原 著

低タンパク質飼料を給与した肥育豚のふん尿の堆肥化過程における窒素動態とアンモニアの発生状況

尾上 武・立花文夫*・鮫ヶ井靖雄*・小山 太・
手島信貴・山口昇一郎・浅田研一

福岡県農業総合試験場, 福岡県筑紫野市吉木, 818-0004

* 全農飼料畜産中央研究所, つくば市, 300-4204

(2009 年 6 月 3 日受付, 2009 年 10 月 15 日受理)

要 約 粗タンパク質 (以下 CP) 含量を下げた飼料を給与した豚のふん尿を堆肥化した際に発生するアンモニアの低減効果を明らかにするため, 小型堆肥化試験装置を用いた試験を行った。材料は CP 14.5% (標準区) および 11.5% (低 CP 区) の飼料を給与した豚の排せつ物を分離採取して用いた。ふんに尿を 20% または 30% 混合したうえでパーライトを用いて水分 55% の原料を調製し, 小型堆肥化試験装置に充填密封後, 通気した。低 CP 区のふん尿の堆肥化は標準区と同等の乾物および有機物分解が認められるとともに, アンモニアのピーク濃度を 48.8%, 揮発総量を 43.0% 抑制できた。しかし, 尿の混合割合が増えるとアンモニア発生量も増加したため, 固液分離が重要である。以上のことから, 低 CP 飼料給与による豚ふん尿堆肥化におけるアンモニア発生の低減効果は極めて高いといえる。

緒 言

近年, 豚の排せつ物に由来する環境負荷物質の軽減策として, 飼料中の CP 含量を下げ, 不足するアミノ酸を添加した低 CP 飼料を給与すると, 発育性を損ねることなく排せつされる窒素量を低減できることが明らかとなっている¹⁻⁶⁾。著者らも CP 含量を 14.5% から 11.5% に下げた飼料について, ふん中窒素排せつ量には差がなかったが, 尿

中窒素排せつ量を 30.5%~40.1%, 総窒素排せつ量を 18.6~24.9% 低減できることを確認した (投稿中)。また, 悪臭成分の多くはアミノ酸代謝の中間代謝物または最終代謝物である⁷⁾ことから, 低 CP 飼料の給与により悪臭物質低減効果も期待できる。

高原ら⁸⁾は養豚農家における悪臭原因物質を閾希釈倍数から推定したところ, 離乳豚舎および肉豚舎は低級脂肪酸, 堆肥化臭気はアンモニアと硫

How Providing Pigs with Low Protein Diet Affects Nitrogen Dynamics and Ammonia Emission During Feces Composting

T. ONOUE, F. TACHIBANA*, Y. SAMEGAI*, F. KOYAMA, N. TESHIMA, S. YAMAGUCHI and K. ASADA

Fukuoka Prefectural Agricultural Research Center, 1269, Yoshiki, Chikushino, Fukuoka, 818-0004, Japan

* Central Research Institute for Feed and Livestock, Zen-Noh, 1708-2, Tsukuriya, Tsukuba, Ibaraki, 300-4204, Japan

連絡者: 尾上 武 (E-mail: onoue-t4410@pref.fukuoka.lg.jp Tel. 092-925-5177)

黄系物質であったと報告している。また、本多ら⁹⁾は箱型通気発酵装置を用いた試験において、通気直後にアンモニアと硫化メチルが発生し、3 日目にその他の硫黄化合物が高濃度で発生したが、低級脂肪酸はほとんど発生しなかったとしている。アンモニアは畜産経営において発生する悪臭物質のひとつであり、大気中で酸化されて酸性雨の原因となることから、排出抑制に努める必要がある。白石らは戻し堆肥を利用¹⁰⁾あるいはアンモニア態窒素低減能力を有する細菌を添加¹¹⁾した豚ふんの堆肥化過程におけるアンモニアの低減効果について報告している。しかし、低 CP 飼料を給与した豚の排せつ物を堆肥化する過程における臭気の抑制効果について言及した報告は少なく、小山ら¹²⁾が CP 含量を 15% から 13.9% まで下げた飼料を給与した豚のふん尿を、モミガラを用いて水分調整した場合の堆肥化において、アンモニアの発生量を半減できたと報告しているのみである。この報告では、さらに CP 含量を下げた飼料の効果について期待している。そこで今回、TACHIBANA *et al.*²⁾の試験を参考に CP 含量を 11.5% まで下げて肥育豚に給与した。そして、肥育豚の排せつふん尿を小規模堆肥化装置により堆肥化する過程における窒素の動態を明らかにするとともにアンモニアの発生状況を CP 14.5% の標準飼料を給与した場合と比較検討したので報告する。

