

食品残渣を利用した豚用ペースト飼料の開発

中村嘉之¹⁾・瀧沢慶太¹⁾・稲垣宏俊²⁾・木下公夫³⁾

Development of Paste Feeding by Food Waste for pigs

Yoshiyuki NAKAMURA, Keita TAKIZAWA, Hirotohi INAGAKI, Kimio KINOSHITA

要約 本研究では、食品残渣を原料に給餌システムの導入費や、製造時の乾燥コストを削減できる水分含量約70%のペースト飼料（PE飼料）の開発を実施した。PE飼料を育成前期から給与することで、増体が市販飼料と変わらず、霜降り豚肉の生産が可能であり、オレイン酸含量(18:1)が2ポイント程度高い、付加価値のある豚肉を生産することが可能である。また、PE飼料中にリジン・メチオニンを添加することで、増体や飼料効率が改善され、PE飼料中のMix残飯含量をさらに20%増量しても、発育や肉質に影響がなく、コスト削減が可能である。

本研究では、食品残渣を利用した豚用ペースト飼料（以下、PE飼料）の開発を目的とした。これまでに、食品残渣を用いた豚用飼料の開発が数多く行われてきたが、その製造方法は大きく分けて、リキッドフィーディング方式、乾燥方式およびサイレージ調整方式の3つに大別される（配合飼料供給安定機構，2006）。これらの製造方法はそれぞれ異なり、製造した製品の品質や使用方法に一長一短がある。リキッド飼料は、主にホエーや廃乳、高水分の食品残渣を原料に製造され、原料コストが低く、前処理する必要があまりないため、コストの削減と省力化が可能である（川島，2003）。しかしながら、乾燥飼料に比べ水分含量が高く、製品重量が重いため、原料輸送コストがかかる。また、パイプラインなどの給与システムの構築が不可欠であり、衛生上の管理や設備導入に時間や経費がかかる（有元，2010）。乾燥飼料は、通常の給餌システムで給与が可能で、輸送も容易であり長期間の保存が可能であるが、原料中の水分を乾燥するための燃料代がかかってしまう（藤野ら，2005）。また、サイレージ調整方式は、特殊なシステムを必要とせず、ローコストでの製造が可能であるが、良好な乳酸発酵を維持するために用い

る原料が限られてしまう傾向があり、調整に手間がかかり、良い乳酸発酵状態を呈するのに2週間程度必要であるなどの問題点がある（中村ら，2005）。

そこで、乾燥飼料による自動給与システムを用いずに食品残渣飼料の利用を希望する農家を対象に、特殊な給与システム導入を必要とせず、輸送や乾燥コストがあまりかからないPE飼料の開発を試みた。PE飼料は、これまで試みられてきた乾燥飼料やサイレージ飼料より水分含量が高く、リキッド飼料より水分が少ない（阿部ら 2000）粥状の物性を特徴に持つ。原料には米類や麺類、大豆製品など日本独特の食品残渣を多用するため調達コストが少なく、給与するのに特殊な機器が必要ない、さらにサイレージ飼料より製造時間や保存スペースをとらないなどの利点が多い。また、これまでの食品残渣を利用した飼料の給与試験の報告では、食品残渣飼料と市販飼料を混合し、育成後期（体重約60kgから）からの給与試験が多いため、育成前期（体重約40kg）からPE飼料100%を給与し、出荷段階まで発育させることが可能か否か、その発育や肉質、市場評価について調査した。なお、本研究は受託試験事業「食品廃棄物由来のペースト飼料による豚の肥育試

¹⁾ 品種開発・ブランド育成研究担当，²⁾ (株)ジェイ・アール・エス，³⁾ (株)木下フレンド

験」による成果の一部であることを付記する。

材料および方法

1 ペースト飼料の製造

実験1：飼料原料は大豆粕，ふすま，ビタミンプレミックス，第2リン酸カルシウム以外は食品廃棄物を用いた。食品廃棄物には，飲食系，食堂，コンビニエンスストア，外食産業および学校給食センター等の事業系の一般廃棄物と食品工場などの産業廃棄物の食品残渣を用いた。

表1のとおり，Mix 残飯（事業系一般廃棄物），野菜くず，ライス，うどん，パンなどの産業廃棄物の食品残渣を添加し（図1），100℃で30分間攪拌機で混合および加熱処理し（図2），ペースト状化したペースト飼料（PE 飼料）を作製し大型ストッカー（図3）に保存した後，製造から5日以内に給与した。

表1 実験1の飼料配合設計 重量比(%)

	PE 区	切り替え区		市販区
		40~60kg	60~110kg	
市販飼料		100		100
Mix 残飯	35.0		35.0	
野菜くず	27.0		27.0	
ライス	12.0		12.0	
うどん	12.0		12.0	
パン	10.0		10.0	
ふすま	2.0		2.0	
大豆粕	2.0		2.0	
ビタミンプレミックス	0.06		0.06	
第2リン酸カルシウム	0.4		0.4	
合計	100.46	100.0	100.46	100.0

実験2：実験1のPE 飼料，およびPE 飼料にリジンおよびメチオニンを添加したL/M 飼料を作製した(表2)。リジンおよびメチオニン添加量は，必要量の1.3倍で飼料設計した。

