



Title	液状家畜ふん尿の好気性発酵による堆肥化 : Ⅰ. 実験装置の試作
Author(s)	樋元, 淳一; HIMOTO, Jun-ichi; 岩淵, 和則 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 15(3), 257-265
Issue Date	1987-03-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12068
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(3)_p257-265.pdf



液状家畜ふん尿の好気性発酵による堆肥化

I. 実験装置の試作

樋元 淳一・岩淵和則・松田 従三

(北海道大学農学部農畜産加工機械学教室)

(昭和61年12月1日受理)

Aerobic Composting of Liquid Animal Waste

I. Design of an Experimental Apparatus

Jun-ichi HIMOTO, Kazunori IWABUCHI
and Juzo MATSUDA

(Laboratory of Agricultural Process Engineering, Faculty of agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

I. 緒 言

近年、畜産経営は収益の増大や省力管理の目的で大型機械や効率的な飼養管理機械を導入し、多頭羽飼育化をすすめてきた。その結果、大量に生ずる家畜ふん尿は、労働力の減少、燃料費の高騰、敷料不足等によって、従来のような処理利用が困難になり大きな問題になっている^{2,4)}。そのため北海道の酪農においても、省力化を図るために、自然流下式やスラッティッドフローによるふん尿混合のいわゆるスラリー方式を採用する農家が増加してきている。この方法は、敷料を使用せず、堆肥の切り返し作業のような重労働を必要としないため、極めて省力的であるが、多くは嫌気性貯溜であるために、腐熟分解がおそく、大容量の貯溜槽を必要とし、悪臭の発生が著しく、害虫卵・雑草種子の残存等多くの問題をかかえている。一方従来の固形物の堆肥化は、多量の敷料を利用して堆積物中に空隙を保持し、切り返しをして酸素を供給することによって有機物の分解が進行する、いわゆる好気性発酵を利用している。この好気性発酵によってふん尿は多量の熱を発生しつつ短期間で腐熟し、悪臭の除去、害虫卵・病原菌・雑草種子の死滅等多くの利点を有することが知られている。この好気性発酵を液状家畜ふん尿に応用することができれば、種々の問題の解決策となりうる。

本研究は、液状家畜ふん尿の好気性発酵による急速な堆肥化の可能性を検討することを目的として基礎実験装

置を試作し、乳牛ふん尿を用いて実験を行ったものである。

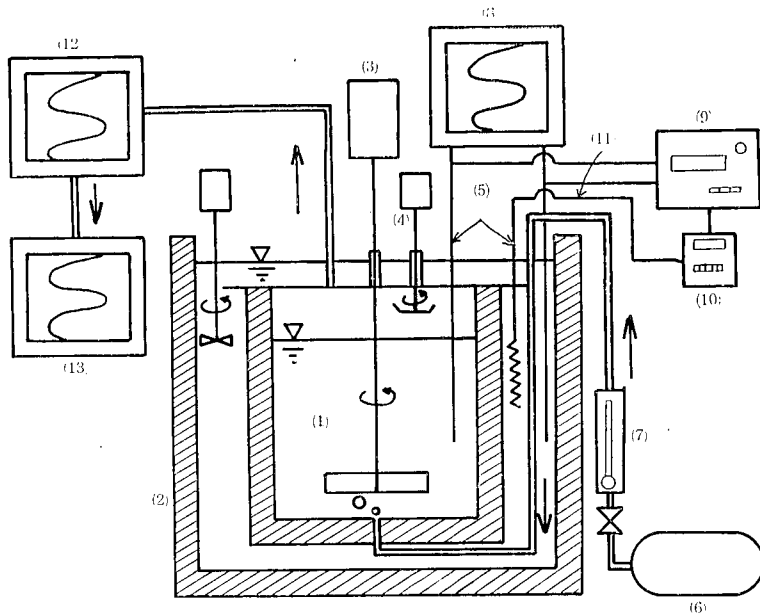
II. 実験装置

好気性発酵とは、酸素の存在下で育成する好気性微生物が酸素を消費して、有機物を分解する生化学反応である⁶⁾。この反応過程において有機物は最終的にCO₂、H₂O、NH₃に分解され、同時に反応熱を発生する。この好気性発酵に関与する微生物は一般にその最適温度範囲に応じて、中温微生物 (Mesophilic, 20~40°C) と、高温微生物 (Thermophilic, 50~70°C) とに分けられる³⁾。好気性堆肥化を断熱的に行えば、反応熱によりしだいに温度が上昇し、活躍する微生物も中温微生物から高温微生物へと移行する。このようにして60~70°Cの高温を維持することによって有機物が急速に分解され、悪臭が除去され、粘性が低下して取り扱い性が向上するだけでなく、病原菌等を死滅させることができる。