材料および方法

1. 試験の概要

試験は低 CP 飼料給与豚の排せつ物が堆肥化過程の臭気発生に及ぼす影響と、低 CP 飼料給与豚の排せつ物の堆肥化時に、尿の混合割合が臭気の発生に及ぼす影響を調査した試験を同時に行った。試験は 2008 年 1 月 29 日から 4 月 2 日までの間に 4 回行い、各試験期間は 12 日間とした。

2. 供試材料および混合割合

材料には代謝ケージ¹³⁾を用いた著者らの報告(投稿中)で分離採取しふんおよび尿を用いた。試験材料の混合割合を表 1 に示す。堆肥化原料は、当場のスノコ豚舎で採取したふんの水分が約 70%、スクレーパーにより排出される混合物の水分が約 75% であったことから、ふんに約 20% の尿

が混合していると仮定して調製を行った。試験区分は低 CP 飼料給与豚のふんに同豚の尿を 20% 混合した区(以下低 CP-20% 区)および標準飼料給与豚のふんに同豚の尿を 20% 混合した区(以下標準区)と、豚舎内の固液分離状態が悪く、尿が多量に混入する養豚場を想定して低 CP 飼料給与豚のふんに同豚の尿を 30% 混合した区(以下 30% 区)を設定した。ふんおよび尿は 8 頭分を 5 日間全量採取した。採取したふん尿は 4℃ で冷蔵保存し、最終採取日に個体毎に全量を混合した。混合したふんおよび尿は堆肥化までの間 -20℃ で冷凍保存し、堆肥化試験開始時に採取期間中の排せつ重量比に応じて混合して供試した。水分量を統一するため標準区と低 CP-20% 区には蒸留水をふんの 10% 混合した。豚ふん尿の乾物分解率やアンモニア発生量を正確に把握するため、水分調整材として、生化学的反応に不活性な無機物であるパーライト(宇部興産)を使用した。

3. 小型堆肥化試験装置の概要

水分調整後の原料 5000 g を小型堆肥化試験装置(かぐやひめ、富士平工業製)に充填し、毎分 400 ml の流量で連続通気した(図 1)。小型堆肥化試験装置には 500 ml 容三角フラスコを接続して結露水を採取するとともに 2 N 硫酸 300 ml を入れたガス洗浄瓶を接続してアンモニアガスを捕集した。また、1 回/日テドラバッグを着着して排ガスを捕集した。

4. 調査項目

調査項目は堆肥品温、試験開始前の原料および終了後の製品の全窒素およびアンモニア態窒素含量、水分および有機物含量、排ガス中のアンモニア濃度、排汁、装置の天井に結露した水(以下天井水)、三角フラスコ内で回収された結露水(以下結露水)およびガス洗浄瓶中の硫酸(以下硫酸トラップ)の窒素含量とした。堆肥品温は、装置に充填した原料の中心部に温度センサーを設置し、自動温度計測装置(おんどとり、ティアンドデイ社製)で測定した。全窒素含量はケルダール法により分析した。排汁、天井水、結露水および硫酸トラップの窒素含量はケルダール法により分析した。アンモニア態窒素含量はブレンナー法によった。水分含量は 60℃ で 48 時間通風乾燥した減少

表 1. 試験材料の混合量および供試豚ふん尿の窒素含量

Table 1. Mixing amounts of wastes and perlite, and nitrogen content

	feces	nitrogen content	urine	nitrogen content	perlite	distilled water	total
	g	%	g	%	g	g	g
standard	2750	1.08	550	1.34	1425	275	5000
low-CP 20% urine	2750	1.02	550	1.24	1425	275	5000
low-CP 30% urine	2750	1.02	825	1.24	1425	0	5000

