

牛ふん堆肥燃焼灰の肥料効果

日置雅之¹⁾・榊原幹男²⁾

摘要：3種類の牛ふん堆肥燃焼灰の肥料効果について調査した。どの牛ふん堆肥燃焼灰も、く溶性リン酸及び水溶性カリを多く含み、リン酸、カリ肥料として代替できた。燃焼灰に含まれるリン酸及びカリの肥効は、過リン酸石灰及び硫酸カリとほぼ同等であった。リン酸及びカリ供給量、コマツナの生育と養分吸収量及び土壌への養分蓄積からみた燃焼灰の施用上限量は20 kg a⁻¹であると判断した。

キーワード：牛ふん堆肥燃焼灰、リン酸、カリ、肥効、施用上限量

Effects of Dairy Manure Compost Ash as Fertilizer

HIOKI Masayuki and SAKAKIBARA Mikio

Abstract: We investigated the effects as a fertilizer of 3 dairy manure compost ashes. All ashes had higher citric-acid-soluble phosphorus (P) and water-soluble potassium (K) concentrations than the dairy manure composts. We concluded that the ashes were suitable for P and K fertilizer in place of chemical fertilizer. We calculated that the fertilizer effects of the P and K of all of the ash types were almost equal to those of the superphosphate of lime and potassium sulfate, respectively. We determined that the upper limit of ash application was 20 kg a⁻¹ for komatsuna (*Brassica rapa* L. cv. ‘Shousai’) based on the supply of P and K from the ashes and the plant growth, nutrient uptake by the plant, and nutrition accumulation in the soil.

Key Words: Dairy manure compost ash, Phosphorus, Potassium, Fertilizer effect, Upper limit application

¹⁾ 畜産研究部 ²⁾ 畜産研究部 (退職)

緒言

本県では、環境に配慮した農畜産業を推進するために、家畜ふん尿を適正に堆肥化处理し、農耕地へ施用することを推進している。しかし、県内の畜産農家は偏在しており、広域流通もあまり進まないため、局所的に堆肥が供給過剰となるケースもある。近年全国的には、さらなる堆肥の利用推進の方策の一つとして、エネルギーとして利活用する方法が提案されている¹⁾。特に養鶏経営体では、鶏ふんをボイラーで燃焼し、その熱を乾燥、加温、発電として利用する施設が実用化されている²⁾。

この燃焼処理技術ではふん尿は灰となるため、堆肥と比較して品質管理が容易であるとともに、著しく減量化できる¹⁾という利点もある。さらに、家きんふん燃焼灰については、その成分や肥効が調査され³⁾、リン酸、カリの肥効が高いことが明らかとなり、肥料取締法上の公定規格である「化成肥料」、「配合肥料」等への配合が認められ、利用されている。しかし、家きん以外の畜種のふんまたはその堆肥の燃焼灰については、栽培試験及び作物の養分吸収量から肥効を評価した研究は見当たらない。これらの燃焼灰も鶏ふんと同様にリン酸、カリ等の肥効が期待されるが、牛ふん堆肥燃焼灰（以下、燃焼灰）については、敷料や副資材が多種類にわたるため、成分及び肥効が不明確である。

そこで、本研究では、副資材の異なる燃焼灰のリン酸とカリの肥効を明らかにするため、ポット試験でコマツナの3作連続栽培を実施した。その結果、燃焼灰の成分特性とコマツナの生育、養分吸収からみた肥効及び施用上限量を明らかにしたので報告する。

材料及び方法

試験は、当场畜産研究部内ビニルハウスで行った。1/5000 aワグネルポットを用い、燃焼灰の種類、施用量を変えて3作連続で栽培試験を行い、化学肥料のみで栽培した区を対照に、作物生育と養分吸収量、3作目終了後の土壌の化学性について比較を行った。

供試土壌は黄色土で、燃焼灰の肥効を明確にさせるために東三河農業研究所内の未作付地より採取したものをを用いた。表1のとおり、窒素、リン酸、カリ等の供給量が極めて少ない土壌である。土壌はあらかじめ風乾し2mm目で篩別後、ポット当たり3kg用いた。

