

アミノ酸比率法を活用した配合飼料による県産豚肉肉質改善技術の検討

第一報

研究開発第一課 小渡陽子・堀川佳代

要 約

アミノ酸比率法を活用した肥育用配合飼料が、豚の生産性と肉質に及ぼす影響を調査した。三元交雑種 1 腹 8 頭を試験区と対照区に振り分け、試験区にはリジン含量 0.56%、粗タンパク質含量 17.3% で設計した飼料を、対照区にはリジン含量 0.70%、粗タンパク質含量 13.1% の市販配合飼料を平均体重約 55kg から給与開始し、個々の体重が約 110kg となった時点で終了とした。発育成績では、対照区に比べ試験区で肥育期間が 18.67 日延長し、日増体量の低下が認められた。また、枝肉成績では、対照区に比べ試験区でポーク・マーブリング・スタンダード ナンバーの増加が認められた。肉質成績では、胸最長筋の筋肉内粗脂肪含量が対照区の 2.60% に対し試験区で 8.81% に増加した。皮下脂肪内層の脂肪酸組成は、対照区に比べ試験区で C14:0 (ミリスチン酸)、C16:0 (パルミチン酸)、C16:1 (パルミトレイン酸)、C18:0 (ステアリン酸) 割合が減少するとともに、C18:2 (リノール酸) 割合が増加し、脂肪融点は 5.06°C 低下した。以上のことから、アミノ酸比率法を肥育用配合飼料に活用することで、肥育期間は延長するものの霜降り豚肉の生産が可能であり、皮下脂肪内層の脂肪酸組成にも影響を及ぼす可能性が示唆された。

緒 言

近年、豚肉において国内市場では霜降り肉が注目を集めている。霜降りとは、筋肉内に細かく入った脂肪のことで、牛肉と同様に豚肉においても食味を向上させることが知られている。豚肉の筋肉内脂肪 (Intramuscular fat : IMF) 含量は、国産豚肉で 2~3%、比較的多い豚肉でも 5% 程度であり、4% を超えると霜降りとされている¹⁾。

IMF 含量を増加させる手法としては、遺伝的な改良と飼養管理による方法があり、飼養管理による方法の一つとしてアミノ酸比率法^{2) 3)}がある。アミノ酸比率法は、飼料中の必須アミノ酸の一つであるリジン含量を飼養標準における適正水準としながら、リジン/粗タンパク質 (Lys/CP) 比を低く抑える方法で、主に小麦系エコフィードを使用する養豚農場で霜降りの特徴としたブランド肉の生産に数多く利用されている。一方、配合飼料へのアミノ酸比率法の活用は、全国的にも例がない。そこで本試験では、安定的に高品質な県産豚肉を生産するため、アミノ酸比率法に基づいて設計した肥育用配合飼料を豚に給与し、発育および肉質への影響を調査した。なお、飼料設計については、エコフィードにアミノ酸比率法を用いた既報^{3) 4)}のリジン (Lys) 含量 0.6%、粗タンパク質 (CP) 含量 17% を参考に、Lys/CP 比を調整した。

材料および方法

1. 供試豚と飼料および試験区の設定

供試豚は、当センターで生産した令和 2 年 3 月 4 日生まれの三元交雑種 (LWD 種) を用い、1 腹 8 頭を性別と平均体重ができるだけ同じになるよう各 4 頭 (雌 1 頭、去勢 3 頭) ずつ対照区と試験区に

振り分けた。対照区には Lys 含量 0.70%、CP 含量 13.1%、可消化養分総量 (TDN) 78.2% の市販配合飼料を給与した。試験区はゴマ油粕を用いて Lys 含量 0.56%、CP 含量 17.3%、TDN 78.0% に設計した試験飼料を給与した。飼料の一般成分および Lys 含量は、飼料分析基準 (平成 20 年 4 月 1 日・19 消安第 14729 号 農林水産省消費・安全局長通知) に準じて分析し、Lys と CP 含量から Lys /CP 比を算出した。また、脂肪酸組成はガスクロマトグラフィー質量分析法で分析した。各飼料の配合割合は表 1 に示し、飼料の成分組成は表 2 に示した。なお、飼料の製造と製造後の成分分析は、飼料メーカーに依頼した。

