原 著

玄米によるトウモロコシの全量代替および玄米とカンショの併給が肥育豚の飼養成績と肉質に及ぼす影響

勝俣昌也¹・芦原 茜・石田藍子・小林裕之²

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所, 茨城県つくば市, 305-0901

¹現所属: 麻布大学獣医学部, 神奈川県相模原市, 252-5201²現所属: 長野県上小農業改良普及センター, 長野県上田市, 386-8555

(2014 年 9 月 22 日受付, 2014 年 12 月 22 日受理)

要 約 玄米でトウモロコシの全量を代替できるか確認すること, 玄米とカンショを併給するときの配合割合を検討することを目的として, 3 つの肥育試験を実施した。実験 1 では, トウモロコシ (75% 配合) の全量を玄米で代替して肥育後期豚に給与したが, 日増体量, 飼料摂取量, 飼料効率ともに影響はなかった。実験 2 では, 玄米の配合割合を 3 水準 (30, 52.5, 75%) 設定し, 玄米とカンショの併給が肥育後期豚の飼養成績と肉質におよぼす影響について検討した。日増体量, 飼料摂取量に飼料の影響はなかった。飼料効率には飼料が影響する傾向があり ($P<0.10$), 玄米 30% 配合区が低かったが, ほかの試験区のあいだに差はなかった。1 頭あたりの玄米の給与量を増やすために, 実験 3 では肥育前期から玄米 (52.5% 配合) を給与し, 肥育後期は玄米 (52.5% 配合) とカンショ (22.5% 配合) を併給した。肥育前期 (30 kg~70 kg) と全期間 (30~120 kg) をとおしての飼料摂取量は, 玄米・カンショ併給区が高く ($P<0.05$), 全期間をとおしての飼料効率は玄米・カンショ併給区で低かった ($P<0.05$)。しかし, 肥育後期には飼料の影響はなかった。実験 1, 2, 3 をつうじて, 玄米を給与すると皮下脂肪内層の飽和脂肪酸と 1 価不飽和脂肪酸の割合が高く, 多価不飽和脂肪酸の割合が低くなった。とくに, オレイン酸の割合の上昇とリノール酸の割合の低下は, 再現性が高かった。実験 2 では, 皮下脂肪内層の融点が玄米の給与で高くなったが, 実験 1 と 3 では変化しなかった。胸最長筋のドリップロスやせん断力価には, 玄米あるいは玄米とカンショの併給の影響はなかった。これらの結果から, トウモロコシの全量を玄米で代替して肥育後期豚に給与しても飼養成績と肉質に問題はなく, 玄米とカンショを肥育後期豚に併給するときの配合割合は, それぞれ 50% 程度と 20~25% 程度がよいと結論した。

緒 論

平成 18 年の秋以降, 燃料用エタノール生産向けのトウモロコシの需要が増加したことで, トウモロコシの国際価格が上昇した。これに連動し, 平成 20 年には配合飼料の価格がトンあたり 68,000 円まで上昇した。その後, 平成 21 年には 52,000 円程度にまで低下したものの, 平成 24 年の北米の干ばつの

影響を受け, トウモロコシや大豆粕の国際価格がふたたび上昇し, 平成 25 年 7 月には配合飼料の価格が 68,000 円にまで上昇した (農林水産省)。平成 26 年になって, 肉豚肥育用の配合飼料価格は 62,000 円台でおちついたが, ウクライナの政情不安もあり, 7~9 月期には 67,000 円まで上昇している (全国農業協同組合連合会)。配合飼料の価格は, 穀物や大豆粕の国際価格に左右されるのはもちろんのこと,

連絡者: 勝俣昌也 (E-mail: m-katsumata@azabu-u.ac.jp TEL. 042-769-1644)

原油価格を反映した海上運賃、外国為替、さらには原料を生産する地域の政情の影響もうける。養豚生産費の 60% 程度を飼料費がしめるので、配合飼料価格の状況は、養豚経営にとって非常にきびしい状況だということは、論をまたないだろう。

食料・農業・農村基本計画（平成 22 年 3 月閣議決定）は、飼料自給率を 26% から 38% に高くする目標をかかげており、リサイクル飼料の活用とならんで、飼料用米の活用は、飼料自給率を高くする柱のひとつとして期待されている。行政は、いくつかの事業をたてて飼料用米の生産を支援しており、わたしたち養豚研究者には、飼料用米の多給技術の開発を要請している。一方で、前述した配合飼料価格の状況もあり、飼料コストを安定させる方策として、飼料用米を活用する生産者もいる。さらに、飼料用米を給与することで、慣行の豚肉や輸入豚肉と品質を差別化できれば、飼料用米を活用する生産者の意欲も高くなるだろう。

玄米を配合した飼料を肥育後期豚に給与すると、皮下脂肪内層のオレイン酸の割合が高く、リノール酸の割合が低くなることを、すでにわれわれは報告している（勝俣ら、2009）。脇屋ら（2013）は、肥育後期豚への玄米給与で、皮下脂肪内層のパルミチン酸とオレイン酸の割合が高くなることを報告している。このように、玄米を給与することで、脂肪組織の脂肪酸組成が影響を受け、とくにオレイン酸の含量が高くなるという共通の見解がえられている。

カンショを給与すると、いわゆる「もち豚」が生産できることは古くから知られており、高品質豚肉を生産するための飼料資源として期待できる。常石ら（2002）は、カンショを 60% 配合した飼料を肥育後期豚に 42 日間給与すると、皮下脂肪内層の 1 価不飽和脂肪酸の含量が高くなる傾向を示し、n6 系列の多価不飽和脂肪酸の含量は低くなることを報告している。松窪ら（2012）は、菓子製造業由来の蒸したカンショの残さを 10% 配合した飼料を、肥育前後期（30～120 kg）をとおして給与すると、皮下脂肪内層のパルミチン酸の含量が低くなるが、オレイン酸の含量が高くなり、リノール酸の含量が低くなることを報告している。また、筆者らは、未利用カンショを給与して高品質豚肉を生産する技術を開発した（（独）農業・食品産業技術総合研究機構、http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/013121.html）。飼料自給率についていえば、飼料用米とカンショを組み合わせること

