

かごしま黒豚の生産性向上と肉質特性に関する研究

Studies on the improvement of meat production and meat quality characteristics
of Kagoshima-Kurobuta pig

大小田 勉

2022

かごしま黒豚の生産性向上と肉質特性に関する研究

目 次

第1章 緒 論	1
第2章 かごしま黒豚の飼養管理が背脂肪厚と上物率に及ぼす影響	
2-1 緒言	5
2-2 材料と方法	
2-2-1 調査1：黒豚と白豚の格付状況	6
2-2-2 試験1：単飼かごしま黒豚の発育と枝肉成績における性間差	6
2-2-3 調査2：群飼かごしま黒豚の枝肉成績における性間差	7
2-2-4 試験2：背脂肪厚低減のための実証試験	7
2-2-5 統計処理	8
2-3 結果	
2-3-1 調査1：黒豚と白豚の格付状況	8
2-3-2 試験1：単飼かごしま黒豚の発育と枝肉成績における性間差	9
2-3-3 調査2：群飼かごしま黒豚の枝肉成績における性間差	9
2-3-4 試験2：背脂肪厚低減のための実証試験	10
2-4 考察	11
2-5 小括	12
第3章 雌との混合飼育が去勢雄の背脂肪厚に及ぼす影響とその原因の検討	
3-1 緒言	23
3-2 材料と方法	

3-2-1	去勢雄と雌の混合割合と飼養管理	23
3-2-2	血清分析	24
3-2-3	統計処理	25
3-3	結果	
3-3-1	かごしま黒豚の発育と枝肉成績	26
3-3-2	血清代謝物	27
3-4	考察	28
3-5	小括	30
第4章 官能評価と理化学検査数値から見るかごしま黒豚の肉質特性		
4-1	緒言	35
4-2	材料と方法	
4-2-1	消費者型官能評価（試料の調製と評価項目）	36
4-2-2	理化学検査	38
4-2-3	統計処理	39
4-3	結果および考察	
4-3-1	“香り”の官能評価と理化学検査：筋肉（赤身）	39
4-3-2	“硬さ”の官能評価と理化学検査：筋肉（赤身）	40
4-3-3	“多汁性”の官能評価と理化学検査：赤身	42
4-3-4	“うま味（赤身＋脂身）”に対応した理化学検査：赤身	42
4-3-5	“脂肪の甘み・サッパリさ”に対応した理化学検査：脂身	43
4-3-6	総合評価	44
4-3-7	かごしま黒豚の肉質特性	45

4-4	結論	45
4-5	小括	46
第5章 肥育後期飼料の甘藷配合量がかごしま黒豚に発育と肉質に及ぼす影響		
5-1	緒言	55
5-2	材料と方法	
5-2-1	飼養試験と枝肉評価	56
5-2-2	理化学分析	56
5-2-3	消費者型官能評価（試料の調製と評価項目）	57
5-2-4	統計処理	57
5-3	結果	
5-3-1	飼養成績と枝肉成績	58
5-3-2	理化学分析による肉質の評価	58
5-3-3	消費者型官能評価による肉質の評価	60
5-4	考察	60
5-5	小括	64
第6章 黒豚肉の消費者型官能評価に影響する要因の検討		
6-1	緒言	74
6-2	材料と方法	
6-2-1	試料およびパネル	74
6-2-2	消費者型官能評価（試料の調製と評価項目）	75
6-2-3	統計処理	75
6-3	結果	

6-3-1	パネルの人数と属性	75
6-3-2	評価項目ごとの順位と評価項目間の相関関係	
(1)	品種別の比較（黒豚肉，白豚肉，輸入肉）	76
(2)	甘藷割合別の比較（肥育後期飼料の甘藷割合 0%区，10%区， 30%区）	76
(3)	出荷体重別の比較（出荷体重 90kg 区，115kg 区，130kg 区）	77
6-4	考察	78
6-5	小括	80
第7章	総括	88
謝辞		91
参考文献		92

第1章 緒 論

昭和 30 年代，シラス台地で収穫されたサツマイモ（甘藷）を給与された黒豚は，列車で生きたまま東京に運ばれ，その黒豚肉の美味しさは東京の人々を魅了し，日本で最初の豚肉のブランドとなった(1)。その後，全国各地で様々な豚がブランド化され，2018 年時点で全国に 441 の銘柄豚が登録(2)され，品種，飼料，飼育環境，地域性などで特色を出している。「かごしま黒豚」は鹿児島が全国に誇るブランドであり，鹿児島県黒豚生産者協議会により「かごしま黒豚ブランド産地指定基準」が定められている。鹿児島県で生まれ育ったバークシャー種に，甘藷 10～20%を含む餌を 60 日以上肥育後期に給与し，出荷日齢が概ね 230～270 日齢の豚を「かごしま黒豚」としている。

鹿児島県養豚史(3)によると，本県の養豚は 1609 年（慶長 14 年）島津家久が奄美の各島と琉球に侵攻した際，珍しい品々と一緒に豚を持ち帰り，その後 1892 年（明治 25 年）にイギリスバークシャーを奨励品種として積極的に改良増殖に努めたのが始まりと言われている。そのため昭和 30 年代前半までは全県黒豚（バークシャー）一色となっていた。しかし，昭和 30 年代半ばから 40 年代において，ランドレース，大ヨークシャー，ハンプシャー，デュロック等が導入されると経済形質に勝る大型種におされ，県内の子取り用雌豚数に占めるバークシャーの割合は，昭和 40 年 95%，昭和 50 年 19%，昭和 60 年 4%と激減し，昭和 61 年には僅か 3,120 頭になる。鹿児島県はバークシャーを堅持すべき立場から最良線形不偏予測（BLUP）法によるかごしま黒豚の系統造成を開始した。第 1 系統豚「サツマ」を 1971 年（昭和 46 年）から 1983 年（昭和 58 年）にか

けて造成し、第2系統豚「ニューサツマ」を1982年（昭和57年）から1991年（平成3年）にかけて造成した。さらに第3系統豚「サツマ2001」を1991年（平成3年）から2001年（平成13年）にかけて造成後、第4系統豚「クロサツマ2015」を2006年（平成18年）から2015年（平成27年）にかけて造成した。そして、現在第5系統豚を2019年（令和元年）から造成中である。

世界と日本の養豚事情について、独立行政法人農畜産業振興機構(4)によれば、世界の豚肉生産量は1億1144万トン（2020年）が見込まれており、主要生産国は中国（4050万トン）、EU（2450万トン）、米国（1283万トン）と続き、その他では経済成長に伴いブラジル（425万トン）、ロシア（370万トン）、メキシコ（150万トン）となっている。日本の生産量は130万トンであるが、消費量のおよそ半分（143万トン）を輸入している。

昭和30年代、鹿児島県の養豚は数頭を庭先で飼う残飯養豚が中心であったが、徐々に大規模化され、餌も配合飼料となり、豚の品質は格段に安定してきた。出荷された豚は、食肉処理場で放血後、頭、四肢、尾、皮、内臓が取り除かれ、枝肉という状態で評価（格付）される。枝肉は公益社団法人日本食肉格付協会（日格協）により背脂肪の厚さや枝肉重量、そして肉のきめしまりなどにより総合的に格付される(5)。枝肉規格格付の歴史は古く、昭和36年に豚枝肉取引規格が設定され、現在は日格協が格付を実施している。近年、御中元や御歳暮などを含め、ハムやソーセージなどを効率良く大量に作るため、枝肉は大きさや形が同じ規格であることが重要視される。このため枝肉の格付は重量や背脂肪厚などがおもなポイントとなっている。背脂肪厚の格付基準は、1.3～2.4cmが「上」とされ、それより厚くても薄くても、程度により「中」、「並」、「等外」に格付される。

最終的には背脂肪厚を含む総合評価として、「上」に格付されたものを「上物」と呼び、上物以外を「格落ち」と呼ぶ。枝肉全体に対する「上物」の割合を「上物率」、「格落ち」の割合を「格落率」と呼ぶ。枝肉の取引単価は需要と供給により日々変動（変動相場）し、枝肉 1 kg あたりの単価が格付毎に決定される。格付で上物率が低いと農家経営に深刻な影響を及ぼす。黒豚農家の一部は、消費者や販売店と単価契約を結び、変動相場によらない取引をしているが、大半の農家は東京などの枝肉相場に黒豚価格を加算した額で、枝肉をバイヤー（流通販売業者）に売り渡す形となっている。

かごしま黒豚の課題として、まず黒豚（バークシャー種）は白豚（バークシャー種以外）より背脂肪が厚く(6)、去勢雄は雌より背脂肪が厚くなる性質がある(7)。このことは黒豚農家での背脂肪厚による上物率低下を招き、生産性向上の障害となっており、背脂肪が厚くならない飼養管理を開発する必要がある。二つ目に、かごしま黒豚は銘柄豚肉の中で最上位の評価を受けているが、国内での競争激化に加え環太平洋パートナーシップに関する包括的及び先進的な協定（TPP11）や経済連携協定（EPA）などの世界的な競争にも直面している。一方で、かごしま黒豚肉の“美味しさ”の裏付けとなる科学的基盤情報は、大ヨークシャー、アメリカバークシャー、ランドレースおよびハンプシャーとの比較において、筋線維が細かく、保水性が高く、脂肪融点が高いとした報告(8)はあるものの、官能評価と関連付ける事例はない。このため、様々なブランド肉との差別化をはかるため、黒豚肉を宣伝できる科学的根拠とブランド力向上が求められる。

これらの課題を解決するため、以下の各章で研究を行った。

まず、第 2 章においてかごしま黒豚の飼養管理が背脂肪厚と上物率に及ぼす影響に関する研究を行った。次に、第 3 章において雌との混合飼育が去勢雄の背脂肪厚に及ぼす影響とその原因に関する研究を行った。加えて、第 4 章において官能評価と理化学検査数値から見るかごしま黒豚の肉質特性に関する研究を行った。さらに、第 5 章において肥育後期飼料の甘藷配合量がかごしま黒豚に発育と肉質に及ぼす影響に関する研究を行った。最後に、第 6 章において黒豚肉の消費者型官能評価に影響する要因の検討に関する研究を行った。

本研究はかごしま黒豚の生産性向上を上物率向上とかごしま黒豚のブランド力向上から目指すものであり、第 2 章から第 3 章はかごしま黒豚の背脂肪厚調整による上物率向上から生産性向上を目指し、第 4 章から第 6 章は最新の理化学検査と消費型官能評価を用いて、かごしま黒豚の肉質特性の解明を行った。

第2章 かごしま黒豚の飼養管理が背脂肪厚と上物率に及ぼす影響

2-1 緒言

豚の枝肉は背脂肪の厚さや枝肉重量、きめしまりなどの項目により総合的に評価（格付）される。この格付は枝肉の取引価格に反映されるため、農家等生産者の収益に大きな影響を及ぼす。背脂肪厚は公益社団法人日本格付協会（日格協）の基準で、1.3～2.4cm が「上」にランクされ、それ以外は厚くても薄くても、程度により「中」、「並」、「等外」のランクに分類される。背脂肪厚を含む枝肉の総合評価（格付）として、「上」にランクされたものを「上物」と呼び、「中」以下のものを「格落ち」と呼ぶ。一般の黒豚農家は枝肉格付に応じて、東京などの枝肉相場に黒豚価格を加算した額で流通販売業者に枝肉を売り渡す形となっている。

バークシャー種はその他の品種に比べ、背脂肪などの皮下脂肪層が厚く(6)、去勢雄は雌より背脂肪が厚くなる(7)。そのため生産現場では背脂肪厚の異なる去勢雄と雌を別飼して、それぞれ餌の給与量を変えるなどの背脂肪厚対策が講じられている。第2章では、まず鹿児島県内2カ所の食肉処理場におけるバークシャー種（黒豚）およびバークシャー種以外（白豚）の枝肉格付状況を調査した。次に、鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場（畜産試験場）と鹿児島県経済農業協同組合連合会（経済連）の生産農場において、かごしま黒豚の背脂肪厚の性間差に関する試験を行った。さらに、生産農場で肥育後期用飼料の栄養価（TDN）や群編成の違いが背脂肪厚に及ぼす影響を調べ、飼養管理による背脂肪厚低減により上物率の向上を検討した。

2-2 材料と方法

畜産試験場での肥育試験は、日本学術会議の「動物実験の適正化に向けたガイドライン」などに従い、動物倫理に十分な配慮を払って行われた。また、生産農場での調査については、農場の管理マニュアル等に従った。

2-2-1 調査 1：黒豚と白豚の格付状況

バークシャー種（黒豚）およびバークシャー種以外（白豚）の枝肉の格付状況を確認するため、鹿児島県内で日格協が格付を実施している 2 カ所の食肉処理場に平成 27 年度に搬入された黒豚 46,724 頭および白豚 342,787 頭の枝肉について上物率と背脂肪厚（厚脂）等による格落率を調査した。

2-2-2 試験 1：単飼かごしま黒豚の発育と枝肉成績における性間差

畜産試験場において、平成 28 年 3 月生まれのバークシャー種、雌 7 頭（雌区）および去勢雄 7 頭（去勢雄区）を単飼豚房でそれぞれ飼養した。体重 30 kg から TDN78.5%の肥育前期用飼料を給与し、体重 60kg から甘藷 10%を含む TDN70%の肥育後期用飼料を出荷体重 115kg まで給与した。なお、試験 1 ならびに後述する調査 2 および試験 2 で使用した飼料は全て南日本くみあい飼料株式会社（鹿児島市）から購入した。各飼料の原材料の配合割合と成分値を表 2-1 に示した。飼料の給与は肥育前期と後期を通じ、朝夕 2 回給与の制限給餌（期待 DG 530g）とし、1 頭あたりの給与量は表 2-2 のとおりとした。調査項目は、肥育後期の一増増体量（DG）、出荷日齢、出荷直前のロース断面積（EM）、枝肉背

脂肪厚（以下背脂肪厚），上物率等とした。EM は体長の 1/2 部位を超音波肉質測定装置（本多電子株式会社製 富士平工業 HS-2100V）で撮影し，画像メディアプラザ GT ファインダー（TEAC 社製）を用いて面積を測定した。

2-2-3 調査 2：群飼かごしま黒豚の枝肉成績における性間差

生産農場（以下農場）におけるかごしま黒豚の枝肉の背脂肪厚や上物率の性間差を調査するため，かごしま黒豚母豚 450 頭を飼養する一貫農場で，平成 28 年 4 月生まれの豚 214 頭を対象に出荷後の枝肉の背脂肪厚，上物率，格落ち要因などを調査した。農場の慣行法として，子豚は体重 35kg で子豚舎から肥育舎へ移動する際，1 豚房 10 頭ずつ雌と去勢雄を別々に群編成（以下別飼）した。体重 80kg までは肥育前期用飼料を不断給餌し，体重 80kg から出荷体重 115kg までは甘藷 10%を含む TDN76%の肥育後期用飼料（表 2-1）を間欠給餌した。この間欠給餌は月曜日から金曜日までが自動給餌器による不断給餌，土日は断餌で飲水のみとする給餌方法であった。また，農場の飼養管理基準に従って，飼料の切替と出荷を行った。

2-2-4 試験 2：背脂肪厚低減のための実証試験

実態調査と同時に，同じ肥育豚舎内に実証試験区を設定して，肥育期の飼養管理による背脂肪厚の低減を試みた。試験豚は実態調査と同じ平成 28 年 4 月生まれの豚を用い，体重 35kg から肥育前期用飼料（前出）を不断給与した。肥育後期の飼養区分として，TDN76%の肥育後期用飼料（前出）を体重 80kg から調査 2 と同じ方法で間欠給与した間欠区（慣行法），次に同飼料を飼料会社のマニユ

アルに従い体重 70kg から制限給餌（毎日朝夕 2 回給与）した T76 区、そして同様に TDN70%の肥育後期飼料（前出）を制限給餌した T70 区の 3 区を設けた。この 3 つの飼養区に群編成として、1 豚房に雌のみ 10 頭の雌群、去勢雄のみ 10 頭の去勢雄群、去勢雄 5 頭および雌 5 頭を同居させた混飼群の 3 群をそれぞれ設けて試験を行った。T76 区と T70 区の肥育後期用飼料の一頭当たりの 1 日給与量（原物重量）は体重に応じた量を給与した。体重 70kg～79kg は飼料 2.4kg を給与し、体重 80kg～94kg は 2.5kg、そして体重 95kg から出荷体重 115kg までは 2.6kg とした。表 2-3 に飼養試験の概要を示した。肥育舎への移動に際して、各個体に耳標を装着して個体識別を行い、70kg, 80kg, 95kg, 115kg にそれぞれ到達すると予定された時期に体重測定を実施した。

2-2-5 統計処理

得られたデータに関しては、平均値を算出した後、Welch の t-検定を実施して、 $P<0.05$ の場合に統計学的に有意差があると判断した。性間差についての統計処理は各飼養区分内での比較とした。また統計解析システム (SAS, Statistical Analysis System, ver 9.3) を用いて分散分析を行い、要因（飼養条件および性差）および交互作用の効果を判定し、各項目の平均値を算出後、Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、 $P<0.05$ の場合に統計学的に有意差があると判断した。

2-3 結果

2-3-1 調査 1：黒豚と白豚の格付状況

図 2-1 に格付状況の調査結果を示した。平成 27 年度に出荷された黒豚と白豚

の上物率はそれぞれ 52%と 60%で、白豚が 8 ポイント高く、厚脂による格落率は黒豚が 28%、白豚が 13%で、黒豚が白豚より 15 ポイント高かった。

2-3-2 試験 1：単飼かごしま黒豚の発育と枝肉成績における性間差

表 2-4 に単飼試験の結果を示した。単飼で制限給餌した結果、体重 60kg 以降の肥育後期 DG は雌区と去勢雄区でそれぞれ 608g と 597g で、出荷日齢は 222 日と 233 日となり雌区の方が早くなった ($P<0.05$)。また、EM は 38.1cm^2 と 34.3cm^2 で雌区の方が大きかった ($P<0.05$)。背脂肪厚は 1.7cm と 2.0cm となり、去勢雄区で厚い傾向にあった ($P<0.1$)。去勢雄区は 7 頭中 1 頭が厚脂で格落ちしたため、上物率は 86%となった。

2-3-3 調査 2：群飼かごしま黒豚の枝肉成績における性間差

表 2-5 に実態調査の結果を示した。雌と去勢雄の出荷頭数と出荷日齢は、それぞれ 103 頭と 111 頭、253 日と 246 日となり、出荷日齢は去勢雄が雌より 7 日早かった ($P<0.05$)。枝肉重量は雌と去勢雄で 77kg と 75kg で雌の方が 2kg 重かったが ($P<0.05$)、背脂肪厚は 2.3cm と 2.6cm で去勢雄の方が 0.3cm 厚かった ($P<0.05$)。雌と去勢雄の上物率は 45%と 31%で雌が 14 ポイント高く、厚脂による格落率は 18%と 46%で、去勢雄が 28 ポイント高かった。このほか枝肉の重量が上物規格外で格落ちする「重量」の割合が雌で 34%、去勢雄で 21%となった。性別による出荷日齢と背脂肪厚の関係を図 2-2 に示した。背脂肪厚は去勢雄および雌ともに出荷日齢との間に相関はみられなかった。