図 1. 小型堆肥化試験装置の概要

Fig. 1. Design of laboratory scale composting system

量より、有機物含量は 590℃ で 2 時間強熱灰化した減少量より算出した。テドラーバッグ内のアンモニアはガス検知管 (3L および 3M, ガステック社製) で直接測定し、高濃度の場合は、無臭空気を充填したテドラーバッグに希釈したうえで測定した。

5. 統計処理

統計処理は Student の t 検定によった。

結 果

図 2 に 1 頭の供試豚が 1 日に排せつするふんの堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移について示した。品温は通気開始から緩やかに上昇し、3 日目から 4 日目にかけて急激に上昇して

最高温度に達した。その後 5 日目から 6 日目にかけて低下し、7 日目以降はほぼ一定の温度を保った。低 CP-20% 区の最高温度は 62.3℃ と、標準区の 68.4℃ と比較して低下傾向 ($p=0.18$) にあった。1 頭の 1 日分の排せつふんの堆肥化過程におけるアンモニア濃度は、低 CP 区のピーク時の濃度が 872 ppm と、標準区の 1702 ppm と比較して低下傾向 ($p<0.10$) にあった。

低 CP-30% 区の品温の推移は低 CP-20% 区と同様であった。最高温度は 68.0℃ と、低 CP-20% 区より高かったが、有意差はなかった ($p>0.20$)。アンモニアのピーク濃度は 2042 ppm と、低 CP-20% 区との比較で 134.3% 増大 ($p<0.05$) した。

表 2 に堆肥化前後の原料および製品の理化学的

図 2. 堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移

Fig. 2. Changes of temperature and ammonia emission during composting

Vertical bars represent $\pm$ SD ; n=4

*) Significantly difference was recognized at 0.05 level between peak density

表 2. 豚ふん堆肥化前後の理化学成分値

Table 2. Physico-chemical characteristics before and after composting

		weight		water content		dry matter resolution	organic matter content	organic matter resolution	ash content
		g		%		%	%	%	%
standard	before	5000	—	54.8 $\pm$ 0.7	—	—	14.7 $\pm$ 0.3	—	30.5 $\pm$ 1.0
	after	4425 $\pm$ 66		53.2 $\pm$ 0.4	8.5 $\pm$ 2.1		11.9 $\pm$ 0.2	28.7 $\pm$ 2.1	34.9 $\pm$ 0.5
low-CP 20% urine	before	5000	—	54.6 $\pm$ 0.6	—	—	14.6 $\pm$ 0.4	—	30.9 $\pm$ 0.9
	after	4488 $\pm$ 81		54.2 $\pm$ 0.6	9.5 $\pm$ 1.7		11.7 $\pm$ 1.0	27.6 $\pm$ 6.8	34.1 $\pm$ 1.2
low-CP 30% urine	before	5000	—	54.5 $\pm$ 0.7	—	—	15.3 $\pm$ 1.2	—	30.2 $\pm$ 1.2
	after	4443 $\pm$ 30		52.9 $\pm$ 0.6	8.0 $\pm$ 2.1		12.5 $\pm$ 0.2	27.6 $\pm$ 5.0	34.6 $\pm$ 0.8

Means $\pm$ SD ; n=4

性状について示した。乾物分解率および有機物分解率には統計的な有意差はなく ($p>0.20$)、乾物分解率は低 CP-20% 区 9.5%、標準区 8.4%、低 CP-30% 区 8.0%、有機物分解率は低 CP-20% 区 27.6%、標準区 28.7%、低 CP-30% 区 27.6% であった。

表 3 に 1 頭の 1 日分の排せつふんの堆肥化過程における窒素動態および堆肥化後の窒素回収量に

ついて示した。低 CP-20% 区の開始時の窒素量は 24.9 g と、標準区の 25.5 g と比較して差はなかった。終了時には両区とも減少し、試験区の間で差はなかった。統計的な有意差は認められなかったが、窒素減少量は低 CP-20% 区では 2732 mg、標準区では 4151 mg であった。減少率でみると、低 CP-20% 区は 11.0%、標準区の 16.3% であった。低 CP-20% 区の開始時アンモニア態窒素は 4826

