

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 (第三報)

研究開発第一課 新宮 遥・三浦淳子

要 約

アミノ酸比率法に基づき、低リジン、高タンパク質に設計したゴマ油粕配合飼料は、原料のゴマ油粕の粗タンパク質含量はばらつきが大きいいため、飼料中のリジン含量は設計値より±10%のずれが生じる可能性がある。我々は令和2年～3年の研究報告において、ずれた場合の上限値、下限値のどちらであっても霜降り豚肉の生産が可能であることを報告した。そこで、今回は試験区に元々の設計値(Lys 0.56%、Lys/CP0.032)に調整した飼料を、対照区に市販の肥育用配合飼料を用いて、夏季と冬季に三元交雑種同腹8頭を試験区と対照区に振り分けて肥育試験を行った。発育成績では、夏季試験では試験区において肥育期間の延長及び増体の低下が見られたが、冬季試験では顕著な差は認められなかった。肉質成績では、両試験とも胸最長筋の筋肉内粗脂肪含量が有意に増加した。以上のことから発育に変動があるものの、季節変化に関係なく霜降り豚肉が可能であることが示唆された。

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状態の脂肪のことで、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。筋肉内粗脂肪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などがあり、飼養管理による方法の一つとしてアミノ酸比率法¹⁾²⁾がある。これは、飼料中の必須アミノ酸であるリジン含量を飼養標準における適正水準とするのに対し、リジン/粗タンパク質(Lys/CP)比を低く抑える方法で、主に小麦由来の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、我々は安定的に高品質な県産豚肉を農家で生産するため、低リジン・高タンパク質の飼料原料であるゴマ油粕を用い、アミノ酸比率法に基づいて設計した肥育用配合飼料(以下、試験飼料)を豚に給与し、発育および肉質への影響について調査を行った。(表1)第一報(小渡 2021)³⁾、第二報(新宮 2022)⁴⁾では、試験飼料に含まれるゴマ油粕の粗タンパク質(以下 CP)含量は、①変動係数が9.7%と、比較の変動が大きいこと⁵⁾、②Lys含量が設計値より変動しても脂肪交雑は入ること、③Lys含量によっては要求率を満たせずに増体が悪化すること、が判明した。(表1)

本試験では、夏季と冬季の年2回に渡って当初の設計値(Lys 0.56%、Lys/CP0.032)で設計した肥育用配合飼料を用いて発育および肉質への影響を調査することを目的とした。

表1. 各報告の供試飼料と試験成績

	飼料		試験成績		
	Lys(%)	Lys/CP	DG	PMS.No	粗脂肪含量(%)
第一報	0.5	0.028	0.77	3.3	8.81
第二報	0.62	0.034	1.11	2	3.3

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三元交雑種（LWD種）16頭（2腹）を用い、各試験1腹8頭を性別と平均体重が均等になるよう4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Lys含量0.56%、CP含量17.3%、TDN78.0%に設計した飼料を製造および成分分析後、リジン（L-リジン「あすか」、塩酸リジン98.5%以上（あすかアニマルヘルス株式会社））を添加しLys含量0.56%になるよう調整したものを使用した。調整は、タニナカ式自動攪拌機・混合器うず6型を用いて10分間混合して行った。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含量と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2に示し、飼料の成分組成は表3に示した。飼料の製造と製造後の成分分析およびLys調整後の成分分析は、飼料メーカーに依頼した。また、冬季試験の飼料中の脂肪酸組成分析は一般社団法人日本食品分析センターに依頼した。

各試験は平均体重約55kg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。夏季試験は令和4年6月9日から9月26日にかけて、冬季試験は令和4年12月2日から令和5年2月6日にかけて行った。

表2. 供試飼料の配合割合 (%)