2-3-4 試験 2：背脂肪厚低減のための実証試験

表 2-6 に実証試験の結果を示した。農場の慣行法である間欠区では、肥育後期 DG が混飼群、雌群、去勢雄群でそれぞれ 470g, 504g, 635g, 出荷日齢が 249 日, 247 日, 228 日となり、去勢雄群の発育が早く他の 2 群との間に有意差が認められた ($P<0.05$)。背脂肪厚は 2.2cm, 1.8cm, 2.6cm となり、去勢雄群は他の 2 群より有意に厚く ($P<0.05$)、混飼群は雌群よりも厚かった ($P<0.05$)。制限給餌した T76 区では、混飼群、雌群、去勢雄群の肥育後期 DG, 出荷日齢ともに差は無かったが、背脂肪厚はそれぞれ 2.1cm, 2.0cm, 2.5cm となり、間欠区と同様に、去勢雄群が他の 2 群より有意に厚かった ($P<0.05$)。TDN を 6 ポイント落とした T70 区でも T76 区と同様に、各群間の肥育後期 DG, 出荷日齢に差は無かったが、背脂肪厚はそれぞれ 2.0cm, 1.8cm, 2.5cm となり、去勢雄群が他の 2 群より有意に厚かった ($P<0.05$)。全飼養区分とも背脂肪の厚い順に、去勢雄群、混飼群、雌群となった。分散分析によって要因（飼養区分（給餌法）および群（性差））の効果を検証したところ、肥育後期 DG に対する給餌法の有意な効果が ($P<0.05$)、また背脂肪厚および上物率に対する性差の有意な効果が（背脂肪厚, $P<0.0001$; 上物率, $P<0.005$ ）、それぞれ確認された。上物率は全飼養区において混飼群が最も高く、次に雌群、去勢雄群の順となった。格落率は全飼養区とも去勢雄群が最も高く、次に雌群、混飼群の順となった。T76 区去勢雄群の 1 頭は肢を痛めて飼養に支障が生じたため、肥育前期途中で試験対象から除外した。

表 2-7 に混飼群内の性間差の結果を示した。混飼群は雌 5 頭と去勢雄 5 頭で構成されているが、背脂肪厚は雌と去勢雄が、間欠区で 2.1cm と 2.4cm, T76

区で 1.9cm と 2.4cm, T70 区で 2.0cm と 2.1cm となり, 去勢雄が雌より厚い傾向にあった ($P<0.1$)。上物率は雌と去勢雄が, 間欠区で 100%と 60%, T76 区で 100%と 60%, T70 区で 80%と 60%となり, 全区で去勢雄の方が低かった。厚脂による格落率は全区とも雌が 0%で, 去勢雄が 20%~40%となった。分散分析によって要因(飼養区分(給餌法)および群(性差))の効果を検証したところ, 肥育後期 DG に対する給餌法の有意な効果が ($P<0.05$), また上物率に対する性差の有意な効果が ($P<0.05$), それぞれ確認された。

2-4 考察

かごしま黒豚は白豚より背脂肪が厚くなりやすいとされており, 上物規格を超える背脂肪厚(厚脂)は枝肉評価を下げて売上減少を招き, 経営上の大きな問題となる。そのため黒豚生産者は上物率を上げるために, 雌と去勢雄を別飼し, 去勢雄群の出荷前の給餌量を調整するなどの厚脂対策を講じている。また, 「かごしま黒豚ブランド産地指定基準」において, かごしま黒豚の出荷日齢は概ね 230 日以上とされていることから, 出荷日齢も厚脂対策とともに考慮する必要がある。

鹿児島県内の食肉処理場の上物率と格落理由別割合は, 川井田(8)の報告同様, 黒豚は白豚に比べ厚脂による格落率が高く上物率も低かった。実態調査や実証試験では, 従来の報告(9,10 および 11)同様, かごしま黒豚の去勢雄の背脂肪厚は雌よりも厚く, 厚脂による格落率が高く上物率も低い結果となった。また, 分散分析による群(性差)の検証からも性差が背脂肪厚や上物率に影響することが裏付けられ, 単飼や群飼, 間欠給餌や制限給餌の違いにかかわらず, 去勢雄は背

脂肪が厚く上物率が低くなることが確認された。出荷日齢の早い去勢雄は厚脂傾向が強いという報告(10,11)があるが、実態調査での相関は認められなかった。

不断給餌に断餌を組み入れた Skip-a-day 法（間欠給餌法）は、断餌による消化吸収機能の向上により制限給餌と比較して発育がよく飼料要求率も改善され、皮下脂肪も薄くなる(12,13)。しかし、実証試験では間欠給餌の厚脂抑制への有効性は認められなかった。一方、制限給餌法では厚脂を原因とする格落率に対して良好な結果が得られた。厚脂対策には、飼料の栄養価の低減(9,14 および 15)や、栄養価の低減と給餌法によるもの(16)があり、これらに加え雌雄別飼の検討(11)もある。実証試験において、去勢雄群と雌群間にみられた背脂肪厚の有意差は、混飼群内での去勢雄と雌間にはみられず、厚脂による格落率も去勢雄群より混飼群内の去勢雄の方が大幅に低くかった。

以上の結論として、かごしま黒豚の去勢雄は雌よりも背脂肪厚による格落ちが多いが、後期用飼料の TDN を低減させることや雌雄混飼にすることで、背脂肪厚を改善して上物率を向上させうる可能性が示された。

2-5 小括

かごしま黒豚の背脂肪厚改善による上物率向上の検討を行うために、まず鹿児島県内の 2 カ所の食肉処理場における枝肉成績に関する調査を行い、バークシャー種（黒豚，調査対象 46,724 頭）はバークシャー種以外（白豚，調査対象 342,787 頭）に比べ、背脂肪厚（厚脂）による格落割合が高く（黒豚 28%，白豚 13%），上物率は低い（黒豚 52%，白豚 60%）ことを明らかにした。次に、かごしま黒豚の去勢雄と雌を、単飼－制限給餌下で肥育した場合、あるいは雌雄

別群飼―間欠給餌下で肥育した場合でも、去勢雄が雌より背脂肪が厚くなることを確認した。次に、肥育後期のかごしま黒豚の背脂肪厚を改善する飼養管理方法の確立を目的とした実証試験を生産農場において行った。TDN76%の黒豚用肥育後期用飼料を体重 80 kgから間欠給餌した間欠区、同飼料を体重 70 kgから制限給餌した T76 区、TDN70%の黒豚用肥育後期用飼料を体重 70 kgから制限給餌した T70 区の 3 つの飼養区（30 頭/区）を設け、さらに各飼養区にそれぞれ去勢雄群（10 頭）、雌群（10 頭）、混飼群（去勢雄 5 頭＋雌 5 頭）を設けて肥育試験を行った。その結果、厚脂による格落率は去勢雄群で間欠区、T76 区、T70 区でそれぞれ 80%、67%、50%であったが、混飼群では 20%、10%、10%となった。上物率も去勢雄群で間欠区、T76 区、T70 区でそれぞれ 20%、33%、50%であったが、混飼群では 80%、80%、70%となった。また、全飼養区において、雌雄別飼条件では去勢雄群が雌群よりも背脂肪が厚かったが（ $P<0.05$ ）、混飼条件では去勢雄と雌に有意差はなかった。これらの結果から、かごしま黒豚の去勢雄は雌よりも背脂肪厚による格落ちが多いが、雌雄混飼にすることや後期用飼料の TDN を低減させることで、背脂肪厚を改善して上物率を向上させる可能性が示された。

表 2-1. 飼料の配合割合および成分値

	前期用飼料	後期用飼料 (TDN70)	後期用飼料 (TDN76)
原材料名	――配合割合(%)――		
穀類(とうもろこし等)	68	55	66
植物性油かす類(大豆油かす等)	24	14	19
甘藷	0	10	10
そうこう類	3	16	2
その他	5	5	3
分析成分項目	――含量(%)――		
TDN(計算値)	78.5	70.0	76.0
粗タンパク質	16.0	13.5	13.5
粗脂肪	3.0	2.0	2.5
粗灰分	8.0	8.0	8.0
粗繊維	5.0	5.0	5.0
カルシウム	0.5	0.5	0.5
リン	0.4	0.4	0.4

TDN(計算値):各原材料のTDN含量(日本標準飼料成分表(2009年))と配合割合に基づいて各原材料のTDN量を算出し、それらの総和を飼料のTDN含量とした。

表 2-2. 肥育期の飼料給与量

肥育前期用飼料		肥育後期用飼料	
体重 (kg)	給与量 (kg/日)	体重 (kg)	給与量 (kg/日)
30	1.2	60	2.0
35	1.3	65	2.1
40	1.4	70	2.2
45	1.5	75	2.3
50	1.6	80	2.4
55	1.7	90	2.5
		95	2.6
		100	2.7
		105	2.8
		115	3.0

表 2-3. 群編成と肥育後期の飼養条件（試験 2）

飼養区分	群編成		肥育後期の飼養条件			
	群	頭数 (頭)	切替体重 (kg)	飼料のTDN量 (%)	給 餌 法	
間欠 (慣例)	混飼	10	80	76	【月～金】	【土日】
	雌	10			不断給餌	水のみ
	去勢雄	10				
T76	混飼	10	70	76	【毎日】：	制限給餌
	雌	10			[体重]	[給与量]
	去勢雄	10			70kg	2.4kg/日
T70	混飼	10	70	70	80kg	2.5kg/日
	雌	10			95kg	2.6kg/日
	去勢雄	10			朝夕2回給餌	

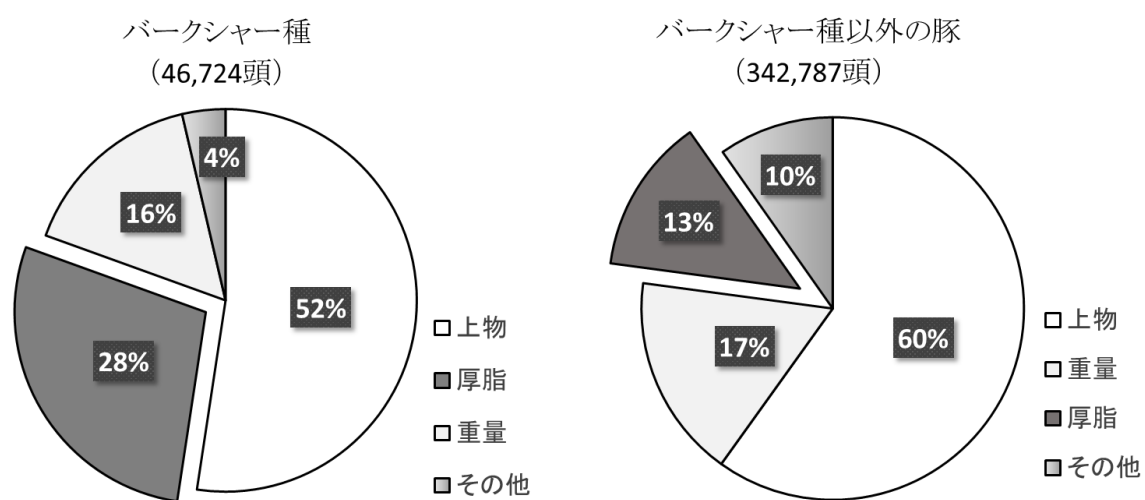


図 2-1. バークシャー種とそれ以外の豚の格付状況（調査 1）

表 2-4. 単飼条件における発育と枝肉成績の雌と去勢雄間での比較（試験 1）

区分	出荷 頭数 (頭)	肥育後期 DG (g)	出荷日齢 (日)	ロース 断面積 (cm ²)	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	上物率 (%)	格落率 (%)
雌	7	608 ± 37	222 ± 7 ^b	38.1 ± 2.3 ^a	73 ± 0.7 ^a	1.7 ± 0.2	100	0
去勢雄	7	597 ± 24	233 ± 6 ^a	34.3 ± 2.3 ^b	72 ± 1.1 ^b	2.0 ± 0.5	86	14

データは平均±標準偏差。縦列の異なる英文字間に有意差(P<0.05)あり。

表 2-5. 群飼条件における枝肉成績の雌と去勢雄間での比較（調査 2）

区分	出荷 頭数	出荷日齢 (日)	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	上物率 (%)	格落理由別割合		
						厚脂 (%)	重量 (%)	その他 (%)
雌	103	253 ± 10.6 ^a	77 ± 5.3 ^a	2.3 ± 0.5 ^b	45	18	34	3
去勢雄	111	246 ± 14.3 ^b	75 ± 5.6 ^b	2.6 ± 0.5 ^a	31	46	21	2

データは平均±標準偏差。縦列の異なる英文字間に有意差 (P<0.05) あり。

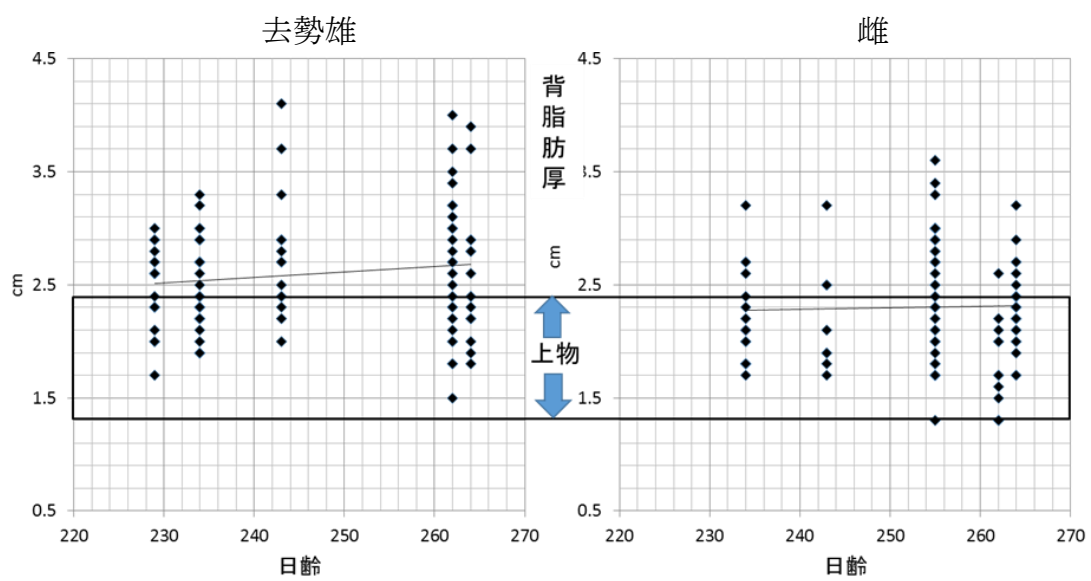


図 2-2. 性別による出荷日齢と背脂肪厚の去勢雄と雌間での比較
(調査 2)

表 2-6. 飼養区毎の性間差 (試験 2)

飼養 区分	群	出荷 頭数 (頭)	肥育後期 DG (g)	出荷日齢 (日)	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	上物 率 (%)	格落理由別割合			
								厚脂	重量	その他	(%)
間欠	混飼	10	470 ± 39 ^b	249 ± 10 ^a	72.5 ± 2.7	2.2 ± 0.4 ^b	80	20	0	0	0
	雌	10	504 ± 176 ^b	247 ± 15 ^a	69.9 ± 5.5	1.8 ± 0.5 ^c	60	40	0	0	0
	去勢雄	10	635 ± 81 ^a	228 ± 17 ^b	71.6 ± 3.3	2.6 ± 0.3 ^a	20	80	0	0	0
T76	混飼	10	594 ± 97	240 ± 15	72.1 ± 3.3	2.1 ± 0.5 ^b	80	10	10	0	0
	雌	10	594 ± 99	237 ± 16	72.8 ± 3.7	2.0 ± 0.4 ^b	60	30	0	10	10
	去勢雄	9	571 ± 144	238 ± 19	70.9 ± 3.6	2.5 ± 0.4 ^a	33	67	0	0	0
T70	混飼	10	494 ± 146	237 ± 18	67.4 ± 8.4	2.0 ± 0.5 ^b	70	10	20	0	0
	雌	10	526 ± 136	243 ± 16	68.6 ± 4.7	1.8 ± 0.4 ^b	70	10	10	10	10
	去勢雄	10	508 ± 104	240 ± 18	71.3 ± 4.5	2.5 ± 0.4 ^a	50	50	0	0	0
分散 分析	飼養区分		P<0.05	NS	NS	NS	NS				
	要因 群(性差)		NS	NS	NS	P<0.0001	P<0.005				
	飼養区分 ×群(性差)		NS	NS	NS	NS	NS				

データは平均±標準偏差。各飼養区分内での比較において異なる英文字間に有意差(P<0.05)あり。
NS, 要因の効果なし。

表 2-7. 混飼群内の性間差 (試験 2)

飼養 区分	群	出荷 頭数 (頭)	肥育後期 DG (g)		出荷日齢 (日)	枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	上物 率 (%)	格落理由別割合		
									厚脂	重量	その他
間欠	雌	5	471 ± 34		249 ± 13	72.2 ± 2.8	2.1 ± 0.3	100	0	0	0
	去勢雄	5	469 ± 48		249 ± 8	72.8 ± 2.8	2.4 ± 0.4	60	40	0	0
T76	雌	5	627 ± 70		237 ± 13	71.1 ± 1.7	1.9 ± 0.2	100	0	0	0
	去勢雄	5	562 ± 117		243 ± 17	73.1 ± 4.5	2.4 ± 0.5	60	20	20	0
T70	雌	5	567 ± 137		229 ± 17	67.0 ± 8.6	2.0 ± 0.3	80	0	20	0
	去勢雄	5	422 ± 128		246 ± 15	67.8 ± 9.1	2.1 ± 0.8	60	20	20	0
分散 分析	飼養区分		P<0.05		NS	NS	NS	NS			
	要因	群(性差)	NS		NS	NS	NS	P<0.05			
		飼養区分 ×群(性差)	NS		NS	NS	NS	NS			

データは平均±標準偏差。NS, 要因の効果なし。

第3章 雌との混合飼育が去勢雄の背脂肪厚に及ぼす影響とその原因の検討

3-1 緒言

かごしま黒豚とは、鹿児島県で肥育後期飼料に甘藷を含む専用飼料で育てられたバークシャー種の商標名であり、消費者から高い評価を得ている。第2章よりバークシャー種は他の品種に比べて背脂肪が厚く、去勢雄は雌よりも厚いことが確認された。背脂肪を過剰に蓄積した枝肉の評価は低く、養豚経営の収益を低下させる。一般的に養豚農家は上物率を向上させるため、去勢雄と雌を別々に飼育することで背脂肪厚の対策を講じている。第2章において、飼養管理により去勢雄の背脂肪厚改善を試みた結果、肥育後期飼料のエネルギー量の低減や去勢雄と雌を5:5の比率で混飼することで、背脂肪厚を抑えて上物率を上げることが示唆された。第3章では去勢雄の背脂肪厚をより効果的に改善するための去勢雄と雌の最適な混合割合を調べた。さらに、混飼により去勢雄が受ける影響について、出荷前の血清中代謝物質をメタボローム解析で分析することにより背脂肪厚改善の要因を検討した。

3-2 材料と方法

3-2-1 去勢雄と雌の混合割合と飼養管理

すべての実験手順は、日本学術会議の「動物実験の適正化に向けたガイドライン」などに従い、動物倫理に十分な配慮を払いながら獣医師の監督下で実施された。去勢雄と雌の混飼は第2章と同じ農場で行われた。試験には平均体重35 kgの子豚150頭を用い、去勢雄の割合毎に100%区、90%区、70%区、50%区、

30%区, 10%区および0%区の7区に分けた。各区の1豚房は基本10頭とし, 各区の豚房数は農場の都合により1豚房, 3豚房, 2豚房, 3豚房, 2豚房, 3豚房および1豚房を配置した。雄子豚の去勢は生後3~7日齢で行った。去勢は, 最初に子豚を手で固定して, 睾丸が皮膚の上に現れるようにしたあと, 皮膚をメスで切開し, 睾丸を除去した。その後切開部にイソジン溶液を塗布し, 抗生物質を筋肉内に注入した。飼養管理は第2章同様, 体重35 kgから80 kgまでは肥育前期用飼料を不断給餌し, 体重80 kgから115 kgまでは肥育後期飼料 (TDN76%, 粗タンパク質 (CP) 13.5%) を間欠給餌した (表2-1)。調査項目は出荷日数, 枝肉重量, 背脂肪厚, 枝肉の上物率と格落率とした。

