

# 廃材堆肥の熟度って何んだらう(2)

高橋 弘行

## 完熟とは窒素飢餓を起こさないことである

前回は、臭気、色、手触りといった人の感覚による堆肥の熟度判定法を紹介した。また熟度数値で表すために、井ノ子昭夫氏（農林水産省農業技術研究所）の定義を簡略化し、次の結論にたどりついた。

「完熟とは、通常の栽培管理のもとで、作物の生育に全く障害を与えない段階まで発酵が進むことである」

しかし熟度を数値で表すためにはさらに、未熟な堆肥の施用によって、作物にどんな障害が、なぜ起こるのか、具体的に明らかにしておく必要がある。そこで今回は未熟な廃材堆肥の害作用とその原因を探ることからスタートすることにしよう。

### 未熟な堆肥はなぜ悪い

生の木質物や未熟な廃材堆肥を施すと、作物の生育障害を起こすことが多い。今までの経験によると、この生育障害にはいろいろなタイプがあり、時にはこのいくつかが複合して起こる。

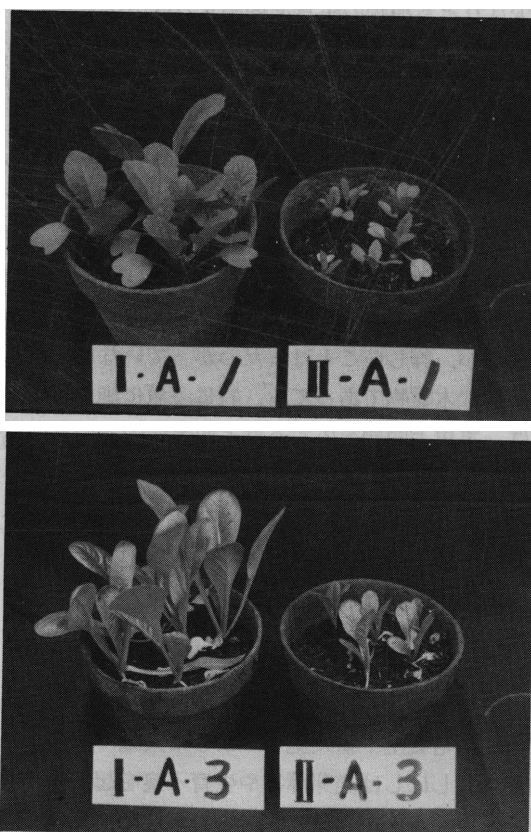
#### 1. 窒素飢餓に代表される栄養障害

まず、簡単な実験例をお見せしよう。右の写真は完熟した樹皮堆肥（左）と、明らかに未熟な樹皮堆肥（右）で育てた、ハツカダイコン（上）とコマツナ（下）である。普通であれば十分育ってお釣りがくるくらいの肥料を施してあるのに、未熟な堆肥の生育はいちじるしく劣る。葉は淡色で、黄変したものも見られる。このような症状は、実際の畑でも、のこくずや樹皮を大量に施用すると、必ずといって良いくらい現れる。これが窒素飢餓である。

作物が窒素飢餓を起こした土を分析してみると、アンモニアや硝酸のように作物が直接吸収利用できる形の窒素（可吸態窒素）が、きまって極端に少なくなっていることがわかる。窒素飢餓というのは、読んで字の如く、土の中の可吸態窒素が不足して起こる一種の栄養失調なのである。その証拠には、窒素飢餓を生じた土に適量の窒素肥料を追肥してやると、作物は正常な生育を取り戻すこ

とが多い。

では、木質物を施用すると、なぜ土の可吸態窒





素が減少するのだろうか。また稲わらは生のまますき込んでいるのに、木質物はなぜ駄目なのだろう。これらの点については、あとで詳しく述べることにする。

## 2. 木材成分による生育阻害

新鮮な木質物は、樹皮、木部の別を問わず、多少なりとも植物の生育を抑制する成分を含んでいる。一般に阻害性は広葉樹より針葉樹の方が明らかに高い。また発芽や幼植物のように外部からの刺激に抵抗力の弱い時期に阻害を受けやすく、ことに肥料分の欠乏や水分の過不足といった、そのほかの悪条件が重なると、被害は大きくなる。

