

バイオマス廃棄物の堆肥化

高島正信

Compost from Waste Biomass

Masanobu Takashima

Wastewater sludge, pruned roadside trees and rice bran were composted together for recycling biomass wastes efficiently. It is observed that those wastes are composted well, but the lack of rice bran tended to restrict the temperature rise during fermentation. Analysis of nutrients showed that potassium content is less sufficient in the compost, as the amount of rice bran added is reduced. Any of the composts produced did not affect the growth of a plant, *Brassica rapa var. perviridis*. In conclusion, composting is suitable for the agricultural use of those biomass wastes.

1. はじめに

汚泥、生ごみ、家畜排せつ物など、処理・処分すべきバイオマス廃棄物の量は増大しており、その一方で資源・エネルギーの枯渇が世界的に懸念されている。循環型社会の構築のため、バイオマス廃棄物が保有する資源・エネルギーの回収や有効利用が強く求められている。

なかでも下水汚泥は、その発生量が全国の産業廃棄物排出量約4億トンのうち約7,500万トン(約18%)を占めるに至っており¹⁾、下水道の普及等に伴って今後さらに増加する見込みである。全国的に下水汚泥の循環利用が推し進められているなか、農林地の多い地方都市においては緑農地利用が有効である。完熟肥料を製造できる堆肥化(コンポスト)が理想的な方法であると考えられているが²⁾、下水汚泥は高含水率であるうえカリウムが乏しいという短所を有している。一方、土木行政では、毎年街路樹の維持管理で大量に発生する街路樹剪定枝葉の資源としての有効利用が課題となっている³⁾。そこで、水分調整やカリウム補充等の目的に枝葉を下水汚泥と混合すれば、より高い品質の堆肥を作れるばかりでなく、廃棄物処理・資源循環の面からも好都合である。

本研究では、バイオマス廃棄物の緑農地への有効利用を図るため、下水汚泥と街路樹剪定枝葉を混合した堆肥の製造を試み、得られた堆肥の品質について把握することを目的とした。さらに、精米の過程で生じ、発酵を促進する代表的なバイオマス廃棄物としてぬかがあり、これも発酵性・栄養性改善のため一部の実験で副資材として使用してみた。

* 原子力技術応用工学科

2. 実験方法

2-1 堆肥化実験

実験に使用した堆肥化装置を図1に示す。反応容器は発泡スチロール製の手作りで、反応部の内寸法は幅 25cm×奥行き 25cm×高さ 54cm、容量 34L であった。最下部には高さ 3cm の空気投入スペースを設けており、エアーポンプ（SPP-15GA、(株) テクノ高槻）から供給された空気が 5～6cm 間隔で空けられた直径約 5mm の穴を通じて反応部に供給されるようにした。空気供給ラインには流量計を設置することによって、空気流量を 0.5L/分程度に制御した。また、上部のフタを通じて温度記録計（E5CSV、(株) オムロン）に接続された温度センサーを挿入し、発酵温度をモニターした。実験装置を設置した実験室の室温はおおむね 20～25℃ の範囲であった。

堆肥化原料の混合条件を表1に示す。3種類の条件を設定したが、どの条件でも下水汚泥の脱水ケーキ（福井市日野川浄化センターより採取）と街路樹剪定枝葉（(株) 中村正建設より提供）をベースとしたものである。さらに条件1および2においては、栄養素を補給し、発酵を促進させる目的でぬか（大川食品工業（株）いりぬか）を添加した。下水汚泥脱水ケーキは、下水処理場から採取後1～2日以内のできるだけ新鮮なものを用いた。

