所で実施した肉質に関連する肥育試験成績からリジン, トレオニン等のアミノ酸摂取量がロース部の筋肉内脂肪含量, 増体量, 肉の硬さ等におよぼす影響を検討した。および、可消化養分総量（TDN）, 粗蛋白質, 粗脂肪, 可溶無窒素物（NFE）摂取量との関連についても検討した結果を取りまとめた。

2 材料および方法

2-1 試験および供試飼料

全農飼料畜産中央研究所は、所内で生産された3元交雑肉豚を用いて、数多くの肉質関連の肥育試験を行っており、そのなかの試験データを活用し、栄養成分摂取量が豚肉の筋肉内

脂肪含量にどのように影響するかを取りまとめた。

供試飼料は、肉豚肥育期用飼料（マッシュ）として、(株)東日本くみあい飼料の鹿島工場で製造し、栄養成分と原料が異なる 82 種類の飼料を用いた。飼料原料は、穀類がトウモロコシ、グレインソルガム、小麦、大麦、ライ麦、キャッサバミール、精白米、植物性油粕類が大豆粕、ナタネ粕、コーングルテンミール、ヌカ類が米ヌカ粕、フスマ、その他原料が動物性油脂、菓子屑、ビタミン、ミネラル等である。配合飼料の成分分析は当研究所で一般成分（水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分）とアミノ酸含量を飼料分析法・解説 2009（農林水産消費安全技術センター飼料分析基準研究会, 2010）に基づいて行った。可溶性無窒素物 (NFE) は炭水化物含量として水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分の総和を 100 から引いて求めた。試験に供試した飼料の TDN は 71～83%，粗蛋白質は 11～15%，粗脂肪は 1.1～6.5%，NFE は 59～67%，リジン含量 (Lys) は 0.3～0.8%，トレオニン含量 (Thr) は 0.4～0.6%，メチオニン含量 (Met) は 0.2～0.3%，シスチン含量 (Cys) は 0.2～0.3%，トリプトファン含量 (Try) は 0.1～0.2%，イソロイシン含量 (Ile) は 0.4～0.6%，バリン含量 (Val) は 0.5～0.7% の範囲である（表 5-1）。

なお、飼料中の Lys 水準と筋肉内脂肪含量の影響を明らかにする試験区が含まれるため、日本飼養標準・豚（2005）の飼料中の養分要求量とされる 0.56% より低い Lys 含量区が 28 区含まれている。一方、Thr は試験区の最低値が 0.40% となり、日本飼養標準・豚（2005）の 0.36% よりすべての区で高くなっている。

2-2 試験方法

試験は、当研究所の養豚飼育区内の豚舎において 1 区当り 5～6 頭の群飼育で行ない、1 頭当りの日増体量、1 日 1 頭当りの飼料摂取量、飼料要求率を算出した。肥育試験は群平均 60～70kg の肥育期から開始し、出荷目標の約 110kg 到達時を終了とした。その後、当研究所内のと畜場でと畜解体し、一昼夜冷蔵保管後、枝肉検査および肉質検査を行なった。供試豚は当研究所で生産した LWD または WLD の 3 元交雑種肉豚の計 432 頭を使用した。試験は群飼育で行ったため、試験の母数は 82 として処理した。

表 5-1 供試飼料成分（分析値 %）

	蛋白質	脂肪	NFE *	TDN *	Lys	Thr	Met	Cys	Trp	Ile	Val
平均	13.9	3.82	62.4	78.2	0.63	0.51	0.24	0.27	0.16	0.49	0.61
標準偏差	0.9	0.98	1.8	2.5	0.11	0.05	0.03	0.02	0.02	0.05	0.05
最高値	15.3	5.85	67.3	83.1	0.77	0.59	0.30	0.30	0.19	0.58	0.71
最低値	11.5	1.06	58.7	71.4	0.33	0.40	0.19	0.23	0.09	0.39	0.50

注1) *NFE, TDNは計算値

注2) Lys：リジン, Thr：チロニン, M+C：メチオニン+シスチン, Trp：トリプトファン, Ile：イソロイシン, Val：バリン

2-3 調査項目

(1) 発育成績，枝肉および肉質検査

発育成績は群飼（5～6頭/群）の1頭当日増体量，群飼の総飼料摂取量から全頭の飼育期間で除した1日1頭当りの飼料摂取量，飼料摂取量を増体量で除した飼料要求率で表した。

枝肉成績はと畜翌日に，枝肉重量，背脂肪厚（カタ，セ，コシの3部位），ロース断面積（第5～6胸椎部間上）とした（第3章参照）。

肉質成績はと畜1日目に第6～13胸椎部上のロース部を採取し，保水性（第4章参照），粗脂肪，水分（第2章参照）を測定した。

また，剪断力価は第12胸椎部上のロース部を厚さ2.5cmの肉片に成形し凍結保存したものをを用いて計測した。計測に当たっては冷蔵庫内で解凍し，オープン（フジマック FSCC）を用い190℃7分の加熱条件で肉片を処理した。1晩冷蔵後，切り出し面に対し垂直に円柱状の肉片（直径12mm）を6点採取し，ワーナーブラツラー硬度計（インストロン 5542型）で測定した。剪断力価は6点の平均値とした（図5-1，-2 写真5-1，-2，-3）（畜産技術協会，2003）。

(2) 統計処理

統計処理はExcel 統計 2002（株式会社社会情報サービス）の統計機能を用いて，クラスカル・ウォリス検定により区間の検定を行い，各区間の平均値の差はシェッフの方法による多重比較で検定した。また，筋肉内脂肪含量と各栄養成分の重回帰分析はExcel 統計 2002の統計機能を用いて処理した。

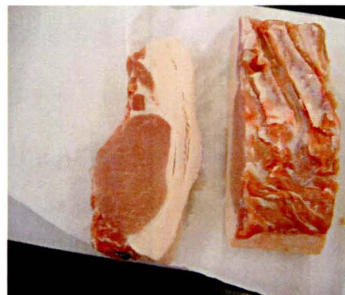
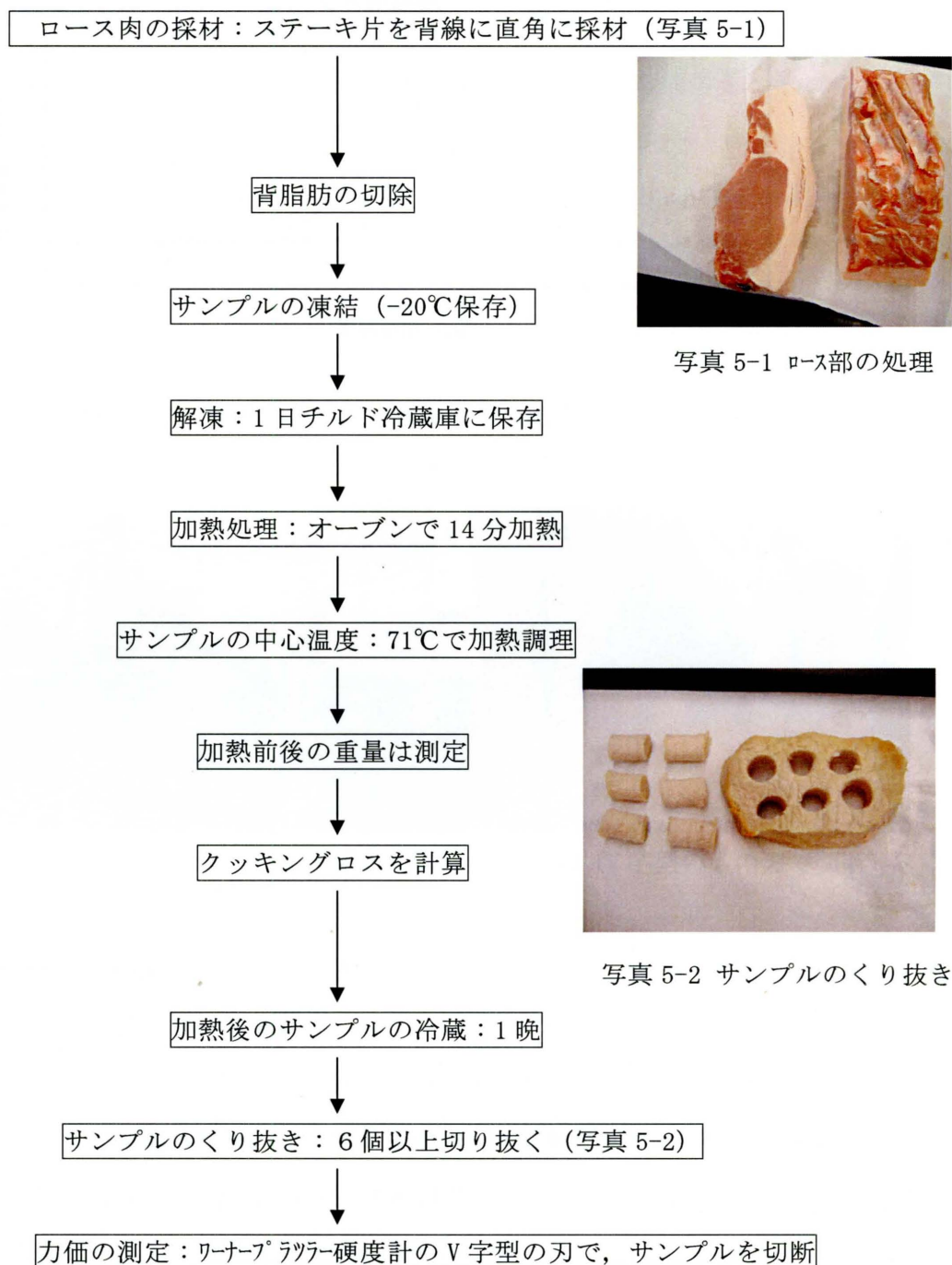


写真 5-1 ロース部の処理

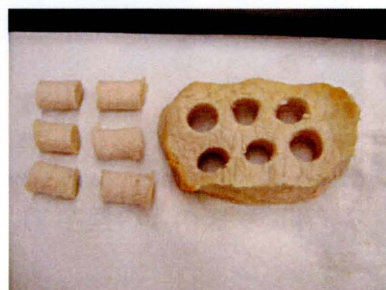


写真 5-2 サンプルのくり抜き

《ワナー・ラツラー硬度計の測定条件と測定値》

- ①クロスヘッド速度は 50mm/min, ②圧縮変位は芯を切れるところの,
- ③30mm, サンプル形は芯抜き器により決定

図 5-1 ワナー・ラツラー硬度計の測定手順

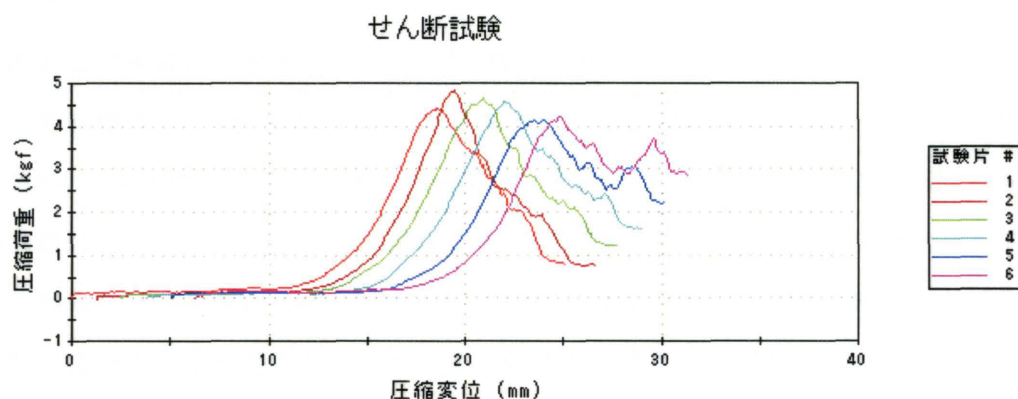


図 5-2 ワーナープラツラー硬度計で剪断力価の測定値

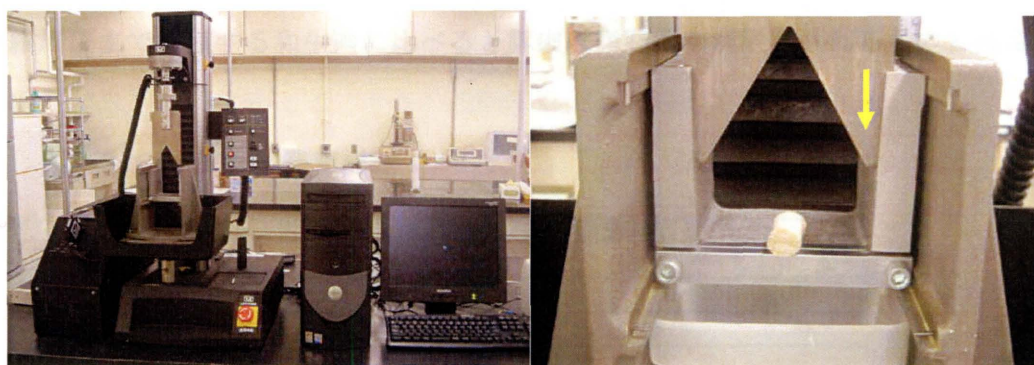


写真 5-3 ワーナープラツラー硬度計および切断部（V字型の↓の刃で切断）

3 結果および考察

3-1 発育，枝肉および肉質成績

試験母数の 82 における平均開始体重は 64kg であり，一方試験終了時の平均体重は 112kg であった。この期間は養豚の飼育体系を遵守した試験期間であった。日増体量は 822g，1 日 当り飼料摂取量は 2.88kg/d，飼料要求率は 3.53 であった（表 5-2）。これらの成績はほぼ標準的な成績を示した（全国農業組合連合会，2000）。

供試飼料成分分析値に基づき計算した各成分摂取量を表 5-3 に示した。1 頭当りの TDN 摂取量が 2,249g/d，粗蛋白質が 400g/d，粗脂肪が 110g/d，NFE は 1.79kg/d，Lys が 18.4g/d，Thr が 14.6g/d，Met と Cys の合計が 14.6g/d，Typ が 4.6g/d，Ile が 14.1g/d，Val が 17.6g/d であった。Lys 摂取量は 8.7～25.6g/d になり，日本飼養標準（豚）の Lys 要求量 17.3g/d を下回ったのは約 3 割の 28 区あった。また Thr 要求量 11.2g/d を下回ったのは約 1 割の 11 区

であった。

枝肉および肉質成績を表 5-4 に示した。枝肉重量は 74.7kg, 背脂肪厚(3 部位平均)が 2.83cm, ロース断面積は 25.4cm²であった。肉質成績における筋肉内脂肪含量は 3.46%(分布幅は 2.08～6.71%), 保水性は 82.6%, 剪断力価は 3.88kgf であった。一般的に 3 部位平均における背脂肪厚は 2.8cm 前後とされ, 本試験での背脂肪厚はほぼ同じ値を示した。また豚肉のロース部の筋肉内脂肪含量は 2.0～2.5%が一般的といわれるが(兵頭, 1997), 本試験では筋肉内脂肪を蓄積させる飼料を給与したため一般的な値より高い平均値となった。また, 本試験での筋肉内脂肪含量(群平均値)の最高値が 6.7%で和牛肉に比べると低かった。筋肉内脂肪含量は筋束間の筋内膜の血管周辺に沈着するとされ, 豚肉と牛肉とでは筋束構造が異なるとされる(星野, 1990)。豚肉の筋肉内脂肪含量は第 1 次から第 2 次筋束までとされ, 一方筋線維周辺まで蓄積する和牛肉に比べると豚肉は脂肪蓄積が限定されるものと推定された。

表 5-2 発育成績

項目	開始体重 (kg)	終了体重 (kg)	日増体量 (g/d)	飼料摂取量 (kg)	飼料要求率
平均	64.3	111.9	822	2.88	3.53
標準偏差	4.5	3.2	110	0.28	0.35

表 5-3 供試飼料成分の摂取量

摂取量(g)	TDN	粗蛋白質	粗脂肪	NFE	Lys	Thr	M+C	Trp	Ile	Val
平均	2,249	400	110	1.79	18.4	14.6	14.6	4.6	14.1	17.6
標準偏差	221	53	31	0.16	4.1	2.3	1.8	0.9	2.3	2.5
最高値	2,902	522	192	2.28	25.6	20.1	19.0	6.2	19.0	23.0
最低値	1,825	277	29	1.43	8.7	10.0	10.6	2.3	9.5	12.2

注) Lys: リシン, Thr: トロニン, M+C: メチオン+シスチン, Trp: トリプトファン, Ile: イソロイシン, Val: バリン

表 5-4 枝肉および肉質成績

項目	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	ロース断面積 (cm ²)	筋肉内脂肪 含量 (%)	保水性 (%)	剪断力価 (kg)
平均	74.7	2.83	25.4	3.46	82.6	3.88
標準偏差	2.8	0.20	2.5	1.02	2.6	0.58
最高値	81.1	3.32	32.4	6.71	88.5	5.60
最低値	65.7	2.43	19.4	2.08	77.6	2.99

注) 背脂肪厚は3部位平均

3-2 栄養成分摂取量とロース部位の筋肉内脂肪含量

ロース部の筋肉内脂肪含量と各栄養成分摂取量との単相関係数を表 5-5 に示した。

筋肉内脂肪含量と Lys 摂取量の相関係数は -0.61 (図 5-3), Thr 摂取量は -0.34 (図 5-4), Trp 摂取量は -0.33 となり, いずれも危険率 1 %で有意差が認められた。また, Ile, Val は危険率 5 %で有意差が認められた。一方, 筋肉内脂肪含量は TDN, NFE, 粗蛋白質, 粗脂肪および Met と Cys 合計摂取量とは相関が認められなかった。

ロース部位の筋肉内脂肪含量と各栄養成分の重回帰分析を行なうと重相関係数が 0.85 となり, 危険率 1 %で有意差が認められ, Lys, Val, NFE 摂取量 (g) が関係しており, 以下の重回帰式 (増減法) が得られた。

$$Y = -0.35 \times \text{Lys} + 0.29 \times \text{Val} + 2.00 \times \text{NFE} + 1.06 \quad \text{式 (5-1)}$$

相関係数 (表 5-5) なかで Lys, Thr, Trp, Ile より比較的低い Val が重回帰では重要な説明変数とされているため, 今後の検討項目として注意が必要である。

Lys の摂取量の順にロース部位の筋肉内脂肪含量を図 5-5 にプロットした。筋肉内脂肪含量は 1 日の Lys 摂取量において 13g 以下が 4.40%, 13~14g が 4.76%, 15~16g が 4.13%, 17g が 3.09%, 18~19g が 3.02%, 20g が 2.86%, 21g が 2.84%, 22g 以上が 3.22%であった。13g 以下, 13~14g と 20g と 21g とのそれぞれ間に危険率 5 %で有意差が認められていたが, 15~19g 間は値のバラツキが大きく有意な差が認められなかった。このことから, Lys の摂取量が 17g 前後より筋肉内脂肪含量が変化すると推定された。各種穀類を使用する中で特定穀物原料により筋肉内脂肪が蓄積する傾向は認められず, 筋肉内脂肪蓄積は Lys 摂取量により大きく影響を受けることが明らかとなった。日本飼養標準・豚 (2005) における 50~115 kg までの Lys 要求量は 17.3g/d 以上であり, NRC (1998) では, 80~120kg が 15.8g/d 以上としている。これらの要求量と近いところに筋肉内脂肪蓄積に関与する変局点が見られ, 養分要求量を明らかに下回ると脂肪蓄積が進行することが明らかになった。

