

品種特性と土壌条件を考慮したサトウキビの栽培管理法に関する研究

井上健一*¹

要 約

日本におけるサトウキビの単位面積当たりの収量は水稻やサツマイモなどの穀物と異なり長期間低落傾向にあることが指摘とされている。近年のサトウキビの単位面積当たりの収量の推移をみると、春植え栽培では横ばいあるいは微増傾向にあるが、株出し栽培では下降傾向にあることがわかる。したがって、サトウキビの生産性向上のためには、株出し栽培の管理技術の改善が重要と考えられる。また、鹿児島県のサトウキビは沖縄県と異なり、非火山灰土畑だけでなく火山灰土畑でも栽培されているため、土壌タイプを考慮した肥培管理を行う必要がある。本研究では、サトウキビの生産性改善に向けた栽培・土壌管理法の基礎的知見を得るために、以下のことを検討した。

株出し栽培の面積拡大を目的に導入された品種 Ni17 の収量性を確保するために、まず、春植え栽培の栽植密度の検討を行った。株間を狭くし、植え付け種苗数を多くすることによって、生育前半から乾物生産旺盛期の葉面積指数の向上に伴い個体群成長速度が増大し、増収することを明らかにした。また、Ni17 は春植えおよび株出し栽培ともに、暗赤色土よりも黄色土で栽培する方が窒素溶脱量は少なく、高収量となることを明らかにした。

次に、サトウキビ株出し栽培の生産安定を目的として、前作（春植え栽培）における管理の違いが後作（株出し栽培）の乾物生産性に及ぼす影響を検討した。その結果、新植時の栽培管理の違いによって収穫茎の栄養状態は異なり、引き続き生産される株出し栽培の生産性が異なることを明らかにした。中でも、窒素増施などの前作収穫茎中の窒素含有率を高める管理は、後作の生育向上に繋がると考えられた。さらに、株出し栽培における適切な追肥窒素施用量を検討した。最高分けつ数 110×10^3 本 ha^{-1} 程度の場合、目標収量 (80 Mg ha^{-1}) は概ね確保され、追肥窒素を増施しても増収せず、糖度は低下した。最高分けつ数が 150×10^3 本 ha^{-1} 程度と多い場合、追肥窒素の増施によって、無効分けつ数が抑制され、糖度の低下もなく増収した。このことから、サトウキビ Ni17 株出し栽培では、最高分けつ数を基準として、追肥窒素施用量を決定することが有効であることを提案した。一方、新たに導入された品種 Ni22 の春植え栽培収穫茎中の窒素含有率は Ni17 や Ni23 に比べ高かったことから、Ni22 春植え栽培における窒素施用量は基準量に比べ、削減できる可能性を示した。

持続的なサトウキビ生産を行うために、種子島と奄美地域の土壌化学性を調査し、土壌タイプ別の管理法を検討した。火山灰土が分布する種子島の露地畑では、土壌 pH の低下が著しいため、酸度矯正を行うことが重要であった。サトウキビは水稻と同様にケイ酸を多量に吸収するが、土壌からのケイ酸供給能は高く、ケイ酸肥料施用の必要性は低いと考えられた。一方、非火山灰土が分布する奄美地域では赤黄色土畑を中心にケイ酸肥料の施用が必要な圃場が多く存在することを明らかにした。サトウキビ機械収穫に伴うケイ酸の圃場外への搬出量の試算を行った結果、赤黄色土畑では $800 \sim 900 \text{ kg ha}^{-1}$ 程度のケイ酸を春植え栽培前に施用する必要があると考えられた。また、暗赤色土畑ではバガス堆肥を植溝に施用することで、畝表面からの蒸発散量を抑制でき、乾物生産性が向上する施用法を開発した。

以上、サトウキビの品種特性と土壌条件を考慮した栽培管理法を示した。本研究で取り組んだ内容は、長期間低落傾向にあるサトウキビの生産性改善につながる技術であり、今後のサトウキビ産業の発展への寄与が期待される。

キーワード：サトウキビ，火山灰土，非火山灰土，窒素，ケイ酸

*1 北薩地域振興局農林水産部農政普及課出水市駐在（学位論文；2017. 九州大学 再掲）

— 目 次 —

第1章	序論	32
第2章	茎重型品種 Ni17 春植え栽培における収量・品質確保のための対策	39
第1節	Ni17 の乾物生産特性	39
第2節	茎重型品種に対する密植の効果	42
第3節	暗赤色土と黄色土における Ni17 の生育反応の違い	48
第3章	株出し栽培における収量・品質確保に向けた対策	51
第1節	株出し萌芽性を良好にさせる茎中栄養条件	51
第2節	茎重型品種の株出し栽培において有効な窒素追肥法	56
第4章	茎数型品種 Ni22 の適切な窒素施用量	62
第5章	奄美地域と種子島の土壌特性	66
第1節	奄美地域と種子島の土壌中リン酸、カリ含量	66
第2節	火山灰土畑と非火山灰土畑におけるケイ酸供給能の違い	68
第3節	火山灰土畑と非火山灰土畑で栽培されたサトウキビのケイ酸吸収量	71
第4節	種子島における中和石灰量の算出	74
第5節	暗赤色土圃場における水分供給能向上対策	77
第6章	総合考察	80
謝辞		84
引用文献		84
Summary		88

第 1 章 序論

1.1 日本の甘味資源作物

日本では、甘味資源作物として、テンサイとサトウキ

ビが栽培され、国内砂糖供給量の約 4 割はこれらに由来している。残りの約 6 割は主にタイやオーストラリアから輸入された粗糖を原料として国内で製造された精製糖である。国内産糖に占める産糖量の割合はテンサイが約 8 割、サトウキビが約 2 割となっている（図 1.1）。砂糖は日本国民の摂取カロリーの約 8%を占めており、菓子類や清涼飲料、乳製品など様々な食品に用いられている。また、食糧自給率における貢献度（カロリーベース）では、コメに次ぐ重要な品目となっている。一方、国内産糖は海外産糖と比較すると、てん菜糖で約 2 倍、甘しや糖で約 5 倍の内外価格差があるため、その生産は「糖価格調整制度」によって支えられている。この制度は安い外国産糖を輸入する業者から政府が調整金を徴収して内外価格差を是正する一方、この調整金を財源に栽培農家と国内産糖製造業者へ交付金を交付し、所得および経営の安定を図るものである。しかし、近年は、調整金の主な収入源となる粗糖の輸入量減少や国際砂糖相場の上昇等によって、調整金の収支が不均衡化しており、制度運営のための努力や甘味資源作物の生産コスト低減が求められている。このため、政府は 2007 年 4 月に「新砂糖・甘味資源作物政策」を打ち出し、市場の需給事情を反映した取引価格が形成されるように制度の見直しを行った。さらに、2008 年産サトウキビからは、製糖企業や農家に生産コストの削減等の努力を促すように、交付金の交付の要件や方法などの大幅な変更を行っている。

日本におけるサトウキビ栽培は沖縄県と鹿児島県の島嶼地域で盛んに行われている。テンサイは収穫後、大部分が北海道内に存在する工場に輸送されるとともに生鮮貯蔵され、順次裁断、製糖される。これに対して、サトウキビは収穫後、茎内でショ糖が結晶化できない単糖類に転化してしまう品質劣化が進むため、速やかに工場に持ち込み、製糖に供す必要がある。このため、サトウキビが栽培されている各島には製糖工場が存在し、各島で製糖し、粗糖の状態にしてから島外へ輸送されている（図 1.2）。テンサイ、サトウキビ産業を取り巻く情勢に違いはあるものの、いずれも糖の生産、流通等を通じて地域社会、地域経済を支える基幹産業であり、栽培面積や収穫量の確保が求められている。

このように、甘味資源作物は、日本の農業にとって重要な意味を持つとともに地域経済を支えており、持続的な栽培が必要である。砂糖の高い内外価格差を少なくするためにも、優良品種の育成やコスト低減に繋がる栽培管理技術の確立などの研究が果たす役割は大きいと考えられる。

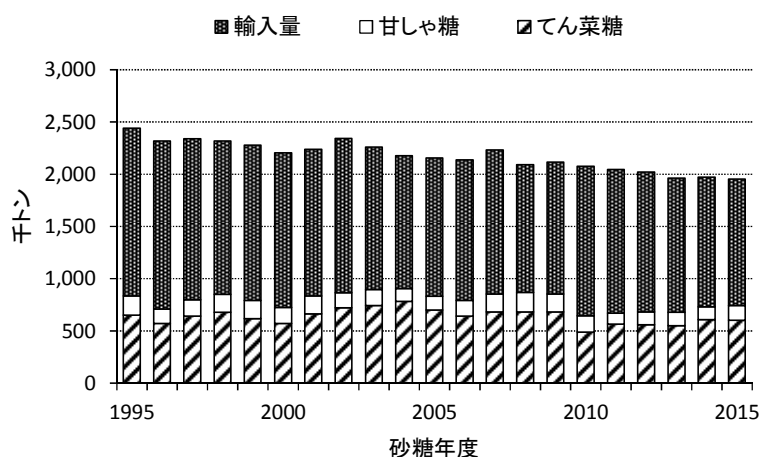


図1.1 国内産糖（甘しや糖とてん菜糖）と砂糖の輸入実績の推移
砂糖，統計情報（農畜産機構）より引用

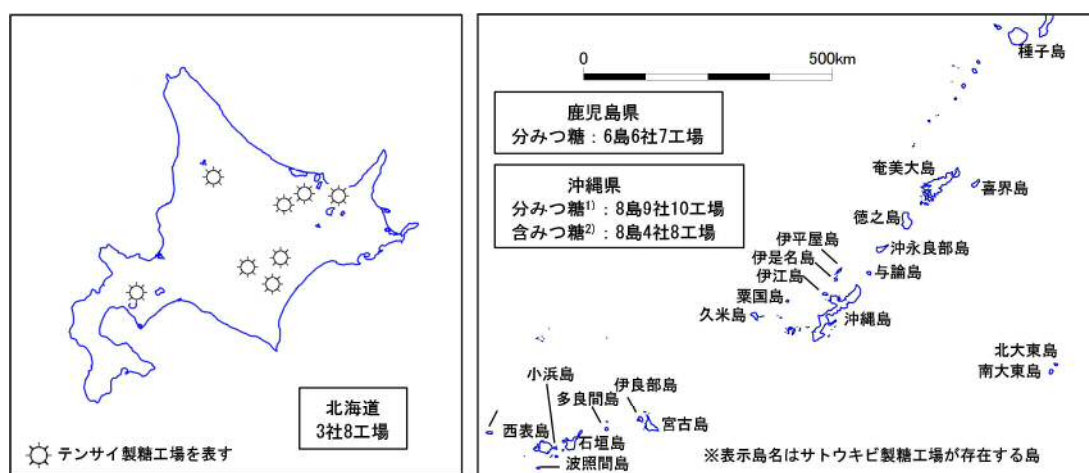


図1.2 テンサイおよびサトウキビ製糖工場分布図

- 1) 分みつ糖：サトウキビを搾って煮詰め，蔗糖の結晶だけを取り出したもの
- 2) 含みつ糖：糖蜜を分けずに結晶砂糖と一緒に固めたもの（黒糖）

1.2 鹿児島県のサトウキビ産業

九州の南端に位置する鹿児島県では，温暖な気候や広大な畑地などの特性を生かして畜産，園芸を中心とした農業生産が盛んに行われている．農林水産省「生産農業所得統計」によると，鹿児島県の平成26年農業産出額は4,263億円で，上位4品目は畜産部門が占めている(2,583億円)．サトウキビの農業産出額は5位の米，6位のサツマイモ，7位の茶に続き8位に位置し，99億円であり，農業産出額に占める割合は2.3%と沖縄県の16.9%に比べると低い．しかし，サトウキビが栽培されている奄美地域，種子島に目を向けると，農業分野はもちろんのこと，製糖業などを含め各島の重要な産業として位置づけられる．平成22年の奄美地域と種子島におけるサトウキビの農業産出額に占める割合はそれぞれ34.1，29.7%と高い値を示している．さらに，サトウキビの生産は，製糖業をはじめとする関連産業への波及効果が大きく，雇

用機会や所得の創出など地域経済に重要な役割を果たしており，その経済波及効果は算出額の4倍程度と試算されている（鹿児島県サトウキビ増産計画）．

上述のように，サトウキビは地域経済を支える重要な役割を担っているが，生産構造が脆弱であることや，台風の常襲や干ばつ害などの気象災害等により，生産量が伸び悩んでいた．このような状況に対処するため，鹿児島県は，国の「さとうきび増産プロジェクト基本方針」に基づき，島毎および県段階における生産目標や取組方向を整理した「さとうきび増産計画」を平成18年6月に策定した．以降，この計画に沿って，畑地かんがい施設の整備や優良品種の普及，ハーベスタの導入等による機械化一貫体系の確立，単収向上や省力化対策などに取り組み，サトウキビの生産振興と農家の経営の安定，所得の向上が図られている．しかし，奄美地域の平成23年産および24年産におけるサトウキビは，2年連続で平均単

収が 38 Mg ha^{-1} と、目標とされる単収の 80 Mg ha^{-1} を大きく下回った。この低収要因を検討した「さとうきび研究成果発表会（平成25年7月23日開催）」では、サトウキビの生産回復を図るためには、優良苗の移植、早期の株出し管理、雑草対策、土づくりなどといった基本技術の励行が重要であることが再確認された。上に述べた、県策定の「さとうきび増産計画」によっても、高齢化の進展に対応したハーベスタ収穫の増加や労働時間の縮減、収穫面積の増加など一定の成果が得られつつある。しかし、その生産については、台風などの気象災害を始め、依然として不安定な面も持ち合わせている。奄美地

域における近年のサトウキビ単収の推移をみると、春植え栽培では横ばいあるいは微増傾向であるが、株出し栽培では下降傾向であることがわかる（図1.3）。寺内(2013)はこの単収低下要因として種苗伝染性病害、肥培管理、機械化、連作の影響について考察している。また、問題解決に向けては既存技術を効率的に活用するとともに、より積極的な対応策を提案できる新たな技術開発の必要性について論じている。したがって、サトウキビが鹿児島県の島嶼地域の経済を強固に支える基幹作物とするためには、生産安定に向けた研究開発を進めることは必要である。

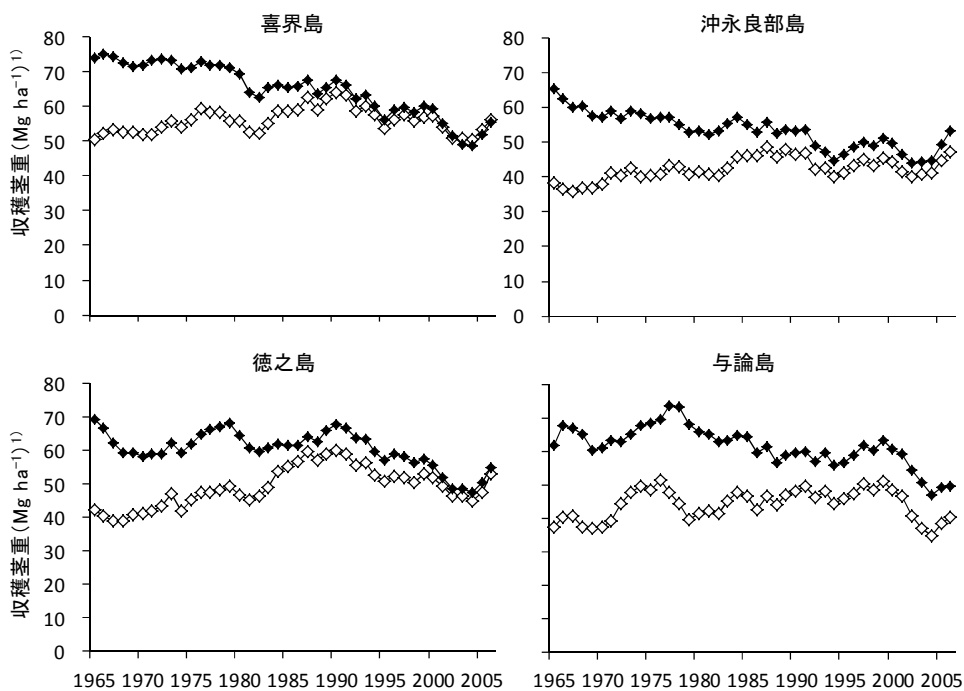


図1.3 奄美地域のサトウキビ収穫茎重の推移

◇は春植え栽培，◆は株出し栽培を表す。

折れ線グラフの点は各島毎の5か年間の単純異動平均値を示す。

奄美農林水産業の動向（2011，奄美群島農政推進協議会）より引用。

1.3 鹿児島県におけるサトウキビの栽培型と品種の変遷

鹿児島におけるサトウキビ栽培は、苗を植え付けて栽培する新植栽培と収穫後の芽子から新しい茎を形成させ収穫茎にする株出し栽培の二つに大別される。さらに、新植栽培は植え付け時期によって栽培型が分類されている。奄美地域では、2～3月に植え付け翌年の3～4月に収穫する春植え栽培と、8～9月に植え付け翌年の12月～翌々年の3月に収穫する夏植え栽培が行われている。種子島ではこれに加えて、10～11月中旬に植え付け、翌年の12月～翌々年の3月に収穫する秋植え栽培も行われている（鹿児島県糖業振興協会，2015）。近年では、さ

らなる収穫期間の拡大と製糖期間の延長を目指し、夏植えに準じて植え付け、約1年後に収穫する新しい作型（夏植え型秋収穫栽培）の検討も行われている（伊禮ら，2009）。一方、株出し栽培は苗、整地、植え付け作業などを必要としないため、農家収益性が高い。加えて、新植栽培に比べ葉面積の拡大が早く、その結果、太陽エネルギー利用効率が高い期間が長くなることによって、高い乾物生産性を持つ（島袋ら，1997）。このように株出し栽培は新植栽培に比べメリットの多い栽培型である。

育成品種として最初に鹿児島県に導入された品種は読谷山で、1892年に沖縄県から奄美地域に導入され、1923年にはこの地域に適する優良品種として認定された。1929年にはインドネシア育成品種 POJ2725 が奄美地域

の奨励品種に採用され、収量、品質、製糖特性などに優れていたことから、作付面積の90%以上を占めるまで普及が拡大した。1960年前後には、種子島と奄美の両地域に対して、台風、干ばつ等の自然災害に対する抵抗性が著しく強く、分げつ力が旺盛で株出し能力に優れる南アフリカ共和国の育成品種 NCo310 が奨励品種に採用された。しかし、1980年代には黄さび病（牟田ら、1998）による品質低下と黒穂病（山内、1973）発生拡大に伴う枯死茎の発生が問題となり、これらに対する抵抗性を備える品種が求められるようになった。その結果、黒穂病だけでなく葉焼病に対しても高い抵抗性を備える NiF8 が九州沖縄農業研究センターによって育成され、1990年には鹿児島県の奨励品種に採用された（最上ら、1992）。その後、1994年からサトウキビの取引は、基準値以上の品質であれば単価は変わらない重量取引制度から、ショ糖含有率により単価を決定する品質取引制度に移行した（北崎、2013）。NiF8 の収穫期間中のショ糖含有率は NCo310 と比較して格段に高かったため、問題なく制度移行が行われたが、以降、サトウキビは収穫茎の重さだけでなく、ショ糖含有率まで考慮した生産が求められるようになった。

先に述べたように、株出し栽培は新植栽培に比べメリットの多い栽培型である。NCo310 が導入されて以降、株出し栽培の普及が進み、収穫面積も拡大されてきた。しかし、1960年代後半からサトウキビの地下芽子を食害するコメツキムシの幼虫（ハリガネムシ）の被害がみられるようになった（長嶺・金城、1981）。さらに、1971年に有機塩素系農薬の販売が禁止されてから、土壌害虫の密度が急激に増加した（新垣、2011）。有機塩素系農薬の販売禁止以降、新植栽培に対しては苗の芽子を保護するために、植え付け時に薬剤を処理する対策が取られた。しかし、すでに地中に芽子位置が存在する株出し栽培では、ハリガネムシに対して直接農薬を接触させることは難しく、新植収穫後に萌芽茎が出てこない不萌芽が起きていた。このため、沖縄県の先島地域では新植栽培の面積割合が90%程度に達するなど、各地の株出し栽培面積は大きく減少した。このような中、近年、誘因性の殺虫剤など防除技術の開発により、これまでハリガネムシの被害で株出し栽培ができなかった地域でも、収穫後に十分な萌芽数を得られることが確認され、不萌芽の回避に有効であることが示されている（太郎良ら、2007）。

奄美地域では、主力栽培品種が NCo310 から NiF8 へ移行したが、NiF8 は株出し回数を重ねるごとに萌芽位置が上昇し、欠株率が上がるなど、株出し栽培に対して欠点を持ち合わせていた（鹿児島県糖業振興協会、2015）。

この結果、ハリガネムシによる被害拡大と併せて、1980～1990年頃まで株出し栽培の収穫面積は6,000 ha前後で推移してきたが1996年には4,000 haを下回り、それ以降、全収穫面積に対する株出し栽培面積の割合は50%台前半で推移した（図1.4）。これに伴い全収穫面積も9,000 haから約7,000 haまで減少したことから、株出し萌芽性に優れる品種が求められるようになった。これに対応する品種選抜が進められた結果、収穫時のショ糖含有率が高く、株出し萌芽性に優れる Ni17 が沖縄県農業研究センターによって育成され、2001年に鹿児島県の奨励品種に採用された（図1.5、謝花ら、2009）。その他、Ni17 は風折抵抗性を備え、潮風害による糖度の低下も小さく、台風被害が少ない品種であり、梢頭部が大きいため、冬の牛の自給飼料への活用も期待されている。一方、Ni17 は一茎重の重さで収量を確保する茎重型品種に分類され、広く普及してきた茎数型品種 NCo310 や中間型品種 NiF8 と収穫時の形態が異なる。また、初期生育がやや緩慢であり、新植の分げつがやや少なく、干ばつの影響が大きい圃場では、茎の伸長が抑制されるといった特性に留意して栽培することが求められている。

サトウキビの品種選抜はその後重点的に行われ、2006年には株出し萌芽性に優れる Ni22（伊禮ら、2010）と Ni23（西ら、2007）が奄美地域の奨励品種に採用された。さらに、Ni22 は Ni17 と異なり、早い時期から糖度が高くなる早期高糖性を示すため、従来の栽培型だけでなく、夏植え型秋収穫栽培への利用も期待されている。一方、Ni22 は晩期高糖性品種の Ni17 と比べ、追肥窒素施用から糖度上昇開始までの期間が短くなる。糖度は作物体内の窒素濃度と負の相関関係にあるため（井上ら、2009）、Ni22 では施肥窒素が糖度に与える影響も Ni17 と異なる可能性がある。したがって、品種特性を考慮した施肥基準の策定は Ni22 の普及拡大に向けて必要である。

以上のように、近年のサトウキビ栽培においては「不萌芽回避技術の確立」と「株出し萌芽性に優れる品種の育成」によって、株出し面積の拡大が期待できるようになった。サトウキビの生産コスト低減を図るには、株出し栽培面積割合を増やすことが一つの重要な方策と考えられ、今後の品種育成においても、株出し萌芽性に優れる品種の選抜は重要な項目とされている。また、糖度取引が行われる現在では、ショ糖含有率の向上も大きな育種目標とされている。したがって、株出し萌芽性に優れる品種の特性を活かした栽培管理や株出し萌芽性を高める方策、ショ糖含有率を考慮した生産を構築することは重要と考えられる。

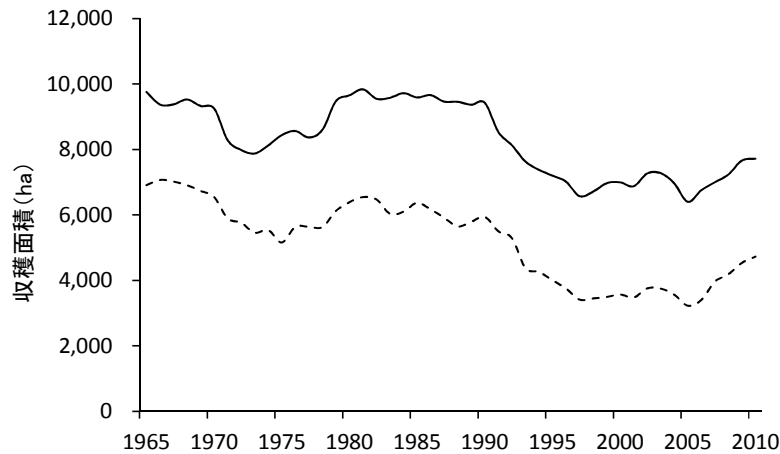


図1.4 奄美地域の収穫面積の推移

実線は全収穫面積，点線は株出し収穫面積を表す。
奄美農林水産業の動向（2011，奄美群島農政推進協議会）より引用。

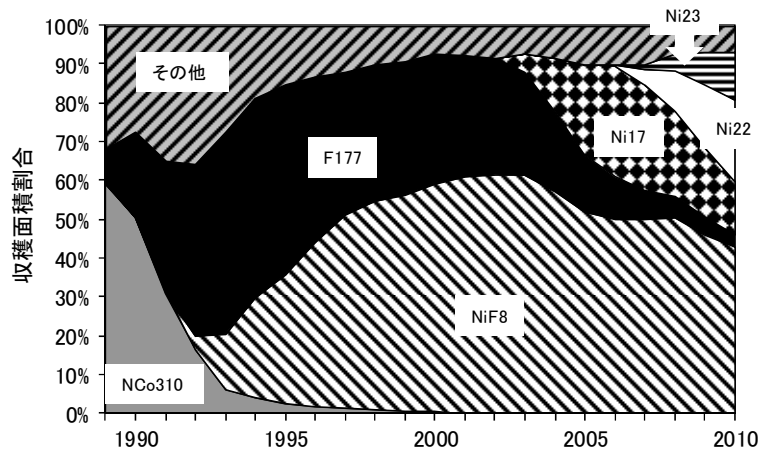


図1.5 奄美地域の品種別収穫面積割合の推移

奄美農林水産業の動向（2011，奄美群島農政推進協議会）より引用。

1.4 鹿児島県におけるサトウキビ栽培地域の土壌特性

日本におけるサトウキビ栽培は沖縄県と鹿児島県で盛んに行われている。このうち、沖縄県や鹿児島県の奄美地域においては全て非火山灰土で栽培が行われ、奄美地域の非火山灰土は主に暗赤色土と赤黄色土に分類される。一方、種子島の畑地の9割以上は淡色黒ボク土に分類される火山灰土に覆われている（表 1.1，鹿児島県農政部，1978）。このように、鹿児島県では土壌理化学性が大きく異なる二つの地域でサトウキビ栽培が行われている。このため、両地域のサトウキビに対する窒素，リン酸，カリウムの施用基準量は三要素試験などに基づき，それぞれ設定されている（鹿児島県糖業振興協会，2015）。奄美地域の窒素施用量については，2010年に現行の品種特性を考慮して，窒素要求度の高い品種に対しては1.5倍量程度に引き上げられるなど改良が行われてきた（三

浦ら，2000）。また，リン酸については，黒ボク土が分布する種子島での施用基準量を多くする対策が取られてきた。一方，両地域のカリウムの施用基準量はほぼ同じに設定されている（表 1.2）。サトウキビが土壌中の非交換性画分のカリウムを吸収する可能性は以前より指摘されていた。しかし，土壌保全対策事業をはじめとして，土壌中のカリウムは1M酢酸アンモニウム溶液抽出の交換性画分が評価されてきたため，非交換性画分の評価は十分に行われていない。

