

バ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

今野 一男 * 平井 義孝 ** 東田 修司 ***

バーク堆肥の pH, EC, 水溶性フェノールは、堆積当初、発熱発酵に伴って急激に高まったが、腐熟が進むと次第に低下し、ほぼ一定水準となった。C/N 比は堆積過程での炭水化物の分解程度に比例して低下した。炭水化物の分解は樹種や窒素源としての副原料によって著しく相違し、広葉樹 > 針葉樹、家畜糞尿 > 化学肥料の順に大きかった。無機態窒素は堆積直後大部分が有機態窒素に変化した。有機態窒素の組成では、酸可溶非留出性画分の低下と酸不溶性画分の増加が認められた。作物の発芽、初期生育に対する障害は pH, EC, 水溶性フェノールと、窒素吸収抑制は C/N 比、還元糖態炭素/全窒素比、還元糖割合と密接な関係を示した。これらの結果から、バーク堆肥の腐熟度指標を次のように設定した。pH : 6.5~7.5, EC : 3 mmho/cm 以下, 水溶性フェノール : 2 mM 以下, C/N 比 : 25以下 (広葉樹), 35以下 (針葉樹), 還元糖態炭素/全窒素比 : 6 以下 (広葉樹), 10以下 (針葉樹), 還元糖割合 : 20%以下 (広葉樹), 30%以下 (針葉樹)

I 緒 言

北海道の畑作専業地帯では農業の機械化や大規模化が進むにつれて堆肥の生産が減少し、地力の低下が懸念されている。このような有機物資材の不足を補うものとして、樹皮、のこ屑、端材などの林産廃棄物を堆肥化し、農業に利用することが近年進められており、その効果が期待されている。

しかし、これらの木質物は従来の堆肥用原料である草本類と比較すると、難分解性の有機成分が多く、C/N 比も著しく高い。また、樹種によっては植物生育に対する阻害物質を含むものもある。このため、堆肥化において腐熟が緩慢であり、かつ未熟なものを使用すると発芽、初期生育の抑制や窒素飢餓などの生育障害を起す危険が大きい。したがって、バーク堆肥の畑地への施用に際して

は腐熟度判定が重要問題となっている。

一方、各地で作られているバーク堆肥は原料となる樹種や添加物が多種多様であり、稲わら堆肥のように外観による腐熟度判定は困難な場合が多い。このため、化学的分析による腐熟度判定法の確立が望まれている。近年、河田¹⁰⁾は化学的分析と幼植物テストにもとづいてバーク堆肥の統一品質基準を設定した。しかし、この中には樹種や添加物の混合割合などによって大きく変動するものも含まれており、木質物の腐熟度を表現するものとしてはまだ問題が残されている⁷⁾。

このような中で、著者らはバーク堆肥の腐熟化に伴う化学成分変化を樹種および添加物の種類別に調査し、併せてこれらの化学成分と作物生育との関係を検討した。その結果、バーク堆肥の腐熟度判定に有効と考えられる幾らかの指標とその目標値が得られたので報告する。

II 試験方法

1. 堆積試験

試験 I : 原料として針葉樹、広葉樹の樹皮 (木質部も一部含む) を供試し、各樹皮 1 t 当たり鶏糞 143kg (N 5 kg) + 尿素 10.9kg (N 5 kg) を添加し、C/N 比を約 40 に調整した。堆積規模は針葉樹

1984年9月7日受理

* 北海道立北見農業試験場, 099-14 常呂郡訓子府町

** 同上 (現北海道立中央農業試験場, 069-13 夕張郡長沼町)

*** 同上 (現北海道立天北農業試験場, 098-57 枝幸郡浜頓別町)

1.8t, 広葉樹 1 t とし, 1981年 6 月15日に積込んだ。切り返しは発熱発酵の推移をみながら適時実施した。試料は堆積中心部から採取し, 化学的分析および作物反応調査に供した。

試験Ⅱ: 針葉樹 (エゾマツ・トドマツの混合樹皮) を供試し, 樹皮 1 t 当たり窒素源として①鶏糞 286kg, ②尿素 21.8kg, ③鶏糞 143kg + 尿素 10.9kg をそれぞれ添加した。これらはいずれも窒素 10kg に相当する。堆積規模は 3 t とし, 1979年 7 月13日に積込んだ。切り返しは試験Ⅰと同様である。

2. 作物反応調査

シャーレ試験: バーク堆肥の水抽出液 (1 : 5 乾物換算) をシャーレに入れ, 直ちに二十日ダイコンを播種し, 発芽, 根の生育に対する障害の程度を調査した。

植木鉢試験: 素焼鉢 (直径15cm) に北見農試下層土 (腐植に乏しい壤土) とバーク堆肥の等量混合物を充填し, 二十日ダイコンを播種した。肥料は S182 0.5g/鉢施用し, 主に発芽, 初期生育を調査した。

