

ノコ屑堆肥の肥効に関する試験

1. 試験担当者

土壌調査部土壌微生物研究室：植村誠次・佐藤 俊・山家幾人

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、これまでのわが国、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. 試験の経過とえられた成果

本研究は、自昭和40年至昭和42年の3カ年間で一応完了したことになりますが、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、一応取纏め得た研究項目は、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纏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 版6, PP. 51, 1964
3. 植村誠次 山林 版666: 24-30, 1964

4. 植村誠次 土と微生物 版5:9-16, 1963

5. 植村誠次 現代林業 版21:19-35, 1967

6. 植村誠次 養蚕科学と技術 版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成分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、その要旨は後述Ⅱの項に記載の通りであります。

なお以上のほか、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、取組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(土壌微生物研究室)

A. はじめに

林業試験場土壌微生物研究室では、昭和35年頃からオガ屑、スラッジなどから土壌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(好熱性繊維素分解菌、ヒトヨダケ属の糸状菌、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カ月内外で一応土壌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パークの堆肥化の研究を進める予定であります。

以下主に過去3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組めて報告します。

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わ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わ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の組み合わ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わせ

製法 原材料	A	B	C	D	摘 要
廃材◎	1,000kg	1,000kg	1,000kg	1,000kg	水分標準30%内外
乾燥鶏フン	100kg	100kg		100kg	
米ヌカ	50~100kg		50kg		
人フン尿		600ℓ			(発酵したものを用いる)
液肥			30ℓ	30ℓ	(稀釈して混合する)
消石灰			5kg	5kg	
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)	

◎ 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必配されています。私たちがこれまでに実験した範囲では、いま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表に示したもののほか、化学肥料、青草、でんぷんカス、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いないか、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腐フン、家畜のフン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、温度の高い晩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。積み終わ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って積み込みます。（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ないません。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、強く掘って水分がわずかに手に残る程度、すなわち55パーセントくらいを理想とします。積み終わったあと、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、また多すぎるとほとんど発熱がみられません。なお廃材粒子の大



写真2



写真3



写真1 屋内における枠積み

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65℃から70℃近くに上昇します。60℃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55パーセントになるように追加し，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60℃～70℃の温度に上がります。普通切返しは1回で十分ですが，量が1トンを超える場合は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65℃以上なら2週間，60℃以上なら3週間以上つづけば，一応土壌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ス，ヘミセルロース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，雨よけ，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。

