

食用キノコ廃培地の堆肥化について

吉田兼之

はじめに

食用キノコの人工栽培は、ノコズ栽培（菌床栽培）などによる培養技術の進歩とともにますます盛んになってきています。これらキノコの人工栽培では、ノコズに米ぬかを配合したものが培地として使われています。キノコを採取した後の培地（以下、廃培地という）は、キノコ栽培者が屋外に廃棄して自然発酵にまかせているのが現状で、この自然発酵したものを近くの農家で堆肥として用いている所もあるようです。一年くらい堆積し黒く変色したものが堆肥として使われているようで、農家での評判も良いとのこと。

確かに培地構成成分とキノコに移行する成分量から推測しても、廃培地中には、チッ素、リン酸、カリといった肥効成分が相当量残っています（表1）。堆肥原料としての性質は、新鮮なノコズよりはるかに優れていると思われま。

しかし、堆肥化したキノコ廃培地の土壌有機質資源としての諸性質について、報告したものは全くありません。今までのところ、野積みで一年く

らい自然発酵させたものを用いて、生育阻害やチッ素飢餓などの実害は出ていないかもしれませんが、きちんと管理し堆肥化したものの方が農家の方々も安心して使えます。

私たちは昭和50年、51年の2年間、食用キノコ廃培地の堆肥化について、廃培地の組成全般や実用規模の積み込みなどの検討を、林野総合助成補助事業の一環として行いました。本稿はこの結果をまとめたものです。詳細は林産試験場報第8巻1号に掲載されております。

堆肥化の必要性

新鮮な廃材を土壌中に施用した際には、作物の生育阻害が生じます。これには二つの原因があり、一つはチッ素飢餓による生育阻害で、もう一つは廃材中に含まれる有害成分による生育阻害です。

新鮮な木質物を土壌中にすき込むと作物にチッ素飢餓が起こりますが、これは土壌中の細菌やカビのような微生物の仕業です。刈取った雑草や台所の生ゴミを畑に埋めておくと、いつのまにか元の形を完全に失って土に返ってしまうということは誰でもが経験していることです。このように、有機物が土の中で複雑な化学変化を受けていくことを腐植化といい、これは主として土壌微生物の働きで行われているものです。

私たちが食物を食べて栄養分を消化吸収することによって健康な身体を作ったり、活動のエネルギーを生み出したりしているように、微生物もまた土壌中の有機物を食べて自分の身体を作る材料

表1 食用キノコ廃培地の肥効成分組成 (%)

	pH	全炭素	全チッ素	炭素率	リン酸	カリ
タモギタケ	5.2	45.6	0.95	48	3.64	1.03
ヒラタケ	5.0	45.3	0.94	48	3.65	1.10
エノキタケ	5.4	47.8	1.16	41	3.53	0.88
ナメコ	4.5	46.1	0.61	76	1.68	0.45
廃材堆肥(1)	6.6	—	1.16	—	1.12	0.26

炭素率 = 全炭素 ÷ 全チッ素
：土壌のチッ素飢餓のおこりやすさを表す

としたり、エネルギー源として利用しています。微生物にとっては、土の中にすき込まれた有機物の栄養組成が消化しやすいか、しにくいかなど食糧としての良い悪いは死活につながる問題です。とりわけチッ素分は、生命の源であるタンパク質の合成に欠かせない重要な栄養素です。

木質物は、セルロース、ヘミセルロースなどの多糖類とリグニンを主要構成成分としていて、タンパク質（微生物へのチッ素の供給源になる）や無機成分はほんのわずかしが含まれていません。主に炭素源として利用される有機物です。

このような炭素以外の養分をほとんど供給できない有機物が畑にすき込まれると、土壤微生物はチッ素をはじめ不足する養分を周囲の土壤から奪って生活を維持することになります。こうして本来作物の栄養として利用されるはずの無機態チッ素（アンモニア態、硝酸態）は土壤微生物に奪われて急速に減少し、その結果作物はチッ素飢餓に陥ります。木質物を施用して作物がチッ素飢餓を起こしている土を分析してみると、無機態チッ素が極端に少なくなっていることが分かります。

