

## 樹皮の土壌改良材としての利用（第2報）

農業用高品質広葉樹バーク堆肥の製造

田近克司\*<sup>1</sup>, 高野了一\*<sup>1</sup>  
水口吉則\*<sup>2</sup>

### Utilization of Bark for Soil Conditioner II. Production of hardwood bark composts sufficiently suitable for agricultural use

TAJIKI Katsushi\*<sup>1</sup>, TAKANO Ryoichi\*<sup>1</sup>  
MIZUKUCHI Yoshinori\*<sup>2</sup>

To determine the effects of raw material composition of hardwood bark composts on the degree of maturity and heaping period required to produce a compost sufficiently suitable for agricultural use, four kinds of hardwood bark composts were produced from the following raw materials: hardwood bark, rice hull, chicken droppings, urea, and calcium superphosphate. The composts produced were named as type A (hardwood bark, chicken droppings, urea), type B (hardwood bark, urea, calcium superphosphate), type C (hardwood bark, rice hull, chicken droppings, urea), and type D (hardwood bark, rice hull, urea, calcium superphosphate).

The results were summarized as follows:

- 1) The four types of composts were fermented satisfactorily, but the composts showed different fluctuation of EC, pH, C/N ratio and ratio of reducing sugar during the heaping. EC and pH tended to be higher in composts with chicken droppings than those with chemical fertilizers only. The amount of phenolic compounds extracted with cold water decreased markedly in each type during the one-month heaping period. C/N ratio decreased gradually in each type, and after the middle of the heaping period, this ratio was observed to be higher in composts with chemical fertilizers only than those with chicken droppings.  
The ratio of reducing sugar also decreased gradually. Throughout the heaping period, this ratio tended to be higher in composts with hardwood bark and rice hull as the main materials than those with hardwood bark only, and in composts with chemical fertilizers only as secondary raw materials than those with chicken droppings.
- 2) From totally judging degree of maturity of composts, heaping period required for

---

1993年10月25日受理

本報告の一部は、1992年度日本木材学会中部支部研究発表会（富山）で発表した。

\* 1 木材試験場 \* 2 中越木材株式会社

complete fermentation of composts were found to be six months for type A compost, nine months for types B and C, and twelve months for type D.

配合条件の異なる4種の広葉樹バーク堆肥（試験区A：樹皮＋鶏糞＋尿素，B：樹皮＋尿素＋過りん酸石灰，C：樹皮＋籾殻＋鶏糞＋尿素，D：樹皮＋籾殻＋尿素＋過りん酸石灰）を製造し、配合条件の違いが腐熟化に及ぼす影響と農業利用が可能な高品質堆肥の製造に必要な堆積期間について検討した。その結果は次のとおりである。

- 1) 堆肥の発酵過程は4区とも良好であったが、成分の変化に違いが見られた。pHおよびECは、化学肥料のみ添加した区よりも鶏糞添加区の方が高く推移する傾向があった。水溶性フェノールは、各区とも1か月間で著しく減少した。C/N比は、各区とも緩やかに減少したが、堆積中期以降、鶏糞添加区よりも化学肥料添加区の方が高く推移した。還元糖割合も、各区とも漸減したが、主原料では樹皮のみに比べ籾殻を添加した方が、また副資材では鶏糞添加よりも化学肥料のみ添加した方が高く推移する傾向があった。
- 2) 4種の堆肥の熟度を総合評価した結果、A区は6か月、BおよびC区は9か月、D区は1年の堆積で、完熟化することがわかった。

## 1. はじめに

バーク堆肥は、土壌の物理性を改善し、保肥力を高める効果大きい。このため、従来より公園、造成地等の緑化用資材として多く利用されてきた。一方、農業分野では農地の地力維持のため、有機質資材を施用する運動が各地で盛んに展開されており、バーク堆肥は持続性のある腐植給源として、今後の需要増加が見込まれる。

バーク堆肥を農業利用する場合、野菜や水稲などの作物は、緑化用の草本、木本植物に比べ、樹皮成分に起因する生育障害の影響を受けやすいため、完熟化した高品質な堆肥が求められている。

バーク堆肥の熟度は、一般にC/N比を指標として判定される。しかし、窒素源を多用して製造した堆肥の場合、植物の窒素飢餓の間接原因となる樹皮多糖類等が多く残存する未熟な堆肥でも、C/N比が完熟堆肥なみの値を示すことがある。したがって、C/N比のみでは正確な熟度判定ができない。

