

変換バイオマスの農地施用効果の評価のための サトウキビ生育調査結果

陳 媽*・平良正彦**・前田剛希***・比嘉明美****・久場峯子****・凌 祥之*

目 次

I 緒 言	121	2 バガス炭と消化液の施用が土壌理化学 特性に与える影響	126
II 試験の概要と方法	122	3 バガス炭と消化液の施用がサトウキビ生育に 与える影響	129
1 供試したバガス炭と消化液	122	IV 結 言	133
2 試験区の概要および試験方法	122	参考文献	134
III 試験結果と考察	126	Summary	135
1 栽培期間中の降雨と気温	126		

I 緒 言

宮古島は沖縄本島から南西約 300km に位置する。年平均気温は 23.3℃、年降雨量は約 2000mm で海洋性亜熱帯気候に属する。島全体の起伏が少なく、平坦であり主要な河川がない。地表面は透水性が高く、保水性に乏しい島尻マージ土壤に覆われており、その下に琉球石灰岩（帯水層）があり、さらに下には不透水性の島尻層群があるため、降雨の約 4 割が地下水として上下 2 層の間の帯水層にたまり、生活および農業用水のほとんどをこの地下水に依存している。近年、化学肥料の過剰施用と畜産廃棄物の不適切な管理によって地下水の水質が悪化していることが報告されている（田代・高平，2001；中西ら，2001）。安全な飲料水確保のため、化学肥料の適切施用や畜産廃棄物の有効利用対策を早急に立案する必要がある。その対策として、家畜ふん尿など島固有のバイオマスを利用した減肥栽培システムの確立が考えられる。減肥栽培システムとして、畜産廃棄物のメタン発酵によるエネルギーの回収と副産物である消化液の農地利用が注目されている。

沖縄の方言で「ウージ」とよばれるサトウキビは、宮古島の気候に適し、宮古島市におけるサトウキビの栽培

面積は全畑地面積の約 80% を占めている。サトウキビの作柄は宮古島の経済を大きく左右している。サトウキビは、根で吸収した養・水分と葉で光合成した炭水化物を使って、成長しながら糖分を茎に蓄積する作物である（角ら，2001）。従ってサトウキビの収量と品質は、圃場の養・水分含量によって左右される。安定かつ良質なサトウキビを得るためには、保水性に乏しい島尻マージ土壤の改良による有効水分量の保持を行う必要がある。

陳・凌（2005）の既存研究では、サトウキビの搾りかす（バガス）を炭化したバガス炭は、多孔質な内部構造を持ち、農地に施用すると土壤の保水性を向上させ、浸透流出水の硝酸態窒素を除去させることができると報告されている。さらに、陳ら（2008）は、消化液とバガス炭との混合施用がサトウキビ生育および硝酸態窒素の浸透流出に及ぼす影響について、室内ライシメーターのサトウキビ夏植え栽培試験で検討した。その結果、バガス炭の施用による浸透流出水中の硝酸態窒素の濃度低下が明らかにされた。また、消化液とバガス炭の施用によって、サトウキビの糖度や原料茎重が増加し、可製糖量が高くなる可能性も示唆された。しかし、室内ライシメーターの天井の高度制限により、実験上の栽培期間（7ヶ月）は一般的なサトウキビ夏植え栽培期間（1年半）より短く制限された。また、室内ライシメーター栽培で台風の影響を受けていないことから、自然条件下における消化液とバガス炭との混合効果は未解明である。

夏植え栽培は、春植え栽培や株出し栽培に比較して、台風や干ばつの影響が少ないため、宮古島地域のサトウキビ栽培は、夏植えが 93%、春植えが 5%、株出しが 2% で、夏植えが大部分である。しかし、2年1作で土地利用効率が低いことから、栽培コストの低減、生産性の向

* 農地・水資源部農地工学研究室

** 沖縄県南部農業改良普及センター

*** 沖縄県農業研究センター宮古島支所

**** 沖縄県農業研究センター土壤環境班

平成21年11月5日受理

キーワード：消化液，バガス炭，サトウキビ栽培，可製糖量，有効水分量

上のため、春植え株出し型栽培への移行が求められている。ただし、かんがい設備の未整備地域では干ばつの影響が大きく、サトウキビ春植えの生産が不安定であるため、バガス炭の保水効果による春植え栽培転換の可能性についても検証する必要がある。

そこで、本研究では、実用化に向けて、牛ふんメタン発酵の副産物である消化液および600℃で炭化された保水性に富むバガス炭などのバイオマス変換物がサトウキビの栽培に及ぼす影響を解明するため、サトウキビの春植えおよび夏植え圃場栽培試験を行い、消化液の肥料効果やバガス炭の保水効果を検証した。

なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発（バイオマス利用モデルの構築・実証・評価）」において行われた。同プロジェクト研究の関係者の方々、消化液およびバガス炭を提供いただいた非営利特定活動法人亜熱帯バイオマス利用研究センターに感謝致します。

II 試験の概要と方法

1 供試したバガス炭と消化液

供試した炭化物は、サトウキビの絞りかす（バガス）を温度600℃（外熱式スクリュウ3段型炭化炉）で炭化したものである。バガス炭はFig.1を示しているように細かい小粒状で、棒状の木炭片とは異なる形状をしている。バガス炭は保水性が木炭に比べても高く、吸水率は約500%であると報告されている（上野ら、2006）。細かい繊維状であるバガス炭の乾燥密度は0.078g/cm³と小さい。また、バガス炭の全窒素、全炭素、リン、カリの含有量はそれぞれ0.37%、63.2%、0.8mg/kg、19.9mg/kgであった。

供試した牛ふん由来の消化液は、非営利特定活動法人亜熱帯バイオマス利用研究センターで製造されたものであり、N、P、Kの含有量は各々0.08%、0.009%、0%あるいは0.09%、0.036%、0.024%程度であった（生産日、

原料の違いによって生産される消化液のN、P、Kの含有量は多少異なる）。また、消化液はFig.2に示すように黒褐色を呈し、粘性は小さく、大きな沈殿物も見あたらない。

2 試験区の概要および試験方法

a 試験圃場

沖縄県農業研究センター宮古島支所の圃場において2007年4月～2009年1月の期間に栽培試験を行った。圃場土壌は琉球石灰岩を母材とする島尻マージ土壌で、有効土層厚は約60cmである。宮古島支所および試験圃場の位置図をFig.3に示す。

b 試験設定

春植え1回目、2回目および夏植え栽培試験の試験条件と施肥設計をTable 1とTable 2に示す。

c サトウキビ生育の調査方法

定期的に全茎数、仮茎長および生葉数などを観測し、葉面積と葉のSPADを測定した。収穫時には、収穫したサトウキビについて、ランダムに10本を選定し、収量調査（茎重、茎長、茎径）と蔗汁分析（Brix、検糖読み、バガスの重量）を行った。なお、全茎数と全茎重について、すべての茎を収穫して測定した。各測定項目は以下の通りである。

- ①仮茎長：発芽位置から+1葉（最上展開葉）の肥厚帯までの長さ
- ②生葉数：全葉身面積の半分以上緑色に呈し、ロール葉を除いた半展開以上の葉の数
- ③葉面積：第3展開葉の葉長と葉幅を測定し、葉面積 = 0.643 × 葉長 × 葉幅で計算した
- ④茎長：完全展開+5葉の着生節部から刈り取り部までの長さ
- ⑤茎重：梢頭部を除いた茎の重量
- ⑥茎径：茎長を測定した茎の中心に当たる節間の中央部の直径



Fig.1 バガス炭

Photo of bagasse charcoal



Fig.2 消化液

Photo of digested slurry



Fig. 3 沖縄県農業研究センター宮古島支所の位置と試験圃場の状況
Surrounding of Miyago island branch of Okinawa prefectural agricultural research center and experimental field