燃焼灰区では、表2に示した副資材の異なる3種類の牛ふん堆肥をそれぞれボイラーで燃焼後、取り出し

た燃焼灰を入手し、供試した。なお、燃焼前の牛ふん堆肥の化学性、燃焼温度は不明である。表3に各試験区の燃焼灰及び化学肥料の施用量を示した。作ごとに、播種前に燃焼灰をポット当たり現物で2g（1a当たり10kg）、4g（同20kg）、6g（同30kg）施用した。施肥は、窒素肥料のみ化学肥料で施用し、リン酸及びカリ肥料は施用しなかった。窒素施用量は、1作目300 mg pot⁻¹とし、2、3作目はそれぞれ400 mg pot⁻¹とした。化学肥料区では、作ごとに窒素成分のみを燃焼灰区と同量施用した区（PK無区）、窒素成分に加えてリン酸、カリ成分をそれぞれ200、250 mg pot⁻¹施用した区（PK標準区）を設けた。さらに、2作目以降はPK標準区を二つに分け、窒素成分に加えて標準の倍量のリン酸、カリ成分を施用した区（PK倍量区）を設定した。なお、窒素成分は硫酸を、リン酸成分は過リン酸石灰を、カリ成分は硫酸カリをそれぞれ用いた。また、作ごとに全てのポットに苦土石灰を4g pot⁻¹（1a当たり15kg）施用した。

2012年5月7日に土壌と燃焼灰及び化学肥料を施用、混和した後、ポットに充填した。5月8日にコマツナ（品種：照彩）をポット当たり3か所に播種した。5月20日にポット当たり3株になるように間引き、6月18日に収穫した。2作目以降同一の方法で施肥処理を行い、2作目は施肥・播種6月19日、収穫7月25日で、3作目は施肥・播種9月18日、収穫10月25日で連続栽培を行った。試験は各区3反復とした。

各作の収穫時に、コマツナの草丈、葉数を計測した。収穫した地上部を60℃で乾燥、秤量した。乾燥試料を粉碎後、N、P、K、Mg、Ca、Na濃度を測定し、乾物重を乗じて吸収量を算出した。

また、3作目終了時にポット内の土壌を全て取り出しよく混和し、一定量を採取した。採取した土壌を風乾し、篩別後、pH、EC、T-N、T-C、交換性塩基、可給態リン酸、NH₄-NならびにNO₃-Nを測定した。

燃焼灰、作物体及び土壌の測定については、それぞれ定法⁴⁻⁶⁾に従って行った。すなわち、燃焼灰のpH、ECはガラス電極法、T-C、T-Nは乾式燃焼法、Pはメタバナ法、K、Mg、Ca、Na、Cu、Znは原子吸光法でそれぞれ測定した。また、作物体のNは乾式燃焼法、Pはメタバナ法、K、Mg、Ca、Naは原子吸光法でそれぞれ測定した。さらに、土壌については、pH、ECはガラス電極法、T-N、T-Cは乾式燃焼法、CEC及び交換性塩基はショーレンベルガー法またはpH7酢安浸出法、可給態リン酸はTruog法、NH₄-Nはインドフェノール法、NO₃-Nは銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン法でそれぞれ測定した。

表1 供試土壌の理化学性

pH	EC (H ₂ O) (1:2.5) (dS m ⁻¹)	T-C (mg kg ⁻¹)	T-N (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol _e kg ⁻¹)	交換性塩基				可給態 P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
					CaO (mg kg ⁻¹)	MgO (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	Na ₂ O (mg kg ⁻¹)			
5.4	0.04	4.8	0.7	9.4	268	42	90	8	4	3.7	0.4

風乾土当たり。

表2 供試燃焼灰の牛ふん堆肥時の副資材

燃焼灰	副資材
灰A	オガクズ、戻し堆肥、コーヒー粕
灰B	モミガラ
灰C	オガクズ

表3 燃焼灰施用量及び施肥量 (ポット当たり)

試験区	燃焼灰 (g現物)	化学肥料 ¹⁾		
		窒素 ²⁾ (mg)	リン酸 (mg)	カリ (mg)
灰10kg	2	300	0	0
灰20kg	4	300	0	0
灰30kg	6	300	0	0
PK無	0	300	0	0
PK標準	0	300	200	250
PK倍量 ³⁾	0	400	400	500

- 1) 窒素は硫酸、リン酸は過リン酸石灰、カリは硫酸カリとして施用。
- 2) 1作目のみ300mg、2、3作目では400 mg施用。
- 3) 2作目を降設定 (1作目はPK標準区と同じ)。

