

## 吸引通気式堆肥化の初期反応特性\*1 —通気量, 含水率が微生物活性に及ぼす影響—

宮竹史仁\*2・阿部佳之\*2・本田善文\*2・岩淵和則\*3

\*1 農業環境工学関連5学会 2007年合同大会にて発表

\*2 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所, 〒329-2793 那須塩原市

\*3 宇都宮大学農学部, 〒321-8505 宇都宮市

### 要 旨

吸引通気式堆肥化の初期過程における反応特性を明らかにするために、通気量および含水率が微生物活性に及ぼす影響を検討した。吸引通気式堆肥化の初期過程における最適条件は、通気量が約 $0.5-0.7\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{vm}^{-1}$ 、材料含水率が56-65%であった。吸引通気式堆肥化では堆肥化可能な上限含水率が圧送通気式堆肥化と比較し低くなる傾向にあるものの、最適条件は過去に報告された圧送通気式堆肥化のとはほぼ一致した。加えて、吸引通気式堆肥化で観測された酸素消費速度、熱発生速度、比増殖速度プロファイルは、圧送通気式堆肥化の場合と同一であった。これらの結果は、吸引通気式堆肥化でも圧送通気式と同様の初期反応特性を有することを示す。

キーワード：堆肥化, 吸引通気式, 圧送通気式, 酸素消費速度, 熱発生速度, 比増殖速度

### はじめに

堆肥化は好気性微生物による有機物分解反応である (Golueke, 1977)。この好気性微生物へ効率的に空気 (酸素) を供給することで、堆肥化が促進され反応期間の短縮にも繋がる。このため堆肥原料中に強制的に空気を送り込む通気式堆肥化施設が増えている。通気式の堆肥化には2種類の方式があり、「圧送通気式」と「吸引通気式」に分類される。前者は堆肥材料の底面から上方向に送風機で空気を送り込む方法であり、ごく一般的に採用されている主流の方式である。一方、後者は圧送通気とは逆方向の通気流路、すなわち堆肥材料の底面から送風機で空気を吸い込み、堆肥表面から外気を導入する方法である。この吸引通気式は1970年代に米国農務省で開発されたが (Epstein *et al.*, 1976; Parr *et al.*, 1978; Willson, 1983)、広く普及する技術には至らなかった。その原因の一端は、1980年代に米国ラトガース大学と米国農務省間で起きた「圧送通気式 (ラトガース・パイル方式)」対「吸引通気式 (ベルツ

ピル・パイル方式)」の論争による。当時ラトガース大学の研究者を中心に「圧送通気式」が強く支持され、それを裏付けるデータが報告された (Finstein *et al.*, 1983, 1986; Miller *et al.*, 1982)。例えば Finstein *et al.* (1986) は、圧送および吸引通気式堆肥化を約500時間行い比較した結果、堆肥材料の乾燥効率や熱の発散性並びに有機物分解が圧送通気 (ラトガース・パイル) 式で圧倒的に優れていたと報告している。加えて、吸引通気式堆肥化では通気配管が目詰りし易い、圧力損失が大きい、ドレイン対策が必要等報告されている (Miller *et al.*, 1982; 木村・岩淵, 1993; 松田ら, 1996)。このような歴史的経緯や技術的課題もあり、吸引通気式堆肥化は否定的に考えられているところが多い (De Bertoldi *et al.*, 1982)。

その一方で、阿部ら (2003) は双方の通気方式で約1ヶ月間堆肥化を行った結果、有機物分解率は同程度であり通気方式の違いによる顕著な差は認められなかったと報告している。また吸引通気式堆肥化は堆肥材料の底部から悪臭 (アンモニア) を吸引回収できる

原稿受理 2007年10月4日

照会先：宮竹史仁 e-mail: miyaf@affrc.go.jp

ため、堆肥化の悪臭問題を解決する手段の一つとしても見直されつつある(本田ら, 2007)。しかしながら、上述したような歴史的経緯により吸引通気式による堆肥化は圧送通気式と比べて研究報告が極めて乏しく、科学的知見が蓄積されてこなかった。吸引通気式堆肥化の技術を再検討し発展させるためには、「吸引通気式」においても「圧送通気式」と同程度に、その堆肥化反応特性などの精緻な基礎的知見を蓄積させ科学的議論を尽くす必要がある。

