■ 研究論文

堆肥添加と頻繁な切り返しによる剪定枝葉の堆肥化特性

The characteristics of composting of plant waste from pruning using addition of compost and frequently airing

高橋 輝昌* 米田 伸吾** 石井 匡志*** 荻野 淳司***

Terumasa TAKAHASHI Shingo MAITA Masashi ISHII Junji OGINO

Abstract : We investigated the changes in chemical and biological characteristics of composting of plant waste from pruning to obtain the fundamental knowledge for planning objective decision of composting stage. The composting was carried out using addition of compost as submaterial and frequently airing. The composting process was divided into three stages. In the first stage, increasing of humus concentration, decreasing of easily decomposable organic matter, increase and decrease of microbial activity and losing inhibition of germination were founded. In the second stage, increasing nitrogen concentration and exchangeable bases and increase and decrease of microbial activity were founded. In the third stage, slight decreasing of exchangeable bases were founded. Therefore, humus concentration were available for the index of end of the first stage. It is possible that microbial activity was available for the objective index of composting stage by combining with humus concentration or period of time of composting.

Keywords: *plant waste from pruning, wood chip, compost, composting, recycle of plant waste*

キーワード: 剪定枝葉, チップ材, 堆肥, 堆肥化, 植物廃材のリサイクル

1. はじめに

資源の有効利用や廃棄物の減量・再資源化をすすめる観点から、緑地の管理作業で生じる剪定枝葉の有効利用—緑のリサイクル—が求められている。緑のリサイクルは、植物由来の有機物を土壤に還元し、土壤生物に分解・無機化させ、生じた無機物を植物に吸収させる物質循環系を形成させることでもある。また、有機物の施用によって、土壤の有機物含有量が増加し、保肥力の増大や土壤生物の増加など土壤の化学的・生物学的性質の改善が期待される。緑のリサイクル技術の一つとして、粉碎した剪定枝葉の堆肥化が行われている。

一般に、堆肥を土壤に施用することで、土壤の理化学的性質が改善される。しかし、施用する堆肥が未熟であった場合には、未分解の有機物に含まれる生育阻害物質や、有機物を分解する微生物が引き起こす土壤中の無機態窒素の有機化（窒素飢餓）などにより、植栽された植物の生育は不良となる。したがって、堆肥をつくる際には、堆肥化が十分に進んでいることを判定（堆肥化判定）する必要がある。堆肥化判定の基準を検討する上で、堆肥化特性の解明が必要である。

これまでの多くの有機物の堆肥化特性は、草本植物遺体（家畜糞や農業で発生する稲藁など）を主原料とした農業用資材として明らかにされてきた。しかし、木質系有機物の堆肥化特性については調査例が少なく^{6, 8, 13, 16)}、十分には解明されていない。

現在、堆肥化判定の多くは堆肥の色、におい、手触りなどの感覚による主観的な判定基準によって行われている。このため、堆肥の品質にばらつきが生じやすい。

客観的に堆肥化の程度を判断するための基準として古くからC/N（全炭素濃度/全窒素濃度）比、植物の発芽率などが用いられてきた¹⁾。また、近年では堆肥の酸素消費量を指標とした堆肥化判定法^{2, 7, 11)}や、堆肥からの二酸化炭素発生速度を指標とした堆肥化判定法^{5, 9, 12)}も開発されている。しかし、これらの科学的な堆肥化判定法は、時間、煩雑な操作、高価な機材などを必要と

するため、堆肥化の現場では用いられにくい。このため、堆肥化現場での堆肥化判定に科学的手法を導入するための、判定法の簡便化が求められている。

そこで本研究では、簡易に測定を行うことができ、高価な機材や専門的知識・技術をあまり必要としないFDA加水分解活性法³⁾を用いた微生物活性とアルカリ溶媒による抽出による腐植濃度¹⁰⁾から、堆肥化の程度を判定する方法の有効性についても、従来の堆肥化判定法と比較しながら検討した。

2. 材料と方法

(1) 材料

供試試料には、江東区潮見運動公園において、アゴラ造園(株)が堆肥添加法⁹⁾により製造している堆肥を用いた。堆肥添加法とは、堆肥の主原料となる剪定枝葉由来のチップ材に、副資材として剪定枝葉由来の堆肥のみを体積比で30%混合し、切り返しを行いながら堆肥化させる方法である。