Thr 摂取量についても筋肉内脂肪含量との関係を図 5-6 にプロットした。これらのプロット間には有意な差が認められなかった。1 日の Thr 摂取量 13g を境に摂取量が少ないと筋肉内脂肪含量の平均は 4.05%, 摂取量が多い場合は平均で 3.26%を示したものの, Thr 摂取量による筋肉内脂肪含量はばらつきが大きく, Lys 含量の影響がより強く作用すると推定された。Thr の日本飼養標準 (豚) (2005) での養分要求量は 11.2g/d 以上で, NRC (1998) の要求量は, 80~120kg が 10.5g 以上になり, この値よりやや高いところに脂肪蓄積の変局点を見出

した。本試験での Thr 摂取量が養分要求量より下回った区は少なく、Lys より影響が受けにくいと推察された。

ロース部の筋肉脂肪含量の違いを写真で示すと、写真 4-1 の粗脂肪が 1.25%，写真 4-2 が 2.5%，写真 4-3 が 3.5%，写真 4-4 が 5.6%であり、少ないものと多いものとは肉眼でみて明らかに差が認められた。

粗蛋白質 14%，TDN77%の一般の養豚用配合飼料に同量のパン屑（配合率 50%）を加えると飼料中の Lys 水準が 0.50%，粗蛋白質が 13%，TDN が 83%になることを配合設計の成分計算のなかで著者らは確認している。低 Lys 水準によるロース部位の筋肉内脂肪含量が増加する報告（Katsumata *et al.*, 2005）があり、Lys 摂取量は 1 日当り 15g 以下になると推定される。一方、Lys 摂取量の高い群にも筋肉内脂肪含量が高いものが認められており、筋肉内脂肪の遺伝率は 0.50 といわれ（Sellier, 1998），栄養要因のみでなく遺伝的要因も関わることを示していた。

表 5-5 筋肉内脂肪含量と飼料成分摂取量との相関係数

項目	TDN	NFE	粗蛋白質	粗脂肪	Lys	Thr	Met+Cys	Trp	Ile	Val
筋肉内脂肪含量	0.01	0.11	-0.18	-0.12	-0.61**	-0.34**	0.01	-0.33**	-0.25*	-0.22*

注1) **は1%>0.27, *は5% 0.21以上で有意差あり

注2) Lys：リジン, Thr：トレオニン, M+C：メチオニン+システイン, Trp：トリプトファン, Ile：イソロイシン, Val：バリン

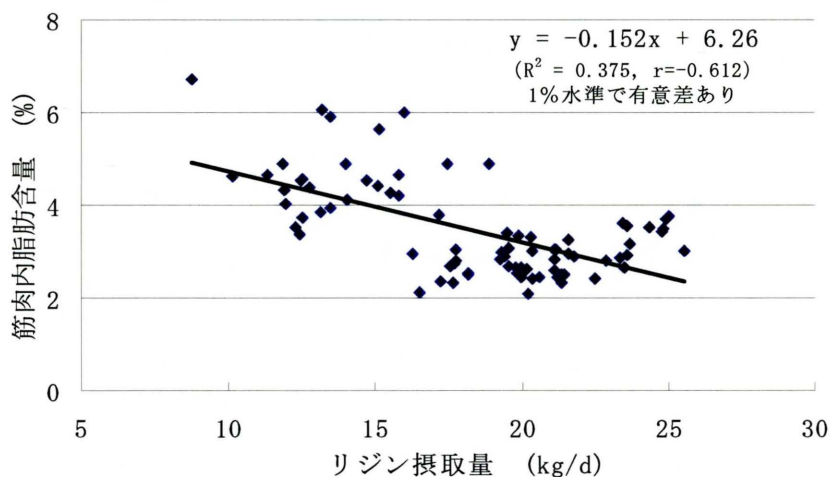


図 5-3 リジン摂取量と筋肉内脂肪含量の相関

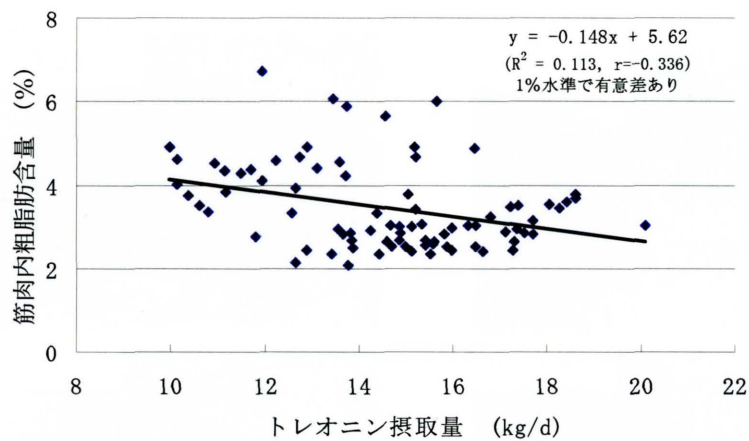


図 5-4 トレオニン摂取量と筋肉内脂肪含量の相関

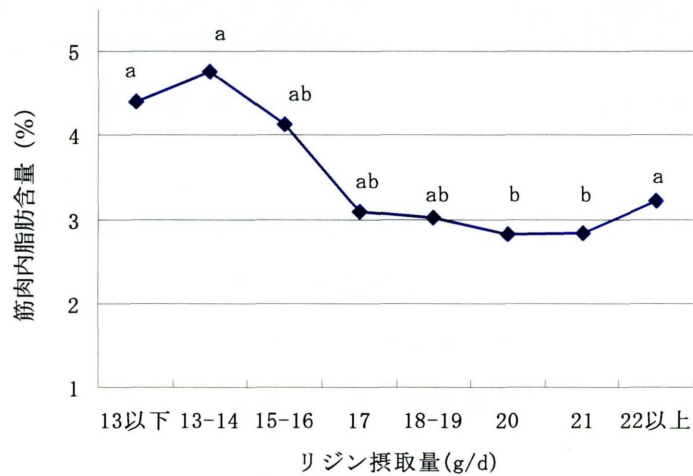


図 5-5 リジン摂取量と筋肉内脂肪含量

注：異符号間に 5%水準で有意差あり

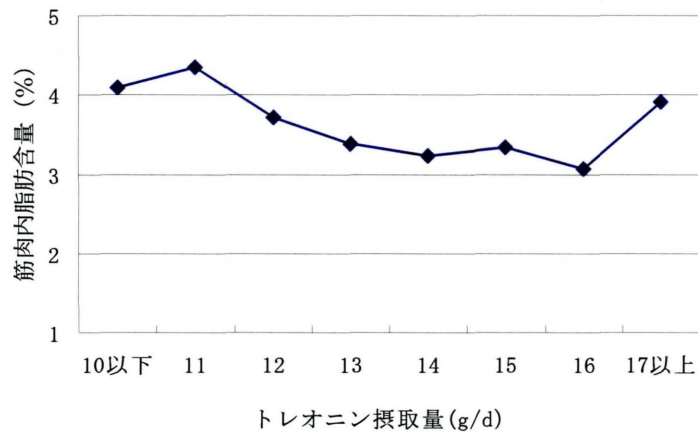


図 5-6 トレオニン摂取量と筋肉内脂肪含量

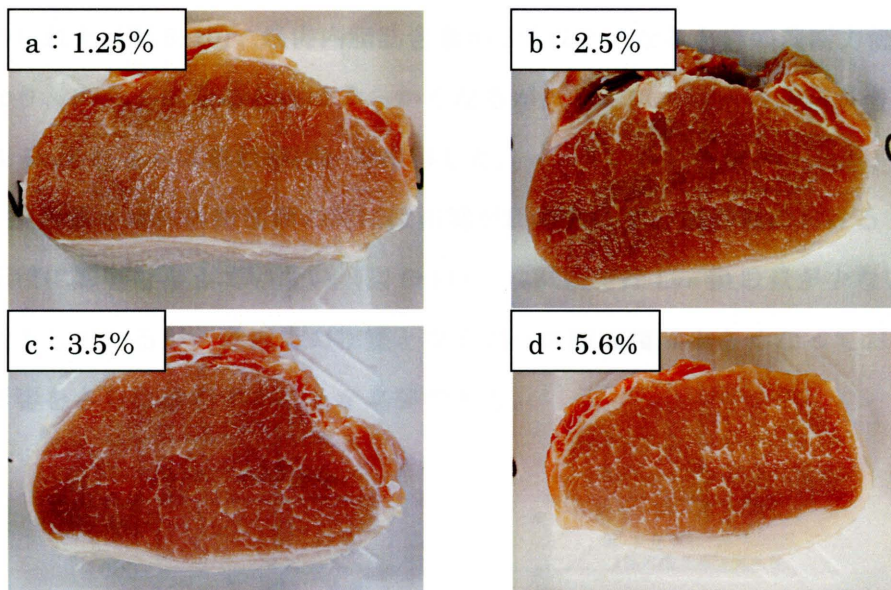


写真 5-2 ロース中の筋肉間脂肪含量（枠内は粗脂肪量）

3-3 Lys 摂取量，発育成績および背脂肪厚

筋肉内脂肪含量と日増体量との相関係数は 0.31 となり，危険率 1% で有意差が認められた（図 5-7）。芦原ら（2008）は筋肉内脂肪が多く蓄積した豚と少ない豚をグループ化し，発育を比較した中で脂肪を多く蓄積した豚は増体量が低いとしており，本試験での結果と一致していた。

Lys 摂取量と日増体量の相関係数は 0.73 になり，危険率 1% で有意差が認められた（図 5-8）。Lys17g 未満の日本飼養標準・豚（2005）の要求量に満たない Lys 摂取量における日増体量（試験母数 27 の平均）は 730g，17g 以上の摂取量（試験母数 55 の平均）では 869g で低 Lys 摂取の肉豚は日増体量が約 20% 低下した。飼料中の Lys を制限するとロース部の粗脂肪含量が増加するが，1 日当りの増体量を低下させることを示した。

筋肉内脂肪含量と枝肉の背脂肪厚 3 部位の平均は相関が認められず，背脂肪が厚くなり，体脂肪蓄積が進んでもロース部の筋肉内脂肪含量が連動しないことを示した（図 5-9）。牛肉は肥育が進んだ時期から筋肉内脂肪を蓄積させる肥育を行なうといわれる。一方わが国の豚枝肉取引規格により枝肉が上規格にはいるのは生体重約 120kg までになるため，肉豚の出荷は脂肪蓄積が本格的に始まる前の時期にあたる。このため背脂肪厚と筋肉内脂肪の蓄積は連動しないと考えられた。

筋肉内脂肪含量と肉の硬さを示す剪断力価は相関係数が 0.57 となり，危険率 1% で有意差が認められた（図 5-10）。筋肉内脂肪含量が 3% 以下になると肉の剪断力価は高く，すなわち硬くなり，3～4% になると肉は柔らかくなるが，それ以上筋肉内脂肪が増加しても剪断力価は約 3.5kgf を中心に概ね横ばいで推移した。

Lys 摂取量とロース断面積の間には相関が認められず，肥育期における Lys 摂取量はロース断面積に影響を与えていない（図 5-11）。本試験では Lys 摂取量が少ないと増体量が明らかに低下しているが，赤肉量の指標となるロース断面積は小さくなっておらず，赤肉量に対する影響をさらに検討することが必要である。

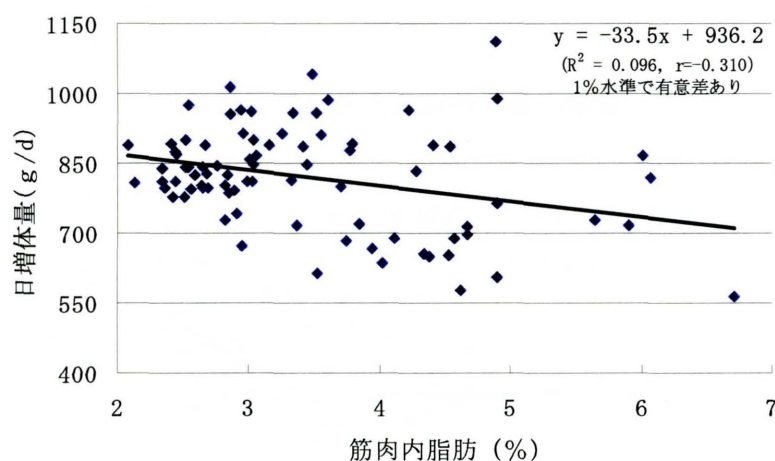


図 5-7 筋肉内脂肪含量と日増体量との相関

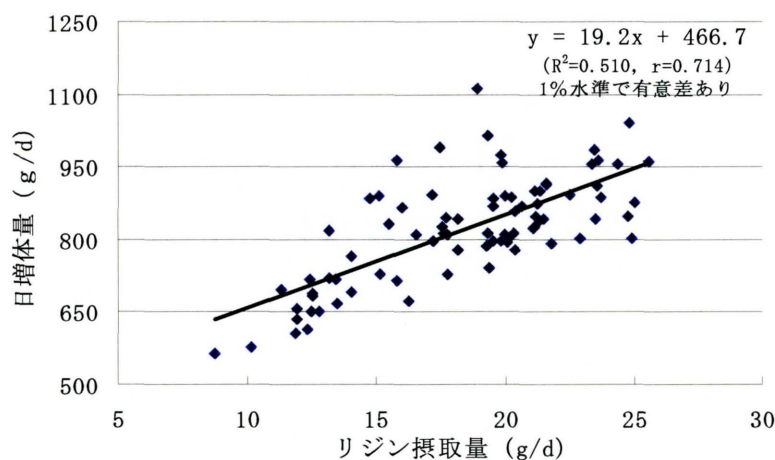


図 5-8 リジン摂取量と日増体量との相関

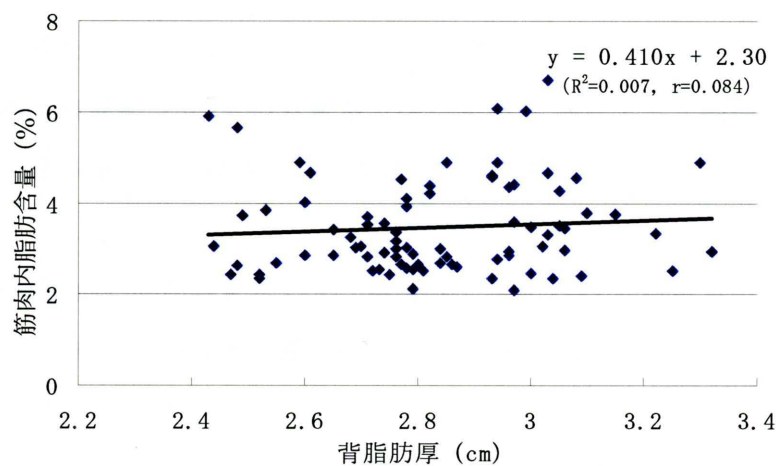


図 5-9 背脂肪厚と筋肉内脂肪含量の相関

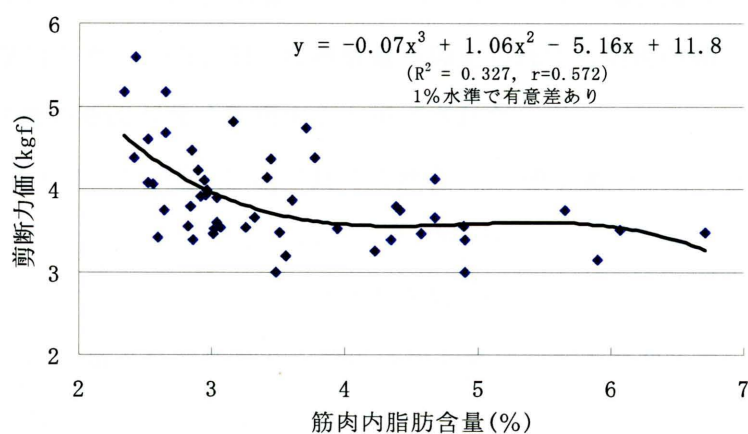


図 5-10 筋肉内脂肪含量と剪断力価の相関

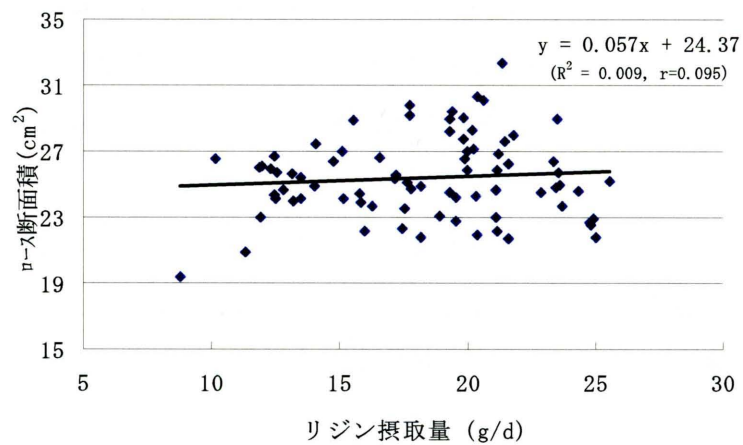


図 5-11 リジン摂取量とロース断面積との相関

4. まとめ

3元交雑肉豚を用いて肉質に関連する肥育試験を行い、可消化養分総量 (TDN)、粗蛋白質、粗脂肪、可溶無窒素物 (NFE) 摂取量および Lys, Thr 等のアミノ酸摂取量がロース部の筋肉内脂肪含量、増体量、肉の硬さ等におよぼす影響を検討した。得られた主な知見は以下のとおりである。

- (1) ロース部の筋肉内脂肪含量と Lys, Thr, Tyr, Ile, Val の摂取量の間には有意な相関が認められた。一方、TDN、粗蛋白質、粗脂肪、NFE 摂取量、および Met と Cys の合計摂取量とは相関が認められなかった。
- (2) 豚におけるロース部の筋肉内脂肪含量の最高値は 6.7% で牛肉に比べると低い値を示した。Lys 摂取量が 17g 未満になるとロース部の筋肉内脂肪含量が 4.58%, 17g 以上になると 3.0% に低下した。Lys 摂取量が日本飼養標準のリジン要求量を下回ると筋肉内脂肪含量の蓄積が進行した。一方、Thr は摂取量が抑えられても筋肉内脂肪含量のばらつきが大きく、Lys 含量の要因が強く作用すると推定された。
- (3) Lys 摂取量と DG は有意な相関が認められた。Lys 摂取量が 17g で区分すると低 Lys 摂取の肉豚は 1 日当り増体量が約 20% 低下した。飼料中の Lys を制限するとロース部の筋肉内脂肪含量が増加するが、1 日当りの増体量を低下させることを示した。
- (4) 筋肉内脂肪含量と日増体量との間には相有意な相関が認められ、増体の悪い豚は筋肉内脂肪含量が多くなることを示した。
- (5) 筋肉内脂肪含量と枝肉の背脂肪厚との間には相関が認められず、脂肪蓄積が進んでもロース部の筋肉内脂肪含量が連動しないことが明らかとなった。
- (6) 筋肉内脂肪含量と剪断力価の間には有意な相関が認められた。肉中の粗脂肪量が 3% 以下の肉に比べて 3~4% になると肉が柔らかくなるが、それ以上蓄積しても柔らかさに変化がみられなかった。
- (7) Lys 摂取量とロース断面積の間には有意な相関が認められなかった。

