

フィードロット廃棄物の生物工学的性質について

BiO-Engineering Properties Of Feedlot Wastes

by E, P, Taiganides

Animal Wastes, P131~156 (1977)

家畜の全ゆる部分は人間に有効利用される反面、フィードロットでは20 Kg以上の廃棄物が生み出される。それ故、人間の要求に見合った動物タンパクを生産するための有効なフィードロットを開発する必要がある。環境汚染を起こさないためにも、多量の廃棄物を有効に処理してゆく必要がある。この「フィードロット廃棄物」という言葉は、主に肉、ミルク、卵の生産過程において生み出される糞や尿のような固体混合物を指しており、寝わらやその他の異物は含まれない。又、フィードロット廃水とは、十分に水が加えられ自由に流れる液体となった廃棄物を指す。フィードロット廃棄物は、家畜の種類、大きさ、育成年数、餌、あるいはフィードロットにおける水の使用量、微細な環境条件気候などの種々の影響を受け、さらに廃棄物処理システムや生化学的活動により変化する。フィードロット廃棄物の性質は物理的、化学的及び生物学的な要素に分類できる。

I 物理的要素

最も重要なのは固形分含量であり、それに関連した物理的性質としては温度、色、味、におい、比重、かさ密度、粒子径、粘度、親水特性である。廃棄物の色は最初は明るい褐色であるが後に黒変し、においは最初は飼料(Feed)のようなカビ臭いにおいがするが後に腐卵臭に変わる。フィードロット廃水の比重は水のそれと等しく1であると考えられる。

1. カサ密度

かさ密度は廃棄物の体積と重量の比であり、この値は貯蔵施設やポンプの設計にとって重要である。風乾した糞尿を 1.400 Kg/cm^3 までの圧力で圧縮するとかさ密度は 0.2 g/cm^3 から 2.1 g/cm^3 まで変化する。それ故、適度に乾燥した糞尿はにおいがなくペレットにでき、水分にふれない限りにおいては無期限に貯蔵可能であり、又容易に輸送も可能である。

2. 粒子径

粒子径は沈澱作用及び機械的スクリーンなどを利用した固液分離施設にとって重要である。溶解状粒子を取り去る方法はこれらの粒子をバクテリアに食わせることである。廃水中の粒子の径および重量は餌と家畜の種類により変化する。

3. 粘 度

さらに廃棄物処理施設の設計において重要なのは廃棄物中の水分含量である。図-1に示すように88%以上の水分では液体処理、88%以下では半固体、固体処理が必要である。フィードロット廃棄物は固体含量が10%以下のとき液体と考えられている。

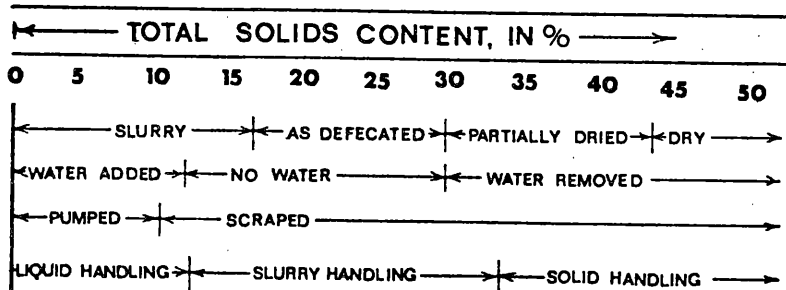


FIG. 1. Classification of feedlot wastes into liquid and solid according to dry matter content (from ref. 8).

4. 廃棄物の量

廃棄物量は直接家畜の重量に比例する。表1に示すように、1日の廃棄物量は羊の総生体重 (Total Live Weight=TLW) の3.6%から乳牛の9.4%の範囲である。表1は大まかな値を示してあり、±20%以内で変化する。オープンフィードロットの場合は水分は蒸発し、しかも有機物は酸化されるため処理量は減少する一方、降雨のため、あるいは土を廃棄物と伴にかき集めるため増加することも考えられる。

TABLE I
BIO-ENGINEERING PARAMETERS OF FEEDLOT WASTES
(from ref. 19)

Parameter	Symbol	Units	Pork pigs	Laying hens	Beef cattle	Feedlot sheep	Dairy cattle
Wet excreta waste	TWW	% TLW/day	5.1	6.6	4.6	3.6	9.4
Total solids	TTS	% TWW	13.5	25.3	17.2	29.7	9.3
Volatile solids	TVS	% TLW/day	0.69	1.68	0.70	1.07	0.89
		% TTS	82.4	72.8	82.8	84.7	80.3
BOD	BOD	% TLW/day	0.57	1.22	0.65	0.91	0.72
		% TTS	31.8	21.4	16.2	8.8	20.4
		% TVS	38.6	29.4	19.6	10.4	25.4
BOD/COD		%	30.7	23.2	17.4	7.8	13.8
N		% TTS	5.6	5.9	7.8	4.0	4.0
P ₂ O ₅		% TTS	2.5	4.6	1.2	1.4	1.1
K ₂ O		% TTS	1.4	2.1	1.8	2.9	1.7

