

堆肥の品質評価について

農林水産省 九州農業試験場
生産環境部長 原田靖生

1. はじめに

本年7月28日に公布された「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」では、家畜排せつ物を適正に管理し環境に負荷を与える恐れのある野積みや素堀り貯留などを解消するとともに、土づくりに積極的に活用するなど資源としての有効利用を一層促進する必要があることが述べられている。また、同時に交付された「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」は、堆肥等による土づくりと化学肥料・農薬の使用の低減を併せて行う持続的農法への転換の促進を目的としており、家畜ふん堆肥の施用が積極的に進められようとしている。

しかし、一概に家畜ふん堆肥と言っても、その肥料成分含量等は畜種や副資材の種類によって大きく異なっている。また、原料が同じであっても、製造の仕方によっては腐熟度が大きく異なることがある。このように、家畜ふん堆肥の品質が明確でなかったり変動が大きいことも、より一層の利用促進を阻んでいる原因の一つと考えられる。実際には、家畜ふん堆肥の品質に関しては、必ずしも基準が明確にされておらず、販売に際して考慮されない場合も多い。しかし、家畜ふん堆肥の利用をさらに促進するためには、堆肥の品質評価は極めて重要な問題である。

現在、多くの堆肥センターあるいは個々の畜産農家で堆肥が製造・販売されているが、それらの堆肥化技術には大きな差があり、堆肥製品の品質には著しい違いが見られる。堆肥化技術を向上させるためには、講習会・研修会も有効であるが、それぞれの堆肥の品質を競う堆肥共励会の実施が極めて有効である。いくつかの県で共励会が実施されているが、いずれの県でも回数を重ねるごとに品質のレベルは確実に向上しているとのことである。ここで問題となるのは、やはり堆肥の品質評価法である。現在のところ、公定法としての品質評価法は定められていないが、これから共励会を実施したいと考えている県も多いと思うので、参考のために堆肥の品質基準と品質評価法について解説したい。

2. 堆肥の品質基準

(1) 堆肥が品質上備えるべき条件

家畜ふん堆肥の品質に関して備えるべき条件としては、表1のように整理できる。すなわち、高品質の家畜ふん堆肥とは、各原料資材が有する不利な点が改善され、取り扱いやすく安全で、高い施用効果を有するものをいう。AおよびBの各項目は不利な点の改善について示したもので、これらはいずれも(有害物質と塩類濃度の項目は除く)原料資材を堆肥化(腐熟)することによって達成できる。また、Cの項目は家畜ふん堆肥の施用効果について示したものであるが、家畜ふん堆肥が肥料および土壌改良材としての効果を有することは従来より十分認められている。しかし、堆肥の品質評価の項目として考えると、肥料成分含量は作物の種類や使い方によって適するものが異なるので、一概に品質と関連づけて論ずることはできない。また、土壌改良効果に関しても堆肥の品質との関係についてはまだ不明な点が多い。従って、堆肥の品質は腐熟度、塩類濃度、重金属含量等から評価される。

表1 堆肥の品質のに関して備えるべき条件¹⁾

A. 取り扱いやすい性状であること
① 水分が適度である
② 臭気が強くない
③ 病原菌・寄生虫卵などを含まない
B. 土壌・作物にとって安全であること
① 施用後、急激な分解をしない
② 窒素飢餓を生じさせない
③ 生育阻害物質を含まない
④ 有害物質を含まない
⑤ 塩類濃度が低い
⑥ 植物病原菌等を含まない
⑦ 雑草の種子を含まない
C. 土壌・作物にとって有効であること
① 植物に栄養分を供給する
② 土壌の科学的性質を改善する
③ 土壌の物理的性質を改善する
④ 土壌中の生物活動を維持・増進する

(2) 堆肥の品質基準

堆肥は、肥料取締法では特殊肥料に区分されている。普通肥料に含まれる有機質肥料の品質基準に関しては、窒素、リン酸、カリなどの含有率について公定規格が定められているが、特殊肥料では肥料成分の基準値は設定されておらず、ヒ素、カドミウムおよび水銀についての上限值が定められているだけである。それらは堆肥乾物1kg当たりヒ素50mg、カドミウム5mg、水銀2mg以下になっている。ただ、家畜ふん堆肥の場合は、これらの物質が混入することは考えにくい。

