

# 牛ふんを主原料とする堆肥中リン酸並びにカリウム含量の変動特性

大家 理哉・鷺尾 建紀\*・石橋 英二\*\*

The Change Characteristic of Phosphorus and Potassium Content in Compost Made from Cow Manure as a Main Raw Material

Masaya Ooya, Tatsuki Washio and Eiji Ishibashi

## 緒言

家畜ふん堆肥（以下、堆肥とする）は窒素やリン酸、カリウムなどの肥料成分を多く含んでいる。土づくりだけでなく化学肥料の代替としての利用を進めるためには、各成分の含量や肥効率（化学肥料の肥料的効果を100とした場合における堆肥による肥料的効果の割合）を考慮して合理的に施用することが求められる。含量については、肥料取締法の一部改正を受けて、堆肥を含む特殊肥料でその表示が義務付けられた。しかし、主原料である家畜ふんと副資材を混合した上で行う堆肥化は微生物の活動による発酵作用であり、製品である堆肥中成分の含量も気温など環境条件の影響を受けることが予想される。そこで、筆者らは県内で多く流通、利用されている牛ふんを主原料とする堆肥を製造する畜産農家や堆肥センターなど複数の施設を対象とし、堆肥の窒素含量等の年間変動について調査を行った。その結果、堆肥中の窒素含量は同じ堆肥製造施設においても変動する場合があるが、堆肥センターのように大型の施設ほど変動は小さくなることを明らかにした（大家ら、2008）。同様に、堆肥中のリン酸やカリウムの含量も変動する可能性が考えられる。

一方で、堆肥中のリン酸やカリウムの肥効率に関して、小柳ら（2004、2005）を中心に多くの研究が行わ

れてきた。そこでは、リン酸及びカリウム含量（全量）に占めるクエン酸溶解性（以下、ク溶性とする）画分や水溶性画分の割合をもとに肥効率の指標とすることが検討された。また、小田部ら（2014）は、目的成分の肥効を正確に評価できる施肥条件を明らかにしたうえで行った栽培試験の結果をもとに、ク溶性のリン酸並びにカリウムの割合が肥効率の指標となることを提案している。これらの結果を参考にして、本県ではリン酸の肥効率をリン酸全量に占めるク溶性リン酸の割合に相当する90%に設定している。また、カリウムの肥効率をカリウム全量に相当する100%に設定している（岡山県農林水産部、2014）。しかし、これらの肥効率の指標となる各画分の割合が、堆肥製造施設において年間を通じて安定しているかは不明である。

そこで、窒素含量の変動について調査した試料について、リン酸並びにカリウム含量の変動を調査するとともに、肥効率の指標となるク溶性リン酸並びにク溶性カリウムの割合とその変動について調査した。

なお、堆肥製造施設での試料採取にあたっては、畜産農家、堆肥センター、普及機関の関係各位には多大なるご協力を頂いた。ここに深謝の意を表す。

## 材料及び方法

### 1. 堆肥試料の採取方法

本研究は、地域農業確立総合研究「中国中山間水田における飼料用稲を基軸とする耕畜連携システムの確立」（2003～2006年度）において実施したものの一部であり、2009年度土壤肥料学会京都大会で発表したものである。

\* 現岡山県農林水産総合センター普及連携部

\*\* 現全農岡山園芸振興課

2018年12月18日受理

堆肥試料は、県下の主要な畜産地域から16か所の堆肥製造施設（畜産農家や堆肥センター）を抽出して採取した。サンプリングは2004年5月から2005年6月にかけて1施設当たり9回行った。堆肥化処理期間は30日から180日以上と製造施設によって大きく異なっていた。サンプリング方法は既報に従い（大家ら，2008），堆肥化処理を行った後に販売譲渡を控え堆積中の堆肥（1施設当たり4～5kg程度）を採取した。2004年5月17日から6月9日の間に行ったサンプリングをⅠ期，以下同様に6月24日から7月7日をⅡ期，7月26日から8月9日をⅢ期，9月10日から24日をⅣ期，10月15日から28日をⅤ期，12月6日から22日をⅥ期，2005年2月8日から3月2日をⅦ期，4月5日から8日をⅧ期，5月26日から6月1日をⅨ期とした。水分調整不良や外気温の低下により好氣的発酵が不十分なため，水分が多く，強いアンモニア臭がするなどの未熟堆肥であった場合は，解析する対象から除外した。