で、飼料自給率をさらに高くできる可能性がある。畜産草地研究所が位置する茨城県は、平成 23 年度の全国のカンショ生産高 885,900 トンのうち、165,200 トンを生産し、350,000 トンを生産した鹿児島県について生産高は全国 2 位だった。さらに、エコフィード茨城協議会が干しイモ残さの飼料化にすでに取り組んでおり、未利用カンショの飼料化を推進しやすい地域である。

以上のように、飼料自給率を高くすること、不安定な配合飼料価格に対応すること、慣行あるいは輸入豚肉と差別化できる豚肉を生産することなど、飼料用米の活用には養豚生産にとっていくつかのメリットが期待できる。また、カンショと組みあわせることで、飼料自給率をさらに高くできる可能性があり、飼料用米とカンショが豚肉の品質におよぼす効果に加法性があれば、併給することで、きわだった特徴のある豚肉を生産できるかもしれない。一方で、飼料用米の多給、とくにトウモロコシの全量を飼料用米で代替したときの、飼養成績や肉質におよぼす影響についての知見は、玄米を 60% 配合した飼料を給与した成績（大武ら、1971）と玄米を 80% 配合した成績（小林ら、1984）があるだけで、育種改良が進んだ近年の品種で検討した成績はない。さらに、飼料用米とカンショを組み合わせる給与したときの影響についても、飼料用米と規格外カンショを中ヨークシャー種に給与した千葉県の実績があるだけで（新垣ら、2012）、情報がすくない。

これらの背景から、玄米でトウモロコシの全量を代替しても飼養成績や肉質に問題ないか確認すること、玄米とカンショの併給が飼養成績と肉質におよぼす影響をあきらかくすること、茨城県内で実証試験を実施するにあたって玄米とカンショの配合割合を決定するためのデータをえることを、本研究は目的にしている。実験 1 で、トウモロコシ（75% 配合）の全量を玄米で代替しても飼養成績や肉質に悪影響がないか確認した。実験 2 では、玄米の配合割合を 3 水準（30, 52.5, 75%）設定し、玄米とカンショの併給が飼養成績と肉質におよぼす影響を検討した。また、1 頭あたりの玄米の給与量をさらに増やすために、肥育前期から玄米を給与したときの影響を実験 3 で検討した。

材 料 と 方 法

すべての肥育試験は（独）農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所の動物実験指針にしたがっ

表 1. 実験 1 で給与した試験飼料の原料と現物あたりの化学組成計算値
Table 1. Ingredients and calculated chemical composition of diets used in the experiment 1 (as fed)

	Control	Brown rice	Sweet potato
Ingredients (%)			
Corn	75.0		55.0
Brown rice		75.0	
Sweet potato			20.0
Soybean meal	20.2	20.2	20.2
Alfalfa meal	2.5	2.5	2.5
Vitamins and minerals	2.3	2.3	2.3
Calculated chemical composition			
Crude protein (%)	15.8	15.7	14.7
Digestible energy (Mcal/kg)	3.34	3.40	3.32

て計画し、畜産草地研究所動物実験委員会の審査、承認をえておこなった。

飼養試験

実験 1

畜産草地研究所で生産した平均体重 67kg の LWD3 元交雑種去勢雄豚を 4 腹 (12 頭) つかった。同腹の 3 頭を、対照飼料を給与する区 (対照区)、玄米配合飼料を給与する区 (玄米区)、カンショ配合飼料を給与する区 (カンショ区) に 1 頭ずつわりふった。対照飼料にはトウモロコシを 75% 配合した。肥育後期豚の栄養素要求量をみたく飼料を、トウモロコシと大豆粕を主体として設計するときの上限を念頭において、この配合割合を決定した。対照飼料のトウモロコシの全量を玄米で代替したものが玄米区の飼料である。また、玄米とカンショとの併給が本研究の最終目標だが、カンショの配合割合を決めなければならない。実験 1 から一連の実験で、玄米の配合割合を 3 水準設定して実験する予定にしていた。もっとも低い玄米の配合割合は、肥育後期豚への玄米給与が飼養成績と脂肪性状におよぼす影響を検討した筆者らの前報 (勝俣ら, 2009) を参照して、30% が適切だと考えた。もうひとつの水準は、30% と 75% の平均値に相当する 52.5% にするのが妥当である。このとき、玄米の配合割合の各水準の差は 22.5% なので、カンショの配合割合をこの数値にそろえると、配合設計がシンプルになる。また、乾燥カンショを 60% 配合した飼料を給与しても、肥育豚の飼養成績に問題はないという成績が

えられている (梶ら, 2001)。したがって、カンショを 22.5% 配合した飼料を給与しても、飼養成績に問題はないと予想できた。以上の経緯から、カンショの配合割合を 22.5% に決定した。実験 1 で給与した飼料の配合設計は表 1 にしめた。トウモロコシと玄米は、2mm のメッシュをとおして粉碎したものを、千葉縣市原市の米澤商店から購入した。カンショ (同様に米澤商店から購入) は、現物を速破碎機 (カネコ株式会社, KS-H37) で細切してから、60℃ に設定した熱風循環式乾燥装置 (旭科学器械株式会社, DFR-208-AP 式) で 3 日間乾燥して風乾物としたのちに、前述した機械でふたたび破碎した。試験期間中、供試豚は単飼豚房 (170 cm×258 cm) に収容して、不断給餌、自由飲水の条件で個別に飼育した。供試豚の平均体重が 117kg に達したところで、畜産草地研究所内で、220 V で 5 秒間の電気ショックをあたえて失神させたのち、頸動脈から放血してと畜した。と畜直後に、皮がついている状態でもっともうすい部分の背脂肪の厚さを測定した。第 4・5 胸椎間から第 13・14 胸椎間までの左側の胸最長筋を採取した。前方 1/2 長の胸最長筋を -40℃ で真空保存して肉色の測定に、後方 1/2 長を筋肉内脂肪含量とドリップロス測定に供した。後方の胸最長筋に付着した皮下脂肪内層を採取し、-40℃ で真空保存して脂肪酸組成、融点、脂肪色を測定した。