本章の結果より、肥育期におけるリジン摂取量の給与量が栄養分要求量より下回ると、ロース部の筋肉脂肪含量が増加することを確認した。栄養養分要求量のなかでリジン摂取量が 1 日当り約 17g を境に少なくなると体内の筋肉中の脂肪含量が増加する方向に作用した。また、第二制限アミノ酸といわれるトレオニン水準の関与はリジンより低かった。筋肉内脂肪

含量に関する研究が多く報告されているが(Goerl *et al.*, 1995, Kerr *et al.*, 1995, Katsumata, 2005, 芦原ら, 2008), 日増体量の発育や枝肉成績との関連についての結果が一定していない。現在, 生産現場において先行的に低リジンによる豚肉生産が行なわれ, すでに, この生産方式による豚肉が販売されている。しかし, 飼料中のリジン含量は成長に対して最も深く関与するアミノ酸になるため, 本結果でも示したように低リジンは成長を抑制することが危惧される。生産現場での実用化に当たっては, 飼料中のリジン成分の水準をどの程度するかは成長の要求量との関連からさらに検討が必要である。

第6章 肥育期の低リジン飼料給与が発育成績、筋肉内脂肪含量および筋肉のアミノ酸組成等に及ぼす影響

1 緒言

第5章で畜産物の筋肉内脂肪含量が飼料中のアミノ酸含量に関与することが明らかになり、飼料中の養分要求量（日本飼養標準，2005）より低いリジン水準の給与は筋肉内脂肪蓄積の増加が期待できる一方、増体量の低下が危惧される。このように特徴ある豚肉生産に向けた各種の取組み・研究が行われ、筋肉内高脂肪蓄積を実現した豚肉の生産から流通に至る方式が一部先駆的に行われているものの、広範に普及させるための前提となる発育成績を維持しながら筋肉内脂肪を蓄積させる飼料内容に関する一層の研究が必要とされ、具体的な生産方法を確立することが必要である。さらに、畜産物中のアミノ酸組成への影響については一部で報告（岩本ら，2005）されているが十分に解明されていない。

本章においては、飼料成分のなかでリジンと蛋白質（CP）水準を同時に低下させると筋肉内脂肪蓄積と発育成績はトレードオフの関係にあるため、リジン含量を日本飼養標準：豚の養分要求量より低くする一方、蛋白質、トレオニン、メチオニン、シスチンは要求量を満たすように新たに配合設計した試験飼料を肉豚に給与した場合の発育成績、枝肉成績、肉質成績、ロース部の筋肉内脂肪含量、筋肉中のアミノ酸組成、背脂肪および肉中の脂肪酸組成を明らかにする実験的研究を行った結果について取りまとめた。

2 材料および方法

2-1 試験区分および方法

試験は一般的に肉豚に給与されている配合内容とした対照区と低リジン飼料給与の2区とし、同一試験を4回反復した。1，3，4回目の試験は各区6頭の群飼，2回目は各区5頭の群飼育で行なった。供試豚は合計46頭（雌24，去勢22頭）使用したが、この中で対照区は跛行により1頭，試験区は跛行による1頭と発育遅れで2頭を試験から除外した。肉豚は全農飼料畜産中央研究所で生産されたLWD種，WLD種を使用し、各区に性および母豚からの子豚が均等になるように振り分けた。試験は生体重約65kgから開始し，110kg到達時を肥育試験終了とし，当研究所内に設置していると畜場でと畜解体し，一昼夜冷蔵保管後，枝肉検査を行ない，肉質検査用の試料を採取した。

2-2 供試飼料

供試飼料は(株)東日本くみあい飼料の鹿島工場で肉豚肥育期用飼料として製造したマッシュとした。対照区はトウモロコシ，グレインソルガムを使用し，栄養組成はCP，可消化養分総量（TDN），リジン（Lys），メチオニン（Met）とシスチン（Cys）の合計，トレオニン（Thr）がそれぞれ 14.8%，77.4%，0.75%，0.55%，0.58%とした。対照区の配合内容は肥育用として通常流通している一般的な栄養水準である。低リジン給与の試験区はトウモロコシ，グレインソルガムに加えて，小麦，キャッサバミールを使用し，CP，TDN，Lys，Met と Cys の合計，Thr がそれぞれ 14.1%，78.0%，0.52%，0.55%，0.50%とした（表 6-1，6-2）。試験区の配合内容は Lys が日本飼養標準：豚の養分要求量おける 0.56%より低くしたが，CP は 13.0%，Met と Cys は 0.34%，Thr は 0.36%をいずれも養分要求量を満たすようにした。

表 6-1 供試飼料の配合割合（%）

原料名	対照区	試験区
トウモロコシ	46.2	18.2
グレインソルガム	30.0	30.0
小麦	－	20.0
キャッサバミール	－	10.0
植物油粕	21.2	13.8
その他原料	0.8	6.1
ビタミン・ミネラル	1.8	1.9
合計	100.0	100.0

表 6-2 供試飼料の成分分析値（%）

成分	対照区	試験区
水分	12.8	12.4
粗蛋白質	14.9	14.1
粗脂肪	3.9	2.9
粗繊維	2.8	2.7
粗灰分	4.0	3.8
カルシウム	0.70	0.57
リン	0.45	0.45
リジン	0.75	0.52
メチオニン と シスチン	0.55	0.55
トレオニン	0.58	0.50
リノール酸	1.80	1.29
NFE（計算値）	61.5	64.1
TDN（計算値）	77.4	78.0

2-3 調査項目

(1) 供試飼料の分析

供試飼料における成分分析は一般成分が水分，CP，粗脂肪（Fat），粗繊維（Fib），粗灰分（Ash）とし，さらにカルシウム（Ca），リン（P），脂肪酸組成およびアミノ酸組成を飼料分析法・解説 2009（農林水産消費安全技術センター飼料分析基準研究会，2010）に基づいて当研究所で行った。Ca は原子吸光度法により，P はバナドモリブデン酸比色法により定量した。脂肪酸組成はメタノール・クロロホルムの混合液で脂質を抽出し，ガスクロマトグラフィー（島津 CG18A）を用いて測定した。アミノ酸は 18 種類とし，リジン等の 16 成分は塩酸分解法，メチオニンとシスチンは過蟻酸酸化法によりアミノ酸自動分析計（日立 L8900）で測定した。トリプトファンはアルカリ分解し，高速液体クロマトグラフィー（島津 20A）で測定した。

(2) 発育成績，枝肉および肉質成績

発育成績は群飼（5～6 頭/群）の日増体量（DG），群飼の総飼料摂取量から全頭の飼育期間で除して 1 日 1 頭当りの飼料摂取量，飼料要求率（FCR）は飼料摂取量を増体量で除して求めた。

枝肉成績はと畜翌日に枝肉を計測し，枝肉重量，枝肉歩留，と体長，背腰長 I，II，と体幅，背脂肪厚（カタ，セ，コシの 3 部位），3 分割割合（カタ，ロースとバラ，モモ），ロース断面積（第 5～6 胸椎部間上）とした（第 3 章参照）。

肉質成績は，と畜 1 日目に第 6～13 胸椎部上のロース部を採取し，pH 値，肉色，脂肪色，保水性，粗脂肪，水分，ウィーブ量，剪断力価（肉の硬さ），背脂肪およびロース部の肉中の脂肪酸組成，肉の粗蛋白質，構成アミノ酸，遊離アミノ酸等を求めた。

pH 値はロース部を挽肉にした後，ガラス電極式 pH メーター（堀場 D54 型）で測定した。肉色は第 5～6 胸椎部のロース断面において，畜試式豚標準肉色（PCS）（第 4 章参照）と分光式色差計（日本電色工業 SE2000 型）で L*値（明度），a*値（赤味），b*値（黄味）を測定した（第 4 章参照）。

保水性，伸展率は加圧ろ紙法で行った（第 4 章参照）。剪断力価はロース部を，ワーナーブラツラー硬度計（インストロン 5542 型）で測定した（第 5 章参照）。水分は 135℃における常圧加熱乾燥法，粗脂肪はジエチルエーテルで抽出するソックスレー抽出法で測定した（第 2 章参照）。ロース部の粗脂肪含量は 4 部位で測定し，部位 1 は胸椎 6～10 部間，部位 2 は胸

椎 11～13 部間，部位 3 は胸椎 14～腰椎 2 部間，部位 4 は腰椎 3～最後腰椎部間とした。

脂肪酸組成は背脂肪内層とロース部位 1 の肉からメタノール・クロロホルムの混合液で脂質を抽出し，ガスクロマトグラフィー（島津 CG18A）を用いて測定した（第 2 章参照）。筋肉中の粗蛋白質，構成アミノ酸および遊離アミノ酸は反復 1，2 の試験での 19 頭について測定した。粗蛋白質はケルダール法により実施した（第 2 章参照）。構成アミノ酸 18 種類とし，シスチン，トリプトファンを除く 16 種類は塩酸分解法によりアミノ酸自動分析計（日立 L 8900），メチオニン，シスチンは過蟻酸酸化法によりアミノ酸自動分析計（日立 L 8900），トリプトファンはアルカリ分解法により高速液体クロマトグラフィーで測定した（日本食品工業学会・食品分析法編集委員会，1982）。また，遊離アミノ酸は同じく常法に基づきアミノ酸，ジペプチド，タウリン，尿素，アンモニア等の約 40 種類とし，加水分解せずに抽出し，除蛋白した後，アミノ酸自動分析計（日立 L 8900）で測定した（第 2 章参照）。

(3) 統計処理

統計処理は Excel 統計 2002（㈱社会情報サービス）の統計機能を用いて，クラスカル・ウォリス検定により区間の検定を行い，各区間の平均値の差はシェッフの方法による多重比較で検定した。

3 結果および考察

3-1 発育成績

4 回の反復発育試験の平均値を表 6-3 に示した。平均生体重は試験開始時の約 65kg から，試験終了時は約 113kg であった。日増体量は対照区が 836g，低リジン給与が 794g で対照区対比 95%になり，4 回のうち 2 回は明らかに低下し，低リジン給与が劣る傾向が認められた。飼料摂取量は対照区が 2.85kg，低リジン給与が 2.96kg になり，4 回の反復とも低リジン給与による低下が認められなかった。リジン摂取量は対照区が 21.4g，低リジン給与が 15.4g で，低リジン給与は日本飼養標準：豚（2005），NRC，（1998），YEn *et al.*，（1987）における 1 日当りのリジン要求量より下回った。トレオニン摂取量は対照区が 16.5g，低リジン給与が 14.8g で日本飼養標準：豚（2005）における 1 日当りのトレオニン要求量より 11.2g より上回った。また低リジン給与は小麦，キャッサバミールを使用したため飼料中のリノール酸が少なく，リノール酸摂取量は対照区が 51g，低リジン給与が 38g になった。飼料要求率（FCR）は対照区が 3.47，低リジン給与が 3.81 になり，4 回の反復のうち 3 回で低リジン給与が劣っ

た。低リジン給与の飼料中の蛋白質含量は14%で養分要求量より上回っているが、第一制限アミノ酸であるリジンが養分要求量より下回っているため、その影響により増体量の低下傾向が認められ、飼料要求率が劣っていた。

3-2 枝肉成績

枝肉成績を表6-4に示した。枝肉重量は対照区、低リジン給与とも出荷体重の基準となる約75kgであった。枝肉歩留は対照区、低リジン給与とも約67%で差が無く、と体長、背腰長Ⅰ，Ⅱ，と体幅、大割肉片割合は両区に差が認められなかった。肥育期における低リジンの給与は骨の成長には影響を与えていなかった。背脂肪厚（3部位平均）は対照区が2.53cm，低リジン給与が2.68cmで低リジン給与がやや厚くなり、去勢では両区に差が認められず、雌での差が顕著であった。試験区は低リジンにより増体量が低下したにもかかわらず脂肪蓄積が多くなった。ロース断面積は対照区が26.5cm²，低リジン給与が24.3cm²になり、危険率5%で有意差が認められた。特に雌の区間においても同様に危険率5%で有意差が認められた。Whitteら（2000）による低リジン給与でロース断面積が小さくなるという報告と一致していた。

3-3 肉質成績

肉質成績を表6-5に示した。PCSは対照区、低リジン給与のいずれにも差が認められなかったが、色差計で測定したL*，a*，b*値からの肉色の色差（ ΔE ）は1.77になり、肉眼で見ても区間にやや差があることを示した。低リジン給与のL*値が対照区より高く危険率5%で有意差が認められており、低リジン給与の肉色が淡いことを示した。保水性、伸展率、ウィープ量、クキングロス、剪断力価は両区に差が認められなかった。

ロース部の4部位の値を平均した筋肉内脂肪含量は対照区が2.91%（写真6-1），低リジン給与が5.57%（写真6-2）になり、危険率1%で有意差が認められた。低リジン給与の個体のなかで最高値は8.23%になり、最低値は3.0%以下が1頭であった。部位1～4のいずれにおいても低リジン給与が多く蓄積し、危険率1%で有意差が認められ、低リジン給与は筋肉内脂肪の蓄積がロース芯全体まで及んでいることを示した。このなかで、部位4（腰椎3～最後腰椎部間上）が最も筋肉内脂肪が高く、次に部位1（胸推6～10部間）が高くなり、部位2（胸推11～13部間），部位3（胸推14～腰椎2部間）の順に低くなり、部位間でやや差が認

められた。性差では雌より去勢の筋肉内脂肪が多く蓄積する傾向が認められ、雌、去勢とも対照区と低リジン給与との間において、危険率1%で有意差が認められた。宮川ら（1970）は胸最長筋の部位別の差違のなかで腰椎部上のロースには粗脂肪含量が高いと報告しており、本試験での結果と一致していた。

表 6-3 発育試験成績

		対照区	試験区
反復数		4	4
供試頭数		22	20
開始体重	(kg)	65.9	65.0
終了時体重	(kg)	114.8	112.7
肥育日数	(d)	60.0	61.5
期間増体	(kg)	49.3	47.7
日増体量	g	836	794
1日飼料摂取量	(kg/d)	2.85	2.96
リジン摂取量	(g/d)	21.4	15.4
トレオニン摂取量	(g/d)	16.5	14.8
リノール酸摂取量	(g/d)	51.3	38.2
飼料要求率		3.47	3.81

表 6-4 枝肉成績

区分		全体			雌			去勢		
		対照区	試験区	区間 検定	対照区	試験区	区間 検定	対照区	試験区	区間 検定
頭数		22	20		12	11		10	9	
生体重	(kg)	112.4	110.2		112.7	109.8		112.0	110.6	
枝肉重量	(kg)	75.6	74.3		75.6	74.1		75.5	74.6	
枝肉歩留	(%)	67.2	67.5		67.1	67.5		67.4	67.5	
屠体長	(cm)	97.0	96.0		97.5	96.5		96.3	95.3	
背腰長Ⅰ	(cm)	80.2	79.7		80.6	80.1		79.6	79.2	
背腰長Ⅱ	(cm)	69.5	69.9		70.6	70.4		68.3	69.3	
屠体幅	(cm)	33.9	34.9		34.3	34.9		33.5	35.0	
背脂肪の厚さ	(cm)									
カタ		3.3	3.6		3.2	3.5		3.5	3.6	
セ		1.7	1.8		1.5	1.8		1.9	1.8	
コシ		2.6	2.7		2.5	2.8		2.8	2.6	
平均		2.53	2.68		2.39	2.68		2.71	2.68	
大割肉片割合 (%)										
カタ		33.4	33.3		33.2	32.9		33.6	33.9	
ロース、バラ		36.4	36.9		36.3	37.5		36.6	36.2	
モモ		30.2	29.8		30.5	29.6		29.8	29.9	
ロース断面積	(cm ²)	26.5	24.3	*	27.6	23.8	*	25.1	24.9	

注) *は5%水準で有意差あり

表 6-5 肉質成績

区分	全体			雌			去勢		
	対照区	試験区	区間	対照区	試験区	区間	対照区	試験区	区間
頭数	22	20	検定	12	11	検定	10	9	検定
pH	5.59	5.60		5.62	5.61		5.56	5.60	
PCS	3.52	3.55		3.63	3.59		3.40	3.50	
FCS	1.34	1.18		1.38	1.18		1.30	1.17	
L*	49.9	51.5	*	49.4	50.7		50.5	52.5	*
a*	10.7	10.7		10.6	11.3		10.9	10.0	
b*	6.52	7.13	**	6.14	7.14	*	6.98	7.13	
色相	0.62	0.68		0.59	0.64		0.65	0.72	
彩度	12.59	12.93		12.30	13.42		12.94	12.32	
色差 (ΔE)	1.71			1.77			2.16		
保水性 (%)	85.9	84.5		86.1	84.8		85.7	84.2	
伸展率 (cm ² /g)	15.5	15.0		15.1	15.0		16.0	15.1	
ウィーブ量 (%)	2.65	3.01		2.68	3.01		2.61	3.00	
水分 (%)	72.8	72.2		72.9	72.4		72.7	71.9	
ロース部の粗脂肪 (%)									
部位1	3.19	5.66	**	2.78	5.34	**	3.68	6.06	**
部位2	2.62	5.10	**	2.38	4.76	**	2.91	5.52	**
部位3	2.61	5.03	**	2.36	4.80	**	2.92	5.31	**
部位4	3.23	6.50	**	3.00	6.64	**	3.51	6.32	**
平均	2.91	5.57	**	2.63	5.39	**	3.25	5.80	**
クシクロス (%)	16.9	18.5		16.5	16.9		17.5	20.4	
剪断力価 (kgf)	3.92	3.79		4.15	3.67		3.64	3.93	

注) **は1%, *は5%水準で有意差あり

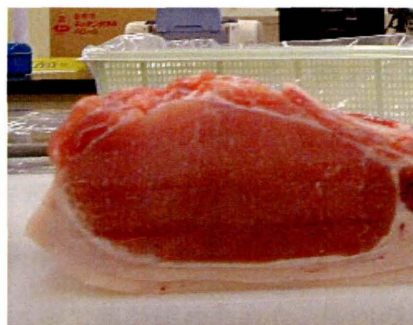
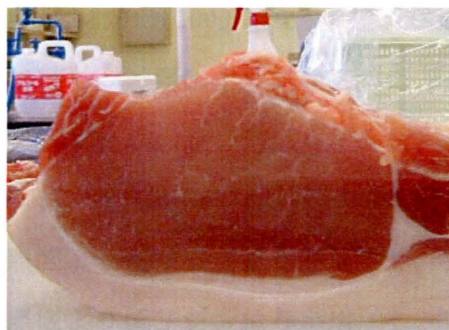


写真 6-1 対照区のロース部の粗脂肪 (左: 1.75%, 右: 2.29%)

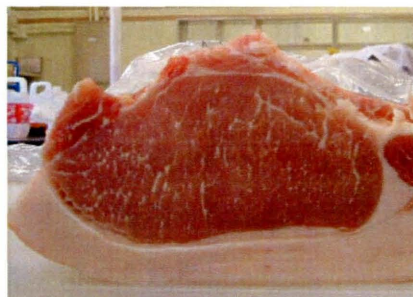


写真 6-2 試験区のロース部の粗脂肪 (左: 8.23%, 右: 6.67%)