実験3：表3のとおり，PE 飼料中のMix 残飯の配合割合(重量比35%)をさらに10%もしくは20%増量した飼料(Mix45%PE 飼料、Mix55%PE 飼料)を作製し，また，L/M 飼料中のMix 残飯量を10%もしくは20%さらに増量した飼料(Mix45%L/M 飼料、Mix55%L/M 飼料)を作製した。すべての実験区でのタンパク質の不足分は，大豆粕を増量し補った。

表2 実験2の飼料配合設計 重量比(%)

	PE 区	L/M-PE 区		L/M 区
		40~60kg	60~110kg	
Mix 残飯	35.0	35.0	35.0	35.0
野菜くず	27.0	27.0	27.0	27.0
ライス	12.0	12.0	12.0	12.0
うどん	12.0	12.0	12.0	12.0
パン	10.0	10.0	10.0	10.0
ふすま	2.0	2.0	2.0	2.0
大豆粕	2.0	2.0	2.0	2.0
ビタミンプレミックス	0.06	0.06	0.06	0.06
第2リン酸カルシウム	0.4	0.4	0.4	0.4
リジン		0.19		0.19
メチオン		0.13		0.13
合計	100.46	100.78	100.46	100.78

表3 実験3の飼料配合設計 重量比(%)

	L/M-PE 区		Mix45%区		Mix55%区	
	40~60kg	60~110kg	40~60kg	60~110kg	40~60kg	60~110kg
	PE 飼料	97.0	97.0	86.4	86.4	76.4
Mix 残飯	0.0	0.0	10.0	10.0	20.0	20.0
大豆粕	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ビタミンプレミックス	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
第2リン酸カルシウム	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
リジン	0.36	0.0	0.36	0.0	0.36	0.0
メチオン	0.22	0.0	0.22	0.0	0.22	0.0
合計	101.04	100.46	100.44	99.86	100.44	99.86

2 供試豚

県内の養豚農家2戸(S 農家，Y 農家)において，平均体重40kgの3元交雑豚(LWD)を用いて，出荷体重110kgに達するまでPE 飼料，L/M 飼料，Mix45%PE 飼料，Mix55%PE 飼料，Mix45%L/M 飼料およびMix55%L/M 飼料のいずれかを4~5ヶ月間給与した。試験豚は，それぞれの実験区で群飼し，実験1，2においては同腹の2腹分を均等に各区に配分した。

3 給与試験

実験1：S 農家において，PE 区は体重40kgから110kgまで全期間にわたりPE 飼料100%を給与した。切り替え区は，体重40kgから60kgまで市販飼料(肥育前期)100%を給与し，60kgから110kgまでPE 飼料100%を給与した。市販飼料区は肉豚用飼料(肥育前期および肥育後期飼料)を体重40kgから110kgまで全期間にわたり給与した。各区，去勢3頭，雌2頭の計15頭を用いて，飼料給与は朝夕2回実施した。

実験2：Y 農家において，PE 区は体重40kgから110kgまで全期間PE 飼料を給与し，L/M-PE 飼料区は，体重40kgから60kgまでL/M 飼料を給与し，体重60kg

から 110kg まで PE 飼料を給与した。L/M 区は、体重 40kg から 110kg まで全期間 L/M 飼料を給与した。各区、去勢 3 頭、雌 2 頭の計 15 頭を用いて、飼料給与は朝夕 2 回実施した。

実験 3: S 農家において、L/M-PE 区は実験 2 と同様に、体重 40kg から 60kg まで L/M 飼料を給与し、体重 60kg から 110kg まで PE 飼料を給与した。Mix45% 区および Mix55% 区は、体重 40kg から 60kg まで Mix45%L/M 飼料もしくは Mix55%L/M 飼料を給与し、体重 60kg から 110kg まで Mix45%PE 飼料もしくは Mix55%PE 飼料を給与した。各区、去勢 3 頭、雌 2 頭の計 15 頭を用いて、飼料給与は朝夕 2 回実施した。



図 1 PE 飼料に用いた食品残渣



図 2 製造用加熱攪拌機



図 3 大型ストッカーに保存した PE 飼料

4 調査項目

(1)飼料分析

PE 飼料の一般成分（水分、粗タンパク質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分、可溶無窒素物）、塩分、リン、カルシウム、重金属（鉛、カドミウム、水銀、総ヒ素）、リジン、メチオニン、過酸化価、一般細菌数、大腸菌群数および乳酸菌数を調査した。

(2)発育調査

実験 1～3 まで、飼養試験開始から出荷時までの検定終了日齢、一日平均増体重 (DG) および体重 40kg から 110kg までの飼料要求率を調査した。実験 2 においては、育成前期および後期におけるリジン・メチオニン添加効果を、実験 3 においては、Mix 残飯増量による影響を調査した。

