

牛ふん堆肥に含まれるリン酸とカリを活用した施肥量の削減[†]

渥美和彦¹⁾・松浦英之²⁾・若澤秀幸¹⁾・橘川晴香³⁾・坂口優子¹⁾

¹⁾農林技術研究所, ²⁾農業戦略課, ³⁾農業ビジネス課

Reducing Fertilizer Requirement by Utilizing Phosphoric Acid and Potassium in Cow Manure

Kazuhiko Atsumi¹⁾, Hideyuki Matsuura²⁾, Hideyuki Wakasawa¹⁾, Haruka Kitsukawa³⁾ and Yuuko Sakaguchi¹⁾

¹⁾Shizuoka Res.Inst.of Agri.and Forest., ²⁾Agricultural Strategy Division, ³⁾Agricultural Business Division

Abstract

We analyzed the fertilizer efficiency of phosphoric acid and potassium contained in cow manure and evaluated its efficacy as a soil additive for cabbage over a 3-year cultivation period. We found that manure was equivalent in efficiency to chemical fertilizer, and that a substantial amount of phosphoric acid and potassium could be extracted easily from manure using 0.5 M hydrochloric acid.

キーワード：牛ふん堆肥, リン酸, カリ, 0.5M 塩酸抽出法, キャベツ, 化学肥料削減

I 緒言

県内生産堆肥の大半を占める牛ふん堆肥は、主に土壌改良効果を期待して施用が推奨されてきた。しかし、牛ふん堆肥には窒素、リン酸、カリ等の肥料成分も含まれており、佐藤ら¹⁾は、「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」の2004年11月の完全施行に伴い堆肥舎の整備が進み、堆肥化処理が屋根付き堆肥舎で行われるようになったこと等により肥料成分量が以前より高くなっていると報告している。

牛ふん堆肥に含まれる肥料成分については、堆肥毎の成分量の違いが大きいことが知られているが、肥料効果は堆肥の種類毎に一律で決められており²⁾、施肥設計で考慮されずに化学肥料が施用される場合が多い。そのため、若澤ら³⁾は家畜ふん堆肥の連用により可給態リン酸などが土壌へ蓄積することを指摘している。一方で、近年の肥料価格の上昇に対応し、施肥コストを削減するための効率的な施肥が求められている。

2010年に実用技術開発事業において、「家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル」⁴⁾がまとめられた。このマニュアルでは家畜ふん堆肥の施用直後の作期中の窒素肥効を迅速に評価する分析法が解説されており、速

効性の窒素を評価する簡易分析法として提案された0.5M塩酸抽出法は、窒素だけではなく、全量に近いリン酸(P_2O_5)、カリ(K_2O)、石灰(CaO)、苦土(MgO)が抽出できるとされている。

そこで、牛ふん堆肥に含まれる肥料成分を考慮し、施肥設計に反映させるため、①牛ふん堆肥に含まれるリン酸・カリの化学肥料相当量の評価と簡易分析法、②牛ふん堆肥に含まれるリン酸・カリの土壌施用後の変化、③冬どりキャベツ栽培における化学肥料削減の実証の3点について検討した結果を報告する。

II 材料及び方法

1. (試験1)牛ふん堆肥に含まれるリン酸・カリの化学肥料相当量の評価と簡易分析法

2011年度、2012年度の静岡県畜産堆肥共励会に出品された牛ふん堆肥112点(内訳は乳牛ふん堆肥75点、肉牛ふん堆肥37点)を対象とした。堆肥は風乾、粉砕後⁵⁾、全量成分は灰化-塩酸煮沸抽出⁶⁾、く溶性成分、水溶性成分は公定法⁷⁾に準じて抽出した。リン酸およびカリの水不溶く溶性成分とく不溶性成分は、次式1、2により算出した。水不溶く溶性成分=く溶性成分-水溶性成分・・・式1
く不溶性成分=全量成分-く溶性成分・・・式2

[†]本報告は日本土壌肥科学会中部支部第93回例会(2014年3月、愛知県)、第94回例会(2015年11月、福井県)、第95回例会(2017年3月、三重県)で口頭発表した

0.5M 塩酸抽出成分は「家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル」⁶⁾に従い、堆肥現物から抽出した。測定はリン酸全量はバナドモリブデン酸アンモニウム吸光度法で行い、く溶性、水溶性、0.5M 塩酸抽出リン酸は濾液が着色したため、アスコルビン酸還元法⁷⁾で行った。カリはフレーム光度法、石灰全量、苦土全量は原子吸光度法で行った⁴⁾。

2. (試験2)牛ふん堆肥に含まれるリン酸・カリの土壤施用後の変化

内径 0.2m(表面積 0.03m²)、高さ 0.2m の塩ビ管の底に 0.6mm 目の防虫ネットを張った容器を作成し、2012 年 9 月 20 日に 10mm ふるいを通した表 1 に示す細粒黄色土を乾土で 5.4kg 充填した。充填後の土壤厚さは約 0.15m であった。静岡県内から入手した肉牛ふん堆肥を現物で 3kg/m² 施用(リン酸全量で 79g/m²、カリ全量で 89g/m²)した堆肥 3t 区、同量のリン酸、カリを重焼リン(く溶性リン酸 35%、うち水溶性リン酸 16%)と硫酸カリ(水溶性カリ 50%)で施用した化学肥料区、土壤のみの対照区の 3 処理区を設けた。資材の添加は 9 月 26 日に塩ビ管に充填した土壤を一旦バットに取り出し、バット内でそれぞれの資材を混合し、再び容器に充填後、キャベツ栽培圃場内に上端 50mm を出して埋設した。処理はそれぞれ 5 反復で実施した。塩ビ管とキャベツの間は波板で仕切り、キャベツの根が塩ビ管内に侵入するのを防ぎ、試験期間中は裸地状態で管理し、除草等を適宜行った。