そこで本研究では、吸引通気式堆肥化の反応特性を検討することを目的として、初期過程の微生物活性を調査し、圧送通気式堆肥化に関する過去の報告と照らし合わせながら吸引通気式堆肥化の初期反応特性を検証した。なお微生物活性には酸素消費速度、熱発生速度および比増殖速度を指標として用いた。

### 材料および方法

#### 1. 材料

材料には畜産草地研究所(那須研究拠点)の牛舎より採取した搾乳牛ふん(敷料等は含まない)を使用した。これらを必要に応じて風乾し約30-76%に水分調整した後、堆肥化実験に供した。なお、実験に供した乳牛ふんの有機物含有率およびpHの平均は約82.4%±1.0%(平均値±標準偏差)および9.4±0.3であった。

#### 2. 実験装置

実験装置には、ラボスケールの吸引通気式堆肥化装置(図1)を使用した。堆肥材料への通気は、反応槽の底部から送風機で空気を吸い込み、堆肥材料の表面から外気を導入する吸引通気式を適用した。堆肥材料を通過した排気は、アンモニア除去用の硫酸溶液や水蒸気除去用の冷却管およびシリカゲルカラム中を通過させた後、ガルバニ電池式酸素センサ(新コスモスガス電機株式会社, OS-3SD)によって排気酸素濃度が測定された。反応槽は約14Lの円柱ステンレス容器(直径25 cm, 高さ28 cm)であり、そのうち反応槽底部に約3Lの空間が存在する。この空間に吸引配管を設置し、外気を吸引した。これをチャンバー内に設置し、チャンバー内温度が堆肥材料温度よりも常に1°C以下の低い温度で追従するように堆肥保温発酵装置(早坂理工株式会社, HA-30110)で制御された。なお材料温度および酸素濃度は2分毎にデータロガ(NR-1000, 株式会社キーエンス)で測定した。

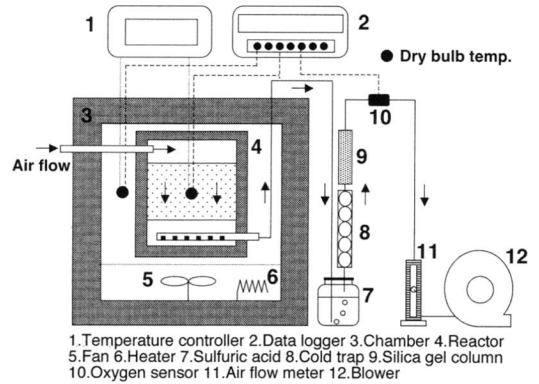


図1 吸引通気式堆肥化装置の概略図

#### 3. 実験方法

吸引通気式堆肥化の初期反応特性を検討するために、異なる通気量および材料含水率の条件下において材料温度や酸素消費速度、熱発生速度、比増殖速度を測定した。含水率30-76%の堆肥材料約1100g(乾燥質量)を固相率約11%vol.になるように反応槽に充填し、単位揮発性有機物質量(vm)および単位時間当たりの通気量を $0.1-0.8 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$ (実流量 $100-750 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )に設定して36時間以上、自己発熱による堆肥化を行った。なお、酸素消費速度、熱発生速度および比増殖速度の計算方法は以下の通りである。

##### 1) 酸素消費速度 $R_{O_2}$

酸素消費速度  $R_{O_2}$  ( $\text{g} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{VM}^{-1}$ ) は以下のよう  
に求めた(岩淵・木村, 1994)。排気中の酸素濃度  $C_{O_2}$  ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) は

$$C_{O_2} = \frac{(M_{O_2} P C_{O_2 \text{ vol}})}{100 R (273.15 + \theta)}$$

であるから、

$$R_{O_2} = \frac{f}{W_{VM}} (C_{AO_2} - C_{O_2})$$

と表される。

ここで、 $M_{O_2}$ : 酸素の1モル質量 ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )、 $P$ : 大気圧 (Pa)、 $C_{O_2 \text{ vol}}$ : 酸素濃度 (%),  $R$ : 気体定数 ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )、 $\theta$ : 材料温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $f$ : 通気量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )、 $W_{VM}$ : 初期有機物質量 ( $\text{kg} \cdot \text{VM}$ )、 $C_{AO_2}$ : 空气中酸素濃度 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) である。

