豚における低タンパク質飼料へのビートパルプの添加による 尿中窒素排せつ量およびふん尿混合物からの アンモニア揮散量の低減

山本朱美・伊藤 稔・古川智子・長峰孝文・亀岡俊則・古谷 修

(財)畜産環境整備機構畜産環境技術研究所, 福島県西郷村, 961-8061

(2002 年 10 月 28 日受付, 2003 年 6 月 20 日受理)

要 約 アミノ酸添加の低タンパク質飼料への乾燥ビートパルプ添加による尿中への窒素排せつ量およびふん尿混合物（スラリー）からのアンモニア揮散量低減効果について調べた。体重約 35 kg の豚 4 頭を代謝ケージに収容し、2 頭には粗タンパク質（CP）含量の低い低 CP 飼料を体重の 3%（低 CP 区, CP 11.33%）、他の 2 頭には低 CP 飼料にビートパルプ（CP 7.78%）を外付けで 30% 添加（飼料配合割合としては 23.08%、低 CP ビートパルプ区）した飼料を体重の 3.9% 給与した。4 日間の馴致期間の後、尿とふんを 3 日間全量採取した。1 期目の試験が終了後、供試飼料を切り替えて 2 期目の試験を 7 日間行った。また、別の豚 4 頭を用いて 2 回目の試験を実施した。なお、1 回目の試験では、スラリーからのアンモニア揮散量をインビトロ法で測定した。得られた結果は以下の通りであった。1 日当たりの窒素摂取量は低 CP 区と低 CP ビートパルプ区で、それぞれ 23.6 および 25.4 g とほとんど変わらなかった。ふん中窒素排せつ量はそれぞれ 4.7 および 9.7 g で、低 CP ビートパルプ区で有意に ($P < 0.001$) 多かったが、尿への窒素排せつ量はそれぞれ 10.3 および 5.6 g と低 CP ビートパルプ区で有意に ($P < 0.001$) 低くなった。1 日当たりのアンモニア揮散量はそれぞれ 722 および 359 mg と低 CP ビートパルプ区で有意に低くなった ($P < 0.01$)。培養前および培養後のスラリーの pH は、低 CP 区に比べ低 CP ビートパルプ区でそれぞれ、1.66 および 0.91 単位と有意に低くなった ($P < 0.05$)。肥育豚でアミノ酸添加低 CP 飼料にビートパルプを添加給与することにより、尿中への窒素排せつ量およびスラリーからのアンモニア揮散量が著しく減少することが明らかとなった。

緒 言

近年、栄養的制御によって窒素やリンの排せつ量を低減させる技術が進展している¹⁾。豚における窒素排せつ量の低減は、アミノ酸添加の低タン

パク質飼料の給与によって可能であり、この技術はすでに普及に移されている¹⁾。一方では、豚に繊維質飼料原料を多く含む飼料を給与すると尿中への窒素排せつ量が減ることが知られている²⁾。山本らは、これまでに、標準的な CP 飼料にリン

Reduction of Urinary Nitrogen Excretion and Ammonia Emission from Slurry by Feeding a Lowering Protein Diet Supplemented with Beet Pulp in the Growing Pigs

A. YAMAMOTO, M. ITOH, C. FURUKAWA, T. NAGAMINE, T. KAMEOKA and S. FURUYA

Livestock Industry's Environmental Improvement Organization, Institute of Livestock Industry's Environmental Technology, Nishigo, Fukushima 961-8061

ゴジュース粕を約 23% 添加して肥育豚に給与することにより、尿中への窒素排せつ量が 36% 減ること³⁾、また、低 CP 飼料にリンゴジュース粕を添加給与することにより、尿中窒素排せつ量およびふん尿混合物（スラリー）からのアンモニア揮散量は、低 CP 飼料に比較して、それぞれ、48 および 80% 低減すること⁴⁾を明らかにした。ビートパルプは、リンゴジュース粕と同様、繊維含量が多く、繊維の大腸での消化性は高い⁵⁾ため、尿中窒素排せつ量の低減効果のあることが知られている²⁾。しかしながら、低 CP 飼料へのビートパルプの添加効果を調べた報告は見当たらない。