各飼料の給与は、平均体重約 55kg (75 日齢) から開始し、個々の体重が約 110kg を目安にと畜した。豚は 2.8m×6.4m のオガ床豚房に 4 頭ずつ入れて群飼した。飼料は不断給餌、給水は自由飲水とし、ワクチン接種その他の管理は、当センターの慣行に従った。試験は令和 2 年 5 月 18 日から 8 月 3 日に実施した。なお、試験開始時は試験頭数が各 4 頭であったが、試験開始 7 日目に対照区の 1 頭で脱肛を示す個体が発生したため試験対象から除外し、飼育密度を合わせるため試験区からも 1 頭除外した。このため、結果には各区 3 頭の成績を示した。

表 1. 供試飼料の配合割合

	対照飼料	試験飼料
配合割合 (%)		
とうもろこし	39.43	47.08
加熱とうもろこし	11.00	11.00
小麦	5.00	—
米	10.00	—
コーングルテンフィード	2.90	0.50
ふすま	2.00	—
米ぬか油粕	0.50	—
大豆油粕	7.80	—
なたね油粕	4.00	4.60
コーンジャムミール	4.60	5.00
ゴマ油粕	—	19.80
菓子くず	9.60	10.00
糖蜜	1.00	1.00
単体リジン	0.19	0.01
食塩、炭酸カルシウム、 第 2 リン酸カルシウム	1.80	0.83
ビタミンミネラルプレミックス、 その他微量原料	0.18	0.18
合計	100.00	100.00

表 2. 供試飼料の成分組成

		対照飼料	試験飼料	
設計値	TDN (%)	78.2	78.0	
	CP (%)	13.1	17.3	
	Ca (%)	0.7	0.7	
	P (%)	0.4	0.5	
	Lys (%)	0.70	0.56	
	Lys/CP 比	0.053	0.032	
分析値	TDN (%)	79.1	81.5	
	水分 (%)	12.6	10.9	
	CP (%)	13.7	17.5	
	粗脂肪 (%)	3.3	6.5	
	粗繊維 (%)	2.0	3.0	
	粗灰分 (%)	3.9	4.8	
	NFE (%)	64.7	57.2	
	Lys (%)	0.72	0.50	
	Lys/CP 比	0.053	0.028	
	脂肪酸組成 (%)			
	C12:0	(ラウリン酸)	0.24	0.61
	C14:0	(ミリスチン酸)	0.29	0.57
	C14:1	(ミリストレイン酸)	0.04	0.04
	C15:0	(ペンタデカン酸)	0.04	0.05
	C16:0	(パルミチン酸)	13.92	16.89
	C16:1	(パルミトレイン酸)	0.20	0.30
	C17:0	(ヘプタデカン酸)	0.08	0.12
	C17:1	(ヘプタデセン酸)	0.04	0.06
	C18:0	(ステアリン酸)	4.71	3.19
	C18:1	(オレイン酸)	36.50	30.57
	C18:2	(リノール酸)	41.96	44.35
	C18:3	(α -リノレン酸)	1.13	2.40
	C20:0	(アラキジン酸)	0.59	0.44
	C20:1	(イコセン酸)	0.26	0.35
	C22:1	(ドコセン酸)	0.01	0.07
	飽和脂肪酸		19.87	21.86
	一価不飽和脂肪酸		37.05	31.39
多価不飽和脂肪酸		43.09	46.75	

2. 調査項目及び調査方法

(1) 発育成績

試験開始体重は試験開始当日、試験終了体重は出荷日に測定した。増体日量 (DG) は、各豚の試験開始体重と試験終了体重および肥育期間から算出した。飼料摂取量は試験開始から出荷までの豚房毎の総飼料摂取量を測定し、飼料要求率は豚房毎の総飼料摂取量と総増体重より算出した。

