

## 新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討

水木剛・白石誠・大家理哉\*・鷲尾建紀\*\*

Study of manufacturing technology for new standardized fertilizer  
'Mixed compost compound fertilizer'

Takeshi MIZUKI, Makoto SHIRAIISHI, Masaya OOYA and Tatsuki WASHIO

### 要 約

平成24年の肥料取締法施行規則等の改正により、堆肥を原料とした普通肥料「混合堆肥複合肥料」の公定規格が新設され、堆肥の土づくり効果と化学肥料の高い肥効を併せもった新しい肥料の生産・流通が可能となった。そこで、堆肥の新たな需要拡大等を目的として、混合堆肥複合肥料の製造効率と保存性について検討した。本報では、窒素含有量を高めた混合堆肥複合肥料の開発をねらいとして、鶏ふん堆肥または牛ふん堆肥への窒素肥料(硫安、尿素、I B肥料)の混合割合の違いによる影響について検討した。

- 1 窒素肥料等の混合による製造歩留まり及び容積削減率は、家畜ふん堆肥と窒素肥料の組み合わせにより傾向が異なった。
- 2 尿素有30%以上混合すると、吸湿による造粒後の膨化・固結が著しく、ペレットの形状を維持できなかった。
- 3 原料堆肥の前処理及び造粒時に窒素の損失が起こる場合があるため、窒素の損失を考慮した余裕のある設計を検討する必要がある。
- 4 本試験で試作した肥料は、いずれも35℃、180日間の密封保存で、外観品質の劣化や破断強度の低下は認められなかった。

キーワード：堆肥、混合堆肥複合肥料、ペレット、製造効率、保存性

### 緒 言

土づくりを行う上で堆肥の有効性は十分認識されているが、堆肥は散布に労力がかかったり、畜種や製造方法等の違いにより肥料成分が多様で施肥管理が難しいことなどから利用が進んでいない。

こうした堆肥の弱点を克服するため、ペレット化により散布作業時の利便性を高める技術の開発が行われ、普及が進んでいる<sup>1)</sup>。さらに、肥料成分を強化・安定化し、施肥コストを節減するため、堆肥と普通肥料を混合した肥料の製造・利用に関する試験研究が行われ、その有効性が示されている<sup>2)</sup>。

こうした状況を受け、平成24年の肥料取締法施行規則等の改正<sup>3)</sup>により、堆肥を原料とした普通肥料「混合堆肥複合肥料」の公定規格が新設され、堆肥の土づくり効果と化学肥料の高い肥効を併せもった新しい肥料の生産・流通が可能となった。

これにより、耕種側にとっては肥料成分と有機物を一度に供給できるため施肥管理の省力化が、また、畜産側にとっては堆肥を肥料原料として販売する新たな販路の開拓が期待される。

一方で、普通肥料である混合堆肥複合肥料には、表1に示したような公定規格の遵守が求められ、製造コストの上昇は避けられない。そのため、混合堆肥複合肥料の普及にあたっては、価格に見合った高い肥効と付加価値が必要と考えられる。

本報では、まず、耕種側のニーズが高い窒素の強化を目的として、鶏ふん堆肥または牛ふん堆肥への窒素肥料(硫安、尿素、I B肥料)の混合割合の違いが混合堆肥複合肥料の製造効率や保存性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

表1 混合堆肥複合肥料の公定規格の概要

①原料堆肥に関すること
・窒素が乾物あたり2.0%以上
・窒素、リン酸、カリの合計が乾物あたり5.0%以上
・炭素窒素比が15以下
②製造に関すること
・堆肥の割合は乾物重量で50%以下
・造粒または成形後に加熱乾燥すること
③完成肥料の品質に関すること
・窒素、リン酸、カリのうち、いずれか2つ以上の合計が10.0%以上
・その他保証成分の最小量
・含有を許される有害成分11種の最大量

※農林水産省告示「肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件」から一部改変

## 材料及び方法

### 試験1 高窒素混合堆肥複合肥料の製造効率

#### (1)材料及び試験区

家畜ふん堆肥は、県内産の鶏ふん堆肥及び当研究所で生産した牛ふん堆肥を使用した。これらをそれぞれ天日乾燥し、目開き3mmのふるいで2回ふるいがけした後、水分20%を目標に飼料攪拌機(大脇工業株式会社、大脇式攪拌機A4型)で攪拌しながら加水した。水分調整後の肥料成分等は表2のとおりであった。

