

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

宮竹史仁*1・岩渕和則*2・阿部佳之*3・本田善文*3

要 旨

高い材料水分が乳牛ふん堆肥化反応に及ぼす影響を明らかにするために、堆肥化が可能な材料水分の上限について検討した。堆肥化の初期過程では、中温性および高温性微生物は37~74%材料で活性化された。76%以上の高水分材料においても50℃以上まで昇温が可能であった。加えて、堆肥化微生物の比増殖速度は80%以上の高水分材料中でも高く維持され、乳牛ふんにおいては堆肥材料の水分調整を必要としない堆肥化の可能性を示唆した。

[キーワード] 堆肥化, 高水分, 微生物活性, 温度, 乳牛ふん

Effect of High Moisture Content on Temperature and Microbial Activity of Composting Dairy Cattle Manure

Fumihito MIYATAKE*1, Kazunori IWABUCHI*2, Yoshiyuki ABE*3, Yoshifumi HONDA*3

Abstract

The effect of high moisture content on the composting reactions of dairy cattle manure was investigated to determine the upper limit of moisture content that can promote composting reactions. The results of the study showed that both mesophilic and thermophilic microorganisms were active over a broad range of moisture content (37 to 74%) during the early stage of composting. Even at a moisture level greater than 76%, compost temperature increased to more than 50°C. The specific growth rate of microorganisms was high at a moisture content greater than 80%, suggesting the possibility of high moisture composting without using a bulking agent.

[Keywords] composting, high moisture content, microbial activity, temperature, dairy cattle manure

I 緒 言

乳牛ふん等の家畜排せつ物の含水率は80% (w/w) 以上であり、堆肥材料として使用するには水分過多の状態である。材料水分は堆肥化微生物の代謝に必要な栄養や酸素を供給するための重要な媒体として機能するが、過剰な水分は堆肥材料内の通気道を閉塞させ、堆肥化に関する好気性微生物への酸素供給を妨げるため、嫌気性

微生物による嫌気性反応を誘発し易くなる (Schulze, 1962; Tiquia et al., 1996; Iwabuchi and Kimura, 1997)。堆肥化の適切な含水率に関しては既に多くの報告がなされており、その含水率を集約するとおおそ50~60%にあるとしているのが多く見受けられる (Suler and Finstein, 1977; Iwabuchi and Kimura, 1997; Tiquia et al., 1998)。堆肥材料の含水率を調整する方法として、もみ殻やおが粉などの副資材を混合することが多い。しかしながら、

- *1 会員, Corresponding author, 宇都宮大学地域共生研究開発センター (〒321-0805 宇都宮市峰 350) Collaboration Center for Research and Development of Utsunomiya University, Utsunomiya-shi, 321-8505, Japan ; 現在 : (独) 農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所 (〒329-2793 那須塩原市千本松 768 TEL 0287-37-7814) Present address : National Institute of Livestock and Grassland Science, National Agriculture and Food Research Organization, Nasusiobara-shi, 329-2793, Japan
- *2 会員, 宇都宮大学農学部 (〒321-0805 宇都宮市峰 350 TEL 028-649-5483) Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya-shi, 321-8505, Japan
- *3 会員, (独) 農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所 (〒329-2793 那須塩原市千本松 768 TEL 0287-37-7814) National Institute of Livestock and Grassland Science, National Agriculture and Food Research Organization, Nasusiobara-shi, 329-2793, Japan

80%以上の高水分材料を適切な含水率へ調整するには、多大な労力と経済的負担をとらなう。加えて、堆肥材料に混合すべき副資材が不足し、適切な堆肥化を行うには困難な地域が存在している。

