

新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討 (第3報)

水木剛・白石誠・森次真一*・鷲尾建紀*

Study of Manufacturing Technology for New Standardized Fertilizer

'Mixed compost compound fertilizer' -3rd Report-

Takeshi MIZUKI, Makoto SHIRAIISHI, Shinichi MORITSUGU 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、複数の化学肥料等を原料とし、三要素（窒素・リン酸・カリ）の成分比が異なる混合堆肥複合肥料において、尿素の混合割合の違いが製造効率や保存性におよぼす影響について検討した。また、化成肥料なみの窒素含有量を確保するために、膨化・固結が起きやすい尿素的の混合割合を抑え、不足分を硫酸で補った場合の影響についても検討した。

- 1 混合堆肥複合肥料の膨化・固結を抑制するため、尿素の混合割合は5%以内が適当と考えられた。
- 2 混合堆肥複合肥料の窒素含有量を高めるために、尿素5%に対して硫酸を30~45%混合することにより、膨化・固結の発生を抑制しつつ、化成肥料なみの10~13%の窒素含有量を確保できた。

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、堆肥は散布に労力を要し、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などの理由により利用が進んでいない。

このような状況の中、平成24年の肥料取締法施行規則等の改正¹⁾により公定規格が新設された混合堆肥複合肥料は、堆肥の土づくり効果と化学肥料の高い肥効を併せもつとされている^{2), 3)}。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、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ている。

一方で、普通肥料である混合堆肥複合肥料には公定規格の遵守が求められ、造粒・成形や加熱乾燥を要するため製造コストがかかる。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。

そこで、窒素含有量の高い混合堆肥複合肥料の製造に資するため、窒素肥料（硫酸、尿素、

IB)の混合割合の違いが製造効率や保存性におよぼす影響について検討した⁴⁾。続いて、複数の化学肥料等を原料とし、特定の作物及び栽培条件を想定して設計した混合堆肥複合肥料の製造効率や保存性、固結防止材（シリカヒューム）の効果について検討した⁵⁾。

本報では、これまでの知見を踏まえ、三要素（窒素・リン酸・カリ）の成分比が異なる混合堆肥複合肥料において、尿素の混合割合の違いが製造効率や保存性におよぼす影響について検討した。また、化成肥料なみの高い窒素含有量を確保するため、膨化・固結が起きやすい尿素的の混合割合を抑え、不足分を硫酸で補った場合の影響についても検討した。

材料及び方法

試験1 尿素の混合割合が異なる混合堆肥複合肥料の試作

(1) 材料及び試験区

主原料となる堆肥は、県内産の牛ふん主体の畜種混合堆肥（牛・豚・鶏）（以下、堆肥）を

使用した。これを天日乾燥し、目開き 3mm のふるいで 2 回ふるいがけを行ったのちに試験に供した。

ふるいがけ後の肥料成分等は表 1 のとおりで、混合堆肥複合肥料の原料として公定規格（窒素が乾物あたり 2.0%以上、三要素の合計が同 5.0%以上、炭素窒素比が 15 以下）に適合したものであった。

表 1 原料堆肥の肥料成分等（試験 1・2 共通）

	水分	窒素	リン酸	カリ	炭素 窒素比
	(%)			(%DM)	
畜種混合堆肥	20.1	2.6	5.2	5.0	12.2

各試験区の原料混合割合は表 2 のとおりとした。

三要素の成分比を 6-6-6 の水平型あるいは 6-3-6 の谷型とし、それぞれ尿素の混合割合が 5%、8%または 10%となるように設計した。また、比較のため堆肥のみを原料としたペレット堆肥も製造した。

表 2 各試験区の原料混合割合（試験 1）

堆肥	(単位：%DM)						
	窒素肥料			その他肥料			
	尿素	硫安	硫加	硫マ ^カ	なたね油かす	鶏ふん焼却灰	
水平型-尿 5	50	5	13	4	7	8	13
水平型-尿 8	50	8	5	4	7	13	13
水平型-尿 10	50	10		4	7	16	13
谷型-尿 5	50	5	13	9	13		10
谷型-尿 8	50	8	5	9	13		15
谷型-尿 10	50	10		9	13		18

(2) 製造方法

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 3mm、長さ 6mm のペレット状に圧縮成型した。続いて、造粒物の粗熱が取れた段階で目開き 2mm のふるいで篩別し、ホーローバットに広げて 90℃の通風乾燥機内で、20 分おきにかき混ぜながら 1 時間加熱乾燥した。