生育阻害成分は、主にアセトン、メタノール可溶部に集中しており、樹種によってはヘキサン可溶部にも存在する。タンニンやテルペン類と思われるが、詳しいことはまだわかっていない。ただ新鮮な木質物であっても、特に多量に施さなければ、実用上問題を生ずるほど阻害性の高いものはごく一部に限られている。北海道産の樹皮では、カラマツ、トドマツの阻害性が比較的高い。また生育阻害成分の多くは微生物分解に弱いらしく、堆肥化によって、普通は2~3カ月で、長くても6ヶ月以内に阻害性を失うと考えられている。

## 3. 無機イオンによる濃度障害

堆積して2~3週間くらい経過した堆肥は、たとえば培養土や植穴施用のように大量に配合した場合、しばしば発芽障害や生育不良を起こす。ことに畜ふん尿が大量に配合された堆肥でこの傾向

が強い。この時期は、配合したふん尿類の分解が最も盛んな時期で、一時的に大量のアンモニアや硝酸を生成し蓄積する。このために濃度障害(肥料負け)を起こしたのである。

しかし、この無機態窒素の異常な集積は長続きしない。木質物の分解につれて、微生物が無機態窒素を同化し、有機態窒素に変えてくれるからである。またアンモニア態窒素の一部は、堆積層の環境がアルカリ性と高温のため空气中に揮散する。したがってよほど未熟なものを大量に施用しない限り、実用上問題はない。またこの段階は堆積層の異臭が最も激しい時期でもあるので、害作用の予知も容易である。

## 4. 還元状態による根の呼吸障害

還元状態というのは、土の中の酸素が欠乏した状態のことである。還元状態では、根の呼吸が衰え、はなはだしいときは腐ってしまう。またときには、有機物が異常分解して、植物に有害な物質を生成する。

還元状態は、微生物が有機物を分解するさい、自らの呼吸のため、土の中の酸素を使ってしまうことによって起こる。しかし畑地で起こることはまず無い。たとえば水田のように、酸素の供給が制限された環境で、しかも微生物に分解されやすい有機物が大量に存在しているとき起こりやすい。

廃材堆肥の利用実態を見ると、水田に施用されることは極めて少い。そのせいかどうか、廃材堆肥によってこの種の被害を生じた例はまだ聞いていない。しかし農業関係者の中には、危くしている人もいるし、その可能性を全く否定できるデータはない。ただ木質物はもともと易分解成分に乏しい材料なので、このような危険があるとすれば、“よほど未熟な段階”だといってよいであろう。

## 完熟とは、作物に“窒素飢餓”を起こさせない段階まで発酵が進むことである。

前項で、未熟な廃材堆肥を施用したさい予想される、主な害作用を4つ挙げた。前回述べた“土壌病害の誘発”も加えれば5つである。堆肥を連

用したときに、これらの害作用が発現しなくなるまで発酵が進んでいけば、まず合格ライン突破ということになる。

しかし、堆肥の熟度を考える上で、5つの害作用の“重み”は同じではない。なぜならば、「窒素飢餓に代表される栄養障害」を除く4つの害作用は、堆肥化の比較的早い段階で消失するからである。とりわけ、「無機窒素の蓄積による濃度障害」、「還元状態による根の呼吸障害」、「土壌病害の誘発」の解消はかなり早く、おそらく3カ月以内であろう。これは、障害の原因が、いづれもふん尿類または木質物中の易分解性有機物にあることと、廃材堆肥の激しい発酵は3~4カ月で終了すること、などから推定できる。廃材堆肥の堆積期間はできれば1年というのが常識になっている。この中で始めの3カ月間というのは、むしろまだ熟度をうんぬんする段階に至っていない、とも言えるだろう。また「木材成分による生育障害」も、前項で述べたように、多くは3カ月以内に解消する。

