

畜舎搬出敷料堆肥の耕地還元システムの開発

—水田で使ってもらうための、品質の安定した家畜ふん堆肥製造技術—

脇阪 浩、杉本俊昭¹、斎藤忠史²、神辺佳弘³¹栃木県酪農試験場南那須育成牧場、²栃木県酪農試験場、³栃木県農務部畜産振興課

要 約

家畜ふん堆肥が、肥料として水田にもっと利用されれば、堆肥の流通促進がはかられ、ひいては畜産環境問題の解消と持続性の高い農業の実現に寄与することが可能となる。そこで、県農業試験場（作物経営部・環境技術部）との共同研究により、堆肥の成分変動の実態とその要因、さらにポット及びほ場での堆肥の動態や作物への影響などを調査し、効率的な堆肥の利用システムを開発する。このため畜産試験場としては、「耕種（水稻）生産者に使ってもらえる堆肥」として、成分や品質の安定した堆肥の製造に関する技術開発に取り組んだ。

(1)現在家畜ふん堆肥を使っていない水稻生産者が、「使わない理由・使う条件」としてあげたのは「臭気」の問題であり、適正で十分な堆肥化を行うことが基本になると考えられる。さらに今後使うための条件として最も多くあげた事が「品質が安定していること」であった。

(2)栃木県内の主要な堆肥生産者は、副資材（おが屑）を平均2,820円/m³（2,300～3,500円）で購入し、ばら堆肥の場合平均2,097円/m³（625～5,000円）で販売している。また、水稻への施用量平均1.4t/10a（0.4～3.0t）である。

(3)堆肥の成分のばらつきの実態を4つの要因から調査した。①原材料（生ふん）の個体毎のばらつきは、子牛の場合、飼養管理が同じであれば、無機態窒素以外はあまり変動しなかった。成牛は子牛よりも変動が大きく、特に無機態窒素と肥料成分が大きかった。②季節変動は、冬期のECは極端に高く、また冬期は夏期に比して全般に水分が高く、容積重も15%増加した。標準偏差を見ると、ほとんどの項目に於いて夏期の方が小さいことから、夏期の方が堆肥の性状がより安定していると考えられる。③生産堆肥ひと山のばらつきは、季節変動の小さい生産者ほど、窒素を始めとして各成分とも面的変動が少ない。またその様な生産者は、切り返し（製品の攪拌混和）や篩かけの定期的な実施、ロット（処理頭数）が大きいなどの特徴がある。④十分に腐熟させた製品堆肥の保管中の成分変動はほとんど無いが、袋詰め堆肥の最下部は無機態窒素の動態がやや不安定であり、ばら堆肥の場合、真夏の気温の影響でさらに水分が減少し、容積重に変化をもたらす場合がある。

以上のことから、畜産農家で設定可能な最低限の堆肥化条件を整えても、全く同成分の堆肥を生産することは困難であるが、速やかな堆肥化処理を進めるための基本である容積重調整により、少なくともばらつきを大きくするであろう要因を排除することができ、変動の少ない堆肥を生産できる可能性があることが示唆された。

緒 言

本県の家畜排せつ物は年間総計で約300万^ト排出され、およそ130万^ト程度の堆肥が生産されると考えられる。一方本県の耕地面積は132千^{ヘクタール}であり、耕地面積全体に堆肥を施用すれば、尿（液肥）の施用を加味してもそれほど過剰にはならない計算になる。

しかし耕地面積の8割（約100千^{ヘクタール}）は水田であり、実に半分以上の面積に水稻が作付されている。このため、今後の堆肥の流通利用促進を考える上で、水田で利用してもらうことは不可欠な課題と言える。

家畜ふん堆肥が、土壌改良材の効果を狙った施用だけでなく、肥料として水田にもっと利用されれば、堆肥の適正施用と流通促進がはかられ、ひいては畜産環境問題の解消と持続性の高い農業の実現に寄与することが可能となる。しかし、これまでの調査等で堆肥

の成分はばらつきが大きく、特に水分変動は現物重の差異を生じ、施肥反応が鋭敏な水稻での利用面の障害となっている。

そこで、県農業試験場（作物経営部・環境技術部）との共同研究により、堆肥の成分変動の実態とその要因、さらにポット及びほ場での堆肥の動態や作物への影響などを調査し、効率的な堆肥の利用システムを開発する。

実際、同様の堆肥施用試験は各地で実施されているが、いずれもまず特定の堆肥ありきでスタートしており、「この堆肥ではこの結果」という一事例を実証したに過ぎず、堆肥利用の一般的な特性（効果や問題点）は導き出されるが、条件が異なった場合の普及性や汎用性には問題が残るように思われる。

このため本共同試験において畜産試験場としては、

「耕種(水稻)生産者に使ってもらえる堆肥」として、成分や品質の安定した堆肥の製造に関する技術に取り組んだ。

まず予備試験として水稻の生産や指導に係わる方々へのアンケート調査(I)と県内の主な牛ふん堆肥生産者の状況調査(II)を行った。さらに堆肥の成分のばらつきに関する調査(III)を行い、その上で堆肥の成分のばらつきを抑えた堆肥生産技術に関する検証(IV)を行った。

I 水稻生産者の求める堆肥(水稻生産における家畜ふん堆肥に対するニーズ等の調査)

材料及び方法

1. 調査対象

水稻生産者(県農業士・認定農業者)51名、
農業振興事務所経営普及部作物担当普及員 25名

2. 調査内容

- 水稻生産者①施用の有無、その理由
 ②畜種、施用量、入手方法
 ③施用の意向
 ④期待点・問題点
 ⑤畜産サイドへの要望
- 作物普及員①要・不要と理由
 ②期待点・問題点
 ③畜産サイドへの要望

3. 調査方法：発送は郵送、回収は返送・ファクシミリ・電子メール。

結果及び考察

1. 回答数：水稻生産者 19名(回収率37.3%)
作物普及員 18名(回収率72.0%)

2. 水稻生産者の調査結果から

(1)堆肥の利用状況(表-1)

堆肥を使う理由としては、「土づくり・地力増進・土壌改良」が最も多く、これは堆肥施用効果の基本である物理性・生物性の改善、腐植を増やす(減らさない)効果を期待するものである。「食味向上」の効用は科学的に証明されていないらしいが、多くの生産者が実感している。

一方、堆肥を使っていない農家も、ほとんどは「使いたい」「場合によっては使いたい」と答えており、期待できる結果となった。使わない理由・使う条件ともに多かったのは「臭気」の問題であった。以下にあげる問題点もそうであるが、適正で十分な堆肥化を行うことが基本になると考えられる。

そして今後使うための条件として最も多くあげた事が「品質が安定していること」であった。窒素に対する反応が鋭敏な水稻では、窒素の量や発現のしかたが不安定な堆肥は非常に使いづらく、この点の解明が水田での利用促進につながるものと考えられる。そこで、水田における堆肥の施用技術の確立を農業試験場が、成分の安定した堆肥の製造技術を畜産試験場が担い、試験を進めることとなった。