採土は 2012 年 10 月 26 日(施用 30 日後)、11 月 30 日(65 日後)、12 月 20 日(85 日後)、2013 年 3 月 11 日(166 日後)、5 月 24 日(240 日後)、8 月 3 日(311 日後)、10 月 18 日(387 日後)の 7 回行った。採土は容器内の土壤を一旦取り出して混合後、1 回あたり 40g 程度の生土を採取した後、再び塩ビ管へ充填して埋設した。採土した土壤は風乾後、2mm ふるいを通し、可給態リン酸(トルオーグ法)、交換性カリを測定し、次式 3 で資材からの可給化率(%)を推定した。

可給化率=(各処理の値-対照区の平均値)÷施用成分量×100・・・式 3

供試堆肥は試験 1 と同様にリン酸、カリの全量、水溶性、く溶性成分分析と 0.5M 塩酸抽出成分の測定を行った。また、9 月 28 日から塩ビ管内土壤の深さ 7.5cm における地温をデータロガーで 20 分に 1 回記録した。

3. (試験3)露地冬どりキャベツ栽培における化学肥料削減の実証

静岡県農林技術研究所露地圃場(細粒黄色土)でキャベツ‘冬親方’(増田採種場)を供試し、冬どりキャベツでの実証試験を 2012~2014 年の 3 年間実施した。施肥設計は後述する方法で牛ふん堆肥に含まれる肥料成分を考慮して化学肥料施用量を削減した。牛ふん堆肥は試験 2 で供試した肉牛ふん堆肥を用いた。また、冬どりキャベツの堆肥施用基準量¹²⁾である 3t/10a の牛ふん堆肥を施用する堆肥基準量区も設定した。

キャベツの耕種概要を表 2 に示した。キャベツの播種は 8 月中下旬に行い、硬質 2 号ポリポットで育苗を行った。苦土石灰は定植 11~18 日前に全処理区 100kg/10a を施用し、直ちに耕起した。基肥施用は定植の前日又は当日行い、うね幅 1.4m ベッド幅 0.8m に条間 0.4m、株間 0.4m の二条千鳥植えて定植した(栽植密度 3571 株/10a)。試験規模は 1 区 14m²、3 反復とした。追肥 1 回目は定植後 25~34 日後、追肥 2 回目は定植後 49~51 日、追肥 3 回目は定植後 69~80 日にベッドの肩部分に条施用し、通路の土壤を土寄せした。収穫は定植後 144~152 日の翌年 2 月に行った。

収穫は各区 24 株ずつ採取し、株全体重と結球部重を計測した。このうち中庸な 2 株を選んで縮分し、60°C で乾燥後、乾物重を計測して粉碎し、成分含有率を測定¹³⁾した。ただしリン酸、カリ、石灰、苦土は 450°C で灰化し、塩酸抽出して測定した。10a 当たりの成分吸収量は、測定した成分含有率、作物体乾物率と栽植密度から推定した。栽培前後の土壤は各反復毎に 4 箇所、深さ 15cm をプロ

表1 供試土壤¹⁾の化学性(試験2)

pH		EC	全炭素	全窒素	C/N比	リン酸	可給態	交換性陽イオン		
(H ₂ O)	(KCl)	(dS/m)	(乾土%)			吸収係数	リン酸 ²⁾	(mg/100g乾土)		
						(mg/100g乾土)		カリ	石灰	苦土
6.3	4.9	0.09	1.48	0.10	14.6	748	22	30	180	35

1) 農林技術研究所内F圃場より採取

2) トルオーグ法

表2 冬どりキャベツ栽培における化学肥料削減実証試験の耕種概要(試験3)

実施年度	播種	苦土石灰施用 ¹⁾	基肥	定植	追肥1	追肥2	追肥3	収穫
2012	8/23 (-35)	9/16 (-11)	9/26 (-1)	9/27 (0)	10/26 (29)	11/15 (49)	12/5 (69)	2/26 (152)
2013	8/16 (-28)	8/29 (-15)	9/12 (-1)	9/13 (0)	10/8 (25)	11/1 (49)	12/2 (80)	2/4 (144)
2014	8/19 (-28)	8/29 (-18)	9/16 (0)	9/16 (0)	10/20 (34)	11/6 (51)	11/27 (72)	2/10 (147)

() 内は定植日との日数差

1) 全区に100kg/10a施用

ック状に採取し、縮分して風乾後、2mm 篩を通し、常法¹⁴⁾に従い、土壌化学性を調査した。ただし、可給態窒素は簡易法¹⁵⁾で実施した。

Ⅲ 結果及び考察

1. (試験1)牛ふん堆肥に含まれるリン酸・カリの化学肥料相当量の評価と簡易分析法

(1)牛ふん堆肥に含まれる、リン酸、カリの形態別含有率
形態別成分分析結果を図 1 に示す。乳牛ふん堆肥と肉牛ふん堆肥を比較すると、リン酸では全量含有率が乳牛 0.89%，肉牛 1.98%，全量に対する水溶性成分の割合が乳牛 23%，肉牛 42%，く溶性成分の割合が乳牛 75%，肉牛 89%，0.5M 塩酸抽出成分の割合が乳牛 77%，肉牛 91%と、いずれも肉牛ふん堆肥で高い傾向であった。カリでは全量含有率が乳牛で 1.68%，肉牛 2.25%，水溶性成分の割合が乳牛 70%，肉牛 80%であり、肉牛ふん堆肥で高い傾向であったが、リン酸の場合に比べ、差は小さかった。全量に対する、く溶性、水溶性の割合は、小柳らの報告⁹⁾¹⁰⁾と同程度であり、リン酸は水不溶く溶性、カリは水溶性の割合が大きかった。乳牛ふん堆肥と肉牛ふん堆肥を比較すると、特にリン酸全量含有率と水溶性リン酸割合で違いがあったが、これは糞尿に対する副資材の量が肉牛で少ないことや、後述するリン酸成分の不溶化が影響