(2) 枝肉評価

豚は奈良県内の食肉処理場においてと畜し、枝肉重量と枝肉歩留は食肉市場の測定値を用い、背脂肪厚と格付等級は日本食肉格付協会による測定値を使用した。脂肪交雑は日本食肉格付協会による豚肉の脂肪交雑基準 (ポーク・マーブリング・スタンダード : PMS) を用いて、と畜後、1 晩冷蔵庫内で保管した左側枝肉の第 4~5 胸椎切開面の胸最長筋における脂肪交雑を、当所職員が目視により 6 段階 (No.1=脂肪交雑がほとんど認められない ; 6=脂肪交雑が大変多い) で評価した。

(3) 肉質評価

と畜 1 日後に、右側枝肉の第 4~7 胸椎の骨付きブロックから胸最長筋 (ロース芯) と皮下脂肪内層を採取し分析に供した。肉質評価は、胸最長筋のロース芯面積、pH、水分含量、灰分含量、粗脂肪含量、加圧保水性、加熱損失、剪断力価、および皮下脂肪内層の脂肪融点の測定により行った。各項目の測定は、食肉の理化学的分析及び官能評価マニュアル⁵⁾と牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2⁶⁾の手法を参考に実施した。

ロース芯面積は、第 3~4 胸椎切開面尾側の胸最長筋をトレース後、プランメーター (牛方商会 O-bac L) を用いて面積を測定した。pH は pH メーター (HANNA HI99163) を用い、胸最長筋に電極を挿して測定した。胸最長筋の一部をミンチにし、水分含量と灰分含量、粗脂肪含量の測定に用いた。水分含量はアルミカップで 135℃ 2 時間加熱放冷後、乾燥前後の重量を測定し算出した。灰分含量は、マッフル炉で 600℃ 2 時間加熱後、加熱前後の重量を測定し算出した。粗脂肪含量は、ジエチルエーテルを用いたソックスレー抽出法で測定した。加圧保水性は、加圧ろ紙法により肉片面積と肉汁面積から算出した。加熱損失は、袋で密閉した約 50g の肉塊を 70℃ の温湯で 1 時間加温し、30 分間冷却後、加温前後の重量差により算出した。剪断力価は、加熱損失測定後のサンプルを筋繊維に対して垂直断面が 1×1 (1cm²) になるよう切断し、Warner-Bratzler 剪断力価計により 12 回測定した結果の最高値と最低値を除いた平均値を各個体の値とした。

皮下脂肪内層は、一部を細切して 105℃ で脂肪を抽出したものをを用いて上昇融点法で脂肪融点を測定した。脂肪酸組成の分析には、皮下脂肪内層を真空パックし測定まで -20℃ で冷凍保存したものをを用い、家畜改良事業団家畜改良技術研究所に依頼して folk 法で脂質を抽出後、ガスクロマトグラフィーで測定した。

(5) 統計処理

飼料を要因とする平均値の差を Student's *t*-test を用いて統計処理し、危険率が P<0.05 の場合に有意であると見なした。

結 果

1. 発育成績

発育成績を表 3 に示した。対照区と比較して試験区は、肥育期間が 18.7 日延長し、DG は 0.18kg/日低くなった。対照区と試験区の肥育期間中の飼料摂取量はそれぞれ 498.9kg、604.3kg、総増体重は 160kg、172kg で、飼料要求率は 3.12、3.51 となった。

表 3 発育成績

	対照区			試験区		
試験開始体重 (kg)	56.8	±	3.0	55.0	±	3.3
試験終了体重 (kg)	108.7	±	4.8	112.3	±	2.5
肥育期間 (日)	56.0	±	0.0	74.7	±	4.0 *
DG (kg/日)	0.95	±	0.07	0.77	±	0.04 *

平均±標準偏差

*P<0.05

2. 枝肉成績

枝肉成績を表 4 に示した。枝肉重量や枝肉歩留、背脂肪厚に有意な差は見られなかった。P.M.S. は対照区が 1.0 に対して、試験区が 3.3 と有意に高い値を示した。枝肉の格付等級は、対照区が上 1 頭と中 2 頭に対して、試験区が上 2 頭と中 1 頭とほぼ同じ結果となった。