5. 固形分含量

固形分含量はフィードロット廃棄物の最も重要な物理的要素であり、次のマトリックスで表わせる。すなわち

$$\begin{array}{r}
 T T S = T V S + T F S \\
 \parallel \quad \quad \parallel \quad \quad \parallel \\
 T S S = V S S + F S S \\
 + \quad \quad + \quad \quad + \\
 T D S = V D S + F D S
 \end{array}$$

T T S = 全固形物質	T V S = 全揮発性固形物質	T F S = 全不揮発性固形物質
T S S = 全浮遊物質	V S S = 揮発性浮遊物質	F S S = 不揮発性浮遊物質
T D S = 全溶解物質	V D S = 揮発性溶解物質	F D S = 不揮発性溶解物質

T T Sは恒量に達するまで103℃で乾燥した後の重量であり、T F SはT T Sを600℃で燃焼させた後の灰分重量であり、T V SはT T SとT F Sの差として求める。T S SとF S Sは0.3 μm以上の粒子をこして、それを乾燥して上述のようにT S Sの重量を測り次にF S Sを決定するため燃焼する。V S SはT S SからF S Sを引いて求める。溶解物質の全値は直接測定できないので引き算により求める。

1) 全固形物質 (Total Solid=TTS)

T T Sは家畜廃棄物の物理的状态を特徴づけ、流動性、ポンプ効率、粘性を決定する。フィードロット廃棄物のT T Sは表1のように低い値は乳牛の9.3%から高い値は羊の29.7% (排泄直後)である。このような低固形分のため、乳牛と豚の廃棄物は家禽、羊、肉牛のそれより液体処理による所が多い。

2) 全揮発性固形物質 (TVS)

表1に示すように、鶏以外はT T Sの80%以上は揮発性物質である。1日あたり、T L W 1,000 Kgについての揮発性物質量は鶏が12.2 Kgであるのに対し、豚は5.7 Kg、肉牛は6.5 Kg、羊は9.1 Kg、乳牛は7.2 Kgである。T V Sは廃棄物固形含量の有機物量である。廃棄物処理中に安定させねばならないのはこの成分であり、T V Sが80%から50%に減った時安定が始まると考えられる。

3) 全不揮発性固形物質 (TFS)

不揮発性固形分は主にN、P、K及びCa・Zn・Cu・Feなどの化学肥料としての無機物からなっている。T F SがT T Sの27.2%である鶏の廃棄物以外は20%以下のT F Sである。

4) 全浮遊物質 (TSS)

フィードロット廃水中のT S SはT T Sの30~80%であり、濃度は肉牛のオープンフィードロットでは1500~12000 mg/lであり、肉牛、乳牛の廃水の平均は2500 mg/lである。浮遊物質は揮発性浮遊物質 (V S S)と無機浮遊物質 (F S S)とに分かれ、T S SのほとんどがV S Sである。

II 生化学的要素

フィードロット廃水についての重要な生化学的要素は、生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、全有機炭素量 (TOC)、土壌酸素要求量 (SOD)である。TOCはリグニン、セルロースなどの化学成分中の有機炭素を含むが、そのようなものは生物的処理で分解される。TOCは、川、廃液の汚染程度の測定に用いられ、炭素分析器により900℃~1000℃に燃焼し炭素の二酸化物にして測定している。TOCは非常に迅速なテスト法であり、処理施設の効率を監視するには有益である。

1. 生物化学的酸素要求量 (BOD)

理論：BODは好気性の状態で分解可能な有機炭素物質を安定させるに必要な酸素量である。BODの消費の現象は2段階にわかれ、第1は炭素化合物が酸化される段階であり、第2はタンパク質、尿素などの窒素化合物が酸化される段階である。ほとんどの有機廃棄物は最終炭素質酸素要求量の80～90%は5日目までに消費され7～8日目には窒素化合物による第2段階が始まることがわかっている。BODの試験は20℃5日間培養する方法が標準試験法として用いられる。

2. BOD値(BOD Value)

表1は豚の廃棄物が単位固形分につき最も多くの酸素を要求することを示し、TTS100gにつきBODは31.8gである。100Kgの豚は1日に0.22KgのBODを伴った廃棄物を出す。人間のBODが1日に91gとすると豚は2.4人分と等価であるが、家畜のBODが最終BODの僅か16～60%であるのに比較して、人間の汚水は80%であり直接比較は出来ない。

3. 化学的酸素要求量(COD)

CODは生物的处理過程における計画的要素として普通考えられていない。それはBODが5日間かかるのにCODは1～3時間で完了するため検査項目として利用される。COD試験は高温度のもとでの有機炭素の酸化に使われる酸素を測定している。COD試験では生物分解に対してかなりの抵抗をもつ有機炭素が分解されるため表1に示されるようにBOD値より大きく、羊のフィードロット廃棄物の場合、BODはCODの7.8%である。