Table 1 試験の条件
Condition of experiment

	春植え 1 回目	春植え 2 回目	夏植え
植え付け本数	24000 本 /ha (換算)		
かんがい	自然降雨 + かんがい (不定時)		
供試品種	農林 15 号 (Ni15)	農林 8 号 (Ni8)	農林 15 号 (Ni15)
栽培期間	2007.4.6 ~ 2008.1.16	2008.3.25 ~ 2009.1.14	2007.9.6 ~ 2009.1.14
試験区	A. 化学肥料区 B. 化学肥料 + 1% バガス炭区 C. 化学肥料 + 消化液 + 1% バガス炭区 D. 化学肥料 + 2% バガス炭区 E. 化学肥料 + 消化液 + 2% バガス炭区	A. 無施肥区 B. 減肥区 C. 化学肥料区 D. 化学肥料代替区 E. 化学肥料代替 + バガス炭区 F. 化学肥料上乘せ + バガス炭区	A. 化学肥料区 B. 化学肥料 + バガス炭区 C. 消化液代替 + バガス炭区
区画・反復	畦幅 130cm A 区 20m ² , 4 反復 B,C,D,E 区 10m ² , 3 反復	畦幅 130cm A 区 5m ² , 4 反復 B 区 5m ² , 6 反復 C,D,E,F 区 20m ² , 3 反復	畦幅 130cm, 1 区 20m ² 反復 1 は前作なし圃場 反復 2,3 は前作あり圃場
基肥 (芽出肥) 追肥 1・培土 追肥 2・培土	2007.4.6 : N,P,K : 60,33.8,33.8 kg/ha 2007.6.6 : N,P,K : 60,33.8,33.8 kg/ha 2007.7.11 : N,P,K : 80,45,45 kg/ha	2008.5.7 : N,P,K : 66,37.5,37.5 kg/ha 2008.6.20 : N,P,K : 70,39.4,39.4 kg/ha 2008.7.11 : N,P,K : 70,39.4,39.4 kg/ha	2007.9.7 : N,P,K : 72,40.5,40.5 kg/ha 2007.10.25 : N,P,K : 48,27,27 kg/ha 2008.2.19 : N,P,K : 120,67.5,67.5 kg/ha
消化液施用	5000 L/ha (窒素含量 4kg/ha) 消化液を 2007.7.26 に C,E 区に施用	76300L/ha (窒素含量 68kg/ha) あるいは 64000L/ha (窒素含量 58kg/ha) 2008.6.20 と 7.11 に D,E,F 区に追肥として施用	9000 L/ha (窒素含量 7.2kg/ha, 肥効率を考慮すると 3.6kg/ha) を考慮すると 3.6kg/ha) 2007.9.6 に C 区に基肥として施用 81000 L/ha (窒素含量 64.8kg/ha, 肥効率を考慮すると 32.4kg/ha) 2007.12.28 に追加施用

注：バガス炭の施用は地中 30cm までに土壌の乾燥重量の 1%, 2% のバガス炭 (9, 18t/ha) を施用。春植え 1 回目の 1% 区を除いて、すべて 2% 施用。バガス炭施用量の換算: 1t/m³ (土壌の乾燥重量) × 0.3m (施用土層深) × 10000m² (1ha) × 1% × (1-70% (バガス炭含水比)) = 9t/ha

Table 2 施肥設計
Design for fertilizer application

春植え 1 回目 (単体肥料使用)

試験区	基肥		追肥 1		追肥 2	
	化肥量 (N,P,K) (kg/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)	化肥量 (N,P,K) (kg/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)	化肥量 (N,P,K) / 消化液 (kg/ha / L/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)
A	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	381, 265, 75 / 0	80, 45, 45
B	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	381, 265, 75 / 0	80, 45, 45
C	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	381, 265, 75 / 5000	84, 45.5, 45
D	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	381, 265, 75 / 0	80, 45, 45
E	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	286, 199, 56	60, 33.8, 33.8	381, 265, 75/5000	84, 45.5, 45

注：単体肥料は N, P, K は硫安 (21%), 過磷酸石灰 (17%), 塩化カリ (60%) を使用
消化液の N,P,K 含量は 0.08%, 0.009%, 0% であった
計算ミスで, 消化液は予定量の 1/15 しか施用していなかった

春植え 2 回目 (複合肥料使用)

試験区	基肥		追肥 1		追肥 2	
	化肥量 (kg/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)	化肥量 / 消化液 (kg/ha / L/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)	化肥量 / 消化液 (kg/ha / L/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)
A	0	0	0 / 0	0	0 / 0	0
B	412.5	66, 37.5, 37.5	223.0 / 0	36, 20.1, 20.1	223.0 / 0	36, 20.1, 20.1
C	412.5	66, 37.5, 37.5	437.5 / 0	70, 39.4, 39.4	437.5 / 0	70, 39.4, 39.4
D	412.5	66, 37.5, 37.5	223.0 / 76300	104, 26.9, 20.1	223.0 / 76300	104, 26.9, 20.1
E	412.5	66, 37.5, 37.5	223.0 / 76300	104, 26.9, 20.1	223.0 / 76300	104, 26.9, 20.1
F	412.5	66, 37.5, 37.5	451.2 / 64000	130, 46.3, 40.6	451.2 / 64000	130, 46.3, 40.6

注：複合肥料の N, P, K は 16%, 9%, 9% である
消化液の N,P,K 含量は 0.09%, 0.036%, 0.024% であった

夏植え (複合肥料使用)

試験区	基肥		追肥 1		追肥 2	
	化肥量 / 消化液 1 / 消化液 2 (kg/ha / L/ha / L/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)	化肥量 (kg/ha / L/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)	化肥量 (kg/ha / L/ha)	施用量 (N,P,K) (kg/ha)
A	450 / 0 / 0	72, 40.5, 40.5	300	48, 27, 27	750	120, 67.5, 67.5
B	450 / 0 / 0	72, 40.5, 40.5	300	48, 27, 27	750	120, 67.5, 67.5
C	0 / 9000 / 81000	72, 32.4, 21.6	300	48, 27, 27	750	120, 67.5, 67.5

注：複合肥料の N, P, K は 16%, 9%, 9% である
消化液の N,P,K 含量は 0.08%, 0.009%, 0% であった
計算ミスで, 1 回目の消化液の施用量が不足したため, 1 回目の追肥よりも遅い時期に 2 回目の消化液を追加施用した

⑦葉の SPAD：SPAD 計の読み値 (作物体の窒素含量が多くなると, 葉緑素含量も多くなり, 葉の緑色が濃くなる。SPAD 計は, 葉緑素含量を客観的に数値で正確にデジタル表示する器具である)

⑧絞り汁の Brix (ブリックス)：糖度計 (屈折計) の測定表示値

⑨検糖読み：検糖器で表示された数字 (糖度 (絞り汁中に糖分が何 g 含まれているかといった糖分の濃度を示す値) は検糖読み値から求められる)

⑩バガスの重量：圧搾後と残留砂糖成分を煮詰め出し

たものを乾燥した後の重量

⑪可製糖量を以下の式に従い計算

$$\text{可製糖量} = \text{原料茎重} \times \text{可製糖率} / 100 \quad (1)$$

$$\text{可製糖率} = \text{純糖率 (糖度 / Brix)} \times \text{甘蔗糖度 (糖度} \times \text{ジャワ比)} \quad (2)$$

$$\text{繊維分} = (\text{圧搾後バガス重} / \text{供試キビ茎重}) \times (\text{乾燥バガス重} / \text{バガス重 (100g)}) \quad (3)$$

ジャワ比は計算された繊維分の値をジャワレーシヨ表 (日本分蜜糖工業会製糖技術研究会, 1983) に代入して求めた。

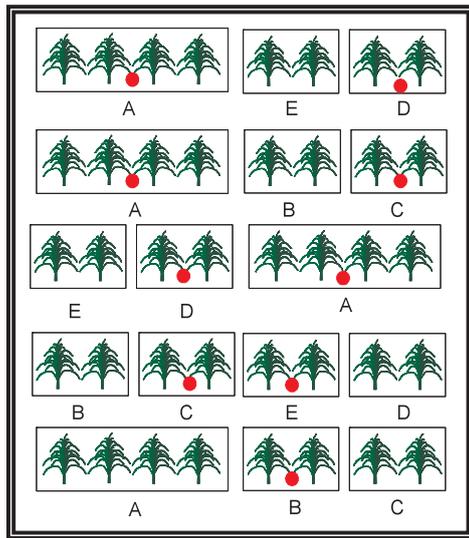
すべての項目について、反復の平均値を求め、各試験区におけるサトウキビの生育の状況を比較した。

d 土壤理化学特性調査

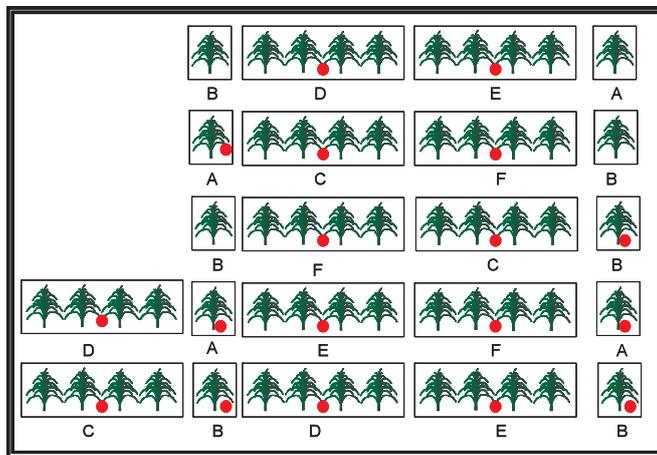
春植え 1, 2 回目, 夏植えの試験区の配置と採土ポイントを Fig.4 に示した。