## 2. 分析方法

分析は，主として堆肥等有機物分析法（日本土壤協会，2000）に準じた。堆肥現物中の含水量は，堆肥現物を105℃乾燥機中で恒量になるまで乾燥させ，重量減少量をもとに計算した。これとは別に堆肥を通風乾燥後，ウィレー粉砕機（1mm篩）で粉砕し，以下の分析に供した。リン酸含量（全量）は，硝酸－過塩素酸分解法で得られた分解液を適宜希釈後，バナードモリブデン黄法により測定した。カリウム含量（全量）は，リン酸と同様に，硝酸－過塩素酸分解法で得られた分解液を適宜希釈後，炎光光度法により測定した。しかし，カリウム含量が下記のク溶性カリウム含量を下回った一部の試料については，肥料分析法（農林水産省農業環境技術研究所，1992）を参考にして，乾式燃焼法により得られた抽出液を適宜希釈後，炎光光度法により測定した。測定結果は，リン酸（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）並びにカリウム（K<sub>2</sub>O）の酸化物として，含水量をもとに換算して堆肥現物中の含量（%）で表記した。

一方，ク溶性のリン酸並びにカリウム含量は，肥料分析法（農林水産省農業環境技術研究所，1992）に準じて測定した。すなわち，試料0.4gに2%クエン酸溶液（C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>・H<sub>2</sub>O 2g L<sup>-1</sup>）80mlを加え，30分振とうして得られたろ液中のリン酸及びカリウムをク溶性画分とした。いずれも，測定は全量と同様の方法で行い，全量に占めるク溶性画分の割合で表記した。

## 結果及び考察

### 1. 堆肥中のリン酸並びにカリウム含量とその変動

調査した堆肥製造施設の堆肥化処理方法は，主原料の牛ふんと副資材を混合した後，堆積方式もしくはロータリー式やスクープ式などの機械方式によって好氣的発酵した後，切返しを行いながら一定期間堆積する方法であった。

堆肥製造施設毎のリン酸並びにカリウム含量について施設毎の平均値，標準偏差（SD），変動係数（cv）を表1に示した。窒素については既報（大家ら，2008）であるが，参考のため示した。今回調査した全施設について，堆肥現物当たりの各成分含量の平均±標準偏差は，窒素で1.0±0.20%，リン酸で1.1±0.26%，カリウムで1.9±0.45%であり，カリウム含量は，窒素やリン酸に比べて高かった。山口ら（2000）が報告している全国調査の結果と比較すると，窒素並びにリン酸含量は概ね同等であったが，カリウム含量は山口らのデータ（肉牛ふん堆肥1.1%，乳牛ふん堆肥1.2%）よりも高かった。また，堆肥製造施設を，肉牛ふんを主原料とするグループA，乳牛ふんを主原料とし主に粕穀を副資材とするグループB，乳牛ふんを主原料とし主に木質材を副資材とするグループC，畜種混合ふんを主原料とするグループDに分類して比較したところ，リン酸含量の平均値はグループAで高く，グループB，C及びDで低かった。一方，カリウム含量の平均値は，グループA，B，C，Dの順に高かった。グループAでリン酸及びカリウム含量が高かった理由として，グループAの主原料である肉牛ふんは水分が少ないために主原料の混合割合が高まりやすく，リン酸やカリウム含量が低い副資材（藤原，2007）の混合割合が低下することが考えられた。また，グループB及びCでカリウム含量が比較的高かった理由として，グループB及びCの一部の施設で副資材の代替に製品堆肥を「戻し堆肥」として利用していることが考えられた。また，グループDでリン酸やカリウム含量が低かった理由として，施設利用頭数が500～4,000頭と製造規模の大きい堆肥センターで，副資材を高い割合で混合していることが考えられた。

次に，各堆肥製造施設における各成分含量の変動要因について検討した。まず，堆肥製造施設毎の平均値と標準偏差（SD）との関係を図1に示した。いずれの成分も含量に比例して，標準偏差は増大する傾向を示した。このことから，成分含量が高い堆肥を製造する施設では，成分含量の変動が大きいと考えられた。堆肥中の成分含量が年間を通じて一定でないことは，施肥設計を行う上で支障を来たしかねない。品質表示基準において，成分含量の表示値に係る誤差の許容範囲