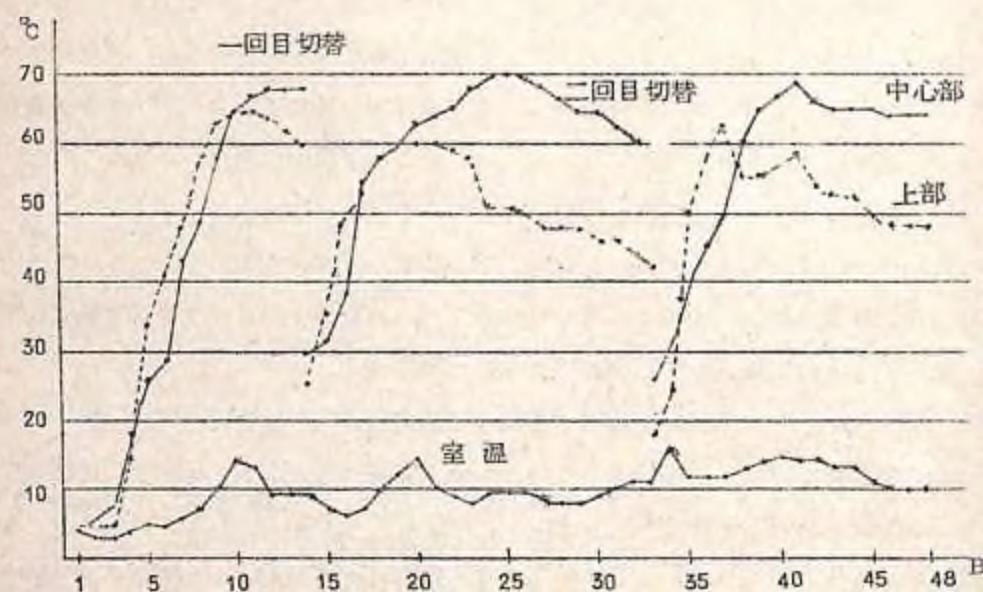
次に1，2の製造例とその発熱経過を示してみますと，

(1) 鶏フン，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パーセント），米ヌカ40kg，乾燥鶏フン40kg，水分55パーセント。
- 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あります，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図のように1回の切返しで中心部は前後を通じ、
60℃以上が計3週間、65℃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℃まで低下していた中心部の温度は急に上昇し、65℃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
混合する中餡式（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）



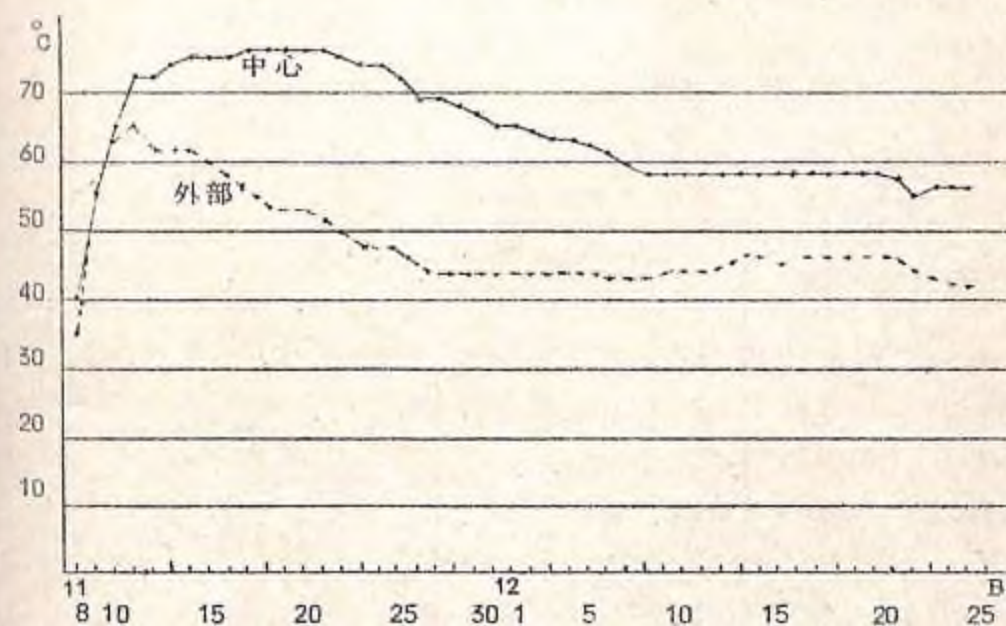
(2) 人ブン尿、鶏フン添加による屋外円錐積み（製造例B）

- a 原材料：オガ屑（スギ、ラワンオガ屑混合、水分30パーセント）700kg、

人ブン尿400l（市販分解菌を加えて撹拌後1週間放置したもの）乾燥鶏フン
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℃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図のように切返しを行なわなくても、中心部では70℃以上が
15日間、65℃以上が12日間、50℃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、鶏フンだけを除いて同様の積み込みを
行なったところ、一応70℃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フン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

ワラ堆肥と腐材堆肥の分解状態の大きな違いは、ワラの場合は、60℃以上の高温発酵が続けば、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、腐材の場合は高温でわずかに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℃）や常温（30℃）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、腐材堆肥では、一応発酵発熱が完了したあとの、後熟のいかなが、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腐材では、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：腐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腐材堆肥の成分分析の結果ならびに比較のために、生の腐材の成分を表示しますと第2表のようであります。生の腐材は酸性が強く、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。でき上がった堆肥の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腐材および腐材堆肥の分析値（乾物値）

種 類	項目 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 40.6 製造例A : C 44.2% ; N 0.75% ; C/N 5.9
同 上 堆 肥	6.50	0.75	0.96	0.87	
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	製造例B
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	