表2 原料家畜ふん堆肥の肥料成分等(水分調整後)

	水分	窒素	リン酸	カリ	炭素窒素比
	(%)			(%DM)	
鶏ふん堆肥	16.2	3.6	6.0	3.9	8.2
牛ふん堆肥	18.4	1.6	2.0	5.8	20.3

一方、窒素源となる窒素肥料は、硫安(JFEケミカル株式会社、全窒素21.0%硫酸アンモニア)、尿素(三井化学株式会社、全窒素46.0%尿素)、及びI B肥料(ジェイカムアグリ株式会社、全窒素31.0% I B窒素)を使用した。また、一部の試験区において、配合の不足を補うために、なたね油かす(日清オイリオグループ株式会社、全窒素5.3%純正菜種油粕肥料用)を使用した。なお、窒素肥料及びなたね油かすは前処理を行わずに供試した。

試験区は、表3に示した鶏ふん堆肥を原料とする肥料11点と、表4に示した牛ふん堆肥を原料とする肥料11点の計22点とした。

表3 試験区の概要(鶏ふん堆肥を原料とした場合)

	(単位:乾物重量%)		
	鶏ふん堆肥	窒素肥料	なたね油かす
鶏●10	50	10	40
鶏●30	50	30	20
鶏●50	50	50	0
鶏	100	0	0
鶏油かす	50	0	50

※●には、混合した窒素肥料(硫安、尿素またはI B肥料)を硫安、尿素、I Bと表記。

表4 試験区の概要(牛ふん堆肥を原料とした場合)

	(単位:乾物重量%)		
	牛ふん堆肥	窒素肥料	なたね油かす
牛●10	50	10	40
牛●30	50	30	20
牛●50	50	50	0
牛	100	0	0
牛油かす	50	0	50

※●には、混合した窒素肥料(硫安、尿素またはI B肥料)を硫安、尿素、I Bと表記。

すなわち、家畜ふん堆肥の混合割合を公定規格の上限である乾物重量あたり50%とし、窒素肥料をそれぞれ10%、30%または50%混合した(10%または30%の試験区は不足分をなたね油かすで補った)。また、比較のため家畜ふん堆肥のみの試験区と、なたね油かすの影響を確認するために家畜ふん堆肥となたね油かすを50:50で混合した試験区を設けた。

#### (2)造粒方法

ローラー・ディスクダイ方式の造粒機(不二パウダル株式会社、F-5/11-175D型)で直径5mm、長さ10mmのペレット状に圧縮成型した。その後、造粒物の粗熱が取れた段階で目開き3mmのふるいで篩別し、通風乾燥機で90℃、2時間以上加熱乾燥した。

#### (3)調査項目

主な調査項目は、製造歩留まり、容積削減率及び肥料成分等で、それぞれ次の方法で測定した。

1)製造歩留まり:造粒機を通過した造粒物及び成形くずの全重量に対する目開き3mmのふるいで篩別された造粒物の比率。

2)容積削減率:原料または加熱乾燥後の完成肥料の比容積(重量1kgあたりの容積)から次の式により計算。

$$((\text{原料の比容積}) - (\text{完成肥料の比容積})) \div (\text{原料の比容積})$$

3)肥料成分等:pH(KCl)(試料と2M塩化カルシウム溶液の比率は1:10)、pH(H<sub>2</sub>O)(試料と蒸留水の比率は1:10)、電気伝導度(試料と蒸留水の比率は1:10)、水分、有機物、灰分、ケルダール窒素、全炭素、全窒素、リン酸、カリ、石灰、苦土、アンモニア態窒素及び硝酸態窒素を「堆肥等有機物分析法」<sup>4)</sup>に準じて行った。