(3) 調査項目

各試験区の製造効率、保存性及び肥料成分については、それぞれ次の項目を測定した。

1) 製造効率

- ①造粒歩留まり：造粒機を通過した造粒物及び成型くずの全重量に対する、目開き 2mm のふるいで篩別された造粒物の重量の比率。
- ②製造歩留まり：造粒機を通過した造粒物及び成型くずの全重量に対する、加熱乾燥後

に目開き 2mm のふるいで篩別された完成肥料の重量の比率。

- ③容積削減率：原料と完成肥料の比容積（重量 1kg あたりの容積）から次式により計算。

$$\frac{((\text{原料の比容積}) - (\text{完成肥料の比容積}))}{(\text{原料の比容積})} \times 100$$

2) 保存性

完成肥料を 100g ずつチャック付きポリ袋に封入し、終日 25℃暗条件・湿度調整なしの恒温槽で 180 日間密封保存（以下、25℃密封保存）、または、終日 35℃暗条件・湿度調整なしの恒温槽でポリ袋の口を開けた状態で 180 日間保存（以下、35℃開封保存）した（各 n=3）。主な測定項目は、カビ等の発生、残存率、直径、圧壊強度、アンモニア濃度及び肥料成分等で、肥料成分等の分析用試料は保存試験に供した 3 袋分を混合したものから採材した。

- 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：保存前に目開き 2mm のふるいで篩別された肥料の重量に対する、保存後に目開き 2mm のふるいで篩別された肥料の重量の比率。
- ③直径：供試肥料の中央部の直径をノギスで測定した。なお、各試験区の試料数は 22 本とし、最大値と最小値を除外した 20 本を評価の対象とした。
- ④圧壊強度：日本工業規格（JIS Z 8841：1993）に準拠した方法で電気機械式万能試験機（インストロンジャパン カンパニイリミテッド，INSTRON3344）により測定した。なお、各試験区の試料数は 22 本とし、最大値と最小値を除外した 20 本を評価の対象とした。

- ⑤アンモニア濃度：保存サンプルが入ったポリ袋内を新鮮空気で満たした状態で 30 分間で静置したのちに、ガス検知器（光明理化学工業株式会社，北川式ガス検知器 AP-20）で袋内のアンモニア濃度を測定した。なお、測定は 25℃密封保存のみ実施した。

3) 肥料成分等

pH(KCl)（試料と 2M 塩化カリウム溶液の比率は 1:10）、電気伝導度（試料と蒸留水の比率は 1:10）、水分、有機物、ケルダール窒素、全窒素、リン酸（P₂O₅）、カリ（K₂O）、苦土（MgO）、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」⁶⁾に準じて行った。

試験 2 尿素と硫安の混合割合の検討

(1) 材料及び試験区

主原料となる堆肥は、試験1と同じものを用いた。

各試験区の原料混合割合は表3のとおりで、尿素の混合割合を5%で固定して硫安の混合割合を変動させた。堆肥は公定規格の上限の50%とし、不足分を硫酸カリ10%またはなたね油かすで補った。また、比較のため、堆肥のみを原料としたペレット堆肥も製造した。

表3 各試験区の原料混合割合(試験2)

	堆肥	尿素	硫安	(単位:%DM)	
				なたね油かす	硫加
尿5-硫安0	50	5		35	10
尿5-硫安10	50	5	10	25	10
尿5-硫安20	50	5	20	15	10
尿5-硫安30	50	5	30	5	10
尿5-硫安45	50	5	45		

(2) 製造方法

試験1と同じ。ただし、造粒後の加熱乾燥は、30分おきにかき混ぜながら4時間実施した。

(3) 調査項目

試験1と同じ。ただし、保存試験は実施せず。

結 果

試験1 尿素の混合割合が異なる混合堆肥複合肥料の試作

造粒歩留まり及び製造歩留まりは、水平型・谷型ともに尿素の混合割合が少ない方が高い傾向にあった(図1)。

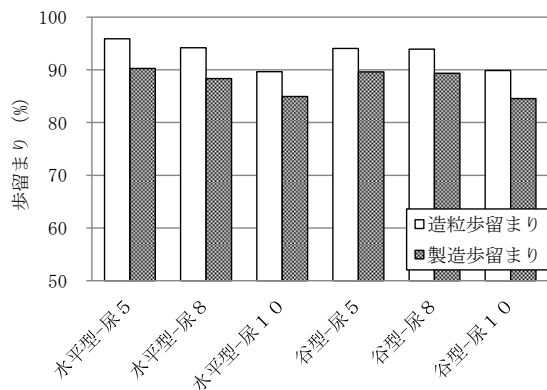


図1 造粒歩留まり及び製造歩留まり(試験1)

