

ノコ屑堆肥の肥効に関する試験

1. 試験担当者

土壤調査部土壤微生物研究室：植村誠次・佐藤 俊・山家義人

2. 試験目的

わが国では、年間500万tをこえる大量の廃材（オガ屑、スラッジ、チップ屑、樹皮）が生産されていますが、一部が利用されているにすぎなく、多くの場合その処理に困っている現状です。一方農林、園芸方面では、これまでのわら、落葉の堆肥は原料の入手難、労力の不足などから次第に利用し難くなり、これに代わる製造容易な有機質源が強く要望されています。

本研究は、これらの廃材、まず最初にノコ屑の堆肥化とその利用、開発を目的として、一応以下の項目を研究の対象としたものであります。

- (1) オガ屑その他廃材の微生物的、化学的あるいは物理的処理方法による堆肥化の研究。
- (2) 堆肥化に関与する微生物相を探索して、強力な分解菌の分離、培養、接種方法の確立。
- (3) 堆肥分解過程における組成の変化ならびに成品堆肥の化学成分の解明。
- (4) 堆肥の合理的な施与方法ならびに肥効についての試験。
- (5) オガ屑堆肥あるいは廃材堆肥の微生物用培地としての利用、開拓。

3. 試験の経過とえたられた成果

本研究は、自昭和40年を昭和42年の3カ年間で一応完了したことになっておりますが、廃材の堆肥化の研究は、最近注目されて取上げられたばかりで、廃材の種類による堆肥化の方法、農、園芸方面も含めた肥効試験など、さらに引き続き解明を要する研究課題が多々残されている現状であります。

この3カ年間の研究により、一応取締め得た研究項目は、次に述べる2項目であります。

- (1) 有機質添加による廃材（オガ屑、スラッジ）の堆肥化と施与方法

本研究は、既に昭和35年度から予備的に進められ、主に昭和40年、41年度の研究成果によって一応取締めを完了したものであります。その詳細については、後述Ⅰの項で紹介の通りです。なおこれまでに、この研究については、次の発表がされています。

1. 植村誠次 農業技術 Vol. 18: 472-474, 1963
2. 植村誠次 オガ屑堆肥の製造と施用効果、わかりやすい林業研究解説シリーズ No. 6, P.P. 51, 1964
3. 植村誠次 山林 No. 66: 24-30, 1964

4. 植村誠次 土と微生物 No.5: 9-16, 1963
5. 植村誠次 現代林業 No.21: 19-35, 1967
6. 植村誠次 蚕糸科学と技術 No.7: 49-52, 1968
7. 植村誠次・山家義人: 74回日林大講: 148-150, 1964

(2) オガ屑の発酵堆肥化にともなう木材組成の変化と熟成度について

本研究は昭和42年度に実施して、昭和43年4月の第79回日本林学会大会に、その要旨を発表したもので、その概要は後述Ⅱの項に記載の通りであります。

なお以上のはか、オガ屑堆肥発酵菌の分離、培養、接種についての研究、苗畑施用試験など、予備的な2, 3の実験を実施していますが、まだ始めたばかりで、取纏めの段階までいたっていません。

この他、農園芸方面におけるオガ屑堆肥の肥効試験については、昭和41年度に農林水産技術会議が中心となって、石川県、栃木県各農試（以上水稻）、愛知県農試（小麦）、神奈川県農試（かんらん）で実施され、42年度に、いづれもかなりよい成績の期待されることが報告されています。

I. 有機物添加による廃材（オガ屑、スラッジなど）の堆肥化と施与方法（土壤微生物研究室）

A. はじめに

林業試験場土壤微生物研究室では、昭和35年頃からオガ屑、スラッジなどから土壤改良剤を製造する予備試験に着手していますが、昭和40年度から3カ年特掲項目の研究に採用され、これまでに主にオガ屑、スラッジを材料とし、これに有機質あるいは無機質の肥料を加え、必要に応じてさらに分解菌（好熱性纖維素分解菌、ヒトヨダク属の糸状菌、市販の発酵促進剤）などを添加して、30回以上にわたって堆肥化の試験を行ない、その発熱経過の調査、製造堆肥の成分分析および一部のものについては肥効試験を実施してきました。

現在（昭和43年3月）までに、一応内地産の廃材（オガ屑、樹皮）に有機質肥料を添加して発熱発酵させて、1カ月内外で一応土壤改良剤をかねた堆肥化に成功し、今後は分解の極めて困難な外材バーチの堆肥化の研究を進める予定であります。

以下主に過去5カ年間当研究室で実施して有機質添加による廃材の堆肥化ならびに製造

堆肥の施用ならびに肥効試験の結果の概要を取纏めて報告します。

1. 廃材堆肥の製造方法

1-1: 原材料の準備

これまでに実施したいろいろの原材料の組み合せによる製造試験の結果、一応第1表に示したような原材料の組み合せが好ましいものと考えられます。原料としての廃材には、主にオガ屑、チップ屑、スラッジを使用しましたが、スラッジの新しいものは水分含量が70%近くもあるので、一応ある程度乾燥させるか、乾燥したオガ屑と混合して用います。大型の樹皮は細断（径5ミリ内外）することが必要です。また細目のオガ屑には、ワラ、チップ屑などを重量で10~20パーセントくらい混合します。とくにワラ（三つ切りにしたもの）を廃材に重さで10パーセントくらい混合したものは、発熱も良好であり、ワラの分解の程度により堆肥の熟化状態を判断することができるので便利です。第1表のうち、A, Bの組み合せによる製法が比較的容易で、かつオガ屑の樹種による難易もありません。

第1表 廃材堆肥原材料の組み合せ

製法 原材料	A	B	C	D	摘要
廃材①	1,000kg	1,000kg	1,000kg	1,000kg	水分標準30%内外
乾燥糞便	100kg	100kg		100kg	
木チカ	50~100kg		50kg		
人ブン尿		600l			（発酵したものを用いる）
液肥			30l	30l	（稀釀して混合する）
消石灰			5kg	5kg	（液肥15-6-6）
分解菌	（若干）	（若干）	（若干）	（若干）	市販分解菌
水分（%）	55%	55%	55% (1,000l)	55% (1,000l)	

① 主にオガ屑、スラッジを使用、スラッジは水分70%以上を含む場合が多いので水分の調節に注意し、必要に応じ乾燥させたものを使用する。

なお最近、ラワン、米ツガなど、外材の樹皮の堆肥化が一部で試みられております

が、多くは海水貯木なので、樹皮中の含有塩分の害が心配されています。私たちがこれまでに実験した範囲では、今までのところ製造面においても、施用面においてもとくに心配はみられない。添加材料としては第1表に示したもののはか、化学肥料、青草、でんぶんカス、魚カスなども適当に利用します。ことに魚カスは添加剤として大変すぐれているようです。廃材中には落葉、ワラ、青草などと異なり、これらを分解する菌がほとんどないか、いても種類が限られていますので、原材料の組み合わせのいかんによっては、分解菌や発酵促進剤の利用が効果を示す場合もみられています。現在市販の発酵菌、発酵促進剤もかなり利用されているようです。しかし、いろいろな分解菌をたくさん含んでいる廃材、家畜の糞尿などを多量に加えた場合、分解菌や発酵促進剤の利用がどの程度の効果を示すかは今後の検討を要する問題であります。分解菌の活動を促進させるためには、むしろ環境条件（水分、空気、養分などの状態）を改善する方がより先決問題と考えられます。

