

# 第3章 堆肥の施用法と作り方

第3章  
堆肥の施用法と作り方

地力窒素を維持するために有機物がある程度、毎年施用する必要がある。特にC/N比の比較的大きい稲わら堆肥や牛ふん堆肥の施用は地力窒素の発現に有効である。一方、C/N比の小さい鶏ふんは地力窒素の発現効果が小さいが、速効的な肥料的效果は高いことに留意する（第4章の3参照）。

## 1 適切な堆肥施用量

作物別施肥基準量の「堆肥及び土づくり資材等の施用例」には、作物ごとに県内で最も使用されると想定される堆肥を示した。その他の堆肥を施用する場合は、表3-1の目安を参考とする。

ただし、環境保全型農業を行うためには、堆肥中の肥料有効成分量を考慮し、堆肥を過剰に施用することのないように、次項以降で計算される堆肥施用量で施用することが肝要である。

表3-1 堆肥等有機質資材のほ場への施用量の目安

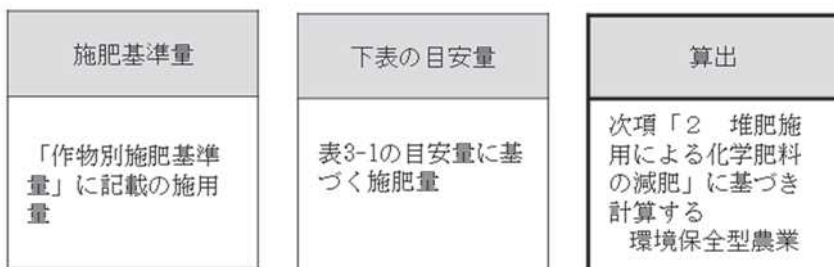
(t/10a/作)

	牛ふん堆肥				稲わら堆肥	稲わらすき込み(現物)
	副資材なし	オガクズ混合	モミガラ混合	バーク混合		
水稻 乾田	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	1	0.5
半湿田	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
普通畑	1	1	1	1	1	0.5
野菜 露地	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	0.5
施設	2~3	2~3	2~3	2~3	2~3	0.3~0.5
花き 露地	1	1	1	1	1	-
施設	2	2	2	2	2	0.5
果樹 露地	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	0.5
施設	-	1	1	1	1	-
飼料作物	3~4	3~4	3~4	3~4	-	-

(注)この目安は、運用を前提に有機物中の累積効果を考慮し、作物の種類に応じて設定したものである。このため、連作体系、土壌、気象及び栽培品目等の条件に応じて適宜変更することも必要である。また、新規造成地や単年度施用の場合は、この目安量より多くしても差し支えない。

### ◇ 堆肥の施用量の決め方

堆肥の施用量は、次のいずれかにより決めるが、施用する堆肥の成分量に基づき「算出」することが肝要である。



## 2 堆肥施用による化学肥料の減肥

環境保全型農業を推進するため、堆肥に含まれる肥料成分を適切に評価し、堆肥施用量を決定し、その有効成分量を施肥量から差し引くことで過剰施肥を防止する。

なお、あらかじめ土壌診断を行い、栽培土壌に必要な施肥量を決めておくことが重要である。

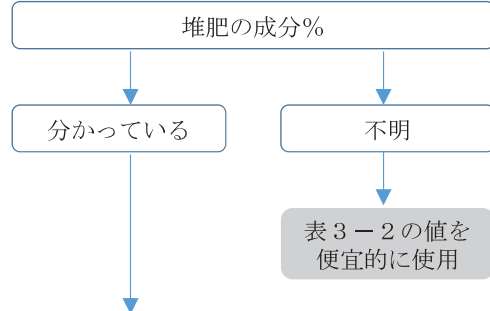
### ◇ 化学肥料（基肥）の施肥量

$$= \text{施肥基準} \pm \text{土壌診断} - \text{堆肥中の有効成分量}$$

## 堆肥中の有効成分量の計算

堆肥の種類、副資材の量や質により有効成分量は異なるため、基本的には成分表示されているものを施用することが望ましい。堆肥中の有効成分量は、次のように計算される。ただし、成分が不明の場合には便宜的に表3-3、4の値を用いて計算された表3-2の量を用いることとする。

### ◇ 堆肥中有効成分量の計算方法（窒素の場合）



(成分表示が乾物あたりの場合)

窒素有効成分量 (現物1t当たりkg)

$$= 1000 \times (100 - \text{水分}\%) \times \text{窒素成分}\% / 100 \times \text{肥効率}\% / 100$$

(成分表示が現物あたりの場合)

窒素有効成分量 (現物1t当たりkg)

$$= 1000 \times \text{窒素成分}\% / 100 \times \text{肥効率}\% / 100$$

※肥効率 表3-3参照

※ 加里及びりん酸も同様に計算する。

表3-2 堆肥現物1tの有効成分量

堆肥の種類	畜種	有効量 (kg)		
		窒素	りん酸	加里
家畜ふん堆肥	牛ふん	2.2	8.7	13.1
	豚ふん	11.8	28.2	17.3
	鶏ふん	16.8	40.9	28.1
オガクズ混合堆肥	牛ふん	0.7	4.0	8.2
	豚ふん	4.2	10.2	7.5
	鶏ふん	2.7	11.8	9.5
モミガラ混合堆肥	牛ふん	1.7	9.3	8.9
	豚ふん	6.7	13.4	20.2
稲わら混合堆肥	牛ふん	1.0	2.9	4.8
稲わら堆肥	-	1.2	1.0	4.1
バーク堆肥	-	0	1.6	1.4
落ち葉堆肥	-	2.1	1.0	3.6

表3-3 堆肥の肥効率の目安

堆肥の種類	畜種	肥効率 (%)		
		窒素	りん酸	加里
家畜ふん堆肥	牛ふん	20	60	90
	豚ふん	50	70	90
	鶏ふん	60	70	90
オガクズ混合堆肥	牛ふん	10	50	90
	豚ふん	40	60	90
	鶏ふん	30	60	90
モミガラ混合堆肥	牛ふん	20	60	90
	豚ふん	50	60	90
稲わら混合堆肥	牛ふん	20	60	90
稲わら堆肥	-	30	50	90
バーク堆肥	-	0	50	90
落ち葉堆肥	-	30	50	90