表-1 家畜ふん堆肥の利用状況

家畜ふん堆肥を施用している		13	施用していない		6
畜種	肉牛	9	理由	散布が面倒	3
	乳牛	3		臭気	3
	豚	1		他の有機質資材	3
施用量	2.0t/10a	4	近隣に無い	2	
	1.5t/10a	3	化肥で充分	1	
	1.2t/10a	1	成分が不明	1	
	1.0t/10a	3	未熟による害	1	
入手法	稲ワラ・もみから交換	5	今後は	場合によっては	4
	購入	2	使いたい	3	
	無償	2	使わない	1	
理由	土づくり	11	使う条件	品質安定	5
	食味向上	8		臭気	3
	減化学肥料	5		運搬	2
	麦大豆への効果	2		価格	2
	散布してくれる	1		成分表示	2
	特別栽培米	1		散布	1
	連作障害回避	1		完熟	1

※数字は人数。
(重複回答・無回答あり)

(2)堆肥の問題点

- 臭い（散布後すぐに耕起するので忙しい）。
- 未熟による障害がある（アンモニア、生育障害）。
- 田畑や周辺に雑草（帰化植物）が多く生える。
- 塩害が心配。
- 成分が不明（施肥設計が出来ない）・不安定。
- 骨や石などが混ざっている。

これら堆肥そのものの問題は、十分な堆肥化（蓄熱と二次発酵）、成分分析と表示、注意した管理など、畜産農家の努力によってほとんどは解決可能な問題である。しかし、実際の所はそれ以外にも様々な事情が存在する。

(3)堆肥を使わないその他の理由

- 散布が面倒、また散布を頼むと料金が高い。
- 他の有機質資材、化学肥料で充分。
- 畜産農家が近隣に無い、距離が遠い。
- 入れすぎると稲が倒伏する、施肥設計が難しい。
- その他（堆肥置き場が必要・梅雨時の漏汁・家畜の飼料の化学物質が作物に及ぼす影響が心配）

(4)もっと堆肥が利用されるために必要なこと

- 1,000円/ト程度で価格にして欲しい。
- 堆肥投入による良質米向上のPRと農家への意識浸

透。

- ブロードキャスターで散布できるペレット化。
- 堆肥使用マニュアルがあればよい。
- 生産調整を進め、転換畑を作れば堆肥の利用は増す。
- 稲ワラ交換事業の積極的な推進。
- 行政と一体となって価格補助や機械の貸し出しを行って欲しい。
- 畜産・米・行政の3者でランニングコストを負担して化成なみの価格に。

品質の安定は堆肥の流通促進を図る上で重要な要素ではあるが、上記のとおり、本当に耕畜連携による堆肥の利用促進を進めるには、関係者の協力で解決すべき課題はたくさんあることがわかる。

3.水稲指導担当者への調査結果から

家畜ふん堆肥の要不要と理由については表-2、問題点・期待点・要望等については表-3にまとめた。

家畜ふん堆肥は不要、という回答はなかったが、「どちらとも言えない」という意見はいくつかあった。いずれも堆肥を否定するものではないが、利用する側としてこの様な考え方もある、ということも理解しておくべきだと思われる。

表-2 家畜ふん堆肥は必要か不要か、その理由

水稲生産に家畜ふん堆肥は必要 13人	必要とも不要とも言えない 5人
<ul style="list-style-type: none"> ・地力維持、土壌の物理性の改善。 ・土づくり（気象災害に対応できる根を作る） ・水田の老朽化が進んでいるため。 ・連作障害回避（麦、大豆） ・水稲作柄の安定化。 ・珪酸の物質循環（稲ワラ・もみ殻の場合） ・有用資源リサイクル。 ・安心、安全、環境に優しい米作りのため。 ・減肥・減農薬・低コスト栽培のため ・特別栽培米の需要、時代の流れ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・稲の良好な生育には必須ではない。 ・活用すべきだが、コスト効率優先では不要。 ・極めて地力が低い場合必要。 ・肥効、散布むらなどの不安材料もある。

表-3 家畜ふん堆肥の問題点・期待点・要望等

家畜ふん堆肥の施用上の問題点	
肥効の不明確さ	肥料効果発現の量や時期がつかみにくい、窒素の効果の時期が不明、生育コントロールが困難、適正施用量の算出困難、畜種や敷料の違いによる肥効の差が不明、無機化特性値が未解明
堆肥の品質	品質が不安定、粗悪品が多い、安価な良質堆肥は少ない、均一なものを安定的に購入できない、薬や重金属混入の懸念、外来雑草の発生
堆肥中の成分	多投した場合の弊害（茎数多すぎ、倒伏、食味不良）、特定成分の過剰投入の危険性、連用による重金属の蓄積
散布労力	散布できない（機械がない）、投入量と施用労力が大きい
その他	耕畜連携が点から面に普及しない、施用量がまちまちで一元的な指導が出来ない、収量増に直結しない、水田内発酵によるガス発生

家畜ふん堆肥の施用上の期待点	
資源活用	資源の有効利用、物質循環（地域内リサイクル）の定着
土づくりと肥料効果	作柄の安定化、気象災害の軽減、酸性抑制、低収量ほ場の改善、養分供給、物理性改善、微生物活性の向上、化学肥料では補いきれない微量元素の補給
環境保全型農業	リンクT・エコファーマー等施策への対応効果、無化学肥料栽培の導入
その他	大豆には特に使用しやすい

もっと水田で堆肥が利用されるには？	
十分な堆肥化	未熟でない、雑草害が発生しない
行政施策	周知活動と支援制度導入、広域流通システム作り、完熟堆肥のPR、堆肥に関する理解不足解消、関係機関による組織体制の整備、機械などの環境整備
成分の安定と表示	成分表示、成分・腐熟度が安定している、窒素が多すぎない、品質等が均一で安定供給できる、窒素成分が明確になること（一作での供給量）
肥効の明確化	化学肥料との組み合わせを明示したマニュアル作り、即効性・緩行性窒素の表示、輪作体系への影響や効果・問題点の明確化、化学肥料と同程度の取扱が可能（肥効面）、化肥代替率の明確化、肥効発現簡易予測システムの構築
畜産農家への要望	散布日数を少なくする方法の検討、秋季に堆肥生産者による均一散布、使う側の意見を聞いて堆肥を作る、稲作農家が使いやすいように加工（安価で）
その他	施用による食味向上が図れる

II 県内主要堆肥生産者の実態調査

材料及び方法

1. 調査対象

牛ふん堆肥を年間通して量的・質的にある程度安定的に生産している堆肥生産者（堆肥センター等）17件を選定し、夏期（9月）と冬期（1月）に巡回調査実施。うち14件を対象とした。

2. 調査内容

- 処理方法等の聞き取り
- 容積重（20リットルバケツで秤量）
- 肥料成分分析
 - pH（ガラス電極pH計）
 - EC（電気伝導率計）
 - 水分（熱風乾燥105℃12時間）
 - 灰分（電気炉による強熱減量）
 - 全窒素（ケルダール法）
 - リン酸（バナドモリブデン酸比色法）
 - 加里・石灰・苦土（乾式灰化原子吸光法）
 - 全炭素（乾式燃焼法、CNコーダ）
 - 無機態窒素（ブレンナー法）