(3)肉質調査

実験 1～3 について、以下のとおり分析を行った。発育調査同様に実験 2 において、育成前期および後期におけるリジン・メチオニン添加による肉質に与える効果と、実験 3 においては、Mix 残飯増量による肉質に与える影響を調査した。

a 枝肉成績

実験 1～2 について、背割り後の左側枝肉を用いて、と体長、と体幅および背腰長を計測した。背脂肪厚はデジタルスケール (CD-20C Mitutoyo Co) を用いて、頭部側を (前)、中間部分 (中)、4-5 肋間直上を (後) と区分して計測し、その 3 部位平均値を算出した。その他、腹脂肪厚の前部、中間部分、後部を計測し、その 3 部位平均値を腹脂肪厚とした。さらに、ロース断面積および歩留まりについて調査した。実験 3 においては、背脂肪厚 (市場計測データ)、ロース断面積および歩留まりについて計測した。ロース断面積は、ロース部分の断面の輪郭を透明シートでトレースした後、スキャナーで読み込み、adobe photo shop elements12 で画像処理した後、Image J ソフトを用いてロース断面積を計測した。

b 肉色および脂肪色

実験 1～3 について、ロース断面および皮下脂肪内層をカラーファン (CR-200 MINOLTA Co) により L* 値 (明るさ: 数値が高いほど明るい)、a* 値 (赤色度: 数値が高いほど赤い)、b* 値 (黄色度: 数値が高いほど黄色い) を測定した。

c マーブリングスコア (MBS)

実験 1～3 について、ロース断面の外観から、霜降り

状態をMBS(米国NPCC基準)を用いて評価した。

d 筋肉内脂肪含量(IMF)および脂肪酸組成調査

実験1~2について、IMFは、背脂肪を除去したロース部分の赤肉のみを用いた。また、脂肪酸組成は最後肋骨直上の皮下脂肪内層について調査した。

e 腎周囲脂肪融点の測定

実験1~3について、左枝肉の腎周囲脂肪20gを細切した後、食肉の理化学分析および官能評価マニュアル(2010)に準じて105°Cで加熱抽出後へマトクリット管に吸引し、-20°C保管後に5°Cから加温(0.5°C/分)し、融点を測定した。ロース断面積、肉色および脂肪色、MBSおよびIMFは、最後肋骨直上部から前方に5cm背脂肪を含んだ背最長筋部分を切り出し、測定に用いた。

(4) 市場評価

実験1および実験2の肉豚各試験区5頭ずつ計30頭と、実験3の各試験区10頭ずつ計30頭を市場に出荷し、枝肉の格付けを調査した。

結果

1 飼料分析

PE飼料および市販飼料の一般成分および塩分、リン、カルシウム、過酸化物質は、表4に示すとおりで、重金属はいずれも検出されなかった。リジンおよびメチオニンそれぞれ96.0mg/100g、51.0mg/100g、大腸菌群は検出されず、一般細菌数は1.4×10³/gで乳酸菌数は、1.2×10³/gであった。

表4 飼料分析結果

項目	PE飼料(乾物中)	市販飼料(乾物中)
水分	69.3%	13.7%
粗たんぱく質	4.8%(15.6)	18.1%(21.0)
粗脂肪	2.0%(6.5)	4.8%(5.6)
粗繊維	0.5%(1.6)	2.9%(3.7)
粗灰分	1.1%(3.6)	4.1%(4.8)
可溶無窒素物	21.8%(71.0)	70.2%(81.3)
塩分(NaClとして)	0.45 mg/100g	0.29mg/100g
リン	150 mg/100g	-
カルシウム	53.7 mg/100g	-
リジン	96.0 mg/100g	-
メチオニン	51.0 mg/100g	-
過酸化物質	7.9 meq/kg	-

*: 育成後期飼料

2 発育調査

表5のとおり実験1における検定終了日齢、DGおよび飼料要求率は、PE区、切り替え区、市販区の順で、

検定終了日齢(日)がそれぞれ、215日、222日、234日であった。DGは、PE区および切り替え区と市販区はそれぞれ、825.9g、830.0g、674.2gであったが有意差は認められなかった。各区の飼料要求率は、給与重量を水分含量で補正し市販飼料重量で換算し比較した結果、有意差は認められなかった。

実験2における検定終了日齢、DGおよび飼料要求率は、PE区、L/M-PE区、L/M区の順で検定終了日齢が短くなり、PE区とL/M区間に有意差が認められ(p<0.01)、PE区とL/M-PE区においても同様に有意差が認められた(p<0.05)。DGにおいては、L/M区がPE区およびL/M-PE区に対して有意に高かった(p<0.05)。飼料要求率については、PE区とL/M区に有意差が認められた(p<0.05)。

実験3における検定終了日齢、DGおよび飼料要求率は、L/M-PE区およびMix45%区およびMix55%区に有意差は認められなかった。

表5 発育調査結果

実験区	試験区	検定終了日齢(日)	DG(g)	飼料要求率(kg)	
				体重40kg~60kg	体重60kg~110kg
実験1	PE	215	825.9	4.37* (12.87)	4.86* (14.30)
	切り替え	222	830.0	3.15	3.87* (11.39)
	市販	234	674.2	2.95	4.99
実験2	PE	194.2 ^a	860.4 ^a		13.3 ^a
	L/M-PE	166.2 ^b	853.1 ^a		12.8
	L/M	159.6 ^{bc}	1188.7 ^b		9.7 ^b
実験3	L/M-PE	188.0	921.0		10.3
	Mix45%	171.0	842.4		11.5
	Mix55%	176.8	829.6		11.3

