

第Ⅱ章 牛ふん炭の成分特性と速効性リン酸カリ肥料に対する代替性

第1節 緒言

家畜排泄物の肥料利用に関しては、従来の飼料作物に対するスラリー散布(松崎, 1985)や水稲に対する豚尿施用(安西, 1988)、最近ではメタン発酵消化液の液肥利用(宮田・池田, 2005)などが挙げられる。一方、家畜ふんや家畜ふん堆肥では、窒素の無機化や肥効率に関する基礎的な研究(前田, 2007)が比較的多いものの、実際の肥料としての利用は鶏ふんを除くとほとんど定着していない。この理由は、家畜ふんや家畜ふん堆肥の多くは、従来の稲わら堆肥と同様に土壌の物理性の改善を目的に施用すること、含有成分が畜種や飼育条件及び副資材で変動する(彌富, 1999)上に成分バランスが偏っていること、実際栽培における施用時の各成分の肥効評価が難しい(西尾, 2006)こと、肥料に比べて均一散布が困難なことなどにある。このため、近年では、豚ふんの粒状肥料化(宮崎・大村, 1998)、成分調整を施したペレット堆肥の利用(松森・郡司掛, 2002)、堆肥の成分特性の評価(牛尾ら, 2001)、堆肥の肥料成分の計算ソフト(浦野ら, 2005)、及び堆肥の肥効成分を考慮した施肥設計支援システム[エコFIT](金子, 2008)など、この問題点を改善する研究開発が進展している。しかし、前述の理由から、家畜ふんや堆肥のみを肥料として使う方法は、一般的には有機農法を除くと普及段階に至っていない。また、当農法においても有機物の窒素の速効的な肥効が化学肥料より劣る場合が多いため、作物収量の低下が問題となっている(Aronssonら, 2007)。このように、家畜排泄物の化学肥料の代替利用には、現状において多くの課題が残されている。

しかしながら、家畜排泄物には、多量の窒素と同様にリン酸とカリが豊富に含まれている。牛の排泄物を例にとると、年間当たり米国では、Eghball(2002)によると肉牛由来でそれぞれリン酸(P_2O_5)が360Gg、カリ(K_2O)が581Ggに達し、日本でも生雲(2001)によると肉牛と乳牛由来合わせて、それぞれ82Gg及び177Ggの膨大な資源量に達している。一方、国内のリン酸やカリ肥料は、原料の多くをリン鉱石やカリ鉱石の輸入に頼っており、肥料資源の枯渇や資源国の輸出制限、付随する肥料価格の高騰などが問題となっている(農業協同組合新聞, 2008)。このため、生活排水中のリン酸を鉄添加で沈殿させる方法や下水汚泥中のリン酸を加熱集積させる Heatphos 法など様々なリン酸の回収研究(江ら, 2005; 黒田ら, 2005; 梅谷ら, 2008)が進展している。本研究で取り上げた牛ふん炭についても、牛ふん中の窒素の多くは炭化時に揮散されるものの、リン酸及びカリは濃縮されて残るため、リン酸肥料やカリ肥料の代替として使える可能性が高く、有効な肥料回収の手段と考えられる。

そこで、本章では、牛ふん炭中の両成分の肥料代替性に関する基礎資料を得る目的で、初めに、異なる炭化温度で作成した牛ふん炭の肥効の違いを成分同等量の速効性化学肥料を対照として検討した。次に、牛ふん炭の肥効の栽培気温による違いを異なる時期に栽培したコマツナやハウレンソウの生育状況から検討した。

第2節 材料および方法

1. 牛ふん炭の作成と供試土壌

牛ふん炭は、(独)畜産草地研究所で発生した牛ふんを含水率50%程度に低下させた後、(独)農村工学研究所のロータリーキルン式の連続式パイロット炭化装置(凌・東理, 2003a)を用いて、500℃及び800℃で炭化して作成した。試験に用いた牛ふん炭の化学性は、第2-1表及び第2-2表に示したとおりであり、炭化温度及び製造時期(ロット)の違いによって若干変動した。なお、成分的な特徴は第3節の結果1の項において後述する。

供試土壌は、露地野菜の栽培を行っていた千葉市緑区の農業総合研究センター圃場の表層腐植質黒ボク土(米神統, 以下黒ボク土)及び千葉県匝瑳市の同センター砂地野菜研究室圃場の中粗粒褐色低地土(長崎統, 以下砂質土)の2種類とした。土壌の化学性は第2-3表に示したとおりである。