2005年8月8日から9月10日にかけて、江東区にある潮見運動公園内の屋外堆肥ヤードにおいて堆肥化作業が行われた。堆肥の主原料は冬季剪定で生じ、堆肥化まで堆積されていた落葉高木の剪定枝葉である。この期間には、数日おきに計6回の切り返しが行われた。9月10日以降は、9月末と11月上旬に切り返しが行われたほかは、ヤードに堆積された。堆肥への灌水は堆肥化開始日の8月8日にもみ含水率が70%程度となるように行われた。

堆肥化開始時、切り返しの直後、および9月10日以降12月22日までほぼ1週間毎に、堆積した堆肥の表面から30cm程度掘り下げたところで試料を採取した。

(2) 測定項目

微生物活性の測定と幼植物栽培試験には乾燥させない（採取時含水率のままの）試料を用い、測定まで多くの微生物の活動が行われなくなる5℃以下の冷蔵庫で保存し、採取後1週間以内に測定に供した。腐植、炭素・窒素濃度、交換性塩基濃度、陽イオン

*千葉大学大学院園芸学研究科 **雪印種苗(株) (前 千葉大学園芸学部) ***アゴラ造園株式会社

交換容量（CEC）の測定には、80℃の乾燥機で3日間乾燥させ、5mm メッシュの篩をとおして大きな木片を取り除いた試料を用いた。

微生物活性をFDA 加水分解活性法³⁾により、炭素・窒素濃度をCN コーダー法により、交換性塩基（K, Ca, Mg, Na）濃度をセミマイクロ・ショーレンベルガー法により、CEC をセミマイクロ・ショーレンベルガー法による抽出後、インドフェノール青法¹⁾により測定した。

腐植の測定には鈴木・熊田¹⁴⁾の方法を一部改変した以下の方法を用いた。100mL 容三角フラスコに試料 0.5g とアルカリ溶媒（0.5M 水酸化ナトリウム水溶液と 0.1N ピロリン酸ナトリウム水溶液を 1:1 で混合したもの）を 50mL 入れ、35℃に保った恒温槽内で3分間振とうした後、90分間（原法では15分間）静置した。その後、フラスコ内の溶液を濾過し、濾液の波長 600nm での吸光度を測定し、腐植含有量の指標とした。

幼植物栽培試験では直径 9cm、深さ 9.6cm のポットを用い、赤土 150g と堆肥 150g を混合させたものを充填した上に、コマツナの種子 25 粒を発芽試験用濾紙（富士平工業㈱製、水溶性種ピタ！）を用いて 5×5 粒に並ぶように播種し、25℃の恒温機内で常時蛍光灯で照射しながら栽培した。播種後 21 日目の発芽率、草丈、乾燥重量、葉の SPAD 値（ミノルタ SPAD-502）¹⁵⁾ を測定した。栽培中にはポット内の土壌と堆肥が栽培開始時の水分量を保つように、適宜水分を添加した。

いずれの項目についても 5mm メッシュのフルイを通したものを測定対象とし、3 反復で測定を行い、平均値を求めた。

3. 結果と考察

(1) 堆肥の化学的性質

炭素濃度、窒素濃度、C/N 比の経時変化を図-1 に示す。炭素濃度は 8 月 8 日の堆肥化開始（およそ 400g kg⁻¹）から 9 月下旬まで徐々に低下し、その後、およそ 350g kg⁻¹ 程度で推移した。窒素濃度は堆肥化開始から 10 月上旬までは、およそ 15g kg⁻¹ であり変化せず、10 月上旬から下旬にかけて、およそ 20g kg⁻¹ に増加した。窒素濃度が増加する原因としては、炭素が無機化され、二酸化炭素として大気中に放出されることによる相対的な増加と、窒素固定菌による窒素固定の影響が挙げられる。

図-1 堆肥の炭素濃度、窒素濃度、C/N 比の経時変化
網掛け部分は切り返しを行った期間を示す。

本研究では、炭素濃度の減少と窒素濃度の増加が別の時期に起きていることから、窒素固定菌による窒素固定の影響が大きいと考えられる。石井ら⁶⁾も堆肥添加法による剪定枝葉の堆肥化で、窒素固定菌による窒素固定の可能性を述べている。これらの結果から、C/N 比は堆肥化開始時に 25 程度であったが、10 月に減少し、10 月下旬以降には 15 程度で推移した。