表1.1 普通畑における土壌群別面積 (ha)

	黒ボク土	赤色土	黄色土	暗赤色土	その他	合計
種子島地域	6,347 (91)		333 (5)		300 (4)	6,980 (100)
奄美大島地域		1,854 (14)	2,803 (21)	7,327 (54)	1,640 (12)	13,624 (100)

() 内の数字は各地域全普通畑に対する土壌群別の割合を示す。

土壌群別面積は地力保全基本調査総合成績書（1978年3月，鹿児島県）より引用。

表1.2 鹿児島県におけるサトウキビの奨励品種と特性

地域名	品種名	品種採用年度	施肥基準採用年度	品種のタイプ	萌芽性	施肥基準量 (N : P ₂ O ₅ : K ₂ O kg ha ⁻¹)	
						春植え	株出し
種子島地域	NCo310	1959～2001	～現在まで 変更なし	茎数型	良	150 : 120 : 120	150 : 120 : 120
	NiF8	1990		中間型	良	150 : 120 : 120	150 : 120 : 120
	NiTn18	2003		中間型	良	〃	〃
	Ni22	2005		中間型	良	〃	〃
	KTn03-54	2013		茎重型	良	〃	〃
奄美地域	NCo310	1961～2001	～2001	茎数型	良	180 : 80 : 100	200 : 90 : 120
	NiF8	1990	2002～ 2009	中間型	良	280 : 80 : 100 ¹⁾	300 : 90 : 120 ¹⁾
	F177	1992		茎重型	中	220 : 80 : 100 ¹⁾	240 : 90 : 120 ¹⁾
	NiF8	1990	2010～ 現在	中間型	良	220 : 80 : 100 ¹⁾	240 : 90 : 120 ¹⁾
	Ni17	2001		茎重型	極良	〃	〃
	Ni22	2005		茎数型	極良	〃	〃
	Ni23	2005		中間型	極良	〃	〃
	KN00-114	2011		茎数型	良	〃	〃

1) 現地適応性を検討する生産力検定試験ではNCo310の施肥基準が引き続き用いられている。

品種特性は農作物奨励品種特性表（2016，鹿児島県）から，施肥基準量はさとうきび栽培指針（2015，鹿児島県糖業振興協会）より引用。

三要素以外では，サトウキビが最も多く吸収する無機成分としてケイ酸に関する研究が行われ，非火山灰土地域における収量や品質への効果が報告されている（大屋・喜名，1989a，大屋・喜名，1989b，古江・永田，2000）。しかし，火山灰土地域では調査事例がなく，ケイ酸質肥料の取り扱いについても明確となっていない。また，火山灰土地域である種子島では，近年，土壌 pH の低下が原因と考えられる，イモ類の生育不良が報告されている（森ら，2009）。種子島畑地の作物栽培はサトウキビとイモ類の輪作が主流であり，近年のサトウキビ収量低下の一要因とも考えられている。深耕や資材投入を行う土層改良事業が，今後多くの地域で計画されており，サトウキビの生産性回復に繋がることが期待されている。

沖縄県では暗赤色土圃場の造成時に，下層にジャーガ

ルの母材であるクチャ（島尻層群泥灰岩）を客土している（喜名，1991）。暗赤色土圃場は有効土層が浅く，作土直下（20～30cm）から琉球石灰岩が出現することも多く，保水性も乏しいため，干ばつ害を受けやすい。そのため，有効土層の確保と保水性の改善を目的にクチャ客土がおこなわれている。奄美地域も暗赤色土圃場が多くを占めるが，クチャのような土壌は存在しない。したがって，保水性に乏しい暗赤色土圃場においては，干ばつの影響を受けやすい Ni17 などの品種導入は注意を要する。畑地かんがい整備事業によってかん水施設が整備されつつあるが，その使用はある程度制限される。また，有機物を施用することで保水性向上などが期待されるが，奄美地域は有機物資源に乏しい。

以上のように，鹿児島県は非火山灰土地域と火山灰土

地域という土壌特性が大きく異なる地域においてサトウキビ栽培を行っているが、地域毎の土壌化学性の評価は十分とは言えない。また、保水性に乏しい暗赤色土圃場に対して、沖縄県と同じ対策を取ることはできないため、生育に影響するだけでなく、導入品種の制限などにもつながっている。したがって、土壌化学性の地域ごとの実態を明らかにすることや鹿児島県の実情に対応した暗赤色土圃場の保水性対策を確立することが重要と考えられる。

1.5 研究の目的と論文構成

本論文は生産コスト低減や品質の確保といったこれからのサトウキビ生産に対応するため、品種特性や株出し栽培の萌芽性を考慮した栽培管理と奄美地域と種子島それぞれに求められる土壌管理についての研究成果（井上ら，2009；井上，2010；井上・橋口，2011a；井上，橋口，2011b；井上，橋口，2011c；井上ら，2014；井上ら，2017）を取りまとめたものである。

第 1 章では、鹿児島県におけるサトウキビ産業を概観し、これからのサトウキビ栽培において、株出し栽培を推進することが重要であることと併せて、二地域の土壌特性を考慮する必要性を示した。第 2 章では新しく選抜された茎重型品種 Ni17 の春植え栽培における収量・糖度を確保するための基本的な管理技術について検討した。成長解析を基に、適切な栽植密度や施肥窒素量およびかん水の効果を明らかにした。第 3 章では Ni17 株出し栽培における萌芽性や生育には、前作（新植栽培）の管理が影響していることを示し、萌芽性の良否には前作収穫茎数や前作収穫茎の窒素栄養状態が関与していることを明らかにした。さらに、収量と糖度を確保するための新しい窒素施肥法を提案した。第 4 章では新たに選抜され、夏植え型 1 年栽培への利用が期待されている品種 Ni22 の適切な窒素施用量について検討し、その他の品種と異なり、減肥できる可能性を示した。第 5 章では非火山灰土地域と火山灰土地域における土壌化学性の現状を明らかにし、必要な対策を示した。さらに、保水性に乏しい暗赤色土圃場におけるサトウキビへの水分供給能対策として、地域有機質資源であるバガス堆肥を用いた対策を提案した。第 6 章では第 2～5 章について総合的に考察した。

第2章 茎重型品種 Ni17 春植え栽培における収量・品質確保のための対策

第1節 Ni17 の乾物生産特性

2.1.1 目的

奄美地域のサトウキビ栽培では7月、8月の夏期は水分供給不足のリスクが高い時期であり、かん水によって生産性が大きく改善されることが知られている（加治，2006）。また、奄美地域では、国営畑地かんがい排水事業によって、将来的には広い範囲の畑に水が供給されるため、基幹作物であるサトウキビの生産性向上が期待されている。特に、2001年に奨励品種に採用された Ni17 はかん水による増収効果が高いことが栽培事例として確認されている。そこで、かん水によって、Ni17 の乾物生産性がどのように改善されるのかを明らかにするため、夏期かん水下における生育過程を調査した。同時に、茎数型品種を中心に生産性向上対策として行われてきた増施（栄養状態の向上）と密植（葉面積指数の向上）が、茎重型である Ni17 に及ぼす効果について調査した。さらに、Ni17 のかん水、増施、密植条件下での時期別乾物生産特性を基に、生産性向上に向けた栽培管理技術を検討した。

2.1.2 材料および方法

1) 耕種概要

鹿児島県の農業技術開発を行う農業開発総合センターの中で、徳之島支場は奄美地域のサトウキビ優良品種の選定などを主な業務としている。試験は徳之島支場内の普通暗赤色土畑において行った。サトウキビ Ni17 を春植え栽培し、夏期のかん水の有無、追肥窒素量、株間の違いが乾物生産に及ぼす影響を三元配置法で設定し、成長解析によって調査した。植付けから6月30日までは、試験区について一様に 3 mm day^{-1} (奄美地域サトウキビ畑の消費水量) となるようスプリンクラーかん水を行った。7月1日～9月5日までの夏期は、同様にかん水を行う区と行わない区を設定し、その後は全区かん水を停止した。基肥窒素は鹿児島県施肥基準量と同じ 90 kg ha^{-1} を全て硫酸アンモニウム（以下、硫安）で施用した。一方、追肥窒素は硫安で基準量の 90 kg ha^{-1} と増施した $145, 180 \text{ kg ha}^{-1}$ の区を設定した。なお、リン酸、カリウムは全区基準量（基肥： $\text{P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=80\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1}$ ，追肥： $\text{K}_2\text{O}=50 \text{ kg ha}^{-1}$ ）施用した。2008年3月11日に基肥と植付け（二節苗）を行い、5月1日に出芽率85%となるよう補植し、6月24日に追肥と培土を行った。株間は15cmと30cmの区を

設定し、両区とも畝間120cmで栽培した。試験規模1区 5.4 m^2 ($4.5 \text{ m} \times 1$ 畝) で株間2水準4反復、計8区を2区画設置し、追肥前の6月3日と6月24日の成長解析に用いた。これとは別に、かん水の有無、追肥量3水準、株間2水準、計12区を4区画（試験区間に基準施肥栽培の畝を設置）設置し、8月4日、9月1日、10月6日の成長解析に用いた。

2) 調査方法

定植から約1ヶ月ごとに茎数と茎長の調査を行った。同時に、成長解析を行うために 2.4 m^2 ($2 \text{ m} \times 1$ 畝) の面積で株元からサンプリングし、葉身と枯葉とそれ以外（茎）に分別した。葉身を15cm程度に切断したものを白紙に敷き（葉面積で 0.25 m^2 程度）、アクリル板で抑え、デジタルカメラで撮影した。画像を LIA for Win32 (山本，2003) で解析し、撮影された葉の面積と葉重を併せて単位面積当たりの葉面積を推定した。葉身、枯葉、茎は細断後、 80°C で通風乾燥し、乾物重を測定した。葉面積と部位別乾物重を基に、6～9月までの約1ヶ月ごとの個体群成長速度（Crop Growth Rate；CGR）、純同化率（Net Assimilation Rate；NAR）、葉面積指数（Leaf Area Index；LAI）、葉面積比重（Specific Leaf Area；SLA）、葉重比（Leaf Mass Ratio；LMR）を以下のように算出した（Thorne, 1960）。なお、W は総乾物重、t は時間、L は葉面積、LW は葉乾物重を表す。

$$\text{CGR} = \text{NAR} \times \text{LAI} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{NAR} = \{ (W_2 - W_1) (\ln L_2 - \ln L_1) \} / \{ (t_2 - t_1) (L_2 - L_1) \}$$

$$\text{LAI} = (L_2 - L_1) / (\ln L_2 - \ln L_1)$$

$$\text{SLA} = \{ (L_2 - L_1) (\ln LW_2 - \ln LW_1) \} / \{ (\ln L_2 - \ln L_1) (LW_2 - LW_1) \}$$

$$\text{LMR} = \{ (LW_2 - LW_1) (\ln W_2 - \ln W_1) \} / \{ (\ln LW_2 - \ln LW_1) (W_2 - W_1) \}$$

乾燥物は粉碎後、全窒素含量を硫酸-過酸化水素で湿式分解し、蒸留法で定量し、葉身中のケイ酸含量は乾燥物を 600°C で灰化し、塩酸処理後に重量法によって、粗ケイ酸として求めた（作物分析法委員会編，1975）。

2.1.3 結果および考察

夏期のかん水によって CGR は増加し、総乾物重も増加した。また、茎数の増加を伴わない茎の伸長、葉身中ケイ酸含量の増加、SLA の増大が認められた。8月の CGR はすべての区で最も高く、また、かん水による増加が著しかった（表 2.1）。CGR の増加は LAI の増大を伴っていることから、葉面積が拡大し、乾物生産性が向上したためと考えられる。葉面積拡大については、茎の伸長に伴い縦方向へ広がった空間で葉を展開できたことや葉身

中ケイ酸含量が高まることから葉がより強剛になり、同一乾物量下でより薄く広い葉を展開できたことが要因である可能性が考えられる。大屋・喜名(1989b)は暗赤色土畑でのサトウキビ NCo310 の葉身へのケイ酸の移動は

遅いとしている。しかし、本試験では、かん水約1ヶ月後、すでに葉身中ケイ酸含量に違いがみられていることから、円滑な水分供給条件下では、ケイ酸はNi17の収量改善のための因子になると推察する。

表2.1 水管理が異なるサトウキビNi17春植え栽培における成長解析

成長解析期間	処理内容 (3 mm day ⁻¹)	総乾物重 (kg m ⁻²)	CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	NAR (g m ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	SLA (m ² kg ⁻¹)	LMR (g g ⁻¹)
6月 (6/3~6/24)	かん水あり	0.21	6.86	6.03	1.17	16.0	0.599
7月 (6/24~8/4)	かん水あり	1.21 [∩]	24.4 [∩]	8.12	3.02 [∩] ^{**}	13.9 [∩] ^{**}	0.381
	なし	0.94 [*]	17.9 [*]	7.64	2.33 [∩]	12.5 [∩]	0.386
8月 (8/4~9/1)	かん水あり	2.40 [∩] ^{**}	42.6 [∩] ^{**}	6.42	6.62 [∩] ^{**}	12.2 [∩] ^{**}	0.313
	なし	1.73 [∩]	28.2 [∩]	5.69	4.95 [∩]	10.8 [∩]	0.356
9月 (9/1~10/6)	かん水あり	3.15 [∩] ^{**}	21.4	3.06	6.71 [∩] ^{***}	12.2 [∩] ^{**}	0.200
	なし	2.41 [∩]	19.4	4.07	4.70 [∩]	11.2 [∩]	0.204
調査日	処理内容 (3 mm day ⁻¹)	茎長 (m)	茎数 (10 ³ 本 ha ⁻¹)	葉身中SiO ₂ 含量 (g kg ⁻¹)	葉面積当たりN量 (g m ⁻²)		
6/24	かん水あり		128	23.9	0.842		
8/4	かん水あり	1.48 [∩] ^{***}	109	20.9 [∩] [*]	1.13 [∩] [*]		
	なし	1.04 [∩]	105	16.1 [∩]	1.24 [∩]		
9/1	かん水あり	2.16 [∩] ^{**}	79.2	19.9 [∩] ^{**}	1.01 [∩] [*]		
	なし	1.66 [∩]	82.8	16.1 [∩]	1.12 [∩]		

かん水の有無、追肥量、株間の違いの3要因を三元配置法で行った結果のかん水の有無別の平均値を示し、空欄は調査しなかった。6月の総乾物重は6/24調査時、7月は8/4、8月は9/1、10月は10/6調査時の値を示す。

^{*}, ^{**}, ^{***}は分散分析によってそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

乾物生産が最も旺盛であった8月において、葉面積当たりの窒素量は追肥増施に伴い増加し、葉の窒素栄養状態が向上した。しかし、栄養状態向上に伴うNARの増加は認められなかった(図2.1)。Kawamitsuら(1999)はサトウキビの水耕栽培において、水耕液の窒素濃度を高めることで葉身の窒素含有率を1.0%程度高めた場合、

光合成速度が上昇することを認めている。しかし、圃場条件下である本試験では、追肥窒素を倍量施用しても葉身中の窒素含有率は0.1%程度しか上昇しなかったことから、増施によって単位葉面積当たりの同化能を上昇させることは困難と考える。

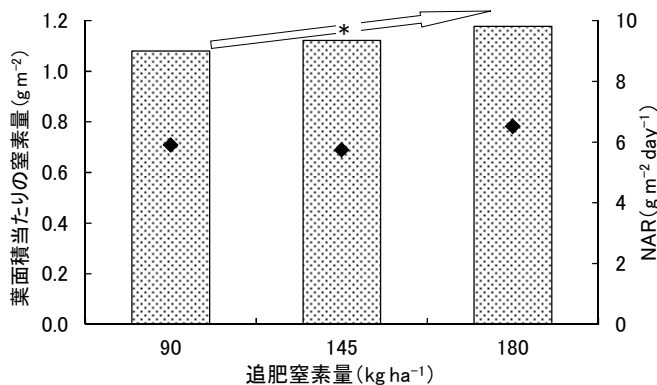


図2.1 8月の葉面積当たりの窒素量とNARの関係

棒グラフは葉面積当たりの窒素量(8/4と9/1の平均値)、◆はNARを示すを示す。

3要因を三元配置法で行った結果の追肥量別平均値を示す。

^{*}は回帰分析により追肥増施に伴う葉面積当たりの窒素量の直線的な増加が5%水準で有意差のあることを示す。

株間を狭くし、密植することによって、茎数の増加が認められた。同様に、6月においては、密植によるLAIの増加が認められた。しかし、葉の相互遮蔽が大きくなる7月以降では密植によるLAIの増加は認められなかった(図2.2)。野瀬ら(1989)は茎数型品種 NCo310を用い、密植による面積当たりの茎数の増加がLAIを増加させ、CGRを高めるとしている。この結果は沖縄県の標準的な畝幅(135 cm)で行われた密植栽培(370 本 a⁻¹)の結果で、鹿児島県の栽培基準(畝幅 120 cm, 株間 25 cm, 333 本 a⁻¹)とほぼ同等の栽植密度である。このため、Ni17

の過度の密植は葉面積の拡大につながらず、乾物生産性の向上に結びつかないことが懸念される。一方、竹傘禮ら(2004)はNi17密植栽培下における増収効果を春植え栽培だけでなく、より生育期間の長い夏植え栽培においても認めている。本試験でも、10月6日調査時の株間15 cm栽培の総乾物重は株間30 cm栽培に比べ重かった。この要因はLAIでなくNARの増加によるものであったが、さらに検討する必要があると考える(表2.2)。

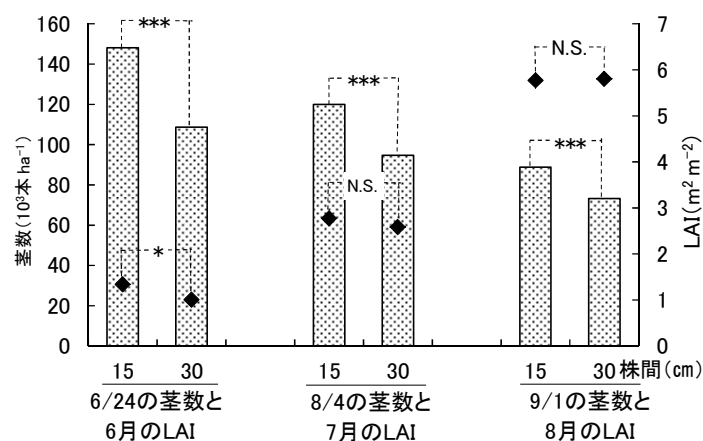


図2.2 茎数とLAIの関係

棒グラフは茎数、◆はLAIを示す。

3要因を三元配置法で行った結果の株間別平均値を示す。

***, *はそれぞれ分散分析により0.1, 5%水準で有意差のあることを, N.S.は有意差の無いことを示す。

表2.2 株間が異なるサトウキビNi17春植え栽培における成長解析

成長解析期間	処理内容 (株 間)	総乾物重 (kg m ⁻²)	CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	NAR (g m ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	SLA (m ² kg ⁻¹)	LMR (g g ⁻¹)
6月 (6/3~6/24)	15cm	0.23	6.93	5.39	1.34 [△]	15.1 [△]	0.618 [*]
	30cm	0.19	6.78	6.68	1.01 [*]	17.0 [*]	0.580 [*]
7月 (6/24~8/4)	15cm	1.09	21.1	7.55	2.77	12.8 [*]	0.390
	30cm	1.06	21.2	8.21	2.58	13.6 [*]	0.376
8月 (8/4~9/1)	15cm	1.99	32.1	5.54 [△]	5.77	11.5	0.339
	30cm	2.14	38.6	6.57 [△]	5.80	11.5	0.330
9月 (9/1~10/6)	15cm	3.02 [*]	29.5 [△]	5.02 [*]	5.96	11.7	0.205
	30cm	2.53 [*]	11.3 [△]	2.12 [*]	5.45	11.7	0.199
調査日	処理内容 (株 間)	茎長 (m)	茎数 (10 ³ 本 ha ⁻¹)	葉身中SiO ₂ 含量 (g kg ⁻¹)	葉面積当たりN量 (g m ⁻²)		
6/24	15cm		148 [*]	23.3	0.851		
	30cm		109 ^{***}	24.5	0.833		
8/4	15cm	1.30 [*]	120 ^{***}	18.4	1.18		
	30cm	1.22 [*]	94.7 [*]	18.6	1.19		
9/1	15cm	1.94	88.7 [*]	17.1 [*]	1.06		
	30cm	1.88	73.2 ^{***}	19.5 ^{***}	1.07		

かん水の有無, 追肥量, 株間の違いの3要因を三元配置法で行った結果の株間別の平均値を示し, 空欄は調査しなかった。

6月の総乾物重は6/24調査時, 7月は8/4, 8月は9/1, 10月は10/6調査時の値を示す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

2.1.4 要約

茎重型品種 Ni17 の春植え栽培において、かん水の有無、増施、密植条件下での乾物生産特性を基に、生産性向上に向けた栽培管理技術を検討した。その結果、乾物生産旺盛期の葉身中窒素含量上昇によって葉面積当たりの同化能を向上させ、生産性を改善することは難しいと考えられた。乾物生産の向上には、単位面積当たりの葉面積を拡大することが有効であった。茎数増加に伴う葉面積拡大は生育初期では認められたが、乾物生産旺盛期では判然とせず、その効果については、さらなる検討が必要であった。一方、かん水栽培下で認められた葉身のケイ酸含有率増加を伴う葉面積の拡大は、生産性向上に向けた一つの方法と考えられた。したがって、Ni17 の生産性向上には、保水性の高い圃場選択や有機物投入など水分供給能を向上させる方策が有効である。同時に、資材の投入などによってケイ酸供給能を高めることも重要である。

第 2 節 茎重型品種に対する密植の効果

2.2.1 目的

鹿児島県のサトウキビ栽培では、苗、整地、植え付け作業などを必要とせず、高い乾物生産性を持つ株出し栽培（島袋，1997）を推進している。しかし、南西諸島の主力品種で、1990 年に鹿児島県奨励品種に採用された NiF8 は株出し回数を重ねるごとに萌芽位置が上昇し、欠株率が上がるなど、株出し栽培に対して欠点を持ち合わせていた（鹿児島県糖業振興協会，2015）。

このような背景から、株出し特性に優れる品種として、茎重型品種 Ni17 が 2001 年に鹿児島県奨励品種として導入された。これまで、南西諸島においては、茎数型品種を中心に栽培管理技術が構築されてきた。茎重型品種の栽培管理技術に関する報告は少なかったことから、前節では Ni17 に対する栽培管理の違いが乾物生産性に及ぼす影響について検討した。Ni17 の生産性向上に向けては葉面積当たりの同化能を向上させるのではなく、単位面積当たりの葉面積を拡大させることが重要であることを指摘した。このためには、水分供給能の向上が有効であったが、密植栽培による効果は明確でなく、さらなる検討を必要とした。

C₄作物であるサトウキビの乾物生産性は高いが、緩やかな初期生育を改善することが栽培上の課題とされている（寺内，2002）。初期生育の向上には、葉面積指数を増加させる密植栽培が有効であるが、茎数型品種においては、生育後期の茎数過剰により収量の向上に結びつかな

いことが報告されている（野瀬ら，1989）。一方、竹牟禮ら（2004）は、分けつの発生が遅く収穫茎数が少ない Ni17 では、密植栽培することによって、収穫茎数が増え、収量が増加することを認めている。したがって、Ni17 の密植栽培下における乾物生産性向上過程を明らかにすることは茎重型品種の栽培管理技術構築に向けて重要と考えられる。そこで、Ni17 を異なる栽植密度条件下で春植え栽培し、乾物生産過程を成長解析によって調査した。また、前節では乾物生産旺盛期についてだけであったが、本節では、夏期のかん水や施肥窒素の増加が Ni17 の収量・品質に及ぼす影響についても調査した。

2.2.2 材料および方法

鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場内の石灰岩を母材とする普通暗赤色土畑において、サトウキビ Ni17 の春植え栽培を行った。株間の違い、夏期のかん水の有無、追肥窒素量の違いが乾物生産に及ぼす影響を三元配置法で設定し、成長解析によって調査した。畝間はケンハーベスタ収穫が可能な 120 cm として、株間 15 cm と 30 cm の区を設置した。二節苗を用い、植え付け芽数はそれぞれ 111×10^3 、 55.6×10^3 本 ha^{-1} であった。2009 年 3 月 12 日に基肥施用、3 月 16 日に植え付けを行い 5 月 7 日に出芽率 85% となるよう補植し、6 月 23 日に追肥と培土を同時に行った。植え付けから 7 月 6 日までは、試験区一様に降水量を考慮して 3 mm day^{-1} （奄美地域サトウキビ畑の消費水量）となるようスプリンクラーかん水を行った。7 月 7 日～9 月 11 日までの夏期はかん水を行う区と行わない区を設定し、その後は全区かん水を停止した。基肥窒素は鹿児島県施肥基準量と同じ 90 kg ha^{-1} を全て硫酸で施用した。追肥窒素は硫酸で基準量（ 90 kg ha^{-1} ）と 2 倍量（ 180 kg ha^{-1} ）施用した区を設定した。リン酸、カリウムは全区基準量（基肥： $\text{P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 80\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1}$ ，追肥： $\text{K}_2\text{O} = 50 \text{ kg ha}^{-1}$ ）施用した。

1) 生育および収穫調査方法

株間 2 水準、かん水の有無、追肥量 2 水準、2 反復、計 16 区を試験規模 1 区 10.1 m^2 （ $4.2 \text{ m} \times 2$ 畝）で設置した（各試験区間に基準施肥栽培 1 畝を設置）。定植から約 1 ヶ月ごとに茎数、茎長の調査を行い、2010 年 1 月 26 日に収穫した。株元から収穫し、最上位展開葉から 5 枚目の葉鞘の付く節で切断後、残りの葉鞘と葉身を取り除き収穫茎とした。さらに、収穫茎の一部をシュレッダー（MATSUO KS-MS94）で細断し、油圧プレス（MATSUO KS-OP700）でバガスおよび蔗汁に分別した。バガスの繊維分は直接乾燥法（出花、儀間，1993）、蔗汁中の糖類濃度は糖度計（ATAGO PR-101 α ）と旋光計（HORIBA

SEPA-300) で測定した。蔗汁中のショ糖含有率を表す蔗汁糖度と実際に回収可能なショ糖量を表す可製糖量は CCS 法 (King,1966) によって算出した。

2) 成長解析方法

株間 2 水準, かん水の有無, 追肥量 2 水準, 2 反復, 計 16 区を 1 区 25.2 m² で設置した (各試験区間に基準施肥栽培 1 畝を設置)。1 区内に 2.16 m² (1.8m×1 畝) のプロットを 10 プロット設定した。成長解析を行うため, 各区 1 プロットずつ株元からサンプリングし, 葉身と枯葉とそれ以外 (茎) に分別した。調査したプロットの前, 左右のプロットはその後の調査から除外した。サンプリングは約 1 ヶ月ごとに追肥前の 5 月 27 日, 6 月 23 日および追肥後の 7 月 21 日, 8 月 26 日, 10 月 1 日の計 5 回行った。得られたサンプルを用いて, 前節と同じ方法で CGR, NAR, LAI, SLA, LMR を算出した。葉身中の窒素含量およびケイ酸含量も第 2 章第 1 節と同じ方法で算出した。台風害による葉の裂傷, 茎の折損, 倒伏な