### 試験2 高窒素混合堆肥複合肥料の保存性

#### (1)材料及び試験区

試験1と同じ。

#### (2)試験方法

試験1の完成肥料のうち、加熱乾燥後に固結しなかったものを100gずつチャック付きポリ袋に封入し、恒温槽内で終日35℃、暗室条件下で180日

間保存して性状を調査した(n=3)。

(3) 調査項目

主な測定項目は、保存中のカビ等の発生、残存率、破断強度及び肥料成分等で、それぞれ次の方法で測定した。

- 1) カビ等の発生：カビ等の発生を目視で観察。併せて嗅覚によるカビ臭の確認も行った。
- 2) 残存率：保存前の肥料重量に対する、保存後に目開き3mmのふるいで篩別された肥料重量の比率。
- 3) 破断強度：プッシュプルゲージ(アイコーエンジニアリング株式会社, AWF-500)に山型アタッチメントを装着し、アルミバット上に置いた試料の中央部にアタッチメントの先端を水平に押しつけて、破断時の最大指示値を破断強度とした。なお、各試験区の試料数は22本とし、最大値と最小値を除いた20本を評価の対象とした。
- 4) 肥料成分等：分析用試料は、保存試験に供した3袋分の肥料を混合したものから採材した。分析方法については試験1と同じ。

結 果

試験1 高窒素混合堆肥複合肥料の製造効率

鶏ふん堆肥を原料とした場合の製造歩留まりは、窒素肥料の混合割合が増えるほど低くなった。また、尿素を混合した試験区の製造歩留まりはいずれも90%を超えた。一方、牛ふん堆肥を原料とした場合には、牛硫安50では造粒物がそぼろ状になりペレット化できなかったが、牛硫安10よりも牛硫安30の方が製造歩留まりが高かった。IB肥料では、混合割合が増えるほど製造歩留まりが低くなった。尿素を混合した試験区の製造歩留まりは、いずれも90%を超えた。鶏油かす及び牛油かすは、家畜ふん堆肥のみの場合よりも製造歩留まりが低下した。しかしながら、窒素肥料を混合した試験区では、なたね油かすの混合による製造歩留まりの明確な低下は認められなかった。(図1-1、図1-2)

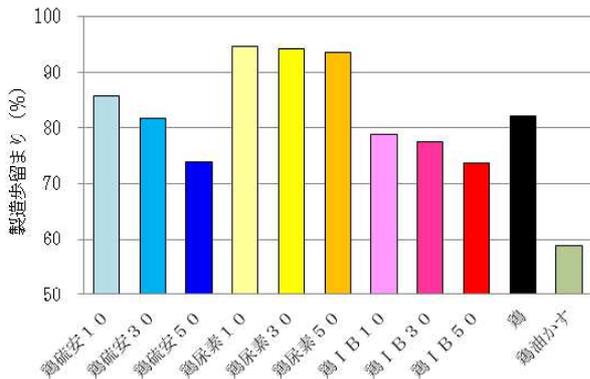


図1-1 製造歩留まり(鶏)

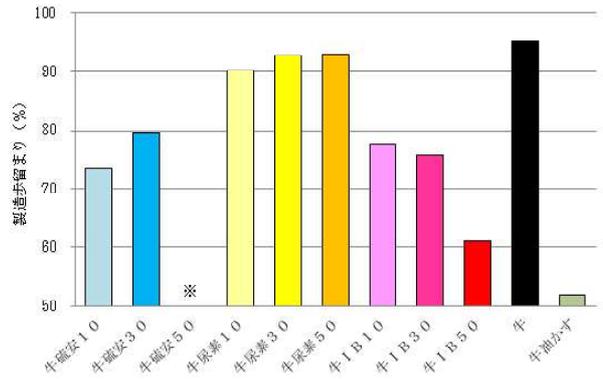


図1-2 製造歩留まり(牛)

※牛硫安50はペレット状に造粒できなかったためデータなし。

しかしながら、尿素を30%以上混合した試験区では、加熱乾燥後にペレットの形状を維持できないほどの激しい膨化と固結がおきた(図2)。また、尿素を10%混合した試験区では、固結こそ起きなかったものの、多くのペレットで膨化による変形やひび割れが確認された。