試験結果

表4に供試した燃焼灰の性状を示した。pHは10.4~11.1で、日置ら⁷⁾が調査した県内の牛ふん堆肥の平均値よりもアルカリ性を呈していた。また、窒素濃度は低いが、リン酸、カリをはじめとする無機成分は多く含まれており、ECは高かった。一方、EC及び無機成分濃度は燃焼灰A>C>Bの順に高く、供試した燃焼灰の間で差が大きかった。図1に示したとおり、リン酸、苦土、石灰は、全量に占めるく溶性の割合が多く、水溶性はわずかであった。カリは、全体の80%以上がく溶性であり、60%以上が水溶性であった。ナトリウムは、全体の65%以上がく溶性であり、30%以上が水溶性であった。重金属についてみると、表5のとおり牛ふん堆肥の一般的な含有量⁷⁾に比べると銅、亜鉛ともに高濃度であった。

表6に、燃焼灰分析値から算出した1作目の栽培試験におけるリン酸及びカリの供給量を示した。リン酸供給量は、灰A、Cでは20 kg区で、灰Bでは30 kg区でそ

表4 供試燃焼灰の化学性

試料	水分 ¹⁾ (g kg ⁻¹)	pH ¹⁾ (1:10)	EC ¹⁾ (1:10) (dS m ⁻¹)	C/N	T-C ²⁾ (g kg ⁻¹)	T-N ²⁾ (g kg ⁻¹)	T-P ₂ O ₅ ²⁾ (g kg ⁻¹)	T-K ₂ O ²⁾ (g kg ⁻¹)	T-MgO ²⁾ (g kg ⁻¹)	T-CaO ²⁾ (g kg ⁻¹)	T-Na ₂ O ²⁾ (g kg ⁻¹)	
燃焼灰A	23	10.9	25.30	12.6	83.2	6.6	95.0	164.6	57.9	120.7	29.1	
燃焼灰B	12	10.4	9.20	16.6	47.3	2.8	32.4	57.4	16.0	42.6	9.8	
燃焼灰C	12	11.1	16.17	29.4	102.3	3.5	48.0	71.1	40.2	122.7	46.4	
牛ふん堆肥 ³⁾	最小	81	5.1	0.71	9.9	182.3	10.7	9.6	11.8	5.0	6.0	1.1
	平均	539	8.7	4.07	19.1	357.5	19.4	23.1	33.5	11.4	23.7	6.7
	最大	834	10.0	10.23	39.6	471.9	43.8	65.3	96.6	21.6	64.5	14.8

- 1) 現物当たり。
- 2) 乾物当たり。
- 3) 日置ら(2001)の値。

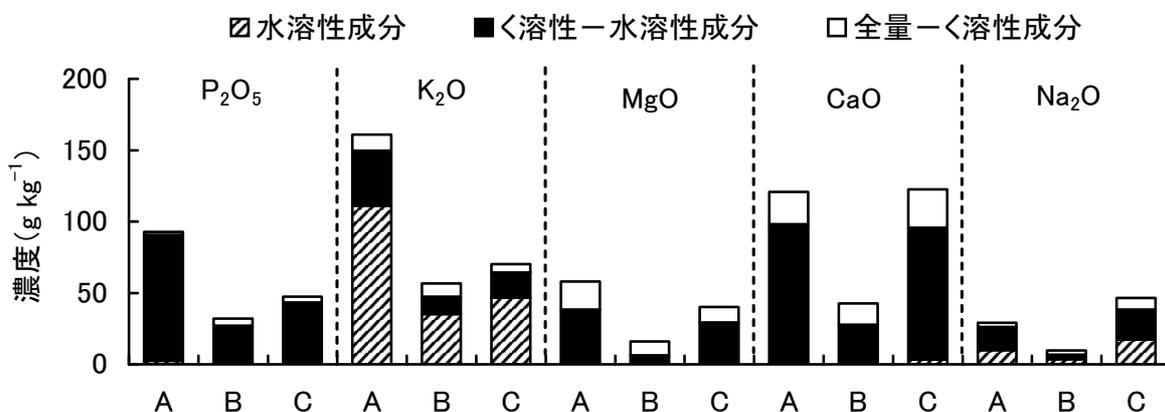


図1 燃焼灰の溶解性別濃度

注)濃度は乾物当たり。

表5 供試燃焼灰の銅・亜鉛濃度

試料	T-Cu ¹⁾	T-Zn ¹⁾
	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
燃焼灰A	158	981
燃焼灰B	253	227
燃焼灰C	212	718
牛ふん		
最小	N. D.	N. D.
平均	43	190
最大 ²⁾	171	521