表 3. 堆肥化過程における窒素動態および堆肥化後の窒素回収量

Table 3. Changes of nitrogen ratio during composting and nitrogen collection after composting

		total-N	nitrogen decrease	nitrogen decline ratio	NH ₄ -N	drainage	ammonia emission	recovery
		g	mg	%	mg	mg	mg	%
standard	before	25.5±2.4	—	—	4927±506 ^B	—	—	—
	after	21.4±1.7	4151±1504	16.3±5.2	6104±945 ^b	63±23	3732±1024	91.4±38.4
low-CP 20% urine	before	24.9±1.2 ^B	—	—	4826±266 ^B	—	—	—
	after	22.2±0.8	2732±1906	11.0±6.9	6881±792	105±86	2129±1240	81.7±20.1
low-CP 30% urine	before	26.7±0.7 ^A	—	—	6374±504 ^A	—	—	—
	after	22.8±0.6	3944±106	14.8±1.4	7106±677 ^a	95±36	3772±896	98.1±16.1

Means±SD ; n=4

Significantly difference was recognized at 0.01 level between different capital letter and 0.05 level small letter

mg と、標準区の 4927 mg と比較して差はなかった。終了時にはアンモニア態窒素は両区とも増加し、試験区の間で差はなかった。堆肥化後、最も多く回収されたのは硫酸トラップに捕集された窒素で、次に多かったのが天井水から回収された窒素であった。結露水および排汁から回収された窒素はわずかであった。堆肥化過程における窒素減少量に対する回収率は 80% 以上であった。これらのうち、排汁から回収された窒素を除いた合計がアンモニアとして揮発した窒素と考えられる。低 CP-20% 区のアンモニア揮発量は 2129 mg と、標準区の 3732 mg と比較して低下傾向 ($p=0.17$) にあった。

低 CP-30% 区の開始時の窒素量は 26.7 g と、低 CP-20% 区と比較して 7.2% 増大 ($p<0.01$) した。統計的な有意差は認められなかったが ($p>0.20$)、30% 区の窒素減少量は 3944 mg (低 CP-20% 区 2732 mg) であった。開始時のアンモニア態窒素は 6374 mg と、低 CP-20% 区と比較して 32.1% 増大 ($p<0.01$) した。低 CP-30% 区のアンモニア揮発量は 3772 mg と、低 CP-20% 区と比較して増加傾向 ($p=0.11$) にあった。

考 察

通常、小型堆肥化試験装置を用いた堆肥化試験における水分調整材はモミガラ¹²⁾ やオガクズ¹⁴⁾ が使用されるが、これらの有機質資材では水分調整材の分解や悪臭物質の吸着などにより、乾物分解率やアンモニアの発生量を正確に把握できない問題がある。これを回避するため、HARADA *et al.*¹⁵⁾ はパーライトを使用している。パーライトは真珠岩を適正な粒度に粉碎し、焼成・発泡させた白色の軽い粒状物で、土壌の通気・保水を増進するために使用される土壌改良材である。HARADA *et al.*¹⁵⁾ はパーライトを用いた場合の有機物分解率を予測する式を示しているが、この式によって得られた 12 日後の分解率の予測値は 28.4% となり、本試験による実測値とほぼ一致する。

家畜ふんが適切に分解されているかは、乾物分解率を基本に判断されている¹⁶⁾ ことから今回は有機物分解率と併せて乾物分解率の測定を行った。低 CP 飼料を給与した豚のふん尿の堆肥化における品温が標準飼料を給与した場合と同様に推移し、最高温度は若干低いものの、乾物や有機物が同様に減少することから考えて、CP 含量を 14.5

% から 11.5% に下げても発酵には影響がないといえる。

原料に使用した豚ふん尿の窒素含量から計算した原料中の窒素量の推定値は測定値との差が概ね 3% 以内であり、ほぼ一致している。使用した低 CP-20% 区のふん中の窒素排せつ量は標準区と比較して 5%, 尿中の窒素排せつ量は 7% 低減されており、堆肥化原料の窒素低減効果としては尿の方がやや高い。