以上のように好気性発酵の重要な因子である酸素の供給と断熱性を考慮して、基礎実験装置を試作した。Fig. 1にその概要を示す。

発酵槽は円筒形 (400 mm φ×500 mm) で、側面及び底面を二重にしてその間にグラスウールを封入した。容積は63ℓであり、処理量は40ℓとした。

曝気にはコンプレッサを用い、ロータメータのバルブで空気量を調節し、発酵槽底部から空気を吐出させた。空気吐出口の直上に攪拌用インペラを装着し、攪拌機で



(1) Fermenter (2) Water bath (3) Agitator (4) Foam cutter
 (5) Platinum resistance thermometer (6) Air compressor
 (7) Rotameter (8) Temp. recorder (9) Temp. difference meter
 (10) Temp. controller (11) Heater (12) CO₂ recorder
 (13) O₂ recorder

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

試料を攪拌するとともに気泡を細断し、空気と試料の接触時間を長く保つとともに、均一な空気の供給をはかった。

発酵が進行すると、ふん尿は大量の泡を発生し、発酵槽から流出してしまつたため、発酵槽液面上に消泡インペラを取り付け泡の流出を防いだ。これによって発泡層は一定に保たれ良好な断熱材となる。

発酵槽全体を水槽中に沈め、発酵槽内ふん尿温度に周囲の水温を追従させることによってさらに断熱性を高めた。温度測定には白金抵抗体センサを用い発酵槽内外の温度差を測定してコントローラに出力し、投げ込みヒータのON-OFFで水温を制御した。水槽から逆に発酵槽への熱流入を防ぐ目的で水温を発酵槽内温度より約0.5°C低くなるように制御した。

排気はビニールパイプでCO₂、O₂濃度分析記録計に導いた。

III. 実験方法

1. 供試試料

供試試料は、北海道大学第2農場の乳牛舎のふん尿溝

よりふんを、尿溜めより尿汚水をそれぞれ採取し、自然流下式あるいはスラッティッドバーンの貯溜槽内のふん尿を想定し、水分が90~93%となるように両者を混合して使用した。

2. 実験方法

1) 種培養

40 lのふん尿を発酵槽に投入し、連続攪拌、曝気を行った。ふん尿温度がピークに達した後、低下しはじめてからふん尿を一部取り出し、同量の新鮮ふん尿を投入する操作を繰り返して種培養を行った。

2) 反復回分処理実験

一定の間隔で発酵槽から一定量のふん尿を取り出し、これと同量の新鮮ふん尿を投入する、反復回分操作によって発酵処理実験を行った。

3) 実験条件

実験条件を Table 1 に示す。それぞれの条件に対して3反復の実験を行った。

ここで平均滞留日数 $RT(\text{days})$ とは、投入されたふん尿が発酵槽内に滞留する日数の平均値であり、投入間隔 $IP(\text{days})$ 、1回の投入量 $QP(\text{kg})$ のとき、発酵槽処理量

Table 1. Experimental conditions

Residence time	Interval of pour	Quantity of pour		Aeration rate
20 (days)	2 (days)	4 (kg)	10 (%)	0.15 (ℓ/min·DMkg)
	4	8	20	
	6	12	30	
	8	16	40	
10	1	4	10	0.30
	2	8	20	
	4	16	40	
	6	24	60	

W (kg) と同量のふん尿を処理するのに要する日数と言うこともでき、それぞれの関係は次のようになる。

$$RT = (W/QP) \times IP \text{ (day)}$$

4) 測定項目

- ① 温度：白金抵抗温度センサを用い、打点式記録計に連続自記させた。
- ② CO₂, O₂ 濃度：赤外線式ガス濃度分析器 (富士電機) で測定自記させた。
- ③ 水分：105°C, 24 hr 恒温乾燥法で測定し、湿量基準百分率で示した。
- ④ pH：ガラス電極式 pH メータ (堀場 M 8 L) で測定した。
- ⑤ 有機物濃度：試料を風乾した後粉砕し、105°C で 24 hr 絶乾した後 600°C で 2 hr 強熱しその減量を有機物