第2-1表 炭化温度の異なる牛ふん炭の化学性(試験1)

炭化温度 (℃)	水分 ($10^{-2} \text{kg kg}^{-1}$)	pH (H_2O)	EC (dS m^{-1})	T-C ($10^{-2} \text{kg kg}^{-1}$)		C/N	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ (mg kg^{-1})		P_2O_5 ($10^{-2} \text{kg kg}^{-1}$) ク溶性 水溶性		K_2O ($10^{-2} \text{kg kg}^{-1}$) ク溶性 水溶性	
				27.2	1.4		0	1	1.9	0.39	6.9	2.9
500	4.7	9.9	18.8	27.2	1.4	19.4	0	1	1.9	0.39	6.9	2.9
800	6.2	9.8	19.4	19.9	0.6	33.1	0	1	2.5	0.26	7.2	3.0

炭化温度 (℃)	CEC ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)	交換性塩基 (mg kg^{-1})				水溶性塩基 (mg kg^{-1})			水溶性Cl ($10^{-2} \text{kg kg}^{-1}$)	水溶性 SO_4^{2-} ($10^{-2} \text{kg kg}^{-1}$)	リン酸吸収係数 (mg kg^{-1})
		CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Na_2O			
500	22.1	6,550	3,800	44,550	3,330	39	176	2,157	8.8	0.55	319
800	19.5	11,400	4,110	41,700	3,730	94	274	2,850	9.4	0.38	883

注) pH及びECは、1:20で水抽出した値を示す。

第2-2表 栽培時期別の肥効試験に供試した牛ふん炭の化学性（試験2）

炭化温度 (°C)	水分 (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	T-C		C/N	NO ₃ ⁻ -N NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)		P ₂ O ₅ (10 ⁻² kg kg ⁻¹)		
				(10 ⁻² kg kg ⁻¹)	(10 ⁻² kg kg ⁻¹)		全量	ク溶性	水溶性		
500	4.5	9.4	17.0	25.9	1.4	18.9	4	22	3.2	2.8	0.29

炭化温度 (°C)	CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	K ₂ O (10 ⁻⁴ kg kg ⁻¹)			水溶性Cl ⁻ (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	リン酸吸収係数 (mg kg ⁻¹)
		全量	ク溶性	水溶性		
500	22.0	8.0	7.4	4.2	6.4	505

注) pH及びECは、1:20で水抽出した値を示す。

第2-3表 牛ふん炭の肥料代替性試験に用いた土壌の化学性（試験1と試験2共通）

土壌の 種類	水分 (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	T-C		C/N	NO ₃ ⁻ -N NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)		リン酸吸収係数 (mg kg ⁻¹)	Truog-P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	水溶性 P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)
				(10 ⁻² kg kg ⁻¹)	(10 ⁻² kg kg ⁻¹)						
黒ボク土	31.3	6.4	0.07	6.28	0.45	14.0	104	23	19,510	166	4
砂質土	4.6	7.2	0.08	0.89	0.07	13.7	36	21	2,660	966	163

土壌の 種類	CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	交換性塩基 (mg kg ⁻¹)				水溶性塩基 (mg kg ⁻¹)				水溶性Cl ⁻ (mg kg ⁻¹)
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
黒ボク土	41.3	6,446	650	721	52	108	23	131	51	58
砂質土	6.8	1,307	255	305	56	109	56	116	49	64

2. 牛ふん炭の肥料代替性試験の構成

試験区の構成は第2-4表に示したとおりである。試験1として、500℃と800℃の炭化温度で作成した牛ふん炭のコマツナに対する肥料代替性の違い、試験2として、500℃の炭化温度で作成した牛ふん炭の栽培時期別のコマツナ及びホウレンソウに対する肥料代替性の違いを検討した。いずれの試験においても、化学肥料を用いた標準区及び標準区と同等量のリン酸を牛ふん炭で施用した炭1倍区を設定した。また、炭化温度を変えた試験1では、リン酸及びカリを施用しない無PK区及び無