完成肥料の膨化・固結の発生の程度は表4のとおりで、各試験区の膨化・固結の程度は尿素の混合割合に準じたものではなかった。また、

膨化・固結が起きなかったのは水平型-尿5区のみであった。また、谷型-尿5区及び水平型-尿8区の膨化は、全体的に肥料表面に亀裂が認められたものの変形は伴わない弱いものであった。なお、谷型-尿8区では、極端に大きく変形・変色した肥料が偏在していた。

表4 膨化・固結の発生(試験1)

	膨化 ^{※1}	固結 ^{※2}
水平型-尿5	なし	なし
水平型-尿8	亀裂のみ ^{※3}	なし
水平型-尿10	20~30%	なし
谷型-尿5	亀裂のみ ^{※3}	なし
谷型-尿8	20~30% ^{※4}	弱い
谷型-尿10	80~90%	弱い

※1 完成肥料が変形するなどして形状が様でないものの比率を目視で確認。

※2 弱い: 軽い振動でばらける程度の固結、なし: 固結なし。

※3 全体的に表面の亀裂が認められたが、変形はなし。

※4 極端に大きく変形・変色した肥料が偏在。

水平型・谷型ともに尿素の混合割合が増えると容積削減率が低下する傾向にあり、谷型-尿8区及び同-尿10区はマイナスとなった(図2)。

直径は、水平型では試験区間の差がほとんどなく、谷型では尿素の混合割合が増えるに従って大きくなる傾向にあった(図3)。

圧壊強度は、水平型・谷型ともに尿素の混合割合が増えると低下する傾向にあった(図4)。

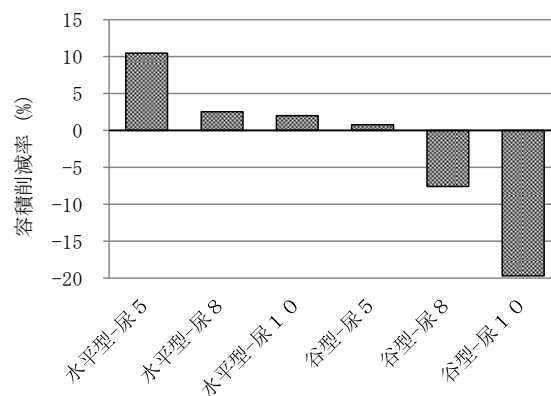


図2 容積削減率(試験1)

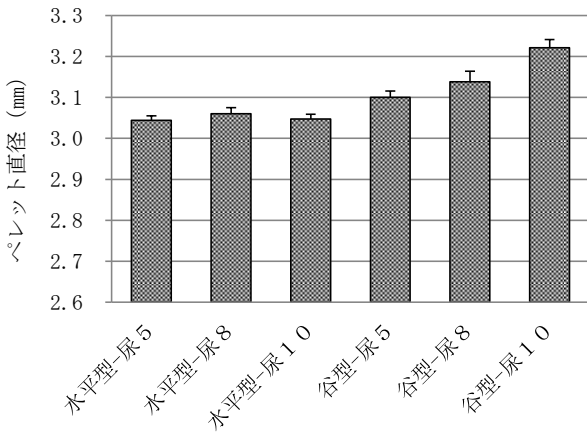


図3 直径（試験1）（n=20）

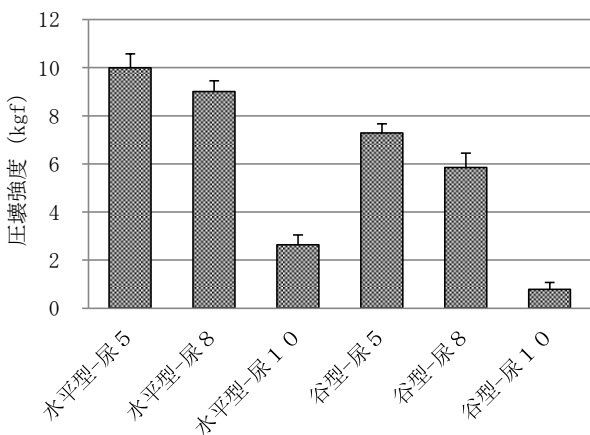


図4 圧壊強度（試験1）（n=20）

各試験区の設計成分値及び完成肥料の分析値は表5のとおりで、水平型は概ね設計どおりであったが、谷型は設計よりも高くなる傾向にあった。また、完成肥料の水分は試験区間で大きく異なった。