春植え 1 回目については、肥料やバガス炭施用前の攪乱土を採取し、土の炭素と窒素の含有量を NC アナライザー NC-220F 用いて乾式燃焼法で測定した。収穫後、

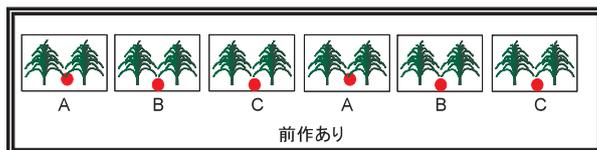
各試験区について表層 10cm までの不攪乱土と攪乱土を採取し、土の乾燥密度, 含水比, 透水性, 有効土壌水分量, 炭素・窒素含量を測定した。なお、土の乾燥密度と含水比は乾燥法で、透水性は変水頭法で、pF1.6-3.0 間の有効土壌水分量は加圧板法で測定した。さらに、降雨による土壌の水分変化を明らかにするため、0-10cm, 10-20cm までの土壌の体積含水率は差し込み式の Hydrosense 社のハンディー型土壌水分計を用いて測定した。



- a) 春植え 1 回目
- A. 化学肥料区
 - B. 化学肥料+1%バガス炭区
 - C. 化学肥料+消化液+1%バガス炭区
 - D. 化学肥料+2%バガス炭区
 - E. 化学肥料+消化液+2%バガス炭区
- 採土ポイント
- 🌳 5 m²



- b) 春植え 2 回目
- A. 無施肥区
 - B. 減肥区
 - C. 化学肥料区
 - D. 化学肥料代替区
 - E. 化学肥料代替+バガス炭区
 - F. 化学肥料上乘せ+バガス炭区
- 採土ポイント
- 🌳 5 m²



- c) 夏植え
- A. 化学肥料区
 - B. 化学肥料+バガス炭区
 - C. 消化液基肥代替+バガス炭区
- 採土ポイント
- 🌳 10 m²

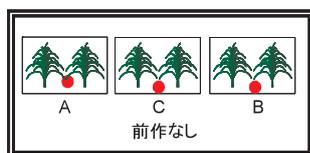


Fig. 4 試験区の配置と採土ポイント
Place of sugarcane experimental plots and sampling point

春植え2回目については、土壌の物理性の変化を明らかにするため、栽培開始1ヶ月後の栽培初期のC. 化学肥料区、D. 化学肥料代替区、E. 化学肥料代替+バガス炭区、F. 化学肥料上乘せ+バガス炭区と収穫後のすべての試験区の表層10cmまでの不攪乱土を採集し、土の乾燥密度、含水比、透水性、有効水分量を測定した。また、土壌の化学性の変化を明らかにするため、栽培開始1ヶ月後のC. 化学肥料区、D. 化学肥料代替区、E. 化学肥料代替+バガス炭区、F. 化学肥料上乘せ+バガス炭区と1回目追肥後のすべての試験区の表層10cmまでの攪乱土、収穫後のすべての試験区の0-20cm、20-50cmの攪乱土を採取した(各試験区に3地点)。pHとECおよび窒素、可給態リン酸、カリ、炭素などの含有量を測定した。なお、pHはHORIBA社のpH Meter M-12で、ECはTOADKK社のEC Meter CM-30Gで、可給態リン酸はHITACHI U-2000を用いてトルオーグ法で、交換性塩基は1M酢酸アンモニウムで抽出後にVISTA-MPXを用いてICP法で、炭素と窒素の含有量はSUMIGRAPH NC-22Fを用いて乾式燃焼法で測定した。

夏植えについては、3つの反復のうち2つは前作あり、1つは前作なしと異なっているため、肥料やバガス炭施用前と収穫後に、Fig.4に示した採土ポイントの攪乱土を採取し、土の炭素と窒素の含有量をNCアナライザー

NC-220F用いて乾式燃焼法で測定した。

III 試験結果と考察

1 栽培期間中の降雨と気温

Fig.5に気象統計情報(気象庁、閲覧日:2009年10月10日)に記録された栽培期間中および平年における宮古島の月降雨量と月平均気温を示した。全栽培期間中の月平均気温は平年並みであった。春植え栽培1回目の作付け期間中の総降雨量は平年並みであったが、サトウキビの成長旺盛期に当たる7月に降雨が少なかった。春植え栽培2回目の作付け期間中の総降雨量は平年より300mmが少なく、さらにサトウキビの成熟期に当たる12月にも降雨が少なかった。夏植え栽培の作付け期間中の総降雨量は平年並みであった。また、全栽培期間中に直撃の台風がなく、日降雨量が100mmを超える日は無かった。

2 バガス炭と消化液の施用が土壌理化学特性に与える影響

a 土壌含水比に与える影響

春植え1回目収穫後、春植え2回目栽培初期と収穫後に採取した表層不攪乱土の土壌含水比をFig.6に示した。

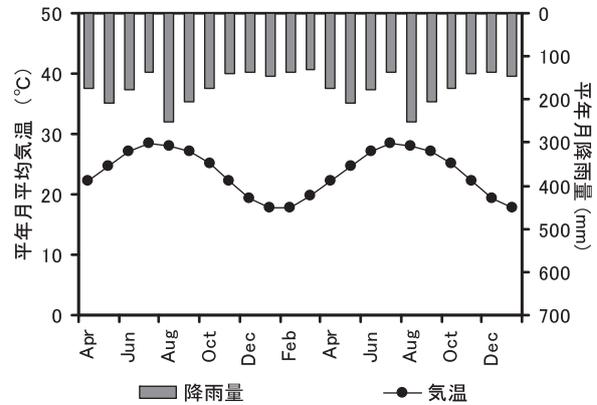
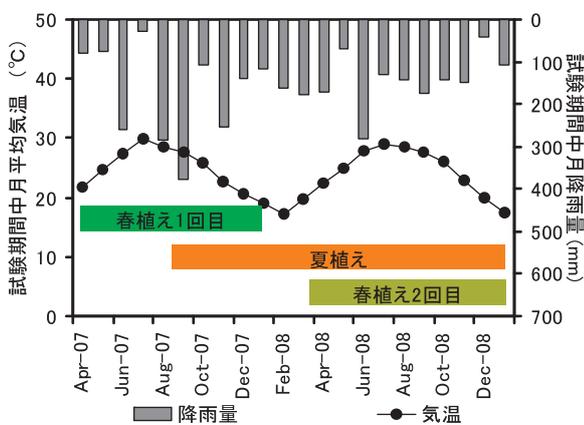


Fig.5 月降雨量と月平均気温
The rainfall and temperature of each month

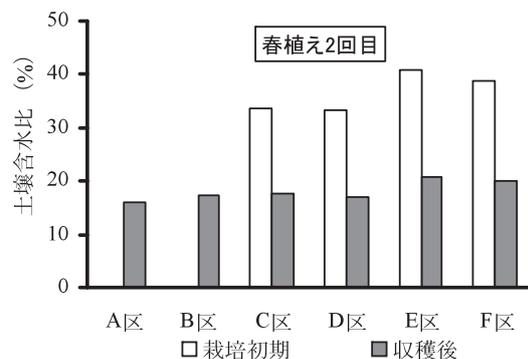
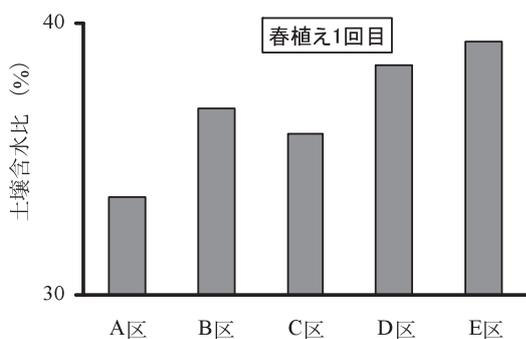


Fig.6 各試験区の土壌水分
Water content of soil in each experimental plot

栽培初期、収穫後におけるバガス炭施用区の土壤水分はバガス炭無施用区を6～20%上回った。また、1回目収穫後および2回目栽培初期における各試験区土壤含水比は30%以上だったのに対して、2回目収穫後における各試験区土壤の含水比は20%以下であった。これは収穫前の降雨が少なかったためと考えられる。