同一実験区縦列異符号間に有意差あり、a:b P<0.05, a:c P<0.01 (Bonferroni法による)
* 市販飼料の水分含量を基準で補正した数値()内は、PE飼料の現物重量

3 肉質調査

(1) 枝肉成績

表6のとおり実験1における、と体長および背腰長は、切り替え区がPE区および市販飼料区に比べ有意に長かった(p<0.05)(図4)。と体幅、背脂肪厚、腹脂肪厚およびロース断面積において、各区間に有意差は認められなかったが、歩留率において、切り替え区が有意に市販飼料区と比較して高かった(p<0.05)。

実験2においては、PE区、L/M-PE区およびL/M

区において、と体長、と体幅および背腰長に有意差は認められず、背脂肪厚、腹脂肪厚、ロース断面積および歩留率も同様に有意な差は認められなかった。

実験 3 における背脂肪厚（と場測定値）およびロース断面積および歩留率の各区間における有意差は認められなかった。

Mix55%区間に有意差が認められた ($p<0.01$)。

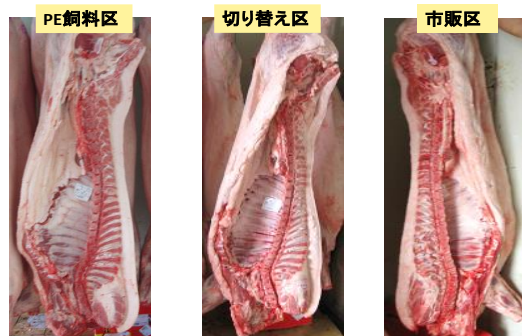


図 4 枝肉の外貌

表 6 枝肉成績

実験区	試験区分	と体長 (cm)	と体幅 (cm)	背腰長 (cm)	背脂肪厚 (cm)	腹脂肪厚 (cm)	ロース断面積 (cm ²)	歩留 (%)
実験 1	PE	92.6 ^a	35.5	77.3 ^a	4.1	2.5	36.4	69.2
	切り替え	97.0 ^b	37.8	81.8 ^b	3.5	2.7	45.6	70.1 ^a
	市販	93.5 ^a	37.3	78.3 ^a	3.7	2.9	38.4	66.0 ^b
実験 2	PE	95.9	38.4	78.9	4.0	2.21	40.4	69.7
	L/M-PE	94.2	39	79.2	3.7	1.79	41.1	73.5
	L/M	96.8	36.8	81.8	3.7	2.10	36.2	73.3
実験 3	L/M-PE	-	-	-	2.7*	-	35.0	69.5
	Mix45%	-	-	-	2.0*	-	34.9	67.2
	Mix55%	-	-	-	1.5*	-	37.6	69.0

同一実験区縦列異符号間に有意差あり, $P<0.05$ (Bonferroni 法による)

*: 市場計測データ

(2) 肉色および脂肪色

表 7 のとおり、実験 1 の各試験区における、ロース断面の肉色および皮下脂肪の脂肪色において L*値, a*値, b*値に有意差は認められなかった。しかし、PE 飼料は肉色における L*値を低下させ、a*値を上昇させる傾向を示した。

実験 2 では、ロース断面の肉色の L*値において、L/M-PE 区と L/M 区間に有意差が認められ ($p<0.05$)、b*値において、PE 区および L/M 区において、有意差 ($p<0.05$) が認められたことから、PE 飼料へのリジンおよびメチオニンの育成後期までの添加は、肉色を暗くし、黄色味を減らすことが明らかとなった。

実験 3 では、ロース断面の肉色の L*値において、L/M-PE 区および Mix55%区間に有意差が認められ ($p<0.01$)、a*値においても、L/M-PE 区および Mix55%区間に有意差が認められた ($p<0.05$)。また、皮下脂肪の脂肪色において、L*値が L/M-PE 区と Mix45%区および Mix55%区に有意差が認められた ($p<0.05, p<0.01$)。また、a*値において L/M-PE 区と

表 7 肉色および脂肪色

実験区	試験区分	ロース断面			皮下脂肪(内層)		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
実験 1	PE	64.2	7.3	1.1	64.9	4.1	3.2
	切り替え	66.1	7.1	1.3	58.5	2.8	2.8
	市販	80.1	5.8	1.0	49.2	3.0	2.0
実験 2	PE	64.8	6.3	3.2 ^a	94.4	0.4	2.3
	L/M-PE	69.3 ^a	5.1	2.2	97.1	-1.1	1.4
	L/M	56.7 ^b	7.1	0.5 ^b	87.0	2.0	2.5
実験 3	L/M-PE	57.1 ^a	7.3 ^a	5.3	74.6 ^a	3.3 ^a	3.7
	Mix45%	68.9	6.1	4.5	89.5 ^c	-0.1	3.5
	Mix55%	78.4 ^b	5.1 ^c	3.7	99.5 ^c	-3.1 ^b	3.3

同一実験区縦列異符号間に有意差あり, a-b $P<0.01$, a-c $P<0.05$ (Bonferroni 法による)

(3) マーブリングスコア

実験 1 の MBS は、PE 区が最も高く、市販区が最も低かった (表 8)。PE 区と市販区 ($p<0.01$)、切り替え区と市販区で有意差が認められた (図 5) ($p<0.05$)。

実験 2 および実験 3 においては、各区間に有意な差

は認められなかった (表 8).