(注)この表の肥効率は、あくまで平均的なものを想定している。窒素の肥効率は、堆肥が完熟になれば表の値より小さくなり、未熟であれば表の値より大きくなると考えられるので、表3-11を参考に窒素の肥効率を加減する。また、見直しや確認の試験が行われており、値が変わる場合がある。

## 化学肥料の減肥量の計算

前項で計算した堆肥中有効成分量に基づいて、その栽培作物に適した堆肥の施用量を決定し、化学肥料施肥量を次のように計算する。

なお、この計算は、ソフト「たい肥活用による減肥診断ソフト」（農業環境指導センターHP からダウンロード）で自動的に行える。

### ◇ 堆肥施用量と化学肥料施肥量の計算方法

次のようにまず堆肥の施用量を計算し、ついで、化学肥料の施肥量を計算する。

	例)トマトの場合		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
施肥基準量 (kg/10a) (A)	12	25	12
↓ ← 堆肥による代替率% (B 下記参考(イ))	30	100	100
堆肥による代替量 kg/10a (C=A×B/100)	3.6	25	12
↓ ← 堆肥中有効成分量 kg/t (D 前項で計算)	0.7	4.0	8.2
成分ごとに計算した堆肥施用量 t (C/D)	5.1	6.3	<b>1.5</b>
↓			
最も少ない量を			
堆肥施用量 t/10aとする (E)			<b>1.5</b>
↓			
その堆肥中の有効成分量 kg/10a (F=D×E)	1	6	12
↓			
Fを施肥基準量から差し引く			
化学肥料施肥量 (= A-F)	11	19	0

(参考)

### ア 堆肥等有機物資材の成分例

表3-4 堆肥等有機質資材の成分例 (対乾物)

種類 (畜種)	水分 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N	りん酸 (%)	加里 (%)	石灰 (%)	苦土 (%)
家畜ふん堆肥 ・副資材なし								
(牛ふん)	50	34.9	2.2	16.7	2.9	2.9	4.2	1.3
(豚ふん)	36	35.0	3.7	9.9	6.3	3.0	5.9	3.3
(鶏ふん・採卵鶏)	20	27.9	3.5	8.4	7.3	3.9	15.8	2.2
オガクズ混合堆肥								
(牛ふん)	62	38.4	1.8	22.0	2.1	2.4	2.8	1.0
(豚ふん)	54	38.3	2.3	17.2	3.7	1.8	3.3	1.1
(鶏ふん・採卵鶏)	52	34.0	1.9	20.0	4.1	2.2	9.2	1.0
モミガラ混合堆肥								
(牛ふん)	59	31.4	2.1	18.9	3.8	2.4	3.6	1.1
(豚ふん)	44	36.1	2.4	15.8	4.0	1.4	4.0	1.2
稲わら混合堆肥								
(牛ふん)	77	36.1	2.2	16.7	2.1	2.3	2.4	1.0
稲わら堆肥	75	28.0	1.6	18.0	0.8	1.8	2.0	0.6
バーク堆肥	60	40.1	1.7	30.0	0.8	0.4	-	-
落ち葉堆肥	75	50.1	2.8	17.9	0.5	1.0	-	-
稲わら (現物)	25	40.0	0.6	66.0	0.2	2.2	0.6	0.1
もみがら (現物)	12	33.0	0.4	80.0	0.2	0.3	0.1	-
乾燥家畜ふん								
(牛ふん)	84	41	1.8	23	2.7	0.7	3.7	1.5
(豚ふん)	81	42	3.9	11	4.8	0.4	4.9	1.6
(鶏ふん・採卵鶏)	78	42	4.6	9	8.6	3.1	10.9	1.6
(鶏ふん・ブロイラー)	40	39	3.5	11	4.5	3.0	1.6	0.8

水分は対現物、それ以外は対乾物値

表 3-5 堆肥等有機質資材の成分例（対現物）

種類 (畜種)	水分 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N	りん酸 (%)	加里 (%)	石灰 (%)	苦土 (%)
家畜ふん堆肥								
・副資材なし								
(牛ふん)	50	17.5	1.1	16.7	1.5	1.5	2.1	0.7
(豚ふん)	36	22.4	2.4	9.9	4.0	1.9	3.8	2.1
(鶏ふん・採卵鶏)	20	22.3	2.8	8.4	5.8	3.1	12.6	1.8
オガクズ混合堆肥								
(牛ふん)	62	14.6	0.7	22.0	0.8	0.9	1.1	0.4
(豚ふん)	54	17.6	1.1	17.2	1.7	0.8	1.5	0.5
(鶏ふん・採卵鶏)	52	16.3	0.9	20.0	2.0	1.1	4.4	0.5
モミガラ混合堆肥								
(牛ふん)	59	12.9	0.9	18.9	1.6	1.0	1.5	0.5
(豚ふん)	44	20.2	1.3	15.8	2.2	0.8	2.2	0.7
稲わら混合堆肥								
(牛ふん)	77	8.3	0.5	16.7	0.5	0.5	0.6	0.2
稲わら堆肥	75	7.0	0.4	18.0	0.2	0.5	0.5	0.2
パーク堆肥	60	16.0	0.7	30.0	0.3	0.2	-	-
落ち葉堆肥	75	12.5	0.7	17.9	0.1	0.3	-	-
稲わら（現物）	25	30.0	0.5	66.0	0.2	1.7	0.5	0.1
もみがら（現物）	12	29.0	0.4	80.0	0.2	0.3	0.1	-
乾燥家畜ふん								
(牛ふん)	84	6.6	0.3	23.0	0.4	0.1	0.6	0.2
(豚ふん)	81	8.0	0.7	11.0	0.9	0.1	0.9	0.3
(鶏ふん・採卵鶏)	78	9.2	1.0	9.0	1.9	0.7	2.4	0.4
(鶏ふん・ブロイラー)	40	23.4	2.1	11.0	2.7	1.8	1.0	0.5