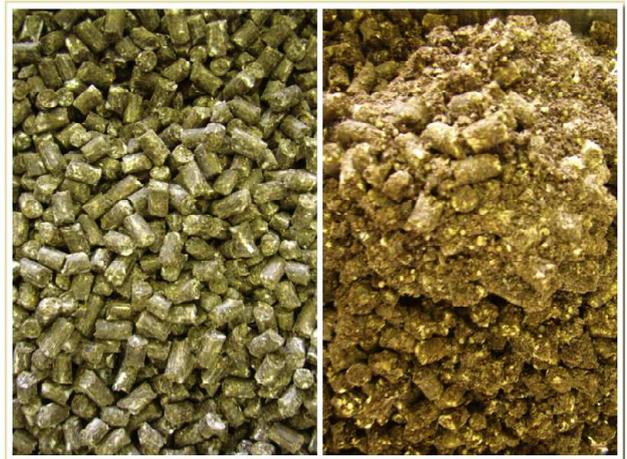


図2 正常なペレット(左)と膨化・固結したペレット(右)

鶏ふん堆肥を原料とした場合、IB肥料の混合割合が低いほど容積削減率が低くなった。一方、牛ふん堆肥を原料とした場合には、窒素肥料の混合割合の違いによる容積削減率の差は小さかった。なお、鶏油かす及び牛油かすは、家畜ふん堆肥のみの場合よりも容積削減率が低下した。しかしながら、窒素肥料を混合した試験区では、なたね油かすの混合による容積削減率の明確な低下は認められなかった。(図3-1、3-2)

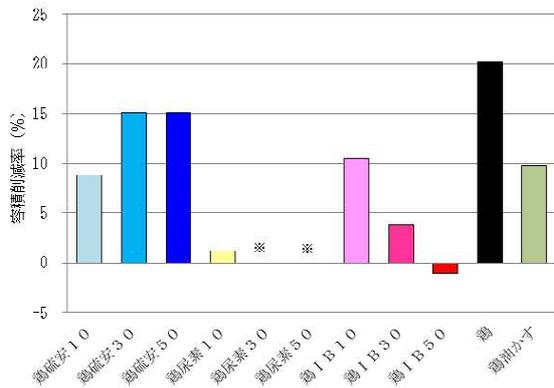


図3-1 造粒時の容積削減率(鶏)

※鶏尿素3.0及び同5.0は加熱乾燥後に固結したためデータなし。

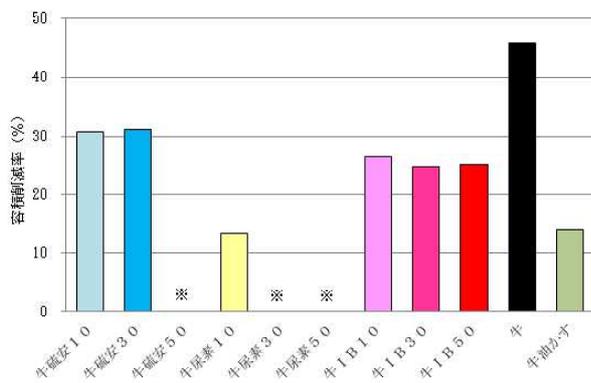


図3-2 造粒時の容積削減率(牛)

※牛硫酸5.0はペレット状に造粒できなかったため、牛尿素3.0及び同5.0は加熱乾燥後に固結したためデータなし。

## 試験2 高窒素混合堆肥複合肥料の保存性

180日間の保存期間を通じて、いずれの試験区もカビ等の発生やペレットの変形・変色といった外観品質の劣化は認められなかった。

残存率は、保存試験に供した全ての試験区で95%以上であった。また、窒素肥料を混合した試験区間で、残存率に有意差は認められなかった。

なお、牛ふん堆肥のみの試験区に対して、なたね油かすを単独で混合した試験区の残存率が有意に低下した。しかしながら、窒素肥料となたね油かすの混合では、なたね油かすの混合割合の違いによる有意差は認められなかった。(図4-1、4-2)