結果及び考察

- 生産堆肥は、稲わら交換や近隣への無償配布もあるが、大半は販売されている。
- 副資材（おが屑）価格
 - 平均2820円/m³（2300～3500円）

■ ばら堆肥販売価格

価格設定が細くくなされているが、平均2,097円/m³（625～5,000円）。

無償、条件付き無償、秘密各1件。

副資材とばら堆肥の価格の関係は図-1のとおり。

■ 袋詰め堆肥販売価格

平均17.5円/kg（9.0～27.4円）

■ 稲わら交換の実施

10件。ただし、センター（または機械処理堆肥）としては行わないが、個々で（または堆積のみの堆肥で）行っているものがうち4件。

■ 水稻への施用量 平均1.4t/10a（0.4～3.0t）

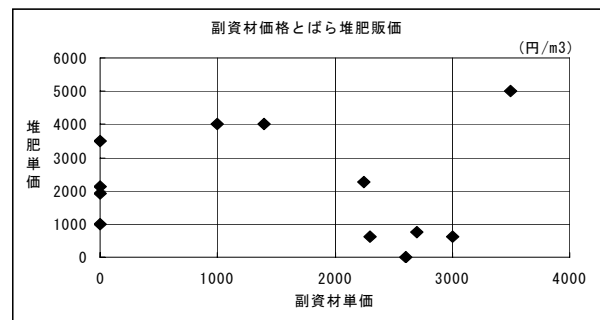


図-1 副資材と堆肥（ばら）価格の関係

III 堆肥成分のばらつきの実態

堆肥成分のばらつきの要素として、生ふんのばらつき、季節変動、面的な変動、保管中の変化を調査した。

材料及び方法

1. 原材料（生ふん）の変動（個体毎のばらつき）

(1)供試資材

畜産試験場肉牛研究室において、同一の飼養管理下におかれた肉牛（黒毛和種）の子牛（4頭×2群）および繁殖雌牛の成牛（8頭）のふんを直腸より直接採取し、成分を分析した。

(2)分析（調査）項目

- 日齢（年齢）、体重
- 水分、灰分、pH、EC
- 全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素
リン酸、加里、石灰、苦土、ソーダ（ナトリウム）、全炭素（C/N比）
※分析法はII-2に同じ。

袋詰め…ピンホール有ポリ袋

10kg（約24 $\frac{1}{2}$ ）×15段=105袋（約1t）

(2)調査項目

- 堆肥温
- 肥料成分（分析項目は実態調査に同じ）

(3)調査期間 平成12年11月22日から1年間

(4)調査方法

堆肥温…1時間毎の外気温、
ばら堆肥の表層（15cm）と深部（1m）、
袋詰め堆肥の最上段と最下段
肥料成分…開始時から3か月毎（分析箇所は堆肥温と同じ）

2. 季節変動（時期的なばらつき）

前述「II 県内主要堆肥生産者の実態調査」のデータを利用した。

3. 面的変動（ひと山のばらつき）

(1)調査対象

前述「II 県内主要堆肥生産者の実態調査」を実施した堆肥生産者14件について、夏期と冬期の窒素成分等（水分、全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素）の差を比較し、主に全窒素の季節変動の比較的大きい3件と小さい5件を選定し、再度調査を行った。（平成14年4月8日～16日）

(2)サンプリング

生産堆肥のストックヤードから、同時期に生産・堆積されたひと山の任意の4か所から採材し、それぞれ十分に調整して分析する。

(3)分析（調査）項目

- 水分、灰分、pH、EC
- 全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素
- リン酸、加里、石灰、苦土、ソーダ（ナトリウム）、全炭素（C/N比）

4. 製品堆肥の保管中の変動（保管中のばらつき）

(1)供試資材（図-2参照）

当场製品堆肥（コンポスト搬出後約1年堆積）
ばら…約3.4tひと山（保管中は切り返しなし）



図-2 供試資材の設置状況

結果及び考察

1. 原材料（生ふん）の変動（個体毎のばらつき）

各成分の平均値・標準偏差・変動係数は表-4、さらに変動係数のみ昇順（小さい順）にソートした結果が表-5である。

子牛の場合、飼養管理が同じであれば、無機態窒素以外はあまり変動しなかった。成牛は子牛よりも変動が大きく、特に無機態窒素と肥料成分が大きかった。

実際には全体が混合されて平均化されるわけであるが、新鮮ふんのばらつきがこの程度であることから、原材料由来の変動は個体差よりも飼料や副資材の影響がむしろ大きいと推察される。

（なお、子牛のナトリウムは分析数値が極めて微量のため、表では割愛した。）

表-4 新鮮ふんの成分変動

区分	方式		日齢 (年齢)	体重	pH	EC ms/cm	水分 %	灰分 乾物%	窒素			リン酸 P2O5 乾物%	加里 K2O 乾物%	石灰 CaO 乾物%	苦土 MgO 乾物%	ナトリウム Na2O 乾物%	炭素 T-C 乾物%	C/N
									T-N 乾物%	NH4-N mg/乾物100g	NO3-N mg/乾物100g							
子牛	濃厚多給 4頭	平均	373.3	366.0	5.45	5.04	79.3%	14.7%	2.42	247.47	0.71	2.72	1.74	0.73	0.70	0.08	41.5	17.2
		標準偏差	7.8	23.1	0.15	0.27	1.0%	0.8%	0.20	48.56	1.33	0.26	0.19	0.10	0.05	0.15	0.32	1.41
		変動係数	2.1%	6.3%	2.8%	5.3%	1.2%	5.1%	8.1%	19.6%	187.8%	9.6%	11.1%	13.8%	6.9%	173.3%	0.8%	8.2%
	粗飼料多給 4頭	平均	405.3	389.8	5.48	4.89	79.9%	16.6%	2.14	250.39	1.14	2.00	1.85	0.36	0.53	0.00	40.3	18.8
		標準偏差	11.9	46.1	0.11	0.65	1.2%	1.0%	0.09	39.98	0.97	0.18	0.27	0.03	0.05	0.69	0.70	
		変動係数	2.9%	11.8%	2.1%	13.3%	1.6%	5.8%	4.3%	16.0%	84.7%	9.0%	14.6%	9.1%	6.0%	8104.4%	1.7%	3.7%
成牛	8頭	平均	6.9	418.5	7.47	2.09	82.8%	16.4%	1.94	61.44	1.72	2.39	0.68	2.36	0.91	0.07	36.13	18.78
		標準偏差	1.3	32.9	0.18	0.47	1.4%	2.1%	0.16	9.52	1.98	0.72	0.37	0.77	0.30	0.06	0.46	1.77
		変動係数	19.0%	7.9%	2.4%	22.5%	1.8%	12.6%	8.4%	15.5%	114.9%	30.3%	54.9%	32.7%	33.5%	91.4%	1.3%	9.4%

表-5 項目別変動係数 (昇順)

子牛 濃厚飼料多給)		子牛 粗飼料多給)		成牛	
炭素	0.8%	水分	1.6%	炭素	1.3%
水分	1.2%	炭素	1.7%	水分	1.8%
pH	2.8%	pH	2.1%	pH	2.4%
灰分	5.1%	C/N比	3.7%	全窒素	8.4%
EC	5.3%	全窒素	4.3%	灰分	12.6%
苦土	6.9%	灰分	5.8%	アンモニア態窒素	15.5%
全窒素	8.1%	苦土	6.0%	EC	22.5%
C/N比	8.2%	リン酸	9.0%	リン酸	30.3%
リン酸	9.6%	石灰	9.1%	石灰	32.7%
加里	11.1%	EC	13.3%	苦土	33.5%
石灰	13.8%	加里	14.6%	加里	54.9%
アンモニア態窒素	19.6%	アンモニア態窒素	16.0%	ナトリウム	91.4%
硝酸態窒素	187.8%	硝酸態窒素	84.7%	硝酸態窒素	114.9%