今野ら<sup>1)</sup>はこの点を考慮し、農業用に適した堆肥の品質基準として、還元糖割合などを追加したより合理的な基準を提示している。しかし、同基準に適合する堆肥の適正な製造方法について検討した例はほとんどなく、農業用バーク堆肥の製造基準の確立のための実用データの蓄積が不足している。

そこで、広葉樹樹皮を主原料としたバーク堆肥について、添加副資材に鶏糞を用いる一般的な配合条件

のほか、新しい試みとして、化学肥料のみを用いる条件、さらにその処理が問題となっている籾殻を副原料とした条件のバーク堆肥を準実用規模で製造し、配合条件の違いが腐熟化に及ぼす影響と農業利用が可能な高品質堆肥の製造に必要な堆積期間について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試原料および堆肥の製造条件

主原料として、県内のチップ工場から排出する広葉樹樹皮（主にナラでブナ、クヌギ等が若干混入）粉碎物、およびこれに粉碎籾殻を乾物重量比で20%混合したものを用いた。これらに対し、C/N比が約40となるように乾燥鶏糞と尿素、または尿素と過りん酸石灰をそれぞれ表1に示す配合条件で添加混合し、水分を約60%に調整した後、コンクリート枠（幅4m×奥行き4m×高さ2m）内に高さ1.2mに堆積した。試験開始は1990年12月で1年間堆積した。その間、発酵温度を目安として切返しを6回行い、1～3か月ごとに分析用試料を堆積物中央部より採取した。

### 2.2 分析方法

- 1) pH, ECおよび水溶性フェノール

採取した生試料を室温で1昼夜水浸漬（液比1：5乾物換算）し、けん濁液のpHおよびECを電極法で、ろ液の水溶性フェノールをFolin-Denis法<sup>2)</sup>に準

じて測定した。

2) 全炭素, 全窒素

全炭素はチューリン法<sup>3)</sup>, 全窒素はケルダール法<sup>4)</sup>で測定した。

4) 還元糖

今野ら<sup>1)</sup>の方法に準じ, 可溶性炭水化物およびセルロースの含有量を求め, これらの合計値から井ノ子<sup>5)</sup>の方法に従い還元糖割合を算出した。

表-1 試験区の構成

(単位: kg)

試験区 原材料	試験区			
	A	B	C	D
樹皮 (水分65%)	5000	5000	4000	4000
糠殻 (水分14%)			407	407
乾燥鶏糞	382		382	
尿 素	18	36	18	36
過りん酸石灰		15		13

注) 鶏糞, 尿素は, 樹皮(または樹皮+糠殻)乾物重量に対し, 窒素として1%相当分(鶏糞+尿素区では各々 0.5%)を添加した。

3. 結果および考察

3.1 堆肥の発酵状況

堆肥の内部温度は, 発酵が順調

に進んでいるかどうかを知る目安となる。図-1に堆積後3か月間の温度経過を示す。これより, 各試験区とも堆積後数日で75℃以上に上昇し, 冬期にもかかわらず, 堆積初期の発熱発酵は極めて旺盛であった。また, 切返しにより, 最高温度は徐々に低下したが, 半年経過以降も40℃を維持し, どの試験区も良好な発酵過程をたどった。

て, pH, EC (電気伝導度), 水溶性フェノール, C/N比および還元糖割合を選定し, それぞれに対する完熟時の熟度目標値を設定した。本試験においても, これら熟度指標の経時変化を調査し, 熟度目標値と比較検討した。

3.2 堆肥の成分変化

今野ら<sup>1)</sup>は, バーク堆肥の腐熟化に伴う化学成分変化と作物の生育との関係より, 堆肥の熟度指標とし

まず, pH, ECおよび水溶性フェノールの変化を図-2に示す。pHは, 各区とも堆積後急激に上昇し, 1か月で7.6~8.0に達した。pHの上昇は添加した窒素質資材の分解に伴うアンモニア化成作用によるものと思われる。その後, 鶏糞を添加したA, C区