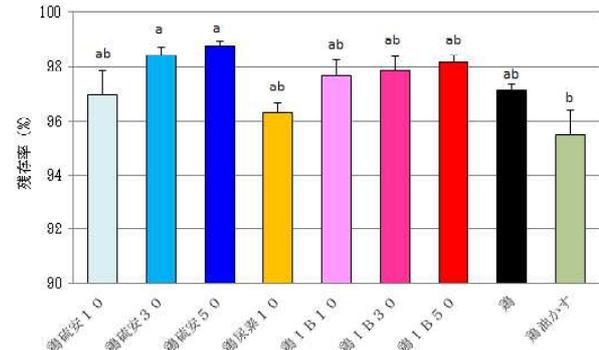


図4-1 保存後の残存率(鶏) (n=3)

異符号間に5%水準で有意差あり(Tukey HSD検定)

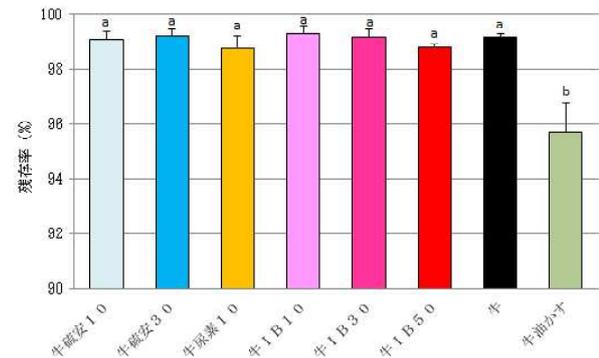


図4-2 保存後の残存率(牛) (n=3)

異符号間に1%水準で有意差あり(Tukey HSD検定)

化学肥料またはなたね油かすを混合した試験区の保存前の破断強度は、家畜ふん堆肥のみの試験区よりも有意に低かった。一方、いずれの窒素肥料を混合した場合でも、混合割合の違いによる破断強度の有意な差は認められなかった。また、牛IB3.0を除いて、保存後の破断強度が保存前より有意に高くなった。

なお、家畜ふん堆肥のみの試験区に対して、なたね油かすを単独で混合した試験区の破断強度が有意に低下した。しかしながら、窒素肥料となたね油かすの混合では、なたね油かすの混合割合の違いによる有意差は認められなかった。(図5-1、5-2)

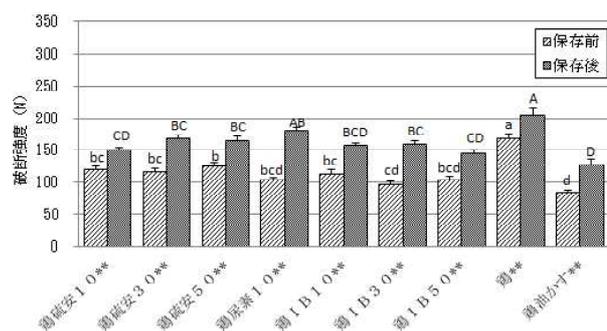


図5-1 保存前後の破断強度(鶏) (n=20)

1. 試験区名末尾の\*\*に保存前後に1%水準で有意差あり(t検定)
2. アルファベットの異符号間(保存前:小文字、保存後:大文字)に5%水準以上の有意差あり(Tukey HSD検定)

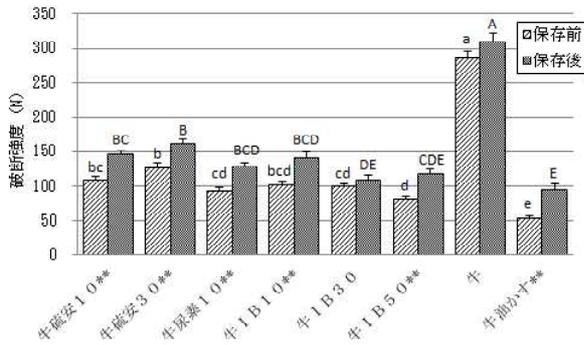


図5-2 保存前後の破断強度(牛) (n=20)

1. 試験区名末尾の\*\*に保存前後に1%水準で有意差あり(t検定)
2. アルファベットの異符号間(保存前:小文字、保存後:大文字)に5%水準以上の有意差あり(Tukey HSD検定)