3-2-2 血清分析

生後200日齢に頸静脈から採血した100%区の去勢雄3頭と, 50%区の去勢雄3頭と雌3頭の血液を3,000×gで10分間遠心分離し, 血清は-80℃で保存した。血清中の代謝産物の分析はヒューマン・メタボローム・テクノロジーズ株式会社 (HMT) (鶴岡市) に委託した。イオン性代謝物はCE-TOFMSで分析し, 脂溶性代謝物はLC-TOFMSで分析した。採血に供した100%区の去勢雄3頭と, 50%区の去勢雄3頭と雌3頭の背脂肪厚の平均はそれぞれ3.6cm, 3.3cmおよび2.2cmであった。

CE-TOFMS 測定用の前処理として, まず内部標準物質 (Cation mode : L-Methionine Sulfone, Anion mode : D-Camphor-10-sulfonic acid) の濃度が10μMとなるように調整した450μLのメタノール溶液に50μLの豚血清を添加して攪拌した。これに500μLのクロロホルム及び200μLのMilli-Q水を加えて

攪拌し、遠心分離（ $2,300\times g$ ， 4°C ，5分）を行った。遠心分離後、水層を限外ろ過チューブ（ウルトラフリーMC PLHCC，HMT，遠心式フィルターユニット 5kDa）に 400 μL 移し取った。これを遠心（ $9,100\times g$ ， 4°C ，120分）し、限外ろ過処理を行った。ろ液を乾固させ、再び 50 μL の Milli-Q 水に溶解して測定に供した。

LC-TOFMS 測定用の前処理として、まず内部標準物質（Positive mode, Negative mode : D-Camphor-10-sulfonic acid）の濃度が 6 μM となるように調整した 1500 μL の 1%ギ酸・アセトニトリル溶液に、500 μL の豚血清を添加して攪拌した。その後、遠心分離（ $2,300\times g$ ， 4°C ，5分）を行い、上清を回収し、固相抽出を用いてリン脂質を除去後、ろ液を回収した。これを乾固させ、100 μL の 50%イソプロパノール水溶液（V/V）に溶解して測定に供した。

CE-TOFMS 分析では、陽イオンモードと陰イオンモードで測定を行い、検出されたピークを特定し、HMT の代謝物ライブラリと既知/未知ピークライブラリに登録されている物質を分析した。LC-TOFMS では、ポジティブモードとネガティブモードで実行された測定、および検出されたピークが識別され、HMT の代謝物ライブラリに登録されている物質について分析した。CE-TOFMS と LC-TOFMS で検出されたピーク面積値は相対面積値に変換した。

3-2-3 統計処理

得られたデータに関しては R(17)を用いて分散分析を行い、Tukey-Kramer の多重比較検定を行い、 $P<0.05$ の場合に統計学的に有意差があると判断した。

3-3 結果

3-3-1 かがしま黒豚の発育と枝肉成績

発育と枝肉成績の結果を表 3-1 に示した。各区の出荷日齢の平均は 237 日齢～246 日齢であり、すべての区がかがしま黒豚ブランドの基準範囲（230 日齢～270 日齢）であった。出荷日齢は 0%区（246 日齢）に対して、70%区（239 日齢）と 90%区（237 日齢）で有意差がみられた（ $P<0.05$ ）。各区の枝肉の平均重量は 76kg～78kg で区間に有意差はみられなかった。背脂肪厚は 100%区から 0%区にかけて、2.9 cm, 2.7cm, 2.4cm, 2.4cm, 2.5cm, 2.2cm, 2.1 cm と薄くなった。100%区から 70%区までは急激に薄くなり、30%区にかけて一旦厚くなった。上物率は 100%区から 0%区にかけて、20%, 40%, 65%, 57%, 50%, 57%, 78%と上昇した。100%区から 70%区にかけて急激に上昇した上物率は 30%区にかけて一旦下降した。厚脂率は 70%, 33%, 15%, 17%, 25%, 7%, 11%となり、背脂肪厚同様、一旦 70%区まで急激に下がった。分散分析において要因の効果を検証したところ、出荷日齢と背脂肪厚に対する混合割合の有意な効果（ $P<0.001$ ）が確認された。

各区内の去勢雄と雌の背脂肪厚と厚脂率を表 3-2 に示した。去勢雄の背脂肪厚は 100%区から 70%区にかけて 2.9cm から 2.5cm と一旦薄くなり、再び 30%区にかけて 2.8cm と厚くなり、100%区と 70%区の間には有意差がみられた（ $P<0.05$ ）。厚脂率は 100%区から 70%区まで 70%から 21%へと急激に減少し、10%区にかけて 67%と再び上昇した。雌の背脂肪厚は区間に有意差はみられなかった。分散分析において要因の効果を検証したところ、去勢雄の背脂肪厚に対する混合割合の有意な効果（ $P<0.001$ ）が確認された。

3-3-2 血清代謝物

血清のメタボローム解析を行った結果、CE-TOFMS により 185 種類、LC-TOFMS では 112 種類の代謝化合物が検出された。これらのうち 100%区（去勢雄のみ）に検出された物質、混詞の去勢雄と雌にのみ検出された物質、混詞の雌のみ検出された物質、混飼の去勢雄のみ検出されなかった物質を表 3-3 に示した。これら 28 種類の代謝産物は、ステロイド代謝関連物質、ステロイド酸代謝関連物質、脂質代謝関連物質、その他の代謝物の 4 区分に分類される。ステロイド代謝関連物質 7 種類はすべて性ステロイドで、 11β -ヒドロキシアンドロステンジオンとエストリオールが 100%区去勢雄のみ検出され、 19 -ヒドロキシアンドロステンジオンが雌のみ検出された。また、 5α -ジヒドロプロゲステロン、 19 -ヒドロキシテストステロン、 17α -エストラジオールおよび 16 -エピエストリオールが 50%区の去勢雄と雌の両方で検出された。ステロイド代謝関連物質はタウロコール酸とコール酸の 2 種類があり、タウロコール酸は 100%区にのみ検出された。脂質代謝に関連する 11 種類の代謝物のうち、スフィンゴミエリン、イコセン酸カルニチン、ドコサン酸、脂肪酸 ($24:2$)、およびブタン酸カルニチンの 5 種類は 100%区去勢雄で検出されたが、50%区去勢雄では検出されなかった。一方、50%区雌から検出された 8 種類のうち、脂肪酸 ($24:2$) とブタン酸カルニチンは 100%区去勢雄からも検出され、 3 -ヒドロキシテトラデカン酸、脂肪酸 ($14:3$)、脂肪酸 ($22:6$)、グリセリン酸は 50%区去勢雄からも検出された。その他の代謝物 8 種類のうち 6 種類は雌から検出され、その多くはアミノ酸代謝に関連する代謝物で、エルゴチオネインと N-メチルアラニンは 50%区

去勢雄からも検出された。

3-4 考察

血清から検出されたステロイド代謝関連物質 7 種類のうち、2 種類は 100% 区去勢雄のみ検出され、4 種類は混飼の去勢雄と雌の両方から検出された。そのうち 17α -エストラジオールと 16-エピエストリオールの 2 種類は、エストロン-エストラジオール生合成経路に存在するホルモンであり、さらに 19-ヒドロキシテストステロンはエストラジオールの前駆体として代謝され、 5α -ジヒドロprogesterone はprogesterone から合成される。これら 4 種類のステロイド代謝関連物質は副腎皮質または末梢組織で合成されるが、本試験では去勢雄だけの区では合成されないことを示唆している。しかし、混飼では去勢雄の副腎皮質または末梢組織でこれらのステロイドの合成が誘導され、雌同様のステロイドプロファイルの変化が生じたと考えられた。エストロゲンは副腎由来のアンドロゲン前駆体を使用して、脂肪組織などのアロマターゼを発現する合成組織でもあり、性ステロイドホルモンは性分化と生殖の開始に重要な役割を果たす。エストロゲンは脂質代謝に影響を与え(18)、エストラジオールはエストロゲンで最も効果的であり、女性の皮下脂肪の沈着に関与している (19)。

第 3 章では、 17α -エストラジオールと 16-エピエストリオールの 2 つのエストロゲンが混飼された去勢雄に誘導された。 17α -エストラジオールは、 17β -エストラジオールに関連する作用の弱い内因性ステロイド性エストロゲンであり、 17α -エストラジオールの生物学的活性は 17β -エストラジオールよりもはるかに弱い、 17β -エストラジオールよりも強力な力で脳に発現するエストロゲン受

容体 X に結合して活性化することがわかっている。また、受容体の主な内因性リガンドである可能性がある。16-エピエストリールは弱い内因性エストロゲンでもあり、エストラジオール、エストリオール、および 16-オキシエストラジオールを介して合成される。ヒトでは満腹中枢に関連するレプチン受容体に対するエストロゲンの効果が研究されており、エストロゲンが食欲を抑制することが知られている(20)。これらのことより去勢雄を雌と混合した場合、誘導されたエストロゲンの影響により、去勢雄の飼料摂取量が抑制された可能性が考えられた。主に副腎で生成されるアンドロゲンである 11β -ヒドロキシアンドロステンジオンが、100%区去勢雄だけ検出されたことは、外科的去勢による精巣の除去により、副腎でアンドロゲンの合成が促進されたことを示している。エストリオールはエストラジオールの代謝産物であるが、100%区の去勢雄でのみ検出された理由は不明である。雌の刺激が原因で、同居する去勢雄にエストロゲン合成を誘発したかは不明であるが、去勢雄の性ステロイドホルモンの内分泌状態は、雌に似ている可能性がある。データは示していないが、上記の内因性ステロイドに加えて、飼料穀物（大豆粕）に由来するゲニステインが 100%区去勢雄ではなく、混飼の去勢雄と雌子豚の両方で検出された。このことは、混飼の去勢雄と雌に外因性のエストロゲン様物質との共通点があることを示している。

結論として、去勢雄と雌を混飼すると、去勢雄にエストロゲンが誘導され、その結果、皮下脂肪組織の脂肪代謝への調整作用や、食欲の抑制等により背脂肪厚（皮下脂肪）の蓄積が抑制された可能性が示唆された。同じ環境下、雌との同居により去勢雄に誘発されたエストロゲンの生物学的メカニズムを解明するためにさらなる研究が必要である。

3-5 小括

かごしま黒豚の去勢雄は背脂肪が厚く枝肉格付が下がりやすく，去勢雄の背脂肪厚を改善し上物率を上げるには去勢雄と雌を 5 : 5 の比率で飼育することが最も効果的であることを第 2 章で示した。第 3 章では去勢雄の背脂肪厚を制御する最適な混合割合を調査するために，生産農場でさまざまな混合割合を試験した。平均体重 35 kg のかごしま黒豚を去勢雄の割合により，100%区（去勢雄のみ），90%区，70%区，50%区，30%区，10%区，0%区（雌のみ）の 7 区に分けた。それぞれ 1 豚房に 10 頭飼養し，各区にそれぞれ 1 豚房，3 豚房，2 豚房，3 豚房，2 豚房，3 豚房，および 1 豚房を配置した。すべての豚は同じ給餌方法で出荷まで飼育し，血清代謝産物の分析のために，生後 200 日の 100%区去勢雄 3 頭，50%区（混飼）の去勢雄 3 頭および雌 3 頭から血液を採取した。100%区，90%区，70%区，50%区，30%区，10%区，0%区の背脂肪厚は，それぞれ 2.9 cm，2.7cm，2.4cm，2.4cm，2.5cm，2.2cm および 2.1 cm で，100%区から 70%区までは背脂肪が急激に薄くなった。100%区，90%区，70%区，50%区，30%区および 10%区の去勢雄の背脂肪厚はそれぞれ 2.9cm，2.7cm，2.5cm，2.7cm，2.8cm および 2.5 cm で，70%区で一旦急激に薄くなり 100%区と 70%区の間には有意差がみられた（ $P < 0.05$ ）。4 種類の性ステロイド（5 α -ジヒドロprogesterone，19-ヒドロキシtestosterone，17 α -estradiol，16-epiestriol）が，混合飼育の去勢雄と雌から検出されたが，100%区の去勢雄からは検出されなかった。去勢雄の背脂肪厚の低減には去勢雄と雌を 7 : 3 で混飼することが効果的であり，混飼により去勢雄に誘発された性ステロ

イドホルモンが背脂肪の厚さに影響を与える可能性が示唆された。

表 3-1. 混飼割合による出荷および枝肉成績

区分	出荷体重 (kg)	出荷日齢 (日)	枝肉成績			
			枝肉重量 (kg)	背脂肪厚 (cm)	上物率 (%)	厚脂率 (%)
100% (10: 0) [†]	120 ± 5	241 ± 7 ^{ab}	78 ± 3.4	2.9 ± 0.5 ^a	20	70
90% (27: 3)	119 ± 5	237 ± 10 ^b	77 ± 4.1	2.7 ± 0.5 ^{ac}	40	33
70% (14: 6)	119 ± 6	239 ± 11 ^b	76 ± 4.5	2.4 ± 0.3 ^b	65	15
50% (15:15)	120 ± 8	242 ± 10 ^{ab}	77 ± 6.3	2.4 ± 0.6 ^{bc}	57	17
30% (6:14)	119 ± 7	240 ± 11 ^{ab}	77 ± 5.9	2.5 ± 0.5 ^{abc}	50	25
10% (3:27)	118 ± 9	241 ± 10 ^{ab}	76 ± 5.9	2.2 ± 0.4 ^b	57	7
0% (0: 9)	118 ± 6	246 ± 8 ^a	76 ± 4.8	2.1 ± 0.5 ^b	78	11
ANOVA [‡]	NS	***	NS	***	NA	NA

[†]: 括弧内は区内の去勢雄と雌の頭数。

値は平均±標準偏差で表示。列内の異符号間に有意差あり。

[‡]ANOVA : *** , P<0.001 ; NS, 要因の効果なし ; NA, 分析対象外

表 3-2. 混飼割合による去勢雄と雌の背脂肪厚と厚脂率

区分	去勢雄 の頭数	去勢雄の 背脂肪厚	去勢雄の 厚 脂 率	雌の 頭数	雌 の 背脂肪厚	雌 の 厚脂率
	(頭)	(cm)	(%)	(頭)	(cm)	(%)
100%	10	2.9 ± 0.48 ^a	70	0	—	—
90%	27	2.7 ± 0.47 ^{ab}	37	3	2.2 ± 0.27	0
70%	14	2.5 ± 0.34 ^b	21	6	2.3 ± 0.24	0
50%	15	2.7 ± 0.58 ^{ab}	27	15	2.1 ± 0.39	7
30%	6	2.8 ± 0.43 ^{ab}	33	14	2.4 ± 0.47	21
10%	3	2.5 ± 0.29 ^{ab}	67	27	2.2 ± 0.44	0
0%	0	—	—	9	2.1 ± 0.51	11
ANOVA [†]		***	NA		NS	NA

値は平均±標準偏差で表示。列内の異符号間に有意差あり。

[†]ANOVA : ***, $P<0.001$; NS,要因の効果なし ; NA,分析対象外

表 3-3. 100%区去勢雄と、50%区去勢雄と雌から検出された血清中代謝物質

血清中代謝物質の区分	分類	100%区 去勢雄 (3頭)	混飼	
			50%区 去勢雄 (3頭)	50%区 雌 (3頭)
ステロイド代謝関連物質				
11β-ヒドロキシアンドロステンジオン	性ステロイド	+	ND	ND
エストリオール	性ステロイド	+	ND	ND
19-ヒドロキシアンドロステンジオン	性ステロイド	ND	ND	+
5α-ジヒドロプロゲステロン	性ステロイド	ND	+	+
19-ヒドロキシテストステロン	性ステロイド	ND	+	+
17α-エストラジオール	性ステロイド	ND	+	+
16-エピエストリオール	性ステロイド	ND	+	+
ステロイド酸代謝関連物質				
タウロコール酸	ステロイド酸	+	ND	ND
コール酸	胆汁酸	ND	+	+
脂質代謝関連物質				
スフィンゴミエリン	スフィンゴリン脂質	+	ND	ND
イコセン酸カルニチン	アシルカルニチンエステル	+	ND	ND
ドコサン酸	飽和脂肪酸	+	ND	ND
脂肪酸(24:2)	多価不飽和脂肪酸	+	ND	+
ブタン酸カルニチン	アシルカルニチンエステル	+	ND	+
ペンタデカン酸	飽和脂肪酸	ND	ND	+
脂肪酸(22:3)	多価不飽和脂肪酸	ND	ND	+
3-ヒドロキシテトラデカン酸	ヒドロキシ脂肪酸	ND	+	+
脂肪酸(14:3)	多価不飽和脂肪酸	ND	+	+
脂肪酸(22:6)	多価不飽和脂肪酸	ND	+	+
グリセリン酸	酸化グリセリン	ND	+	+
その他の代謝物				
グルタル酸	線状ジカルボン酸	+	ND	ND
グリシン-アスパラギン酸	ペプチド	+	ND	ND
N-ヘキサノイルスフィンゴシン	短鎖セラミド	ND	ND	+
グルコサミン	アミノ糖	ND	ND	+
プトレシン	ポリアミン	ND	ND	+
酸化型グルタチオン	ペプチド	ND	ND	+
エルゴチオネイン	ヒスチジン代謝物	ND	+	+
N-メチルアラニン	アラニン誘導体	ND	+	+

+: 検出, ND: 未検出

第4章 官能評価と理化学検査数値から見るかごしま黒豚の肉質特性

4-1 緒言

近年、品種、飼料、飼育環境、地域性などで特色を出している銘柄豚が全国に440以上あり、鹿児島県では甘藷を10～20%含む飼料によって肥育後期60日以上肥育したバークシャー種をかごしま黒豚として銘柄化している。これまで、かごしま黒豚は銘柄豚の中で最上位の評価を受けてきた一方で、黒豚肉の“美味しさ”の裏付けとなる科学的基盤情報は、筋繊維が細かく、保水性が高く、脂肪融点が高い⁽³⁾などの理化学分析の結果はあるものの、官能評価と関連付ける事例はない。筋肉（赤身）のグルタミン酸やイノシン酸などのうま味成分含量や、脂肪（脂身）のオレイン酸含量に基づいて“美味しい”という広告的表現が用いられることがある。食べて“美味しい”とは、筋肉と脂肪から成る肉片・肉塊に対する五感的評価であり、これに対して各種の理化学検査は、筋肉と脂肪を別々に分析して得られた数値データから成る場合が多く、肉片全体を評価する官能試験とは異なる。また理化学検査が、ヒトの口腔内において唾液とともに咀嚼して味わう五感的評価としての“美味しさ”をどこまで表現しているかは不明である。

そこで第4章では、かごしま黒豚、白豚、および輸入豚の各豚肉の各種理化学検査結果に官能評価の結果を照らし合わせながら、官能評価に近い検査項目を探るとともに、かごしま黒豚の美味しさに関連する肉質特性を白豚および輸入豚との比較によって明らかにした。試験サンプルを選ぶにあたり、比較による違いを明らかにするため、美味しさや肉質に差があると思われる輸入冷凍豚肉を

使用した。

4-2 材料と方法

畜産試験場において、ブランド指定基準に従って、甘藷 10%を含む肥育後期飼料で肥育されたバークシャー種（黒豚）の去勢雄 5 頭と、経済連の生産農場で慣行法によって肥育された LWD（三元交雑種：白豚）の去勢雄 5 頭を試験に用いた。出荷，と畜・解体（0 日目）した後，枝肉を 0℃で冷蔵保管して，3 日目に枝肉よりロースブロックの切り出しを行い，5 日目に分析用の肉検体の採材を行った。右側ロースブロックの頭部側から検査項目別に切り分けて肉検体とし，真空パックを行い，分析まで−20℃で冷凍保存した。左側のロースブロックは，2 等分して真空パックを行い，官能評価試験用として冷凍保存した。輸入豚については，TPP11 により日本に低い関税で輸入される可能性のあるカナダ産の白豚（LWD）の冷凍ロースブロック 5 本を購入して，黒豚および白豚と同様に切り分けて検査に用いた。