表 1 堆肥製造施設毎の各成分含量の基礎統計量<sup>2</sup>

施設 no.	利用頭数	グループ	主原料	副資材 <sup>y</sup>	n	リン酸(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			カリウム(K <sub>2</sub> O)			参考:窒素(N)		
						平均	SD	cv	平均	SD	cv	平均	SD	cv
1	5000			-	9	1.6	0.34	21	2.1	0.61	29	1.1	0.24	21
2	540	A	肉牛ふん	-	9	2.2	0.56	25	3.7	0.93	25	1.5	0.39	26
3	280			a	9	1.6	0.46	30	1.7	0.68	39	0.9	0.29	32
4	50			b	9	0.7	0.22	30	1.3	0.40	32	0.7	0.18	25
5	120			b	9	0.7	0.13	18	1.7	0.24	14	0.9	0.11	12
6	60			b	6	0.6	0.10	18	1.4	0.28	21	0.7	0.18	28
7	45	B	乳牛ふん	b,d	9	1.9	0.69	36	3.2	1.25	39	1.3	0.34	27
8	160			b	5	0.5	0.13	25	1.4	0.17	12	0.7	0.11	15
9	300			b,d	8	1.3	0.23	17	3.1	0.51	16	1.4	0.21	16
10	100			b,d	9	1.0	0.14	14	2.1	0.31	15	1.0	0.18	18
11	100			a,d	9	1.2	0.33	28	2.4	0.51	22	1.3	0.21	16
12	49	C	乳牛ふん	a,d	6	1.3	0.22	17	2.2	0.32	15	1.3	0.20	15
13	100			a,c	9	0.3	0.08	26	0.8	0.22	29	0.4	0.11	26
14	706		乳・肉牛ふん	a,b	9	0.6	0.14	23	1.2	0.34	28	0.7	0.14	20
15	4077	D	乳・肉牛、豚ふん	a	9	0.7	0.12	16	1.2	0.15	12	0.8	0.16	20
16	4077		乳・肉牛、豚ふん	a	9	1.2	0.20	17	1.5	0.24	16	0.9	0.16	18
グループ内平均 <sup>x</sup>														
A(肉牛ふん)						1.8 a	0.45	25	2.5 a	0.74	31	1.2 a	0.31	27
B(乳牛ふん・主に粗穀)						1.0 b	0.23	23	2.0 ab	0.45	21	0.9 ab	0.19	20
C(乳牛ふん・主に木質材)						0.9 b	0.21	24	1.8 bc	0.35	22	1.0 ab	0.17	19
D(混合ふん・主に木質材)						0.8 b	0.15	19	1.3 c	0.24	19	0.8 b	0.15	19
全施設の平均						1.1	0.26	23	1.9	0.45	23	1.0	0.20	21
全国平均: 山から(2000)の調査結果をもとに算出														
肉牛ふんを主原料とする堆肥(n=46)						1.5			1.1			0.9		
乳牛ふん " (n=48)						1.2			1.2			0.9		

