

↓プロジェクトの研究紹介↓

平成18～19年度帯広畜産大学教育研究改革・改善プロジェクト研究の概要

バイオガспラント発酵消化液の アンモニアストリッピングによる未利用資源の飼料化

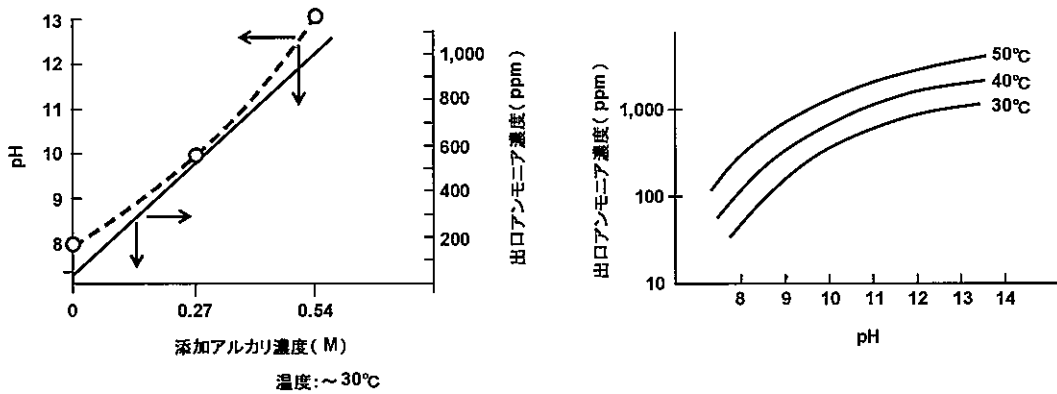
帯広畜産大学大学院畜産学研究科
高橋 潤一

家畜糞尿は堆肥として農地への直接還元、また、バイオマス源としてメタン発酵後、その消化液を液肥として農地還元しリサイクルするシステムが従来から行われてきた。しかし、近年これらの堆肥や液肥中の窒素が地下水などを汚染する問題が顕在化し、農耕地などにおけるいわゆる窒素過多の状態を防止する必要に迫られることになった。濃度の高い地下水中の窒素（硝酸イオン、亜硝酸イオン）は病理的にもメトヘモグロビン血症を引き起こし、環境基準を設けて、窒素過多を抑制することは重要な課題になった。そこで排泄物中の窒素をアンモニアとして回収し、それを有効利用することができれば、問題解決に向かって大きく前進できるものと考えられた。家畜排泄物である糞尿から直接、アンモニアを回収すると、多くの悪臭成分と一緒に回収されてしまうことが大きな問題となる。そこで糞尿を一度、高温メタン発酵処理して、悪臭成分の多くを分解し、回収するアンモニアの純度を上げておく方法が好ましい。高温メタン発酵とくに高温（55℃）のメタン発酵において、硫黄系悪臭成分の大半は硫化水素に、また、窒素系悪臭成分の大半はアンモニアにまで分解される。そのため家畜排泄物からアンモニアガスを回収する場合の排泄物前処理法として高温メタン発酵は非常に優れている。なおメタン発酵において発生する硫化水素は通常、バイオガス中に含まれていて、アンモニア放散塔において弱アルカリ性の消化液から放散する量は少ない。アンモニア放散塔で

消化液からストリッピングしたアンモニアはガスのまま、生物脱硫塔を通して脱臭処理したのち、わら類に作用させて、その飼料価値を上げることができる。栄養価の低いイナワラ、小麦稈等のソフトセルロース系バイオマスにアンモニアや尿素を作用させて嗜好性を上げるとともに、粗タンパク質含量などの栄養価を高める方法は従来から行われてきた。しかし、アンモニアや尿素を安価に入手し、安全に取り扱うことが農村地帯では必ずしも一般的でないこともあって、普及までには至っていない。現在、放置や廃棄することが許されなくなった家畜糞尿を高温メタン発酵で処理したのち、消化液中のアンモニアをストリッピングすることによって消化液の脱窒を行い、消化液を農地還元しやすい組成にすることが、再利用という点で最も合理的かつ経済的な方法と考えられる。さらに従来、飼料価値の低いわら類を品質の高い飼料にして利用することができれば、新飼料資源の創生も附加された二重に好ましいリサイクルシステムを構築することができる。本研究ではまず、ソフトセルロース系バイオマスとして小麦稈に対して、高温メタン発酵消化液からベンチスケールのアンモニアストリッピング施設によって回収したアンモニア処理を行った。次にそのアンモニア処理小麦稈の飼料価値についてめん羊を用いた消化・窒素試験及びガス・エネルギー代謝試験を実施し、検討を行った。

