

冬期における豚糞の断続添加による堆肥化の促進

阿部 英則*¹ 井内 浩幸*¹
大原 益博*² 小松 輝行*³

豚糞堆肥の冬期における腐熟化促進を目的とし、回分式腐熟試験（回分試験）並びに豚糞を断続的に添加する腐熟試験（添加試験）を行った。回分試験では副資材に稲わらを用い、切返しや保温、踏圧の効果を調べた。添加試験では副資材に稲わら、もみがら、おがくずを用い、豚糞を断続的に添加する効果を調べた。それによると、回分試験においては、切返しの効果は認められず、保温や踏圧の効果は認められたものの、発熱期間は夏期のそれには及ばなかった。一方、添加試験では品温の低下時に豚糞を添加することで、70～160日間の熱発生がみられ、冬期における腐熟の継続が可能となった。有機物や繊維成分の分解率、コマツナを用いた発芽試験、臭いからみて、発熱終了後における後熟は必要であると考えられた。また、この豚糞を断続的に添加する方式では回分方式と比べて、副資材を大きく節減できることが明らかとなった。

I 緒 言

家畜糞は堆肥として田畑に還元すべきである。堆肥の効果は単なる肥効だけでなく、土壌の物理性、生物性の改善など地力増強の全般にわたることは言うまでもない。しかし、堆肥を未熟なまますきこむと、時には土壌の還元化、有害ガスの発生など作物に対して障害を起こすために、堆肥の腐熟については十分に留意すべきである。

北海道における堆肥利用の実状をみると、腐熟が充分に進んだ堆肥が必ずしも施用されていないように思われる。この原因として、腐熟に関する認識の不足や簡易な腐熟度の判定法が見当たらないことなどがあげられるが、他方、北海道の冷涼な気候、とりわけ冬期における腐熟化が極めて遅れることを付加えねばならない。

家畜糞の堆肥化に関する研究は数多いが、寒冷期における堆肥化についての検討例は極めて少ない。また、それらによると、寒冷期においては発

酵槽の通気性を高めたり⁹⁾、水分を調整したり¹¹⁾、あるいは発酵菌を添加しても^{10, 11)}、豚糞や牛糞の腐熟は殆ど進まないとされている。すなわち、寒冷期における家畜糞の効率的な腐熟方法は未確立と言える。

著者らは家畜糞として豚糞を取上げ、北海道のような寒冷地における堆肥化を検討している。前報²⁾では夏期における堆肥化を検討し、副資材として稲わらを適量混合し、切返しを行うことで、腐熟が充分進むことを明らかにした。

本報では冬期における豚糞の腐熟をはかるために、二つの方式を検討した。一つは回分方式で開始時に副資材を豚糞と混合する以外は一切の有機物を混合しない方式である。ここでは冬期間の切返し、保温、踏圧により、発熱期間がどの程度確保しうるかについて調べた。もう一つは豚糞の断続的添加による堆肥化方式である。これは開始時のみ稲わら等の副資材を使用し、その後豚糞を断続的に添加、混合していくやり方である。ここでは豚糞の添加による冬期間の腐熟の継続について検討した。

1991年7月26日受理

*¹ 北海道立滝川畜産試験場, 073 滝川市東滝川

*² 北海道立天北農業試験場, 098 57 枝幸郡浜頓別町

*³ 東京農業大学生物産学部, 099-24 網走市八坂

II 試験方法

供試糞は滝川畜産試験場雌豚舎から排出され敷料の混入が比較的少ない豚糞であり、水分や通気調製用の副資材には切断(2 cm程度)した稲わら、およびもみガラ、おがくずを用いた。豚糞と副資材はロータベータを用いて均一に混合し、この混合物約400kgを底部、側面からも自然通気されるフレーム型発酵槽に堆積して、腐熟させた。発酵槽の容積は1 m³(縦1×横1×高さ1 m)である。