##### 2) 熱発生速度 $Q_{VM}$

熱発生速度  $Q_{VM}$  ( $\text{J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{VM}^{-1}$ ) は次式で与えられ

る (岩淵・木村, 1994)。

$$Q_{VM} = \frac{1}{W_{VM}} \left\{ (q_{out} - q_{in}) + UA(\theta - \theta_w) + \rho CV \frac{d\theta}{dt} \right\}$$

ここで,  $q_{out}$ : 排気による熱損失 ( $J \cdot h^{-1}$ ),  $q_{in}$ : 入気による熱流入 ( $J \cdot h^{-1}$ ),  $U$ : 反応槽壁面の伝熱係数 ( $J \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $A$ : 伝熱面積 ( $m^2$ ),  $\theta_w$ : チャンバー温度 ( $^{\circ}C$ ),  $\rho$ : 材料のみかけ密度 ( $kg \cdot m^{-3}$ ),  $C$ : 重量比熱 ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $V$ : 材料のみかけ体積 ( $m^3$ ) である。本試験では, 材料温度とチャンバー温度の差 ( $\theta - \theta_w$ ) を  $1^{\circ}C$  以下に抑えてあるため, 上式右辺第3項を無視し,

$$Q_{VM} = \frac{1}{W_{VM}} \left\{ (q_{out} - q_{in}) + \rho CV \frac{d\theta}{dt} \right\}$$

によって求めた。

なお, 堆肥材料の体積比熱  $\rho C$  ( $J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$ ) は Iwabuchi *et al.* (1995) に基づき下式より算出した。

$$\rho C = 10^4 (22.3 + 4.03V_L)$$

ここで,  $V_L$ : 体積含水率 (%) である。

また, 実験開始から 36 時間までの熱発生速度データから平均熱発生速度を計算した (宮竹ら, 2007)。

### 3) 比増殖速度 $\mu$

比増殖速度は, 宮竹ら (2003) の方法に順じ計算した。比増殖速度  $\mu$  ( $h^{-1}$ ) は, 菌体濃度  $X$  ( $g \cdot cell \cdot kg \cdot vm^{-1}$ ) と菌体増殖速度  $dX/dt$  の関係式における比例定数に相当し, (1) 式のように表される。

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (1)$$

また, 菌体増殖速度  $dX/dt$  ( $g \cdot cell \cdot h^{-1} \cdot kg \cdot VM^{-1}$ ) と酸素消費速度  $dS/dt$  ( $g \cdot O_2 \cdot h^{-1} \cdot kg \cdot VM^{-1}$ ) との間には

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (2)$$

が成立するので, (1) 式を代入して

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y} \cdot \mu t \quad (3)$$

が得られる。ここで,  $Y$ : 酸素に対する増殖収率定数 ( $g \cdot cell \cdot g \cdot O_2^{-1}$ ) である。初期条件を  $X=X_0(t=0)$  として積分すると

$$X = X_0 \exp(\mu t) \quad (4)$$

となり, (4) 式を (3) 式に代入して

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu X_0}{Y} \cdot \exp(\mu t) \quad (5)$$