1-2：積み込みの方法

積み込みの時期は多量（1トン以上）の原料ならば真冬でもよろしいが、温度の高い晚春から夏にかけて行なうことが好ましいようです。屋内では400キロ以上の原材料を用いて写真1のように1辺1.3m立方ぐらいの木枠の内側にコモをはって、中に積み込みます。屋外では800キロ以上の原材料を用い、排水のよい場所に写真2のように底の直径2.5mくらい、高さ1.8mくらいの円錐形に、途中30cmごとにワラを薄くかませて崩壊するのを防ぎながら積み込みます。積み終ったらコモや古俵でまわりを囲み、雨天の時はビニールなどでおおいをします。なおたくさんの原材料を積み込む場合は、杭、板、竹柱、コモなどを適当に利用して、幅5m、高さ2m、長さは量に応じて調節した簡単な囲いを作り積み込みます。（写真3参照）積み込みのとき、通気をよくするため、ワラ堆肥の製造の場合のような踏み固めは行いません。また多量を積み込んだ際には、中央や側方に数カ所丸太で空気抜きの穴を設けると効果的です。原材料が多い場合は、適当な量に分け、廃材と添加養料を十分混ぜあわせ、かきまわしながら水を加えた後、積み込みを行ないます。水分の加減は、発熱を左右するもっとも重要な因子の一つで、堅く掘って水分がわずかに手に残る程度、すなわち5-5パーセントくらいを理想とします。積み終ったあと、下部から水分がわずかにしみ出る程度が好ましいようです。水分が少なすぎると、温度は上昇しますが永続性がなく、また多すぎると発熱がみられません。なお廃材粒子の大



写真1 屋内における積み込み

写真2

写真3

小、性質、添加剤の種類、量などに応じて調節することも必要です。

1-3：切返しならびに発熱経過

切返しは、堆肥中の不足した水分を補足するとともに空気の流通を調節し、微生物の活動を再び促進させて、熟化した均質の堆肥をつくるためにぜひ必要とされています。以上屋内、屋外とも積み込みが終ったら、上部と中心部に寒暖計をさしこみ、毎日1回発熱状態を観察します。普通翌日くらいから多少発熱がみられ、4、5日目には中心部は6.5°Cから7.0°C近くに上升します。6.0°C以上の発熱が10日前後続いたら、切返し、つまり、全部をもとのように積みほぐして水分を5.5%になると追加し、発熱が不十分ならさらに養分も加えて十分混合した後再び積み込みます。すると2～3日で全体が6.0°C～7.0°Cの温度に上ります。普通切返しは1回で十分ですが、量が1トンをこえる場合は2回以上しないと均質な堆肥はできません。切返しの前後を通し、発熱が6.5°C以上なら2週間、6.0°C以上ならば3週間以上つけば、一応土壤改良剤として使用してもさしつかえありません。しかしこの程度では、分解期間が短いので、オガ屑などでは表面のセルローズ、ヘミセルローズなどの一部が分解されている程度で、リグニンはほとんどおかされていないので、湿っているときは多少黒味を帯びていますが、乾燥すると生のオガ屑に近い黄色になります。したがって、できあがった堆肥は、すぐ使用する場合は別として、その後数カ月間、堆肥中の肥料成分が流失しないように、雨避け、排水に留意した場所に保存します。保存中はできるだけ後熟を促進させるため、乾燥させないようにときどきかん水しながらかきまわし、リグニンを分解する糸状菌の発育を盛んにすることが必要です。普通春から夏にわたって積み込みを行ない、冬のあいだ、あるいは早春に施用します。

次に1、2の製造例とその発熱経過を示してみますと、

(1) 鳥糞、米ヌカ添加による屋内枠積み(製造例A)

a 原材料：ラワンオガ屑400kg(水分33%)、米ヌカ40kg、乾燥鳥糞40kg、水分5.5%。

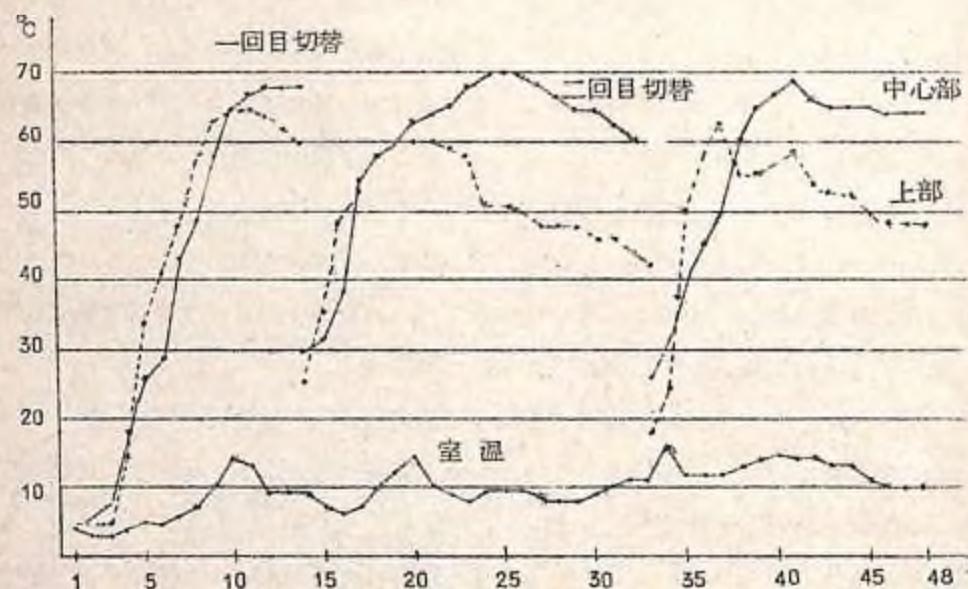
b 積み込み：2月1日実施、前述記載の内側にコモを張った木枠(写真1参照)を使用。水分は木枠の底からわずかに水がしみ出る程度に調整。

c 切返し：この程度の原材料では、1回の切返しでも十分ですが、均質な堆肥をつくるため2月14日(積み込み後14日目)と3月5日(積み込み後33日目)に2回行なった。

d 発熱経過：発熱の経過は第1回のように1回の切返しで中心部は前後を通じ、60°C以上が計5週間、65°C以上は計2週間続いていた。だいたい1カ月ぐらいで一応堆肥として使用できるわけだが、33日目の2回目の切返しにより、60°Cまで低下していた中心部の温度は急に上昇し、65°C前後がその後10日続いた。

e 考察：原料が比較的分解しやすいラワンのオガ屑でかつ添加した有機質の量も多いので、寒い時期にもかかわらず、400kg内外の少量でも十分な発熱がみられています。原料が少ない場合には、最初の積み込みの際、中心部、すなわち、全体の上と下をのぞいた中央の3分の1の廃材に添加養分の3分の2を集中して混合する中筋式（まんじゅうのように中央に添加を集中するのでこう呼ぶ）の方法も好ましいようです。なお、残りの3分の1の添加養分は、1回目の切返しのとき、全部に均質に混合します。