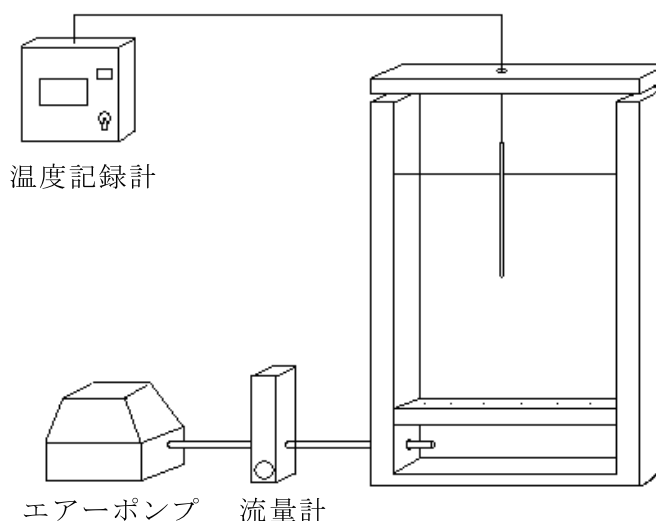


図1 堆肥化実験装置

表1 原料混合条件

条件	発酵原料（カッコ内は水分）	初期水分（%）
1	脱水ケーキ（79.5%）10 kg＋枯葉（1.0%）2 kg＋ぬか（1.8%）2 kg	58
2	脱水ケーキ（77.9%）10 kg＋枯葉（1.0%）2.5 kg＋ぬか（1.8%）1 kg	60
3	脱水ケーキ（78.5%）10 kg＋枯葉（1.0%）2.7 kg	64

2-2 分析方法

分析は肥料分析法⁴⁾に従った。水分は最も一般的な加熱減量法により測定したが、これは分析試料を蒸発皿にとり、100℃で 5 時間乾燥して重さを量り、その減量を水分とするものである。窒素、リン酸、カリ、重金属等の項目については外注分析に依頼した。

堆肥化の終了後（約 50 日）、堆肥としての適合性をみるために「汚泥堆肥の幼植物試験法」（農林水産省農蚕園芸局長通達ノイバイエルポット試験法）を行った。これは幼植物の生育状況から堆肥の腐熟度を調べる生物学的方法の一つであり、手順の概略は以下のようなものである。

- ①試験作物としてコマツナ、土壌として 2mm 目のふるいを通した風乾土を使用し、ノイバウエルポット当たり土壌 500mL を入れ、コマツナ種子 20～25 粒を播種する。
- ②堆肥施用量は、ノイバウエルポット当たり窒素として 100mg を基準量として、基準量施用区、2 倍量施用区、3 倍量施用区および 4 倍量施用区の 4 つの施用区を設ける。
- ③栽培温度は、原則として 15～25℃に保ち、3 週間栽培する。
- ④栽培過程でのコマツナの発芽率、葉長、異常症状などを調べるとともに、収穫時に葉色、葉長、根、生体重などを調べ、標準区と比較して試験区での異常の有無または程度を検査する。

3. 実験結果および考察

3-1 堆肥化の状況

発酵温度の経日変化をプロットしたものを図 2 に示す。堆肥化時の水分は一般に 50～60%が最適といわれており⁵⁾、下水汚泥と街路樹剪定枝葉を用いた実験においては土木研究所は 60%⁶⁾、福井県雪対策・建設技術研究所は 55%³⁾が初期水分として最適であると報告している。今回、条件 3 のみ初期水分が 60%より高くなったが、この理由は条件 1 および 2 と同じ下水汚泥量を用いたところ、ぬかが無いことにより水分調整に多くの枯葉が必要となって反応容器に入りきれなくなり、結局枯葉の量を抑えたためである。