1) 乾物当たり。

2) 日置ら(2001)の値。

表6 1作目の燃焼灰または化学肥料由来のリン酸及びカリ供給量

試験区	リン酸	カリ
	(mg pot ⁻¹)	(mg pot ⁻¹)
灰A10 kg	186	322
灰A20 kg	372	644
灰A30 kg	557	966
灰B10 kg	64	113
灰B20 kg	128	227
灰B30 kg	192	340
灰C10 kg	95	141
灰C20 kg	190	281
灰C30 kg	285	422
PK標準	200	250

れぞれPK標準区と同等かそれ以上となった。一方、カリは、灰Aでは10 kg区で、灰B、Cでは20 kg区でそれぞれPK標準区の供給量と同等かそれ以上となった。

表7に栽培試験におけるコマツナの生育状況を示した。燃焼灰を施用した区では、燃焼灰の種類、作期に関係なく、施用量が多くなると草丈、葉数、乾物重はいずれも増加した。供試した燃焼灰の中では、どの作においても灰A区が最も生育が旺盛で、灰B区で劣った。燃焼灰を施用しない区のうち、PK無区では、どの作においても出芽後から収穫時までコマツナはほとんど生育しなかった。2作目以降でPK標準区とPK倍量区を比較すると、PK倍量区の方が収穫時の葉数、乾物重ともに多かった。

表8～10に収穫時におけるコマツナ中成分濃度及び吸収量を示した。成分濃度についてみると、燃焼灰の種類、作期に関係なく、燃焼灰の施用量が多くなるとリン、カリウム濃度は増加し、窒素、カルシウム、マグネシウム濃度は減少した。ナトリウム濃度は明確な傾向が認められなかった。養分吸収量についてみると、灰B10 kg、20 kg区及び灰C10 kg区では、どの成分もPK標準区と比較して吸収量が少なかった。また、燃焼灰を30 kg a⁻¹施用した区では、燃焼灰の種類、作期に関係なく窒素以外の養分吸収量が多かった。

リン酸及びカリについて、3作を通じた化学肥料または燃焼灰由来の総供給量とコマツナの総吸収量との関係を図2、3に示した。燃焼灰区では、リン酸、カリともに燃焼灰の種類に関係なく供給量と吸収量との間に有意な正の直線関係が認められた。また、化学肥料区も燃焼灰区で得られた回帰直線の95%信頼予測区間に当てはまった。

表7 収穫時のコマツナの生育

試験区	1作目			2作目			3作目		
	草丈 (cm)	葉数	乾物重 (mg pot ⁻¹)	草丈 (cm)	葉数	乾物重 (mg pot ⁻¹)	草丈 (cm)	葉数	乾物重 (mg pot ⁻¹)
灰A10 kg	22 a	10 ab	7.00 abc	24 abc	12 a	6.45 b	27 a	10 ab	5.61 bc
灰A20 kg	22 a	11 ab	9.21 ab	27 a	14 a	11.13 a	30 a	11 ab	7.71 ab
灰A30 kg	21 a	11 a	9.80 a	29 a	13 a	10.82 a	30 a	11 a	10.01 a
灰B10 kg	15 b	6 c	1.45 d	13 d	7 b	1.14 c	13 cd	6 d	0.99 de
灰B20 kg	22 a	9 b	3.88 c	18 bcd	9 b	2.31 c	21 abc	9 abcd	3.03 cde
灰B30 kg	22 a	10 ab	6.39 bc	27 a	12 a	6.85 b	23 a	9 abcd	3.64 cd
灰C10 kg	14 b	7 c	1.69 d	16 cd	8 b	2.03 c	13 bc	6 cd	1.12 de
灰C20 kg	22 a	10 ab	6.70 bc	25 ab	12 a	5.53 b	23 ab	9 abcd	3.60 cd
灰C30 kg	22 a	10 ab	6.85 bc	28 a	13 a	8.12 b	25 a	9 abc	4.51 bcd
PK無	2 c	3 d	0.04 e	2 e	2 c	0.05 c	4 d	3 e	0.06 e
PK標準	23 a	10 ab	6.15 c	27 a	12 a	7.16 b	24 a	8 bcd	3.20 cde
PK倍量				28 a	13 a	8.79 a	26 a	10 ab	4.75 bcd