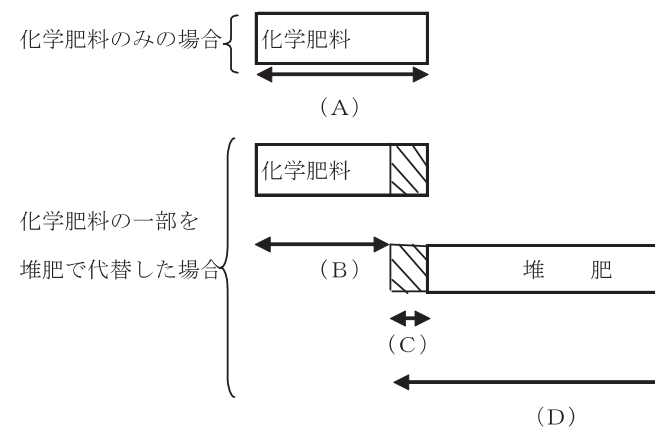
### イ 堆肥による化学肥料代替率の設定

堆肥による窒素成分の化学肥料代替率（図 3-1 参照）は 30%を限度として設定する。

堆肥中の窒素成分の有効化は微生物の働きによるため、地温の影響を受ける。このため、堆肥による窒素成分の化学肥料代替率を 30%より多くすると、作物の生育が不安定となる。また、代替率を高くするほど、ほ場に投入される窒素量は多くなり、環境への負荷が増すことが懸念される。なお、窒素以外の肥料成分、りん酸、加里、石灰、苦土については、作物への肥効に限れば代替率を 100%まで設定することができる。

なお、堆肥に含まれる有効成分の計算は基肥のみに用い、追肥には化学肥料を施用する。

図 3-1 堆肥中窒素の化学肥料代替率と肥効率



(A) : 化学肥料のみで栽培する場合の基肥窒素施用量

(B) : 化学肥料での基肥窒素施用量

(C) : 化学肥料と代替できる堆肥中の窒素量

$$(B) + (C) = (A)$$

(D) : 堆肥中の全窒素量

$$\text{化学肥料代替率 (\%)} = (C) / (A) \times 100$$

$$\text{堆肥の肥効率 (\%)} = (C) / (D) \times 100$$

### ウ 堆肥の重量の計算

例えば、マニユアスプレッダーに積み込んだ堆肥が縦 3m、横 1.5m、高さ 45cm であれば、容積は  $3\text{m} \times 1.5\text{m} \times 0.45\text{m} \doteq 2.0\text{m}^3$  となる。容積重が 0.5 であれば堆肥重量は  $2.0\text{m}^3 \times 0.5\text{ t/m}^3 = 1.0\text{t}$  となる

表 3-6 堆肥の容積重(参考) (t/m<sup>3</sup>)

水分	牛ふん堆肥		豚・鶏ふん堆肥	
	副資材無	副資材有	副資材無	副資材有
60%	0.55	0.50	0.60	0.55
55%	0.50	0.45	0.55	0.50
50%	0.45	0.40	0.50	0.45
45%	0.45	0.40	0.50	0.45
40%	0.40	0.35	0.45	0.40
35%	0.40	0.35	0.45	0.40
30%	0.35	0.30	0.40	0.35

畜産環境アドバイザー養成研修資料(畜産環境整備機構)

## 3 堆肥の肥効のバラツキ

### 堆肥の肥効にはバラツキがある

堆肥の副資材の種類や量、堆肥の水分、堆肥の製造方法(堆積期間、切り返し回数など)が多岐に渡るため、畜種が同じでも品質(成分含有率や肥効率など)のバラツキが大きく(図 3-2、3)、堆肥の施用が困難な一因となっている

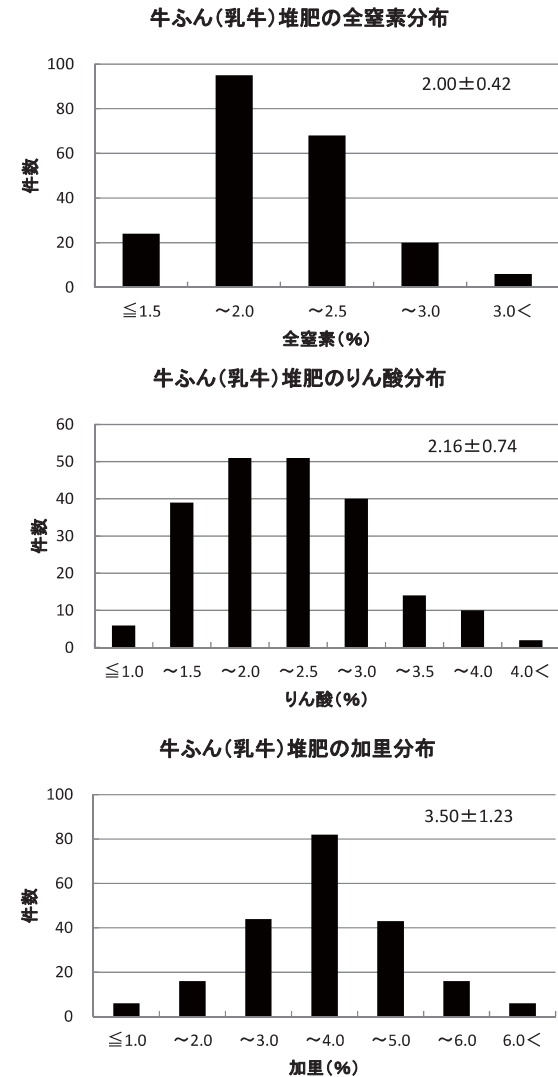


図 3-2 牛ふん堆肥(乳牛)の全窒素、りん酸、加里濃度分布(対乾物)

(注)平成13～19年度栃木県堆肥共励会、平成21～27年栃木県堆肥成分分析事業データより。グラフ中の数字は平均値±標準偏差を示す。

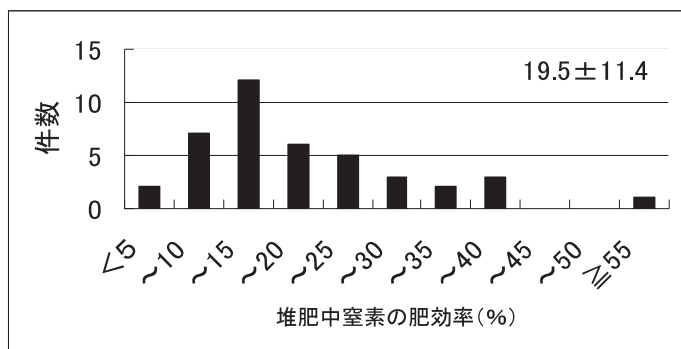


図3-3 牛ふん堆肥の窒素肥効率

(注) 水稻を用いたポット試験 (グラフ中の数字は平均値±標準偏差を示す。)

### 腐熟が進むと肥効率は下がる

一般に、分解が進んでいるほど堆肥の肥効率は低くなる。このことは完熟堆肥の有用性を否定するものではない。むしろ分解が進んだ堆肥ほど生育障害や雑草種子の混入の可能性が低くなることに留意すべきである (図3-4)。