ポット試験: 1/5000a のワグネルポットにバーク堆肥 2% (乾物重比) 添加した北見農試下層土を充填し, エンバクを播種した。肥料はポット当たり N, P_2O_5 , K_2O 各 0.5g, MgO 0.25g を硫酸, 過石, 硫酸, 硫酸で施用し, 出穂期の乾物重と窒素吸収量を調査した。

3. バーク堆肥の分解と施肥窒素の有機化に関する調査

土壌に対しバーク堆肥 2% (乾物重比) と硫酸 25mgN/乾土100g 添加し, 水分を最大容水量の 60% に保ち, 30°C で 20~30 日間培養した。経時的に炭酸ガス発生量と無機態窒素を測定し, 差引き法により炭酸ガス放出率 (放出 CO_2 -C/T-C×100) と窒素有機化量 (mg/T-C・g) を算出した。

4. 分析方法

pH, EC, 水溶性フェノール: 新鮮試料を室温で 1 昼夜水抽出 (1 : 5 乾物換算) し, pH, EC は常法により, フェノール性物質は Folim-Demis 法²⁾ に準じて測定した。水溶性フェノールは抽出液の濃度 (mM) で示した。

全炭素: CN コーダー法

全窒素: ケルダール法

有機成分: 微粉砕した風乾試料に 0.7N 塩酸を加え, 2.5 時間煮沸してから濾過した。乾燥させた

残渣に 72% 硫酸を加え, 20°C で 4 時間放置した後, 蒸留水を加えて 0.78N 硫酸とし, 4 時間煮沸した。0.7N 塩酸可溶物および 72% 硫酸可溶物中の還元糖を Somogyi 法により定量し, それぞれ可溶性炭水化物およびセルロース含量とした。また, これらの合計量から井ノ子³⁾の方法に従って還元糖割合を算出した。リグニンは 72% 硫酸不溶物を灰化させ, その重量減から求めた。

窒素の形態: 無機態窒素は 1 N 塩化カリウム溶液で浸出し, 微量拡散分析法により測定した。有機態窒素の分画定量は Stewart ら⁴⁾の方法に準じた。72% 硫酸不溶性窒素は前述の 72% 硫酸不溶物中の窒素をケルダール法により測定した。

III 試験結果

1. 針葉樹・広葉樹バーク堆肥の腐熟化に伴う化学成分変化

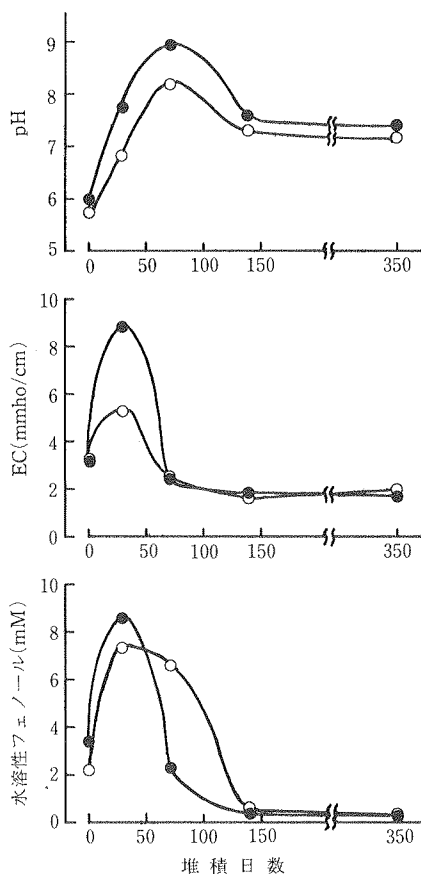


図1 堆積過程でのpH, ECおよび水溶性フェノールの変化

○——○ 針葉樹 ●——● 広葉樹

本試験では、窒素源として鶏糞＋尿素を添加し、C/N 比を約40に調整して堆積した針葉樹および広葉樹パーク堆肥の化学成分変化を比較検討した。両樹種とも堆積後の温度推移には大きな差異が認められず、いずれも最初の2ヶ月間は60～70℃の高温発酵が続き、その後の2ヶ月間は50℃前後で推移した。また、冬期間は一時凍結状態となったが、翌年夏には再び40～45℃まで上昇した。

このような発酵、腐熟過程を示す両パーク堆肥

について、まず pH、EC、水溶性フェノールの経時の変化を図1に示した。pHは、原料パークで4.9～5.0を示したが、堆積後急上昇し、70日目には8～9に達した。その後低下する傾向となり、両樹種とも漸次7に近づくようであった。EC、水溶性フェノールは堆積直後に著しく高まったが、30日目をピークにその後低下し、140日目以降は両樹種とも EC 2 mmho/cm 以下、水溶性フェノール 1 mM 以下となった。