水分調整作業を必要としない堆肥化が可能ならば、その方法が最も合理的であるが、そのような技術の開発には至っておらず、現実的には水分調整に係る負担の低減化が求められている。例えば、反応が抑制されない上限含水率で堆肥化を可能にし、反応過程の微生物発熱による水分蒸発を活用することで最適な含水率へ近づけていく方法が考えられる。このためには高水分材料の堆肥化反応特性を詳しく調査し、最適含水率を明確にするとともに堆肥化が可能な上限含水率を知る必要がある。さらに堆肥材料の水分調整に係る負担をより一層削減させるためには、水分調整を必要としない高水分材料に対応した堆肥化の可能性を探ることが重要である。

本研究は高水分の乳牛ふんが堆肥化反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、2種類の実験を行った。実験1では、堆肥化が可能な上限含水率を検討するために、堆肥化の初期過程において異なる含水率材料による酸素消費速度や熱発生速度を測定した。加えて最適含水率を検討するために、異なる含水率材料による12日間の堆肥化反応を行い、微生物数、有機物分解率、酵素活性を測定した。実験2では、高水分の原材料でも堆肥化が出来ることが最も合理的な方法と考え、水分調整を必要としない高水分材料による堆肥化の可能性について基礎的な知見を追求した。とくに、高水分材料の堆肥化微生物が高い増殖能力を有するのみに焦点を当て、微生物による微少発熱量を測定し、比増殖速度を調査した。

II 材料および方法

1. 材料

材料には宇都宮大学附属農場の牛舎より採取した乳牛ふんを使用した。これらを必要に応じて風乾し、約27~86%に水分調整した。実験1ではこれらの乳牛ふんを28°Cで約15時間静置した後、堆肥化実験に供した。

2. 実験装置

(1) 堆肥化装置

既報 (Miyatake and Iwabuchi, 2006) と同様の装置で堆肥化を行った。堆肥材料には反応槽底部より圧送通気を行った。堆肥材料を通過した排気は、ガルバニ電池式酸素センサーによって排気酸素濃度が測定された。反応槽には1Lのステンレス容器を使用し、チャンバー内に設置された。チャンバー内温度は、堆肥材料温度よりも常に1°C以内の低い温度で追従するように制御された。

(2) 堆肥化微生物の微少発熱量測定装置

微生物による微少発熱量測定には、双子型伝導熱量計の多点・サンドウィッチタイプカロリメーター (SCM-12, (株)東京理工) を使用した。

3. 実験方法

(1) 実験1—堆肥化可能な上限含水率の検討

堆肥化が可能な上限含水率を検討するために、異なる含水率材料による堆肥化の初期過程の温度、酸素消費速度、平均熱発生速度を測定した。含水率27~86%の堆肥材料約100g(乾燥質量)を固相率約7~8% 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 $0.6\sim 0.7\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{vm}^{-1}$ に設定して40時間以上、自己発熱による堆肥化を行った。酸素消費速度、熱発生速度の計算は、Iwabuchi and Kimura (1994)の方法に準じた。なお、熱発生速度は実験開始から36時間までのデータを使用し、平均熱発生速度として評価した。36時間に限定したのは、実験開始後少なくとも40時間は初期含水率が保たれていることを予備実験から得られているためである。

上記実験に加えて、堆肥化過程の含水率の影響を調査するために材料含水率を約35, 50, 60, 70%一定に設定した状況で12日間堆肥化を行い、生菌数、有機物分解率、スーパーオキシドジスムターゼ(SOD)活性を測定した。堆肥化開始後3日間は材料を自己発熱によって昇温させ、3日目以降は材料温度を60°Cに維持した。材料温度を60°Cに設定したのは、一般的に堆肥化の最適温度であるとしているのが多く見受けられるからである (Suler and Finstein, 1977; Nakasaki et al., 1985b)。なお、材料質量、通気量、材料固相率は上記の実験と同様である。材料のサンプリングは3日毎に行い、既報 (Iwabuchi and Miyatake, 2001) に従い生菌数を測定した。また、堆肥化6日目のサンプルに限り微生物活性の指標となるSOD活性を既報 (Miyatake and Iwabuchi, 2006) に従い測定した。SOD等の酸化還元酵素は呼吸や生分解のような微生物活性を反映する (García-Gil et al., 2000; Ma et al., 2003)。SOD活性のデータは平均値+標準偏差で表記し、統計的比較はFisher's PLSDテストで行った。サンプル採取時には材料へ加水し、設定された含水率を維持した。また、実験開始時および終了時の堆肥材料を強熱減量(600°C-3時間)することで有機物量を求め、既報 (Miyatake et al., 2003) に従い有機物分解率を算出した。