2. 季節変動 (時期的なばらつき)

夏期と冬期それぞれの平均値は表-6 のとおりである。

pH はほとんど変動無いが、冬期の EC は極端に高くなった。冬期は夏期に比して全般に水分が高く、容積重も 15% 増加した。全窒素はほとんど変動が無く、アンモニア態窒素や硝酸態窒素は、一定の傾向は確認できなかった。(図-3)

ミネラル分はほとんどの検体で冬期が高かった。それに伴い灰分も若干増加した。これは、冬期の長期保管による嵩の減量が影響していると思われる。

標準偏差を比較したのが表-7 である。

ほとんどの項目に於いて夏期の方が小さいことから、夏期の方が堆肥の性状がより安定していると考えられる。

表-6 季節毎の堆肥成分等の平均値

	容積重	pH	EC	水分	灰分	全窒素	NH ₄ -N	NO ₃ -N	リン酸	加里	石灰	苦土	炭素	C/N比
	kg/立米		dS/m	%	乾物%	乾物%	mg/乾物100g	mg/乾物100g	乾物%	乾物%	乾物%	乾物%	乾物%	
夏期	405.6	8.72	3.68	42.0	20.0	2.04	118.9	38.6	2.96	3.64	2.83	1.22	41.6	20.82
冬期	477.4	8.69	6.92	50.2	22.8	1.94	160.4	16.0	2.79	4.07	3.72	1.41	40.2	21.62
差	71.8	-0.03	3.24	8.2	2.8	-0.11	41.5	-22.6	-0.17	0.43	0.89	0.19	-1.5	0.8

表-7 季節毎の堆肥成分等の標準偏差

	容積重	pH	EC	水分	灰分	全窒素	NH ₄ -N	NO ₃ -N	リン酸	加里	石灰	苦土	炭素	C/N比
	kg/立米		dS/m	%	乾物%	乾物%	mg/乾物100g	mg/乾物100g	乾物%	乾物%	乾物%	乾物%	乾物%	
夏期	87.1	0.48	0.86	11.2	6.0	0.31	78.6	78.2	0.70	0.82	0.97	0.15	3.9	3.8
冬期	119.2	0.62	1.68	11.6	6.9	0.36	211.4	27.6	0.69	1.01	1.60	0.31	3.6	5.3
差	32.1	0.13	0.83	0.4	1.0	0.05	132.8	-50.6	-0.01	0.19	0.63	0.16	-0.2	1.5

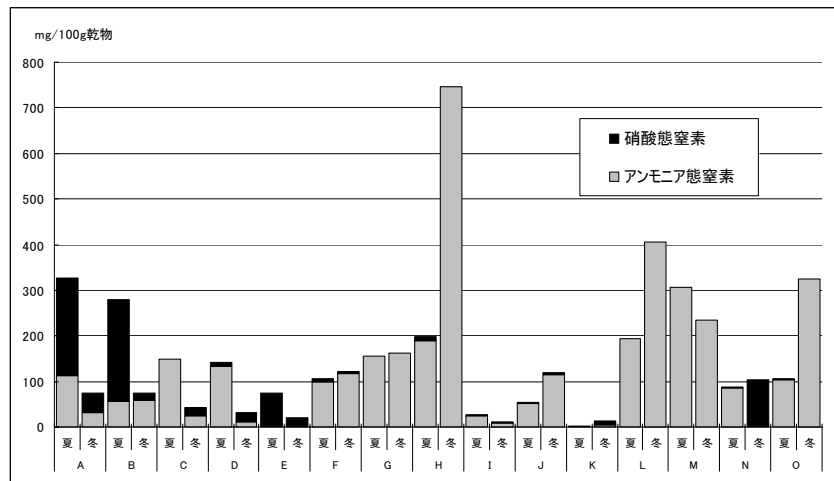


図-3 サンプルごとのアンモニア態窒素と硝酸態窒素の量

図-4は、各分析項目（成分等分析値）ごとの季節の差を示すために、各サンプルの夏期における成分値を100とした場合の冬の成分値（相対値）を示したもので、横軸（x軸）は分析項目ごとに降順に並べ替えてある。

100に近いほど、夏冬の差が少なく、また傾斜が緩いほど堆肥生産者による個人差が大きいと考えられる。

これによると、夏冬の差はECで特徴的に高くなっており、ついで石灰、容積重、水分が目立っている。

さらに堆肥生産者ごとの差は、硝酸態窒素が最も顕著であった。

図-5は、図-4に示した調査対象堆肥生産者の中で、業者への定量販売などのために、特に労力をかけて処理や管理を行っている生産者3件（A～C）のデータである。

3件ともやはり冬の相対値が高くなっているが、比較的100に近く（＝季節変動が少なく）、また傾斜（3件の差）が少ないことから、個人差よりも季節の影響の方が大きいことがわかる。

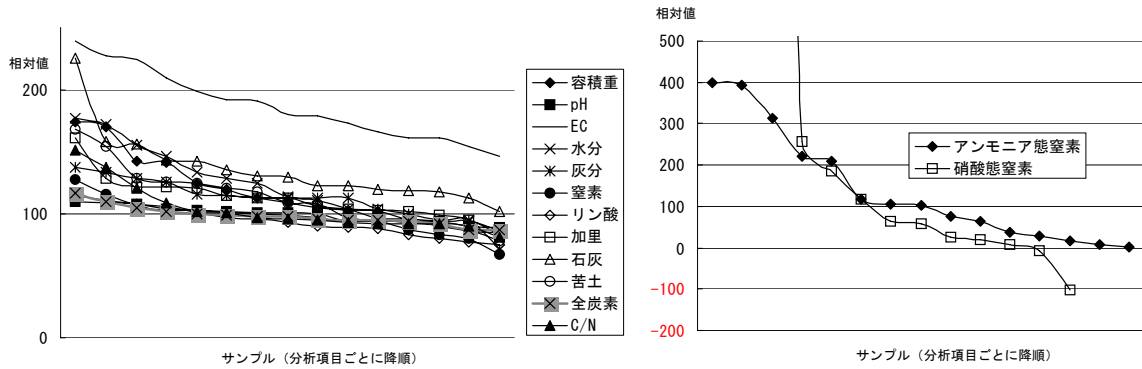


図-4 夏期の分析値を100とした場合の冬の相対値（全体）

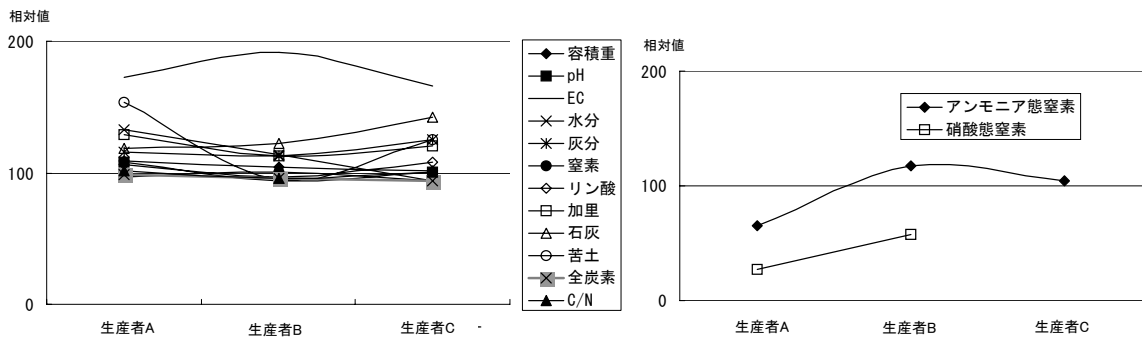


図-5 夏期の分析値を100とした場合の冬の相対値（抜粋）

3. 面的変動 (ひと山のばらつき)