表1 堆積過程での C/N 比および有機成分の変化

堆 積 期 間	T-C (%)		T-N (%)		C/N 比		可溶性炭水化物 (%)		セルロース (%)		リグニン (%)		還元糖割合 (%)	
	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉	針葉	広葉
原料パーク	51.7	49.2	0.30	0.37	172	133	14.5	16.2	34.7	28.0	31.5	27.9	42	40
30日	48.9	43.4	1.17	1.27	41.8	34.2	11.8	12.2	33.4	25.2	31.8	28.1	41	38
70日	47.8	43.3	1.11	1.22	43.1	35.5	11.4	11.1	34.1	23.2	31.4	30.5	42	35
140日	45.5	40.0	1.19	1.79	38.2	22.3	10.6	8.8	26.6	17.1	33.1	35.1	36	29
350日	40.4	37.5	1.31	1.98	30.8	18.9	9.3	7.5	21.5	9.9	33.0	35.7	34	21
500日	35.1	33.9	1.39	2.12	25.3	16.0	6.9	6.0	12.9	4.9	31.2	34.3	25	14

次に、C/N 比および有機成分の経時の変化を表1に示した。C/N 比は堆積当初大きな変化が認められなかったが、70日目を過ぎると漸次低下する傾向を示した。C/N 比の低下は針葉樹よりも広葉樹で著しく、1年間の堆積で針葉樹30、広葉樹19まで低下した。針葉樹パーク堆肥の C/N 比が20まで低下するには約3年の堆積期間が必要であった。

有機成分に関しては、可溶性炭水化物、セルロース含量の低下とリグニン含量の増加が認められた。可溶性炭水化物は堆積後短期間でかなり分解が進んだが、セルロースは70日目を過ぎてから急速に分解が進むようであった。約1年間堆積したときのセルロースの残存率は針葉樹62%、広葉樹35%であった。また、還元糖割合は堆積当初40%程度であったのが、1年後には針葉樹34%、広葉樹21%まで低下した。

このような化学成分の変化を有機物（無水・無灰分）当たりでみると、炭素含量はほぼ一定（52%前後）を示すことから、腐熟に伴う C/N 比の低下は有機物中の窒素含量増加に対応するものであった。一方、有機物中の窒素含量増加は、図2に示すごとく、炭水化物（可溶性炭水化物＋セルロー

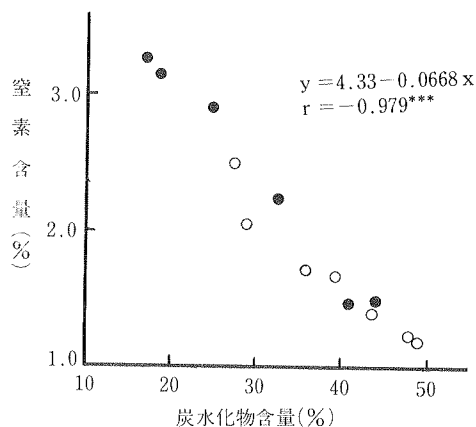


図2 有機物中の炭水化物と窒素の関係
○針葉樹 ●広葉樹

ス）含量の低下に比例することが認められた。したがって、C/N 比は炭水化物の分解程度を反映したものとみなされ、さらに、表1に示す C/N 比変化の樹種間差は主にセルロース分解の難易によるものと推察された。

表2には窒素形態の経時の変化を示した。無機態窒素は堆積後急激に減少し、70日目には130～150ppmとなった。1年を経過すると、広葉

表2 堆積過程での窒素形態変化

堆 積 期 間	無機態 N (ppm)		有 機 態 N 組 成*						72% H ₂ SO ₄ 不溶性 N**	
			酸可溶抽出性 N		酸可溶非抽出性 N		酸不溶性 N			
	針 葉	広 葉	針 葉	広 葉	針 葉	広 葉	針 葉	広 葉	針 葉	広 葉
原 料 バ ー ク	68	87	12.8	13.5	65.0	69.2	22.2	17.3	43.6	48.3
30日	853	444	13.7	15.0	45.0	49.4	41.3	35.6	58.2	54.1
70日	129	150	13.9	14.4	36.2	39.9	49.9	45.7	61.0	66.1
140日	54	104	15.5	15.6	41.0	46.9	43.5	37.5	62.1	59.1
350日	58	488	16.0	16.5	41.2	45.5	42.8	38.0	59.2	52.7
500日	80	845	15.9	18.0	41.5	45.0	42.6	37.0	57.0	52.2

* 有機態窒素に対する%

** 全窒素に対する%

樹では増加に転じ、500日目では800ppmを上まわった。しかし、針葉樹の場合はいずれも100ppm以下の低水準で推移した。

有機態窒素の組成では、堆積後70日目まで酸不溶性画分が著しく増加し、酸可溶非抽出性画分は減少する傾向を示した。140日目以降は各画分とも大きな変動が認められず、酸可溶非抽出性画分は針葉樹41%、広葉樹45~47%、酸不溶性画分は針葉樹43%、広葉樹37~38%で経過した。一方、72%硫酸不溶性画分は堆積後70日間に著しく増加する傾向を示した。