として、ふん尿中の重量百分率で示した。

- ⑥ C/N 比：風乾した試料を粉砕し、C/N コーダ (柳本 MT 500) で測定した。
- ⑦ 粘度：B 型粘度計 (東京計器) を用いて測定した。
- ⑧ 粒度分布：土壤団粒分析機で 6 段階の粒径に篩分け、それぞれの固形物の乾燥重量百分率で示した。
- ⑨ 色調：試料にガラス板を密着し、ガラス板上から色彩計 (ミノルタ) を用いて測定し L, a, b の値を求めた。

IV. 結果及び考察

1. 温度・CO₂ 濃度

温度経過の一例を Fig. 2 に、1 日当たり温度上昇率の変化を Fig. 3 に示す。新鮮ふん尿投入直後から温度は

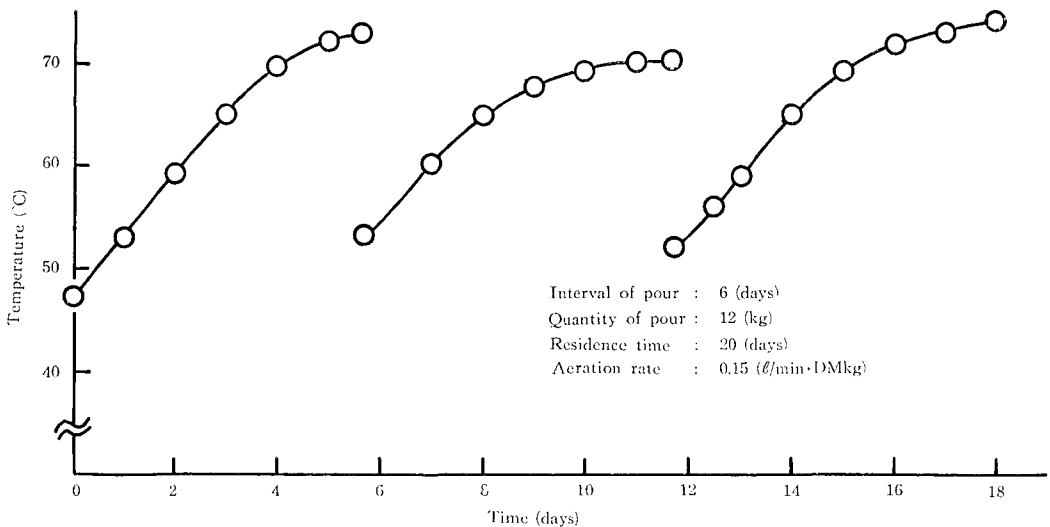


Fig. 2. Changes in temperature.