どの項目も異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)。

表8 1作目終了時のコマツナの養分濃度及び吸収量

試験区	濃度 ¹⁾ (%)						吸収量 (mg pot ⁻¹)					
	N ²⁾	P ²⁾	K ²⁾	Mg ²⁾	Ca ²⁾	Na ²⁾	N ²⁾	P ²⁾	K ²⁾	Mg ²⁾	Ca ²⁾	Na ²⁾
灰A10 kg	2.98 cd	0.20 bc	3.92 a	0.33 cdef	1.59 d	0.24 c	208 a	14 b	275 b	23 ab	111 a	17 bc
灰A20 kg	2.22 de	0.28 a	3.72 a	0.25 f	1.12 e	0.21 c	203 a	25 a	341 a	23 ab	103 ab	19 b
灰A30 kg	2.00 e	0.28 a	3.87 a	0.29 def	1.31 de	0.20 c	195 a	29 a	377 a	28 a	128 a	19 b
灰B10 kg	5.56 a	0.16 cd	2.59 b	0.47 ab	3.00 b	0.27 bc	80 c	2 c	37 d	7 d	44 c	4 e
灰B20 kg	4.89 a	0.26 ab	4.10 a	0.42 bc	2.13 c	0.28 bc	190 a	10 b	159 c	16 bcd	83 abc	11 cde
灰B30 kg	3.40 bc	0.26 ab	4.22 a	0.32 cdef	1.43 de	0.26 bc	209 a	16 b	263 b	21 ab	91 ab	16 bc
灰C10 kg	5.55 a	0.12 d	1.70 b	0.55 a	3.46 a	0.33 abc	94 bc	2 c	29 d	9 cd	59 cd	6 de
灰C20 kg	3.78 bc	0.20 bc	3.92 a	0.38 bcd	1.63 c	0.46 a	254 a	13 b	258 b	25 ab	109 a	30 a
灰C30 kg	2.53 de	0.21 bc	3.86 a	0.35 cde	1.55 d	0.40 ab	175 ab	14 b	262 b	23 ab	104 ab	27 a
PK無 ³⁾	3.82	0.07	0.38	0.33	2.74	0.35	1	0.02	0.1	0.1	1	0.1
PK標準	3.83 b	0.20 bc	4.32 a	0.27 ef	1.50 de	0.20 c	235 a	12 b	265 b	17 bc	92 ab	12 cd

1) 乾物当たり。

2) どの項目も異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)。

3) どの項目からも統計処理から除外した。

表9 2作目終了時のコマツナの養分濃度及び吸収量

試験区	濃度 ¹⁾ (%)						吸収量 (mg pot ⁻¹)					
	N ²⁾	P ²⁾	K ²⁾	Mg ²⁾	Ca ²⁾	Na ²⁾	N ²⁾	P ²⁾	K ²⁾	Mg ²⁾	Ca ²⁾	Na ²⁾
灰A10 kg	4.98 ab	0.18 abc	3.78 abc	0.61 abc	3.10 bcd	0.43 b	320 a	12 bc	243 de	39 a	199 a	27 bcd
灰A20 kg	2.95 c	0.28 a	4.65 ab	0.40 de	1.87 f	0.28 bc	329 a	31 a	518 a	44 a	208 a	31 bcd
灰A30 kg	2.95 c	0.29 a	5.27 a	0.42 cde	1.91 f	0.30 bc	318 a	32 a	568 a	45 a	207 a	33 bc
灰B10 kg	5.41 ab	0.11 c	1.73 d	0.55 abcde	3.50 abc	0.16 c	62 b	1 c	22 f	7 b	40 b	2 e
灰B20 kg	5.48 ab	0.14 bc	2.91 cd	0.63 ab	3.73 ab	0.29 bc	129 b	3 c	70 f	15 b	86 b	7 e
灰B30 kg	4.94 ab	0.22 ab	4.92 ab	0.65 a	3.01 cd	0.42 b	337 a	15 b	338 d	45 a	206 a	29 bcd
灰C10 kg	5.60 ab	0.10 c	2.44 cd	0.68 a	3.88 a	0.30 bc	113 b	2 c	53 f	14 b	77 b	6 e
灰C20 kg	5.66 a	0.19 abc	3.94 abc	0.74 a	3.59 abc	0.71 a	313 a	11 bc	218 e	41 a	198 a	39 b
灰C30 kg	4.20 bc	0.22 ab	4.78 ab	0.58 abcd	2.76 d	0.68 a	334 a	18 b	386 c	47 a	223 a	55 a
PK無 ³⁾	5.66	0.09	0.49	0.51	4.03	0.19	3	0.05	0.3	0.3	2	0.1
PK標準	5.18 ab	0.22 ab	3.56 bc	0.46 bcde	2.57 de	0.32 bc	371 a	15 b	254 de	33 a	184 a	23 cd
PK倍量	4.58 ab	0.24 ab	5.03 a	0.38 e	2.12 ef	0.25 c	396 a	21 b	437 b	33 a	186 a	22 d