そこで、アミノ酸添加の低 CP 飼料へのビートパルプの添加が肥育豚のふんおよび尿への窒素排

せつ量、およびスラリーからのアンモニア揮散量に及ぼす影響について検討し、ビートパルプにはリンゴジュース粕と同様の尿中窒素排せつ量低減効果のあることを明らかにしたので報告する。

材料および方法

1. 供試飼料

供試飼料はトウモロコシを主体とした低 CP 飼料およびこれに乾燥ビートパルプを配合した飼料（低 CP ビートパルプ飼料）の 2 種類で、配合割合を表 1 に示した。低 CP ビートパルプ飼料は、低 CP 飼料にビートパルプを外付けで 30% 添加したもので、配合割合は 23.08% となる。低 CP 飼料には、リジン、メチオニン、トレオニンおよびトリ

表 1. 供試飼料の配合割合および成分組成

	低 CP 飼料	低 CP ビートパルプ飼料
配合割合 (%)		
トウモロコシ	74.00	56.91
ビートパルプ ¹⁾	—	23.08
フスマ	11.66	8.97
大麦	8.40	6.46
魚粉	3.30	2.54
炭酸カルシウム	1.05	0.81
第二リン酸カルシウム	0.23	0.18
塩化ナトリウム	0.30	0.23
ビタミン-ミネラル混合物 ²⁾	0.35	0.27
塩酸-L-リジン	0.44	0.34
DL-メチオニン	0.09	0.07
L-トレオニン	0.15	0.12
L-トリプトファン	0.03	0.02
化学組成 ³⁾		
CP (%)	11.33	9.47
可消化エネルギー (Mcal/kg)	3.30	3.17
有効リジン (%)	0.77	0.59
有効メチオニン+シスチン (%)	0.47	0.35
有効トレオニン (%)	0.49	0.40
トリプトファン (%)	0.17	0.13

1) CP 7.78% (分析値), 可消化エネルギー 2.69 Mcal/kg (独立行政法人農業技術研究機構編(2001)¹³⁾に基づく計算値)

2) 山本ら (2002)¹²⁾ 参照

3) CP は実測値, それ以外は独立行政法人農業技術研究機構編(2001)¹³⁾に基づく計算値

プトファンをアミノ酸要求量⁶⁾を満足するように添加した。また, 消化試験の指標物質としてセライトを2%それぞれの飼料に添加した。

2. 供試豚および飼育条件

試験は2回実施した。1回目の試験では, 体重が約40kgの去勢雄豚(LWD)4頭を個別に代謝ケージに収容し, 2頭ずつ各飼料に割り当てた。飼料は, 低CP飼料区では試験開始時の体重の3.0%相当量, また, 低CPビートパルプ飼料区では体重の3.9%相当量を朝1回給与した。飲水は自由とした。代謝ケージへの馴致期間として7日間を設け, この間は体重の3.0%量に相当する市販飼料(CP14%を保証)を給与した。引き続いて, 試験期間を7日間設け, 4日間の予備試験の後, 窒素出納試験を3日間行った。その後, 供試豚への給与飼料を逆にして, 同様に7日間の試験を実施した。2回目の試験は, 時期を変えて別の4頭の豚を供試して反復実施した。したがって, 各飼料区で8頭の成績が得られることになるが, 1回目の試験および2回目の試験で, 各1頭ずつ, 脱肛等の理由による事故豚が発生したため, 低CPビートパルプ区で6頭の成績となった。

3. インビトロ法によるアンモニア揮散量の測定

1回目の試験ではDERIKXとAARNINKのインビトロ法⁷⁾を改変した山本らの方法⁸⁾でアンモニア揮散量の測定を行った。各供試豚から3日間にわたって採取したふんおよび尿のサンプル, それぞれ40gおよび160gを混合して, アンモニア揮散量の培養に用いた。豚1頭, 1日当たりのアン

モニア揮散量は, インビトロ法によるアンモニア揮散量と1日当たりの尿量を積算して求めた。また, インビトロ法におけるスラリーのpHを, 培養開始時および24時間後の終了時にガラス電極法により測定した。