4℃で一晩保存した胸最長筋を 3cm 角のサイコロ状に切りわけ、ミートチョッパー (なんつね, MD-22K) に 4 回とおしてミンチ状にした。得られ

たサンプルから、ソックスレー抽出器をつかってジエチルエーテルで16時間粗脂肪を抽出して、筋肉内脂肪含量を測定した。と畜後2時間以内に4×4×2cmのサイズに切り出した胸最長筋を、密封したビニール袋上部に入れた状態でつるして4℃で保存し、3および7日後に重量を測定してドリップロスを出した。皮下脂肪内層の脂肪色は、紫外可視分光光度計（島津製作所、UV-2400PC）の試料室に積分球付属装置（島津製作所、ISR-2200）を取りつけてサンプルの拡散反射率を測定し、カラー測定ソフトウェア（島津製作所、ver.2.7）により、明度（L*）、赤色度（a*）、黄色度（b*）の各色調値を分析した（三津本ら、2006）。FOLCHら（1957）の方法にしたがって、クロロホルム・メタノール混液により皮下脂肪内層から全脂質を抽出したのち、NISHIOKA and IRIE（2005）の方法で脂肪酸組成を測定した。すなわち、抽出した全脂質を3フッ化ホウ素メタノール（和光純薬工業）を用いてメチルエステル化し、水素炎イオン化検出器を装着したガスクロマトグラフ装置（島津製作所、GC-17A）を用いて測定した。カラムは、キャピラリーカラム（信和化工、ULBON HR-SS-10）を用いた。皮下脂肪内層の上昇融点は、一般財団法人日本食品分析センターに依頼し、基準油脂分析試験法で分析した。

実験2

畜産草地研究所で生産した平均体重67kgのLWD3元交雑種の去勢雄豚と雌豚を4腹（16頭）つけた。同腹の4頭を、対照飼料を給与する区（対照区）、玄米を30%配合した飼料を給与する区（玄米30%区）、玄米を52.5%配合した飼料を給与する区（玄米52.5%区）、玄米を75%配合した飼料を給与する区（玄米75%区）に1頭ずつ割りふった。各飼料に割りふったのは、去勢雄2頭、雌2頭である。このように、各区4反復だったが、最初の2反復には去勢雄を、次の2反復には雌を供試したので、性別にかたよりはない。また、玄米30%区と玄米52.5%区の飼料には、いずれもカンショを22.5%配合した。すでに述べたように、もっとも低い玄米の配合割合（30%）は、筆者らの前報（勝俣ら、2009）を参照して決定した。実験2で給与した飼料の配合設計は表2に示した。供試したトウモロコシとカンショの購入先と前処理方法は実験1と同じである。玄米は（独）農業・食品産業技術総合研究機構の水田圃場（茨城県つくばみらい市）で平成22年に生産した日本晴、北陸193号、モミロマンを混合してつ

かった。去勢雄を供試した最初の2反復では、2mmのメッシュをとおして畜産草地研究所内で玄米を粉碎した。雌を供試した次の2反復では、飼料用米破砕機（デリカ、DHC-4000M）の目盛を0.2mmに設定し、玄米を2回破砕した。試験期間中、供試豚は単飼豚房（170cm×258cm）に収容して、不断給餌、自由飲水の条件で個別に8週間飼育した。供試豚のと畜方法、胸最長筋と皮下脂肪内層の採取方法、ドリップロスと脂肪酸組成の測定方法は、実験1と同じである。−40℃で真空保存していた前方1/2長の胸最長筋から4×4×2cmのブロックを切りだし、中心温度が70℃に達するまで72℃の恒温槽で加熱した。ブロックを流水で冷却後に重量を測定し、加熱損失率を算出した。その後、筋繊維の方向にそって直径1.2cmの円柱状に切りぬき、これをサンプルとして、ワーナーブラッツラーブレードを装着したせん断試験機（Instron Corp, Model 5542）でせん断力価を測定した。

実験3

畜産草地研究所で生産した平均体重36kgのLWD3元交雑種の去勢雄豚と雌豚をつかった。2腹から選んだ去勢雄と雌を各6頭（内訳：1腹から去勢雄4頭と雌4頭、もう1腹から去勢雄2頭と雌2頭）を、対照区と玄米・カンショ併給区に6頭ずつ割りふった。各飼料には、去勢雄3頭、雌3頭を割りふり、性別にかたよりにないようにした。玄米・カンショ併給区では、玄米を52.5%配合した飼料を肥育前期（36kg～70kg）に給与し、肥育後期（70kg～120kg）には玄米を52.5%、カンショを22.5%配合した飼料を給与して、玄米とカンショを併給した。目視ではあるが、破砕したカンショの粒度はトウモロコシや玄米と比較しても大きいので、肥育前期から給与するには消化性が低いと判断し、カンショの給与は肥育後期に限定した。実験3で給与した飼料の配合設計は表3に示した。供試したトウモロコシとカンショの購入先と前処理方法は実験1、2と同じである。玄米は、茨城県稲敷市で平成23年に生産したゆめひたちをつかい、前述した飼料用米破砕機の目盛を0.2mmに設定して2回破砕した。試験期間中、供試豚は単飼豚房（170cm×258cm）に収容して、不断給餌、自由飲水の条件で、体重が120kgに達するまで個別に飼育した。