4-2-1 消費者型官能評価（試料の調製と評価項目）

パネルは嗜好型パネルとし，20 代から 50 代の男性 20 名および 20 代から 40 代の女性 18 名の計 38 名とした。試験は盲試験とし，パネルには喫食前 2 時間は飲食を控えてもらった。と殺，熟成後冷凍保存したロースブロックを 4℃で 20～24 時間かけて解凍した後，1cm 厚の背脂肪層を付けた状態で，筋線維の走方向に対して直角に 1.5cm 厚でスライスし，4%食塩水に 30 分間浸漬した。次に，このスライスをホットプレートで加熱（250℃，表面 4 分および裏面 2 分）した

後、1.5cm 幅の短冊状にカットした。評価用試料として、筋肉（赤身）のみの肉片（幅 1.5cm×長さ 2cm）、および脂肪（脂身）付きの肉片（幅 1.5cm×長さ 3cm（うち脂肪層 1cm））の 2 種類を黒豚、白豚および輸入肉についてそれぞれ準備した。試料には 2 桁の乱数字を付し、3 試料を同時にパネリストに提供した。パネリストは、まず喫食前に提示された試料の香りを嗅ぎ、「香りの強さ」、「香りの好ましさ」を評価した。次に、各試料を喫食する前に、水で口腔内をすすぎ、「噛み切りやすさ」、「咀嚼のしやすさ」、「歯ごたえの好ましさ」、「多汁性」、「うま味の強さ」、「うま味の好ましさ」、「脂肪の甘味」、「脂肪のサッパリさ」および総合評価の 11 項目について評価を行った。なお、「噛み切りやすさ」から「多汁性」までは筋肉のみの試料を喫食して評価し、「うま味の強さ」から総合評価までは脂肪付きの試料を喫食して評価した。評価法は 3 試料の順位法とし同順位は禁止とした。評価用語の選定については、大小田ら(21)の消費者パネルによる官能評価項目や、これまで経済連で実施してきた官能評価項目をもとに、総合評価に相関する可能性のある香り、テクスチャー、呈味等を中心に選定した。更に消費者パネルに対して、評価用語の説明を評価前に行った。喫食においては、調査項目である「香り」を適切に評価できるよう、試料は調理後あたたかい状態で直ちにパネルに提供した。このため評価は 1 日 3 回に分けて実施し、1 回 10～15 人ずつとした。パネルは事前に年齢、性別等を振り分けて招集し、なるべく偏りがないように注意した。募集時に研究目的や方法を説明すると同時に、参加は自由意志に基づくものとし、評価の際には個人情報特定されないように配慮した。

4-2-2 理化学検査

筋肉の臭気成分、剪断力価、破断強度、遠心水分遊離率および加熱遊離水分率の測定は、日本ハム中央研究所（つくば市）に委託した。筋肉中代謝物の網羅的分析、背脂肪の脂肪酸組成および脂肪融点の測定については、経済連食品総合研究所（鹿児島市）に委託した。臭気成分はガスクロマトグラフ質量分析システム（6890N Network GC + 5973 inert Mass Selective Detector, Agilent Technologies）により定性分析を行った。まず、検体（挽肉赤身 2g）を 20ml 容ガラスバイアル中に置き、加温（100℃, 20 分）した後、気相（ヘッドスペース）を得た。次にヘッドスペースサンプラー（HP7694, Hewlett-Packard；オープン温度, 100℃；ループ温度, 200℃；トランスファーライン温度, 200℃；ループ体積, 1mL）にて試料を GC/MS システムに導入した。分析カラムは DB-5BS（60m×0.32mm×1.00μm）、キャリアガスは He（流量 3.8ml/min）とした。臭気成分の同定については、GC/MS システムに予め登録されている標準マススペクトルを用いて自動解析した。剪断力価は加熱済筋肉を線維に沿って、幅 1cm、高さ 1cm にカットし、Warner-Bratzler 剪断力価計（Instron 社, 5492）を用いて測定した。破断強度はテンシプレッサー（タケモト電機, TTP-50BXII）に円筒形プランジャー（面積：0.041cm²）を装着して測定した。遠心水分遊離率は肉総量に対する遠心負荷（2,200×g, 30 分）によって離水する水分量の割合（%）とした。また、加熱遊離水分率は肉総量に対する加熱負荷（70℃, 60 分）によって離水する水分量の割合（%）とした。筋肉の一般成分（水分および脂質）は脂肪組織を取り除いた肉塊を挽肉に調製後、齋藤ら(22)の方法に従って測定した。脂肪酸組成は脂肪酸メチルに調整後、ガスクロマトグラフで測定した。脂肪融点

は自動滴点・軟化点測定システム (Mettler Toledo DP90)を用いて以下の手順で測定した。まず粉碎した背脂肪組織を恒温乾燥器内に置き、加熱 (105℃, 4 時間) して脂肪の抽出を行い、ろ過済みの脂肪を専用のカップ内で固めて (2℃, 1 晩) 試料とした。測定に際しては、測定セルの温度を 2℃から 1 分間に 1℃ずつ上昇させ、脂肪が融解して滴下した温度を滴点 (融点) とした。呈味評価については、藤村ら(23)の方法に従って、肉検体よりスープを調製し、味認識装置 (Insent 社, TS-5000Z) によって苦味雑味, うま味, 塩味, 酸味, 渋味刺激, うま味コク, 苦味, 渋味の計 8 種類の呈味の評価を行った。

官能評価項目に対応する理化学的検査項目を表 4-1 のように設定した。“香り”には臭気成分, “硬さ”にはテクスチャーに関わる剪断力価および破断強度, 水分および脂質, ならびにコラーゲン分解の指標となる遊離 4-ヒドロキシプロリン, “多汁性”にはドリップロス, 遠心水分遊離率および加熱遊離水分率, “うま味”には代謝物中の呈味関連物質 (網羅的分析) および味認識装置による呈味評価, “脂肪の甘味・サッパリさ”には脂肪酸組成および脂肪融点をそれぞれ対応させた。

4-2-3 統計処理

得られたデータに関しては、平均値を算出した後、Tukey の多重比較検定を実施し、 $P<0.05$ あるいは $P<0.01$ の場合に統計学的に有意差があると判断した。

4-3 結果および考察

4-3-1 “香り”の官能評価と理化学検査：筋肉 (赤身)

表 4-2 に官能評価の結果を示した。喫食する前に嗅いだ“香りの強さ”は輸入豚肉＞白豚肉＞黒豚肉の順となり，輸入豚肉は黒豚肉より香りが強いと評価される傾向にあった（ $P=0.06$ ）。これとは逆に“香りの好ましき”では，国産豚肉である黒豚肉および白豚肉が輸入豚肉よりも有意に（ $P<0.01$ ）好ましいとの評価を得た。表 4-3 に示すとおり，黒豚肉，白豚肉，輸入豚肉の各 5 検体から検出された臭気物質は，実数がそれぞれ 10 種，6 種，4 種であり，延べ総数は 33 個，29 個，14 個であった。アセトアルデヒドおよびメタンチオールは全検体から，アセトンは黒豚・白豚肉の全検体と輸入豚肉 2 検体から，ヘキサナールは黒豚肉 3 検体と白豚肉全検体そして輸入豚肉 2 検体から，それぞれ検出された。酢酸は黒豚肉 4 検体と白豚肉全検体から検出されたが，輸入豚肉からは検出されなかった。ペンタナールは白豚肉にだけ検出され（4 検体），黒豚肉だけに検出された物質は，3-メチル-2-ブタノン（4 検体），エタノール（2 検体），2-ブタノン（3 検体），2-メチルプロパナール（1 検体），およびジメチルジスルフィド（1 検体）の 5 つの物質であった。国産豚肉は輸入豚肉より，臭気物質の種類が多様であり，検出数も有意（ $P<0.05$ ）に多く，官能評価では香りが好ましく感じられる結果となった。臭気物質の差異は豚の品種による差なのか，飼料の違いによるものなのかは不明であるが，国産肉に検出された複数の物質の構成が“好ましい”評価に繋がった可能性が考えられた。脂肪中スカトールは風味に悪影響を及ぼす(24)が，全ての肉検体（筋肉脂肪を含む）からは検出されなかった。

4-3-2 “硬さ”の官能評価と理化学検査：筋肉（赤身）

前歯での“噛み切りやすさ”および奥歯での“咀嚼しやすさ”については，黒

豚肉が白豚肉および輸入豚肉と比べて、噛み切りやすく、咀嚼しやすいとの有意に高い ($P<0.01$) 評価を得た (表 4-2)。“噛み切りやすさ”と対応した剪断力価は、黒豚肉、白豚肉、輸入豚肉でそれぞれ $24.0 \times \text{N/cm}^2$, $25.9 \times \text{N/cm}^2$, $29.3 \times \text{N/cm}^2$ となり、黒豚肉が最も低い値を示したが、破断強度は 3 つの豚肉で同等の値であった (表 4-4)。官能評価において軟らかさは噛み始めに評価(25)しており、本研究でも官能評価の“噛み切りやすさ”と理化学検査の剪断力価が関連する可能性が示唆された。また、筋肉の硬さと総コラーゲン含量には有意な相関がある(26)が、コラーゲン分解の指標となる遊離 4-ヒドロキシプロリン含量は、黒豚肉>輸入豚肉>白豚肉の順となり、黒豚肉と白豚肉 ($P<0.01$) あるいは輸入豚肉 ($P<0.05$) 間に有意差がみられ、軟らかさに関して官能評価と一致する結果となった (表 4-4)。

水分含量は黒豚肉、白豚肉、輸入豚肉において、それぞれ 71.9%, 67.1%, 70.5% となり、黒豚肉が一番高く白豚肉との間に有意差 ($P<0.05$) が認められ、逆に脂質含量は 2.7%, 3.4%, 3.3% となり黒豚肉が一番低い値を示した (表 4-4)。豚肉は水分含量が多いと硬く、脂肪含量が多いと軟らかい(25)が、官能評価および剪断力価の結果とは一致しなかった。

“歯ごたえの好ましさ”は、“噛み切りやすさ”および“咀嚼しやすさ”と同様に、黒豚肉>輸入豚肉>白豚肉の順となり、黒豚肉と白豚肉の間には有意差 ($P<0.05$) が認められた (表 4-2)。“噛み切りやすさ”や“咀嚼しやすさ”などの軟らかさが“歯ごたえ”の好ましさに繋がったと考えられたが、この官能評価と同じ傾向を示す理化学検査項目は剪断力価と 4-ヒドロキシプロリンのみであった。

4-3-3 “多汁性”の官能評価と理化学検査：赤身

多汁性では黒豚肉＞輸入豚肉＞白豚肉の順となり（表 4-2），黒豚肉で評価が高くなる傾向にあった（ $P<0.1$ ）。表 4-5 に示すとおり，多汁性に関わる保水性の検査では，黒豚肉，白豚肉，輸入豚肉のドリップロスがそれぞれ 2.52%，2.37%，5.28%となり，国産肉（黒豚肉・白豚肉）と輸入豚肉の間に有意差（ $P<0.05$ ・ $P<0.01$ ）が認められた。また，遠心水分遊離率では，黒豚肉＜白豚肉＜輸入豚肉の順（それぞれ 28.1%，33.0%，33.3%）となり，黒豚肉と輸入肉の間に有意差（ $P<0.05$ ）が認められた。加えて，加熱遊離水分率でも黒豚肉＜白豚肉＜輸入豚肉の順（それぞれ 13.8%，14.8%，15.5%），となり，有意差は認められなかったが黒豚が一番低くなった。遠心分離法は豚肉質を精度良く評価するのに向いており(27)，今回の結果からも遠心水分遊離率が官能評価の多汁性の評価と一致していることが確認された。

4-3-4 “うま味（赤身＋脂身）”に対応した理化学検査：赤身

官能評価の“うま味の強さ”および“うま味の好ましき”においては，3種の肉の間に差はなかった（表 4-2）。筋肉中代謝物の網羅的分析を行った結果，黒豚肉との比較において有意差が認められた呈味関連物質を表 4-6 に示した。黒豚肉では，白豚肉および輸入豚肉と比べて，遊離のグルタミン酸（うま味）およびトレオニン（甘味）の相対含量が数倍高く（ $P<0.01$ ），また遊離のプロリンおよびアラニン（甘味）の相対含量も有意に（ $P<0.05$ ）高かった。加えて黒豚肉では白豚肉および輸入豚肉と比べてグリセロールの相対含量も有意に（ $P<0.05$ ）

高かった。これらの結果は、黒豚肉は三元交雑種の肉よりグルタミン酸やアラニンが多いとする報告(28)と一致した。また、甘味およびうま味成分量（黒豚肉＞白豚肉＞輸入豚肉）は、官能評価のうま味（好ましさ）と同じ順位（黒豚肉＞白豚肉＞輸入豚肉）を示した。味の分類として「こく」にはカルノシンやアンセリンが関与(29)し、 γ -アミノ酪酸は味覚に関与(30)し、更に味には相乗効果がある(31)。美味しさはうま味や甘味成分の含量を含め、様々な代謝物質が“隠し味”などの役割を含め、複雑に影響し合っていることが考えられた。

近年、味覚への客観的評価が期待されている味認識装置で、甘味を除く 8 種類の味を測定した結果、苦味雑味、うま味、うま味コクの 3 種類が認識され、うま味では黒豚肉＞輸入豚肉＞白豚肉の順となったが有意差は認められず、官能評価とも一致しなかった（図 4-1）。味認識装置は豚肉抽出液を用いての測定であるため、茶やコーヒーなどの飲み物に比べ、口腔内で唾液とともに何度も咀嚼して肉を粉碎・磨砕して味わう過程での“うま味”と味覚の質が異なると考えられた。

4-3-5 “脂肪の甘み・サッパリさ”に対応した理化学検査：脂身

官能評価での“脂肪の甘味”は黒豚肉＞白豚肉＞輸入豚肉の順，“脂肪のサッパリさ”では輸入豚肉＞黒豚肉＞白豚肉の順となったが、いずれも有意差は認められなかった（表 4-2）。表 4-7 に示すように、黒豚肉と白豚肉の間で有意差が認められた脂肪酸（FA）は、飽和脂肪酸（SFA）4 種（C14 : 0, C16 : 0, C18 : 0, C20 : 0）、一価不飽和脂肪酸（MUFA）3 種（C16 : 1, C17 : 1, C20 : 1）、多価不飽和脂肪酸（PUFA）1 種（C20 : 3）の計 8 種であった。黒豚肉と輸入豚

肉の間に有意差が認められた FA は、SFA 2 種 (C14 : 0, C16 : 0), MUFA 2 種 (C16 : 1, C18 : 1), PUFA 5 種 (C18 : 2, C18 : 3, C20 : 2, C20 : 3, C20 : 4) の計 9 種であった。黒豚肉と比較して、輸入肉では SFA ($P<0.05$) と MUFA ($P<0.05$) が有意に低く、一方で PUFA が有意 ($P<0.01$) に高かった。また、黒豚肉と比べて輸入豚肉の脂肪融点が低くなる傾向にあったが ($P<0.1$)、これは FA 組成の影響によると考えられた。食べた時、脂肪融点が高いと脂肪がサッパリと感じ、逆に融点が低いと脂肪がベタベタした感じになると言われているが、脂肪融点の一番低い輸入豚肉が、“脂肪のサッパリさ”での評価がもっとも高くなった。このことは“脂肪のサッパリさ”に FA 組成や脂肪融点以外の要因が関与している可能性を示唆している。また、脂身の評価として、赤身とともに喫食した際に、一般的に言われる脂身が“甘い”という評価が、脂身そのものからくるものなのか、赤身の成分とともに感じられるものなのか不明であるが、赤身に含まれる甘味成分を脂身が修飾し、“脂肪が甘い”という感覚を引き出している可能性も否めない。従来、脂肪は甘味、酸味、塩味、苦味、うま味の 5 味覚を修飾するものとされてきたが、近年「脂味」が発見され、脂そのものに独特の味覚があることがわかってきている(32)。今後、FA や脂肪融点だけでなく、脂味の役割を表現できる検査機器等の研究により、脂肪が官能評価に及ぼす役割が明らかになるかもしれない。

4-3-6 総合評価

総合評価は黒豚肉>白豚肉>輸入肉の順となった(表 4-2)。これと同じ順位を示した官能評価項目として、“香りの好ましさ”、“うま味の好ましさ”、“脂肪

の甘味”があった。香りやうま味は強さよりも人の嗜好が重要であり、官能検査に「香り」の影響は大きく(33)，“美味しい”を決定づける要素には、五感として“香り”や“うま味”が重要であることも示された。

4-3-7 かごしま黒豚の肉質特性

官能評価および理化学検査から得られた結果より、白豚肉および輸入豚肉と比較して、黒豚肉に特徴的な項目をかごしま黒豚の肉質特性とした。官能評価において、黒豚肉は“噛み切りやすく”，“咀嚼しやすい”ことから、軟らかくジューシーで総合的に美味しい(33)と一致した。理化学検査では、黒豚肉の筋肉（赤身）は臭気物質の種類と数が豊富で、水分が多く、遠心水分遊離率が低かった。更に、呈味関連物質ではグルタミン酸と甘味を呈する物質が多く、FA 組成では PUFA 割合が白豚肉および輸入豚肉と比べて低かった。これらの肉質特性は筋線維の細さによる保水性の高さや UFA 量の低さ(8)と一致した。

4-4 結論

消費者型官能評価は個人の生活習慣や好みが反映されるが、生産者が豚肉を全国に売り出すにあたって、まず地域の消費者を含め、自分たちが“食べて美味しいこと”に加え“美味しい”を支える科学的根拠があって、初めて自信のある販売やブランド力向上に繋がってゆく。ヒトの咀嚼動作は非常に複雑であり、忠実に再現できる装置はなく、口腔内物性の測定は官能評価と機器測定との新しい研究分野(34)であるが、肉を唾液とともに味わいながら食する官能評価を本章で調査した結果、筋肉や脂肪のみの理化学検査で推し量ることは容易でないこ

とが確認された。一方で、食べた時の評価を測る物差しが必要とされている。本研究で硬さと多汁性において、剪断力価と 4-ヒドロキシプロリン，そして遠心水分遊離率が物差しとなり得る可能性が示唆された。

4-5 小括

かごしま黒豚（バークシャー種：黒豚），LWD（三元交雑種：白豚），およびカナダ産 LWD（輸入豚）の各ロースブロックを用いて，官能評価および理化学検査を行い，得られた結果を比べた。“香りの好ましさ”において，黒豚肉および白豚肉は高い評価を得たが，これらの豚肉からは輸入豚肉より多くの種類の臭気物質が検出された。また黒豚肉は，“噛み切りやすさ”および“咀嚼しやすさ”において高い評価を得ると同時に，輸入豚肉より有意に低い遠心水分遊離率を示した。一方で黒豚肉では，遊離のグルタミン酸（うま味）とトレオニン（甘味）の相対含量が数倍高く，また遊離のプロリン（甘味）とアラニン（甘味）の相対含量も有意に高かったが，“うま味の強さ・好ましさ”は白豚肉および輸入豚肉と同等の評価であった。背脂肪の FA 組成においては，黒豚肉で PUFA の割合が低いことが認められた。総合評価は黒豚肉＞白豚肉＞輸入肉の順となった。