表3-3に示した肥効率は、あくまでも平均的なものを想定している。堆肥が完熟になれば、窒素の肥効率は表の値より小さくなることが予想される。逆に未熟であれば、肥効率は表の値より大きくなると考えられるので、表3-11の腐熟度判定基準を参考にして、自分が使う堆肥の肥効率を把握するように努める。

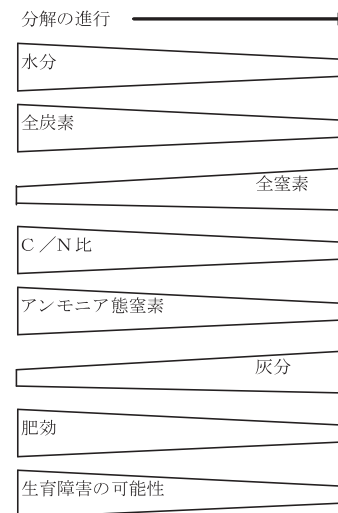
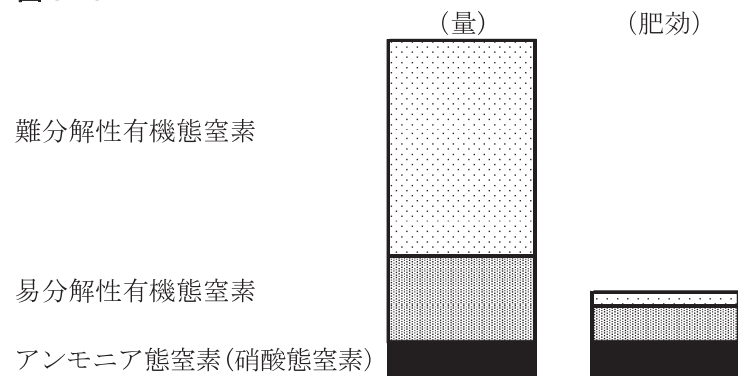


図3-4 牛ふん・豚ふん堆肥の分解過程における各成分の推移と肥効のイメージ

## 堆肥からの窒素無機化の予測が困難

牛ふん堆肥の窒素の肥効は、アンモニア態窒素（硝酸態窒素）＞易分解性有機態窒素＞難分解性有機態窒素の順となる。このように、堆肥の肥効発現には、アンモニア態窒素、硝酸態窒素及び易分解性有機態窒素が大きく関与する（図3-5）。前二者は化学分析によって測定できる。一方、**易分解性有機態窒素含量は、アンモニア態窒素や灰分含量などによりある程度推測はつくが、直接定量されるわけではない。**このことが、堆肥の肥効予測を困難にしている一因である。

図3-5 堆肥中の形態別窒素の肥効イメージ



※牛ふん堆肥の窒素の肥効はアンモニア態窒素（硝酸態窒素）＞易分解性有機態窒素の順である。難分解性有機態窒素の含有量は多いが、肥効はきわめて小さい。

## 堆肥の肥効の年次間差は小さい

図3-6は、同一畜舎から採取した堆肥の窒素利用率の年度間差が小さいことを示している。このことは、施用1年目の肥効を基にすれば、2年目以降の堆肥施用量の算出が容易であることを示唆している。これらのことから、肥料成分が表示されている堆肥を使い、合わせて使う人自身が肥効率を把握することにより、堆肥を適正量施用することが可能となる。

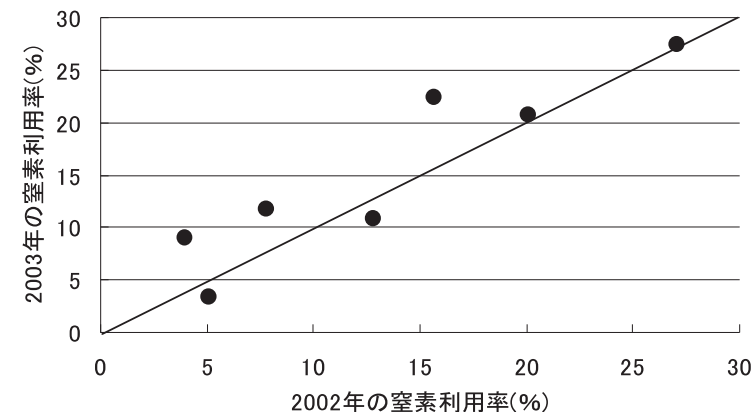


図3-6 牛ふん堆肥の窒素利用率の年度間差

## 堆肥施用の初年目は少なめに施用して肥効を確認

牛ふん堆肥を同じだけ施用しても、生育は表3-7の写真のように異なる。(堆肥A、D区の生育が旺盛なのは、堆肥中にアンモニア態窒素を多く含んでいるためである。また、易分解性有機物も多いと考えられ、肥効の発現に関与していると考えられる。)このように、堆肥の窒素含量がわかっている場合でも肥効発現を予測することは難しい。現状では、図3-6で明らかのように、**初年目には少なめに堆肥を施用し（過剰害等を回避するために）、生育状況を良く把握しておくことが、2年目以降の肥効を予測する最も確実な方法である。**





**表 3-7 水稻のポット試験における窒素施用量**

試験区名	基肥時の窒素施用量 (kg/10a)	
	化学肥料由来	堆肥由来
化学肥料単用区	3.0	0
堆肥A 4 t 区	0	38.1(3.5)
堆肥B 4 t 区	0	39.1(0.0)
堆肥C 4 t 区	0	47.3(0.3)
堆肥D 4 t 区	0	31.4(2.6)

注. ( )内の数字はアンモニア態窒素の量を示す。

一般に、アンモニア態窒素の多い堆肥は易分解性有機態窒素も多い(すなわち未熟である)。

## 4 堆肥の過剰施用の影響

次章で記述するが、堆肥に期待される主な効果は、団粒構造を形成することにより通気性、排水性及び保水性を良くするとともに、徐々に養分を供給することにある。一方、鶏ふんなど、C/N比が小さいものは化学肥料的な効果に優れる。このように、目的に応じ堆肥を適切に施用すれば、土壤の地力要因を改良し、作物の収量を高めることが可能となる。しかし、特に未熟な堆肥を多量施用した場合には土壤や作物へ悪影響を与える場合が多くなる。以下に堆肥を過剰施用した場合の悪影響を記す。