していると推察された。

形態別成分と肥効の関係について、財団法人畜産環境整備機構畜産環境技術研究所では牛ふん堆肥に含まれるリン酸、カリについて、水など 5 種類の抽出液で抽出された成分量とコマツナ栽培での成分吸収量との関係を調査した結果、く溶性成分が最も相関が高くなったと報告している¹⁸⁾。このため、く溶性成分は肥効を評価する指標として適当であると考えられる。

ただし、く溶性成分の割合には、ばらつきがみられた。全量含有率とく溶性成分割合の関係を図 2 に示す。リン酸全量含有率は、乳牛 0.22~2.68%，肉牛 0.47~5.7%と堆肥毎のばらつきが大きいが、く溶性成分の割合も乳牛 48~95%，肉牛 60~100%とばらつきが大きかった。一方、カリも全量含有率は乳牛 0.4~4.72%，肉牛 0.78~5.65%とばらつきが大きかったが、く溶性成分割合は乳牛 69~100%，肉牛 76~100%とリン酸に比較するとばらつきは小さかった。リン酸では現物あたり全量含有率が 2%を下回ると主に乳牛でばらつきが大きくなる傾向がみられた。したがって、く溶性成分量を正確に把握するには、個々の堆肥について個別に評価する必要があると考えられた。

横田ら¹⁷⁾は牛ふん堆肥に含まれる無機態リン酸を逐次抽出法により評価し、“堆肥中の全無機態リン酸量に対してカルシウム、マグネシウム、鉄、アルミニウムの含量が高い場合に、難溶性のリン酸塩が形成されやすく、

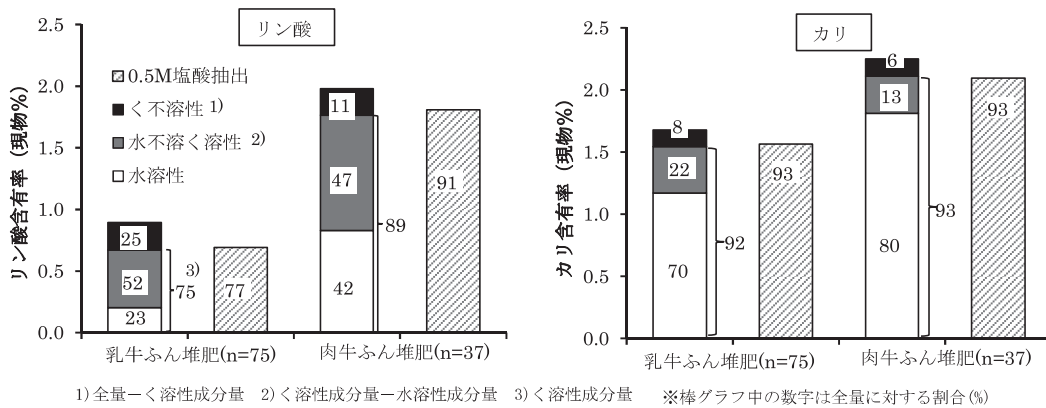


図 1 畜産堆肥共励会出品堆肥のリン酸、カリの形態別分析結果平均値 (試験 1)

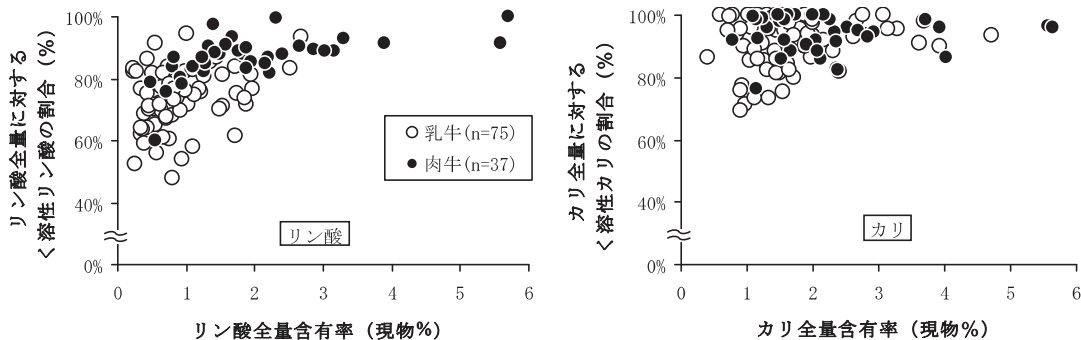


図 2 リン酸、カリ全量含有率と、く溶性成分割合の関係 (試験1)

水抽出および易溶性リン酸割合が減少すると考えられた”としている。本試験では逐次抽出法は実施していないため、石灰全量と苦土全量の合計とリン酸全量のモル比(以下(石灰+苦土)/リン酸比)をx軸に、く溶性リン酸割合をy軸にとり、く溶性リン酸割合のばらつきが大きかった現物あたりリン酸全量2%以下の堆肥96点について図3に示した。(石灰+苦土)/リン酸モル比(x)と、く溶性リン酸割合(y)には、 $y = -0.7337x + 80.821$ と負の相関関係が認められた。したがって、本試験で対象とした牛ふん堆肥も横田らの報告と同様に、リン酸に対する石灰、苦土の量が、リン酸の溶解度に影響したと考えられ、これにより、く溶性リン酸割合がばらついたと推察された。