試験構成は回分式腐熟試験(回分試験)と豚糞を断続的に添加する腐熟試験(添加試験)の二つである。

1. 回分試験

稲わらを前報²⁾の夏期試験と同じく15%となるように豚糞と混合した。この混合物それぞれ400 kgを三つの発酵槽に詰込み、一つは断熱材で上部、側面を保温し、一つは他よりも堆積高が約30%低くなるように踏圧した。残り一つは無処理のままであるが、上昇した品温が低下する時に切返しを行った。試験は1987年12月に行った。

2. 添加試験

2-1. 副資材に稲わらを用いる試験

稲わらの豚糞に対する混合割合は回分試験と同様に15%である。一旦、上昇した品温が低下する時に切返しを兼ねて豚糞を添加、混合した。豚糞の添加量は添加後の混合物の水分含量が概ね60%となることを目安とした。最後に発熱が終了した時点から140日間後熟させた。腐熟期間は1987年12月21日から1988年7月29日までである。なお、稲わらの分解程度を知るために、腐熟物を粗粒、細粒区分にふるい(2.8mm)分けした。

2-2. 副資材にもみガラ、おがくずを用いる試験

稲わらの混合割合は15%であるが、水分含量は稲わらの12%に対し、もみガラ23%、おがくず46%であり、一律に15%混合とすることは不適當である。稲わらを15%混合した時の水分含量は約60%であることから、もみガラ、おがくずとも開始時の水分含量が約60%となるよう混合した。

もみガラ、おがくずを用いた場合の供試豚糞の水分含量はそれぞれ72、65%であることから、副資材の混合割合はもみガラで30%、おがくずで33%とした。豚糞の添加方法は前述2-1と同様で

ある。

もみガラを用いた場合は最終発熱終了時から約150日間後熟させた。おがくずを用いた場合は発熱期間が長かったため、とくに後熟期間は設けなかった。腐熟期間はもみガラを用いた場合は1987年12月21日から1988年7月28日までであり、おがくずを用いた場合は1988年1月25日から7月28日までである。

3. 腐熟の判定

回分、添加試験とも腐熟期間を通して品温を測定した。品温は発酵槽中心部の底部から堆積高のおおむね1/3および2/3の部分にセンサーを埋め込んで自記温度計で記録した。

添加試験では開始時、豚糞の添加前・後および後熟の前・後に腐熟物の重量を測り、また試料を採取して有機物や繊維成分などの含量を測定し、その分解率を求めた。さらに、C/N比や微生物を調べ、また後熟前・後の試料についてはコマツナ *Brassica rapa var. komatsuna* を用いた発芽試験³⁾を行い、発芽率や根長に及ぼす影響を調べた。

4. 成分および微生物の測定

繊維成分の測定にはデタージェント分析法¹⁾を用いた。灰分を差引いた、中性デタージェント不溶物をNDF、酸性デタージェント不溶物をADFとし、NDFからADFを引いた残りをヘミセルロースとした。酸性デタージェント不溶物中の硫酸不溶物から灰分を引いた残りを酸性デタージェントリグニン(ADL)とし、ADFからADLを引いた残りをセルロースとした。

全炭素含量は有機物含量×0.5による簡便法⁸⁾で、全窒素含量はケルダール法⁷⁾で求めた。

微生物の計測は平板培養による生菌数を測定した。すなわち、試料10gを滅菌水90mlに懸濁し、ホモゲナイザーで5分間攪拌した。次いで二重ガーゼでろ過し、ろ液を10倍ずつ適宜希釈し、希釈液を平板に塗抹して培養した。高温菌は0.5%グルコース加普通寒天培地、放線菌はエッグアルブミン寒天培地、糸状菌はポテトデキストロース寒天培地、大腸菌群はDHL寒天培地で培養した。また100℃、1分間熱処理した希釈液を0.5%グルコース加普通寒天培地で培養し、増殖する菌を孢子形成菌とみなした。糸状菌は25℃、放線菌、孢子形成菌は30℃、大腸菌群は38℃でふ卵器を用い