4. ふんおよび尿の処理, 化学分析および統計処理

窒素出納試験の期間中に排せつされたふんおよび尿は毎日全量を集めて重量を測定し, そのうちの1/10量を分析用試料として4℃で保存した。3日間のふんおよび尿はそれぞれ混合して分析試料としたが, ふんの場合は通風乾燥機により60℃で乾燥後, 風乾状態に戻してから, ウィレー粉碎機により粉碎して分析に供した。ふん中への窒素の排せつ量は, 古谷ら⁹⁾によって報告されたセライト添加AIA指標物質法により見かけのCP消化率を求め, これにもとづいて算出した。

試料中の窒素および酸不溶性灰分の分析は, それぞれ, 石橋¹⁰⁾および古谷ら⁹⁾の方法により行った。また, 試験結果は2回の試験をプールして, 有意性の検定は一元配置による分散分析¹¹⁾により行った。

結果および考察

1. ふんおよび尿への窒素排せつ量

1日当たりの飼料摂取量, 窒素摂取量および窒素排せつ量の結果を表2に示した。飼料は, 低CP飼料および低CPビートパルプ飼料で, それぞれ, 体重の3%および3.9%に制限給飼したが, ほとんど残飼は認められなかった。低CP飼料と

表 2. 低タンパク質飼料へのビートパルプの添加が窒素排せつ量に及ぼす影響

	低CP飼料 ¹⁾	低CPビートパルプ飼料 ²⁾	SEM
飼料摂取量 (kg/d)	1.34	1.54*	0.30
窒素摂取量 (g/d)	23.6	25.4*	0.07
総窒素排せつ量 (g/d)	15.0	15.3	0.61
ふん中窒素排せつ量 (g/d)	4.7	9.7***	0.27
尿中窒素排せつ量 (g/d)	10.3	5.6***	0.57
蓄積窒素量 (g/d)	8.6	10.1	0.89

¹⁾ 8頭の平均値, ²⁾ 6頭の平均値

*P<0.05, ***P<0.001

低 CP ビートパルプ飼料を給与した場合の 1 日当たりの窒素摂取量はそれぞれ 23.6 および 25.4 g であった。低 CP ビートパルプ飼料区のふん中窒素排せつ量は 1 日当たり 9.7 g で、低 CP 飼料区の 4.7 g に比較して多くなった ($P < 0.001$) が、尿中への窒素排せつ量は 1 日当たり 5.6 g となり、低 CP 飼料を給与した場合の 10.3 g に比べ有意に低かった ($P < 0.001$)。

CANH ら²⁾は、ビートパルプを 30% 配合した飼料を肥育豚に給与し、尿中窒素排せつ量が標準的な CP 飼料に比較して 44% 減ることを報告しているが、本試験では、低 CP 飼料にビートパルプを約 23% 配合することによって、尿中への窒素排せつ量は 46% 低減された。山本ら⁴⁾は、低 CP 飼料へのリンゴジュース粕約 23% の添加で尿中への窒素排せつ量が 48% 低減することを報告しており、ビートパルプにおいてもこれとほぼ同様の結果が得られた。今回の実験では、標準的 CP 飼料区は設けていないが、標準的 CP 飼料区に比較して低 CP 飼料では、尿中窒素排せつ量が 50% 低減されることが報告されている¹²⁾。これと今回得られた結果を合わせると、低 CP 飼料へのビートパルプの添加によって、尿中窒素排せつ量は、標準的 CP 飼料の場合に比較して、70~80% 程度にまで低減されることが考えることができる。

ビートパルプの添加によって尿中窒素排せつ量は減ったが、逆にふん中への窒素排せつ量は増えた。これは、リンゴジュース粕の場合も同様であった^{3,4)}。ビートパルプやリンゴジュース粕の CP 含量は、それぞれ、10.9 および 8.5% と比較的少ない (独立行政法人農業技術研究機構, 2001)¹³⁾ ため、窒素摂取量にはあまり変化はなく、また、