いま製造例A（ラワンオガ屑堆肥）の腐材堆肥について、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60なので、これをチッ素飢餓を起さない理想の炭素率20に補整して、10アール当り湿った状態のもの2トン（絶乾物で1トン）を施す場合には、計算式は省略しますが、約15kgのチッ素、すなわち硫酸にして75kgを堆肥に加えることが必要となります。しかし腐材中の炭素のかなりのは、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が、したがって、製造例Aによってつくった堆肥1トン（水分55パーセント内外のもの）を施す場合は、約15から20kgぐらいの硫酸を加えて施します。

また腐材堆肥の製造費は、原材料のいかな、入手の難易などで異なることはもちろんであります。オガ屑堆肥とワラ堆肥の製造費の1例をあけてみますと第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 鶏 フ ン	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であります。

50km	4,800円
100 "	11,200円
150 "	16,000円
200 "	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。多量を土中に鋤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30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. 持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. 一般的の施与方法、ならびに施用量を示しますと、土壌の性質に応じて10アール当り500〜3,000kgを地表10〜30cmの層に鋤きこむか、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トン程度を鋤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. 林業用苗木の堆肥

営林署、県営の苗木では、すでに毎年100トン以上を製造して、堆肥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のため、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. 野菜、草花類の堆肥

普通10アール当り1,000〜2,000kg、地表に鋤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アール当り約2トン（絶乾で1トン）施用して、いずれもこれまでの堆肥肥に優るとも劣らない結果が得られています。水田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アール当り2トンの鋤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. 葉たばこの肥土

専売公社では、この数年落葉堆肥にかわる葉たばこの肥土として、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、親床の肥土として、落葉堆肥に優る成績をあげています。また最近本畑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腐材堆肥を用いると、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廻しの際に用いてよい効果をあげています。また銘木、老木の樹勢回復に腐材堆肥を大量マルチングしますと、土壌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土

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帯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、鶏フンを添加した腐材堆肥は、モリシマアカシア、ハウセンカの根こぶ線虫、コンニャ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、鶏フンに由来する比較的耐熱性の大型自由線虫（*Rhabditis* 属）が腐材堆肥中で増殖し、土壌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。

腐材堆肥を病害線虫防除の目的で用いる際には、

- (1) 腐材に10～15パーセント重の乾燥鶏フンを添加して製造し、でき上が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壌を一度殺線虫剤で殺した後、腐材堆肥を勤きこむか、少なくとも播種あるいは苗の移植、1～2カ月前に堆肥を勤きこんでおくこと（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、腐材堆肥は、病菌害の発生を防止する力がつよ

く、苗木、野菜などの炭疽病、立枯病、萎凋病、ツルワレ病、紋羽病とくにタバコやコンニャクの白絹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成分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、鶏フン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℃以上の高温をせしめ、それより表層に近づくにしたがって連続的に低下し、表層部で常温に近い温度分布をせしめた。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フローラも変遷するであろうし、それによって木材組成成分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成分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、各組成成分の分解低分子化と平行して進行する腐植化の状態と、それとともなう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、一応混入した稲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。稲わらの場合は、好熱性セルロース分解菌の作用による（60℃以上の高温発酵）堆肥化が極めてよい結果をせしめるところから、木質材を原料とした場合もとにかく温度上昇に重点をおいた堆肥化が進められ、最高温度と高温継続日数をもって堆肥化の尺度としている傾向もみられる。木質材と稲わらとは構成成分や結合状態が根本的に異なっており、稲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現在までのところ多くの研究者の認めることである。

つぎにこれまで簡便な方法として手ざわり、色調、に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。堆肥化が進むにしたがっ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法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、消石灰や石灰ナツソ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用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稲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。

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

木質腐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成分の変化

第2報 堆肥の熟成度について

佐 藤 俊・植 村 誠 次

A 木材組成成分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フン3.5%添加、いずれも粉砕して30~60メッシュ部分を使用した。水分状態55%前後に保ち、最初のPHを6.85とした。温度条件は常温(30℃)、中温(45℃)、高温(60℃)の3段階として80日間発酵をおこなった。