(4) 筋肉内脂肪含量および脂肪酸組成

実験 1 における筋肉内脂肪含量において、各区間に有意な差は認められなかったが (表 8), 脂肪酸組成において、12:0, 14:0, 17:0, 18:1, 18_{3n}-3 において各区間に有意差が認められた ($p<0.01$ もしくは $p<0.05$).

とくに、うま味を左右する 18:1 (オレイン酸) 含量は、PE 区および切り替え区がそれぞれ 42.9%, 43.2%で市販飼料区 40.9%に比較して有意に高かった ($p<0.05$). また、軟脂の原因となる 18:2n-6 (リノール酸) 含量に有意差は認められず、リノール酸およびステアリン酸比率や飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸比率においても各区間に有意差は認められなかった (表 9).

実験 2 における筋肉内脂肪含量において、各区間に有意な差は認められなかった (表 8). 脂肪酸組成では、表 9 のとおり 14:0 において PE 区および L/M 区に有意差が認められたが ($p<0.05$), 他の脂肪酸組成に有意差は認められなかった. リノール酸およびステアリン酸比率に有意差は無く飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸割合においても各区間に有意差は認められなかった (表 9).

(5) 腎周囲脂肪融点

実験 1 において脂肪の融点は、PE 区で 37.9℃, 切り替え区で 38.6℃, 市販飼料区で 47.0℃ (表 8) となり、PE 区が最も低く、市販飼料区が最も高かった. PE 区および切り替え区と市販飼料区に有意差が認められた ($p<0.05$).

実験 2 および実験 3 においては、各区間に有意な差は認められなかった (表 8).

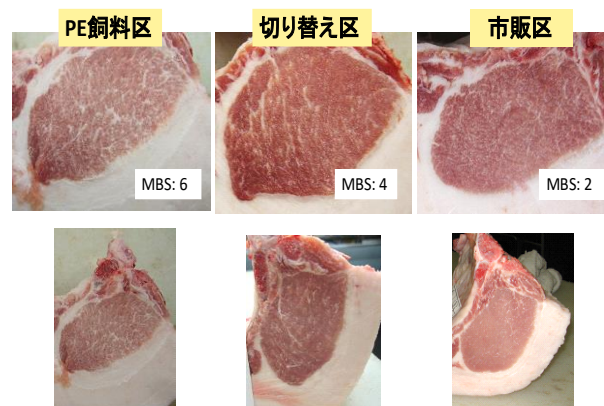


図 5 実験 1 のロース断面の外貌

4 市場評価

実験 1 では、PE 区、切り替え区および市販区の枝肉における市場での並物率はそれぞれ、80%, 100%, 100%で、等外率 20%, 0%, 0%で各区間に有意差は認められなかった.

実験 2 における、L/M 区、L/M-PE 区および PE 区の枝肉における市場での中物率はそれぞれ、11.1%, 20%, 10%で、並物率は 77.7%, 80%, 70%, 等外率 11.1%, 0%, 20%で各区間に有意差は認められなかった.

実験 3 における、L/M-PE 区と Mix45%区および Mix55%区の枝肉の市場での並物率は、それぞれ 40%, 80%, 100%で、L/M-PE 区と Mix55%区で有意差が認められ、等外率は 30%, 10%, 0%で、L/M-PE 区と Mix55%区で有意差が認められた

(図 6).

表 8 IMF, MBS および脂肪の融点

実験区	試験区分	IMF (%)	MBS	腎周囲脂肪融点(°C)
実験 1	PE	7.68	4.0 ^a	37.9 ^a
	切り替え	6.00	3.2 ^{bc}	38.6 ^a
	市販	4.48	2.2 ^b	47.0 ^b
実験 2	PE	4.28	4.4	43.1
	L/M-PE	4.78	3.6	42.0
	L/M	4.00	3.8	42.6
実験 3	L/M-PE	-	3.8	36.2
	Mix45%	-	3.6	37.2
	Mix55%	-	4.4	38.8

同一実験区縦列異符号間に有意差あり,
a:b P<0.05, b:c P<0.01 (Bonferroni 法による)