3-4 ロース部の構成アミノ酸

ロース部の構成アミノ酸を表 6-6 に示した。粗蛋白質は対照区が 22.9%，低リジン給与が 21.1% になり，危険率 1% で有意差が認められた。18 種類の構成アミノ酸の合計は対照区が 21.6%，低リジン給与が 19.3% になり，危険率 1% で有意差が認められた。さらに，すべての単体アミノ酸において，低リジン給与は対照区よりアミノ酸の割合が 9～13% 減少し，区間において危険率 1% もしくは 5% で有意差が認められた。最も減少が大きかったのはバリン，イソロイシンであり，次いでリジン，アスパラギン酸，プロリン，ロイシン，チロシン，メチオニンであった。しかし，対照区と低リジン給与において，総構成アミノ酸での減少率と比較すると分岐鎖アミノ酸に分類されるイソロイシン，バリンが減少する傾向が認められた。豚の成長に伴う豚肉成分中のリジンは体重 37kg まで増加し，その後は平衡に推移するとしている（Mahan, 1998）が，低リジン飼料を給与すると構成アミノ酸の蓄積に影響することが明らかになった。

3-5 ロース部の遊離アミノ酸

ロース部の遊離アミノ酸を表 6-7 に示した。総遊離アミノ酸は対照区が 93.5mg/100g，低リジン給与が 91.0mg/100g になり，差が認められなかった。アスパラギン酸，イソロイシン，チロシンにおいて，対照区より試験区が低下し，危険率 1% で有意差が認められた。アルギニン，トリプトファン，リジン，ロイシン， α アミノアジピン酸，トレオニンにおいて，対照区より低リジン給与が低下し，危険率 5% で有意差が認められた。ジペプチドであるカルノシンは対照区より低リジン給与が低下し，危険率 5% で有意差が認められた。一方，アンセリンは対照区より低リジン給与が増加し，5% 水準で差が認められた。体内のリン脂質や神経細胞に関わるとされるセリンや脂肪族アミノ酸であるグリシン，アラニン，イミノ酸であるプロリンは低リジン給与が増加していた。タウリンは対照区より低リジン給与が増加し，危険率 5% で有意差が認められた。尿素は低リジン給与が増加する傾向が認められた。遊離アミノ酸は構成アミノ酸より変動が大きく，分岐鎖アミノ酸，リジン，エネルギーとして使用されるアスパラギン酸やグルタミン酸で大きな減少が認められている。岩本ら（2005）はパン屑を給与すると，遊離アミノ酸の中でアスパラギン酸のみに差があることを報告しているが，本試験ではそれ以外の遊離アミノ酸にも差が認められた。

従来リジン水準は増体量などの発育に関わる要件から飼養標準の養分要求量を検討してき

たが、穀類割合が異なっても低リジン給与は、筋肉内脂肪の蓄積に大きく関与するとともに、筋肉の構成および遊離アミノ酸の蓄積に影響し、畜産物の品質評価に影響することが明らかになった。

表 6-6 ロース部の構成アミノ酸（％）

区分 頭数	対照区		試験区		対照区 対比	区間 検定
	10		9			
	平均	偏差	平均	偏差		
アスパラギン酸	2.09	± 0.11	1.86	± 0.10	89%	**
トレオニン	1.02	± 0.05	0.92	± 0.05	90%	**
セリン	0.85	± 0.04	0.79	± 0.04	93%	*
グルタミン酸	3.19	± 0.18	2.86	± 0.15	90%	**
グリシン	0.95	± 0.05	0.85	± 0.04	90%	**
プロリン	0.78	± 0.05	0.70	± 0.04	89%	**
アラニン	1.27	± 0.07	1.14	± 0.06	90%	**
バリン	1.07	± 0.07	0.93	± 0.06	87%	**
シスチン	0.26	± 0.01	0.24	± 0.01	90%	**
メチオニン	0.65	± 0.03	0.58	± 0.02	89%	**
イソロイシン	1.01	± 0.07	0.87	± 0.06	87%	**
ロイシン	1.85	± 0.10	1.66	± 0.09	89%	**
チロシン	0.72	± 0.04	0.64	± 0.04	89%	**
フェニルアラニン	1.04	± 0.06	0.93	± 0.05	90%	**
トリプトファン	0.28	± 0.01	0.26	± 0.01	92%	*
リジン	2.04	± 0.11	1.81	± 0.10	89%	**
ヒスチジン	1.06	± 0.06	0.96	± 0.06	91%	*
アルギニン	1.44	± 0.08	1.29	± 0.07	90%	**
アミノ酸合計	21.6	± 1.12	19.3	± 0.99	89%	**
粗蛋白質	22.9	± 0.45	21.1	± 0.70	92%	**

注) 区間検定の**は1%, *は5%水準で有意差あり

表 6-7 ロース部の遊離アミノ酸

区分 頭数	mg/100g						対照区 対比	区間 検定
	対照区			試験区				
	10		9	9		9		
	平均	偏差	平均	偏差	平均	偏差		
アスパラギン酸	1.87	± 2.40	0.39	± 0.12	21%		**	
トレオニン	2.34	± 0.32	1.95	± 0.29	84%		*	
セリン	1.94	± 0.33	2.03	± 0.29	105%			
アスパラギン	0.85	± 0.16	0.78	± 0.17	91%			
グルタミン酸	4.19	± 1.02	3.71	± 0.49	89%			
グルタミン	14.1	± 2.4	13.2	± 2.4	93%			
プロリン	1.27	± 1.08	1.57	± 1.24	124%			
グリシン	6.98	± 1.01	7.92	± 1.93	113%			
アラニン	11.6	± 1.6	12.6	± 1.9	109%			
バリン	2.96	± 0.39	2.51	± 0.57	85%			
メチオニン	1.72	± 0.35	1.57	± 0.39	91%			
イソロイシン	2.21	± 0.21	1.82	± 0.31	82%		**	
ロイシン	3.71	± 0.55	3.23	± 0.42	87%		*	
チロシン	2.44	± 0.26	1.97	± 0.26	81%		**	
フェニルアラニン	2.19	± 0.22	2.07	± 0.28	95%			
トリプトファン	0.31	± 0.18	0.11	± 0.18	36%		*	
リジン	2.45	± 0.63	1.76	± 0.49	72%		*	
ヒスチジン	1.50	± 0.24	1.57	± 0.15	104%			
アルギニン	1.78	± 0.48	1.34	± 0.32	75%		*	
ホスホセリン	0.53	± 0.02	0.52	± 0.02	98%			
サルコシン	1.27	± 0.26	1.13	± 0.17	89%			
α-アミノ安息香酸	1.38	± 0.21	1.15	± 0.12	83%		*	
シトルリン	1.41	± 0.15	1.49	± 0.24	106%			
シスチオン	0.19	± 0.21	0.16	± 0.12	85%			
β-アラニン	2.70	± 0.51	2.89	± 0.52	107%		*	
β-アミノイソ酪酸	1.34	± 0.29	0.96	± 0.17	72%			
γ-アミノ酪酸	0.03	± 0.02	0.07	± 0.02	191%		*	
オルニチン	0.40	± 0.12	0.42	± 0.15	105%			
総遊離アミノ酸計	93.52	± 6.06	91.00	± 7.85	97%			
タウリン	15.8	± 4.0	21.7	± 4.9	137%		*	
アンセリン	19.7	± 2.2	21.5	± 2.1	109%		*	
カルノシン	682.2	± 52.4	626.1	± 53.7	92%		*	
尿素	20.55	± 5.63	24.52	± 6.74	119%			
アンモニア	8.12	± 1.95	6.93	± 1.74	85%			

注1) 区間検定の**は1%, *は5%水準で有意差あり

注2) アンセリンとカルノシンはジペプチドの遊離アミノ酸

3-6 ロース部および背脂肪内層の脂肪酸組成

背脂肪内層の脂肪酸組成を表 6-8 に示した。低リジン給与において飽和脂肪酸であるパルミチン酸 (C16:0)、ステアリン酸 (C18:0) 含量が対照区より増加し、危険率 5% で有意差が認められた。1 価の不飽和脂肪酸であるオレイン酸 (C18:1) は両区に差が認められなかった。必須不飽和脂肪酸であるリノール酸 (C18:2) 含量において、対照区は 9.33%，低リジン給与は 7.47% となり危険率 1% で有意差が認められた。リノール酸とステアリン酸の比

(C18:2/C18:0) は、対照区より低リジン給与が小さくなり、危険率 1% で有意差が認められた。性別にみると、雌のステアリン酸は対照区に比べ低リジン給与が高く、危険率 1% で有意差が認められた。一方、リノール酸が低下し、危険率 1% で、また C18:2/C18:0 が低くなり、危険率 1% でそれぞれ有意差が認められた。また、去勢における低リジン給与のリノール酸は低く、危険率 1% で、また C18:2/C18:0 も低くなり、危険率 5% でそれぞれ有意差が認められた。しかし、パルミチン酸、ステアリン酸には差が認められなかった。低リジン給与は小麦、キャッサバミールを使用したため、対照区に比べて低リジン給与の飼料中のリノール酸が少ないため、体脂肪の脂肪酸組成の影響を受けていた。

ロース部中の脂肪酸組成を表 6-9 に示した。パルミチン酸は対照区より低リジン給与が増加し、危険率 1% で有意差が認められた。オレイン酸は対照区が 46.6%，試験区が 49.8% となり、危険率 1% で有意差が認められた。リノール酸において、対照区が 5.95%，低リジン給与では 3.49% となり、危険率 1% で有意差が認められた。C18:2/C18:0 は対照区より低リジン給与が小さくなり、危険率 5% で有意差が認められた。性別にみると雌、去勢のパルミチン酸は対照区に比べて低リジン給与が高く、危険率 5% で有意差が認められた。さらに、低リジン給与ではオレイン酸が増加し、リノール酸は低下し、1% 水準で差が認められた。C18:2/C18:0 は小さくなり、1% 水準で差が認められた。Katsumata *et al.* (2005) は配合飼料内容を変えないで低リジン給与に対する筋肉内脂肪の脂肪酸組成の影響をみたなかで、低リジン給与はオレイン酸を増加させ、リノール酸が減少するとし、本試験結果と一致していた。しかし、本試験の配合飼料中の穀類割合は各区で異なり、配合飼料中のリノール酸含量が体脂肪のリノール酸に影響していることも考えられる。また、背脂肪とロース部中の脂肪酸組成の区間の動きは、ステアリン酸とオレイン酸に違いが見られた。本試験では低リジン飼料給与が脂肪酸組成への影響を明らかにするまでには至らなかった。

表 6-8 背脂肪内層の脂肪酸組成 (%)

区分 頭数	全体			雌			去勢		
	対照区	試験区	区間 検定	対照区	試験区	区間 検定	対照区	試験区	区間 検定
C14:0 ミリスチン酸	1.25	1.25		1.23	1.22		1.28	1.29	
C16:0 パルミチン酸	24.36	25.26	*	24.08	24.98		24.70	25.60	
C16:1 パルミトレイン酸	1.58	1.56		1.59	1.52		1.57	1.62	
C17:0 ヘプタデカン酸	0.42	0.31		0.43	0.28		0.40	0.34	
C17:1 ヘプタデセン酸	0.33	0.24		0.33	0.21		0.33	0.27	
C18:0 ステアリン酸	15.30	16.45	*	14.93	16.41	**	15.73	16.50	
C18:1 オレイン酸	44.27	44.70		44.24	45.12		44.31	44.18	
C18:2 リノール酸	9.33	7.47	**	9.99	7.47	**	8.55	7.48	**
C18:3 リノレン酸	0.49	0.41		0.50	0.41		0.47	0.41	
C20:0 アラキドン酸	0.35	0.33		0.35	0.34		0.34	0.32	
C20:1 イコセン酸	1.02	0.99		1.03	1.01		1.00	0.97	
C20:2 エイコサジエン酸	0.47	0.38		0.50	0.38		0.43	0.38	
C20:4 アラキドン酸	0.13	0.11		0.12	0.12		0.14	0.10	
不飽和脂肪酸	57.54	55.77		58.23	56.14		56.71	55.32	
不飽和脂肪酸/飽和脂肪酸	1.39	1.28		1.43	1.30		1.34	1.26	
C18:2/18:0	0.62	0.46	*	0.67	0.46	**	0.55	0.46	*

注1) 区間検定の**は1%, *は5%水準で有意差あり

注2) 不飽和脂肪酸/飽和脂肪酸とC18:2/18:0は成分の比率

表 6-9 ロース部の脂肪酸組成 (%)

区分 頭数	全体			雌			去勢		
	対照区	試験区	区間 検定	対照区	試験区	区間 検定	対照区	試験区	区間 検定
C10:0 デカン酸	0.11	0.11		0.11	0.11		0.11	0.10	
C14:0 ミリスチン酸	1.29	1.25		1.25	1.22		1.34	1.29	
C15:1 ヘンタデセン酸	0.78	0.49		0.85	0.52		0.69	0.44	
C16:0 パルミチン酸	25.1	26.1	**	24.8	25.8	*	25.5	26.5	
C16:1 パルミトレイン酸	3.01	3.25		3.07	3.25		2.94	3.25	
C17:0 ヘプタデカン酸	0.17	0.12		0.18	0.12		0.16	0.13	
C17:1 ヘプタデセン酸	0.22	0.14		0.25	0.13		0.19	0.14	
C18:0 ステアリン酸	12.5	12.2		12.0	12.0		13.1	12.4	
C18:1 オレイン酸	46.6	49.8	**	46.7	50.1	**	46.5	49.5	**
C18:2 リノール酸	5.95	3.49	**	6.35	3.54	**	5.48	3.42	**
C18:3 リノレン酸	0.18	0.13		0.17	0.13		0.18	0.13	
C20:0 アラキドン酸	0.22	0.22		0.22	0.21		0.22	0.22	
C20:1 イコセン酸	0.76	0.91		0.76	0.89		0.75	0.92	
C20:2 エイコサジエン酸	0.17	0.12		0.19	0.11		0.15	0.14	
C20:4 アラキドン酸	1.17	0.70		1.33	0.74		0.97	0.65	
C20:5 イコサヘンタエン酸	0.15	0.11		0.15				0.11	
C22:5 トコサヘンタエン酸	0.15	0.13		0.16	0.13		0.15	0.12	
C22:6 トコサヘキサエン酸	0.15	0.15		0.17	0.17		0.12	0.14	
C24:0 リグノセリン酸	0.17	0.13		0.18	0.15		0.16	0.11	
不飽和脂肪酸	59.0	58.9		59.9	59.3		58.0	58.5	
不飽和脂肪酸/飽和脂肪酸	1.51	1.48		1.56	1.51		1.44	1.45	
C18:2/18:0	0.49	0.29	*	0.54	0.30	**	0.42	0.28	**

注1) 区間検定の**は1%, *は5%水準で有意差あり

注2) 不飽和脂肪酸/飽和脂肪酸とC18:2/18:0は成分の比率

4 まとめ

豚肥育期の飼料成分のなかでリジン含量を日本飼養標準：豚の養分要求量より低くする一方、蛋白質，トレオニン，メチオニンとシスチンは要求量を満たすように，新たに配合設計した試験飼料を肉豚に給与した際の DG，FCR，枝肉成績，肉質成績，ロース部の筋肉内脂肪含量，筋肉中のアミノ酸組成，背脂肪および肉中の脂肪酸組成等に対する影響を検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 発育成績において日増体量，飼料要求率は通常飼料給与に比べ低リジン給与が劣る傾向が認められた。
- (2) ロース断面積は通常飼料給与に比べ低リジン給与が有意に小さくなった。と体長，背脂肪厚は対照区と低リジン給与の間に差が認められなかった。
- (3) 肉色は通常飼料給与に比べ低リジン給与が淡くなる傾向が認められた。保水性等は対照区と低リジン給与の間に差が認められなかった。
- (4) 筋肉内脂肪含量（サシ）は通常飼料給与に比べ低リジン給与がロース部全体に蓄積し，有意に高くなった。特に，胸椎から腰椎部位間上において，腰部の筋肉内脂肪の蓄積が高いことが明らかになった。
- (5) 18 種類の構成アミノ酸は通常飼料給与に比べ低リジン給与がすべてにおいて，アミノ酸含量が約 10% 減少し，区間において有意な差が認められた。分岐鎖アミノ酸に分類されるロイシン，イソロイシン，バリンが最も減少していた。
- (6) 総遊離アミノ酸は対照区に対し有意な差が認められなかったが，呈味に左右するアスパラギン酸が通常飼料給与より低リジン給与が低下していた。
- (7) 背脂肪内層の脂肪酸組成において飽和脂肪酸（パルミチン酸，ステアリン酸）は通常飼料給与より低リジン給与が増加し，有意な差が認められた。1 価の不飽和脂肪酸（オレイン酸）は両区に差が認められなかった。必須不飽和脂肪酸（リノール酸）は通常飼料給与が低リジン給与より減少し，有意な差が認められた。
- (8) ロース部中の脂肪酸組成において，パルミチン酸は通常飼料給与より低リジン給与が増加し，有意な差が認められた。オレイン酸は通常飼料給与より低リジン給与が増加し，有意な差が認められた。リノール酸は通常飼料給与より低リジン給与が減少し，有意な差が認められた。

以上のことから，低リジン摂取量が第 5 章で示した 17g の近似する 15g になるとロース

部の筋肉内脂肪の蓄積を増加させる一方、筋肉を構成するアミノ酸含量は減少することが明らかになった。本技術を生産現場で採用するにあたっては発育に関する対策が必要であり、飼料中の蛋白質水準を下げすぎないようにすることが肝要である。筋肉内脂肪蓄積を求めるあまり、発育を犠牲にした飼養管理は注意が必要である。

また、遊離アミノ酸はと畜後の肉の熟成期間に増加（斉藤忠夫ら，2006）し、遊離グルタミン酸、アスパラギン酸はうま味と酸味を呈する（河合，2003）といわれ、と畜時のアミノ酸減少の熟成後の肉の呈味への影響も今後の検討課題である。呈味に関わる遊離アミノ酸含量への影響が見られたが、熟成期間の変化を調査していないため、本研究では明確な知見が得られなかった。

本章までは、閉鎖群育種で作られた系統豚（注 1）を使用し、一定の能力を有する豚を前提として栄養成分を中心に豚肉の品質改善を検討してきた。しかし、豚個体の能力はそれぞれに差があり、豚の遺伝子解明が進む中で、個体の遺伝能力を踏まえた栄養成分からの解析が今後必要になると思われる。

注 1：系統豚とは相互に一定以上の血縁関係持つ個体の集団で、国からの系統認定を受けた種豚になる。

第7章 肉豚の椎骨数遺伝子型と枝肉・肉質形質との関連性の解析

1 緒言

畜産物を生産するにあたっては、遺伝、栄養、疾病が基本要件となることは良く知られている。これまでの章では、栄養学的な観点から畜産物での豚肉の化学成分特性、豚肉の品質向上に関して飼料に起因する体脂肪の脂質の改善、特殊な脂肪酸の体脂肪への蓄積、筋肉内脂肪に関与するリジン水準について報告してきた。一方、豚に関する遺伝子の解明が進むなかで、豚個体自身の椎骨数遺伝子が判定できるようになり、特定の遺伝子を解明した肉豚において、豚肉質への関与、養豚生産の向上が図れるかを検討し、遺伝子に基づく観点から豚肉質の評価も必要である。