(2) 実験2—高水分材料の微生物増殖能力の検討

高水分材料の堆肥化微生物の増殖能力を調査するために、微生物の微少発熱量から比増殖速度を計算した。含水率40~85%の堆肥材料約2g(乾燥質量)を微少発熱量測定装置の専用測定容器に充填し、20°Cの環境下において双子型伝導熱量計により微少発熱量を測定した。堆肥化微生物の活動によって生じる微少発熱量を測定した後、微生物の増殖活性の指標となる比増殖速度を分析した。比増殖速度は、発熱量と時間のグラフである増殖サーモグラムから求めた。増殖サーモグラムg(t)の計算方法は以下の通りである。

比増殖速度 $\mu\text{ (h}^{-1}\text{)}$ は菌体濃度 $x\text{ (g}\cdot\text{cell}\cdot\text{kg}\cdot\text{vs}^{-1}\text{)}$ と

菌体増殖速度 dx/dt ($\text{g-cell} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg-vs}^{-1}$) 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。

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (1)$$

菌体増殖速度 dx/dt と微生物による発熱速度 dJ/dt ($\text{J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg-vs}^{-1}$) との間には

$$\frac{dJ}{dt} = Y \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

が成立する。なお、 Y は菌体濃度あたりの発熱量 ($\text{J} \cdot \text{g-cell}^{-1}$) である。(2)式より

$$\ln x = \mu t + C \quad (3)$$

ここで $t=0$ のとき、 $x = x_0$ (x_0 ; 初期菌体濃度 $\text{g-cell} \cdot \text{kg-vs}^{-1}$) より、

$$C = \ln x_0 \quad (4)$$

よって(4)式を(3)式に代入して(5)式となる。

$$x = x_0 e^{\mu t} \quad (5)$$

(2)式に(1)および(5)式を代入して、

$$\frac{dJ}{dt} = Y \mu x_0 e^{\mu t} \quad (6)$$

よって、増殖サーモグラム $g(t)$ は単位時間当たりの熱量変化であり、(7)式として表される。

$$g(t) = Y \mu x_0 e^{\mu t} \quad (7)$$

増殖サーモグラムは対数増殖期において指数関数的に増大するので、双子型伝導熱量計によって計測された発熱量を対数軸にプロットすることで直線として表され、その直線の勾配が比増殖速度となる。なお比増殖速度は相関係数が 0.996 以上で算出された。

III 結果および考察

1. 堆肥化可能な材料水分の検討 (実験 1)

(1) 堆肥化の初期過程の含水率依存性

図 1 に異なる含水率材料による堆肥化過程の温度変化の一例を示した。なお、平均熱発生速度を算出した 36 時間目と酸素消費速度の極小値を示す 54°C (図 3 参照) に点線を記した。27% の低水分材料による堆肥化では昇温が認められず、堆肥化反応は起こらなかった。37~74% 材料では、昇温速度が速く実験開始から 24 時間程度で約 70°C まで上昇した。76% 以上の高水分材料の堆肥化では、37~74% 材料よりも昇温速度がやや遅く、 70°C には到達しなかったものの約 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ まで温度が上昇することが分かった。

