

牛ふん炭化物の肥効特性と露地野菜に対する効果的な施用法 Nutritional Characteristics of Carbonized Cattle Feces and Effects of its Application on Open Culture of Green Vegetables

歌野裕子、三牧奈美^{*1}、郡司掛則昭、凌祥之^{*2}

Hiroko UTANO, Nami MIMAKI, Noriaki GUNJIKAKE and Yoshiyuki SHINOGI

要約

牛ふん炭化物の利用法を確立するため、炭化処理温度の異なる牛ふん炭化物の主要養分の肥効、およびほ場レベルでの葉菜類に対する肥効の確認と炭化物の連用が土壌環境に及ぼす影響について検討した。炭化物の成分組成は処理温度が高くなるにつれて窒素が減少し、リン酸や加里は増加する。炭化物中の窒素の肥効は炭化温度とともに低下し、500℃ではほとんど認められない。これに対して、加里は100%、リン酸は10%程度の化学肥料代替率が認められる。特に、500℃以上で処理した炭化物が葉菜類に対する化学肥料のカリウム代替物として有効である。また、炭化物の2t/10aまでの施用は土壌物理性の改善効果が期待できるが、跡地土壌の交換性カリウムが富化されやすいため土壌診断に基づき施用量を決める必要がある。

キーワード：牛ふん、炭化、肥効特性、カリウム、葉菜類

I 緒言

九州地域で飼育される家畜頭数は全国の約3割を占め¹⁾、年間1,800万tに上る膨大な量の家畜ふん尿が排出されている。これら家畜ふん尿の処理法として最も一般的に行われているのは堆肥化であるが、品質のバラツキやハンドリング、輸送性が悪いといった問題点から耕種農家による活用が進まず需要の伸び悩みが続いている。このため行き場のない余剰の家畜ふん尿はほ場に直接還元されることも多く、土壌に過剰に蓄積された養分が深刻な環境汚染問題を引き起こす場面も多々見受けられる。

これらを解決する方法の一つとして現在注目されているのが炭化技術である。これは家畜ふん尿を炭化させるため容積が大幅に減少でき、尿処理が可能であるといった利点をもつ。しかし、炭化物のリサイクル利用技術については研究例はほとんどなく、炭化処理技術の普及上の大きな障害となっている。

そこで、本報告では炭化処理で生じた牛ふん炭化物を有機性資源の1つとしてリサイクル利用するための技術確立を図るため、炭化物の肥効特性を明らかにし、露地野菜に対する炭化物の利用法について検討した結果について報告する。

II 牛ふん炭化物の肥効特性

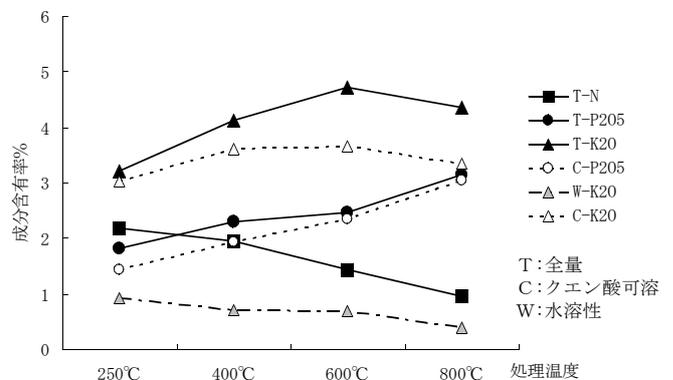
1 供試した炭化物の化学性

牛ふん炭化物の肥効特性を明らかにするため、

まず、処理温度が炭化物の化学的性質に及ぼす影響について検討した。外部加熱式（ロータリーキルン方式、炭化処理温度最大1,000℃、処理能力30kg/時）の炭化処理装置で、250℃～800℃までの4段階で処理した炭化物を使用した。

牛ふん炭化物のpH（1：10=炭化物：水）およびEC（1：10=炭化物：水）は炭化温度の上昇とともに高くなる傾向が認められ、炭化物の化学性は炭化温度に強く影響されると考えられた。