25℃密封保存の恒温槽内は、平均 26.0℃（最大 26.5℃／最低 25.5℃）、平均湿度 17.4%（最大 44%／最低 8%）であった。

一方、35℃密封保存の恒温槽内は、平均 35.4℃（最大 35.9℃／最低 33.1℃）、平均湿度 9.9%（最大 30%／最低 5%）であった。

保存中のカビ等の発生は、いずれの試験区でも認められなかった。また、保存後の残存率は95%前後で、試験区間の差はほとんどなかった（図表省略）。

しかしながら、いずれの試験区も保存後に水分が低下し（図5）、多くの試験区で保存後の圧壊強度が高くなる傾向にあった（図6）。

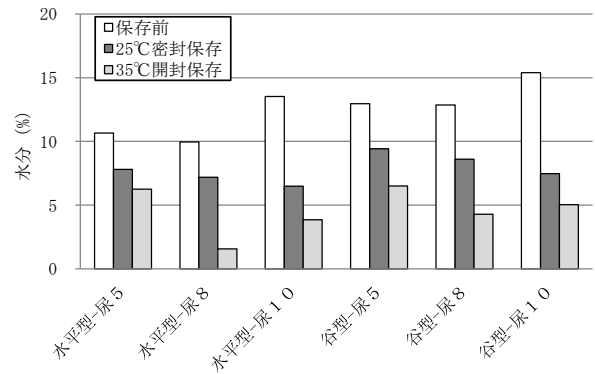


図5 保存前後の水分（試験1）

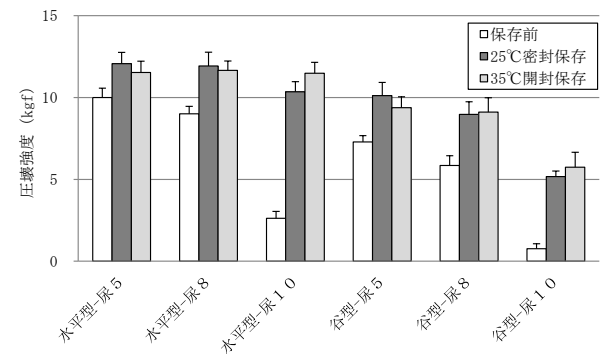


図6 保存前後の圧壊強度（試験1）（n=20）

25℃密封保存中のポリ袋内のアンモニア濃度は図7のとおりであった。水平型・谷型ともに硫安の混合割合が高い試験区のアンモニア濃度が高くなった（一部で有意差あり）。

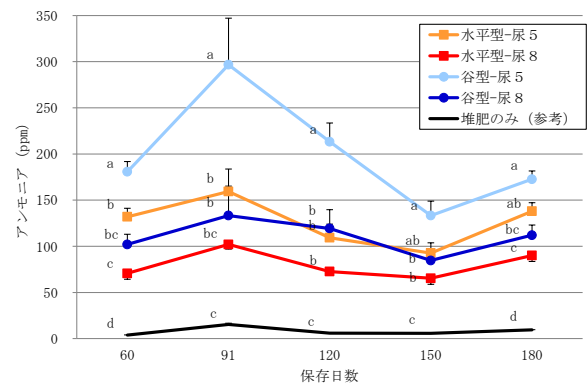


図7 25℃密封保存中のアンモニア濃度の推移（試験1）（n=3）

水平型-尿10区及び谷型-尿10区は測定せず。同一保存日数における異符号間に5%水準以上の有意差あり（Tukey HSD 検定）。

保存前後の窒素の変動については、図8に示したとおりであった。いずれの試験区も保存の前後で窒素の大幅な低下は認められなかった。

表5 設計成分値及び完成肥料の分析値(試験1)