表 4-1. 官能評価項目に対応する理化学検査項目

消費者型官能評価			理化学検査		
部位		評価項目	分析項目		部位
筋肉 (赤身)	香り	・強さ	臭気	・臭気成分	
		・好ましさ			
	硬さ	・噛み切りやすさ	・剪断力価 ・破断強度		
		・咀嚼しやすさ			
		・歯ごたえ			
多汁性	テクスチャー		・水分 ・脂質 ・ヒドロキシプロリン		
					・ドリップロス
赤身 ＋ 脂身	うま味	・強さ	保水力	・遠心水分遊離率 ・加熱遊離水分率	
		・好ましさ			
	脂肪	・甘み	呈味物質		
		・サッパリさ			
		・味認識装置			
脂肪	脂肪		・脂肪酸組成 ・脂肪融点		
					脂肪 (脂身)

表 4-2. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の官能評価検査の結果

評価項目	黒豚肉	白豚肉	輸入豚肉
総合評価	1.82 ± 0.69	2.05 ± 0.90	2.13 ± 0.84
香り(強さ)	2.13 ± 0.74	2.08 ± 0.85	1.79 ± 0.84
香り(好ましさ)	1.76 ± 0.75	1.79 ± 0.78	2.45 ± 0.76**††
噛み切りやすさ	1.13 ± 0.34	2.53 ± 0.60**	2.34 ± 0.63**
咀嚼のしやすさ	1.21 ± 0.41	2.53 ± 0.69**	2.26 ± 0.64
歯ごたえ(好ましさ)	1.79 ± 0.78	2.24 ± 0.82*	1.97 ± 0.82
多汁性	1.74 ± 0.76	2.16 ± 0.82	2.11 ± 0.83
うま味(強さ)	2.05 ± 0.77	1.95 ± 0.80	2.00 ± 0.90
うま味(好ましさ)	1.92 ± 0.71	1.97 ± 0.88	2.11 ± 0.86
脂肪の甘味	1.87 ± 0.84	2.05 ± 0.77	2.08 ± 0.85
脂肪のサッパリさ	1.97 ± 0.82	2.21 ± 0.78	1.82 ± 0.83

評価順位(1位～3位)の平均±標準偏差(5頭)。

** (P<0.01) , * (P<0.05) : 黒豚肉に対して有意差あり。

†† (P<0.01) : 白豚肉に対して有意差あり。

表 4-3. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の”香り”に対応した臭気物質の比較

臭気物質	黒豚肉	白豚肉	輸入豚肉
	――― 5検体中に検出された数 ―――		
アセトアルデヒド	5	5	5
メタンチオール	5	5	5
アセトン	5	5	2
ヘキサナール	3	5	2
酢酸	4	5	ND
ペンタナール	ND	4	ND
3-メチル-2-ブタノン	4	ND	ND
エタノール	2	ND	ND
2-ブタノン	3	ND	ND
2-メチルプロパナール	1	ND	ND
ジメチルジスルフィド	1	ND	ND
種類	10	6	4
総数	33	29	14
1検体あたりの検出数 (平均±標準偏差)	6.6 ± 1.8	5.8 ± 0.4	2.8 ± 1.1 ^{*†}

ND: 未検出。

* (P<0.05) : 黒豚肉に対して有意差あり。

† (P<0.05) : 白豚肉に対して有意差あり。

表 4-4. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の“咀嚼”に対応したテクスチャーに関連する理学検査項目の比較

項目	黒豚肉	白豚肉	輸入豚肉
剪断力価 (× N/cm ²)	24.0 ± 6.4	25.9 ± 4.4	29.3 ± 3.9
破断強度 (× 10 ⁶ N/m ²)	5.4 ± 1.4	5.5 ± 1.0	5.5 ± 0.6
水分 (%)	71.9 ± 1.0	67.1 ± 3.1*	70.5 ± 2.4
脂質 (%)	2.7 ± 0.9	3.4 ± 0.1	3.3 ± 1.5
4-ヒドロキシプロリン	100 ± 14	51 ± 9.0**	71 ± 1.3*

平均±標準偏差 (5頭)。ヒドロキシプロリンについては黒豚肉を100とした相対含量。

** (P<0.01), * (P<0.05) : 黒豚肉に対して有意差あり。

表 4-5. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の“多汁性”に対応した保水性に関連する理化学検査項目の比較

項目	黒豚肉	白豚肉	輸入豚肉
ドロップロス(%)	2.52 ± 0.76	2.37 ± 0.98	5.28 ± 0.96*††
遠心水分遊離率(%)	28.1 ± 3.7	33.0 ± 2.6	33.3 ± 2.4*
加熱遊離水分率(%)	13.8 ± 3.3	14.8 ± 1.8	15.5 ± 2.2

平均±標準偏差(5頭)。

* (P<0.05)：黒豚肉に対して有意差あり。

†† (P<0.01)：白豚肉に対して有意差あり。

表 4-6. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の“うま味”に対応した呈味関連代謝物の比較

呈味関連代謝物質	呈味	黒豚肉	白豚肉	輸入豚肉
グルタミン酸	うま味	100 ± 23	27 ± 7**	22 ± 4**
トレオニン	甘味	100 ± 30	15 ± 3**	20 ± 3**
プロリン	甘味	100 ± 15	73 ± 13*	63 ± 9*
アラニン	甘味	100 ± 20	67 ± 9*	65 ± 7*
グリセロール	甘味	100 ± 20	78 ± 25*	45 ± 4*
ロイシン	苦味	100 ± 21	77 ± 11	57 ± 11*
バリン	苦味	100 ± 20	73 ± 16	104 ± 15*
メチオニン	苦味	100 ± 20	123 ± 21	170 ± 25*†

平均±標準偏差(5頭)。黒豚肉を100とした相対含量。

** (P<0.01) , * (P<0.05) : 黒豚肉に対して有意差あり。

† (P<0.05) : 白豚肉に対して有意差あり。

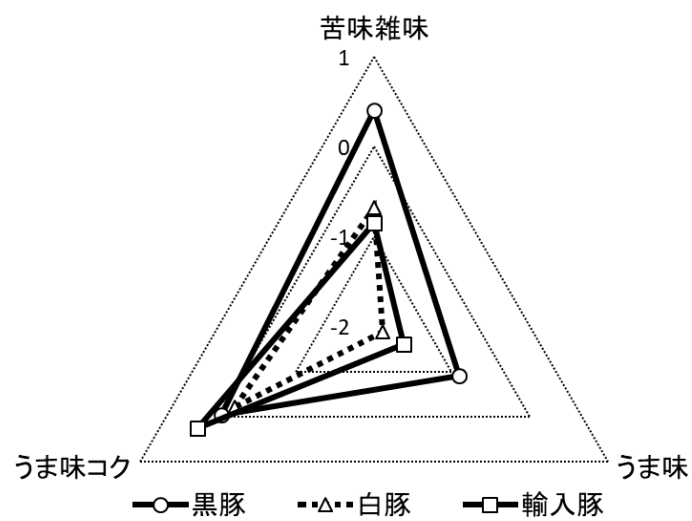


図 4-1. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の“うま味”に対応した味認識装置
による味覚の比較

表 4-7. 黒豚肉，白豚肉および輸入豚肉の“脂肪の甘味・サッパリさ”に関連した脂肪酸組成と脂肪融点の比較

脂肪酸	黒豚肉	白豚肉	輸入豚肉
	— — — — — — — — — — % — — — — — — — — — —		
C14 : 0 ミリスチン酸	1.7 ± 0.1	1.2 ± 0.1**	1.3 ± 0.1**
C16 : 0 パルミチン酸	28.7 ± 0.9	25.8 ± 1.1*	24.5 ± 2.1*
C16 : 1 パルミトレイン酸	2.5 ± 0.3	1.5 ± 0.3**	1.5 ± 0.3**
C17 : 1 ヘプタデセン酸	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0*	0.1 ± 0.1
C18 : 0 ステアリン酸	13.6 ± 1.1	16.0 ± 1.1*	13.8 ± 1.5 [†]
C18 : 1 オレイン酸	43.6 ± 1.7	43.6 ± 1.5	39.3 ± 2.1* [†]
C18 : 2 リノール酸	7.5 ± 0.9	9.1 ± 0.9	16.3 ± 2.1** ^{††}
C18 : 3 α-リノレン酸	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1	1.0 ± 0.2** ^{††}
C20 : 0 アラキジン酸	0.1 ± 0.1	0.3 ± 0.1*	0.2 ± 0.0
C20 : 1 イコセン酸	0.7 ± 0.1	1.0 ± 0.2*	0.6 ± 0.1 [†]
C20 : 2 イコサジエン酸	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1*
C20 : 3 イコサトリエン酸	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0*	0.1 ± 0.0*
C20 : 4 アラキドン酸	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0* [†]
飽和脂肪酸	44.6 ± 1.5	43.8 ± 2.4	40.3 ± 2.3*
一価不飽和脂肪酸	47.0 ± 1.6	46.2 ± 1.4	41.6 ± 3.3* [†]
多価不飽和脂肪酸	8.5 ± 1.9	10.1 ± 1.8	18.2 ± 2.2** ^{††}
脂肪融点(°C)	40.3 ± 1.0	40.2 ± 1.0	37.8 ± 2.3

平均±標準偏差(5頭)。

** (P<0.01) , * (P<0.05) : 黒豚肉に対して有意差あり。

†† (P<0.01) , † (P<0.01) : 白豚肉に対して有意差あり。

第 5 章 肥育後期飼料の甘藷配合量がかごしま黒豚に発育と肉質に及ぼす影響

5-1 緒言

「かごしま黒豚」は国内での競争の激化に加え、TPP11 や欧州との EPA などによる海外豚肉との競争も激しさを増している。このような背景から、かごしま黒豚には、更なるブランド力の強化と競争力の向上が求められている。

昭和 30 年代、火山灰土壌であるシラス台地と生産性において相性の良い甘藷を給与されたかごしま黒豚は生体のままで貨物列車によって東京へと輸送され、美味しさと品質の良さで高い評価を得た(1)。現在、ブランド指定基準では肥育後期に 10～20%の甘藷を含む飼料を 60 日以上給与することが定められている。かごしま黒豚への甘藷給与の有用性については、脂肪融点が高くなり脂肪質が改善され(35)、血清中のビタミン E 含量が多くなり赤肉および脂肪組織中への移行する(36)など、肉質や肉の保存性に関する報告がある。また近年、味認識装置とメタボローム解析を黒豚肉の評価に適用することにより、甘藷給与でうま味、甘味、塩味の値が高くなることや、遊離アミノ酸やうま味成分の総量、さらには機能性成分が増加する可能性が示唆されている(21)。

第 5 章では、かごしま黒豚の更なるブランド力強化を目指し、かごしま黒豚の特色である肥育後期飼料の甘藷割合を 30%まで増加させた際の肉質や美味しさへの効果を検証するとともに、農家経営に重要な豚の発育や枝肉の格付等への影響について検討した。

5-2 材料と方法

5-2-1 飼養試験と枝肉評価

畜産試験場において、平成 28 年 3 月生まれのバークシャー種去勢雄を用いて飼養試験を行った。体重約 60 kg の個体 28 頭を、飼料中の甘藷の配合割合によって、対照 (0%) 区、10%区、20%区および 30%区 (各区 7 頭、単飼豚房) に分け、上記の甘藷含量の肥育後期用飼料 (TDN70%および CP13.5%) (表 2-1) を出荷体重 115 kg まで給与した。なお、飼料は全て南日本くみあい飼料株式会社に配合を依頼した。飼料の原材料の配合割合と栄養成分量を表 5-1 に示した。原料の甘藷のアミノ酸含量は実測値を用いて、それぞれの飼料が設計・配合された。肥育後期の飼料の給与方法は、朝夕 2 回給与の制限給餌とし、給与量は表 2-2 のとおりである。また本給餌法において、肥育後期 1 日増体量 (DG) 600 g 程度の必須アミノ酸摂取量は、推定必要量を充足していた。調査項目は、DG、出荷日齢、EM、背脂肪厚、厚脂率、上物率とし、格付は日格協が実施した。EM の測定方法は第 2 章と同じである。飼養試験は、日本学術会議の「動物実験の適正化に向けたガイドライン」に従い、動物倫理に十分な配慮を払って行われた。なお、30%区の 1 頭が肢を痛めて食欲不振となり、DG、枝肉重量および EM 値が Smirnov-Grubbs 検定によって異常値と判定 ($P<0.05$) されたため、本個体のデータを集計から除外した。

5-2-2 理化学分析

各区 5 頭分のロースブロックを採材した。採材方法は第 4 章と同じである。

筋肉の臭気物質、剪断力価、破断強度、遠心水分遊離率および加熱遊離水分率の測定と、筋組織の代謝物の網羅的分析および脂肪酸組成および脂肪融点の測

定方法は第 4 章と同じである。ビタミン類（チアミンおよびリボフラビン）の定量、ならびに脂肪組織のトコフェロール類の定量については、経済連食品総合研究所に委託して行った。筋組織（ロース芯部）における pH 値の測定については、肉検体を解凍して室温にした後、ニードル形電極（HORIBA, Model 0030/0040）を用いて行い、また α -トコフェロール含量の定量については、El-Deep ら(37)の報告に準じて高速液体クロマトグラフ法で行った。

5-2-3 消費者型官能評価（試料の調製と評価項目）

パネルは嗜好型パネルとし、経済連職員および鹿児島大学の学生を中心に 20 代から 60 代の男性 19 名および女性 18 名の計 37 名とした。評価方法や試料の調製方法は第 4 章と同様とし、筋肉（赤身）のみの肉片と脂肪（脂身）付きの肉片の 2 種 1 組を、甘藷割合 0%区、10%区および 30%区についてそれぞれ準備した。評価方法と評価項目も第 4 章と同じである。

5-2-4 統計処理

得られたデータに関しては、統計解析ソフトウェア R (<https://cran.r-project.org/>) を用いて一元配置分散分析を行い、要因（甘藷配合量）の効果を調べて、 $P < 0.05$ の場合に有意な効果があると判断した。次に各区の測定項目ごとに平均値を算出した後、Tukey-Kramer 検定を行い、 $P < 0.05$ の場合に有意な区間差があると判断した。筋組織の代謝物については、Web 上のメタボローム解析ツール Metabo Analyst 4.0 (<https://www.metaboanalyst.ca>) を利用して解析を行い、Pathway Analysis および Enrichment Analysis コマンドによって代謝経路の変動を推定し

た。

5-3 結果

5-3-1 飼養成績と枝肉成績

表 5-2 に飼養成績，EM および枝肉評価の結果を示した。甘藷給与量の増加に伴い，DG は 0%区の 602 g から 10%区の 597g，20%区の 565g，30%区の 565 g へとそれぞれ減少した（分散分析， $P<0.05$ ）。出荷日齢は 0%区の 236 日あるいは 10%区の 233 日から 20%区の 241 日および 30%区の 242 日へと長くなったが，有意な影響は認められなかった。枝肉重量は 20%区で最も低くなったが（ $P<0.05$ ），0%，10%および 30%区の違いに差はなかった。EM への有意な影響は認められなかった。背脂肪厚は 0%区，10%区，20%区，30%区において，それぞれ 2.3 cm，2.0 cm，2.1 cm，2.2 cm となった。厚脂率は 0%区で 29%，10%区および 20%区で 14%，30%区で 17%となった。上物率は 0%区で 71%，10%区および 20%区で 86%，30%区で 83%となった。

5-3-2 理化学分析による肉質の評価

豚肉の一般成分，物性および色調の結果を表 5-3 に示した。一般成分に対して，甘藷給与量の有意な影響は認められなかった。遠心水分遊離率，加熱遊離水分率，ドリップ発生量，pH 値に対して，甘藷給与量の有意な影響は認められなかった。剪断力価および破断強度は 30%区で最も低い値を示した。ロース芯および脂肪の L*値（明度），a*値（赤色度），b*値（黄色度）に対して，甘藷給与量の影響は認められなかった。

組織のビタミン類含量の結果を表 5-4 に示した。筋組織（ロース）においてビタミン B 類であるチアミンおよびリボフラビンの含量に対して甘藷給与量の有意な影響は認められなかった。一方、 α -トコフェロール含量は 30%区で最も高い値を示し、他の区の約 2 倍に増加した（分散分析, $P<0.05$ ）。背脂肪組織のトコフェロール含量においては、 γ -トコフェロールが甘藷給与量の増加に伴い減少した（ $P<0.05$ ）。

脂肪酸組成と脂肪融点の分析結果を表 5-5 に示した。組成割合が 1%以下の微量成分であるペンタデカン酸、ヘプタデカン酸、イコセン酸、ヘプタデセン酸、イコサトリエン酸に対して甘藷給与の有意な影響が認められたが（分散分析, $P<0.05$ ）、他の主要な脂肪酸あるいは脂肪融点に甘藷給与の有意な影響は認められなかった。

筋組織の代謝物の網羅的分析の結果、同定可能で相対定量が可能となった物質は 263 種類であった。そのうち分散分析において甘藷給与の影響が確認された 19 種類の物質のデータを表 5-6 に示した。甘藷給与量の増加に伴い、減少した物質は 9 種類、甘藷給与に応答して一旦上昇するものの減少に転じた物質が 4 種類、上昇したものが 6 種類であった。図 5-1 に Pathway Analysis および Enrichment Analysis の結果を示した。有意な変動が示された（ $P<0.05$ ）代謝経路は、タンパク質合成、グルタミン酸代謝、尿素回路、クエン酸回路、プリン代謝、アラニン代謝、リンゴ酸-アスパラギン酸シャトル、グルコース-アラニン回路であった。

臭気成分の分析結果を表 5-7 に示した。アセトアルデヒド、メタンチオール、アセトンの 3 種類が全検体から検出され、エタノール、2-メチルプロパノール、

3-メチル-2-ブタノン, 2-ブタノン, 酢酸, ヘキサナールの 6 種類が全区から検出された。ジメチルジスルフィドは 10%区および 20%区において, ブタノールは 30%区のみに, ジメチルトリスルフィドは 20%区のみにそれぞれ検出された。0%区, 10%区, 20%区, 30%区の 1 検体あたりの検出数は, それぞれ 7.2 種類, 6.4 種類, 6.8 種類, 6.4 種類となり, 0%区が最も多かった。各区 5 検体中の検出数が甘藷割合の増加に伴い減少したものは, 3-メチル-2-ブタノンと 2-ブタノンの 2 種類であった。

5-3-3 消費者型官能評価による肉質の評価

官能評価の結果を表 5-8 に示した。嗜好型パネルに対して, 0%区, 10%区, 30%区の 3 区間の比較を行った。0%区に対し, 10%および 30%甘藷給与区では香り (好ましさ) と脂肪のサッパリさの 2 項目が有意に高い評価となった。30%区が有意 ($P<0.01$) に高い評価となった項目は, 総合評価, 噛み切りやすさ, 咀嚼のしやすさ, 歯ごたえ (好ましさ) の 4 項目であり, 軟らかさに関する項目で高い評価が得られた。

5-4 考察

現在, 流通している黒豚用の肥育後期飼料には 10~15%の甘藷が配合されている。甘藷給与量 0%~20%の試験では, かごしま黒豚の発育や枝肉成績に影響は認められなかった(14)が, 本研究で 30%区を設定したところ, TDN や CP が同水準であったにも関わらず, DG への影響が認められた。これはアミノ酸の利用効率がトウモロコシと比べて甘藷では低いことに起因すると考えられた。日

本標準飼料成分表(38)に記載のブタ回腸末端における真のアミノ酸消化率は、総じて穀類よりイモ類が低い値を示している。また、甘藷の水溶性タンパク質画分の 60～80%を占めるスポラミンおよびこれと相同性の高いいくつかの分子種がトリプシンインヒビター活性を示し(39,40)、非加熱甘藷の多給はブタの成長を阻害する(41)。これより、本実験でも甘藷配合の増加が特に CP 消化率を低下させ、その結果 DG が停滞した可能性が示された。しかしながら、EM に変化がなかったため、筋組織への影響は限定的であると考えられた。