8件の全窒素含量の面的変動は表-8に、また、全窒素含量の夏冬の差の程度と、それぞれの堆肥生産者の面的変動(各成分ごとの変動係数%)を表-9に、さらにその平均値を表-10に示す。

これらから、季節変動の小さい生産者ほど、窒素を始めとして各成分とも面的変動の少ないことが言える。またその様な生産者は、切り返し(製品の攪拌混和)や篩かけの定期的な実施、ロット(処理頭数)が大きいなどの特徴がある。

成分値とばらつき(変動係数)に有意な相関($p < 0.05$)のあった成分は表-11のとおりであった。当初「低水

分の堆肥ほどばらつきが小さい」という推測を前提として考えていたが、今回の調査では堆肥の水分と各成分の変動係数との間に有意な相関は確認できなかった。

アンモニア態窒素も全炭素も、堆肥化が進行すれば減少する成分なので、これが高いということは即ち腐熟が不十分で、結果、灰分(あるいは有機物)の変動が大きくなると考えられる。つまり、十分な腐熟は製品堆肥のばらつきを抑える一要因となりうる。

また、灰分が高い(=腐熟が比較的進行している)堆肥ほど、リン酸の値がばらつくという結果になった。

表-8 全窒素の面的変動(採材か所による違い)

生産者	季節の差が大きい			季節の差が小さい				
	1	4	7	2	3	5	6	8
採材か所								
1	1.43	1.79	2.17	1.85	2.31	2.38	2.38	2.11
2	1.86	1.76	2.09	1.89	2.25	2.48	2.31	2.06
3	1.61	1.78	1.92	1.88	2.13	2.46	2.15	2.11
4	1.59	1.83	1.88	1.89	2.34	2.49	2.28	2.02
平均	1.62	1.79	2.01	1.88	2.26	2.45	2.28	2.08
標準偏差	0.18	0.03	0.14	0.02	0.09	0.05	0.09	0.04
変動係数	11.0	1.7	6.9	1.2	4.0	1.9	4.1	2.1

表-9 全窒素割合の夏冬の差と、各成分ごとの面的変動(変動係数)

全窒素の夏冬の差	(%)													
	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	pH	EC	水分	灰分	P2O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	T-C	C/N
少	1.2	4.8	31.0	1.7	5.4	2.8	3.9	2.7	2.7	2.5	3.0	21.7	0.4	1.4
大	1.7	0.4	9.2	1.7	4.2	2.7	2.4	2.5	12.0	5.6	4.9	1.7	1.1	2.6
少	1.9	1.7	5.9	0.6	1.9	0.9	2.4	4.1	6.2	2.4	7.5	3.7	1.0	1.3
少	2.1	41.2	7.5	1.9	2.8	0.7	1.6	9.4	6.4	1.7	2.5	1.4	0.9	1.9
少	4.0	43.5	137.9	9.6	13.8	20.2	2.7	12.8	5.7	2.1	3.8	4.0	0.8	3.6
少	4.1	28.4	11.5	0.8	1.8	11.1	1.7	11.4	1.2	2.3	1.9	4.4	1.0	5.1
大	6.9	23.8	185.9	3.2	2.7	1.3	7.3	4.4	5.9	11.0	4.2	12.6	2.5	7.5
大	11.0	77.3	77.1	2.9	5.0	7.5	1.8	14.7	11.8	17.2	14.0	12.9	2.2	12.6

表-10 全窒素割合の夏冬の差と、各成分ごとの面的変動(変動係数の平均値)

全窒素の夏冬の差	(%)													
	全窒素	アンモニア態窒素	硝酸態窒素	pH	EC	水分	灰分	リン酸	加里	石灰	苦土	ナトリウム	全炭素	C/N比
少ない生産者の平均	2.7	23.9	38.8	2.9	5.1	7.1	2.4	8.0	4.4	2.2	3.7	7.0	0.8	2.7
大きい生産者の平均	6.5	33.9	90.7	2.6	4.0	3.8	3.8	7.2	9.9	11.2	7.7	9.1	2.0	7.6

表-11 成分値と成分の面的変動(変動係数)との関係

成分値(平均)	変動係数	相関係数
アンモニア態窒素	灰分	0.7857
全炭素	灰分	0.7066
灰分	リン酸	0.7496

4. 製品堆肥の保管中の変動 (保管中のばらつき)

(1) 温度の推移 (図-6)

バラ堆肥では、深部は開始時の 40℃ から安定に伴って緩やかに下降、冬場の約 15℃ を下限として気温の上昇に後押しされる形で急激に上昇、その後気温より 10℃ 程度高い温度で推移した。表層は 20℃ から深部より緩やかに下降、冬期以降ほぼ平均気温で推移した。