	夏期		冬季	
	対照区	試験区	対照区	試験区
とうもろこし	39.39	46.54	43.40	46.99
加熱とうもろこし	11.00	11.00	11.00	11.00
小麦	5.00	-	5.00	-
米	10.00	-	10.00	-
コーングルテンフィード	1.50	0.50	2.50	5.00
ふすま	3.00	-	0.50	-
米ぬか油粕	1.00	-	0.90	-
大豆油粕	8.20	1.00	12.90	2.00
なたね油粕	4.90	4.50	0.30	-
コーンジャムミール	4.00	4.50	3.00	3.00
ゴマ油粕	-	20.00	-	20.00
菓子くず	9.00	10.00	6.00	10.00
糖蜜	1.00	1.00	2.40	1.00
単体リジン	0.17	0.33	0.33	0.09
ミネラル	1.67	0.76	1.60	0.74
ビタミン、その他微量原料	0.17	0.17	0.17	0.17
合計	100	100	100	100

表3. 各飼料の成分組成

		対照区		試験区	
設計値	TDN (%)	78.20		78.00	
	CP (%)	13.10		17.30	
	Ca (%)	0.70		0.70	
	P (%)	0.40		0.50	
	Lys (%)	0.70		0.56	
	Lys/CP比	0.053		0.032	
		夏期		冬季	
調整後 分析値		対照区	試験区	対照区	試験区
	TDN (%)	77.69	78.40	78.24	77.86
	水分 (%)	12.88	11.42	12.27	10.57
	CP (%)	14.84	18.70	13.83	18.05
	粗脂肪 (%)	3.40	6.20	3.79	6.45
	粗繊維 (%)	2.27	2.57	2.30	2.68
	粗灰分 (%)	3.97	4.60	4.29	4.78
	Lys (%)	0.78	0.57	0.74	0.55
	Lys/CP比	0.052	0.031	0.053	0.030
	脂肪酸組成 (%)				
	C12:0 (ラウリン酸)	-	-	0.30	0.20
	C14:0 (ミリスチン酸)	0.43	0.27	0.40	0.30
	C16:0 (パルミチン酸)	17.19	14.39	17.80	14.00
	C16:1 (パルミトレイン酸)	0.26	0.2	0.30	0.20
	C17:0 (ヘプタデカン酸)	0.11	0.08	0.10	-
	C18:0 (ステアリン酸)	3.04	4.33	3.20	4.50
	C18:1 (オレイン酸)	30.73	34.21	35.10	37.00
	C18:2 (リノール酸)	45.74	44.91	39.40	41.30
	C18:3 (α -リノレン酸)	2.06	1.10	2.00	1.10
	C20:0 (アラキジン酸)	0.45	0.51	0.50	0.60
C20:1 (イコセン酸)	-	-	0.40	0.30	
飽和脂肪酸	21.21	19.58	22.30	19.60	
一価不飽和脂肪酸	30.99	34.41	35.40	37.50	
多価不飽和脂肪酸	47.8	46.01	41.40	42.40	

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。一日増体量（以下 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) 枝肉成績

豚は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。なお、令和5年1月1日より、豚枝肉格付規格が改正されたが、冬季試験での格付けは旧規格のものを使用した。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、一晚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、

奈良県食肉センターの格付員が目視により 6 段階 (No.1=脂肪交雑がほとんど認められない、No.6=脂肪交雑が大変多い) で評価した。

(3) 肉質成績

と畜翌日に、右側枝肉の第 4~9 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、検体を 2°C の冷蔵庫で保存した後、翌日分析に供した。肉質評価は、胸最長筋のロース芯面積、pH、水分含量、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⁶⁾と牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル Ver.2⁷⁾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、プランニメーター (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°C 2 時間加熱放冷後、乾燥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°C 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°C 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°C 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

各試験において、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 4 に示した。両試験とも DG は対照区が有意に大きく、肥育期間は試験区で延長する傾向が見られた。