イノシシと中国種における椎骨数の発生頻度はすべて19個とされるが、欧米で品種改良された豚の椎骨数が多くなる変異型が散見されたため、わが国に西洋品種が導入されると豚の椎骨数に関して多くの報告がみられている（戸原，1983b，高橋明ら，1965，与沢ら，1965，椎葉ら，1980）。品種別にみると中型種のパークシャーは21個が多く、20個はわずかである。大型品種のランドレースは22個が7割を占め、残りが21個になる。大ヨークシャーとデュロックは21個と22個が半々で20個がわずかであると報告している。

一方、豚において様々な経済形質に関する遺伝子を特定しようとする研究が進められ、ゲノム領域を特定するQTL解析法により、第1染色体および第7染色体上の2ヶ所に椎骨数に関するQTLが特定され（Mikawa, 2005）、その責任遺伝子が同定された（Mikawa, 2007, Mikawa, 2011）。イノシシとアジア在来種において、2つの椎骨数遺伝子はともに野生型であり、椎骨数は19個である。一方、ランドレース等の西洋品種では第1染色体の椎骨数遺伝子（NR6A1）は増大型にすべて置換されており、椎骨数は20個以上となっている（Mikawa, 2007）。西洋品種において第7染色体の椎骨数遺伝子（VRTN）には、野生型（wt）と増大型（Q）の対立遺伝子が存在し、椎骨数の多様性の原因となっており、西洋品種における椎骨数に関する遺伝子診断が可能となった（Mikawa, 2011）。

本章では、JA全農が系統造成を行ったランドレース（L）、大ヨークシャー（W）、デュロック（D）の種豚から生産された3元交雑種の肉豚（LWDまたはWLD）を用いて、20、21、22個の椎骨数をもつ豚、および椎骨数遺伝子型で分類した豚の発育成績、枝肉成績、肉質成績、脂肪酸組成について調査し、遺伝子型で判定した結果の有効性を検討した。

2 材料および方法

2-1 試験材料および方法

H21～22 年において JA 全農飼料畜産中央研究所内で生産・出荷されたランドレース種 (L) および大ヨークシャー種 (W) の交雑種雌豚 (F1 種豚) にデュロック種 (D) 雄豚を交配した三元交雑種肉豚 (LWD, WLD) 310 頭を供試豚とし、椎骨数の測定、枝肉、肉質の調査を行った。椎骨数が 20 個であるものを 20 型, 21 個を 21 型, 22 個を 22 型とした。なお, 供試した L, W, D の種豚はいずれも JA 全農で系統造成されたゼンノー L01, ゼンノー W01, ゼンノー D01 の種豚を使用した。また, 椎骨数遺伝子診断は, 供試豚の肉質検査時に採取したロース肉により行った。

供試豚は生後約 3 週齢時に離乳し, 通常の養豚用配合飼料を給与し, 出荷体重となる約 110 kg まで飼育した後, 当研究所にあると畜場でと畜, 解体し, 枝肉とした。1 昼夜 1℃で冷蔵後, 枝肉検査を行ない, さらに第 6～13 胸椎部上のロース部と背脂肪を採取し, と畜 24 時間後に理化学的な肉質検査を実施した。背脂肪は外層と内層に分離し, 内層を脂肪酸組成の分析に供した。

2-2 調査項目

(1) 発育, 枝肉成績

1 日増体量は生時および離乳後から出荷までの生体重と肥育日数から計算した。

と畜後翌日に枝肉重量, 枝肉歩留, と体長, 背腰長 I, 背腰長 II, と体幅, 椎骨数, 椎骨長, 背脂肪厚 (カタ, セ, コシの 3 部位), 3 分割割合 (カタ, ロースとバラ, モモ), ロース断面積 (第 5-6 胸椎部間) を調査した (第 3 章参照)。なお, 1 個の椎骨長は背腰長 II を椎骨数で除して求めた。

(2) 肉質成績

肉質はと畜 1 日後の pH 値, ロース部の肉色, 背脂肪の脂肪色, 保水性 (加圧ろ紙法), 伸展率, 粗脂肪, 水分, ウイープロス, クッキングロス, 剪断力価 (肉の硬さ) を調査した。

背脂肪内層 (第 6-10 胸椎部上) は脂肪酸組成, 融点を調査した。

pH 値はロース部 (第 7～9 胸椎部上) を挽肉にした後, ガラス電極式 pH メーター (堀場 D5 4 型) で測定した。肉色は第 5～6 胸椎部のロース断面において畜試式豚標準肉色 (以下 PCS と略記) (第 3 章参照) と測色色差計 (日本電色工業 SE2000 型) で L* 値 (明度),

a*値（赤味）、b*値（黄味）を測定した。色差（ ΔE ）は（ $\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2$ ）^{1/2}（ Δ は2点間の差を示す）で求め、感覚との差を判定した（第4章参照）。

保水性はに基づき加圧ろ紙法で行ない、保水性と伸展率を求めた（第4章参照）。ウィープは約100gのロースのステーキ肉を1週間4℃の冷蔵庫に放置し、保存前後の重量差をウィープとした。剪断力価は第12胸椎部のロース部を調理した後、ワナープラッツラー硬度計（インストロン5542型）で測定した（第5章参照）。クッキングロスと剪断力価を測定する際に行なった調理前後の重量差割合とした。水分は135℃における加熱減量法、粗脂肪はエチルエーテルで抽出するジエチルエーテル法で測定した（第2章参照）。

背脂肪の脂肪酸組成はメタノール・クロロホルムの混合液で脂質を抽出し、ガスクロマトグラフィー（島津CG18A）を用いて測定した（第2, 3章参照）。脂肪の融点は毛細管に試料を吸い上げ、上昇する温度を融点とする上昇法で実施した（畜産技術協会, 2003 b）。

(3) 椎骨数の遺伝子診断

肉豚のロース肉より、プロテインゼ K/フェノール法により DNA を抽出した。椎骨数の遺伝子診断は、椎骨数遺伝子（VRTN）のプロモーター領域に位置する多型 NV024（DDBJ アクセションナンバー：AB554582, 87 塩基目 A/T）、NV027（DDBJ アクセションナンバー：AB554584, 185 塩基目 C/A）を用いて行なった。野生型対立遺伝子（wt）は NV024 が T および NV027 が A、増大型対立遺伝子（Q）は NV024 が A および NV027 が C である（Mikawa *et al.* 2011）。遺伝子型判定には PCR-SSP（sequence specific primer）法を用いた。NV024 の野生型（T）のみを増幅するプライマー（attcgtgcgctagagaaagg & tgtatatgattcaaactgcttgta, 198 塩基）、NV027 の増大型の C のみを増幅するプライマー（cccccaaactctttggaaat & agaagtgcaaattcgggggg, 165 塩基）を同時に用いて PCR を行ない、198 塩基の増幅がみられた時に野生型（wt/wt）、165 塩基の増幅がみられた時に増大型（Q/Q）、198 塩基と 165 塩基の両方の増幅がみられた時にヘテロ型（wt/Q）と判定した。PCR は AmpliTaq Gold DNA polymErase（Applied Biosystems™）を用い、15 μl の反応液で行なった。反応液は 30ng の DNA を含み、NV024 のプライマー濃度は 0.3 μM、NV027 のプライマー濃度は 0.05 μM である。PCR サイクルは、94℃：9 分の後、[94℃：30 秒－55℃：30 秒－72℃：30 秒] を 40 回、最後に 72℃：5 分である。増幅は 3%アガロースゲルを用いた電気泳動で確認した（図 7-1）。

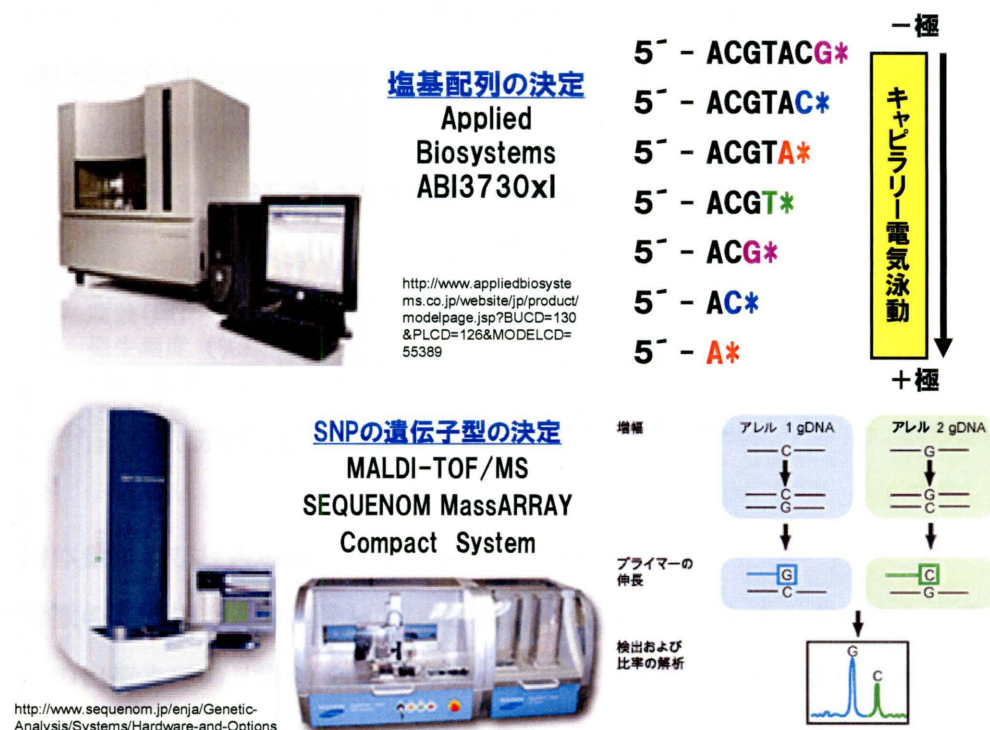


図 7-1 遺伝子決定に用いた機器類とその原理 (STAFF-InstitutE 作成 2012)

(4) 統計処理

試験成績は 20, 21, 22 型の椎骨数ごとおよび野生型, ヘテロ型, 増大型の椎骨数遺伝子型ごとに取りまとめを行ない, Excel 統計 2002 の統計機能を用いて処理を行ない, 区間の統計処理はクラスカル・ウォリス検定を行ない, 区間の検定も実施した。

3 結果および考察

3-1 椎骨数の発生頻度と椎骨長

椎骨数の発生頻度と椎骨長を表 7-1 に示した。調査頭数 310 頭の椎骨数の発生頻度は 20 型が 11.0%, 21 型が 66.5%, 22 型が 22.6% であった。椎骨数は品種により違いが見られると報告されており, 今回の調査ではこれまでのランドレース, 大ヨークシャー, デュロックに関する報告 (戸原ら, 1983a) よりも 20 型が多くみられ, 22 型が少ない結果にあった。さらに, 今回の調査では 23 型は発生していなかった。

椎骨長は 20 型が 3.30cm, 21 型が 3.22cm, 22 型が 3.18cm で椎骨数が多くなるにつれて短くなり, 各椎骨数間の間にはそれぞれ危険率 1% 水準で有意差が認められた。椎葉ら (1981) はランドレース純粋種の 1 個ずつのすべての椎骨長を測定し, 21, 22, 23 型の椎骨長を検討

している。21 型と 22 型における椎骨長は調査した枝肉重量が異なるため、本試験結果と長さの違いがみられたが、21 型と 22 型の椎骨長の比率は本試験結果とほぼ同じであった。

表 7-1 椎骨数の発生頻度と椎骨長

項目	椎 骨 数		
	20型	21型	22型
頭数(頭)	34	206	70
発生頻度 (%)	11.0	66.4	22.6
1個の椎骨の長さ (cm)	3.30 ^a	3.22 ^b	3.18 ^c
標準偏差	0.11	0.09	0.09

注：a b c の異符号間に1%水準で有意差あり

3-2 増体量および枝肉成績

椎骨数の違いによる増体量および枝肉成績を表 7-2 に示した。生時から出荷までおよび離乳からの出荷までの日増体量はいずれも、20 型と 21 型では有意差が認められないものの、22 型では増体が良くなる傾向がみられた。

と体長は 21 型に比べ 20 型が 1.1cm 短く、22 型が 1.9cm 長くなった。背腰長 I，背腰長 II についても同様な傾向を示し、椎骨数が多くなるにつれて、と体の長さが長くなり、と体長と背腰長 I は 20 型と 21 型、20 型と 22 型の間に危険率 1%で有意差が認められた。背腰長 II では 20 型と 21 型、20 型と 22 型、21 型と 22 型の間に 1%水準で有意差が認められた。椎骨数による差はロースの長さを示す背腰長 II に最も差がみられた。

枝肉歩留およびと体幅は椎骨数の型による差が認められず、椎骨数の違いは体軀の深みに影響しないことを示した。

背脂肪厚は 20 型が最も薄くなり、21 型が最も厚くなっていたが、椎骨数の型による差が認められなかった。ランドレースの純粋種で調査した報告（戸原，1983）では、椎骨数 21，22 および 23 個の相互比較で背脂肪厚に差が認められず、本試験結果と一致していた。

ロース断面積は椎骨数が多くなるにつれて 27.7，25.4 および 24.3cm²と小さくなり、20 型と 21 型、20 型と 22 型の間に危険率 1%で有意差が認められた。これにより椎骨数がロース断面積の大きさに関わっていることが明らかになった。

枝肉の 3 分割割合におけるカタの割合は、21 型に比べて 20 型が 1.1%高く、22 型が 0.6%少なくなり、椎骨数が多くなるにつれて少なくなり、20 型と 21 型、20 型と 22 型、21 型と 22 型の間に危険率 1%で有意差が認められた。また、ロースおよびバラの割合は、21 型に比べ

て 20 型が 2.1%少なく，22 型が 1.6%高くなり，椎骨数が多くなるにつれて比率が高まり，20 型と 21 型，20 型と 22 型，21 型と 22 型の間には危険率 1%で有意差が認められた。さらに，モモの割合は，21 型に比べて 20 型が 1.0%高く，22 型が 1.0%少なくなり，椎骨数が多くなるにつれて軽くなり，20 型と 21 型，20 型と 22 型，21 型と 22 型の間には危険率 1%で有意差が認められた。

22 型の体型はカタ，モモの割合が軽くなり，ロースとバラが長くなり，豚枝肉に求められる形質に近づいている。ランドレースの純粋種で調査した報告（戸原，1983）でも椎骨数 21，22 および 23 個の比較でロース断面積，カタ割合，ロースおよびバラ割合，モモ割合において 3 タイプ間で有意差が認められ，本試験の 3 元交雑種の 20，21，22 型の差と同じ結果であった。

表 7-2 椎骨数による増体量と枝肉成績

		椎 骨 数					
		20型		21型		22型	
		平均値	偏差	平均値	偏差	平均値	偏差
頭数	頭	34		206		70	
出荷体重	(kg)	113.1	± 4.9	113.2	± 4.9	114.6	± 4.7
増体量(DG)							
生時～	(g)	668	± 52	678	± 75	697	± 65
離乳～	(g)	747	± 58	752	± 67	768	± 82
と殺時体重	(kg)	111.4	± 5.9	111.0	± 5.1	112.0	± 4.5
枝肉重量	(kg)	74.5	± 4.5	74.6	± 3.6	75.3	± 3.3
枝肉歩留	(%)	66.9	± 2.4	67.3	± 1.9	67.3	± 1.9
と体長	(cm)	91.7 ^a	± 4.4	92.8 ^b	± 3.1	94.7 ^b	± 3.2
背腰長Ⅰ	(cm)	76.7 ^a	± 3.2	77.3 ^b	± 2.2	78.8 ^b	± 2.3
背腰長Ⅱ	(cm)	66.1 ^a	± 2.3	67.5 ^b	± 1.8	69.9 ^c	± 2.0
と体幅	(cm)	33.8	± 1.3	33.7	± 2.6	33.7	± 1.4
背脂肪厚							
カタ	(cm)	3.61	± 0.49	3.65	± 0.46	3.69	± 0.45
セ	(cm)	2.12	± 0.41	2.22	± 0.43	2.14	± 0.39
コシ	(cm)	2.86	± 0.40	2.96	± 0.42	2.95	± 0.38
平均	(cm)	2.86	± 0.38	2.95	± 0.40	2.92	± 0.35
ロース断面積	(cm ²)	27.7 ^a	± 3.5	25.4 ^b	± 3.6	24.3 ^b	± 2.8
3分割割合							
カタ	(%)	34.3 ^a	± 1.1	33.1 ^b	± 1.4	32.5 ^c	± 1.2
ロースおよびバラ	(%)	34.6 ^a	± 1.5	36.7 ^b	± 1.9	38.3 ^c	± 1.5
モモ	(%)	31.2 ^a	± 1.2	30.2 ^b	± 2.4	29.2 ^c	± 1.4

注：a b c の異符号間に1%水準で有意差あり

3-3 肉質成績

椎骨数の違いによる肉質成績を表 7-3 に示した。と畜から 24 時間後の pH 値はいずれの椎骨数型も豚肉の極限 pH 値である 5.4～5.6 に下がり正常な値を示した。

肉色を判定する PCS はいずれの椎骨数も 3.8 前後で差がみられなかった。測色色差計で測

定した肉色のL*、a*およびb*値に関して3種の椎骨数間には差が認められず、感覚との差を判定する色差(ΔE)は20型と21型、20型と22型、21型と22型においていずれも1.5以下になり肉眼で判定しても差が認められない結果となった。従って、椎骨数の肉色への影響はないものと判断された。

保水性はいずれの椎骨数型も82～83%にあり、椎骨数により差がみられなかった。さらに、伸展率、ウィープも椎骨数の型により差がみられなかった。ロース部の脂肪含量を判定するマーブリングスコアはいずれの椎骨数型も2.3～2.4となり、椎骨数により、差がみられなかった。しかし、ロース部中の粗脂肪含量は21型に比べ20型が0.12%少なく、22型が0.33%多くなり、椎骨数が多くなるにつれて増加する傾向を示した。

クッキングロス21型に比べて20型が0.4%多く、22型が3.5%少なく、22型が良くなり、20型と22型の間で危険率1%水準、21型と22型の間に同じく5%水準で有意差が認められた。剪断力価で判定した肉の硬さは21型に比べて20型が0.32kgf高く、22型が0.59kgf低く、22型が最も柔らかい結果となり、20型と22型、21型と22型の間には危険率1%水準で有意差が認められた。椎骨数の多い22型の肉が他の椎骨数型の肉に比べて柔らかい結果となり、この要因について組織学的な形態観察等からの検証が今後必要と考えられた。

表 7-3 椎骨数型による肉質成績

項目		椎 骨 数					
		20型		21型		22型	
		平均値	偏差	平均値	偏差	平均値	偏差
頭数	頭	34		206		70	
24h後 pH		5.66	± 0.09	5.68	± 0.11	5.67	± 0.10
PCS (肉色スコア)		3.9	± 0.5	3.7	± 0.5	3.8	± 0.4
肉色 (色差計の測定)							
明度 L*		49.4	± 2.9	50.2	± 4.3	49.2	± 4.5
赤味 a*		11.3	± 1.4	10.7	± 1.8	11.2	± 1.7
黄味 b*		5.63	± 1.19	5.82	± 0.91	5.85	± 0.93
色相 b/a		0.51	± 0.14	0.56	± 0.15	0.54	± 0.13
彩度 (a ² +b ²) ^{1/2}		12.7	± 1.2	12.3	± 1.5	12.7	± 1.5
色差 (ΔE) 注1							
20と21型		0.98					
21と22型		1.07					
20と22型		0.30					
保水性	(%)	82.3	± 2.2	83.2	± 2.9	83.4	± 2.7
伸展率	(cm ² /g)	13.6	± 2.4	13.8	± 1.2	14.2	± 1.2
ウィープ	(%)	3.06	± 1.30	2.70	± 0.83	2.72	± 1.01
水分	(%)	73.2	± 0.9	73.2	± 0.8	73.0	± 0.9
粗脂肪	(%)	2.98	± 1.19	3.10	± 1.10	3.43	± 1.06
クッキングロス	(%)	31.3 ^{a b}	± 6.5	30.9 ^a	± 5.6	27.4 ^b	± 7.5
剪断力価	(kgf)	4.73 ^a	± 1.34	4.41 ^a	± 1.06	3.82 ^b	± 0.93