成分組成では、窒素含量は炭化温度の上昇に伴い減少したが、加里やリン酸および石灰は増加した（第1図、第2表）。これらの増加傾向は炭化温度によってやや異なり、加里は炭化温度600℃まで増加したが、それ以上の温度では増加はほとんど認められなかった。



第1図 処理温度が牛ふん炭化処理物の成分組成に及ぼす影響

※1 熊本県食品加工研究所 ※2 独立行政法人農業工学研究所

一方、リン酸及び石灰は炭化温度 250℃～800℃までは大きく増加した(第2表)。また、形態別成分量ではリン酸はほとんどがク溶性の形態で存在するのに対し、加里はク溶性とともに水溶性の形態で比較的多く存在していた(第1図)。

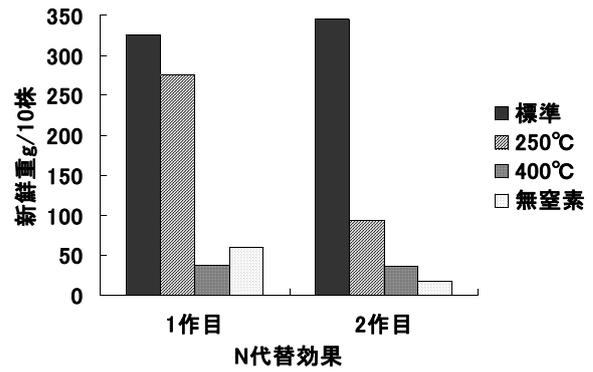
2 牛ふん炭化物の肥効特性

牛ふん炭化物の肥料効果を検討するため、肥料の主要成分である窒素、リン酸および加里について炭化物を化学肥料代替物とした施用試験を行った。牛ふん炭化物の成分組成を基に、炭化物中の窒素およびリン酸は肥効を10%、加里は100%と想定し、ドレンベッド(幅84cm、培土:黒ボク土、試験規模:1.6㎡/区、2反復)で行ってコマツナを栽培した。窒素は250～400℃、リン酸は400～600℃、加里は250～800℃の炭化温度で処理したものを供試し、施肥基準:N:P₂O₅:K₂O=15:15:15kg/10aに準じて各炭化物の施用量を決定した。栽培は2作連作し、炭化物中各養分の肥効の持続性を検討するため、2作目は化学肥料代替物としての炭化物の施用は行わず、それ以外の成分の化学肥料のみを施用した。

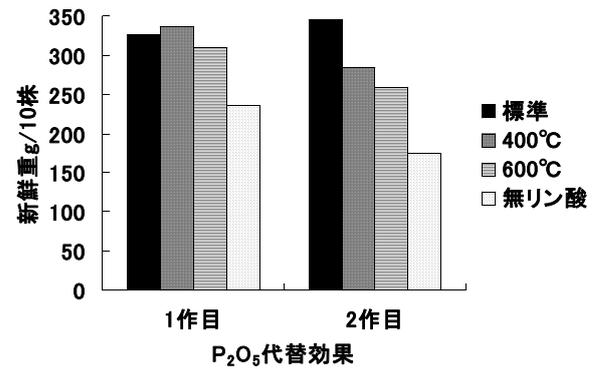
牛ふん炭化物中の窒素の肥効は、窒素の化学肥料代替率を10%として全量基肥施用した1作目では、コマツナ新鮮重が250℃の炭化物では化学肥料を使用した場合の326g/区に比較して16%減少し、400℃では90%以上と大きく減少した(第2図)。作物体中窒素の養分吸収量は収量と同様の傾向を示し、250℃区では標準区に対し67%であったが、400℃区では8%以下の吸収量であった。2作目は、化学肥料区と比較して比較的窒素供給力の高かった250℃処理区で収量比27%、400℃では無窒素区と同程度の10%以下と低くなり、牛ふん炭化物からの窒素供給は少ない。また、炭化物は窒素含有量が低く、窒素の代替物として施用すると投入量が多くなり、跡地土壌では化学肥料区に比べpHが高く、2作目跡でも化学肥料区より20倍近い量の交換性カリウムが残存した。

牛ふん炭化物中のリン酸は、窒素と同じ10%の化学肥料代替率で施用すると、1作目の新鮮重は化学肥料区に比べ95～103%とほぼ同等のものが見られ、作物体のリン酸吸収量も同程度であった。2作目の新鮮重はすべての区で無リン酸区を上回ったが、化学肥料区と比較すると56～82%と減収した(第3図)。