### 未熟な堆肥施用による濃度障害

未熟な堆肥を施用すると、土壤中で急激に分解が進み、アンモニア態窒素の濃度が高まる。このことにより作物根が濃度障害(いわゆる肥焼け)を起こす可能性がある。同様なことが鶏ふんなどC/N比の低い堆肥を多量施用した場合にもあてはまる。このことから、これらの堆肥を施用する場合には、植え付けまで少なくとも1か月程度の期間を置くことが必要になる。

### 過剰施用による硝酸態窒素の地下水汚染

土壤中のアンモニア態窒素は、微生物の働きによって硝酸態窒素に変化する。硝酸態窒素は土壤に保持されにくいいため、地下水汚染が生じやすくなる。このように、有機物といえども、過剰施用は環境汚染の原因となることに留意する必要がある。

### C/N比が高いことによる窒素飢餓

稲わらやオガクズなどの副資材が多量に混ざり、C/N比が高い堆肥を施用すると分解される窒素量はわずかである。この場合、分解された窒素及び施用窒素を微生物がほとんど取り込んでしまうため、作物が窒素を吸収できなくなる(いわゆる窒素飢餓)。このことを回避するには家畜ふんの



添加割合を増すなどしてC/N比を20~30程度まで下げる必要がある。

### 未熟な堆肥に含まれる生育阻害物質

副資材として含まれるオガクズやバークにはフェノールなどの生育阻害物質が含まれる。また、堆肥は好氣的に分解を進める必要がある。水分が多すぎたり、堆肥の切り返しが少ないなど嫌氣的な発酵が進んだ場合にはフェノールの他に低級脂肪酸の発生が見られ、生育阻害の可能性が生じる。

### 未熟な堆肥施用による水田の還元化

未熟な堆肥は十分に分解が進んでいない。これらを多施用すると、「エサ」が増えて微生物は急激に増殖し、土壌中の酸素を消費してしまう。前述したように、元来水田は還元状態になりやすく、未熟な堆肥を多施用すると水稻根に有害な硫化水素や有機酸の発生が助長される。排水不良な粘質の畑土壌でも同様のことが生じやすくなる。

排水が良好な畑地土壌で、やむを得ず未熟堆肥を施用する場合には、播種、定植の1か月前に実施し、分解を進める。この場合、浅い位置に施用することに留意する。深い位置に施用すると堆肥の分解が遅れるためである。

### ECが高いことによる濃度障害

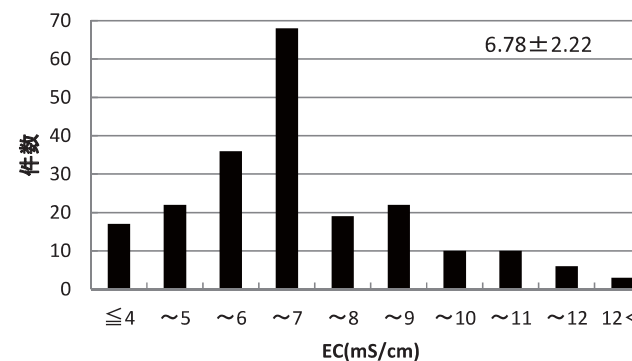
家畜ふん堆肥のECの推奨基準は5 mS/cm以下である。ECが高い堆肥を多量に施用すると、化学肥料を過剰に施用した場合と同様に濃度障害を起こす。近年の牛ふん及び豚ふん堆肥は、従来のもの比べて水溶性成分、特に加里、塩素、ナトリウムを多く含んでおり、高いECに反映されている(図3-7参照)。また、ナトリウム、加里が多量に施用されると土壌団粒が壊れやすくなる。乾物当たり塩素が1%の堆肥(水分50%)を2トン施用すると、塩化ナトリウムとしての投入量は次のようになる。

$$2000\text{kg} \times (100-50)/100 \times 1/100 \times 1.65 = 16.5 \text{ kg}$$

(塩素1kgは塩1.65kgに相当する)

この値は施設栽培における10a、一作当たりの塩化ナトリウムの投入限界量15kgに匹敵するものである。

牛ふん(乳牛)堆肥のEC分布



牛ふん堆肥(乳牛)の塩素分布

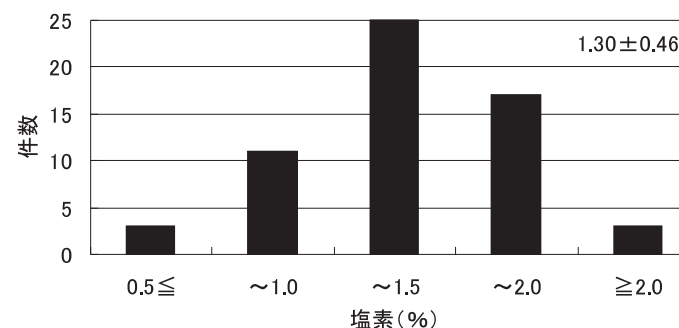


図3-7 牛ふん堆肥(乳牛)のEC及び塩素濃度分布

(注) 平成13~16年度栃木県堆肥共励会データより。グラフ中の数字は平均値±標準偏差を示す。

## 土壌 pH の上昇

多くの家畜ふん堆肥は弱アルカリ性であるため、長期にわたり過剰施用を続けると土壌の pH も上昇する。微量元素の多く（鉄、マンガン、ほう素、銅、亜鉛など）は、土壌 pH が高くなると不溶化し、作物が吸収しにくくなる（P230～231参照）。

## 土壌中成分バランスの崩壊

一般に、家畜ふん堆肥は肥料成分としてはバランスが崩れている場合が多い。例えば、牛ふんでは加里が、豚ふんではりん酸が、鶏ふんではりん酸、石灰が多い（P22～23参照）。このため、長期にわたり過剰施用を続けることにより土壌中に特定の成分が集積することになる。例えば、牛ふん堆肥を多量に連用することにより、土壌中には加里が集積する。一方で、土壌中の加里と苦土には適正なバランスが求められていて、苦土に比べて加里の量が多い場合には苦土の吸収が阻害される。このことを拮抗作用という。

## 木質資材による干ばつの被害

オガクズ等木質資材を多く含む堆肥を多量に施用すると粗孔隙が過度に増え、毛管孔隙がとぎれる場合がある。このようなときには土壌中の水分が上方に移動する作用が妨げられて干ばつの被害を受けやすくなる。