全窒素については、一部の試験区で造粒後に原料より低くなり、その損失は最大で鶏尿素10の14.4%であった。また、保存後の全窒素の損失も一部の試験区で起こり、鶏硫酸50の9.4%が最大であった。一方で、無機態窒素については、ほぼ全ての試験区で造粒後にアンモニア態窒素が低下した。また、硫酸を混合した試験区では、鶏硫酸50を除いて、保存後に硝酸態窒素が低下し、アンモニア態窒素が増加した。(図6-1、6-2)

なお、窒素以外の肥料成分等については、造粒または保存の前後で、混合した窒素肥料に起因すると考えられるような特徴的な変化は認められなかった。(図表省略)

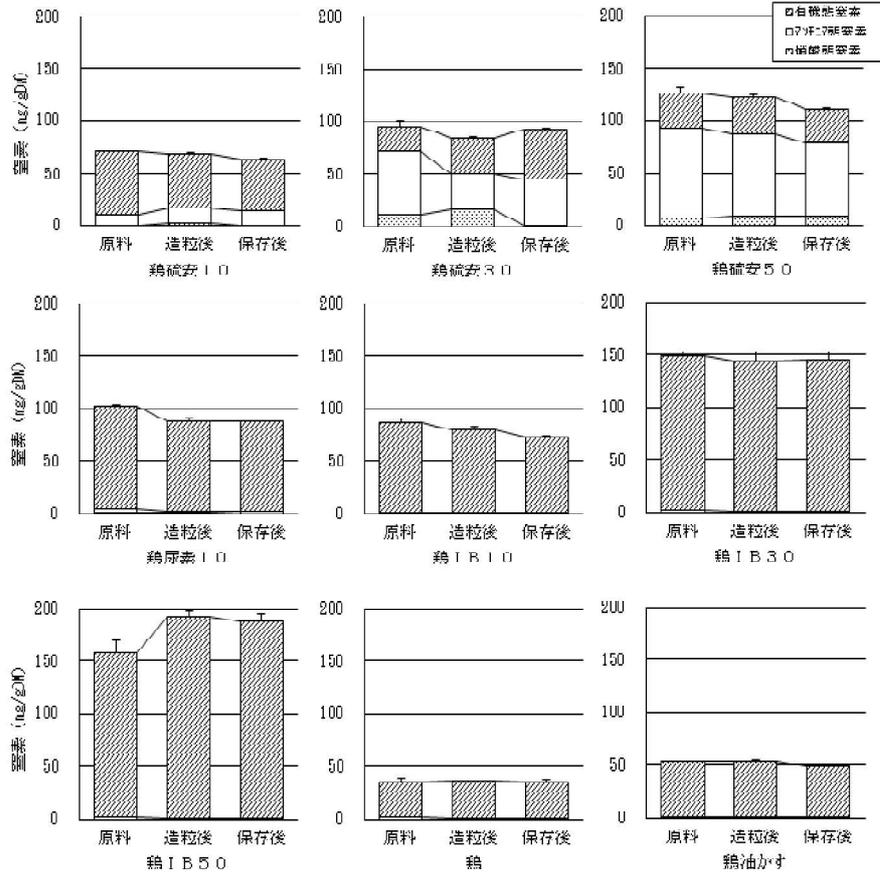


図6-1 造粒後及び保存後の全窒素の推移(鶏)