中村ら：食品残渣を利用した豚用ペースト飼料の開発

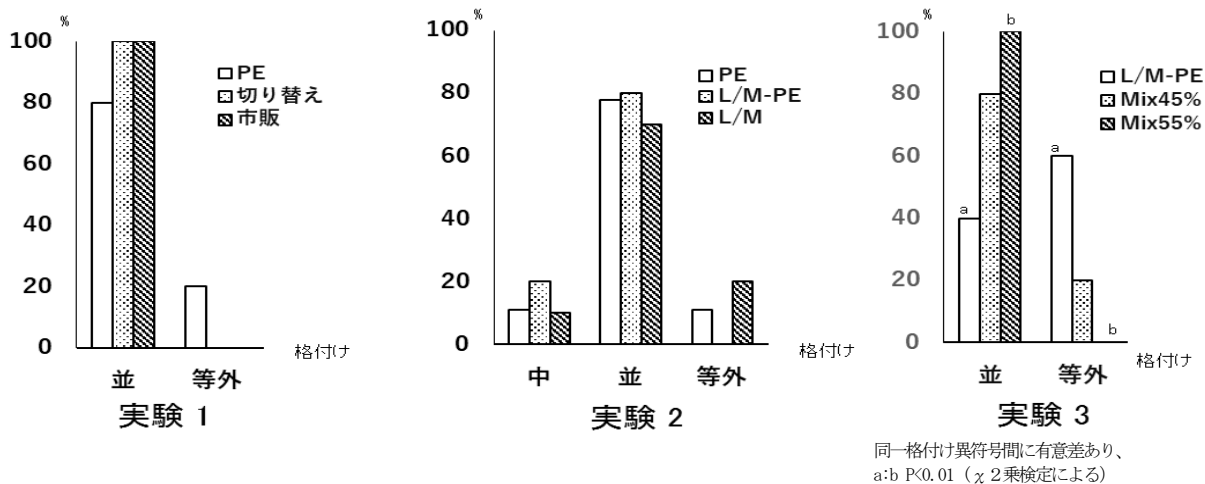


図 6 市場評価 枝肉格付け比率

表 9 脂肪酸組成

脂肪酸組成	試験区分 (実験1)			試験区分 (実験2)		
	PE	切り替え	市販	PE 飼料	L/M-PE 飼料	L/M 飼料
12:0	0.40 ^a	0.36 ^{ab}	0.20 ^c	0.24	0.18	0.16
14:0	2.00 ^a	1.94 ^{ad}	1.60 ^b	1.82 ^b	1.60	1.52 ^c
16:0	24.96	25.10	26.18	26.28	25.94	25.64
16:1	1.60	1.70	1.64	1.68	1.76	1.58
17:0	0.30 ^{ac}	0.28 ^a	0.38 ^b	0.26	0.22	0.22
17:1	0.16	0.16	0.22	0.10	0.10	0.02
18:0	14.80	14.70	16.40	16.54	16.40	16.88
18:1	42.90 ^b	43.24 ^b	40.96 ^c	42.86	43.68	43.82
18:2n-6	9.04	8.74	8.98	7.46	7.36	7.32
18:3n-3	1.18 ^b	1.10 ^b	0.80 ^c	0.58	0.58	0.54
20:0	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.30
20:1	0.88	0.90	0.94	1.04	0.96	1.06
20:2n-6	0.36	0.36	0.38	0.38	0.38	0.38
20:3n-3	0.12	0.14	0.20	0.00	0.00	0.00
20:4n-6	0.18	0.18	0.13	0.00	0.04	0.00
20:5n-3	0.02	0.00	0.15	0.00	0.04	0.00
22:6n-3	0.20	0.16	0.20	0.12	0.08	0.16
未同定	0.68	0.70	0.72	0.36	0.38	0.40
飽和脂肪酸	46.46	46.32	48.76	54.22	54.98	54.88
不飽和脂肪酸	53.54	53.68	51.58	45.78	45.02	45.12

同一実験区横列異符号間に有意差あり、
a:b P<0.01, b:c P<0.05, b:d P<0.01, (Bonferroni 法による)

考 察

食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律が2001年に施行され、食品廃棄物を発生させる食品製造業や食品流通業、飲食店業等は食品関連事業者と位置付けられ、一定基準の食品循環資源の再生利用が求められている。これまでに、食品残渣を利用した飼料化が数多く試みられてきたが、設備投資や輸送コストのかかるリキッド飼料や乾燥コストがかかる乾燥飼料と比較してコストのかからない豚用ペースト飼料の開発を試みた。

実験1では、PE飼料の分析を行うとともに育成前期からPE飼料のみで出荷日齢までの肥育が可能か、またその肉質について調査した。

その結果、PE飼料の一般成分における粗タンパク質の乾物換算含量は、日本飼養標準(2013)における育成前期の15.5%より高く、豚用配合飼料公定規格の子豚育成用配合飼料の14.0%より高く問題ないものと考えられた。また、粗脂肪、粗灰分および粗繊維も豚用配合飼料公定規格の子豚育成用配合飼料の要求量を満たしていた。一方、非フィチンリンおよびカルシウム、リジンやメチオニン+シスチン含量は、日本飼養標準における育成前期の要求量それぞれ、0.6%、0.27%、0.85%、0.52%に対してそれぞれ、0.15% (全リジンの値)、0.053%、0.096%、0.051% (メチオニンのみの値)と大きく下回っていた。

肥育豚の発育状態を見ると、DGや検定終了日齢に各区に有意差は認められなかったが、PE区および切り替え区の方が市販飼料区よりDGが高く、検定終了日齢が短くなる傾向を示した。これまで、当所で行った食品残渣を用いた好気性発酵乾燥飼料の給与試験において、市販飼料に50%添加しても発育に問題はなかった(2003, 山井ら)ことから、PE飼料でも同様に発育に与える影響は少ないものと考えられる。