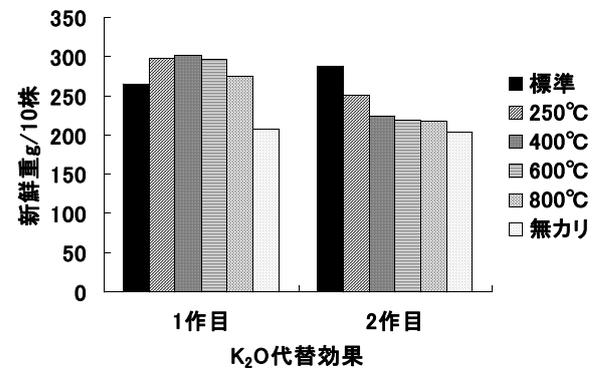
栽培跡地土壌では交換性カリウム量が化学肥料区に比較して1.6～2.3倍増加し、土壌にやや集積する傾向が見られた(第5図)。



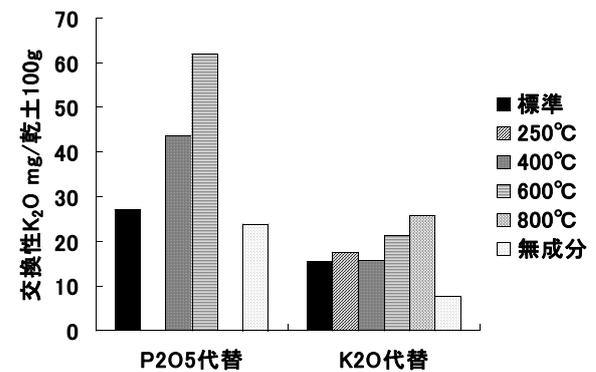
第2図 コマツナ新鮮重に対する炭化物中窒素の化学肥料代替効果



第3図 コマツナ新鮮重に対する炭化物中リン酸の化学肥料代替効果



第4図 コマツナ新鮮重に対する炭化物中加里の化学肥料代替効果



第5図 栽培跡地の交換性カリウム残存量

一方、炭化物中の加里の化学肥料代替率を 100%として施用すると、1作目の新鮮重は化学肥料区に対して 104～114%とほぼ同等であり、収量の変動に炭化温度の影響はほとんど見られなかった(第4図)。養分吸収量は、施用した炭化物の処理温度が高くなるほど窒素吸収量がやや低くなる傾向にあったが、リン酸や加里は同程度の吸収量であり、全体的には化学肥料区と遜色ないものであった。しかし、2作目では新鮮重は化学肥料区に対し 75～87%と減収し、いずれの養分吸収量も低下した。栽培跡地土壌の交換性カリウムは高温処理の炭化物施用区で増加する傾向にあったが、土壌への集積は認められなかった(第5図)。