袋詰め堆肥では、外気温の影響をそのまま受け

た温度で推移した。ただし最下部の方が変動幅は小さかった。

外気温との相関係数は以下のとおり。

ばら深部	0.5621
ばら表層	0.8635
袋詰め最上	0.9713
袋詰め最下	0.9461

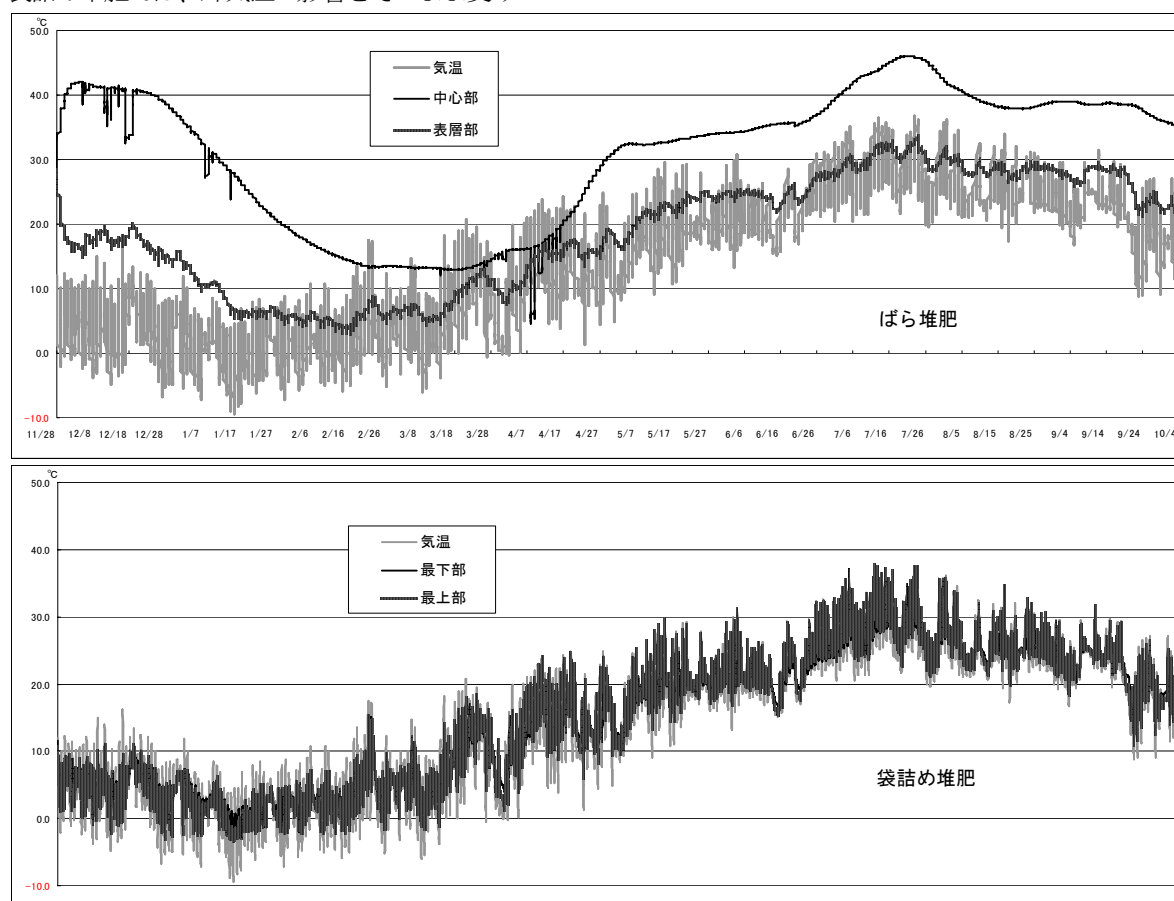


図-6 堆肥の温度の推移

(2) 保管方法毎の成分・品質の推移 (図-7~16)

- 水分は袋詰めでは変化しないが、ばらは気温の高い時期に減少する。
- pH・EC・C/N 比・各肥料成分は、1年間の変化も保管形態による差も見られない。生ふんの堆肥化過程では劇的に減少する炭素もほとんど変化しない。
- 易分解性有機物 (リグニン・セルロース・灰分以外のもの) も微増に止まっていることから、難分解性有機物の分解が若干進行する程度の堆肥化しか行われていないと考えられる。
- 無機窒素の動態は、ばら表層や袋詰め最上部で硝

酸態窒素が緩やかに増加する。

- アンモニア態窒素はばら堆肥ではほとんど変化しない。一方、袋詰めの最下部はアンモニア態窒素・硝酸態窒素とも増減があり、窒素の分解や有機化が不安定に進行する可能性がある。

以上から、十分に腐熟させれば成分分析値は少なくとも1年間は利用できると考えられる。ただし、ばら堆肥の場合、真夏の気温の影響でさらに水分が減少し、容積重に変化をもたらす場合がある。

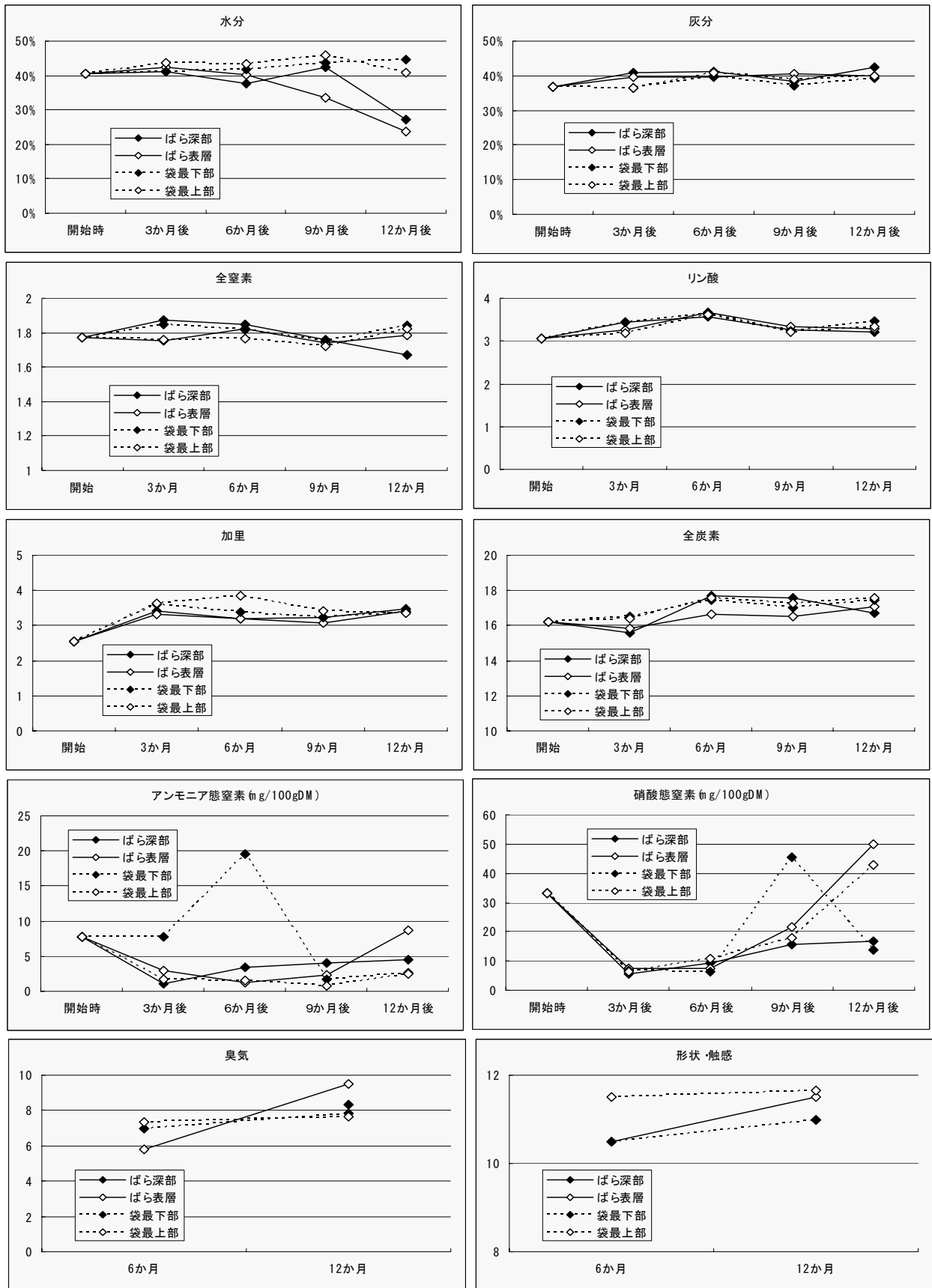


図-7~16 堆肥保管中の成分等の推移

IV 条件を設定して成分の安定した堆肥を作る

前項Ⅲの試験から、原材料のばらつきの程度がある程度明らかになり、季節や面的変動を抑える方法も示唆され、さらに製品堆肥（腐熟が安定した堆肥）では成分の変動は心配に値しない事がわかってきた。従って、最終的にはなるべく成分変動の幅の少ない製品堆肥をいかに作るかがポイントとなる。