つまり「窒素飢餓」以外の害作用は、よほど未熟なものでない限り、実害を生ずる危険性が小さいので、熟度判定のために“考慮すべき事項”としてのウエイトは軽い。未熟な段階で害作用が消失またはいちじるしく軽減されるということは、害作用がなくなったことを確認できても、完熟の保証にならないということになる。 「窒素飢餓」以外の害作用が消失することは、完熟の必要条件ではあるが、十分条件ではないのである。



このように整理してみると、未熟な堆肥の害作用は、実用上「窒素飢餓に代表される栄養障害」にしぼっても良さそうである。そこで、“完熟”の定義は次のように書き変えることができる。

「完熟とは、通常の栽培管理のもとで、作物が窒素飢餓等の栄養障害を起こさない段階まで発酵が進むことである」

実際に、筆者が見聞した“廃材堆肥の施用によるトラブル”のほとんどは、“窒素飢餓”によるものである。

### 窒素飢餓はなぜ起きる

かって廃材堆肥の品質を語るとき必ず“窒素飢餓”の話が出るくらい、両者の関係はあまりにも密接であった。だから中には、窒素飢餓が木質物に特有の障害だと思い込んでいる人も多い。しかしそうではない。使い方を誤ると稲わらや雑草でも起こるし、緑肥でさえ大量にすき込むと一時的に起こることがある。これは有機物の化学組成や微生物に対する抵抗性が関係している。同じ土に同じ量すき込んで、有機物の種類によって、激しい窒素飢餓を起こしたり、それほどでもなかったり、またごく短期間で納まったり、長期にわたって障害が続いたりする。もちろん、始めから全く窒素飢餓を起こさない有機物も多い。木質物は、化学組成から見ても、土の中での分解性から見ても、窒素飢餓を生じやすく、しかも障害の長びくタイプの有機物である。

さて、窒素飢餓はなんらかの原因で、土の中の可吸態窒素が減少することによって起こる。では木質物を施用すると、なぜ可吸態窒素が減るのだろうか。これは土の中に住んでいる細菌やカビのしわざである。

土1gの中には、なんと100~1,000万の細菌が生息している。また100万からの放線菌や糸状菌があり、このほか原生動物や土壤藻類もいる。そして、これらの微生物の大部分は、土の中の有機物を食べて生活を営んでいる。微生物は、有機物中の炭素化合物を分解し、活動のためのエネルギー源として利用すると共に、その一部を同化し

て菌体を作る。この同化炭素量は、普通、分解した炭素の1/5くらいといわれている。残りの4/5は炭酸ガスになって空気中へ逃げて行き、再び光合成に利用される。

もちろん、微生物が菌体を作るためには、炭素以外にいろいろな元素が必要である。中でも、生命の源であるタンパク質の材料として欠かさない窒素はとりわけ重要である。この窒素の同化量は微生物の種類によって異なるが、炭素同化量のほぼ1/5~1/10(分解された炭素の1/25~1/50)である。つまり、このくらいの窒素がないと、いくら炭素源が豊富にあっても、微生物は活動を停止してしまう。

さて、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で出来ていて、窒素の給源となるタンパク質やアミノ酸はほんのわずかしが含まれていない。生命や健康を保つために摂取する栄養のバランスが大切なことは、下等な微生物であろうとも変わらない。では、もし木質物のように炭素以外の養分をほとんど供給できない有機物が、畑に大量にすき込まれたとしたらどうなるだろうか。それでも、有機物の分解が停止してしまうことはあまりない。微生物は、窒素をはじめ不足する栄養分を周囲の土から奪って活動を続けるからである。こうして、本来作物栄養として利用されるはずの土壌無機窒素は急激に減少し、結局、作物は窒素不足に悩まされることになる。これが窒素飢餓である。