春植え栽培1回目のサトウキビの蒸散の影響が少ない栽培初期におけるバガス炭無施用のA.化学肥料区、バガス炭1%施用のB.化学肥料+1%バガス炭区とバガス炭2%施用のD.化学肥料+2%バガス炭区の24mmの降雨前後の土壤体積含水率の変化をFig.7に示した。バガス炭施用区の表層10cmまでの土壤体積含水率はバガス炭無施用区を大きく上回った。深度10～20cmにおいても、バガス炭2%施用区の土壤体積含水率はバガス炭無施用区を大きく上回った。2%以上のバガス炭の施用は土壤水分の保持に有効であることが明らかである。

b 土壤乾燥密度に与える影響

春植え栽培1回目収穫後、春植え栽培2回目栽培初期と収穫後の土壤乾燥密度をFig.8に示した。春植え1回目収穫後における1%、2%バガス炭施用区の土壤乾燥密度はそれぞれバガス炭無施用区の96%と93%であった。春植え2回目における栽培初期と収穫後のバガス炭施用区の土壤乾燥密度はそれぞれバガス炭無施用区

の93%と91%であった。農作業により収穫後の土壤乾燥密度は栽培前より高くなったが、バガス炭施用区の乾燥密度増加は無施用区より少なかった。バガス炭の施用によって表層土壤の圧密程度を下げられた。肥料成分が多い柔らかい表層は、太くて広い根群の形成に好条件であった。

c 土壤飽和透水係数に与える影響

春植え1回目収穫後、春植え2回目栽培初期と収穫後の土壤飽和透水係数をFig.9に示した。各試験区にはあまり差が見られず、バガス炭や消化液の施用が土壤透水性に与える影響は明らかでない。

d 有効土壤水分量に与える影響

春植え1回目収穫後、春植え2回目栽培初期と収穫後の有効土壤水分量をFig.10に示した。春植え1回目収穫後における1%、2%バガス炭施用区の有効土壤水分量は各々バガス炭無施用区の1.2倍、1.5倍であった。春植え2回目における栽培初期と収穫後のバガス炭施用区の有効土壤水分量は各々バガス炭無施用区の約1.1倍、1.3倍であった。バガス炭の施用は有効土壤水分量を増加させた。また、春植え2回目の収穫後の有効土壤水分量が栽培初期より多くなった理由は、pF1.6-2.3間の細間隙が増加したためと考えられる。

春植え2回目の収穫後におけるバガス炭無施用のC.化

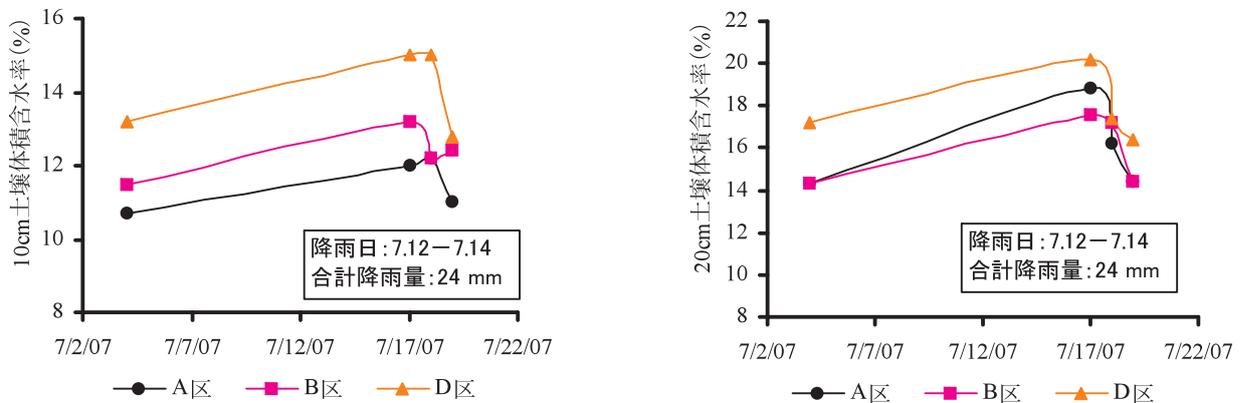


Fig.7 降雨に伴う各試験区の土壤体積含水率変化
Changes in water content of soil in each experimental plot due to rainfall

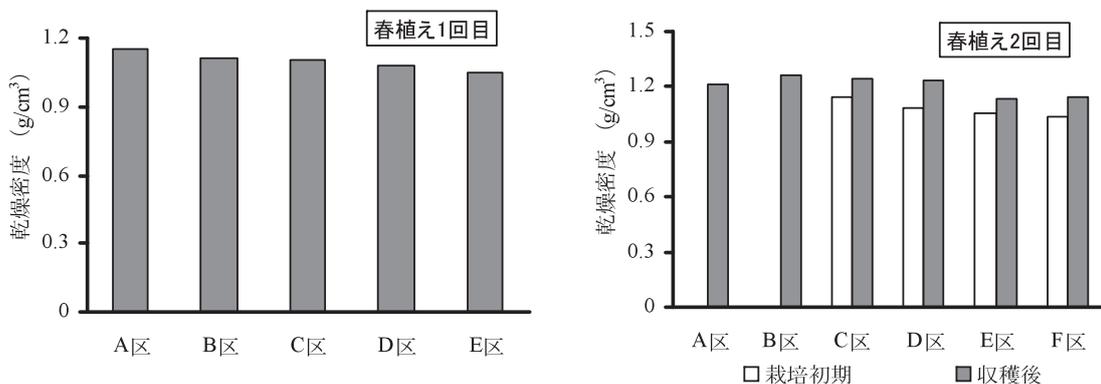


Fig.8 各試験区の土壤乾燥密度
Dry density of soil in each experimental plot

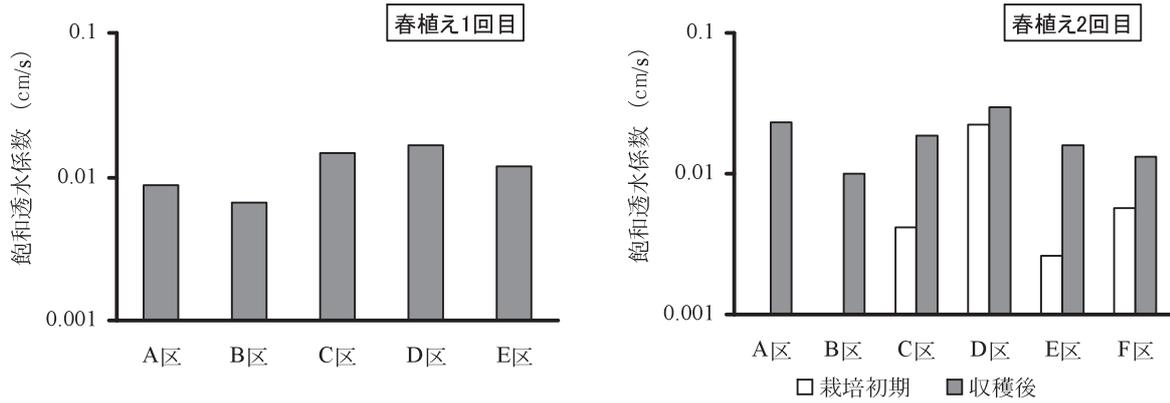


Fig.9 各試験区の土壤透水性
Soil permeability in each experimental plot

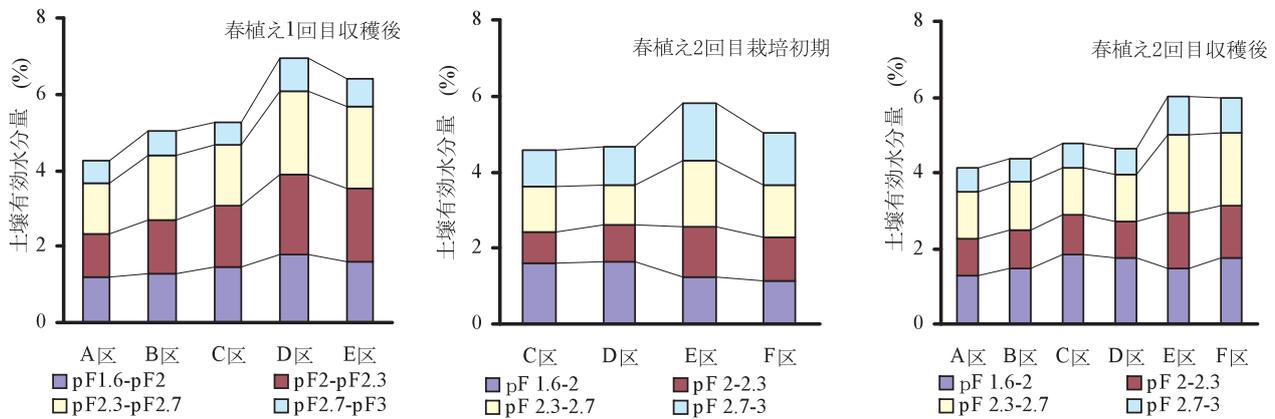


Fig.10 各試験区の有効土壤水分量
Soil available moisture in each experimental plot

学肥料区とD.化学肥料代替区の有効土壤水分量にはあまり差がないことや、バガス炭施用で、消化液の施用量が異なったE.化学肥料代替+バガス炭区とF.化学肥料上乗せ+バガス炭区の有効土壤水分量には差がないことから、消化液の施用は土壤有効水分の増加に効果がないと考えられる。