注1: $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$

色差が1.5以下であれば肉眼でみても差がない

注2: abc異符号間に1%水準で有意差あり

3-4 背脂肪内層の脂肪酸組成および融点

椎骨数型による背脂肪内層の脂肪酸組成および融点を表 7-4 に示した。体内に摂取した飼料の栄養成分により炭水化物，脂質などから生合成されるパルミチン酸（C16:0），ステアリン酸（C18:0），オレイン酸（C18:1）は椎骨数の型により差がみられなかったが，C16:0，C18:0，C18:1 を合計した内因性脂肪酸は 20 型がやや少なくなる傾向を示した。生体内で生合成ができない必須脂肪酸であるリノール酸（C18:2）は 21 型に比べ 20 型が 0.4% 高く，22 型が 0.2% 低くなり，20 型が高い傾向を示した。豚の枝肉品質において脂肪が柔らかいものは低い評価となる。体脂肪のリノール酸が少ないものは流通段階において高い評価を受ける傾向があり，本研究の椎骨数型では 21，22 型がこれに適合していた。

脂肪の硬さの指標（野口，1984）となる C18:2/C18:0 の値はいずれの型も約 0.5 で差がなく，いずれも硬い脂肪の範疇になり，椎骨数の型による脂肪の硬さに差がみられなかった。同様に融点についても椎骨数の型による差はみられなかった。以上のことより，背脂肪の脂質成分に対する椎骨数の影響は概ね無いものと判断された。

表 7-4 椎骨数型による背脂肪の脂肪酸組成および融点

項目		椎 骨 数					
		20型		21型		22型	
		平均値	偏差	平均値	偏差	平均値	偏差
頭数	(頭)	34		206		70	
パルミチン酸 C16:0	(%)	25.1	± 1.3	25.3	± 1.1	25.6	± 1.1
ステアリン酸 C18:0	(%)	17.7	± 2.5	18.4	± 2.1	18.0	± 1.8
オレイン酸 C18:1	(%)	41.2	± 2.4	40.9	± 2.3	41.1	± 2.1
リノール酸 C18:2	(%)	9.90	± 1.25	9.50	± 1.38	9.30	± 1.36
リノレン酸 C18:3	(%)	0.52	± 0.08	0.49	± 0.08	0.49	± 0.07
不飽和脂肪酸	(%)	55.0	± 3.1	54.2	± 2.6	54.3	± 2.5
18:2/18:0		0.57	± 0.13	0.52	± 0.11	0.52	± 0.10
内因性脂肪酸	(%)	84.0	± 1.6	84.6	± 1.6	84.7	± 1.5
融点	(°C)	34.8	± 5.1	35.9	± 5.6	35.8	± 4.6

注：内因性脂肪酸はC16:0，C18:0，C18:1の合計とした

3-5 椎骨数遺伝子型と椎骨数

椎骨数遺伝子型と椎骨数の関連を表 7-5 に示した。

野生型（wt/wt）である 3 元交雑肉豚において 20 型の椎骨数を持つ豚が 55%，21 型が 45% となり，22 型はみられず，平均椎骨数は 20.4 個となった。ヘテロ型（wt/Q）である肉豚は 20 型が 4%，21 型が 92%，22 型が 4% であり，21 型が圧倒的に多く，平均椎骨数は 21.0 個

となった。増大型 (Q/Q) である肉豚の椎骨数は 20 型がみられず、21 型が 30%，22 型は 70% となり、平均椎骨数は 21.7 個となった。

以上の結果から、椎骨数の遺伝子型を診断することにより、個体の椎骨数を推定することが可能であると考えられた。枝肉形質における椎骨数と椎骨数遺伝子型の比較を表 7-6 に示した。日増体量、枝肉形質に対する椎骨数と遺伝子型のそれぞれの影響を明らかにするため、22 型の各枝肉形質値から 20 型の同値を引いた差分値と増大型 (Q/Q) の各枝肉形質値から野生型 (wt/wt) の同値を引いた差分値を比較した。統計的に有意差が認められると体長、背腰長 I，II (図 7-1)，椎骨長、枝肉 3 分割割合に関して椎骨数型に比べて遺伝子型のこれら枝肉形質に対する影響はやや低下するものの、各遺伝子型間における差は各椎骨数型間の差と同様に統計的な差が認められた。

肉質形質における椎骨数と椎骨数遺伝子型の比較を表 7-7 に示した。枝肉形質と同様に肉質についても、22 型の各肉質形質値から 20 型の同値を引いた差分値と増大型 (Q/Q) の各肉質形質値から野生型 (wt/wt) の同値を引いた差分値を比較した。各肉質形質における椎骨数型による違いと遺伝子型による違いには同様な傾向がみられた。特に、クッキングロス、肉の硬さ (図 7-2) については椎骨数型と同様に遺伝子型においても有意差が認められた。

背脂肪の脂肪酸組成および融点における椎骨数と椎骨数遺伝子型の比較を表 7-8 に示した。脂肪酸組成および融点についても、22 型の各脂質形質値から 20 型の同値を引いた差分値と増大型 (Q/Q) の各脂質形質値から野生型 (wt/wt) の同値を引いた差分値を比較した。各脂質形質における椎骨数型による違いと遺伝子型による違いには同様な傾向がみられた。椎骨数と同様に遺伝子型でも同様な傾向がみられた。

表 7-5 椎骨数遺伝子型と椎骨数の関連

遺伝子型		椎 骨 数			頭数計	椎骨数 平均個数	遺伝子型の 割合 (%)
		20型	21型	22型			
野生型	頭数	27	22	0	49	20.4	15.8
	割合 (%)	55	45	0			
ヘパ型	頭数	7	156	6	169	21.0	54.5
	割合 (%)	4	92	4			
増大型	頭数	0	28	64	92	21.7	29.7
	割合 (%)	0	30	70			
総計	頭数	34	206	70	310		
	割合 (%)	11	66	23			

表 7-6 枝肉形質における椎骨数と椎骨数遺伝子型の比較

項目		椎 骨 数				遺 伝 子 型			
		20型	21型	22型		野生型	ヘテロ型	増大型	
		X1		Y1	X1-Y1	X2		Y2	X2-Y2
頭数	(頭)	34	206	70		49	169	92	
増体量									
離乳から出荷	(g)	747	752	768	21	755	756	754	-1
と体長	(cm)	91.7 ^a	92.8 ^b	94.7 ^b	3.0	91.5 ^A	93.1 ^B	94.0 ^B	2.5
背腰長 I	(cm)	76.7 ^a	77.3 ^b	78.8 ^b	2.1	76.4 ^A	77.5 ^B	78.4 ^C	2.0
背腰長 II	(cm)	66.1 ^a	67.5 ^b	69.9 ^c	3.8	66.6 ^A	67.7 ^B	69.0 ^C	2.4
椎骨長さ	(cm)	3.30 ^a	3.22 ^b	3.18 ^c	-0.13	3.26 ^A	3.22 ^A	3.18 ^B	-0.08
背脂肪厚平均	(cm)	2.86	2.95	2.92	0.06	2.94	2.93	2.93	-0.01
ロース断面積	(cm ²)	27.7 ^a	25.4 ^b	24.3 ^b	-3.4	26.7 ^A	25.6 ^B	24.3 ^C	-2.4
3分割割合									
カタ	(%)	34.2 ^a	33.1 ^b	32.5 ^c	-1.7	33.7 ^A	33.2 ^B	32.6 ^C	-1.1
ロースとバラ	(%)	34.6 ^a	36.7 ^b	38.3 ^c	3.6	35.7 ^A	36.6 ^A	37.8 ^B	2.1
モモ	(%)	31.2 ^a	30.2 ^b	29.2 ^c	-1.9	30.5 ^A	30.3 ^A	29.5 ^B	-1.0

注：椎骨数の比較で小文字の異符号間に1%水準で有意差あり，
遺伝子型の比較で大文字の異符号間に1%水準で有意がある。

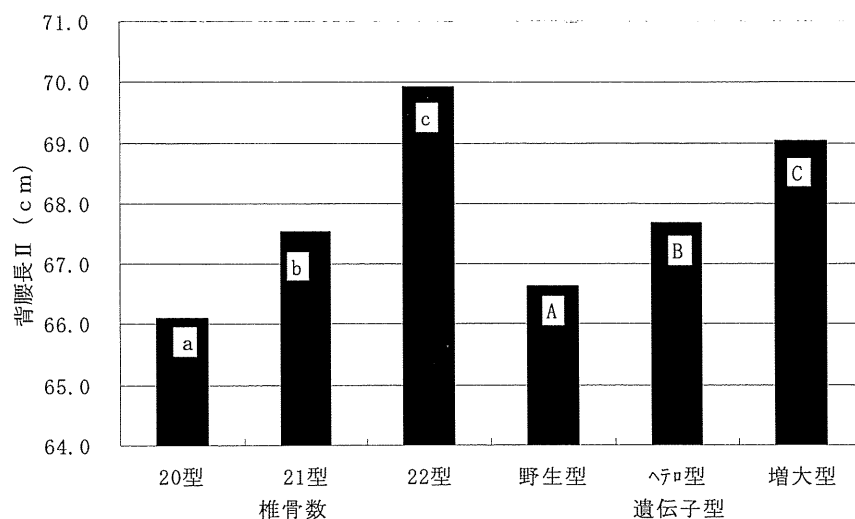


図 7-1 椎骨数と遺伝子型で分類した時の背腰長 II

(注) 椎骨数の比較で小文字の異符号間に1%水準で有意差あり，遺伝子
型の比較で大文字の異符号間に1%水準で有意あり。

表 7-7 肉質形質における椎骨数と椎骨数遺伝子型の比較

項目		椎 骨 数				遺 伝 子 型			
		20型 X1	21型	22型 Y1	X1-Y1	野生型 X2	ヘロ型	増大型 Y2	X2-Y2
頭数	(頭)	34	206	70		49	169	92	
肉色 (色差計の測定)									
明度	L*	49.4	50.2	49.2	-0.2	50.0	50.1	49.4	-0.6
赤味	a*	11.3	10.7	11.2	-0.1	11.1	10.7	11.1	0.0
黄味	b*	5.63	5.82	5.85	0.2	5.69	5.82	5.83	0.1
保水性	(%)	82.3	83.2	83.4	1.1	83.2	83.2	83.1	-0.1
伸展率	(cm ² /g)	13.6	13.8	14.2	0.6	13.9	13.7	14.0	0.2
トリップ量	(%)	3.06	2.70	2.72	-0.3	2.81	2.73	2.73	-0.1
水分	(%)	73.2	73.2	73.0	-0.2	73.2	73.2	73.1	-0.1
粗脂肪	(%)	2.98	3.10	3.43	0.4	2.94	3.14	3.31	0.4
クエン酸	(%)	31.3 ^a	30.9 ^a	27.4 ^b	-3.9	31.3 ^A	31.1 ^A	27.8 ^B	-3.5
剪断力価	(kgf)	4.73 ^a	4.41 ^a	3.82 ^b	-0.9	4.72 ^A	4.41 ^A	3.91 ^B	-0.8

注：椎骨数の比較で小文字の異符号間に1%水準で有意差あり，
遺伝子型の比較で大文字の異符号間に1%水準で有意がある。

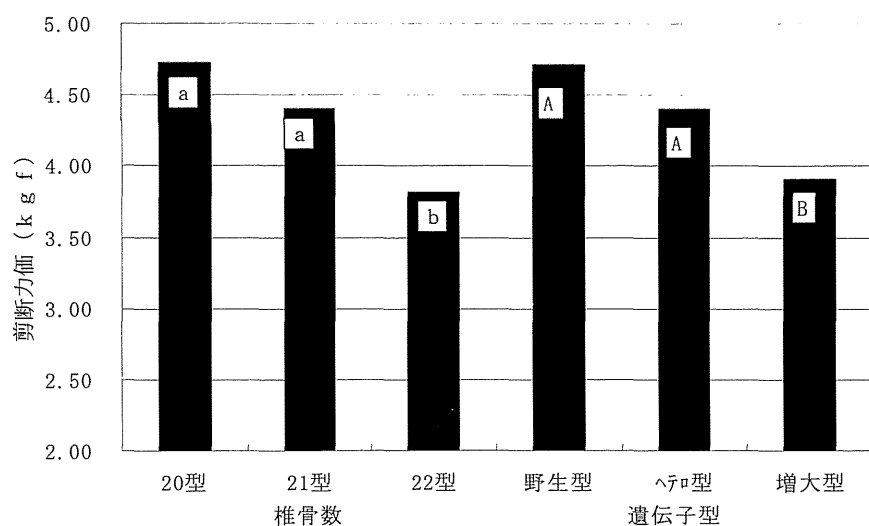


図 7-2 椎骨数と遺伝子型で分類した時の剪断力価

(注) 椎骨数の比較で小文字の異符号間に 1%水準で有意差あり，

遺伝子型の比較で大文字の異符号間に 1%水準で有意あり。

表 7-8 背脂肪における椎骨数と椎骨数遺伝子型の比較

項目		椎 骨 数				遺 伝 子 型			
		20型 X1	21型	22型 Y1	X1-Y1	野生型 X2	ヘテロ型	増大型 Y2	X2-Y2
頭数	(頭)	34	206	70		49	169	92	
パルミチン酸	C16:0 (%)	25.1	25.3	25.6	0.5	25.0	25.4	25.6	0.5
ステアリン酸	C18:0 (%)	17.7	18.4	18.0	0.3	18.1	18.3	18.1	0.0
オレイン酸	C18:1 (%)	41.2	40.9	41.1	-0.1	41.1	40.7	41.2	0.1
リノール酸	C18:2 (%)	9.9	9.5	9.3	-0.6	9.8	9.6	9.2	-0.6
リレン酸	C18:3 (%)	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0
不飽和脂肪酸	(%)	55.0	54.2	54.3	-0.8	54.8	54.2	54.2	-0.6
C18:2/C18:0		0.57	0.52	0.52	0.0	0.55	0.53	0.51	0.0
内因性脂肪酸	(%)	84.0	84.6	84.7	0.7	84.2	84.4	84.9	0.6
融点	(°C)	34.8	35.9	35.8	1.0	35.79	35.91	35.41	-0.4

注：内因性脂肪酸はC16:0, C18:0, C18:1の合計とした

4. まとめ

310 頭の 3 元交雑種の肉豚をもちいて枝肉における 20, 21, 22 個の椎骨数の違い、および椎骨数遺伝子型で分類した場合について、増体量、枝肉成績、肉質成績、脂肪酸組成の比較・検討を行い次の結果が得られた。

- (1) 今回調査した 310 頭の三元交雑種肉豚において、椎骨数 20 型, 21 型および 22 型の発生頻度は 11, 66 および 23%であった。
- (2) 椎骨長は 20 型, 21 型, 22 型の順に有意に短くなった。
- (3) 日増体量は 22 型がやや優れる傾向が認められた。
- (4) と体形質において椎骨数 22 型の枝肉は 20 型, 21 型に比べて体, ロース部が長く, ロース断面積が小さく, 枝肉のロースおよびバラの割合が高く, カタ, モモの割合が小さくなっていた。
- (5) 肉質は肉の硬さに椎骨数型で違いがみられ, 22 型の肉質が柔らかいことが明らかとなった。
- (6) ロース中の粗脂肪量は 22 型がやや多くなる傾向がみられた。
- (7) 椎骨数の型の枝肉歩留, と体幅, 背脂肪厚, 肉色, 保水性, 体脂肪の脂肪酸組成に対する影響は明らかでなかった。
- (8) 椎骨数遺伝子型による分類では野生型の椎骨数が 2 タイプみられ, 平均椎骨数は 20.4 個, ヘテロ型が 3 タイプみられ, 平均椎骨数は 21.0 個, 増大型では 2 タイプがみられ, 平均椎骨数は 21.7 個であった。

(9) 椎骨数の遺伝子型を診断することにより、個体の椎骨数を推定することが可能である。

(10) 椎骨数 20 個と 22 個の豚の体型のイメージ図を図 7-3 に示した。

本章の結果より、椎骨数の遺伝子型による分類において、枝肉成績、肉質成績、体脂肪の脂肪酸組成は、枝肉に発現した椎骨数で取りまとめた結果と同様な傾向を示した。この遺伝子技術が生体時に遺伝子型診断を判定できることになり、産肉性、肉質に関わる情報が生きている豚から得られることになる。今後の豚肉の生産方式は、遺伝、栄養、生産物に関して総合的な観点から取り組むことが可能になれば、精度の高い技術開発に結びつき、短い開発期間で消費者が求める豚肉生産が可能になる。

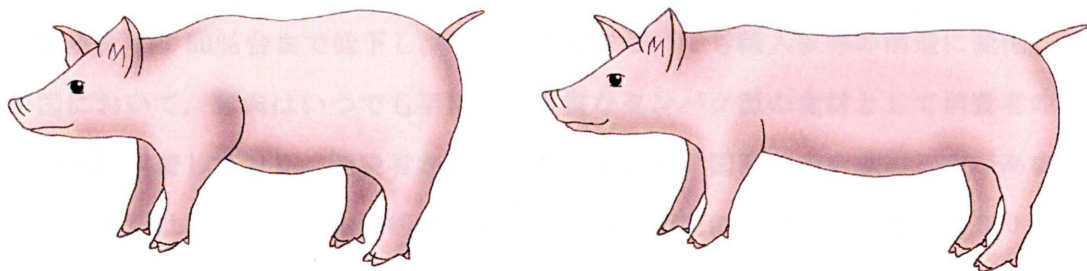


図 7-3 椎骨数 20 個と 22 個型体型イメージ (作図 古本義則)

第 8 章 総合考察

戦後、米作農家の有畜畜産から始まったわが国の養豚は、飼養戸数が大幅に減少し、生産規模の拡大が進んでいる。国内の養豚生産を取り巻く環境は、中小農家の廃業、海外飼料原料依存の配合飼料、生産者の高齢化と後継者の不足、ピッグサイクルに伴う豚価の低迷、悪臭による公害問題と糞尿処理、輸入豚肉との競合、新たなウィルス性疾患の国内での発生など課題を抱えて進んでいる。わが国の消費動向は、昭和 55 年代には飽食の時代を向かえ、食肉の消費停滞が顕著になり、豚肉の供給過剰の状態が続くことになる。このことにより、国内豚価の低迷が生じ、国内の枝肉生産量は平成元年をピークに低下し始め、中小農家の廃業が進み、基盤の縮小が続くことになる。一方、豚肉の輸入自由化は昭和 46 年から実施された。平成に入り、農産物の対日輸出圧力が強まり、豚価の安い輸入肉がテーブルミート用までに進出し、小売店やスーパーで精肉用として販売されようになる。これにより、わが国の豚肉自給率（生産量）は 50% 台まで低下し、豚肉の供給についても輸入依存の構造に変化している。わが国において、豚肉はいつでも手に入る良質なタンパク源の食材として消費者の調理アイテムの中に定着しており、消費者からは安全でおいしい国産豚肉を求める声が高まっている。国内の養豚は、大規模な生産構造に変化し、有利販売に結びつけるために 300 以上の銘柄豚が存在している。