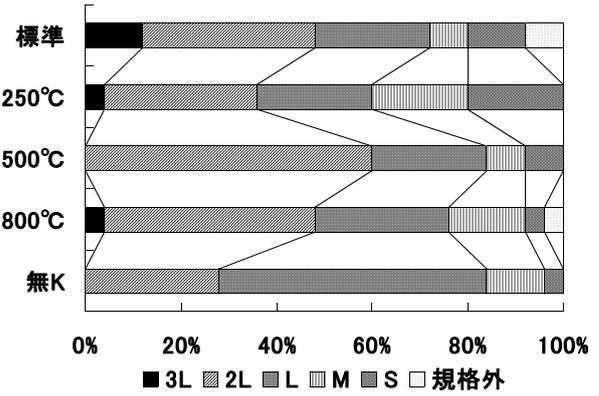
III 葉菜類に対する牛ふん炭化物の施用効果

1 化学肥料加里の代替物としての施用試験

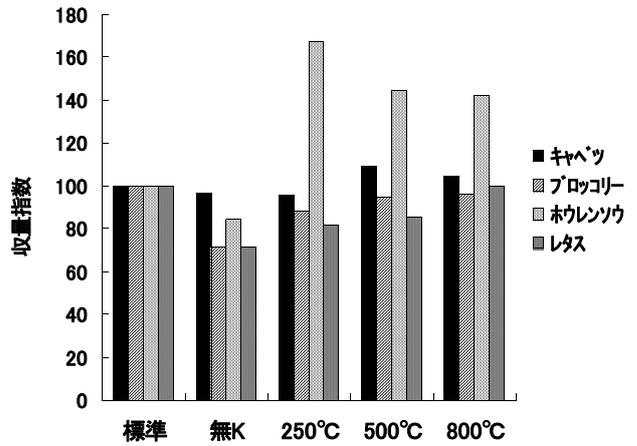
牛ふん炭化物の化学肥料の加里代替物としての利用をほ場レベルで確認した。供試土壌は黒ボク土で、1.2m × 24m、28.8 m²/区の試験規模で行った。牛ふん炭化物は 250、500、800℃の炭化温度で処理したものを使用し、2003 年秋冬作キャベツから翌年 2004 年春作レタス、同年秋冬作ブロッコリーを3作連作した(2004 年は別ほ場で雨よけハウレンソウを栽培した)。それぞれの施肥基準(キャベツ 24:20:20、レタス 20:20:20、ブロッコリー 30:35:20、ハウレンソウ 20:20:18kg/10a)と、炭化物中の水溶性カリウム含量を基に加里の化学肥料代替率を 100%として各炭化物の施用量を決定した。

(1) 秋冬キャベツに対する肥効

牛ふん炭化物を化学肥料加里代替物としてキャベツ(麗峰1号)に施用すると、新鮮重は慣行の化学肥料施肥と比べ炭化温度 250℃でやや小さくなったものの、500 および 800℃では同等の収量が得られ、商品性の高い 2L～L 級品の割合が増加した(第6図)。作物体の養分吸収量は、標準区に比べ炭化物を施用した区で結球中のカリウム吸収量が高まる傾向が見られた。また、栽培跡



第6図 キャベツの出荷規格分布 (H15 年秋冬作)



第7図 処理温度の異なる牛ふん炭化物が葉菜類の収量に及ぼす影響

地土壌では炭化物の施用でいずれも pH が高くなり、処理温度の高い炭化物ほど交換性カリウム量が増加する傾向にあった(第8図)。

(2) 秋冬ブロッコリーに対する肥効

次作のブロッコリー(緑麗)栽培では、収量は慣行施肥区と比較していずれの処理温度の炭化物施用区でも減少した。しかし、最も低かった 250℃処理区の 12%減に対し、500℃処理区では 5%、800℃処理区は 3%の減少で、炭化処理炭化

第1表 牛ふん炭化物の化学肥料のカリウム代替物試験における試験区の構成

試験区	炭化条件	炭化物のカリウム想定肥効率%	炭化物施用量 kg/10a				標準施肥区 化学肥料施用量 kg/10a			
			キャベツ	レタス	ブロッコリー	ハウレンソウ	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
標準施肥	—	—	—	—	—	—	キャベツ	24	20	20
牛炭250℃	250℃	100	625	625	560	504	レタス	20	20	20
牛炭500℃	500℃	100	676	676	571	514	ブロッコリー	30	35	20
牛炭800℃	800℃	100	760	760	766	690	ハウレンソウ	20	20	18
無カリ	—	—	—	—	—	—				

第2表 葉菜類に対する施用試験で用いた牛ふん炭化物の化学性

【キャベツ、レタス】									
資材名	pH	EC mS/cm	TN	TP	TK	WK	CaO	MgO	
	(1:5)	(1:5)	%	%	%	%	%	%	%
牛ふん炭 250℃	8.05	12.78	2.25	1.81	4.60	3.20	2.37	1.08	
牛ふん炭 500℃	10.14	14.27	1.31	2.80	6.09	2.96	3.28	1.62	
牛ふん炭 800℃	9.86	19.63	0.64	2.65	6.42	2.63	3.31	1.62	

【ブロッコリー、ホウレンソウ】									
資材名	pH	EC mS/cm	TN	TP	TK	WK	CaO	MgO	
	(1:5)	(1:5)	%	%	%	%	%	%	%
牛ふん炭 250℃	10.35	7.59	1.98	2.55	5.79	3.57	2.73	1.30	
牛ふん炭 500℃	11.41	9.49	1.18	2.66	7.40	3.50	2.85	1.75	
牛ふん炭 800℃	11.11	9.97	0.59	3.00	6.80	2.61	2.90	1.68	