どは成長解析を困難にする。しかし, 試験年における徳之島への台風上陸はなかった。3 回の台風接近がみられたが (台風 8 号; 8 月 5~6 日, 台風 12 号; 9 月 5 日~6 日, 台風 18 号; 10 月 6 日~7 日), 最大風速は 10 m s⁻¹ 程度と何れも弱かった。このため, 倒伏や裂傷など成長解析への影響はなかったと判断された。

2.2.3. 結果

1) 栽植密度の影響

株間 15 cm, 30 cm 栽培ともに, 分けつ数は 6 月下旬に概ね最高となった。両栽培ともに, 6 月下旬から急激な茎数の減少がみられた後, 8 月下旬以降はほぼ一定となった。5 月下旬における株間 15 cm 栽培の茎数は株間 30 cm 栽培の約 1.7 倍であったが, 8 月下旬以降には約 1.2 倍と差が小さくなった (図 2.3)。

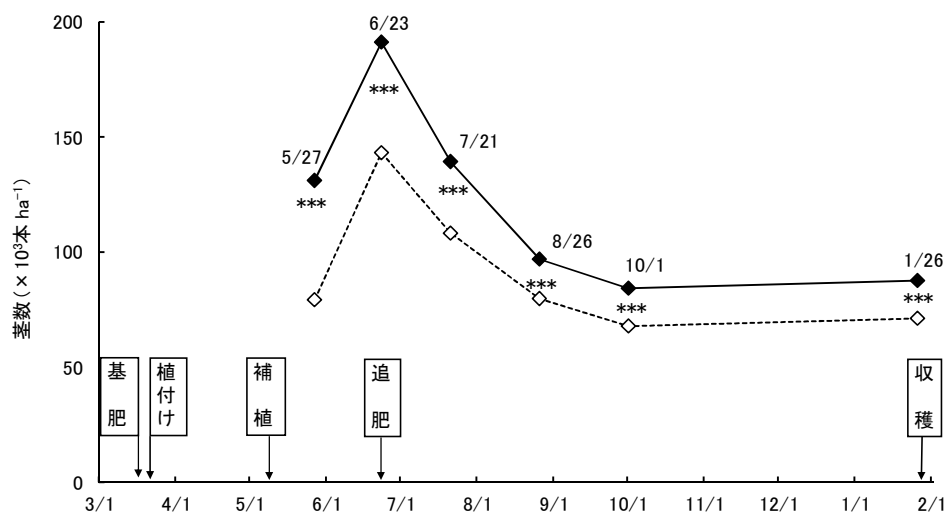


図 2.3 異なる栽植密度条件下における茎数の推移

◆は株間15cm栽培, ◇は株間30cm栽培の茎数の推移を示す。

株間の違い, かん水の有無, 追肥量の違いの3要因を三元配置法で行った結果の株間別の平均値を示す。

***は分散分析により0.1%水準で有意差のあることを示す。

乾物生産が盛んな 7, 8 月の株間 15 cm 栽培の CGR は株間 30 cm 栽培のそれに比べ高かった。この要因は LAI の向上によるものであった。また, 8 月 26 日における株間 15 cm 栽培の一茎当たり葉面積は株間 30 cm 栽培に比べ広がった。8 月における株間 15 cm 栽培では, 株間 30 cm 栽培に比べ, 葉への乾物分配率が低くなり (LMR の低下), 茎長が長くなった。一方, 8 月をピークに CGR が低下し始める 9 月では, 株間 15 cm 栽培の CGR は NAR

の低下によって株間 30 cm 栽培を下回る傾向がみられた (表 2.3)。その結果, 株間 15 cm 栽培の収穫茎重は収穫茎数の増加によって, 株間 30 cm 栽培に比べ重かった。また, 株間 15 cm 栽培の茎長, 節数, 可製糖量は株間 30 cm 栽培のそれを上回った。一方, 株間の違いによる蔗汁糖度の差は認められなかった (表 2.4)。なお, 生育期間を通して, 株間の違いによる葉身中のケイ酸含量に差は認められなかった (表 2.3)。

表2.3 異なる栽植密度条件下におけるサトウキビNi17春植え栽培の成長解析

成長解析期間	処理内容 (株間)	総乾物重 (kg m ⁻²)	CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	NAR (g m ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	LMR (g g ⁻¹)
6月 (5/27~6/23)	15cm	0.175 [△]	4.36	3.54	1.23 [△]	0.660
	30cm	0.115 [△]	3.02	3.56	0.83 [*]	0.667
7月 (6/23~7/21)	15cm	0.975 [△]	28.6 [△]	8.70	3.25 [△]	0.473
	30cm	0.730 ^{**}	22.0 [*]	8.89	2.46 ^{***}	0.476
8月 (7/21~8/26)	15cm	2.25 [△]	35.3 [△]	6.17	5.77 [△]	0.300 [△]
	30cm	1.69 [△]	26.7 [△]	6.00	4.46 ^{***}	0.318 ^{**}
9月 (8/26~10/1)	15cm	2.74 [△]	13.8	2.09	6.02 ^{**}	0.213 [△]
	30cm	2.32 [△]	17.6	3.51	4.94 [△]	0.231 [△]
調査日	処理内容 (株間)	茎長 (m)	一茎当たり葉面積 (m ²)		葉身中SiO ₂ 含量 (g kg ⁻¹)	
6/23	15cm		0.113		32.9	
	30cm		0.109		35.9	
7/21	15cm	1.03 [△]	0.338		26.0	
	30cm	0.89 ^{***}	0.340		26.3	
8/26	15cm	1.48 [△]	0.730 [△]		16.1	
	30cm	1.32 [△]	0.673 [△]		16.0	
10/1	15cm		0.608 [△]		14.4	
	30cm		0.671 [△]		14.4	

株間の違い、かん水の有無、追肥量の違いの3要因を三元配置法で行った結果の株間別の平均値を示し、空欄は調査しなかった。6月の総乾物重は6/23調査時、7月は7/21、8月は8/26、10月は10/1調査時の値を示す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

表2.4 異なる栽培条件下におけるサトウキビNi17春植え栽培の収量、品質

処理内容	収穫茎重 (Mg ha ⁻¹)	収穫茎数 (10 ³ 本 ha ⁻¹)	一茎重 (kg)	茎長 (m)	節数	可製糖量 (kg ha ⁻¹)	蔗汁糖度 (%)
株間15cm	96.7 [△]	87.6 [△]	1.11 [△]	2.19 [△]	21.1 [△]	140 [△]	18.8 [△]
30cm	83.2 ^{**}	71.2 ^{***}	1.17 ^{N.S.}	2.05 ^{**}	20.5 [*]	120 ^{**}	18.6 ^{N.S.}
かん水あり	115 [△]	79.0 [△]	1.45 [△]	2.62 [△]	22.1 [△]	166 [△]	18.8 [△]
なし	65.4 ^{***}	79.7 ^{N.S.}	0.82 ^{***}	1.62 ^{***}	19.5 ^{***}	93.5 ^{***}	18.6 ^{N.S.}
追肥標準	88.4 [△]	78.8 [△]	1.13 [△]	2.12 [△]	20.9 [△]	128 [△]	18.8 [△]
倍量	91.5 ^{N.S.}	80.0 ^{N.S.}	1.15 ^{N.S.}	2.13 ^{N.S.}	20.7 ^{N.S.}	131 ^{N.S.}	18.6 ^{N.S.}
交互作用							
株間×かん水	N.S.	N.S.	N.S.	△	**	N.S.	N.S.
株間×追肥	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
かん水×追肥	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

3要因を三元配置法で行った結果の要因別の平均値を示す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを、N.S.は有意差の無いことを示す。

2) 夏期のかん水の影響

かん水を行った期間の積算降水量は113mmで、平年の約3割と著しく少なかった。種苗植え付け位置から20cm下部の間の土壌体積含水率を測定した結果、かん水栽培では、スプリンクラーかん水による体積含水率の上昇がみられた。一方、無かん水栽培では、降雨時でも体積含水率の上昇は僅かであった(図2.4)。前節と同じく、

夏期のかん水によって、LAIが拡大し、それに伴いCGRが増加し、結果、総乾物重は重くなった。また、茎数の増加を伴わない茎の大幅な伸長、葉身中のケイ酸含量の増加、SLAの増大が認められた(表2.5)。その結果、収穫茎重は向上し、収穫時の節数も多くなった(表2.4)。

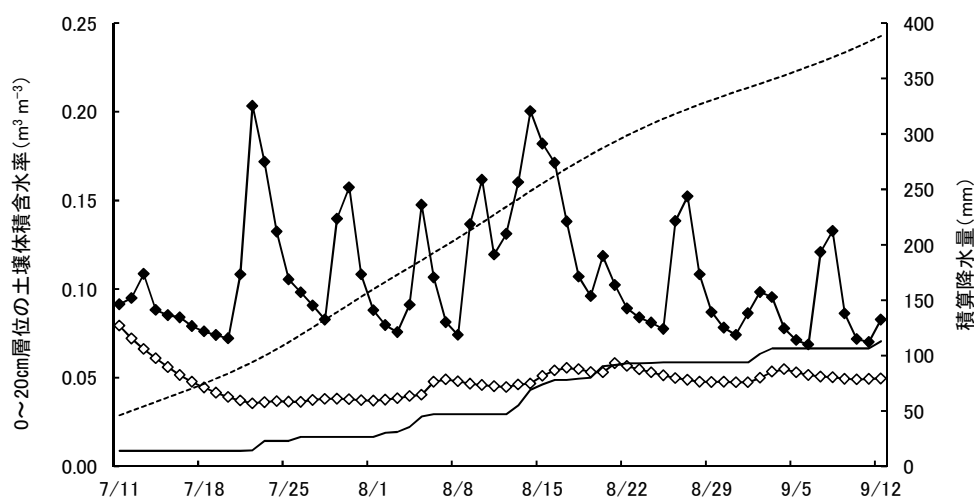


図2.4 夏期かん水期間の土壌体積含水率と積算降水量の推移

折れ線グラフ◆はかん水栽培，◇は無かん水栽培の土壌堆積含水率の推移を示す。土壌体積含水率は誘電率水分センサー（DECAGON社，EC-20）によって計測した。折れ線グラフ実線は試験年，点線は平年の積算降水量の推移を示す。

表2.5 夏期のかん水の有無におけるサトウキビNi17春植え栽培の成長解析

成長解析期間	処理内容 (株間)	総乾物重 (kg m ⁻²)	CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	NAR (g m ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	SLA (m ² kg ⁻¹)
6月 (5/27~6/23)	かん水あり	0.145	3.69	3.55	1.03	18.4
7月 (6/23~7/21)	かん水あり	0.948 [∩]	28.7 [∩]	9.41 [∩]	3.04 [∩]	15.2
	なし	0.757 [*]	21.9 [*]	8.18 [*]	2.67 ^{**}	15.2
8月 (7/21~8/26)	かん水あり	2.22 [∩]	35.4 [∩]	6.20	5.78 [∩]	12.8 [∩]
	なし	1.71 [∩]	26.6 [△]	5.96	4.44 [∩]	12.1 ^{**}
9月 (8/26~10/1)	かん水あり	3.04 [∩]	22.7 [∩]	3.66	6.24 [∩]	11.4 [∩]
	なし	2.02 [∩]	8.64 [∩]	1.94	4.72 [∩]	11.1 [∩]
調査日	処理内容 (株間)	茎長 (m)	一茎当たり葉面積 (m ²)		葉身中SiO ₂ 含量 (g kg ⁻¹)	
6/23	かん水あり		167		34.4	
7/21	かん水あり	1.12 [∩]	139 [∩]		29.6 [∩]	
	なし	0.80 [∩]	108 [∩]		22.7 [∩]	
8/26	かん水あり	1.75 [∩]	87.1		18.7 [∩]	
	なし	1.05 [∩]	89.5		13.3 [∩]	
10/1	かん水あり		77.5		16.6 [∩]	
	なし		74.5		12.2 [∩]	

株間の違い，かん水の有無，追肥量の違いの3要因を三元配置法で行った結果の株間別の平均値を示し，空欄は調査しなかった。

6月の総乾物重は6/23調査時，7月は7/21，8月は8/26，10月は10/1調査時の値を示す。

△，*，**，***は分散分析によってそれぞれ10%，5%，1%，0.1%水準で有意差のあることを示す。

3) 追肥窒素量の影響

8月26日および10月1日における追肥倍量栽培を行ったサトウキビの葉面積当たりの窒素量は追肥標準量栽培のものに比べ多かった。一方，追肥倍量栽培において，葉身中ケイ酸含量は追肥標準量栽培に比べ少なくなる傾

向が認められた（図 2.5）。追肥倍量栽培の際の収穫茎重は追肥標準量栽培のものと同変らなかった（表 2.4）。

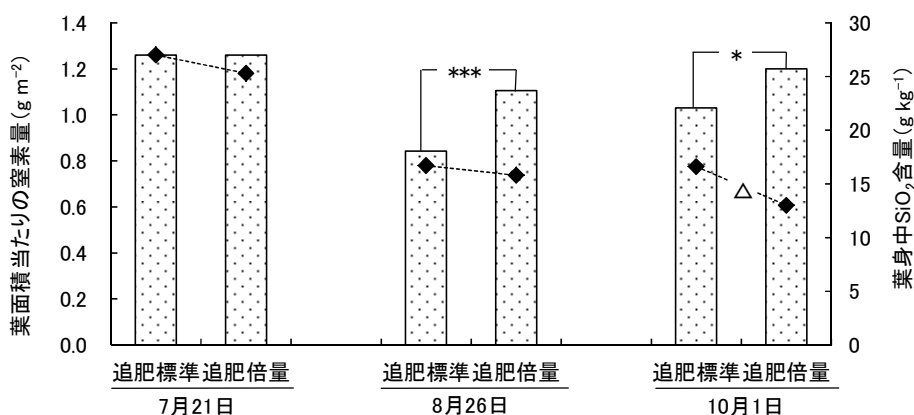


図2.5 葉面積当たりの窒素量と葉身中ケイ酸含量の関係

3要因を三元配置法で行った結果の追肥量別平均値を示す。

棒グラフは葉面積当たりの窒素量，◆は葉身中SiO₂含量を表す。

△, *, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

2.2.4. 考察

サトウキビ茎重型品種 Ni17 の密植春植え栽培における生育過程を成長解析により検討した。茎数型品種と同様、生育前半から乾物生産旺盛期では茎数の増加に伴う LAI の向上によって、CGR が増大することが明らかとなった。茎数型品種では、密植栽培を行うと生育後半に枯死茎が増え、増収しないことが報告されている(野瀬ら, 1989)。Ni17 においても、株間が狭い方が生育後半にあたる 9 月の NAR が低く、CGR も減少することが認められた。このように、茎数型品種と同様の生育過程であったにもかかわらず、密植栽培によって Ni17 が増収した要因は一茎重の低下がほとんどみられなかったためである。竹牟禮ら (2004) は Ni17 では、株間を狭めることによって、収穫茎数が増え、増収することを認めている。さらに、その報告において算出される一茎重についても低下は認められなかった。

そこで、Ni17 密植栽培において、一茎重がほとんど低下しなかった要因について考察する。茎数の推移から、最高分け時期は 6 月下旬に迎え、8 月下旬にはほぼ有効茎数まで減少したことがうかがえる。また、8 月は生育期間で最も CGR が大きく、乾物生産が旺盛な時期であった。さらに、8 月 26 日における株間 15 cm 栽培の一茎当たりの葉面積は株間 30 cm に比べ広がった。このように、密植栽培下では、乾物生産旺盛期において、有効茎一茎当たりの葉面積が増加した。このため、茎数が増加しても一茎当たりの同化量が維持され、一茎重の減少がほとんどみられなかったと考える。さらに、茎重型品種の特性がこれらの効果をより得られ易くしたものと推察する。鹿児島県の農作物奨励品種特性表によると Ni22 など茎数型品種の収穫茎数は 110×10^3 本 ha⁻¹ 程度である。これに対して、茎重型品種 Ni17 の収穫茎数は $70 \times$

10^3 本 ha⁻¹ 程度である。すなわち、乾物生産旺盛期に茎数が少ない条件下の方が葉の相互遮蔽が起りにくいため、一茎当たりの光合成能が低下することなく、一茎重を維持できたと推察する。また、有効茎一茎当たりの葉面積が増大したことは以下のように考える。境垣内ら (2010a) は飼料用サトウキビを密植栽培することによって、茎伸長が促進されることを認めている。さらに、この要因は 1 株茎数の減少とこれに伴う茎への光合成同化産物の分配の増加であるとしている。また、サトウキビは分けつ形成速度が遅いため、茎伸長期の開始が遅くなる。しかし、密植栽培下では、茎への乾物分配率向上によって茎が伸長するため、生育ステージが前進化すると推察している。本試験でも、密植栽培下において、葉への乾物分配率の低下や乾物生産旺盛期の茎の伸長、収穫期の節数の増加が認められた。したがって、密植栽培することによって、さらに茎が伸長し、生育ステージが進むため、節数が増加し、有効茎一茎当たりの葉面積が増大したと考える。前節で行った密植栽培の試験では、乾物生産性の改善は認められなかった。当年は密植栽培による茎伸長の促進が認められず、このことが乾物生産性の改善に繋がらなかった一要因と考える。この茎伸長が促進しなかった要因については、気象条件などから明らかにする必要がある。しかし、茎重型品種における密植栽培の増収効果は竹牟禮ら (2004) の結果からも高いと考えられる。

栄養繁殖で栽培されるサトウキビは種苗生産用にも栽培面積を必要とすることから、この点を考慮した密植レベルを検討する必要がある。単位面積当たりの茎数が少ない茎重型品種では、種苗用栽培面積は茎数型品種に比べ広く必要とする。種苗用栽培面積をなるべく少面積にとどめるためにも、過度の密植にならないような株間を

検討する必要がある。株間 15 cm で栽培した収穫茎数は 87.6×10^3 本 ha^{-1} であったのに対して、植え付け時の芽数は 111×10^3 本 ha^{-1} であり、約 3 割近くの芽が無効となった。一方、株間 30 cm で栽培した収穫茎数は 71.2×10^3 本 ha^{-1} で、植え付け芽数の約 1.3 倍であった。収穫茎数を大幅に上回る植え付け芽数は種苗確保にかかる経費、労力の点から無駄が大きい。これまで行われた Ni17 の生産力検定試験や密植栽培に関する試験において、 90×10^3 本 ha^{-1} を超える収穫茎数は得られていない。このことから、株間を狭くするのは植え付け芽数が収穫茎数を上回らない株間 20 cm (芽数: 83.3×10^3 本 ha^{-1}) 程度が妥当と推定される。

以上のように、密植栽培が茎重型品種 Ni17 の収量向上に有効であることが認められた。夏期に奄美地域の消費水量を目安にかん水を行う栽培（以下、かん水栽培）では、茎の伸長に伴い天方向へ広がった空間で、薄く広い葉を展開できる。このため、葉面積指数が向上し、乾物生産性が大きく改善される（井上ら, 2010）。密植栽培することによって、茎の伸長は認められるが、株間 15, 30 cm における収穫時の茎長を節数で除した平均節間長はそれぞれ 10.3, 9.93 cm と大差なかった。密植栽培による葉面積指数向上の主要因は茎数の増加によるもので、かん水栽培とは葉面積拡大の仕方が異なり、葉身中のケイ酸含量においても違いが認められた。かん水によって、葉身中のケイ酸含量が高まったのに対して、株間を狭くすることでは、葉身中のケイ酸含量は変わらなかった。かん水栽培では、葉身中のケイ酸含量が高まったため、天方向へ広がった空間に、受光体勢の大幅な低下を招かない強度を確保した広い葉を展開できたと推察する。一方、密植栽培では、葉身の強度を上げ、広い葉を展開するのではなく、葉数を多く展開したと考える。古江・永田は（2000）ケイ酸資材を施用することによって、サトウキビの収量は高まるが、土壌中可溶性ケイ酸含量が 200mg kg^{-1} 以上では、その効果は頭打ちになると指摘している。さらに、奄美地域に広く分布する暗赤色土の土壌中可溶性ケイ酸含量は多く、ケイ酸質資材施用の効果が得られにくいとしている。また、大屋・喜名（1989a）は土壌中の全ケイ酸含量は土壌の種類にかかわらずほぼ同じであるが、可溶性ケイ酸含量は土壌の種類や pH によって大きく異なることを認めている。本試験はケイ酸資材を施用していないが、土壌中可溶性ケイ酸含量が比較的多い暗赤色土で行ったため、かん水下で葉身中のケイ酸含量を高めた可能性も考えられる。奄美地域では、暗赤色土の他に可溶性ケイ酸含量が少なく pH が低い細粒黄色土が広く分布する（井上ら, 2014）。細粒黄色土で

は、酸度矯正やケイ酸資材の施用などケイ酸供給能を向上させる方策とともに葉面積指数拡大をケイ酸に依存しない密植栽培も収量の増加に有効である可能性が考えられる。

かん水効果の一つである葉面積拡大について、前節では、茎の伸長に伴い、天方向へ広がった空間で葉を展開できたことを要因として挙げた。本試験では、かん水によって節数が増加したことから、出葉速度が速まるなど、生育速度の向上がうかがえる。このことから、生育ステージが前進し、節数が増えることに伴う葉数の増加も葉面積拡大の一要因と考えられる。

本試験においても、前節で行った試験と同様、追肥窒素増施による収量の増加は認められなかった。Kawamitsu ら（1999）は水耕栽培において、サトウキビの葉の窒素含量を高めることで、光合成速度が上昇することを認めている。また、サトウキビは水稲と同様、多量のケイ酸を積極的に吸収し、蒸散を抑制することが水耕栽培において認められている（Van Der Vorm, 1980）。一方、水稲では、ケイ酸施用によって葉の水分状態が良好に保たれ、光合成速度が向上する（間藤ら, 1991）ことが報告されている。このように、窒素と同様、ケイ酸もサトウキビの光合成速度向上に関与することが推察され、ケイ酸資材の施用によって増収することも報告されている（古江・永田, 2000）。本試験では、追肥窒素増施によって、葉の窒素栄養状態は向上したものの、葉身中のケイ酸含量の低下によって、光合成速度の上昇に繋がらず、増収しなかったと推察する。今後、この窒素とケイ酸の負の相関関係が光合成速度を始め、乾物生産性に及ぼす影響を明らかにすることが、適切な窒素施用技術確立に向けて必要と考える。

以上のことから、茎重型品種 Ni17 では、株間を狭くし、密植栽培することによって、一茎重を維持したまま、茎数を増やせるため、増収が図れることが示唆された。また、ケーンハーベスタ収穫に必要な畝間 120 cm を確保し、密植栽培を行う場合の株間は 20 cm までが妥当と判断された。

2.2.5. 要約

サトウキビ茎重型品種の春植え栽培における適切な栽植様式を決めるため、異なる栽植密度条件下（株間 15, 30 cm）における Ni17 春植え栽培の生育過程を成長解析によって調査した。畝間はケーンハーベスタ収穫が可能な 120 cm とした。株間を狭くし、植え付け種苗数を多くすることによって、生育前半から乾物生産旺盛期の LAI 向上に伴い CGR が増大し、増収した。密植栽培（15 cm）

における増収の原因は、株間 30 cm栽培との対比において、収穫茎数が増加した一方、一茎重が劣らなかったためであった。密植による一茎重の減退が生じなかったのは、乾物生産旺盛期における有効茎一茎当たりの葉面積が増加したことによると考えられた。密植栽培の栽植様式は植え付け芽数と収穫茎数の関係から、畝間 120 cm、株間 20 cmが妥当と判断された。

第3節 暗赤色土と黄色土におけるNi17の生育反応の違い

2.3.1 目的

第2章第1, 2節では、Ni17春植え栽培は単純な窒素増施では、NiF8のように増収せず、保水性の高い圃場選択など水分供給能を向上させる方策が生産性改善に有効であることを示した。一方、奄美地域には、前1, 2節で試験を行った暗赤色土に比べ、透水性が低い黄色土も広く分布している（全体の21%）。古江（2007）は土壌の透水性に対する指標であるベーシックインテーク・レートを調査し、黄色土は暗赤色土に比べて五分の一以下と小さいことを認めている。土壌化学性は両土壌ともに腐植含量は少なく、粘土含量は多く、有効態リン酸は不足しており、これに加えて、暗赤色土は石灰が豊富で、pHが高く、黄色土は塩基状態が悪く、石灰等が欠乏し、酸性化しやすい（地力増進対策指針, 2006）。また、一般的には暗赤色土圃場の方が黄色土圃場に比べてサトウキビの生産性は高いとされている。しかし、前述のようにNi17に対する水分供給能向上対策は重要であるため、黄色土においても良好な生育が期待される。

近年、農業関連水域の硝酸態窒素の汚染が指摘されており、閉鎖環境下の島嶼地域では重要な問題と考えられている。山根ら（2004）は奄美地域の地下水中の硝酸態窒素濃度を調査し、耕地率の高い島で硝酸態窒素濃度が高かったことから、サトウキビ施肥の影響を示唆している。一方、長友ら（2005）はNiF8に被覆尿素を用いることで、施肥効率が高まり減肥できるとしている。また、前述のようにNi17に適した土壌条件を選択することも同様に、施肥効率が高まるため硝酸態窒素の溶脱低減に繋がる可能性が考えられる。

以上のことから、本節においては、Ni17の黄色土畑での適応性を検討するため、暗赤色土と黄色土を充填した人工枠圃場（有底）において、春植え一株出し栽培を行い収量や窒素収支を調査した。

2.3.2 材料および方法

1) 耕種概要

鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場内の暗赤色土、黄色土を深さ 1mまで充填したコンクリート枠圃場（有底、1 枠 2m×2m=4 m²）において、サトウキビ Ni17を栽培した。鹿児島県施肥基準と同じく硫酸で基肥および追肥を行う区（以下、硫酸分施肥区）と全量基肥で8割をリニア型 140 日タイプの被覆尿素、2割を硫酸とした区（被覆尿素区）および窒素施用を行わない区（無窒素区）を両土壌ともに設置した。窒素施用量は硫酸分施肥区、被覆尿素区ともに鹿児島県施肥基準量と同じ 180 kg ha⁻¹とし、基肥と追肥はいずれも 90 kg ha⁻¹とした。基肥と植付け（二節苗）を 2003 年 3 月 10 日、追肥、培土を同年 5 月 27 日に行い、2004 年 1 月 18 日に収穫した。なお、栽植密度は 50.0×10³本 ha⁻¹（畝幅 100 cm、株間 20 cm）とし、2 反復で春植え栽培を行った。リン酸、カリウムは全区基準量（基肥：P₂O₅-K₂O=80-50 kg ha⁻¹、追肥：K₂O=50 kg ha⁻¹）施用した。引き続き、株出し栽培を以下の耕種概要で行った。株出し管理（枯葉処理および株揃え）を 2004 年 3 月 10 日に行い、2005 年 1 月 18 日に収穫した。肥培管理は 3 月 10 日に株元に基肥の条施肥と 1 回目の培土（苗から畝頂部までの高さ約 5 cm）を行い、6 月 15 日に追肥の条施肥と 2 回目の培土を行った。窒素施用量は標準施肥区、被覆尿素区ともに 200 kg ha⁻¹とし、基肥と追肥はいずれも 100 kg ha⁻¹とした。また、リン酸およびカリウムの施用量は施肥基準（基肥：P₂O₅-K₂O=90-60 kg ha⁻¹、追肥：K₂O=60 kg ha⁻¹）と同量を過リン酸石灰、塩化カリウムで調整した。