表 4. 発育成績

	夏季				冬季			
	対照区		試験区		対照区		試験区	
試験開始体重 (kg)	53.88 ± 1.67	54.38 ± 3.59	60.13 ± 3.43	59.50 ± 2.50				
試験終了体重 (kg)	112.38 ± 3.30	112.00 ± 4.11	112.38 ± 2.41	114.00 ± 2.03				
肥育期間 (日)	75.50 ± 12.85	94.25 ± 15.94	53.00 ± 4.95	61.75 ± 5.80				
DG (kg/日)	0.79 ± 0.08	0.62 ± 0.04*	0.99 ± 0.03	0.89 ± 0.04*				
総増体重(kg)	234.00	230.50	209.00	218.00				
総飼料摂食量(kg)	728.18	825.31	811.16	830.20				
飼料要求率(kg)	3.11	3.58	3.88	3.81				

平均値±標準偏差

* $P<0.05$

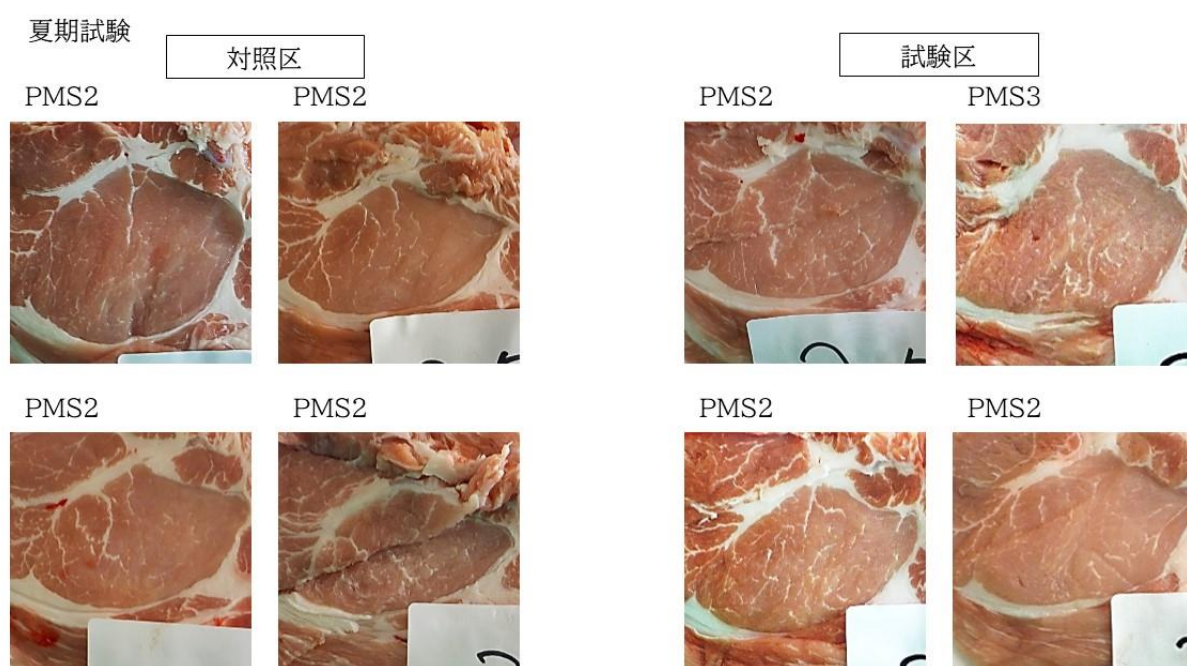
2. 枝肉成績

枝肉成績を表 5 に示した。枝肉重量や枝肉歩留、PMS に有意な差は見られなかった。枝肉の「上」以上の格付等級は、夏期試験の対照区で 1 頭、試験区で 4 頭、冬季試験の対照区で 1 頭、試験区では 2 頭であった。各供試豚の右側胸最長筋における第 3~4 胸椎面 (尾側) と PMS No. を図 1 に示した。