て培養した。高温菌は65℃で培養したが培地の乾燥を防ぐため、相対湿度を95%にした恒温恒湿機を用いた。

Ⅲ 結果および考察

1. 回分試験

三つの処理における品温の推移を図1に示した。

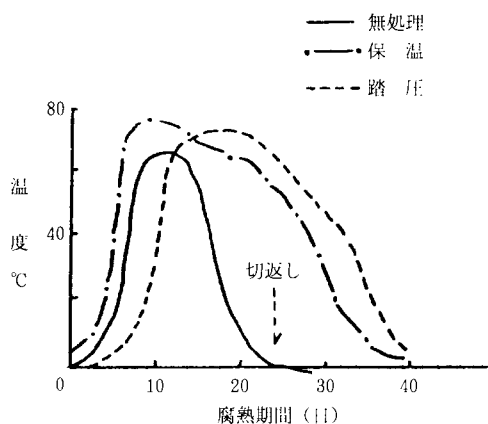


図1 切返しおよび保温、踏圧による品温の変化

冬期でも稲わらと混合することで3処理とも温度は上昇したが、無処理の場合、発熱期間は夏期における試験²⁾と比べて極めて短く、品温が低下した時点で切返しを行ったが、温度の上昇はみられず、ついには凍結した。一方、保温することで発熱期間は長くなり、同様に踏圧することで温度上昇はやや遅れたものの発熱期間は長くなった。

漆山・佐藤⁹⁾は牛糞・もみがら混合物の通気性を高めても、寒冷期では温度は上昇せず、これは寒気の導入により品温が低下するためであるとしている。これらのことは、寒冷期において腐熟を促すには、通気を高めるよりも保温や踏圧により放熱を抑御することが望ましいことを示唆している。保温や踏圧した場合については切返しを行わなかったが、切返しにより温度が再上昇する可能性は低いといえよう。

夏期²⁾においては50℃以上の温度が60日近く続くのに対し、冬期においては、無処理で約6日であり、保温や踏圧した場合は約20日に延びたものの、夏期のそれには及ばず、腐熟の程度は充分でないといえよう。

また、保温や踏圧処理は必ずしも実用的であるとはいいがたいことから、無処理における腐熟の継続についてさらに検討した。家畜糞には易分解性有機物が多く含まれている。無処理では発熱終了時の稲わらの形状は開始時のそれと比べて大きい変化が認められず、この間の発熱においては豚糞中の易分解性有機物が主に利用されたものと推測される。そこで、品温が低下した時に豚糞を添加することにより、発熱を継続させ、その間において繊維など難分解性有機物の分解をはかることが考えられる。以下、品温低下時において、豚糞添加による腐熟の継続を試みた。

2. 添加試験

2-1. 副資材に稲わらを用いる試験

(1) 品温、粒度区分の変化

豚糞を断続的に添加した場合の品温の変化を図2に、腐熟物の粒度区分を図3に示した。なお、図2には各発熱時における水分の減少率も示した。

それによると、一旦上昇した品温が低下した時に豚糞を添加すると再び温度は上昇し、以降品温の低下時に豚糞添加を繰返した。しかし、発熱回数が増すと水分減少率は大きく低下し、またその殆どが稲わらである粗粒区分(2.8mm<)が減少し、水分量の増加、孔隙率の減少など物理性の低下がうかがわれた。このため、4回目の発熱終了時では腐熟物はかなりべたつくようになり、これ以上の豚糞添加は無理であると判断して添加を打ち切り、切返しのみとした。

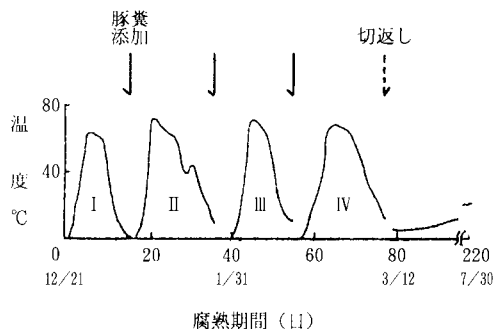


図2 豚糞の断続添加による品温の変化

(副資材：稲わら)