2) 土壌分析方法

採取した土壌を風乾し、2mm の篩を通した細土を分析に供した。pH はガラス電極法で測定した。陽イオン交換容量（CEC）は Schollenberger 法により測定し、交換性陽イオンは Schollenberger 法で抽出後、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光光度法（日立、Z-5310）、カリウムは炎光光度法（日立、Z-5310）で分析した。有効態リン酸は Truog 法により分析した（財団法人日本土壌協会, 2001）。

3) 収穫物の調査方法

収穫調査は 1 枠全て株元から収穫し、梢頭部と葉を取り除いた茎を収穫物とした。前節と同様に、梢頭部、葉、バガス、蔗汁に分別したものの全窒素含量をセミ・マイクロ蒸留装置によって定量し、各重量と併せて窒素収量を算出した。

4) 浸透水の採取と分析

サトウキビを栽培したコンクリート枠圃場の底から流

出する浸透水を適宜採取し、その量を計測するとともに浸透水中の硝酸態窒素濃度を蒸留法により定量した。浸透水は、春植え栽培では追肥前までに12回、その後収穫まで11回、合計23回、株出し栽培では追肥前までに5回、その後収穫まで14回、合計19回採取した。

2.3.3 結果

1) 春植え栽培

一般的に石灰岩を母材とする暗赤色土は粘板岩を母材とする黄色土に比べて、土壌のpHは高くカルシウム含量に富む(鹿児島農政部, 2015)。しかし、本試験で用いた両土壌においては、このような傾向は判然としなかった。なお、全窒素含量は暗赤色土の方が多く、CECは黄色土の方が高かったが、交換性カルシウム、マグネシ

ウム含量に大きな違いは認められなかった。有効態リン酸は両土壌ともに鹿児島県の土壌診断基準値である 50 mg kg^{-1} 以上であった(表2.6)。このような土壌を用いて試験をした結果、土壌の違いによって、収穫茎重は異なり、黄色土で栽培したものは暗赤色土で栽培したものよりも重かった。黄色土における栽培期間の浸透水量は暗赤色土に比べ少なく、窒素溶脱量も同様に少なかった。一方、硫安施肥区と被覆尿素区の間には収穫茎重に差は認められず、被覆尿素を用いても窒素吸収量は増えず、増収につながらなかった。黄色土においては、被覆尿素を用いても、窒素溶脱量は変わらなかったが、暗赤色土では、基肥～追肥までの溶脱量低減が認められた。なお、浸透水の平均窒素濃度(mg l^{-1})は地下水環境基準の目安である10を下回り、6～8程度であった(表2.7)。

表2.6 試験開始前の土壌化学性

		pH(H ₂ O)	EC	T-N	TruogP ₂ O ₅	
			(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	
暗赤色土	硫安分施	5.8	0.05	0.744	182	
	被覆尿素	5.6	0.06	0.782	442	
	無窒素	7.0	0.04	0.782	212	
黄色土	硫安分施	5.2	0.05	0.318	161	
	被覆尿素	4.8	0.10	0.305	514	
	無窒素	5.3	0.05	0.246	169	
		CEC	CaO	MgO	K ₂ O	塩基飽和度
		(cmol _c kg ⁻¹)				(%)
暗赤色土	硫安分施	13.0	0.157	9.75	1.49	87
	被覆尿素	13.6	0.328	9.79	1.31	84
	無窒素	14.0	0.438	10.6	1.96	93
黄色土	硫安分施	31.1	0.109	7.56	10.0	57
	被覆尿素	33.9	0.212	9.72	9.87	59
	無窒素	32.2	0.410	6.82	11.6	59

表2.7 Ni17春植え栽培における収量と窒素吸収量、溶脱量

		収穫茎重	窒素吸収量	栽培期間	窒素溶脱量 (kg ha ⁻¹)		浸透水の平均
		(Mg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	浸透水量 (mm)	基肥～追肥	追肥～収穫	窒素濃度 (mg l ⁻¹)
暗赤色土	硫安分施	79.4	133	727	48.3	11.1	8.12
	被覆尿素	82.3	129	732	39.2	10.3	6.69
	無窒素	14.2	17.5	769	8.19	2.31	1.43
黄色土	硫安分施	102	137	668	34.8	7.32	6.29
	被覆尿素	96.1	152	604	35.4	6.81	6.95
	無窒素	9.17	14.8	806	17.9	1.08	2.36
分散分析	土壌の違い	*	N. S.				
	施肥の違い	N. S.	N. S.				

窒素施用量 (kg ha⁻¹) は硫安分施では硫安を基肥90、追肥90の合計180、被覆尿素ではリニア型140タイプを全量基肥で180とした。栽培期間の降水量は1691mmであった。

分散分析は無窒素栽培を除いて行い、*は要因間に5%水準で有意差のあることを、N. S. は有意差の無いことを示す。

2) 株出し栽培

春植えに引き続く株出し栽培でも同様に、土壌の違いによって収穫茎重は異なり、黄色土で栽培したものは暗赤色土で栽培したものよりも重かった。施肥の違いによる収穫茎重に差は認められなかったが、窒素吸収量は分

施することで増加した。株出しにおける栽培期間の浸透水量は春植えに比べ多かったが、窒素溶脱量は少なく、特に、基肥～追肥までの溶脱量は顕著に少なかった。なお、浸透水の平均窒素濃度 (mg l^{-1}) は環境基準の目安を大きく下回った (表 2.8)。

表2.8 Ni17株出し栽培における収量と窒素吸収量, 溶脱量

		収穫茎重 (Mg ha^{-1})	窒素吸収量 (kg ha^{-1})	栽培期間 浸透水量 (mm)	窒素溶脱量 (kg ha^{-1})		浸透水の平均 窒素濃度 (mg l^{-1})
					基肥～追肥	追肥～収穫	
暗赤色土	硫安分施	74.1	133	879	0.62	11.4	1.37
	被覆尿素	80.9	126	994	0.42	7.73	0.80
	無窒素	-	-	1014	0.27	3.64	0.30
黄色土	硫安分施	93.8	141	801	1.36	6.08	0.75
	被覆尿素	93.5	115	847	0.29	2.32	0.24
	無窒素	-	-	945	0.38	4.83	0.53
分散分析	施肥の違い	*	N. S.				
	土壌の違い	N. S.	*				

窒素施用量 (kg ha^{-1}) は硫安分施では硫安を基肥90, 追肥90の合計180, 被覆尿素ではリニア型140タイプを全量基肥で180とした。栽培期間の降水量は1622mmであった。分散分析は無窒素栽培を除いて行い, *は要因間に5%水準で有意差のあることを, N. S. は有意差の無いことを示す。無窒素区は著しく生育が悪く, 収穫茎とならなかった。

2.3.4 考察

Ni17の黄色土での適応性を検討した結果, 交換性カルシウム含量やトルオーグリン酸含量など両土壌化学性に大きな違いが認められないにもかかわらず, 春植え, 株出し栽培ともに黄色土の収穫茎重の方が暗赤色土よりも重かった。栽培期間の浸透水量は両作型ともに黄色土の方が少なく, 前1, 2節で示したように水分供給能の差が収量の増加につながったと考えられる。また, 黄色土では, 浸透水量が少なかったため, 窒素溶脱量も少なくなっており, 環境への負荷低減が図られている。中西・山本 (1995) は沖縄県宮古島の地下水に流入する窒素は, 農地に施用された肥料を最大の起源としており, 流入窒素量の緩和には肥効調節型肥料の利用や作物生育に合致した時期の施肥によって施肥効率を高めることが有効であるとしている (中西, 2001)。本試験で示したように, 品種に合致した土壌タイプを選択することでも, 地下水への窒素流入量低減が図られることから, 品種, 施肥技術, 土壌条件などを総合的に考慮することが環境への窒素負荷低減に向けては重要と考える。

長友ら (2005) が NiF8 で行った試験と同様に, 被覆尿素を用い施肥効率を高めることで増収をねらったが, Ni17では増収しなかった。株出し栽培の分施肥区では窒素吸収量が増加しているが, これは梢頭部重が増えたためであった (データ略)。このように, 従来品種に向けて開発された施肥技術は, 茎重型品種 Ni17には単純に適応

できないことが示唆された。今後は, 認められた窒素吸収量の増加を活かすことができるか検討する必要がある。第3章第2節においてこのことを論じたい。一方, 被覆尿素を利用した硝酸態窒素の低減が, 暗赤色土での春植え栽培において認められた。春植え栽培における基肥窒素の利用率の低さは, 地下水への窒素流入を高める主な要因と考えられており (加治・長友, 2008), 暗赤色土における被覆尿素の利用はこの緩和に向けた一助となると考える。

2.3.5 要約

Ni17を暗赤色土と黄色土で春植え一株出し栽培し, 土壌別の生育特性を検討するとともに, 現主力品種 NiF8で有効性が確認されている被覆尿素を用いた施肥についても検討を行った。その結果, Ni17は, 暗赤色土よりも透水性に劣る黄色土で栽培を行う方が, 高収量となることが示された。しかも, 地下水への窒素流入量も少なかった。被覆尿素を用いても NiF8の様に増収しなかったが, 暗赤色土での基肥窒素の地下水への流出抑制には有効であった。

第3章 株出し栽培における収量・品質確保に向けた対策

第1節 株出し萌芽性を良好にさせる茎中栄養条件

3.1.1 目的

サトウキビ栽培では、春植えあるいは夏植えといった新植から株出しへの継続的な栽培を目指すことから、品種育成時においても株出し萌芽性は重要な項目とされている。栽培面からも株出し萌芽性を高める検討が行われ、南西諸島では、萌芽に対して十分な気温が確保される2～3月に株出し管理を行う必要性が指摘されている（宮平・神谷，1985）。また、株出し時の栽培管理とは別に、新植における栽培管理が株出し栽培の生育に及ぼす影響についても検討されている。野瀬ら（1987）は夏植え栽培において、葉面積の拡大によって生育を促進させる技術として密植栽培などがあるが、そのままでは株出し栽培の生育向上に繋がらないため、何らかの処理を施す必要があるとしている。一方、境垣内ら（2010b）は飼料用サトウキビにおいて、密植栽培を行うことによって増収し、さらに、株出し栽培の萌芽率も高まることを認めている。この要因として、密植栽培下では、蔗汁 Brix が高くなったことから、収穫後の地下部に残った茎（以下、残茎と記す）中の炭水化物量が多くなり、萌芽性を高めたと推察している。

サトウキビ同様、切り株から後作を栽培する牧草では、残株中の炭水化物量や窒素含有率が再生に大きく関与し、また、これらは貯蔵養分としてだけでなく、再生原基の活性も高めることから、良好な再生を促すために、残株の栄養状態を考慮した刈取期や肥培管理を検討する必要があるとしている（前野・江原，1970）。

サトウキビ栽培においても、上述のように、株出し栽培の生育に対して、前作収穫茎の糖度などが関与する可能性は指摘されている。しかし、新植栽培における栽培管理と収穫時栄養状態との関係、さらには収穫時栄養状態が後作である株出し栽培の生育に及ぼす影響については、未だ明らかにされていない。これらの関係を明確にすることは、株出し栽培の初期生育を安定させ、農家収益性が高い本作型を推進する上で重要と考えられる。本節では、第2章第2節で試験した春植え栽培跡地を用い、春植え収穫茎の栄養状態（蔗汁 Brix、収穫茎の乾物率、窒素含有率）が株出し栽培の生育に及ぼす影響を検討した。

3.1.2. 材料および方法

1) 試験区の設置

試験は鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場内の石灰岩を母材とする普通暗赤色土畑において、茎重型品種に分類されるサトウキビ Ni17 を用いて行った。まず、新植した春植え栽培を第2章第2節に示す試験設計で行った。引き続き、春植え栽培跡地において株出し栽培を、以下に示すように、全区、同じ管理で行った。2010年2月3日に株出し管理（枯葉処理、株揃え）、2月19日に株元への基肥条施と1回目の培土（萌芽位置から畝頂部までの高さ約5cm）を行った。追肥の条施肥と2回目の培土（萌芽位置から畝頂部までの高さ約20cm）を5月27日に行った。基肥および追肥は硫酸、過リン酸石灰、塩化カリウムを用いて鹿児島県施肥基準量と同量施用した（基肥： $N-P_2O_5-K_2O=100-90-60\text{ kg ha}^{-1}$ 、追肥： $N-K_2O=100-60\text{ kg ha}^{-1}$ ）。水管理は全区一様に降水量を考慮して、 3 mm day^{-1} となるよう行った。

以下、本研究において新植した春植え栽培を前作、その収穫株からの株出し栽培を後作と記す。

2) 前作における収穫物の調査方法

第2章第2節に示す。

3) 前作と後作における生育調査方法

試験規模1区10.1㎡の区において、茎数および茎長の調査を約1ヶ月ごとに行った。同時に、試験規模1区25.6㎡の区において、生育過程の解析を行った。1区内10プロットのうち5プロットは前作の生育過程を解析するためにサトウキビ地上部を株元から全株サンプリングした。全ての跡地について、同じ株出し管理を行い、前作でサンプリングしなかったプロットを後作の解析に用いた。各区1プロットずつ株元から全株サンプリングし、葉身と枯葉とそれ以外（茎）に分別した。サンプリングは約1ヶ月ごとに追肥前の5月26日、追肥後の6月21日、7月20日の計3回行った。葉面積、葉身、茎中窒素含有率およびケイ酸含有率は第2章第1節と同じ方法で算出した。

3.1.3. 結果

1) 前作収穫茎の品質

前作において、7～9月の夏期にかん水を行うことによって、一茎重が重くなり、増収した。収穫時の蔗汁 Brix は変わらなかったが、茎乾物率および茎中窒素含有率は低下した（表3.1）。また、かん水の有無が茎乾物率および茎中窒素含有率に及ぼす寄与率は追肥窒素量、株間の違いに比べ大きかった（表3.2）。

追肥窒素を倍量施用しても、収穫茎数、一茎重の増加は認められず、増収には繋がらなかった。収穫時の茎中

窒素含有率は高くなったが、蔗汁 Brix、茎乾物率は低下する傾向がみられた（表 3.1）。また、追肥窒素量の違いが茎中窒素含有率に及ぼす寄与率はかん水の有無に比べ小さかったが、株間の違いに比べ大きかった（表 3.2）。株間を狭め、密植栽培することによって、一茎重は変

わらず、収穫茎数が増え、増収した。収穫時の茎乾物率は高くなり、茎中窒素含有率は低下した。また、蔗汁 Brix は上昇する傾向であった（表 3.1）。株間の違いが茎中窒素含有率に及ぼす寄与率はかん水の有無、株間の違いに比べ小さかった（表 3.2）。

表3.1 異なる栽培条件下におけるサトウキビNi17春植え栽培の収量、品質

処理内容 ^{*1}	収穫茎重 (Mg ha ⁻¹)	収穫茎数 (10 ³ 本 ha ⁻¹)	一茎重 (kg)	蔗汁Brix (%)	茎乾物率 (g kg ⁻¹)	茎中窒素含有率 ^{*2} (g kg ⁻¹)
かん水あり	115 ㄱ	79.0 ㄱ	1.45 ㄱ	20.6 ㄱ	155 ㄱ	0.613 ㄱ
なし	65.4 ***	79.7 N.S.	0.82 ***	20.6 N.S.	165 ***	0.873 ***
追肥標準	88.4 ㄱ	78.8 ㄱ	1.13 ㄱ	20.7 ㄱ	161 ㄱ	0.664 ㄱ
倍量	91.5 N.S.	80.0 ㄱ	1.15 ㄱ	20.5 ㄱ	159 ㄱ	0.821 **
株間15cm	96.7 ㄱ	87.6 ㄱ	1.11 ㄱ	20.7 ㄱ	163 ㄱ	0.705 ㄱ
30cm	83.2 **	71.2 ㄱ	1.17 ㄱ	20.5 N.S.	157 ㄱ	0.780 △

^{*1}かん水の有無、追肥N量、株間の違いの3要因を三元配置法で行った結果の要因別の平均値を示す。

^{*2}茎中窒素含有率は新鮮物当たりの全窒素量を表す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

表3.2 春植え栽培における栽培条件が収穫茎の品質に及ぼす寄与率^{*1} (%)

処理内容	蔗汁Brix	茎乾物率	茎中窒素含有率
かん水の有無	1.2	41.7	61.0
追肥量の違い	3.3	1.8	22.1
株間の違い	15.9	11.0	5.0
かん水×株間		31.7	
誤差	79.6	13.8	11.9

^{*1}分散分析による寄与率を示す。

有意でなかった交互作用は全てプーリングした。

2) 後作の生育経過と窒素、ケイ酸含有率の変動

前作に対して、夏期のかん水を行うことによって、後作の生育過程がどのように変わるかを調査した。3月1日の調査では、前作の夏期にかん水を行った栽培（以下、前作かん水栽培と記す）の茎数は前作の夏期にかん水を行わなかった栽培（以下、前作無かん水栽培と記す）に比べ少なかった。4月1日以降の茎数および葉身中窒素含有率は、前作かん水の有無による差は認められなかった（表 3.3, 3.4）。しかし、6月21日および7月20日調査時における、前作かん水栽培の茎中窒素含有率は前作無かん水栽培に比べ低かった。一方、前作かん水栽培の葉身中ケイ酸含有率は前作無かん水栽培に比べ、5月26日の調査では高く、それ以降は同率で推移した（表 3.4）。前作の夏期にかん水を行うことによって、後作では、葉面積が小さくなり、総乾物重が少なく推移することが認められた（図 3.1）。

前作において、追肥窒素量の違いによる収穫茎数に差

は認められなかった。一方、後作においては、前作の追肥窒素量を標準施肥の倍量施用した栽培（以下、前作追肥倍量栽培と記す）の茎数は5月末頃まで、前作追肥標準栽培に比べ多かった（表 3.3）。葉身中窒素含有率、ケイ酸含有率については、前作の追肥窒素量の違いによる差は認められなかった。一方、6月21日、7月20日調査時における、前作追肥倍量栽培の茎中窒素含有率は前作追肥標準栽培に比べ高かった（表 3.4）。前作の追肥窒素を増施することによって、後作では、葉面積の拡大を伴い、総乾物重が重く推移することが認められた（図 3.1）。

後作において、前作株間を15cmとした栽培の茎数は前作株間を30cmとした栽培に比べ、多く推移した（表 3.3）。葉身、茎中窒素含有率およびケイ酸含有率については、前作の株間の違いによる差は認められなかった（表 3.4）。前作において株間を狭め栽培しても、後作では、葉面積の拡大や総乾物重の増加は認められなかった（図 3.1）。

表3.3 サトウキビNi17株出し栽培の茎数、茎長の推移

前作処理内容*1	茎数 (10 ³ 本 ha ⁻¹)						茎長 (m)	
	3/1	4/1	4/30	5/26	6/21	7/20	6/21	7/20
かん水あり	34.5 [∩]	63.9 [∩]	91.6 [∩]	127 [∩]	97.8 [∩]	87.1 [∩]	0.586 [∩]	1.22 [∩]
なし	47.8 ^{**}	60.7 [∩]	81.8 [∩]	127 [∩]	97.3 [∩]	89.6 [∩]	0.592 [∩]	1.18 [∩]
追肥標準	37.9 [∩]	57.1 [∩]	81.3 [∩]	122 [∩]	96.8 [∩]	87.0 [∩]	0.577 [∩]	1.17 [∩]
倍量	44.3 [∩]	67.5 [∩]	92.1 [∩]	132 [∩]	98.4 [∩]	89.7 [∩]	0.600 [∩]	1.22 [∩]
株間15cm	45.8 [∩]	71.8 [∩]	100 [∩]	144 [∩]	107 [∩]	96.9 [∩]	0.601 [∩]	1.21 [∩]
30cm	36.4 [∩]	52.8 [∩]	73.2 [∩]	109 [∩]	88.1 [∩]	79.9 [∩]	0.577 [∩]	1.18 [∩]

*13要因を三元配置法で行った結果の要因別の平均値を示す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

表3.4 サトウキビNi17株出し栽培における葉身、茎中の窒素およびケイ酸含有率

前作処理内容*1	葉身中窒素含有率*2 (g kg ⁻¹)			茎中窒素含有率*2 (g kg ⁻¹)		
	5/26	6/21	7/20	5/26	6/21	7/20
かん水あり	16.1 [∩]	15.2 [∩]	12.2 [∩]	0.98 [∩]	1.69 [∩]	3.51 [∩]
なし	15.4 [∩]	15.2 [∩]	11.7 [∩]	1.02 [∩]	1.93 [∩]	3.83 [∩]
追肥標準	15.8 [∩]	15.3 [∩]	12.1 [∩]	0.98 [∩]	1.66 [∩]	3.41 [∩]
倍量	15.7 [∩]	15.1 [∩]	11.8 [∩]	1.02 [∩]	1.95 [∩]	3.93 [∩]
株間15cm	15.6 [∩]	15.0 [∩]	11.7 [∩]	0.98 [∩]	1.87 [∩]	3.65 [∩]
30cm	15.9 [∩]	15.5 [∩]	12.2 [∩]	1.02 [∩]	1.75 [∩]	3.69 [∩]

前作処理内容*1	葉身中SiO ₂ 含有率*2 (g kg ⁻¹)		
	5/26	6/20	7/20
かん水あり	50.4 [∩]	44.0 [∩]	31.6 [∩]
なし	41.2 [∩]	41.2 [∩]	29.1 [∩]
追肥標準	46.6 [∩]	42.9 [∩]	30.9 [∩]
倍量	44.9 [∩]	42.4 [∩]	29.7 [∩]
株間15cm	46.9 [∩]	43.8 [∩]	29.4 [∩]
30cm	44.6 [∩]	41.4 [∩]	31.3 [∩]

*13要因を三元配置法で行った結果の要因別の平均値を示す。

*2葉身、茎中窒素およびSiO₂は乾物当たりの含量を表す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意差のあることを示す。

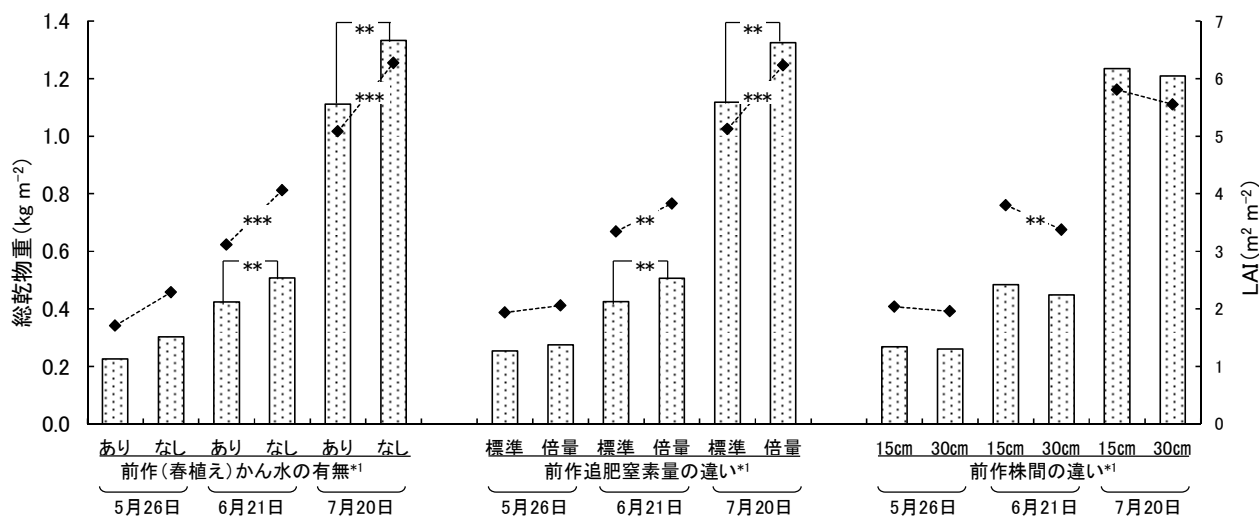


図3.1 前作処理の違いによるサトウキビ株出し栽培における総乾物重と葉面積指数 (LAI) の違い

*13要因を三元配置法で行った結果の要因別平均値を示す。

棒グラフは総乾物重, ◆はLAI表す。

, *は分散分析によってそれぞれ1%, 0.1%水準で有意差のあることを示す。

3.1.4. 考 察

サトウキビ株出し栽培では、収穫残茎の芽子から新しい茎を形成させ、栽培を行う。牧草同様、サトウキビ栽培でも、後作である株出し栽培の生育は残茎の栄養状態によって異なり、残茎中炭水化物の関与が示唆されている（境垣内ら，2010b）。そこで、前作（春植え栽培）における栽培管理の違いが、その収穫茎中の炭水化物と関係が深いと考えられる蔗汁 Brix および茎乾物率へ及ぼす影響と、また、牧草では、残株中の窒素含有率が再生に関与する（前野・江原，1970）ことから、収穫茎中の窒素含有率に及ぼす影響も併せて調査した。その結果、前作の栽培管理の違いによって、その収穫茎の乾物率や窒素含有率が異なることが明らかとなった。蔗汁 Brix については、栽培管理の違いによる有意な差は認められなかったが、追肥窒素増施で低く、密植栽培で高くなる傾向にあった（表 3.1）。施肥窒素量の増加は作物体中の窒素含有率を高め、栄養成長の長期化を引き起こすため、糖度の低下に繋がる（井上ら，2009）。一方、密植栽培では、茎中の窒素含有率の低下がみられる（表 3.1）ことから、逆に、糖度が上昇することが考えられる。第 2 章第 1 節に示した同様の試験においても、上述のことが認められている（データ未発表）。このように、前作の栽培管理の違いによって、その収穫茎の蔗汁 Brix、乾物率、窒素含有率が異なった。引き続き、同一条件下で株出し栽培（後作）を行うことによって、前作における栽培管理の違いが後作の生育に及ぼす影響を検討した。

前作の夏期にかん水を行うことによって、その収穫茎の乾物率や窒素含有率が低下した（表 3.1）。後作では、前作にかん水を行わなかった後作に比べ、3 月 1 日調査で少なかった茎数が 4 月以降同等となった（表 3.3）ため、萌芽の遅延が起きたと考えられた。このことから、かん水によって増収した場合、残茎中の炭水化物量や窒素含有率が低下し、後作の萌芽が遅れる可能性が示唆された。一方、蒸散抑制に寄与する葉身中ケイ酸含有率（Van Der Vorm, 1980）の増加が、後作の生育極初期において認められた（表 3.4）。このことは、以下のように考える。園田ら（2009）は深さ 1.3m まで塹壕を掘り、プロフィールウォール法でかん水の有無によるサトウキビ NiF8 の根数と根域を調査した結果、かん水によって根域は変わらないが、根数が増加することを認めている。このことから、かん水によって増加した根数が、後作生育初期の水分吸収を促進させ、葉身中ケイ酸含有率を高めたと推察する。このように、収穫茎中の乾物率、窒素含有率が低かった株からの後作では、葉面積が小さくなり、生育初期の乾物生産性が低下した（図 3.1）。本後