## 未熟な堆肥が必ず窒素飢餓を

### 起こすとは限らない

製品持参で、熟度を見てくれないかとおいでになる方が多い。まず、製造方法を尋ね、それから製品の外見を観察したり、臭気をかいだり、手触りを確かめたり、時には化学分析をして一応の判定を下すことになる。どう見ても未熟な堆肥と、十分に腐熟した堆肥の見分けは比較的簡単なのだが、中間的なものについては回答に迷うことがしばしばある。

堆肥の熟度を判断する上で、堆肥自身の品質が最も重要な因子であることは言うまでもない。しかし作物が窒素飢餓を起こすかどうかについては、施用する堆肥の品質以外にも、いろいろな外的要因が関係している。たとえば同じ未熟な堆肥であっても、施用量の多少によって症状が出たり出なかったりすることがある。これは、明らかに微生物の炭素同化量の違い(ひいては微生物の窒素要求量の違い)によるものである。また施用方法(全層、植溝、マルチ等)によっても作物の反応は異なる。これは施用方法によって、堆肥と土の接触面積が異なり、微生物の炭素同化量に違いを生ずるからである。

もし、微生物が土壌中の可吸態窒素を横取りしたとしても、土壌が微生物と作物双方に十分な窒素を供給できる能力を備えていれば窒素飢餓は生じない。したがって同じ未熟な堆肥を、同じ方法で、同じ量を施こしても、有機物の豊富なよく肥えた土と鉱物質のやせた土では、作物の生育はまるで違ってしまふのである。同じ理由で、施肥管理(施肥量、施肥時期)の適否や、作物の種類(窒素要求量、要求時期)なども関係している。

このように、土にすき込まれた有機物は、土壌条件、気象条件のような自然的条件、そして施用方法、栽培管理のような人為的条件と深くかわりながら、作物の生育にさまざまな影響を与えている。極端な場合、管理さえ適切であれば、新鮮なこくずを大量に配合した培養土でも作物は育つ。いわんや堆肥であれば、少々未熟といっても必ず害作用を現すとは限らないのである。つまり

堆肥の熟度には、“使い次第”といった一面があって、実は大変あいまいなものである。そしてこれが堆肥の“熟度判定”を一層難しくしている。

実際に、自給堆肥（農家が自分で作る堆肥）の中には、これで大丈夫かな、と頭をひねりたくなるようなものがずいぶん使われている。自給堆肥の場合、土壌条件や作物の種類も一応限定されていて、うまく使いこなされているということであろう。しかし、この堆肥をどこで、どんな使い方してもよい、という保障はない。露地栽培でなんでもなかった堆肥が、ハウスで被害を出した例もある。やはり、十分腐熟した堆肥を使うのが常道であろう。十分熟した堆肥は、施用技術や栽培管理に特別な配慮をしなくても、安心して使うことができる。

### 堆肥の品質と窒素飢餓の関係

今、ここに一握りの廃材堆肥がある。果たして窒素飢餓を起こす心配はないのか - そかが知りたい。はて、何を測定すれば良いだろうか？

窒素飢餓に関係する堆肥側の要因もいろいろあるが、特に密接な性質といえば、次の二つに尽きる。一つは“炭素率”であり、他の一つは“土壌中での分解性（微生物による炭素同化の難易）”である。

#### 1. 炭素率

有機物の施用にともなう土壌中の可吸態窒素の減少は、微生物が同化する炭素量に見合う窒素分



を、分解を受ける有機物自身が十分に供給できないために起こる。したがって施用する有機物の炭素と窒素のバランスが適当であれば窒素飢餓は生じないはずである。このような、有機物を構成する炭素と窒素の比を炭素率（またはCN比）と呼び、炭素/窒素で表す。たとえば炭素を50%、窒素を1%含む有機物の炭素率は、 $50/1=50$ であり、窒素が2%に増えると、 $50/2=25$ となる。つまり、炭素率が高いということは相対的に窒素供給力が小さいということで、この値がある限度を越して高くなり過ぎると、窒素飢餓が心配になるのである。この“ある限度”とは、具体的には“窒素飢餓を起こす心配のない炭素率”であって、このような値を特に“限界炭素率”と呼んでいる。