となる。ここで, 堆肥化過程で測定した酸素消費速度一時刻のデータを指数回帰し, (5) 式との係数比較により瞬間比増殖速度  $\mu$  が求められ,

$$\mu = f(t) \quad (6)$$

の関係データが得られる。同時に堆肥温度の時間変動,

$$\theta = g(t) \quad (7)$$

のデータが実測されているので, 同時刻における  $\mu$  と  $\theta$  から,

$$\mu = f(g^{-1}(\theta)) \quad (8)$$

として比増殖速度  $\mu$  の温度依存性を算出することができる。

## 結果および考察

### 1. 異なる通気量における初期反応特性

図 2, 3 に異なる通気量における吸引通気式堆肥化過程の温度変化および酸素消費速度の温度依存性の一例を示した。なお材料含水率は圧送通気式堆肥化で最適とされている約 60% とした (宮竹ら, 2007)。通気量  $0.4 - 0.7 L \cdot min^{-1} \cdot kg \cdot vm^{-1}$  の条件では昇温速度が速く約 8 時間で堆肥温度が  $70^{\circ}C$  に達し, 一方低通気量の  $0.1 - 0.2 L \cdot min^{-1} \cdot kg \cdot vm^{-1}$  の条件においては著しい昇温速度の低下が観測された (図 2)。酸素消費速度は通気量  $0.5 - 0.8 L \cdot min^{-1} \cdot kg \cdot vm^{-1}$  条件下で約  $40 - 43^{\circ}C$  域と  $60^{\circ}C$  に中温性および高温性微生物の活動による明確な極大値が観測された (図 3)。圧送通気式堆肥化では, 約  $43^{\circ}C$  と  $60^{\circ}C$  に酸素消費速度の極大値が存在することは報告されているが (岩淵・木村, 1994), 本実験の吸引通気式堆肥化においても全く同様の酸素消費速度のプロファイルを示した。これは吸引通気式堆肥化の初期過程における中温性ならびに高温性微生物の呼吸活性の動態が圧送通気式と完全に一致することを意味する。また,  $0.5 - 0.6 L \cdot min^{-1} \cdot kg \cdot vm^{-1}$  の通気量条件下で中温性, 高温性微生物双方の高い酸素消費速度が観測され, この通気量条件は圧送通気式堆肥化の最

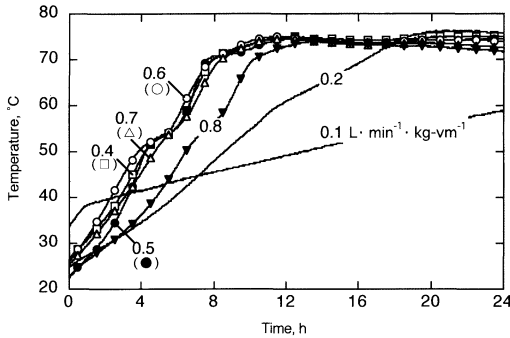


図2 異なる通気量における吸引通気式堆肥化過程の温度変化の一例

適条件値とほぼ同様であった(木村・清水, 1989)。通気量  $0.4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$  の条件においても  $43^\circ\text{C}$ 、 $60^\circ\text{C}$  で極大値が見られたが、 $60^\circ\text{C}$  の極大値はほぼ平坦な形状を示し、この時点の排気酸素濃度は約2%であった。中野・岩淵(2000)は4.3%未満の酸素濃度下では堆肥化反応が阻害されると指摘している。それ故本実験で観測された  $60^\circ\text{C}$  の平坦な酸素消費速度ピークは、通気不足のため高温性微生物の活動が制限されたと考えられる。一方、低通気量  $0.1\text{--}0.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$  条件下での酸素消費速度は他の通気量と比べて著しく低かった。この時の堆肥化過程においては硫化水素臭が確認され、通気不足により嫌気性反応を誘発したと思われる。したがって、吸引通気式堆肥化では圧送通気式堆肥化と同様  $0.5\text{--}0.7 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$  の条件で順調な堆肥化の立ち上がりが期待でき、特に酸素消費速度により観測された中温性・高温性微生物双方の活性が高かった  $0.5\text{--}0.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$  が最適であると考えられる。

木村・清水(1989)によると、圧送通気式堆肥化における最適な通気量は、 $0.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{dm}^{-1}$  であると指摘されている。本研究で得られた吸引通気式堆肥化の好ましい通気量は単位有機物量当たり  $0.5\text{--}0.7 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$  であり、これを単位乾物量当たりの通気量に換算すると約  $0.5\text{--}0.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{dm}^{-1}$  となる。吸引通気式堆肥化の最適通気量は圧送通気式と同程度であり、酸素消費速度に代表される中温性および高温性微生物の呼吸活性特性も全く同様の傾向を示した。これらの結果は、異なる通気量が吸引通気式堆肥化の初期過程に及ぼす影響が圧送通気式堆肥化とほぼ同様であることを示す。