この実験では玄米、トウモロコシ、各試験飼料の粒度分布を測定した。各サンプル500gを粒度分布測定器（三田村理研、MRK-RETAC SIEVE SHAKER）

表 2. 実験 2 で給与した試験飼料の原料と現物あたりの化学組成計算値

Table 2. Ingredients and calculated chemical composition of diets used in the experiment 2 (as fed)

	Control	Brown rice 30%	Brown rice 52.5%	Brown rice 75%
Ingredients (%)				
Corn	75.0	22.5		
Brown rice		30.0	52.5	75.0
Sweet potato		22.5	22.5	
Soybean meal	20.2	20.2	20.2	20.2
Alfalfa meal	2.5	2.5	2.5	2.5
Vitamins and minerals	2.3	2.3	2.3	2.3
Calculated chemical composition				
Crude protein (%)	15.8	14.9	14.8	15.7
Digestible energy (Mcal/kg)	3.34	3.35	3.37	3.40

表 3. 実験 3 で給与した試験飼料の原料と現物あたりの化学組成計算値

Table 3. Ingredients and calculated chemical composition of diets used in the experiment 3 (as fed)

	Grower period (36-70 kg)		Finisher period (70-120 kg)	
	Control	Brown rice Sweet potato	Control	Brown rice Sweet potato
Ingredients (%)				
Corn	70.0	17.5	75.0	
Brown rice		52.5		52.5
Sweet potato				22.5
Soybean meal	25.0	25.0	20.0	20.0
Alfalfa meal	2.6	2.6	2.6	2.6
Vitamins and minerals	2.4	2.4	2.4	2.4
Calculated chemical composition				
Crude protein (%)	17.7	17.6	15.8	14.8
Digestible energy (Mcal/kg)	3.32	3.36	3.34	3.37

で 5 分間処理して、4.76 mm, 2.38 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.297 mm, 0.15 mm の径のふるいの上のこったサンプルの重量を測定した。結果は、分布の割合として % で表示した。

この実験では供試豚の体重が 120 kg に達した時点で、茨城県土浦市の土浦食肉協同組合に出荷した。と畜翌日に、冷と体からロースを採取し、実験 1, 2 と同じ部位の胸最長筋と皮下脂肪内層をえた。

胸最長筋は、第 9-10 胸椎間のロース芯断面積を測定した。すなわち、第 9-10 胸椎間のロース芯断面をコピー機で印刷し、ロース芯の部分を取りとって秤量した。この値と、コピー用紙の 1 cm²あたりの重量との比により、第 9-10 胸椎間のロース芯断面積を算出した。そのほかの理化学性状と皮下脂肪内層の脂肪酸組成の測定方法は、実験 1, 2 と同じである。

表 4. 玄米あるいはカンショの給与が日増体量、飼料摂取量、飼料効率におよぼす影響（実験 1）

Table 4. Effects of brown rice or sweet potato feeding on live weight gain, feed intake, and feed efficiency of finishing pigs (experiment 1)

	Control	Brown rice	Sweet potato	SEM
Live weight gain (g/d)	999	1040	1015	54
Feed intake (g/d)	3348	3494	3517	94
Feed efficiency	0.30	0.30	0.29	0.01

表 5. 玄米あるいはカンショの給与が皮下脂肪内層の脂肪酸組成(%)と融点(°C)に及ぼす影響（実験 1）

Table 5. Effects of brown rice or sweet potato feeding on fatty acid composition (%) and melting point (°C) of inner layer of subcutaneous adipose tissue of finishing pigs (experiment 1)

	Control	Brown rice	Sweet potato	SEM	
Palmitic acid	27.9	29.1	28.7	0.5	
Stearic acid	15.9	16.8	18.0	0.6	
Oleic acid	40.9	42.4	39.6	0.7	†
Linoleic acid	10.7 ^a	7.2 ^c	9.5 ^b	0.3	**
Alpha-linolenic acid	0.7 ^a	0.6 ^b	0.7 ^a	<0.1	*
Saturated fatty acids ^x	45.3	47.5	48.2	0.9	
Mono unsaturated fatty acids ^y	43.2	44.7	41.6	0.8	†
Poly unsaturated fatty acids ^z	11.4 ^a	7.8 ^c	10.2 ^b	0.3	**
Melting point	41.2	41.0	41.9	0.6	

^x Myristic acid + Palmitic acid + Stearic acid, ^y Palmitoleic acid + Oleic acid, ^z Linoleic acid + Alpha-linolenic acid

† P<0.10, *P<0.05, **P<0.01

Values with different superscripts differ (P<0.05).

統計処理

統計処理は、SAS (SAS version 9.2, SAS Institute) の GLM プロシジャを用いて、腹をブロックとした乱塊法にのっとり、飼料の効果を検定した。実験 1, 2 で飼料の効果が有意となったときは、GLM プロシジャの LSMEAN ステートメントを用いて、最小有意差法で平均値間の差を検定した。P<0.05 で有意差があると、P<0.10 で傾向があるとした。

結 果

実験 1

日増体量はいずれの区も 1000 g/d 程度と良好で、飼料の影響はなかった（表 4）。飼料摂取量、飼料効率ともに飼料の影響はなかった（表 4）。

背脂肪厚、胸最長筋の筋肉内脂肪含量、と畜 3 日後と 7 日後のドリップロスにも飼料の影響はなく、

全供試豚の測定値の平均値はそれぞれ、2.3 cm, 3.7 %, 5.0%, 9.8% だった。

皮下脂肪内層の脂肪酸組成と融点を表 5 にしめた。パルミチン酸とステアリン酸の割合に飼料の影響はなかった。オレイン酸の割合には飼料が影響する傾向があり (P<0.10)、玄米区の割合 (42.4%) がもっとも高かった。リノール酸と α -リノレン酸の割合には飼料の影響があり、いずれも玄米を給与するともっとも低くなった。皮下脂肪内層の融点に飼料の影響はなかった。