(2)く溶性成分量の簡易分析法

0.5M 塩酸抽出法は全量に近い各成分(リン酸、カリ、石灰、苦土)と速効性の窒素が同時抽出できるとされるが、本試験ではリン酸、カリの、く溶性成分と0.5M 塩酸抽出成分が図1に示すとおり、同程度であった。く溶性成分の公定法による測定は堆肥を風乾、粉碎する前処理が必要な上、煩雑な操作と高価な分析機器が必要となる⁸⁾のに対し、0.5M 塩酸抽出法は、堆肥現物からの抽出と安価な分析機器で測定が可能⁹⁾であり、さらに速効性の窒素も同時に測定できるため、牛ふん堆肥の肥料効果を簡易に評価する手法として適すと考えられた。

2. (試験2)牛ふん堆肥に含まれるリン酸・カリの土壤施用後の変化

供試した肉牛ふん堆肥の成分値を表3に示す。試験2では2012年施用の堆肥を供試した。現物あたりの含有率はリン酸全量2.64%、カリ全量2.96%であり、0.5M 塩酸

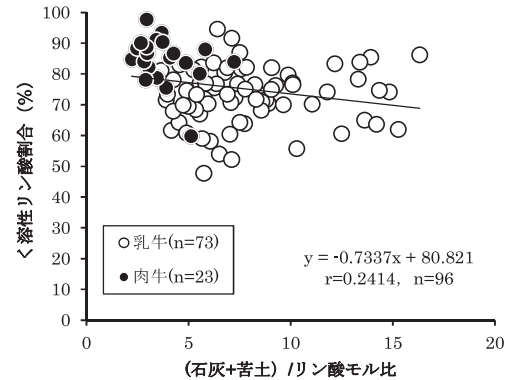


図3 現物あたりリン酸全量2%以下の堆肥における(石灰+苦土)/リン酸モル比とく溶性リン酸割合の関係(試験1)

抽出成分はリン酸2.47%(全量に対する割合94%)、カリ2.83%(全量に対する割合96%)であった。試験1の畜産堆肥共励会出品堆肥の平均値と比較すると、全量含有率がやや高めであった。

試験期間中の日平均地温の推移を図4に示す。試験開始後から低下し12月から翌年2月にかけて最も低く、その後上昇して7~8月に最も高かった。試験期間中の平均地温は17.4℃、最高地温は41.6℃、最低地温は0.3℃であった。試験期間中の日降水量と積算降水量を図5に示す。積算降水量は1524mm(1981-2010年の平均値は1723mm)、日降水量の最高は2013年4月6日に記録した118.5mmであった。

調査期間中のリン酸、カリの可給化率の推移を図6に示す。リン酸可給化率は施用30日後の10月26日に堆肥3t区で44%、化学肥料区で31%となり、以降は堆肥3t区で徐々に低下し、化学肥料区はほぼ横ばいで推移した。

表3 供試した肉牛ふん堆肥の成分値(試験2, 試験3, 現物%)

施用年度	水分	窒素		リン酸		カリ		石灰		苦土		C/N比
		全量	0.5M ¹⁾	全量	0.5M ¹⁾	全量	0.5M ¹⁾	全量	0.5M ¹⁾	全量	0.5M ¹⁾	
2012	40.6	1.56	0.26	2.64	2.47	2.96	2.83	1.65	1.49	0.93	0.81	15.1
2013	41.4	1.15	0.22	1.98	1.93	2.17	2.06	1.25	1.19	0.72	0.69	19.6
2014	44.1	1.34	0.22	2.19	2.01	2.35	2.32	1.37	1.29	0.80	0.73	17.8

1)0.5M塩酸抽出成分量

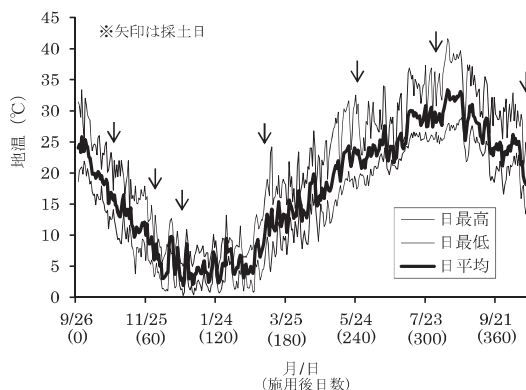


図4 試験期間中の地温推移(試験2)

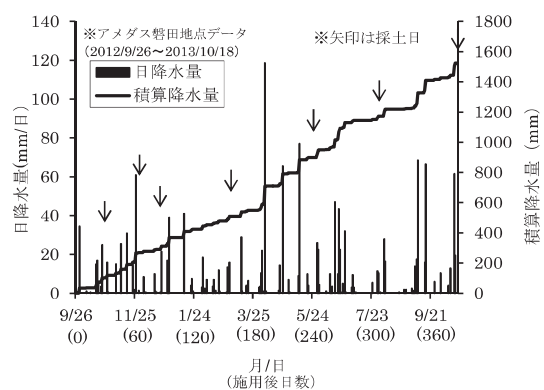
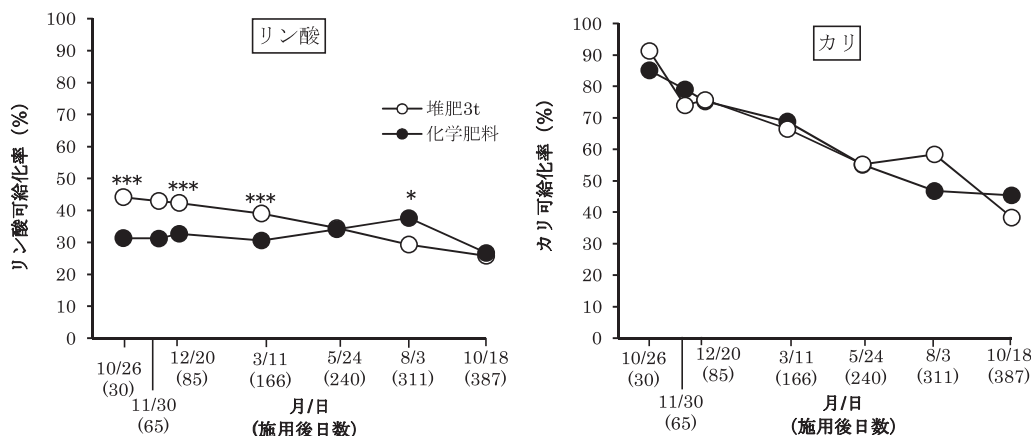