背脂肪厚においては、小村ら(14)の報告同様、甘藷給与量による影響は認められなかった。しかしながら、0%区よりも 10%区、20%区および 30%区の方が厚脂による格落ちが少なく、上物率も高かった。これより甘藷給与の増加に伴い体脂肪の蓄積が抑制されている可能性が示された。甘藷中に含まれるポリフェノールは 188～1,121 mg/100 g DM 換算（平均 413 mg/100 g DM 換算）(42)であり、トウモロコシ粉末の 90～164 mg/100 g（平均 108 mg/100 g）(43)と比較して高濃度である。ポリフェノールあるいはポリフェノール類を高含有する資材の動物への投与は、脂質合成系の抑制を介して抗肥満効果を発揮する(44,45 および 46)。そのため DG と枝肉重量減少のもう一つの原因として、甘藷ポリフェノールによる脂肪の蓄積抑制が示唆された。

出荷日齢は 10%区で最短 233 日、30%区で最長 242 日となったが、かごしま黒豚のブランド指定基準（概ね 230 日以上 270 日未満）には収まった。

以上より、甘藷配合割合が 20～30%では、かごしま黒豚の発育が遅くなるものの基準内であり、枝肉格付への負の影響はないことが示された。ただし甘藷を多給する際は、トリプシンインヒビターの残存活性およびポリフェノールの影

響に留意する必要がある。

肉検体を流通市場での一般的な豚肉の保存条件に合わせるため、供試豚を食肉処理場でと畜し、枝肉を 0℃で 5 日間保存した後、肉検体の採材を行い分析に供した。そのため組織の代謝物量は保存による影響を受けていると考えられる(47)。甘藷給与による有意な影響が確認された筋組織の代謝物は 19 種であったが、そのうち減少する物質が多く、10%で一旦上昇した物質も含めると 13 種となった。甘藷給与に応答して上昇する物質は 6 種であった。Pathway Analysis および Enrichment Analysis の結果、甘藷給与に応答して、大きく変動する代謝経路は、タンパク質代謝系（タンパク質合成、グルタミン酸代謝、尿素回路、アラニン代謝、グルコースーアラニン回路）、エネルギー産生系（クエン酸回路、リンゴ酸ーアスパラギンシヤトル）、およびプリン代謝系であることが推定された。特にタンパク質代謝系に対する影響が多く現れていた。飼養試験の結果から甘藷給与量の増加に伴い、成長速度が減少した可能性が高いが、タンパク質合成、グルタミン酸代謝、尿素回路等の代謝系の変動によっても、この可能性が支持された。食肉の硬さ・軟らかさに関連する 4-ヒドロキシプロリン(48,49)に対して、甘藷給与の効果が認められ（分散分析, $P<0.01$ ）、0%区および 10%区と比較して、20%区および 30%区が有意（ $P<0.05$ ）に低い値を示した。この結果は、後述する官能評価の結果と関連すると考えられ、甘藷給与（20%以上）による筋組織コラーゲン含量の低下、すなわちタンパク質合成系の変動がコラーゲン合成量に影響した可能性を示唆している。またクエン酸回路の中間代謝物は 2-ケトグルタル酸を除いて、甘藷に応答して減少しており、保存中の代謝物量に甘藷給与の影響が現れると考えられた。

α -トコフェロール（ビタミン E）は甘藷給与量を 30%にすると筋組織含量が顕著に増加することが明らかとなった。これは甘藷の α -トコフェロールが移行・蓄積したとの報告(36)と一致するが、背脂肪組織の α -トコフェロール含量に甘藷給与量の影響はなかった。ビタミン E の給与は冷蔵保存中の肉の脂質酸化を抑制し、筋線維の崩壊を少なくする(50)ため、甘藷による筋組織中の α -トコフェロールの増強は食肉の保存性を向上させるとともに、かごしま黒豚の品質向上に有効な手段であると考えられる。

脂肪色は甘藷給与量が高まるほど明るく、赤色度及び黄色度は低くなる傾向があり(14)、脂肪質は甘藷給与により脂肪融点が高くなり改善される(35)。今回の試験では、ペンタデカン酸、ヘプタデカン酸、イコセン酸、ヘプタデセン酸、イコサトリエン酸という組成割合が 1%以下の微量脂肪酸に対する甘藷給与の影響が認められた。しかしながら、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸などの主要な脂肪酸に変化はなく、そのため全体的な飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸量への影響は現れなかったと考えられる。また、脂肪色や脂肪組成でも甘藷給与の影響は認められなかった。これらより、「かごしま黒豚」肉の脂肪特性に及ぼす甘藷給与量の影響は少なくとも甘藷配合割合 30%までは限定的であると言える。

甘藷給与により最も顕著な影響が得られた項目は、官能評価食味試験であった。官能評価に「香り」の影響は大きい(33)が、臭気物質として風味への悪影響を及ぼすスカトールやインドール(24)は検出されず、“香りの好ましさ”では、甘藷給与区が有意に高い評価となった。また、“脂肪のサッパリさ”も甘藷給与区での評価が高かった。消費者の食味調査では「軟らかさ」が美味しさの決め手

(51)であり、今回の試験では甘藷を 30%にすると、“噛み切りやすさ”，“咀嚼しやすさ”，“歯ごたえの好ましさ”の評価が高く，剪断力価と破断強度では低い値を示し，肉のコラーゲン含量と関連する 4-ヒドロキシプロリンも減少することから，甘藷給与量の増加は肉の“軟らかさ”と，総合評価としての“美味しさ”に寄与していると考えられる。

以上の結果は，甘藷給与量を調整することで，「かごしま黒豚」の肉質の特徴をコントロールできる可能性が示唆された。本成果は，今後の TPP11 や欧州 EPA による豚肉の産地間競争に際し，かごしま黒豚のブランド力向上や差別化に有効な手段になる可能性がある。

5-5 小括

体重約 60 kg のかごしま黒豚（バークシャー種去勢雄）27 頭を，トウモロコシ・大豆粕主体の対照（0%）区と甘藷を 10%，20%，30%配合した試験区に分け（6～7 頭/区），TDN70%・CP13.5%の各試験飼料を制限給餌して，115 kg に達した時点だと畜・解体した。甘藷配合量の増加に伴い，1 日増体量は 0%区の 602g から，20%および 30%区の 565g へと減少し，出荷日齢は 10%区が最短で，30%区が最長であった。枝肉重量は 20%区で最も低かったが，ロース断面積および上物率に負の影響はなかった。筋組織中の 19 種類の代謝物が甘藷給与にตอบสนองして有意に増減し，タンパク質代謝経路の変動が示唆された。食味評価においては，甘藷給与区では“香りの好ましさ”と“脂肪のサッパリさ”についての評価が高く，30%区では“噛み切りやすさ”，“咀嚼しやすさ”，“歯ごたえの好ましさ”についての評価が最も高かった。

表 5-1. 飼料の配合割合および成分値

	飼料中の甘藷の配合割合			
	0%区	10%区	20%区	30%区
原材料名	— — — — — (%) — — — — —			
穀類(とうもろこし等)	65	55	44	33
植物性油かす類(大豆油かす等)	15	14	16	16
甘藷	0	10	20	30
そうこう類	17	16	17	18
その他	3	5	3	3
栄養成分(計算値) [†]	— — — — — (%) — — — — —			
TDN	70.0	70.0	70.0	70.0
粗タンパク質	13.5	13.5	13.5	13.5
粗脂肪	2.0	2.0	2.0	2.0
粗灰分	8.0	8.0	8.0	8.0
粗繊維	5.0	5.0	5.0	5.0
カルシウム	0.5	0.5	0.5	0.5
リン	0.35	0.35	0.35	0.35

[†]各原材料の栄養成分含量と配合割合から各原材料由来の栄養成分含量を算出し、それらの総和を飼料の栄養成分含量(%)とした。

表 5-2. 甘藷配合量が発育や枝肉成績に及ぼす影響

測定項目	飼料中の甘藷の配合割合				分散 分析 [†]
	0%区	10%区	20%区	30%区	
	(n=7)	(n=7)	(n=7)	(n=6)	
肥育後期1日増体量(g)	602 ± 6	597 ± 9	565 ± 17	565 ± 13	*
出荷日齢(日)	236 ± 1	233 ± 2	241 ± 4	247 ± 4	NS
枝肉重量(kg)	73.4 ± 0.6 ^a	72.1 ± 0.4 ^{ab}	70.7 ± 0.4 ^b	72.0 ± 0.4 ^{ab}	*
ロース断面積(cm ²)	34.9 ± 0.9	34.3 ± 0.9	34.9 ± 0.9	35.2 ± 0.6	NS
背脂肪厚(cm)	2.3 ± 0.1	2.0 ± 0.2	2.1 ± 0.2	2.2 ± 0.2	NS
厚脂率(%) [‡]	29	14	14	17	NA
上物率(%) [¶]	71	86	86	83	NA

[†]分散分析 : *, P<0.05 ; NS, 要因の効果なし ; NA, 分析対象外。

データは平均±標準誤差(n=6-7)。

a,b : 異なる英文字間に有意差(Tukey-Kramer 検定, P<0.05) あり。

[‡]厚脂率(%) = 厚脂と判定された個体数÷区の個体数×100

[¶]上物率(%) = 上物と判定された個体数÷区の個体数×100

表 5-3. 甘藷配合量が黒豚肉の一般成分，物性および色調に及ぼす影響

測定項目			飼料中の甘藷の配合割合			
			0%区	10%区	20%区	30%区
一般成分	水分 (%)		70.3 ± 1.6	71.9 ± 0.5	71.3 ± 0.6	70.8 ± 0.9
	粗タンパク質 (%)		24.4 ± 0.3	23.3 ± 0.3	22.8 ± 0.5	24.2 ± 0.4
	粗脂質 (%)		2.7 ± 0.6	2.7 ± 0.5	2.8 ± 0.2	2.7 ± 0.4
	粗灰分 (%)		1.2 ± 0.1	1.1 ± 0.0	1.1 ± 1.0	1.1 ± 0.0
物性	遠心水分遊離率 (%)		31.6 ± 0.7	28.1 ± 1.8	30.0 ± 1.1	30.5 ± 1.0
	加熱遊離水分率 (%)		13.8 ± 1.1	13.8 ± 1.7	14.2 ± 2.0	14.2 ± 1.1
	ドロップ発生量 (%)		2.2 ± 0.3	2.8 ± 0.4	2.2 ± 0.4	2.5 ± 0.3
	剪断力価 (×N/cm ²)		26.4 ± 2.2	24.0 ± 3.2	27.7 ± 4.0	22.2 ± 1.7
	破断強度 (×10 ⁶ N/m ²)		5.1 ± 0.4	5.4 ± 0.7	5.4 ± 0.6	4.6 ± 0.2
	pH		6.4 ± 0.1	6.4 ± 0.1	6.4 ± 0.1	6.3 ± 0.1
色調	ロース芯	L*	52.4 ± 1.3	53.1 ± 1.5	53.2 ± 2.7	56.3 ± 1.7
		a*	4.6 ± 0.6	4.9 ± 0.4	5.1 ± 0.8	5.5 ± 0.3
		b*	4.0 ± 0.4	4.4 ± 0.5	4.7 ± 1.2	5.4 ± 0.5
	背脂肪	L*	79.1 ± 0.9	80.2 ± 0.8	80.2 ± 0.8	79.3 ± 0.6
		a*	4.2 ± 0.5	3.6 ± 0.7	3.8 ± 0.3	4.3 ± 0.4
		b*	8.1 ± 0.6	7.3 ± 0.7	7.2 ± 0.2	8.0 ± 0.3

全ての項目において分散分析による要因の効果は確認できなかった。

データは平均±標準誤差(n=5)。

表 5-4. 甘藷給与量が組織のチアミン，リボフラビン，およびトコフェロール
含量に及ぼす影響

組織 ビタミン	飼料中の甘藷の配合割合				分散 分析 [†]
	0%区	10%区	20%区	30%区	
筋肉					
チアミン(mg/100g)	0.93 ± 0.07	0.82 ± 0.03	0.87 ± 0.03	0.86 ± 0.03	NS
リボフラビン(mg/100g)	0.14 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02	NS
α-トコフェロール (μg/g protein)	55.9 ± 16.6 ^{ab}	53.4 ± 13.2 ^b	55.3 ± 12.9 ^{ab}	106.2 ± 10.9 ^a	*
背脂肪					
α-トコフェロール(mg/100g)	1.04 ± 0.10	1.30 ± 0.15	1.02 ± 0.07	1.18 ± 0.08	NS
β-トコフェロール(mg/100g)	0.02 ± 0.02	0.08 ± 0.09	0.06 ± 0.07	0.00 ± 0.00	NS
γ-トコフェロール(mg/100g)	0.20 ± 0.04	0.16 ± 0.03	0.16 ± 0.03	0.10 ± 0.04	*

[†]分散分析：*, $P < 0.05$; NS, 要因の効果なし。

データは平均±標準誤差(n=5)。

a,b : 異なる英文字間に有意差(Tukey-Kramer 検定, $P < 0.05$) あり。

表 5-5. 甘藷給与量が脂肪組織の脂肪酸組成および脂肪融点に及ぼす影響

脂肪酸	飼料中の甘藷の配合割合				分散分析 †
	0%区	10%区	20%区	30%区	
	----- % -----				
C10:0 デカン酸	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	NS
C12:0 ラウリン酸	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.08 ± 0.02	NS
C14:0 ミリスチン酸	1.66 ± 0.08	1.66 ± 0.04	1.68 ± 0.05	1.54 ± 0.03	NS
C15:0 ペンタデカン酸	0.10 ± 0.00	0.12 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.16 ± 0.03	*
C16:0 パルミチン酸	29.06 ± 0.47	28.72 ± 0.43	28.76 ± 0.34	27.98 ± 0.34	NS
C17:0 ヘプタデカン酸	0.18 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.03 ^{ab}	0.28 ± 0.04 ^a	0.30 ± 0.00 ^a	**
C18:0 ステアリン酸	13.08 ± 0.40	13.56 ± 0.55	13.7 ± 0.54	13.80 ± 0.42	NS
C20:0 アラキジン酸	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.03	0.10 ± 0.00	0.14 ± 0.03	NS
C16:1 パルミトレイン酸	2.74 ± 0.21	2.46 ± 0.14	2.50 ± 0.20	2.28 ± 0.10	NS
C18:1 オレイン酸	43.62 ± 0.85	43.64 ± 0.85	42.98 ± 0.86	43.52 ± 0.60	NS
C20:1 イコセン酸	0.72 ± 0.04	0.74 ± 0.03	0.86 ± 0.07	0.84 ± 0.06	*
C17:1 ヘプタデセン酸	0.16 ± 0.03 ^b	0.18 ± 0.02 ^{ab}	0.22 ± 0.02 ^{ab}	0.24 ± 0.03 ^a	**
C18:2 リノール酸	7.52 ± 0.49	7.50 ± 0.44	7.58 ± 0.39	7.98 ± 0.33	NS
C20:2 イコサジエン酸	0.28 ± 0.02	0.32 ± 0.04	0.36 ± 0.03	0.34 ± 0.03	NS
C18:3 リノレン酸	0.40 ± 0.04	0.46 ± 0.03	0.46 ± 0.04	0.48 ± 0.02	NS
C20:3 イコサトリエン酸	0.00 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.02 ^{ab}	0.08 ± 0.02 ^a	0.06 ± 0.03 ^{ab}	*
C20:4 アラキドン酸	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02	NS
飽和脂肪酸	44.4 ± 0.5	44.6 ± 0.8	44.9 ± 0.7	44.1 ± 0.7	NS
一価不飽和脂肪酸	47.2 ± 0.9	47.0 ± 1.0	46.6 ± 1.0	46.9 ± 0.7	NS
多価不飽和脂肪酸	8.3 ± 0.5	8.4 ± 0.5	8.6 ± 0.5	9.0 ± 0.3	NS
脂肪融点 (°C)	40.6 ± 0.5	40.3 ± 0.8	40.5 ± 0.7	39.6 ± 0.8	NS

†分散分析：**, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$; NS, 要因の効果なし。

データは平均±標準誤差 (n=5)。

a,b : 異なる英文字間に有意差 (Tukey-Kramer 検定, $P < 0.05$) あり。

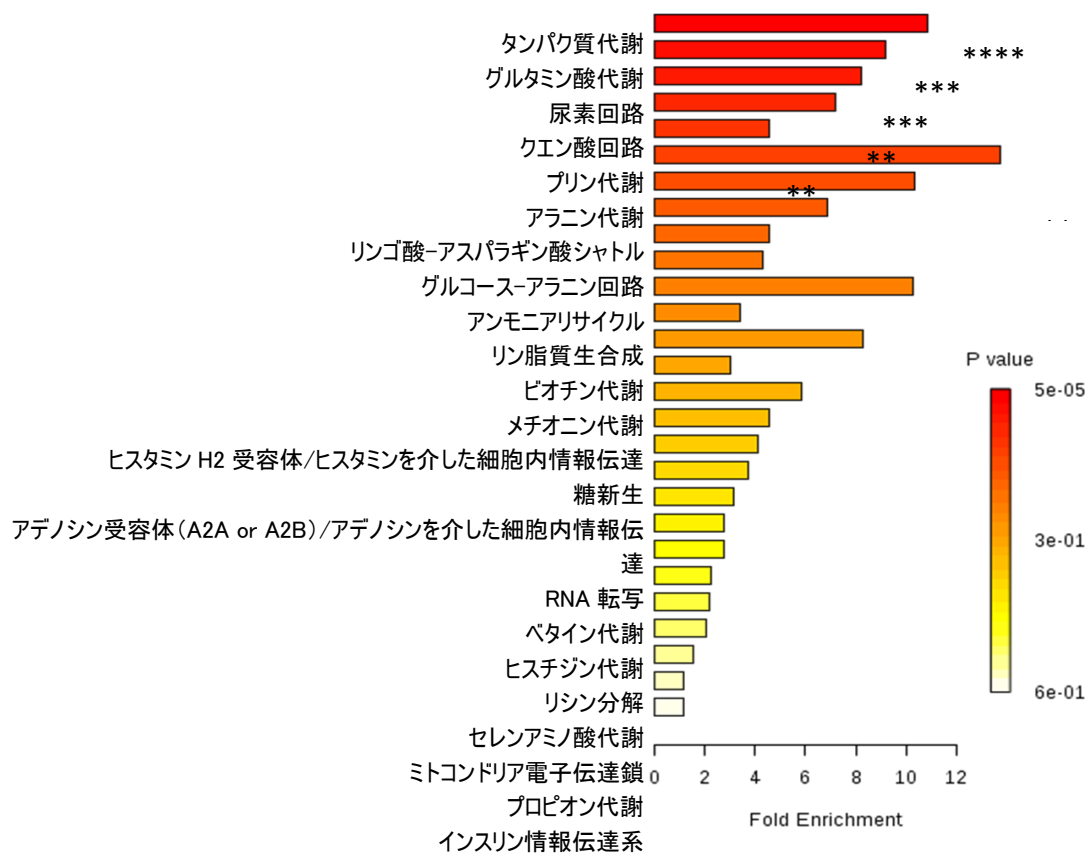
表 5-6. 甘藷給与量が黒豚肉の筋組織の代謝物量に及ぼす影響

代謝物	飼料中の甘藷の配合割合				分散分析 [†]	変化
	0%区	10%区	20%区	30%区		
リボース	100 ± 12	74 ± 13	75 ± 11	63 ± 8	*	減少
4-ヒドロキシフェニル酢酸	100 ± 8	81 ± 4	80 ± 9	76 ± 5	*	減少
ヒスチジン	100 ± 7 ^a	91 ± 9 ^{ab}	87 ± 9 ^{ab}	69 ± 5 ^b	**	減少
4-ヒドロキシプロリン	100 ± 3 ^a	100 ± 9 ^a	55 ± 5 ^b	71 ± 8 ^b	**	減少
リシン	100 ± 6 ^a	101 ± 9 ^a	81 ± 13 ^{ab}	64 ± 8 ^b	**	減少
アラニン	100 ± 6 ^a	102 ± 9 ^a	57 ± 6 ^a	80 ± 8 ^{ab}	*	減少
トリプトファン	100 ± 4	110 ± 18	90 ± 10	69 ± 8	*	減少
ピルビン酸	100 ± 8	104 ± 12	89 ± 12	74 ± 6	*	減少
リンゴ酸	100 ± 5 ^a	106 ± 18 ^a	88 ± 7 ^{ab}	53 ± 3 ^b	**	減少
キヌレニン	100 ± 19	119 ± 20	88 ± 13	54 ± 10	*	上昇→減少
アデノシン	100 ± 14 ^{ab}	120 ± 21 ^a	87 ± 12 ^{ab}	57 ± 6 ^b	*	上昇→減少
コハク酸	100 ± 6 ^{ab}	111 ± 15 ^a	103 ± 12 ^a	64 ± 4 ^b	*	上昇→減少
2-アミノ酪酸	100 ± 14	156 ± 24	112 ± 19	87 ± 15	*	上昇→減少
2-ケトグルタル酸	100 ± 14 ^b	121 ± 23 ^b	222 ± 36 ^a	172 ± 24 ^{ab}	*	上昇
アデニン	100 ± 20 ^b	101 ± 22 ^b	203 ± 33 ^a	170 ± 22 ^{ab}	*	上昇
パントテン酸	100 ± 6	130 ± 27	174 ± 14	157 ± 18	*	上昇
アデノシン-1-リン酸	100 ± 9 ^b	138 ± 22 ^{ab}	227 ± 49 ^a	199 ± 40 ^{ab}	*	上昇
シチジン-1-リン酸	100 ± 11	138 ± 13	149 ± 14	146 ± 14	*	上昇
ホモシステイン	100 ± 5	102 ± 8	111 ± 17	139 ± 12	*	上昇