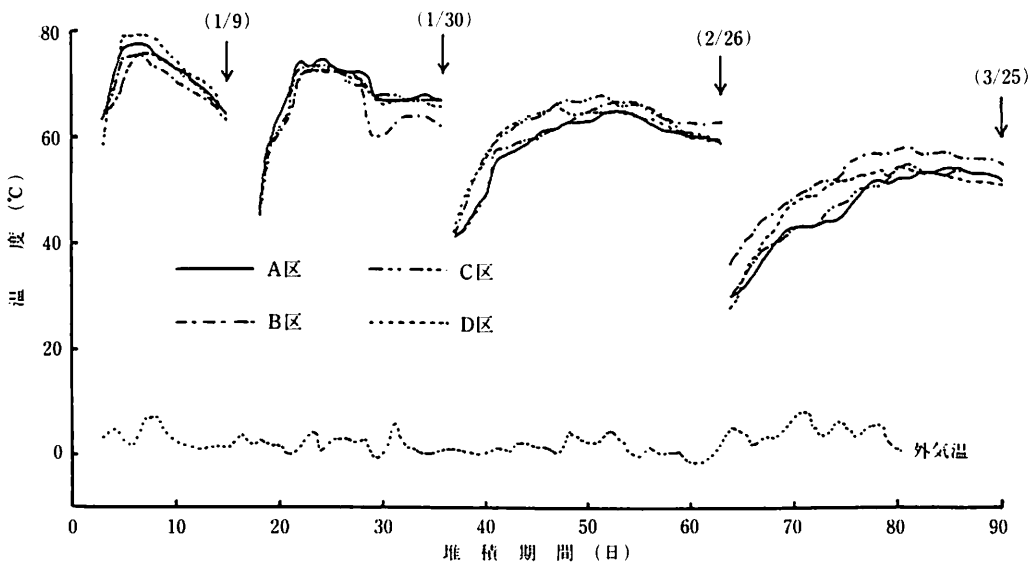


図-1 堆肥の発熱経過

注) 矢印は切返し, ( ) はその実施月日を示す。

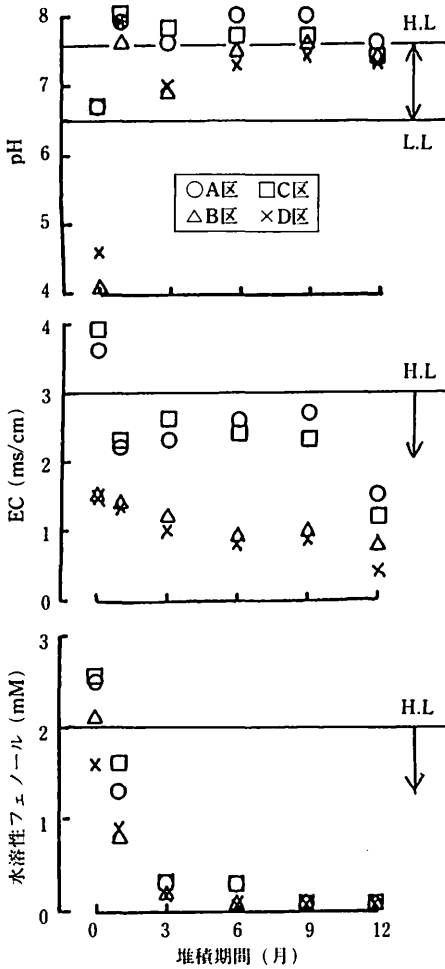


図-2 堆肥のpH, ECおよび水溶性フェノールの変化  
注) H.L, L.Lは熟度目標上限値および下限値

では9か月まで同水準で推移, 一方, 化学肥料のみ添加したB, D区ではそれよりも低い水準で推移し, 1年後には各区ともpH約7.5に収束した。鶏糞添加区と化学肥料区と異なる変化傾向を示したのは, 前者では, 有機物の分解が良好に進み, 嫌気発酵に伴う有機酸類の生成が少なかったこと, また, 後者では生理的酸性肥料の過りん酸石灰の添加によりpHが低く抑えられたことなどが影響したためと推測される。

ECは, 堆肥を水に浸漬した時に溶出する塩類の濃度を間接的に示す指標である。積込み時におけるA, C区のECは約4 ms/cmと, B, D区のそれに比べ, 2倍以上の値を示した。これは, 前者の区にECが17.3

ms/cmと極めて高い値の鶏糞を添加したためと思われる。しかし, 1か月後には急減し, それ以降は熟度目標上限値(3 ms/cm)以下で推移した。一方, B, D区は堆積初期より上限値以下で推移した。