次に、これらのバーク堆肥を土壤に施用したときの炭酸ガス発生量と無機態窒素の有機化量を表3に示した。いずれも堆積の経過とともに減少し、窒素の有機化傾向は両樹種とも1年後には認められなくなった。樹種間の比較では、堆積当初広葉樹が針葉樹より著しく高かったが、その差は漸次小さくなった。このようなことから、針葉樹は広葉樹より高いセルロース含量を有する場合でも分

解が緩慢に進み、また、高いC/N比を有するにもかかわらず窒素の有機化量は概して少ないことが示された。

2. 針葉樹バーク堆肥の化学成分に及ぼす添加物の影響

バーク堆肥の副原料は家畜糞尿、農産物加工残渣のような有機物資材から化学肥料まで多岐にわたっている。このような副原料の差異はバーク堆肥の腐熟度や品質に大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで、本試験では副原料として鶏糞と尿素を供試し、針葉樹バーク堆肥の化学成分に及ぼす影響を検討した。

はじめに堆積中の温度推移を図3に示した。鶏糞添加物は堆積直後から発熱発酵が旺盛であり、かつ鶏糞添加量の多いもの程高温発酵が長く続いた。一方、尿素だけの添加では最高でも50℃に達せず、発酵は著しく不十分であった。

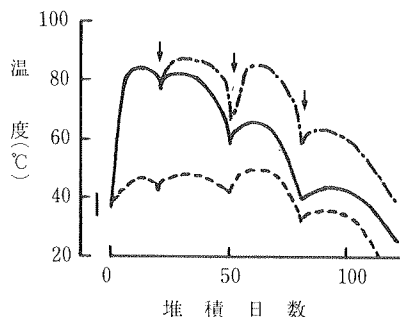


図3 堆積過程の温度変化に及ぼす添加物の影響
——鶏糞+尿素 ——全量鶏糞
-----全量尿素
矢印は切り返しを示す。

表3 土壤中での炭酸ガス放出率と窒素有機化量

バーク堆肥 (堆積期間)	CO ₂ 放出率 (%)		N有機化量 (mg/C·g)	
	針葉樹	広葉樹	針葉樹	広葉樹
原料バーク	7.2	26.1	3.5	11.1
30日	6.4	19.5	0.2	5.9
70日	2.6	15.3	0.7	6.2
140日	2.5	6.8	-0.5	0.4
350日	—	—	-0.8	-0.4

注) CO₂放出: 30日間培養

N有機化: 20日間培養, マイナスは無機化量を示す。

表4 バーク堆肥の化学成分に及ぼす添加物の影響

項 目	全量鶏糞	鶏糞+尿素	全量尿素
pH	7.4	7.4	5.1
EC (mmho/cm)	1.0	0.7	0.8
水溶性フェノール (mM)	0.2	0.2	0.3
T-C (%)	32.0	31.2	34.9
T-N (%)	1.24	1.06	0.73
C/N 比	25.8	29.4	47.8
可溶性炭水化物(%)	6.4	6.6	8.6
セルロース(%)	14.3	15.4	22.1
リグニン(%)	27.8	30.2	25.6
還元糖割合(%)	26	28	35
無機態N (ppm)	122	111	512
窒素画分 (T-Nの比%)			
酸可溶抽出性N	15.8	16.4	20.9
酸可溶非抽出性N	45.6	42.4	35.1
酸不溶性N	38.6	41.2	44.0
土壌中のN有機化量(mg/C-g)	-1.2	-1.1	1.7

注) 堆積期間は約500日。

このような発酵過程を経て約500日間堆積したバーク堆肥の化学成分を表4に示した。pHは全量鶏糞区、鶏糞+尿素区がともに7.4を示したのに対して、全量尿素区は5.1と著しく低く、鶏糞添加の有無による差が大きかった。一方、EC、水溶性フェノールはいずれも低水準であり、添加物による差異はほとんど認められなかった。C/N比は全量尿素区>鶏糞+尿素区>全量鶏糞区の順に高く、鶏糞添加量の多いもの程堆積後の低下が顕著であった。全量尿素区は堆積当初とほとんど変わらないC/N比を示した。

添加物の影響は有機成分の組成でも明らかであり、鶏糞を添加した区は全量尿素区よりも可溶性炭水化物、セルロース含量が低く、リグニン含量が高かった。このため、還元糖割合は鶏糞を添加した区で低かった。一方、無機態窒素は全量尿素区で著しく高く、また有機態窒素の組成では、鶏糞を添加した区は全量尿素区よりも酸不溶性画分、酸可溶抽出性画分が小さく、酸可溶非抽出画分が大きかった。

このような化学成分の相違から、針葉樹バーク堆肥の腐熟促進には鶏糞添加の効果が大きく、尿素だけでは不十分なことが明らかとなった。このことは土壌施用後の無機態窒素の消長にも反映し、全量尿素区は長期間堆積したものでも窒素の

有機化傾向を示すことが認められた。

3. 各種バーク堆肥の化学成分と作物反応

網走管内で作られている樹種、添加物を異にする各種バーク堆肥(堆積期間8ヶ月以上)、北見農試産針葉樹バーク堆肥および原料樹種を採取し、これらの化学成分と作物反応との関係を検討した。最初にバーク堆肥の水抽出液が作物の発芽、初期生育に及ぼす影響をシャーレ試験で調査し、これとpH、EC、水溶性フェノールの関係を図4に示した。顕著な発芽障害はEC10mmho/cm、水