第1図 ラワンオガ屑堆肥（製造例A）



(2) 人ブン尿、鶏糞添加による屋外円錐積み（製造例B）

a 原材料：オガ屑（スギ、ラワンオガ屑混合、水分50パーセント）700kg、

人ブン尿400L（市販分解菌を加えて攪拌後1週間放置したもの）乾燥鶏糞70kg、市販分解菌若干、水分約55パーセント。

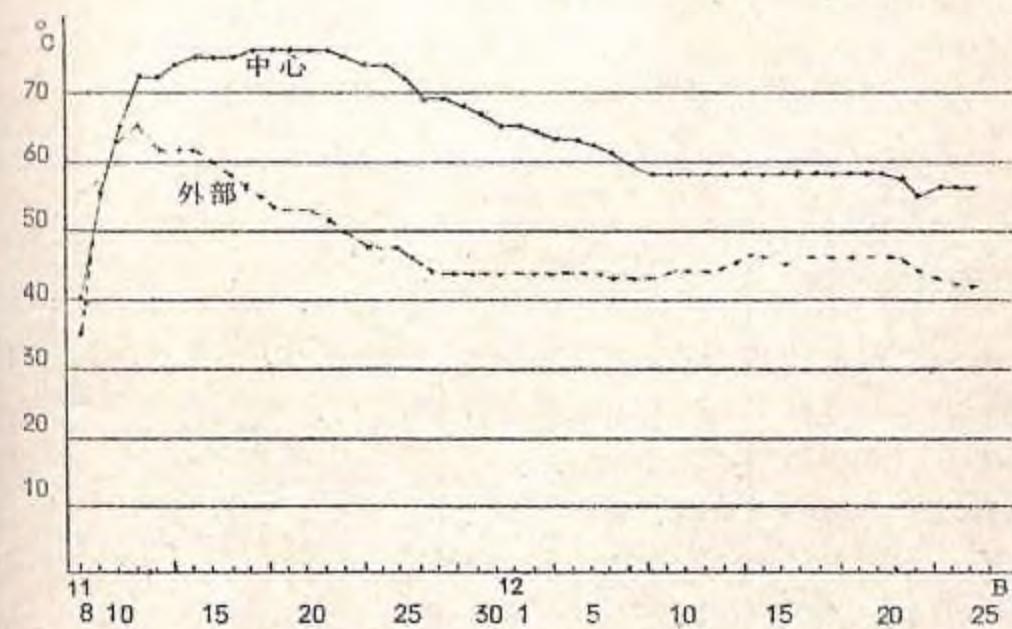
b 積み込み：11月16日実施、上述の原材料を適量あて混合し、水分を調節した後、屋外で前述記載の円錐形型（写真2参照）に積み込みを行なった。

c 切返し：この場合は、発熱経過を永続して観察するため、第1回の切返しは2カ月後に行なった。普通60°C以上の発熱が10日か15日続いたら切返しを行なうことが望ましい。

d 発熱経過：第2回のように切返しを行なわないでも、中心部では70°C以上が15日間、65°C以上が12日間、50°C以上の発熱が1カ月以上続いた。

e 考察：人ブン尿は、分解菌を混入することにより1週間ぐらいで無臭となり取り扱いが容易となりました。比較のため、鶏糞だけを除いて同様の積み込みを行なったところ、一応70°C以上の発熱はみられましたが、その後急速に温度が低下しました。したがって後述のオガ屑堆肥による病害線虫防除の見地からも、10パーセント内外の乾燥糞の添加はぜひ必要と考えられます。

第2図 スギ・ラワン・オガ屑堆肥（製造例B）



注 堆肥の発酵について

ワラ堆肥と廃材堆肥の分解状態の大きな違いは、ワラの場合は、60°C以上の高温発酵が続ければ、比較的短期間にその70パーセント近くが好熱性のセルロース分解細菌類やある種の放線菌などによって、分解されますが、廃材の場合は高温わずかに10~15パーセントしか分解されません。むしろ同じ期間なら中温(45°C)や常温(30°C)を好む、リグニンやセルロースを分解する糸状菌や放線菌などによって分解される量の方がまさっている結果が得られています。したがって、廃材堆肥では、一応発酵発熱が完了したあとの、後熟のいかんが、良質の堆肥を得るための成否を決める、重要な役割をもっているのです。なお有害物質を含んでいる廃材では、毒成分を分解除去するために、高温発酵を経ることが必要です。

1-4: 廃材堆肥の分析結果ならびに製造費

これまでに製造した主な廃材堆肥の成分分析の結果ならびに比較のために、生の廃材の成分を表示しますと第2表のようあります。生の廃材は酸性が強く、チッ素、リン酸、カリの含有量もきわめて少量です。堆肥のPHは積み込んだ初期はいくぶん酸性でも、発酵が進むとしだいに中性、あるいはアルカリ性になります。でき上った堆肥のPH値は、添加する材料によっても異なりますが、7.0前後のものが好ましいようです。

第2表 2, 3 廃材および廃材堆肥の分析値(乾物値)

項目 種類	pH (H ₂ O)	成分分析値(%)			備考
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
ラワンオガ屑(生)	5.10	0.12	0.02	0.16	C 48.7% ; N 0.12 ; C/N 4.06
同上堆肥	6.50	0.75	0.96	0.89	製造例A : C 44.2% ; N 0.75% ; C/N 5.9
アカマツオガ屑(生)	5.10	0.16	0.07	0.13	
同上堆肥	7.28	1.20	1.50	0.63	
カンバオガ屑(生)	5.05	0.21	0.05	0.17	
同上堆肥	6.60	1.24	1.30	0.75	
スラッジ(生)	6.56	0.59	0.09	0.11	
スギ・ラワンオガ屑堆肥	7.20	0.59	0.30	0.25	製造例B

いま製造例A(ラワンオガ屑堆肥)の廃材堆肥について、施与する場合の堆肥に追加するチッ素の添加量を検討してみます。炭素率が約6.0なので、これをチッ素飢餓を起さない理想的炭素率2.0に補整して、1.0アルド当り湿った状態のもの2トン(乾物で1トン)を施す場合には、計算式は省略しますが、約1.5kgのチッ素、すなわち硫酸安にして7.5kgを堆肥に加えることが必要となります。しかし廃材中の炭素のかなりのものは、リグニンなどを形成する分解しがたいものなので、実際にはその半分程度のチッ素を追加すればよいわけです。したがって、製造例Aによってつくった堆肥1トン(水分5.5パーセント内外のもの)を施す場合は、約1.5から2.0kgぐらいの硫酸安を加えて施します。

また廃材堆肥の製造費は、原材料のいかん、入手の難易などで異なることはもちろんありますが、オガ屑堆肥とワラ堆肥の製造費の1例をあげてみると第3表のようです。

第3表 オガ屑堆肥、ワラ堆肥1トン当りの生産費

	オガ屑またはワラ	乾燥 スラッジ	米ヌカ	化学肥料 または 発酵剤	積み込み 切断	切返し	運搬 その他	計
オガ屑堆肥	1,000円 (500kg)	300円 (50kg)	600円 (25kg)	300円 (発酵剤)	600円 (1人)	400円 (3人)	200円	3,400円
ワラ堆肥	3,000円 (500kg)	300円 (50kg)		200円 (化学肥料)	900円 (1.5人)	400円 (3人)	200円	5,200円

◎ オガ屑、ワラ1トンから約2トンの堆肥が製造される。

また、輸送費に多くの経費を要するので、この点で制約をうけますが、いま6トン積みトラックによる堆肥運搬の概算(運送費のみ)をみますと以下のようあります。

5.0km	6,800円
10.0km	11,200円
15.0km	16,000円
20.0km	21,000円

将来は新しい原材料の組み合わせ方法や、製法の改善、量産化などにより、より安価で効果のある廃材堆肥の製造方法が開発されるべきであります。現在のところその製造費はワラ堆肥の3分の2程度とみられます。また経済的にみてその運搬範囲は北米では150km以内とされていますが、わが国では100kmまでが限度と思われます。

B. 廃材堆肥の使い方と効果

廃材堆肥の合理的施用方法ならびにその効果などについては、まだ試験を開始して日が浅いので、十分な結果が得られていないのが残念ですが、一応これまでの経験に基づいて使用に際して注意すべき事を述べてみますと、