豚舎から発生するアンモニアは主に比較的安定な物質である尿中の尿素が起源であり、尿がふんに混入することによって、ふん中に存在するウレアーゼの作用を受けて容易に発生する¹⁷⁾ ことから、尿中の排出窒素量低減によってアンモニア等の窒素を含んだ悪臭物質の低減も期待できる。山本³⁾ および祐森⁶⁾ は肥育豚に不足アミノ酸を添加した低 CP 飼料を給与したところ、窒素排せつ量が低減するとともに、ふん尿混合物から発生するアンモニアを著しく低減できると述べている。アンモニア濃度の推移は各試験区ともほぼ同じパターンを示し、堆肥品温がピークに達した頃に検出され始め、品温の下降するにつれて上昇し、品温が 20℃ を下回った時点で最高濃度に達した。その後は漸減したが、試験終了まで発生が継続した。この傾向は黒田¹⁴⁾ の報告と一致する。堆肥化前後で減少した窒素量のうち、硫酸に捕集されたものがアンモニアとして揮発したと考えられる。減少した窒素中、硫酸トラップに捕集されたものの割合は 35 から 53% を占めた。低 CP-20% 区のアンモニアの発生は標準区と比較してピーク濃度が 48.8% ($p < 0.10$), 揮発量が 43.0% 低減 ($p < 0.20$) していることから、低 CP 飼料を肥育豚に給与すると、窒素の排せつ量が低減でき、排せつ物を堆肥化する過程で揮発する窒素すなわちアンモニアをピーク時の濃度、発生総量ともに低減できることが明らかとなった。

尿の混合量が 30% の場合のアンモニア揮発量は 20% と比較して 113.6% 増大している。堆肥化前後の窒素減少量やアンモニアのピーク時濃度も増大していることから尿の混合量が増えると低 CP であってもアンモニアの発生量が増大するといえる。30% 区の開始時の全窒素は約 7% 多い程

度だが、尿の混合量が多いため、アンモニア態窒素は約 32% 増大していることが大きく影響していると思われる。坂井¹⁸⁾ は豚ふん尿の混合物から揮発するアンモニアの量は尿由来の窒素量に比例的に増大するとしており、尿の混合割合が多くなるほどアンモニアの揮発量が増えると報告しているが、排せつ物の堆肥化過程においても同様のことがいえる結果となった。このことは、堆肥化施設からのアンモニア発生量を低減するためにはふん尿分離の徹底が重要であることを示している。

以上のことから、CP 含量を 14.5% から 11.5% に低減した飼料を肥育豚に給与することにより、排せつ物の発酵に悪影響を及ぼすことなく、堆肥化の初期の過程で発生するアンモニアを低減できることが明らかとなった。

文 献

- 1) 古谷 修・渡部正樹・阿部博行・清水俊郎・大門博之・佐藤圭子・今田哲雄・佐藤金一：アミノ酸添加低蛋白質飼料の給与による肉豚における窒素排泄量の低減，日豚会誌，**34**，15-21，1997.
- 2) TACHIBANA, F. and H. UBAGAI : Effect of reducing crude protein and energy content in diets with amino acid supplementation on nitrogen balance, performance and carcass characteristics in pigs, Anim. Sci. Technol., **68**, 640-649, 1997.
- 3) 山本朱美・高橋栄二・古川智子・伊藤 稔・石川雄治・山内克彦・山田未知・古谷 修：肉豚へのアミノ酸添加低タンパク質飼料の給与による尿量、窒素排せつ量およびアンモニア発生量の低減効果，日豚会誌，**39**，1-7，2002.
- 4) 阿部則夫・杉浦千佳子・中村慶逸：低タンパク質飼料給与による繁殖豚の窒素排泄量低減効果，日豚会誌，**39**，71-78，2002.
- 5) 齋藤常幸・須藤英紀・五十嵐宏行・今田哲雄：給与飼料中の TDN および CP 水準の違いが産肉能力および窒素排泄量に及ぼす影響，日豚会誌，**40**，121-128，2003.
- 6) 祐森誠司・池田周平・鈴木伸一・栗原良雄：アミノ酸添加可消化粗タンパク質飼料による肥育豚の窒素排せつ量および糞尿由来アンモニアガス濃度の低減効果，日豚会