最近、良質な有機資材を供給することを目的とした民間の自主的な品質保全対策を支援するため、全国農業協同組合中央会を事業主体として、「有機質肥料等品質保全推進事業」が実施され、バーク堆肥、おでい肥料、おでい堆肥および家畜ふん堆肥について品質保全のための推奨基準が作成された²⁾。家畜ふん堆肥についての種類別品質基準を表2に示す。また、これら4種の資材に共通の品質基準は以下のとおりである。

表2 家畜ふん堆肥の種類別品質基準²⁾

①肥料取締法に基づく特殊肥料等の規定に掲げる重金属等規制に適合すること。

②植物の生育に異常を認めないこと。なお、コマツナによる幼植物試験により異常の有無を検討することが望ましい。

③乾物当たりの銅及び亜鉛の含有率が、それぞれ600ppm及び1,800ppm以下であること。

ここでいう家畜ふん堆肥とは、牛ふんと豚ふんを主原料とするもので、鶏ふん堆肥は除かれている。また、この基準は家畜ふん堆肥を有機質肥料とみなす場合のもので、三要素(窒素、リン酸、カリ)の含有率はそれぞれ1%以上と設定されている。但し、1%以下の堆肥は品質が悪いというわけではない。三要素が1%以下のものは肥料よりも土壌改良材と考えるべきもので、このような養分濃度が低い堆肥を望む耕種農家は多い。しかし、全国的な堆肥成分調査結果³⁾で見ると、三要素の含有率はほとんどの試料で1%以上であった。このように、現在では、家畜ふん堆肥の大部分は、土壌改良材よりもむしろ有機質肥料と見なすべきであろう。

ECに関しては、推奨品質基準では、5mS/cm以下と設定されているが、基準値よりも高い堆肥が多い。調査結果³⁾では、牛ふん堆肥、豚ふん堆肥の43%が基準値以上であった。最近では、家畜尿の農地施用や浄化処理が困難なことから、発酵中の堆肥に家畜尿を散布して発酵熱で水分を蒸散させる処理法が多くとられるようになり、このことが堆肥のECを高める原因の一つになっている。家畜尿はカリ濃度が高いため、尿を散布した堆肥は塩類濃度が高まり、ECが上昇する。この基準値は、堆肥の幼植物試験の結果を踏まえ、濃度障害の発生を防止する目的で設定されたものである²⁾。ECが高い堆肥を利用する場合には、土壌中のECが高くなりすぎないように、施用量に注意する必要がある。

また、堆肥中の銅と亜鉛の濃度も問題である。これらは作物にとって必要な養分であり、ヒ素やカドミウムなどのように危険な物質ではないため、肥料取締法では規制されておらず、有機質肥料の共通品質基準でも比較的緩やかな上限値が決められているが、農用地の管理基準として、表層土乾物1kg当たり亜鉛120mg以下と定められている。堆肥中の銅・亜鉛の濃度は、牛ふん堆肥では低いが、豚ふん堆肥ではいずれも高く、鶏ふん堆肥では亜鉛濃度が高い。これは、成長促進の目的で飼料中にこれらが過剰に添加されているためである。飼料への銅・亜鉛の添加量は極力下げるよう指導されているが、現在でもかなり濃度の高い堆肥が見かけられる。良質堆肥の製造並びに利用促進のためには、銅・亜鉛の添加量を出来るだけ減らすことが重要である。

現在、販売されている家畜ふん堆肥の成分のバラツキは非常に大きく、成分含量の不明な堆肥を使いたくないと考える耕種農家が多い。堆肥の成分含量について基準を設けることは困難であるが、「肥料取締法」の一部が改正され、堆肥等特殊肥料について品質表示が義務づけられることになった。表示事項としては、肥料の種類・名称、成分の含有量(窒素、リン酸、加里等)、原料の種類(牛ふん、稲わら等)などがある。これによって、家畜ふん堆肥はさらに利用されやすくなるものと考えられる。

3. 腐熟度評価法

堆肥の腐熟度評価法に関しては数多くの提案がなされている(表3)。しかし、それらの方法の中には、分析に長い時間や高度な技術を必要とするもの、特殊な原料資材にしか適用できないもの、あるいは原料資材の種類・混合比によって値が大きく変動するものなどが含まれており、各種堆肥に対する適用性、確実さ、および簡易さなどの観点に立ってみれば、有効な方法は少ない。ここでは、堆肥を製造する場での評価法として温度測定、分析室での評価法として有機物の残存率、CEC測定、硝酸イオンの検出、コマツナを用いた