表1 科学フィールドセンターバイオガスプラント消化液の組成

項目	採取日	H13-12-06	H14-1-24	H14-10-1	H17-12-12	分析方法
pH		7.8	7.8	8.1	8.0	ガラス電極法
TS (%)		6.5	5.7	8.8	7.1	JIS-K-0102-14-2
VTS (%)		5.3	4.5	6.0	5.8	600±25°C 強熱減量残渣
CODcr (mg/L)		18,700	59,000	58,000	62,000	JIS-K-0102-20
BOD (mg/L)		210	7,300	7,500	7,100	JIS-K-0102-21
T-N (mg/L)		2,700	2,600	3,100	3,000	JIS-K-0102-45
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)		1,100	1,600	1,400	1,600	JIS-K-0102-42
P ₂ O ₅ (mg/L)		1,100	1,400	1,400	1,500	JIS-K-0102-46
K ₂ O (mg/L)		3,300	3,700	3,600	3,900	原子吸光光度法
備考		立上運転 終了時	NO ₃ ⁻ -N: 60mg/L 定常運転時	中温発酵 移行時	定常運転時	



アンモニア放散濃度と消化液pHとの関係 アンモニア放散濃度の温度依存性

図2 アンモニアの放散特性

表2 アルカリ性生物脱臭方式における臭気成分の除去特性

(単位ppm)

成分	脱臭塔前	脱臭塔後
NH ₃	~500	~450
H ₂ S	~50	—
MeSH	~5	—
DSH	—	—
DMDS	—	—
Skatole	—	—

温度: 約20°C
—: 検出せず

表3 麦稈のアンモニウム処理結果例(50°C 10日間処理)

単位:wt%

成分	未処理	処理1	処理2	定量方法
粗蛋白質量	4.8	5.2	6.3	ケルダール法
粗脂肪量	0.8	0.8	0.8	ソックスレー抽出法
粗繊維量	37.6	41.9	42.8	重量法
リグニン	9.3	8.5	8.7	P.J.Van Soest法
セルロース	49.8	47.2	45.1	P.J.Van Soest法
ヘミセルロース	12.4	18.1	19.1	P.J.Van Soest法に準ずる
糖 度	13.7	10.5	11.9	糖度計法

処理1:麦稈約15g(乾物)に対してアンモニア0.65gを作用

処理2:麦稈約15g(乾物)に対してアンモニア1.10gを作用

各定量は食品衛生検査指針に従って実施

4. アンモニア処理小麦稈の飼料価値

アンモニア処理小麦稈の飼料価値について評価するためにルーメンフィスチュラ装着めん羊4頭を用い、4×4ラテン方格法に従って消化・窒素代謝試験及びガス・エネルギー代謝試験を実施した。アンモニア処理小麦稈は単味給与区のほかにTMR給与を想定し、乳牛用市販配合飼料との混合飼料給与区を設定した。4試験区は次の通り設定した。

- 1) クレイングラス乾草給与区; CH
- 2) アンモニア処理小麦稈給与区; ATS
- 3) 混合飼料I区: クレイングラス乾草+配合飼料区(6:4で設置した)
- 4) 混合飼料II区: アンモニア処理小麦稈+

配合飼料区(6:4で設置した)

表4に乾物摂取量及び成分消化率を示す。供試アンモニア処理小麦稈は冬季舎飼い期から夏季放牧期にかけて調製したものを混合して供試飼料としたために平均的にアンモニアストリップングが不十分な小麦稈となった。DM摂取量は単味では有意に($p<0.01$)低い摂取量を示したが、混合飼料II区は混合飼料I区と大きな差は認められなかった。DM及びOM消化率は対照に用いたクレイングラス乾草に比べ、有意に($p<0.05$)に低い値を示したが、混合飼料II区は混合飼料I区と大きな差は示されなかった。