図 2 に材料含水率と平均熱発生速度の関係を示した。30% 以下の平均熱発生速度については、昇温が認められ

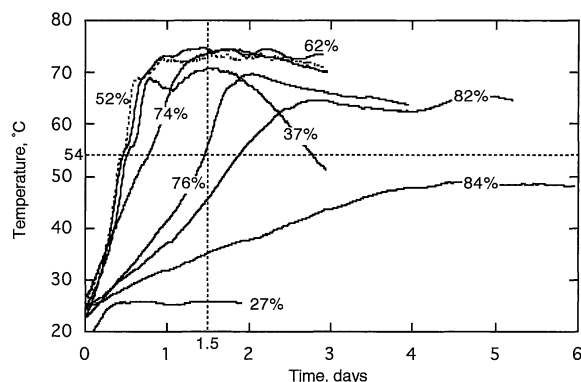


図 1 異なる含水率材料の堆肥化による温度変化の一例
Fig. 1 Changes in temperature during composting of dairy manure at different moisture contents

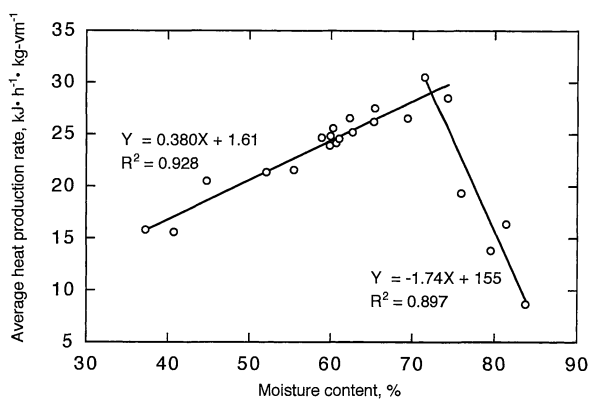


図 2 含水率と平均熱発生速度の関係
Fig. 2 Relationship between moisture content and average heat production rate

なかったため図に記していない。37~74% 材料の堆肥化では、含水率が高くなるにつれ平均熱発生速度が直線的に上昇し、高い正の相関 ($r^2=0.928$) を示した。これらの含水率では、36 時間以内に 70°C 以上の温度に達していた。一方、72~84% 材料の堆肥化では、含水率が高いほど平均熱発生速度は減少し、高い負の相関 ($r^2=0.897$) を示した。とくに 74% から 76% の極めて狭い含水率域で平均熱発生速度は約 68% 低下した。このときの材料気相率は、74%、76% 材料で約 58%、56% であった。なお 76% 以上の材料では、温度は 70°C に到達しなかった。

図 3 に異なる含水率材料の堆肥化による温度と酸素消費速度の関係の一例を示した。37~74% 材料による堆肥化では、 43°C と 60°C に酸素消費速度の極大値が観測された。これらの極大値は、中温性および高温性微生物の活動に起因する (Nakasaki et al., 1985a; Iwabuchi and Kimura, 1994)。37~74% 材料では、これら 2 点の極大値が現れており、堆肥化の初期過程において中温性および高温性微生物が活性化されたことを示す。69% 以上の材料による堆肥化では、含水率が高くなるほど 43°C