<sup>2</sup> 表中単位: 平均及び標準偏差(SD) は現物当たりの%, 変動係数(cv) は%

表中の下線は肥料取締法における品質表示基準に適合しない可能性がある施設を示す

<sup>y</sup> -: 敷料のみ, a: 木質材, b: 粗穀, c: 古紙細片, d: 戻し堆肥

<sup>x</sup> グループ間の平均値について, Tukey-Kramerの多重検定により異なる文字間に5%水準で有意差あり

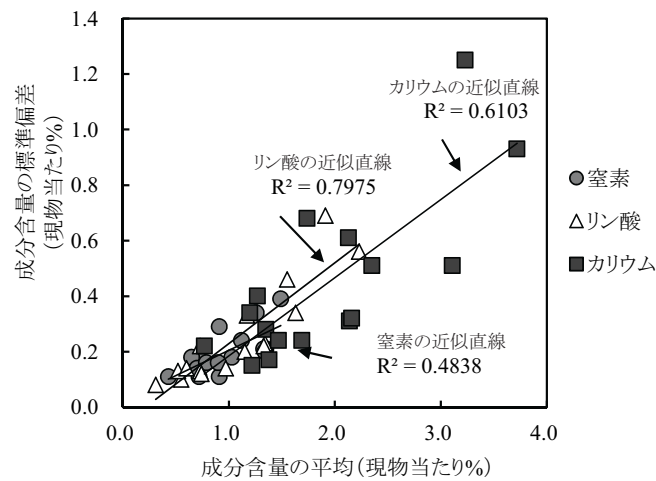


図 1 堆肥製造施設毎の成分含量の平均と標準偏差との関係

は、肥料取締法で「各成分の表示値が3%以上の場合、表示値の±10%、表示値が3%未満の場合、表示値±0.3」と示されている。そこで、今回の調査結果と品質表示基準との適合性を検討するにあたって、堆肥製造施設毎の各成分含量の平均値を表示値と仮定し、平均値が3%以上の場合変動係数 (cv) で10%以内、表示値が3%未満の場合は標準偏差 (SD) で0.3以内を許容範囲内とした。その結果、16施設のうち誤差の許容範囲外となる施設数は、窒素で2施設 (約1割) であつたのに対して、リン酸では5施設 (約3割)、カリウムでは10施設 (約6割) とさらに多かつた (表2)。これらのことか

ら、窒素よりもリン酸で、さらにカリウムで品質表示基準に適合しない施設が多いことが示唆された (表1下線部、表2)。

成分含量の変動を示す標準偏差をもとに、上位2施設と下位2施設についてリン酸含量並びにカリウム含量の推移を比較した (図2)。なお、堆肥が未熟であつたために調査対象外としたことでn数が少ない施設は除いた。その結果、標準偏差の上位2施設では、概ねサンプル採取が春から秋に当たるⅠ～Ⅴ期にリン酸並びにカリウム含量が高く、冬から春先に当たるⅥ～Ⅷ期に低い傾向を示した。一方で、標準偏差の下位2施設では、

表2 肥料取締法における品質表示基準との適合性

現物当たりの成分含量別の誤差許容範囲 <sup>2</sup>	対象施設数と区分	窒素 (N)	リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	カリウム (K <sub>2</sub> O)
3%以上 (表示値±10%)	対象施設数	0	0	3
	(cv <sup>y</sup> ≤ 10) ……許容範囲内 (A)	0	0	0
	(10 < cv) ……許容範囲外 (B)	0	0	3
3%未満 (表示値±0.3)	対象施設数	16	16	13
	(SD <sup>x</sup> ≤ 0.30) ……許容範囲内 (C)	14	11	6
	(0.30 < SD) ……許容範囲外 (D)	2	5	7
許容範囲内となる施設数 (A+C)		14	11	6
許容範囲外となる施設数 (B+D)		2	5	10