表 5. 枝肉成績

	夏季				冬季			
	対照区		試験区		対照区		試験区	
枝肉重量 (kg)	74.75 ± 3.02	75.05 ± 1.84	76.50 ± 1.79	76.35 ± 2.13				
枝肉歩留 (%)	66.50 ± 0.85	67.04 ± 0.84	68.08 ± 0.79	66.98 ± 1.70				
背脂肪厚 (cm)	2.00 ± 0.42	1.90 ± 0.12	2.60 ± 0.44	2.30 ± 0.54				
PMS No.	2.00 ± 0.00	2.25 ± 0.43	2.50 ± 0.50	3.00 ± 0.00				

平均値±標準偏差



冬季試験

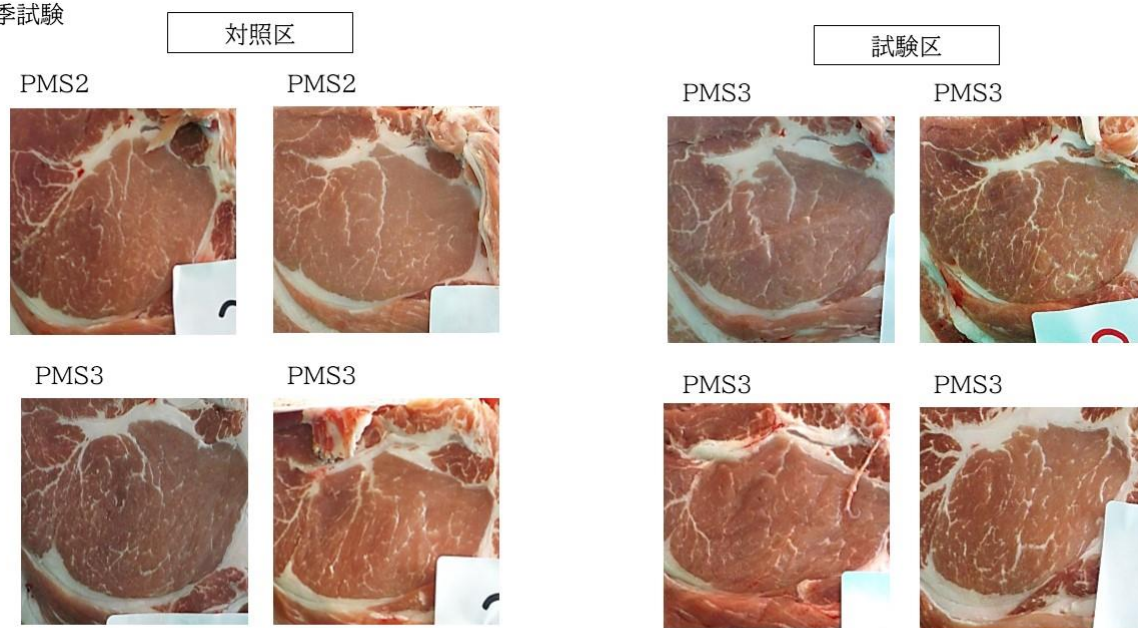


図1.各供試豚の右側胸最長筋における第3～4胸椎面（尾側）とPMS No.

3. 肉質成績

肉質成績を表6に示した。胸最長筋のロース芯面積、pH、水分含量、加圧保水性、加熱損失、剪断力価に有意な差はなかった。粗脂肪含量は両季節で有意に試験区の方が高かった。脂肪融点は冬季試験では有意な差がなかったものの、夏季試験の試験区においては低下する傾向が見られた。