[†]分散分析：**, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$

データは平均±標準誤差(n=5)。甘藷0%区を100とした相対値に換算。

a,b：異なる英文字間に有意差(Tukey-Kramer 検定, $P < 0.05$) あり。



MetaboAnalyst 4.0 の Pathway Analysis および Enrichment Analysis

による代謝経路の変動の推定

**** (P<0.0001), *** (P<0.001), ** (P<0.01), * (P<0.05) : 代謝経路に有意な変動あり。

図 5-1. 甘藷給与割合が黒豚肉の代謝経路に及ぼす影響

表 5-7. 甘藷給与量の違いが黒豚肉の臭気物質に及ぼす影響

臭気成分	飼料中の甘藷の配合割合			
	0%区	10%区	20%区	30%区
.....5検体中に検出された数.....				
アセトアルデヒド	5	5	5	5
メタンチオール	5	5	5	5
エタノール	3	2	1	3
アセトン	5	5	5	5
2-メチルプロパナール	1	1	2	1
3メチル-2-ブタノン	4	4	1	1
2-ブタノン	3	2	2	1
酢酸	5	4	4	5
ブタノール	ND [†]	ND	ND	1
ペンタナール	1	ND	1	ND
ジメチルジスルフィド	ND	1	2	ND
ジメチルトリスルフィド	ND	ND	2	ND
ヘキサナール	4	3	4	5
種類	10	10	12	10
総数	36	32	34	32
1 検体あたりの検出数	7.2	6.4	6.8	6.4

[†]ND: 未検出

表 5-8. 甘藷給与量が黒豚肉の官能評価に及ぼす影響

評価項目	飼料中の甘藷の配合割合			分散 分析 †
	0%区	10%区	30%区	
香り(強さ)	1.78 ± 0.13	2.54 ± 0.11	1.68 ± 0.12	NS
香り(好ましさ)	2.35 ± 0.14 ^a	1.84 ± 0.12 ^b	1.81 ± 0.13 ^b	*
噛み切りやすさ	2.49 ± 0.11 ^a	2.38 ± 0.09 ^a	1.14 ± 0.06 ^b	***
咀嚼のしやすさ	2.46 ± 0.12 ^a	2.32 ± 0.10 ^a	1.22 ± 0.07 ^b	***
歯ごたえ(好ましさ)	2.41 ± 0.11 ^a	2.08 ± 0.13 ^a	1.51 ± 0.11 ^b	***
多汁性	2.05 ± 0.14	1.95 ± 0.13	2.00 ± 0.13	NS
うま味(強さ)	1.73 ± 0.14	2.32 ± 0.12	1.95 ± 0.13	NS
うま味(好ましさ)	1.92 ± 0.14	2.35 ± 0.10	1.73 ± 0.14	NS
脂肪の甘味	1.78 ± 0.14	2.19 ± 0.12	2.03 ± 0.14	NS
脂肪のサッパリさ	2.46 ± 0.12 ^a	1.78 ± 0.13 ^b	1.76 ± 0.12 ^b	***
口中香	1.81 ± 0.13	2.14 ± 0.13	2.05 ± 0.13	NS
総合評価	2.05 ± 0.13 ^a	2.32 ± 0.11 ^a	1.62 ± 0.13 ^b	**

†分散分析：***, $P < 0.001$; **, $P < 0.01$; * $P < 0.05$; NS, 要因の効果なし。

データは評価順位(1位～3位)の平均±標準誤差(n=5)。

a,b : 横列の異なる英文字間に有意差(Tukey-Kramer 検定, $P < 0.05$) あり。

第6章 黒豚肉の消費者型官能評価に影響する要因の検討

6-1 緒言

かごしま黒豚肉（黒豚肉）と他の豚肉との差別化を図り，“美味しさ”の科学的根拠を得るため，第4章と第5章により，理化学的検査や消費者パネルによる官能評価などを用いた研究を行った。同じ飼料で育てると黒豚肉は白豚（LWD）肉に比べ，軟らかくジューシーでうま味がある(21)，さらに第4章では黒豚肉は白豚肉や輸入豚肉よりも，うま味成分や甘味成分が多く，軟らかくジューシーで，香り（aroma）が良く美味しいことが確認され，第5章では黒豚への肥育後期飼料への30%の甘藷給与は，肉の”軟らかさ”と総合評価（美味しさ）に寄与していることを確認した。

黒豚肉の美味しさの指標を消費者による官能評価で得る時，数種類の評価項目のうち，肉の美味しさを最も表しているのは総合評価である。香りやテクスチャーなどの評価項目が総合評価に与える影響を検証するため，第6章ではこれまで実施した黒豚肉の消費者パネルによる官能評価の順位と，評価項目間の相関係数を比較し，消費者が美味しい豚肉を選択する際に影響する官能特性を検討した。

6-2 材料と方法

6-2-1 試料およびパネル

官能評価では飼養条件や出荷条件の異なる黒豚肉を比較した。

黒豚肉はすべて畜産試験場で生産・肥育したかごしま黒豚 5 頭のロースを使

用した。比較条件として、品種別の比較（黒豚肉，白豚肉，輸入肉）は第 4 章のデータを使用し，甘藷割合別の比較（肥育後期飼料の甘藷割合 0%区，10%区，30%区）は第 5 章のデータを使用した。このほかに出荷体重別の比較（出荷体重 90kg 区，115kg 区，130kg 区）を行い，調理法はソテーとした。パネルは嗜好型パネルとし，第 4 章と第 5 章同様，経済連職員と鹿大の学生等の協力のもと，1 回の官能評価で 1 比較条件の 3 区分の評価用試料に順位を付けた。

6-2-2 消費者型官能評価（試料の調製と評価項目）

第 4 章と同様である。

6-2-3 統計処理

比較条件ごとに官能評価により順位づけられたデータは，ケンドールの一致性係数 W を求め，フリードマンの検定を行った。 $P<0.05$ の場合に統計学的に有意性があると判断した。試料の順位を評価後，比較区分ごとに評価項目間をスピアマン順位相関係数で分析し， $P<0.05$ の場合に統計学的に相関があると判断した。

6-3 結果

6-3-1 パネルの人数と属性

パネルの人数と属性を表 6-1 に示した。品種別，甘藷割合別，出荷体重別のパネル人数はそれぞれ 38 人，37 人，42 人で，各条件のパネルの平均年齢はそれぞれ 29 歳（20～50 歳），32 歳（20～60 歳），38 歳（21～63 歳）であった。ま

た、各条件の男性と女性の人数は、品種別が 20 人と 18 人、甘藷割合別が 19 人と 18 人、出荷体重別が 23 人と 19 人であった。

6-3-2 評価項目ごとの順位と、評価項目間の相関関係

(1) 品種別の比較（黒豚肉，白豚肉，輸入肉）

表 6-2 に評価項目ごとの順位を示した。総合評価の順位和（rank sum）は、黒豚肉（69）＜白豚肉（78）＜輸入肉（81）となったが、順位に有意差はみられなかった。黒豚肉が高い評価を得た項目は、「香りの好ましさ」（ $p<0.01$ ）、「噛み切りやすさ」（ $p<0.01$ ）、「咀嚼のしやすさ」（ $p<0.01$ ）の 3 項目であった。表 6-3 に各評価項目間の相関係数を示した。相関係数の捉え方は様々あるが、0.5 以上を中程度の相関、0.7 以上を強い相関だと仮定すると、総合評価に対し、「うま味の好ましさ」（ $r=0.882$ ）、「うま味の強さ」（ $r=0.737$ ）の 2 項目が強い相関を示し、「脂肪の甘味」（ $r=0.671$ ）が中程度の相関を示した。総合評価に対し、もっとも強い相関を示した「うま味の好ましさ」には、「うま味の強さ」（ $r=0.750$ ）と「脂肪の甘味」（ $r=0.645$ ）が中程度以上の相関を示した。その他、「歯ごたえの好ましさ」に対し、「多汁性」（ $r=0.671$ ）、「咀嚼のしやすさ」（ $r=0.539$ ）「噛み切りやすさ」（ $r=0.526$ ）の 3 項目で中程度の相関がみられた。

(2) 甘藷割合別の比較（肥育後期飼料の甘藷割合 0%区，10%区，30%区）

表 6-4 に評価項目ごとの順位を示した。総合評価では甘藷割合 30%で育てた黒豚肉がもっとも高い評価となった（ $p<0.05$ ）。また、総合評価と同じく 30%区が高い評価となった項目には、「香りの好ましさ」（ $p<0.05$ ）、「噛み切りやすさ」

($p<0.01$), 「咀嚼のしやすさ」($p<0.01$), 「歯ごたえの好ましさ」($p<0.01$), 「うま味の好ましさ」($p<0.05$), 「脂肪のサッパリさ」($p<0.01$) の 6 項目がみられた。「うま味の強さ」では 0%区が高い評価となった ($p<0.05$)。表 6-5 に各評価項目間の相関係数を示した。総合評価に対し, 「うま味の好ましさ」($r=0.838$), 「うま味の強さ」($r=0.703$) の 2 項目が強い相関を示し, 「脂肪の甘味」($r=0.581$) が中程度の相関を示した。総合評価ともっとも強い相関を示した「うま味の好ましさ」には, 「うま味の強さ」($r=0.770$) が強い相関, 「脂肪の甘味」($r=0.635$) が中程度の相関を示した。その他, 「歯ごたえの好ましさ」に対し, 「咀嚼のしやすさ」($r=0.595$) と「噛み切りやすさ」($r=0.568$) の 2 項目で中程度の相関がみられた。

(3) 出荷体重別の比較 (出荷体重 90kg 区, 115kg 区, 130kg 区)

表 6-6 に評価項目ごとの順位を示した。「脂肪の甘味」だけで順位の有意性が認められ, 115kg 区がもっとも高い評価となった ($p<0.01$)。その他, 総合評価を含む 9 項目の順位に有意差はみられなかった。表 6-7 に各評価項目間の相関係数を示した。総合評価に対し, 「うま味の好ましさ」($r=0.774$) と「脂肪のサッパリさ」($r=0.726$) が強い相関を示した。総合評価ともっとも強い相関を示した「うま味の好ましさ」には, 「うま味の強さ」($r=0.647$), 「脂肪のサッパリさ」($r=0.548$), 「脂肪の甘味」($r=0.512$) の 3 項目が中程度の相関を示した。その他, 「歯ごたえの好ましさ」に対し, 「咀嚼のしやすさ」($r=0.667$) と「多汁性」($r=0.595$) の 2 項目で中程度の相関がみられた。

6-4 考察

3つの異なる条件（品種別、甘藷割合別、出荷体重別）について、それぞれの評価項目の順位と、総合評価を中心とする評価項目間の相関係数を比較しながら、一般消費者が美味しい豚肉をどのように決めているのかという認知プロセスの解明を試みた。その結果、3つの条件の中で肉質差がもっとも大きいと思われる品種別では、香りと軟らかさを示すテクスチャーで黒豚肉の評価が有意に高かったが、総合評価での順位に有意性は見られなかった。ソテーの総合評価はテクスチャーと高い相関(52)があり、第4章で黒豚肉の総合評価にはテクスチャーの影響が大きいと考察したが、相関係数において総合評価は「うま味の好ましき」、「うま味の強さ」で強い相関、「脂肪の甘味」で中程度の相関を示し、評価項目の順位だけで総合評価に影響する要因を特定することが難しいことが伺えた。また、肥育後期飼料への甘藷配合割合では、30%区の評価が総合評価で有意に高く、そのほか香りやテクスチャーなどの6項目でも30%区の評価が高くなったが、相関関係で総合評価に中程度以上の相関を示したのは、品種別同様、「うま味の好ましき」、「うま味の強さ」、「脂肪の甘味」であり、評価項目の順位だけで総合評価に影響する要因を特定することの難しさが浮き彫りになった。さらに出荷体重別では「脂肪の甘味」を除き、3区分の順位に有意差はみられなかったものの、相関関係では品種別や甘藷割合別と同様に「うま味の好ましき」が総合評価と強い相関を示した。

比較する条件によって、総合評価と順位を同じくする評価項目が総合評価に相関している場合（出荷体重別）と、そうでない場合（品種別・甘藷割合別）が見られた。しかし、いずれの条件でも総合評価と「うま味の好ましき」の相関は

強く、さらに「うま味の好ましさ」は「うま味の強さ」や「脂肪の甘味」と中程度以上の相関があることがわかった。総合評価には肉の軟らかさと味が影響(27)しているが、本研究ではテクスチャーの影響は小さく、消費者の美味しさには「うま味の好み」と「うま味の強さ」が評価の大きな要因であることが確認された。脂肪酸組成は官能評価と高い相関があることから、美味しさへの「香り」の影響は大きく(33)、総合評価と「香り」は正の相関(52)を有するが、総合評価と「香りの好ましさ」の相関は 3 比較条件とも $r=0.4$ 未満であった。このことは比較条件内のそれぞれの 3 試料間の香りの差が小さかったため、総合評価への影響が小さかった可能性も考えられた。

消費者ニーズに沿った豚肉の品質向上を消費者パネルによる官能評価から目指すとき、一般的に豚肉は軟らかく、ジューシーで味がよく、異臭がしないこと等が消費者に好まれる(51)。本研究により総合評価の主要因は「うま味の好ましさ」であり、これに対し「うま味の強さ」や「脂肪の甘味」が重要な要因であることがわかった。うま味は食物選択における信号として重要(31)であり、肉のうま味や甘味を増やすことは、黒豚肉の差別化につながるとされる。黒豚肉のうま味成分 (Glu, GMP) は甘藷給与により増加(21)し、長期熟成で豚肉のうま味成分が増加し官能評価が向上する(53)。豚肉のうま味を増加させるためには、飼養管理だけでなく、と畜後の管理方法も重要であるため、農場からマーケティングまで目を配る必要がある。さらなるブランド強化のため、消費者に支持される豚肉づくりの指標として、消費者による官能評価と総合評価との関連解析は非常に重要であると思われる。

6-5 小括

飼養条件や出荷条件の異なる「かごしま黒豚」のロース肉を順位法により比較した消費者パネルによる官能評価において、総合評価に影響する項目を相関係数により検討した。ソテーで調理した3種類の豚肉試料を同時提示し比較した。パネルは嗜好型とし、比較条件の異なる3つの官能評価に117名が参加した。項目間の順位相関係数を求めた結果、すべての比較条件で総合評価と0.7以上の相関係数を示す項目に、「うま味の好ましさ」がみられた。また、この「うま味の好ましさ」は「うま味の強さ」と0.6以上の相関関係があり、一般消費者が豚肉の美味しさを決める際、「うま味」が最も大きな要因であることが確認された。

表 6-1. パネリストの内訳

比較条件	実施年月	人数 (人)	年齢 (歳)	男性 (人)	女性 (人)
品種別	2017年2月	38	29	20	18
甘藷割合別	2017年2月	37	32	19	18
出荷体重別	2018年3月	42	38	23	19

表 6-2. 品種別比較の評価項目ごとの順位和

評価項目	黒豚肉	白豚肉	輸入肉	W	p値
総合評価	69	78	81	0.03	0.358
香りの好ましさ	67	68	93	0.15	0.008
噛み切りやすさ	43	96	89	0.57	0.000
咀嚼のしやすさ	46	96	86	0.48	0.000
歯ごたえの好ましさ	68	85	75	0.05	0.146
多汁性	66	82	80	0.05	0.135
うま味の強さ	78	74	76	0.00	0.900
うま味の好ましさ	73	75	80	0.01	0.710
脂肪の甘味	71	78	79	0.01	0.607
脂肪のサッパリさ	75	84	69	0.04	0.223

n=38. データは順位和(rank sum). Wはケンドールの一致性係数.

表 6-3. 品種別比較の各評価項目間の相関係数

評価項目	総合 評価	香りの 好まし さ	噛み切 りやす さ	咀嚼の しやす さ	歯ごた えの好 ましさ	多汁性	うま味 の強さ	うま味 の好ま しさ	脂肪の 甘味	脂肪の サッパ リさ
総合評価	1.000	0.263	0.342	0.329	0.434	0.355	0.737	0.882	0.671	0.066
香りの好ましさ	**	1.000	0.171	0.092	0.066	0.079	0.158	0.237	0.171	0.039
噛み切りやすさ	**		1.000	0.908	0.526	0.474	0.158	0.263	0.211	0.118
咀嚼のしやすさ	**		**	1.000	0.539	0.408	0.118	0.276	0.224	0.053
歯ごたえの好ましさ	**		**	**	1.000	0.671	0.342	0.368	0.276	0.026
多汁性	**		**	**	**	1.000	0.316	0.211	0.224	0.053
うま味の強さ	**				**	**	1.000	0.750	0.684	-0.053
うま味の好ましさ	**	*	**	**	**	*	**	1.000	0.645	0.066
脂肪の甘味	**		*	*	**	*	**	**	1.000	-0.092
脂肪のサッパリさ										1.000

n=38. 上三角は相関係数, 下三角は有意水準 ; *<0.05, **<0.01

表 6-4. 甘藷割合別比較の評価項目ごとの順位和

評価項目	甘藷0%区	甘藷10%区	甘藷30%区	W	p値
総合評価	76	86	60	0.13	0.010
香りの好ましさ	87	68	67	0.09	0.032
噛み切りやすさ	92	88	42	0.56	0.000
咀嚼のしやすさ	91	86	45	0.47	0.000
歯ごたえの好ましさ	89	77	56	0.20	0.001
多汁性	76	72	74	0.00	0.898
うま味の強さ	64	86	72	0.09	0.035
うま味の好ましさ	71	87	64	0.10	0.023
脂肪の甘味	66	81	75	0.04	0.214
脂肪のサッパリさ	91	66	65	0.16	0.003

n=37. データは順位和(rank sum). Wはケンドールの一致性係数.

