

堆肥の肥効を取り入れた堆肥成分表と利用法

畜産環境技術研究所

家畜ふん堆肥には作物に必要な、窒素、リン酸、カリなどの肥料成分が含まれているが、これまでは、堆肥を施用するに当たってはほとんどその肥料成分は考慮されずに、化学肥料への上乗せとして施用される場合が多かった。今後は、個々の堆肥について、その肥料成分と肥効を明らかにして、それを考慮した堆肥の施用が望まれる。

1. 家畜ふん堆肥の肥効

家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分は、化学肥料を100%とした場合に、リン酸とカリについては、それぞれ、80 および 90%程度で効率よく作物に利用される。しかし、窒素の肥効率については、従来は、牛ふん堆肥30%、豚ふん堆肥50%、乾燥鶏ふん70%という数値が一般的に使われているが、同じ畜種でもかなりばらつきがある。また、上記の肥効率はかなり長期間を対象に求めたものであり、化学肥料に相当する速効的窒素の肥効は、それよりもかなり低いとの指摘がある。堆肥に含まれる窒素には、速効的な窒素と、半年、1年、2年などようやく効き出す緩効的（遅効的）窒素があるが、堆肥を施用してその分だけ化学肥料を減らす場合には、堆肥の中にどれだけ速効的窒素が含まれるかが重要である。

堆肥に含まれる窒素のうち速効的窒素は、最初から堆

肥に含まれる無機態窒素と有機態窒素のうち比較的短期間に分解して無機化される窒素からなるが、これは、堆肥を30℃で4週間培養して、その結果生じる無機態窒素量（率）から推定するのが一般的である。しかし、その測定には、手間と時間が掛かるため、ここでは堆肥の成分分析から培養無機態窒素率を精度よく推定できる手法を開発することにした。

2. 堆肥の窒素肥効（培養無機態窒素率）の簡易推定法

1) 堆肥の分析項目と培養法による無機態窒素率の測定

培養無機態窒素率の推定のための分析項目として、堆肥の一般分析項目のうち、有機態窒素の無機化に関係すると考えられる12項目、すなわち、水分、灰分、pH、EC、全窒素、全炭素、C/N比、発芽率、「コンポテスター」による酸素消費量の9項目に、棚橋らの塩酸抽出無機態窒素およびその構成成分であるアンモニア態窒素と硝酸態窒素を加えた。

全国の堆肥センター等で生産された、乳牛ふん堆肥33点、肉牛ふん堆肥34点、豚ふん堆肥32点、採卵鶏ふん堆肥35点、ブロイラーふん堆肥15点および複数の畜種からなる混合堆肥48点の合計198点の堆肥について