- 誌, **41**, 1-10, 2004.
- 7) LE, P., A. AARNINK, A. JONGBLOED, P. SCHWERING, N. OGINK and M. VERSTEGEN : Effects of cristalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig manure, *J. Anim. Sci.*, **85**, 791-801, 2007.
 - 8) 高原康光・森千江子・井奈波良一 : 臭気排出強度による養豚農家の悪臭発生量評価, 臭気の研究, **32**, 150-157, 2001.
 - 9) 本多正俊・西井保喜・小野泰美 : 家畜糞の堆肥化過程から発生する臭気について, 臭気の研究, **28**, 327-331, 1997.
 - 10) 白石 誠・田原鈴子・光井 武・古川陽一・小澤清一郎 : 微生物による堆肥化処理技術の開発 (I) 戻し堆肥が臭気に及ぼす影響及びアンモニア低減微生物の検索, 岡山県総畜セ研報, **8**, 61-66, 1997.
 - 11) 白石 誠・田原鈴子・古川陽一・日野靖興 : 微生物による堆肥化処理技術の開発 (II) アンモニア低減微生物による豚ふん堆肥化試験, 岡山県総畜セ研報, **9**, 53-60, 1998.
 - 12) 小山 太・山口昇一郎・村上徹哉・福田憲和 : 肥育豚への低タンパク質飼料の給与がふん尿の堆肥化に及ぼす影響と臭気の発生状況, 福岡県農総試研報, **25**, 141-144, 2006.
 - 13) 勝俣昌也 : 動物栄養試験法, 227-230, 養賢堂, 東京, 2001.
 - 14) 黒田和孝・花島大・福本泰之・羽賀清典 : 家畜排せつ物の堆肥化处理からのアンモニア発生を低減する微生物, 土と微生物, **56**, 69-74, 2002.
 - 15) HARADA, Y., K. HAGA, T. OSADA, T. IZAWA and Y. NISHIMURA : Decomposition of Organic Matter during the Maturing Process of Cattle Process of Cattle Waste Compost. *Anim. Sci. Technol.*, **69**, 1085-1093, 1998.
 - 16) 張 建国・加茂幹男・阿部佳之・河本英憲・青木康浩 : 粗灰分含量を指標として堆肥化過程における乾物および有機物の分解率を推定する簡便な方法, 日畜会報, **75**, 61-66, 2004.
 - 17) 山本朱美・伊藤 稔・古谷 修 : 豚糞尿混合物からのアンモニア揮散量の in vitro 測定法, 日畜会報, **73**, 503-508, 2002.
 - 18) 坂井隆宏・花島 大・羽賀清典・鈴木直人 : 豚ふんと尿の混合が24時間以内の臭気物質揮散に与える影響, 日豚会誌, **40**, 39-47, 2003.

How Providing Pigs with Low Protein Diet Affects Nitrogen Dynamics and Ammonia Emission During Feces Composting

Takeshi ONOUE, Fumio TACHIBANA*, Yasuo SAMEGAI*, Futoshi KOYAMA,
Nobutaka TESHIMA, Shoichiro YAMAGUCHI and Kenichi ASADA

Fukuoka Prefectural Agricultural Research Center,
1269, Yoshiki, Chikushino, Fukuoka, 818-0004, Japan

* Central Research Institute for Feed and Livestock, Zen-Noh,
1708-2, Tsukuriya, Tsukuba, Ibaraki, 300-4204, Japan

The objective of this study was to determine ammonia emission during composting of swine manure from a low protein diet. Feces and urine of pigs fed CP 14.5% (standard) or 11.5% (low protein) diet were mixed. The percentage of urine content was 20 or 30% in each of the feces. A water adjustment for each feces was made with 55% using perlite. The composting materials were aerated after being filled in a laboratory-scale composting system. The dry matter and organic matter degradation rates were equal. Decreasing dietary CP reduced maximum concentration and amount of ammonia emission during composting to 48.8% and 43.0%. However, a higher urine addition increased ammonia emission.

Jpn. J. Swine Science, **47**, 1 : 8-15

Key words : ammonia, composting, low protein diet, pigs