e 土壤化学性に与える影響

春植え1回目施肥前と収穫後の表層10cm土壤の窒素と炭素含量の変化をTable 4に示した。バガス炭の窒素、炭素、カリの含有量は0.37%、63.2%、19.9mg/kg

であり、1%のバガス炭を施用すると、土壤の窒素、炭素、カリの含有量は0.0037%、0.632%と0.199mg/kgを増加する単純計算となり、2%のバガス炭を施用すると、土壤の窒素、炭素とカリの含有量を0.0074%、1.264%と0.398mg/kg増加する単純計算となる。収穫後と施肥前の窒素と炭素の増加量はA.化学肥料区では0.003%と0.071%であり、1%バガス炭施用のB.化学肥料+1%バガス炭区とC.化学肥料+消化液+1%バガス炭区の平均値は0.017%と0.747%で、2%バガス炭装用のD.化学肥料+2%バガス炭区とE.化学肥料+消化液+2%バガ

Table 4 春植え1回目の土壤化学性の変化
Change in soil chemical properties of spring planted (First)

処 理 区	窒 素 (%)			炭 素 (%)		
	施肥前	収穫後	差	施肥前	収穫後	差
A. 化学肥料区	0.153	0.156	0.003	1.295	1.365	0.071
B. 化学肥料+1%バガス炭区	0.153	0.170	0.017	1.331	2.212	0.881
C. 化学肥料+消化液+1%バガス炭区	0.150	0.166	0.016	1.248	1.865	0.613
D. 化学肥料+2%バガス炭区	0.155	0.175	0.020	1.269	2.903	1.634
E. 化学肥料+消化液+2%バガス炭区	0.148	0.175	0.026	1.878	3.523	1.645

ス炭区の平均値は0.023%と1.640%であった。収穫後におけるバガス炭施用区の窒素と炭素の増加量は化学肥料施用による増加量とバガス炭施用による窒素と炭素の増加量の合計を上回った。これは、バガス炭による窒素吸収があったためと推測した。

春植え2回目栽培初期の2008年4月28日、1回目の追肥後の2008年7月10日の表層10cmまでの土壌、および収穫後の2009年1月14日の0-20cm(20cmと称す)、20-50cm(50cmと称す)の土壌のpHとECおよび全窒素、可給態リン酸、カリ、炭素の含有量をFig.11に示した。pHについては、各試験区間に差が見られず、1回目の追肥後に一時各試験区のpHが下がったが、収穫時にはまた元に戻った。ECについては、各試験区間に差が見られず、1回目の追肥後に一時各試験区のEC上がったが、収穫時にはまた元に戻った。特にC.化学肥料区と多施肥のF.化学肥料上乘せ+バガス炭区では、ECの増加現象は顕著であった。サトウキビの成長

に伴って、土壌中の可給態リン酸とカリ濃度が下がったが、カリ含有量が19.9mg/kgのバガス炭を施用したことで、E.化学肥料代替+バガス炭区とF.化学肥料上乘せ+バガス炭区のカリ濃度は高い水準を維持した。

夏植え施肥前と収穫後の表層土壌の窒素と炭素含量の変化をTable 5に示した。前作あり圃場における収穫後と施肥前の窒素増加量はA.化学肥料区は-0.016%に対し、B.化学肥料+バガス炭区は0.015%であった。収穫後におけるバガス炭施用区の窒素増加はバガス炭施用による窒素の単純増加量を上回った。これは、バガス炭による窒素吸収があったためと推測した。

3 バガス炭と消化液の施用がサトウキビ生育に与える影響

a 春植え1回目の調査結果

Fig.12は春植え1回目の定期調査におけるサトウキビの仮茎長、生葉数とSPAD値を示している。各試験区に

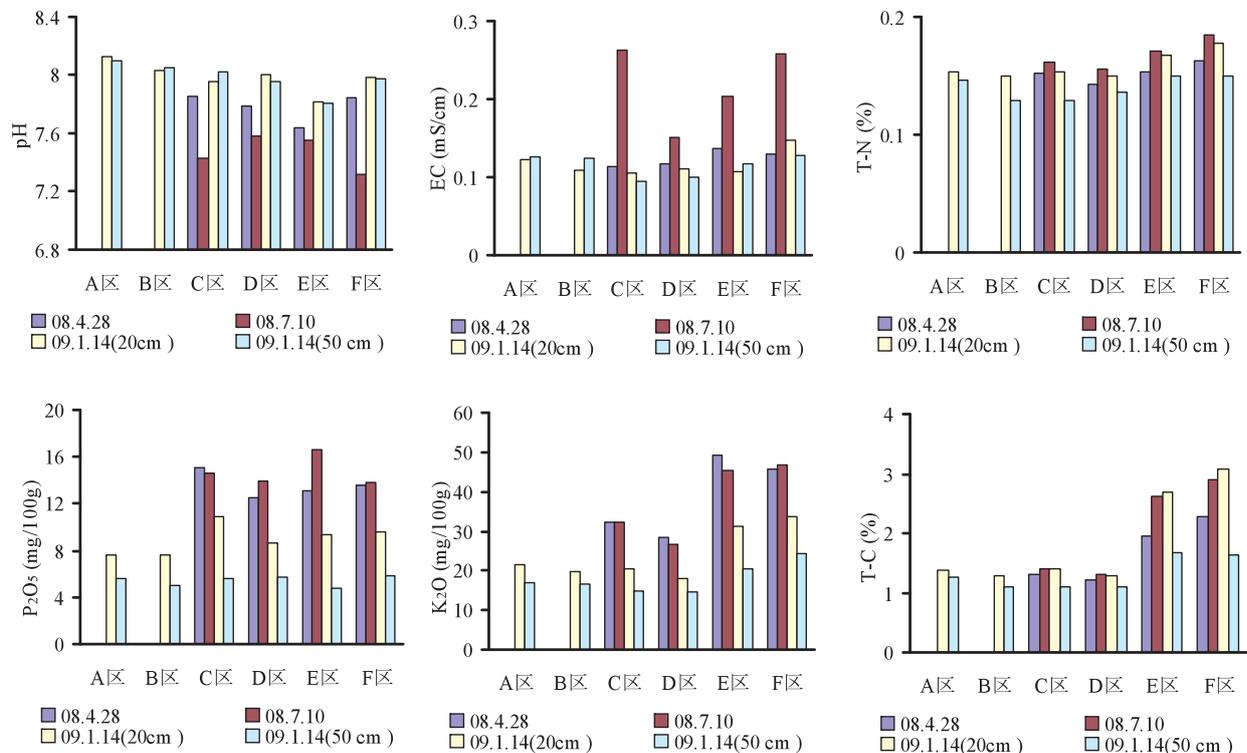


Fig. 11 春植え2回目の土壌化学性の変化
Change in soil chemical properties of spring planted (Second)

Table 5 夏植えの土壌化学性の変化
Change in soil chemical properties of summer planted

処 理 区	前作あり				前作なし			
	T-N (%)		T-C (%)		T-N (%)		T-C (%)	
	施肥前	収穫後	施肥前	収穫後	施肥前	収穫後	施肥前	収穫後
A. 化学肥料区	0.176	0.160	1.536	1.514	0.149	0.148	1.018	1.155
B. 化学肥料+バガス炭区	0.182	0.197	1.415	3.830	0.158	0.159	1.160	2.672
C. 消化液代替+バガス炭区	0.189	0.180	1.458	2.722	0.160	0.159	1.133	3.197