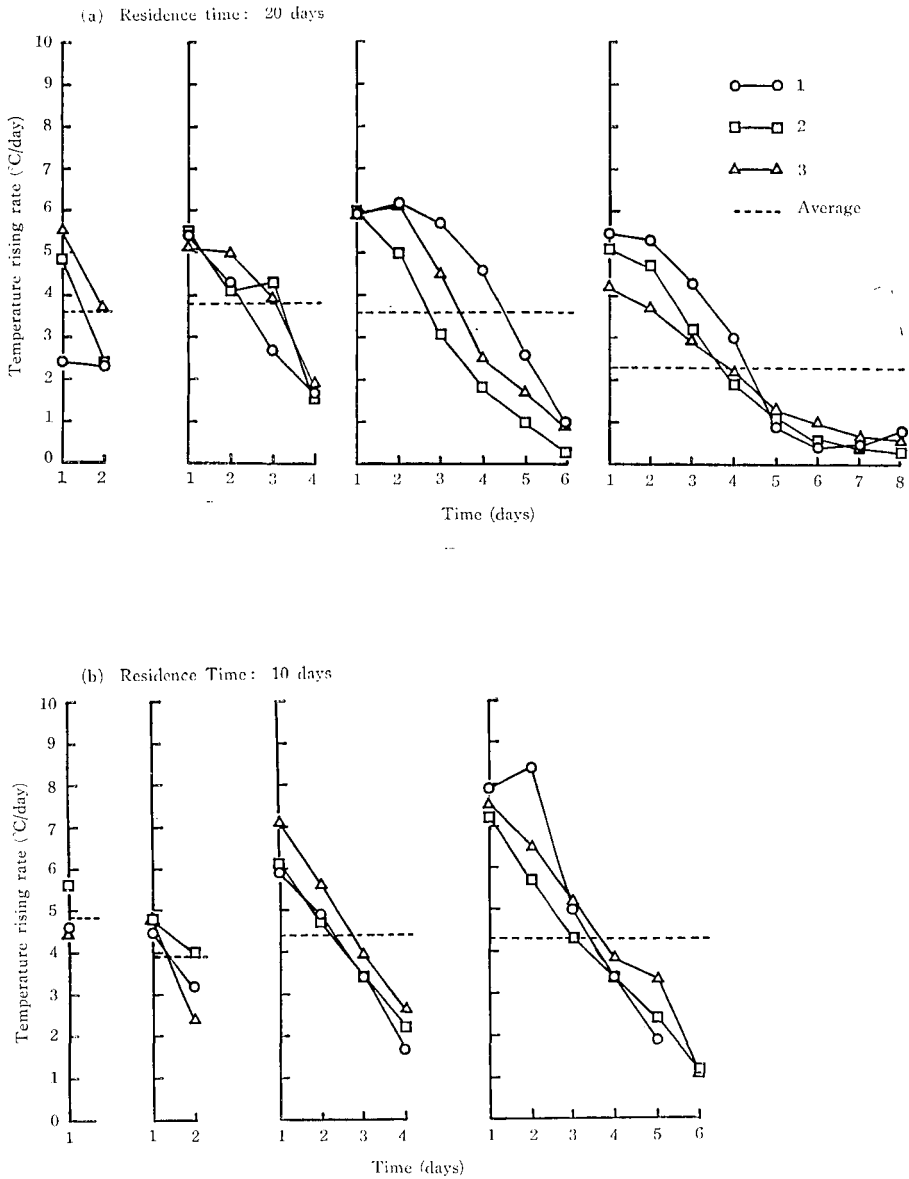


Fig. 3. Changes in temperature rising rate.

急激に上昇し、その後徐々に温度上昇率は低下する。いずれの条件においてもふん尿温度は50°C以上に上昇し、最高では73.9°Cに達した。平均滞留日数(以下RTと略す)20日では、初期の温度上昇率は投入間隔に関係なくほぼ一定であるが、投入間隔8日においては、後半の3日間はほとんど温度上昇がなく、平均温度上昇率は2.3(°C/day)にとどまった。一方RT10日では、初期の温度上昇率は一回の投入量が多いほど高くなっている。またRT20日に比べて、初期の温度上昇率、平均温度上昇率

ともに高い値になっている。

Table 2に初期温度、最高温度および上昇温度幅を示す。RT10日では、初期温度が低かったため最高温度も低くなっているが、温度上昇幅はRT20日の同一投入間隔のものに比べて高くなっている。これらのことからRT20日における曝気量0.15($\ell/\text{min} \cdot \text{DMKg}$)では、酸素の供給量が不足であると考えられる。

排気中のCO₂濃度はいずれの実験においても1~2%と低く、中温微生物、高温微生物の最適温度範囲にお

Table 2. Initial temperature and maximum temperature (°C)

R.T. (days)		20			10		
I.P. (days)	Init.	Max.	Dif.	I.P. (days)	Init.	Max.	Dif.
2	64.5	69.5	5.0	1	58.6	63.0	4.4
	61.0	68.5	7.5		56.1	61.9	5.8
	58.2	67.3	9.1		55.1	59.5	4.4
4	48.8	63.3	14.5	2	48.2	56.3	8.1
	52.2	67.5	15.3		47.5	55.1	7.6
	55.2	70.9	15.7		46.1	53.5	7.4
6	47.2	73.1	25.9	4	39.7	55.6	15.9
	53.2	70.2	17.0		37.6	54.2	16.6
	52.1	73.9	21.8		35.4	55.3	19.9
8	49.5	70.2	20.7	6	32.9	60.0	27.1
	48.1	65.3	17.2		32.5	56.3	23.8
	46.1	62.7	16.6		31.9	59.0	27.1

R.T.: Residence time I.P.: Interval of pour.