皮下脂肪内層の脂肪色の L* と a* には飼料が影響する傾向があった (P<0.10)。L* は対照区 (85.0) がもっとも高く、玄米区とカンショ区は 83.1 と 83.0 だった。a* は対照区 (1.6) がもっとも低く、玄米区とカンショ区はともに 3.1 だった。b* には飼料の影響はなく、全供試豚の平均値は 9.7 だった。胸最長

表 6. 玄米あるいは玄米とカンショの併給が日増体量、飼料摂取量、飼料効率および影響（実験 2）**Table 6.** Effects of brown rice and/or sweet potato feeding on live weight gain, feed intake, and feed efficiency of finishing pigs (experiment 2)

	Control	30% Brown rice	52.5% Brown rice	75% Brown rice	SEM	
Live weight gain (g/d)	800	828	883	856	44	
Feed intake (g/d)	2852	3279	3189	3066	179	
Feed efficiency	0.28	0.26	0.28	0.28	0.01	†

† P<0.10

表 7. 玄米あるいは玄米とカンショの併給が皮下脂肪内層の脂肪酸組成(%)と融点(℃)に及ぼす影響（実験 2）**Table 7.** Effects of brown rice and/or sweet potato feeding on fatty acid composition (%) and melting point (°C) of inner layer of subcutaneous adipose tissue of finishing pigs (experiment 2)

	Control	30% Brown rice	52.5% Brown rice	75% Brown rice	SEM	
Palmitic acid	27.1 ^b	28.7 ^a	28.9 ^a	29.6 ^a	0.3	*
Stearic acid	10.2	11.4	11.3	11.5	0.5	
Oleic acid	40.2 ^c	41.6 ^{bc}	43.7 ^a	42.6 ^{ab}	0.5	**
Linoleic acid	16.5 ^a	12.2 ^b	10.2 ^b	10.1 ^b	0.8	**
Alpha-linolenic acid	0.8	0.8	0.8	0.7	<0.1	
Saturated fatty acids ^x	39.8 ^b	42.5 ^a	42.7 ^a	43.6 ^a	0.9	*
Mono unsaturated fatty acids ^y	42.8 ^b	44.5 ^a	46.3 ^a	45.6 ^a	0.6	*
Poly unsaturated fatty acids ^z	17.4 ^a	13.0 ^b	11.0 ^b	10.8 ^b	0.9	**
Melting point	39.1 ^b	42.0 ^a	41.5 ^a	41.3 ^a	0.6	*

^x Myristic acid + Palmitic acid + Stearic acid, ^y Palmitoleic acid + Oleic acid, ^z Linoleic acid + Alpha-linolenic acid

*P<0.05, **P<0.01

Values with different superscripts differ (P<0.05).

筋の肉色には飼料の影響はなく、L*, a*, b* の全供試豚の測定値の平均値は、それぞれ 57.9, 7.2, 11.7 だった。

実験 2

日増体量、飼料摂取量に飼料の影響はなかったが、飼料効率には飼料が影響する傾向があり (P<0.10)、玄米 30% 配合区の飼料効率が低かった (表 6)。

背脂肪厚、胸最長筋の筋肉内脂肪含量、と畜 3 日後と 7 日後のドリップロス、加熱損失率、せん断力値にも飼料の影響はなく、全供試豚の測定値の平均値は、それぞれ 3.0 cm, 2.6%, 7.1%, 10.5%, 20.3%, 31.3N だった。

皮下脂肪内層の脂肪酸組成と融点を表 7 にしめた。パルミチン酸、オレイン酸、リノール酸の割合

に飼料の影響があった (P<0.05)。玄米を配合した飼料を給与したほうが、パルミチン酸の割合が高くなり、リノール酸の割合は低くなった。玄米を 52.5% あるいは 75% 配合した飼料を給与すると、対照区よりもオレイン酸の割合が高くなった。これらの結果を反映し、玄米を配合した飼料を給与すると、飽和脂肪酸と 1 価不飽和脂肪酸の割合が高くなり、多価不飽和脂肪酸の割合は低くなった。この実験では、玄米を配合した飼料を給与すると、皮下脂肪内層の融点が高くなった (P<0.05)。

皮下脂肪内層の脂肪色には飼料の影響はなく、L*, a*, b* それぞれの全供試豚の測定値の平均値は、それぞれ 88.0, 2.0, 8.3 だった。胸最長筋の肉色には飼料の影響はなく、L*, a*, b* の全供試豚の測定値の平均値は、それぞれ 55.1, 7.6, 11.0 だった。

図 1. トウモロコシ, 玄米, 試験飼料の粒度分布 (mm)

Fig. 1. Distribution of sizes of particles (mm) of corn, brown rice and the diets (%)

実験 3

飼養成績を表 8 にしめた。日増体量に飼料の影響はなかったが、肥育前期と全期間をとおしての飼料摂取量は玄米・カンショ併給区が高く ($P<0.05$)、その結果を反映して、全期間をとおしての飼料効率は玄米・カンショ併給区が低かった ($P<0.05$)。

実験 3 でつかったトウモロコシ, 玄米, 各飼料の粒度分布を図 1 にしめた。トウモロコシの 90% 以上が 1.18mm より小さかったが、玄米の 54% が 1.18mm より大きかった。このちがいを反映し、対照区の飼料は 70% 程度が 0.6mm よりも小さかったが、玄米・カンショ併給区の飼料は 60 あるいは 70% 程度が 0.6mm よりも大きかった。