表 4 枝肉成績

	対照区			試験区		
枝肉重量 (kg)	71.3	±	1.9	73.7	±	2.8
枝肉歩留 (%)	65.7	±	1.1	65.6	±	1.0
背脂肪厚 (cm)	2.1	±	0.7	2.0	±	0.2
PMS No.	1.0	±	0.0	3.3	±	0.6 *

平均±標準偏差

*P<0.05

3. 肉質成績

肉質成績を表 5 に示した。胸最長筋のロース芯面積、pH、水分含量、灰分含量、加圧保水性、加熱損失、剪断力価に差は見られなかった。胸最長筋中の粗脂肪含量は、対照区と比較して試験区で有意に高く、3 倍以上の値を示した。皮下脂肪内層の脂肪融点は、対照区と比較して試験区で有意に低かった。

表 5 肉質成績

	対照区		試験区	
胸最長筋				
ロース芯面積 (cm ²)	18.90	± 3.59	17.07	± 0.64
pH	6.26	± 0.35	6.50	± 0.06
水分含量 (%)	73.89	± 0.50	71.05	± 1.77
灰分含量 (%)	1.19	± 0.02	1.09	± 0.07
粗脂肪含量 (%)	2.60	± 0.40	8.81	± 2.15 *
加圧保水性 (%)	80.60	± 2.83	78.29	± 3.53
加熱損失 (%)	28.29	± 3.97	28.02	± 0.94
剪断力価 (LB)	8.72	± 1.02	8.40	± 2.01
皮下脂肪内層				
脂肪融点 (°C)	40.80	± 0.59	35.74	± 0.94 *