発熱時の水分減少率(%) I:59.2 II:56.5 III:23.8 IV:29.5

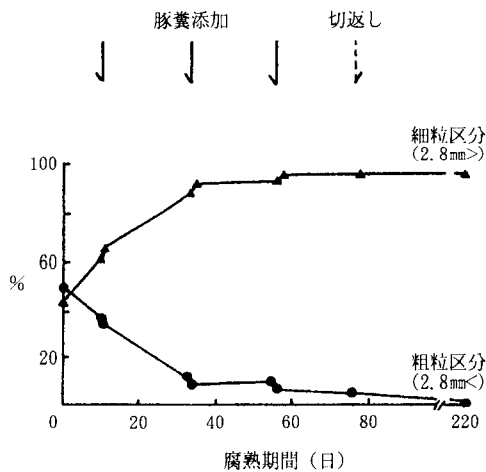


図3 腐熟物の粒度区分の変化

豚糞を添加することで開始時を含めた計4回の発熱が可能となり、発熱持続期間は約80日であった。このことは豚糞添加により寒冷期(12~2月)でも腐熟の継続が可能であることを示している。一方、発熱終了時では腐熟物はべたついており、豚糞臭もやや感じられるところから、後熟が必要であると考えられた。

(2) 成分の変化

腐熟期間におけるC/N比および繊維成分量の変化を図4に示した。

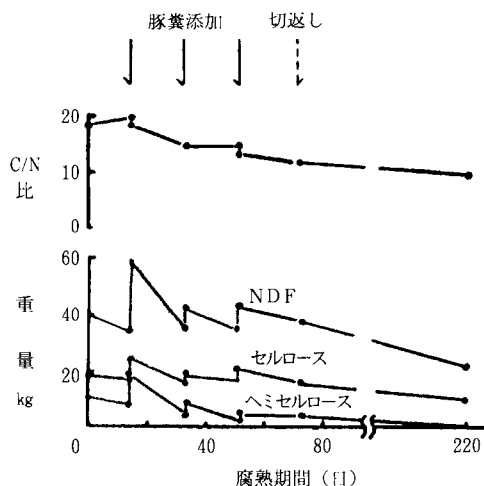


図4 C/N比および繊維成分量の変化

それによると、腐熟期間が長くなるにつれてC/N比は低下し、腐熟の進行を裏付けた。作物残渣と家畜糞混合堆肥ではC/N比が20以下の場合、作物の窒素飢餓に繋がる無機窒素の有機化は起こらないとされている⁴⁾。本試験の発熱終了時(後熟前)および後熟後におけるC/N比はそれぞれ11および6であった。

堆肥化はまず糖類、蛋白質などが、次いで繊維成分の分解という順で進行する。水分や通気が適正な場合、発熱が終息し品温が低下した時点では繊維成分の分解は進んでおり、堆肥化はほぼ終了したものと考えられている⁵⁾。本試験においても繊維成分量は豚糞添加、その後の発熱により増減を繰り返すが、腐熟期間が長くなるにつれて減少し、とりわけヘミセルロースでその傾向は著しく、後熟後ではその殆どが分解されていた。

表1に後熟の前後における有機物、繊維成分量の分解率を示した。

表1 各種成分の分解率 (%)

成分	腐熟の終了した堆肥 ¹⁾	添加試験		後熟期の割合 ²⁾
		後熟前	後熟後	
有機物	63.2	47.6	60.4	21.3
全窒素	25.1	23.7	30.4	21.8
N D F	71.9	50.8	70.0	27.4
A D F	52.9	37.6	50.1	24.9
セルロース	79.6	50.3	69.9	28.1