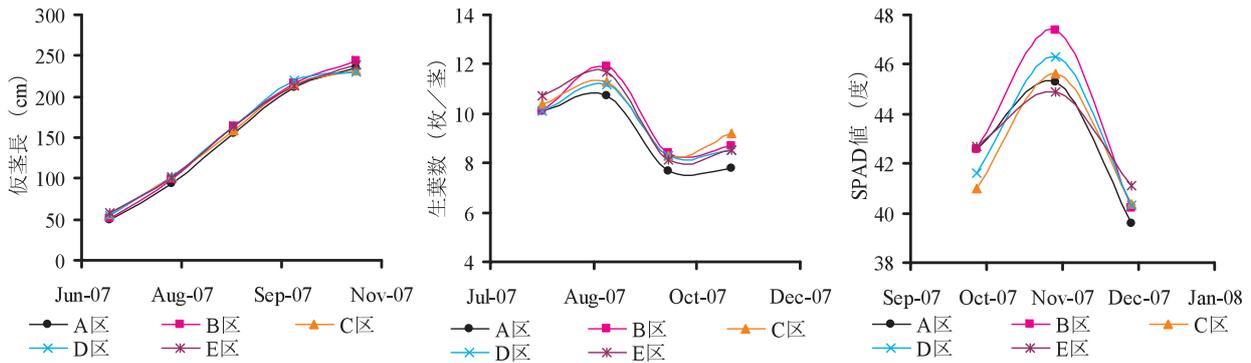


Fig. 12 春植え 1 回目サトウキビの仮茎長, 生葉数と SPAD 値の時間的変化
Change in stalk length, leaves number and leaf color of spring planted sugarcane (First)

おける仮茎長について差が見られなかった。光合成可能量を表わす生葉数とサトウキビの窒素含量を表わす SPAD 値などの項目については、バガス炭施用区は化学肥料区より上回り、B. 化学肥料 + 1%バガス炭区は最も高い値を示した。バガス炭の施用はサトウキビの生育に良好な効果を与えたことが認められた。

春植え 1 回目で収穫したサトウキビの茎長, 茎径, 葉面積, 一茎重, SPAD 値, Brix 値, 糖度, 繊維分, 可製糖率, 原料茎重, 可製糖量を Table 6 に示した (3 反復の各項目のバラツキは 25% 以内であった)。

各試験区の Brix や糖度などの品質には差が見られなかった。B. 化学肥料 + 1%バガス炭区のサトウキビ茎長, 茎径, 茎重などの指標が高かったが, 各試験区のサトウキビ茎数を揃えたにも関わらず, E. 化学肥料 + 消化液 + 2%バガス炭区のサトウキビの分けつが多く, 原料茎数が最も多いため, 原料茎重が最も重かった。E. 区の

可製糖量は A. 化学肥料区の 1.14 倍, C. 化学肥料 + 消化液 + 1%バガス炭区の 1.07 倍であった。消化液の施用量が僅かであったため, 収量の増加はバガス炭の影響と考えられる。サトウキビは, 根で吸収した養・水分と葉で光合成した炭水化物を使って, 成長しながら糖分を茎に蓄積する作物であるため, バガス炭の施用による有効土壌水分量の増加はサトウキビ収量増加の要因と考えられる。

b 春植え 2 回目の調査結果

Fig.13 は春植え 2 回目の定期調査におけるサトウキビの茎数, 仮茎長と茎径を示している。各試験区における茎数と仮茎長については, 差が見られなかった。一茎重に関連する指標の茎径について, F. 化学肥料上乘せ + バガス炭区の茎径は最も太かった。また, 同じ栽培開始から 7 ヶ月後の時期で, 1 回目春植えの平均 240cm の仮茎長に対し, 2 回目春植えの平均仮茎長は 210cm 未満で

Table 6 春植え 1 回目のサトウキビ生育
Growth of spring planted sugarcane (First)

処理区	Brix (%)	糖度 (%)	繊維分 (%)	可製糖率 (%)	原料茎重 (kg/a)	可製糖量 (kg/a)	標準比 (%)
A. 化学肥料区	20.4	18.9	11.1	15.0	851.9	127.5	100.0
B. 化学肥料 + 1%バガス炭区	20.2	18.6	10.7	14.8	957.4	141.1	110.7
C. 化学肥料 + 消化液 + 1%バガス炭区	20.0	18.6	11.0	14.8	912.8	135.5	106.3
D. 化学肥料 + 2%バガス炭区	20.4	18.8	11.3	14.8	900.4	133.6	104.8
E. 化学肥料 + 消化液 + 2%バガス炭区	20.3	18.9	11.3	15.0	969.0	145.6	114.2

処理区	茎長 (cm)		茎径 (cm)		葉面積 (cm ²)		SPAD		原料茎数 (本/a)		一茎重 (g)	
	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±
A	227	11	2.45	0.14	259	66	39.7	3.2	853	99	1003	88
B	238	17	2.48	0.13	262	52	40.1	3.5	867	81	1106	45
C	230	18	2.41	0.16	261	50	39.9	4.7	893	103	1033	142
D	234	15	2.51	0.14	257	63	39.8	3.2	880	40	1023	40
E	231	18	2.40	0.15	278	47	39.5	3.6	913	58	1063	43

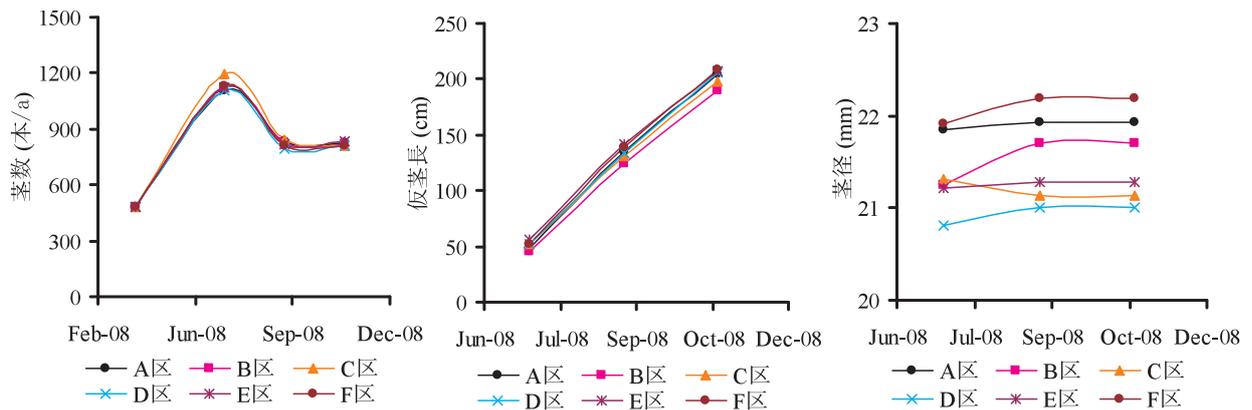


Fig. 13 春植え2回目サトウキビの茎数、仮茎長と茎径の時間的変化
Change in stalk number, stalk length, stalk diameter of spring planted sugarcane (Second)

あった。これは、茎長が最も伸びる8、9月には、春植え1回目のサトウキビは110cmに伸びたのに対し、春植え2回目のサトウキビは80cmしか伸びなかったためである。春植え1回目における8、9月間の降雨が660mmに対し、春植え2回目の降雨は310mmしかなかった。仮茎長が伸びなかった原因は水分不足と考えられる。

春植え2回目で収穫したサトウキビの茎長、茎径、葉面積、一茎重、SPAD値、Brix値、糖度、繊維分、可製糖率、原料茎重、可製糖量をTable 7に示した(3反復の各項目のバラツキは15%以内であった)。

A. 無施肥区を除いて、各試験区のBrixや糖度などの品質に差が見られなかったが、D. 化学肥料代替区、E. 化

学肥料代替+バガス炭区、F. 化学肥料上乘せ+バガス炭区の繊維分が多いため、可製糖率がC. 化学肥料区より低かった。但し、D, E, F区のいずれも原料茎重がC区より高いため、各区の可製糖量はC区と差が無かった。また、バガス炭施用のE, F区の原料茎重が他の区より高いことから、干ばつ状態で、バガス炭の保水効果はサトウキビの原料茎重に影響を与えていたと考えられる。さらに、A. 無施肥区やB. 減肥区と比較して、D. 化学肥料代替区は原料茎重が高く、可製糖量も増加したことから、消化液の肥料代替効果が確認できた。

春植え1回目と2回目の栽培期間がほぼ同じであるのに、1回目の化学肥料区の可製糖量は128 kg/aに対し、

Table 7 春植え2回目のサトウキビ生育
Growth of spring planted sugarcane (Second)