一方、キノコ廃培地は、生の木質物に比べチッ素、リン酸、カリなどは多く含んでいます。廃培地中の木質物自体は、キノコの成長により若干の腐植化は始まっていますが、あまり腐植化は進んでいません。

また、木質物は炭素率が高く、分解も非常に緩慢なため、チッ素の取り込みが大きく、しかも長期にわたって続きます。これが在来の粗大有機物に比べて土壤改良材としての利用を遅らせた最大の原因でした。

堆肥化とは、こうした土壤中で起こる有機物の分解過程を人工的な管理のもとに地上で腐植化を進めておき、土壤へすき込まれたときにチッ素の取り込みが起らないようにさせておく処理といえます。ただ木質物の場合、微生物分解に抵抗力が強いため、ワラ堆肥などのように短期間での堆肥化は困難で、一応完熟とみなされる程度に仕上がった堆肥でも、まだ幾分土壤中のチッ素を取り

込むことがあります。したがって、ワラ堆肥のように土の中でチッ素を放出し肥料として役立つ性質はかなり劣っているといえます。

自然放置された廃培地が発酵しづらいのは、キノコの成長過程（培養期間中）で少し分解され、培地がやや軟弱となり堆積層がしまり、通気性が悪くなるためです。堆肥の発酵は好気性菌の働きで進行するため空気を必要とします。堆積層がしまると空気層が少なくなるため、発酵は遅れることとなります。

堆肥の作り方

図1で堆肥化の手順を示します。

(1) けい糞を加える

表2にチッ素1kgに相当する各種材料の重量を示しておきましたので堆肥積み込みの際の参考にしてください。廃培地中にはチッ素分が0.9%ないし1.1%程度すでに含まれていますので、微生物発酵系といわれている乾燥けい糞を0.1%くらい添加します。また、廃培地の場合は酸性が強いため石灰の併用をすすめる文献もあります。

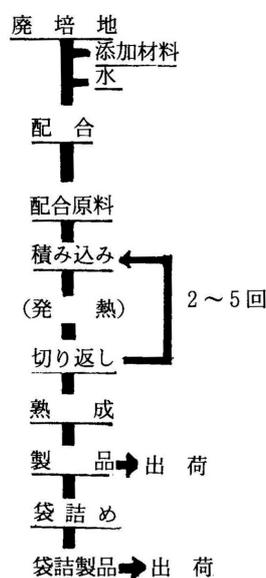


図1 廃培地堆肥の作り手順

表2 チッ素1kgに相当する材料の重量

材料の種類	N(%)	N 1kg相当量(kg)	材料の種類	N(%)	N 1kg相当量(kg)
けい糞(乾)	3.75	26	羊糞	0.60	169
けい糞(発酵)	1.40	71	羊尿	1.90	53
けい糞(生)	1.66	60	人糞尿	0.57	175
豚糞	0.63	159	米ぬか	2.08	48
豚尿	0.25	400	ふすま	2.24	45
牛糞	0.43	233	大豆粕	6.67	15
牛尿	0.47	213	菜種粕	5.09	20
液状厩肥	0.36	278	硫安	20.00	5
馬糞	0.45	222	尿素	45.00	2.2
馬尿	1.50	67	石灰窒	20.00	5

N：チッ素

(2) 水分を調整する

水の添加ですが、私たちの試験結果では55%から75%くらいの範囲でよく発酵しましたので、水分の高いものには乾いたノコズかチップ屑を混ぜ、低いものには加水し調整します。目標水分量は65から70%で、目安としては手で強く握り指の間からわずかに水がにじみ出るくらいが適当です。

(3) 積み込み

材料の配合が終わったらよく混合して積み込みます。高さは1.5mから1.8mくらいとし、でき得るかぎりふんわりと積込むようにし、幅は現場(手持ち)の機械(ショベルローダー、フロントローダーなど)に合わせ約2m、長さは現場の状況に合わせ適当でよいでしょう。堆積場所にはあらかじめ切り返し時の土砂の混入をさけるため10cmくらいの厚さに樹皮などを敷き詰めておき、切り返しの際の手かざんで土砂まですくわないようにします。