品質表示を要する基準項目		
基準項目	基準値	
有機物	乾燥当たり	60%以上
炭素—窒素比(C/N比)		20%以下
窒素(N)全量	乾燥当たり	1%以上
リン酸(P ₂ O ₅)全量	乾燥当たり	1%以上
加里(K ₂ O)全量	乾燥当たり	1%以上
品質表示を要しない基準項目		
水分	現物当たり	70%以下
電気伝導率(EC)	現物につき	5mS/cm以下
付記		
1)本肥料の製造には、3ヶ月以上、数回の切り返しを伴う堆肥化を行うことが望ましい。		

発芽試験および幼植物試験について紹介する。しかし、これらは必ずしも腐熟全体を評価するものではなく、部分的な側面を見ているものが多い。より確実に腐熟度を評価するためには、一つだけでなく複数の方法を組み合わせて判断する方がよい。

表3 腐熟の指標および腐熟度評価法¹⁾

A.微生物活動からの判定	
1) 堆積物の温度	Golueke (1972)
2) BOD	羽賀・原田 (1984)
3) 酵素活性	Goddenら (1986)
4) ガス発生量(ポリ袋法)	吉野 (1979)
B.生物を用いた判定	
1) 発芽試験	藤原ら (1980)、長田ら (1985)
2) 幼植物試験	高橋 (1976)、河田 (1981)
3) ミミズを用いた試験	吉野 (1979)
4) 花粉管生長テスト	若澤ら (1986)
C.物理性からの判定	
1) 物体色	菅原ら (1979)
2) 微細形態の観察	藤原ら (1980)
3) 篩別残渣重量	日向 (1981)
D.化学性からの判定	
1) C/N比	Poincelot (1975)、Golueke (1981)
2) 水抽出物のC/N比	Chanyasak・久保田 (1981)
3) 還元糖割合	井ノ子・原田 (1979)
4) アンモニアの不検出	Spohn (1978)、森・木村 (1984)
5) 硝酸イオンの検出	原田 (1983)、Finstein (1985)
6) COD	Lossin (1971)
7) pH	Jannら (1960)
8) EC	日向 (1981)
9) 揮発性成分	羽賀ら (1978)
10) 遊離アミノ酸	原ら (1991)
11) 水抽出物のゲルクロマト グラフィー	吉田・久保田 (1979)
12) CEC	原田・井ノ子 (1980)
E.腐植物質による判定	
1) 円形濾紙クロマトグラフィー	Hertelendy (1974)、井ノ子 (1979)
2) 腐植物質含量	Morel (1982)、渡辺・栗原 (1982)
3) 沈殿部割合	菅原・井ノ子 (1981)
F.総合判定	
1) 評点法	川辺・高野 (1979)、原田 (1983)
2) 判別スコア値	下水汚泥資源利用協議会 (1985)
3) 近赤外分光分析法	中谷・原田 (1994)

(1) 堆積物の温度変化

堆肥化の過程で、原料資材中の易分解性有機物が好气的条件下で微生物によって分解される際に発熱が起こり、堆積物の温度が上昇して70~80°Cにまで達する。その後、温度は次第に低下してくるが、切り返しを行って空気を供給すれば再び上昇する(図1)。この温度の上昇・下降のパターンは材料中に易分解性有機物が存在する限り繰り返される。温度が外気温とほぼ同じ程度まで下がり、切り返しを行っても発熱しなくなれば、堆肥は一応腐熟したものと考えられている。しかし、過度に乾燥した場合には、温度の低下が必ずしも腐熟の指標にならないので、そのような場合には適度に加水して温度経過を調べる必要がある。