処理区	Brix (%)	糖度 (%)	繊維分 (%)	可製糖率 (%)	原料茎重 (kg/a)	可製糖量 (kg/a)	標準比 (%)
A. 無施肥区	20.4	18.3	12.2	14.0	310.3	43.4	67.4
B. 減肥区	19.8	17.8	11.9	13.7	356.4	48.8	75.9
C. 化学肥料区	19.9	17.6	11.2	13.6	473.4	64.3	100.0
D. 化学肥料代替区	19.5	17.2	11.5	13.2	489.5	64.5	100.2
E. 化学肥料代替+バガス炭区	19.9	17.3	11.7	13.2	520.2	68.5	106.6
F. 化学肥料上乘せ+バガス炭区	19.1	16.9	11.7	13.0	508.8	66.3	103.0

処理区	茎長 (cm)		茎径 (cm)		節数		原料茎数 (本/a)		一茎重 (g)	
	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±
A	183.3	16.0	2.10	0.16	17.1	2.4	487.2	68.4	652.1	80.9
B	178.8	18.8	2.09	0.16	16.3	2.8	532.1	47.0	672.5	27.5
C	185.5	17.3	2.00	0.16	16.9	2.2	618.6	55.6	771.4	64.0
D	186.9	21.4	1.98	0.22	16.7	2.7	628.2	10.7	779.0	13.3
E	200.4	16.0	2.13	0.13	17.0	2.4	641.0	29.9	811.9	7.9
F	196.9	13.3	2.16	0.15	17.5	1.9	592.9	29.9	855.7	77.5

2回目の化学肥料区の可製糖量は64 kg/aで、1回目の約半分であった。春植え1回目栽培に比べ、2回目の期間中に降雨が少ないことや、栽培品種が異なっていることが原因と考えられる。干ばつが発生する春植え期間中においては、水管理が収量を上げるために重要であると考えられる。

c 夏植えの調査結果

Fig.14は夏植えの定期調査における、前作ありと前作なし反復圃場のサトウキビの茎数、仮茎長と茎径を示している。前作なし反復では、茎数と仮茎長について、A.化

学肥料区は他の二区より高い傾向を示した。茎径については、C.消化液代替+バガス炭区はやや高い傾向を示した。前作ありの反復では、各試験区における茎数について、A.化学肥料区は他の二区より高い傾向を示した。仮茎長と茎径については、差が見られなかった。施肥前の前作あり圃場の平均窒素含量は0.182%、炭素含量は1.47%に対し、前作なし圃場の平均窒素含量は0.156%、炭素含量は1.10%であった。選定した圃場の土壌窒素含量の違いは茎数の差として、栽培試験結果に現れることを確認した。また、基肥の窒素成分の不足はサトウキビ

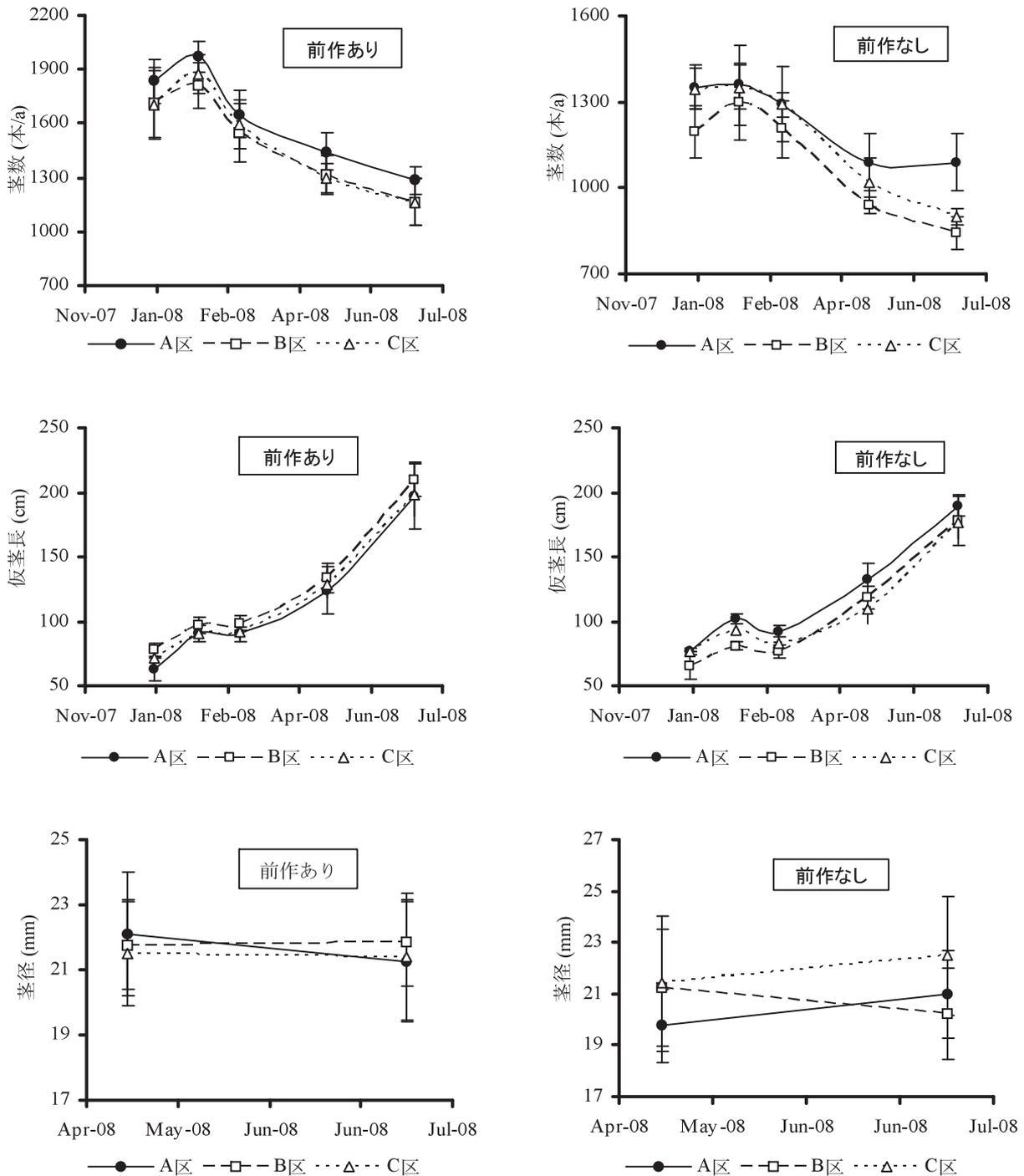


Fig.14 夏植えサトウキビの茎数、仮茎長と茎径の時間的変化
Change in stalk number, stalk length, stalk diameter of summer planted sugarcane

の生育に悪影響を与えたことが明らかとなった。

茎数、仮茎長、茎径のいずれの項目について、前作ありの反復は前作なしの反復より高い。試験開始前の前作あり圃場の窒素と炭素含量はいずれも前作なし圃場より高いことから、前作の残留肥料が基肥不足を緩和したと考えられる。以上のような同じ施肥設計を行った圃場でも、前作のあり、なしによって、サトウキビの生育に違いが見られたことから、試験結果の整理は前作あり、なしに区分する。

夏植え前作ありと前作なし圃場で収穫したサトウキビの茎長、茎径、葉面積、一茎重、SPAD 値、Brix 値、糖度、繊維分、可製糖率、原料茎重、可製糖量を **Table 8** と **Table 9** に示した (3 反復の各項目のバラツキは 20% 以内であった)。

前作ありと前作なし圃場において、各試験区の Brix や糖度などの品質に差が見られなかった。前作あり圃場では、B. 化学肥料+バガス炭区、C. 消化液代替+バガス炭区の原料茎数が減少したため、原料茎重と可製糖量は減少した。前作なし圃場では、さらに B、C 区の一茎重も下がったため、B、C 区可製糖量は A. 化学肥料区の

74%、76% になった。台風の影響が小さく、雨水にも恵まれていた夏植え栽培には、バガス炭の保水効果によるサトウキビ収量の増加が見られなかった。

また、夏植えの化学肥料区の可製糖量は 177kg/a に対し、春植え 1 回目の化学肥料区の可製糖量は 128 kg/a であった。同じ品種のサトウキビ栽培において、干ばつが発生する春植え期間中の水管理を適切にすれば、2 年間で 2 回の春植え栽培は 1 回の夏植え栽培より増収することが明らかになった。