1. 原材料さえあれば誰でも容易につくれるので、未熟な粗悪品が少なくありません。十分に発熱発酵し、かつ熟化したものを用いることが必要です。
2. 廃材堆肥は乾燥すると分解を停止し、水分が30パーセント以下になると水をはじく性質がありますので、乾燥したものは、事前に十分湿らせて用いるか、1~2カ月前に土中に施して、十分土になじませておくことが望ましい。多量を土中に働き込んだ場合はときどきかん水することが必要で、かん水が不可能でかつ干害をうけやすい場所では、マルチングとして施します。したがって堆肥の施用は、初冬から早春の間に施しておくことが好ましい。
3. 肥料成分の不足しているものは、化学肥料を加えて使用します。生のもの、あるいは肥料成分的に不足している場合は、いろいろな栄養障害（チッ素欠乏症など）や病害（紋羽病など）を生じやすいので注意が必要です。
4. これまでの農作物についての試験結果ではチッ素肥料を加えて、炭素率を3.0内外に調整しても、基肥は堆肥の場合に劣らない量を施すことが必要で、作物の種類（とくに水稻など）によっては、栽培の後期にチッ素肥料の追加がよい成績を示す場合がみられています。
5. 永続性のある堆肥なので、最初は少なめに、翌年は分解の状態をみて追加する方法が望ましく、初年度の効果にまどわされて、毎年多量を施用すると、未分解有機質の過多により栄養障害や病害を生ずる恐れがあります。
6. 一般的の施用量を示しますと、土壌の性質に応じて10アール当たり500~3,000kgを地表10~30cmの層に働きこむか、あるいは地表にマルチングします。堅密な粘土質土壌の場合には6トン程度を働きこんでよい結果を示している

例もみられています。鉢栽培の場合には、作物の種類に応じて鉢土の容積の2~5割程度を苗木などでは土と同じくらいを加えて用います。苗木栽培の場合には、植え穴の大小に応じて1穴当たり3~5kgを植え穴の土と混合します。乾燥の害を受けやすいところでは穴底に施すか、マルチングとして用います。廃材堆肥は注目されてからまだ日が浅いので、普及している範囲に限りがありますが、つぎの分野では好結果が期待され、大いに使用されています。

1. 林業用苗畑の堆肥

営林署、県営の苗畑では、すでに毎年100トン以上を製造して、堆肥のかわりに使用し、大変よい結果を得ているところも少なくありません。しかし反面未熟堆肥の使いすぎたため、干害、窒素不足の被害もみられています。砂質土では500kgくらい、粘土質の土壌では2,000~4,000kgの施与が好ましく、とくに苗の根張りを促進する効果が見られます。

2. そ菜、草花類の堆肥

普通10アール当たり1,000~2,000kg、地表に働き込むかマルチングとして使用します。とくにハウス園芸（トマト、キュウリ、カンラン、イチゴ、メロン、カーネーションなど）の栽培では大変よい結果が得られています。また立枯病、萎凋病、ツルワレ病、線虫病などの防止にも効果のある例もみられています。なお昭和41年度に神奈川県農試で実験したカンランについての肥効試験では堆肥に劣らない結果が見られました。

3. 水稻、小麦の堆肥

昭和41年度に、栃木県、石川県の両農試で実施した水稻についての肥効試験の結果では、10アール当たり約2トン（乾燥で1トン）施用して、いずれもこれまでの堆肥に優るとも劣らない結果が得られています。水稻では肥料設計に注意することが必要で、連年施用についてもなお検討の余地が残されています。昨年度愛知県農試で行なった小麦に関する肥効試験でも10アール当たり2トンの働き込み区はよい結果を得ています。

4. 果樹、園芸用の堆肥あるいは有機質源

最近、ミカン、リンゴ、ナシ、クワ、チャなどの栽培に廃材堆肥が注目されています。とくにミカン園で高く評価され、和歌山県、静岡県の一部では敷きワラにかわる有機質源として、10アール当たり2~3トン程度を全面にマルチングすることが行なわれて良好な結果が得られています。

5. 葉たばこの肥料

専門公社では、この数年落葉堆肥にかわる葉たばこの肥料として、オガ屑堆肥の施用試験を行なっていますが、水分管理に十分注意さえすれば、子床、親床の肥料として、落葉堆肥に優る成績をあげています。また最近本畠においても十分その効果の期待されることが実証されています。

6. 庭園樹木、庭園樹木用の堆肥

庭木、街路樹などの移植や根回しのさい廃材堆肥を用いると、細根の発生を促し、活着をよくします。外国ではチップ屑の堆肥を大木の根回しの際に用いてよい効果をあげています。また銘木、老木の樹勢回復に廃材堆肥を大量マルチングしますと、土壤の改良効果も兼ねて大変よい成績が得られています。

7. シバ草の目土あるいは肥料

オガ屑や粉末樹皮の堆肥は、最近ゴルフ場などのシバ草の造成、目土用として広く進出しています。また道路の側面あるいは法切り面を被覆するための吹き付けや植生就用の材料としても利用されています。以上は主に堆肥としての効果について紹介しましたが、多数の施用試験を実施しているうち、鶏糞を添加した廃材堆肥は、モリシマアカシア、ホウセンカの根こぶ線虫、コニニヤクのネグサレ線虫の被害防止に大変効果のある興味深い結果が得られています。その原因の一つとして、まだ確定はしませんが、鶏糞に由来する比較的耐熱性の大型自由線虫 (*Rhabditis* 属) が廃材堆肥中で増殖し、土壤中の病害線虫の密度を減らすのではないかと推定されています。

廃材堆肥を病害線虫防除の目的で用いる際には、

- (1) 廃材に10～15パーセント重の乾燥鶏糞を添加して製造し、でき上った堆肥はなるべく乾燥させないこと。
- (2) できれば線虫の生息する土壤を一度殺線虫剤で殺した後、廃材堆肥を働きこむか、少なくとも播種あるいは苗の移植、1～2カ月前に堆肥を働きこんでおくこと（根の張る部分にかぎって施してもよい）。
- (3) 種をまいた上に薄く覆土し、その上に2～3cmの厚さにマルチングしてもかなりの効果がみられています。
- (4) 鉢の場合は、土と堆肥の容積比が1対1、1対2とし、混合してから1～2カ月後に播種あるいは移植すること。

このほか、前にも少しふれましたが、廃材堆肥は、病害の発生を防止する力がつよ

く、苗木、野菜などの根腐病、立枯病、萎凋病、ツルワレ病、軟羽病とくにタバコやコニニヤクの白斑病などに効果を示している例がみられています。

II オガ屑の発酵堆肥化にともなう木材組成の変化と熟成度についての研究

当研究室ではこれまでオガ屑に有機質栄養源として米ヌカを添加し、鶏糞を接種菌体源として発酵堆肥の実用化試験をおこなってきた。その際発酵過程における温度分布と経過をみると、原材料の堆積量や添加有機物量、水分状態、気温などによって多少異なるが、中心部が最も高く、平均60°C以上の高温度をしめし、それより表層に近づくにつれて連続的に低下し、表層部で常温に近い温度分布をしめした。また温度経過も前述の条件に左右されるが、発酵数日後にそれぞれの部分で最高に達し、以後徐々に低下する状態が一般的の傾向である。したがって堆肥化においては、堆積している各部分でそれぞれの温度分布と変化に対応して、当然分解に関与する微生物プロテも変遷するであろうし、それによって木材組成の分解腐植化も異なるものと考えられる。そこで堆肥化の第1段階は微生物による分解低分子化であるから、温度条件の違いによる木材組成の変化過程を追跡し、前述の発酵方法における最適温度条件をみいだそうとした。