出荷時体重 (対照区 120.4kg, 玄米・カンショ併給区 118.9kg), 枝肉重量 (同 82kg と 79kg), 枝肉歩留まり (同 68.1% と 66.4%), 背脂肪厚 (同 2.4cm と 2.4cm), 胸最長筋の筋肉内脂肪含量 (同 2.0% と 2.1%), 第 10, 11 胸椎間のロース芯面積 (同 46.6cm² と 44.6cm²), と畜 3 日後のドリップロス (8.3% と 6.3%), と畜 7 日後のドリップロス (12.0% と 10.7%), 加熱損失率 (同 24.8% と 22.7%), せん断力価 (同 38.7N と 37.2N) に飼料の影響はなかった。

皮下脂肪内層の脂肪酸組成を表 9 にしめた。ステアリン酸とオレイン酸の割合が玄米・カンショ併給区で高く ($P<0.05$)、リノール酸の割合は玄米・カンショ併給区で低かった ($P<0.05$)。これらの結果を反映し、飽和脂肪酸と 1 価不飽和脂肪酸の割合は玄米・カンショ併給区で高く ($P<0.05$)、多価不飽和脂肪酸の割合は玄米・カンショ併給区で低かった ($P<0.05$)。しかし、融点には飼料の影響はなかった。

皮下脂肪内層の脂肪色には飼料の影響はなく、測定値は、L* 値 (対照区 85.4, 玄米・カンショ併給区 85.2), a* 値 (同 1.5 と 1.8), b* 値 (同 7.6 と 7.5) だった。肉色は L* 値 (対照区 52.1, 玄米区 51.3) と a* 値 (同 6.1 と 4.5) には飼料の影響はなかったが、b* 値は対照区が 11.3, 玄米・カンショ併給区が 9.5 となり、玄米・カンショ併給区のほうが低かった ($P<0.05$)。

考 察

実験 1 と 2 では、トウモロコシの全量を玄米で代替した試験区を設定したが、いずれの実験でも日増体量と飼料効率にちがいはなかった。30 年以上前の成績 (大武ら, 1971, 小林ら, 1984) でも、トウモロコシを、あるいはトウモロコシと大麦を玄米で全量代替しても、肥育後期豚は遜色なく発育した。実験 1 では、2mm のメッシュをとおして粉碎したトウモロコシと玄米をつかった。一方、実験 2 の 4 反復のうち 2 反復の玄米は飼料用米破砕機で破砕した。実験 3 でえた結果 (図 1) からわかるように、2mm のメッシュをとおして粉碎したトウモロコシよりも、飼料用米破砕機で破砕した玄米のほうが、粒度は大きかったと考えてまちがいないだろう。粒度が小さいほうが飼料の消化性はよくなるので (杉本ら, 1986, 高田ら, 2004), 破砕した玄米をつかった 2 反復では、飼料の消化性は対照区よりもわるくなっていた可能性がある。それでも日増体量と飼料効率に影響はなかった。これらの結果から、肥育後期豚であれば、トウモロコシの全量を玄米で代替しても、遜色ない飼養成績になると結論した。また、実験 2 の玄米 52.5% 配合区のように、トウモロコシ

表 8. 玄米とカンショの併給が日増体量、飼料摂取量、飼料効率におよぼす影響
(実験 3)

Table 8. Effects of brown rice and sweet potato feeding on live weight gain, feed intake, and feed efficiency of growing-finishing pigs (experiment 3)

	Control	Brown rice Sweet potato	SEM	
Initial weigh (kg)	36.2	36.3	0.9	
Final weight (kg)	120.4	118.9	1.6	
Grower period (36-70 kg)				
Live weight gain (g/d)	851	907	22	
Feed intake (g/d)	2156	2407	60	*
Feed efficiency	0.40	0.38	0.01	
Finisher period (70 kg-120 kg)				
Live weight gain (g/d)	895	876	29	
Feed intake (g/d)	2915	3110	106	
Feed efficiency	0.31	0.28	<0.01	
Overall trial				
Live weight gain (g/d)	875	885	18	
Feed intake (g/d)	2595	2814	37	*
Feed efficiency	0.34	0.32	<0.01	*

* P<0.05

の全量を、玄米とカンショを併給して代替しても、肥育後期豚の飼養成績は遜色ないこともあきらかとなった。

肥育前期から玄米を給与したときの影響を実験 3 で検討した。肥育後期でカンショと併給するために、実験 2 の結果も考慮して、玄米の配合割合は 52.5% を採用した。表 8 をみると、肥育前期から玄米を給与し、肥育後期はカンショと併給しても、日増体量には影響しないことがわかる。一方、差を検出した項目と検出なかった項目はあるが、飼料摂取量はつねに玄米・カンショ併給区で高く、飼料効率は低かった。実験 3 では、つかった玄米をすべて飼料用米破砕機で破砕したので、前期か後期かを問わず、給与した飼料の粒度は玄米・カンショ併給区のほうが大きかった (図 1)。配合した原料がちがうので、粒度だけで説明するのはむずかしいかもしれないが、この実験でも玄米・カンショ併給区の飼料のほうが消化性はわるかった可能性がある。したがって、全期間をとおした飼料効率が玄米・カンショ併給区で低かった理由のひとつには、粒度に起

因する消化性のちがいを指摘できる。実験 2 では影響がなかったことと、実験 3 でも肥育後期では影響が検出されなかったので、飼料用米とカンショを肥育後期豚に併給するときの配合割合は、飼料用米が 50% 程度、カンショは 20~25% がよいと結論した。肥育前期から飼料用米を給与するときの配合割合についても 50% 程度が上限だと考えているが、飼料用米の粒度もふくめて、さらに検討する必要がある。

差が検出できた項目とできなかった項目があるが、実験 1, 2, 3 をつうじて、玄米を給与すると皮下脂肪内層の飽和脂肪酸と 1 価不飽和脂肪酸の割合が高く、多価不飽和脂肪酸の割合が低くなった。とくに、オレイン酸の割合の上昇とリノール酸の割合の低下は、再現性が高い。これらの結果は先行研究 (勝俣ら, 2009; 脇屋ら, 2013) ととも一致しており、再現性の高い影響といってよい。一方、カンショを単独で給与したときの脂肪酸組成におよぼす影響は、玄米の影響ほどは大きくなかった (表 5)。カンショ残さ 10% 配合で、皮下脂肪内層の脂肪酸組成