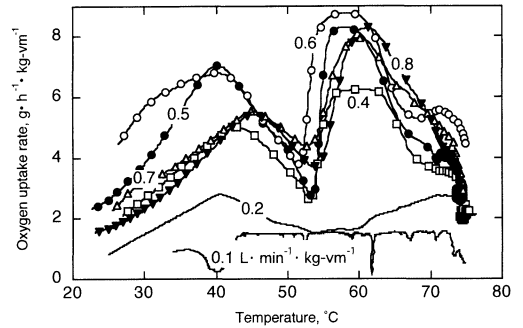


図3 吸引通気式堆肥化過程における酸素消費速度の温度依存性の一例

## 2. 異なる含水率における初期反応特性

図4、5に異なる材料含水率における吸引通気式堆肥化過程の温度変化および熱発生速度の温度依存性の一例を示した。なお通気量は「結果および考察」の1において最適な通気量であった  $0.5\text{--}0.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$  とした。材料含水率30%および76%の場合を除いて堆肥温度は  $70^\circ\text{C}$  まで上昇し、特に57%および65%条件下で昇温速度が最も速かった(図4)。含水率45-72%材料では約  $40^\circ\text{C}$  と  $60^\circ\text{C}$  に中温性と高温性微生物の活動による極大値が観測され、酸素消費速度プロファイルと同様に二峰性を有する熱発生速度プロファイルを示した(図5)。ただし材料含水率65%を超えると、含水率が増加するほど中温性微生物の活動に由来する  $40^\circ\text{C}$  のピーク値が減少する傾向にあり、高含水率材料の75-76%においては熱発生速度の明確な極大値は認められなかった。特に含水率72%、75%、76%の高水分材料による堆肥化の結果では1-3%の違いで昇温速度が著しく低下する。これは高水分材料ほど中温性微生物による熱発生速度が低下した結果、昇温速度も低下したものと考えられる。加えて吸引通気式堆肥化では、通気方向と水分移動が下向流であり、通気吸引口に近いほど含水率が高くなる(阿部ら, 2003)。それゆえ、吸引通気式堆肥化では高含水率材料ほど通気吸引口近辺の材料間隙率の低下を引き起こし、堆肥化反応を抑制させた可能性も推測される。圧送通気式堆肥化においても材料含水率が高いほど中温性微生物の酸素消費速度が低下することが既に報告されているが(宮竹ら, 2007)、本実験により吸引通気式堆肥化でも同様の反応が引き起こされることが明らかとなった。また、57-65%の含水率域で中温性および高温性微生物の熱発生速度が上昇した。圧送通気式堆

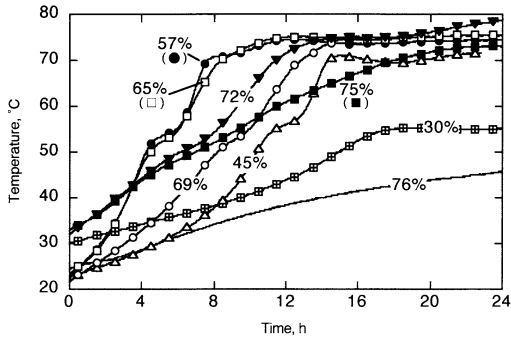


図4 異なる含水率における吸引通気式堆肥化過程の温度変化の一例

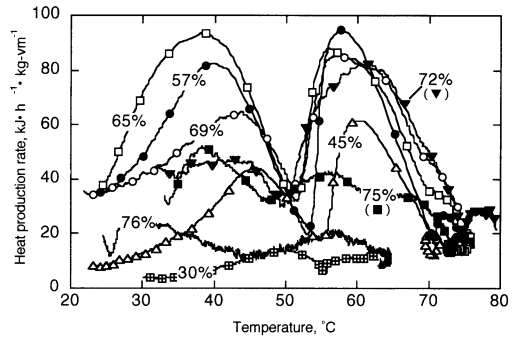


図5 吸引通気式堆肥化過程における熱発生速度の温度依存性の一例

肥化においても中温性および高温性微生物の酸素消費速度が含水率約52-62%で高くなることが報告されている(宮竹ら, 2007)。吸引通気式堆肥化においても圧送通気式堆肥化と同様に含水率60%前後で初期反応速度が高くなる傾向を示した。