本研究は、体脂肪おける脂質の改善、および機能性成分の付与、筋肉内脂肪量の改善等を検討し、養豚生産体系のなかでの特徴ある生産方法を明らかにし、生産現場で実施することを目的とした。さらに、新しい遺伝子診断技術を活用する観点から肉質向上に関する面からも研究を行った。

第 2 章では、豚肉、牛肉、および鶏肉の化学成分による食肉の特性について検討し、水分、粗脂肪、粗タンパク質、脂肪酸組成、および遊離アミノ酸について調査した。豚肉、牛肉、および鶏肉の部位別（ロース、モモ等）における挽肉の一般成分含量は部位による違いが大きく、複数の食肉において成分が重なるため、一般成分含量による食肉の区分は困難と考えられた。しかし、豚肉、牛肉、および鶏肉の部位別に分析した脂肪酸、アミノ酸については、リノール酸（C18:2）、ステアリン酸（C18:0）、総遊離アミノ酸、グルタミン酸において 3 畜種間で明らかに差がみられた。豚肉は、牛肉、鶏肉に比べ化学成分の特性が少ないため、体脂肪や筋肉中脂肪における品質の改善を行うことにより、消費者に豚肉の品質をアピールできることは重要である。

第3,4章では、豚の体脂肪の性状を改善する栄養的な要因について調査した。

第3章は、飼料中のリノール酸等の栄養成分摂取量が豚の背脂肪の脂肪酸組成への影響について検討した。栄養成分摂取量として、エネルギーを示す可消化養分総量（TDN）、粗蛋白質、粗脂肪、炭水化物を示す可溶無窒素物（NFE）とし、また各脂肪酸の摂取量は、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸、体内で生合成される内因性脂肪酸との関連を取り上げた。試験結果として、体脂肪の脂肪酸組成は、NFE、粗脂肪、パルミチン酸、オレイン酸、リノール酸の栄養成分摂取量との間に有意な相関が認められた。特にリノール酸の摂取量は体脂肪の脂肪酸組成に大きく関係していた。飼料中のリノール酸摂取量が増加すると体脂肪のリノール酸が連動して増加し、逆に内因性脂肪酸は減少した。しかし、リノール酸摂取量が低下した場合、45g/d以下であれば、体脂肪の硬さを示す指数となるリノール酸とステアリン酸の比が変わらず、脂肪の硬さに影響しないことを示した。飼料中のリノール酸を減少させても必須脂肪酸であるリノール酸は、体脂肪中には一定割合（約7%）を蓄積することが明らかになった。一方、TDN、粗蛋白質摂取量は体脂肪の脂肪酸組成との間に相関が認められなかった。入江（1989）は飼料中のリノール酸が高くなると、体脂肪が柔らかくなり、品質が低下する軟脂豚から体脂肪の性状を分析している。本研究は、リノール酸が少ない飼料の給与による体脂肪への影響を明らかにした。これまで、体脂肪の品質を向上させるために、いも類、麦類を使用し、リノール酸が極端に低い飼料がみられていたが、特徴ある豚肉生産に当って、飼料中のリノール酸は一定量以下であれば体脂肪の硬さに影響がなく、発育や枝肉形質を加味した合理的な飼料内容が重要であり、生産現場で銘柄豚などの特徴を示す体脂肪の品質改善を行うことが容易になった。

第4章は、高度不飽和脂肪酸の給与による特徴ある豚肉の生産方式として、魚油等に含まれるEPA（エイコサペンタエン酸）とDHA（ドコサヘキサエン酸）の畜産物への移行について調査し、特徴ある豚肉を生産する肥育期用飼料について検討した。試験は対照区と魚油エステル（EPAとDHAを40%含有）を1%、3%添加区の3区とし、ビタミンEは対照区を除く試験1,2区に200mg%添加した。試験結果として、畜産物中のEPAとDHAは魚油エステルの添加水準に比例し高くなった。3%添加では、EPAとDHAの蓄積により枝肉が軟脂豚となり、商品性に問題が見られた。ビタミンEは対照区に比べ試験区が約5倍の蓄積が見られ、魚油エステルの1%添加では、生体時および保存中の過酸化脂質形成が防止され、肉の日持ちを改善した。魚油エステルの3%添加は屠殺1日目、2週間後の過酸化脂質が対照区より高く、

ビタミン E の抗酸化作用が不十分であった。枝肉の商品性、肉の保存性等から判断すると魚油エステル飼料中への添加は 1% が適当であり、あわせてビタミン E の添加が必要であった。本研究に基づき、特許の申請と差別化豚肉生産が行なわれ、「DHA ポーク」として、首都圏管内で消費者に販売された。さらに、本研究結果に基づき、同系列である高度不飽和脂肪酸の α -リノレン酸についても同様な差別化豚肉の提案を行い、東北地区で実用化された。

第 5, 6 章では、栄養的観点から豚肉中に脂肪を蓄積させる品質改善を目指した生産法を調査した。第 5 章は、肥育期のアミノ酸摂取量等の栄養成分がロース部の筋肉内脂肪含量に及ぼす影響を検討した。栄養成分の摂取量は、各主要なアミノ酸、可消化養分総量 (TDN)、粗蛋白質、粗脂肪、および可溶無窒素物 (NFE) し、各栄養成分摂取量、増体量、飼料摂取量、ロース部の筋肉内脂肪含量、背脂肪厚、肉の硬さ等を調査した。供試飼料は栄養成分および原料が異なる 82 種類の肉豚肥育期用飼料を使用した。試験の結果、ロース部の筋肉内脂肪含量は、リジン、トレオニン、トリプトファン、イソロイシン、バリンの摂取量と有意な相関が認められた。一方、TDN、粗蛋白質、粗脂肪、NFE 摂取量およびメチオニンとシスチンの合計摂取量とは相関が認められなかった。リジン摂取量が日本飼養標準の養分要求量より少なくなるとロース部の筋肉内脂肪含量が高くなり、多く摂取すると脂肪蓄積が低下した。豚の各アミノ酸の摂取量の中で第一制限アミノ酸であるリジンが最も大きく脂肪蓄積に作用すると推定された。またリジン摂取量と日増体量は有意な相関が認められた。リジン摂取量が少ない肉豚は多く摂取したものに比べ増体量が約 20% 低下した。筋肉内脂肪含量と剪断力価は有意な相関が見られ、筋肉内脂肪含量が少ないと肉が硬くなること等が明らかとなった。

Katsumata (2011) は、豚の肥育期に低リジンの飼料を給与することにより、筋肉内脂肪が増加し、その要因や作用機序について報告しているが、生産現場での実用化については十分に言及していない。本研究により、飼料中のリジン含量が筋肉内脂肪含量に関与する摂取量水準を明らかにした。その他の栄養成分摂取量と筋肉内脂肪含量との関わりを解析することで、生産現場での生産方式が明らかになった。関東、東北、九州、北海道の特定農場において、筋肉内脂肪含量が高い差別化豚肉生産が行なわれている。

第 6 章は、前章で肥育期における低リジン飼料給与が筋肉内脂肪含量に影響することが明らかになったため、本章では肥育期において養分要求量のなかでリジン含量のみが満たしていない肥育期用飼料を給与し、発育成績、枝肉成績、ロース部の筋肉内脂肪含量、筋肉中のアミノ酸組成への影響等を検討した。試験は 2 区とし、対照区は飼料中の蛋白質、リジン含

量がそれぞれ 14.9%, 0.75%, 試験区がそれぞれ 14.1%, 0.52%とした。なお、試験区は、リジン以外のアミノ酸と蛋白質は要求量を満たしている。試験の結果、日増体量、飼料要求量は対照区に比べ低リジン給与が劣る傾向が認められた。背脂肪厚は低リジン給与の雌で厚くなる傾向がみられた。ロース断面積は対照区に比べ低リジン給与が有意に小さくなった。肉色は対照区に比べ低リジン給与が淡くなる傾向が認められた。本研究で最も注目したロース部の筋肉内脂肪含量は対照区に比べ低リジン給与が有意に高くなった。特に、ロース部を4分割して調査した筋肉内脂肪含量は全体で蓄積が高くなっており、その中で腰部が高くなっていた。18種類の構成アミノ酸において、低リジン給与が対照区より構成アミノ酸の割合が約10%減少し、区間において有意な差が認められた。総遊離アミノ酸のうち、アスパラギン酸、トレオニン、イソロイシン、ロイシン、チロシン、トリプトファン、リジン、アルギニンにおいて、低リジン給与が対照区より低下し、有意な差が認められた。低リジン給与は蛋白同化作用を抑制していた。背脂肪内層のパルミチン酸、ステアリン酸において、低リジン給与が対照区より有意に増加し、リノール酸において対照区が低リジン給与より有意に減少した。ことから、肥育期において日本飼養標準の養分要求量のなかで、リジン水準のみでも養分要求量以下になると、ロース部の筋肉内脂肪含量の蓄積を促進し、畜産物での品質は有利になるが、日増体量が低下し、ロース断面積が小さくなり、さらに筋肉を構成するアミノ酸組成の蓄積が抑制された。筋肉内脂肪含量に関する研究が多く報告されているが (Goerl *et al.*, 1995, Kerr *et al.*, 1995, Katsumata, 2005, 芦原ら 2008), 日増体量, ロース断面積, 背脂肪厚等との関連についての結果が一定していない。本研究から、豚における飼料中のリジン含量は、筋肉内脂肪含量が増加する主要な要因として関与するが、栄養成分として第一制限にアミノ酸となるため、栄養養分の要求量より少ないと筋肉の構成アミノ酸の同化作用が抑制され、日増体量が低下することを明らかにした。生産現場での実用化に当っては、第5章の結果を踏まえ、発育対策を考慮した低リジンの配合飼料設計が必要である。

第7章では、椎骨数の遺伝子型診断が可能になったため、この新しい技術を用いて、椎骨数の違いによる3元交雑種の肉豚の増体量、枝肉成績、肉質成績、体脂肪の脂肪酸組成を比較した。さらに、椎骨数遺伝子型 (VRTN) の遺伝子型による分類を行い同様な比較を行なった。椎骨数の発生頻度は、20型が11%、21型が66%、22型が23%であった。椎骨数22型の枝肉は、20型、21型に比べて体長、ロース部が長く、ロース断面積が小さく、ロース・バラの比率が高くなっていた。肉質は肉の硬さに違いがみられ、22型が柔らかくなった。増体

量は 22 型が優れる傾向を示した。椎骨数遺伝子型による分類でみると野生型は椎骨数が 20 と 21 個の 2 タイプが見られ、平均椎骨数は 20.4 個、ヘテロ型は 20, 21 および 22 個の 3 タイプが見られ、平均椎骨数は 21.0 個、増大型は 21 と 22 個の 2 タイプが見られ、平均椎骨数は 21.7 個であった。椎骨数の遺伝子型を診断することにより、個体の椎骨数を推定することが可能と考えられた。椎骨数遺伝子型による分類において、枝肉成績、肉質成績、体脂肪の脂肪酸組成は椎骨数の分類と同様な結果が得られた。今後、豚個体の遺伝子情報が広く明らかになれば、この情報に基づく、栄養と肉質との関係の試験が実施でき、豚肉の品質に影響する要因が迅速に判定できることが期待される。

本研究について、全体の章を総括すると、豚肉生産体系のなかで、豚の体脂肪の品質向上を図るために、豚肉の筋肉内脂肪含量に関与する栄養要件を中心に解析し、豚肉質を向上させる生産方式の栄養条件について提案した。さらに、豚個体の遺伝子情報と豚の肉質との関連について検討することが今後の研究に必須である。

養豚の生産現場では、本研究の成果を飼養管理方式に取り入れ、数多くの生産農場で差別化豚肉生産を実用化している。これらの状況からみると、本研究で示した知見は、わが国の養豚生産技術を向上させるものであり、輸入豚肉との競争力強化となり、国内消費者の要望に応えるものである。

The comprehensive research on improvement of quality characteristics of pork in pig production system

Summary

In the post-war pig, feeding is greatly reduced number of units, while the expansion of production scale is in progress. In domestic pig production, it always has problems, such as discontinuance of business of a minor farmhouse, overseas dependence of grain materials, a producer's aging and lack of a successor, slump in pig price due to the pig cycle, the pollution problem and disposal of excreta by a bad smell, competition with imported pork and incidence of new viral diseases. The 1970's era of gluttony, in consumption trend of our country, meat consumption is stagnant and a state of excess supply of pork continues. On the other hand, the pressure intensified agricultural exports to Japan, and cheap pork imports are being sold for meat at the supermarket or retail store. Self-sufficiency rate of pork was reduced up to 50%, and is *changing to the* structure of import dependence. In our country, pork has been established as a food of high quality protein that can be purchased at any time. Consumers are looking for the safe and delicious pork. In domestic production of pork, a number of special pork is present in order to sell to advantage. To perform special pork production, improvement of lipid of body fat, pork that contains the functional components and improvement of the amount of intramuscular fat has been examined. At home, 300 or more brand pigs exist and it is making an advantageous sale. This study, to promote the system in pig production, nutrients in the feed has been investigated the effects on pork quality. In addition, research which raises fleshy quality by utilizing new gene-diagnosis technology was advanced.

In Chapter 2, the characteristic of the meat by the chemical component of pork, beef, and chicken was examined. The chemical compositions used were moisture, crude fat, crude protein, fatty acid compositions and free amino acid compositions. Moisture, crude fat, crude protein could not be used for the classification of pork, beef, and chicken because these chemical composition distributed widely depending on the portions of each

meat such as loin, bacon, ham, shank, breast and thigh, and three kind of meats overlapped in each chemical composition. As for the chemical compositions measured at each portion of pork, beef and chicken, clear differences could be observed in fatty acid compositions and free amino acid compositions among the three kinds of meats. Therefore, it seemed that linoleic acid, stearic acid, the total amounts of free amino acids and glutamic acid could be used for the classification of pork, beef and chicken. It is said that the characteristic of pork of a chemical component is low compared with beef and chicken. It is important to improve the quality of body fat of pork and the fat in muscles. In Chapter 3, nutritional information intakes, such as linoleic acid in feed, considered the influence of the fatty acid composition on the back fat of a pig. Nutrient intake during the study period included total digestible nutrients (TDN) , protein, crude fat and nitrogen free extracts (NFE) . Individual fatty acids were palmitic, stearic acid, oleic acid, linoleic acid and endogenous fatty acids .NFE, crude fat, palmitic acid, oleic acid and linoleic acid showed significant correlations between the fatty acid compositions of body fat and intake of nutrients. Especially linoleic acid intake was significantly related to the fatty acid composition of body fat. Increasing the intake of linoleic acid, increased linoleic acid in the body fat and conversely decreased endogenous fatty acids. If the intake of linoleic acid was less than 45g/d, 'C18:2/C18:0' composition did not change and showed very little effect was seen in hardness of the fat. However, even with reduced intake of linoleic acid, the essential fatty acid linoleic acid accumulated to 7% in the body fat. On the other hand, TDN and crude protein intake did not correlate with fatty acid composition of body fat. Irie reported that the higher the linoleic acid in the diet, body fat becomes soft, and that quality was reduced. In this research, when linoleic acid made low feed eaten, the production Method whose quality of body fat improves was established.

In Chapter 4, it was investigated whether the fatty acid contained in fish oil would be accumulated in body fat of pork. The test was in the control group, group 1% fish oil ester, and group 3%. Two test groups were added 20mg% vitamin E except in the control group. EPA and DHA in livestock products was higher level proportional to the addition of fish oil ester. EPA and DHA are accumulated in the carcasses, body fat becomes soft, and the

quality of the meat has decreased. Vitamin E was observed in the accumulation of experimental group is about 5 times compared to control group. Adding 1% of fish oil esters, the formation of lipid peroxidation during storage of meat is prevented, and freshness of the meat was kept. Addition of 3% of the ester fish oil, lipid peroxidation after two weeks of slaughter is higher than in the control group, antioxidative effect of vitamin E was insufficient. When it is determined that the quality of the carcass and meat quality from this test results, the addition of 1% fish oil ester are suitable, was thought to be necessary the addition of vitamin E in the diet. From the result of this research, it was sold to consumers under the name of "DHA pork" as special pork in the Kanto area. In addition, were sold in Tohoku area to produce special pork using the α -linolenic acid.

In chapter 5, the effects of total digestible nutrients (TDN), protein, fat, nitrogen-free extractives (NFE), and amino acid intake on the accumulation of intermuscular fat in the loin eye muscle area were investigated. The examination was measured daily gain (DG), a feed intake, feed conversion ratio, intermuscular fat, a back fat thickness and hardness of the meat. Feeds examined used 82 different combinations of fattening ingredients. A significant correlation was observed between the amount of intermuscular fat in the loin eye muscle area and the intake of lysine, threonine, tryptophan, isoleucine and valine. On the other hand, no correlation was observed between the intermuscular fat and intakes of TDN, NFE, crude protein, crude fat, Methionine and cystine. When there was lower lysine intake than the requirement shown in the Japanese Feeding Standard for Swine (JFSS), the amount of intermuscular fat in the loin eye muscle area became high. On the contrary, the accumulation of fat in this area declined when lysine intake was higher than recommended by J.F.S.S. Therefore, differences in lysine intake showed clear differences in the amount of intermuscular fat, suggesting lysine is the first limiting amino acid and affects fat accumulation most greatly in all amino acids. In addition, a significant correlation was confirmed between lysine intake and DG. Compared to pigs with high lysine intake, pigs with low lysine intake showed about a 20% decline in DG. Moreover, a significant correlation was confirmed between the

amount of intermuscular fat and the shear value of the meat, meat with little intermuscular fat is hard. In this study, showed that the low lysine content in the feed increases the intramuscular fat. This intramuscular fat content of pork production in many specific farms Kanto, Tohoku, Kyushu and Hokkaido had been carried out.

In chapter 6, the effects of feeding pigs a feed with lysine content lower than required were examined during the fattening phase by measuring growth performance, amino acid composition and intramuscular fat content. Pigs were divided into two groups. Dietary protein and lysine content were 14.9% and 0.75% in the control group and 14.1% and 0.52% in the experimental group. Daily gain and feed conversion were slightly inferior in the group fed a low lysine diet than the control group. The eye muscle area was significantly lower in the low lysine group than the control group. The low lysine group's flesh color was somewhat pale when compared with the control group. Intramuscular fat in the loin eye muscle was significantly higher in the low lysine group than the control group. Intramuscular fat accumulation was also *higher in the lumbar* section of the loin. Eighteen kinds of structural amino acids significantly decreased in the low lysine group. The total free amino acid composition showed significantly decreased levels of aspartic acid, threonine, isoleucine, leucine, tyrosine, tryptophan, lysine and arginine in the low lysine group. Stearic acid and palmitic acid were significantly higher in the backfat of the low lysine group, but linoleic acid was significantly lower in the control. From the above, we conclude that when the level of nutrients fall below the required Japanese feeding standard for swine, only low lysine causes increased intramuscular fat in the loin eye muscle, lower daily gain and decreased accumulation of structural amino acids in the muscle. Low lysine clearly affects the quality of meat. Although many researches on an intramuscular fat content have been reported, relation with daily gain, the loin eye muscle, and back fat thickness is not constant. In this study, showed that the lysine in the feed is strongly related to intramuscular fat content, the accumulation of the constituent amino acids in the muscle is reduced, and daily gain was reduced.