表 9. トウモロコシとカンショの併給が皮下脂肪内層の脂肪酸組成 (%) と融点 (°C) におよぼす影響 (実験3)

Table 9. Effects of brown rice and sweet potato feeding on fatty acid composition (%) and melting point (°C) of inner layer of subcutaneous adipose tissue of growing-finishing pigs (experiment 3)

	Control	Brown rice Sweet Potato	SEM	
Palmitic acid	25.8	26.7	0.3	
Stearic acid	17.2	18.3	0.3	*
Oleic acid	43.2	46.0	0.5	**
Linoleic acid	10.6	5.4	0.4	**
Alpha-linolenic acid	0.6	0.6	<0.1	
Saturated fatty acids ^x	44.2	46.3	0.5	*
Mono unsaturated fatty acids ^y	44.7	47.7	0.5	**
Poly unsaturated fatty acids ^z	11.2	6.0	0.4	**
Melting point	39.5	39.9	0.4	

^x Myristic acid + Palmitic acid + Stearic acid, ^y Palmitoleic acid + Oleic acid, ^z Linoleic acid + Alpha-linolenic acid

* P<0.05, ** P<0.01

が変化することを松窪ら (2012) が報告しているが、松窪ら (2012) は肥育前後期をとおしてカンショ残さを給与している。本研究のように、肥育後期のみの給与は短すぎるのかもしれない。いずれにしても、カンショを玄米と併給することで、玄米の単独給与よりも、皮下脂肪内層の脂肪酸組成への影響が大きくなるとはいえない。

脂肪が融けはじめる温度 (融点) は、食べたときの口どけのよさに影響するので、肉質の評価にとって重要である。脂肪の融点は、脂肪酸の融点の影響を受けるが、今堀ら (2007) によると、炭素数 16 と 18 の脂肪酸の融点は、パルミチン酸が 63.1°C、パルミトレイン酸 -0.5~0.5°C、ステアリン酸 69.6°C、オレイン酸 12~16°C、リノール酸 -5.2~-5.0°C である。したがって、飽和脂肪酸の割合が高くなると融点が高くなり、不飽和脂肪酸の割合が高くなると融点は低くなる。これらの脂肪酸のうち、ステアリン酸の割合には、豚の皮下脂肪の融点と正の相関があり、融点におよぼす影響もステアリン酸がもっとも強い (WOOD ら, 1978)。ステアリン酸より影響は弱い、リノール酸の割合には融点と負の相関があった (WOOD ら, 1978)。皮下脂肪内層の融点が飼料の影響を受けた実験 2 では、飽和脂肪酸の割合は玄米の給与で高くなったものの、ステアリン酸の割合は変化しなかった。融点への影響を説明するとすれ

ば、対照区のリノール酸の割合が 16.5% と高く、多価不飽和脂肪酸の割合も高かったことが関係しているのかもしれない。実験 1 では、ステアリン酸と飽和脂肪酸の割合は変化せず、リノール酸の変化も小さかったことが原因で、融点に変化しなかった可能性はある。しかし、実験 3 では、ステアリン酸と飽和脂肪酸の割合は玄米とカンショの併給で高くなり、リノール酸の割合は 10.6% から 5.4% まで低くなったにもかかわらず、融点に差はなかった。このように、脂肪酸組成と融点の関係は複雑である。玄米を給与すると再現性よく脂肪酸組成は影響を受けるが、融点には明確な影響はないという結論になる。

「飼料用米を給与することで、慣行の豚肉や輸入豚肉と品質を差別化できれば」という観点からは、官能評価も重要である。実験 1 の対照区と玄米区と同じ飼料を給与したブタからえたロースは、畜産草地研究所において確立した分析型官能評価パネル (佐々木ら, 2012) でも識別できなかった (佐々木ら, 未発表データ)。カンショを玄米と併給したときの豚肉の識別性はまだ確認しておらず、今後の課題としたい。

胸最長筋の筋肉内脂肪含量、ロース芯面積、ドリップロス、加熱損失率、せん断力価、肉色、ならびに皮下脂肪内層の脂肪色には、玄米の給与、ある

いは、玄米とカンショの併給の明確な影響はなかった。この結果は、少なくとも肉質への悪影響はないということをしめしている。

本研究の結果から、肥育後期豚の飼料のトウモロコシの全量を玄米で代替しても飼養成績、肉質ともに問題はないと結論した。また、飼料用米とカンショを肥育後期豚に併給する実証試験を実施するときの配合割合は、それぞれ50%程度と20~25%程度がよいと結論した。

謝 辞

本研究の実施にあたり供試豚の管理を担当され、サンプル採取をサポートいただいた、畜産草地研究所業務2科豚舎班に心から感謝いたします。また、実験1の飼養試験のサポートをいただいた京谷隆侍博士（現福島県農業総合研究センター畜産研究所）に感謝いたします。本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」の一環として実施し、統計処理には農林水産研究情報総合センターのシステムを利用した。

文 献

新垣裕子・高橋圭二・村野多可子：2012, 中ヨークシャー種肥育豚における飼料用米と規格外カンショによるトウモロコシ代替給与技術の開発, 日豚会誌, **49**, 183.
FOLCH, J., M. LEES and G.H.S. STANLEY : 1957, A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.
今堀和友・山川民夫（監修）：2007, 生化学辞典, 第4版, 東京化学同人, 東京.
梶 雄次・勝俣昌也・鳥居伸一郎：2001, 乾燥カンショ主体飼料の給与が肥育後期豚の発育と肉質に及ぼす影響, 九州農業研究, **63**, 108.
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**, 63-69.