平均±標準偏差

*P<0.05

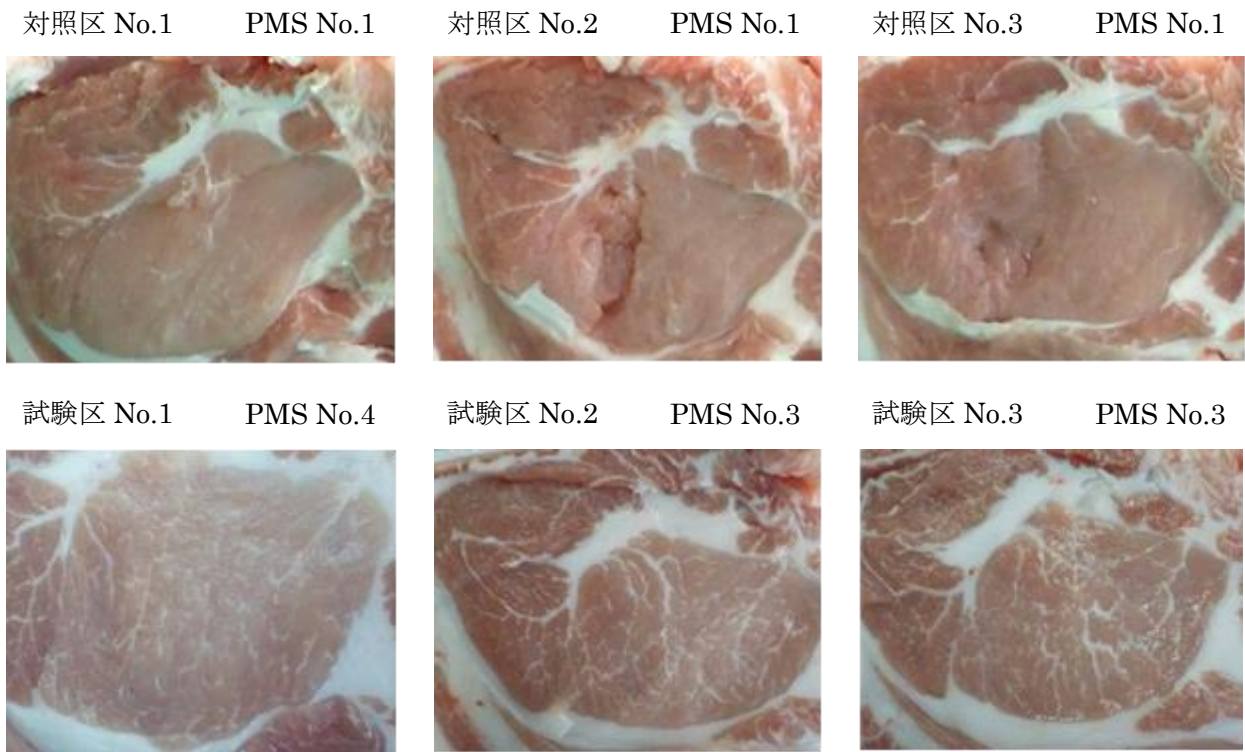


図 1 各供試豚の右側胸最長筋における第 3~4 胸椎切開面 (尾側) と PMS ナンバー

※ PMS ナンバーは、左側胸最長筋における第 4~5 胸椎切開面 (尾側) で当所職員が目視で評価

4. 脂肪酸組成

皮下脂肪内層における脂肪酸組成を表 6 に示した。対照区と比較して試験区で C14:0 (ミリスチン酸)、C16:0 (パルミチン酸)、C14:1 (パルミトレイン酸)、C18:0 (ステアリン酸) 割合が有意に低く、リノール酸 (C18:2) 割合は有意に高かった。このことを反映して、試験区の飽和脂肪酸割合は対照区と比べて有意に低く、二価不飽和脂肪酸割合は有意に高かった。また、C18:1/C18:0 比は、対照区と比較して試験区で有意に高かった。

表 6 皮下脂肪内層における脂肪酸組成

	対照区	試験区
脂肪酸組成 (%)		
C14:0 (ミリスチン酸)	1.48 ± 0.07	1.31 ± 0.02 *
C14:1 (ミリストレイン酸)	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.01
C16:0 (パルミチン酸)	29.62 ± 0.70	26.47 ± 0.21 *
C16:1 (パルミトレイン酸)	2.06 ± 0.19	1.41 ± 0.16 *
C18:0 (ステアリン酸)	18.68 ± 0.60	16.41 ± 0.65 *
C18:1 (オレイン酸)	39.59 ± 0.87	39.84 ± 1.29
C18:2 (リノール酸)	8.56 ± 0.63	14.55 ± 1.22 *
C18:1/C18:0	2.12 ± 0.12	2.43 ± 0.15 *
飽和脂肪酸 (%)	49.77 ± 1.15	44.19 ± 0.42 **
一価不飽和脂肪酸 (%)	41.67 ± 0.86	41.26 ± 1.41
多価不飽和脂肪酸 (%)	8.56 ± 0.63	14.55 ± 1.22 *

平均±標準偏差

*P<0.05、**P<0.01

考 察

本試験では、低 Lys 高 CP 飼料原料であるゴマ油粕を 19.8%配合し、アミノ酸比率法を活用した配合飼料を作成したが、製造後の飼料中の Lys 含量の分析値は設計値の 88.9%であった。日本飼養標準¹³⁾より、体重 50~115 kgの肥育豚で期待増体日量 0.85kg とした場合の要求量を満たすよう、試験飼料中の Lys 含量は 0.56%としたが、製造後の飼料分析結果では 0.50%となった。日本飼養標準飼料成分表¹⁴⁾によると、飼料原物中の CP 含量は、大豆粕で 45.0±1.4% (変動係数 3.1%) に対し、ゴマ粕 (圧搾) は 46.4±4.5% (9.7%) で、ゴマ粕の CP 含量は植物性油粕類の中でも比較的バラツキが大きい。また、このことはゴマ油粕の製造方法が多数あって入荷ソースによる差が大きいことが原因と考えられている。このことから、今後もゴマ油粕を飼料原料として同程度使用する場合、CP と Lys 含量に設定値とのずれが生じる可能性があることを考慮する必要がある。