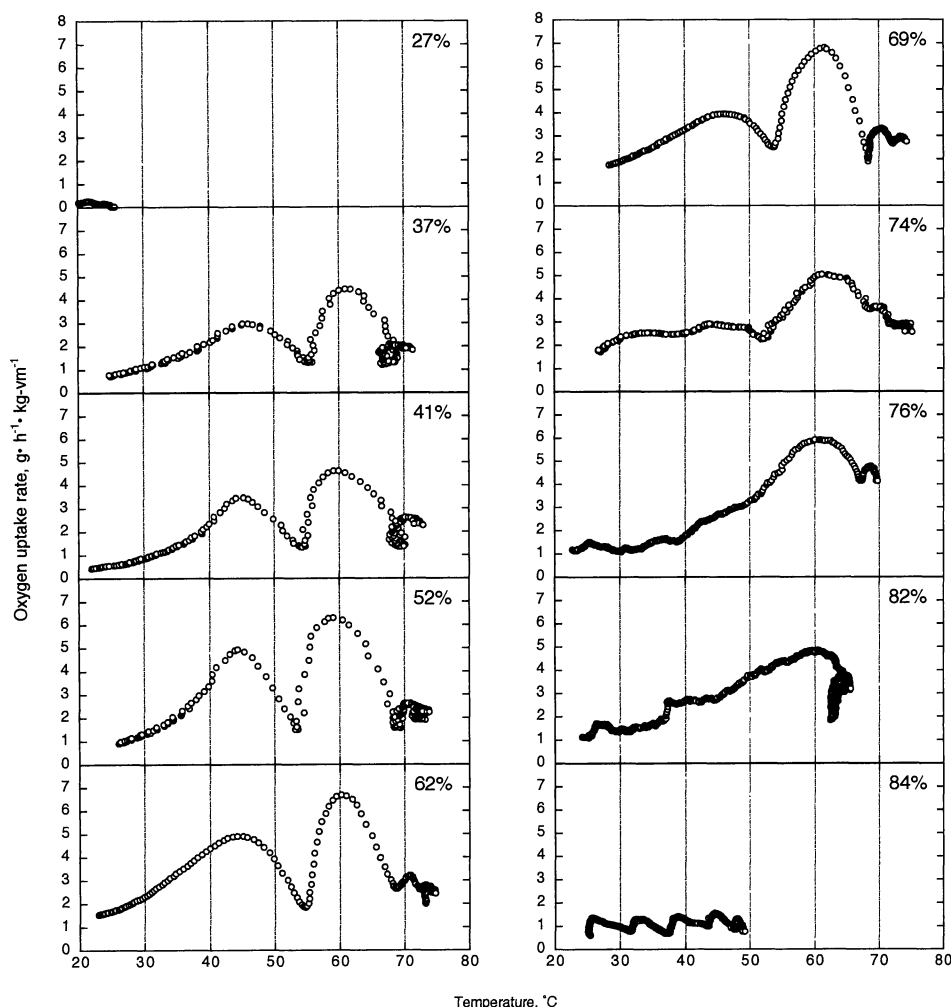


図 3 異なる含水率材料による堆肥化の温度と酸素消費速度の関係の一例

Fig. 3 Relationship between temperature and oxygen up take rate during composting of dairy manure at different moisture contents

に見られる極大値は低下する傾向にあり、中温性微生物の活性が減少することが示唆される。しかしながら 82% のような高水分材料でも 60°C の酸素消費速度の極大値は観測されており、高温性微生物の活性は十分維持されたものと理解される。水分調整を施していない 84% 材料の堆肥化においては、酸素消費速度は低いレベルで推移したが、温度は約 50°C まで上昇した。

以上の結果をまとめると、堆肥化の初期過程では材料含水率が約 37~74% までは昇温速度が速く、70°C 以上の高温にまで上昇することから順調な反応の立ち上がりが期待できる。平均熱発生速度が 37~74% 材料において直線的に増加する理由については不明であるが、高水分ほど堆肥材料中の基質が周辺に存在する水膜中に多く浸透すると推測される。それ故、材料含水率が高いほど堆肥化微生物が基質を消費しやすくなるため、平均熱発生速度が増加すると推察される。76% 以上の高水分材料では中温性微生物による酸素消費速度の極大値が低下し

て中温域と高温域の境界も不明確になり、これに伴い平均熱発生速度が減少した(図 2, 3)。中温性微生物の活動が何らかの原因により抑制された結果、代謝熱の発生が抑えられ平均熱発生速度の低下を導いたと推測されるが、中温性微生物のみが高水分の影響を受けた原因については現時点では未解明である。しかしながら、このような高水分材料では昇温速度はやや遅くなる傾向にあるものの、その温度は約 50~70°C まで上昇し、加えて高温性微生物は高水分材料においても十分活性化されることが示された(図 1, 3)。これは従来から堆肥化が難しいと考えられている高水分材料でも堆肥化が十分開始され反応が進む可能性を示唆するものである。一方 30% 以下の材料では堆肥化による昇温は観測されず、これは堆肥材料の乾燥により微生物の代謝が著しく阻害されたことを示す(図 1)。