また、PE飼料を給与するとロース断面のL*値を低下させ、a*値を上昇させる傾向が認められたが、皮下脂肪ではL*値が高まる傾向が見られた。食品残渣50%を市販飼料に代替し給与した肥育試験では、肉色のL*値を低下させることが報告されており同様の結果となった(2005, 藤野ら)。また、PE飼料給与はMBSを向上させ、筋肉内が霜降りを呈することが解った。このことは、飼料中のリジン含量が不足することで、カルニチンの生成が抑制され、脂肪の酸化抑制がおこり脂肪が

蓄積され(2005, Katumataら)、MBSが高くなり霜降り状態を呈する報告(2010, 中村ら)と同様の結果となった。

また、PE飼料を給与することで、有意に腎周囲脂肪の融点が下がることが解った。食品残渣給与することで、脂肪の融点が下がり、軟脂の豚になってしまうことが大きな問題となっており、軟脂の豚は、特に脂肪酸のうちリノール酸割合や、不飽和脂肪酸割合が高まることで発生し(丹羽ら, 2002)、大きく市場評価を下げる原因となる。今回の実験では市販飼料と比較して、飽和脂肪酸および不飽和脂肪酸割合に有意な差は見られず、融点は低下したものの軟脂の傾向は認められなかった。これは、食品残渣原料に不飽和脂肪酸を多く含む魚のアラや、リノール酸などの植物系油脂を多く含む食品残渣をほとんど用いなかったことに起因するものと思われた。通常市販飼料中には、融点を下げないためにカボック粕が配合されており、PE飼料中にも同様にカボック粕を添加することで融点を上げることも可能であると思われる。また、食味試験を実施していないが、脂肪酸組成のうち、PE飼料を給与することでオレイン酸含量が2ポイント程度上昇した。オレイン酸は香りや食味に対して正の相関の示し(谷ら, 2003)、食味が高まることが報告されていることから(中村ら, 2015)、味が良くなる可能性が示唆された。

実験2では、実験1で得られた結果から、育成前期にリジンやメチオニンの不足量を添加し、筋肉や骨格の成長を促すとともに、育成後期にリジン欠乏状態とすることによるMBSの変化を検討した。その結果、育成前期からリジン・メチオニンを添加することで、検定終了日齢が有意に短くなり、また育成全期間を通じてリジン・メチオニンを添加することでDGが向上し、飼料要求率が改善したことから、育成前期からのリジン・メチオニン添加は、骨格や筋肉の生合成を促進し、育成中期から後期にかけて、肉付のスピードを速くするとともに、飼料効率を改善することが明らかとなった。リジンは豚の発育に影響する第一制限アミノ酸であり、給与量が少ないと発育が低下することが明らかとなっており(農研機構, 2013)、実験2において、リジンおよびメチオニン含量が必要量の1.3倍になるように飼料設計したため、通常より多給状態となり、増体がさらに向上したと考えられた。また、肉色において、育成中期から後期まで添加することにより、L*値およびb*値を有意に低下させることから、リジン・メ

チオニン添加は肉色に影響を与える可能性が示唆された。一方、育成中期から後期にかけて、リジン欠乏状態にすることで、IMF量の増加やMBSの向上を狙ったが、PE区およびL/M区においてMBSはそれぞれ4.4および3.8と比較的霜降り状態を呈し、育成後期にリジン欠乏状態としたL/M-PE区と他の区に有意差が認められなかった。PE飼料中の粗脂肪含量が常に高いため、MBSが既に高い状態となり、これ以上MBSが上昇しなかった可能性が示唆された。中村ら(2010)の実験において、MBSは飼料成分以外にも品種による影響を受けることを報告しており、リジン欠によるMBS向上効果が薄い場合があるので、品種の影響も加味する必要がある。また、腎周囲脂肪融点および脂肪酸組成の14:0以外において各区間に有意差は認められなかったことから、PE飼料を主原料とした場合リジン・メチオニンの添加は脂肪の質に与える影響が少ないものと思われる。さらに、腎周囲脂肪融点や不飽和脂肪酸含量に影響は認められなかったことから、実験1同様に軟脂の可能性は低いものと考えられた。

実験3において、PE飼料およびL/M飼料中のMix残飯量を10%もしくは20%増量し、Mix残飯の配合割合を増加させた場合の増体および肉質を調査した。食品廃棄物のなかで、食品小売業や外食産業から排出される一般食品残渣(Mix残飯)は、通常産業廃棄物処理業者が処理経費(20~30円/kg)を排出事業者からもらい処分しているが、首都圏において毎日の排出量が大変多く、飼料化が難しいため、全国的には総排出量の10%程度しか飼料として有効活用されていない(農水省 2016)。食品残渣の有効活用と飼料コストの低減を更に進めるためにMix残飯の増量配合を検討した。その結果、検定終了日齢、DG、飼料要求率、背脂肪厚、ロース断面積および歩留に有意差は認められず、肉色および皮下脂肪色において、色が明るくなり、赤みが弱くなる傾向が認められた。消費者には明るくピンク色の鮮やかな肉色が好まれる傾向があり、Mix残飯の配合割合を増量することで、消費者に好まれる肉色の豚肉を生産出来る可能性が示唆された。

