

〔醸酵工学 第58巻 第1号 17-21. 1980〕

鶏糞固体発酵処理装置の実用化

藤尾 雄策・大富 芳郎*・上田誠之助

九州大学農学部食糧化学工学科, *児湯養鶏組合

Performances of equipment for chicken manure treatment by solid state fermentation.

FUJIO, Y., Y. OHOTOMI*, and S. UEDA (*Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812*; **Organization of Koyu Chicken Farmers, Koyu-gun, Miyazaki 889-14*) *Hakkokogaku* 58:17-21. 1980.

A new plant for treatment of raw chicken manure with a fermentation capacity of 96 ton per day was developed on the basis of results obtained in a pilot plant with a fermentation capacity of 4.8 ton per day. The performance of the new plant was studied with respect to the utilization rate of heat generated by fermentation, the reduction of the bad smell of fermented chicken manure as an organic fertilizer, and the reduction of the bad smell emitted during the treatment. The utilization rate of fermentation heat was estimated as 85 % of the total heat capacity required to make dried chicken manure as a final product. The bad smell of fermented chicken manure was markedly less than that of chicken manure dried by the conventional high-temperature method which employs an oil combustion burner. The bad smell emitted during fermentation treatment did not seriously pollute the surroundings. The fermented chicken manure was useful as an organic fertilizer, having nearly the same quality as stable manure or compost.

畜産廃棄物の微生物処理に関する多くの試み¹⁾がこれまでになされてきた。現在わが国における畜産産業の中でも、養鶏は最も集約化され、これらの養鶏場から毎日多量に発生する鶏糞の合理的な処理方法と、処理物の有効な再利用が望まれている。筆者らはこれまで鶏糞を発酵させ、その際発生する発酵熱を利用して鶏ふんを乾燥させると同時に、処理中に発生する悪臭の低減をはかる合理的な鶏糞固体発酵装置について研究²⁻⁴⁾を行ってきた。

本報告では、パイロットプラントによる鶏糞発酵処理試験結果³⁾に基づいて、鶏糞を固体発酵法により乾燥し、最終的にはペレットに成型して、肥料として再利用するプロセスの開発を行った。この実用装置を使用して実際の鶏糞処理を行い、発酵熱の利用される度合、処理中に発生する悪臭、そして鶏糞自身の悪臭の発酵による低減効果について検討を行った。

実験方法

鶏糞の分析 含有水分の測定は湿潤鶏糞 10~20 g を 60℃ で 24 時間以上真空乾燥して恒量として行った。

この結果は湿潤基準で%表示した。鶏糞発酵乾燥物の肥料としての分析は水分、粗灰分、有機物、窒素、リン酸、カリ、苦土について標準的な方法⁵⁾に依った。

鶏糞の発生する悪臭の測定 生鶏糞、本装置で処理してペレットに成型した鶏糞、170℃ で 24 時間乾燥した鶏糞、40℃ で 48 時間乾燥した鶏糞、日陰で 72 時間風乾した鶏糞、60℃ で 24 時間真空乾燥した鶏糞の 6 種の試料をそれぞれ乾燥重量基準で 1 g 秤取する。これを 100 ml 三角フラスコに入れ、蒸留水 3 ml を加えてスラリー状とし、密栓して 40℃ で 2 時間放置する。その後、ヘッドスペース中に含まれる二硫化メチル、硫化メチル、メチルメルカプタンをガスクロマトグラフで定量した。使用したガスクロマトグラフは日本電子製 JGC 20K, FPD-111 型で、その操作条件を Table 1 に示す。

処理中に発生する悪臭の測定 後述する処理プロセスのうち、原料鶏糞のコンテナヤード、固体発酵槽仕込み口そして空気排出口においてアンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、メチルサルファイドそしてトリメチルアミンの 5 物質について環境庁所定の方法⁶⁾によって測定した。なお、実際の測定操作は宮

Table 1. Operation conditions of gas chromatograph.