図6に材料含水率と平均熱発生速度の関係を示した。含水率30-72%材料の堆肥化において含水率が高くなるにつれて平均熱発生速度が直線的に上昇し、高い正の相関( $r = 0.971$ )を示した。その含水率域では30%の低含水率材料を除いて16時間以内に堆肥温度が70°C以上に達し良好な温度の立ち上がりを示した(図4)。一方、材料含水率75%以上の堆肥化では含水率と平均熱発生速度の間で高い負の相関( $r = 0.916$ )を示し、昇温速度も低下する傾向にあった(図4)。圧送通気式堆肥化による平均熱発生速度は、含水率37-74%の材料で直線的に上昇し、76%以上で低下することが既に報告されている(宮竹ら, 2007)。吸引通気式堆肥化では平均熱発生速度の最大値が得られる材料含水率が約72%であり、この含水率が吸引通気式堆肥化の上限含水率であると考えられる。圧送通気式堆肥化では上限含水率は約74%であり(宮竹ら, 2007)、吸引通気式堆肥化では圧送通気式堆肥化よりも約2%低かった。この結果は、当然ながら堆肥材料の種類や気相率等の三相構造に大きく影響される。また吸引通気式において圧送通気式よりも上限含水率が約2%低くなる原因については不明であるが、吸引通気式堆肥化では材料底部に水分が移動し含水率が高くなることや(阿部ら, 2003)、高含水率の堆肥材料に強制的に空気を押し込む圧送通気と空気を引いてくる吸引通気の時の通気圧力の差が、双方の通気方式の上限含水率に大きく影響しているかもしれない。

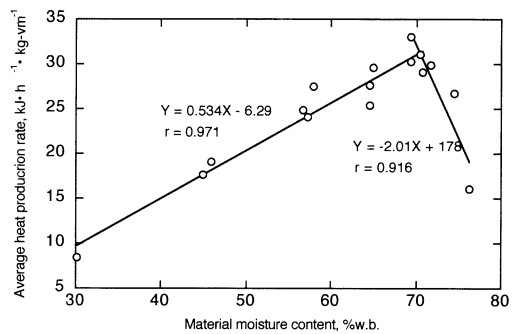


図6 材料含水率と熱発生速度の関係

圧送通気式堆肥化の最適な材料含水率に関しては既に多くの報告がなされており、その含水率は集約するとおおよそ60%にあるとしているのが多く見受けられる(Suler and Finstein, 1977; 岩淵・木村, 1997; 宮竹ら, 2007)。本研究で得られた吸引通気式堆肥化の最適含水率は57-65%と約60%前後であり、圧送通気式堆肥化の結果とほぼ一致する。加えて双方の通気式堆肥化による高含水率材料での微生物挙動もほぼ同様の傾向を示した。したがって、異なる材料含水率による吸引通気式堆肥化の初期反応特性は圧送通気式堆肥化とほぼ同等であると理解できる。ただし、吸引通気式堆肥化では圧送通気式堆肥化と比べて、堆肥化が可能な上限含水率が低下すると考えられる。

### 3. 比増殖速度の温度依存性

図7に吸引通気式堆肥化の初期過程における比増殖速度の温度依存性を示した。なお材料含水率は約60%、通気量は $0.5-0.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{vm}^{-1}$ の条件とした。比増殖速度は3温度領域で高くなり、それは常温

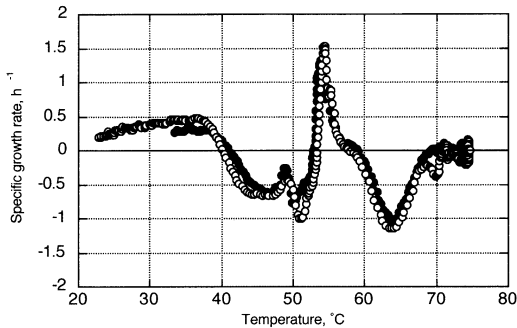


図7 吸引通気式堆肥化過程における比増殖速度の温度依存性の一例

から約40℃までの範囲、約54℃、約70℃付近であった。圧送通気式堆肥化による比増殖速度パターンも、上記とほぼ同じ温度域で同様な現象が観測されており、それぞれ中温性微生物、高温性微生物ならびにより高温に適した微生物種による増殖活性であると報告されている(Miyatake and Iwabuchi, 2006)。したがって堆肥化初期過程の微生物の増殖活性は、吸引および圧送通気式堆肥化において全く同一の反応特性を示す。