¹⁾ 夏期に回分方式で調製した。

²⁾ 後熟期の分解量/全期間の分解量×100

それによると、いずれの成分についても後熟後の分解率は高く、後熟期間中においても腐熟はなお進行しているものと考えられた。後熟後における各種成分の分解率は夏期に調製²⁾し腐熟が終了した堆肥のそれにほぼ等しかった。全期間の分解量に占める後熟期の分解量の割合は有機物の約20%に対し、繊維成分は25~30%であり、繊維分解において後熟期の占める役割は大きいといえる。後熟後ではNDF、セルロースとも70%が分解されており、前述した腐熟過程の繊維分解期の終わりにあるものと推察される。

後熟後の腐熟物にべたつきはなく、豚糞臭も感じられなかった。

(3) 微生物の変化

腐熟期間における微生物の変化を図5に示した。

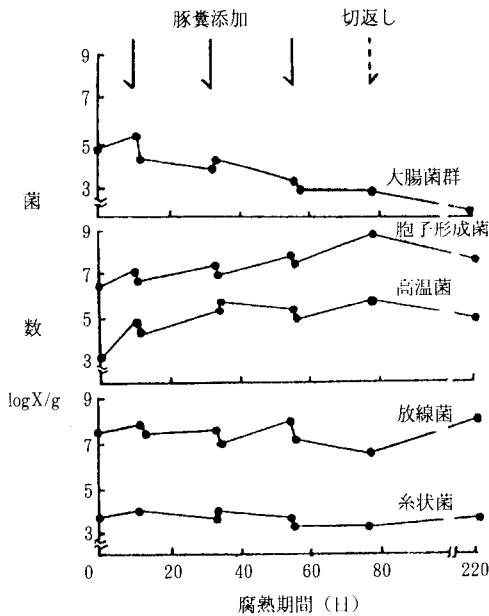


図5 微生物の変化

それによると、熱に抵抗性をもつ孢子形成菌や高温菌は約80日の発熱期中に増えており、この期間における熱発生を裏付けた。放線菌や糸状菌は繊維の分解に関与するとされる⁵⁾が、糸状菌は全期間を通して、 10^4 /g前後であるのに対し、放線菌は後熟期で増えており、前述した後熟期における繊維分解に関与しているものと考えられる。病原菌の指標とした大腸菌群は発熱期間中減少した。しかし、発熱終了時ではなお検出されるのに対し、後熟後では検出されなかった。

(4) 発芽試験

コマツナの発芽率、根長を表2に示した。

それによると、いずれの場合も発芽率に差は認められないが、根長については後熟前の50%に対し、後熟後では106%であった。開始時の根長77

表2 コマツナの発芽率と根長

	発芽率 (%)	根長 (mm)
対 照 (水)	97	47.9 (100)
開 始 時	90	36.9 (77)
後 熟 前	97	24.0 (50)
後 熟 後	93	50.8 (106)

() は対照(水)を100とする%表示。

%に対し後熟前のそれが50%であることは副資材である稲わらの分解に伴って生育阻害物質が生成したことを示唆している。

わら類⁶⁾やおがくず¹²⁾には各種のフェノール性酸、非フェノール性有機酸が含まれており、分解の過程でこれらが放出され、作物の生育を阻害すること、並びに堆肥化を進めることにより阻害は低減することが指摘されている。

後熟前・後の根をラクトフェノールコットンブルー液で染色し、細根の状態を観察したところ、後熟前はまばらであるのに対し、後熟後ではかなり密であった。

(5) 副資材当たりの処理豚糞量

稲わらを15%混合した場合、夏期に行った回分方式では約5倍量の豚糞が処理できる。これに対して豚糞を断続的に添加する方式では開始時の稲わら含量は回分方式と変わらないが、その後豚糞を添加するため、稲わら当たり約16倍量の豚糞が処理できるようになり、副資材の大幅な節減がはかられたといえる。

