

廃棄バレイショ炭化物の特性と バレイショ，レタスおよびダイコンへの施用効果

大津善雄，永田浩久，里脇岩男¹⁾，大井義弘，大井友紀子²⁾，藤山正史

キーワード：バレイショ，廃棄物，炭化物，カリウム肥料代替，有機質資材

Characteristics of waste potato carbide and effect of application
to potato, lettuce and Japanese radish cultivation

Yoshio OHTSU, Hirohisa NAGATA, Iwao SATOWAKI, Yoshihiro OHI,
Yukiko OHI, Masafumi FUJIYAMA

目次

1. 緒言	64
2. バレイショの炭化処理と炭化物の特性	65
1) 材料および方法	65
2) 結果および考察	65
3. バレイショ炭化物のバレイショ，レタスおよびダイコンへの施用効果	69
1) バレイショ炭化物のカリウム肥料代替効果	69
2) バレイショ炭化物の土づくり効果	72
4. 総合考察	75
5. 摘要	77
6. 引用文献	78
Summary	78

1) (有) 里脇製作所, 2) 長崎県病虫害防除所

1. 緒言

有機性廃棄物による環境負荷が社会問題となっており、これらを廃棄するのではなく、“資源”としてとらえ有効に利活用することが深刻化する地球温暖化の防止や循環型社会の形成等の観点から強く求められている¹⁰⁾。再生可能な有機物、すなわちバイオマスの長崎県における発生量は湿潤重量換算で336万2千tと試算されている⁹⁾。そのうち家畜ふん尿が47%を占め最も多く、大部分が堆肥化されて農耕地に還元利用されている。また、農作物残渣は年間45万8千t発生し、そのほとんどが稲わら等である。これらは家畜の敷料や堆肥の副資材等としての利用や農地へのすき込み等で処理・利用されている。しかしながら野菜等については、温室効果ガスや腐敗臭の発生、病原菌の拡散防止のため、直接土壌還元できない場合があり、出荷時に発生する病虫害被害を含む規格外品の廃棄農産物の有効な処理方法の確立が環境保全や有機性資源の利活用の観点から求められている。

長崎県のバレイショは温暖な気候を生かし、春作―秋作の年2回作付されており、北海道に次ぐ全国2位の産地である。バレイショの作付面積は春作―秋作をあわせて4,230ha、収穫量は110,000tであり、本県畑作の重要な位置を占めている(2008)⁶⁾。その生産現場においては、小さいも、傷いもおよびそうか病罹病いも等の規格外品が年間約15千t発生していると推定されている。これらの大部分が産業廃棄物として焼却処理、または農業者が所有地内に埋設処理等を行っている。焼却処理は、地球温暖化の一つの要因とされる二酸化炭素を多く排出し、処理費用は農業経営において負担が大きい。埋設処理は腐敗臭等が発生し、

埋設場所の確保が困難になってきており、今後継続して処理を行うことが難しい状況にある。そのため、現在廃棄されるバレイショの有効利用法として、飼料化して養豚農家へ供給する手法⁴⁾や堆肥化し農地へ還元リサイクル利用する手法²⁾が開発されている。しかしながら、廃棄されるバレイショの多くは、そうか病等の罹病いもや腐敗品であり、飼料として利用できる量は限られている。また比較的大量に処理できる堆肥化については、病原菌の残存について農家の不安感が払しょくされず、製造された堆肥の使用が敬遠されている。

炭化処理は炭素を固定したまま、温度を100℃以上に上昇させる処理方法で、焼却とは異なり、大気中への二酸化炭素の放出を低減しつつ、環境への負荷も低減できる手法であり、病原菌の心配のない資材を生成する方法として有効である。炭化処理で生成された炭化物の中では、木炭が土壌の物理性の改善や微生物活性の向上などの土づくり資材としての効果が確認されており^{3), 7)}、地力増進法において土壌改良資材に指定されている。しかし、農産物の炭化物については、タマネギの炭化物が肥料効果や土壌改良効果を持つことが報告¹³⁾されているが、炭化物の特性は、材料や炭化処理温度によりそれぞれ変化することが考えられ、廃棄農産物の適正な利用を行うにはその特性を明らかにする必要がある。また、農地での施用事例はなく、資材としての評価がなされていない。そこで、これらの特性を明らかにし、農業資材としての適性について農地に施用して作物の生育、収量および土壌理化学性に及ぼす影響を検討したので、ここに報告する。

2. バレイシヨの炭化処理と炭化物の特性

県内の主要農産物であるバレイシヨを用いて炭化処理方法と製造された炭化物の特性を調査し、効率的な処理方法を検討する。

1) 材料および方法

(1) 炭化炉および炭化処理方法

炭化処理には、長崎県大村市の(有)里脇製作所が試作・開発した電気による外部加熱式、ロータリーキルンタイプの炭化炉を使用した(写真1)。炉内容積は1m³で処理能力は処理物で変動するが、最大で約500kg前後と大きく、生成物は粒状である。処理温度は最大670℃まで可能である。

炭化処理は、バレイシヨの塊茎40~400gを用い実施した。炭化炉内の容積の約80%を目安にこれらを投入し、加熱開始後、炭化炉内の温度が150, 200, 250, 275および300℃に到達した時点で処理物を炭化炉より取り出し処理温度とした。処理物は、その後、自然冷却した。また、炭化処理前の切断の有無が処理時間や炭化炉内の温度上昇に及ぼす影響について検討するため、中心を2等分したバレイシヨ塊茎も同様に炭化処理した。



写真1 キルンタイプ炭化炉

(2) 炭化物の分析方法

分析には上記5処理温度のバレイシヨ炭化物を供試した。炭化物の粒径組成は0.075, 0.15, 0.3, 0.6, 1.18, 2.36, 4.75および9.5mmの矩形ふるいを用いて5分間振とうし、表1に示す分類基準により8画分に分け、その重量を測定し、重量割合を求めた。炭化物の表面構造は、走査型電子顕微鏡を用いて観察した。

pHは炭化物に対する水の比率を1:10として測定した。全窒素および全炭素は、CNコーダー

(J-SCIENCE社製, JM1000CN)を用いて測定した。

表1 炭化物粒径の分類基準

階級	粒径の大きさ
0.075 mm	0.075mm以下
0.15 mm	0.075 <, ≤ 0.15mm
0.3 mm	0.15 <, ≤ 0.3mm
0.6 mm	0.3 <, ≤ 0.6mm
1.18 mm	0.6 <, ≤ 1.18mm
2.36 mm	1.18 <, ≤ 2.36mm
4.75 mm	2.36 <, ≤ 4.75mm
9.5 mm	4.75 <, ≤ 9.5mm

その他の無機元素は試料約1gを550℃で24時間乾式灰化した残さを硝酸-過塩素酸で分解し、全リン酸はバナドモリブデン酸法⁸⁾、陽イオン類は原子吸光法⁹⁾で測定した。リン酸およびカリウムの水溶性及びク溶性分は肥料分析法¹⁰⁾に準じて測定した。

これとは別に、保水性、比重および三相分布は、バレイシヨ炭化物(250℃処理)の2.3mmおよび0.6mm画分を用い、これらを直径5cm、高さ5cmの円筒容器に重鎮後、「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」の物理性測定法⁸⁾に準じて測定した。

(3) 炭化物のペレット成型方法

処理温度200℃および300℃のバレイシヨ炭化物の2mm以下画分を材料としてエクストルーダー方式の成型機を使用し、ペレット状への成型化を検討した。成型化する炭化物の水分は直前に約40%に調整した。

2) 結果および考察

(1) 炭化処理時間および炉内温度の推移

バレイシヨの炭化処理の概要を表2、炭化処理時間経過と炉内温度の推移を図1に示した。1回の処理量については、炭化炉容積の約80%を目安にすると、塊茎の切断の有無にかかわらず約470kg程度の処理が可能であった。炭化炉内の温度は、加熱開始後、約100℃で17時間一定に経過した後急激に上昇し、3時間程度で450℃に達し一定となった。その性状は固形物からペースト状を経て炭化物に変化した。重量減収率及び炭化物収