肥料区を追加した。栽培時期を変えた試験2では、ホウレンソウ作のみ、好アルカリ作物に対する牛ふん炭中の石灰分の影響を排除するために標準+Ca区を追加した。3要素の化学肥料は、硝酸アンモニウム、過リン酸石灰及び塩化カリを、Caは炭酸カルシウムを使用した。なお、牛ふん炭の窒素肥効はほとんどないので、各試験区の窒素肥料は標準区と同じ施用を行った。試験は、1/5,000 aワグネルポットを用いて1区4ポットの反復で実施した。

第2-4表 牛ふん炭の速効性肥料代替性試験区の構成（試験1及び試験2）*

試験区	施肥量 (kg ha ⁻¹)			備考
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
標準	150	150	300	N, P ₂ O ₅ , K ₂ Oいずれも化学肥料を施用した。
無PK	150	0	0	P ₂ O ₅ , K ₂ Oを無施用とした。
無肥料	0	0	0	
炭500℃1倍	150	150	550	P ₂ O ₅ を標準区の1倍量とした。
炭800℃1倍	150	150	436	P ₂ O ₅ を標準区の1倍量とした。
標準	150	150	300	N, P ₂ O ₅ , K ₂ Oいずれも化学肥料を施用した。
標準+Ca**	150	150	300	標準に炭酸カルシウムを1,000kg ha ⁻¹ 加えた。
炭500℃1倍	150	150	396	P ₂ O ₅ を標準区の1倍量とした。

注1)*上段は試験1、下段は試験2の設定を示す。下段の牛ふん炭は製造時期が異なる。

2)化学肥料は、N:硝安、P₂O₅:過石、K₂O:塩加とした。

3)牛ふん炭の施用量は、ク溶性P₂O₅及びK₂Oの分析値に基づいて算出した。

4)上段の炭500(800)℃1倍量は、炭15.5(11.8)g pot⁻¹の施用量で、炭7.8(5.9)Mg ha⁻¹に相当する。

下段の炭500℃1倍量は、炭10.5g pot⁻¹の施用量で、炭8.0Mg ha⁻¹に相当する。

5)無PK区及び各炭区の窒素肥料は標準と同じとした。

6)**標準+Caはホウレンソウ作のみ設定した。

3. 供試作物と栽培方法

1/5,000 a ワグネルポット充填用の生土は、黒ボク土 2.8kg pot⁻¹、砂質土 4.3kg pot⁻¹とした。両土壌に化学肥料や5 mm 目の篩を通した牛ふん炭を混合し、800mL pot⁻¹の井戸水を加えた後、ポットに充填した。供試作物はコマツナ (*Brassica rapa* L. cv. Saori) とした。試験1 (炭化温度別) では、2003年11月14日にポット当たり13粒播種した。その後、適宜間引きを行って最終的にポット当たり3株とした。収穫は12月25日に行った。栽培は、夜間20℃以下で加温、日中25℃以上で天窓が開放する方式のビニルハウス内で実施した。水管理に関しては、播種後に土壌表面が湿る程度に時々10mm程度を井戸水で灌水した。また、試験2 (栽培時期別) では、供試作物は、試験1と同一品種のコマツナの夏作と冬作、及びホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L. cv. Parade) の冬作とした。播種及び間引きは前述の方法と同じとした。コマツナは、夏作 (最高気温45℃~30℃、最低気温30℃~20℃、地温33℃~25℃) の播種を2004年8月5日、収穫を9月8日に行った。冬作 (最高気温30℃~10℃、最低気温15℃~-5℃、地温25℃~3℃) の播種は2004年10月30日、収穫は翌年1月12日に行った。ホウレンソウは、夏作が高温によって栽培不能となり、冬作のみ播種を2004年10月30日、収穫を2005年1月20日に行った。なお、作物の栽培は、気温が屋外条件に近い採光条件の比較的良好な堆肥舎両側の下屋において、無加温で前述と同様の方法で行った。

4. 調査及び分析方法

コマツナ及びホウレンソウの生育調査は、収穫後に株ごとに葉数、最大葉の地上部長、葉身長及び葉幅を測定した。収量調査は、生体重と乾物重を地上部は株ごとに、地下部はポットごと (3株合計) に測定した。また、その他に冬作では根長を測定し、ホウレンソウでは葉色を葉緑素計 SPAD-502 (藤原製作所製) の SPAD 値として計測した。土壌の分析は、供試土壌及び各栽培跡地土壌で実施した。跡地土壌については作物の収穫直後に4ポットの土壌を合わせて分析試料とした。土壌の pH (H₂O)、EC、硝酸態窒素 (NO₃⁻-N) 及びアンモニア態窒素 (NH₄⁺-N) は定法 (土壌環境分析法編集委員会, 1997)、水溶性リン酸 (PO₄³⁻-P) 及び水溶性塩素 (Cl⁻) はオートアナライザー (ブラン・ルーベ社製 Traacs2000) 法で分析した。リン酸吸収係数、トルオーグリン酸及び陽イオン交換容量についても定法 (土壌環境分析法編集委員会, 1997) で分析した。また、水