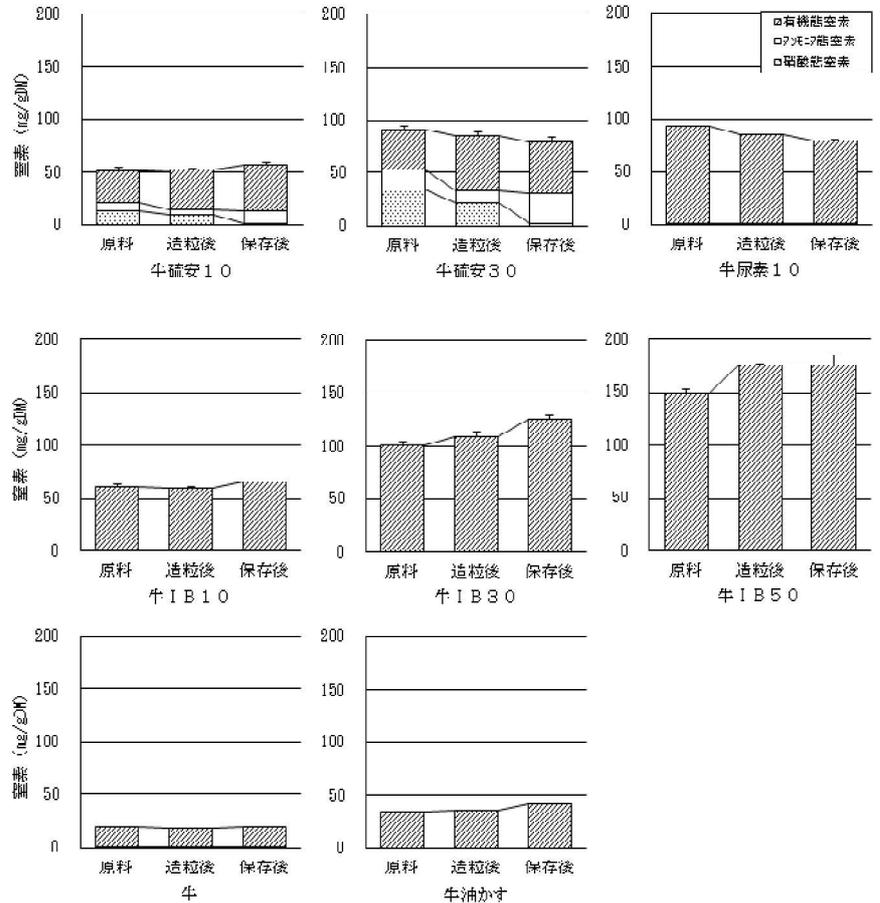


図6-2 造粒後及び保存後の全窒素の推移(牛)

## 考 察

平成23～24年度に県内で生産された牛ふんを主原料とする堆肥のべ215点の肥料成分等を調査したところ、窒素は乾物あたり平均 $1.8 \pm 0.5\%$ であった<sup>5)</sup>。また、過去に行われた全国規模での調査では、寒冷期と温暖期の季節間または年次間で窒素等肥料成分の変動が報告されている<sup>6) 7) 8)</sup>。牛ふん堆肥を混合堆肥複合肥料の原料として使用するためには、乾物あたり2.0%以上の窒素を安定的に維持できるかがポイントとなる。

本試験で供試した牛ふん堆肥は、窒素が1.6%で、2.0%以上という公定規格を満たしていなかった。これは、予備調査時の2.1%を下回っており、鶏ふん堆肥も予備調査時の3.9%から3.6%に低下していた。これらの原因として、天日乾燥やふるいがけ、加水時の攪拌の影響が疑われた。また、加水後の水分も目標の20%を下回っており、攪拌時に蒸発するなどした可能性がある。原料堆肥の窒素及び水分については、前処理工程での損失を想定しておく必要があることが示唆された。

今回試作した肥料の製造歩留まり及び容積削減率は、原料の組み合わせによりその傾向が異なった。実際の用途に応じて複数の化学肥料等を混合する場合には、さらに複雑な結果が想定され、事前の検証が重要であることが示唆された。

本試験では、尿素の混合割合が30%を超えるとペレットの形状を維持できないほどの膨化・固結が発生した。尿素は安価な窒素源となる一方で吸湿性の高い肥料として知られており<sup>9)</sup>、これが膨化・固結の原因と考えられた。今回、尿素を混合した試験区の製造歩留まりが高くなったのは、吸湿した原料が造粒機のダイス穴を通過しやすくなり、十分圧縮されずに造粒されたことや、吸湿で結着しやすくなった造粒物に成形くずが付着したことが原因と考えられた。

そのため、窒素源として尿素を使用する場合には、固結防止剤の併用を検討するか、尿素の混合割合を低くするなどの対策が必要であることが示唆された。

今回の保存試験では、外観品質の明確な劣化は認められなかった。過去に行った水分21%の豚ふん堆肥ペレットの保存試験(終日35℃、暗室条件下で120日間)では、カビ等の発生や破断強度の低下がおきた<sup>10)</sup>。ペレット堆肥の変質を防ぐためには、水分を15%程度以下に調整して密封したものを直射日光を避けて保管すればよいという報告<sup>11)</sup>もあることから、今後は、気温の変動や日光の有無といった、より実際に近い条件での保存性についても検討する必要がある。