次に第2段階として、各組成の分解低分子化と平行して進行する腐植化の状態と、それにともなって変化する化学的諸性質の追跡をおこなった。

なお、従来木質材を原料とした堆肥について熟成度に関する研究はほとんどおこなわれていないので、その判定は化学的裏づけのないままに、一応混入した稻わらの分解程度を基準としたり、感覚的な手段によっておこなわれている現状である。稻わらの場合は、好熱性セルロース分解菌の作用による（60°C以上の高温発酵）堆肥化が極めてよい結果をしめすところから、木質材を原料とした場合もとくに温度上昇に重点をおいた堆肥化が進められ、最高温度と高温経験日数をもって堆肥化の尺度としている傾向もみられる。木質材と稻わらとは構成成分や結合状態が根本的に異なっており、稻わらに比べ極めて複雑である。したがって微生物による分解は困難であることは今までのところ多くの研究者の認めることである。

つぎにこれまで簡単な方法として手ざわり、色調、かおりなどの感覚的手段によって、堆肥化の程度を判定する方法がとられている。堆肥化が進むにつれて木質材は分解されやすくなり、色調も黒色を帯びてくるからこれらの方で判定できる可能性はあり得る。しかし、化学的な分解結果の裏づけのもとに関連性を見出し、十分な経験によって始めて応用出来る手法であろう。木質原料は種類が多く、たとえば、チップ屑、オガ屑、パークなどそれ

それについて多くのデータの蓄積が必要であり、そのうえ樹種の違いも考えなければならぬ。さらに色調については添加材料によっても変化する。たとえば、消石灰や石灰チップなどアルカリ性物質を添加すると堆肥化とは関係なくただちに黒色調が増加する場合もある。

以上のように木質材を原料とした堆肥については、従来わら堆肥に用いられていた方法をそのまま適応して熟成度をあらわすことには問題があり、とくに化学的裏づけのないままに稻わらの堆肥化と同一に考えることは危険性がある。熟成度をあらわす諸性質や、判定の方法について検討する必要があると考えこの研究をとりあげた。

なおこの研究はつきの題名で、第79回日本林学会大会において発表したが、詳細は後日林試研究報告に発表する予定である。

木質廃材の発酵堆肥化に関する研究

第1報 異なる温度過程における木材組成の変化

第2報 堆肥の熟成度について

佐藤俊・植村誠次

A 木材組成の変化についての研究

実験条件

ラワンオガ屑を主原料として、これに有機栄養源として米ヌカ8.0%，接種菌体源として天日乾燥鶏糞3.5%添加、いずれも粉碎して30~60メッシュ部分を使用した。

水分状態5.5%前後に保ち、最初のPHを6.85とした。温度条件は常温(30°C)

中温(45°C)、高温(60°C)の3段階として80日間発酵をおこなった。

実験結果

冷水、热水および1%NaOH溶液による抽出物：各温度ステージとも発酵初期から急激に減少して10日ないし20日目に最少となり、以後増加するが、热水、1%NaOH溶液抽出量は、60日目をピークとして80日目には再び減少傾向をしめす。このことは最初主として米ヌカ、鶏糞等に含まれる可溶性の糖類が微生物の増殖発育にとって消費されるため急激に減少する。その後ヘミセルローズ、セルローズなどの易分解性炭水化物が分解されるほか、リグニンなどの難分解性物質もしだいに分解され、又各構成成分間の結合状態がゆるむ結果抽出量が増加するものであろう。しかしこれら抽出物も分解消化あるいは結合も考えられるから増減がくりかえされる。

リグニン含量と元素組成：第4表に発酵過程におけるリグニン含量の変化と元素組成を示した。リグニン含量は発酵経過とともにやや減少する傾向にあるが、その減少は極

第4表 発酵経過にともなうLignin含量の変化と元素組成

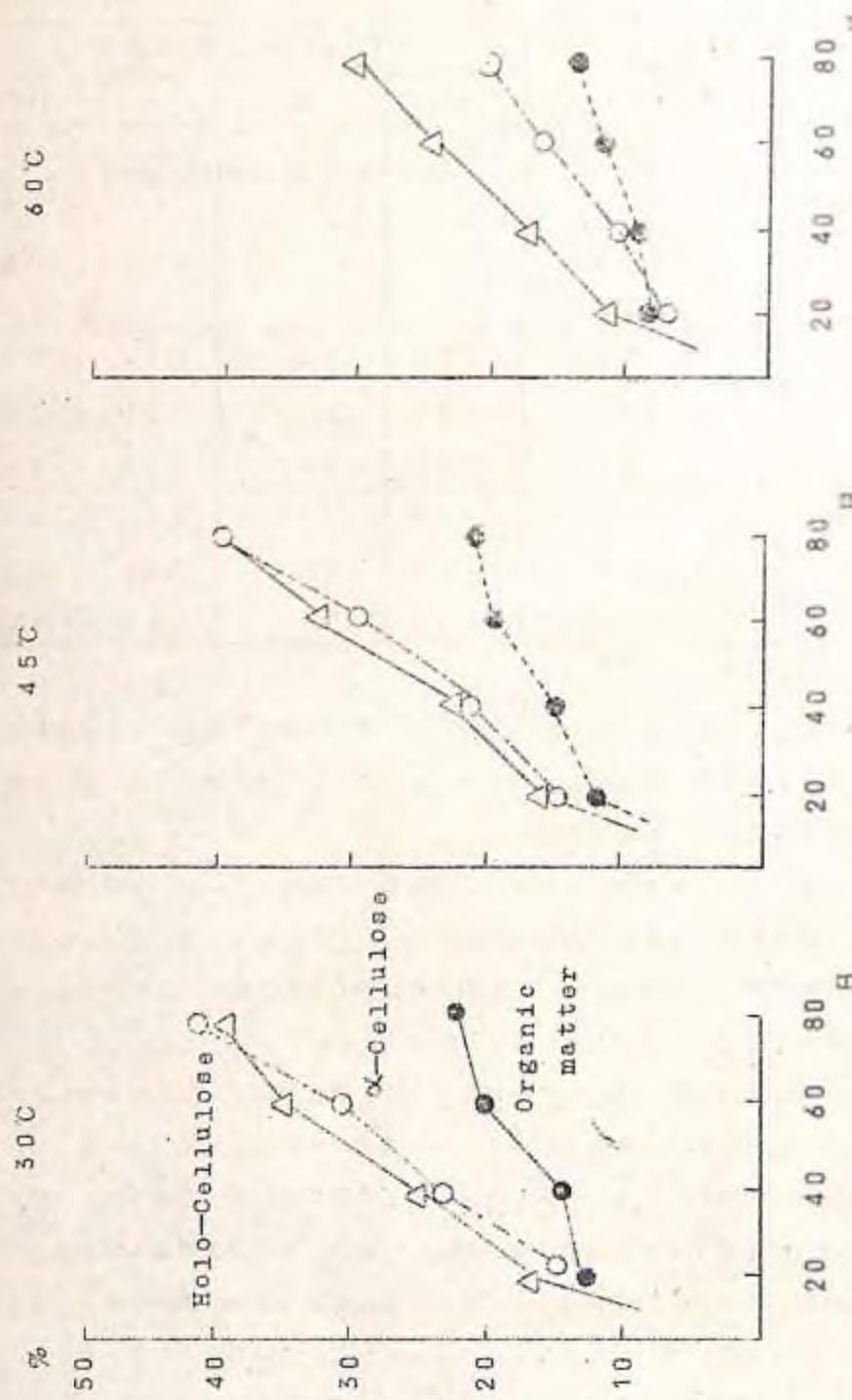
物質	Lignin含量 g/100g Sample	Ligninの元素組成 %			
		C	H	N	OCH ₃ 基
原料ラワンオガ屑	28.8	64.22	5.72	tr.	17.05
30°C 40日発酵	27.8				16.17
45°C	27.2				16.23
60°C	28.4				15.33
30°C 60日発酵	28.0	62.73	5.30	0.72	16.23
45°C	27.2	63.85	5.14	0.82	14.59
60°C	28.1	62.80	5.69	0.64	15.16
30°C 80日発酵	27.1	62.56	5.69	0.48	14.20
45°C	26.0	61.20	5.23	0.59	13.90
60°C	27.8	62.86	5.53	0.90	14.55