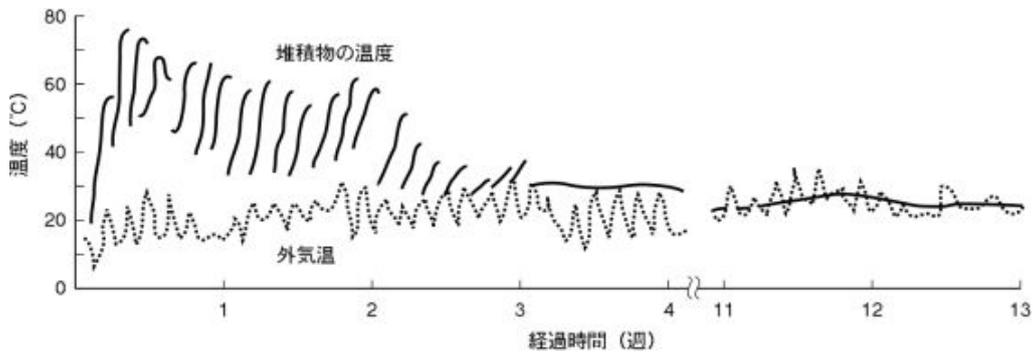


図1 牛ふんの堆肥化過程での温度変化4)

(2) 有機物の残存率

堆肥化過程での有機物の分解の様子を知るためには、有機成分組成の変化を調べるのがよいが、これらの分析を行うには大変手間がかかる。比較的簡単に分解の程度を知るには、経時的に採取した試料を600°Cの電気炉で焼いて粗灰分含量を測定し、有機物量(灼熱減量)の残存率の変化を調べるのが有効である。有機物の分解は、原料の種類によって異なるが、十分腐熟すると、家畜ふんは40~50%、オガクズは10~15%程度分解する。牛ふんの堆肥化過程での有機物の残存率の変化を図2に示す。牛ふんのみの場合、有機物としての残存率は約50%であるが、灰分も含めた乾物残存率は約60%である。オガクズを混合した堆肥では、オガクズの分解率が低いことから残存率は高くなる。また、通気区と無通気区を比較すると、堆肥化の条件が良い通気区で残存率が低くなることからわかる。

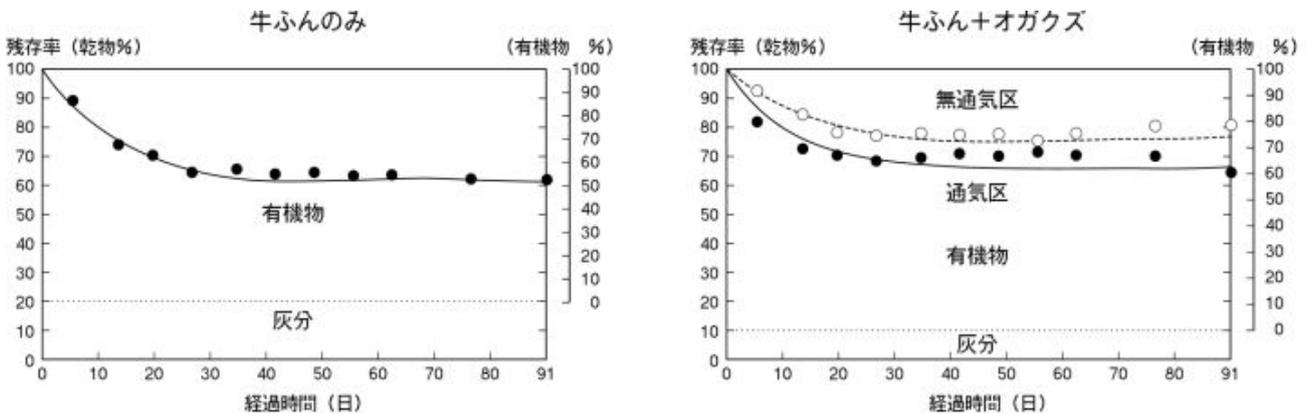


図2 牛ふんの堆肥化過程における有機物の分解4)

(3) 陽イオン交換容量(CEC)の測定

有機物の表面にはカルボキシル基等の陽イオンを吸着する官能基が存在しており、その量を陽イオン交換容量(CEC)と呼んでいる。有機物が腐熟するに伴ってカルボキシル基等が増えることによってCECが増大し(図3)、その変化はC/N比や成分組成の変化と高い相関がある。土壌のCEC測定法は有機質資材には適さないので、有機物用のCEC測定法が開発された5)。試料を0.05~0.2MHClで洗浄して水素イオンで飽和し、蒸留水で過剰の塩酸を除去した後、0.5M酢酸バリウムで水素イオンを交換浸出し、電位差滴定装置を用いて0.05MNaOHで滴定する。滴定装置が無い場合にはチモールブルー指示薬を用いて滴定してもよい。測定値は粗灰分を除いた有機物乾物当りの値で表示する。図3においても、堆肥化の条件が良い通気区でCECが高くなることが示されている。但し、オガクズのCECは低いので、オガクズが多量に混入した堆肥では、CECは低い傾向がある。