Column	Stationary phase	chromosorb W (AW-DMCS) 80/100
	Liquid phase	1, 2, 3-Tris 25%
	Glass column	2 ϕ $\times$ 3 m
Operation	Column temperature	70°C
	Injection temperature	130°C
	Detector temperature	230°C
	Carrier gas	N ₂
	Carrier gas flow rate	40 (ml/min)

Gas chromatograph : JGC 20K type FPD-111

岐阜公害防止協会に依頼した。

発酵によって発生する熱量の推定 仕込み時の原料鶏糞の含有水分を実測し、この値と発酵乾燥後の含有水分実測値に基づいて蒸発した水量を算出し、この値に 40°C における水の蒸発潜熱を 575 kcal/kg⁷⁾ として熱量に換算した。処理プロセスにおける発酵済み鶏糞をペレットに成型する過程では、鶏糞の含有水分は 20% が最適である。発酵熱のみによる鶏糞乾燥では、その含有水分を 30% 以下にすることは困難であったので、発酵槽最下段において 80°C の熱風を必要に応じて使用し、最終水分が 20% になるように水分調整を行う。このように間欠的ではあるが熱風を使用するために、発酵のみによって得られるであろう最終水分は推定せざるを得ない。パイロットプラントによる結果²⁾ 等から発酵熱のみによる鶏糞の最終水分を 30% として熱量計算を行った。

処理プロセスおよび固体発酵装置

1. 処理プロセス 鶏糞処理プロセスの大略を Fig. 1 に示す。鶏糞は矢印の順序で処理されるが、このプロセスでもっとも留意した点は鶏糞の発生する悪臭の放散を防止するためにできるだけ密閉状態で輸送、処理をする点にある。Fig. 1 における第 3 段階までは処理工場外の問題であるが、外部に悪臭が放散しないように 4 m³ の密閉コンテナを使用して輸送する。鶏糞は発酵槽にこのコンテナより直接仕込む。仕込み操作の際に一時発酵槽仕込み口を開けなければならないが、この時以外は常に密閉状態で発酵槽は運転される。このプロセスにおいて、発酵済み鶏糞は最終的に直径 1 cm、長さ 3 cm 程度のペレットに成型される。パイロットプラント試験の結果²⁾ によって、発酵乾燥のみでは鶏糞の含有水分を 30% 以下にすることは困難なことが知れていたが、一方ペレットに成型するためには含有水分 20% 前後が最も適当である。そこで、

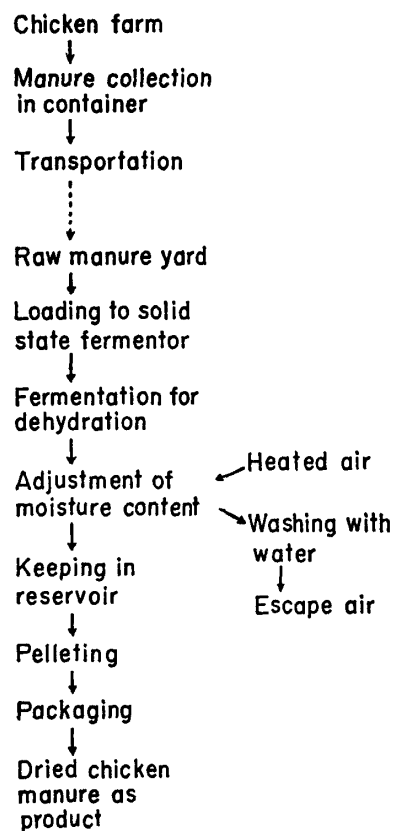


Fig. 1. Flow sheet for chicken manure treatment by solid state fermentation.

発酵槽第 6 段に 80°C の熱風を送風できる機構を設けて、必要に応じて発酵済み鶏糞の最終含有水分の調整ができるようにした。このプロセスのフローシートを Fig. 2 に示す。1 日当たりの湿潤鶏糞処理量は 96ton で、鶏糞は太い矢印にそって処理される。発酵に際して種菌は一切使用せず、発酵は自然発酵によるが、この際著量のアンモニアの発生²⁾ がさけられない。そこで Fig. 2 において細い矢印で示される通気空気は最終的に水洗塔で洗浄した後に排出できるようにしてある。鶏糞の最終含有水分を調整するために使用する

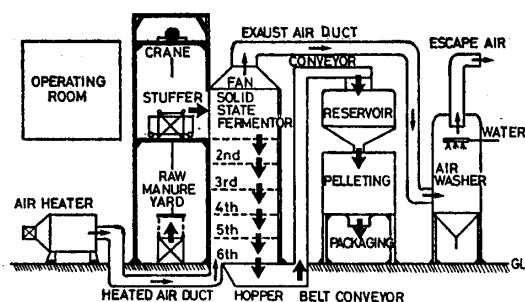


Fig. 2. Flow diagram of fermentation process for chicken manure treatment.