溶性及び交換性の陽イオンは原子吸光 (日立社製 Z-6100) 法、全窒素 (T-N) 及び全炭素 (T-C) は NC アナライザー (住化分析センター社製 NC9000) 法で分析した。牛ふん炭の分析は、原体の3か所から任意に採取した試料を混合し、土壌の分析方法に準じて行った。ただし、pH (H₂O) 及び EC 測定時の水抽出率については1:20とした。また、ク溶性のリン酸及びカリの分析は肥料分析法 (越野, 1988) によった。

第3節 結果

1. 牛ふん炭の成分特性

試験1で供試した牛ふん炭の化学性は、第2-1表に示すように、炭化温度500℃では、pH (H₂O) が9.9、ECが18.8dSm⁻¹、全窒素が1.4%、全炭素が27.2%、ク溶性リン酸が1.9%、ク溶性カリが6.9%であった。一方、炭化温度800℃では、pH (H₂O) が9.8、ECが19.4dSm⁻¹、全窒素が0.6%、全炭素が19.9%、ク溶性リン酸が2.5%、ク溶性カリが7.2%であり、全窒素及び全炭素の800℃における減少を除くと、炭化温度による化学性の大きな違いは認められなかった。牛ふん炭の化学性の全般的な特徴は、炭化物としては全炭素含量が少なく全窒素含量が比較的多いこと、各塩類濃度が高いことが挙げられる。特に水溶性塩素は約9%と高濃度に含まれているため、水抽出率が1:20の高い割合にも関わらず、ECが顕著に高かった。肥効成分としては、リン酸及びカリが比較的多く含まれ、その内リン酸では水溶性の比率が低くてク溶性が大部分を占め、カリでは水溶性の比率がク溶性に対して半分程度を占めた。なお、栽培時期別の試験2に用いた500℃の牛ふん炭は、作成時期が試験1の500℃の供試牛ふん炭より約1年遅いロットであったが、その化学性は、第2-2表に示すように試験1の牛ふん炭とほぼ同様であった。

2. 炭化温度の異なる牛ふん炭のコマツナに対する速効性肥料代替性 (試験1)

コマツナの生育調査結果は第2-5表に示すとおりである。黒ボク土及び砂質土のいずれの場合も、無肥料区では、葉数、地上部長、最大葉の大きさ、生体重及び乾物重の各生育項目が標準区に比べて著しく減少した。無PK区についても、地上部重量が標準区に比べて減少する傾向があったが、それ以外の生育項目に大きな差は認められなかった。一方、リン酸成分を標準区と同等量施用した炭500℃1倍区及び炭800℃1倍区では、標準区に対して、いずれの土壌においても各生育項目に全く

差が認められなかった。従って、本試験の範囲では、牛ふん炭中のリン酸及びカリには、炭化温度及び土壌の種類に関わらず、肥料代替性があると判定された。

3. 栽培時期の異なるコマツナ及びホウレンソウに対する牛ふん炭の速効性肥料代替性 (試験2)

夏期及び冬期のコマツナ栽培における牛ふん炭の肥料代替性は、第2-6表及び第2-7表に示すとおりである。夏期の高温下の栽培では、黒ボク土に比べると、砂質土ではコマツナ地上部の生育が劣る傾向にあったが、標準区と炭500℃1倍区の間では、いずれの土壌でも各生育項目に差が認められなかった。一方、冬期の低温下の栽培においては、夏作に比べて、地上部長が短く、葉数

及び地上部重が増加する異なった草姿を呈した。しかし、いずれの土壌の場合でも、夏作と同様に標準区及び炭500℃1倍区の間では各生育項目に差は認められなかった。以上から、牛ふん炭中のリン酸及びカリには、コマツナに対して栽培期間の温度条件に関わらず、化学肥料の代替性があると判定された。