実験結果

冷水、熱水および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、熱水、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、鶏フン等に含まれる可溶性の糖類が微生物の増殖発育にともな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

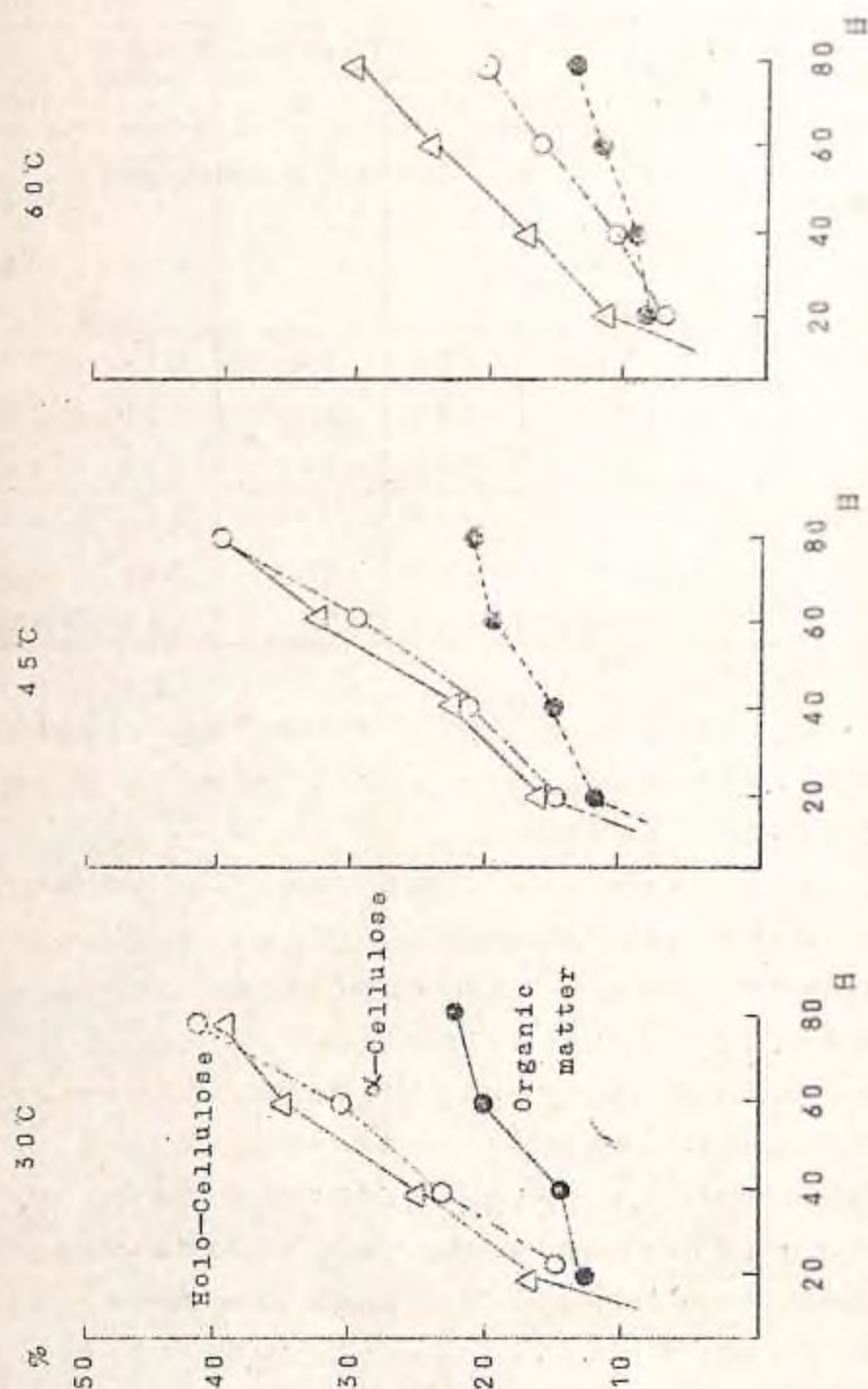
第4表 発酵経過とともにリグニン含量の変化と元素組成

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℃40日発酵	27.8				16.17
45℃ "	27.2				16.23
60℃ "	28.4				15.33
30℃60日発酵	28.0	62.73	5.30	0.72	16.23
45℃ "	27.2	63.85	5.14	0.82	14.59
60℃ "	28.1	62.80	5.69	0.64	15.16
30℃80日発酵	27.1	62.36	5.69	0.48	14.20
45℃ "	26.0	61.20	5.23	0.59	13.90
60℃ "	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℃ステージが最も分解率が大きく次に30℃であり、60℃が最も小さい。

稲わら分解との比較：稲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℃>45℃>30℃の順であった。これに比べて木質材の場合は45℃が最もよく、45℃>30℃>60℃の順で、高温分解が最も



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%)

発酵温度 発酵日数	稲 わ ら		ラ ワ ン オ ガ 屑	
	15日	30日	40日	80日
30℃	19.0	27.0	16.4	23.0
45℃	28.0	35.0	17.6	26.6
60℃	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日間でもわずかに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ア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℃

第6表 堆肥1gあたりの菌数(発酵30日目)

発酵温度	種 類	菌 数	備 考
60℃	放 線 菌	9×10^5	稀釈平板法45℃5日間培養
	細 菌	5.4×10^{10}	稀釈傾度法60℃ "
45℃	放 線 菌	6.0×10^5	稀釈平板法45℃5日間培養
	細 菌	1.04×10^5	" "
	糸 状 菌	1×10^5	" "
30℃	放 線 菌	5.0×10^5	稀釈平板法30℃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℃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℃ステージでは放線菌、細菌類は45℃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℃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℃、30℃の場合には比較的種類も多く、簡単なセルロース分解力試験の結果ではあるが、50℃で糸状菌2種類、45℃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稲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には、有効な接種菌体源として鶏フン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、分解にともなうて変遷する微生物フロ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、土壌理化学性の改善や塩基置換能および緩衝能の増大による土壌改良効果、植物に対する生長促進効果、あるいは土壌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飢餓の問題や、未熟な木質堆肥の施用ともなう未分解有機物の状態に応じた土壌伝染病発生の可能性など未解決の問題が多い。