熱風発生機は重油を燃焼させる方式で、これは必要時のみ運転される。フローシート中の全装置は、仕込み操作を現場で行う以外はすべて操作室で集中的に管理、運転できる。

2. 固体発酵槽 固体発酵槽の大略を Fig. 3 に示す。本発酵槽は6段の棚段式で最上段に原料鶏糞が仕込まれ、発酵しながら1日に1段ずつ落下させていく方式である。仕込み時に種菌は添加せず、自然発酵のみによって処理を行う。棚段の機構は、既報²⁾のものと同一である。1基の発酵槽の大きさは幅2.5 m、長さ20 m、各棚段の間隔0.75 mで、8基の発酵槽を並列に設置してある。最上段に仕込まれる原料鶏糞の層厚は0.3 mを基準とし、このときの処理能力は1日当たり96 ton (湿潤基準) である。Fig. 3 に示されている仕込み装置によってコンテナで運ばれた原料鶏糞を、そのまま一定層厚に仕込むことができる。本発酵槽上部には排風装置が、下部には送風口と発酵済み鶏糞の排出装置が設けられている。送風は1日21時間を行き、鶏糞層を上段から下段へ落下さ

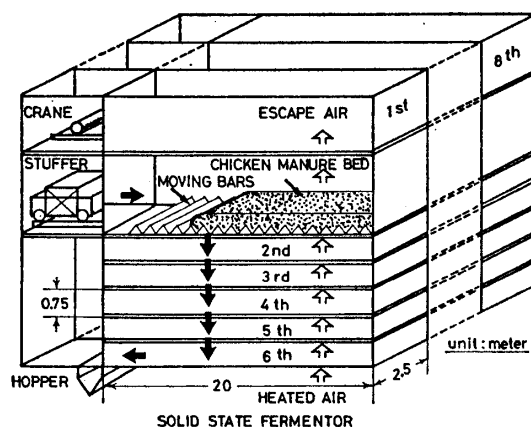


Fig. 3. Schematic diagram of 6-tray solid-state fermentor for chicken manure.

せる操作中の3時間は500 m³/minの送風を行う。この操作は、製麹の際の“切り返し”に相当し、送風量を増加させる理由はこの時に多量の水分を除去すること、品温の過上昇を防止することにある。

実験結果および考察

発酵経過 発酵槽は保温に留意したこと、第6段で発酵鶏糞の最終水分を20%前後に調整するために80℃の熱風を間欠的に使用することから、槽内温度は常に40℃前後に保たれている。仕込んだ鶏糞の品温経過は1～2段目で最高品温60～65℃に到達し、3～4段目まで50℃以上の品温を保持する。5～6段目は熱風を使用しないときにも常に40℃以上の品温を保持しており、パイロットプラントの場合²⁾に最下段が外気温の影響を受けたとは異なる品温経過となった。50℃以上の品温保持日数は約4日であった。発酵槽下部5～6段目においては、品温は熱風使用時の影響を受け、発酵熱のみによる品温を明確にすることができなかった。含有水分経過は仕込み時が平均60%で、4段目において平均35%であり、この値はパイロットプラントの場合²⁾(平均43%)よりも低い値であった。5～6段目では間欠的に熱風を使用するため、発酵熱のみによって得られるであろう最終水分値を明確にすることはできなかった。しかしながら、全槽内温度が常に40℃以上であること、1～4段までの水分低下がパイロットプラントの場合²⁾よりも大きいこと、50℃以上の品温保持日数が4日程度あることから推測して、この発酵槽において発酵熱のみによって得られるであろう発酵鶏糞の最終水分は、パイロットプラントの場合の値31%²⁾よりも低いことが推定される。すなわち、この値は少なく見積っても30%以下であろうと推定した。