表 6-5. 甘藷割合別比較の各評価項目間の相関係数

評価項目	総合評価	香りの好ましさ	噛み切りやすさ	咀嚼のしやすさ	歯ごたえの好ましさ	多汁性	うま味の強さ	うま味の好ましさ	脂肪の甘味	脂肪のサッパリさ
総合評価	1.000	0.149	0.392	0.459	0.446	0.365	0.703	0.838	0.581	0.122
香りの好ましさ		1.000	0.189	0.176	0.230	0.027	0.041	-0.054	0.041	0.081
噛み切りやすさ	**		1.000	0.959	0.568	0.297	0.054	0.270	0.027	0.297
咀嚼のしやすさ	**		**	1.000	0.595	0.351	0.122	0.324	0.081	0.351
歯ごたえの好ましさ	**	*	**	**	1.000	0.446	0.108	0.243	0.095	0.473
多汁性	**		**	**	**	1.000	0.189	0.257	0.176	0.311
うま味の強さ	**						1.000	0.770	0.743	-0.054
うま味の好ましさ	**		**	**	**	**	**	1.000	0.635	-0.027
脂肪の甘味	**						**	**	1.000	-0.149
脂肪のサッパリさ			**	**	**	**				1.000

n=37. 上三角は相関係数, 下三角は有意水準 ; *<0.05, **<0.01

表 6-6. 出荷体重別比較の評価項目ごとの順位和

評価項目	90kg区	115kg区	130kg区	W	p値
総合評価	81	78	93	0.04	0.223
香りの好ましさ	84	84	84	0.00	1.000
噛み切りやすさ	76	92	84	0.04	0.218
咀嚼のしやすさ	78	91	83	0.02	0.359
歯ごたえの好ましさ	86	86	80	0.01	0.751
多汁性	89	75	88	0.03	0.234
うま味の強さ	86	74	91	0.04	0.162
うま味の好ましさ	87	73	92	0.06	0.099
脂肪の甘味	90	68	94	0.11	0.009
脂肪のサッパリさ	84	73	95	0.07	0.056

n=42. データは順位和(rank sum). Wはケンドールの一貫性係数.

表 6-7. 出荷体重別比較の各評価項目間の相関係数

評価項目	総合 評価	香りの 好まし さ	噛み切 りやす さ	咀嚼の しやす さ	歯ごた えの好 ましさ	多汁性	うま味 の強さ	うま味 の好ま しさ	脂肪の 甘味
総合評価	1.000	0.333	0.167	0.345	0.345	0.393	0.455	0.774	0.452
香りの好ましさ	**	1.000	0.214	0.190	0.274	0.214	0.084	0.179	0.131
噛み切りやすさ		*	1.000	0.690	0.417	0.202	-0.156	0.036	0.024
咀嚼のしやすさ	**		**	1.000	0.667	0.393	-0.036	0.214	0.131
歯ごたえの好ましさ	**	**	**	**	1.000	0.595	0.048	0.310	0.226
多汁性	**	**	*	**	**	1.000	0.216	0.345	0.155
うま味の強さ	**					*	1.000	0.647	0.575
うま味の好ましさ	**			*	**	**	**	1.000	0.512
脂肪の甘味	**				*		**	**	1.000
脂肪のサッパリさ	**	*		*	**	**	**	**	**

n=42. 上三角は相関係数, 下三角は有意水準 ; *<0.05, **<0.01

第7章 総括

一般的にバークシャー種（黒豚）はバークシャー種以外（白豚）より背脂肪が厚く、去勢雄は雌より背脂肪が厚くなる性質があると言われており、黒豚農家において背脂肪厚による上物率低下は生産性向上の阻害要因となっている。また、生産性向上においては、生産性の阻害要因の対策だけでなく、黒豚肉の肉質特性を明らかにして、黒豚肉を消費者に宣伝できる科学的根拠を手に入れることは、マーケティングを含め、かごしま黒豚のブランド力向上には欠かせない。

本研究では、かごしま黒豚去勢雄の背脂肪厚を飼養管理で調整することで上物率の向上を目指し、黒豚肉の肉質特性をメタボローム解析や味認識装置を含む最新機器で分析するとともに、さらなるブランド力向上に向けた甘藷給与割合の検討や、官能評価からみた黒豚肉の肉質特性や消費者が美味しい豚肉を選択する際に影響する官能特性を検討した。

はじめに、かごしま黒豚の背脂肪厚の特徴を調査したところ、黒豚は白豚より背脂肪が厚く、厚脂による格落率が高いことが確認された。また、同じ飼養管理において、去勢雄は雌より背脂肪が厚くなりやすく、上物率を引き下げる要因となることがわかった。次に、去勢雄の背脂肪厚を低減させるため、肥育後期の飼料のエネルギー量の調整や去勢雄と雌の混飼を検討した。その結果、肥育後期飼料のエネルギー量を下げることによって背脂肪厚への効果がみられた。また、豚房に去勢雄と雌を混飼することも効果があり、去勢雄と雌の混合比率 7:3 が去勢雄の背脂肪厚低減に最も効果的であることを確認した。この混飼の

効果を解明するため、200 日齢の去勢雄と雌の血清をメタボローム解析した。その結果、4 種類の性ステロイド（ 5α -ジヒドロプロゲステロン、19-ヒドロキシテストステロン、 17α -エストラジオール、16-エピエストリオール）が、混飼の去勢雄と雌から検出されたが、100%区の去勢雄からは検出されなかった。混飼により去勢雄に誘発された性ステロイドホルモンが背脂肪の厚さに影響を与える可能性が示唆された。

かごしま黒豚の肉質特性を分析するため、かごしま黒豚（バークシャー種：黒豚）、LWD（三元交雑種：白豚）、およびカナダ産 LWD（輸入豚）の各ローブブロックを用いて、メタボローム解析等の理化学検査結果と消費者型官能評価を比較検討した。その結果、黒豚肉は、“噛み切りやすさ” および“咀嚼しやすさ”において高い評価を得ると同時に、輸入豚肉より有意に低い遠心水分遊離率を示した。一方でメタボローム解析において、黒豚肉は遊離のグルタミン酸（うま味）とトレオニン（甘味）の相対含量が数倍高く、また遊離のプロリン（甘味）とアラニン（甘味）の相対含量も有意に高いことが確認された。

かごしま黒豚のさらなる差別化を図るため、ブランド基準のひとつである肥育後期飼料への甘藷配合割合（0%，10%，20%，30%）による肉質特性を検討した。その結果、甘藷配合量の増加に伴い、1 日増体量は 0%区の 602 g から 30%区の 565g へと減少し、出荷日齢は 30%区が最長となったが、EM および上物率に負の影響はなかった。メタボローム解析において、筋組織中の 19 種類の代謝物が甘藷給与に応答して有意に増減し、タンパク質代謝経路の変動が示唆された。官能評価において、30%区は軟らかさの評価が最も高かった。

消費者が黒豚肉を美味しいと評価する物差しを検討するため、これまでの官

能評価の総合評価と他評価項目を相関係数で分析した。その結果、すべての比較条件で総合評価と相関係数 0.7 以上の相関関係を持つ項目に、「うま味の好ましさ」がみられた。また、この「うま味の好ましさ」は「うま味の強さ」と相関係数 0.6 以上の相関関係があり、一般消費者が豚肉の美味しさを決める際、「うま味」が最も大きな要因であることが確認された。

本研究において、かごしま黒豚の生産性向上のため、肥育後期飼料のエネルギー量の調整や去勢雄と雌の混飼が去勢雄の背脂肪厚低減および上物率向上に有効なことが証明された。また、黒豚肉の肉質特性は軟らかくジューシーで、うま味成分や甘味成分が他の豚肉より多いことが明らかになった。さらに肥育後期飼料の甘藷配合量を 30% にすることで、さらに軟らかくなることが確認された。また、黒豚肉が「美味しい」と評価されるためにはうま味が重要であり、消費者に評価され、さらなるブランド力向上を目指すためには、豚の生産から流通、そしてテーブルミートまでの流れの中で、うま味分量を増やすための豚肉作りが重要であることが明らかになった。

謝 辞

本研究を遂行し、また本論文をまとめるにあたり、終始御懇篤なご指導・ご鞭撻をいただきました鹿児島大学農学部 大塚彰教授に謹んで感謝の意を表します。

本研究は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターの「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）」の支援を受けて行われました。深く御礼申し上げます。

また、本研究の調査や試験にご協力いただきました鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場養豚研究室の皆様と鹿児島県経済農業協同組合連合会黒豚実験農場の皆様に深謝するとともに、共同研究者として様々なご助言やご協力をいただきました鹿児島県経済農業協同組合連合会養豚事業部 喜田克憲部長，鹿児島県県立短期大学生活科学科 多田司准教授，鹿児島大学農学部 井尻大地准教授に厚く御礼申し上げます。

さらに本実験の実施にあたり惜しみないご協力いただきました鹿児島県経済農業協同組合連合会職員の皆様と鹿児島大学農学部栄養生化学・飼料化学研究室の学生の皆様に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 宮路直人. かごしま黒豚物語. 第2版 (南日本新聞社. 鹿児島) pp.99 (1999)
- (2) (株) 食肉通信. 銘柄豚肉ハンドブック 2018 ((株) 食肉通信社. 大阪) pp.6 (2018)
- (3) 鹿児島県養豚振興協議会. 鹿児島県養豚史 (斯文堂株式会社. 鹿児島) pp.1-57 (1996)
- (4) 独立行政法人農畜産業振興機構. 絵でみる世界の畜産物需給, http://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_001735.html (2021)
- (5) 公益社団法人日本食肉格付協会: 豚枝肉取引規格, <http://www.jmga.or.jp/standard/pork> (2021)
- (6) 農林水産省: 家畜改良増殖目標. http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/h27_katiku_mokuhyo.pdf (2015)
- (7) 原田宏・立石晃嗣・松窪敬介・辻井辰弥・渡邊正良・石田孝史. バークシヤー種肥育豚の産肉能力に対する環境要因の影響. 西日本畜産学会報, **49**: 69-73 (2006)
- (8) 川井田博. 豚の産肉性と肉質に関する研究. 鹿児島県畜産試験場研究報告, **26**: 1-176 (1993)
- (9) 千歳健一・杉山昇・山口幸一・井上清視. 系統豚の組合せ利用に関する研究 (第9報). 鹿児島県畜産試験場研究報告, **27**: 52-61 (1994)
- (10) 剣崎真司・石原康弘・福留憲浩・泉裕治. 系統豚「サツマ 2001」の性能

調査とその利用（第3報），鹿児島県畜産試験場研究報告，**39**：72-75

(2005)

- (11) 石原康弘・小村喜久男・生駒エレナ・大小田勉．かごしま黒豚の肥育後期における適正な飼料給与体系の検討．鹿児島県農業開発総合センター研究報告，**10**：157-161 (2016)
- (12) 今井一郎・上山謙一・浅井孝康・山根礼吉・丸山正明．不断給飼と断飼の組合せによる肉豚の肥育試験．日本養豚研究会誌，**4**：6-10 (1967)
- (13) 上山謙一・浅井孝康．繁殖豚および肥育豚に対する飼料給与法に関する研究．日本養豚研究会誌，**10**：48-51 (1973)
- (14) 小村喜久男・西川光博・平山愛和・西村健一・犬童政昭．かごしま黒豚の飼養標準の確立に関する研究．鹿児島県畜産試験場研究報告，**31**：80-93 (1998)
- (15) 川井田博・福元守衛・楠元薩男・加香芳孝・富田裕一郎・小島正秋．バークシャーの肥育に適する飼料の栄養水準に関する研究．日本養豚研究会誌，**18**：65-76 (1981)
- (16) 伊東正吾．わかりやすい 養豚場実用ハンドブック．第2版（チクサン出版．東京）(2009)
- (17) R コアチーム．R：統計計算のための言語と環境．R Statistical Computing 財団：オーストリア、ウィーン．オンラインで利用可能：
<https://www.R-project.org/>（2019年12月17日にアクセス）(2019)
- (18) 中山良朗・土井基嗣・益崎裕章．ステロイドホルモンと脂肪代謝．
Hormone Frontier in Gynecology, **20**：287-291 (2013)

- (19) 後藤昌義・橋村三郎・榊村純生・安部良治・前野巍・有田真. 医学入門シリーズ. 初版 (理化学社. 東京) pp.323-327 (1983)
- (20) 武城英明. レプチン受容体の発現調節. 日本肥満学会誌, **7** : 108-109 (2001)
- (21) 大小田勉・郷原幸哉・喜田克憲・奥津果優. かごしま黒豚の肉質特性と官能評価. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告, **10** : 145-151 (2016)
- (22) 齋藤薫・奥村寿章・曾和拓・佐久間弘典・山田真一. 食肉の理化学分析及び官能評価マニュアル, pp7-9 ((独) 家畜改良センター. 福島県)
URL: <http://www.nlbc.go.jp/research/nikushitsuhyoka/shokuniku-manual-1.pdf> (2010)
- (23) 藤村忍・酒井史彰・榛沢章三. 地鶏及びブロイラー肉の識別・評価法ー風味と成分を中心とした識別評価事例ー (社団法人日本種鶏孵卵協会. 東京) pp.4-15 (2008)
- (24) 西岡輝美・石塚譲・因野要一・入江正和. 豚脂肪中のスカトール含量と官能評価への影響. 日本畜産学会報, **82** : 147-153 (2011)
- (25) 山本明友美・片山碧・露木理紗子・飯田文子. 豚肉のテクスチャーを適確にとらえる破断解析法の検討. 日本官能評価学会誌, **20** : 30-37 (2016)
- (26) 西海理之・國嶋隆司・西村敏英・吉田繁. 種々のブタ筋肉の硬さに対する筋肉内結合組織成分の寄与. 日本畜産学会報, **66** : 341-348 (1995)
- (27) 入江正和. 豚肉質の評価法. 日本養豚学会誌, **39** : 221-254 (2002)
- (28) 石井俊哉・江上いすず・中野徹・小野村光正・中川二郎・奥村純市. 黒豚肉に対する青年層の味覚官能的評価. 日本養豚学会誌, **44** : 171-176

(2007)

- (29) 今井美子・土田康晴・渡邊毅巳. アミノ酸組成比から見た出汁の味質解析へのアプローチ—アミノ酸迅速分析により出汁の「もどり」が見えてくる—, FFI ジャーナル, **217** : 30-37 (2012)
- (30) 佐々木公子・岩城知津・植野洋志. GABA (γ -アミノ酪酸) の味覚への関与について (美作大学・美作大学短期大学部紀要) **55** : 65-70 (2010)
- (31) 山口静子. うま味の文化・UMAMI の科学 (丸善株式会社. 東京) pp.1-33 (1999)
- (32) Running CA, Craig BA, Mattes RD. Oleogustus: The unique taste of fat. Chemical Senses, **40** : 507-516 (2015)
- (33) 木全誠・石橋晃・鎌田寿彦. 豚肉質の理化学的成分と官能検査との関係. 日本養豚学会誌, **38** : 45-51 (2000)
- (34) 神山かおる. 新しい食品テクスチャー測定法—官能評価と機器測定との間で—, 日本水産学会誌, **65** : 929-930 (1999)
- (35) 川井田博・平山愛和・福永智明・丸野弘幸. さつまいも畑を利用した「おいしい」黒豚づくりに関する研究 (1). 鹿児島県畜産試験場研究報告, **25** : 106-115 (1993)
- (36) 川井田博・平山愛和・西川光博・丸野弘幸. さつまいも畑を利用した「おいしい」黒豚づくりに関する研究 (2). 鹿児島県畜産試験場研究報告, **27** : 70-78 (1994)
- (37) El-Deep MH, Ijiri D, Eid YZ, Yamanaka H, Ohtsuka A. Effects of dietary supplementation with *Aspergillus awamori* on growth

- performance and antioxidative status of broiler chickens exposed to high ambient temperature. *Journal of Poultry Science*, **51**: 281-288 (2014)
- (38) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構編. 日本標準飼料成分表 (2009年版). 初版 ((社) 中央畜産会. 東京) (2009)
- (39) Scott GK, Symes CW. Isolation, characterisation and cell growth-regulatory properties of kumara (sweet potato) trypsin inhibitors. *Biochemistry and Molecular Biology International*, **38**: 333-344 (1996)
- (40) 外山潤・吉元誠・山川理. サツマイモ塊根におけるトリプシンインヒビター (TI) 活性の品種・系統間差異. *育種学研究*, **7** : 17-23 (2005)
- (41) Naskar SK, Gupta JJ, Nedunchezhiyan M, Bardoli RK. Evaluation of sweet potato tubers in pig ration. *Journal of Root Crops*, **34**: 50-53 (2008)
- (42) 時村金愛・下園英俊・久米隆志・西原悟・小山田耕作・福元伸一・藤田清貴・北原兼文. 栽培条件の異なるサツマイモ新品種「こなみずき」塊根の澱粉品質. *応用糖質科学*, **4** : 234-240 (2014)
- (43) Trehan S, Singh N, Kaur A. Characteristics of white, yellow, purple corn accessions: phenolic profile, textural, rheological properties and muffin making potential. *Journal of Food Science and Technology*, **55**: 2334-2343 (2018)
- (44) Eid YZ, Ohtsuka A, Hayashi K. Tea polyphenols reduce glucocorticoid-induced growth inhibition and oxidative stress in broiler chickens. *British Poultry Science*, **44**: 127-132 (2003)
- (45) Osada K, Funayama M, Fuchi S, Sami M, Ohta Y, Kanda T, Ikeda M.

- Effects of dietary procyanidins and tea polyphenols on adipose tissue mass and fatty acid metabolism in rats on a high fat diet. *Journal of Oleo Science*, **55**: 79-89 (2006)
- (46) Huang J, Zhou Y, Wan B, Wang Q, Wan X. Green tea polyphenols alter lipid metabolism in the livers of broiler chickens through increased phosphorylation of AMP-activated protein kinase. *PLoS One*, Oct 26, **12**: e0187061 (2017)
- (47) Muroya S, Oe M, Nakajima I, Ojima K, Chikuni K. CE-TOF MS-based metabolomic profiling revealed characteristic metabolic pathways in postmortem porcine fast and slow type muscles. *Meat Science*, **98**: 726-735 (2014)
- (48) Williams JR, Harrison DL. Relationship of hydroxyproline solubilized to tenderness of bovine muscle. *Journal of Food Science*, **43**: 464-492 (1978)
- (49) Nakamura YN, Tsuneishi E, Kamiya M, Yamada A. Histological contribution of collagen architecture to beef toughness. *Journal of Food Science*, **75**: E73-E77 (2010)
- (50) 三津本充・佐々木啓介・佐々木浩一・坂下邦仁・本間紀之. 肥育豚へのカテキンあるいはビタミン E 給与による豚肉の酸化防止. 畜産草地研究成果情報, **2**: 31-32 (2003)
- (51) 鈴木啓一. 豚肉の魅力の原点, おいしさについて考える, 「豚肉のチカラ」(財団法人日本食肉消費総合センター. 東京) pp.8-13 (2010)

- (52) 谷史雄・新居雅宏・森直樹. 阿波ポークの「特徴あるおいしさ」評価技術の開発. 徳島県立農林水産総合技術センター畜産研究所研究報告, **12** (1) : 44-47 (2001)
- (53) 奥村朋之・犬塚雄介・西村敏英・荒井綜一. 豚肉の長期熟成による官能的及び理化学的变化. 日本畜産学会報, **67** (4) : 360-367 (1996)