量は、95.9%及び43%と大きな廃棄物減重効果があった。炭化20時間の消費電力は982KWt⁻¹であった。2等分に切断したバレイシヨの炭化温度の推移、重量減少率、炭化物収率および消費電力は、無切断いもの場合と大きな差は認められなかった。炭化処理においては、炭化が始まる前の水分の除去に多くの時間を必要とし、水分含量の低い材料ほど炭化時間は短くて済むものと推察されるが、材料の2等分程度の切断は水分の蒸発促進、炭化処理時間の短縮効果はないものと考えられた。

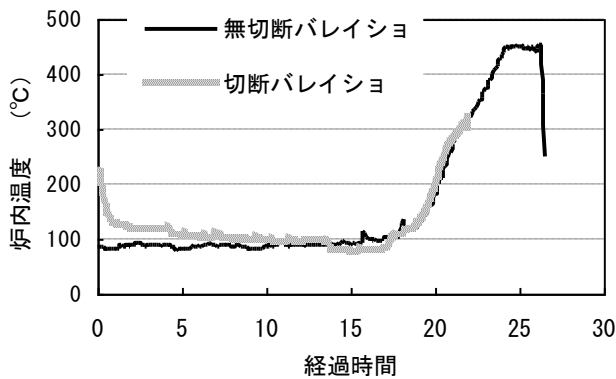


図1 炭化処理時間と炉内温度の推移

表2 バレイシヨの炭化処理の概要

	処理前		処理後	重量減少率* (%)	炭化物収率* (%)	消費電力 (KW t ⁻¹)
	重量(kg)	水分(%)	重量(kg)			
バレイシヨ	469.5	90.4	19.4	95.9	43.0	982
切断バレイシヨ	464.6	89.9	18.6	96.0	39.6	973

*重量減少率=(処理前重量-処理後重量)/処理前重量×100

炭化物収率=処理後重量/(処理全重量×(100-水分%))

(2) 炭化物の特性

バレイシヨ炭化物(写真2)の粒径は、処理温度110°Cから250°Cに上昇するにつれて最も大きい9.5mm画分が減少し、0.15mmから2.36mm画分が増加した。さらに処理温度が上昇すると1.18mmから2.36mm画分が減少し、再び4.75mmから9.5mm画分が増加する傾向がみられた。いずれの処理温度においても土壌では2mm以上の礫相当の割合が多く、木炭^{3), 7)}と比べて大きかった(図2)。



写真2 バレイシヨ炭化物
(処理温度300°C, 現物大)

粒径: ■ 0.075mm □ 0.15mm ▨ 0.3mm ▩ 0.6mm ▪ 1.18mm □ 2.36mm ▧ 4.75mm ▦ 9.5mm

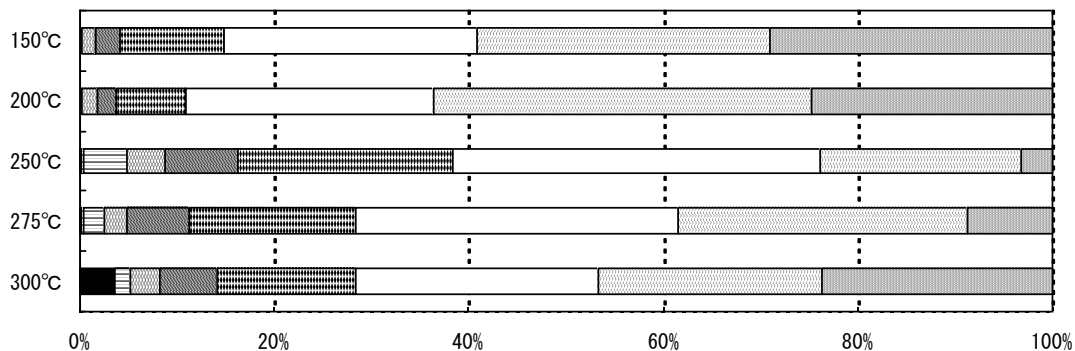


図2 バレイシヨ炭化物の炭化処理温度別粒径組成

バレイシヨ炭化物の2.36mm画分および0.6mm画分の最大容水量は43.9および57.9%, 重力水は16.2および14.4%, 有効水分は0.5および1.02であった。理論上、最大容水量は74.3および71.0%であるが、実測値はそれよりも小さかった。炭化

物を一定の容器に重鎮しただけであるので、粒子間に形成された粗大な孔隙に水を保持する力が弱いためであると考えられた。なお、有効水分は、小さく、重力水以外はpF2.7以上の土壌でいう結合水が大部分を占めており、炭化物粒子そのもの

にとりこまれた水のほとんどは、粒子表面や内部の微小な孔隙にしっかりと取り込まれており、作物が利用しにくい状態で存在しているものと推察された。仮比重は0.32および0.39 kgm^{-3} と非常に軽しうで、pF1.8時の気相は47.0および43.3%と大きかった(表3)。土壤の有効水分量を増大させる効果はないものの、重粘土壤の透水性改善や含水比の低下には効果が大きいと考えられた。

走査型電子顕微鏡で観察したバレイショ炭化物の表面構造は、処理温度250°Cで微小な孔隙が認められ始め、さらに温度が上がるにつれて増加する傾向が見られた(写真3)。

バレイショ炭化物の処理温度毎の化学性を表4に示した。pHは処理温度が上がるにつれて上昇し、275°Cで10.2まで上昇し、全炭素含有率は処理温度が上がるにつれ増加した。全窒素含有率は250°C以上の処理温度では増加がみられなかったが、300°C処理の炭化物においてもその含有率は

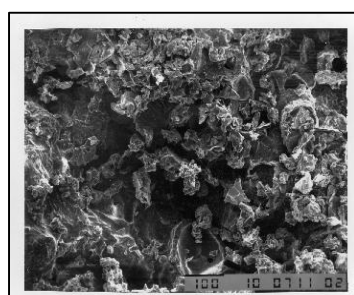
2.5%であった。リン酸、カリウム、マンガンおよび亜鉛成分は、処理温度300°Cまで揮発が少なく増加する傾向を示したが、カルシウム、マグネシウム、銅の含有率は処理温度200°C以上での増加は見られなかった。カリウム含量は、特に高く、処理温度300°Cにおいては6.93%であった。炭化物中のカドミウム含量は0.0001%前後と家畜ふん堆肥⁸⁾と同程度であり問題なかった。

肥料としての有効成分である水溶性カリウムおよびク溶性カリウム含有率は、処理温度が高くなると全カリウム含量と同様に増加するが、その割合は、若干低下する傾向が見られた。水溶性リン酸およびク溶性リン酸含有率は、処理温度が高くなると含量、全リン酸中の割合が低下した。リン酸については原料の含有量が低く、炭化処理による供給量の増大も大して期待できない(図3)。

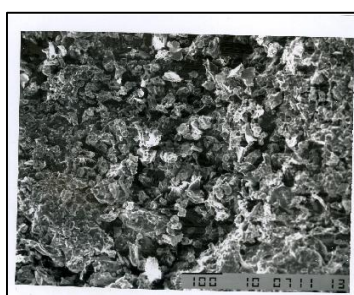
表3 バレイショ炭化物の物理性

粒径	保水性(%)			比重(kgm^{-3})		pF1.8時の三相分布(%)		
	最大含水量	重力水	有効水分	仮比重	真比重	固相	液相	気相
2.36mm	43.9	16.2	0.50	0.32	1.15	25.7	27.3	47.0
0.6mm	57.9	14.3	1.02	0.39	1.23	29.0	27.7	43.3

*最大含水量はpF0, 重力水はpF1.5-pF0, 有効水分はpF2.7-pF1.5の水分である



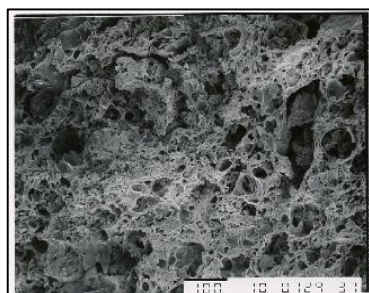
炭化処理温度150°C



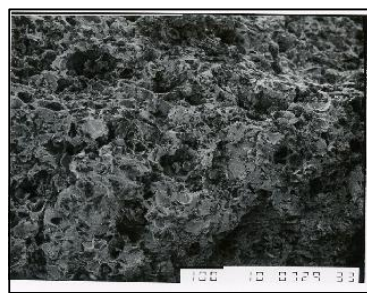
炭化処理温度200°C



炭化処理温度250°C



炭化処理温度275°C



炭化処理温度300°C

写真3 バレイショ炭化物の炭化処理温度別の走査型電子顕微鏡像(×150倍)