(2) 堆肥化過程の含水率依存性

図 4 に 12 日間の堆肥化過程における高温性および中

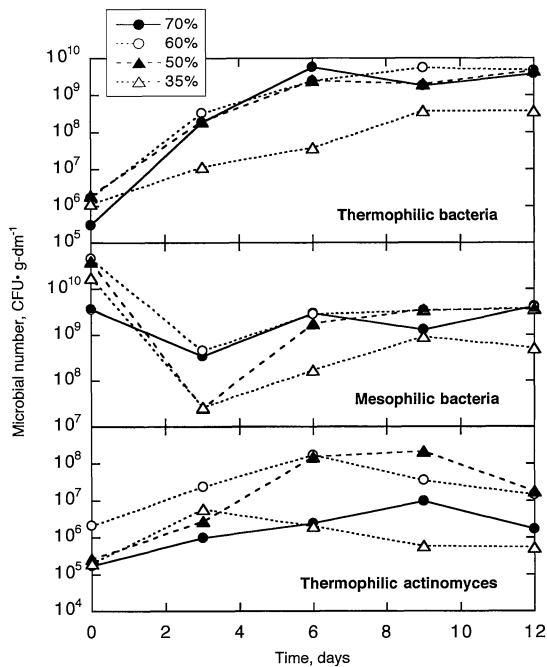


図4 堆肥化過程の微生物数の変化

Fig. 4 Changes in microbial number during the composting process. dm : dry matter

温性細菌、高温性放線菌の生菌数の変化を示した。35%の低水分材料による堆肥化では、これらの微生物の生菌数は他の材料含水率と比較して $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 程度低いレベルで推移した。これは明らかに微生物の増殖阻害を示している。70%の高水分材料においても高温性放線菌の生菌数が50、60%材料と比較して $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 程度低いレベルで推移したが、中温性および高温性細菌については著しい減少は観測されなかった。

図5に(A)12日間の堆肥化過程を終了した材料の有機物分解率ならびに(B)堆肥化6日目の異なる含水率材料におけるSOD活性を示した。有機物分解率は含水率が高くなるほど上昇する傾向にあり、60%および70%材料で約39%と最も分解が進んでいた。また60%材料のSOD活性は他の材料含水率と比較して有意に高かった。70%材料においても、50%材料と同程度のSOD活性を有しており60%材料に次いで高い活性を示した。なお35%の低水分材料のSOD活性は最も低かった。

以上の結果をまとめると、乳牛ふんを使用した堆肥化過程の材料水分は約60%が最適である。この含水率材料による反応は高い生菌数や酵素活性を維持することで有機物分解を促進させると考えられる(図4, 5)。従来の堆肥材料の含水率に関する研究では、50~60%が適正であるという報告が多く見受けられる(Suler and Finstein, 1977; Tiquia et al., 1998)。本研究の最適含水率の結果は、上記の報告と同様であったが、60%材料で高い生菌数が維持される上、微生物の酵素活性が高くなることを初めて示した。一方、Liang et al. (2003)は、バイオソ

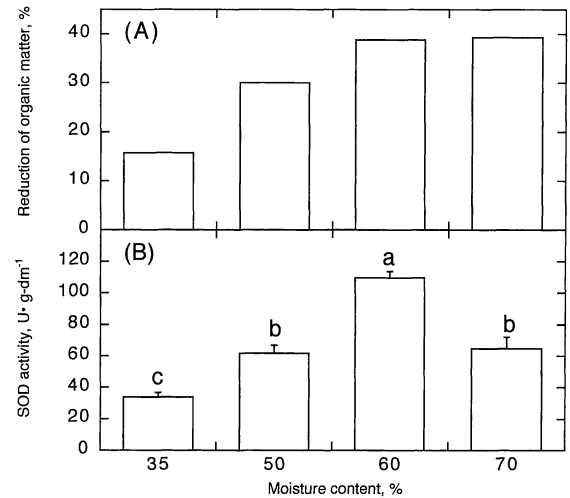


図5 異なる含水率材料が(A)有機物分解率ならびに(B)SOD活性に及ぼす影響

Fig. 5 Effect of moisture content on (A) reduction of organic matter and (B) SOD activity. Data are expressed as means + standard deviation. Values with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$. dm : dry matter