表4 乾物摂取量及び成分消化率

	クレイングラス 乾草区	アンモニア 処理小麦稈区	混合飼料 I区	混合飼料 II区
DM 摂取 (g/d)	909.98 ^a	474.45 ^b	1001.65 ^a	929.20 ^a
消化率 (%)				
DM	54.84 ^b	38.59 ^c	63.73 ^a	60.66 ^{ab}
OM	55.43 ^b	39.27 ^c	64.78 ^a	62.46 ^a
NDF	55.95 ^a	42.39 ^b	54.13 ^a	44.44 ^b
ADF	49.89	42.14	50.67	40.26
CP	68.57 ^{ab}	50.74 ^b	79.69 ^a	74.60 ^a

a, b 異なる肩文字間に有意差あり ($p<0.05$)

表5に窒素出納の結果を示す。DM摂取量の低下を反映し、窒素摂取量の低下に伴って、排泄窒素量、蓄積量及び蓄積率共に低い値を示したが、混合給与Ⅱではいずれも顕著な改善が認められた。

表6にエネルギー出納の結果を示す。

窒素出納試験結果と同様の傾向を示したが、混合飼料Ⅱ区では混合飼料Ⅰ区と近似した値を得、エネルギーの蓄積量は通常の牧乾草を粗飼料とした混合飼料と遜色がないことが明らかになった。

表5 窒素出納に及ぼすアンモニア処理の影響

	クレイングラス 乾草区	アンモニア 処理麦稈区	混合飼料 Ⅰ区	混合飼料 Ⅱ区	SEM	P
g/d						
摂取N	16.72 ^b	5.60 ^c	23.51 ^a	17.65 ^b	1.09	0.001
糞中N	5.92 ^a	2.73 ^b	4.75 ^{ab}	5.05 ^{ab}	0.83	0.265
尿中N	10.12 ^{ab}	4.45 ^c	11.72 ^a	8.88 ^b	0.52	0.005
可消化N	10.8 ^b	2.87 ^c	18.77 ^a	12.85 ^{ab}	1.69	0.008
蓄積N	0.69	-1.58	7.05	2.3	2.20	0.124
%						
消化N	62.42 ^{ab}	50.74 ^b	79.69 ^a	71.28 ^{ab}	6.42	0.076
蓄積率	-1.68	-31.06	29.88	13.63	18.72	0.212

a,b異なる肩文字間に有意差あり(p<0.05)

表6 エネルギー出納に及ぼすアンモニア処理の影響

	クレイングラス 乾草区	アンモニア 処理麦稈区	混合飼料 Ⅰ区	混合飼料 Ⅱ区	SEM	P
摂取E (MJ/kg)	16.48 ^a	10.68 ^b	18.85 ^a	17.98 ^a	1.016	0.005
HP(MJ/kg)	5.46 ^a	4.34 ^b	5.56 ^a	5.26 ^a	0.24	0.040
(%)						
糞中E	47.39	52.33	30.42	36.30	9.51	0.240
尿中E	3.76 ^{ab}	4.73 ^a	3.40 ^b	2.68 ^b	0.32	0.018
メタンE	10.75	9.76	9.23	8.99	1.09	0.690
E消化率	52.61	47.67	69.59	68.24	9.99	0.413
E代謝率	40.15	30.33	56.96	58.22	8.30	0.156
E蓄積率	8.60	-6.88	27.43	28.17	14.91	0.328

E:エネルギー

a,b異なる肩文字間に有意差あり(p<0.05)

5. 考察

本研究システムの理念は家畜排泄物をメタン発酵し、まずバイオガスによるバイオマス発電を行う。次いで副生する消化液からアンモニアを放散させて、消化液中の窒素濃度を低減して液肥として散布しやすい組成にする。さらに放散、回収したアンモニアを麦稈や稲ワラに作用させて飼料とする見通しが今回の研究によって明らかになったと考えられる。この家畜排泄物を利用する小麦稈、稲ワラ等のソフトセルロースバイオマスからの飼料の製造方法は次の特徴と課題を有している。

1) 環境, 農業面における特徴

- ・麦稈, 稲わらなどの高付加価値化再利用(飼料化)

- ・新たな窒素循環システムの構築と農耕地の窒素過多状態防止

- ・とくに地下水の硝酸性窒素による汚染防止

- ・家畜排泄物の高温(55℃)メタン発酵処理法導入による衛生効果

2) エネルギー面における特徴

- ・バイオガスによるバイオマス発電

3) ソフトセルロースバイオマスの飼料化

- ・アンモニアストリッピングのための家畜糞尿の安定投入

- ・TMR給与