表6. 肉質成績

	夏季		冬季	
	対照区	試験区	対照区	試験区
胸最長筋				
ロース芯面積 (cm ²)	19.20 ± 2.33	19.48 ± 1.93	21.35 ± 1.82	21.53 ± 3.14
pH	6.63 ± 0.12	6.60 ± 0.17	6.33 ± 0.28	6.34 ± 0.21
水分含量 (%)	73.13 ± 0.19	72.44 ± 0.79	73.37 ± 0.39	72.58 ± 0.64
粗脂肪含量 (%)	3.28 ± 0.48	4.77 ± 0.93*	2.86 ± 0.21	4.19 ± 0.49**
加圧保水性 (%)	78.20 ± 2.15	79.48 ± 1.16	85.34 ± 0.92	83.52 ± 1.49
加熱損失 (%)	26.36 ± 0.94	26.88 ± 1.31	27.36 ± 2.21	26.28 ± 1.63
剪断力価 (LB)	6.55 ± 0.56	7.60 ± 0.67	8.30 ± 0.92	6.90 ± 2.01
皮下脂肪内層				
脂肪融点 (°C)	39.17 ± 0.63	32.05 ± 0.32**	35.21 ± 1.32	34.18 ± 1.57

平均值±標準偏差

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

4. 脂肪酸組成

皮下脂肪内層における脂肪酸組成を表7に示した。どちらの季節もC16:0（パルミチン酸）は試験区で有意に低く、C18:2（リノール酸）は試験区で有意に高い値を示した。C18:1（オレイン酸）

は冬季試験の試験区において有意に低下した。C18:0(ステアリン酸)は夏季において試験区で有意に低下したが、冬季では有意な差は見られなかった。どちらの季節も飽和脂肪酸割合は、試験区で有意に低く、多価不飽和脂肪酸は試験区で有意に上昇した。

表7. 脂肪酸組成

	夏季				冬季			
	対照区		試験区		対照区		試験区	
C14:0 ミリスチン酸	1.56	± 0.12	1.50	± 0.10	1.37	± 0.04	1.28	± 0.08
C14:1 ミリストレイン酸	0.02	± 0.01	0.02	± 0.01	0.02	± 0.00	0.02	± 0.01
C16:0 パルミチン酸	29.27	± 0.76	25.38	± 0.72**	27.75	± 0.50	25.39	± 0.81**
C16:1 パルミトレイン酸	1.88	± 0.32	1.43	± 0.08	1.80	± 0.09	1.42	± 0.11**
C18:0 ステアリン酸	17.97	± 0.92	14.34	± 0.72**	16.56	± 0.44	15.48	± 0.83
C18:1 オレイン酸	40.14	± 0.85	39.61	± 1.32	44.01	± 0.93	42.10	± 0.95*
C18:2 リノール酸	9.17	± 0.92	17.72	± 1.62**	8.48	± 0.39	14.31	± 1.37**
飽和脂肪酸	48.80	± 0.86	41.22	± 1.32**	45.68	± 0.65	42.15	± 1.49**
一価不飽和脂肪酸	42.02	± 0.84	41.05	± 1.28	45.84	± 0.89	43.54	± 0.85*
多価不飽和脂肪酸	9.17	± 0.92	17.72	± 1.62**	8.48	± 0.39	14.31	± 1.37**

平均値±標準偏差

** $P<0.01$, * $P<0.05$

考 察

今回、同一の飼料を用いて夏季と冬季に2回試験を行った。発育成績は、両季節の試験区において有意にDGが減少し、肥育期間も試験区が延長する傾向が見られた。各試験の一日あたりのLys、CP要求率を比較すると、夏期試験対照区：Lys 109%・CP91%、試験区：Lys 73%・CP 103%、冬季試験対照区：Lys 159%・CP 129%、試験区：Lys 108%・CP 154%であり、夏季試験では両区どちらともLys、CPともに充足できていなかった。日本飼養標準(豚)によると、高温の影響は体重の大きい豚ほど受けやすく、肥育豚においては肥育後期に採食量の低下が顕著である⁸⁾、とされており、今回夏季試験期間中の平均最高気温30.8℃、平均最低気温が21.4℃と、非常に高温であり、採食量が低下したため、一日の必要なLys、CP量を満たせなかったと考えられる。

冬季試験では両区Lys、CPは要求量を満たしていたが、環境温度の低下に伴い摂取した飼料中のエネルギーが体成分の蓄えよりも体温維持に利用された⁸⁾ため、夏季試験よりも飼料要求率は低下した。(試験期間中の平均最高気温は8.78℃、平均最低気温は1.21℃だった。)DGについては、試験区の方が低い数値がみられたが、今回設計した試験飼料はDG 0.85kg/日であるため、おおむね設計通りの発育成績であったといえる。