2-2. 副資材にもみがら、おがくずを用いる試験

腐熟期間における品温、C/N比の変化をもみがらについては図6、おがくずについては図7に示した。

それによると、両者とも豚糞の添加により発熱を繰り返した。もみがらの場合は5回目の発熱を

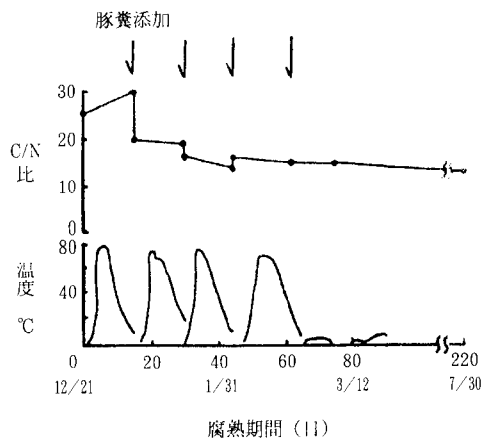


図6 品温およびC/N比の変化 (副資材:もみがら)

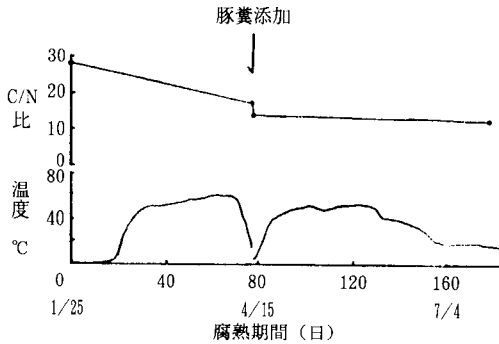


図7 品温およびC/N比の変化
(副資材：おがくず)

試みたが温度の上昇は見られず、稲わらと同様に計4回の発熱が可能であり、発熱期間は約70日であった。一方、おがくずを用いた場合は温度が上昇するまで、約20日間を要したが、その後の発熱期間は長く、2回目の発熱終了時には7月に達していたため、それ以上の豚糞添加を行わなかった。2回の発熱による持続期間は約160日であった。このようにおがくずを用いた場合は、稲わらやもみがらとは異なる温度変化を示したが、おがくずは前二者と比べて極めて細粒であるため、腐熟物の密度が高くなり、前述した踏圧と同様に放熱が抑制されたためと考えられる。

以上のように、もみがら、おがくずとも豚糞の断続的な添加によって発熱を断続し、冬期間をのりきることは可能であると考えられ、とくにおがくずの場合は開始時を除き1回の豚糞添加で目的を達することができるといえる。

C/N比は腐熟につれ低下し、もみがら、おがくずとも発熱終了時では15であった。

後熟前・後における有機物分解率およびコマツナの発芽率、根長を表3に示した。

もみがらを用いた場合、コマツナの根長は開始

時、後熟前とも短かったが、後熟を経ることで対照と同じになった。同様に有機物分解率も後熟によって大きく高まり、後熟の必要性が示された。

おがくずを用いた場合、後熟前の有機物分解率は52%であり、稲わらやもみがらを用いた場合のそれらよりも高かった。また、コマツナの根にも障害が認められないことより、このまま施用してもとくに問題はないと考えられる。本報では落葉広葉樹のおがくずを用いた。しかし、作物に対するおがくずの阻害作用は樹種によって著しく異なることが知られており¹²⁾、入手するおがくずの変動を考慮して、おがくずを用いる場合も後熟させることが望ましいと考えられる。

豚糞を断続的に添加することにより、もみがらでは9倍量、おがくずでは4倍量の豚糞が処理できた。

謝辞 英文要旨の校閲を賜った滝川畜産試験場畜産資源開発科長岡本全弘氏に謝意を表する。

IV 引用文献

- 1) 阿部 亮. “炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用”. 畜試研究資料. 2, 16-29 (1988).
- 2) 阿部英則, 小松輝行, 大原益博, 山川政明. “豚糞・稲わら混合物の夏期における腐熟の様相について”. 滝川畜試研報. 24, 21-30 (1988).
- 3) 藤原俊六郎. “シャーレーを使った堆肥の簡易腐熟度検定法”. 日土肥誌. 56, 251-252 (1985).
- 4) 原田靖生. “家畜ふん堆肥の腐熟度についての考え方”. 畜産の研究. 37, 1079-1086 (1983).
- 5) 原田靖生, 羽賀清典. “バイオマス変換技術と未利用資源の有効利用. (1)コンポスト化の新技術”. 日土肥誌. 59, 116-119 (1988).