リッドによる堆肥化では、微生物の呼吸活性は60~70%で高くなると指摘している。本研究の結果も、70%の高水分材料の堆肥化において高温性放線菌数の減少が確認されたものの、有機物分解率は最適な含水率である60%と同程度まで高い上、SOD活性も最適といわれている範囲の50%とほぼ同レベルであった(図4, 5)。これは堆肥材料の種類や気相率等の三相構造にも依存するが、60%以上の高い含水率材料においても堆肥化反応が十分進行する可能性を示唆する。一方、35%材料による堆肥化は、微生物数の減少や代謝活性、分解能力の低下が著しいため(図4, 5)、このような低含水率材料の堆肥化は好ましくない。

2. 高水分材料の微生物増殖能力の検討(実験2)

実験2では、水分調整を必要としない堆肥化技術の開発に繋がる基礎的研究として、高水分材料でも堆肥化開始時の常温において微生物増殖が十分可能か検討した。

図6に材料含水率と微少発熱量より計算した比増殖速度の関係を示した。43~61%材料では、含水率が高いほど堆肥化微生物の比増殖速度は直線的に増加した。61%以上の材料では比増殖速度はいずれも約 0.5 h^{-1} で高いレベルで一定となり、この高い比増殖速度は80%以上の高水分材料においても維持された。これらの結果は、堆肥化微生物が80%以上の高水分材料においても最適含水率と考えられる60%材料と同程度の高い増殖能力を保持していることを示す。この実験結果は、必ずしも実際の堆肥化反応を反映している訳ではない上、その原材料の種類や三相構造にも依存する。しかしながら家畜ふんの様な半固体状の高水分材料という物性においても

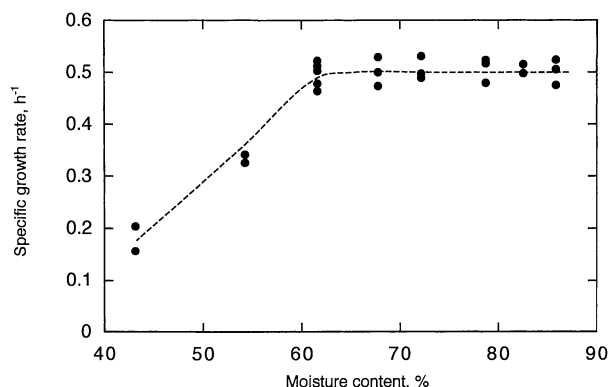


図 6 含水率と微生物の比増殖速度の関係

Fig. 6 Relationship between moisture content and specific growth rate of microorganisms

十分な堆肥化微生物の増殖が期待できることを示す初めての知見である。

本実験では、微少発熱量の測定中は外部から酸素を供給していないため、堆肥化微生物は予め水分中に溶存していた酸素を利用し活動したと考えられる。理論上、家畜ふんの様な半固体状の高水分材料においても堆肥化過程で材料水分中に十分な酸素を強制的に溶け込ませる通気方法が実現できれば、供給された材料水分中の溶存酸素により堆肥化微生物を活性化させ、堆肥化反応を開始および進行させることが十分可能であると推察される。