公定規格には具体的な加熱乾燥条件は示されていないが、今回の90℃、2時間以上の加熱乾燥は十分な保存性を付与できたと考えられた。より低温・短時間でも十分な保存性が確認できれば、製造コストの低減等に寄与する可能性があり、今後検討したい。

本試験で製造した肥料の破断強度は $52.8 \pm 4.5$  N以上であり、単純比較はできないが、全農の水稲側条施肥用粒状複合肥料(粒径2.0～2.8mm)の規格である圧壊強度2 kgf以上<sup>12)</sup>(=約19.6 N)は十分に上回っていると想定されることから、実用上問題のない硬さが得られていると考えられた。

また、多くの試験区で保存後に破断強度が高くなる現象が確認された。いずれの試験区も保存前後の水分は同程度であり(図表省略)、保存中に乾燥が進行したことによるものではないと考えられた。しかしながら、原因については本試験では明らかにできなかった。

一部の試験区で、造粒または保存後に全窒素が低下した。造粒時には原料が高温・高圧環境下におかれるため、多くの試験区でアンモニア臭を含む蒸気が発生していたほか、保存中のポリ袋内で弱いアンモニア臭を感じた試験区もあった。そのため、特に造粒時には、窒素の損失が起こる可能性を考慮した余裕のある設計を検討する必要があることが示唆された。

一方で、硫酸を混合した試験区の一部で保存の前後で無機態窒素の変動が認められた。圃場散布後の肥効に影響を及ぼす可能性もあることから、今後、原因について検討したい。

なお、I B肥料を50%混合した試験区で造粒後の全窒素が原料と比べて20%前後高くなったほか、保存の前後で全窒素が増加した試験区があったが、これらの原因については本試験では明らかにできなかった。

本試験の成果を踏まえ、今後は窒素肥料を含む複数の化学肥料等を混合して、特定の作物や栽培条件に適した混合堆肥複合肥料の製造及び利用に関する研究を実施する予定である。

## 引用文献

- 1) 薬師堂謙一(2005)：成分調整成型堆肥の生産・利用技術。平成17年度畜産大賞優秀賞(研究開発部門)。(参考URL)  
[http://group.lin.gr.jp/grand\\_prix/2005/k50/s\\_eibun\\_s.pdf](http://group.lin.gr.jp/grand_prix/2005/k50/s_eibun_s.pdf)
- 2) 小宮山鉄兵・辻あづみ(2013)：混合堆肥複合肥料の開発～堆肥と普通肥料を混合した安価な

有機複合肥料～. グリーンレポート, No. 531, 10-11

3) 肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件の一部を改正する件(平成24年8月8日農林水産省告示第1985号)

4) (財)日本土壌協会(2000): 堆肥等有機物分析法

5) 水木剛(2014): 堆肥の迅速診断法. 平成26年度(第49回)岡山県産業動物獣医学会プログラム・講演抄録, 12

6) (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所(2002): 簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査(中間)報告書.

7) (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所(2003): 簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査(中間)報

告書.

8) (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所(2005): 簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査報告書.

9) 荒井明彦(1969): 肥料固結防止剤としての応用. 油化学, 第18巻第9号, 668-672

10) 水木剛・白石誠・小林宙・疇地勅和(2011): 利用性の高い堆肥の供給体制の確立. 岡山農総セ畜研報1, 1-5

11) (財)畜産環境整備機構(2013): 高肥料成分ペレット堆肥の調整と安定貯蔵に関するマニュアル.

12) J A全農 営農・技術センター 肥料研究室(2009): くみあい肥料の品質の考え方. (参考URL)  
[https://www.zennoh.or.jp/eigi/pdf\\_hiryo/hiryo\\_kumiai.pdf](https://www.zennoh.or.jp/eigi/pdf_hiryo/hiryo_kumiai.pdf)