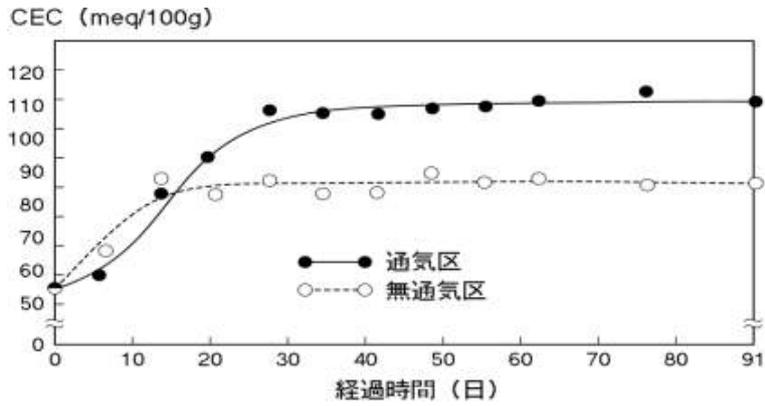


図3 牛ふんの堆肥化過程におけるCECの変化4)

(4) 硝酸態窒素の検出

原料資材中の含窒素化合物が分解されると最初はアンモニウム態窒素が多量に生成されるが、堆肥化の進行に伴い硝化菌の作用によって硝酸態窒素が増加してくる(図4)。これをジフェニルアミンを用いて定性的に検出する方法である。まず堆肥に10~20倍量の蒸留水を加えて攪拌し、ろ過してろ液の一部を呈色反応皿あるいは蒸発皿にとる。これにジフェニルアミン溶液(濃硫酸25mlにジフェニルアミン30mgを溶解させたもの)数滴を加え、発現する青色を観察する。硝酸態窒素が多量に存在し、濃青色を呈する場合にはかなり腐熟したものと考えてよいであろう。また、市販の硝酸テスト試験紙を使用してもよいが、感度が高いのでかなり希釈する必要がある。但し、鶏ふん堆肥のように、十分腐熟させてもアンモニウム態窒素の蓄積が著しく、硝酸態窒素の発現がほとんど認められない場合には使用できない。

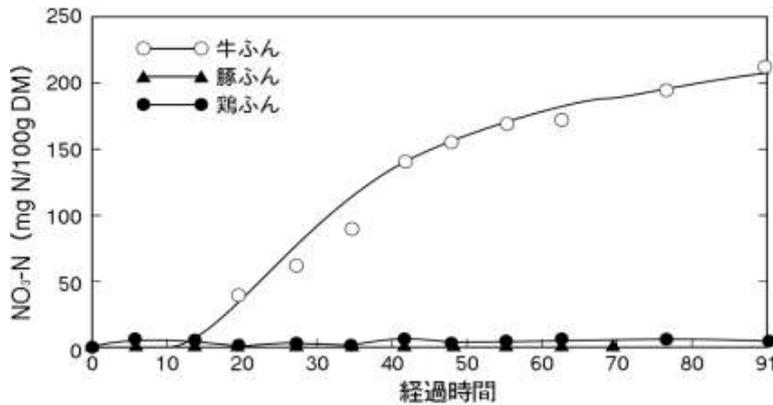


図4 家畜ふんの堆肥化過程における硝酸態窒素の消長 6)

(5) 発芽試験

原料資材中の生育阻害物質の有無を知るためには、コマツナ種子を用いた発芽試験が簡易である。堆肥に10~20倍量の蒸留水を加えて30分程度振盪し抽出する。ガラスシャーレ(内径9cm程度)にろ紙2枚とその上にガーゼを1枚敷き、抽出液10mlを加え、コマツナ種子50粒を播種し、20°Cの恒温器に静置し、対称区が100%発芽した時点で発芽率を調べる。生ふんおよび嫌氣的状態に置いたふんでは発芽率は低い、堆肥化に伴って生育阻害物質が分解され、発芽率は高くなる(図5)。