木質物の炭素率は、わら類や雑草などとくらべるといじり高く、普通200~1000くらいである。しかし、堆肥化するときは、発酵促進のために家畜のふん尿や鶏ふん、窒素系化学肥料などを配合するので、この段階で炭素率は大幅に低下し、おそらく40~60くらいになっている。この炭素率は発酵が進むにつれてさらに、確実に低下を続けるのが普通である。

以上からわかるように、“炭素率”は堆肥の熟度の有力な判定指標であり、その目標値は“限界炭素率”を下回る値でなければならないだろう。廃材堆肥の限界炭素率については次項で考える。

#### 2. 土壌中での分解性

土壌微生物は、すき込まれた有機物が分解しやすいものであるほど、沢山の窒素を要求する。これは、微生物が新しい菌体を作るために必要な窒素量は、炭素同化量に比例するからである。

極端な例を上げると、木炭を粉碎して大量に施しても、決して窒素飢餓は起こらない。微生物は、木炭を構成している炭素をほとんど同化することができないので、窒素もいらないのである。

堆肥化の主な目的は、原料中の分解しやすい炭素化合物を発酵によって取り除き、施用してからの急激な分解を適度に抑制することにある。実際に、堆肥化した木質物は、しないものに比べて



まだ検討が進んでいない。

### ちょっと不安だが

#### “炭素率”で我慢しておこう

さて、前項で熟度の指標として挙げた、“炭素率”と“土壌中での分解性”は、相互に補完的な関係を持っている。すなわち多少炭素率が高くても、分解性が低ければ良いし、逆に炭素率が十分低ければ、いくら分解性が高くてもかまわない、という関係である。したがって熟度判定にあたっては両者を総合して評価するのが最も望ましい。しかしどちらか一つということであれば“炭素率”に軍配が挙がる。“分解性”は前項で述べたように、測定方法に難点があるからである。

その点、炭素率の測定は比較的簡単である。堆肥中の炭素と窒素を分析して、割り算をすればよい。農林関係の試験機関であれば、たいていのところで測定を引受けてくれるはずである。

では、炭素率がどのくらいであれば完熟堆肥といえるだろうか？ 一つの目安として“限界炭素率”がある。窒素飢餓は“炭素率”以外のいろいろな要因によって左右されるので厳密なものではないが、一般の農作物残渣で20~35、新鮮な木質物で30~45、そして廃材堆肥は分解しやすい炭素源が除かれているので、もっと高いところにあると考えられている。

限界炭素率はあくまで目標の下限である。窒素分は肥効成分の中でも特に重要な要素で、この効かせ方の上手下手で作物の収量が左右されるといわれるくらいだから、一般的には炭素率は低いほど良い。しかし実際の堆肥作りの現場では、入手できる添加材料の種類、量、価格その他いろいろな制約によって、それなりの限界がある。

そこで、林産試験場では表に示すような規準を

はるかに分解しにくくなっている。このように、堆肥の“土壌中での分解性”を測定すれば、熟度を数値で表すことができる。

林産試験場では、“土壌中での分解性”の測定に“土壌呼吸法”を採用している。これは、堆肥の一定量を土に添加し、微生物分解によって生ずる炭酸ガスをアルカリに吸収させて測定する方法である。分解しやすい有機物ほど沢山の炭酸ガスを発生するので、堆肥の分解の難易を評価することができる。この測定値は、微生物による土壌無機窒素の取り込み量と高い相関があり、また前回述べた“感覚的な熟度判定結果”ともよく一致する。