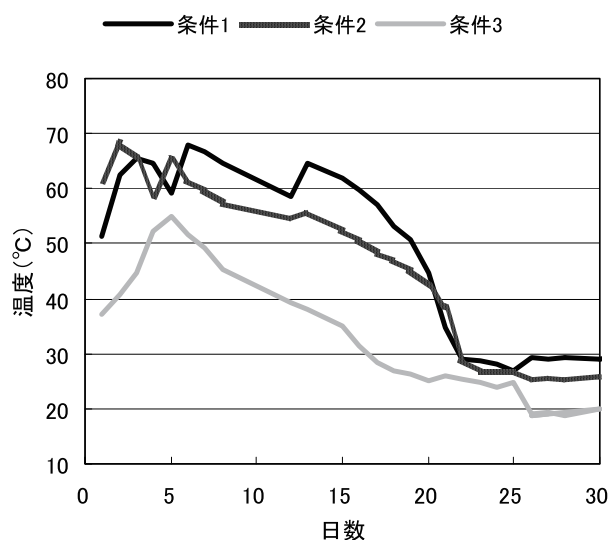


図 2 堆肥化発酵温度

図 2 より、最高発酵温度は条件 1 が 68℃、条件 2 が 68℃、条件 3 が 55℃に到達した（ただし、後日実施した別の実験から、温度測定した反応容器中段よりも上段の方が温度が高いという縦方向の温度分布の存在が明らかになったため、最高発酵温度は実際にはこれより高かった可能性がある）。約 65℃以上に到達した日数は、条件 1 が 6 日、条件 2 が 3 日、条件 3 が 0 日であった。原料 1L 当たりの空気量は土木研究所と福井県雪対策・建設技術研究所は 0.02～0.024L/分を用いており³⁾、⁶⁾、本実験では 0.017L/分程度とやや低めであったが、好気性発酵を維持するにはほぼ十分であったと考えられる。

堆肥化における一次発酵は汚泥中の易分解性有機物の分解や、発酵熱による寄生虫卵や種子等の死滅や不活性化、および悪臭の除去、含水率の低下を目的として行う²⁾。また、この目的を達成するための堆肥の製造基準として、一次発酵の発酵期間は 10～14 日間とし、発酵温度は 65℃以上を 48 時間以上持続することと下水汚泥資源利用協議会が定めている²⁾。条件 1 と 2 の結果はこの製造基準をほぼ満たしていた。条件 3 の場合、易分解性有機物の豊富なぬかが使われなかったことに加え、初期水分が最適範囲からやや外れていたことにより、発酵温度が 55℃までしか到

達しなかったと考えられる。しかしながら、小型のコンポスト装置の場合は熱の放散が大きく発酵温度が上がりにくいことが広く認識されているので⁷⁾、条件3でも現場の大型装置ではより高温に達すると推定され、おおむね良好な発酵が行われたと推測される。

3-2 堆肥の適合性

肥料取締法は、下水汚泥を原料とする肥料を生産・流通させるに当たっては、次の事柄を制限している²⁾。

- ①ひ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロムおよび鉛の含有量（＝含有量基準）。
- ②金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める基準に適合する原料を使用したものであること（＝溶出基準）。
- ③植害試験の調査を受け、害が認められないものであること。

さらに、有機質肥料の望ましい品質を確保し、高品質で、安全・安心に使えるように品質基準や表示方法を全国農業協同組合（JA）が定めている²⁾。これらの基準と照合するために、製造堆肥の含有量分析の結果を表2に示す。また、参考として原料の成分を表3に示すが、ぬかと枝葉については分析しなかったため文献値を挙げておく。なお、②の溶出基準については、問題があることはきわめてまれであるため、ここでは分析を省略した。

表3より、今回用いた下水汚泥も肥料としてはカリがきわめて乏しいことがわかる。一方、ぬかはリン酸が豊富であり、またカリも他の原料に比べてかなり多く含まれている。剪定くずは他の原料と比べると相対的に含まれる栄養素の量が少なく、とくにリン含有量が低いものの、カリ

表2 製造堆肥の成分

	基準*	条件1	条件2	条件3
全窒素（乾物当たり％）	1.5 以上 ^{JA}	3.5	2.8	2.6
リン酸（乾物当たり P ₂ O ₅ ％）	2.0 以上 ^{JA}	3.3	2.3	1.6
カリ（乾物当たり K ₂ O％）		1.5	1.3	0.65
石灰（乾物当たり CaO％）		5.3	5.7	7.2
アルカリ分乾物当たり	25 以下 ^{JA}	3.8	3.6	4.0
全炭素（乾物当たり％）		22.8	24.5	30.3
C/N 比	20 以下 ^{JA}	6.5	8.7	11.8
水分（％）	50 以下 ^{JA}	43.0	47.0	57.1
水銀（乾物 kg 当たり mg）	2 以下	0.39	0.46	0.42
カドミウム（乾物 kg 当たり mg）	5 以下	1.2	1.2	1.1
ひ素（乾物 kg 当たり mg）	50 以下	3.7	4.0	3.7
鉛（乾物 kg 当たり mg）	100 以下	36	38	41
ニッケル（乾物 kg 当たり mg）	300 以下	46	53	70
クロム（乾物 kg 当たり mg）	500 以下	24	25	27
銅（乾物 kg 当たり mg）	600 以下 ^{JA}	200	230	290
亜鉛（乾物 kg 当たり mg）	1,800 以下 ^{JA}	520	530	610