今回の試験において、発育成績では対照区と比較して試験区が劣っていた。DGは対照区で0.95kg/日であったのに対し、試験飼料は期待増体日量を0.85kgと設定したが、DGは0.77kg/日でさらに低い結果となった。また、肥育期間は対照区の56.0日に対し、試験区では18.7日延長し74.7日となった。期待増体日量0.85kgの設定で体重55kgから110kgに達するまでにかかる日数は、試験区で64.7日と推定できる

が、設定よりもさらに10日延長したことになる。肥育期間と飼料摂取量および飼料分析値から算出した1日当たりのCPとLysの摂取量は、対照区で406gと21.4g、試験区で472gと13.4gであった。日本飼養標準に示される1日当たりのCPとLysの要求量は、期待増体日量0.85kgで399gと17.3gであることから、対照区では期待増体日量0.85kgに対しCPとLysの充足率は118%と129%であった。一方、試験区では期待増体日量0.85kgに対するCPとLysの充足率は102%と81%となっていた。したがって、対照区のCPとLysの摂取量は期待増体日量0.85kgの要求量を優に超えるが、試験区では期待増体日量0.85kgのCP要求量は満たしていたもののLys要求量は不足していたことになる。Katsumata⁷⁾らはLys含量が不足した飼料を豚に給与するとIMF含量は増加するものの、発育が遅延すると報告しており、今回の試験においても試験飼料のLysの不足が肥育期間の延長やDGの低下に影響した可能性が考えられる。

枝肉成績では、枝肉重量や枝肉歩留、背脂肪厚に有意な差は見られず、格付等級でも両区はほぼ同じ結果となったが、PMSナンバーは試験区で有意に増加した。肉質成績では試験区の胸最長筋における粗脂肪含量が3倍以上に増加し、PMSナンバーの増加とよく符合していた。前田ら⁸⁾は高タンパク質でLys/CP比の低いアミノ酸比率法を適用した飼料を給与することにより、皮下脂肪を増加させることなく脂肪交雑を高めることができるとしており、本試験でも同様に皮下脂肪厚を増やさずに胸最長筋中の粗脂肪含量を増加させる結果が得られた。また、高橋ら⁹⁾は一般的な肥育後期飼料に比べて約2倍以上の脂質含量を有する飼料の方が、脂肪交雑豚肉の作出に有利であると報告しており、本試験においても同様の条件であったことが胸最長筋中の粗脂肪含量を増加させる要因になったと考えられる。

今回、胸最長筋中の粗脂肪含量の増加とともに、皮下脂肪内層の脂肪酸組成にも変化が見られた。リノール酸などの多価不飽和脂肪酸は豚の体脂肪に蓄積されやすく、飼料内容に敏感に影響を受けるといわれている¹⁰⁾。また、飼料中の粗脂肪含量が多いと体内での飽和脂肪酸の合成が抑制され、リノール酸等の多価不飽和脂肪酸の割合が増えるという報告がある¹³⁾。今回用いた飼料では、試験飼料でリノール酸に起因する多価不飽和脂肪酸割合が高くなっていた。また、対照飼料の粗脂肪割合が3.3%であるのに対し、試験飼料の粗脂肪割合は6.5%と高く、飼料由来のリノール酸の絶対量が多い状況にあった。このことから、試験区では飼料由来のリノール酸が優先的に体脂肪に蓄積されて、皮下脂肪内層の脂肪酸組成でリノール酸が高くなった一方、内因性脂肪酸の合成が抑制されたことにより、飽和脂肪酸であるミリスチン酸、パルミチン酸、ステアリン酸が有意に低くなったことが考えられる。また、試験区では飽和脂肪酸割合が有意に低下したことにより脂肪融点は有意に低下していた。一般的に多価不飽和脂肪酸であるリノール酸は酸化しやすく、風味に影響しやすいといわれている。今後、風味の低下を防ぐためには飼料中のリノール酸割合や粗脂肪含量についても考慮する必要がある。