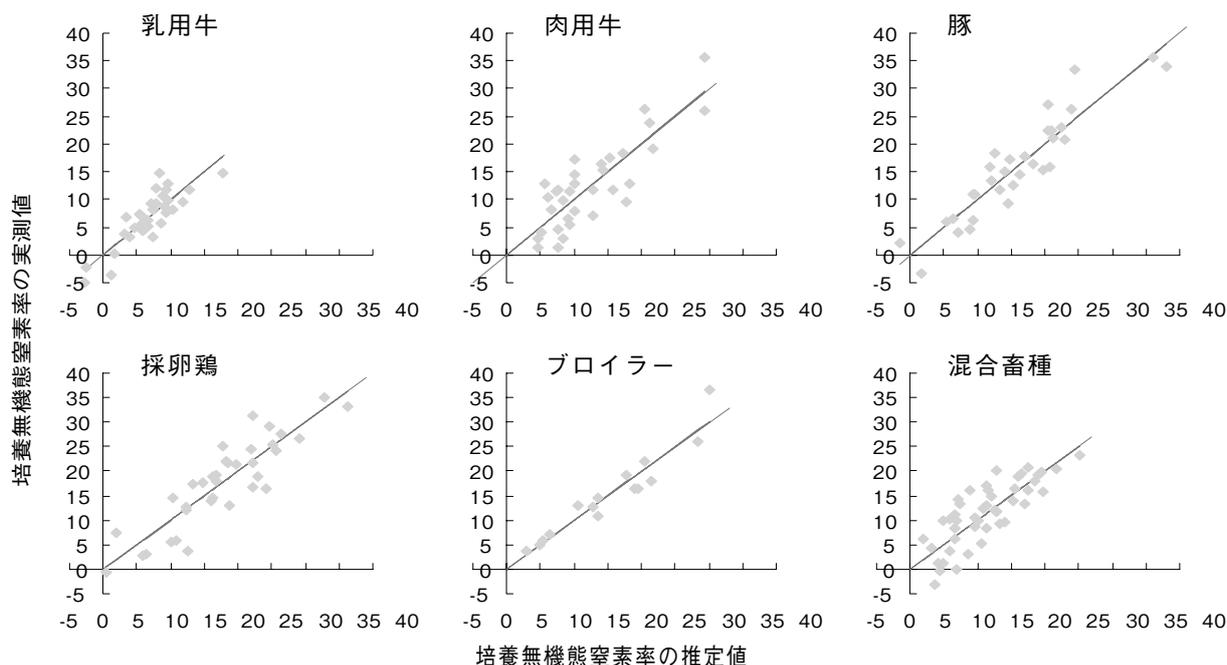


図1 各種家畜ふん堆肥における30℃、4週間培養後の培養無機態窒素率（%）の実測値と12項目による重回帰式推定値との関係

て、上記12項目の成分分析を行うとともに、培養法によって無機態窒素率を実測した。

培養は、風乾した褐色低地土100gに、堆肥試料を全窒素量が50mg含まれるように加え、30℃で4週間行った。培養終了後、無機態窒素（アンモニア態および硝酸態窒素）を測定し、堆肥の窒素供試量で除して、培養無機態窒素率を算出した。

その結果得られた培養無機態窒素率の平均値は、乳用牛ふん堆肥、肉用牛ふん堆肥、豚ふん堆肥、採卵鶏ふん堆肥、ブロイラーふん堆肥および混合畜種ふん堆肥で、それぞれ、6.8、11.9、15.9、17.8、15.1および11.1%となった。また、図1の各畜種での培養無機態窒素率の実測値をみても、同じ畜種であっても個々の堆肥でかなり変動することがわかる。なお、培養無機態窒素率がマイナスを示す堆肥が数点あったが、これは、30℃、4週間の培養で無機態窒素が微生物に取り込まれて有機化したことを示している。

このように、30℃、4週間の培養で存在する堆肥由来の無機態窒素量（率）は、先に述べた従来用いられている肥効率よりもかなり低い。30℃、4週間培養による無機態窒素が、化学肥料に相当する速効的窒素であるとすると、従来の高い肥効に基づく施肥設計による堆肥の施用では、作物の初期生育に支障が生じる恐れがある。また、同じ畜種でもかなりのばらつきがみられるので、個々の堆肥の培養無機態窒素率に基づいて化学肥料の窒素供給分を減らすのが合理的と考えられる。

2) 培養無機態窒素率推定のための重回帰式

堆肥培養後の無機態窒素率を従属変数 (y)、12項目の成分分析値を説明変数 (X1～X12) として重回帰式を求めた。ここでは、例として、乳用牛ふん堆肥の培養無機態窒素率を推定するための重回帰式を示す。

$$Y = 0.07806_{X1} + 0.245_{X2} + 1.659_{X3} - 1.16_{X4} -$$

$$11.66_{X5} + 1.287_{X6} - 1.518_{X7} + 0.003314_{X8} - 0.3345_{X9} + 376.8_{X10} - 370.3_{X11} - 372.2_{X12} - 13.78 \text{ 水分 (X1)、灰分 (X2)、pH (X3)、EC (X4)、全窒素 (X5)、全炭素 (X6)、C/N比 (X7)、発芽率 (X8)、酸素消費量 (X9)、塩酸抽出無機態窒素 (X10)、硝酸態窒素 (X11)、アンモニア態窒素 (X12)}$$

図1には、各畜種で、重回帰式によって推定した培養無機態窒素率（横軸）と実測値（縦軸）との関係を示した。畜種によって、重回帰式による推定精度は若干異なるが、いずれの畜種ともこの程度の推定精度であれば実用的には十分であると考えられる。

なお、ここでは、重回帰式の算出に12項目の分析値全部を使った例を示したが、成分分析項目を任意に減らすことができるプログラムを開発している。

3) 可給態窒素含量の算出と肥効を取り入れた堆肥成分表の作成

当研究所の堆肥実態調査における1,456点の分析データにもとづき、重回帰式から求めた各家畜ふん堆肥の培養無機態窒素率および可給態窒素含量の平均値を表1に示した。可給態窒素含量は、堆肥の全窒素含量にこの培養無機態窒素率を乗じて求める。堆肥現物トン当たりのkgで示したが、乳用牛ふん堆肥の場合は、10a当たり1トンの堆肥を入れても、可給態窒素は0.7kgにしかならないのに対して、採卵鶏の場合は4.9kgとなる。リン酸とカリの可給態養分含量も、堆肥中の全含量に脚注に示した一定の肥効率を乗じて求めてある。この窒素、リン酸およびカリの可給態養分のバランスをみると、圧倒的に窒素が低く、とくに牛ふん堆肥ではカリが、また、豚、鶏ではリン酸がきわめて過剰になっている。堆肥をできるだけ多く施用するとすれば、窒素含量を高めるか、カリやリン酸含量を減らしてバランスを取る必要があり、そのような堆肥の生産技術も今後は重要になると思われる。