どちらの季節でも試験区において背脂肪厚の増加はなく、PMS値の上昇と粗脂肪含量の増加の傾向が見られた。一般的に豚肉の筋肉内脂肪含量は、国産豚肉で2~3%、比較的多い豚肉でも5%程度で、4%を超えると霜降りとされており¹⁾、今回の試験でも筋肉中の粗脂肪含量が4%を超えていたため、季節変化に関係なく年間を通して安定的に霜降り豚肉の生産ができたと言えるであろう。

加圧保水性については季節の差が見られ、夏季試験の両区ともに冬季試験よりも低下傾向が見られた。前述の通り、夏季試験期間中の豚舎内気温は高く、暑熱ストレスにより、ビタミンE等の抗酸化物質が失われたことによりため、加圧保水性が低下した⁹⁾、と考えられる。

皮下脂肪内層の脂肪酸組成成績では、試験区において飽和脂肪酸が減少し、多価不飽和脂肪酸が増加する傾向が見られた。これは、試験区で使用した飼料は粗脂肪含量が多く、体内での飽和脂肪酸の合成が抑制された¹⁰⁾、ためだと考えられる。また、脂肪融点について、夏季は有意な差が見られたが、冬季は見られなかった点について、入江(1989)は硬さに対し直接的な影響を持つ脂肪酸はC16:0や、C18:0といった飽和脂肪酸である¹¹⁾、と述べており冬季試験の脂肪酸組成分析において、C18:0(ステアリン酸)の値に大きな差が見られなかったため対照区、試験区で大きな融点の差がなかったと考えられる。

当センターでは令和2年度から3年間、アミノ酸比率法に基づき、安定した配合飼料での霜降り豚肉生産の検討を行ってきた。その結果、アミノ酸比率の調整に用いたゴマ油粕にはリジン含量には大きな変動があり、その振れ幅の最大値、最小値で試験を行った結果、ばらつきが発生したとしても霜降り豚肉は生産できることが判明した。そして今回、元々の設計値(振れ幅の中央値)で夏期、冬季のそれぞれで試験を行ったところ、どちらも安定して粗脂肪含量の多い豚肉を生産することができたが、豚の摂食量によっては対照区よりも肥育期間が大幅に延長するという課題が見られた。飼料摂食量は環境温度によって変化するので飼料中のアミノ酸含量を調整する必要がある⁸⁾、季節によって変化する豚の摂食量を加味した飼料設計を今後も検討する必要があるだろう。

今回用いた試験飼料は、対照区の市販配合飼料と比較すると、一袋(20kg)あたり68円高く、1頭あたりの肥育期間中の飼料費は、試験区で2,373円(両試験の飼料費の平均)増加した。また、PMSの評価は県内の食肉センターで実施していないことから、生産された霜降りの豚肉を市場でどのように評価し、販売価格に反映し高額になった飼料費を賄うかも併せて検討していく必要がある。

参考文献(引用順)

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 小渡陽子ら：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 奈良県畜産技術センター研究報告第45号 48-46 (2021)
- 4) 新宮遥ら：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 第二報 奈良県畜産技術センター研究報告第46号 16-25 (2022)
- 5) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構：日本標準試料成分表(2009年版) 中央畜産会 118 (2009)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構：日本飼養標準・豚(2013年版) 中央畜産会 10-19,54-55 (2013)
- 9) 大石仁ら：豚の飼養環境が生産性に及ぼす影響(ストレス軽減環境の検討) 茨城県畜産センター研究報告39号 67-72 (2006)
- 10) 入江正和：豚脂肪の理化学的性状に及ぼす諸要因—特に軟脂豚との関連とその制御— 畜産の研究 43(8) 944,797 (1989)