パン主体エコフィードにアミノ酸比率法を活用した事例では、オレイン酸割合が増加したという報告^{9) 11)}があるが、本試験でオレイン酸割合の増加は見られなかった。一方、体内の不飽和化活性を示す不飽和化インデックスであるC18:1/C18:0比は、対照区と比較して試験区で有意に高かった。このことは、IMF含量の増加にともない、豚体内において飽和脂肪酸から一価不飽和脂肪酸への不飽和化が活発になっているとする前田らの報告⁸⁾に一致する。すなわち、オレイン酸割合は増加しなかったものの飽和脂肪酸から一価不飽和脂肪酸への不飽和化は活発になっていたものと考えられる。

今回の結果から、ゴマ油粕を用いてアミノ酸比率法を活用した配合飼料を肥育豚に給与した場合、市販の肥育用配合飼料と比較して、DGが低下し肥育期間が延長するものの、胸最長筋中の粗脂肪含

量を増加させ、霜降り豚肉の生産が可能であることがわかった。今後は、肥育期間の延長と肉質向上の最適バランスを探るため、ゴマ油粕を用いた飼料の Lys 含量は幅のあるものとして考慮しつつ、最適な配合割合の調査の実施や、ゴマ油粕以外の飼料原料の利用についても検討が必要である。また、一般的に高タンパク質飼料原料は他の飼料原料と比較して価格が高く、アミノ酸比率法を配合飼料で活用した場合、飼料費の上昇が予想される。県内の食肉センターでは PMS 判定を実施していないことから、生産された霜降り豚肉を現場でどのように評価し、販売価格に反映していくかについても併せて検討していく必要がある。

謝 辞

本試験を実施するにあたり御助言を頂いた和歌山県紀南家畜保健衛生所東牟婁支所 前田恵助支所長(現 和歌山県畜産試験場副場長)、試験飼料の調整に御協力頂いた中部飼料株式会社の方々に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 入江正和：肉質改善計画第5回肉質に影響するもの③脂肪交雑 養豚界53(1) 67-71 (2018)
- 2) 入江正和：肉質改善計画第7回肉質に影響するもの⑤飼料その2 養豚界53(5) 56-59 (2018)
- 3) Maeda Keisuke et.al. : Effects of dietary lysine/protein ratio and fat levels on growth performance and meat quality of finishing pigs Anim.Sci.J.85 427-434 (2014)
- 4) 白木琢磨ら：豚肉の食味に対する科学的評価法に関する研究 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(発展融合ステージ) 研究紹介2018 農林水産技術会議HP
- 5) 独立行政法人 家畜改良センター：食肉の理化学的分析及び官能評価マニュアル 家畜改良センター技術マニュアル21 (2010)
- 6) 社団法人 畜産技術協会：牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアルVer.2 (2003)
- 7) Katsumata Masaya : Promotion of intramuscular fat accumulation in porcine muscle by nutritional regulation Anim.Sci.J.82 17-25 (2011)
- 8) 前田恵助ら：高タンパク質含量でリジン/タンパク質比が低い飼料の給与がデュロック種肥育豚の生産性、肉質、官能特性に及ぼす影響 日豚会誌56(2) 33-48 (2019)
- 9) 高橋俊浩ら：ブタの発育、枝肉成績、肉質に及ぼすパン主体エコフィードの粗脂肪含量とリジン/タンパク質比の影響 日本畜産学会報84(3) 361-368 (2013)
- 10) 入江正和ら：飼料学(46) 生産物の品質Ⅲ 豚肉の品質(2) 畜産の研究62(3) 403-406 (2008)
- 11) 前田恵助ら：イノブタ(デュロック×ニホンイノシシ)の肉質と生産性に対する低リジン含量のパン主体飼料給与と性の影響 日豚会誌51(1) 1-12 (2014)
- 12) 入江正和ら：総説 豚脂肪の理化学的性状に及ぼす諸要因(2) 畜産の研究43(8) 942-946 (1989)
- 13) 独立行政法人 農業・食品産業総合研究機構：日本飼養標準・豚(2013年版) 中央畜産会 10-19 (2013)
- 14) 独立行政法人 農業・食品産業総合研究機構：日本標準飼料成分表(2009年版) 中央畜産会 116-121 (2009)