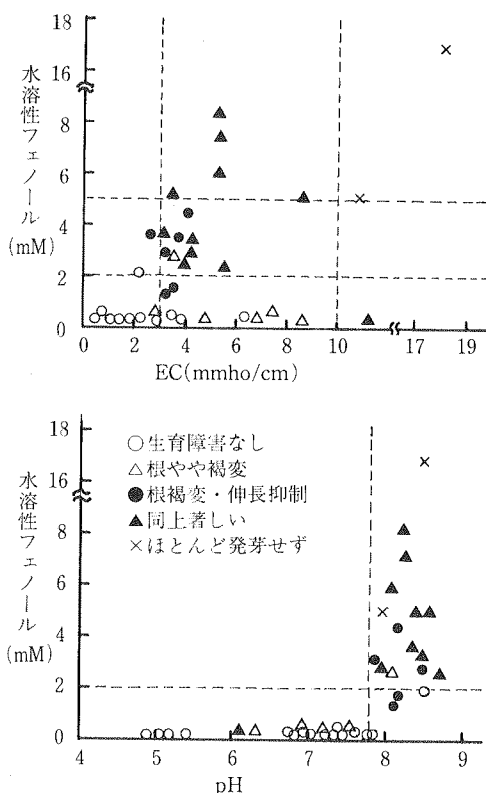


図4 バーク堆肥のpH、ECおよび水溶性フェノールと作物の生育障害(シャーレ試験)

溶性フェノール5 mM以上で認められ、また、EC 3 mmho/cm、水溶性フェノール2 mM以上でも根の生育に障害が確認された。このような生育障害はECと水溶性フェノールの相乗作用によるものが多かった。また、pHとの関係も明らかであり、大部分は7.8以上の高pH領域で認められた。一方、水溶性フェノールはpH7.8以下で1 mM以下となり、2 mM以上のものはすべてpH7.8以上を示した。このことから、pHの影響は主に水

溶性フェノールによるものと推察された。なお、Folin-Denis 法によるフェノールの定量は、吉田¹⁸⁾が指摘するように、アルカリ性でリンモリブデン酸を還元する物質をすべて検出するため、高 pH 領域における生育障害はフェノール以外の還元性物質も関与している可能性が考えられる。

以上のような発芽、初期生育に対する障害は植

木鉢試験でも認められた。障害の程度はシャーレ試験より軽微であったが、EC10mmho/cm、水溶性フェノール 5 mM 以上では発芽障害が顕著となった。

次に、ポット試験によりパーク堆肥および原料樹種が作物の窒素吸収に及ぼす影響を調査し、これと化学成分との関係を表5に示した。その結果、

表5 パーク堆肥および原料樹種の化学的組成と窒素吸収量の関係 (相関係数)

項 目	バーク堆肥			堆肥+原料バーク (n=57)
	針葉樹 (n=19)	広葉樹 (n=29)	全 体 (n=48)	
T-N	0.156	0.278	0.262	—
無機態 N	0.232	0.668***	0.436*	—
C/N 比	-0.263	-0.455*	-0.398**	—
可溶性炭水化物	-0.114	-0.505**	-0.338*	-0.726***
可溶性炭水化物+セルロース	-0.242	-0.583**	-0.447**	-0.718***
還元糖態炭素/T-N	-0.401	-0.610***	-0.504***	-0.723***
還元糖割合	-0.378	-0.535**	-0.456**	—
Nの有機化量	-0.717***	-0.636***	-0.561***	-0.785***

注) 針葉樹と広葉樹の混合バーク堆肥はそれぞれ60%以上を占める樹種の側に含めて整理した。

*, **, ***: それぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意

窒素吸収量は無機態窒素と正の相関、炭水化物、還元糖割合、C/N 比、還元糖態炭素/全窒素比とは負の相関を示すことが認められた。これらの相関は針葉樹よりも広葉樹で大きく、針葉樹だけの場合はいずれも有意な関係でなかった。しかし、両樹種とも土壌中の窒素有機化量とは高い負の相関が認められた。

そこで、図5には C/N 比および還元糖態炭素/

全窒素比と窒素有機化量の関係を示した。窒素有機化量は C/N 比、還元糖態炭素/全窒素比が低くなるにしたがって減少し、やがて無機化に転じた。有機化傾向が認められなくなるときの C/N 比は針葉樹35、広葉樹25であった。また、還元糖態炭素/全窒素比の場合は針葉樹10、広葉樹5~6であった。バーク堆肥の炭素含量は有機物中で52%前後を示すことから、このときの有機物中窒素含量