作試験はかん水で行われたため、蒸散抑制効果は得られにくかったと考えられる。このため、葉身中のケイ酸含有率の上昇が乾物生産性の向上に繋がらなかった可能性が考えられる。以上のことから、前作収穫茎中の乾物率、窒素含有率はその残茎中の栄養状態を反映し、後作の萌芽や生育に影響を及ぼすと考えられた。

前作において、追肥窒素量を倍量施用することによって、収穫茎中の窒素含有率が高くなった（表 3.1）。また、後作における生育初期の茎数が追肥標準栽培に比べ、多く推移した（表 3.3）ことから萌芽や分けつ促進が起きたと考えられた。さらに、後作の生育初期では、葉面積が大きくなり、乾物生産性が向上することが認められた（図 3.1）。一方、前作における追肥増施によって、収穫茎の蔗汁 Brix は低下する傾向がみられた（表 3.1）。蔗汁 Brix が低下したにもかかわらず、後作の乾物生産性が向上したことから、後作の初期生育には、蔗汁 Brix に比べ収穫茎中の窒素含有率の影響が大きいことがうかがえる。NiF8 などサトウキビの主力品種においては、前作の収穫茎糖度と後作の収量との間に、負の相関関係が認められることが報告されている（杉本ら，2002）。糖度が低かったサトウキビでは、窒素含有率が高いことが考えられ、このことが、後作の初期生育を良好にし、収量を高めた可能性が考えられる。

前作を密植栽培することによって、その収穫茎における蔗汁 Brix、茎乾物率の上昇、茎中窒素含有率の低下などの栄養状態の違いが認められた（表 3.1）。しかし、後作においては、葉面積の拡大は認められず、乾物生産性は変わらなかった（図 3.1）。前作密植栽培によって、収穫茎数は多くなり、後作における茎数も多く推移した（表 3.3）。前作収穫茎の蔗汁 Brix や乾物率が高く、後作の茎数も多く推移したにもかかわらず、後作の乾物生産性が変わらなかったことは、前作収穫茎中の窒素含有率が低かったためと考える。牧草の再生では、貯蔵物質の蓄積とともに分けつなど再生を開始する原基となるべきものの存在があいまって、旺盛な再生が期待できるとされている（前野・江原，1970）。サトウキビでも同様だとすると、前作における密植栽培跡では、再生原基数（残茎数）は増えるが、貯蔵物質（茎中窒素含有率）が減るため、後作の乾物生産性の向上に繋がらなかったと考えられる。夏期かん水の有無、追肥窒素量の影響の結果と併せて考えると、前作収穫茎中の窒素含有率が初期生育へ及ぼす影響は蔗汁 Brix や茎中乾物率に比べ、大きいと考えられる。したがって、サトウキビ収穫茎からの萌芽や分けつを促すためには、収穫茎中の窒素含有率を高め、残茎中の窒素栄養状態を向上させることが重要

と考えられる。

前作収穫茎中の窒素含有率が高くなった処理での後作の初期生育は旺盛で、茎中窒素含有率が上昇した。福澤ら（2009）は養水分の吸収に影響が大きい茎根数の割合が高いと、相対成長率が高まることを明らかにした。本試験の後作において、茎中窒素含有率を高めた要因は明らかでないが、上記のように根の生育が異なった可能性も考えられる。茎中の窒素含有率が異なれば、株出し2回目の萌芽率や生育への影響が考えられる。サトウキビは通常2~3回の株出し栽培が行われるため、収穫残茎の窒素栄養状態を良好にすることは春植え、株出し栽培を問わず、その再生栽培の生産性を安定させる上で必要と考える。

国営畑地かんがい排水事業によって、将来的には広い範囲の畑に水が供給されるため、サトウキビの生産性は向上すると考えられる。また、成長旺盛期に日射量とともに適度な降水量が確保されるような年においても、収量は増加する。本試験結果から、このような多収条件下では、前作残茎中の窒素含有率が低く、後作の萌芽やその後の生産性が低下することが懸念される。一方、収穫前の窒素施用によって、残茎からの萌芽が良好になることは経験的に知られており、1995年の糖度取引が開始される以前は一部で行われていた。現在、行われなくなったのは、作物体の窒素含有率を上昇させることは糖度の低下に繋がる（井上ら、2009）ためと考える。糖度取引が行われる現在では、ショ糖含有率の向上が大きな育種目標とされ、世界的にも先導的な高糖性品種の育成が進められている（寺内、2002）。栽培管理においても、糖度の低下を招かない取り組みは必要と考えられる。むやみに施肥窒素量を増やすことは、糖度低下を助長する。さらに、分散分析の寄与率から判断すると、前作において、茎中窒素含有率に及ぼすかん水の影響は、追肥窒素を倍量施用した場合に比べ大きいことがみてとれる（表3.2）。したがって、かん水を行い生産性を向上させる栽培に対して、単に追肥量を増やすだけでは、残株中窒素含有率を高めることは難しいと考えられる。土壌水分が十分に供給される条件下では、施肥時期や回数などを検討し、残茎中窒素含有率を高める取り組みが必要と考える。また、収穫前の窒素施用についても、糖度低下を極力抑制できる施用時期や量の検討をすることによって、糖生産量は増える可能性も考えられる。

サトウキビ栽培において、高い生産速度を得るためには夏季に十分量の葉面積を得る必要がある。密植栽培はその一方法と考えられるが、後作では密植の効果が得られないことが報告されている（野瀬ら、1987）。本試験

でも同様に、前作密植栽培は後作の乾物生産性を高めなかった。この要因は、密植栽培下では残茎数が増えても、残茎中窒素含有率が減少するためと考えられた。分散分析の寄与率から判断すると、前作の茎中窒素含有率に及ぼす追肥窒素量の影響は、株間の違いに比べ大きいことがみてとれる（表3.2）。したがって、前作において施肥基準量に比べ追肥窒素量を増やし、茎中窒素含有率を高めることで、この問題を解決できる可能性も考えられる。

以上のことから、前作（新植春植え栽培）における栽培条件（かん水の有無、追肥窒素量、栽植密度）の違いが、収穫茎の品質（蔗汁 Brix、乾物率および窒素含有率）に影響することが示された。また、収穫茎中の窒素含有率が高いと、後作（株出し栽培）の乾物生産性は向上した。一方、蔗汁 Brix、茎乾物率の違いが後作の生育に及ぼす影響は明らかでなかった。したがって、前作収穫茎中の窒素含有率を高める管理は、後作における残茎からの萌芽とその後の生育を良好にすると考えられた。

3.1.5. 要 約

サトウキビ株出し栽培の生産安定を目的として、前作（春植え栽培）における管理の違いが後作（株出し栽培）の乾物生産性に及ぼす影響を調査した。また、後作の生育には、収穫後に地下部に残った茎中の栄養状態の関与が指摘されていることから、前作収穫茎の蔗汁 Brix、乾物率、窒素含有率と後作生育との関係を検討した。前作における収穫茎中の窒素含有率は、7~9月の夏期にかん水を行うことによって低下し、追肥窒素を倍量施用することによって向上した。後作の乾物生産性は、前作にかん水を行った栽培では低下し、追肥窒素を倍量施用した栽培では向上した。前作において密植した栽培では、その収穫茎中の窒素含有率は低下したが、後作の乾物生産性は変わらなかった。このことは、前作における収穫茎数の増加が、後作の茎数を多数確保することに寄与したためと考えられた。前作栽培管理の違いによって蔗汁 Brix、茎中乾物率は異なったが、後作の生育への影響は明らかでなかった。以上のことから、前作収穫茎中の窒素含有率を高めることは、後作の生育向上に繋がると考えられた。

第 2 節 茎重型品種の株出し栽培において有効な窒素追肥法

3.2.1 目的

鹿児島県では、経済性に優れる株出し栽培を行うことを推進しており、株出し萌芽性に優れる品種として、Ni17 が 2001 年に奨励品種に採用され、普及が図られている。Ni17 は一茎重の大きさで収量を確保する茎重型品種に分類される（竹傘禮ら 2004）。しかし、これまでの品種育成においては、茎数が一茎重に比べ茎収量に強く影響することから、群落の受光体勢に優れる茎数型品種が重視されてきた（島袋，1990）。特に、奄美地域においては、茎数型品種を中心に、密植栽培による茎数の増加によって茎収量を増加させる方法が採られてきた（園田ら，1986；大城ら，1989）。しかし、サトウキビ生産では、茎が著しく伸長する前に追肥が行われるため、一茎重を増加させる必要性が高い茎重型品種である Ni17 では、追肥窒素量の影響が大きいことが考えられる。また、現在、栽培されている品種は窒素施用量によって、茎収量が異なる（佐藤・吉田，2001；三浦ら，2000）ことが明らかにされ、鹿児島県では、品種に対応した施肥基準の改定（鹿児島県農政部，2015）を行うことによって、奄美地域におけるサトウキビの生産安定と増収を図っている。

一方、日本におけるサトウキビの糖度取引価格は 1995 年にシヨ糖含有率を反映した取引制度へと替わったため、シヨ糖含有率の上昇を考慮した生産が必要となった。しかし、茎収量とシヨ糖含有率には負の相関関係があり、同時に進行する茎葉生長とシヨ糖の蓄積は同化産物を巡り、競合する関係にある（Alexander，1973）。このため、サトウキビの糖度は基肥に比べ追肥の影響を強く受けると考えられる。

そこで、本節の目的はサトウキビ Ni17 株出し栽培において、追肥窒素施用量の違いが一茎重、茎収量ならびにシヨ糖含有率に及ぼす影響を明らかにし、追肥窒素量の適正化を図ることである。

3.2.2 材料および方法

1) Ni17 における分けつ数、一茎重および収穫茎重の関係

鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場作物研究室（北緯 27°40'，東経 128°59'）では、九州沖縄農業研究センター、沖縄県農業研究センターで育成された系統および外国からの導入品種について、生産力、耐病性などの現地適応性を検定し、奄美地域に適応性の高い品種の選定を行っている（以下、生産力検定試験と記す）。Ni17

春植え栽培の本検定結果を用いて、分けつ数、一茎重、収穫茎重それぞれの関係を解析し、収量向上に向けた要因の検討を行った。生産力検定試験における春植え栽培は鹿児島県の栽植様式、施肥基準に基づいて、栽植密度は 2 節苗を畝間 120 cm，株間 25 cm で、施肥量は基肥窒素量 90 kg ha⁻¹，追肥窒素量 90 kg ha⁻¹ で栽培されている。試験面積は 1 区 14.4 m² で、3 反復で行われている。土壌条件は石灰岩を母材とした暗赤色土（普通暗赤色土）である。

2) 株出し栽培の処理

試験は徳之島支場内の普通暗赤色土畑（表 3.5）で行った。サトウキビ Ni17 を鹿児島県の栽植様式、施肥基準に基づいて春植え栽培した後、株出し栽培を行った。基肥窒素量は全て、従来の施肥基準量と同じ 100 kg ha⁻¹ を硫酸で施用した。一方、追肥窒素施用量は硫酸で施肥基準量の 100 kg ha⁻¹ とした区と増施した 150，200 kg ha⁻¹ の区を 1 区 4.8 m²（5m×4 畝）で、3 反復設定した。また、リン酸およびカリウムの施用量は施肥基準（基肥：P₂O₅-K₂O=90-60 kg ha⁻¹，追肥：K₂O=60 kg ha⁻¹）と同量を過リン酸石灰、塩化カリウムで調整した。さらに、翌年の 2005 年には同じ試験を、2006 年には追肥窒素施用量 150 kg ha⁻¹ まで設定した同様の試験を隣接する別圃場（同じ種類の土壌，表 3.5）で行った。第 1 作は春植え栽培を 2004 年 1 月 13 日に収穫し、株出し管理（枯葉処理および株揃え）を同年 2 月 12 日に行い、2005 年 1 月 17 日に収穫した（以下、2004 年作と記す）。肥培管理は 2004 年 3 月 16 日に株元に基肥の条施肥と 1 回目の培土（苗から畝頂部までの高さ約 5 cm）を行い、同年 5 月 27 日に追肥の条施肥と 2 回目の培土（苗から畝頂部までの高さ約 15 cm）を行った。もう 1 作は春植え栽培を 2005 年 2 月 14 日に収穫し、株出し管理、基肥・1 回目培土を同年 3 月 15 日、追肥・2 回目培土を同年 6 月 6 日に行い、同年 12 月 19 日に収穫した（以下、2005 年作と記す）。さらに、もう 1 作は春植え栽培を 2006 年 3 月 1 日に収穫し、株出し管理、基肥・1 回目培土を同年 3 月 13 日、追肥・2 回目培土を同年 6 月 21 日に行い、2007 年 1 月 22 日に収穫した（以下、2006 年作と記す）。

表3.5 試験圃場の土壌化学性（乾土あたり）

試験年度	pH(H ₂ O)	CEC	(cmol _c kg ⁻¹)			塩基飽和度 (%)
			CaO	MgO	K ₂ O	
2004年	7.1	15.4	11.7	2.01	0.53	92
2005年	6.6	14.4	11.7	1.79	0.50	97
2006年	7.7	16.7	16.2	2.35	0.44	113

3) 調査方法

2004, 2005, 2006年作ともに、定植から約1ヶ月ごとに茎数の調査を行った。また、2005年作においては、乾物生産と窒素吸収量の関係を検討するために、定植から約1ヶ月ごとに2.4m² (2m×2畝)の面積で、株元から収穫し、乾物重と窒素含有率を2反復で測定した。作物体の分別および窒素含有率の測定は第2章第1節と同じ方法で行った。収穫調査は12m² (5m×2畝)の面積で行い、第2章第2節と同じ分別、分析を行い、部位別の窒素含有率を基にした窒素吸収量、蔗汁糖度、可製糖量を算出した。

得られた調査結果および分析値の窒素施肥との関係を明らかにするため、各試験年ごとに回帰分析(田口, 1962)を行った。また、試験年次間での違いを検討するため、各年の標準施肥栽培間の調査結果および分析値についてFisher's PLSDを用い比較した。

3.2.3. 結果

1) 生産力検定試験結果の解析

奄美地域におけるサトウキビ春植え栽培は概ね6~7月に最高分けつ期に達するため(6月と7月はほぼ同じ、データ略)、生産力検定試験では、7月から1ヶ月ごとに茎数の調査が定められている。また、徳之島支場では、1997年からNi17の生産力検定試験を毎年行っている。ここでは、1997~2006年までの9作のデータを用いて、7月の茎数、一茎重、収穫茎重との関係を検討した。また、7月の茎数の調査が行われなかった2003年、2004年の茎数データは欠測扱いとした。その結果、Ni17春植え栽培では、7月茎数と一茎重の間に負の相関関係がみられた(図3.2)。一方、収穫茎重と一茎重の間には正の相関関係がみられた(図3.3)。一茎重が収穫茎重に及ぼす寄与率は0.621と高かったことから、Ni17の茎取量を向上させるためには、茎重型品種の特性を活かし、一茎重を増加させる必要があると考えられる。また、7月茎数が一茎重に及ぼす寄与率は0.538と高かったことから、一茎重の重さは最高分けつ数の影響を強く受けると考えられる。

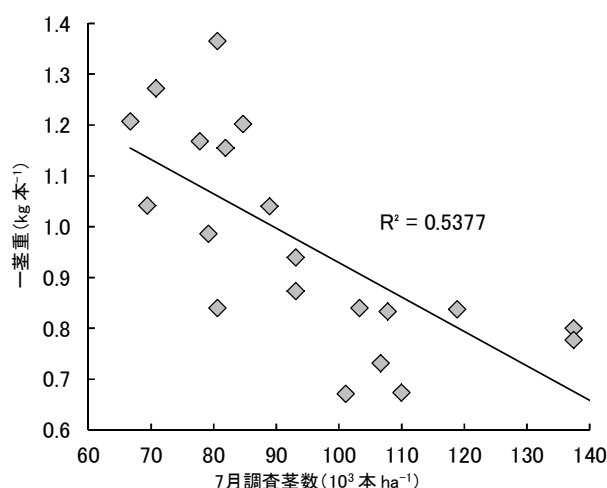


図3.2 Ni17春植え栽培における7月茎数と一茎重の関係

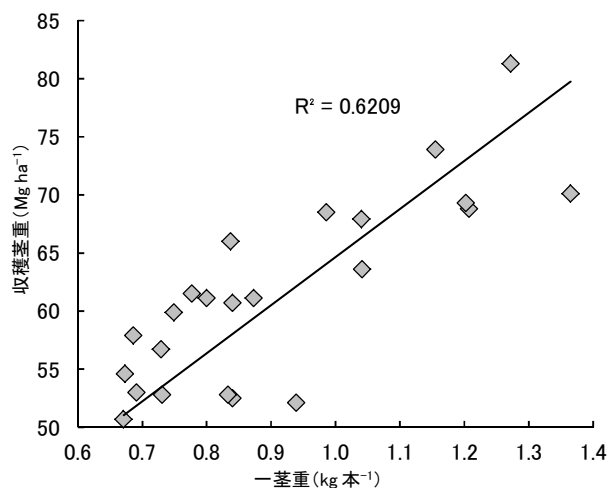


図3.3 Ni17春植え栽培における一茎重と茎重の関係

2) 2004年作

サトウキビの分けつ数は6月の生育調査(6月1日)において最高となり、その数は 150×10^3 本 ha^{-1} 程度であった。また、追肥窒素施用量の増加による6月茎数の違いはみられなかった(表3.6)。6月の調査は追肥施用5日後に行っているため、追肥の影響はほとんどないと考えられる。試験区間の茎数は概ね一様であることから、試験遂行時の管理は適切であったと考えられる。

収穫物調査では、追肥窒素量が多くなるにつれて収穫

茎重は増加したが、その要因は茎数増加によるものであった。また、鹿児島県の株出し栽培の目標収量である $80 \text{ Mg } ha^{-1}$ (以下、目標収量と記す)を大きく下回った。しかし、蔗汁の糖度に違いはみられなかった。その結果、追肥窒素量が多くなるにつれて蔗汁量ならびに可製糖量が増加した(表3.6)。

追肥窒素の増加とともに、乾物生産は旺盛になり、総窒素吸収量も増加した(表3.7)。

表3.6 株出し栽培におけるサトウキビNi17の生育収量と品質

窒素施用量 $kg \text{ N } ha^{-1}$	4月茎数	6月茎数 [※] $10^3 \text{ 本 } ha^{-1}$	収穫茎数	一茎重 $kg \text{ 茎}^{-1}$	収穫茎重	蔗汁量 $Mg \text{ } ha^{-1}$	可製糖量	蔗汁糖度 %
2004年								
100 - 100	89.2 a	144 a	73.1 a	0.801 c	58.6 c	41.5 c	7.95 b	17.8 c
100 - 150	95.0	154	79.7	0.803	63.9	45.1	8.29	17.3
100 - 200	91.9	149	85.8	0.779	66.8	47.1	9.22	18.2
2005年								
100 - 100	64.8 b	115 b	80.9 a	0.893 b	72.4 b	51.2 b	10.9 a	19.5 a
100 - 150	57.4	114	74.4	0.909	67.6	46.7	10.0	18.9
100 - 200	59.3	109	72.8	0.962	70.0	49.7	10.1	18.6
2006年								
100 - 100		114 b	74.7 a	1.177 a	87.8 a	63.4 a	12.2 a	18.1 b
100 - 150		114	71.9	1.251	88.8	63.6	12.1	17.9
回帰分析 (Prob)								
2004年								
追肥一次成分	0.688	0.585	0.003 **	0.569	0.043 *	0.076 Δ	0.061 Δ	0.629
追肥二次成分	0.464	0.337	0.904	0.725	0.684	0.736	0.568	0.243
2005年								
追肥一次成分	0.337	0.614	0.360	0.503	0.530	0.766	0.434	0.006 **
追肥二次成分	0.319	0.794	0.588	0.692	0.714	0.412	0.583	0.359
2006年								
追肥一次成分		1.000	0.726	0.472	0.746	0.944	0.743	0.072 Δ

平均値 (n = 3) を示す。

**、*、 Δ はそれぞれ回帰分析により1%、5%、10%水準で有意差のあることを示す。

異なる英子文字は、年次別に施肥基準栽培間で、Fisher's PLSDにより5%水準で有意差のあることを示す。

※は生育調査において最も茎数が多かった時の茎数。

2006年作の4月茎数は調査しなかった。

表3.7 株出し栽培におけるサトウキビNi17の部位別窒素含有率，総乾物重，総窒素吸収量

窒素施用量 kg N ha ⁻¹	梢頭部	葉	バガス	蔗汁	総乾物重 Mg ha ⁻¹	総窒素吸収量 kg ha ⁻¹	窒素利用率 %
	窒素含有率 (g kg ⁻¹)						
2004年							
100 - 100	9.62 a	5.65 a	2.55 a	0.404 a	18.4 a	105 a	33.3 ab
100 - 150	10.9	5.13	3.35	0.531	21.1	132	37.8
100 - 200	10.6	5.35	2.77	0.561	21.1	131	30.8
2005年							
100 - 100	7.34 b	4.06 b	1.66 b	0.237 b	23.9 b	92 b	26.7 b
100 - 150	7.49	3.87	2.21	0.361	21.5	93	21.4
100 - 200	8.67	4.53	2.60	0.446	22.7	116	25.7
2006年							
100 - 100	7.74 b	3.33 b	2.42 a	0.296 ab	26.2 b	108 a	36.4 a
100 - 150	8.80	4.17	2.87	0.428	27.1	137	40.6
回帰分析 (Prob)							
2004年							
追肥一次成分	0.217	0.484	0.595	0.159	0.047 *	0.002 **	0.269
追肥二次成分	0.245	0.332	0.078 △	0.583	0.211	0.015 *	0.015 *
2005年							
追肥一次成分	0.015 *	0.180	<0.001 ***	0.005 **	0.470	0.020 *	0.762
追肥二次成分	0.184	0.162	0.530	0.670	0.223	0.123	0.165
2006年							
追肥一次成分	0.112	0.126	<0.001 ***	0.014 *	0.549	<0.001 ***	0.043 *

平均値 (n = 3) を示す。

***, **, *, △はそれぞれ回帰分析により0.1%, 1%, 5%, 10%水準で有意差のあることを示す。

異なる英子文字は，年次別に施肥基準栽培間で，Fisher's PLSDにより5%水準で有意差のあることを示す。

窒素利用率 = (試験区の総窒素吸収量 - 無窒素栽培区の総窒素吸収量) ÷ 窒素施用量 × 100

3) 2005 年作

2004年作と同様に，6月の調査（6月6日）において，分けつ数は最高となり，その数は 110×10^3 本 ha⁻¹ 程度であった。また，追肥窒素施用量の増加による茎数の違いはみられなかった。収穫物調査では，追肥窒素量の増加による茎数および一茎重の違いはみられず，収穫茎重の増加は認められなかったが，収穫茎重は目標収量に比べやや少なかった。また，蔗汁量，蔗汁糖度および可製糖量にも増加は認められなかった（表3.6）。

バガスおよび蔗汁中の窒素含有率は追肥窒素の増加とともに上昇し，総窒素吸収量も増加した（表3.7）。

4) 2006 年作

2004年作ならびに2005年作と同様に，6月の調査（6月7日）において分けつ数は最高となり，その数は2005年作と同様に， 110×10^3 本 ha⁻¹ 程度であった。また，追肥窒素施用量の増加による茎数の違いはみられなかった。収穫物調査では2005年作と同様に，追肥窒素量の増加による茎数，一茎重の違いはみられず，収穫茎重の増加も認められなかったが，収穫茎重は目標収量を上回った。また，追肥窒素量の増加による蔗汁量，蔗汁糖度，可製糖量の違いも認められなかった（表3.6）。

2005年作と同様に，追肥窒素の増加とともに，バガス，蔗汁中の窒素含有率は上昇し，総窒素吸収量が増加した（表3.7）。

5) 年次間の比較

2004年の3～6月までの平均気温は2005，2006年に比べ高く推移した。特に，株出し管理を行った3月では，2005年とは約2℃，2006年とは約1℃の差があった。一方，2005，2006年の6月までの降水量は2004年に比べ多く経過した。特に，2005年と2006年6月は平年値（271mm）に比べ著しく多かった（図3.4）。3ヶ年とも，3月中旬に基肥を施用したが，2004年作の株出し管理は2005，2006年作に比べ，約1ヶ月早い2月に行った。このような気象および肥培管理条件下，2004年作の6月までの茎数は2005，2006年作に比べ多く推移したが，6月以降の茎数は3ヶ年とも，減少し，その後ほぼ同様の茎数で推移した（図3.5）。

収穫物調査では，年次間による収穫茎数の違いはみられなかったが，一茎重は2006年作 > 2005年作 > 2004年作の順に重かった。その結果，収穫茎重および可製糖量も同様に2006年作 > 2005年作 > 2004年作の順に多収であった（表3.6）。

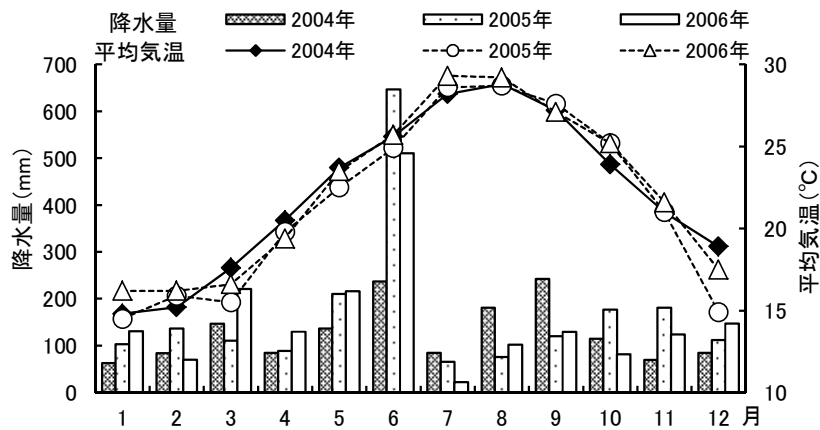


図3.4 栽培期間の月別の積算降水量と平均気温

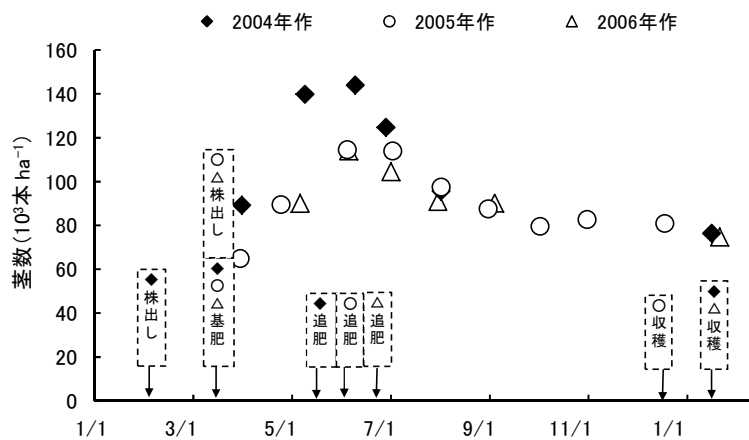


図3.5 栽培期間の茎数の推移

3.2.4. 考察

サトウキビの株出し栽培において、安定した萌芽性は必須とされている。鹿児島県では、生産量拡大を目的に株出し栽培の面積拡大を推進しており、株出し特性が不安定なF177に換わる品種としてNi17の普及が図られている(竹傘禮ら2004)。一方、品種以外で株出し特性に影響する要因として、宮平・神谷(1985)は沖縄県の奨励品種であったNC6310やF161を用いて株出し時期の違いを検討し、3月までは気温が高い程、萌芽数が多くなり、収量も増加するとしている。本試験でも同様に、株出し時期が早く、気温が高かった2004年作の萌芽数(4月茎数)は2005, 2006年作を上回り、最も多い茎数が認められた6月調査(以下、最高分けつ期と記す)においても、2004年作の茎数は2005, 2006年作を上回った。しかし、収量においては、逆の傾向が認められ、この要因は一茎重の違いによるものであった。