めて小さい。しかし元素分析の結果をみると、発酵経過とともにCおよびOCH₃基含量は減少し、N含量の増加がみとめられることから、リグニンのフミン化など何らかの変化がおこっていることが推定される。

ホロセルローズ、α-セルローズ、全有機物：各温度ステージとも発酵過程とともにしだいに減少する。これら各成分の分解率を温度別にしめすと第3図のとおりである。同一時点における各成分の分解率を温度別に比較すると、常に45°Cステージが最も分解率が大きく次に30°Cであり、60°Cが最も小さい。

稻わら分解との比較：稻わらについては多くの研究がおこなわれており、それによれば木質材に比べて容易に分解されることが報告されている。当研究室でも、坂井（北海道農業試験場報告第61号）のおこなった方法に準じて温度別分解をおこない、全有機物の分解程度をラワンオガ屑の分解と比較してみた。その結果は第5表のとおりである。もちろん両者の分解条件は異なるので比較することには多少問題があるが、従来いわれているように高温分解が最もよく、60°C>45°C>30°Cの順であった。これに比べて木質材の場合は45°Cが最もよく、45°C>30°C>60°Cの順で、高温分解が最も

第5図 発酵経過にともなう組成成分の分解率



第5表 稲わらおよびラワンオガ屑の堆肥化における全有機物の分解率

(原材料に対する重量%)

発酵日数 発酵温度	稲わら		ラワンオガ屑	
	15日	30日	40日	80日
50°C	19.0	27.0	16.4	23.0
45°C	28.0	35.0	17.6	26.6
30°C	29.0	38.0	12.6	16.5

悪く稲わら分解とは異なる結果が得られた。又分解率についてみると稲わらの場合は良好であり、30日間で30%～40%の分解をしめた。木質材の場合は80日間でわずかに17%～27%でかなり悪い結果となっている。

つぎに予備的な試験ではあるが、ラワンオガ屑の発酵堆肥化における微生物フローラの測定をおこなった。その結果は第6表のとおりである。この表にみられるように60°C

第6表 堆肥1tあたりの菌数(発酵30日目)

発酵温度	種類	菌数	備考
60°C	放線菌	9×10^5	稀釀平板法 45°C 5日間培養
	細菌	5.4×10^{10}	稀釀製度法 60°C
45°C	放線菌	6.0×10^5	稀釀平板法 45°C 5日間培養
	細菌	1.04×10^5	〃
	糸状菌	1×10^5	〃
30°C	放線菌	5.0×10^5	稀釀平板法 30°C 5日間培養
	細菌	1.39×10^5	〃
	糸状菌	2.2×10^5	〃

ステージでは細菌類が極めて多く糸状菌は存在しない。45°Cステージでは細菌類が少なく、放線菌が多くなり、また糸状菌の存在もみとめられる。30°Cステージでは放線菌、細菌類は45°Cステージとはほぼ等しいが、糸状菌がかなり多くなっている。また各

温度別にかなり優勢に存在する数種類の菌を分離した。60°Cのように特殊な条件では2種類の細菌と1種類程度の放線菌が分離されたにすぎない。これに対して45°C, 30°Cの場合には比較的種類も多く、簡単なセルローズ分解力試験の結果ではあるが、50°Cで糸状菌2種類、45°Cで糸状菌2種類、放線菌1種類にやや分解力のある菌が見い出された。以上の結果からも木質材の分解は福わらに比べてかなり悪いことや、分解に関与する微生物の種類、発酵条件の異なることが理解出来るであろう。木質材を強力に分解する菌が経済的に分離、培養されないかぎりは、有効な接種菌体源として鸡糞が利用されることには間違いない。しかしこれを用いて発酵堆肥化をおこなう場合は、まず木質材の分解に関与する微生物の発育に最適な条件を見出すこと、分解とともにあって変遷する微生物フローラをとらえて分解堆肥化にのぞましい方向に条件をかえてゆくことが必要であろう。これまで述べてきたことは、現在一般的におこなわれている堆肥製造の方法にしたがって温度条件を追求したにすぎないから、さらにいろいろな条件を検討しなければならない。

B 熟成度についての研究

堆肥には主として緩効性窒素源やリン酸の吸収固定防止などによる肥料的効果、土壤理学性の改善や塩基置換能および緩衝能の増大による土壤改良効果、植物に対する生長促進効果、あるいは土壤微生物の生育活動を盛んにする効果などいろいろな面が考えられるが、これらの効果は熟成度によって異なるといわれている。反面木質材を原料とした堆肥の場合、樹種によっては分解しきれずに害作用を及ぼすといわれている。また有機物の分解速度とC-Nのアンバランスから生ずるN不足の問題や、未熟な木質堆肥の施与とともに未分解有機物の状態に応じた土壤伝染病発生の可能性など未解決な問題が多い。このような諸問題を解明するには、どうしても堆肥の熟成度を定量的にとらえる必要がある。従来堆肥の場合には熟成度判定の方法としてC-N率や、腐植の形態分析などによってその性質をとらえる方法がなされてきた。また簡単な標示方法としては過酸化水素水や水洗処理による残渣割合で、熟成度の指標とするやり方や、もっと簡単に手ざわり、色調、ちぎり具合などで識別する方法もとられている。そしてこれらの感覚的識別や洗滌残渣割合などで堆肥化の一応の目安を作ると、C-N率や腐植の性質などと比較的一致する結果が得られている。木質材を原料とした堆肥についてもこれらの簡単な方法を試みたが、材料の不均一性、難分解性などから従来堆肥に用いられた方法をそのまま適応しがたい面がある。そこで木質材を原料とした堆肥の場合、堆肥化にともなって変化するいくつかの性質

をとらえながら、熟成度をあらわす適當な性質と判定の簡単な方法をみいだすことを目的として研究をおこなった。

実験結果

実験に用いた材料は発酵堆肥化の各段階における試料のはか各地で実際に堆積製造したノコギリ堆肥を用いた。

C, N含量およびC-N率の変化：発酵過程におけるこれらの変化を示すと第7表のとおりである。C含量は発酵過程とともにしだいに減少する。その変化はホロセルローズ、ローストセルローズ、あるいは全有機物の分解に比例して減少する傾向を示す。しかしこれ一般に変化は小さく、80日間でわずかに当初の含量に比べて3~4%の減少にとどまる。N含量は発酵経過にともなってやや増加の傾向にある。したがって、C-N率は当然ながら減少傾向を示す。しかしC含量の減少は小さく、Nは変動し易い傾向がみられるため、C-N率としてあらわした場合は、有機物の分解と必ずしもパラレルな関係はみられない。一連の変化をとらえる過程において減少傾向がみられる程度である。

第7表 発酵経過にともなうC, N含量およびC-N率の変化

(対絶乾 %)