図2は積み込み枠の一例を示します。この枠はなくてもよいのですが、それぞれの現場に合わせて積み込みを行ってください。

(4) 層内温度を測定して切り返す

積み込みが終わったら層内の中間部くらいの所に温度計を入れ層内温度の測定をします。2日から3日で層内温度は上昇を始め、順調にいけば80

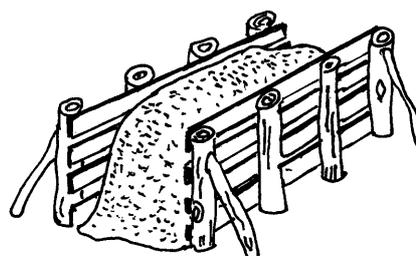


図2 最も簡単な堆積枠

くらいまで昇温します。層内温度が上昇するのは種々の微生物が活動を始めたということで、温度が下降するのは微生物が回りの栄養源を食べつくしたためです。

ですから温度が下降したら切り返しを行うこととなります。

切り返しにより、微生物の回りには別の新しい栄養源(未分解物)が持ち込まれ、微生物はまた活動を始めることとなります。この繰り返しで堆肥化は進行し、仕上がり製品の均一化にもつながるわけです。

切り返しにはショベルローダーかフロントローダーなどを用いるとよいのですが、なければ手作業で行います。

要するに切り返しとは、上層から下層に切り崩し、別の場所に積み替えて層内の分解物と未分解物を均一化することと空気層を作ることです。

図3に廃培地の堆肥化試験の層内発熱経過を示します。これが一番よい結果ではありませんが、試験結果の一例として載せました。

(5) 熟成中は水に注意

北海道では春先の雪が融け始める4月末頃より5月初旬に積み込みを開始し、2回ないし5回の切り返しの後熟成とします。この熟成期間は翌春までそのまま放置するのですが、この熟成期間に過湿にならないようビニールシートなどで覆いをし、雨水、融雪水などが層内に入らないようにしてください。融雪水などが層内に流れ込みますとリン酸、カリなどは水溶性ですからすぐ流失し、肥効分の損失となります。

食用キノコ廃培地の堆肥化に

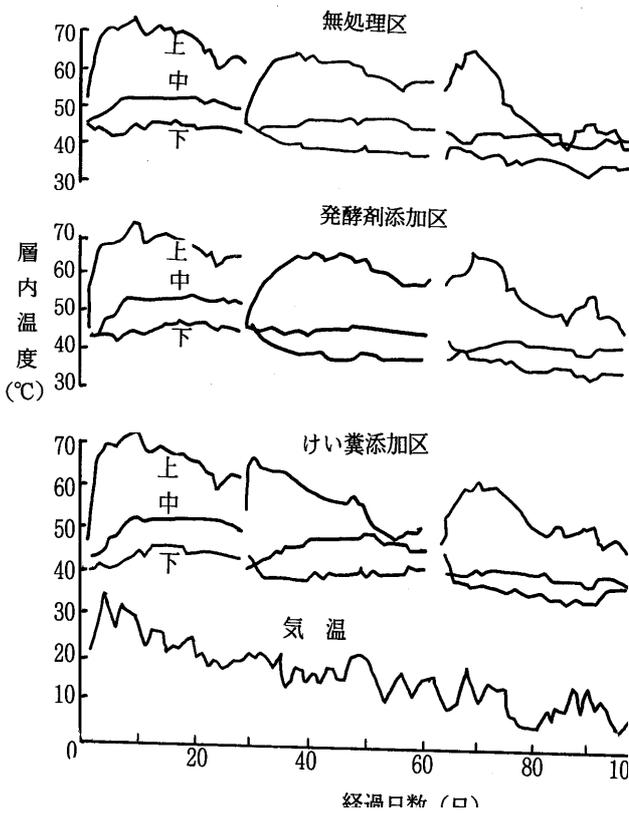


図3 発熱経過

以上の工程で堆肥化は終了です。

過去の試験の評価

土壤中では、木質物の分解に伴って土壤無機チッ素が減少します。キノコ廃培地を木質肥料として使用するためには、土壤中の無機チッ素を減少させないように廃培地を処理することが必要です。そこで、廃培地を土壤に施用したときに、廃培地の分解により土壤中の無機チッ素が減少する様子を調べました。