処理温度が高くなるほど収量は増加し前作のキャベツと同様の傾向を示した(第7図)。作物体の養分濃度や吸収量は標準区との差は判然としなかったが、炭化物施用区間で比較すると炭化温度が高い区ほどカリウム量は増加傾向にあった。また、跡地土壌では標準区より炭化物施用区でpHが上昇し、交換性カリウム量が増加した。

(3) 雨よけホウレンソウに対する肥効

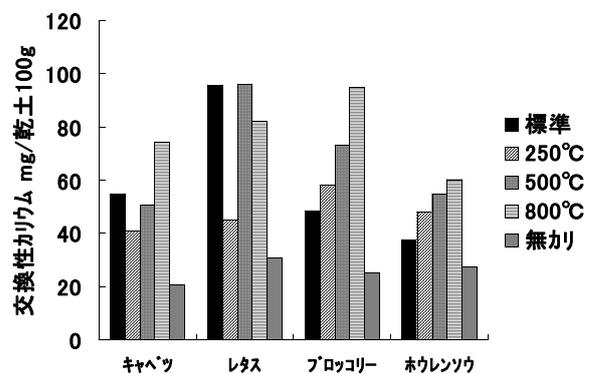
雨よけ栽培におけるホウレンソウ(アトラス)の収量は、標準区に比べ炭化物施用区で143～168%と大きく増加し、炭化温度の低い250℃処理区で最も増収した(第7図)。作物体の養分濃度や吸収量は、標準区に比べ炭化物施用区でカリウムおよびリン酸量が増加した。跡地土壌の化学性は、標準区に比べ炭化物施用区でpHが高くなり、硝酸態窒素以外の土壌養分が増加する傾向にあった。

(4) 冬春レタスに対する肥効

冬春レタス(シスコ)の収量は、慣行施肥区と比較して、炭化温度800℃処理区で同等の収量が得られたが、250℃処理区では19%、500℃処理区で15%減少し、炭化温度が低いと減収する傾向が見られた(第7図)。作物体の養分濃度は、生育期間を通じ高温での炭化処理区でカリウム濃度が高くなり、結球中のカリウム吸収量も同様の傾向であった。跡地土壌では、慣行区に比べ高温で炭化処理した炭化物施用区でpHが高いが、いずれの養分も標準区より低濃度であり、特に処理温度が低い250℃でその傾向は顕著であった。また、土壌養分は硝酸態窒素を除いていずれも炭化温度の上昇とともに高くなる傾向が認められた。