1) 乾物当たり。

2) どの項目も異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)。

3) どの項目からも統計処理から除外した。

表10 3作目終了時のコマツナの養分濃度及び吸収量

試験区	濃度 ¹⁾ (%)						吸収量 (mg pot ⁻¹)					
	N ²⁾	P ²⁾	K ²⁾	Mg ²⁾	Ca ²⁾	Na ²⁾	N ²⁾	P ²⁾	K ²⁾	Mg ²⁾	Ca ²⁾	Na ²⁾
灰A10 kg	5.55 ab	0.21 bc	4.00 d	0.70 ab	2.99 ab	0.61 ab	312 a	12 b	227 c	39 abc	165 a	34 ab
灰A20 kg	4.92 b	0.28 a	5.21 ab	0.60 bcd	2.28 bc	0.56 ab	376 a	22 a	401 ab	46 ab	174 a	43 a
灰A30 kg	3.63 c	0.31 a	5.52 a	0.53 d	1.72 c	0.38 ab	364 a	31 a	552 a	53 a	173 a	38 ab
灰B10 kg	6.02 a	0.15 cd	2.78 ef	0.73 a	3.60 a	0.23 b	57 c	1 c	28 d	7 d	35 b	2 b
灰B20 kg	5.78 ab	0.17 cd	4.13 cd	0.68 ab	3.10 ab	0.32 ab	177 abc	5 bc	127 cd	21 cd	93 ab	11 ab
灰B30 kg	5.76 ab	0.19 cd	4.58 bcd	0.71 a	3.11 ab	0.41 ab	210 abc	7 bc	168 cd	26 abcd	112 ab	16 ab
灰C10 kg	5.59 ab	0.12 d	2.72 f	0.68 ab	3.25 a	0.31 ab	63 bc	2 c	33 d	8 d	36 b	3 ab
灰C20 kg	5.74 ab	0.16 cd	3.71 de	0.66 ab	3.17 a	0.72 a	207 abc	6 bc	135 cd	24 bcd	107 ab	31 ab
灰C30 kg	5.65 ab	0.18 cd	4.36 bcd	0.64 abc	3.00 ab	0.73 a	257 abc	8 bc	196 c	29 abcd	133 a	36 ab
PK無 ³⁾	6.33	0.07	0.55	0.78	3.61	0.32	4	0.05	0.4	0.5	2	0.2
PK標準	6.30 a	0.19 cd	3.96 d	0.60 bcd	3.07 ab	0.31 ab	202 abc	6 bc	126 cd	19 cd	98 ab	10 ab
PK倍量	6.23 a	0.23 ab	5.07 abc	0.54 cd	2.65 abc	0.28 ab	295 ab	11 bc	242 bc	25 bcd	126 ab	13 ab