窒素蓄積量も変わらないため、ふん尿全体の総窒素排せつ量には差がない。したがって、繊維質飼料原料を飼料に添加給与しても、環境への窒素の負荷軽減には直接つながらないが、ふん尿処理では、一般に固分の堆肥化よりも液分の浄化処理に手間がかかり、また、尿汚水中の窒素が少ない方が脱窒が円滑に行われるという点で、尿中窒素低減の意味がある。尿中窒素低減によりどの程度、ふん尿処理コストが軽減されるかは今のところ明確でなく、今後の課題として残されている。

2. スラリーからのアンモニア揮散量およびスラリーの pH

スラリーからのアンモニア揮散量について表 3 に示した。低 CP 飼料へのビートパルプの添加により、スラリーからの豚 1 頭、1 日当たりのアンモニア揮散量は 359 mg と低 CP 飼料の場合の 722 mg に比較して 50% 減少した ($P < 0.01$)。この減少割合は、尿中の窒素排せつ量の場合と同様で、これは発生するアンモニアの大部分が尿中の窒素に起因することによる。

山本ら⁴⁾は繊維質飼料原料としてリンゴジュース粕を用いた同様の試験で、尿中窒素排せつ量は低 CP 飼料の場合に比較して 48% 低減されるという結果を得ており、これは今回のビートパルプの場合の 46% と同様である。しかしながら、アンモニア揮散量では、リンゴジュース粕の場合は低 CP 飼料に比較して 20% にまで著しく低下しており⁴⁾、これは今回のビートパルプの場合における低減割合である 50% と明らかに異なる。この違いは、インビトロ法に用いたスラリー (培養液) の pH で説明できるかもしれない。著者らはインビトロ法における培養前後の pH がアンモニア揮

表 3. 低タンパク質飼料へのビートパルプの添加がアンモニア揮散量および培養前後のスラリー pH に及ぼす影響

	低 CP 飼料 ¹⁾	低 CP ビートパルプ飼料 ²⁾	SEM
アンモニア揮散量 (mg/d)	722	359**	59.1
スラリー pH			
培養前	8.06	6.40*	0.31
培養後	8.15	7.24*	0.29

¹⁾ 4 頭の平均値, ²⁾ 3 頭の平均値

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

散量に影響し, pH が低い方がアンモニアの揮散が少ないことを明らかにしている(山本ら, 未発表)。表 3 には, インビトロ法の培養前後の pH を示しているが, 低 CP ビートパルプ飼料区における培養前および培養後の pH は, それぞれ, 6.40 および 7.24 であった。これに対して, 山本ら⁴⁾のリンゴジュース粕の場合は, それぞれ, 5.91 および 6.12 と, 明らかにビートパルプの場合よりも pH が低くなっていた。これが, リンゴジュース粕でのアンモニア揮散を著しく低減させた理由とも考えられる。なお, 今回のビートパルプおよびリンゴジュース粕⁴⁾の場合の対照区である低 CP 飼料の培養前のスラリー pH は 8.06 および 8.00 と同様の値を示した。

本研究の結果, アミノ酸を添加した低 CP 飼料へのビートパルプの添加は尿中窒素排せつ量およびスラリーからのアンモニア揮散量の低減に有効であり, リンゴジュース粕と同様の繊維質飼料原料として利用できることが明らかになった。

謝 辞

実験に際しては, 福島県立農業短期大学の山田未知氏には多大の援助をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) 斎藤 守: ニワトリおよびブタからの環境負荷物質の低減化に関する栄養飼料科学的研究の動向, 日畜会報, **72**, J177-J199, 2001.
- 2) CANH, T.T., M.W.A. VERSTEGEN, A.J.A. AARNINK and J.W. SCHRAMA: Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs, J. Anim. Sci., **75**, 700-706, 1997.
- 3) 山本朱美・青木幸尚・伊藤 稔・石川雄治・山内克彦・山田未知・古谷 修: 養豚飼料へのリンゴジュース粕添加による尿中窒素排せつ量低減, 日豚会誌, **39**, 8-13, 2002.