腐植と CEC を図-2 に示す。腐植と CEC は堆肥化開始時から 9 月下旬にかけて増加し、その後、ほぼ一定の値を保った。CEC や腐植の増加する時期と炭素濃度の減少する時期（図-1）が一致することから、腐植の増加が炭素濃度の減少、すなわち有機物分解初期に消費される易分解性有機物の分解を指標していると考えられる。土壌中の腐植物質の CEC が高く、腐植含有量の多い土壌で CEC が高いことはよく知られている¹⁰⁾。木質系の堆肥においても、腐植と CEC が同様の傾向を示すことから、腐植は CEC の指標となることが示された。

交換性塩基濃度を図-3 に示す。交換性塩基濃度は堆肥化開始時から 10 月下旬にかけておよそ 2 倍に増加し、10 月下旬以降、やや減少した。交換性塩基の内訳を見ると、Ca がおよそ 6 割、Mg と K がそれぞれ 2 割、Na がごくわずかであった。濃度変化はいずれの元素もほぼ同様であった。塩基飽和度 [(交換性塩基合計/CEC) × 100, %] が終始 300~450% であることから（図-4）、堆肥化の過程では常に交換性塩基は降雨により流亡しやすい状態にある。野外の堆肥ヤードでは、堆肥化初期から交換性塩基が流亡していることが推察される。堆肥化が進行し、交換性塩基の生成速度が減少してくると、交換性塩基の流出量が生成量を上回るようになり、堆肥中の交換性塩基が減少傾向を示すようになったと考えられる。

(2) 堆肥の生物学的性質（微生物活性）

微生物活性を図-5 に示す。微生物活性は堆肥化開始後 9 月上旬にかけて増加し、その後、9 月下旬にかけて減少した。この時期は、（易分解性の）炭素濃度も減少することから、易分解性有機物を利用する微生物の活性の変化を反映したものであると考えられる。微生物活性は 10 月上旬に再び増加し、10 月下旬にかけて減少した。この時期には窒素濃度の増加する時期と一致するので、窒素濃度の増加による微生物の増殖を反映したものであると推察される。10 月下旬以降、微生物活性はほぼ一定の値で推移

図-2 堆肥の腐植と CEC の経時変化
網掛け部分は切り返しを行った期間を示す。

した。

微生物活性が変動する要因としては、分解（堆肥化）に伴う有機物の質的变化も考えられる。すなわち、堆肥化初期に微生物によって易分解性有機物が急激に消費された後、難分解性の有機物が分解され、その結果、難分解性有機物に覆われていた易分解性有機物が急激に分解されたと考えられる。

このほかにも、本研究では測定されていない温度や水分量の変動が微生物の組成や活性に影響していることも考えられ、今後の検討が必要である。

（３）幼植物栽培試験

幼植物栽培試験の結果を図－６に示す。コマツナの発芽率は、堆肥化開始時には70％程度であったが、2週間後にはほぼ100％になり、その後もほぼ100％で推移した。葉のSPAD値は9月中旬から10月下旬まで増加したが、それ以降、ほとんど変化しなかった。1個体あたりの乾燥重量は堆肥化開始時から9月下旬まで増加し、それ以降、あまり変化しなかった。草丈は乾燥重量

図－３ 堆肥の交換性塩基濃度の経時変化
網掛け部分は切り返しを行った期間を示す。

図－４ 堆肥の塩基飽和度の経時変化
網掛け部分は切り返しを行った期間を示す。

の増加が止まった10月上旬から下旬にかけて増加した。これらのコマツナの生育の変化は、フェノールなど発芽・生育阻害物質の減少や堆肥化の進行に伴う可給態養分の供給量の変化によると思われる。交換性塩基や窒素の濃度に増減が起きなくなる10月下旬以降には、生育特性に変化が見られなくなった。

４．まとめ

測定結果から、堆肥化の過程は表－１に示すような３段階に分けられた。

第１段階（堆肥化開始時から8週間程度）では、易分解性有機物の分解とそれに伴う微生物活性の増減、炭素濃度の減少、腐植、CEC、交換性塩基濃度の増加が見られる。また、発芽阻害物質が消失する。