表4 炭化物の炭化処理温度別および原料バレイシヨの化学性

処理温度	pH (H ₂ O) 1:10	C N P K Ca Mg (%)						Fe Mn Cu Zn Cd (mg kg ⁻¹)					
		150℃	6.8	50.1	1.8	0.34	3.65	0.019	0.19	2,829	53.4	11.8	26.7
200℃	7.9	57.3	2.1	0.48	5.17	0.016	0.24	4,083	81.0	15.9	35.9	N.D	
バレイシヨ	250℃	9.6	68.4	2.5	0.64	6.14	0.019	0.32	13,889	110.8	22.1	47.4	0.6
	275℃	10.2	66.8	2.2	0.72	6.31	0.023	0.36	15,143	120.9	23.4	52.6	0.7
	300℃	10.2	69.8	2.5	0.73	6.73	0.021	0.36	14,769	136.6	22.0	54.3	0.9
原料	—	—	38.0	1.1	0.35	2.19	0.010	0.16	—	—	—	—	—

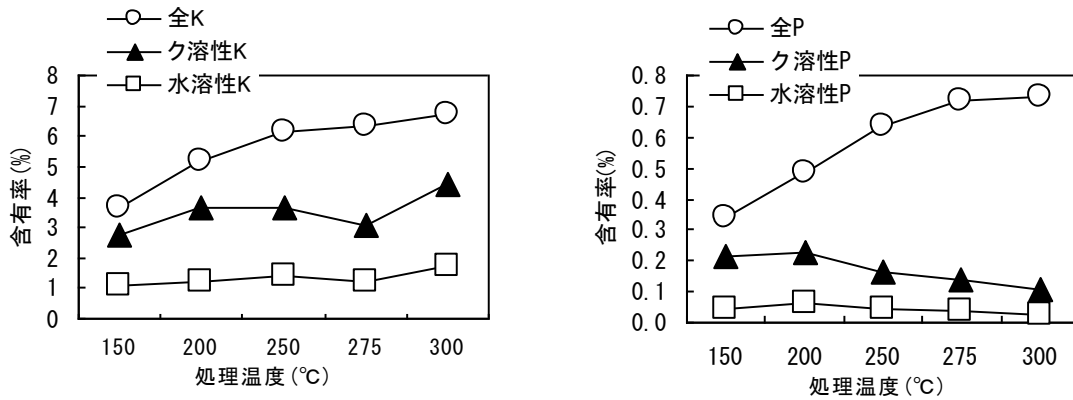


図3 処理温度とカリウム(K)およびリン酸(P)の水溶性・ク溶性成分含有率

これら炭化物の内容成分含量は木炭⁷⁾と比べると高く、タマネギ炭化物¹³⁾とは同様の傾向を示していた。これらの差は元々の処理素材の含有成分が炭化物の含量に反映されたためと考えられた。

したがって、150~300℃で処理したバレイシヨ炭化物はカリウム肥料として利用可能であり、また、有機質資材としての活用も期待できた。

(3) 炭化物のペレット成型化の割合

処理温度 200℃および 300℃のバレイシヨ炭化物の 2mm 以下画分から成型化されたペレットは、

直径 5mm、長さ 10mm 前後であった。処理温度 300℃のバレイシヨ炭化物のペレット成型化率は 38.3%と低かった(表 5)。また、塊状化し乾燥後には炭化物表面に白く塩類成分が発生した(写真 4)。処理温度 200℃のバレイシヨ炭化物のペレット成型化率は 99.1%とほとんどが成型化できた(表 5)。成型化した後も、ペレット単体ごとに形を維持し、他の成型単体との固着もなく、乾燥後も塩類成分の表面発生はなかった。

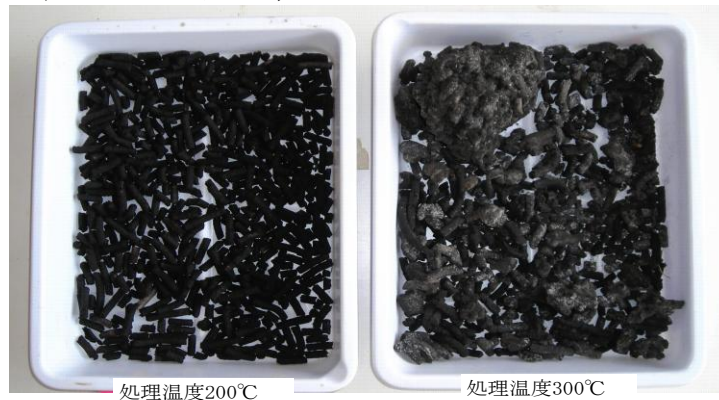


写真4 成型処理後の炭化物

表5 バレイシヨ炭化物のペレット成型化率

処理温度	ペレット成型化率	固着率	粉体率
200℃	99.1	0.0	0.9
300℃	38.3	59.2	2.5

*ペレット化率:正常に円柱状に成型した率

*固着率:正常に成型されず乾燥期間内に塊状化した率

*粉体率:固形化せず、粉のままの率

3. バレイシヨ炭化物のバレイシヨ、レタスおよびダイコンへの施用効果

1) バレイシヨ炭化物のカリウム肥料代替効果

バレイシヨ炭化物のカリウム肥料代替効果を検討するため、バレイシヨおよびレタスへの施用し、その生育、収量、無機成分含量及び土壌への影響を明らかにする。

(1) 材料および方法

7) 栽培の概要

栽培の概要を表6に示す。バレイシヨは秋作と春作の連作体系で、2007年9月から2009年6月まで4連作した。品種はデジマを用い、条間65cm、株間25cmで定植した。栽植密度は6150株/10aであった。試験場所は農林技術開発センター内ほ場で、土壌は細粒黄色土大原統である。試験規模は各区10m²で2反復とした。

春どりレタスは2009年3月から5月まで実施した。品種はステディを用い、畝幅160cm、株間35cm、4条千鳥植えで定植した。栽植密度は7100株/10aで黒ポリマルチ、露地栽培であった。試験場所は農林技術開発センター内ほ場で、土壌は細粒黄色土である。試験規模は各区3.92m²で2反復とした。

表6 バレイシヨおよびレタスの栽培概要

栽培作物	栽培期間(定植・施肥～収穫)
2007秋作バレイシヨ	9/21 ~ 12/14
2008春作バレイシヨ	3/6 ~ 6/9
2008秋作バレイシヨ	9/17 ~ 12/10
2009春作バレイシヨ	3/9 ~ 6/2
春どりレタス	2009年3/27 ~ 5/11

4) 試験区の構成

試験区の構成と炭化物代替カリウム施用量は表7、8に示すとおりである。カリウムを通常通り化学肥料で施用する慣行区と炭化物で1倍量および2倍量代替する試験区を設けた。春どりレタスについては、カリウムを施用しない無カリウム区も設置した。バレイシヨ炭化物は300℃処理の炭化物を、化学肥料の窒素は硫酸アンモニウム、リンは過リン酸石灰、カリウムは硫酸カリを使用した。炭化物、化学肥料のいずれも定植時に施用した。施肥法はバレイシヨでは全量元肥条施肥、春どりレタスでは全量元肥全層施肥とした。堆肥は施用しなかった。

7) 土壌および作物体の分析

土壌および作物体は、表6に示す収穫日と同日に採取した。土壌の理化学性および作物体の内容成分の分析は「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」⁸⁾によった。

表7 バレイシヨにおける試験区の構成

試験区	化学肥料施用量			炭化物カリウム 施用量
	N	P	K	
化学肥料	14	14	12	0
カリウム1倍量炭代替	14	14	0	12
カリウム2倍量炭代替	14	14	0	24

表8 春どりレタスにおける試験区の構成

試験区	化学肥料施用量			炭化物カリウム 施用量
	N	P	K	
化学肥料	20	20	20	0
カリウム1倍量炭代替	20	20	0	20
カリウム2倍量炭代替	20	20	0	40
無カリウム	20	20	0	0