1) 乾物当たり。

2) どの項目も異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)。

3) どの項目からも統計処理から除外した。

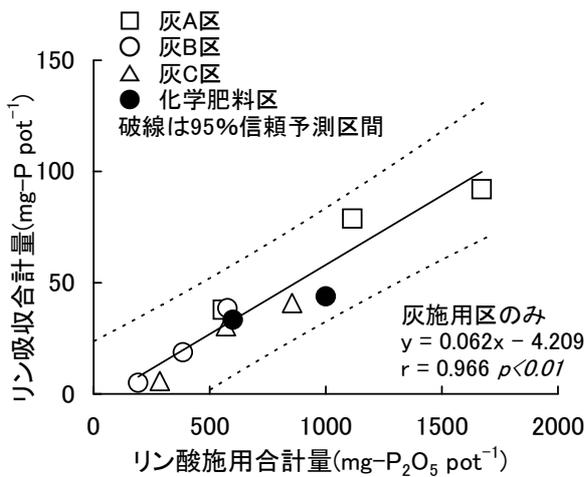


図2 試験期間中のリン酸施用合計量とリン吸収合計量との関係

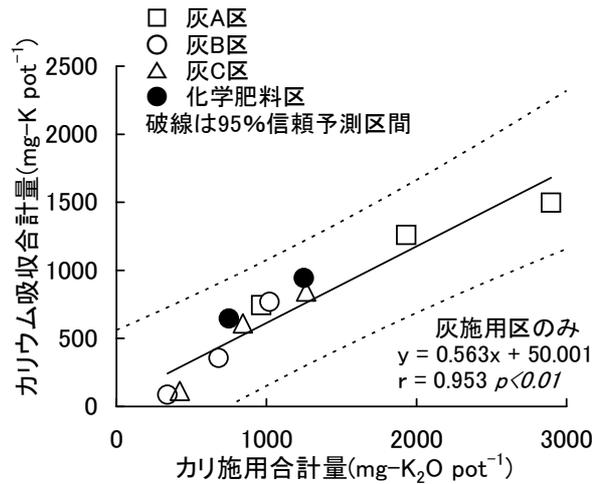


図3 試験期間中のカリ施用合計量とカリウム吸収合計量との関係

表11 3作目終了後土壌の化学性

試験区	pH (H ₂ O)	EC (1:2.5) (dS m ⁻¹)	T-C (mg kg ⁻¹)	T-N (mg kg ⁻¹)	交換性塩基				可給態 P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)
					CaO (mg kg ⁻¹)	MgO (mg kg ⁻¹)	K ₂ O (mg kg ⁻¹)	Na ₂ O (mg kg ⁻¹)			
灰A10 kg	5.3 bcd	0.22 e	5.2 bcd	0.72 b	896 de	376 bc	112 bcd	45 cd	23 cde	5 b	5 b
灰A20 kg	5.5 bcd	0.21 e	5.6 ab	0.73 b	966 cde	394 bc	158 b	56 c	48 b	5 b	2 b
灰A30 kg	5.8 a	0.28 cde	5.9 a	0.75 b	1082 bc	431 ab	321 a	75 b	93 a	5 b	1 b
灰B10 kg	5.3 bcd	0.42 bcd	4.7 e	0.73 b	899 de	379 abc	145 bc	41 cde	12 e	14 b	66 a
灰B20 kg	5.3 bcd	0.26 de	5.0 cde	0.71 b	844 e	356 cd	152 bc	41 cde	18 e	5 b	17 b
灰B30 kg	5.4 bcd	0.26 de	5.3 bc	0.70 b	907 de	400 abc	155 b	43 cd	33 cd	4 b	8 b
灰C10 kg	5.3 cd	0.50 b	4.8 de	0.75 b	1048 bcd	427 abc	142 bcd	55 c	12 e	11 b	72 a
灰C20 kg	5.6 bc	0.28 cde	5.2 bcd	0.67 b	1051 bcd	402 abc	106 bcd	73 b	21 de	5 b	8 b
灰C30 kg	5.7 ab	0.38 bcde	5.3 bc	0.70 b	1183 b	451 a	156 b	109 a	33 cd	5 b	6 b
PK無	6.1 a	0.46 bc	4.8 de	0.84 a	961 cde	369 bc	91 cd	29 de	3 f	83 a	83 a
PK標準	5.5 bcd	0.32 bcde	5.2 bcde	0.72 b	974 cde	294 d	80 d	25 e	18 e	6 b	16 b
PK倍量	5.1 d	0.72 a	5.4 bc	0.74 b	1421 a	377 abc	117 bcd	31 de	38 bc	9 b	24 b

風乾土当たり。
どの項目も異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)。

3作目終了後の土壌の化学性を表11に示した。灰A、C区では燃焼灰施用量が多くなるとpHは高くなった。ECは、PK倍量区で高かったが、その他の区では一定の傾向は認められなかった。交換性石灰、苦土、カリ、ナトリウム、可給態リン酸は、燃焼灰の種類に関係なく30 kg a⁻¹施用した区で最も多かった。T-Nは、PK無区で高かったが、その他の区では有意な差は認められなかった。NH₄-Nは、PK無区、灰B10 kg区、灰C10 kg区で多かった。

考 察

家畜ふんの燃焼灰のうち、鶏ふん燃焼灰はアルカリ性で、肥料成分としては窒素はほとんど含まれないが、く溶性のリン酸、石灰、苦土、水溶性のカリを多く含むことが明らかとされ、リン酸及びカリ肥料として代替できることが報告されている³⁾。本研究では、由来となる牛ふん堆肥の副資材が異なる燃焼灰を3種類供試したが、その肥料成分をみると、燃焼灰の種類に関係なく、アルカリ性を呈し、窒素はほとんど含まれて

いなかった。しかし、リン酸、カリは平均的な牛ふん堆肥以上に含まれており、その大部分が作物に利用されやすい形態である可溶性または水溶性成分として存在していた。さらに、栽培試験においても、焼灰を 30 kg a^{-1} 施用し、リン酸、カリを無肥料とした場合、コマツナの生育ならびにリン、カリウムの吸収はPK標準区と比較して同等以上であった。これらのことから、鶏ふん焼灰と同様に、牛ふん堆肥焼灰もリン酸、カリ肥料の代替効果があることが明確となった。