図5 試験期間中の日降水量・積算降水量(試験2)



※図中の*, ***, **はt検定で5%, 0.1%水準で有意差あり。記号のない場合は有意差なし。有意差検定は角変換値で実施

図6 土壤添加試験におけるリン酸、カリの可給化率の推移 (試験2)

65日後の11月30日を除き、166日後の2013年3月11日までは堆肥3t区で可給化率が有意に大きい。化学肥料区では240日後の2013年5月24日までの採土時に土壤中に重焼リンの粒が確認されたことから、肥料粒の溶解が進んでいなかったことが影響したと考えられた。240日後以降は両区の差はほとんど見られず、387日後の2013年10月18日の可給化率は26%程度であった。

カリ可給化率は施用30日後に堆肥3t区で91%、化学肥料区で85%となり、以降は両区で低下していき、387日後には40%程度となった。両区の差は認められなかった。

土壤に施用されたリン酸肥料は、一部は可給態リン酸として残るが、大部分は土壤中の活性アルミニウムや鉄と結合して難溶性リン酸に変化する²⁾。一方、土壤中でのカリウムは水溶態、交換態、固定態の三つの形態に区分しており、通常一番多い形態の交換態は土壤や有機物の陰イオンに吸着され、ほかのイオンと容易に交換される²⁾とされており、本試験での可給化率の低下は、リン酸は

土壤による固定化、カリは降雨により、他のイオンと交換され、溶脱したことが主な要因であると考えられた。

以上のことから牛ふん堆肥に含まれるリン酸、カリが可給態リン酸、交換性カリとなる割合は、重焼リン、硫酸カリと同等以上であり、土壤施用後の肥効も変わらないと考えられた。ただし、カリは硫酸カリと同様に降雨によって流亡するため、栽培が長期となる作目では追肥を組み合わせる必要があると考えられた。

3. (試験3)露地冬どりキャベツ栽培における化学肥料削減の実証

牛ふん堆肥に含まれる窒素、リン酸、カリ成分の化学肥料相当量を0.5M塩酸抽出成分量とし、施肥基準量²⁾の10aあたり窒素36kg、リン酸24kg、カリ36kgを超えないように施肥設計に反映させた試験構成を表4に示す。供試した肉牛ふん堆肥の施用年度毎の全量成分、0.5M塩酸抽出成分、C/N比は表3のとおりで、年次により多少の違いがあった。供試堆肥の場合、リン酸施肥量は全て堆肥で賄うことができ、堆肥施用のみでは不足する窒素

表4 冬どりキャベツ栽培における化学肥料削減実証試験構成 (試験3)¹⁾

実施年度	処理区	堆肥施用量 (kg/10a)	成分施用量 (kg/10a)								
			堆肥 ²⁾			化学肥料 ³⁾			合計		
			窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
2012	減肥実証	973	3	24	28	33	0	8	36	24	36
	堆肥基準量	3,000	8	74	85	28	0	0	36	74	85
2013	減肥実証	1,245	3	24	26	33	0	10	36	24	36
	堆肥基準量 ⁴⁾	3,000	8	73	80	28	0	0	36	73	80
2014	減肥実証	1,195	3	24	28	33	0	8	36	24	36
	堆肥基準量	3,000	7	60	70	29	0	0	36	60	70
2012 ~2014	化学肥料 (対照)	—	—	—	—	36	24	36	36	24	36

1) 試験区画3反復を固定して3年間実施、全区に苦土石灰を年1回、100kg/10a施用

2) 肉牛ふん堆肥を供試し、0.5M塩酸抽出成分量を有効成分量として施肥設計に反映させ、全量基肥で施用

3) 窒素は尿素、リン酸は重焼リン(2012年)又は苦土重焼リン(2013、2014年)、カリは硫酸カリを供試

化学肥料区の窒素、カリは基肥(16kg/10a)+追肥3回(8、6、6kg/10a)、リン酸は全量基肥施用

減肥実証区の窒素は基肥から堆肥分を差し引き、追肥は化学肥料区と同様に施用、カリは追肥のみで追肥2と3に等分して施用

4) 2012年施用堆肥2300kgと2013年施用堆肥700kgを合わせて施用

とカリを化学肥料で施用した。減肥実証区の堆肥施用量は 973~1245kg/10a となり、化学肥料の肥料成分削減率は窒素 8%, リン酸 100%, カリ 72~78%であった。堆肥施用基準量区ではリン酸が 60~74kg/10a, カリが 70~85kg/10a と基準を大きく上回る成分が投入されるため、リン酸とカリの化学肥料は無施用とした。

なお、堆肥基準量区では 2014 年に 3 反復のうちの 1 つで病害の影響と思われる生育不良が観察されたため、この反復は結果から除外し、2 反復でとりまとめた。