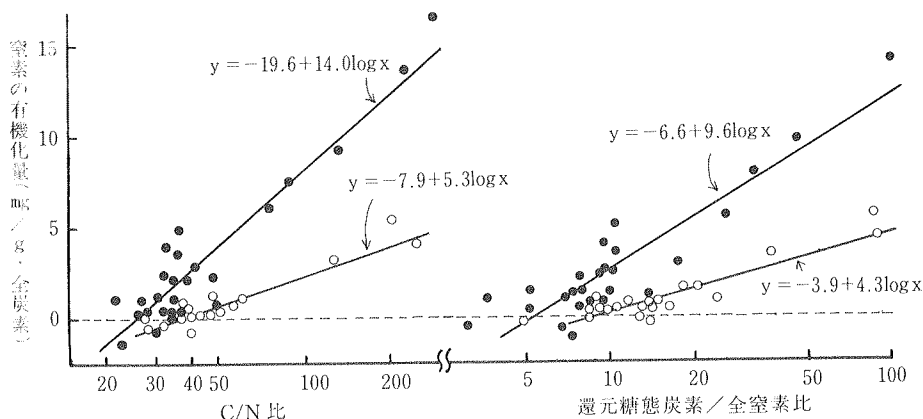


図5 パーク堆肥および原料樹種のC/N比、還元糖態炭素/全窒素比と窒素有機化量
○針葉樹 ●広葉樹

は針葉樹1.5%, 広葉樹2%に相当した。また、還元糖態炭素含量は針葉樹15%, 広葉樹11%に相当し、これから還元糖割合を算出すると概ね針葉樹は30%, 広葉樹は20%であった。

IV 考 察

有機物資材を堆積腐熟させる目的は、当該有機物を土壤に施用しても作物に生育障害を起さず、微生物に活動のエネルギーを十分与えて作物の生産性を高めることにある⁷⁾。したがって、各種有機物資材の腐熟度を判定するためには、まず腐熟過程における化学成分変化を明らかにし、その中から腐熟の指標となる成分を選定し、次にこれらの成分と作物反応との関係から、各成分ごとに目標値を設定することが必要と考えられる⁸⁾。このような観点から、本報では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について考察する。

1. パーク堆肥の腐熟過程における化学成分変化

作物の発芽、初期生育と密接な関係が認められるpH, EC, 水溶性フェノールは、いずれも堆積当初発熱発酵に伴って急激に高くなるが、発酵が鎮静化するとしだいに低下し、やがて一定の水準で推移するようであった。すなわち、鶏糞+尿素を添加して十分発酵させたものは、針葉樹、広葉樹ともpH 7前後、EC 2 mmho/cm以下、水溶性フェノール1 mM以下で安定した。一方、現地生産パーク堆肥の中にはpH, EC, 水溶性フェノールの著しく高いものが含まれており、また、尿素だけを添加した針葉樹パーク堆肥は原料樹種と大差ない低pHを示すことが認められた。

水溶性フェノールは、発酵熱や微生物の作用により大部分は堆積中に分解されてしまうことが知られており¹³⁾、堆積当初の樹種や添加物による差異は発熱発酵の過程で漸次小さくなるものと考えられる。したがって、pH, EC, 水溶性フェノールの著しく高いものは発熱発酵が十分でなかったことによるものと推察される。また、原料樹種と大差ない低pHを示すものも十分な発熱発酵は認められなかった。このようなことから、pH, EC, 水溶性フェノールの推移は発酵過程を反映したものとみなされ、同時に生育阻害物質の有無を判定する上からも腐熟の指標として有用と考えられる。

C/N比および可溶性炭水化物、セルロース含量

は堆積の経過とともに低下し、これに対応してリグニン含量は相対的に増加する傾向を示した。窒素の有機化と密接な関連をもつC/N比は、可溶性炭水化物とセルロールの分解に比例して低下するものであり(図2),とりわけセルロースとは密接な関係が認められた。

木質物の主成分であるセルロースは、遊離の状態では存在せず、リグニンと結合して物理的、化学的に強固な構造をつくり、微生物分解に対する抵抗性が大きいとされている⁷⁾。このようなセルロースの分解は樹種や添加物の種類によって顕著な相違が認められた。すなわち、針葉樹は広葉樹よりも難分解性であり、また、尿素だけを添加したものは鶏糞添加物よりも著しく分解が遅れた。Allison¹⁾、樋口ら⁵⁾、Higashidaら⁹⁾の報告によると、土壤中での木質物の分解率は針葉樹よりも広葉樹で著しく大きいことを認めている。これは、主にセルロース分解の難易性が樹種間で異なることを示したものと考えられる。したがって、セルロース含量は木質物の分解程度を直接的に示すものであり、腐熟度判定の尺度にもなり得るものである⁶⁾。また、セルロース含量とは密接な関連を示す還元糖割合も腐熟度判定の指標として有用と考えられる。

無機態窒素は堆積当初著しい減少が認められ、有機化傾向が顕著であった。腐熟が一層進むと、窒素の形態変化は樹種間で相違し、針葉樹は長期間堆積しても無機化傾向が判然としなかったが、広葉樹は有機化から無機化に転じ、無機態窒素は再び増加した。このため、無機態窒素の推移から両樹種共通して腐熟度を推定することは困難である。しかし、樹種によっては窒素の形態変化から腐熟度を知り得る可能性も残されており、今後さらに検討が必要と考えられる。