冬期のホウレンソウに対する牛ふん炭の肥料代替性は、第2-8表に示すとおりである。黒ボク土及び砂質土において、炭500℃1倍区は、標準区及び標準+Ca区に対して、ほぼ全ての生育項目で差が認められず、ホウレンソウ栽培においても牛ふん炭中のリン酸及びカリの化学肥料代替性が認められた。

第2-5表 炭化温度の異なる牛ふん炭の施用がコマツナの生育に及ぼす影響 (n = 4)

試験区	葉数 (枚)	地上部長 (cm)	最大葉		地上部		地下部	
			葉身長 (cm)	葉幅 (cm)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)
黒ボク土								
標準	9.0 b	22.7 b	11.1 b	8.7 b	61.4 b	5.1 c	7.2 a	0.41 a
無PK	8.6 b	22.4 b	11.3 b	8.6 b	52.1 b	3.7 b	4.8 a	0.22 a
無肥料	6.4 a	13.2 a	6.0 a	4.6 a	11.3 a	1.6 a	4.7 a	0.31 a
炭500℃1倍	8.9 b	23.4 b	11.1 b	8.9 b	62.5 b	5.0 c	5.9 a	0.38 a
炭800℃1倍	9.2 b	23.4 b	11.8 b	8.8 b	63.0 b	4.8 c	5.2 a	0.39 a
砂質土								
標準	9.2 b	21.3 b	10.7 b	8.7 bc	56.7 b	5.2 b	6.5 a	0.47 a
無PK	9.0 b	21.7 b	10.3 b	8.1 b	51.3 b	4.9 b	6.9 a	0.36 a
無肥料	5.7 a	12.1 a	5.1 a	4.2 a	7.9 a	1.1 a	6.0 a	0.28 a
炭500℃1倍	9.2 b	22.9 b	10.7 b	8.8 bc	58.3 b	5.1 b	8.8 a	0.51 a
炭800℃1倍	9.0 b	23.4 b	11.6 b	9.6 c	58.4 b	5.2 b	6.8 a	0.45 a

注) 同一の英文字間には、5%水準で有意差なし(Tukeyの方法による)。

第2-6表 夏期のコマツナ栽培における牛ふん炭の速効性リン酸・カリ肥料代替性 (n = 4)

試験区	葉数 (枚)	地上部長 (cm)	最大葉		地上部		地下部	
			葉身長 (cm)	葉幅 (cm)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)
黒ボク土								
標準	9.9	24.3	11.6	9.7	81.1	6.8	13.0	0.9
炭500℃1倍	9.7	26.2	12.5	10.3	80.4	6.7	12.9	1.0
砂質土								
標準	8.5	23.5	10.8	9.1	54.6	6.0	13.9	1.1
炭500℃1倍	8.4	24.5	10.8	8.6	58.1	5.8	13.9	1.1

注) 両区では、いずれの測定項目も5%水準で有意差が認められない(t検定による)。

第2-7表 冬期のコマツナ栽培における牛ふん炭の速効性リン酸・カリ肥料代替性 (n = 4)

試験区	葉数 (枚)	地上部長 (cm)	最大葉		地上部		地下部		根長 (cm)
			葉身長 (cm)	葉幅 (cm)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)	
黒ボク土									
標準	10.5	20.0	11.0	8.4	76.6	9.1	12.7	1.1	28.7
炭500℃1倍	10.1	19.6	11.0	8.4	74.4	8.4	11.9	1.0	33.0
砂質土									
標準	9.8	16.8	9.5	7.6	49.1	6.0	16.9	1.4	37.5
炭500℃1倍	10.1	18.5	10.0	8.0	60.3	7.3	19.4	1.5	37.0

注) 両区では、いずれの測定項目も5%水準で有意差が認められない(t検定による)。

第2-8表 冬期のハウレンソウ栽培における牛ふん炭の速効性リン酸・カリ肥料代替性 (n = 4)