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、ちぎりがけ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易な方法を試みたが、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、堆肥化にともなうて変化していく性質

をとらえながら、熟成度をあらわす適当な性質と判定の簡易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ほか各地で実際に堆積製造したノコ屑堆肥を用いた。

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ス、α-セルロース、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。しかし一般に変化は小さく、60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う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しめす。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

(対乾物%)

発酵温度		20日	40日	60日	80日
30℃	C %	47.6	47.3	43.5	44.8
	N %	0.77	0.78	0.73	0.88
	C-N	61.8	60.6	59.6	50.9
45℃	C %	46.7	47.7	44.1	44.2
	N %	0.74	0.85	0.76	0.86
	C-N	63.1	54.9	58.0	51.4
60℃	C %	47.2	47.3	44.7	45.6
	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

(対絶乾%)

堆肥	C%	N%	C-N	材料および堆積期間
A	43.1	1.5	28	ラワンオガ屑, ワラ, 鶏フン, 米ヌカ, 硫酸, 3カ月間
B	45.7	0.7	65	ラワンオガ屑, 鶏フン, 米ヌカ, 発酵材, 3カ月間
C	45.2	0.8	57	スギオガ屑, ワラ, 鶏フン, 米ヌカ, 1年間
D	40.5	2.6	16	ラワンオガ屑, ワラ, 鶏フン, 米ヌカ, 硫酸, 10カ月間
E	44.2	1.0	44	ラワンオガ屑, 鶏フン, 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44%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為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, Δlog Kは400mμと600mμの吸光度の差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Δlog Kは減少傾向がみられるが, 一般に土壌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 ⁵⁰	P Q	R F ¹⁰⁰	Δlog K ¹⁰⁰
30℃20日	4.3	5.1	51.3	6.7	0.99
45℃ "	2.3	2.5	54.3	9.2	0.98
60℃ "	1.9	1.7	52.4	8.3	0.95
30℃60日	8.9	7.5	56.1	10.7	0.68
45℃ "	7.4	7.9	57.6	12.1	0.68
60℃ "	4.9	5.4	48.9	10.1	0.66
30℃80日	6.9	6.2	55.7	10.7	0.60
45℃ "	6.2	6.4	52.2	13.0	0.63
60℃ "	5.8	5.0	42.9	10.6	0.86
堆肥 A	9.5	5.1	70.3	9.5	1.42
" B	10.5	5.0	64.2	6.9	0.90
" C	20.4	7.0	72.2	7.5	0.97
" D	8.4	7.6	69.8	11.1	1.03