*炭化物カリ施用量は全カリウム%で算出

*化学肥料および炭化物は10a当り施用量

(3) 結果および考察

7) バレイシヨの生育、収量、無機成分含量および土壌に及ぼす影響

4連作したバレイシヨの収量は、2作目の2008年春作までは慣行の化学肥料区とほぼ同等であったが、3作目以降は、バレイシヨ炭化物を施用したカリウム1倍量および2倍量代替区において増加する傾向が見られた(図4)。また、上いも個数

□ 化学肥料 □ カリウム1倍量炭代替 □ カリウム2倍量炭代替

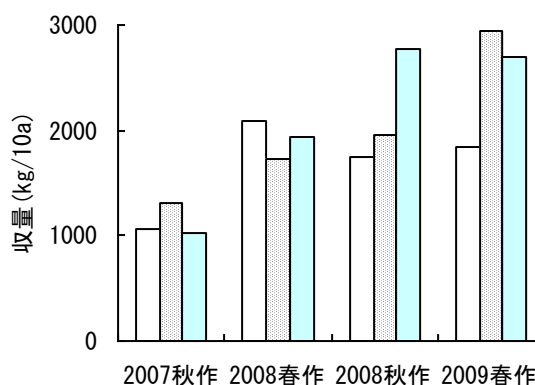


図4 バレイシヨの収量への影響

についても同様に2作目以降増加する傾向が見られた(図5).

■ 化学肥料 □ カリウム1倍量炭代替 ▨ カリウム2倍量炭代替

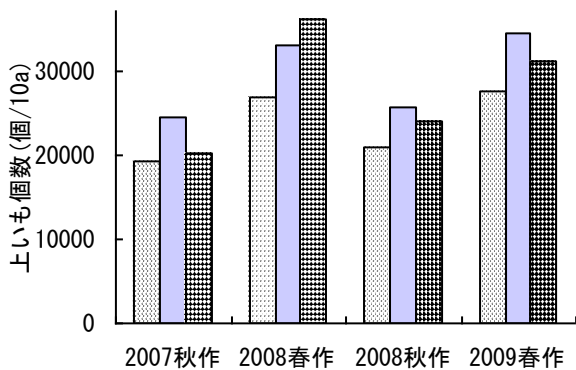


図5 バレイショの上いも個数への影響

バレイショの重要病害虫であるそうか病は、2作目の2008年春作までは炭化物の施用により発病度が高くなる傾向が見られた。しかし、2008年秋作の定植前にそうか病の防除薬剤であるクロル

ピクリンにより土壌消毒を実施したことにもより、秋作以降は、炭化物施用により発病度が慣行の化学肥料区より低下あるいは未発生となった(図6)。このことから土壌中のそうか病菌の密度がある程度高い状況で炭化物を施用すると、pHが高い炭化物の影響により栽培期間中に一時的に土壌pHが上昇し、そうか病の発病が助長され、そうか病菌の密度が低い状況における炭化物施用はそうか病の発病を助長することなく使用できるものと考えられた。バレイショのでんぷん価は、カリウムの多肥により低下することが明らかにされている¹⁾が、バレイショ炭化物を施用したカリウム1倍量および2倍量代替区においても慣行の化学肥料区と同等で影響は認められなかった(図7)。バレイショの茎葉および塊茎中のカリウム含量は、化学肥料施用区とほぼ同等で炭化物施用による影響はみられなかった(図8)。

□ 化学肥料 □ カリウム1倍量炭代替 ▨ カリウム2倍量炭代替

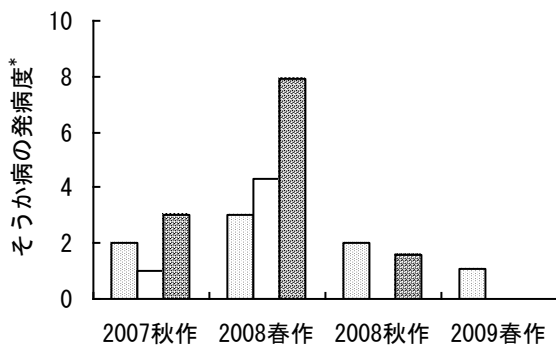


図6 バレイショのそうか病への影響

□ 化学肥料 □ カリウム1倍量炭代替 ▨ カリウム2倍量炭代替

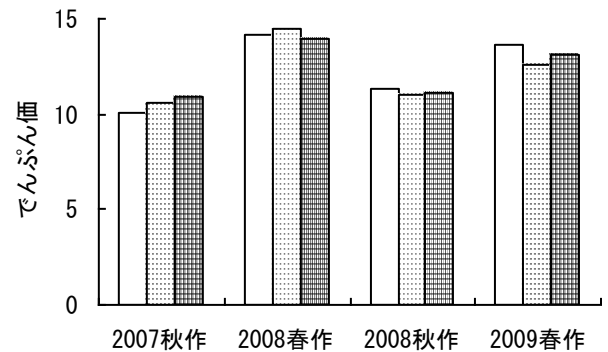


図7 バレイショのでんぷん価への影響

$$* \text{そうか病発病度} = \frac{(\text{被害程度基の個数} \times 4 + \text{同多} \times 3 + \text{同中} \times 2 + \text{同小} \times 1) \times 100}{\text{調査いも個数} \times 4}$$

□ 化学肥料 □ カリウム1倍量炭代替 □ カリウム2倍量炭代替

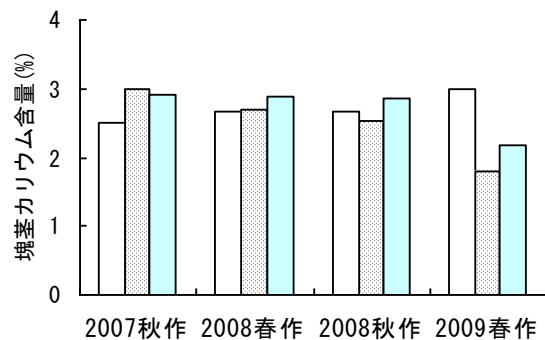
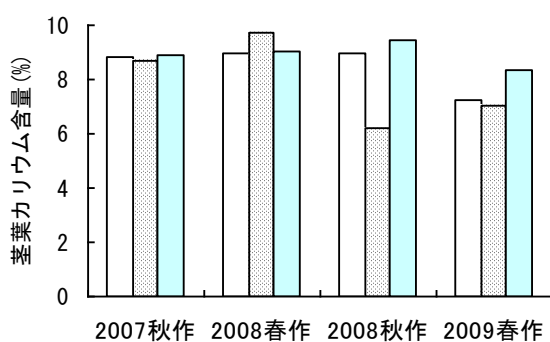


図8 バレイショ植物体のカリウム含量への影響

バレイショ栽培跡地土壌の化学性を図9～11に示す。土壌のpH(H₂O)は慣行の化学肥料施用区と同等でpHが高い炭化物施用の影響は見られなかった(図9)。交換性カリウム含量は春作では炭化物施用区で高まる傾向が見られたが、秋作では同等であり、作型による違いが見られた(図10)。全炭素含量については炭化物施用区において高く、また、連用に伴い上昇する傾向がみられた(図11)。炭化物は炭素も多く含んでおり、この施用試験におけるカリ代替区の炭素投入量は土づくり効果が高い標準的な木質混合牛ふん堆肥¹⁴⁾を2t投入した場合の1倍量で25%、2倍量で50%に相当であった。炭素としての投入量は半分でも土壌中の全炭素含量は増加がみられており、土づくり資材としての効果も高いものと考えられた。