一方、有機態窒素の組成は、堆積後70日目まで酸可溶非留出性画分の減少と酸不溶性画分の増加が顕著であった。この傾向は、ヘムロックパーク堆肥についての河田⁸⁾や佐藤¹⁴⁾の報告、広葉樹パーク堆肥についての河田ら⁹⁾の報告と一致するものである。このことから、河田⁸⁾は、加水分解性窒素およびアミノ酸態窒素の全窒素に対する比率の著しい減少が堆肥化を示す指標になり得るとしている。しかし、樹種や添加物による差異をみると、腐熟の緩慢な針葉樹および全量尿素添加物はむしろ

ろ加水分解性窒素やアミノ酸窒素（酸可溶非留出性画分の一部）が低い傾向を示すことから、それだけで腐熟度を推定することは困難と考えられる。なお、72%硫酸不溶性窒素の全窒素に対する比率の著しい増加は、添加窒素のかかなりの部分がリグニンや樹皮フェノール酸と結合し、いわば腐植酸様物質の生成に関与していることを示すものと推察される¹⁵⁾。

2. バーク堆肥の腐熟度指標

未熟なバーク堆肥の施用による作物の生育障害としては主に発芽、初期生育の抑制と窒素飢餓が認められている。発芽、初期生育の抑制は木質物中の生育阻害物質によるものと、添加物の急激な分解に伴う濃度障害が考えられる。木質物の生育阻害物質はこれまでフェノール類、タンニン、精油などが指摘されている。

本試験では水溶性フェノールの生育阻害作用を調査し、作物の生育障害は2 mM 以上で生じ、5 mM 以上で顕著となることを明らかにした。これは、水溶性のフェノール物質や各種フェノール性酸の生育阻害作用についての Kuwatsuka ら¹³⁾や草野ら¹²⁾の報告とほぼ一致するものである。一方、濃度障害については EC3mmho/cm 以上で認められ、10mmho/cm 以上で顕著となった。水溶性フェノールおよび EC は腐熟が進むと漸次低下するが、発熱発酵が不十分なものはどちらも高いものが多い。したがって、発芽、初期生育の抑制は大部分これらの相乗作用によるものと考えられる。

pH については、7.8以上の高 pH で水溶性フェノールによる生育障害の危険が大きく、また低 pH でも腐熟の著しく不十分なものが認められた。したがって、腐熟の目標値は、堆積過程での水溶性フェノールや EC との関係を考慮すると 6.5~7.5 が妥当と考えられる。

一方、作物の窒素飢餓は有機物資材の分解に伴う窒素有機化によって生じるものであり、このような窒素有機化をひき起す資材の判別指標として従来から C/N 比が用いられてきた。バーク堆肥の場合、窒素有機化が認められなくなるときの C/N 比は樹種間で相違し、針葉樹は35以下、広葉樹は25以下であった。熊田¹⁴⁾は C/N 比20以下の有機物資材では窒素有機化が起らないとしており、また、井ノ子⁷⁾も稲わら堆肥や都市ごみコンポスト

の腐熟の目標値を C/N 比20以下に設定している。一方、河田¹⁰⁾は C/N 比35以下をバーク堆肥の品質基準として設定しているが、これは、本試験の結果から主に針葉樹に該当するものと考えられる。このように、バーク堆肥は比較的高い C/N 比でも窒素有機化傾向は判然とせず、その要因としてはリグニンなどの難分解性有機成分が多いためとされている。なお、樹種間でみられた相違は主にセルロース分解の難易を反映したものと考えられる。

これに対して、窒素質資材を多量に添加して堆肥化したものは C/N 比だけで腐熟度を判定することは不可能である。このような場合には還元糖割合および還元糖態炭素/全窒素比が有効と考えられる。還元糖割合の目標値は針葉樹30%以下、広葉樹20%以下が妥当と考えられた。これは、井ノ子⁷⁾が示した稲わら堆肥や都市ごみコンポストの目標値35%以下より低いものである。

表6 バーク堆肥の腐熟度指標

指 標	目 標 値	
	針 葉 樹	広 葉 樹
C/N 比	35以下	25以下
還元糖態炭素/T-N 比	10以下	6以下
T-N (有機物中)	1.5%以上	2.0%以上
還元糖割合	30%以下	20%以下
pH (乾物1:水5)	6.5~7.5	
EC (")	3 mmho/cm 以下	
水溶性フェノール (")	2 mM 以下	

以上述べたような腐熟の指標とその目標値を一括して示したのが表6である。本試験では、家畜糞尿の添加により堆積時の C/N 比を 40程度とし、必要に応じて切り返しを行ない、十分発熱発酵させたものは、針葉樹、広葉樹とも概ね1年程度で目標とする基準に達し、ほぼ完熟したバーク堆肥が得られることを推察した。なお、バーク堆肥の品質評価に際しては、より実用的な観点から表6に示す指標のほかに水分含量、有機物含量、粒径なども考慮すべきものと考えられる。