Table 3. Changes in moisture content (%)

R.T. (days)	Raw	20		I.P. (days)	Raw	10		
I.P. (days)		B.C.	A.C.			B.C.	A.C.	
2	2	90.1	92.1	92.1	1	91.2	92.5	93.0
		90.9	92.0	93.2		90.5	92.0	93.4
		91.0	92.9	92.3		90.4	91.9	92.5
4	4	89.4	90.0	92.4	2	90.0	91.6	92.5
		90.5	91.0	95.3		90.6	91.5	92.3
		89.8	91.8	90.8		91.0	91.8	92.6
6	6	90.8	91.4	91.8	4	91.5	92.4	92.8
		91.2	91.6	92.1		91.2	92.0	94.4
		90.6	91.8	92.8		90.5	91.6	92.8
8	8	88.7	90.2	90.9	6	91.3	91.5	93.6
		90.7	90.8	91.5		91.3	91.7	93.1
		91.3	91.3	92.7		91.5	91.9	94.5

Raw: Raw slurry B.C.: Before composting A.C.: After composting

る明確なピークも現れなかった。これは本装置のような、発酵槽底部から空気を吐出しインペラで攪拌する方法では、酸素の利用効率が悪く、実際の微生物の酸素要求量に対して過剰の供給をしたにもかかわらず、ほとんどの酸素は利用されずに排出されたものと考えられる。

2. ふん尿物性の変化

新鮮、発酵開始時および発酵終了時のふん尿諸物性測定値を Table 2~8 に示す。

水分は RT 20 日の一部を除いて増加し、92~94% になっている。これは固形物の分解による減少と、H₂O の生成によるものである。

pH は有機物の分解により生成する NH₃ によって上昇すると考えられる。投入間隔が長いほど上昇幅が大きくなっており、同一投入間隔では、RT 10 日の方が投入量が多いために初期 pH は低くなるが、曝気量が多いため有機物の分解が進み pH の上昇幅も大きくなって

Table 4. Changes in pH

R.T. (days) I.P. (days)	Raw	20 B.C.	A.C.	I.P. (days)	Raw	10 B.C.	A.C.
2	6.37	8.40	8.22	1	6.97	6.68	7.20
	6.50	7.69	7.10		6.88	7.07	7.34
	6.62	6.81	6.61		6.88	7.10	6.95
4	6.46	7.61	6.45	2	6.81	6.95	6.98
	6.82	6.68	8.30		6.69	6.75	7.33
	6.70	7.53	8.95		6.75	6.95	7.50
6	7.20	8.21	9.11	4	6.88	7.89	8.45
	6.96	8.11	8.86		6.65	7.26	8.52
	6.82	7.85	8.80		7.00	7.52	8.65
8	6.80	8.05	9.15	6	6.90	7.20	8.60
	6.98	7.99	9.00		6.87	7.05	8.59
	6.80	7.82	8.95		6.80	7.18	8.99

Table 5. Volatile solid reduction rate (%)

R.T. (days) I.P. (days)	20			10			
2	23.6	28.5	17.8	1	24.7	33.5	25.7
4	33.2	—	12.6	2	27.6	19.3	19.4
6	13.6	13.4	26.0	4	18.8	38.9	26.8
8	23.6	12.3	3.4	6	29.7	22.6	36.2

Table 6. Changes in C/N ratio

R.T. (days) I.P. (days)	Raw	20 B.C.	A.C.	I.P. (days)	Raw	10 B.C.	A.C.
2	20.5	19.8	19.5	1	21.6	18.7	17.0
	21.1	20.4	18.5		21.0	18.6	16.4
	20.7	18.4	18.7		21.2	18.3	16.6
4	20.4	19.9	17.9	2	20.5	18.7	18.6
	19.9	19.7	23.5		20.1	20.2	21.2
	20.5	20.1	21.0		21.2	18.3	16.6
6	21.6	22.2	23.3	4	25.3	22.6	25.0
	22.0	22.3	22.9		21.7	22.2	23.6
	20.8	21.1	20.2		25.2	23.7	25.7
8	21.2	22.5	23.2	6	24.2	24.2	21.7
	26.9	23.5	23.9		22.5	23.6	22.8
	26.0	23.1	24.7		24.8	22.5	27.1