4. 土壌酸素要求量(SOD)

土壌に糞尿を多く与えすぎると土壌への酸素供給が不十分となり土壌条件を悪化させる。もし酸素が潤渇してゆく割合が廃棄物の汚染能力に比例すると考えると、土壌中に混合する家畜の廃棄物量がSOD試験により決めることが出来る。この試験では廃棄物は風乾した土壌を入れ密封したヴァールブルクフラスコ中におかれ、水が加えられて微生物が廃棄物を分解するにつれO₂が消費されCO₂が出される。CO₂はフラスコ内の40%KOHに吸収され、フラスコ内の圧力変化により消費されたO₂の量を求める。肉牛、家禽、乳牛は固形分1gにつき5日間で約110mgのO₂の吸収があり、豚は約140mgである。SOD曲線は、ある時間がバクテリアの培養のため必要であるためBOD曲線より遅れた位相をもっている。

Ⅱ 化学的要素

フィードロット廃棄物について化学的に重要な要素はPH、導電率、化学肥料としての植物栄養素、有毒な金属や生物的に有毒な化学物質などである。

1. 金属(Metals)

都市廃棄物や産業廃棄物と異なり、フィードロット廃棄物は毒素となるにたる高濃度の金属や化学物質は含まれていない。しかし金属は蓄積するため一定の条件下では有毒となりうる。注意を要する金属は銅、亜鉛、ホウ素、鉄、マンガンである。フィードロット廃棄物においては金属の量は2～100mg Cu/KgTTS、10～100mg Zn/KgTTS、60～33000mg Fe/kg TTS、15～270mg B/kg TTSである。

2. 化学肥料成分 (Fertilizer Element)

主要な化学肥料はN、P₂O₅、K₂Oであり、次にS、Mg、Caであり、微量元素としてはFe、Mn、B、Cl、Zn、Cu、Mo等である。飼料中のNの72～92%、Pの61～87%、Kの82～92%が家畜廃棄物中に存する。

1) 窒素

窒素はNH₃、NO₃、NO₂あるいは他の形でフィードロット廃棄物、廃水の中に存在するが、N含量は化合物の揮発性故に変化しやすい。しかも窒素の損失割合は、廃棄物の堆積状態や処理方法に影響されるため評価しがたいが固形分処理システムにおいては20% (Deep pit System)から55% (Open feedlots) 液状分処理システムでは25% (嫌気性System)から80% (好気性システム)といわれている。

2) 磷

表1に示されるように磷の範囲は乳牛の1.1% TTSから鶏の4.6% TTSまでである。一般に豚と家禽は牛よりも磷の濃度は高い。

3) カリウム

フィードロット廃棄物のカリ化合物は豚の1.4% TTSから肉牛の2.9% TTSまでの範囲である。サイレージや粗飼料の給餌は濃厚飼料より多くのカリウムを排泄する。カリウム塩は過度に用いられると土壤に蓄積され、植物のMg吸収を妨げたり他の塩に関しても問題を引き起こしたりする。

3. 導電率 (Electrical Conductivity)

導電率 (EC) はフィードロット廃水中の無機溶解塩の指標となる。ECを高める最も主要な塩は、Na、K、Mgなどである。フィードロット廃水のECは1～7 mmho/cmである。

IV 細菌学上の要素

主な細菌学上の要素は糞の大腸菌とバクテリアの総数、病原菌の鑑定である。顕微鏡試験から肉牛の糞1g中に 250×10^6 ～ 2000×10^6 のバクテリアがみつがっている。それらのバクテリアのほとんどは嫌気性菌である。牛のフィードロット廃水の中には高濃度の大腸菌があり、連鎖状球菌も見出すことが出来る。有機物100mlにつきMPN数は 3.3×10^6 ～ 790×10^6 の範囲にある。最も高数になったのは暖かい天気の時で、その状態は固形分の溶解が起こっている時である。

V 種々の要素

化学的手段によって分類できない他のいくつかのフィードロット廃棄物に関する要素があり、それらは処理計画には有益である。いくつかの重要な要素は人口等価値 (Population Equivalent)、家畜等価値 (Animal Equivalent)、家畜単位 (Animal Unit) である。

1. 人口等価値 (PE)

都市廃水の処理施設を計画する際に、技術者は1都市、1日につきBOD91gに匹敵する値をとって「人口等価値(P E)」という言葉を用いる。

2. 家畜等価値(A E)

フィードロット廃棄物は人間の汚水と同じ方法では処理出来ないので、人間の廃棄物と比較するよりも家畜間で廃棄物を比較したほうがよい。A Eという言葉は任意に肉牛500Kg(TLW)として選定する。

3. 家畜単位(A U)

A Uは家畜生体重を基にした異った家畜間の比較として定義され、重量500Kgのものがしばしば1 A Uと定義されている。

(北大農学部 森田 幹彦)