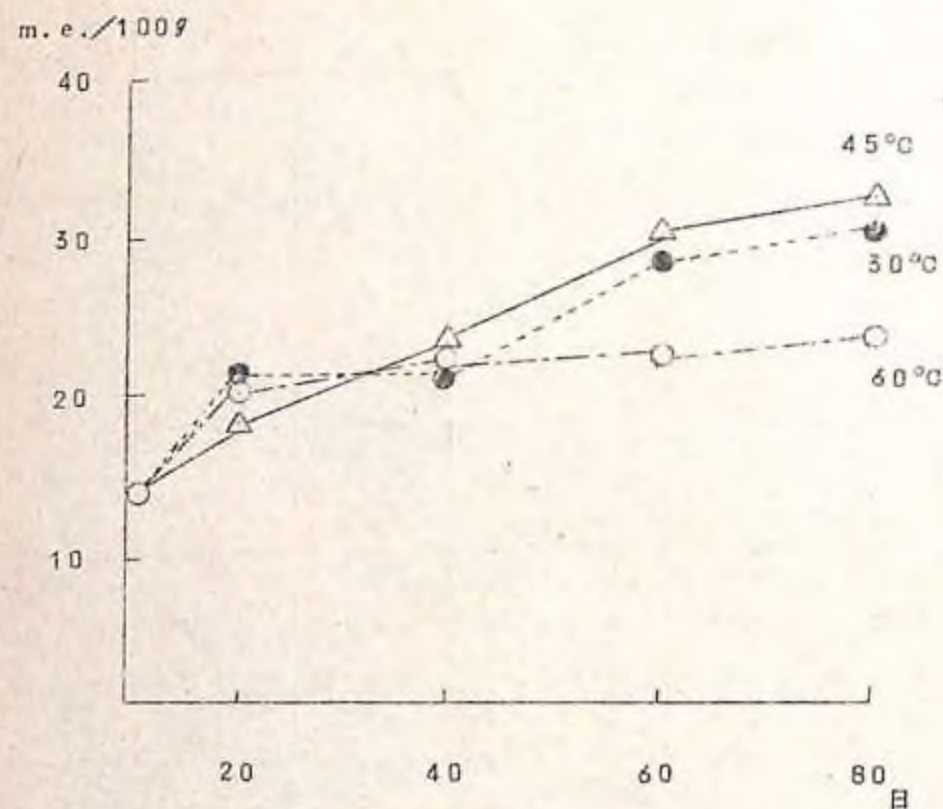
※ 全炭素に対する%

※※ 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, Δlog 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成分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壌腐植酸とは異なった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図に経時的变化をしめた。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.の増加傾向がみとめられる。温度別では45℃>30℃>60℃の順で45℃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成分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。