発酵温度		20日	40日	60日	80日
		C %	47.6	47.3	43.5
30°C	N %	0.77	0.78	0.73	0.88
	C-N	61.8	60.6	59.6	50.9
	C %	46.7	47.7	44.1	44.2
45°C	N %	0.74	0.85	0.76	0.86
	C-N	63.1	54.9	58.0	51.4
	C %	47.2	47.3	44.7	45.6
60°C	N %	0.75	0.85	0.74	0.84
	C-N	62.9	55.6	60.4	54.9

原料 C: 48.3% N: 0.64% C-N: 75.4

第8表 いろいろな方法によるオガ屑堆肥のC, N含量および

C-N率

堆肥	C-N率			(対乾燥 %)
	C %	N %	C-N	
材料および堆積期間				
A	45.1	1.5	2.8	ラワンオガ屑, ワラ, 鶏糞, 米ヌカ, 碱安, 5カ月間
B	45.7	0.7	6.5	ラワンオガ屑, 鶏糞, 米ヌカ, 発酵材, 5カ月間
C	45.2	0.8	5.7	スギオガ屑, ワラ, 鶏糞, 米ヌカ, 1年間
D	40.5	2.6	1.6	ラワンオガ屑, ワラ, 鶏糞, 米ヌカ, 碱安, 10カ月間
E	44.2	1.0	4.4	ラワンオガ屑, 鶏糞, 米ヌカ, 2カ月間

つぎに材料の組合せも異なり、堆積期間もそれぞれ異なるオガ屑堆肥について、C, N含量およびC-N率をあらわしてみると第8表のとおりである。この表にみられるように、堆積期間が異なってもC含量にはそれほど大きな違いがみとめられず、オガ屑(この場合はラワンとスギ)を主原料とした場合は4.4%前後の含量をしめすものが多い。これに対してN含量は添加する材料の種類や量によってかなり違ってくるため、したがってC-N率に差がみとめられる。このようにC-N率は窒素の添加によって人为的に変え得る可能性があるので、単にC-N率で堆肥の熟成度をあらわすことには問題がある。

腐植の形態分析: 第9表に発酵各段階の試料や2, 3のオガ屑堆肥について腐植の形態分析結果をしめした。各発酵段階の試料についてみると、腐植酸、フルボ酸の割合は一般に極めて小さくPQ割合もほとんど50%前後である。つまり腐植化があまり進んでいないものと考えられる。RFは炭素当りの600mμの吸光度を示し、この値の増大は腐植化の進行をしめすものとされており、△log Kは400mμと600mμの吸光度の対数でこの値の低下は腐植化の進行を示すといわれている。この両測定の結果をみると発酵経過とともにRFはやや増加し、反対に△log Kは減少傾向がみられるが、一般に土壤腐植に比べてこれらの値の増減は極めて小さい。つぎにいろいろな堆肥について腐植の性質を検討してみよう。

第9表 オガ屑堆肥の腐植の性質

試 料	腐植酸 C ¹⁰	フルボ酸 C ¹⁰	P Q	R F	△ log K
30°C 20日	4.5	5.1	51.3	6.7	0.99
45°C *	2.5	2.5	54.3	9.2	0.98
60°C *	1.9	1.7	52.4	8.3	0.95
50°C 60日	8.9	7.5	56.1	10.7	0.68
45°C *	7.4	7.9	57.6	12.1	0.68
60°C *	4.9	5.4	48.9	10.1	0.66
30°C 80日	6.9	6.2	55.7	10.7	0.60
45°C *	6.2	6.4	52.2	13.0	0.63
60°C *	5.8	5.0	42.9	10.6	0.86
堆肥 A	9.5	5.1	70.5	9.5	1.42
* B	10.5	5.0	64.2	6.9	0.90
* C	20.4	7.0	79.2	7.5	0.97
* D	8.4	7.6	69.8	11.1	1.03

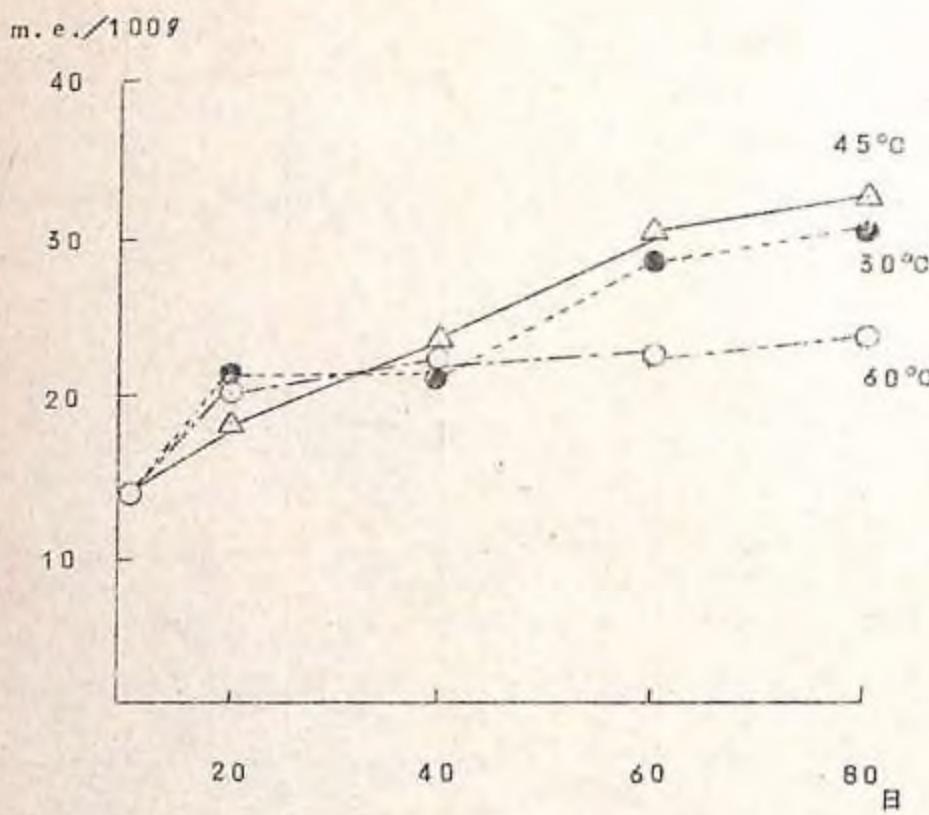
※ 全炭素に対する%

※ 腐植酸の値

フルボ酸に比べて腐植酸の割合が多い傾向がみられる。しかし腐植酸のRF, △log K値からはあまり腐植化が進行している傾向がみられない。以上のことから考えると木材組成の分解がかなり進んでいる場合でも、腐植酸の形成はあまりおこなわれていないようである。また腐植酸の形態分析から推定されることは一般的な土壤腐植酸とは異なる性質のものが形成されるものか、あるいは不安定な状態で存在するようにも考えられる。いずれにしても更に検討する必要がある。

塩基置換容量(以下C.E.C.とする): 第4図に経時的変化をしめした。この図にみられるように各温度ステージとも、発酵経過とともにC.E.C.の増加傾向がみられる。温度別では45°C > 30°C > 60°Cの順で45°Cが最も高く60日以後にその差が大きくなっている。この傾向は木材組成の分解と関係がみられ、有機物の分解が大きいほどC.E.C.が高い傾向にある。有機物のC.E.C.は大部分がカルボキシル