## 5 堆肥連用の影響

### 地力窒素の増加に応じた化学肥料の減肥

図4-5～7（p54～55）には化学肥料に有機物を慣行量（10a 当たり堆肥 1 t、稲わら 500kg）上乘せして水田に毎年施用した場合の効果を示した。連用から 20 年経過すると、堆肥連用区の地力窒素は、化学肥料だけを施用した場合に比べ土 100t 当たり 2kg 多くなった。このことは水稻の窒素吸収が 10a 当たり 1～2kg 多くなることを意味する。ある程度の収量を確保するには窒素の吸収が必要だが、窒素吸収量が多くなると生育が旺盛になり倒伏しやすくなったり、病害が発生しやすくなる。水稻は窒素要求量が小さい作物なので、このような影響が顕著に現れる。また、粒重が低下したり、タンパク濃度が上昇して食味が低下する。このため、地力窒素の増加に応じて化学肥料を減肥する必要がある。

### 土壌診断で養分の過不足を矯正

畑地において化学肥料に有機物を慣行量（10a 当たり 1.5～2 t）上乘せして 20 年連用した区では、化学肥料単用区に比べて土壌中の可給態窒素や可給態りん酸の量が多くなった（表 3-8）。この結果として、有機物区の収量性は向上した。一般に牛ふんはりん酸含量が少ない傾向にあり、牛ふん施用での土壌の分析値はこのことを反映している。また、堆肥（稲わら牛ふん堆肥）区では交換性塩基（石灰、苦土）が過剰傾向となった。参考のために二条大麦の診断基準値を示したが、全ての基準値と合致する有機物区はない。これらのことから、土壌診断を行いながら養分の過不足に注意を払う必要がある。特に降雨による流亡が少ない施設土壌では土壌診断が一層重要となる。

表3-8 黒ボク土畑地における有機物連用20年後の作土の化学性

試験区	pH	可給態窒素 mg/100g	可給態りん酸 mg/100g	交換性塩基(mg/100g)			石灰/苦土	苦土/加里
				石灰	苦土	加里		
化学肥料単用区	6.4	7.1	5.2	528	65	16	8.1	4.1
稲わら堆肥区	6.7	12.5	15.5	1031	139	65	7.4	2.1
牛ふん区	6.2	12.5	6.7	613	66	25	9.3	2.6
豚ふん区	6.3	16.9	24.3	663	81	17	8.2	4.8
二条大麦の診断基準	6.0~6.5	-	20~60	570~760	100~125	60~85	3.5~8.5	1.0~2.5

表3-9 作物の平均収量

試験区	作物の平均収量 (kg/10a)	
	夏作	冬作
	大豆	二条大麦
化学肥料単用区	180(100)	332(100)
堆肥区	226(126)	435(131)
牛ふん区	239(133)	438(132)
豚ふん区	273(152)	429(129)

注. ( )内の数字は化学肥料単用区を100としたときの指数

### 継続的で適切な有機物の施用が必要

次章で述べるように、堆肥を中心とした有機物の施用は、**養分供給**の他に**物理性、生物性の改善**など化学肥料では得られない効果が得られる。また、有機成分による生育促進や作物の品質向上なども期待できる。これらは、いずれも微生物の働きが多少なりとも関与している。このため、微生物の「エサ」となる有機物を毎年施用することが長期的にみた場合、地力の維持・向上につながる。また、地力窒素は徐々に放出されるので、化学肥料に比べて環境への負荷ははるかに小さくなる。しかし、有機物の種類によって分解の程度は異なる。各種養分の供給も異なるため、**土壌の養分バランスに偏りが生じる場合がある**。これらのことを十分承知して**適宜土壌診断を行いながら適切に有機物を施用していく必要がある**。また、短期間に多量の有機物を施用することは各種養分の環境への負荷を増加させることにつながるため、毎年、適正量を施用し続けることが重要である。

## 6 堆肥のつくり方

堆肥の腐熟化には、空気を好む微生物が大きく関わる。このため、微生物の活動しやすい条件を整える必要があり、①C/N比、②水分及び③空気の供給に大別できる。

### ◇ 堆肥のつくり方のポイント

C/N比 25~40	切り返し	水分 50~60%	
これより高い場合は、窒素質肥料などを加えて下げる	・ 空気の供給  ・ 水分等を均一化する	豚や牛の生ふん	稲わら・落ち葉
		水分が高いため、水分調整材混合等により水分を下げる	水分低いため、水分を補給する

### 炭素率 (C/N 比) 25~40

微生物の活動には、特に炭素と窒素が必要であり、堆積物の炭素率が25~40（炭素の量が窒素の量の25~40倍であること）であることが堆肥化の最適条件となる。炭素率の高い稲わら、モミガラやオガクズは窒素が不足するため、そのままでは分解がほとんど進まない。このため、窒素質肥料などを加えて炭素率を下げる必要がある。

### 水分 50~60%

また、水分条件では50~60%のときが堆肥化の最適条件といわれている。豚や牛の生ふんは、水分が70~80%と多く、通気性も悪いため堆肥化が進まない。水分調整材混合等により水分を50~60%まで低下させることが必要になる。逆に稲わらや落ち葉など含水率の低い材料に窒素質肥料を添加して堆肥をつくる場合は水分を補給する必要がある。

## 切り返して、空気を供給

空気の供給を促進させるための方策として切り返しがある。堆積後、時間の経過とともに表面は乾いてくるが、内部は湿った状態のままとなり、分解があまり進まない。このため、内部の部分は外側に、下側の部分は上側に切り返す。このことにより、堆積物全体の膨軟化と均一化が図られ、分解が進むようになる。

### (1) 稲わら堆肥の作り方

図3-8に稲わらを利用した堆肥の作り方を示した。

①底辺が 1.5m 四方の場所に稲わらを敷く。収穫時にコンバインで切断しておくとしきりやすくなる。

②積み込んだわらの重量の80%くらいの水をかける。わらの水分は10%程度なので、この程度の水分の添加で堆積物の水分はほぼ50%になる。ただし、わらの乾燥程度で水分の添加は加減する。さらに足で20~30cmの厚さに踏み固める。この際、容積重に注意して踏み込み過ぎに注意する。このように、水分が高いときは空気の供給が可能となるよう軽く堆積し、逆に水分が低いときは踏み込みを強くして堆積させることが肝要である。