(1)キャベツ生育, 収量, 養分吸収量に及ぼす影響
収穫時のキャベツ結球部, 外葉部の新鮮重を図 7 に示す。3 年間のうち、2012 年は定植直後に台風襲来に伴う塩害を受けた影響で初期生育が遅延し、収穫時に結球部重よりも外葉部重(株全体重-結球部重で算出)が大きくなり、全区で結球部重の目標 5t/10a を超えなかった。しかし、2013 年、2014 年は全区で目標以上の結球部重となった。結球部重は 3 年間とも堆肥基準量区>化学肥料区>減肥実証区という傾向であったが、2013 年の堆肥基準量と減肥実証区の間以外には有意な差は認められなかった。

収穫時の成分吸収量を表 5 に示す。2013 年の苦土以外には有意な差が認められなかったが、概ね生育量に対応し

実施年度	処理区	成分吸収量 (kg/10a)				
		窒素	リン酸	カリ	石灰	苦土
2012	減肥実証	23.5	7.9	34.9	26.4	4.8
	堆肥基準量 ²⁾	25.5	8.8	37.5	21.0	4.8
	化学肥料(対照)	25.8	8.3	37.9	26.3	5.0
	分散分析 ³⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2013	減肥実証	27.8	7.6	40.3	30.1	5.6 ^b
	堆肥基準量 ²⁾	28.5	8.2	40.3	35.2	7.1 ^a
	化学肥料(対照)	28.4	7.7	42.3	30.4	5.5 ^b
	分散分析 ³⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
2014	減肥実証	21.9	5.9	31.2	23.0	4.2
	堆肥基準量 ²⁾	22.5	6.7	32.1	16.8	3.7
	化学肥料(対照)	22.6	6.0	32.5	22.1	4.1
	分散分析 ³⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) 新鮮重(kg/株)×栽植密度(3571株/10a)×風乾物率/100×成分含有率/100

2) 病害の影響のため、2反復の平均

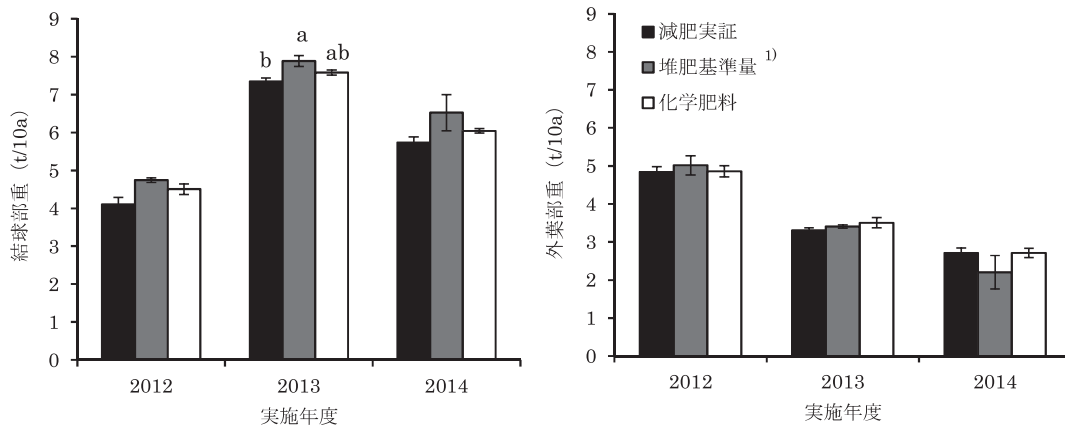
3) n.s.: 有意差なし、*: 5%水準で有意差あり

表中異符号はチューキー多重比較5%水準で有意差あり

た吸収量であった。堆肥基準量区はリン酸が 60~74kg/10a, カリが 70~85kg/10a と成分投入量が多かったが、リン酸吸収量が多い傾向があるものの、カリは化学肥料区と同等かやや少なかった。これは堆肥基準量区ではカリ成分を牛ふん堆肥のみの全量基肥で施用したのに対し、化学肥料区は追肥を 3 回行ったことが影響したと考えられた。

(2) 土壌化学性に及ぼす影響

3 年間の実証試験後の土壌化学性を表 6 に示す。牛ふん堆肥を施用した減肥実証区、堆肥基準量区で pH, 腐植、全窒素、交換性苦土が化学肥料区よりも有意に高くなった。また、堆肥基準量区では可給態窒素、可給態リン酸、



1) 堆肥基準量区は病害の影響のため、2反復の平均

※異符号は5%水準で有意差あり、エラーバーは標準誤差

図7 キャベツ収穫時の生育 (試験3)

表6 キャベツ3年連作後の土壌化学性 (試験3)

処理区	pH	EC	腐植	全窒素	無機態窒素	可給態窒素 ¹⁾	可給態リン酸 ²⁾	交換性塩基 (mg/100g乾土)		
								カリ	石灰	苦土
減肥実証	7.0 ^a	0.03	2.2 ^b	0.12 ^b	1.1	2.3 ^b	27 ^b	37 ^b	178 ^{ab}	44 ^b
堆肥基準量 ³⁾	7.1 ^a	0.05	2.7 ^a	0.14 ^a	1.8	2.8 ^a	49 ^a	63 ^a	187 ^a	53 ^a
化学肥料(対照)	6.7 ^b	0.04	2.0 ^c	0.10 ^c	1.3	2.2 ^b	30 ^b	40 ^b	165 ^b	37 ^c
分散分析 ¹⁾		n.s.	**	**	n.s.	*	**	**	**	**
試験開始前 ⁵⁾ (2012.8)	6.6	0.04	2.2	0.09	0.7	—	25	34	170	40
県改善基準 (黄色土)	6.0~6.5	0.2以下	3%以上	—	—	—	20~50	15~45	190~280	40~70