2 牛ふん炭化物の連用が土壌環境に及ぼす影響

牛ふん炭化物は化学肥料の加里とよく似た肥効を示すが、生産資材として使用するには連用が作物の生育や環境に及ぼす影響を明らかにしておく



第8図 処理温度の異なる炭化物施用が土壌中の交換性カリウム残存量に及ぼす影響

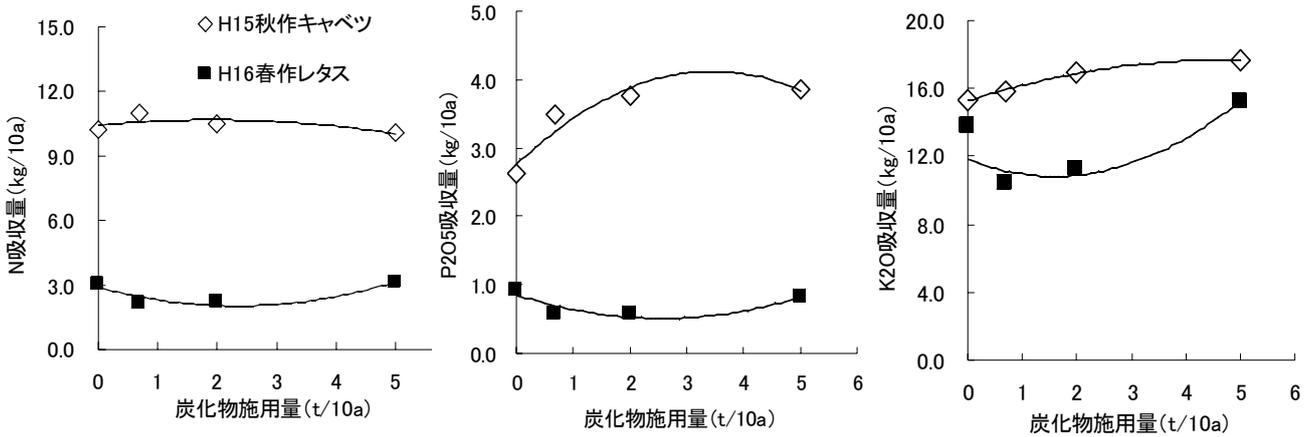
必要がある。そこで、上述のカリウム代替物としての施用試験(1作あたり平均約660kg/10a施用)と併せ、500℃で処理した牛ふん炭化物を10a当たり2tおよび5tを毎作施用する栽培試験を3作行った。(試験規模:1.2m×12m, 14.4㎡/区)

(1) 炭化物施用量と収量の関係

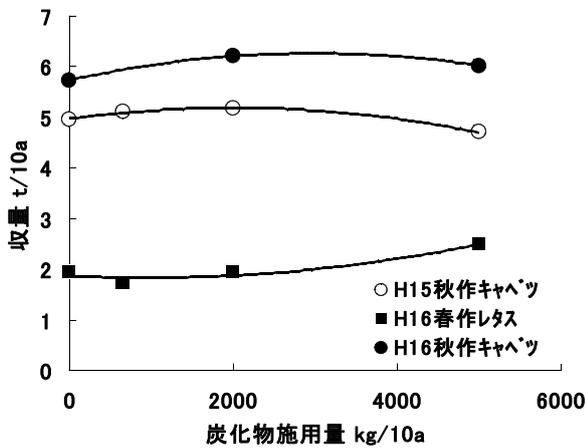
1作目の秋冬作キャベツの収量は、牛ふん炭化物を化学肥料のカリウム代替物として10aあたり660kg施用した区と2t施用区は同程度で、化学肥料のみの標準区と比べて増収したが5t施用では減少した。品質も2t施用では2L～L級品の割合が高かったのに対し、5tではM級品の割合が増加する傾向が見られた。

2作目の冬春作レタスでは、標準区に対しカリウム代替量の660kg施用で減収したが、2t施用で同程度の収量となり5t施用では増収した(第10図)。

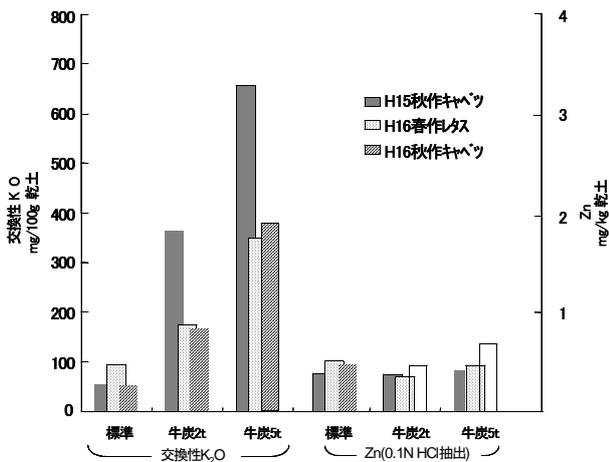
3作目の秋冬作キャベツの収量は1作目と同様の傾向を示し、標準区に対し2t施用で収量が増加し5t施用で減収した。作物体中の養分濃度は標準区と比較して、いずれも炭化物施用でカリウム濃度が増加したが、他の成分については試験区間での明確な差は見なかった(第9図)。