第4図 C.E.C.の変化



基やフェノール性、エノール性の水酸基に基因しているといわれる。木材組成分が微生物によって分解され更に腐植化が進むにしたがって、これらの置換基が増加し、C.E.C.が高くなるものと考えられる。そして腐植酸そのもののC.E.C.も腐植化がすすみ安定してくるにしたがって増加するといわれている。しかしこれまで取扱った試料についてみると、腐植酸の量や質は不安定な状態にあるものと考えられるから、C.E.C.の大きさとは必ずしも正の相関関係はみとめられない。ただし、堆肥のC.E.C.は腐植酸は勿論のこと、木材組成分の分解物や、腐植酸形成過程におけるいろいろな中間物質などの官能基が総合的に関与するから、分解、腐植化をある程度判定する手段になり得るようである。

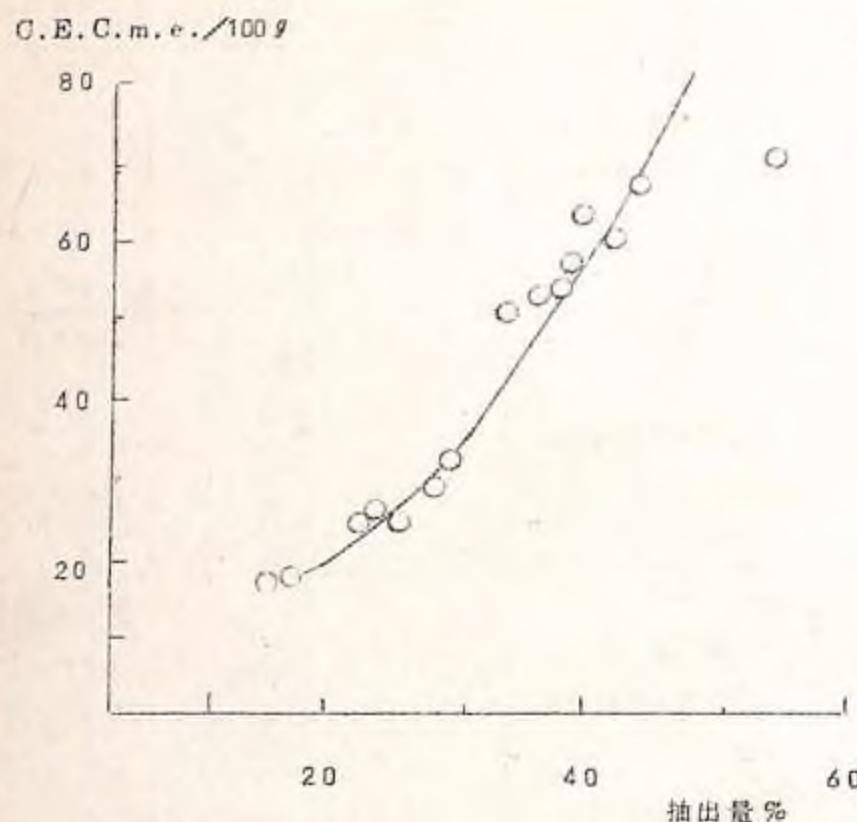
熱水および稀NaOH溶液による抽出量とC.E.C.の関係：堆肥中のC.E.C.に関する諸成分を大別する方法として、熱水および0.5%，1.0%，5.0%各濃度のNaOH溶液による抽出をおこない、抽出量と残渣物のC.E.C.との関係から分解腐植過

第10表 热水および稀NaOH溶液による抽出量と抽出残渣のC.E.C.

試 料	抽 出 條 件	抽 出 量 %	残 済 の C.E.C. m.e.
30°C 80日間 発 酵	未 抽 出	0	(3 3.7)
	熱 水 抽 出	6.1	3 2.7
	0.5% NaOH溶液	1 9.0	3 2.0
	1.0% *	1 9.3	3 2.5
	5.0% *	2 9.5	2 2.0
45°C 80日間 発 酵	未 抽 出	0	(3 4.4)
	熱 水 抽 出	6.0	3 2.7
	0.5% NaOH溶液	2 0.6	3 3.0
	1.0% *	2 0.8	3 2.7
	5.0% *	3 1.0	2 6.0
60°C 80日間 発 酵	未 抽 出	0	(2 8.0)
	熱 水 抽 出	3.5	2 7.5
	0.5% NaOH溶液	1 2.5	2 6.5
	1.0% *	1 3.0	2 6.8
	5.0% *	1 8.9	1 3.5
堆 肥 A	未 抽 出	0	(7 2.0)
	熱 水 抽 出	8.8	6 0.5
	0.5% NaOH溶液	2 6.3	5 4.5
	1.0% *	2 6.9	5 1.4
	5.0% *	4 9.5	4 8.4
堆 肥 B	未 抽 出	0	(7 0.5)
	熱 水 抽 出	8.9	4 6.3
	0.5% NaOH溶液	2 5.2	3 1.4
	1.0% *	2 8.6	3 0.7
	5.0% *	4 2.9	3 0.3

註：()内は堆肥そのもののC.E.C.

第5図 オガ屑堆肥のC.E.C.と5%NaOH溶液による抽出量の関係



程の段階を知らうとした(第10表参照)。この結果、当然のことながらNaOH溶液の濃度が高くなるにしたがって抽出量は多くなり、残渣物のC.E.C.は低下する。また堆肥のC.E.C.の大きさにはほぼ比例して、各濃度による抽出量とも増加する傾向がみられた。とくに5.0%濃度の抽出量と堆肥のC.E.C.との間に相関が高い傾向がみられた。(第5図参照)

NaOH抽出物の大部分は、カルボキシル基やフェノール性水酸基を有する物質で、濃度が高くなるにしたがって低分子のものから分子量の大きいものまで逐次抽出されるが、濃度が高くなると、分解、重合のくりかえしがおこなわれ、またヘミセルローズ、リグニンの一部も分解抽出されるから、抽出条件については今後さらに検討しなければならない。しかし少なくとも有機物の分解度やC.E.C.の大きさと抽出量との間に比較的正の相関がみとめられるから、腐植化を把握する簡易な方法として使用できる可能性がある。

以上を総括すると、木材質のように難分解性の構成成分が多く、各構成成分が複雑に結合している場合は分解が遅く、安定な腐植酸の形成にいたるまでは、強力な微生物の作用と長期間を要するものとおもわれる。したがって腐植酸の性状はもと論究明されなければならないが、現時点においては、その前段階ともいべき構成成分の分解程度と腐朽物質の状態についても検討する必要があり、熟成度もこの点を考慮に入れた判定方法が今後の課題であろう。

4. こんごの問題点

廃材の堆肥化は、主として比較的製造の容易な内地産樹種のオガ屑、チップ屑、広葉樹バークなどが対象となっているに過ぎなく、かつその製造方法も有機質肥料(主に鶏糞、米スカ)と、これに化学肥料を添加した微生物的処理方法による発熱発酵法が開拓されたに過ぎません。一方、最近その形態においても、また化学的組成でも著しく性質をことにする外材バーク(南洋材、木材、北洋材)の堆肥化の要望が強く打出されており、これらのバークの堆肥化には、それぞれの特性に応じた処理方法が研究されねばなりません。従って今後に残された問題としては、分解困難な外材バークの早急な堆肥化についての研究と、これまでの発熱発酵処理のほかに、低温発酵、物理、化学的処理方法などによる堆肥化の開発研究が重要な課題と考えられます。

また廃材堆肥は、最近農地および園芸の分野で非常に注目され、その需要も急速に増大しうとしておりますが、肥効試験はまだほとんど実施されていない現状です。ワラ堆肥とは本質的に性質を異にしている廃材堆肥の施用方法については、それぞれの分野の作物について十分な試験が行なわれて後検討されるべき問題でありますので、このためには、林業のみならず、農園芸分野も含めた関係分野の協力による研究体制の1日も早いことが切望されます。