謝 辞 本稿のとりまとめに当たり、御指導、指校閣をいただいた中央農業試験場高尾欽弥環境保全部長、大垣昭一化学部長に心から謝意を表す。

引用文献

- 1) Allison, F.E. "Decomposition of wood and bark sawdusts in soil, nitrogen requirements, and effects on plants". Technical Bulletin. U.S. Dept. of Agriculture. **1332**, 1-58 (1965).
- 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) 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).
- 4) Higashida, S.; Hirai, Y.; Ohsaki, I. "Some characteristics of wood wastes as raw materials of bark manure". Soil Sci.Plant Nutr. **28**, 281-285 (1982).
- 5) 樋口太重, 栗原淳. "有機物の形態と施肥窒素の行動に関する研究, 第4報木質資材の分解性と硫酸窒素の有機化". 土肥誌, **49**, 482-490 (1978).
- 6) 井ノ子昭夫, 藤原俊六郎. "円形濾紙クロマトグラフィーによるおが屑, 木屑混合家畜ふん堆積物の腐熟度検定の可能性". 土肥誌, **50**, 517-522 (1979).
- 7) 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).
- 8) 河田弘. "木質廃材堆肥に関する研究, 第1報ヘムロックパーク堆肥について". 林試研報, **301**, 47-78 (1978).
- 9) 河田弘, 白井喬二, 赤間亮夫, 佐藤久男. "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).
- 10) 河田弘. "バーク(樹皮)堆肥製造. 利用の理論と実際". 博友社, 1981, p.116-123.
- 11) 熊田恭一. "土壌有機物の化学". 東大出版会, 1977, p.171-178.
- 12) 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". 土肥誌, **45**, 29-36 (1974).
- 13) Kuwatsuka, 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).
- 14) 佐藤俊. "木質廃材の発酵堆肥化に関する研究, (III)ヘムロックパークの堆肥化". 日林講集, **80**, 152-153 (1969).
- 15) 佐藤俊. "木質廃材の発酵堆肥化に関する研究, (IV)堆肥化に伴うN形態の変化". 日林講集, **80**, 154-155 (1969).
- 16) Stewart, B.A.; Porter, L.K.; Johnson, D.D. "Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fractions of Soil". Soil Sci. Soc. Am. Proc. **27**, 302-304 (1963).
- 17) 山口彰, 桜井孝一, 須藤賢一. "木質廃材堆肥の化学成分(第1報)野外堆積した米ツガ樹皮". 林試研報, **315**, 67-92 (1981).
- 18) 吉田重方. "オガクズに含まれるフェノール性酸の分離とその生育阻害活性について". 日草誌, **21**, 327-330 (1975).

Changes of the Chemical Components in the Decaying Process and Indexes for Estimating the Degree of Maturity of Bark Composts

Kazuo KONNO*, Yoshitaka HIRAI** and Shuji HIGASHIDA***

Summary

The changes of chemical components in the decaying process of different bark composts and the relationship between these chemical components and the plant growth were studied in order to clarify the method for estimating the degree of maturity of bark composts.

The pH, EC and water-extractable phenolics of fresh bark composts increased rapidly at the initial stage of the composting, decreased with the process of decaying and reached almost constant. The constant values (1 : 5 water extracts on an oven-dried basis) were about 7 for pH, below 2 mmho/cm for EC, and below 1×10^{-3} M for water-extractable phenolics, respectively. The C/N ratio decreased in proportion to the decomposition of carbohydrate during the process of composting. The rate of decomposition of carbohydrate varied a wide range according to the wood species and the auxiliary raw materials as nitrogen sources, the order of which was hardwood bark > softwood bark and animal excrements > chemical fertilizer in general. Most of the inorganic nitrogen was rapidly transformed into the organic nitrogen at the initial stage of the composting. In the percentage composition of organic nitrogen was observed decrease in the nondistillable acid-soluble nitrogen fraction and increase in the acid-insoluble nitrogen fraction.

Some of the bark composts depressed the growth of crop. The depressing of seed germination and subsequent seedling growth was closely related to the pH, EC and water-extractable phenolics. The nitrogen deficiency in crop was closely related to C/N ratio, a ratio of carbon in reducing sugar to total nitrogen and a ratio of carbon in reducing sugar to total carbon.

From these results, the indexes for estimating the degree of maturity of bark composts was considered to be as follows ; pH of 6.5-7.5, EC of below 3 mmho/cm, water-extractable phenolics of below 2×10^{-3} M, C/N ratio of below 25 (hardwood bark) or below 35 (softwood bark), a ratio of carbon in reducing sugar to total nitrogen of below 6 (hardwood bark) or below 10 (softwood bark), and a ratio of carbon in reducing sugar to total carbon of below 20% (hardwood bark) or below 30% (softwood bark).

*Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 Japan.

**Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan.

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