植物の生育阻害成分である水溶性フェノールは, 各区とも1か月で急激に減少し, 熟度目標上限値(2 mM)を下回った。それ以降は極めて低水準で推移した。水溶性フェノールは, 微生物によって容易に分解<sup>6-8)</sup>されることから, 堆肥化初期段階での顕著な減少は, 微生物分解が大きく作用していると考えられる。

次に, 全炭素, 全窒素およびC/N比の経時変化を図-3に示す。全炭素および全窒素は, 各区とも堆積期間を通じ, 前者は漸減, 後者は漸増した。このような変化は, 堆肥化の進行に伴い, 樹皮等有機物が微生物分解され, その一部はCO<sub>2</sub>ガスとして揮散(炭素の無機化)し, 炭素含有率が次第に低下, 一方, 窒素化合物の大部分は微生物の菌体に取り込まれ, 堆肥中に残存し, 相対的に窒素含有率が増加したた

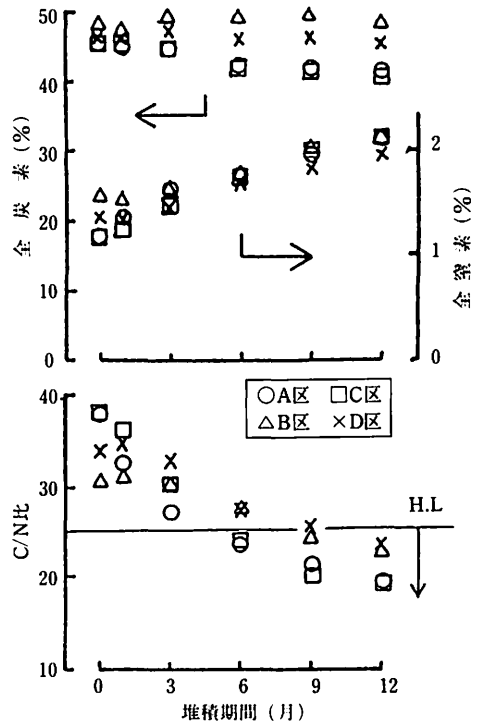


図-3 堆肥過程でのC/N比の変化  
注) 各成分は全乾物重量あたりの比率  
図中のH.Lは熟度目標上限値

めと考えられる。

全窒素の変化には、配合条件の違いによる差異がほとんどみられない。しかし、全炭素の場合、B、D区は全体的に緩慢な減少傾向を示したのに対し、A、C区は堆積3か月以降、減少割合が大きくなり、6か月以降は、B、D区よりも明らかに低い水準で推移するという違いがみられた。このような差異は、鶏糞の添加有無に関係があると思われる。すなわち、鶏糞は樹皮に比べ分解性が著しく高く<sup>9)</sup>、単独では1か月程度で分解が完了するが、木質物と混合されている場合には、藤原<sup>10)</sup>が報告しているように、鶏糞の分解はかなり遅れる。その理由として、藤原は、おが屑混合鶏糞堆積物において、アンモニア態窒素が減少し、硝酸態窒素が発現するまでに6か月以上を要したことを挙げている。本試験においても、堆積6か月までには鶏糞の大部分が分解し、また、鶏糞に含まれる高活性微生物作用で樹皮の分解も助長された結果、3～6か月にかけて炭素の大きな減少を示したものと推測される。

以上のような全炭素、全窒素の変化から、C/N比(全炭素を全窒素で除した値)は緩やかに減少し、鶏糞添加のA、C区は6か月後に、化学肥料添加のB、D区は9か月後に熟度目標値(25以下)に達した。

木質物や未熟な木質堆肥を土壤に施用すると、植物に窒素飢餓の生育障害が起こりやすい<sup>11,12)</sup>。一般に窒素飢餓は、窒素含量が少なく、炭素含量の多い有機物、すなわち、C/N比の高い有機物が土壤中で分解する際、分解に参与する微生物が無機態窒素を拮抗して増殖するため、植物に吸収される無機態窒素が不足して起こる現象<sup>13)</sup>と考えられている。したがって、C/N比は窒素飢餓に関係する指標として重要である。同時に微生物が増殖するためには、活動エネルギー源として炭素化合物が必要であり、木質物の場合、ヘミセルロースやセルロース等の糖類が微生物の利用可能な炭素同化源となる<sup>14)</sup>。このため、糖類も窒素飢餓の発生を判別する指標となる。