いる。

有機物分解率は次の式で求めた。

$$(VS_1 - VS_2) / VS_1 \times 100\%$$

但し VS_1 : 新鮮ふん尿有機物濃度 (%)

VS_2 : 発酵終了時有機物濃度 (%)

有機物分解率は投入負荷の高い RT 10 日の方が RT

Table 7. Changes in viscosity (cP)*

R.T. (days) I.P. (days)	Raw	20 B.C.	A.C.	I.P. (days)	Raw	10 B.C.	A.C.
2	2300	375	300	1	3420	375	105
	4100	450	125		4720	300	115
	6100	325	—		4900	410	270
4	11000	1445	100	2	5100	925	355
	—	630	7		4000	1100	330
	7100	425	370		5400	905	625
6	6600	1000	475	4	3100	1375	400
	3840	1310	120		3420	1220	370
	18600	810	—		5880	305	400
8	19500	1775	475	6	7500	2300	275
	6200	1450	300		4600	2120	250
	2640	725	300		2500	1540	275

* 6 (rpm)

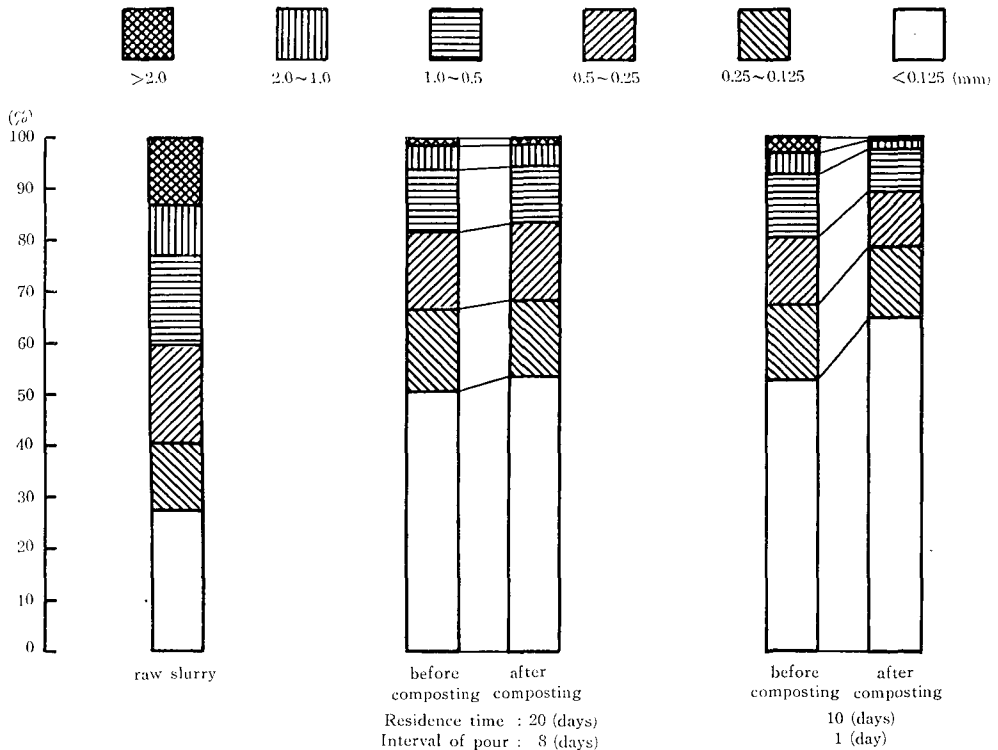


Fig. 4. Particle size distribution.

Table 8. Changes in color value

R.T. I.P.	(days) (days)	Raw	20 B.C.	A.C.	I.P.	(days)	Raw	10 B.C.	A.C.
2	L	21.0	15.5	14.6	1	L	19.3	14.9	15.8
	a	-1.9	-2.4	5.8		a	16.1	15.8	14.8
	b	5.1	1.4	0.6		b	3.4	-7.1	-7.6
4	L	22.4	17.3	15.6	2	L	20.6	17.7	16.7
	a	7.5	6.1	16.3		a	7.0	7.1	15.8
	b	1.5	-3.4	-8.6		b	-2.1	-5.7	-7.2
6	L	19.9	16.9	14.6	4	L	20.9	18.3	17.9
	a	3.8	3.8	5.7		a	9.7	8.7	5.6
	b	4.9	3.2	0.7		b	0.1	-1.5	-3.6
8	L	21.4	17.3	15.5	6	L	20.1	17.1	16.7
	a	0.3	0.6	5.2		a	14.1	13.0	12.2
	b	5.4	1.7	1.5		b	-3.6	-5.1	-4.9