小林博史・柳川道夫：1984, 豚の肉質改善に関する試験（第5報）飼料米の給与が豚肉質に及ぼす影響, 埼玉試研報, **22**, 71-77.
松窪敬介・家入誠二・加地雅也・村上徹哉・勝俣昌也：2012, リジン不足飼料の給与およびカンショ残さの添加の有無が肉豚の背脂肪中脂肪酸組成および筋肉中脂質過酸化に及ぼす影響, 日豚会誌, **49**, 38-43.
三津本充・佐々木啓介・川島知之・佐伯真魚・立川洋・山本英雄：2006, 肥育豚への食品製造残さ発酵リキッド飼料と茶カテキン類の給与が増体, 枝肉性状, および冷蔵保存中の豚肉品質に及ぼす影響, 日畜会報, **77**, 409-416.
NISHIOKA, T. and M. IRIE : 2005, Evaluation method for firmness and stickiness of porcine perirenal fat, *Meat Science*, **70**, 399-404.
大武由之・中里孝之・真田 武・新井忠夫・滑川治朗：1971, 玄米給与が豚脂の脂肪酸ならびにトリグリセリド組成におよぼす影響, 日畜会報, **42**, 551-558.
佐々木啓介・本山三知代・成田卓美・大江美香・吉村 望・田島淳史・野村 将・千国幸一：2012, 畜産草地研究所（つくば地区）における分析型官能評価パネルの確立, 畜草研研報, **12**, 9-17.
杉本亘之・高橋正也：1986, 豚におけるトウモロコシの粒度と消化率の関係, 日豚研誌, **23**, 57-61.
高田良三・市川隆久・山崎正史・大塚 誠・甘利雅弘：2004, 養豚飼料の粉碎およびフィーターゼ添加がその消化率に及ぼす影響, 日畜会報, **75**, 199-204.
常石英作・梶 雄次・柴 伸弥・松崎正敏・勝俣昌也・鳥居伸一郎：2002, 肥育豚の筋肉中脂肪酸組成に及ぼすカンショ給与の影響, 西日本畜産学会報, **45**, 59-62.
脇屋裕一郎・大曲秀明・ト部大輔・河原弘文・宮崎秀雄・明石真幸・永瀧成樹・井上寛暁・松本光史：2013, 玄米, 大麦および製茶加工残さの混合給与における玄米配合割合が夏季の肥育後期豚の飼養成績と肉質に及ぼす影響, 日豚会誌, **50**, 147-156.
WOOD, J.D., M.B. ENSER, H.J.H. MACFIE, W.C. SMITH, J.P. CHADWICK, M. ELLIS : 1978, Fatty acid composition of backfat in large white pigs selected for low backfat thickness, *Meat Science*, **2**, 289-300.

Effects of Replacement of All of Corn Contained in Feed with Brown Rice and Feeding Brown Rice Together with Sweet Potato on Growth Performance and Quality of Pork of Fattening Pigs

Masaya KATSUMATA¹, Akane ASHIHARA, Aiko ISHIDA and Hiroyuki KOBAYASHI²

NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0901, Japan

¹Present address ; School of Veterinary Science, Azabu University, Sagamihara, Kanagawa 252-5201, Japan

²Present address ; Nagano Prefecture Josho Agriculture Extension Centre, Ueda, Nagano, 386-8555, Japan

The aim of this study was to clarify whether all of corn contained in diet for finishing pigs could be replaced by brown rice without hindering growth performance and quality of pork and to elucidate appropriate ratios of brown rice and sweet potato when both of them are contained in a diet for finishing pigs. In the experiment 1, we replaced all of corn contained in a diet, the ratio of corn was 75%, with brown rice. Live weight gains, feed intake, and feed efficiencies were not affected by the replacement. In the experiment 2, diets contained both brown rice and sweet potato were given to finishing pigs. There were four levels of ratios of brown rice, 0, 30, 52.5, and 75%, while those of sweet potato were 0, 22.5, 22.5, 0%, respectively. Live weight gains and feed intake were not affected by the diets. Feed efficiencies were tended to be affected ($P < 0.10$); the average feed efficiencies of pigs given the diet contained 30% of brown rice and 22.5% of sweet potato were the lowest whereas feed efficiencies did not differ among the other three groups. In order to increase the amount of brown rice given to a pig, pigs were given diets contained 52.5% of brown rice from 30kg to 120kg in the experiment 3. When these pigs reached to the finisher period (70 kg), they were also given sweet potato (22.5%) together with brown rice. Feed intake during the grower period and that of during the overall trial were higher in the pigs given both brown rice and sweet potato ($P < 0.05$). Further, feed efficiencies during the overall trial were lower in those pigs ($P < 0.05$). However, growth performances were not affected by the diets during the finisher period. Throughout the three experiments, feeding brown rice increased total ratios of saturated fatty acids and those of mono-unsaturated fatty acids of inner layer of subcutaneous fat while it decreased those of poly-unsaturated fatty acids. In particular, increases in ratios of oleic acid and decreases in ratios of linoleic acid were highly reproducible. Although melting points of inner layer of subcutaneous fat were higher in pigs given brown rice in the experiment 2, feeding brown rice did not affect them in the experiments 1 and 3. Feeding brown rice and feeding both brown rice and sweet potato did not affect drip losses and shear force values of *longissimus dorsi* muscle throughout the three experiments. In conclusion, there won't be any major problems of growth performances and qualities of pork even though all of corn contained in diet for finishing pigs is replaced by brown rice. We also conclude that appropriate ratios of brown rice and sweet potato when both of them are contained in a diet for finishing pigs were approximately 50% and 20 to 25%, respectively.

Jpn. J. Swine Science, **52**, 1 : 17-28

Key words : brown rice, sweet potato, fattening pigs