表3 畜種別堆肥成分と可給態養分含量

畜種	試料数	集計方法	水分*		pH	*** 電気伝導率 mS/cm	全窒素 %	全炭素 %	C/N比	無機態 窒素 mg/g	アンモニア態 窒素 mg/g	硝酸態 窒素 mg/g	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	銅 ppm	亜鉛 ppm	発芽率 %	酸素 消費量 μg/g/min
			%	%																
乳用牛	318	平均	52.2	28.6	8.6	5.6	2.2	36.6	17.6	1.077	0.482	0.594	1.8	2.8	4.4	1.5	49	167	97.0	1.7
		標準偏差	14.0	11.3	0.6	1.4	0.7	6.4	5.2	0.712	0.456	0.611	1.1	1.2	2.2	0.8	71	92	6.5	1.3
肉用牛	304	平均	52.2	23.3	8.2	5.9	2.2	39.3	19.0	5.346	3.277	2.071	2.6	2.8	3.0	1.3	31	149	96.4	1.5
		標準偏差	13.1	8.3	0.8	1.3	0.6	4.5	5.4	3.651	2.508	2.985	1.2	1.0	2.8	0.6	27	76	7.1	1.3
豚	144	平均	36.6	30.0	8.3	6.7	3.5	36.5	11.4	6.473	5.676	0.798	5.6	2.7	8.3	2.4	227	608	90.9	2.7
		標準偏差	13.0	9.9	1.1	1.6	1.1	4.7	3.8	3.505	3.948	1.687	2.8	1.1	6.4	1.0	114	332	19.5	3.1
採卵鶏	127	平均	22.4	50.4	9.0	7.9	2.9	26.3	9.5	4.230	4.188	0.042	6.2	3.6	25.7	2.2	59	440	90.6	4.0
		標準偏差	9.7	10.4	0.6	2.0	0.9	5.2	2.8	1.503	1.492	0.032	2.5	1.1	10.4	0.8	18	137	17.7	3.3
ブロイラー	27	平均	33.0	27.5	7.9	8.5	3.8	37.4	10.6	5.131	5.076	0.055	4.2	3.6	8.9	1.9	68	351	67.5	6.2
		標準偏差	12.8	11.0	1.1	2.5	1.1	5.6	3.5	2.816	2.864	0.086	1.8	1.4	6.3	0.5	21	138	41.3	7.2
** 混合	536	平均	45.5	27.4	8.5	6.4	2.5	37.7	16.2	2.494	2.014	0.480	3.2	2.9	5.9	1.6	69	257	94.3	1.9
		標準偏差	14.3	8.9	0.6	1.6	0.8	4.5	5.3	1.690	1.667	0.798	1.8	1.1	4.2	0.8	57	165	14.6	2.1
全 体	1,456	平均	45.2	29.1	8.5	6.3	2.6	36.7	15.9	3.878	3.123	0.755	3.3	2.9	7.0	1.7	71	267	94.2	2.2
		標準偏差	16.1	11.9	0.8	1.7	0.9	6.1	5.7	3.113	2.910	1.661	2.2	1.1	7.7	0.8	81	213	14.5	2.5

* 水分は現物中。それ以外は乾物中 ** 混合とは複数の畜種からなる

*** 現物堆肥と蒸留水を1:15で懸濁させて測定したものを、常法（風乾堆肥と蒸留水を1:10）に補正（補正式は常法によるEC = 1.45 × 本調査によるEC + 0.049 × 水分 (%) - 0.37)

1) 堆肥成分分析から推定した、30℃、4週間の畑条件培養による無機態窒素率 (%)