- 4) YAMAMOTO, A., M. ITOH, Y. KADOYA, H. KANNO, M. YAMADA and S. FURUYA. Reduction of urinary nitrogen excretion and ammonia emission from slurry by feeding a lowering protein diet supplemented with apple pomace in the growing pigs, Anim. Sci. J., **73**, 301-304, 2002.
- 5) 杉本巨之: ビートパルプ, ポテトパルプおよびアルファルファの繊維成分の豚における消化率, 日豚研誌, **21**, 4-9, 1984.
- 6) 農林水産省農林水産技術会議事務局編: 日本飼養標準・豚(1998 年版)。中央畜産会, 東京, 1998.
- 7) DERIKX, P.J.L. and A.J.A. AARNINK: Reduction of ammonia emission from slurry by application of liquid top layers. In: VERSTEGEN M.W.A., Den HARTOG L.A., van KEMPEN G.J.M., METZ J.H.M. (eds.) Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, EAAP publ. No. 69. pp. 344-349. Pudoc, Wageningen, 1993.
- 8) 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.
- 9) 古谷 修・山本朱美・伊藤 稔・青木幸尚: 豚の消化試験における指標物質としてのセライト添加酸不溶性灰分の利用, 日豚会誌, **38**, 171-176, 2001.
- 10) 石橋 晃(監修): 新編動物栄養試験法, 養賢堂, 東京, 2001.
- 11) SNEDECOR, G.W. and W.G. COCHRAN. Statistical Methods, 6th ed. pp. 258-275, Iowa State University Press, Ames, IA, 1967.
- 12) 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, 窒素排泄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.
- 13) 独立行政法人農業技術研究機構編: 日本標準飼料成分表(2001 年版)。中央畜産会, 東京, 2001.

Reduction of Urinary Nitrogen Excretion and Ammonia Emission from Slurry by Feeding a Lower Protein Diet Supplemented with Beet Pulp in the Growing Pigs

Akemi YAMAMOTO, Minoru ITOH, Chieko FURUKAWA, Takafumi NAGAMINE,
Toshinori KAMEOKA and Shu FURUYA

Institute of Livestock Industry's Environmental Technology, Livestock Environmental
Improvement Organization, Nishigo-mura, Fukushima-ken, 961-8061, Japan

An experiment was conducted to determine the effects of supplementing a reduced crude protein (CP) diet with beet pulp on the urinary nitrogen excretion and ammonia emission from slurry in the growing pigs. Four barrows (35 kg BW) were assigned to one of two diets. Each pig was placed in a metabolism cage, and fed a low CP, amino acid-supplemented diet (CP 11.33%, low CP diet) or a low CP, amino acid-supplemented diet containing 23.08% of dried beet pulp (CP 9.47%, beet pulp diet) for two 7 d experimental period. After the completion of the first period, the pigs were switched to the other diet. Urine and feces were quantitatively collected daily for 3 d after a 4 d adaptation period. A similar experiment was repeated with the other four barrows.

The daily nitrogen intake for the low CP diet and the beet pulp diet was 23.6 and 25.4 g/pig, respectively. The pigs fed the beet pulp diet excreted more fecal nitrogen, 9.7 g/d, than the pigs fed the low CP diet, 4.7 g/d ($P < 0.001$), but urinary nitrogen excretion in the beet pulp diet was 5.6 g/d, which was much lower than that for the low CP diet, 10.3 g/d ($P < 0.001$). The daily ammonia emission from the mixture of urine and feces determined by an in vitro method was extremely lower for pigs fed the beet pulp diet, 359 mg, than that for pigs fed the low CP diet, 722 mg ($P < 0.01$). At the starting and finishing of incubation, slurry pH of pigs fed the beet pulp diet were 1.66 and 0.91 unit lower than the low CP diet, respectively ($P < 0.05$). The addition of beet pulp to a reduced CP, amino acid-supplemented diet reduces urinary nitrogen excretion, and thereby ammonia emission.

Jpn. J. Swine Science, **40**, 3 : 135-140.

Key words : Pigs, Low protein diet, Nitrogen excretion, Beet pulp, Ammonia emission