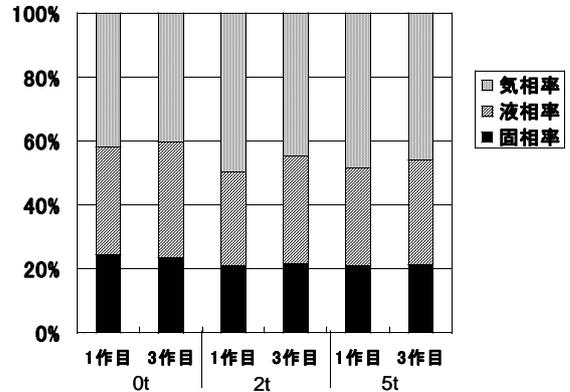
第9図 炭化物の施用量と作物体の養分吸収量の関係



第10図 炭化物の施用量が葉菜類の収量に及ぼす影響



第11図 炭化物の連用が土壌の交換性カリウムおよび亜鉛の蓄積に及ぼす影響



第12図 炭化物の連用が土壌の物理性に及ぼす影響

(2) 炭化物施用量と跡地土壌の理化学性

栽培跡地では、慣行区に比べ炭化物を施用した区で pH が大きく上昇した。土壌養分では、牛ふん炭化物施用で交換性カリウム量が著しく高くなり、1作目跡では慣行区に対し 662 ~ 1,198 % の増加となった。2作目の春作レタスでは慣行区比 181 ~ 366 % となり増収したが、いずれも土壌への残存量は多く、3作目の秋冬作でも 378 ~ 781 % と土壌に過剰集積されることが推定された(第11図)。その他の成分では、炭化物施用で交換性マグネシウムが増加する傾向にあった。土壌中の 0.1 M HCl 可溶重金属濃度は、Cd や Cu は標準と同等でほとんど認められなかったが、Zn は連用によって 5t の施用で高くなる傾向にあった(第11図)。

また、炭化物施用による土壌の物理性は、施用量の増加とともに三相分布の気相率の増加と固相率の減少が見られ、物理性の向上が認められた(第12図)。

IV 考察

炭化処理で生じた牛ふん炭化物を有機性資源として位置づけリサイクル利用するためには、炭化物の肥効特性を把握するとともに、その施用が作物の生育や周辺環境に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

牛ふん炭化物に含有される肥料成分分析によれば、炭化物中の各成分は、堆きゅう肥とは異なる化学性を示した。とりわけ、炭化処理を行うことでリン酸や加里、石灰および苦土成分が増加した。また、成分組成には炭化処理温度が大きく影響しており、リン酸や石灰は処理温度が上昇する程成分が増加し、加里も 600℃付近をピークに成分の増加がみられたが、窒素含量は逆に減少した。

牛ふん炭化物中の窒素は、堆きゅう肥とは異なりほとんど窒素無機化は起こらない²⁾。本試験でも、コマツナを供試したポット試験で窒素の化学肥料代替率は比較的窒素含量の多い 250℃の炭化物で 10%以下であることを確認した。また、炭化物に含まれるリン酸はそのほとんどが可溶性成分であり、炭化処理を行うことでカルシウムやマグネシウム濃度が高くなるため難溶性のリン酸が形成されやすいが³⁾、供試土壌は黒ボク土であるため利用率は低くなると考えられた。実際、400℃以上の炭化物で 10%程度の化学肥料代替効果を示した。

一方、加里はポット試験の結果からほぼ 100%の化学肥料代替効果が示され、栽培跡土壌でも加里の集積は見られなかったことから、化学肥料の加里代替物としての利用が期待できた。本圃における施用試験では、炭化物中の水溶性カリウム含量に基づき施用量を決定したため、処理温度の低い炭化物では施用したトータルの加里含量が高温処理の炭化物より少なく、9月上旬に定植した秋冬作のキャベツやブロッコリーでは標準区に比べ 250℃の炭化物でやや減収したが、500℃以上の炭化物ではほぼ同等の収量が得られた。これに対して、3月上旬に定植した冬春作のレタスでは、処理温度の低い 250℃の炭化物では標準区に対する収量の低下が大きく、炭化温度が上昇するにつれて増収した。このことから、牛ふん炭化物中の加里の露地野菜に対する肥効は、比較的温暖期に栽培される秋冬作野菜では炭化処理温度によらず化学肥料とほぼ同等であるが、低温期の冬春作では処理温度が低い炭化物ではやや低いと考えられる。このため、牛ふん炭化物を化学肥料加里代替物として利用する場合、炭化物の処理温度としては 500℃以上が適当であると推察された。