発酵時に発生する熱 一連の仕込みについて測定した原料鶏糞の平均水分は60%であった。発酵経過から推定した発酵熱による最終水分を30%とすると、乾燥鶏糞1 ton 当たり発酵熱によって蒸発除去された水量は179 kgとなる。これを水の蒸発潜熱を575 kcal/kg⁷⁾として熱量に換算すると1.03×10⁵ kcal/ton-dry chicken manure/dayとなる。発酵槽全体では1日当たり乾燥重量で38.4 ton (湿潤重量で96 ton)の仕込みを行うので、6段の棚段に保有される全乾燥鶏糞重量は230.4 tonである。すなわち、発酵槽全体で発生する発酵熱は2.4×10⁷ kcal/dayである。一方、

Table 2. Heat generation by fermentation drying.

Chicken manure	Moisture content (%)	Moisture removal (ton)	Heat capacity of moisture removal (kcal)
Before fermentation 96 ton/day	60	0	0
↓		by fermentation	
After fermentation	30	41.2	2.4×10^7 (A)
↓		by heated air	
Outlet of solid state fermentor	20	48.0	2.8×10^7 (B)
↓		by pellet making	
Pellet	15	50.9	2.9×10^7

Utilization of fermentation heat : $\frac{A}{B} \times 100 = 85\%$

Heat generation by fermentation : 1.03×10^5 kcal/ton dried matter/day
(total dried matter, 231.6 ton)

発酵槽出口での発酵ずみ鶏糞の含有水分は20%であることが要求されるので、このために必要な全熱量は 2.8×10^7 kcal/day である。ここで行った熱収支を Table 2 に示す。Table 2 から必要な全熱量のうち発酵によって供給された熱量の割合は85%に達する。この値から本発酵装置は乾燥装置としてもすぐれたものといえる。

発酵鶏糞の悪臭 本方法で処理した鶏糞ペレットの悪臭を他の方法で乾燥した鶏糞の悪臭と比較した結果を Table 3 に示す。比較した生鶏糞の値と比べ、乾燥させた鶏糞の発生する悪臭はいずれも減少している。特に発酵乾燥ペレットの脱臭効果は顕著で、ここで測定した悪臭に限りほとんど検出されていない。このことは官能的にもほとんど悪臭を認めないこととも一致しており、発酵乾燥法は鶏糞そのものが発生する悪臭の除去にも有効であった。

発酵鶏糞ペレットの分析値 鶏糞ペレットの肥料としての価値を知るために行った分析結果を Table 4 に示す。Table 4 には比較のために、きゅう肥、堆肥(稲わら一鶏ふん)、風乾鶏糞の分析値⁸⁾も引用して示し

てある。引用した分析値は水分が異なるので、これを鶏糞ペレットの水分、15%に換算した値をカッコの中に示した。この値について比較を行うと、窒素、カリはいずれも同程度であるが、鶏糞ペレット中のリン酸はかなり高い値を示した。窒素、リン酸、カリに関する限り、鶏糞ペレットは有効な有機肥料と言える。

処理中に発生する悪臭 本方法で1日当たり96 tonの鶏糞を定常的に処理している場合について、処理工場の原料ヤード、発酵槽仕込み口直前、排出空気について悪臭のサンプリング分析を行った。原料ヤードには生鶏糞を入れたコンテナが常時20~30個おいてある。発酵槽仕込み口は開閉式の戸があり、工場内では最も悪臭の発生しやすい場所と考えられる。排出空気については $60 \text{ m}^3/\text{min}$ と $500 \text{ m}^3/\text{min}$ 通気の場合について水洗塔による処理をしない状態で分析してある。分析結果を Table 5 に示す。これらの値は既報の結果²⁾と同様にアンモニア、トリメチルアミンの値以外は火力乾燥の値よりもかなり低い値である。しかしながら環境庁による環境規制A地(工業用地)の規制濃度⁹⁾と比較すると、いずれの物質も数倍程度高い値で

Table 3. Bad smells of chicken manure.