	設計成分値				(単位:水分%FM、その他%DM)				
	窒素	リン酸	カリ	苦土	窒素	リン酸	カリ	苦土	水分
水平型-尿5	6.7	6.4	6.3	2.9	6.8	6.4	6.3	3.2	10.7
水平型-尿8	6.7	6.5	6.4	2.9	6.7	6.7	6.6	3.2	10.0
水平型-尿10	6.7	6.6	6.4	3.0	7.4	6.6	6.4	3.2	13.5
谷型-尿5	6.8	2.8	6.6	2.9	7.4	3.6	7.6	3.6	13.0
谷型-尿8	6.8	3.0	6.7	3.0	7.7	3.8	7.5	3.6	12.9
谷型-尿10	6.8	3.0	6.7	3.0	7.3	3.9	7.9	3.6	15.4
堆肥のみ(参考)	2.5	5.0	4.0	1.5	2.8	6.1	4.3	2.0	16.7

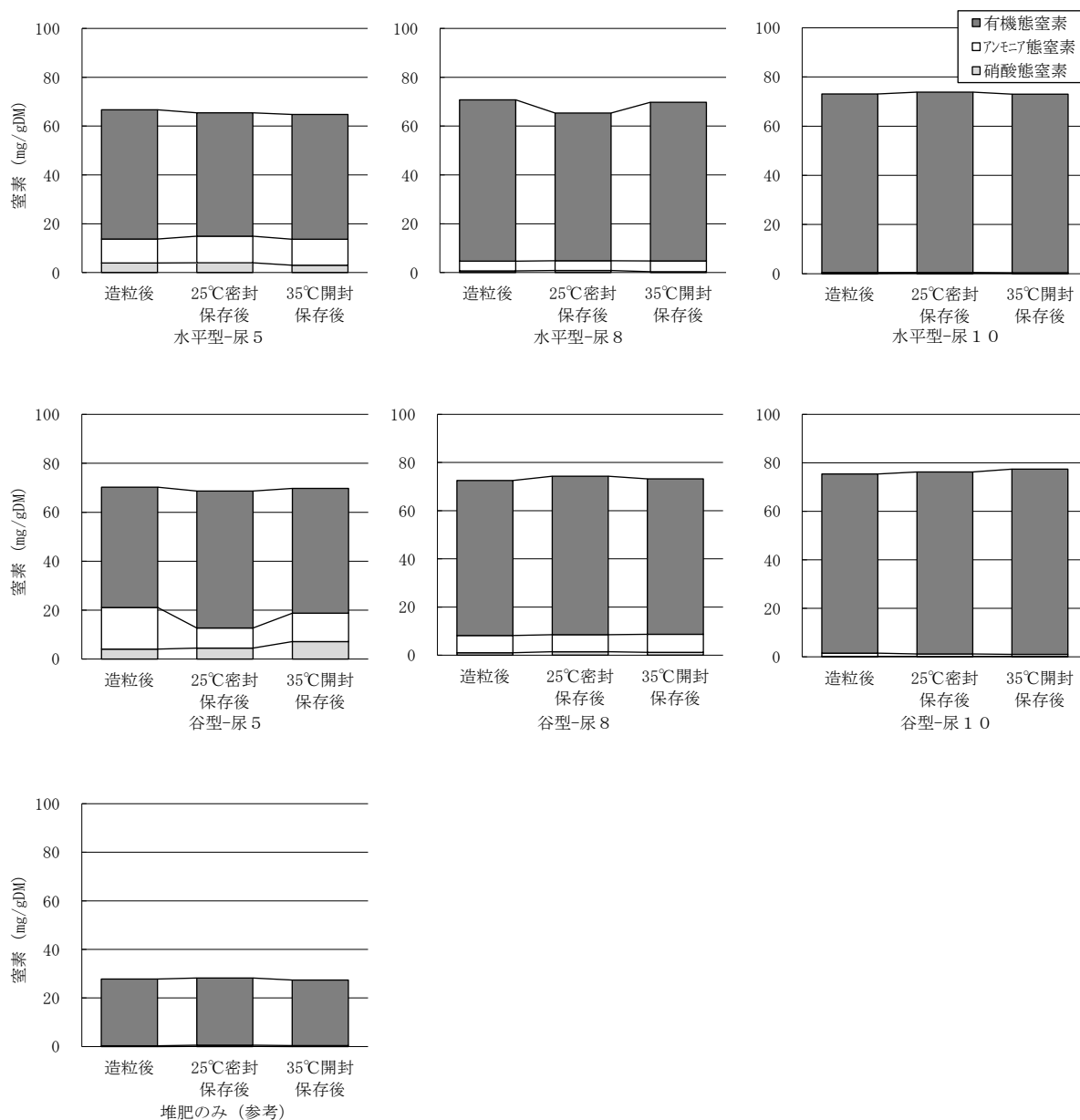


図8 保存前後の窒素変動(試験1)