1) 80℃16時間抽出法 (CODバックテスト測定)

2) トルオーグ法

3) 病害の影響のため、2反復の平均

4) **, *, n.s.: 1%水準, 5%水準で有意差あり, 有意差なし、表中同符号はチューキー多重比較5%水準で有意差なし

5) リン酸吸収係数715mg/100g乾土, 陽イオン交換容量13.1me/100g乾土

交換性カリ、交換性石灰も化学肥料区に比べ有意に高くなり、これらの成分の蓄積が認められた。特に交換性カリは県改善基準値の上限を上回っており、可給態リン酸は上限近くに達していた。

牛ふん堆肥施用により土壤中の養分量が増加するのは、土づくり効果のひとつである¹³⁾。特に腐植、全窒素、可給態窒素の増加により緩効的な窒素成分供給、土壌団粒構造の発達等が期待できるとされている¹³⁾。しかし、可給態リン酸、交換性カリ等は現在、農耕地で蓄積傾向であり、過剰に蓄積すると成分間の拮抗作用による欠乏症などの生理障害を引き起こす恐れがある。このため、牛ふん堆肥を施用する場合には、含まれる肥料成分量に応じて化学肥料の施用量を減らすことが必要であると考えられる。本試験の堆肥基準量区は、リン酸、カリの化学肥料は無施用であったが、3t/10a 施用の3年間で、可給態リン酸、交換性カリの蓄積が認められた。蓄積量は作吸収量により異なることが考えられるが、必要以上に肥料成分を蓄積させないためには、使用する牛ふん堆肥の成分によっては堆肥の施用量を減らす、又は肥料成分の低い堆肥を使用する等の対策も必要であると考えられた。

なお、堆肥施用に伴い pH が上昇する結果となったが、若澤ら¹⁶⁾は黄色土において稲わら、豚ふん、パーク堆肥 2~5t/10a/年を10年間連用した結果、試験開始時に 5.8 であった土壌 pH が、7年後に稲わら 2t/10a 連用で 7.3、稲わら 5t/10a 連用で 7.4、豚ふん堆肥 5t/10a 連用で 7.4、パーク堆肥 5t/10a で 7.1 まで上昇したが、その後は pH がやや低下し、この間に生育が劣ることはなかったことを報告していることから、堆肥連用により作物生育に問題を生じるような pH 上昇は認められず、問題となることはないと考えられる。

(3) 肥料費の削減効果

堆肥単価を 10 千円/t とし、化学肥料の販売価格から試算した本試験での肥料費を表 7 に示す。化学肥料区の 28 千円/10a に対し、減肥実証区は 19~22 千円/10a となり、化学肥料区に比べ、6~9 千円/10a(19~32%)削減された。一方、堆肥基準量区は 36 千円/10a となり、化学肥料区に

比べ、8 千円/10a(30~31%)高くなった。ここでは堆肥散布費は加えていないが、10a あたりの散布費用が 5 千円までであれば、減肥実証区でコストが低くなることになり、メリットは十分にあると考えられる。

2008 年にまとめられた県内牛ふん堆肥の平均成分含有率と、本報告で得られた結果を基に算出したリン酸、カリの化学肥料相当量、肥料の成分単価から試算した牛ふん堆肥に含まれるリン酸、カリの肥料的価値を表 8 に示した。化学肥料相当量はリン酸で 5.0~10.4kg/t、カリで 9.2~13.4kg/t であり、リン酸とカリの肥料的価値は合計で 4.6~8.2 千円/t であった。つまり、散布費用込みでこの価格よりも安価ならば肥料費削減効果があると考えられる。ただし、平均成分含有率や、く溶性成分割合は図 2 から分かるように、ばらつきが大きいこと。低成分の堆肥で必要な施肥成分量を賄おうとすると散布費用が大きくなることを考えると肥料費を削減できるケースばかりではないことに留意する必要がある。

4. まとめと今後の課題

これまで土壌物理性改良を主目的に施用されてきた牛ふん堆肥に含まれるリン酸、カリの半分以上が化学肥料と同等の肥効を持つこと、この成分量を考慮して施肥設計することで化学肥料の施肥量や肥料費の削減につながる事が明らかになった。本報告では牛ふん堆肥のみの供試だったが、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥も同様にリン酸、カリの多くが化学肥料と同等の肥効を持つことが報告されている⁹⁾¹⁰⁾¹⁸⁾。ただし、本報告で明らかになったように、堆肥毎に肥料成分の含有率や、く溶性成分割合が異なるため、使用する堆肥の化学肥料相当量を把握し、施肥設計することが重要であると考えられる。簡易に分析できる 0.5M 塩酸抽出法で、く溶性成分を推測できることが本試験結果で示されたが、0.5M 塩酸抽出法の分析も多少の訓練が必要であるため、今後はこの手法をより簡便な方法に改良し、普及させることも必要であると思われる。また、販売される堆肥には品質表示が義務付けられており¹⁹⁾、リン酸全量、カリ全量が表示されているため、この数値と本報告の、く溶性成分割合から化学肥料相当量

表7 肥料費試算(試験3)(千円/10a)¹⁾

処理区	2012年	2013年	2014年
減肥実証	19 (68)	22 (81)	21 (76)
堆肥基準量	36 (130)	36 (130)	36 (131)
化学肥料 (対照)	28 (100)	28 (100)	28 (100)