<sup>2</sup> 肥料取締法における品質表示に係る基準 <sup>y</sup> cv: 変動係数 <sup>x</sup> SD: 標準偏差

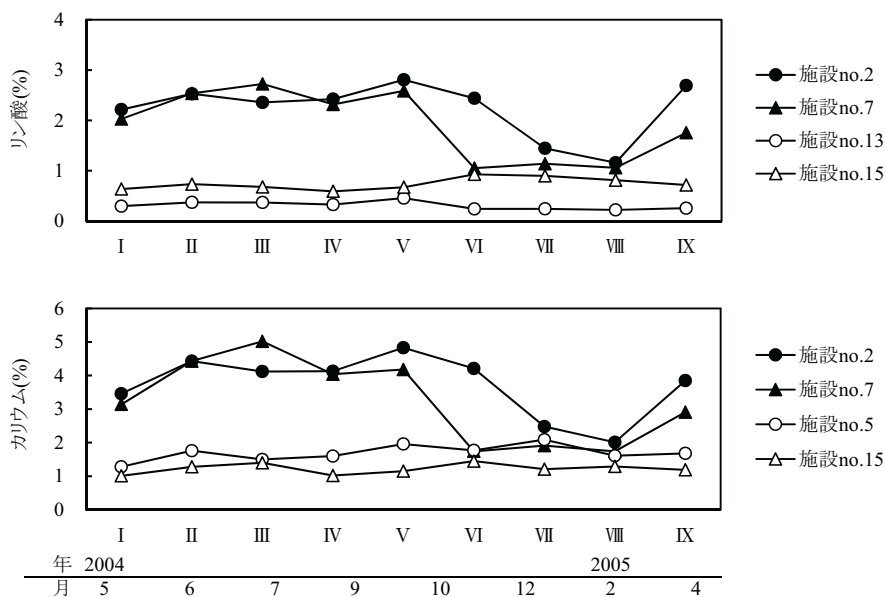


図2 施設別の成分含量の推移 (上: リン酸、下: カリウム)  
標準偏差の上位2施設 (●, ▲), 下位2施設 (○, △)

サンプル採取時期に関係なくリン酸並びにカリウム含量は概ね一定であった。冬期に製造される堆肥では含水量が高まる傾向にある（大家ら，2008）ことが考えられるため，堆肥中の含水量の影響を除くよう，乾物当たりの各成分含量の推移について検討したが，現物当たりの推移と同様の傾向であった（データ省略）。上位の施設で変動が大きかった理由として，no.2は肉牛ふんを主原料とする堆肥施設で，水分調整として混合する副資材の割合が低く，主原料である肉牛ふんのリン酸及びカリウム含量が変動したためと考えられ，牛に給与するエサなど給与状況の変化を受けやすい可能性が考えられた。no.7は戻し堆肥を副資材の一部に利用する堆肥施設で，夏期には発酵中に水分が蒸発するなどして，リン酸及びカリウム含量が高まりやすい可能性が考えられた。

2. 肥料的効果を示す画分の割合とその変動

各成分含量（全量）のうち，ク溶性リン酸の割合並びにク溶性カリウムの割合について調査した。ク溶性リン酸の割合は平均81~92%，各施設の変動を示す標準偏差は2.0~7.8%の範囲であり，ク溶性リン酸の割合は年間を通して安定していた（表3）。また，ク溶性カリウムの割合についても平均96~105%，標準偏差は

1.5~10.2%の範囲であり，リン酸と同様に肥料的効果を示す画分の割合は年間を通して安定していた（表4）。ク溶性カリウムの割合がしばしば100%を超えたことについて，硝酸-過塩素酸分解において分解中に生成される過塩素酸カリウムの温水溶解が充分でなく，カリウム含量（全量）を一部過小評価した可能性が考えられた。しかし，小柳ら（2004，2005）が報告しているようにク溶性カリウムの割合は92~98%と非常に高いことから，本調査においても堆肥中カリウムのほとんどがクエン酸で溶解可能な画分であったと考えられた。

これらのことから，リン酸並びにカリウム含量（全量）について，一部の堆肥製造施設で変動が大きい施設があるものの，肥効率の指標となるク溶性リン酸並びにク溶性カリウムの割合については施肥設計を行う際に支障とならない程度に安定していることが明らかとなった。

3. まとめ

堆肥中のリン酸並びにカリウム含量のサンプル採取時期による変動は，窒素に比べて大きく，誤差の許容範囲を超える施設は，窒素で約1割，リン酸で約3割，カリウムで約6割であった。今回，リン酸及びカリウ

表3 堆肥中のリン酸含量（全量）に占めるク溶性リン酸の割合<sup>z</sup>

施設 no.	グル ープ <sup>y</sup>	サンプル採取時期									平均	SD <sup>x</sup>	cv <sup>w</sup>
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
1		95	94	96	88	92	88	90	90	94	92	3.1	3.3
2	A	92	97	88	96	93	82	85	86	78	89	6.4	7.2
3		83	98	89	85	94	91	88	91	84	89	4.9	5.5
4		81	86	82	88	83	79	81	76	78	81	4.0	5.0
5		77	83	83	84	90	82	88	82	78	83	4.2	5.0
6		86	102	91	-	-	81	85	-	-	89	7.8	8.8
7	B	91	96	95	91	89	82	81	83	85	88	5.6	6.3
8		81	83	82	84	79	-	-	-	-	82	2.0	2.5
9		93	91	85	-	90	89	89	91	87	89	2.6	2.9
10		84	90	84	82	85	89	83	79	82	84	3.4	4.0
11		87	90	89	89	90	85	91	84	83	87	2.9	3.4
12	C	87	94	87	83	91	85	-	-	-	88	4.1	4.6
13		81	88	79	79	80	83	85	84	94	84	4.9	5.8
14		96	92	92	75	90	92	90	90	85	89	5.9	6.6
15	D	87	86	73	79	95	82	88	89	85	85	6.1	7.2
16		84	81	91	79	85	90	90	92	94	87	5.2	6.0
グループ内平均													
	A	90	96	91	90	93	87	87	89	85	90	3.4	5.3
	B	85	90	86	86	86	84	84	82	82	85	2.4	4.9
	C	85	91	85	83	87	84	88	84	88	86	2.4	4.6
	D	89	86	86	78	90	88	90	90	88	87	3.8	6.6
全施設の平均		87	91	87	84	88	85	87	86	85	87	1.9	2.1