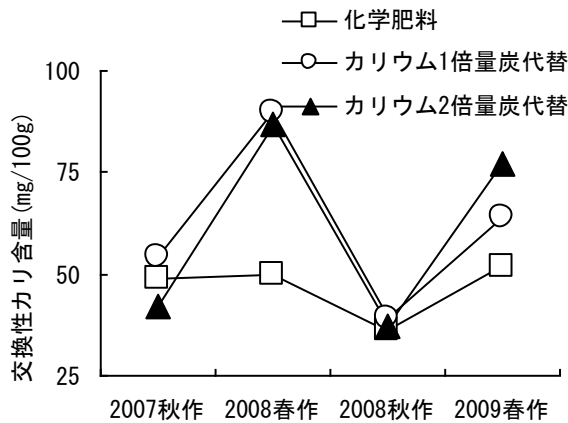


図10 跡地土壌交換性カリウム含量への影響

イ) 春どりレタスの生育、収量、無機成分および土壌に及ぼす影響

春どりレタスの収量は、カリウム2倍量代替区では栽培途中の生育の遅延傾向が見られたが(表9)、最終的には株あたりの全重、結球重とも大きく、収量は最も高くなった(図12)。春どりレタス中のカリウム含量は大きな差は見られなかったが、炭化物施用により、窒素含量は増大する傾向が見られた(表10)。カリウム吸収量は無カリウム区においても化学肥料区と同等でカリウム供給力の強い土壌条件下での試験であるが、カリウム2倍量代替区ではカリウム吸収量が50%程度高くなっていることより炭化物由来のカリウムが供給、吸収されているものと考えられた。

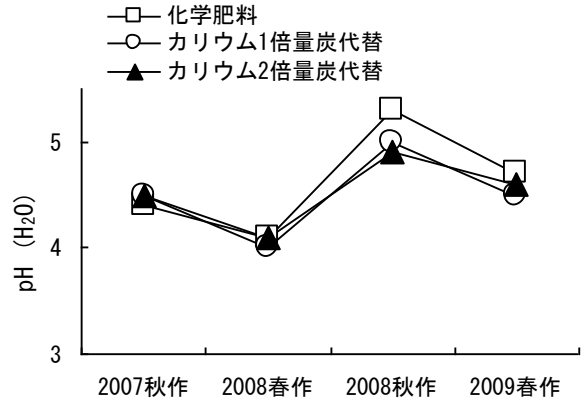


図9 跡地土壌pHへの影響

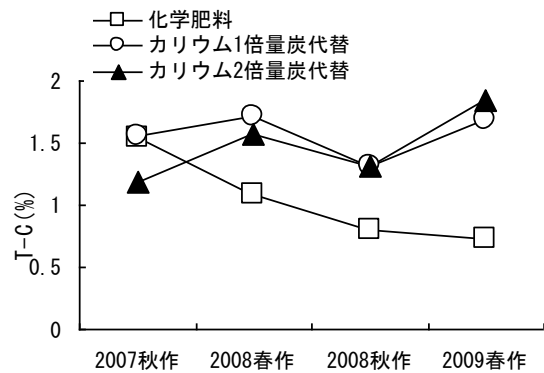


図11 跡地土壌全炭素含量への影響

表9 春どりレタスの定植25日後の生育状況

試験区名	最大葉長 (cm)	葉数 (枚/株)
化学肥料	10.3	9.2
カリウム1倍量炭代替	10.6	9.3
カリウム2倍量炭代替	9.9	8.3
無カリウム	10.1	8.6

*4/22日調査

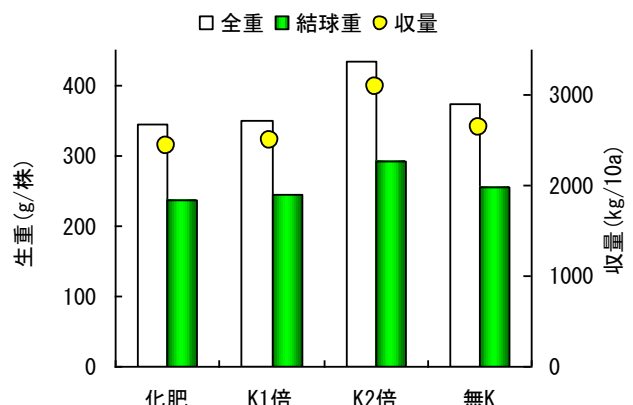


図12 レタスの収量および生育量

炭化物の施用により，土壤中の交換性カリウム及び全炭素含量は，増加する傾向を示したが，他の成分はほぼ同等であった（表 11）.

表10 春どりレタスの無機成分含量とカリウム吸収量

試験区名	T-N	K ₂ O	K ₂ O吸収量
	(%)	(%)	kg/10a
化学肥料	3.04	12.0	24.3
カリウム1倍量炭代替	3.06	11.3	22.0
カリウム2倍量炭代替	3.55	12.4	30.4
無カリウム	2.97	11.5	24.2

表11 春どりレタス栽培跡地土壌の化学性

試験区名	pH		EC	T-C	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	交換性塩基(mg/100g)		
	H ₂ O	KCl	mS/cm	(%)	(%)	(mg/100g)	(mg/100g)	K ₂ O	MgO	CaO
化学肥料	5.9	5.0	0.32	1.17	0.15	2.40	8.10	52	61	339
カリウム1倍量炭代替	5.8	5.0	0.45	1.68	0.16	3.80	8.70	64	65	369
カリウム2倍量炭代替	6.1	5.3	0.35	1.85	0.16	4.20	6.20	77	61	347
無カリウム	5.7	5.0	0.42	1.14	0.14	8.90	9.30	44	62	368

2) バレイショ炭化物の土づくり効果

バレイショ炭化物は全炭素や全窒素含量が含まれており，土づくり効果が期待される．そこで，有機物の少ない重粘質土壌へ施用し，土壌改良効果並びに施用技術を解明する．

(1) 材料および方法

ア) 供試土壌

供試土壌には諫早湾干拓土壌を用いた(表 12)．この土壌は海成沖積土壌で，粘土含量が高いため保肥力が高く，可給態リン酸や陽イオンも豊富で，作物生産性が高い．しかしながら，全炭素および全窒素含量が低く，排水性が劣る．干拓土壌の肥沃度の向上のためには，有機質資材の施用が必要である．

イ) 栽培の概要

秋冬ダイコンは，品種は青づまりを用いて，炭化物，堆肥および化学肥料を施用し，耕うんした直後のほ場に 2008 年 10 月 3 日に畦幅 80cm，条間 30 cm，株間 27cm で点播した．間引きを 10 月 22 日に行い，12 月 18 日に収穫した．

飼料用トウモロコシは，秋冬ダイコン栽培跡地に，品種はパイオニア 125 を用い，化学肥料を施用し耕うんした直後のほ場に 2009 年 5 月 19 日に

条間 75 cm，株間 20cm で点播した．間引きを 6 月 15 日に行い，9 月 8 日に収穫した．試験場所は農林技術開発センター干拓営農研究部門内ほ場（諫早湾中央干拓地）で，試験規模は各区 2.3 m² で 2 反復とした．

ロ) 試験区の構成

試験区の構成と炭化物施用量は表 13 に示す通りである．バレイショ炭化物 10a 当たり 250，500，1000 および 2000kg 施用区と対照区として資材を施用しない区と並びに家畜ふん堆肥 2000kg 区を設置した．バレイショ炭化物は 200℃処理の炭化物を使用した．炭化物は秋冬ダイコンでは，は種同日の 2008 年 10 月 3 日に施用し，飼料用トウモロコシでは，前作の秋冬ダイコンで施用した炭化物の影響を確認するために炭化物および家畜ふん堆肥は施用しなかった．肥料は，秋冬ダイコンでは，N-P-K を 10-10-10kg/10a，飼料用トウモロコシでは，基肥に N-P-K を 10-15-10kg/10a，追肥に N-K を 5-5kg/10a，それぞれ硫酸アンモニウム，過燐酸石灰および硫酸加里を用い，全試験区に全層施用した．追肥は 6 月 15 日に行った．

表12 試験開始前土壌の化学性

pH		EC	T-C	T-N	CEC	交換性塩基(mg/100g)			可給態P ₂ O ₅
H ₂ O	KCl	mS/cm	(%)	(%)	(me)	K ₂ O	MgO	CaO	(mg/100g)
6.2	4.4	0.036	1.34	0.20	36.7	153.7	204.2	231.4	20.0

表13 秋冬ダイコンにおける試験区名と処理内容

試験区	処理内容
炭250kg	バレイシヨ炭化物を250kg/10a施用
炭500kg	バレイシヨ炭化物500kg/10a施用
炭1000kg	バレイシヨ炭化物1000kg/10a施用
炭2000kg	バレイシヨ炭化物2000kg/10a施用
無施用	資材無施用
堆肥2000kg	家畜ふん堆肥2000kg/10a施用