本試験において、萌芽数が増加したにも関わらず、増収につながらなかったことはNC6310やF161と比較すると収穫茎数が極めて少ないNi17の品種特性によるものと推察する。生産力検定試験からも、Ni17では、茎重型

品種の特性を活かすべく、一茎重増加の必要性が示されており、株出し栽培である本試験においても、同様のことが示されたと考えられる。また、最高分けつ数と一茎重の関係についても、生産力検定試験と同様に、分けつ数が少ない方が一茎重が重くなっている。佐藤・吉田(2001)は株出し栽培は茎数を確保しやすいため、一茎重を重くすることが増収の鍵としている。また、寺内(2002)は生育初期における一茎あたりの生長を促進させるには、分けつ数を少なくすることが有効で、少分けつ性品種は初期生長特性に優れるとしている。これらのことから、茎重型品種であるNi17株出し栽培においては、適切な分けつ数確保によって、一茎重を高める管理が必要と考えられる。

生産力検定試験の結果は春植え栽培であり、7月の茎数を示しているため、本試験結果の最高分けつ数(6月の茎数)と一概に比較できないが、2004年作の 150×10^3 本 ha^{-1} 前後といった最高分けつ数は茎重型品種の特性を活かすためには明らかに過剰であると考えられる。2006年作においては、鹿児島県の目標収量を上回り、2005年作でも目標収量とほぼ同じであることから、2005, 2006年作

の最高分げつ数である 110×10^3 本 ha^{-1} 前後が一つの目安になると考える。また、2004 年作では、4 月茎数が既に 2005 年作を上回っていることも茎数増加の要因と考えられるため、最高分げつ数を考慮した株出し管理時期の検討が期待される。

次に、Ni17 株出し栽培における個体群成長速度 Crop Growth Rate (以下、C.G.R. と記す) の推移 (図 3.6) をみると、茎数が減少する 7 月以降に旺盛な生育を示し、概ね窒素吸収量と同様に推移している。また、窒素は最高分げつ期以降に多く吸収されていることから、最高分げつ期頃に施用される追肥窒素は乾物生産に大きく影響すると考えられる。しかし、2005、2006 年作のように適切な分げつ数によって、一茎重が確保され、目標収量に達する場合、追肥窒素による増収効果は得られず、蔗汁糖度も低下する。Kawamitsu ら (1999) はサトウキビを水耕栽培し、水耕液中の窒素濃度が高い程、光合成速度が高まるとしている。2005、2006 年作ともに、追肥窒素の増施によって、梢頭部中の窒素含有率が高まっており、栄養生長がより盛んに行われ、糖の蓄積が緩慢になり、蔗汁糖度が低下すると考えられる。

一方、2004 年作のように分げつ数が 150×10^3 本 ha^{-1} 前後ある場合、増施による蔗汁糖度の低下もなく収穫茎数の増加によって増収した。試験区間での最高分げつ数は同じであることから、このような条件下では、追肥窒素

の増施は無効分げつ数の抑制に寄与すると考えられる。作物体内の窒素含有率を上昇させることなく、乾物生産の増加によって収穫時の窒素吸収量が増加していることもこのことを示唆すると考えられる。したがって、株出し栽培の追肥は通常最高分げつ期以降に行われるため、気象条件などによって分げつ数が過剰であると判断される場合は、追肥窒素を増施することによって収量回復を図ることが可能と考える。しかし、奄美地域は耕地率が高く硝酸汚染が進行しやすい条件下にある (山根ら、2004) ため、過剰な施肥は控えるべきである。2004 年作の窒素利用率は追肥施用量 $150 \text{ kg } ha^{-1}$ までは上昇していることから、この程度に止めておくべきと考える。

以上のことから、Ni17 株出し栽培における茎収量の向上には、茎重型品種の特性を活かし、一茎重を増加させる必要性が認められた。一茎重は最高分げつ数の影響を強く受け、最高分げつ数は 110×10^3 本 ha^{-1} 前後が適当と考えられた。適当な最高分げつ数であれば、追肥窒素を増施しても増収効果は得られず、糖度の低下によって糖生産量の低下を招くため、追肥窒素量は $100 \text{ kg } ha^{-1}$ が適当と考えられた。一方、気象条件などによって 150×10^3 本 ha^{-1} 前後の過剰な分げつが得られた場合、目標収量に近づけるために追肥窒素を増施する必要があると考える。

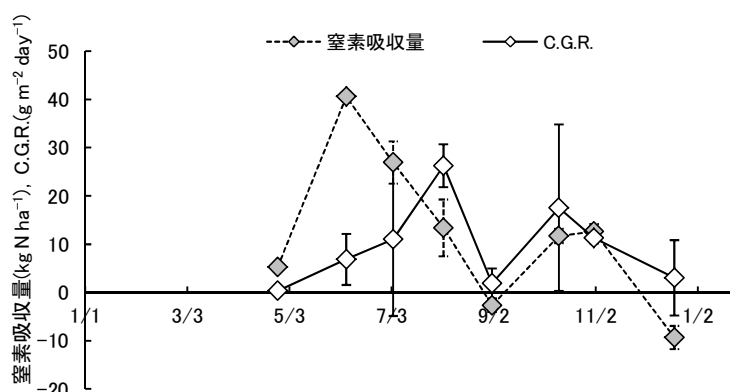


図3.6 2005年作の窒素吸収量とCrop Growth Rate (C.G.R.) の推移
エラーバーは標準偏差を示す

3.2.5. 要約

茎重型品種であるサトウキビ Ni17 株出し栽培における、追肥窒素施用量の違いが収量および品質に及ぼす効果を検討した。生産力検定試験 (1997~2006 年) における Ni17 春植え栽培では、一茎重と茎収量の間には高い正の相関関係がみられた。一方、最高分げつ数と一茎重の間には高い負の相関関係が認められた。株出し栽培 (2004~2006 年) においても同様で、最高分げつ数 110×10^3

本 ha^{-1} 程度の場合、鹿児島県の目標収量 ($80 \text{ Mg } ha^{-1}$) は概ね確保された。また、追肥窒素の増施は一茎重の向上につながらず、糖度は低下した。最高分げつ数が 150×10^3 本 ha^{-1} 程度と多い場合、追肥窒素の増施によって、無効分げつ数が抑制され、糖度の低下もなく増収した。以上のことから、サトウキビ Ni17 株出し栽培では、最高分げつ数を基準として、追肥窒素施用量を決定することが有効である。

第4章 茎数型品種 Ni22 の適切な窒素施用量

4.1.1 目的

奄美地域のサトウキビ栽培においては、収穫と製糖は作型を問わず12月上旬から4月上旬に行われ、この期間は収穫面積、収穫量と製糖工場の操業効率に加えて、収穫時の糖度を考慮して決定される。

鹿児島県では、生育期間確保を目的として収穫後直ちに株出し管理を行うことを推奨しているが、収穫作業との競合から、適期管理の実施が困難となっていた。機械収穫の普及拡大はこの競合を緩和させる一助となったが、併せて、収穫時期を早進化することで収穫、製糖期間を延長させる方策が検討された（伊禮ら、2008）。収穫の早進化には早い時期から糖度が高くなる品種（早期高糖性品種）を必要とするため、2006年にNi22を奨励品種に選定した。近年では、さらなる収穫、製糖期間の延長と適期株出し管理を目指し、夏植えに準じて植え付け、約1年後に収穫する新しい作型の検討も行われ、Ni22の利用拡大が期待されている。

上述の様に、これからのサトウキビ栽培では、収穫期間を延長することで、農家収益性が高い株出し栽培の管理を適期に行い生産性を向上させることを一つの目標としている。したがって、株出し栽培の生産性を向上させる管理は、これからのサトウキビ栽培技術の開発において重要と考える。平成24年鹿児島県農作物奨励品種特性表によると、Ni22は茎数型品種に分類され、第3章に記したNi17に比べ収穫茎数が多い品種特性を持つ（春植え栽培で約1.5倍）。茎数型品種は鹿児島県の現行栽培品種には存在せず、Ni17のように窒素増施によって収穫茎数を確保したり、萌芽性向上のために収穫茎中の窒素含有率を高める必要性があるかなど不明な点が多い。

そこで、Ni22春植え栽培における適切な窒素施用量について、収量、糖度などとともに次作の株出し萌芽性への影響も考慮し検討を行った。

4.1.2 材料および方法

鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場内の石灰岩を母材とする普通暗赤色土畑において、サトウキビNi22、Ni23を用いて春植え栽培を行った。Ni23は茎数型と茎重型の間の茎数、一茎重を持つ中間型に分類され、耐干ばつ性に優れる品種としてNi22と同時期に選定された（西ら、2007）。基肥、追肥窒素量の違いが春植え栽培の収量、品質に及ぼす影響を多元配置法によって調査した。基肥、追肥窒素量は硫酸を用いて、それぞれ70 kg ha⁻¹、鹿児島県現行基準量の90 kg ha⁻¹および110 kg ha⁻¹

の3水準設定した。試験規模1区28.8 m²（6.0m×4畝）とし、2反復の計18区を設置した。2006年3月14日に基肥施用、植え付け（株間25 cm、畝間120 cm、植え付け芽数：66.6×10³本 ha⁻¹）を行い、4月25日に萌芽率90%となるよう補植し、6月21日に追肥と培土を同時に行った。リン酸、カリウムは全区基準量（基肥：P₂O₅-K₂O=80-50 kg ha⁻¹、追肥：K₂O=50 kg ha⁻¹）施用した。収穫は2007年3月6日に行った。

引き続き、春植え栽培跡地において、2007年3月22日に株出し管理（枯葉処理、株揃え）、3月26日に株元への基肥条施を行い、2007年4月4日に株出し萌芽数を調査した。

調査は各区2畝全て（14.4m²）を株元から収穫し、第2章第2節と同じ分別、分析を行い、茎中窒素含有率、窒素利用率、推定甘蔗糖度を算出した。

4.1.3 結果および考察

Ni22春植え栽培において、窒素施用量を変えて、収量、品質を調査した結果、基肥窒素の増施に伴い収穫茎数が増え、収穫茎重は重くなった（表4.1）。茎数型品種では、生育期間の茎数が多く過繁茂になり易い特性から、一茎重を確保したまま茎数を増やすことが難しいとされている（野瀬ら、1989）。本試験で一茎重を確保したまま茎数を増やせた要因は明らかでないが、収穫茎重に対する基肥窒素の分散分析の寄与率は12%で、追肥の57%や試験誤差の27%に比べ小さかった。加治・長友は（2008）重窒素トレーサー法によって、NiF8春植え栽培での基肥、追肥窒素の時期別寄与率（全窒素吸収量に占める施肥窒素吸収量の割合）を算出している。それによると、収穫時の基肥窒素の寄与率は14.4%で、追肥窒素の46.0%に比べ著しく低いことを明らかにしている。また、基肥窒素寄与率が低い要因として、梅雨の降雨による溶脱を上げている。現在、奄美地域のサトウキビ用配合肥料は速効性の窒素肥料が主に使用されており、効果の大きさや溶脱のリスクを考慮すると、基肥を増やすメリットは大きくないと考える。さらに、基肥窒素施用量を70 kg ha⁻¹より多く設定すると、窒素利用率は低下する傾向であった（表4.1）。

サトウキビには、窒素固定細菌が内生しており、早期高糖性品種Ni15では、低窒素条件下で窒素固定量が増えることが報告されている（西口ら、2005）。早期高糖性品種Ni22でも、基肥窒素量を削減することで、Ni15のように窒素固定量が増加する可能性が考えられ、他品種も含め、窒素固定量を考慮した施肥管理技術の実用化が期待される。なお、基肥窒素を増施しても、糖度や茎中

窒素含有率は変わらなかった（表 4.1）ことは以下のように考える。加治・長友（2008）によると、基肥窒素の寄与率は7月下旬（約45%）から8月下旬（約25%）に急速に低下し、収穫期まで緩やかに減少するとされている。Ni22は10月頃から急激に糖度が上昇する（伊禮ら、2008）が、この時期はすでに基肥窒素の寄与率は低かったと考えられる。また、基肥窒素の寄与率が高い時期は乾物生産が最も旺盛で、作物体の窒素含有率も低下する（井上、2010）。このため、基肥窒素を増施しても糖度や茎中窒素含有率は変わらなかったと考える。

追肥窒素増施によって、一茎重、収穫茎重は増加したが、ともに現行施肥基準量である 90 kg ha^{-1} において頭打ちがみられた（表 4.1）。一方、収穫茎中の窒素含有率

は追肥窒素の増施に伴い高くなった（表 4.1）。これらのことは、加治・長友（2008）が報告した、収穫時サトウキビに対する追肥窒素寄与率の高さが影響したためと考える。また、追肥を行った時期はすでに奄美地域の最高分けつ期を過ぎていたことも、追肥窒素の増施が一茎重の増加に寄与した一要因と考える。サトウキビ収穫時において、作物体内の窒素濃度と糖度は負の相関関係を示すことが多い（井上ら、2009）が、本試験では、このような関係は認められなかった（表 4.1）。Ni22は中～晩熟の品種と比べ、追肥窒素の寄与率が高い時期に糖度が上昇すると考えられる。このため、Ni22では作物体内の窒素濃度上昇に伴う糖度の低下が顕著に表れると考えたが、明確な知見は得られなかった。

表4.1 Ni22春植え栽培の収穫物調査および株出し萌芽数

窒素施用量	収穫茎重	収穫茎数	一茎重	推定 甘蔗糖度	茎中窒素 含有率 ¹⁾	窒素 利用率 ²⁾	株出し 萌芽数
kg N ha^{-1}	Mg ha^{-1}	10^3本 ha^{-1}	kg	%	g kg^{-1}	%	10^3本 ha^{-1}
基肥 - 追肥							
70 - 70	65.8	85.6	0.769	17.0	0.757	33.8	72.7
70 - 90	95.2	84.2	1.129	17.0	0.846	64.6	94.6
70 - 110	91.2	91.7	0.995	16.8	0.948	60.1	85.9
90 - 70	73.9	86.9	0.850	17.0	0.670	30.4	85.7
90 - 90	86.0	87.9	0.980	16.9	0.700	32.8	77.5
90 - 110	92.7	92.6	1.002	16.9	0.860	41.6	85.1
110 - 70	84.9	92.7	0.920	16.8	0.739	33.5	75.0
110 - 90	96.3	97.5	0.991	17.0	0.720	51.9	94.6
110 - 110	99.3	99.7	0.996	17.1	0.834	41.9	70.4

基肥 70	84.1	87.2	0.964	16.9	0.850	52.9	84.4
90	84.2	89.1	0.944	16.9	0.743	34.9	82.8
110	93.5	96.6	0.969	17.0	0.764	42.5	80.0

追肥 70	74.9	88.4	0.846	16.9	0.722	32.6	77.8
90	92.5	89.9	1.033	16.9	0.755	49.8	88.9
110	94.4	94.7	0.997	17.0	0.880	47.9	80.5

分散分析							
基肥一次成分	*	**	N. S.	N. S.	N. S.	△	N. S.
基肥二次成分	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	*	N. S.

追肥一次成分	***	△	**	N. S.	*	△	N. S.
追肥二次成分	*	N. S.	*	N. S.	N. S.	*	N. S.

基肥、追肥窒素量の違いの2要因を多元配置法で行った結果の要因別の平均値を示す。

¹⁾ 茎中窒素含有率は新鮮物当たりの全窒素量を表す。

²⁾ 窒素利用率は各区吸収量から窒素無施用栽培の吸収量 (54.2 kg ha^{-1}) を差し引いた値の施用量に対する百分率を表す。

△, *, **, ***は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%, 0.1%水準で有意差のあることを、N. S.は有意差の無いことを示す。

交互作用は全て有意でなかったため、プーリングした。

サトウキビ株出し栽培における萌芽数の確保はその後の生育を良好にする(井上・橋口, 2011b)。Ni22においても, Ni17のように収穫茎中窒素含有率が次作の萌芽性に影響を及ぼすかについて検討を行った。その結果, 追肥窒素増施に伴い茎中窒素含有率は増加したが, 株出し萌芽数は変わらなかった(表4.1)。一方, Ni23では, 追肥窒素増施に伴い茎中窒素含有率が増加し, 株出し萌芽数も増えた(表4.2)。このようにNi22, Ni23ともに, 追肥窒素増施によって茎中窒素含有率が高まったにもかかわらず, Ni22で株出し萌芽数の向上が認められなかったことは以下のように考える。Ni22の茎中窒素含有率はNi23の1.6倍程度であった。また, 本試験と同じ土壌条件で春植え栽培した試験でも, Ni22の茎中窒素含有率はNi17の1.3倍以上と高かった(図4.1)。このようにNi22の茎中窒素含有率は, 窒素増施に伴う萌芽性向上が認められるNi17やNi23に比べ高いことがうかがえる。Ni22の萌芽性は品種特性表において極良に分類されているが, 他品種に比べ茎中窒素含有率が高いことも萌芽性を良好にしている一要因であると推察する。加えて, Ni22

の収穫茎数はNi17やNi23に比べ多く(図4.1), 萌芽する部位の数も多かったと考えられる。このように収穫茎数が多く, 茎中窒素含有率が高い品種特性を持つNi22では, 窒素増施によって, さらに茎中窒素含有率を高めても, 株出し萌芽数は変わらなかったと考える。したがって, Ni22春植え栽培における窒素施用量を検討するに当たって, 株出し萌芽性への影響を考慮する重要性は低いと判断される。

以上のことを考慮して, 窒素施用量を設定する。Ni22の茎中窒素含有率はNi17やNi23に比べ高く, 次作萌芽性へほとんど影響しないことから, 追肥窒素量は収量の頭打ちとなる 90 kg ha^{-1} が適当であると考えられた。基肥窒素の収量への影響は小さいことから, 現行施肥基準量よりも少ない 70 kg ha^{-1} に削減でき, 窒素利用率も向上すると考えられた。なお, Ni22の糖度は施肥窒素量の影響をほとんど受けなかった。このため, Ni22春植え栽培の窒素施用量は基肥, 追肥それぞれ 70 および 90 kg ha^{-1} が適当と判断する。

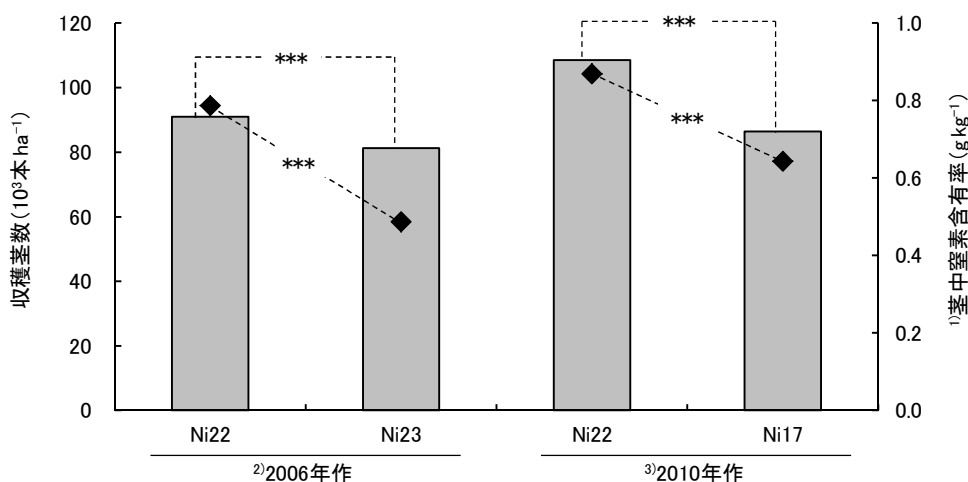


図4.1 春植え栽培における収穫茎数と茎中窒素含有率の関係

棒グラフは収穫茎数, ◆は茎中窒素含有率を表す。

¹⁾ 茎中窒素含有率は新鮮物当たりの全窒素量を表す。

***は分散分析によって0.1%水準で有意差のあることを示す。

²⁾ 2006年作は基肥, 追肥窒素施用量をそれぞれ70, 90, 110 kg ha^{-1} の3水準とし, 多元配置法で試験した平均値を示す (n=18)。

³⁾ 2010年作はバガス堆肥 (10 Mg ha^{-1}) 施用の有無, 株間2水準 (15cm, 25cm) とし, 多元配置法で試験した平均値を示す (n=8, 耕種概要は第5章第5節参照)。

表4.2 Ni23春植え栽培の収穫物調査および株出し萌芽数

窒素施用量	収穫茎重	収穫茎数	一茎重	推定 甘蔗糖度	茎中窒素 含有率 ¹⁾	株出し 萌芽数
kg N ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	10 ³ 本 ha ⁻¹	kg	%	g kg ⁻¹	10 ³ 本 ha ⁻¹
基肥 - 追肥						
70 - 70	82.7	72.8	1.14	17.4	0.466	61.5
70 - 90	95.8	75.4	1.27	17.1	0.492	77.9
70 - 110	98.4	82.5	1.19	17.2	0.573	76.0
90 - 70	86.1	81.2	1.06	17.2	0.451	73.3
90 - 90	95.3	85.0	1.13	17.2	0.445	77.5
90 - 110	90.3	77.3	1.17	17.2	0.522	77.6
110 - 70	93.2	89.6	1.04	17.3	0.459	69.1
110 - 90	98.6	78.7	1.26	17.4	0.479	70.6
110 - 110	107.2	88.8	1.21	17.2	0.492	79.4

基肥 70	92.3	76.9	1.20	17.2	0.510	71.8
90	90.5	81.2	1.12	17.2	0.472	76.1
110	99.7	85.7	1.17	17.3	0.477	73.0

追肥 70	87.3	81.2	1.08	17.3	0.459	68.0
90	96.6	79.7	1.22	17.2	0.472	75.3
110	98.6	82.9	1.19	17.2	0.529	77.6

分散分析						
基肥一次成分	△	*	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.
基肥二次成分	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.

追肥一次成分	**	N. S.	*	N. S.	*	△
追肥二次成分	N. S.	N. S.	△	N. S.	N. S.	N. S.

基肥、追肥窒素量の違いの2要因を多元配置法で行った結果の要因別の平均値を示す。

¹⁾ 茎中窒素含有率は新鮮物当たりの全窒素量を表す。

△, *, **は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意であることを, N. S. は有意差の無いことを示す。
交互作用は全て有意でなかったため, プーリングした。

4.1.4 要約

茎数型品種であるサトウキビ Ni22 春植え栽培における, 基肥および追肥窒素施用量の違いが収量, 品質と次作の萌芽性に及ぼす影響を検討した。基肥窒素の収量への影響は小さく, 70 kg ha⁻¹に減肥することが可能と判断された。茎中窒素含有率は他品種に比べ高く, 次作萌芽性が良好であった。そのため, 追肥窒素量は収量の頭打ちとなる 90 kg ha⁻¹が適当であると考えられた。糖度は施肥窒素量の影響をほとんど受けなかった。以上のことから, Ni22 春植え栽培の窒素施用量は基肥, 追肥それぞれ 70, 90 kg ha⁻¹が適当と判断された。

第5章 奄美地域と種子島の土壌特性

第1節 奄美地域と種子島の土壌中リン酸、カリウム含量

5.1.1 目的

サトウキビに対するカリウム施用は、一般的には配合肥料として、新植、株出しの両栽培型に対して行われている。川満ら(1997)はカリウムはサトウキビの生育にとって重要な元素の一つであるが、茎中の濃度が高まり過ぎると糖の生産が抑制されることを指摘している。一方、境垣内ら(2014)は、製糖用サトウキビに比べカリウムの持ち出し量が多い飼料用サトウキビでは、株出し回数が進むほど土壌中交換性カリウム含量が減少し、カリウムの供給不足は収量低下を引き起こすとしている。このようにサトウキビ栽培においては、収量だけでなく糖度も確保する必要があることから、適正量のカリウム供給を行うことが求められている。

枯渇資源であるリン酸、カリウムの価格高止まりに対してコスト低減が求められている中、リン酸の施肥はリン酸吸収係数を考慮して、火山灰土が分布する種子島と非火山灰土が分布する奄美地域で異なる土壌診断基準値や施肥基準量が設定されている(鹿児島県農政部2014; 鹿児島県糖業振興協会, 2015)。一方、土壌中のカリウム含量は主に中性1 mol L⁻¹酢酸アンモニウム溶液に抽出される交換性画分によって評価され、両地域のカリウム施肥基準量はほとんど同じに設定されている。しかし、土壌中のカリウムは、作物吸収によって交換性画分が減少すると、雲母や長石内に存在する非交換性画分から交換性画分へ供給されることが知られている。久場(2011)は無カリウム栽培に対するサトウキビの生育反応から、土壌中の非交換性画分のカリウムを考慮することでカリウム減肥に繋がる可能性を示している。したがって、これまでほとんど調査されてこなかった土壌中の非交換性カリウム含量を明らかにすることは、サトウキビに対するカリウム供給能の適切な評価だけでなく、カリウム施肥の低コスト化に繋がる事が期待できる。これらのことから、交換性カリウムに加えて、非交換性カリウムの中で容易に有効性になり得る部分を評価しているとされる1 mol L⁻¹熱硝酸抽出カリウム含量を調査し、両島の土壌中カリウム含量の違いを明確にする。同時に、可給態リン酸の実態も調査した。

5.1.2 材料および方法

調査は、土層改良事業が行われる露地畑の0~20 cm層

位を対象に行った。種子島では2012~2014年にかけて558圃場、徳之島では島内全域にわたって、2012年~2013年に373圃場から土壌を採取した。これら土壌のリン酸吸収係数および土壌中の可給態リン酸、交換性カリウム、非交換性カリウム含量を測定した(財団法人日本土壌協会, 2001; 土壌養分測定委員会編, 1970)。可給態のリン酸含量はトルオーグリン酸含量を測定し、1 N熱硝酸抽出カリウム含量から交換性カリウム含量を差し引いたものを非交換性カリウム含量とした。

5.1.3 結果および考察

種子島露地畑における交換性カリウム含量(mg K₂O kg⁻¹)は92~1,393で中央値は471であった。一方、徳之島の交換性カリウム含量は26~833で中央値は118であった(図5.1)。黒ボク土のカリウム吸着能は弱く、雨水による流亡も起きやすいとされているが、種子島の交換性カリウム含量は徳之島に比べ多かった。イネ科作物によるカリウム吸収量は流亡量に比べ非常に多いことが報告されており(藤島ら, 1972)、栽培作物が同様な両島の交換性カリウム含量の違いは、施肥等の土壌管理に起因する可能性が考えられる。