<sup>z</sup> 表中単位は%，-は未熟堆肥のため対象から除外

<sup>y</sup> 主原料と副資材による区分(A:肉牛ふん，B:乳牛ふん+糞，C:乳牛ふん+木質材，D:混合ふん+木質材)

<sup>x</sup> SD:標準偏差 <sup>w</sup> cv:変動係数

表4 堆肥中のカリウム含量（全量）に占めるク溶性カリウムの割合<sup>z</sup>

施設 no.	グル ープ <sup>y</sup>	サンプル採取時期									平均	SD <sup>x</sup>	cv <sup>w</sup>
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
1	A	98	104	96	102	102	104	100	97	93	99	3.7	3.7
2		97	95	94	98	95	97	98	97	95	96	1.5	1.6
3		103	104	107	104	99	104	101	99	100	102	2.9	2.8
4	B	104	106	101	97	107	98	104	107	100	103	4.1	4.0
5		107	104	101	109	106	104	90	101	99	102	5.5	5.3
6		101	101	102	-	-	106	97	-	-	102	3.2	3.1
7	C	103	92	93	92	94	97	100	105	101	97	4.9	5.1
8		102	103	108	103	103	-	-	-	-	104	2.4	2.3
9		106	97	93	-	102	99	103	101	102	100	4.1	4.0
10	D	105	99	92	101	98	109	99	103	99	100	4.7	4.6
11		100	104	97	96	102	102	99	99	107	101	3.5	3.4
12		105	101	103	105	105	106	-	-	-	104	1.7	1.6
13	全施設	115	100	83	102	105	114	101	112	113	105	10.2	9.7
14		104	92	112	104	110	104	100	99	109	104	6.2	6.0
15		106	99	103	98	108	96	106	101	102	102	4.1	4.0
16		107	102	99	103	101	107	102	101	98	102	3.2	3.1
グループ内平均													
	A	99	101	99	101	99	101	100	98	96	99	1.7	1.7
	B	104	100	99	100	102	102	99	103	100	101	1.8	1.8
	C	106	102	94	101	104	107	100	105	110	103	4.7	4.5
	D	106	97	104	102	106	102	102	100	103	103	2.7	2.6
全施設の平均		104	100	99	101	102	103	100	102	101	101	1.6	1.5

<sup>z</sup> 表中単位は%, -は未熟堆肥のため対象から除外

<sup>y</sup> 主原料と副資材による区分(A:肉牛ふん, B:乳牛ふん+糞, C:乳牛ふん+木質材, D:混合ふん+木質材)

<sup>x</sup>SD:標準偏差 <sup>w</sup>cv:変動係数

ム含量の変動の許容範囲として、成分含量が3%以上の堆肥については変動係数（標準偏差/平均）が10%以内、3%未満の堆肥については標準偏差が0.3以内とした。しかし、データが正規分布すると仮定した場合、平均値±標準偏差間にデータの約2/3が分布するとされており、残り1/3はこの範囲内に分布しないことになる。このため、今回、定めた許容範囲より厳しい基準で判断するべきとも考えられるが、その場合、より多くの施設が許容範囲を超えると推察される。リン酸やカリウムで変動が大きい理由は判然としないが、より安定化を図るためには、以下の対策が必要と考えられる。製造施設側の対策として、堆肥化に適当な水分となるよう原材料に固液分離したふんを用いることや、副資材の混合割合を一定にすることが必要と考えられる。一方で、堆肥を利用する耕種側の対策としては、本調査の結果から、成分含量が比較的安定していると考えられる堆肥センターなど製造規模の大きい施設の堆肥を利用することも必要と考えられる。また、リン酸並びにカリウム含量（全量）を簡易に評価する手法については既に確立されており、安藤ら（2004）、棚橋ら（2005）は堆肥の塩酸抽出液をRQフレックスで測定する方法で、岡山県農林水産部（2014）は上記の手法に加えて、