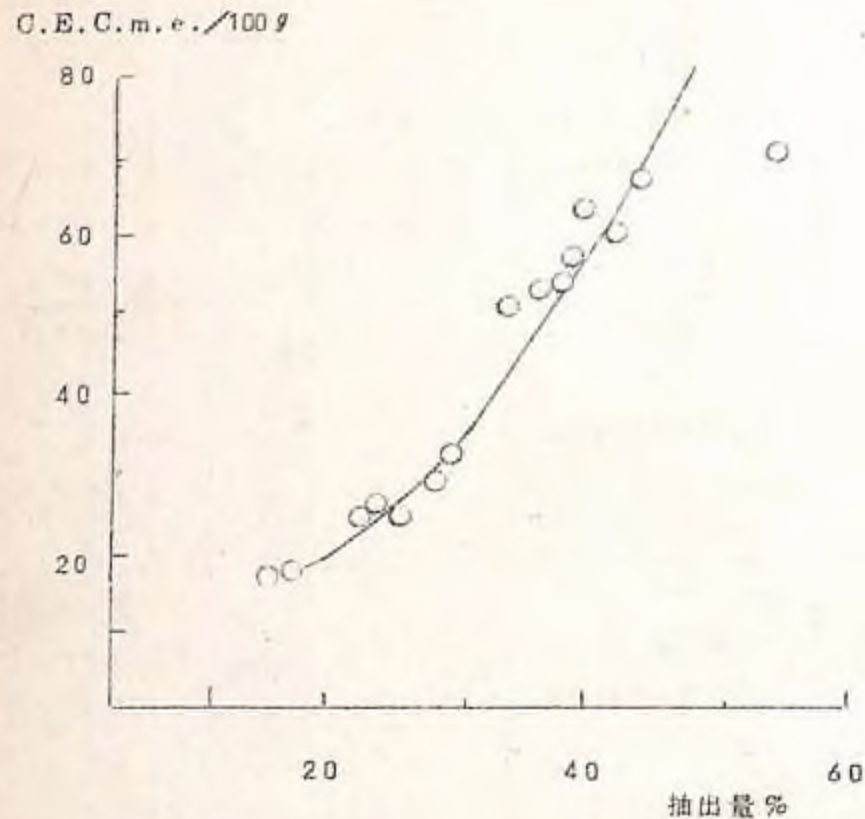
熱水および稀NaOH溶液による抽出量とC.E.C.の関係：堆肥中のC.E.C.に關与する諸成分を大別する方法として、熱水および0.5%、1.0%、5.0%各濃度のNaOH溶液による抽出をおこない、抽出量と残渣物のC.E.C.との関係から分解腐植過

第10表 熱水および稀NaOH溶液による抽出量と抽出残渣のC.E.C.

試料	抽出条件	抽出量%	残渣のC.E.C. m.e.
30℃80日間 発酵	未抽出	0	(33.7)
	熱水抽出	6.1	32.7
	0.5% NaOH溶液	19.0	32.0
	1.0% "	19.3	32.5
	5.0% "	29.5	22.0
45℃80日間 発酵	未抽出	0	(34.4)
	熱水抽出	6.0	32.7
	0.5% NaOH溶液	20.6	33.0
	1.0% "	20.8	32.7
	5.0% "	31.0	26.0
60℃80日間 発酵	未抽出	0	(28.0)
	熱水抽出	3.5	27.5
	0.5% NaOH溶液	12.5	26.5
	1.0% "	13.0	26.8
	5.0% "	18.9	13.5
堆肥 A	未抽出	0	(72.0)
	熱水抽出	8.8	60.5
	0.5% NaOH溶液	26.3	54.5
	1.0% "	26.9	51.4
	5.0% "	49.5	48.4
堆肥 B	未抽出	0	(70.3)
	熱水抽出	8.9	46.3
	0.5% NaOH溶液	25.2	31.4
	1.0% "	28.6	30.7
	5.0% "	42.9	30.3

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



程の段階を知ろうとした(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。

以上を包括すると、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悪く、安定な腐植酸の形成にいたるまでには、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ち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る、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. この問題点

腐材の堆肥化は、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、広葉樹パ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(主に鶏フン、米ヌカ)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、また化学的組成成分でも著しく性質をことにする外材パーク(南洋材、米材、北洋材)の堆肥化の要望が強く打出されており、これらのパークの堆肥化には、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、分解困難な外材パ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。

また腐材堆肥は、最近農地および園芸分野で非常に注目され、その需要も急速に増大しよ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腐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。