IV 結 論

本報は高水分の乳牛ふんが堆肥化反応に及ぼす影響を示し、加えて高水分材料による堆肥化の可能性を示唆した。含水率 37~74% 材料では、堆肥化の反応初期で順調な反応の立ち上がりが可能であった。また含水率 76% 以上の高水分材料においても昇温速度は遅くなるものの、約 50~70°C の温度に昇温させることが可能であった。堆肥化過程においては含水率 60% 材料でとりわけ反応速度が高く、最適含水率であると考えられる。また 60% 以上の高水分材料においても有機物分解率は高く、効果的な堆肥化が期待できることが示唆された。加えて、本研究では 80% 以上のような高水分材料においても、堆肥化微生物の増殖能力は高く、水分調整を必要とせずに堆肥化を実施できる可能性を示した。これらの結果は、水分調整に係る労力や経済的負担をより低減させるための堆肥化方法の指針となり得る。加えて、高水分材料中の微生物増殖を最大限発揮させるような溶存酸素

の供給方法やハンドリング方法の開発により、水分調整を必要としない堆肥化が可能であると推察される。

References

- García-Gil, J.C., Plaza, C., Soler-Rovira, P., Polo, A., 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1907-1913.
- Ma, Y., Zhang, J.Y., Wong, M.H., 2003. Microbial activity during composting of anthracene-contaminated soil. *Chemosphere* 52, 1505-1513.
- Iwabuchi, K., Kimura, T., 1994. Aerobic biodegradation of dairy cattle feces (Part 1). *Journal of JSAM*, 56 (2), 67-74.
- Iwabuchi, K., Kimura, T., 1997. Aerobic biodegradation of dairy cattle feces (Part 2). *Journal of JSAM*, 59 (5), 29-35.
- Iwabuchi, K., Miyatake, F., 2001. Culture conditions for determining microbial population size contributing to high rate composting of dairy manure by using the dilution agar-plate method. *Journal of JSAM*, 63 (6), 85-89.
- Liang, C., Das, K.C., McClendon, R.W., 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresour. Technol.* 86, 131-137.
- Miyatake, F., Iwabuchi, K., Kimura, T., 2003. Activated temperature of microorganisms contributing to cattle manure composting. *Journal of JSAM*, 65 (2), 101-105.
- 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.
- Nakasaka, K., Sasaki, M., Shoda, M., Kubota, H., 1985a. Change in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with reference to CO₂ evolution rate. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 37-41.
- Nakasaka, K., Shoda, M., Kubota, H., 1985b. Effect of temperature on composting of sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 50, 1526-1530.
- Schulze, K.L., 1962. Continuous thermophilic composting. *Appl. Microbiol.* 10, 108-122.
- Suler, D.J., Finstein, M.S., 1977. Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, 345-350.
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I.J., 1996. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresour. Technol.* 55, 201-206.
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I.J., 1998. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. *Agric. Ecosys. Environ.* 67, 79-89.

(原稿受理：2006年4月25日・質問期限：2007年5月31日)

コメント

[読者のコメント]

図6のデータは、あくまでも含水率80%以上の原料(乳牛ふん)であっても、十分な溶存酸素が供給できれば微生物は増殖するという可能性(原料の性質)を示したものであり、それは一般に予想する結果だと思えます。半固体(またはスラリー)状の原料を堆肥化するには、反応装置の設計やその運転管理など、別の問題が多々あるのではないかと思います。現実的にはどうでしょうか。

[コメントに対する著者の見解]

高水分材料でも微生物が増殖できることは容易に予想できますが、本報では高水分材料中の微生物が最適含水率と同程度の高い増殖能力があることを初めて提示しました。また半固体状の高水分原料を堆肥化するには、スラリー等の液状物性に対する曝気のみでは難しいと思われます。堆肥材料は三相構造を有していますので、材料中の気相から液相への酸素拡散が重要であり、そのためには例えば、材料水分中に十分な溶存酸素を供給できる通気方法等を新規に開発する必要が現実的な問題として存在します。しかし創意工夫により十分開発が可能であると考えています。著者(岩淵, 宮竹)らも平成16年度から宇都宮大学VBLプロジェクトにおいて、本論文の発想に基づき、「水分調整を必要としない堆肥化システム」のプロトタイプの開発に成功しており、権利化を目指しております。