一方、牛ふん炭化物を生産資材として利用するには連用による土壌環境への影響を検討しておく

必要がある。牛ふん炭化物に含まれる加里は可溶性の形態のものが多く、長期連用による土壌への養分の蓄積や飼料添加物由来の重金属の蓄積等が懸念されたことから、2～5t/10aの炭化物を毎作使用した連用試験を行った。

連作後の栽培跡地土壌の化学性は、炭化物の施用量が増加すると EC や pH の上昇が大きくなる。牛ふん炭化物を化学肥料の加里代替物として連作させた平均 660kg/10a の施用では、微増ながら可給態リン酸や交換性カリウム、カルシウムおよびマグネシウムが蓄積する傾向にあるものの、土壌診断基準値内であった。しかし、2～5 t/10a 施用では交換性カリウムやマグネシウム、およびカルシウムの増加が顕著になり、特に、5t 施用ではカリウムや有効態リン酸の増加が著しく、0.1 N 塩酸で抽出した亜鉛も増加した。作物からはいずれも亜鉛や銅などの重金属は検出されなかったが、5t/10a 施用では収量が減少に転じることから、生産資材として用いる施用量としては不適であると推察する。

以上のことから、炭化処理で生じた牛ふん炭化物は加里化学肥料の代替物として露地野菜に対する使用が可能であり、連用による土壌環境への影響を考慮しても、上限 2t/10a の施用量であれば土壌物性改善効果と併せ収量の増加や品質の向上などが期待される。さらに、この施用量であれば土壌への養分集積もあまり進まず、生産資材として十分活用できると考えられる。

V 参考・引用文献

- 1) 農林水産省統計部, 畜産物流通統計 (H16)
- 2) 郡司掛則昭: 家畜ふん炭化物の肥効特性, 九州と沖縄の農業と土壌肥料 2004, 168～170
- 3) 横田剛、伊藤豊彰、小野剛志、高橋正樹、三枝正彦: 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, 74, 133～140
- 4) 薬師堂謙一、田中章浩、嶋谷智佳子: 牛ふんオガクズ堆肥および肉骨粉の燃焼温度と灰中の肥料成分含有量, 九農研(2004), 66, 134
- 5) 松丸恒夫、真行時孝: 牛ふん炭化物中リン酸、カリの肥料効果, 土肥誌, 76, 53～57
- 6) 平岡潔志、米山忠克: 窒素、リン、カリウムの過剰と生理機能, 土肥誌, 61, 315～321
- 7) 間藤徹: カルシウム、マグネシウム、微量元素などの過剰と生理機能, 土肥誌, 61, 417～422
- 8) 郡司掛則昭、久保研一: 有機物の窒素分解特性と果菜類に対する効果的な施用法, 熊本県農業研究センター研究報告(1996), 5, 46～55

- 9) 小柳渉、安藤義昭、水沢誠一、森山則男：家畜ふん堆肥中の塩類組成の特徴，土肥誌，75，91～93(2004)
- 10) 萩山慎一、坂本一憲、鈴木弘行、牛尾進吾、安西哲郎、犬伏和之：家畜ふんコンポストを施用した各種畑土壌におけるコマツナによる亜鉛と銅の吸収，土肥誌，76，293～297
- 11) 日本化学会：土の化学，季刊化学総説，4(1989)

Summary

Nutritional Characteristics of Carbonized Cattle Feces and Effects of its Application on Open Culture of Green Vegetables

Hiroko UTANO, Nami MIMAKI, Noriaki GUNJIKAKE and Yoshiyuki SHINOBI

To develop and promote a usage of carbonized cattle feces, we examined to test a nutrient response of cattle feces carbide with different carbonization temperature. And evaluate an effect of its application on green vegetables under field conditions.

As for the ingredient composition of carbide, nitrogen decrease with temperature and phosphate potassium tend to increase. Most of the nutrient response to nitrogen in carbide can not be found. But 100% of potassium and about 10% of phosphate are available. Potassium of carbide treated with more than 500 °C is appropriate for green vegetables.

The use of carbide can expect improvement of the physical property of soil, but possibility would increase to accumulate the potassium in soil. In order to prevent this accumulation, an amount of application of carbide is limited to less than 2t/10a.