	Methylmercaptan	Dimethylsulfide	Dimethyldisulfide
Pellet dried by fermentation for 2 days	Tr	Tr	Tr
Vacuum dried for 1 day	Tr	1.16	Tr
Dried by heating at 170°C for 1 days	Tr	0.96	0.82
Dried by heating at 40°C for 2 days	Tr	1.64	0.50
Naturally dried for 3 days	Tr	1.64	0.29
Raw matter	Tr	3.13	2.78

Units : ppm(v/v) ; Tr : trace

Table 4. Fermented chicken manure as a fertilizer.

	Moisture (%)	Crude ash (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
Stable manure	63.8 (15)	— —	21.2 —	0.67 (2.85)	0.36 (1.53)	0.81 (3.45)	— —
Compost of rice straw-chicken manure	80.0 (15)	— —	— —	0.61 (3.25)	0.25 (1.33)	0.43 (2.29)	— —
Naturally dried chicken manure	10.0 }	30.0 }	30.0 }	1.20 }	1.70 }	0.90 }	6.0 }
	15.0	50.0	35.0	3.60	3.80	1.40	7.0
Dried fermented chicken manure	15.0	32.0	27.0	3.10	6.70	3.30	10.1

Figures in brackets show the value based on 15% moisture content.

Table 5. Analytical values of bad smell compounds.

Sampling position	Ammonia	Methyl- mercaptan	Hydrogen sulfide	Methyl- sulfide	Trimethyl- amine
Escape gas					
60 m ³ /min*	400	0.067	0.212	0.048	0.482
500 m ³ /min**	240	0.127	0.234	0.074	0.453
Entrance of raw manure	110	0.022	0.029	0.017	0.152
Container yard	4	0.002	0.055	0.006	0.027

Units : ppm (v/v)

* This ventillation rate was held for 21 hr/day.

** This ventillation rate was held for 3 hr/day.

ある。これは環境庁規制値が境界値規制であるのに対して、本プロセスについて測定した値はいずれも装置のすぐそばでサンプリングしたためと考えられる。従って、境界値規制に対しては問題は生じないものと考えられる。実際に、火力乾燥法では解決できなかった周囲に対する悪臭問題がこのプロセスによって解決された。

して十分価値があることなどからして再利用される価値があるものと考えられた。以上の結果より、このプロセスは有用な畜産廃棄物処理装置たり得るものと認められた。

悪臭の分析にあたり、ご協力いただいた宮崎県公害防止協会に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 藤尾, 上田: 食品工業, **21**, No. 8, 2 (1978).
- 2) 藤尾, 大富, 林, 上田: 醸酵工学, **56**, 304 (1978).
- 3) 藤尾, 林, 上田: 九大農芸誌, **33**, 209 (1979).
- 4) 藤尾, 林, 上田: 醸酵工学, **57**, 220 (1979).
- 5) 京都大学農学部 農芸化学教室編: 新改版農芸化学実験書, 第1巻, 産業図書, 東京 (1957).
- 6) 山縣, 大喜多, 貴船: 環境汚染分析法 12, 大日本図書, 東京 (1973).
- 7) 化学工学協会編: 化学工学便覧 (4版), 丸善, 東京 (1978).
- 8) 農政調査委員会編: 体系農業百科事典 (I), 中央公論事業出版, 東京 (1966).

(昭54. 9. 8受付)

要 約

ここで開発し実用化した鶏糞処理装置は発酵熱の有効利用による省資源化, 処理中に発生する悪臭を低減させ悪臭公害を防止すること, 処理した発酵鶏糞の有効再利用を目的としたものである。この装置の6か月に及ぶ実用試験の結果から, 発酵熱の有効利用については必要な熱量のうち85%が自然発生的な発酵熱によって供給されているものと推定された。火力乾燥法では解決できなかった悪臭公害問題が本プロセスによってほぼ解決された。処理物としての鶏糞ペレットはほとんど悪臭が認められず, 同時にペレット化することによって取り扱いが容易になったこと, 有機肥料と