こうして見ると、堆肥の熟度判定の指標として“土壌中での分解性”は極めて高く評価できる。しかし問題は測定法である。土壌呼吸法は、第一に測定に長期間(約1カ月)かかる。第二に土の種類によって測定値がいちじるしく変わるので規格化ができない。第三に熟練が必要で、第四に手間が掛かり過ぎる。これらはいずれも、簡便をむねとする、品質管理のためのルーチンワークにならない欠点である。

稲わら堆肥や都市ゴミコンポストでは、“土壌中での分解性”の代わりに“還元糖割合”が考案されている。これは、堆肥中の全炭素に対する炭水化物の形の炭素の割合のことで、この数値が大きいほど土壌中で分解しやすい。測定も比較的簡単で、廃材堆肥にも十分適用できる可能性もあるが

炭素率による熟度判定規準

| 格 付 | 炭 素 率   |
|-----|---------|
| 優   | 30 以 下  |
| 良   | 30 ~ 35 |
| 可   | 35 ~ 40 |
| 不 可 | 40 以 上  |

設けている。「優」は“この位あれば結構”，「良」は“まあまあ”，「可」は“せめてこの位は欲しい”，「不可」は“赤信号”という意味である。販売堆肥であれば、もちろん「優」を目指すべきだし、自給堆肥でも「良」を目標にして欲しいものである。炭素率が30を切る堆肥を製造するには、原料配合時の炭素率を40くらいに設計すれば、目的を達成できる。

ただ、炭素率には大きな落とし穴がある。炭素率は、有機物を堆積発酵させなくても、窒素肥料を添加するだけで、いくらでも低くすることができる。つまり“土壌中での分解性”を抜きにして“炭素率”だけでは、本当の意味で“完熟”の決め手にならないのである。そこで、“炭素率”で熟度を判定するときは、前回述べた「感覚的な判定法」を必ず併用しよう。そうすれば、実用上十分な確度で判定を下すことができる。できれば、土と堆肥を半々に混ぜて、何か作物を育ててみるとよい。いろいろなことが、実感として分かるはずである。

### 「完熟堆肥」=「品質の高い堆肥」とは限らない

正しく管理された廃材堆肥には、70~80%（対乾物）の有機物が含まれている。ところが中には50%に満たないものも結構あるし、20%以下というひどい例もある。これではいくらよく腐熟していても、決して良質の堆肥とは評価できないだろう。窒素、りん酸、カリなどの肥料成分についても同じことが言える。炭素率はあくまで炭素と窒素の比較なのであって、量的な価値を示してくれ

ないのである。

このように、完熟堆肥だからといって、いつも品質が高いとは限らない。品質は堆肥全体が持っている価値が総合されたもので、“熟度”はその一つの要素なのである。とは言っても、堆肥の品質を構成する沢山の要素の中で、“熟度”が最も基本的で、最も重要な位置にあることは論を待たない。ただ、これも品質総体として高い価値を持っていてこそその評価であることを忘れてはならない。やはり「完熟堆肥」=「品質の高い堆肥」であって欲しいものである。

### おわりに

二回にわたって、堆肥の熟度について筆者なりの見解を述べて見た。今の正直な気持ちをいえば、熟度について、もっと大切な“何か”をうまく言葉にしきれないもどかしさが続いて、少々疲れたナといったところである。熟度の数値化を標ぼうとして、ずいぶん分気張ってはみたものの、結局“炭素率”しか浮上せず、既成概念から一步も飛出すことができなかった。大山鳴動せずみ一匹である。熟度そのものが内蔵している“あいまいさ”のなせる業といってしまうと、筆者の不勉強の弁解になるうか。

良い堆肥作りの基本は、やはり“積んでみる”“施してみる”といった経験の積み重ねに尽きると思う。その中で、あなたなりの熟度を会得できたとすれば、それこそ“本物の熟度”である。化学的な判定手段は、あくまで“助っ人”的存在と理解しておいて欲しい。

（林産試験場 特別研究員）