試験2 尿素と硫酸の混合割合の検討

全ての試験区で完成肥料の固結は認められなかった。ただし、硫酸の混合割合が30%以上

になると表面がひび割れる程度のごく弱い膨化が認められた。

造粒歩留まりは90%前後、製造歩留まりは

79%前後で、いずれも試験区間の差はほとんどなかった（図9）。

加熱乾燥後の容積削減率はいずれも試験区とも13%前後で大きな差はなかった（図10）。

一方で、圧壊強度は硫安の混合割合が増えるに従って低下する傾向にあった（図11）。

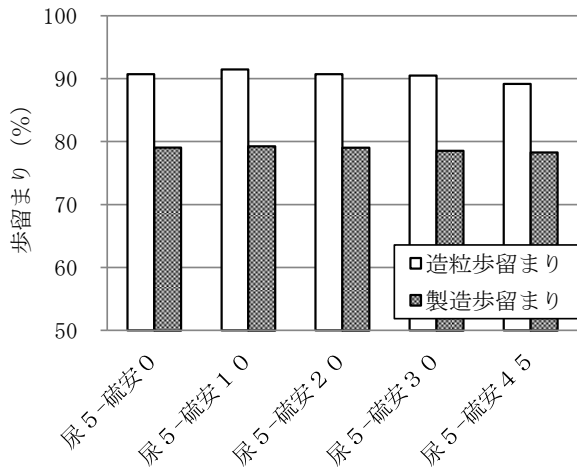


図9 造粒歩留まり及び製造歩留まり（試験2）

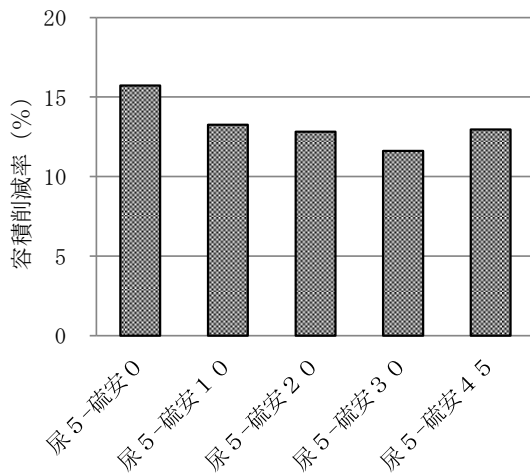


図10 容積削減率（試験2）

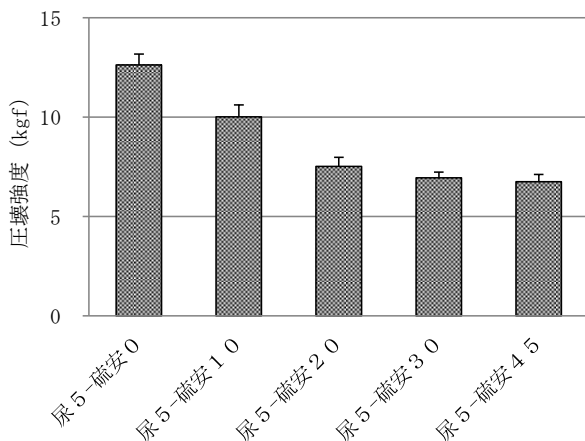


図11 圧壊強度（試験2）（n=20）

異符号間に5%水準の有意差あり（Tukey HSD 検定）。

各試験区の設計成分値及び完成肥料の分析値は表6のとおりで、窒素含有量は硫安の混合割合に準じて概ね設計どおりの値を示した。その他の肥料成分についても、一部の試験区でカリが高くなったが、概ね設計どおりであった。

表6 設計成分値及び完成肥料の分析値（試験2）

	設計成分値			完成肥料分析値			
	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ	水分
尿5-硫安0	5.4	3.6	7.4	5.6	3.6	8.1	4.9
尿5-硫安10	7.0	3.3	7.3	6.7	3.4	8.3	5.7
尿5-硫安20	8.5	3.0	7.2	8.4	3.1	8.5	5.1
尿5-硫安30	10.1	2.7	7.1	9.5	2.8	6.9	4.0
尿5-硫安45	13.0	2.5	2.0	12.5	2.4	2.4	3.9
堆肥のみ（参考）	2.5	5.0	4.0	2.4	5.2	4.3	8.4