図-4は、可溶性炭水化物(0.7N塩酸で煮沸抽出された糖類で、水溶性糖類、ヘミセルロースから

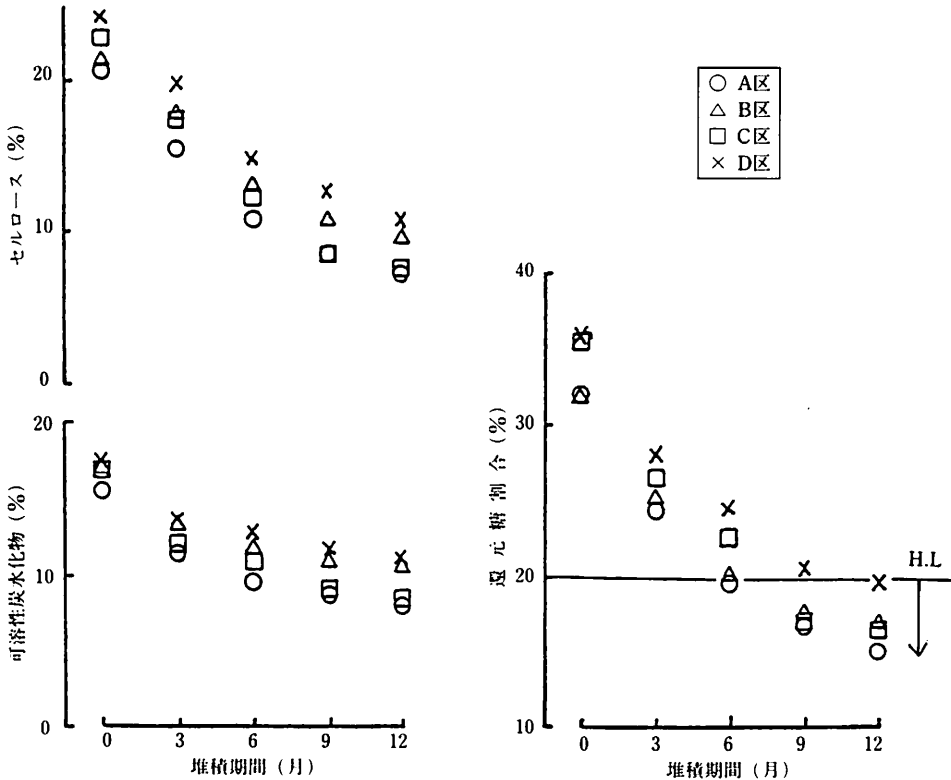


図-4 炭水化物および還元糖割合の変化

注) 各成分は全乾物重量あたりの比率  
 図中のH.L.は熟度目標上限値

なる)とセルロースの経時変化を示す。可溶性炭水化物およびセルロースは、各区とも堆積期間とともに減少していくが、可溶性炭水化物は堆積3か月まで大きく減少するのに対し、セルロースは6か月までそれが続き、両者の減少速度に明らかな違いが見られた。

このような違いは、他の植物遺体の分解過程にも認められ、短期間ではヘミセルロースはセルロースより容易に分解されるが、長期間ではむしろセルロースの分解が良好で、ついには完全に消失する<sup>15)</sup>ことが明らかにされている。両成分の分解性の違いは、ヘミセルロース中には難分解性の物質が存在し、分解に対して抵抗性を示すことや、微生物によってヘミセルロースが再合成される<sup>16)</sup>こと等によるものとされており、本実験の場合においても同様のことが生じていることが示唆される。

可溶性炭水化物とセルロースの変化に対応して、還元糖割合(全炭素に対する可溶性炭水化物およびセルロースの各炭素の合計値の比率)も漸減し、A区は6か月、BおよびC区は9か月、D区は1年後に熟度目標値20%以下に達した(図-4)。