堆肥粉砕物を近赤外分光光度計で測定することでも簡易に測定できるとしている。こうした簡易測定により、利用する堆肥中の成分含量を把握し、肥効率をもとに施肥設計することで、合理的な利用が可能になると考えられる。

## 摘 要

特殊肥料である家畜ふん堆肥中の肥料成分含量等については、肥料取締法により表示が義務付けられている。過去に堆肥製造施設16か所について、製造される堆肥中の窒素含量とその年間変動について調査したところ、一部の施設で表示に係る誤差の許容範囲を超える可能性が示唆された。そこで、リン酸やカリウムについても、同様の調査を行ったところ、以下の結果が得られた。

調査した全施設を平均した成分含量と標準偏差は、堆肥現物当たり窒素で $1.0 \pm 0.20\%$ 、リン酸で $1.1 \pm 0.26\%$ 、カリウムで $1.9 \pm 0.45\%$ であり、カリウム含量は、窒素やリン酸に比べて高かった。それぞれの堆肥製造施設において、成分含量の平均値と標準偏差は正比例の関係にあり、成分含量が高い堆肥を製造する施設ほど成分含量の変動が大きく、誤差の許容範囲を超える

可能性がある施設は、窒素で約1割、リン酸で約3割、カリウムで約6割であった。

リン酸及びカリウム全量のうち、肥料的効果を示す画分として、各成分含量（全量）に占める可溶性リン酸並びに可溶性カリウムの割合とその変動について調査した。その結果、可溶性リン酸の割合は平均81~92%の範囲にあり、各施設の変動を示す標準偏差は2.0~7.8%の範囲であった。可溶性カリウムの割合は、平均96~105%の範囲にあり、標準偏差は1.5~10.2%の範囲であった。これらのことから、リン酸並びにカリウムの全量は、一部の堆肥製造施設で変動が大きい施設があるものの、肥効率の指標となる各画分の割合は高く、また、施肥設計を行う際に支障とならない程度に安定していることが明らかとなった。すなわち、簡易測定法などによってリン酸及びカリウムの全量を把握することで、合理的な堆肥施用量の決定ができると考えられた。

#### 引用文献

- 安藤義昭・小柳渉・森山則男（2004）小型反射式光度計（RQフレックス）による有機質資材中のカリウム、リン、窒素の簡易測定法。土肥誌，75: 605-608.
- 農林水産省農業環境技術研究所（1992）肥料分析法。（財）日本肥糧検定協会，東京，pp.28-45.
- 小田部裕，藤田裕，植田稔宏，折本善之（2014）クエン酸可溶性含量を指標とした家畜ふん堆肥中リン酸およびカリウムの肥効評価—コマツナのポット栽培による検討—。土肥誌，85(5): 461-465.
- 岡山県農林水産部（2014）家畜ふん堆肥適正施用の手引き，岡山県農林水産部，pp.25.
- 大家理哉・芝宏子・森次真一・石橋英二（2008）牛ふんを主原料とする堆肥中成分含量の変動特性。土肥誌，79(4): 380-386.
- 小柳渉・安藤義昭・水沢誠一・森山則男（2004）家畜糞堆肥中の塩類組成の特徴。土肥誌，75(1): 91-93.
- 小柳渉・和田富広・安藤義昭（2005）家畜ふん堆肥中リン酸の性質と肥効。新潟農総研畜研セ研報，15: 6-9.
- （財）日本土壌協会（2000）堆肥等有機物分析法。（財）日本土壌協会，東京，pp.14-19，35-39.
- 棚橋寿彦（2005）家畜ふん堆肥からの塩酸抽出の意義と肥料成分の簡易分析法。農業技術，60: 308-312.
- 山口武則・原田靖生・築城幹典（2000）家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴。農研セ研究資料，41: 10-19.