20日より高く、投入間隔6日で29.5%となった。RT 20日での曝気量不足が示されるとともに、RTは10日でも充分分解が進行することを示している。

C/N比は30~35が好気性発酵に最適であり、堆肥としては10~20まで低下させることが必要であると言われている²⁾。本実験においては、新鮮ふん尿でも20~25と低く、発酵後も16~25と大きな低下はないが、これは好気性発酵による炭素の消費と同時に窒素がアンモニアガスとして揮散する量が多かったためと考えられる。RT10日、投入間隔1日ではpHが7程度であり曝気時間も短いためにアンモニアガスの揮散が少ないと考えられ、C/N比の低下は最も大きい。

粘度は各条件間に明確な差は見られないが、いずれも新鮮ふん尿に対して大きく低下している。

粒度分布の測定結果の一例をFig. 4に示す。発酵によって粒径の大きいものが減少し、微細な粒子に分解されていることがわかる。特に0.105 mm以下の粒子は、新鮮ふん尿では約25%であったものが、発酵後50%以上になっており、粘度低下の大きな一因となっている。

色調は明度が下がり(L値の低下)、赤味が増加し(a値の増加)、黄色味が減少する(b値の減少)傾向にある。視覚的には緑色がかかった褐色から黒に近い黒褐色に変化した。

その他、臭気はふん尿臭はほとんど消失し、高温状態が続くとアンモニアの刺激臭が現れるが、常温ではほとんど無臭となった。

V. 摘 要

液状家畜ふん尿の好気性発酵による急速堆肥化を目的として基礎実験装置を試作し、乳牛ふん尿を用いて実験を行って以下のような結果を得た。

(1) ふん尿温度は最高73.9°Cに達し、液状のふん尿でも高温度での好気性発酵が可能であることがわかった。

(2) 好気性発酵の結果、ふん尿は水分・pHが上昇し、有機物濃度・C/N比・粘度が低下し、外観は黒褐色化し、悪臭が除去され、汚物感のない取り扱い性の良い液状堆肥となった。

(3) 平均滞留日数は10日で有機物は充分分解され、分解率は最高29.5%となった。

(4) 曝気量は、0.15(l/min・DMKg)では、明らかに不足であり、0.30(l/min・DMKg)以上必要であることがわかった。

引用文献

- 1) GRABBE, K., THAER, R. and AHLERS, R.: Investigation on the procedure and the turnover of organic matter by hot fermentation of liquid cattle manure. *Proc. of 3rd Inter. Symp. Livestock Wastes*: 506-509. 1975
- 2) 檜垣繁光: 家畜ふん尿の処理利用技術, 畜産公書対策全書, 鶏卵肉情報センター: 36-37. 1979
- 3) MARKEL, J. A.: Managing livestock wastes. *AVI*: 1981
- 4) 美齋津康民: 液状家畜ふん尿の急速腐熟化技術, 畜産試験場年報, 17: 135-148. 1977

- 5) 高畑英彦：ふん尿処理システムと施設，農業機械学会北海道支部会シンポジウム講演要旨：1-15. 1973
- 6) 浦野慎一・小野長治・小山司朗：牛ふん尿の液状堆肥化と農地への施用指標，農業土木学会誌，50 (12)：1013-1020. 1982

Summary

The experimental apparatus for the rapid composting of liquid animal waste by aerobic fermentation was designed and was tested using daily cattle waste slurry. The results obtained were as follows.

(1) The daily slurry was fermented successfully under aerobic and thermophilic conditions. The highest temperature reached 73.9°C.

(2) The aerobic fermentation caused moisture content and pH to increase, volatile solid concentration, C/N and viscosity to decrease, color to blacken, offensive odor to remove.

(3) 10 days of residence time is sufficient to decompose of organic matter, and the maximum volatile solid reduction rate was 29.5%.

(4) 0.15 ($\ell/\text{min}\cdot\text{DMkg}$) of aeration rate was insufficient and 0.3 ($\ell/\text{min}\cdot\text{DMkg}$) was necessary.