ウ) 土壌および作物体の分析

土壌および作物体は、秋冬ダイコンは、2008年12月18日に、飼料用トウモロコシは2009年9月8日の収穫期に採取した。土壌の理化学性および作物体の内容成分の分析は、3, 1), (1), ウ)と同じである。

(2) 結果および考察

7) 秋冬ダイコンおよび飼料用トウモロコシの生育、収量、無機成分に及ぼす影響

秋冬ダイコンでは、炭化物の施用量が多くなるほど、資材無施用区（化学肥料のみ）や家畜ふん堆肥施用区に比べて初期生育は抑制され、最終的に収量や根重が低下する傾向が見られた（図13, 14）。また、規格別割合はS規格および規格外品の割合が増加した（図15）。炭化物施用後の栽培期間中の土壌中無機態窒素は、炭化物の施用量が多い区ほど約1ヶ月程度に渡って資材無施用や家畜ふん堆肥施用区に比べて低く推移した（図16）。このことが、秋冬ダイコンの初期生育、最終的な収量や規格構成に影響を及ぼしたものと推察された。炭化温度が低い条件で生成された木炭では、残存有機物の分解に伴う窒素の有機化が生じるこ

とが報告³⁾されており、処理温度が低いバレイシヨ炭化物においても同様に土壌中で一定期間、窒素の有機化が起こっているものと考えられた。

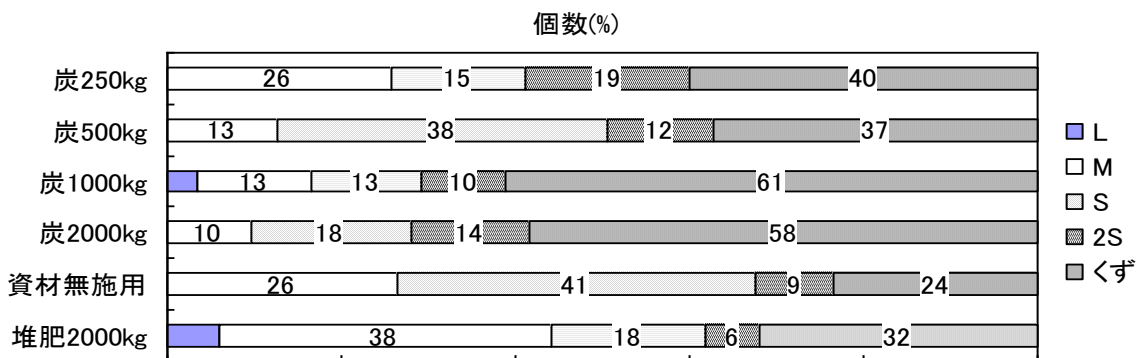
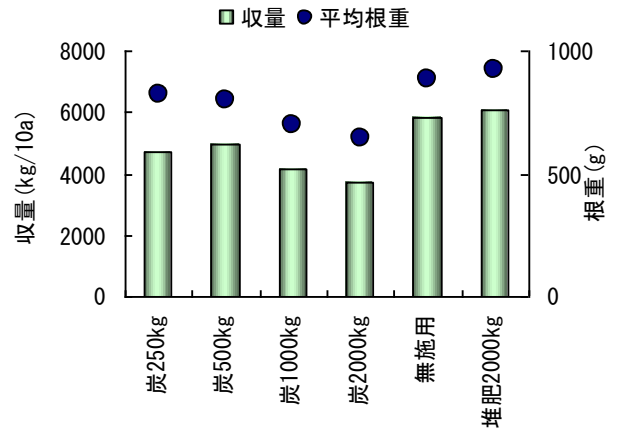
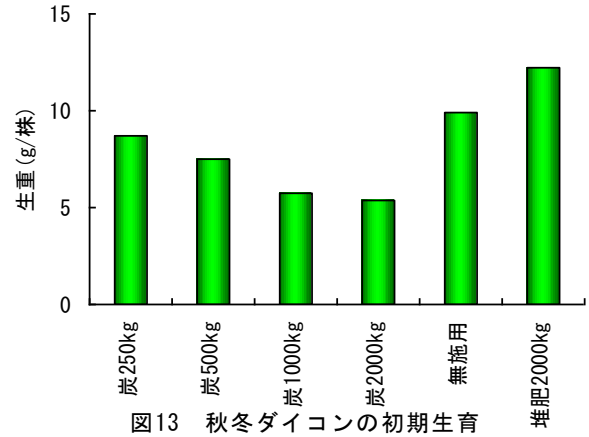


図15 秋冬ダイコンの規格別割合

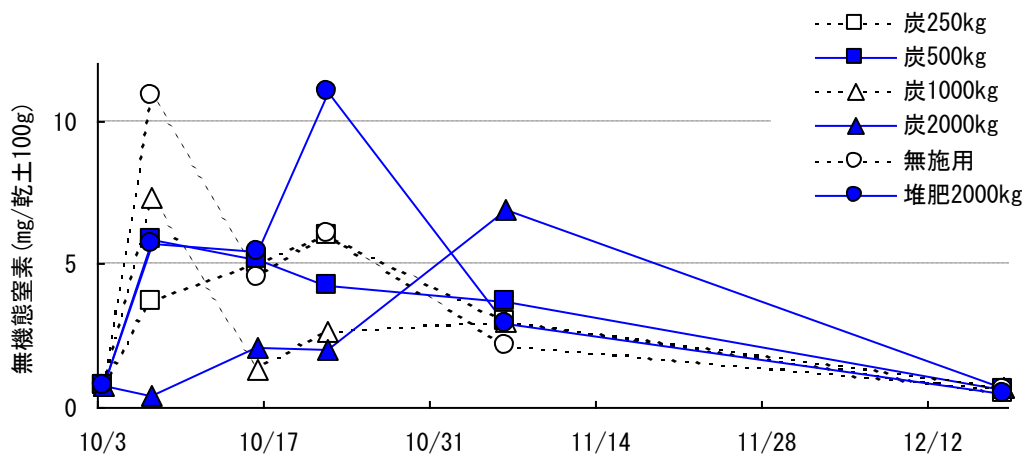


図16 秋冬ダイコン栽培中の土壌中無機態窒素の推移

図17に秋冬ダイコン跡地に栽培した飼料用トウモロコシの収量と初期生育を示した。前作で見られた炭化物の影響による初期生育の抑制や収量の低下は認められず、逆にバレイショ炭化物の施用量が多かった区ほど収量が高くなる傾向であった。秋冬ダイコン中のカリウム含量は、炭化物の施用量に応じて高くなった。他の成分は変化が見られなかった。飼料用トウモロコシ中の無機成分については差が見られなかった(表14)。

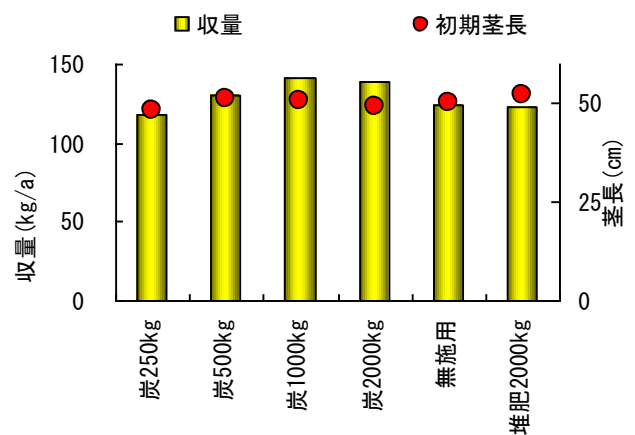


図17 飼料用トウモロコシの初期生育と収量

2%含まれており、窒素地力を高める効果があると

表14 秋冬ダイコンおよび飼料用トウモロコシの無機成分含量 (%)

試験区名	秋冬ダイコン				飼料用トウモロコシ			
	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
バレイショ炭化物250kg	0.83	3.31	0.37	0.8	0.72	0.81	0.86	0.18
バレイショ炭化物500kg	0.84	3.76	0.37	0.6	0.71	3.00	0.63	0.08
バレイショ炭化物1000kg	0.86	3.88	0.36	0.7	0.80	1.46	0.68	0.10
バレイショ炭化物2000kg	0.89	4.05	0.38	0.5	0.69	0.35	0.69	0.09
資材無施用	0.77	3.79	0.36	0.6	0.72	0.95	0.70	0.20
家畜ふん堆肥2000kg	0.78	4.51	0.43	0.7	0.75	0.91	0.81	0.29