表3 有機物分解率およびコマツナの発芽率、根長 (%)

副資材	有機物分解率		コマツナ発芽率			コマツナ根長 ¹⁾		
	後熟前	後熟後	開始時	後熟前	後熟後	開始時	後熟前	後熟後
もみがら ²⁾	36	52	97	97	100	27	48	97
おがくず	52	-	100	100	-	22	111	-

¹⁾ 根長は対照(水)を100とする%表示。

²⁾ もみがらの後熟前は4回目の発熱終了時。

- 6) 草野 秀, 小川和夫. “作物体に含まれるフェノール性酸について”. 日土肥誌. 45, 29-36 (1974).
- 7) 京大農化教室編. “農芸化学実験書・第二巻”. 東京, 産業図書. 1965, p. 518-520.
- 8) 京大農化教室編. “農芸化学実験書・第一巻”. 東京, 産業図書, 1966, p. 310.
- 9) 漆山定良, 佐藤憲一. “家畜生ふんの連続発酵-トリカルパイプ方式による堆肥化(第2報)-”. 秋田畜試研報. 1, 75-77 (1986).
- 10) 漆山定良, 佐藤憲一. “消臭性発酵菌添加によるふん尿処理試験”. 秋田畜試研報. 4, 135-140 (1989).
- 11) 漆山定良, 佐藤憲一. “微生物による畜産廃棄物の処理試験-水分含有率の相違が堆肥化に及ぼす影響-”. 秋田畜試研報. 5, 107-114 (1990).
- 12) 吉田重方. “オガクズに含まれる植物の成長阻害物質について”. 日草誌. 21, 102-108 (1975).

Promotion of Composting Swine Dung during Winter by Periodic Addition of Swine Dung

Hidenori ABE*, Hiroyuki IUCHI*
Masuhiro OHHARA*² and Teruyuki KOMATSU*³

Summary

The promotion of composting during the winter season is indispensable in producing mature compost throughout the year in cold regions. Two trials, a batch trial and a trial by periodic mixing of additional swine dung with the pile (addition trial), were carried out to test the possibility of producing a stable compost during the winter in Hokkaido.

In the batch trial, the effects of additional insulation, compression, and turning on the degree and duration of microbial heat generation were studied in batches of swine dung mixed with rice straw. On the other hand, the effectiveness of the periodic mixing of additional swine dung with the piles of swine dung with rice straw, rice hull and saw dust was also tested in the addition trial.

The results are summarized as follows :

1. In the batch trial, both the additional insulation and the compression resulted in prolonged heat generation, however, the duration of heat generation was shorter than that in the summer season. The turning resulted in no increase in the temperature of the pile. In the end, the pile froze.
2. Periodic mixing of additional swine dung prolonged the heat generation period to 70-160 days in all piles. This indicated that stable composting during winter can become possible in Hokkaido.
3. Judging from the maturity tests of the compost, including degradability and phytotoxicity, a curing process was necessary after the active heat generating process.
4. Composting by the periodic mixing of additional swine dung with pile can reduce the bulk agent such as rice straw, rice hull and saw dust.

*Hokkaido Prefectural Takikawa Animal Husbandry Experiment Station, Takikawa, Hokkaido, 073

*²Hokkaido Prefectural Tenpoku Agricultural Experiment Station, Hamatonbetsu, Hokkaido, 098-57

*³Tokyo University of Agriculture, Abashiri, 099-24