種子島露地畑における非交換性カリウム含量(mg K₂O kg⁻¹)は126~362で、交換性カリウム含量と比較すると極めて少なかった。一方、徳之島の非交換性カリウム含量は15~2,666で、交換性カリウム含量と比較すると多い傾向であった。また、種子島と比べるとばらつきが大きかった(図5.1)。黒ボク土では、カリウムの非交換性画分からの放出能は小さいため、化学的可給態カリウム水準を維持するために注意が必要とされており(北岸ら, 1959)、本調査においても、同様のことが認められた。なお、両島ともに交換性カリウムと非交換性カリウム含量の間には明確な関係性は認められなかった(図5.2)。非交換性カリウムの交換性への変化は粘土鉱物に起因し、土壌粘土の質によって変化の様相が異なることとされており、交換性画分量から非交換性画分量を推定することは困難と考えられた。

徳之島支場では、2008年の肥料価格高騰時にサトウキビに対するカリウム減肥試験が行われた。これによると、暗赤色土畑でのサトウキビ栽培のカリウム収支はマイナスとなるが、収穫跡地土壌の交換性カリウム含量に違いは認められなかった。また、削減したカリウム施用量ほどカリウム吸収量の差は大きくなかった。これらのことから、徳之島支場では、サトウキビによる非交換性画分のカリウム吸収の可能性を示唆している(表5.1)。また、藤島ら(1973)は黒ボク土において、作物生育がよい程、

土壌中の熱硝酸抽出カリウム含量が減少することを認めており、これを有効態カリウムの基準として用いることの有効性を提唱している。森塚（2009）は、日本の土壌診断においては、定点調査をはじめとして交換性カリウムが指標として用いられてきたが、作物吸収を考慮する

と非交換性カリウムを含めて慎重に判断すること望ましいとしている。両地域のカリウム施用基準に大きな違いはなく、このような土壌中カリウム含量を考慮することで、適切なカリウム減肥に繋げていきたい。

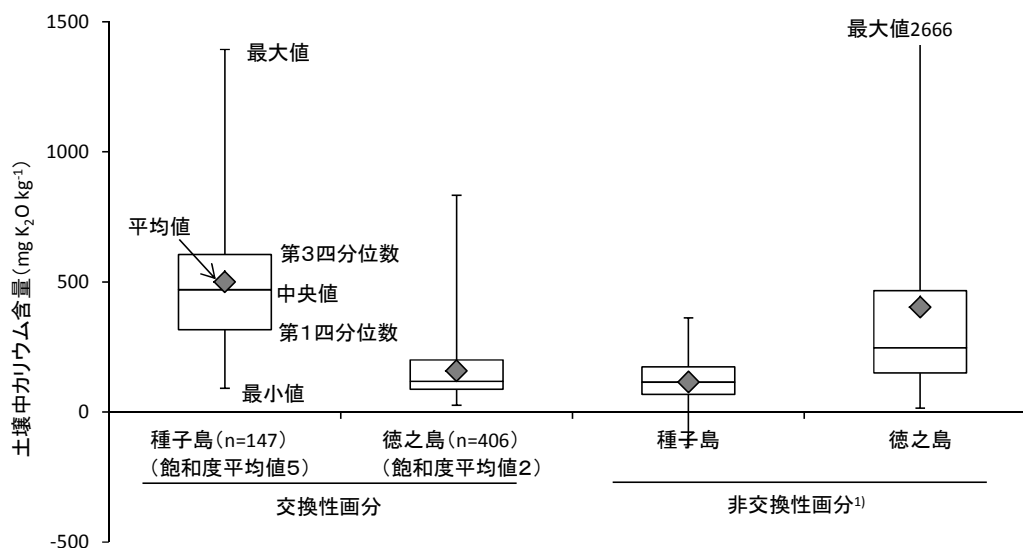


図5.1 サトウキビ栽培地域における露地畑のカリウム含量

1) 1 mol L^{-1} 熱硝酸抽出カリウム含量から交換性カリウム含量を差し引いたものを非交換性画分とした。

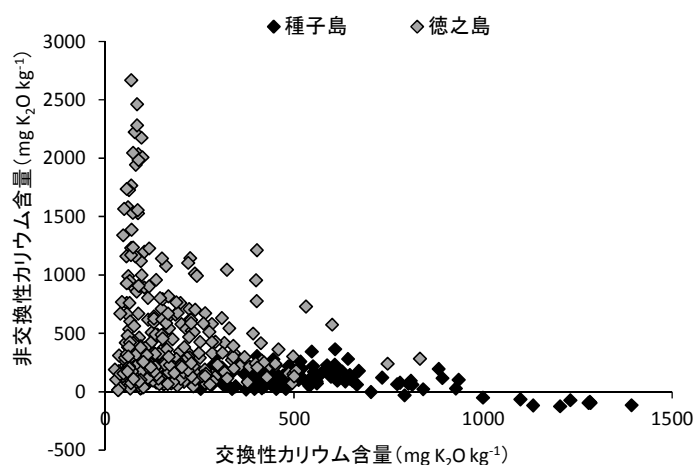


図5.2 露地畑の交換性カリウム含量と非交換性カリウム含量

表5.1 暗赤色土畑でのサトウキビ栽培におけるカリウム収支（徳之島支場）

	春植え一株出し ($\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$)			夏植え一株出し ($\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$)			交換性カリウム含量 ($\text{mg K}_2\text{O kg}^{-1}$)	
	投入量	吸収量	搬出量 ¹⁾	投入量	吸収量	搬出量 ¹⁾	春株跡	夏株跡
K肥料通常	304	494	319	312	556	401	179	165
K肥料削減	214	451	274	192	503	377	184	155

1) 搬出量はハーベスタ収穫時のロス率5%、トラッシュ率10%（梢頭部6%、ハカマ4%）として試算した。

リン酸吸収係数は種子島では75%の地点が1,500以上であったのに対して、徳之島では最大でも1,864であった。このように種子島はリン酸吸収係数が高い黒ボク土が分布しているにもかかわらず、ほとんどの地点の可給態リン酸含量は鹿児島県土壌診断基準値（鹿児島県農政部2014, 以下, 基準値）を上回った。種子島のリン酸施用基準量は徳之島の1.5倍以上と多く設定されているこ

とも、種子島の可給態リン酸含量を高めた一要因と考えられる。一方、徳之島では、可給態リン酸含量が基準値を下回る地点が多く認められ、改善の必要性が示された（表5.2）。土層改良事業では、リン酸質資材の投入も行われており、今後多くの地域で計画されている本事業の効果が期待される。

表5.2 種子島と徳之島普通畑におけるリン酸吸収係数と可給態リン酸

	種子島		徳之島	
	リン酸吸収係数	可給態リン酸 (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	リン酸吸収係数	可給態リン酸 (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)
最大値	2,772	869	1,864	639
75パーセンタイル値	2,107	198	1,078	115
平均値	1,806	161	832	85
中央値	1,825	128	865	48
25パーセンタイル値	1,561	79	613	21
最小値	603	9	84	3
土壌診断基準値 ¹⁾		50~500		100~500

1)鹿児島県土壌管理指針（鹿児島県農政部, 2014）

5.1.4 要約

価格が高止まりしているリン酸、カリウム肥料の削減に向けて、サトウキビ栽培地域の土壌中リン酸、カリウム含量を調査した。可給態リン酸含量は種子島のほとんどの畑では基準値以上で、減肥の可能性が示されたが、徳之島ではリン酸質資材投入を必要とする圃場が多く存在した。土壌中カリウム含量は、黒ボク土が分布する種子島では交換性画分に富むが、非交換性画分はそれにくらべ著しく少ないことが明らかとなった。一方、徳之島では交換性画分は種子島に比べ著しく少ないものの、非交換性画分に富むことが明らかとなった。

第2節 火山灰土畑と非火山灰土畑におけるケイ酸供給能の違い

5.2.1 目的

サトウキビは水稻と同様、多量のケイ酸を積極的に吸収することが知られており（Van Der Vorm, 1980）、赤黄色土や暗赤色土が広く分布する鹿児島県の奄美地域では、ケイ酸資材の施用によって、サトウキビの収量性が向上することが報告されている（古江・永田, 2000）。ケイ酸資材の施用が必要か否かは、土壌中可給態ケイ酸含量によって判断され、その閾値は酢酸緩衝液抽出法（今泉・吉田, 1958）による値が0.2 g SiO₂ kg⁻¹以下とされている（古江・永田, 2000）。このことから、奄美地域では、可給態ケイ酸が閾値に満たない圃場を対象に、ケイ酸資材の施用を推奨してきた。一方、酢酸緩衝液抽出法は水

稲へのケイ酸石灰施用の要否判定のために提案された方法であるが、抽出条件が強く、資材中の不可給態ケイ酸まで溶出するため、可給態ケイ酸の過大評価に繋がること指摘されていた（高橋, 1981）。この問題を回避する方法として、リン酸緩衝液抽出法がKato（1998）と茂角ら（2002）によって提案された。サトウキビ栽培においても、可給態ケイ酸を過大に評価しない分析法は重要と考えられる。

鹿児島県において、火山灰土壌が分布する種子島や非火山灰土壌が分布する徳之島では、サトウキビ栽培が盛んである。種子島の水稻栽培では、河川水のケイ酸含量が少ない理由からケイ酸資材の施用が推奨されているが、サトウキビ栽培でも同様に、ケイ酸資材施用の事例をみかける。しかし、火山灰に由来する土壌はアロフェンなど非晶質ケイ酸鉱物に富むため、土壌からのケイ酸供給能は高いことが考えられる。種子島の畑地における土壌中可給態ケイ酸の測定事例はほとんど無く、ケイ酸資材の取り扱いについては明確にされてこなかった。そこで、鹿児島県のサトウキビ栽培地域における適切なケイ酸資材施用を推進する目的で、種子島と徳之島の普通畑におけるケイ酸含量を3種類の抽出液を用いて測定した。それらの結果から、両地域の土壌からのケイ酸供給能を評価するとともに、サトウキビ栽培に対するケイ酸資材施用の必要性や可給態ケイ酸の評価法について検討した。

5.2.2. 材料および方法

種子島の土壌採取は西之表市 83 圃場，中種子町 70 圃場で，2012 年 7 月～2013 年 1 月に行った。採取位置は概ね 0～20 cm 層位とした。種子島の畑土壌の 9 割以上は黒ボク土に分類される。徳之島の土壌採取 (0～20 cm 層位) は島内全域にわたって，2012 年 8 月～2013 年 2 月に行った (373 圃場)。

以上の土壌を対象として，土壌中ケイ酸含量，pH(H₂O)を測定した。土壌中ケイ酸含量は pH4.0 酢酸緩衝液 (以下，酢酸抽出ケイ酸値と記す) と pH6.2 リン酸緩衝液 (以下，リン酸抽出ケイ酸値と記す) と pH3.0 シュウ酸塩溶液 (以下，シュウ酸塩抽出ケイ酸値と記す) の 3 方法で抽出し，モリブデンブルー発色法で定量した (財団法人日本土壌協会，2001)。酢酸緩衝液およびリン酸緩衝液を用いた方法はいずれも土壌：抽出液比を 1:10 で混合，振とうし，酢酸緩衝液は 40 °C で 5 時間静置後に，リン酸緩衝液は 40 °C で 24 時間静置後に抽出した。一方，シュウ酸塩溶液を用いた方法は土壌：抽出液比を 1:100 で混合，振とうし，20 °C で 4 時間静置後に抽出した。ケイ酸の比色定量は分光光度計 (島津製作所，UV-1700) を用いて行った。土壌 pH はガラス電極法 (東亜ディーケーケー，HM-25R) により測定した。

5.2.3 結果および考察

1) 種子島普通畑のケイ酸供給能

植物によって吸収・利用されるケイ酸はモノマーケイ酸だけで，土壌中でモノマーケイ酸を供給しうる成分として最も重要なのは，火山ガラスなどの非晶質ケイ酸鉱物であると考えられている (平舘，2012)。シュウ酸塩溶液は非晶質アルミノケイ酸塩などを選択的に溶解する (財団法人日本土壌協会，2001)，種子島では，本液によって抽出されたシュウ酸塩抽出ケイ酸値は図 5.3 左の黒丸にみられるように 3.3～47.2 g SiO₂ kg⁻¹ で，酢酸抽出ケイ酸値の 0.14～1.91 g SiO₂ kg⁻¹ に比べ著しく多かった。また，両値の間には正の相関関係がみられた。さらに，酢酸抽出ケイ酸値が鹿児島県施用基準の閾値を下回る圃場は 2% 未満であった。これらのことから，火山灰土が畑土壌の 9 割以上を占める種子島では，モノマーケイ酸の供給源が豊富であり，可給態ケイ酸含量も多いことが明らかになった。サトウキビ栽培では，窒素の過剰施用を控えたり，かん水を行うことにより葉身中のケイ酸含量は高まるとされている (井上・橋口，2011a)。したがって，種子島では，ケイ酸資材の施用は不要と判断され，それ以外の土壌管理が重要と考える。

2) 徳之島普通畑のケイ酸供給能

図 5.3 左の白丸にみられるように，徳之島では，シュウ酸塩抽出ケイ酸値と酢酸抽出ケイ酸値の間に正の相関関係がみられたが，両値ともに，黒丸で示した種子島に比べ著しく低かった。これらのことから，非火山灰土が分布する徳之島では，種子島に比べ可給態ケイ酸が少ないだけでなく，その供給源となるような非晶質アルミノケイ酸塩も著しく少ないことが明らかとなった。徳之島における 42.4 % の調査圃場では，酢酸抽出ケイ酸値は古江・永田 (2000) が示した閾値を下回り，その 89.8 % の土壌 pH は 6.0 未満であった (図 5.4)。一般に，花崗岩や粘板岩を母材とする赤黄色土の pH は酸性を示すものが多いことから，閾値以下の圃場は赤黄色土を多く含んでいたと考える。このため，徳之島では，赤黄色土地域を中心に，ケイ酸資材の施用が必要な圃場が多く存在すると考えられた。

3) サトウキビ畑における可給態ケイ酸の評価法

水田土壌の可給態ケイ酸測定は，過大評価に繋がる酢酸緩衝液抽出法に替わりリン酸緩衝液抽出法が用いられている (財団法人日本土壌協会，2001)。図 5.3 右の黒丸にみられるように，種子島におけるリン酸抽出ケイ酸値は 0.31～1.03 g SiO₂ kg⁻¹ で，0.7 g SiO₂ kg⁻¹ 程度に達すると，シュウ酸塩抽出ケイ酸値の増加に対応せずほぼ横ばいとなった。一方，図 5.3 右の白丸にみられるように，徳之島におけるシュウ酸塩抽出ケイ酸値とリン酸抽出ケイ酸値の間には正の相関関係がみられた。リン酸緩衝液抽出はリン酸塩の添加によって，吸着態ケイ酸を交換抽出する方法である (Kato, 1998; 茂角ら，2002)。したがって，黒ボク土が分布する種子島でリン酸抽出ケイ酸値に頭打ちがみられたことは，添加したリン酸塩が主としてアロフェン表面に吸着され，吸着態ケイ酸の交換が十分行われなかったためと推察する。一方，徳之島で相関がみられたことは，非火山灰土であるため，リン酸塩が吸着する場所が比較的土壌粒子表面に限られていたためと推察する。黒ボク土水田では，リン酸緩衝液抽出法によるケイ酸値は水稻茎葉のケイ酸含有率を反映しないため，黒ボク土水田以外で適用することが推奨されている (Kato, 1998)。本調査結果からも，水田同様，黒ボク土畑でのリン酸抽出ケイ酸値は，可給態ケイ酸の評価に適さないことが示唆された。

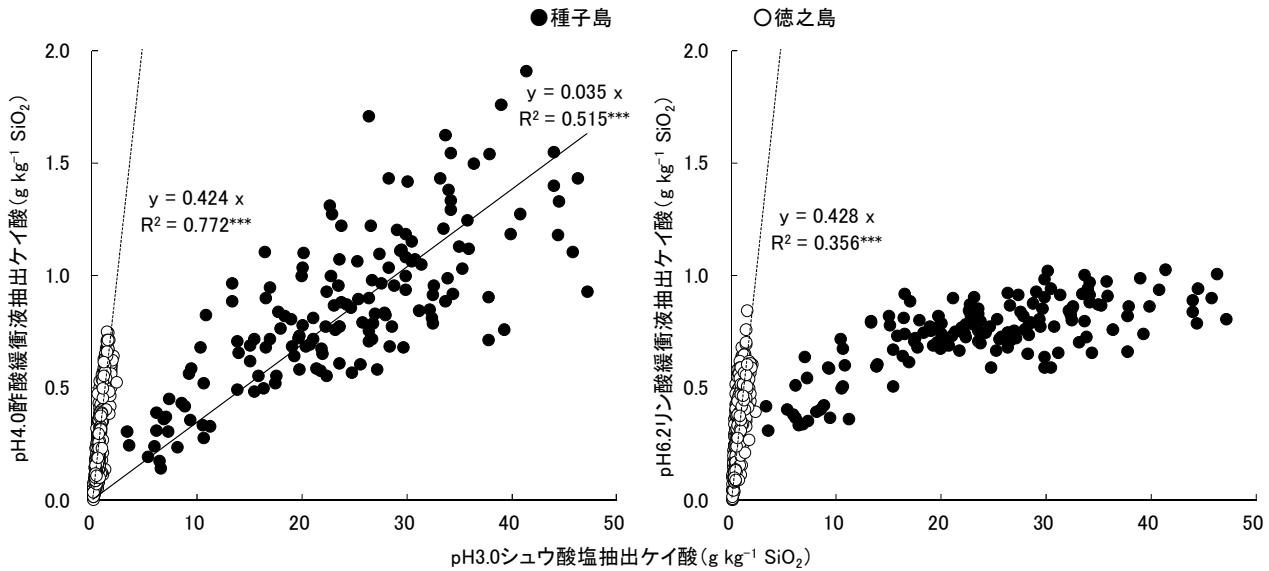


図5.3 普通畑におけるpH3.0シュウ酸塩抽出ケイ酸含量とpH4.0酢酸緩衝液抽出およびpH6.2リン酸緩衝液抽出ケイ酸含量の関係

***は0.1%水準で有意であることを示す

徳之島の普通畑土壌における酢酸抽出ケイ酸値は $0.001 \sim 0.752 \text{ g SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ の範囲で、リン酸抽出ケイ酸値の $0.002 \sim 0.846 \text{ g SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ に比べ、必ずしも多くなく、この傾向は酢酸抽出ケイ酸値が閾値を下回った圃場で顕著にみられた(図 5.4)。これは、サトウキビ栽培に対するケイ酸資材施用が推奨されたのが 2000 年と新しいことに加え、奄美地域へのケイ酸石灰流通量が年間 4 t 程度(2012 年 JA 鹿児島経済連調べ)と少ないことから、資材施用はほとんど行われておらず、不可給態ケイ酸の蓄積も少なかったためと推察する。閾値以下の圃場において、抽出法の違いでケイ酸値が異なった要因は分からないが、現段階では、酢酸抽出ケイ酸値は可給態ケイ酸を過大評価していないと考える。今後、徳之島をはじめとする奄美地域に分布する赤黄色土でのサトウキビ栽培に対しては、継続的なケイ酸資材の施用が重要と考えられる。施用歴が進むと資材中のケイ酸が不可給化し、その結果、酢酸緩衝液によって抽出されるケイ酸値が増加してくることが想定される。不可給態ケイ酸を抽出しない分析法の検討は重要であり、オーストラリアでは、酢酸緩衝液よりも抽出力が低い 0.01 M 塩化カルシウム溶液抽出などによって、サトウキビ栽培畑のケイ酸肥沃度評価が行われている(Berthelsen *et al.*, 2003)。今後は、奄美地域のサトウキビ栽培におけるケイ酸資材の普及を図るとともに、オーストラリアでの例を参考にして、施用歴が進んだ圃場でも可給態ケイ酸を適切に評価できる分析法についても検討する必要がある。

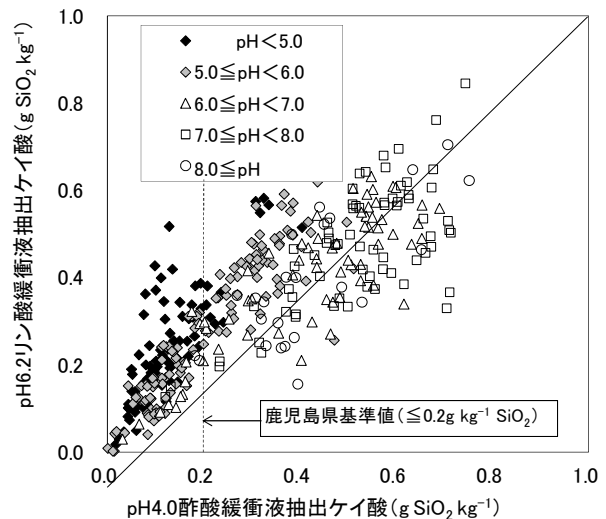


図5.4 徳之島の普通畑におけるpH4.0酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量とpH6.2リン酸緩衝液抽出ケイ酸含量の関係

凡例に示すように、マークの違いは土壌のpH (H₂O) の違いを表す。

5.2.4 要約

多量のケイ酸を吸収するサトウキビに対しては、土壌からのケイ酸供給能を考慮してケイ酸資材を供給することが求められている。このため、鹿児島県で栽培が行われている奄美地域と種子島における土壌からのケイ酸供給能を明らかにした。種子島の畑土壌はケイ酸供給能が高く、ほとんどの圃場の酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量はサトウキビに対する県推奨基準値を上回ることが明らかとなった。一方、奄美地域は、基準値を下回る圃場が多く存在し、その大半は赤黄色土圃場であると考えられた。

第3節 火山灰土壌と非火山灰土壌で栽培されたサトウキビのケイ酸吸収量

5.3.1 目的

古江・永田(2000)は、酢酸緩衝液抽出の土壌中ケイ酸含量が $200 \text{ mg SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ (以下、目標値と記す)を下回る非火山灰土畑では、ケイ酸質肥料の施用によってサトウキビが増収することを認めている。また、前節では、火山灰土畑の土壌中ケイ酸含量は豊富であるが、非火山灰土畑では目標値を下回り補給が必要な圃場が多く存在することを明らかにした。ケイ酸供給能に乏しいサトウキビ栽培圃場では、収穫物として圃場外へ搬出されるケイ酸量を推定し、継続的に補給する必要があると考えられる。一方、全収穫面積の9割程度を占めるまで普及した機械収穫では手収穫と違い、収穫茎や梢頭部の一部が圃場に残るため、搬出されるケイ酸量も異なると想定される。このため、土壌中の可給態ケイ酸含量(酢酸緩衝液抽出)の違いがサトウキビのケイ酸吸収にどの程度反映されるかを明らかにし、これを基に地域別・収穫法別のケイ酸補給量を新たに検討する必要がある。そこで、種子島と奄美地域の徳之島において同一品種のサトウキビを同時期に栽培し、ケイ酸吸収量を比較するとともに、これを基にした収穫法別のケイ酸搬出量を算出し、必要なケイ酸補給量を検討した。

5.3.2 材料および方法

種子島では鹿児島県農業開発総合センター熊毛支場内(北緯 $30^\circ 43'$, 東経 $131^\circ 01'$)の淡色黒ボク土畑で、徳之島では徳之島町尾母地区(北緯 $27^\circ 43'$, 東経 $128^\circ 59'$)の黄色土畑で、品種 NiF8 を用い春植え一株出し栽培を行った。

1)種子島における耕種概要

試験規模1区 28.8 m^2 (4畝 \times 6m)、3反復で設置した。2014年3月11日に二節苗を用い、畝間120cm、株間30cmで植え付け、透明のポリフィルムで畝を被覆した。種子島では、保温による出芽率向上を目的にマルチ処理が行われている。4月11日にマルチ除去、5月16日に1回目の培土と追肥、6月5日に2回目の培土を行い、2015年1月13日に収穫した。基肥および追肥は配合肥料を用いて地域栽培暦に準じて施用した(合計: $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=180\text{-}150\text{-}165 \text{ kg ha}^{-1}$)。引き続き、2015年2月16日に株出し管理と同時に基肥施用、マルチ処理を行い、4月16日にマルチを除去した。5月14日に追肥と1回目の培土を、6月2日に2回目の培土を行い、2016年1月14日に収穫した。基肥、追肥は春植え栽培と同量施用した。な

お、両作型ともにかん水は行わなかった。

2)徳之島における耕種概要

試験規模1区 43.2 m^2 (6畝 \times 6m)、3反復で設置した。2014年3月10日に二節苗を用い、畝間120cm、株間25cmで植え付けた。7月14日に培土と追肥を行い、2015年2月23日に収穫した。基肥、追肥は配合肥料を用いて地域栽培暦に準じて施用した(合計: $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=264\text{-}104\text{-}144 \text{ kg ha}^{-1}$)。引き続き、2015年3月9日に株出し管理を行い、3月26日に基肥を施用した。1回目の培土を4月24日に、追肥と2回目の培土を6月1日に行った。基肥、追肥は地域栽培暦に準じて施用し(合計: $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=294\text{-}130\text{-}160 \text{ kg ha}^{-1}$)、2016年1月27日に収穫した。なお、両作型ともにかん水は行わなかった。

3)土壌、葉身のサンプリングおよび収穫物の調整法

試験開始前の0~20cm層位と春植えおよび株出し栽培収穫跡の畝頂部から下方向へ15~25cmまでの畝肩部分を1区内4箇所から採土し、混合して1試料とした。両島における調査時期を概ね揃え、生育期間の葉身を採取した。試験区両端の畝において、最上位展開葉から3枚目までの葉身を4茎分すべて採取し、合わせて供試試料とした。採取株は以後、調査対象外とした。種子島の葉身採取は2014年7月25日、9月17日、11月17日、2015年7月28日、9月16日、11月19日の計6回、徳之島では2014年7月28日、9月30日、11月27日、2015年7月24日、9月25日、11月24日の計6回行った。収穫物は試験区の中央2畝を全て株元から収穫した。最上位展開葉から5枚目の葉鞘の付く節で切断したものを梢頭部とし、さらに残りの葉鞘と葉身(ハカマ)を取り除いたものを収穫茎とした。収穫茎の一部を細断後、油圧プレスでバガスと蔗汁に分別した。葉身、梢頭部、ハカマおよびバガスは70°Cで通風乾燥後、粉碎した乾燥物、蔗汁は新鮮物を分析試料とした。

4)土壌および作物体の分析

土壌pH(H₂O)はガラス電極法により測定した。土壌中交換性カルシウム含量はSchollenberger改良法で、土壌中の可給態ケイ酸含量はpH4.0酢酸緩衝液で抽出し、モリブデンブルー発色法で定量した(土壌養分測定委員会編、1970)。植物体のケイ酸含量は600°Cで灰化し、塩酸処理後に重量法により求めた(作物分析法委員会編、1975)。部位別の重さと含量を基に吸収量を算出した。

5.3.3 結果および考察

種子島圃場の可給態ケイ酸含量は目標値($200 \text{ mg SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$)を大きく上回ったのに対して、徳之島では目標値とほぼ同量であった(表5.3)。種子島の7月、9月、11

月調査時の葉身中ケイ酸含量は徳之島の同調査時期に比べ多かった (図 5.5) . 種子島では徳之島に比べ、土壌からのケイ酸供給能が高いため、栽培される葉身中のケイ酸含量は多くなると考えられた。収穫時において、両栽培地の梢頭部のケイ酸含量に差は認められなかったが、種子島のケイ酸吸収量 (kg SiO₂ha⁻¹) は春植え栽培では 688、株出し栽培では 794 と算出され、両作型ともに徳之島 (春植え 537、株出し 638) を上回った (表 5.4) . また、ケイ酸の集積量は古い葉や枯葉であるハカマが全体の 60~70% と最も多いことが明らかとなった。水稻では、ケイ酸は葉身などの表面で水分が蒸発するとき濃縮・沈積される (三枝, 2000) . したがって、サトウキビでも同様に沈積しハカマの吸収量が多くなったと考えられた。なお、収穫時の栄養生長は緩慢で蒸発散量も少ないため、梢頭部のケイ酸含量は生育途中のように土壤中可給態ケイ酸の違いを反映しなかったと考えられた。一方、徳之島でも種子島の 80% 程度 (2 作合計) のケイ

酸を吸収することが示された (表 5.4) . さらに、試験開始前は基準値とほぼ同量であった徳之島圃場の可給態ケイ酸含量は、春植え栽培跡では目標値をやや下回る傾向であった (表 5.3) . また、ケイ酸補給の必要性は低いと考えられてきた種子島でも (井上ら, 2014) , 春植え栽培の収穫に伴い土壌中ケイ酸含量は減少する傾向であった (表 5.3) . 一方、両栽培地ともに、春植え栽培跡と株出し栽培跡の可給態ケイ酸含量がほぼ同量であったことは以下のように考えられた。古江・永田 (2000) はケイ酸質資材の施用によって土壌中の可給態ケイ酸は高まるが、サトウキビ栽培に伴い急速に減少し、ケイ酸質肥料無施用栽培と同等の値に収束することを認めている。本試験の株出し栽培跡の可給態ケイ酸含量は、両試験土壌からのケイ酸の天然供給量として評価できる可能性もあり、さらに栽培を継続した長期的な調査が必要と考えられた。

表5.3 栽培地別の土壌化学性の推移

採土時期	pH (H ₂ O)	交換性Ca	可給態ケイ酸
		cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
種子島	開始前	7.27	688
	春植え跡	7.91	580
	株出し跡	6.70	590
徳之島	開始前	2.55 a	192
	春植え跡	0.90 b	174
	株出し跡	0.48 b	172

表中の値は平均値 (n=3) を示す。
異なる英小文字間はFisher's PLSDにより5%水準で有意差があることを示す。
開始前試験圃のCEC (cmol_c kg⁻¹) は種子島23.1、徳之島16.4であった。

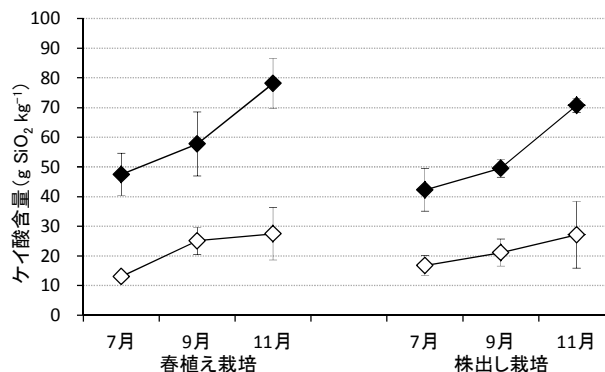


図5.5 種子島と徳之島の葉身中ケイ酸含量の推移

図中の◆は種子島、◇は徳之島の値を表す。
図中のエラーバーは標準偏差を表す (n = 3) .