考 察

試験1 尿素の混合割合が異なる混合堆肥複合肥料の試作

本試験では、尿素の混合割合が少ない（＝硫安の混合割合が大きく、なたね油かすの混合割合が小さい）ものほど造粒歩留まり及び製造歩留まりが高くなった。既報⁴⁾でも硫安の混合割合が10%のものより30%の方が歩留まりが高くなっており、本試験の結果と同様であった。

完成肥料の膨化・固結の程度は、これまでの試験^{4), 5)}と同様に、かならずしも尿素の混合割合に準じたものではなかった。本試験ではその原因を明らかにできなかったが、少なくとも尿素の混合割合を5%以下にすれば実用上問題のないレベルまで膨化・固結を抑制できると推察された。なお、谷型-尿8区で発生した極端な変形・変色は局所的なものであったことから、原料の混合が不十分だった可能性が考えられた。

容積削減率及び圧壊強度は、水平型・谷型ともに尿素の混合割合が高いほど低くなった。特に、固結が発生した谷型-尿8区及び同-尿10区では、容積削減率がマイナスになり直径も有意に大きくなった。尿素の混合割合を10%以上に設定した過去の試験⁴⁾では、膨化・固結が激しく、混合割合の違いによる容積削減率等の差は認められなかった。

なお、直径の差は最大で0.18mm、嵩比重の差は最大で182.1g/Lであった。今後、これらの差が施肥作業の効率におよぼす影響について、散布機等を用いて検討したい。

谷型の肥料成分が設計よりも高くなった原因として、谷型のみ混合したなたね油かすの肥料

成分が想定より高かった可能性があるが、本試験では分析により明らかにすることができなかった。

また、全ての試験区で水分が概ね10~15%と高くなった。固結の物理的要因として粒子の集合接触があげられる⁷⁾ことから、その対策として攪拌しながら感覚的に乾燥の完了を判断したが、90℃、1時間では十分乾燥できていなかったと考えられた。

保存試験の結果、全ての試験区で残存率が95%前後と高く、明確な窒素の低下もなかったことから、保存性に問題はないと考えられた。なお、多くの試験区で保存後の圧壊強度が高くなったが、これについては、保存中の水分の低下に起因するものと推察された。

25℃密封保存のみであるが、硫安の混合割合が高い(=アンモニア態窒素含有量が高い)試験区で、保存中のポリ袋内のアンモニア濃度が高くなった。35℃開封保存でも同様の現象が起きていたと想定されるが、保存後の肥料中窒素の明確な低下は認められなかったことから、実用上の問題はないと考えられた。

試験2 尿素の混合割合の検討

過去の試験⁴⁾では牛ふん堆肥と硫安を50:50で混合すると成型できなかったが、本試験では硫安を30%または45%混合しても表面のひび割れなどの弱い膨化のみで、固結の発生や製造効率等の低下は認められなかった。計算上、完成肥料の窒素含有量を化成肥料なみの10%以上にするためには、尿素5%に対して硫安30%以上の混合が必要であるが、特に問題はなく達成できると考えられた。

なお、硫安の混合割合が増えると完成肥料の圧壊強度が低下したが、最も低い尿5-硫安45区でも6.8±0.4kgfであった。測定方法等が異なるため単純比較はできないが、JA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2kgf以上⁸⁾を十分に上回っていることから、実用上の問題はないと考えられた。

本試験の成果を踏まえ、今後は肥料メーカーとの連携による実規模での製造効率の評価や保存性試験、実証栽培試験を実施する予定である。

- 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)
- 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) 加藤哲郎(2013):堆肥と普通肥料を混合した普通肥料. 畜産環境情報, 第48号, 17-22
 - 4) 水木剛・白石誠・大家理哉・鷺尾建紀(2015):新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討. 岡山農総セ畜研報5, 1-8
 - 5) 水木剛・白石誠・大家理哉・鷺尾建紀(2016):新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討(第2報). 岡山農総セ畜研報6, 1-10
 - 6) (財)日本土壌協会(2000):堆肥等有機物分析法
 - 7) 荒井明彦(1969):肥料固結防止材としての応用. 油化学, 第18巻第9号, 668-672
 - 8) JA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

引用文献

- 1) 肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定