1) 苦土石灰(3千円/10a)は除く、堆肥10千円/t、20kgあたり尿素1,933円、重焼リン、苦土重焼リン3,203円、硫酸カリ2,531円で試算

※ () 内は化学肥料区を100とした場合の指数

表8 牛ふん堆肥に含まれるリン酸、カリの肥料的価値の試算

成分	平均成分	堆肥の化学肥料	肥料成分	肥料的価値 ³⁾ (千円/t)
	含有率 [†] (現物%)	相当成分量 ¹⁾ (kg/t)	単価 ²⁾ (円/kg)	
リン酸	1.04	5.0~10.4	458	2.3~4.8
カリ	1.34	9.2~13.4	253	2.3~3.4
合計	—	—	—	4.6~8.2

[†] 静岡県農林技術研究所単年度試験研究成績(2008)より、n=312

1) 平均成分含有率に本報告の、く溶性成分割合の最低と最高から算出

2) 重焼リン(く溶性リン酸35%) 3203円/20kg

硫酸カリ(水溶性カリ50%) 2531円/20kgより算出

3) 堆肥の化学肥料相当量に肥料成分単価を乗じて算出

を推定するのも一つの方法であると考えられる。

堆肥は地産の有機質資源であり、本報告で明らかになった肥料効果の他にも多数のメリットのある資材である。持続可能な農業を将来に渡り継続していくためにも資材の特徴を理解し、活用していくことが重要であると考えられる。

V 摘要

牛ふん堆肥に含まれるリン酸とカリの肥効を形態別分析、土壌添加試験により評価し、露地キャベツ栽培において堆肥の肥料成分量に応じて化学肥料を削減する栽培実証試験を3年間実施した。

牛ふん堆肥に含まれるリン酸とカリは、化学肥料と同等の肥効を持ち、化学肥料相当量は0.5M塩酸抽出法で簡易に把握可能であった。キャベツ栽培において堆肥の肥料成分に応じて化学肥料を削減しても、収量、吸収量は同等であった。化学肥料を減肥することで土壌への可給態リン酸、交換性カリの蓄積が抑制でき、肥料費が削減できた。

謝辞

本試験を実施するにあたり、静岡県畜産技術研究所の佐藤上席研究員には堆肥サンプルを提供いただいた。また、土壌環境科の非常勤職員、農林大学校学生にはサンプルの調整、分析等に協力いただいた。ここに誌面をお借りして御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 藤原伸介(2001): 作物体分析法. 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法, 財団法人日本土壌協会, 245-259.
- 2) 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎編(2010): リン酸の固定. カリウムの形態. 新版・土壌肥料用語辞典・第2版, 農文協, 89.
- 3) 藤原俊六郎(2000): 分析試料の採取・調整法. 堆肥等有機物分析法, 財団法人日本土壌協会, 14-16.
- 4) 原正之・郡司掛則昭・松元順(2000): 無機成分の分析法. 堆肥等有機物分析法, 財団法人日本土壌協会, 37-42.
- 5) 肥料研究報告編集委員会編(2011): りん酸. 肥料研究報告第4号別冊, 独立行政法人農林水産消費安全技術センター, 71-75.
- 6) 実用技術開発事業18053マニュアル作成委員会(2010): 無機成分分析. 家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル, (独)農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター資源循環・溶脱低減研究チーム, 53-110.
- 7) 南條正巳(1997): 可給態リン酸. 土壌環境分析法編集委員会編, 土壌環境分析法, 博友社, 267-269.
- 8) 農林水産省農業環境技術研究所(1992): 水溶性リン. ク溶性リン. 肥料分析法, 財団法人日本肥糧検定協会, 30-32.
- 9) 小柳渉・安藤義昭・水沢誠一・森山則男(2004): 家畜ふん堆肥中の塩類組成の特徴, 土肥誌, 75, Vol.1, 91-93.
- 10) 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, 新潟県畜産研究センター研究報告15, 6-9.
- 11) 佐藤克昭・亀山忠・藤井信吾・芹澤駿治(2008): 静岡県内における家畜ふん堆肥のECと無機成分の特徴, 静岡県畜産技術研究所研究報告第1号, 24-26.
- 12) 静岡県経済産業部農山村共生課編(2014): キャベツI(夏播き). 静岡県土壌肥料ハンドブック, 静岡県経済産業部農山村共生課, 71.
- 13) 静岡県経済産業部農山村共生課編(2014): 有機物による土づくり. 静岡県土壌肥料ハンドブック, 静岡県経済産業部農山村共生課, 309-357.
- 14) 菅原和夫・小原洋・草場敬・伊藤純雄(2001): 土壌分析及び測定法. 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法, 財団法人日本土壌協会, 33-79.
- 15) 上園一郎・加藤直人(2010): 分析操作の詳細. 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター資源循環・溶脱低減研究チーム編集・発行, 畑土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル, 18-26.
- 16) 若澤秀幸・河合徹・神谷径明・堀田柏・青島洋一・鈴木則夫・中神敏・山田金一・堀兼明・堀内正美・高橋和彦・水木順敏・松本昌直(1994): 堆きゅう肥の連用が黄色土及び黒ボク土畑土壌に及ぼす影響(第1報)土壌の理化学性の変化とキャベツ, カンショの収量, 静岡農試研報 38, 85-98.
- 17) 横田剛・伊藤豊彰・小野剛志・高橋正樹・三枝正彦(2003): 製造条件の異なる牛ふん堆肥の無機態リン酸組成, 土肥誌 74Vol.2, 133-140.
- 18) 財団法人畜産環境整備機構(2013): 施肥設計の根拠となるデータ. 財団法人畜産環境整備機構畜産環境技術研究所編, たい肥のリン酸、カリの肥効を考慮した施肥設計—考え方とシステムの操作手順—, 財団法人畜産環境整備機構, 34-38.