③稲わら 100kg に対して石灰窒素 3~4kg を上からふりまく。

④この作業を数回繰り返し 1.5m の高さまで積み込む。堆積物内部の発酵に必要な温度を確保するためにはこの程度の高さが必要になる。最後に

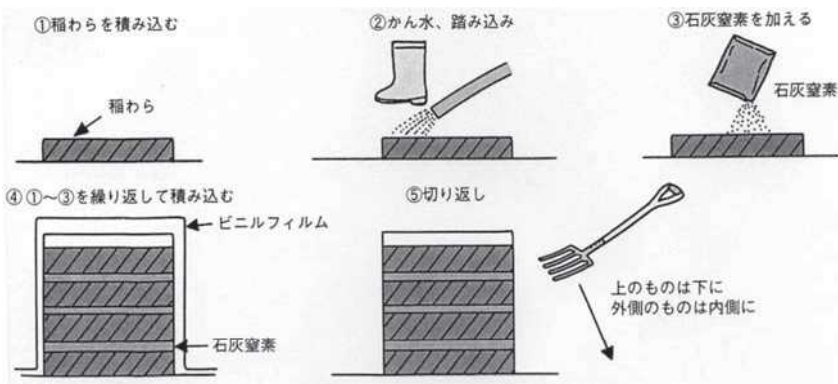


図3-8 稲わらを利用した速成堆肥の作り方

ビニールフィルムで覆い、乾燥や野ざらしによる養分の流亡を防ぐ。

⑤堆積後、速やかに発熱が起り、約1か月後には温度が低下するので、全体をほぐして切り返し、再び積み込む。同様の操作を繰り返せば、約2~3か月後には腐熟が進んだ堆肥ができあがる。

### (2) 堆肥化に必要な窒素と水分の量の求め方

表3-10に主な有機物の炭素率及び窒素率を矯正するために必要な窒素量の目安を示した。計算例を次に示す。

#### ア 稲わらに窒素質肥料を添加する場合 (C/N比を下げる場合)

##### ・必要な窒素肥料の量

表3-10から、稲わら 100kg 中の炭素 (C)、窒素 (N) 量及び水分は次のように示される。

$$C : 100\text{kg} \times (100-10)/100 \times 38/100 = 34.2\text{kg}$$

$$N : 100\text{kg} \times (100-10)/100 \times 0.49/100 = 0.44\text{kg}$$

$$\text{水分} : 100\text{kg} \times 10/100 = 10\text{kg}$$

炭素率を30にするには  $34.2/30 - 0.44 = 0.7\text{kg}$  の窒素成分が必要である。これは石灰窒素の 3.5kg に相当する (窒素の含有率: 20%)。

表3-10 主な有機物の水分、炭素率及び分解の難易

有機物	水分 (%)	炭素 (%) C	窒素 (%) N	炭素率 C/N 比	分解の 難易	原料100kgの炭素率 を30に矯正するのに 必要な窒素量(kg)	石灰窒素 の必要量 (kg)
鶏ふん	20	27.9	3.5	8.4	易		
豚ふん	36	35.0	3.7	9.9	易		
牛ふん	50	34.9	2.2	16.7	易		
落ち葉	15	48.0	0.90	53	やや易	0.6	3.0
稲わら	10	38.0	0.49	77	難	0.7	3.5
麦わら	10	46.0	0.50	92	難	0.9	4.7
モミガラ	10	34.0	0.36	96	難	0.7	3.8
せん定くず(チップ)	15	50.7	0.86	59	難	0.7	3.6
オガクズ	10	46.0	0.20	230	非常に難	1.2	6.0

##### ・水分の添加量

稲わら 100kg には水分が 10kg 含まれているので、わら乾物は 90kg である。水分を 50% [水分 / (わら乾物 + 水分) が 50% であることを意味す

る。]にするには、 $x / (90 + x) = 0.5$  の方程式を解き、 $x = 90$  となる。稲わらには水分が 10kg 含まれているので、 $90 - 10 = 80$  リットルの水を添加する必要がある。

#### イ 牛ふんにせん定くず(チップ)を添加する場合(C/N比を上げる場合)

##### ・せん定くず(チップ)の添加量

表 3-10 から、牛ふん 100kg 中の炭素、窒素量及び水分は次のように示される。

$$C : 100\text{kg} \times (100 - 50) / 100 \times 34.9 / 100 = 17.5\text{kg}$$

$$N : 100\text{kg} \times (100 - 50) / 100 \times 2.2 / 100 = 1.1\text{kg}$$

$$\text{水分} : 100\text{kg} \times 50 / 100 = 50\text{kg}$$

炭素率を 25 にするためにせん定くず(チップ)を  $x$  kg 添加する。このときの炭素、窒素量及び水分は次のように示される。

$$C : x \text{ kg} \times (100 - 15) / 100 \times 50.7 / 100 = 0.43x \text{ kg}$$

$$N : x \text{ kg} \times (100 - 15) / 100 \times 0.86 / 100 = 0.007x \text{ kg}$$

$$\text{水分} : x \text{ kg} \times 15 / 100 = 0.15x \text{ kg}$$

$(17.5 + 0.43x) / (1.1 + 0.007x) = 25$  の方程式を解くと、 $x = 40$  となる。

##### ・水分の添加量

牛ふんとせん定くず(チップ)の重量は 140kg なので、乾物重は  $140 - (50 + 0.15 \times 40) = 84\text{kg}$  となる。 $x / (84 + x) = 0.5$  の方程式を解くと、 $x = 84$  (水分) となる。牛ふんには 50kg、せん定くず(チップ)には  $40\text{kg} \times 0.15 = 6\text{kg}$  の水分が含まれているため、添加する水分は  $84 - (50 + 6) = 28\text{kg}$  となる(ここでは炭素率を 25 に設定した。炭素率を 30 に設定するとせん定くず(チップ)の必要量は 70kg となり、ガサが非常に大きくなってしまう)。

### (3) 容積重と水分で堆肥の腐熟度を推測

堆肥の重量は、容積及び容積重を用いて計算する(表 3-6 参照)。前述したように、栄養源、水分及び空気の流通に留意すれば、堆肥の腐熟化は進行し、水分も低下してくる。図 3-9 は、牛ふん堆肥の水分と容積重との関係を示したものであるが、両者の間には非常に高い相関があることがわかる。つまり、容積重を用いれば、堆肥の腐熟度をある程度推測することができる。図 3-9 の回帰式から計算すると、容積重が 0.5 のとき水分