イ) 重粘質土壌に及ぼす影響

跡地土壌中の全炭素や交換性カリウム含量については、炭化物の施用量が多いほど高まった(図18, 19)。全炭素やカリウム含量が高い炭化物の特性が反映されたものと考えられた。また、全窒素についてはあまり顕著な傾向はみられないものの、可給態窒素については、カリウム含量と同様に高まった(図20)。バレイショ炭化物には窒素も約

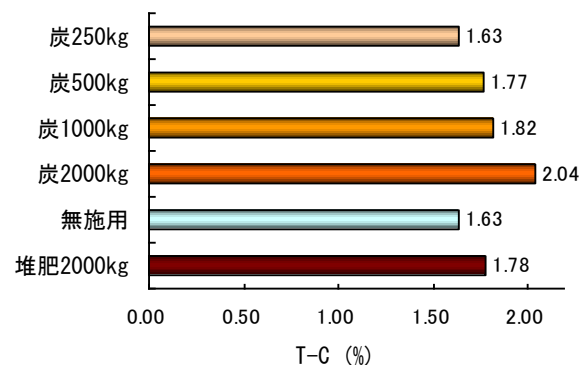


図18 跡地土壌の全炭素含量

考えられた。

全炭素含量，交換性カリウム，可給態窒素の値を比較すると，バレイショ炭化物 1000kg と家畜ふん堆肥 2000kg が同等の効果が認められた。

一方，土壌の物理性について，炭化物施用量による変化は認められなかった（表 15）。木炭では土壌への混入率 5% で土壌物理性の改善が報告⁷⁾されている。今回の施用において，試験を実施した干拓土の作土を 15cm，仮比重を 0.7kgm^{-3} と仮定すると，バレイショ炭化物の土壌への混入率は，1.9% に過ぎない。バレイショ炭化物の施用量自体が少なかったためと考えられ，多施用や連用すると土壌物理性の改善効果が期待できるものと考えられた。

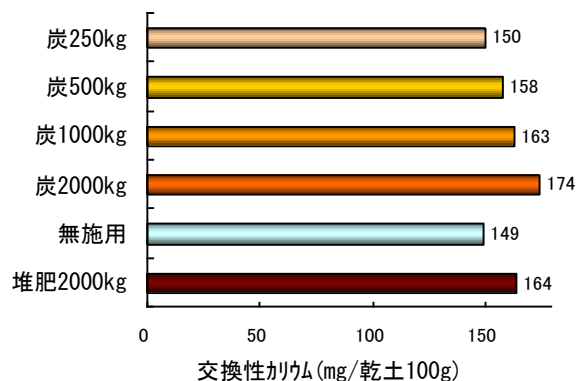


図19 跡地土壌の交換性カリウム含量

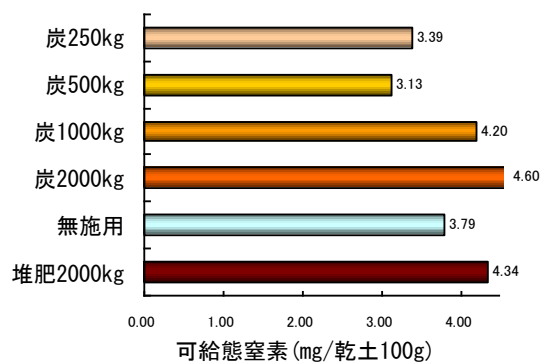


図20 跡地土壌の可給態窒素含量

表15 秋冬ダイコン-飼料用トウモロコシ栽培跡地土壌の物理性 (2009/8/17調査)

試験区名	実容積 ml	水分量 ml					有効水分 1.5~3.0	気相率 %	固相率 %	液相率 %	仮比重 kgm^{-3}	透水係数 cms^{-1}
		PF1.5	PF1.7	PF2.0	PF2.7	PF3.0						
バレイショ炭化物250kg	71.5	52.0	47.0	50.6	48.0	46.7	5.3	28.5	20.1	51.4	0.66	1.5×10^{-1}
バレイショ炭化物500kg	71.4	53.9	48.2	52.3	49.9	48.5	5.3	28.7	18.7	52.6	0.68	8.9×10^{-2}
バレイショ炭化物1000kg	68.9	52.3	47.1	50.8	48.3	46.1	6.2	31.1	18.2	50.7	0.66	1.3×10^{-1}
バレイショ炭化物2000kg	70.3	52.3	47.8	51.0	48.7	47.4	5.0	29.7	19.8	50.5	0.68	1.4×10^{-1}
資材無施用	69.5	52.6	47.8	51.2	48.7	47.2	5.5	30.6	19.0	50.4	0.69	1.3×10^{-1}
家畜ふん堆肥2000kg	77.2	57.6	51.9	56.5	54.2	52.6	5.1	22.9	21.7	55.4	0.76	4.7×10^{-2}

*作土5-10cmを調査

4. 総合考察

バレイショを電気外部加熱式，ロータリーキルンタイプ炭化炉により $150 \sim 300^\circ\text{C}$ で処理した炭化物は，木炭と比べて無機成分含量が非常に高い。特にカリウム含量は，全カリウム $3.65 \sim 6.73\%$ と高く，その内 $50 \sim 70\%$ をク溶性の形態が占めている。木炭は，炭化温度の違いにより，白炭（非常に高いもの： 800°C 以上），黒炭（低いもの： 400°C ）及びくん炭（特に低いもの： 300°C ）に区別されている。こうした炭化温度範囲において，その理化学

性は大きく変化し無機成分については，高温で炭化したものほど濃縮され高い含有率を示すことが報告されている³⁾。炭化処理温度が，木炭と比べるとかなり低いバレイショ炭化物においても $150 \sim 300^\circ\text{C}$ の範囲において同様な傾向が認められたが，カリウムやリン酸については，肥料としての有効成分である水溶性及びク溶性の割合が，カリウムでは 250°C ，リン酸では 200°C を超えると低下する傾向が見られる。そのため，これらの成分の

高い炭化物を作成するためにはある程度低温で炭化することが必要と考えられる。

バレイショ炭化物で加里肥料を代替したバレイショおよびレタスでの施用試験では、施用量の増加に伴いバレイショ収量および上いも個数は、2作目までは慣行の化学肥料区とほぼ同等で、3作目以降はバレイショ炭化物を施用したカリウム1倍量および2倍量代替区において増加する傾向が見られた。また、跡地土壌の交換性カリウム含量は増加し、無機成分含量は化学肥料区と同等であったことから、カリウム肥料代替資材としての利用が期待できる。

炭化物を施用し秋冬ダイコンを栽培した跡地で栽培した飼料用トウモロコシでは、前作で炭化物施用量が多かった区ほど収量が増加した。前述のバレイショでの施用試験においても、連作すると収量の増加が認められ、また、土壌の全炭素含量や可給態窒素の増加傾向がみられた。バレイショ施用試験におけるカリウム1倍量～2倍量代替区の炭化物投入量は、150～300kg/10aである。炭素投入量でみると、土づくり効果が高い標準的な木質混合牛ふん堆肥¹⁴⁾を2t投入した場合の25～50%に相当する。これらのことからバレイショ炭化物は、地力窒素や土壌炭素を高める土づくり効果が木質混合牛ふん堆肥より高いものと考えられる。炭化物施用効果については、その物理的特性より土壌の物理性改良効果、すなわち保水性や排水性の改善効果も期待されるが、今回の秋冬ダイコンにおける250～2000kg/10aの施用試験では、物理性改善効果は認められなかった。木炭では土壌への混入率5%で土壌物理性の改善が報告⁷⁾されている。バレイショ炭化物の施用量そのものが、少ないことが原因と考えられる。計算上、物理性改善のためには約5000kg/10aの施用量が必要であると試算される。しかしながら秋冬ダイコン施用試験では、炭化物の施用量の増加に伴い、土壌中の無機態窒素が低く推移し、生育や収量も低下した。木炭では処理温度が低い炭化物は、有機態成分が残存し、分解に伴う窒素の有機化が生じていることが報告³⁾されている。バレイショ炭化物においても、同様な現象が生じているものと考えられる。バレイショ炭化物の土壌中での変化や炭化物そのものの窒素や炭素の形態については、今後、精査する必要がある。次作の飼料用トウモロコシではその影響は見られなかった。このことより炭化物を多量に還元利用する場合は、施用後一定期間、土壌中での分解促進期間を設ける必要がある。実