原料（ふんと副資材）の成分がほぼ同様とするならば、製品堆肥の変動はその混合割合と腐熟度に因るところが大きいと考えられるが、混合割合や腐熟程度を畜産生産者が常に一定に保つことは現実的には非常に困難である。

そこで、整えるべき条件を畜産農家でも比較的容易に実行可能な「容積重調整」のみに絞り、それを灰分測定から推定する有機物分解割合で腐熟度を判断する方法（栃木畜試研究報告第19号掲載）を用いて腐熟度を判断し、結果的に変動の少ない製品堆肥を生産する手法について検討した。

材料及び方法

1. 調査方法

乳牛ふん（バーンクリーナ、稲わら混入）に副資材（おが屑）を混合し、容積重を700kg/m³（コンテナに300ℓ入れて210kgとする）に調整したものを堆肥化させ、完熟時及びそれに至る過程での成分・品質を調査する。それを季節を変えて3期反復し、その差異を確認する。なお完熟とは、有機物の50%が分解した段階とした。

2. 調査期間

平成14年7月～15年7月（4か月間×3期）

3. 調査時期と分析項目

原料(生ふん)、開始時と以降10日ごとに完熟まで：重量、水分、容量(容積重)、灰分(有機物量)

原料(生ふん)、開始時と以降30日ごと、完熟時：肥料成分(T-N、P、K、Ca、Mg、Na、T-C)、無機態窒素、pH、EC（分析方法はⅡ-2に同じ）

結果及び考察

1. 結果の概要

完熟までの堆肥化日数は4か月を目安としていたが、結果的には第1期72日、第2期238日、第3期60日であった（図-17）。

第1期 平成14年7月10日～9月24日

第2期 平成14年10月18日～平成15年6月13日

第3期 平成15年6月17日～8月16日

容量が小さいため特にではあるが、やはり堆肥化の進行に外気温は大きく影響することがわかった。

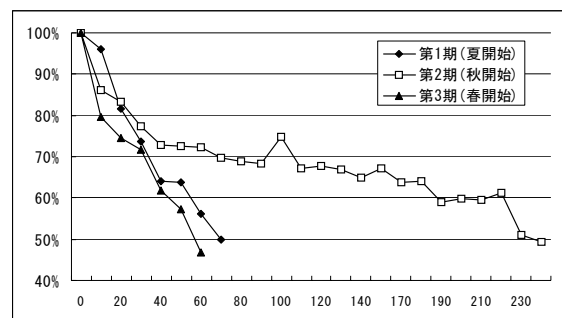


図-17 有機物量（強熱減量）の推移（相対値）

成分の推移を表-12、そこから開始時と終了時のみ抜き出したものを表-13に示す。結果的に、堆肥化スタート時に最低限の条件を整えても、完熟時の堆肥の品質・成分はばらつく結果となった。

また、各期間ごとの3成分（窒素・リン酸・加里）の推移を図-18～20に示す。全窒素とリン酸濃度は、生ふん（乾物）中で若干のばらつきが見られたが、副資材による容積重調整により3期ともほぼ同じ値となった。このまま堆肥化されれば同様の成分値に仕上がるかと期待したが、完熟時の成分とそれに至る推移共に3期ともばらつく結果となった。逆に加里については、生ふんの濃度はほぼ同じであったが、調整時に大きくばらついた。これは、おが屑由来の加里の影響かと考えられる。

表-12 成分分析値の推移

試験区分	堆肥化日数	pH	EC ms/cm	水分 %	灰分 乾物%	窒素			リン酸 P2O5 乾物%	加里 K2O 乾物%	石灰 CaO 乾物%	苦土 MgO 乾物%	ナトリウム Na2O 乾物%	炭素 T-C 乾物%	CN比
						T-N 乾物%	NH4-N mg/乾物100g	NO3-N mg/乾物100g							
第1期	生ふん	5.70	5.97	83.3%	25.9%	2.12	659.64	3.67	2.11	1.66	2.04	1.12	0.26	38.9	18.4
	0	5.65	4.69	75.9%	14.7%	1.38	452.32	0.28	1.32	0.77	1.21	0.72	0.18	41.4	30.0
	30	7.98	3.35	74.1%	21.3%	1.70	73.33	73.33	1.90	1.40	1.77	0.96	0.29	41.9	24.7
	60	8.84	2.90	71.5%	25.7%	1.93	8.17	3.97	2.29	1.68	2.14	1.15	0.39	38.0	19.7
	70	8.76	2.87	71.4%	28.2%	1.98	2.79	0.23	2.35	1.63	2.20	1.18	0.49	37.4	18.9
第2期	生ふん	6.62	6.15	82.1%	21.6%	1.71	417.11	1.52	1.59	1.63	1.24	0.79	0.03	33.7	19.8
	0	6.65	4.99	76.9%	16.6%	1.36	352.05	0.00	1.19	1.13	0.87	0.59	0.00	34.9	25.7
	30	7.37	3.65	77.6%	23.5%	1.58	10.53	6.62	1.54	1.35	1.26	0.75	0.00	34.5	21.8
	60	7.44	3.82	77.4%	23.2%	1.50	3.28	16.09	1.66	1.53	1.45	0.80	0.06	34.1	22.8
	90	7.43	3.51	76.6%	25.5%	1.61	3.73	42.23	1.69	1.48	1.44	0.80	0.05	33.4	20.7
	120	7.52	3.80	75.6%	24.7%	1.56	3.30	64.06	1.61	1.50	1.45	0.80	0.04	34.6	22.2
	150	7.69	3.56	73.7%	24.9%	1.58	3.89	60.58	1.70	1.46	1.44	0.83	0.03	32.9	20.8
	180	7.71	3.56	71.7%	25.1%	1.59	5.64	42.79	1.64	1.57	1.54	0.81	0.04	32.1	20.2
	210	7.77	3.87	69.5%	26.5%	1.72	3.47	58.41	1.85	1.69	1.76	0.90	0.13	32.9	19.2
	240	7.77	3.53	66.9%	29.7%	1.88	2.79	119.97	1.99	1.97	1.91	0.99	0.18	30.6	16.3
第3期	生ふん	7.24	7.52	80.8%	39.2%	1.64	500.17	5.96	1.57	1.72	1.35	1.05	0.37	27.6	16.8
	0	7.67	4.72	72.1%	20.1%	1.26	296.97	2.61	1.26	1.59	1.00	0.73	0.32	37.9	30.0
	30	8.57	3.94	72.6%	24.1%	1.28	6.28	21.50	1.46	1.88	1.26	0.86	0.38	36.5	28.6
	60	8.60	3.95	72.0%	34.6%	1.64	5.95	5.95	1.89	2.24	1.73	1.13	0.47	32.5	19.8