市場評価において、実験1および実験2におけるほとんどの枝肉の格付けは並であった。これは、実証農家では飼料費が安価であることもあり、1頭当たりの販売価格を上げるため生体の体重を重くして130kg以上で出荷するケースが多く、過体重で格落ちしたためである。また実験3において、過体重により全般的に格付

けは低い、L/M-PE区とMix55%区で有意差が認められ、Mix残飯の増量により肉色のL*値が上昇し、a*値が低下するとともに、脂肪色も明るくなり赤色が少なくなることで、枝肉評価が悪くならなかった可能性が示唆された。

実験1~3を通じて、PE飼料を給与した肥育豚の健康状態に問題はなく、生産された枝肉に異常などは認められなかった。しかしながら、PE飼料は、これまで食品残渣を用いて製造されてきた飼料と異なり、乳酸発酵処理や蟻酸の添加、高温による乾燥処理などが行われなため、一般細菌の増加が認められた。短期間での保存中ではPHの低下による一般細菌の減少、乳酸菌数の増加が認められたが、今後、PE飼料を広く活用していくためには、その活用を妨げない範囲での製造から運搬、給与するまでの衛生面や安全性について、EUやOIEの基準をクリアできる(配合飼料供給安定機構 2006)、原料の選定、製造方法の確立、運搬、短期保存および給与までの安全基準の確立が不可欠であると思われる。また、飼料製造業者により販売価格を試算した結果、1kg当たり5円程度の販売が可能であり、実験1における飼料効率で換算すると、PE飼料での体重1kgの増体にかかる飼料価格は、71.5円(5円×14.3kg)、市販飼料で199.6円(40円×4.99kg)となり、PE飼料を用いることで、市販飼料の35%の経費で肥育が可能であることが明らかとなった。

以上より、PE飼料は、これまでのリキッド飼料や乾燥飼料と異なり、ローコストでオレイン酸含量が高く、霜降り豚肉の生産が可能であることを明らかにした。また、リジンおよびメチオニンを添加することで、増体スピードが速くなり、さらに配合割合中のMix残飯を増量しても、発育や肉質に影響がなく消費者に好まれる肉色の豚肉生産が可能であることが解った。

PE飼料を利用することで、日々大量に排出される、コンビニの弁当残渣や食堂残飯などの事業系一般廃棄物を効率良く飼料化することが可能となる。食品残渣の排出業者と集配業者、飼料製造業者および豚の飼養農家が密接に連携し、集配から製造、豚への給与までを短時間に行うことで、安定的にローコストで、付加価値の高い豚肉の生産が可能であるものと思われる。

引用文献

- 阿部亮・吉田宣夫・今井明夫・山本英雄 (2000) : 未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック. (株)サイエンスフォーラム発行
- 有元暢紀 (2010) : リキッド式エコフィード給与による資源循環システムの成立要件. 共済総合研究 58, 75-102.
- 藤野幸宏・中村嘉之・山井英喜・小林博史・西塚栄・高木洋祐 (2005) : 好気性発酵処理による食品残さのブタ用飼料化. 埼玉県農林総合研究センター研究報告(4), 95-100.
- 配合飼料供給安定機構 (2006) : 食品残さの飼料化 (エコフィード) を目指して-飼料化マニュアル (H17年度版).
- Katunata M., Kobayashi S., Mitumoto M., Tsuneishi E., Kaji Y. (2005) : Reduced intake of dietary lysine promotes accumulation of fat in Longissimus dorsi muscle of finishing gilts. *Animal Science Journal* 76, 237-244.
- 川島知之 (2003) : 日本型発酵リキッドフィーディングの構築を目指して. 畜産の研究, 57 (9), 975-986.
- 谷史雄・新居昌宏・森直樹 (2003) : 阿波ポークの「特徴あるおいしさ」評価技術の開発. 徳島県畜産試験場研究報告 (3), 73-76.
- (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 (2013年版) : 日本飼養標準, 中央畜産会発行.
- 中村嘉之・藤野幸宏 (2010) : 成分未調整パン残さ混合飼料給与による霜降り豚肉生産技術の開発. 埼玉県農林総合研究センター研究報告 (9), 9-16.
- 中村嘉之・山井英喜・小林博史・西塚栄・高木洋祐 (2005) : 微生物を活用した食品残さの発酵飼料化技術の開発. 埼玉県農林総合研究センター研究報告 (4), 101-104.
- 中村嘉之他共著 (2015) : 最新農業技術 vol.8, 157-164, (社) 農山漁村文化協会発行.
- 丹羽美次・中西五十 (2002) : 豆腐粕, パン屑主体サイレージおよびパスタ屑の給与が肥育豚の発育および体脂肪に及ぼす影響. 日本養豚研究会誌 39, 157-165.
- 農林水産省 (2016) : 食品リサイクル法に基づく定期報告の結果について, 食料産業局バイオマス循環資源課食品産業環境対策室, 東京.
- 山井英喜 (2003) : 養豚の友 10月号, 38-41, 日本畜産振興会発行.