以上のように、原料の配合条件によって堆肥の腐熟化に違いが見られ、主原料では樹皮に籾殻を添加するよりも樹皮のみの方が、また副資材では化学肥

料のみよりも鶏糞を添加した方が腐熟化が早いことが明らかになった。

### 3.3 堆肥の熟度総合判定

製造した堆肥の熟度を総合的に判定するため、今野ら<sup>1)</sup>の設定した熟度目標値に対する各試験区の成分測定値の適合性評価を堆積期間別に行った。その結果を表-2に示す。なお、判定基準は測定値が熟度目標値を完全に満たすものを合格、満たさないが極めて近似した値のものをほぼ合格、それ以外を不合格とし、すべての指標値が合格および1つの指標値がほぼ合格である以外すべて合格を完熟とした。これに基づき、熟度判定した結果、A区は6か月、BおよびC区は9か月、D区は1年の堆積で、完熟化すると判断された。

一般に、農業用のパーク堆肥を製造するには、1年以上の堆積期間が必要であるとされ、今野ら<sup>1)</sup>も、鶏糞を添加するA区と同じ配合条件で樹皮の堆肥化試験を行い、完熟化まで針葉樹、広葉樹樹皮とも概ね1年程度を要したことを報告している。これに対し、本試験の結果では、A区の場合、これよりも短い6か月の堆積期間で完熟化が可能であった。今野らの試験は、堆積規模が2t以下と本試験の半分以下であり、また、冬期間は一時凍結状態となったこと等から、本試験に比べ腐熟化が遅れたものと推測される。した

表-2 製造堆肥の総合評価

試験区	堆積期間(月)	熟度指標 目標値	pH	EC	水溶性 フェノール	C/N比	還元糖割合
			(液比 1:5) 6.5~7.5	(液比 1:5) 3ms/cm以下	2mM以下	25以下	20%以下
A	樹皮 3		○	○	○	×	×
	鶏糞 6		△	○	○	○	○
	尿素 9		△	○	○	○	○
	尿素 12		○	○	○	○	○
B	樹皮 3		○	○	○	×	×
	尿素 6		○	○	○	×	△
	尿素 9		○	○	○	○	○
	過石 12		○	○	○	○	○
C	樹皮 3		△	○	○	×	×
	籾殻 6		△	○	○	○	△
	籾殻 9		△	○	○	○	○
	鶏+尿 12		○	○	○	○	○
D	樹皮 3		○	○	○	×	×
	籾殻 6		○	○	○	×	×
	籾殻 9		○	○	○	△	△
	尿+過 12		○	○	○	○	○

注) 表中記号の○は合格、△はほぼ合格、×は不合格を示す。  
完熟化の基準は、すべて○または○以外は△が1つとした。

がって、本試験の結果は、堆肥化環境や配合条件が適正であれば、従来必要とされてきた堆積期間よりもかなり短時間で完熟堆肥の製造が可能であることを示唆している。

また、従来化学肥料のみの添加では堆肥は十分に発酵分解しない<sup>17)</sup>とされてきたが、本試験のように尿素と過りん酸石灰の配合条件をとることにより、鶏糞を添加した条件に比べると完熟化が3か月程度遅れるものの、完熟堆肥の製造は十分可能なことがわかった。完熟化できた理由としては次のことが考えられる。広葉樹樹皮は、単に野積するだけでもpHが上昇し中性に近づく<sup>18)</sup>。したがって、これに尿素のみを添加した場合は、尿素のアンモニア化成が進み易く、アンモニアの揮散により、窒素分が不足し、腐熟化が妨げられる。しかし、尿素と酸性肥料の過りん酸石灰を同時に添加することにより、窒素分の揮散は抑制され、また、過りん酸石灰が微生物分解に必要なりんの補給源になり腐熟化が促進されたと考えられる。

さらに、靱殻は著しく分解性が低く、堆肥化が困難<sup>9)</sup>とされるが、本試験のように樹皮の副原料として用いることによって、9か月～1年程度で完熟堆肥の製造が十分可能であった。本県では靱殻が大量に発生し、その一部は水田の暗渠排水資材やくん炭等に利用されているが、完全利用には至っておらず、今後はパーク堆肥の副原料として活用されることが期待される。