IV 結 言

宮古島では、サトウキビの夏植え栽培は、春植え栽培や株出し栽培に比較して台風や干ばつの影響が少なく、夏植えが一般的であるが、2 年 1 作で土地利用効率が低いことから、栽培コストの低減、生産性の向上のため、春植え株出し型栽培への移行が求められている。しかし、かんがい設備の未整備地域では干ばつの影響が大きく、サトウキビ春植えの生産が不安定であるため、土壤改良による保水能の増加が春植え栽培普及上必要である。ま

Table 8 夏植えのサトウキビ生育 (前作あり)
Growth of summer planted sugarcane (have front-planning)

処理区	Brix (%)	糖度 (%)	繊維分 (%)	可製糖率 (%)	原料茎重 (kg/a)	可製糖量 (kg/a)	標準比 (%)
A. 化学肥料区	21.0	19.2	11.6	15.0	1182.7	176.9	100.0
B. 化学肥料+バガス炭区	20.6	19.1	12.0	14.8	1093.8	161.9	91.5
C. 消化液代替+バガス炭区	20.8	18.8	11.7	14.6	1054.8	153.7	86.9

処理区	茎長 (cm)		茎径 (cm)		節数		葉面積 (cm ²)		SPAD		原料茎数 (本/a)	一茎重 (g)
	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±		
A	281.8	44.7	2.01	0.21	34.3	5.3	1422.8	114.0	40.0	3.2	1187.5	995.9
B	299.7	25.9	2.06	0.14	39.9	4.8	1418.9	234.6	40.0	4.2	1048.1	1044.7
C	279.4	24.7	2.00	0.14	37.8	3.1	1439.9	110.8	40.5	2.0	1062.5	995.4

Table 9 夏植えのサトウキビ生育 (前作なし)
Growth of summer planted sugarcane (no front-planning)

処理区	Brix (%)	糖度 (%)	繊維分 (%)	可製糖率 (%)	原料茎重 (kg/a)	可製糖量 (kg/a)	標準比 (%)
A. 化学肥料区	21.3	19.1	12.5	14.4	1030.8	148.8	100.0
B. 化学肥料+バガス炭区	20.3	18.4	12.2	14.1	782.7	110.0	73.9
C. 消化液代替+バガス炭区	21.4	19.6	12.5	15.0	749.0	112.5	75.6

処理区	茎長 (cm)		茎径 (cm)		節数		葉面積 (cm ²)		SPAD		原料茎数 (本/a)	一茎重 (g)
	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±	平均	±		
A	278.2	21.3	1.97	0.14	39.2	2.7	1365.7	116.6	41.3	4.2	1028.8	1001.9
B	265.2	25.8	2.16	0.11	43.2	2.5	1465.4	214.3	41.1	2.2	846.2	925.0
C	250.9	17.3	2.04	0.22	38.1	2.4	1174.5	104.9	39.4	0.9	817.3	916.5

た、水資源である地下水の水質保全のため、硝酸態窒素の低減対策として家畜ふん尿の処理と化学肥料の適正施用を両立することができる減肥栽培システムの確立が重要である。

本研究では、牛ふんメタン発酵の副産物である消化液および600℃で炭化された保水性に富むバガス炭などのバイオマス変換物がサトウキビ栽培に及ぼす影響を解明するため、サトウキビの春植えおよび夏植え圃場栽培試験を行い、消化液の施肥効果やバガス炭の保水効果を検証した。

その結果、以下の事項が明らかとなった。

- ① バガス炭の施用は土壌の保水性を高め、適切な水分含量を保持した。水分保持の観点から、バガス炭施用の適量は重量比2%以上である。
- ② 干ばつが発生した春植え栽培では、バガス炭の施用がサトウキビの原料茎重増加に貢献した。
- ③ 消化液は有機肥料とみなされ、その施用による土壌の物理性改良効果は見られなかった。
- ④ 春植え栽培において消化液による窒素成分の代替は有効である。
- ⑤ 降雨が十分あり、台風の影響が小さく、天候に恵まれていた夏植え栽培では、バガス炭のサトウキビ増産効果が少なかった。
- ⑥ 夏植え栽培では、農地土壌の肥料残留の有無がサトウキビの生育に大きな影響を与えた。
- ⑦ 干ばつの影響を受け易い春植え期間中の水管理は極めて重要であり、水管理を適切に実施すれば、2年間で2回の春植え栽培は1回の夏植え栽培より増収することが明らかとなった。

以上のように、本研究では、バガス炭の圃場全面施用は土壌の保水性を高め、適切な有効水分量を保持したことが明らかになった。しかし、全面施用におけるバガス炭の需要量が18t/aと大量であるので、畝施用など小面積の実施が土壌の保水性に与える影響を検証する必要がある。今後、施用コストと施用効果の持続性の調査を行うことより、バガス炭の施用による畑地かんがいの省力化技術の確立が期待される。また、本研究では、夏植え栽培におけるバガス炭の施用効果が見られなかった。これは夏植え栽培の栽培期間が長く、いろいろな影響が受

けるためと考えられる。今後試験例を増やして、夏植え栽培におけるバガス炭の施用効果を明らかにする必要がある。

バガス炭の農地施用による硝酸態窒素負荷の抑制や消化液利用による化学肥料の削減などバイオマス利用によるさまざまな波及効果が期待されている。これらの研究成果に基づいて、現在バイオマス利用によるエネルギー、温室効果ガス排出量およびコストの削減効果に関して宮古島において研究開発を進めている。

参考文献

- 1) 陳 嫣・凌 祥之 (2005)：バイオマス変換物の農地施用が作物生育および土壌の理化学特性に与える影響の解明－島尻マーヅ土壌を用いた例－，農業土木学会論文集，240，p.89-95.
- 2) 陳 嫣・平良正彦・上野正実・凌 祥之 (2008)：島尻マーヅ土壌における消化液やバガス炭の施用効果について－地下水質を考慮したサトウキビ，ソルガムの輪作栽培－，農業土木学会論文集，254，p.31-37.
- 3) 角 明夫・林 満・片山忠夫 (2001)：土壌水分に対するサトウキビ品種の生育反応の比較，日本作物学会紀事，70(2)，p.202-208.
- 4) 気象庁：気象統計情報，<http://www.data.jma.go.jp/> (確認日：2009/10/10)
- 5) 中西康博・高平兼司・下地邦輝 (2001)：地下水窒素汚染における起源別窒素負荷率の重回帰法による推定，日本土壤肥料学雑誌，72(3)，p.365-371.
- 6) 日本分蜜糖工業会製糖技術研究会 (1983)：製糖化学便覧 (化学管理法)，日本分蜜糖工業会製糖技術研究会，p.3-22.
- 7) 田代 豊・高平兼司 (2001)：宮古島における窒素負荷発生量と地下水窒素濃度の長期的推移，水環境学会誌，24(11)，p.733-738.
- 8) 上野正実・川満芳信・小宮康明 (2006)：サトウキビを主体にした島嶼農業の再生とバガスの炭化，農業機械学会誌，68(3)，p.13-17.

Impact of the Application of Converted Biomass to Upland Soil and Sugarcane Growth

CHEN Yan, TAIRA Masahiko, MAEDA Goki, HIKA Akemi,
KUBA Mineko and SHINOGI Yoshiyuki

Summary

This study dealt with the influences of application of digested slurry and bagasse charcoal to Shimajiri-maji soil on sugarcane growth. Digested slurry and bagasse charcoal were incorporated into Shimajiri-maji soil. Spring and summer planted sugarcanes were cultivated on Shimajiri-maji soil. The indexes of the Sugarcane growth, such as the stem diameter and length, yield, Brix of sugarcane in each experiment plot were clarified. Changes in soil chemical properties such as pH, EC, concentrations of total nitrogen, total carbon, potassium and phosphoric, and soil physical properties such as water content, dry density, permeability and available moisture in soil between planting and harvesting were observed.

The results indicate that the bagasse charcoal increased available soil moisture in Shimajiri-maji soil. It became clear that maintaining an appropriate level of water content in soil has resulted in increased yields of sugarcane. In addition, application of the bagasse charcoal increased the soil nitrogen absorption. It can be concluded that the application of bagasse charcoal is able to reduce the volume of nitrogen percolation.

Keeping the appropriate irrigation and restocking the death stem is very important on spring planted sugarcane crop. It was clear that in two years, twice spring planted can increase crops than once summer planted.

Digested slurry is effective in substituting nitrogen fertilizer. The appropriate fertilization efficiency of digested slurry is 0.5.

Keywords : digested slurry, bagasse charcoal, sugarcane cultivation, commercial cane sugar production, available moisture