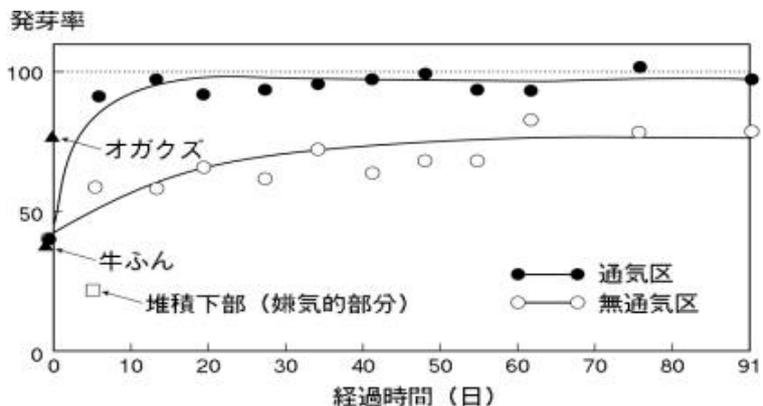


図5 牛ふんの堆肥化過程におけるコマツナの発芽率の変化 4)

(6) 幼植物試験

発芽試験は、水で抽出される生育阻害物質の有無を知るだけのものであるが、未熟堆肥を施用したときの作物被害の原因は、生育阻害物質以外にも、土壌の異常還元、窒素過剰あるいは窒素飢餓、塩類障害など様々である。幼植物試験は、発芽試験ほど簡易ではないが、植物に対する堆肥の安全性を確かめる最も確実な方法である。試験方法の詳細は、農水省農蚕園芸局長通達「肥料取締法の一部改正に伴う今後の肥料取り締まりについて」7)に記載されているが、風乾細土と堆肥を混合し所定の施肥をして内径11.3cm、高さ6.5cmのノイバウエルポットに充填し、コマツナ種子を20あるいは25粒播種し、水分および温度管理をしながら3週間栽培して生育状況を調査するものである。

4. 評点法による腐熟度並びに品質の評価

上に述べた方法は、いずれも腐熟度の評価法として比較的簡便でよく用いられている方法であるが、これらの方法が簡便といいながらも、温度測定以外の方法についてみれば、やはり特定の器具や試薬、さらに多少の技術と時間を必要とするものである。そこで、分析や栽培などを行わず現場で判断するための評価基準の作成が試みられている。

現在行われている堆肥化では、敷料や副資材の有無、種類、混合比、堆肥化方式など極めて多様化しており、堆肥の外観のみから腐熟度を評価することは困難である。例えば、堆肥の色については、一般的には腐熟が進むほど黒っぽくなることが知られているが、色は混合する副資材の種類によっても異なるし、水分の違いによっても大きく異なる。形状についても、混合する資材に何を用いるかによってその判断は異なってくる。しかし、色や形状など堆肥の外観の他に、堆積期間、堆積中の最高温度、繰り返し回数、強制通気の有無など堆肥化条件等の項目を加えて総合判断すれば、ある程度の評価は可能と考えられる。

そこで、熊本県の提案を参考にして表4に示すような評価基準が作成された。この表の各項目で該当するものの点数を付け、それらの合計点で未熟・中熟・完熟を評価するというものである。熊本県では、最近、項目や点数にさらに検討を加え、表に示すような評価基準を作成して堆きゅう肥共励会などでの評価基準として使用されている(表5)。ここに示した表は強制通気装置を使用した場合のものであるが、この他に強制通気を行わない場合や、特殊な例ではあるが炭化物を混合した場合などの表も作成されている。

表4 現地における腐熟度評価基準 1)

色	黄～黄褐色(2)、褐色(5)、黒褐色～黒色(10)
形状	現物の形状をとどめる(2)、かなり崩れる(5)、ほとんど認めない(10)
臭気	ふん尿臭強い(2)、ふん尿臭弱い(5)、堆肥臭(10)
水分	強く握ると指の間からしたたる(70%前後)(2) 強く握ると手のひらにかなりつく(60%前後)(5) 強く握っても手のひらにあまりつかない(50%前後)(10)
堆積中の最高温度	50℃以下(2)、50～60℃(10)、60～70℃(15)、70℃以上(20)
堆積期間	家畜ふんのみ:20日以内(2)、20日～2ヶ月(10)、2ヶ月以上(20) 作物収穫残渣との混合物:20日以内(2)、20日～3ヶ月(10)、3ヶ月以上(20) 木質物との混合物:20日以内(2)、20日～6ヶ月(10)、6ヶ月以上(20)
繰り返し回数	2回以下(2)、3～6回(5)、7回以上(10)
強制通気	なし(0)、有り(10)