第２段階（堆肥化開始後8週間～12週間程度）では、窒素濃度の増加とそれに伴う微生物活性の増減、交換性塩基濃度の増加が起きる。

図－５ 堆肥の微生物活性の経時変化
網掛け部分は切り返しを行った期間を示す。

図－６ 堆肥による幼植物栽培試験の結果
網掛け部分は切り返しを行った期間を示す。

表－１ 堆肥化に伴う各測定項目の変化

測定項目	堆肥化段階			
		第１段階	第２段階	第３段階
堆肥の化学的性質	炭素濃度	減少	変化なし	変化なし
	窒素濃度	変化なし	増加	変化なし
	C/N 比	変化なし	減少	変化なし
	CEC	増加	変化なし	変化なし
	交換性塩基濃度	増加	増加	減少
	腐植	増加	変化なし	変化なし
堆肥の生物学的性質	微生物活性	増加後、減少	増加後、減少	変化なし
幼植物栽培試験 (コマツナ)	発芽率	増加	変化なし	変化なし
	SPAD 値	変化なし	増加	変化なし
	乾燥重量	増加	変化なし	変化なし
	草丈	変化なし	増加	変化なし

第３段階（堆肥化開始後 12 週間以降）では、交換性塩基濃度の減少が起き、その他の性質には変化が見られなくなる。植物の生育にも変化が見られなくなる。

堆肥化完了の時期としては堆肥の使用目的に応じて、第１段階終了時と第２段階終了時が挙げられる。従来の堆肥化判定に用いられている測定項目と、簡易な堆肥化判定基準として測定した腐植と微生物活性を比較したところ、腐植は第１段階終了時の指標となりうる。微生物活性は第１段階と第２段階に同様の増減をするため、第１段階と第２段階のいずれかを見分けるために他の指標と併せて堆肥化判定に用いる必要がある。

本研究は、日本みどり環境リサイクル協会の助成を受けて行われた。記して感謝の意を表する。

引用文献

- 道路緑化保全協会（1998）：植物発生材堆肥化の手引き：丸善，73pp
- 古谷 修・古川智子・伊藤 稔（2003）：堆肥化過程における堆肥品温と堆肥腐熟度判定のための酸素消費量との関係：日本土壤肥科学雑誌 74，645-648
- 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明（2001）：FDA（Fluorescein Diacetate）加水分解活性法による森林土壌の微生物活性の測定：日本緑化工学会誌 26，337-342
- 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明（2002）：インドフェノール青法によるアンモニア態窒素の簡易測定法の検討：日本緑化工学会誌 27，623-626
- 井上健一・桑代涼子（2007）：ガス検知管を用いた家畜糞堆肥中易分解性有機物量の推定法：日本土壤肥科学雑誌 78，93-96
- 石井匡志・高橋輝昌・荻野淳司・原 和久（2004）：堆肥混入と頻繁な切り返しによる剪定枝の堆肥化促進法の検討：日本緑化工学会誌 30，320-323
- 柏村 崇・山口武則・小柳 渉・渡辺健吾・生雲晴久（2003）：メチレンブルーによる家畜糞堆肥腐熟度判定法の簡易評価法：日本土壤肥科学雑誌 74，191-194
- 今野一男・今井義孝・東田修司（1988）：パーク堆肥の腐熟度指標と畑地への施用法：日本土壤肥科学雑誌 59，621-625
- 熊谷千冬・齋藤公夫・畑中 篤・瀧 典明・三枝正彦（2005）：二酸化炭素放出速度を基にした家畜糞堆肥の簡易腐熟度判定法：日本土壤肥科学雑誌 76，435-440
- 久馬一剛・小崎 隆・井上克弘・木村真人・和田信一郎・波多野隆介・有光一登・金野隆光・若月利之・三枝正彦・松本聡（1984）：新土壌学：朝倉書店，271pp
- 間藤 徹・沢田こずえ・藤井孝夫（2002）：呼吸測定による堆肥腐熟度の判定：日本土壤肥科学雑誌 73，427-431
- 松田 晃・渡辺 亮・落合久美子・間藤 徹（2006）：京都市近郊で市販されている堆肥・有機質資材の二酸化炭素発生速度に基づく品質評価の試み：日本土壤肥科学雑誌 77，387-393
- 坂本 清・青山正和（2004）：リンゴ剪定枝の堆肥化においてチップ粒径が腐熟に及ぼす影響：日本土壤肥科学雑誌 75，583-591
- 鈴木正昭・熊田恭一（1973）：腐植の簡易定量法に関する一考察：日本土壤肥科学雑誌 44，144-145
- 只木良也・木下真実子（1988）：葉緑素計 SPAD-501 を用いて測定した樹木の葉のクロロフィル濃度：日本林学会誌 70，488-490
- 高橋輝昌・吉田 亮・井上政義・小柳倫生・金田健吾・中野裕司（2006）：副資材に下水汚泥コンポストを用いた木材チップの堆肥化特性：日本緑化工学会誌 32，50-55.
(2007.9.27 受付，2008.8.9 受理)