#### 文 献

- 1) 今野一男, 平井義孝ら: パーク堆肥の腐熟過程における化学成分変化と腐熟度指標, 北海道立農試集報, 52, 31-40 (1985)
- 2) Folin, O.; Denis, W.: A colorimetric method for the determination of phenols (and phenol derivatives) in urine, J. Biol. Chem, 22, 305-308 (1915)
- 3) 河田 弘: Tyurin法による有機炭素の定量法の検討およびその改良法について, 林野土調報, 8, 67-80 (1957)
- 4) 土壤養分測定法委員会編: 土壤養分測定法,

#### 4. おわりに

以上のように、広葉樹樹皮を原料として農業利用が可能な高品質パーク堆肥を製造するためには、副資材に鶏糞、尿素を用いる配合条件をとれば、約6か月の堆積期間で完熟化できることがわかった。従来の堆肥製造においても、鶏糞など家畜糞尿を添加するのは常識化しており、確かに家畜糞尿は堆肥の発酵促進に有効と考えられる。また処理に苦慮している畜産廃棄物の有効利用にも貢献でき、環境保全の点からも望ましいと言える。しかし、家畜糞尿は特有の強い臭気を伴うため、取扱いにくく、窒素、りん酸などの含有成分量が畜種、季節、処理法等によって変動するため、製造された堆肥の品質が必ずしも一定しない難点がある。

これに対し、今回新たに試みた尿素と過りん酸石灰を用いて腐熟化させる方法は、鶏糞を用いる製法に比べ、完熟化までの期間が約3か月遅れるものの、臭気や成分変動の問題が生せず、安定した品質の堆肥製造が可能である。化学肥料のみによる高品質堆肥の製造を実用化するためには、今後さらに堆肥の腐熟促進に効果のある化学肥料の配合条件を追求すると共に、品質安定性が特に求められるような用途、たとえば育苗培地等への利用開発を行う必要がある。

#### 謝 辞

本試験を行うにあたり、ご協力いただいた中越木材株式会社澤田喜一郎会長、西村亮彦社長、渡辺久雄常務および中越チップセンター・川越秀男工場長ならびに関係職員の皆様にご感謝致します。

#### 献

- 171-176, 養賢堂 (1976)
- 5) 井ノ子昭夫: 有機物資材の品質とその検定法—腐熟度の観点から, 農業および園芸, 57, 235-242 (1982)
- 6) Harbert, H. L. In: Sarkman, K. V.; Luduring, C. H. (Ed.): Lignins, New York, Wiley Interscience, 267-297 (1971)
- 7) Kent, T. K., Higuchi, T. and Hou- Min Chang: Lignin biodegradation, Microbiology, chemistry and potential Applications, Vol.1, 77-100 (1980)

- 8) Kuwatuka, S.; Shindo, H.; Tsutsuki, K.: Behavior of phenolic substances in the decaying process of plant materials, Proceeding of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, The Society of the Science of Soil and Manure, Japan, 731-736 (1977)
- 9) 千木 容：堆肥製造に関する研究(第1報) 堆肥原料の分解性評価について, 石川林試研報, 14, 9-16 (1984)
- 10) 藤原俊六郎：おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟度と施用方法について, 神奈川園試研報, 36, 1-100 (1988)
- 11) 小田島輝一ら：土壤改良剤としての木質廃材の利用に関する研究(第2報), 日林北支講, 13, 71-73 (1963)
- 12) 小田島輝一ら：土壤改良剤としての木質廃材の利用に関する研究(第3報), 日林北支講, 13, 74-75 (1963)
- 13) 佐藤 俊：木質物の堆肥化過程の解析と木質系堆肥の熟度の基準値策定に関する研究, 林試研報, 334, 53-146 (1985)
- 14) 高橋弘行：廃材堆肥の熟度って何だろう(1)・(2), 木材の研究と普及, 30 (10), 9-14・30 (12), 1-7 (1982)
- 15) Waksman, S.; Tenney, F.: The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil, III The influence of nature of plant upon the rapidity of its decomposition, Soil Sci., 26, 155-171 (1928)
- 16) Tenney, F.; Waksman, S.: The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil, IV Composition of natural organic matters and their decomposition of different plant materials under aerobic conditions, Soil Sci., 28, 55-83 (1928)
- 17) 高橋弘行：廃材堆肥の作り方, テクニカルノートNo.3, 北海道立林産試験場(1977)
- 18) 河田 弘, 白井喬二ら：木質廃材堆肥に関する研究(第3報) 広葉樹パーク堆肥について, 林試研報, 313, 53-78 (1981)