また、焼灰区では、リン酸、カリともに焼灰の種類に関係なくポットへの供給量とコマツナによる吸収量との間に有意な正の直線関係が認められた。さらに、化学肥料区についても焼灰区で得られた回帰直線の95%信頼予測区間に当てはまった。このことは、焼灰の種類によらずリン酸、カリの利用率は一定であり、かつ化学肥料である過リン酸石灰や硫酸カリと同程度の肥効であると判断できた。

このように焼灰に化学肥料並みの肥効があるとすると、灰の成分量に応じた施用量の決定が重要と思われる。そこで、焼灰施用量を $10\sim 30 \text{ kg a}^{-1}$ と変えて実施した栽培試験の結果から、リン酸、カリ肥料の代替としての焼灰の施用上限量について考察する。コマツナの生育及びリン、カリウムの吸収は、焼灰の種類に関係なく施用量が多くなると旺盛であった。しかし、焼灰中のリン酸、カリ濃度の違いを反映して、灰Aでは 10 kg a^{-1} 施用であってもPK標準区よりコマツナの生育・養分吸収が良好であったのに対して、灰B、Cを 10 kg a^{-1} 施用した区ではPK標準区よりも劣った。さらに、今回養分供給量の低い土壌を用いたにも関わらず、3作終了後の土壌の交換性塩基、可給態リン酸は、焼灰施用区でPK標準区よりも増加しており、特に 30 kg a^{-1} 施用区で顕著であった。このことは、焼灰の連用が養分蓄積を引き起こすことを示唆している。また、1作分のリン酸及びカリの供給量についてみると、焼灰を 20 kg a^{-1} 施用した場合、灰Bのリン酸を除けば、どの焼灰も化学肥料区と同等以上のリン酸及びカリ供給量となった。以上の結果に加えて、焼灰が一定量の重金属を含み、連用によって蓄積することを考えれば、リン酸、カリ肥料の代替としての焼灰の施用量は 20 kg a^{-1} を上限とするのが適当であると判断した。なお、上限となる 20 kg a^{-1} の施用では、3作終了後の土壌の炭素含量はほとんど変化しておらず、焼灰施用による有機物の蓄積、それに伴う土壌の物理性改善

効果はほとんど期待できないと考える。また、さらに連続して施用する場合には、土壌中の交換性塩基、可給態リン酸含量が一層増加することも懸念されるため、土壌診断等で施用量を調整する必要がある。

リン酸、カリ以外の成分についてみると、石灰、苦土は成分量が多く、溶解性も高かった。本研究ではリン酸、カリ肥料の代替効果を主眼に栽培試験を行ったため、どの試験区にも同量の苦土石灰を施用した。しかし、焼灰の施用量が多くなると、コマツナのカルシウム、マグネシウム吸収量及び土壌中の交換性石灰、苦土が増加しており、石灰、苦土肥料としての効果も期待できることが示唆された。今後は肥効を調査し、石灰、苦土肥料としての適正施用量を決めていく必要があるだろう。

最後に、供試した焼灰に含まれる成分濃度は、灰の種類によって大きく異なった。この原因としては、由来となる牛ふん堆肥の副資材の違い、焼灰方法等が考えられるが本研究では原因を特定するまでに至らなかった。今後焼灰を用いて、より精密な土壌及び施肥管理を行うために、焼灰の肥料成分の違いをもたらす要因について解析し、肥効から焼灰を類型化する必要があると考える。

引用文献

1. 財団法人畜産環境整備機構. 家畜排せつ物を中心とした焼灰・炭化施設に関する手引き. 東京. p. 1-200 (2005)
2. 甲斐敬康. 宮崎県における鶏ふん焼却によるバイオマスエネルギーの利活用. 畜産環境情報. 36, 7-16 (2007)
3. 千葉行雄, 宍戸貢, 菅原隆志, 斉藤博之. 鶏糞焼却灰の利用. 東北農業研究. 39, 139-140 (1986)
4. 越野正義. 詳解肥料分析法. 養賢堂. 東京. p. 1-368 (1988)
5. 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. 博友社. 東京. p. 1-427 (1997)
6. 作物分析法委員会. 栄養診断のための栽培作物分析測定法. 養賢堂. 東京. p. 1-545 (1975)
7. 日置雅之, 北村秀教, 久野智香子, 加藤保. 愛知県で生産される家畜ふん堆肥の化学組成. 愛知農総試研報. 33, 237-244 (2001)