(1) 堆肥化前の廃培地、堆肥化した廃培地、一般に使われている木質堆肥の比較

キノコ廃培地は、堆肥化する前のものと堆肥化したものを比べて調べました。また、現在使われている木質堆肥についても試験を実施し、廃培地と比較しました。この試験結果を図4に示します。

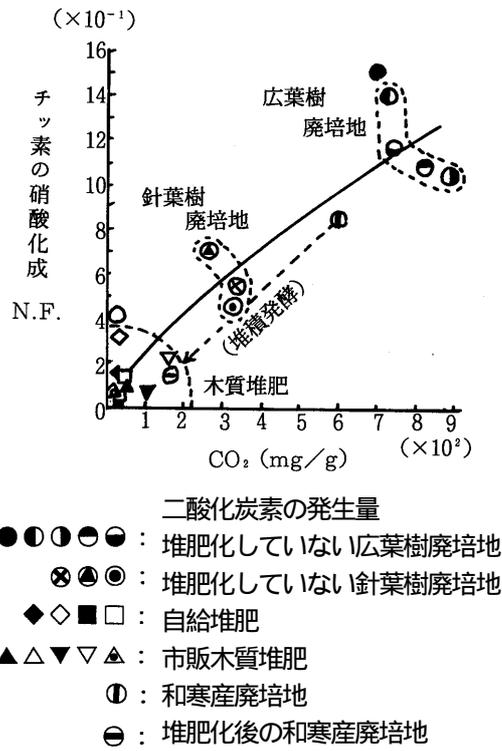


図4 チッ素の硝酸化成と土壤呼吸量の関係

縦軸のN.F.は、土壤中のチッ素の無機化量(硝酸化成)を示しています。この値が大きいほど、土壤中のチッ素が微生物に取り込まれ減少していることを表します。

横軸の二酸化炭素の発生量は、土壤の呼吸量を示しています。土壤中では、有機物は分解して二酸化炭素を放出しますので、二酸化炭素の発生量が多ければそれまでに試料の分解が進んでいなかったことを表わします。

図4で広葉樹廃培地とは、広葉樹ノコズを用いた廃培地であり、針葉樹廃培地とは、針葉樹ノコズを用いた廃培地です。堆積発酵とは、私たちが積み込み試験をして堆肥化させたことを意味しています。

(2) 土壤改良材としては廃培地も堆肥化が必要

堆肥化していない広葉樹廃培地(点線で囲んだ部分)は、二酸化炭素の発生量およびN.F.の値がともに高く、急激に分解をして腐植しやすい

く、土壤中のチッ素の奪取も大きいことが分かります。

また、堆肥化していない針葉樹廃培地は、二酸化炭素の発生量およびN.F.の値が広葉樹に比べてともに低い値になっています。このことから、針葉樹廃培地は広葉樹に比べるとなかなか分解せず、土壤中でのチッ素の取り込み量も少ないことが分かります。

しかし、一般に使われている木質堆肥は、二酸化炭素の発生量とN.F.の値が、N.F.で4以下、二酸化炭素量で2以下（縦軸の4と横軸の2を結ぶ点線で囲まれた範囲）にあります。堆肥化していない廃培地は、広葉樹、針葉樹とも木質堆肥としては不十分であるといえます。

一方、二酸化炭素の発生量とN.F.の値が大きかった堆肥化していない廃培地も、堆肥化することで一般の木質堆肥と同じ点線内の値を取っています。このことから、キノコ廃培地もよく管理をしながら堆肥化をすれば、一般に使われている木質堆肥と同じように十分使えるようになるといえます。

また、図中より二酸化炭素の発生量が多いものはN.F.の値も大きい傾向が分かります。これは、分解速度の速いものはチッ素の奪取も大きいことを意味します。堆肥化することで二酸化炭素の発生量が抑えられています。

このように、堆肥化の目的の一つは、原料中の易分解性炭素源や生育阻害物を除き、土壤中に施用してから分解速度を適当に抑制することにあります。

(3) 十分な切り返しと水の防除

キノコ廃培地をそのまま土壌中へすき込んだ時の分解性は、市販木質堆肥に比べなお高すぎる値でした。収率、色調変化などからある程度堆肥化が進んでいると認められましたが、二酸化炭素の発生経過では原料廃培地とほとんど差はありませんでした。これらの値は市販木質堆肥に比べ顕著に高く、3か月、1年自然発酵したのも、なお炭素の無機化速度は衰えていませんでした。