* 無印は肥料取締法による含有量基準、JA 印は JA による品質基準。

表3 原料の成分

	下水汚泥	ぬか ⁵⁾	剪定くず ⁵⁾
全窒素（乾物当たり％）	4.49	2.79	0.86
リン酸（乾物当たりP ₂ O ₅ ％）	1.25	5.35	0.16
カリ（乾物当たりK ₂ O％）	0.23	1.82	0.41
全炭素（乾物当たり％）	32.4	45	50.7
C/N 比	7.2	16	58.9
水分（％）	78.4	10	14

含有量は下水汚泥より高い。表2より、出来上がった堆肥は窒素の一部がアンモニアや窒素ガスとして損失し減少するが原料の含有量を反映しており、ぬかの添加量が少なくなる条件1から3になるほどカリの含有量も少なくなっている。また、肥料三要素である窒素、リン酸およびカリのバランスについてみると、基肥として用いられる肥料は1:1~2:1~2程度の範囲にあるので⁵⁾、条件1と2の方がより適切ではあるが、ぬかが添加されてもカリの含有量はまだ十分でなく、カリの不足分を他の肥料で補うのが理想的である。条件3はカリが少ないことに加え、リン酸と水分においてJAの品質基準を満たさなかった。①の重金属に関する含有量基準については、条件1~3の堆肥とも満足していた。

表4には、3週間栽培後の幼植物試験の結果を発芽数と生体重を用いてまとめている。条件1~3のいずれにおいても発芽数および生体重は対照とほぼ同等か、若干多くなっており、製造堆肥によるコマツナノの生育に対する障害はないと結論付けられる。

表4 幼植物試験の結果

		発芽数		生体重	
		本	対照に対する％	g	対照に対する％
対照		18	---	2.77	---
条件1	100mgN	18	100	2.75	99
	200mgN	20	111	3.12	113
	300mgN	18	100	2.65	96
	400mgN	18	100	2.70	97
条件2	100mgN	17	94	3.51	127
	200mgN	20	111	3.70	134
	300mgN	20	111	3.24	117
	400mgN	18	100	2.46	89
条件3	100mgN	19	106	3.04	110
	200mgN	20	111	3.88	140
	300mgN	20	111	3.65	132
	400mgN	19	106	3.23	117

4. まとめ

本研究では、下水汚泥、街路樹剪定枝葉およびぬかという、3 種類のバイオマス廃棄物について堆肥化による有効利用の検討を行った。得られた結論は以下のようである。

(1) ぬかの量に応じた 3 通りの原料混合条件で堆肥化を行ったところ、ぬかが加えられた 2 条件では順調に発酵は進行した。ぬかが加えられなかった条件では、発酵温度が上がりにくい傾向にあった。

(2) 製造された堆肥はどの原料混合条件でもカリ含有量が少なかったが、ぬかが添加されたときの方が三要素のバランスが良くなった。ぬかが用いられない場合はリン酸も不足気味であった。

(3) 製造された堆肥はどれも幼植物の生育への障害は観察されなかった。以上より、堆肥化はこれらバイオマス廃棄物の緑農地還元の方法として適当であると考えられる。

謝辞

(株) 中村正建設の中村正治氏には脱水ケーキと街路樹剪定枯葉を提供していただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 鈴木あや子：下水汚泥資源利用の動向と今後の課題について、再生と利用、Vol.31、No.119、30-42、2008.
- 2) (社) 日本下水道協会：下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル、2005.
- 3) 久保 光：下水汚泥の有効利用に関する調査・研究その 4、福井県雪対策・建設技術研究所年報、第16号、104-107、2003.
- 4) 農林水産省農業環境技術研究所：肥料分析法－1992 年版.
- 5) 藤原俊六郎：堆肥のつくり方・使い方、農村漁村文化協会、2003.
- 6) 藤原宣夫・石坂健彦・石曾根敦子・森崎浩一・飯塚康夫：下水汚泥と剪定枝葉を混合した堆肥の製造方法に関する検討、土木研究所資料第3708号、2000.
- 7) 藤田賢二：コンポスト化技術、技報堂、1993.

(平成 21 年 3 月 31 日受理)