際の栽培ほ場においては、窒素飢餓、無機成分含量の蓄積および作業性等を考慮すると、5tもの炭化物を施用するケースはほとんどないと思われ、バレイショ炭化物施用による物理性改善は、現実的には困難と考えられた。しかし、カリウム代替資材として検討を行ったバレイショ施用試験において炭化物施用量で360kg/10aに当たるカリウム2倍量炭代替区においては、連用していくと土壌の全炭素含量が増加する傾向がみられていることから、少ない施用量でも連用していくと土壌の物理性改善を期待できるものと考えられる。

バレイショ炭化物の性状は、2m以上の粒の割合が多いが粉状のものもあり、ほ場施用に際し粉塵が発生し散布しにくくハンドリングが悪い。造粒することで散布などの取り扱いが容易となる。そこで、ペレット成型化を検討した。処理温度200℃のバレイショ炭化物は、増粘剤を加えなくても水分40%に調整することで99.1%が成型化できた。今後、ペレットの保存性、含水率の変化及び破損等といった品質面、成型化のコスト、ペレット化したことによる資材としての利用範囲などについてさらに検討する必要がある。

表16 炭化処理に要する費用の1tあたりのコスト

ランニングコスト	10,920 円
内訳	
消費電力	840 (kw/t)
電力単価	13 円/kw
炭化炉コスト	12,500 円
内訳	
炭化炉価格	10,000,000 円
耐用年数	8 年
年間稼働日数	200 日
総コスト	23,420 円

処理に要する費用について表16に示した。ランニングコストは、炭化処理温度を200℃とすると、炭化炉の稼働時間として約20時間を要し、その場合の炭化処理消費電力は約840kw/tで電力単価を13円/kwと仮定すると10,920円/t（ただし人件費は含んでいない）となる。炭化炉自体に関わるコストは、仮に炭化炉の販売価格を1000万円、耐用年数8年、1回で0.5tのバレイショを炭化し、年間稼働日数200日と仮定した場合、12,500円/tとなり、1t当たりのバレイショの処理経費は、総額で23,420円と試算される。県内の産業廃棄物

処理業者において焼却処分した場合、その費用は105,000円/tであり、炭化炉を導入し処理していく方がかなり安価である。しかしながら、埋設処理と比較すると高価であり、負担感は強い。そのため、さらなるコストの低減をはかる必要がある。ランニングコストは消費電力すなわち処理時間に依存しており、電力経費をできるだけ低く抑えるためには、処理時間を短縮しなければならない。そのためには、システムの改良を図り、水分除去の効率化によるエネルギー効率化、処理物の予備乾燥などの前処理法等の検討などが必要と考えられる。

以上のことから、バレイショの炭化処理条件としては、カリウム含有率とその肥料効果、炭化物

のペレット成型化率および製造コストを考慮すると、処理温度は200℃が最適であると考えられた。

炭化は現在、多方面より注目されている技術である。その利点は大幅な減量、高温処理による殺菌及び悪臭の削減であり、廃棄物の取り扱い性を改善することができる。物質循環の観点から考えると農業廃棄物は農地への還元が望まれる。今後、炭化処理装置やランニングコストの低減と併せて、木炭でみられる過剰な肥料や農薬の吸着能力、VA菌根菌や根粒菌などの有用微生物を活性化させる効果³⁾などについても明らかにし、農耕地におけるさらなる有効な利用技術の開発、その特性を活かした培土等としての利用の検討が進めば、炭化物の用途はいつそう広がるものと期待される。

5. 摘 要

- 1) 150~300℃で炭化したバレイショ炭化物は、木炭と比べて無機成分含量が非常に多く、肥料効果が期待できる。
- 2) バレイショ炭化物のカリウム含量は、全カリウムが3.65~6.73%と高く、その内50~70%をク溶性の形態が占めており、加里肥料として期待できる。
- 3) カリウム含有率と炭化物の成型化率および製造コストを考慮すると、バレイショ炭化物の処理温度は200℃が最適である。
- 4) バレイショ炭化物は、バレイショとレタスへのカリウム肥料代替効果が認められる。
- 5) バレイショ炭化物を施用すると土壌の全炭素含量や可給態窒素の増加傾向がみられ、地力窒素や土壌炭素を高める土づくり効果が高いものと考えられた。
- 6) 炭化物の施用効果を発揮させるためには、資材の連用や土壌中での分解促進期間を設ける等の施用方法が有効である

謝辞：本研究は2007年から2009年までの3年間、県単の未利用資源の炭化処理による合理的農業技術の確立事業として進めたものである。本研究は、諸般の事情により結果的に複数の職員が担当することとなったが、各研究員の献身的な取り組みにより遂行され、取りまとめることができた。また、本研究の遂行にあたっては、(有)里脇製作所の職員の皆様には炭化処理作業に多大な協力・ご尽力をいただいた。県央農協からは試験に用いたバレイショをご提供いただいた。本稿を草するにあたり、以上の各位および関係機関に対し心より深く感謝申し上げます。

また、本研究の企画・立案者であり、中心となり精力的に尽力された永田浩久氏は、去る2010年7月に永眠され、誠に痛惜の念に堪えません。ここに氏の生前のご功績と人柄を偲ぶとともに、本報告をもって衷心より追悼の意を表します。

6. 引用文献

- 1) 浅間和夫・知識敬道:改訂ジャガイモの作り方第2版, 農文協, p85
- 2) 大津善雄・石井研至 : バイオマス, ニンジン規格外品混合堆肥及び生ごみ混合堆肥の特性と根菜類における施用効果, 長崎県総合農林試験場研究報告, 34, 39~51(2008)
- 3) 今野一男:木炭の品質と活用, 農業技術体系土壌施肥編7 資材の特性と利用, 農文協, p156
- 4) 嶋沢光一:地域農業副産物を活用した高品質豚の生産に関する研究, 長崎県農林技術開発センター特別研究報告, 1, (2010)
- 5) 堆きゅう肥等有機質資材の品質:農水省農産課, (1982)
- 6) 第52次長崎農林水産統計年報:平成九州農政局長崎統計・情報センター, 長崎農林水産統計協会発行, 16~17年統計資料
- 7) 土壌改良と資材:農林水産省生産局農産振興課監修, 財団法人日本土壌協会, p131~144(2003)
- 8) 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(2001)
- 9) 長崎県バイオマスマスタープラン:長崎県(2003)
- 10) バイオマス・ニッポン総合戦略:閣議決定(2002)
- 11) 肥料分析法:農林水産省農業環境技術研究所,(1992)
- 12) 牧浩之・河野哲・渡辺和彦:オカラ炭化物のコマツナ栽培への施用効果, 土壌肥料学会誌, 76, 21-26(2005)
- 13) 牧浩之・渡辺和彦:タマネギ炭化物のコマツナ栽培に対する施用効果, 土壌肥料学会誌, 75, 439-444(2004)
- 14) 山口武則・原田靖生:家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴, 農業研究センター研究資料, 41(2000)

Summary

- 1) A potato carbonized at 150-300 degrees Celsius by an outside overheat-type rotary kiln type carbonization furnace, there are a great many inorganic ingredient contents in comparison with the charcoal and can expect a manure effect.
- 2) As for the potassium content, a form of the citric acid-soluble potassium holds 50-70% of those at all potassium 3.65-6.73% and can expect it as potassic fertilizer.
- 3) 200 degrees Celsius are most suitable for the disposal of potato carbide temperature Cali content, molding of the carbide when they consider a rate and a production cost
- 4) As for the potato carbide, a potassium manure substitute effect to a potato and the lettuce is accepted.
- 5) A tendency to increase of all carbon content and available nitrogen of the soil was considered to do Shih use of potato carbide. It is thought fertility of soil nitrogen to be effective in raising soil carbon.
- 6) Shih caretaker method to arrange the resolution promotion period in continuous use and the soil inside of the material is effective to let you show an effect for Shih of the carbide