## 結 論

本報は吸引通気式堆肥化の初期過程の反応特性を検討し、圧送通気式堆肥化の反応特性に関する過去の報告結果とほぼ一致することを証明した。吸引通気式堆肥化の初期過程における最適条件は、通気量が約0.5-0.7 L・min<sup>-1</sup>・kg-vm<sup>-1</sup>、材料含水率が56-65%と従来圧送通気式堆肥化で報告されてきた最適条件と同程度であった。加えて吸引通気式堆肥化の酸素消費速度、熱発生速度、比増殖速度として顕れる微生物活性は、圧送通気式堆肥化の場合と同一のプロファイルを示した。これらの結果は、吸引通気式ならびに圧送通気式堆肥化では同様の初期反応特性を有し、通気方向が異なっても同程度の堆肥化反応が得られることを示す。ただし、堆肥化可能な上限含水率は、吸引通気式堆肥化で約72%と圧送通気式堆肥化で報告されているそれよりも約2%低い結果となった。これは吸引通気式堆肥化では、通気方向およびドレインの方向が下向きの並流となるため通気吸引口付近の材料含水率が上昇することが原因であると推測される。本研究は、吸引通気式堆肥化の初期過程に焦点を当て反応特性を検討したが、今後は中長期的に吸引通気式堆肥化過程

における反応特性ならびに通気方向と並流するドレインの影響、材料の堆積方法や吸引床構造等の技術的課題を調査し、圧送通気式堆肥化と比較検証する必要があると思われる。

## 記 号

- A: 伝熱面積 (m<sup>2</sup>)
- C: 重量比熱 (J・kg<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>)
- C<sub>O<sub>2</sub>vol</sub>: 酸素濃度 (vol%)
- C<sub>O<sub>2</sub></sub>: 酸素濃度 (g・m<sup>-3</sup>)
- C<sub>A<sub>O<sub>2</sub></sub></sub>: 空気中酸素濃度 (279 g・m<sup>-3</sup>)
- f: 通気量 (m<sup>3</sup>・h<sup>-1</sup>)
- M<sub>O<sub>2</sub></sub>: 酸素の1モル質量 (32 g・mole<sup>-1</sup>)
- P: 大気圧 (1.01325 × 10<sup>5</sup>Pa)
- R: 気体定数 (8.3143 J・mole<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>)
- R<sub>O<sub>2</sub></sub>, dS/dt: 酸素消費速度 (g-O<sub>2</sub>・h<sup>-1</sup>・kg-VM<sup>-1</sup>)
- U: 反応槽壁面の伝熱係数 (J・m<sup>-2</sup>・h<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>)
- Q<sub>VM</sub>: 熱発生速度 (J・h<sup>-1</sup>・kg-VM<sup>-1</sup>)
- q<sub>in</sub>: 入気による熱流入 (J・h<sup>-1</sup>)
- q<sub>out</sub>: 排気による熱損失 (J・h<sup>-1</sup>)
- V: 材料のみかけ体積 (m<sup>3</sup>)
- V<sub>L</sub>: 体積含水率 (%)
- W<sub>VM</sub>: 初期有機物量 (kg-VM)
- X: 菌体濃度 (g-cell・kg-vm<sup>-1</sup>)
- Y: 酸素に対する増殖収率定数 (g-cell・g-O<sub>2</sub><sup>-1</sup>)
- θ: 材料温度 (°C)
- θ<sub>w</sub>: チャンバー温度 (°C)
- ρ: 材料のみかけ密度 (kg・m<sup>-3</sup>)
- t: 時間 (h)
- μ: 比増殖速度 (h<sup>-1</sup>)

## 謝 辞

この研究の一部は平成18年度独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金(特別研究員奨励費, 18・1659)の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。

## 引用文献

- 阿部佳之・福重直輝・加茂幹男・伊藤信雄(2003): 吸引通気式堆肥化処理技術の開発(第1報), 農業施設, 33(4), 39-45.
- 岩渕和則・木村俊範(1994): 家畜糞の好気性分解反応特性(第1報), 農業機械学会誌, 56(2), 67-74.
- 岩渕和則・木村俊範(1997): 家畜糞の好気性分解反応