In chapter 7, several characteristics including the fatty acid composition of body fat,

grade of carcass, meat quality and daily gain in weight of pigs with different numbers of vertebrae were compared. The same characteristics in the genotype classification of recently identified vertebral number-associated genes (vertnin:*VRTN*) were also compared. The incidence of 20 vertebrae (Type 20) was 11%, 21 vertebrae (Type 21) 66% and 22 vertebrae (Type 22) 23%. The Type 22 carcass was longer, had a smaller eye muscle area and had a higher percentage of loin and belly mass than Type 20 and 21. The analysis of meat toughness revealed Type 22 was tendered than the other types. Additionally, Type 22 pigs seemed to have a better daily gain. In this study, the wild-type (Wt/Wt) pigs had 20 and 21 vertebrae with an average number of vertebrae of 20.4. Hetero-type (Wt/Q: number-increase allele) pigs had 20, 21 and 22 vertebrae and average number of vertebrae of 21.0. Increase type (Q/Q) pigs had 21 and 22 vertebrae and average number of vertebrae of 21.7. These results suggest that estimation of the number of vertebrae is possible by analyzing the *VRTN* genotype. The fatty acid composition, grade of the carcass and meat quality in the genotype-classified pigs showed similar results as the vertebral number. Therefore, selection of demanded-pork meat for production may be possible by genotyping the *VRTN* gene. That based on genetic information of an individual pig, if tested the relationship of pig nutrition, rapid results can be expected.

To summarize a whole chapter of this research, among the pork production system, were analyzed for nutritional components related to the amount of intramuscular fat and improve the quality of body fat. How to produce special pork from this research was shown. Already, in the pig farms of our country, has been produced as special pork. In addition, the promotion of future research, it is necessary to investigate the relationship between genetic information and meat quality of pigs.

In the field of swine production, incorporating the results of this research, special pork has been put to practical use in many pig farms. Results of this study is intended to correspond to the improvement of pig production technology in our country, improvement of pig production technology in our country and consumer demand

謝辞

本研究における各章に対する指導，全体の取りまとめは，筑波大学大学院生命環境科学研究科佐竹隆顕教授のもとに行ないました。同教授からの懇切，丁寧なご指導により，完成できたことを厚く御礼申し上げます。

また，博士論文の審査に際し，ご校閲およびご指導を頂きました筑波大学大学院生命環境科学研究科北村 豊准教授，同 中島敏明准教授，および同 吉田滋樹准教授に心から感謝申し上げます。

本研究は，全農の飼料畜産中央研究所（飼畜中研）と営業部署に在籍した 39 年間に蓄積した養豚関連の研究成果と生産現場からの視点を集大成したもので，特に，飼畜中研と一緒に在職された多くの先輩・同僚・後輩などの方々のご理解とご協力によるものと考えております。

豚の発育試験，枝肉検査，肉質検査は，飼畜中研の養豚研究室の各職員と共同で実施し取りまとめた研究成果を引用しています。飼料，肉，脂肪の分析については，飼畜中研の品質管理研究室の専門化された分析チームの各職員のご協力によるものであります。得られた試験成績を振り返ると多くの人々のご協力により成り立ったものであることを痛感していますが，関係各位には十分な御礼も出来ず恐縮するばかりです。ここにあらためて感謝申し上げます。

なお，遺伝子関連の研究につきましては，農業生物資源研究所，家畜ゲノム研究ユニット，現ユニット長の美川智博士，農林水産先端技術研究所の奥村直彦博士にご指導を受け，まとめることができましたことを，感謝申し上げます。

また，飼畜中研前所長，上田雅之氏，現所長，林 洋一氏，全農家畜衛生研究所，現所長，佐々木隆志氏には，本研究のとりまとめの機会を与えて頂き，心から感謝申し上げます。

最後に，妻，厚子の理解と協力が励みになりました。

以上の関係各位のご指導とご協力のもとに本研究が成り立っており，深く，深く御礼申し上げます。

参考文献

- 安達生恒 (1983) : 飽食のなかの食料危機, ダイヤモンド社.
- 芦原 茜, 吉岡豪, 今枝紀明, 八代田真人, 大谷 滋 (2008) : ブタの筋肉内脂肪蓄積に影響を及ぼす因子の探索, 日畜会報, 79 (2), 227-234.
- Castell, A. G., Cliplef, R. G., Poste-Flynn, L. M. and Butler, G. (1994) : Performance, carcass and pork characteristics of castrates and gilts self-fed diets differing in protein content and lysine :energy ratio, Can. J. Anim. Sci., 74, 519-528.
- Chadwick, J. (1988) : Developments in pig carcass classification—Implications for Producers, National Agricultural Centre, 3-8.
- Dahl, O. and Persson, K. (1965) : Properties of animal depot fat in relation to dietary fat, J. Sci. Fd. Agric., 16, 452-455.
- DeVol, D. L., McKeith, F. K., Bechtel, P. J., Novakofski, J. Shanks, R. D. and Carr, T. R. (1988) : Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses, J. Anim. Sci., 66, 385-395.
- 藤巻正生 (1999) : 機能性食品と健康, 裳華房.
- 藤村 忍, 今成麻衣, 門脇基二 (2006) : 食餌性因子による食肉の呈味有効成分量の調節, 食肉の科学, 47 (2), 209-218.
- Goerl, K. F., Ellert, S. J., Mandigo, R. W., Chen, H. Y. and Miller, P. S. (1995) : Pork Characteristics as Affected by Two Populations of Swine and Six Crude Protein Levels, J. Anim. Sci., 73, 3621-3626.
- 原 耕造 (2005) : 全農安心システムと豚の健康について, ピッグジャーナル, 9 44-45.
- Hargis, P. and Vanelswyk, M. (1993) : Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the health conscious consumer, World 's Poul. Sci. J., 49, Nov., 251-264.
- 星野忠彦 (1990) : 畜産のための形態学, 58-60, (有) 川島書店.
- 兵頭 勲 (1997) : 脂肪交雑のある豚, 畜産の研究, 51 (1), 9-24.
- 家入誠二, 崎村武司, 石橋誠, 勝俣昌也, 梶雄次 (2007) : 肥育豚へのパン屑利用低リジン

- 飼料給与による筋肉脂肪含量の増加,日豚会誌, 44 (1), 8-14.
- 五十嵐脩, 金田尚志, 福場博保, 美濃眞 (1986): 過酸化脂質と栄養, ㈱公生館.
- 入江正和 (1989): 豚脂肪の理化学的性状に及ぼす諸要因 (1) ~ (4), 畜産の研究, 43 (7), 3-8, 43 (8), 42-46, 43 (9), 39-45, 43 (10), 23-32.
- 入江正和 (2002): 豚肉質の評価法, 日豚会誌, 39 (4), 221-254.
- 井坂正勝, 野口 剛, 鈴木啓弘, 金丸剛也, 中村君義, 永吉正義 (1977): と畜場における軟脂豚の調査, 日豚研誌, 4 (1), 44.
- 岩本英治, 設楽修, 入江正和 (2005): パン添加飼料給与がブタの増体量および肉質におよぼす影響, 日畜会報, 76 (1), 15-22.
- 鹿熊俊明 (1984): 養豚経営技術講座, チクサン出版社.
- 亀 昌治 (1983): 栄養補助食品, 医薬品における魚油脂肪酸 (EPA, DHA) の利用, 油脂, 36 (12), 61-68.
- Katsumata, M., Kobayashi, S., Matumoto, M., Tsuneishi, E., Kaji, Y. (2005): Reduced intake of dietary lysine promotes accumulation of intramuscular fat in the Longissimus dorsi muscles of finishing gilts, Anim. Sci. J., 76, 237-244.
- Katsumata, M. (2011): Promotion of intramuscular fat accumulation in porcine muscle by nutritional regulation, Anim. Sci. J., 82, 17-25.
- 勝俣昌也, 佐々木啓介, 斉藤真二, 石田藍子, 京谷隆侍, 本山三知代, 大塚誠, 中島一喜, 澤田一彦, 三津本充 (2009): 肥育後期豚への玄米の給与が皮下脂肪の性状に及ぼす影響, 日畜会報, 80 (1), 63-69.
- 河合美佐子 (2003): Ajico News, アミノ酸の味 その 2, No199, 1-7, 味の素広報部.
- Kerr, B. J., McKeith, F. K. and Easter, R. A. (1995): Effect on Performance and Carcass Characteristics of Nursery to Finisher Pig Fed Reduced Crude Protein, Amino Acid-Supplemented Diets, J. Anim. Sci., 73, 433-440.
- Koch, D. E., Pearson, A. M., Magee, W. T., Hofer, J. A. and Schweigertl, B. S. (1968): Effect of on the Fatty Acid Composition of Pork Fat, J. of Food Sci., 27, 360-365.
- 小俣 靖 (1986): 美味しさと味覚の科学, 日本工業新聞社.
- 厚生省環境衛生局 (1973): 食品衛生検査指針 I, (社) 日本食品衛生協会.
- 熊谷 朗 (1981): エイコサペンタエン酸, 代謝, 18 (6), 598.

- 熊谷哲生，浪岡茂郎，丹羽太左衛門，笹原二郎（1977）：豚病学，（株）近代出版。
- Mahan, D. C. and Shields Jr, R. G. (1998) : Essential and Amino Acid Composition of Pigs from Birth to 145 Kilograms of Body Weight, and Comparison to Other Studies, J. Anim. Sci., 76 (5), 513-521.
- Martin, A. H., Fredeen, H.T., Weiss, G. M. and Carson, R.B. (1972) : Distribution and Composition of Porcine Carcass Fat, J. Anim. Sci., 35 (3), 534-541.
- Marusich, W. L. (1978) : Vitamin E supplementation Benefits Swine, Turkeys and Consumers-Part II, Feedsstuff, 50 (51), 25-27.
- 松石昌典（2007）：食肉の美味しさ・香りがもたらす豊かな味わい, Foods Food Ingredients J. Jpn., 212 (11), 929-940.
- Mikawa, S., Hayashi, T., Nii, M., Shimanuki, S., Morozumi, T., Awata, T. (2005) : Two quantitative trait loci on *Sus scrofa* chromosomes 1 and 7 affecting the number of vertebrae, J. Anim. Sci., 83, 2247-2254.
- Mikawa, S., Morozumi, T., Shimanuki, S., Hayashi, T., Uenishi, H., Domukai, M., Okumura, N., Awata, T. (2007) : Fine mapping of a swine quantitative trait locus for number of vertebrae and analysis of an orphan nuclear receptor, germ cell nuclear factor (NR6A1), Genome Research 17, 586-593.
- Mikawa, S., Sato, S., Nii, M., Morozumi, T., Yoshioka, G., Imaeda, N., Yamaguchi, T., Hayashi, T., Awata, T. (2011) : Identification of a second gene associated with variation in vertebral number in domestic pigs. BMC genetics 12, 5.
- 宮川浩輝，池田敏雄，安藤四郎，斉藤不二男（1970）：豚の背最長筋の部位による形状と肉質の差違について，日豚研誌，7（1），9-13.
- 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会（2005a）：五訂増補 日本食品標準成分表，国立印刷局。
- 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会（2005b）：五訂増補 日本食品標準成分表，分析マニュアル，（独）国立印刷局。
- 中井 裕（2006）：健康に育てることこそが，おいしい豚肉づくりの第一歩，ピッグジャーナル，6，35-37.
- National Research Council (N R C) (1998) : Nutrient Requirements of Swine, 10th rev.

ed. 110-121, National Academy Press, Washington DC.

(社) 日本格付協会 HP (2011): 取引規格の説明, 豚枝肉取引規格, <http://www.jmga.or.jp/>.

(社) 日本格付協会 (2011): 平成 22 年格付結果の概要 (平成 22 年 1 ~ 12 月), (社) 日本格付協会.

日本食品工業学会・食品分析法編集委員会 (1982): 食品分析法, (株) 光琳.

日本 SPF 豚協会編 (1985): ピッグ・ヘルス・コントロール, チクサン出版社.

(社) 日本食肉協議会 (社) 日本食肉加工協会 (2011): 2011 食肉年鑑, (株) 食肉通信社.

(社) 日本種豚登録協会 (1991): 豚産肉能力検定実務書, (社) 日本種豚登録協会.

日本油脂化学会制定 (1996): 基準油脂分析試験法, (社) 日本油脂学会.

仁木鋭雄 (1988): ビタミン E の抗酸化作用, ビタミン, 62 (11), 601-169.

西 清志, 鈴木啓一 (1993): 飼料給与量の制限が肥育豚の脂肪蓄積に及ぼす影響, 日豚会誌, 30 (3), 226-233.

西村俊英 (2008): 食肉の美味しさに関わる呈味成分とその生成機構, Foods Food Ingredients J.Jpn, 213 (4), 336-343.

野口 剛 (1978): 軟脂豚の発生状況とその防止法, 養豚の友, 3, 6-11.

野口 剛 (1979): 肥育期における制限給与と軟脂豚の関連について, 第 4 回農協畜産技術研究会, 2-4.

野口 剛 (1981): 軟脂豚の作出とその体脂肪の理化学的性状, くみあい畜産技術, 3, 42-46.

野口 剛 (1984): 流通で問題にしている軟脂豚, 養豚の友, 5, 24-29.

野口 剛, 鶴巻徹朗 (1996): 豚肉用飼料並びに食肉の生産方法、豚肉飼育方法及びビタミン E の使用方法, 特許公報、特公平 8-2534557

(独) 農業・生物系特定産業技術研究機構編 (2005): 日本飼養標準・豚 (2005 年版), (社) 中央畜産会.

農林水産省大臣官房統計部 (2012): 畜産統計 (平成 23 年 2 月 1 日現在),

http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/pdf/tikusan_11.pdf.

農林水産省生産局 (2005): 平成 17 年度第 1 回養豚問題懇談会, 豚肉の差額関税制度について (資料 9-1), 農林水産省生産局.

(独) 農林水産消費安全技術センター飼料分析基準研究会 (2010): 飼料分析法・解説 2009, (社) 日本科学飼料協会.

- 農林水産省消費・安全局（2005）：飼料安全法関連通知集，（社）日本科学飼料協会．
- 農林水産省消費・安全局（2009）：畜産農場における飼養衛生管理向上の取組認証基準（農場 HACCP 認証基準）平成 21 年 8 月 14 日 21 消安第 4973 号農林水産省消費・安全局長通知，農林水産省消費・安全局．
- （財）農林統計協会（1985）：図説 農業白書（59 年度版），（財）農林統計協会．
- 奥山治美（1988）：機能性食品の周辺，油化学，37（10），2-8．
- 大成 清（1986）：残飯を用いた育成・肥育用飼料の設計，養豚界，21（2），83-86．
- 大武由之（1983）：軟脂豚肉の脂質の特性，日畜会報，54（2），80-89．
- 大津雪子，柴田昌利，奥村華子，大竹正剛，塩谷聡子，寺田 圭，河原崎達雄，堀内 篤（2009）：低リジン飼料給与が筋肉内脂肪に及ぼす影響，静岡畜技研中小研セ研報，2，15-21．
- 小堤恭平，安藤四郎，池田敏雄，中井博康，千国幸一（1985）：市場牛肉の格付等級と理化学的特性について，日畜会報，56（1），1-6．
- 斉藤不二男（1965）：肉質検査法について，日豚研誌，2（1），1-10．
- 斎藤不二男，池田敏雄（1969）：豚枝肉の品質評価法，昭和 44 年度畜試年報，87-99．
- 斉藤忠夫，西村俊英，松田幹（2006）：最新畜産物利用学，朝倉書店．
- Sellier, P. (1998) : The Genetics of the Pig, 463-510, CBA International Oxion UK.
- 椎葉純一，宮嶋松一，河野建夫，高橋 力，稲垣二郎（1980）：ランドレースの椎骨数と産肉性について，日豚研誌，17（3），157-165．
- 椎葉純一，宮嶋松一，河野建夫，稲垣二郎（1981）：ランドレースの椎骨長に関する検討，日豚研誌，18（3），167-172．
- 篠原忠志（1979）：自家配の養豚法，（社）農村漁村分化協会．
- 鈴木平光（1991）：魚を食べると頭がよくなる，KK ベストセラーズ．
- Suzuki, K., Irie, M., Kadowaki, M., Shibata, T., kumagai, M. and Nishida, A. (2005) : Genetic parameter estimates of meat quality traits in Duroc pigs selected for average daily gain , longissimus muscle area, backfat thickness, and intramuscular fat content, J. Anim. Sci., 83, 2058-2065.
- Suzuki, K., Ishida, M., Kadowaki, H., Shibata, T., Uchida, H., Nishida, A. (2006) : Genetic correlations among fatty acid compositions in different sites of fat tissues, meat production ,and meat quality traits in Duroc pigs, J. Anim. Sci., 84, 2026-2034.

- ㈱食肉通信社（2009）：銘柄豚肉ハンドブック '09, ㈱食肉通信社.
- 高田良三,石橋 昇（2006）：V産業動物—Ⅲ, 単位動物（5）, 畜産の研究, 60（8）, 890-898.
- 高橋 明, 吉岡 勝（1964）：豚の椎骨数と産肉性との関係について, 日豚研誌, 1（2）, 73-76.
- 高橋正也, 古谷 修, 森本宏（1968）：肉豚の体脂肪の性状に及ぼすでんぷん質飼料の影響, 畜試研報, 16, 46-49.
- （社）畜産技術協会（2003 a）：畜産新技術実用化事業 リキッドフィーディング実用化平成14年度報告書,（社）畜産技術協会.
- （社）畜産技術協会（2003 b）：牛肉の品質評価のための理化学的分析マニュアル Ver. 2,（社）畜産技術協会.
- 戸原三郎, 尾形真二, 小原薩雄, 横山豪郎, 小春英世（1983a）：最近における純粋種豚の椎骨数について, 日豚研誌, 20（4）, 163-169.
- 戸原三郎（1983b）：豚の椎骨数と産肉性に関する諸問題, 畜産の研究, 37（9）, 1127-1133.
- 東京食肉市場 小動物事業部（1993）：東京食肉市場に於ける SPF 豚について, ALL About Swine, 3, 38-40.
- Witte, D. P., Ellis, M., McKeith, F. K., Wilson, E. R.（2000）：Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork, J. Anim. Sci., 78, 1272-1276.
- Yen, H. T., Cole, D. J. A. and Lewis, D.（1987）：Amino Acid Requirements of Growing Pigs, Anim. Prod., 43, 155-165.
- 与沢松作, 仙田国晃, 野原 弘, 高橋正行（1965）：豚の椎骨数の変異と椎骨数の異なる豚の発育, 飼料の利用性および屠体形質について, 日豚研誌, 2（2）, 56-65.
- （社）全国家畜畜産物衛生指導協会（2001）：養豚経営における衛生管理について,（社）全国家畜畜産物衛生指導協会.
- 全農農業協同組合連合会 畜産生産部（2000）：ウィークリー養豚マニュアル 2000, 全農農業協同組合連合会.