()内は点数を示す。

これらの点数を合計し、未熟(30点以下)、中熟(31～80点)、完熟(81点以上)とする。

表5 熊本県の堆きゅう肥現地品質(腐熟度)評価基準(強制通気装置使用施設の場合) 8)

敷料の種類	チップ・オガクズ等木質資材(2)、モミガラ(5)、わら・山野草類(10)
堆積期間	1ヶ月以下(0)、1～2ヶ月(5)、2～3ヶ月(10)、3～6ヶ月(15)、6ヶ月以上(20)
繰り返し回数	2回以下(0)、3～4回(5)、5～6回(10)、7回以上(15)
水分	70%以上(1)、70～60%(3)、60～40%(5)、40%以下(3)
色相	黄～黄褐色(2)、褐色(5)、黒褐色～黒色(10)
形状(水洗後)	現物の形状をとどめる(2)、かなり崩れる(9)、ほとんど認めない(15)
臭気	ふん尿の臭いが強い(1)、ふん尿の臭いが弱い(3)、ふん尿の臭いが全くない(5)
C/N	10以下(2)、10～15(5)、15～20(10)、20～25(5)、25以上(2)

いずれか選択

EC(1:20, mS/cm) 6以上(2)、4~6(5)、4以下(10)

塩素 1.0以上(0)、0.5~1.0(5)、0.5以下(10)

備考)

この品質(腐熟度)判定基準は、現地で聞き取りや五感で判断できやすい項目および品質判定に関連する化学性に絞ったもので、村上(1982)、原田(1983)等の判定法を参考にした。

なお、総合得点が50点以下を未熟、51~75点を中熟、76点以上を完熟とする。

形状については、水洗い後の状態をみて判断すること。

ECと塩素については、いずれか現地で主に使っているものを選択すること。

5. おわりに

家畜ふん堆肥の品質基準および使用可能と思われる品質評価法について整理してみた。家畜ふんの資源的利用を促進させるためには、使いやすい良質の堆肥を製造することが極めて重要であり、そのためには堆肥の品質を的確に評価する方法が必要である。腐熟度の評価については、堆肥の原料や製造法が様々であるために、すべての堆肥に適用できる簡易な評価法を開発するのは困難であるが、ここで紹介した複数の評価法を組み合わせることによって、腐熟度の評価はより確実になるとと思われる。最後に紹介した評点法は総合的に判断するもので、確実性は高いと思われるが、これらの評価基準で高い点数を得たものでも、発芽率を測ってみると低いものが見受けられることがある。評点法についても、発芽率や幼植物試験と組み合わせる評価するのが確実である。

堆肥の養分含量については、品質の善し悪しと関連づけて論ずるものではないので、ここでは言及しなかったが、堆肥の施用量を決めるためには重要な項目である。とくに堆肥のような成分組成が一定になりにくいものについては、できるだけ分析の回数を多くして、養分含量の変動の程度を知る必要がある。養分含量の分析法は確立されているが、今後は、より簡易な測定法の開発が必要となろう。

【引用文献】

- 1)原田靖生: 家畜ふん尿堆肥の品質基準及びその判定法と残された問題点、総合農業研究叢書、7、142~163(1985)
- 2)栗原淳: たい肥等特殊肥料の品質保全と自己認証制度、肥料同人第9回肥料セミナー講演資料集、8~16(1995)
- 3)原田靖生・山口武則: 家畜排泄物堆肥の品質の実態と問題点、環境保全と新しい畜産、(社)農林水産技術情報協会、229~246(1997)
- 4)原田靖生: Composting and application of animal wastes, FFTC Extension of Bulletin, 311, 19~31(1990)
- 5)原田靖生・井ノ子昭夫: The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity, Soil Sci. Plant Nutr., 26, 127~134(1980)
- 6)原田靖生・羽賀清典・長田隆・越野正義: Quality aspects of animal waste composts, International Symposium on Hog Waste Treatments and Composts, Taipei, R.O.C. (1991)
- 7)農林水産省農蚕園芸局長通達: 植物に対する害に関する栽培試験の方法、「肥料取締法の一部改正に伴う今後の肥料取り締まりについて」、59農蚕第1943号(1984)
- 8)熊本県土づくり・減農薬運動推進本部: 堆きゆう肥利用の手引き(1996)