は 53% である。これは、「強く握ると手のひらにかなりつく」に相当し、中熟を意味する(表 3-11 参照)。これらのことから、最低限、容積重が 0.5 以下のものを使うようにする。容積重がそれ以上のものは、堆積時の水分が多い、切り返しが少ない、堆積期間が短いなどの理由が考えられる。ただし、水分は腐熟度判断の基準の一項目であるから、表 3-11 の他の項目も用いて腐熟度を判断することが望ましい。

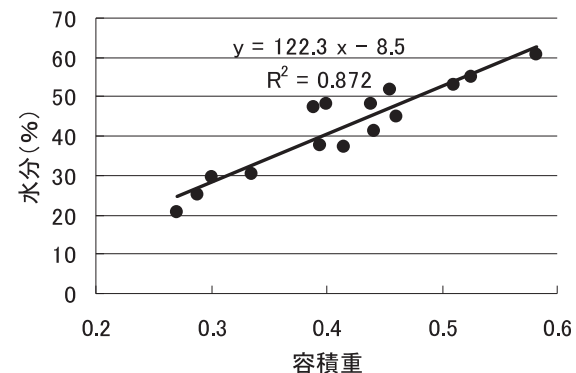


図 3-9 牛ふん堆肥の容積重と水分との関係

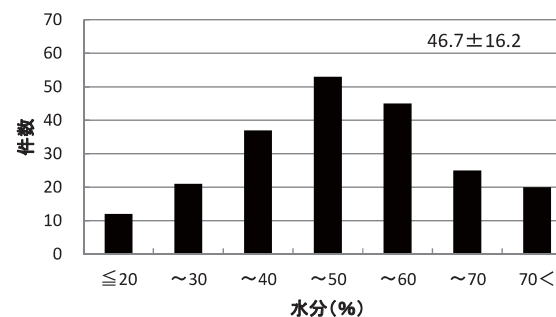


図 3-10 牛ふん堆肥(乳牛)の水分分布

(注)平成 13~19 年度栃木県堆肥共励会、平成 21~27 年栃木県堆肥成分分析事業データより。グラフ中の数字は平均値±標準偏差を示す。



## 7 よい堆肥の定義

堆肥に期待される主な効果は、団粒構造を形成することにより通気性、排水性及び保水性を良くするとともに、徐々に養分を供給するところにある。堆肥が未熟の場合、作物の生育を阻害する物質が多く含まれる。土壤に施用後、堆肥が急激に分解しガス害などが発生する場合もある。また、コガネムシなどの虫害の原因となる場合もある。このように未熟の堆肥を施用すると、作物への悪影響が生じやすくなる。

### (1) 堆肥の腐熟度判定基準

表3-11には、現場でできる堆肥の腐熟度判定基準を示した。色や形状などの外観が判断の基準となるが、混合する資材によって若干異なるので留意点を以下に示す。

- ・内部の色 一般に腐熟が進むほど黒色味が強くなる。しかし、表面のみが黒色を帯び、中心部は黒化していないものがオガクズやパーク堆肥にみられるので、色の黒色味を過信しないことが肝要である。
- ・ちぎれやすさ 混在している原材料物を取りだし、指でねじった場合に簡単に崩れたり、ちぎれたりするものは腐熟化が進んでいると考えられる。ちぎれにくい原材料や長いわらなどが多い場合には未熟状態と考えられる。
- ・臭い 強いアンモニア臭や卵が腐ったような刺激臭、あるいは木質の特

有な芳香が残っているものには未熟物が多くなる。直接、臭いをかいでみてははっきりしない場合でも、少量をアルミホイルにとり、下からライターのであぶって、なお刺激臭が発生するようでは未熟と考えられる。

- ・水分 手で握って、水が少ししみ出る程度のものがよいと考えられる。べとべとした状態では嫌気発酵が主体となり、腐熟が不十分となっているおそれがある。
- ・密封して判断 堆肥をビニール袋に取り、密封して数日間室温に放置する。未熟な堆肥は袋が膨らむので、分解の程度の判断材料となる。

堆肥の栄養源、水分、酸素の供給などが適切に行われていれば、微生物の活動によって堆積物の温度は70℃以上となり、病原菌や雑草の種子を死滅させることができる。また、オガクズや剪定くずなどの木質系資材はフェノールなどの生育阻害物質を含む。これらの分解にはある程度の期間を要するので、堆積期間の目安は家畜ふんと混合する材料で変わってくる。また、繰り返し回数や強制通気の有無は酸素の供給の目安となる。このように、外観以外に堆肥化の条件を加味することにより、腐熟度の評価は確かなものとなる。

## 8 ペレット堆肥の利用について

### ペレット堆肥で取扱性が向上

一般的なバラ堆肥は、化学肥料など比べて単位容積当たりの重量が軽いため、運搬や貯蔵面で効率が悪い。また、比較的大量の堆肥を水田等に施用するためには、マニユアスプレッダなど専用の機械装備が必要となるため取扱性に難がある。

ペレット堆肥は、堆肥化施設で生産されたバラ堆肥を圧縮成型装置でペレット状に成型したものである。形状は直径5mm前後、長さ5~10mmの円柱状のものが一般的であり、ブロードキャスターによる施用が可能である。

表3-11 現場で行う堆肥の腐熟度判定基準

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 (2)、強く握ると手のひらにかなりつく(5)、強く握っても手のひらにあまりつかない (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か月(10)、2か月以上(20) 作物残さとの混合物 : 20日以内 (2)、20日～3か月(10)、3か月以上(20) 木質物との混合物 : 20日以内 (2)、20日～6か月(10)、6か月以上(20)
繰り返し回数	2回以下 (2)、3～6回(5)、6回以上(10)
強制通気	なし(0)、あり(10)

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。

## ペレット堆肥では窒素の無機化が遅い

ペレット堆肥の肥効については、十分な知見は無いが、バラ堆肥に比べて窒素の無機化速度が遅くなる傾向があり、水田や畑地に施用した場合は、肥料成分の効き具合が変わるため、特に初期の施肥管理には配慮する必要がある。

表 3-12 家畜ふん・生ごみペレット堆肥の無機化率

培養期間(週)	ペレット堆肥(%)	バラ堆肥(%)
0	8.6%	18.3%
1	15.1%	35.2%
2	13.3%	28.2%
4	15.6%	28.3%
8	22.8%	81.5%
16	16.1%	64.9%

※土壌培養試験(200ml容器、30°C、50mgN施用)