- 特性 (第2報), 農業機械学会誌, 59(5), 29-35.
- 木村俊範・清水 浩 (1989): 家畜ふんの堆肥化に関する基礎的研究 (第3報), 農業機械学会誌, 51(1), 63-70.
- 木村俊範・岩淵和則 (1993): 生物系廃棄物のコンポスト化におけるマイクロ・マクロ現象の解析とその照合, 地球環境研究, 26, 113-166.
- 中野芳雄・岩淵和則 (2000): 家畜ふんコンポスト化反応に及ぼす供給ガス酸素濃度の影響, 農業機械学会誌, 62(5), 120-122.
- 本田善文・阿部佳之・宮竹史仁 (2007): たい肥舎からでる悪臭や発酵排熱, 炭酸ガスを施設園芸に活用するシステム, 畜産コンサルタント, No510, 20-26.
- 松田従三・竹川彰則・前田武己 (1996): 腐敗タマネギとモミ殻のコンポスト化, 農機北支報, 36, 31-36.
- 宮竹史仁・岩淵和則・木村俊範 (2003): 牛ふん堆肥化反応に関わる微生物群の活性化温度, 農業機械学会誌, 65(2), 101-105.
- 宮竹史仁・岩淵和則・阿部佳之・本田善文 (2007): 高い材料水分が堆肥温度および微生物活性に及ぼす影響, 農業機械学会誌, 69(2), 48-54.
- De Bertoldi, M.D., Vallini, G., Pera, A. (1983): The biology of composting, *Waste Manage. Res.*, 1, 157-176.
- Epstein, E., Willson, G.B., Burge, W.D., Mullen, D.C., Enkiri, N.K. (1976): A Forced Aeration System for Composting Wastewater Sludge, *Water Pollution Control Federation*, 48(4), 688-694.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Strom, P.F., MacGregor, S.T., Psarouanos, K.M. (1983): Composting ecosystem management for waste treatment, *Bio/technology*, 1, 347-353.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Strom, P.F. (1986): Waste Treatment Composting as a Controlled System, *Biotechnology* 8, 363-398.
- Golueke, G.C., (1977): Biological reclamation of solid wastes, Rodale Press, Emmaus, PA, USA, 2.
- Iwabuchi, K., Kimura, T., Kamide, J., (1995): Thermal properties of agricultural organic wastes, *Proceedings: Seventh international symposium on agricultural and food processing wastes (ISAFPW 95)*, 121-129.
- Miller, F.C., MacGregor, S.T., Psarouanos, K.M., Cirello, J., Finstein, M.S. (1982): Direction of ventilation in composting wastewater sludge, *Water Pollution Control Federation*, 54(1), 111-113.
- Miyatake, F., Iwabuchi, K. (2006): Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure, *Bioresour. Technol.*, 97, 961-965.
- Parr, J.E., Epstein, E., Willson, G.B. (1978): Composting sewage sludge for land application, *Agric. Environm.*, 4, 123-137.
- Suler, D.J., Finstein, M.S. (1977): Effect of temperature, aeration, and moisture on CO<sub>2</sub> formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste, *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 345-350.
- Willson, G.B. (1983): Forced aeration composting, *Wat. Sci. Tech.*, 15, 169-180.

## Effect of Ventilation and Moisture Content on Microbial Activity in the Early Stage of Composting with Vacuum-induced Aeration<sup>\*1</sup>

Fumihito MIYATAKE<sup>\*2</sup>, Yoshiyuki ABE<sup>\*2</sup>, Yoshifumi HONDA<sup>\*2</sup> and Kazunori IWABUCHI<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Presented at the Joint Conference on Environmental Engineering in Agriculture 2007

<sup>\*2</sup> National Institute of Livestock and Grassland Science, National Agriculture and Food Research Organization, Nasushiobara-shi 329-2793, Japan

<sup>\*3</sup> Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya-shi 321-8505, Japan

### Abstract

The effect of ventilation and moisture content on oxygen uptake rate, heat production rate, and specific growth rate was investigated to determine the reaction characteristics in the early stage of composting using vacuum-induced aeration system. Maximum oxygen uptake rate and heat production rate were observed at ventilation rates of 0.5 - 0.7 L · min<sup>-1</sup> · kg·vm<sup>-1</sup> and moisture contents of 56 - 65% wet basis. These results were quite similar to that reported in previous composting studies with forced-pressure aeration system. The profile of specific growth rate observed in vacuum-induced aeration also coincided with that of forced-pressure aeration reported in past research. The result of this study showed that vacuum-induced and forced-pressure aeration systems have the same performance in the early stage of composting.

**Keywords:** composting, vacuum-induced aeration, forced-pressure aeration, oxygen uptake rate, heat production rate, specific growth rate