2) 窒素は全窒素の分析値と培養無機態窒素率 (%) から算出、また、リン酸およびカリの肥効率は、それぞれ、80%および90%とする文献値を用いて算出

3. 家畜ふん堆肥と化学肥料による肥料成分の調整法

窒素、リン酸およびカリの可給態養分含量が、堆肥の成分分析値から堆肥ごとに算出できることになったことを踏まえ、複数の堆肥の調整（混合）や化学肥料を併用して、各作物への養分供給量が各地域（都道府県等）で設定した施肥基準を満足し、できるだけ過剰にならないように施肥設計を行うことができるプログラムを開発した。複数の堆肥がある場合には、前提条件を満たし、もっとも価格が安くなる堆肥を自動的に選択する。

本プログラムは、Excel のアドインソフトである「ソルバー、solver」を使用する。

1) 前提条件の入力

ここでは、促成栽培キュウリの例（茨城県）を取り上げる。

- ①施肥基準は、窒素、リン酸およびカリで、10a 当たり、それぞれ、20、40 および 20kg であり、堆肥および化学肥料で要求量を満たすようにするが、ここでは、リン酸およびカリは 200% 以下であれば過剰になってもよいとする（任意に設定できる）。
- ② A、B、C、D の 4 つの堆肥を選択候補として登録する（5 つまで登録可能）。各堆肥の分析値を入れると自動的に窒素、リン酸およびカリの可給態養分含量が表示される。各堆肥の価格を入れる。
- ③必要に応じて、堆肥の最大施用量を入れる。この場合は、10t/10a を最大量とした。

④可給態窒素の堆肥での代替率を設定する。この場合は、窒素の必要量の 30% を堆肥でまかなうことにしたが、任意に設定できる。

⑤特定堆肥の使用割合を任意に設定することができる。この場合は、堆肥 B（肉用牛ふん堆肥）を堆肥全体の 50% 使うことにした。

2) 堆肥の最適組み合わせの算出結果の表示

設定したすべての条件を満たし、堆肥全体の価格が最小になるように各堆肥の使用割合が瞬時に決定される。もし、解が求まらなかった場合は、前提条件を変えて再計算させる。

図 2 には、入力した前提条件とともに、計算結果が表示されている。堆肥は、設定通り堆肥 B が 50%、その他に堆肥 D（鶏ふん堆肥）が 50% 選択された。窒素の堆肥での代替率は設定通り 30%（6 kg）となっている。また、リン酸およびカリは、それぞれ、必要量の 134 および 200% を堆肥で充足しており、化学肥料は必要ない。

3) 今後の課題

堆肥の連用によって、耕作地への可給態養分の蓄積がみられる。ここで述べた肥料成分の調整法では、この土壤に蓄積されている可給態養分量は考えていないが、環境保全を考えて施肥の精密化を図ろうとすれば、当然ながら土壤に蓄積された養分量を考慮する必要がある。当研究所では、現在、各土壤ごとに可給態養分量を簡易に推定するための研究に取り組んでいる。

堆肥の最適組合せ

登録堆肥の可給態養分（現物堆肥中kg/t）と価格（円/t）

登録堆肥 印刷	A	B	C	D	E
堆肥名	乳用牛ふん堆肥	肉用牛ふん堆肥	豚ふん堆肥	鶏ふん堆肥	
畜種	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏	
N	0.6	0.9	3.2	4.5	
P ₂ O ₅	6.9	9.9	28.4	38.5	
K ₂ O	12.0	12.0	15.4	25.1	
価格	¥3,500	¥4,000	¥3,000	¥3,500	
使用割合		50%			

計算前にクリアする

作物名 耕作面積(a)

きゅうり	10
------	----

作物要求量（元肥）／土壤診断

	作物必要値 kg/10a	使用上限 (%)
N	20	100
P ₂ O ₅	40	200
K ₂ O	20	200

堆肥最大施用量

10a 当たり t/10a

可給態窒素の堆肥での代替率

%

	A	B	C	D	E	合計	制約値(max)	制約値(min)	足りない分 ければ過剰	化学肥料等 使用量(kg)	代替率	堆肥使用の割合				
	乳用牛 ふん堆肥	肉用牛 ふん堆肥	豚 ふん堆肥	鶏 ふん堆肥			必要値 上限	必要量				A	B	C	D	E
使用量(t)		1.1		1.1		2.2										
N(kg)		1		5		6	20	20	14	30%			50%		50%	
P ₂ O ₅ (kg)		11		43		54	80	40	-14	134%						
K ₂ O(kg)		13		27		40	40	20	-20	200%						
金額		¥4,444		¥3,889		¥8,333										

合計金額

メニューへ
堆肥登録へ
前提条件へ
印刷
このシート
計算実行

図 2 前提条件の入力と堆肥の最適組み合わせ算出画面