また、土壌中でのチッ素の硝酸化成は、野積みで1年くらい自然発酵させた廃培地でも、市販木質堆肥に比べ、いずれも高い値を示しております。

廃培地の自然発酵させたものが、土壌中での硝酸化成や、二酸化炭素の発生量がともに、市販木質堆肥に比べて高い値となる原因は、十分な切り返しをしなかったことにあると考えられます。

これに対し3年自然発酵させたものは色調も濃く原形も崩れるほどに分解が進んでおり、二酸化炭素の発生経過も市販木質堆肥と同程度でした。また、土壌中の無機態チッ素の消費量も市販木質堆肥と大差ない値を示していました。

これは今回供試した廃培地のチッ素含有量が高く、しかもその形態が微生物の利用しやすい形態であったのとチッ素の供給力が高かったからだといえます。

今回、3年も自然発酵させたものは、リン酸、カリの減少が著しく大きかったのですが、それは雨水、融雪水などにより流亡損失したものと考えられます。

この試験では、けい糞添加区がN.F.の値が低く（N.F.の値が低いということは、堆肥化が進んでいるということです）、無機チッ素の消費量も低い値を示しました。これもチッ素供給力の違いによるものといえます。

(4) 廃培地の適正な管理でキノコ生産の - 助に

キノコ廃培地はチッ素、リン酸、カリをはじめ種々の栄養組成に優れており、初期発酵の促進に役立つ易分解性炭素源も豊富で、木質廃材よりも堆肥原料として、はるかに優れた材料ではありません。

しかし、堆肥化に関しては、けい糞などの微生物栄養源を添加することが必要と思われる。

現在までのところ何事もなく使われているのだからといわず、誰もが安心して使ってもらえる製品を出荷すべきだと思います。キノコ生産量も最近ではかなり増加しているため廃培地の排出量も相当量になると思います。この廃培地を堆肥化し土壌改良材や廃培地堆肥として売り出すことでキ

ノコ生産費の軽減の一助になると考えられます。

おわりに

実用規模でのキノコ廃培地の堆肥化試験の結果をまとめれば、以下のようになります。

- (1) 3か月堆積発酵後の色調観察，収率測定の結果，通常の木質堆肥と同程度に堆肥化が進行しているように見かけられました。
- (2) 土壌無機チッ素の吸収性も木質堆肥と同程度であり，チッ素の供給力に問題はないと認められました。
- (3) 土壌呼吸量は，堆肥化しない廃培地とほとんど変わらず，市販木質堆肥に比べ高い値を示しました。このことが堆肥として実用上未熟かどうかはさらに検討の余地はありますが，よく管理された木質堆肥ほどには十分に有機物の分解が進んでいないことは明らかです。
- (4) 堆積層の発熱経過では中層，下層の発酵は通常の木質堆肥の場合に比べてやや劣りました。この原因の一つは廃培地がすでに担子菌（キノコ）によってノコクズの組織が軟弱になり，堆積層が密になりやすくなっているためと考えられます。

また，米ぬかのような易分解性有機物が多いため，堆積層の通気の悪さと相まって一層嫌気

的条件を作り出しているものと推定されます。

原料のpHの低いことも発酵不良の一因とも考えられます。堆肥化に働く微生物の多くは微酸性から微アルカリ性の範囲に最適pHをもっています。

特に上記結果(4)の対策として，この種の材料の堆肥化には，堆積層の通気性を確保するために次の点を考慮した方がよいと思われます。

- (1) 積み込み時の水分調整は控えめにする。
- (2) 積み込み高さは1.5m程度とし，高過ぎないように積み込む。
- (3) 樹皮粉碎物（5mm以下のもの）またはチップダスト，ノコクズなど比較的粗い材料を適当に混ぜて積み込む。
- (4) できるだけふんわり積み込む。
- (5) 切り返しの回数を増やす（層全体の均一化と，中層，下層の発酵促進のため）。

参考資料

- 1) 高橋弘行，吉田兼之：昭和50年，51年林野総合助成補助試験報告書（1997）
- 2) 廃材堆肥の作り方，テクニカルノートNo.3，林産試験場編（1977）