表-13 試験期間ごとの比較

	試験区分	pH	EC ms/cm	水分 %	灰分 乾物%	窒素			リン酸 P2O5 乾物%	加里 K2O 乾物%	石灰 CaO 乾物%	苦土 MgO 乾物%	ナトリウム Na2O 乾物%	炭素 T-C 乾物%	CN比
						T-N 乾物%	NH4-N mg/乾物100g	NO3-N mg/乾物100g							
生ふんの成分	第1期	5.70	5.97	83.3	25.9	2.12	659.64	3.67	2.11	1.66	2.04	1.12	0.26	38.95	18.4
	第2期	6.62	6.15	82.1	21.6	1.71	417.11	1.52	1.59	1.63	1.24	0.79	0.03	33.69	19.8
	第3期	7.24	7.52	80.8	39.2	1.64	500.17	5.96	1.57	1.72	1.35	1.05	0.37	27.58	16.8
完熟堆肥の成分	第1期	8.76	2.87	71.4	28.2	1.98	2.79	0.23	2.35	1.63	2.20	1.18	0.49	37.37	18.9
	第2期	7.77	3.53	66.9	29.7	1.88	2.79	119.97	1.99	1.97	1.91	0.99	0.18	30.64	16.3
	第3期	8.60	3.95	72.0	34.6	1.64	5.95	5.95	1.89	2.24	1.73	1.13	0.47	32.47	19.8
完熟/開始比率	第1期	1.55	0.61	0.94	1.92	1.43	0.01	0.83	1.79	2.12	1.83	1.64	2.72	0.90	0.63
	第2期	1.17	0.71	0.87	1.79	1.38	0.01	-	1.67	1.75	2.20	1.68	-	0.88	0.64
	第3期	1.12	0.84	1.00	1.72	1.30	0.02	2.28	1.50	1.40	1.73	1.55	1.46	0.86	0.66
完熟/生ふん比率	第1期	1.54	0.48	0.86	1.09	0.93	0.00	0.06	1.12	0.98	1.08	1.06	1.86	0.96	1.03
	第2期	1.17	0.57	0.81	1.38	1.10	0.01	78.95	1.25	1.21	1.55	1.25	6.49	0.91	0.83
	第3期	1.19	0.53	0.89	0.88	1.00	0.01	1.00	1.20	1.30	1.28	1.07	1.25	1.18	1.17

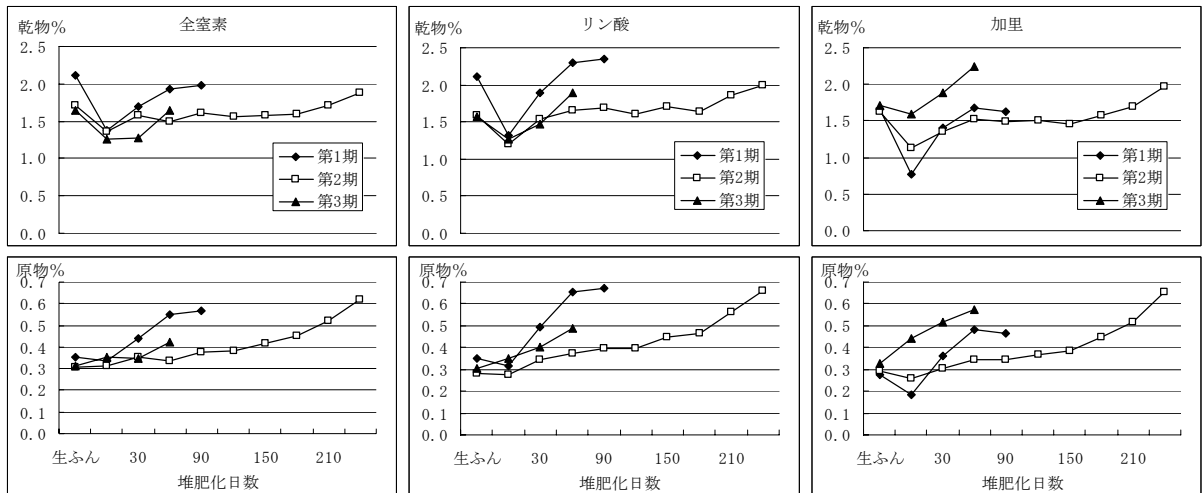


図-18~20 堆肥化に伴う全窒素・リン酸・加里濃度の推移 (上段：乾物中%、下段：現物中%)

そこで、生ふんの成分を同一値（100）に補正した場合の完熟堆肥の成分（相対値）を見ると、全窒素・リン酸とも上下 10%程度の幅に収まっていることがわかる。（図-21）つまり、この調整により処理期間は異なっても原材料の性状を反映した堆肥が生産されることが考えられる。

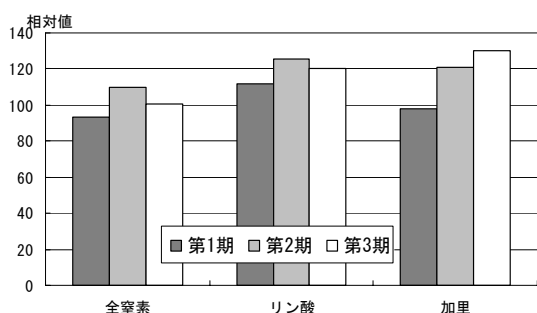


図-21 生ふんに対する堆肥の成分値（相対値）

さらに、全窒素・リン酸・石灰・苦土においては、生ふんより堆肥の変動の方が若干小さくなっていると推測され、生ふんのばらつきは容積重調整と十分な堆肥化により緩衝される事が期待できる。

一方、図-18～20 から、堆肥化に伴う肥料成分濃度の推移曲線は異なり、堆肥化途中よりも完熟付近で濃度の差が小さくなっていることがわかる。このことから、完熟を期間（日数）でなく有機物分解割合で判断することでばらつきを少しでも小さくすることが可能である。

以上から、畜産農家で設定可能な最低限の堆肥化条件を整えても、全く同成分の堆肥を生産することは困難であるが、速やかな堆肥化処理を進める基本である容積重調整により、少なくともばらつきを大きくするであろう要因を排除することができ、変動の少ない堆肥を生産できる可能性があることが示唆された。

なお、容積重の調整自体、容易ならざるという印象もあるようであるが、成分の安定した堆肥を生産している生産者にそのコツをうかがうと、敷料の利用やボロ出しの間隔などに神経を配っている、という声が聞かれた。実はこの様な作業が容積重を調整することにつながってくると考えられる。

まとめ

同じ堆肥をつくるには、

- ①同じ原料を
 - ②同じ割合で混合し
 - ③同じ腐熟度に仕上げて
- やれば良い。

これまでの結果及び成分の安定した堆肥生産者の管理状況調査から、安定した堆肥を生産する方法について整理する。

①同じ原料：

- 飼料と副資材（敷料）はなるべく同じもの（品質）を使うようにする。
- ふん尿分離方式の場合はきちんと分離する。
- 異物の混入に注意する。

②同じ割合

- 容積重を調整する。
- ボロだし（敷料搬出）は定期的実施する。

③同じ腐熟度

- 温度管理を行う。
- 十分に堆肥化する。
- 腐熟度判定には「有機物分解割合」を推奨。さらに、製品管理として
- 乾燥させすぎないように留意する。
- 貯蔵堆肥はなるべく全体を十分に混和して出荷する。（篩を使うとより均一化される。）

文 献

- 1) 堆肥供給畜産農家資料（第1版）. 栃木県. 1996.
- 2) 斎藤正志・林薫月・清水秀夫. 水稲作における堆肥の組み合わせ・利用技術. 福井県畜産試験場研究報告, 17:28-31. 2003.
- 3) 伊藤元. 成分の安定した堆肥の作り方. 養豚の友 2002年4月号, 28-31. 2002.
- 4) 脇阪ら. 家畜ふん堆肥の品質因子に関する研究. 栃木県畜産試験場研究報告, 19:16-29. 2003.