試験区	葉色 (SPAD値)	葉数 (枚)	地上部長 (cm)	最大葉		地上部		地下部		根長 (cm)
				葉身長 (cm)	葉幅 (cm)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)	生体重 (g pot ⁻¹)	乾物重 (g pot ⁻¹)	
黒ボク土										
標準	56.0	10.7	17.9	10.2	6.9	57.7	7.6	15.9	1.5	38.5
標準+Ca	54.5	10.0	16.0	9.3	6.5	45.0*	5.5*	13.8	1.1	30.8
炭500℃1倍	52.9	10.5	17.0	10.0	6.8	51.1	6.5	12.9	1.2	31.8
砂質土										
標準	55.9	9.5	16.0	9.4	6.3	46.1	6.6	20.3	1.6	41.5
標準+Ca	55.1	9.9	16.0	9.5	6.0	45.1	6.7	21.0	1.8	36.8
炭500℃1倍	53.5	9.6	15.5	9.3	6.2	47.3	6.7	17.6	1.5	37.3

注)各試験区間では,*を除き,いずれの測定項目も5%水準で有意差が認められない(Tukeyの方法による).

第4節 考察

1. 炭化温度と栽培気温が牛ふん炭のリン酸カリ肥料代替性に及ぼす影響

炭化物では作成時の処理温度の上昇に伴って急激な成分変化が起こることが知られている (Shinogi and Kanri, 2003b; 大谷・小島, 2004). 牛ふんや牛ふん堆肥から作成した炭化物中の各種成分についても,炭化処理の温度によって成分量や抽出形態が変化することが報告されている (凌・東理, 2003c; 牧ら, 2009). しかし,本試験に供試した 500℃と 800℃で炭化した牛ふん炭のリン酸及びカリ成分の違いはわずかで,これらの炭化温度の違いによるコマツナに対する肥効の違いも全く認められなかった.従って,牛ふん炭のリン酸及びカリ成分の速効性化学肥料に対する代替性は,炭化温度の違いに影響されないものと考えられる.このことは,牛ふん炭を化学肥料の代替として利用する上では,800℃に比べて炭化時のエネルギーの消費量が少ない 500℃の炭化温度が適切であることを示している.また,最近のバイオマス炭の研究では,回収される炭化物量は,400℃~500℃の熱分解に比べて,700℃以上の高温で著しく低下することが報告されている (Lehmann, 2007a). さらに,500℃以下の炭化処理に関しては,例えば 250℃程度の低温では牛ふんの炭化が完全に進まない危険性が考えられる.このような状況と既存の炭化処理の温度に伴う各成分の変動データ (凌・東理, 2003c; 牧ら, 2009) から,牛ふん炭を化学肥料の代替として利用するには,400℃~500℃程度の炭化温度で十分であると考えられる.

有機質肥料や肥効調節型肥料などの緩効性肥料,及び諸外国におけるリン鉱石の直接的な肥料利用では,栽培

期間の温度による窒素やリン酸などの肥効変動は重要な問題である (Rajan ら, 1996; 土田ら, 2003; Agehara and Warncke, 2005). また,肥効成分の中では,冬期の低温によって特にリン酸の吸収低下が起こりやすいことが指摘されている (細谷, 1985). しかし,実際栽培において速効性の化学肥料を用いる場合には,一般に栽培期間が短いこともあって,リン酸及びカリ肥料の溶出やそれらの肥効に与える気温や地温の影響は大きな問題として捉えられていない.一方,本試験で検討した牛ふん炭中のリン酸及びカリの肥効に関しては,コマツナの時期別栽培試験において,夏期と冬期の間で気温及び地温に 15℃程度の大きな差が認められたにも関わらず,いずれの場合においても化学肥料を用いた標準区とほぼ同等の生育収量が得られている.従って,牛ふん炭の肥効成分の温度依存性は速効性の化学肥料と同程度であり,牛ふん炭のリン酸あるいはカリを基準とした肥料の代替利用は可能であると判断された.なお,本試験に供試したコマツナ及びハウレンソウは,アーバスキュラー菌根菌の非宿主作物とされるアブラナ科やアカザ科である (唐澤, 2004) ことから,牛ふん炭の施用土壌においてリン酸の肥効が菌根菌の関与によって促進された (渡邊ら, 2001) 可能性はないと考えられる.また,コマツナやハウレンソウ以外では,著者らのラッキョウ (未発表),郡司掛らのキャベツ,レタス及びニンジン (熊本農研,未発表)において,牛ふん炭の速効性の化学肥料代替性が認められている.このことから,牛ふん炭は多くの作物でリン酸及びカリの代替肥料として有効に利用できるものと考えられる.

2. 牛ふん炭のリン酸及びカリ肥料の代替利用に関する利点と問題点

畜産業の盛んな米国では,牧草地などに家畜排泄物が

肥料として利用される機会が多いが、窒素を基準に施肥設計が行われるため、家畜排泄物中のリン酸とカリ成分が過剰に施用される要因となっている (Eghball, 2002)。家畜排泄物の直接的な肥料利用には、このような窒素を基準とする技術的な問題点がある。しかし、牛ふん炭では、窒素の肥効は著しく低いため、その肥効を考慮する必要がなく、リン酸を基準として施肥設計を行うことができる。また、リン酸に対するカリの比率が高い問題点についても、家畜排泄物に比べて扱いやすい素材であるため、施用時にリン酸肥料を添加してカリとの成分比を整えたり、後章で検討する除塩炭の形態にしてカリの低減を図ることで、成分的な調整が可能であると考えられる。このように、牛ふんを炭化物にして肥料成分を濃縮して利用する手法は、灰化処理と並んで合理的な家畜排泄物の肥料代替法と考えられる。家畜排泄物の炭化物は、肥料に比べると形状が不均一でハンドリングに若干の問題があり、この点では灰化処理に対する優位性がないが、炭化物の形態では、後章で検討した高濃度の含有塩類を灌水除去する際に、灰化物に比べて形状が崩壊せず、また、灌水後に乾燥処理を施さなくても施用できる利点が考えられる。

牛ふん炭の肥効成分に関しては、過リン酸石灰と塩化カリの混合肥料と同等のコマツナの生育促進効果が認められ、両者の速効性肥料の代替性があることは明らかであった。しかし、本試験では、牛ふん炭中のリン酸及びカリのいずれの成分が主体でコマツナに肥効を現したかについては検討しておらず、両成分の混合肥料の代替性があるといった結論のみが得られているに過ぎない。この点に関して、郡司掛 (熊本農研, 未発表) は、牛ふん炭中の3要素成分のうち、窒素の肥効がほとんどないこと、リン酸の肥効が若干あること、カリの肥効が高いことを複数の作物の試験結果から推定しているが、詳細は明らかではない。今後、牛ふん炭を化学肥料の代替として実用的に用いるには、牛ふん炭の主たる肥効成分の寄

与を作物ごとに明らかにすると共に、牛ふん炭の肥効成分の化学構造を解明する必要があると考えられる。

第5節 要約

牛ふん炭に含まれるリン酸及びカリ成分の速効性肥料の代替性について、1/5,000a のワグネルポットで栽培した葉菜類の生育反応から検討した。試験に用いた牛ふん炭は炭化温度 500 °C 及び 800 °C の2種類、土壌は千葉県の一般的な野菜畑の黒ボク土及び砂質土とした。施用試験は、5 mm 未満の粒度に篩別した牛ふん炭を、ク溶性リン酸及びク溶性カリの成分量で、標準区の過リン酸石灰 ($P_2O_5 150 \text{ kg ha}^{-1}$) に対して同等量、標準区の塩化カリ ($K_2O 300 \text{ kg ha}^{-1}$) に対して 1.5 倍量程度に調整して行った。両炭化物の全炭素含量は 24 前後で全窒素含量が 1 前後であった。無機態窒素は殆ど検出されず、1:20 の水抽出による pH (H₂O) は約 10 で EC は約 19 dSm^{-1} と高かった。また、肥効成分のリン酸及びカリはク溶性で 2~7% 程度含まれ、ク溶性に占める水溶性の割合はリン酸で 10~20%、カリでは 40% 程度であった。副次成分の水溶性塩素は約 9% と多い特徴があった。牛ふん炭の化学性の炭化温度 (500 °C 及び 800 °C) による違いは、全炭素及び全窒素の 800 °C における減少傾向を除くと、比較的小さかった。両炭化温度の牛ふん炭施用区と標準区においてコマツナの生育を比較した結果、いずれの土壌でも有意差は認められず、牛ふん炭の化学肥料代替性は炭化温度に依存することなく認められた。また、炭化温度 500 °C の牛ふん炭を平均地温が約 15 °C 異なる夏作と冬作のコマツナ、及び冬作のホウレンソウに施用した結果、牛ふん炭区は、いずれの作物及び栽培時期においても標準区と同等の効果が得られ、牛ふん炭の栽培時期に依存しない化学肥料代替性が確認された。