表5.4 作型別のサトウキビNiF8の収量と部位別のケイ酸含量および吸収量

作型	栽培地	収穫茎重 Mg ha ⁻¹	ケイ酸含量 ¹⁾ (g SiO ₂ kg ⁻¹)			ケイ酸吸収量 (kg SiO ₂ ha ⁻¹)				
			梢頭部	ハカマ	バガス	梢頭部	ハカマ	茎	合計	
春植え	種子島	69.1	45.2	87.5	12.6	135	414	139	688	↑*
	徳之島	36.8	47.7	73.5	9.61	125	359	52.9	537	↓
株出し	種子島	58.5	33.3	83.8	10.2	128	559	106	794	↑*
	徳之島	72.4	28.7	45.0	5.07	165	393	80.8	638	↓

表中の値は平均値 (n = 3) を示す。
*はt検定により5%水準で有意であることを示す。
1) 乾物当たりの値を表す。

徳之島では、サトウキビのケイ酸吸収量だけでなく、土壌中可給態ケイ酸含量を考慮すると一定量の補給は必要と考えられるため、本試験結果を用いて収穫時のケイ素搬出量を試算した (表 5.5) . 鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場では、奄美地域に適応性の高い品種を選抜する生産力検定試験の基準品種として NiF8 を継

続栽培している。1989~2014 年に行われた結果によると、梢頭部重は収穫茎重の増加に比例しなかったため(データ略)、目標収量に対する換算は行わなかった。一方、ハカマ量は生育に伴い増えるため、収穫茎とともに目標収量に対する換算を行った。また、徳之島支場ではケンハーバスタの性能試験において、回収されない収穫茎

重の割合を示すロス率とハーベスタに混入する梢頭部、ハカマの重量割合を示すトラッシュ率を調査している。本値はハーベスタの種類だけでなく、栽培される品種、収量によって多少異なるが、本試算では平均的な値を用いた。鹿児島県では、株出し栽培は2回以上行うことが推奨されているため、機械収穫による株出し2回目までの搬出量 ($\text{kg SiO}_2/\text{ha}^2$) を試算した結果、徳之島では831、種子島では1,147と算出された。一方、収穫茎に加え、牛の飼料として梢頭部全てが搬出される手収穫の搬出量 ($\text{kg SiO}_2/\text{ha}^2$) は、徳之島では759、種子島では949と算出された。機械収穫では収穫茎や梢頭部の一部が圃場に残るようになったものの、ケイ酸吸収量が多いハカマの一部が搬出されるため、ケイ酸搬出量は手収穫に比べ減少せず、逆に多く算出された。また、事例は少ないが、梢頭部を圃場還元する手収穫と比較すると、機械収穫のケイ酸搬出量は手収穫の2倍以上と算出された。

水稲栽培では、目標収量の確保に対して不足するケイ酸量を資材中の可溶性ケイ酸で補うことが推奨されている。サトウキビ栽培でも、土壌中ケイ酸含量が目標値を下回る圃場では、新植時に機械収穫の搬出量を可溶性ケイ酸量で補給する必要があると考えられた。また、黒ボク土に比べ陽イオン交換容量が小さく交換性カルシウムが少ない黄色土畑では、ケイ酸の補給以外にも、pH (H₂O) や交換性カルシウム含量を維持するためにアルカリ性肥料の施用が必要と考えられた (表 5.3)。

以上、サトウキビ栽培では、収穫に伴うケイ酸搬出量は多く、土壌の可給態ケイ酸含量が栽培を通して減少することが示された。このため、少なくとも酢酸緩衝液抽出の土壌中ケイ酸含量が目標値 ($200 \text{ mg SiO}_2/\text{kg}^{-1}$) を下回る圃場では、新植時に、試算した地域別の機械搬出量と同程度のケイ酸補給が必要になると考えられた。

表5.5 収穫に伴うケイ素の圃場外搬出量 ($\text{kg SiO}_2/\text{ha}^{-1}$) の試算値

作 型	機械収穫搬出量				手収穫搬出量			株出し2回目までの搬出量 ¹⁾			
	梢頭部	ハカマ	茎	合計	梢頭部	茎	合計	機械 収穫	手収穫		
									梢頭部搬出	梢頭部還元	
	算出法	$a \times c$	$a \times b \times c$	$a \times b \times c$	a	$a \times b$			春植え合計 + 株出し合計 × 2		
種子島	春植え	45.5	229	154	428	135	178	313	1,147	949	559
	株出し	33.5	187	139	359	128	190	318			
徳之島	春植え	31.0	218	110	359	125	116	241	831	759	303
	株出し	46.6	105	85	236	165	93.8	259			

aは部位別のケイ酸の吸収量を表す。

bは茎、ハカマの目標収量 (80 Mg ha^{-1}) への換算率 {目標収量 ÷ 収穫茎重} を表し、梢頭部は収量に比例しないため無換算とした。

cは機械収穫搬出率 {梢頭部：機械搬出重 × 0.06 ÷ 全梢頭部重、ハカマ：機械搬出重 × 0.04 ÷ 全ハカマ重、茎：0.95 (ロス率0.05)} を表す。トラッシュ率 (0.06 + 0.04) は、ハーベスタの収穫袋内の梢頭部、ハカマの重量割合を調査し得られた値である。このため、搬出される梢頭部、ハカマの重さは機械搬出重を基に算出され、これを部位別全重で除した値が搬出率となる。

1) 株出し2回目の搬出量は株出し1回目と同量と仮定して試算した。

5.3.4 要約

鹿児島県のサトウキビ栽培は土壌中ケイ酸含量が大きく異なる二つの土壌 (火山灰土と非火山灰土) で行われている。このことに加え、収穫方法も従来の手収穫から機械収穫に変わったことから、地域別・収穫法別のケイ酸補給量を新たに検討した。サトウキビ機械収穫に伴うケイ酸搬出量 ($\text{kg SiO}_2/\text{ha}^{-1}$) を吸収量から試算した結果、黒ボク土圃場では1,147、黄色土圃場では831と算出された。また、両栽培土壌ともに、収穫に伴い土壌中の酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量は減少することが示され、黄色土圃場では、鹿児島県目標値 ($200 \text{ mg SiO}_2/\text{kg}^{-1}$) を下回った。サトウキビ収穫に伴うケイ酸搬出量は多いため、土壌中ケイ酸含量が目標値を下回る圃場では、新植時に機械搬出量と同程度のケイ酸補給が必要と考えられた。

第 4 節 種子島における中和石灰量の算出

5.4.1 目的

サトウキビは酸性土壌で比較的良好に生育する作物とされている (Borden, 1949) . 一方, Miyamaru ら (2011) は, 強酸性土壌下におけるサトウキビの生育は窒素増施によって改善されるが, 有機物分解促進による養分の供給が期待できる酸度矯正の方が望ましいとしている. また, 森ら (2009) は種子島の畑土壌は酸性化が進んでおり, このことが原因と考えられるサツマイモの生育不良を報告している. さらに, サツマイモの生育不良の要因は石灰投入不足だけでなく, 輪作のサトウキビ栽培における窒素多施用が主な要因と結論づけ, 持続的な生産維持のためには, 窒素施肥の適正化と必要最小量の石灰投入が必要であるとしている (森ら, 2015) .

現在, 種子島では, 畑地の土層改良事業が盛んに行われている. 本事業は深耕とともに, 土壌分析結果を基に石灰質資材, リン酸質資材, 堆肥を投入し, 土壌理化学性の改善によって生産性の向上を目指すものである. これらは, 先に述べたサツマイモの生育不良やサトウキビへの過剰施肥の改善に繋がると期待されている. 鹿児島県の土壌管理指針 (鹿児島県農政部, 2014) では, 農耕地へのリン酸質資材, 堆肥の投入量は, それぞれ土壌の可給態リン酸と腐植含量を測定し, 不足する量を算出することとしている. また, 中和石灰量の算出は, 炭酸カルシウム添加・通気法 (以下, 炭カル通気法と記す) で緩衝曲線を作製して行うことを推奨している. 土壌への炭酸カルシウム添加時には, 交換性水素だけでなく, 交換性アルミニウムの中和も伴うため, 当農上問題となる pH6.5 程度までの酸度矯正においても, 緩衝曲線はシグモイド型を示すなど複雑な反応を示す場合がある (山崎・久保田, 1984) . 一方, 種子島の土層改良事業では, 中和石灰量の算出法を明確にするため, 一律の規則を設け, 炭カル通気法の測定値に二次回帰式をあてはめて緩衝曲線を作製している.

種子島では, 今後も多くの地域で土層改良事業が計画されており, 中和石灰量を算出する機会はますます増えると考えられる. そこで, 上述のような方法で算出された中和石灰量の妥当性について評価を行った. また, 圃場の酸度矯正に迅速に対応するため, 中和石灰量を簡易に予測する手法が袴田ら (1980) によって提唱されているが, 種子島でも同様に活用できるか併せて検討した.

5.4.2 材料および方法

調査は, 種子島の西之表市と中種子町で行われている

土層改良事業の対象圃場で行った. 2013 年は 131 圃場, 2014 年は 274 圃場の概ね 0~20 cm 層位から土壌を採取した.

以上の土壌を対象として, 土壌, 水質及び植物体分析法 (財団法人日本土壌協会, 2001) にしたがって, 土壌の pH (H₂O, KCl) , 陽イオン交換容量 (以下, CEC と記す) , 交換性カルシウム, マグネシウム, カリウム, リン酸吸収係数, 腐植含量を測定した. また, pH (H₂O) が 6.0 に満たない圃場においては, 石灰質資材投入量を算出する緩衝曲線を作製するために, 炭カル通気法を適用した. 炭酸カルシウムの添加量は風乾土 10g に対して 0, 10, 25, 50, 75, 100mg とした. pH の測定はガラス電極法 (東亜ディーケーケー, HM-25R) で行った. 交換性塩基類は Schollenberger 法で交換・浸出したものを原子吸光法で定量し (セイコーインスツル, SAS 7500) , CEC は交換・浸出した NH₄⁺ を蒸留法で定量した. リン酸はバナドモリブデン酸法で発色させ, 分光光度計 (島津製作所, UV-1700) で定量し, この値を用いて吸収係数を算出した. 腐植含量は NC アナライザー (ジェイ・サイエンス, JM1000CN) で全炭素含量を定量し, 1.724 を乗じて求めた.

5.4.3 結果および考察

種子島の土層改良事業における石灰資材投入量は, 栽培作物を考慮して, pH (H₂O) 6.0 となるように算出している. 2013 年, 2014 年調査圃場の内, pH (H₂O) が 6.0 に満たない圃場の数は, それぞれ 116, 187 圃場で, 全調査圃場の 74.8% であった. この様に, 種子島の多くの露地畑では, 石灰資材の投入による酸度矯正が必要であることが明らかとなった. 本事業 2 年間に於いて, 炭カル通気法で得られた値に対する二次回帰式のあてはまりを検討した結果, 決定係数は平均値 0.991, 最小値 0.876, 25 パーセント値 0.990 であった. このように, わずかにあてはまりの悪い試料がみられるが, 平均値と 25 パーセント値はほとんど変わらず, 分析結果を良く反映し, 中和石灰量を算出していると考えられた.

一方, 袴田ら (1980) は数多くの試料に迅速に対応するため, 緩衝曲線を対数回帰式 $[v = a + b \ln(u + 1)]$ を用いた近似モデルで表し, 簡易に中和石灰量を予測する手法を検討している. v は u (kg t⁻¹ 風乾土) の炭酸カルシウムを添加して得られる pH, 回帰定数 a は炭酸カルシウム無添加の場合の pH で, b は緩衝能を表す. 種子島でも, 同様の手法で中和石灰量を予測できるか判定するために, 対数回帰式のあてはまりを算出した. 対数回帰式の決定係数は平均値 0.943, 最小値 0.779, 25 パーセント

イル値 0.928 で二次回帰式に比べ、あてはまりは劣った。つぎに、緩衝能 b をどのような説明変数で表すか、袴田ら(1980) が取り上げた土壌の採取地域、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、リン酸吸収係数、腐植含量に $\text{pH}(\text{KCl})$ 、CEC を加え、重回帰分析(変数増加法)を行った。その結果、CEC 以外を説明変数としたとき自由度調整済み決定係数は 0.862 と最も高かった。そこで、上述の 5 要因により決定した b を用いて、目標 pH を 6.0 としたときの中和石灰量を算出(以下、予測値と記す)し、炭カル通気法の値に対数回帰式をあてはめ算出した中和石灰量(以下、実測値と記す)と比較した(図 5.6)。実測値と予測値の間の相関係数は 0.884 と高かったが、実測値が $4(\text{kg t}^{-1}$ 風乾土)を超えるあたりから、実測値と予測値の間にはばらつきが認められた。実測値と予測値の差と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の関係を見ると、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が低い試料ほど両値の差が大きい傾向にあった(図 5.7)。このように、元の土壌懸濁液

中の水素イオン濃度が高かったり、添加する炭酸カルシウム量が多くなると、土壌 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}, \text{KCl})$ やリン酸吸収係数、腐植含量だけでは、炭酸カルシウム添加に伴う pH 上昇の説明が難しくなることが示された。種子島の試料では、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が 5.0 を下回る比率は 38.5%、リン酸吸収係数 1,600 を下回る比率は 27.9%であったのに対して、袴田ら(1980)の用いた試料ではそれぞれ 12.9%、59.4%と大きく異なった。実測値と予測値の差とリン酸吸収係数の関係を見ると、リン酸吸収係数が 1,500 を超えるあたりから差が大きくなる試料が存在し、両値の差はリン酸吸収係数の増加に伴い大きくなることが明確にみと取れた(図 5.8)。リン酸吸収係数 1,500 以上の試料は種子島では概ね黒ボク土に分類されるが、このように $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低い黒ボク土が多く分布していることが、土壌特性値からの中和石灰量予測を困難にしていると考ええる。

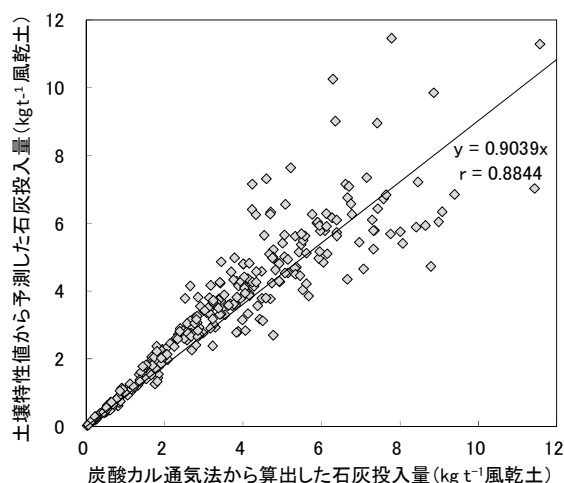


図5.6 炭カル通気法による算出石灰投入量と土壌特性からの予測石灰投入量の関係

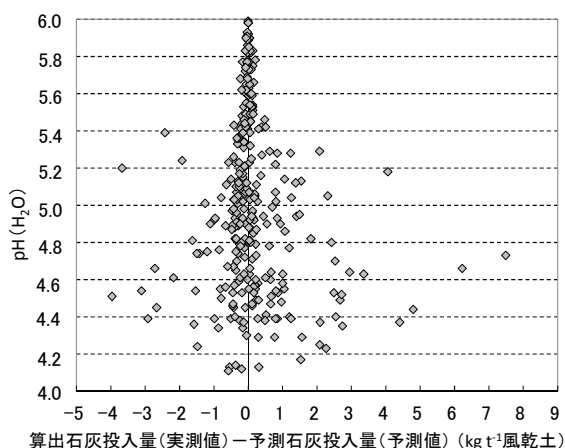


図5.7 石灰投入量の実測値-予測値と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の関係

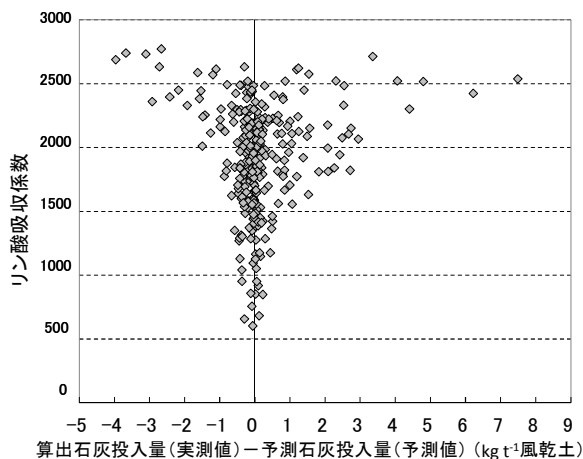


図5.8 石灰投入量の実測値-予測値とリン酸吸収係数の関係

炭カル通気法における通気量はインキュベート法との関係から決定されたものであり、土壌に対する交換態としての反応を保証したものではない。また、千葉・新毛(1977)は両法による値の差が大きく異なる土壌の存在を認めている。そこで、炭カル通気法により算出される炭酸カルシウム量(緩衝曲線は二次回帰式)の妥当性について、塩基飽和度と pH (H₂O) の関係から検討した。なお、CEC に対する交換性カルシウム、マグネシウム、カリウムイオンの総量の割合をもって、塩基飽和度とした。また、pH が 7.0 を超えるなどした場合は作物のアルカリ障害などに繋がることから、このような危険性についても検討した。採取した試料の pH (H₂O) と塩基飽和度の関係を見ると、両値の間には高い正の相関関係 ($r = 0.914$) が認められ、pH (H₂O) 6.0 の時の塩基飽和度は 60 程度で、塩基飽和度が 70 を超えると pH (H₂O) は 7.0 以上となる可能性が示された(図 5.9)。調査対象圃場は全て、収穫跡あるいは作付けが行われなかった圃場であるため、pH に及ぼす無機態窒素の影響は比較的小さいと推察される。一方、算出された炭酸カルシウム量が全て交換態として反応すると仮定した場合、計算上の塩基飽和度がどのような値になるかを図 5.10 に示した。塩基飽和度 60~70 となる試料は全体の 34% と最も多く、全体の 80% の試料が塩基飽和度 50~80 の間に該当した。また、塩基飽和度 80 までに、全体の 91% の試料が該当した。このことから、種子島の畑地において、炭カル通気法を適用し、石灰質資材の投入量を決定することは概ね妥当と考えられた。また、石灰質資材添加後に pH7.0 以上となる可能性がある試料がみられたものの、その割合は全試料の 3% 程度で、危険性は低いと考えられた。

以上、種子島の露地畑は pH が低く、酸度矯正を必要としている圃場が多く存在した。土壌特性値を基に中和石灰量の予測を検討したが、pH の低い黒ボク土においては難しく、リン酸吸収係数の上昇に伴い予測値が大きく外れることが示された。したがって、このような圃場では、炭酸カルシウム添加・通気法を適用する必要性が高い。得られた値に対して、緩衝曲線を二次回帰式で表し中和石灰量を求める方法は、二次回帰式の当てはまりや炭酸カルシウム施用後の塩基飽和度の面からみて妥当と考えられた。

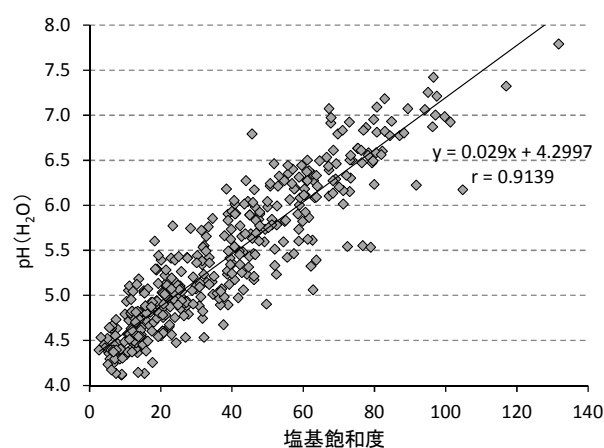


図5.9 塩基飽和度とpH (H₂O) の関係

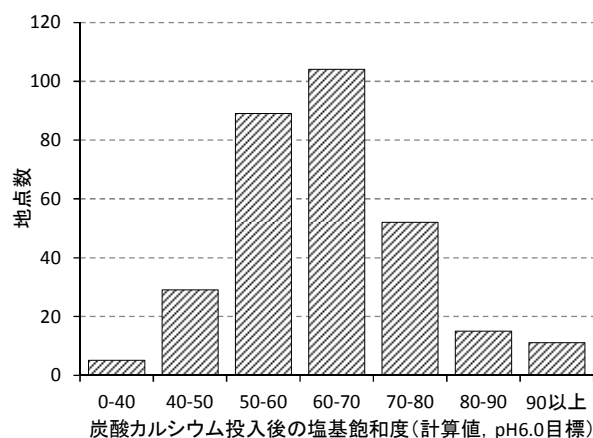


図5.10 炭酸カルシウム投入後の塩基

5.4.4 要約

種子島では畑地の生産性向上を目的とした土層改良事業が盛んに行われている。近年、サトウキビ栽培に対しても適正な土壌 pH 管理の重要性が示されていることから、本事業における酸度矯正の妥当性を検証した。炭酸カルシウム添加・通気法によって求められた石灰投入量は、投入後に予測される塩基飽和度の面からみて妥当と考えられた。一方、土壌特性値を基に石灰投入量を予測する方法は pH が極端に低下した黒ボク土では精度が低くなることが確認された。

第5節 暗赤色土圃場における水分供給能向上対策

5.5.1 目的

奄美地域に広く分布する重粘質土壌はその性質が影響し、農作業効率を低下させる一要因となっている。このため、機械化による効率化とともに圃場整備事業が積極的に推進されている。一方、圃場整備時には、石灰岩が露出する機会が多くみられる。このような場合、石灰岩を破碎・整地して造成した基盤上に、厚さが60 cmとなるように石灰岩を母材とする暗赤色土などが表土として敷かれ、整備されている。このように、透水性が良好な基盤の上に、保水性が乏しい土壌が搬入されている整備圃場の水分保持能はあまり高くないと考えられる。

サトウキビの生産性は、水分供給能の向上によって大きく改善される（井上，2010）ため、整備圃場におけるサトウキビ栽培については、積極的に水分供給能向上対策を講じることが重要である。小田ら（2010）は、牛ふん堆肥をマルチ資材として利用することによって、土壌表面からの水分蒸発が抑制されるとしている。そこで、サトウキビ絞り粕を原料とするバガス堆肥を用い、堆肥層を畝内に作り、堆肥層中とその直下の土壌水分を計測した。併せて、この方法がサトウキビの生育に及ぼす影響を検討した。なお、バガス堆肥は製糖工場から排出されるバガス、フィルターケーキなどを主原料として、堆肥化したものである。

5.5.2 材料および方法

徳之島支場内の普通暗赤色土畑において、サトウキビNi17の春植え栽培を行った。バガス堆肥施用の有無、株間の違いが乾物生産に及ぼす影響を検討するため、試験区は二元配置法で設定した。基肥施用、植付け（二節苗）、バガス堆肥施用を2010年3月1日に同時に行った。植溝に蔗苗を置き、肥料散布後、バガス堆肥を10 Mg ha⁻¹施用して厚さ約5 cmの堆肥層を作成し、覆土した。バガス堆肥は伊仙町営堆肥センターにおいて、重量割合でバガス、フィルターケーキ、牛糞をそれぞれ約50、30、20%の割合で混合し、約8ヶ月堆積し製造したものをを用いた（化学性は表5.6参照）。4月30日に出芽率80%となるよう補植し、7月5日に追肥と培土を行った。株間は15 cmと25 cmに設定し、畝間120 cmで栽培した。基肥、追肥量は鹿児島県施肥基準に準じ、硫酸、過リン酸石灰、塩化カリウムで施用した（基肥：N-P₂O₅-K₂O=90-80-50 kg ha⁻¹、追肥：N-K₂O=90-50 kg ha⁻¹）。

表5.6 バガス堆肥の化学性

水分	T-C	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O
(g kg ⁻¹)						
436	210	9.35	1.43	<0.01	23.9	9.08

新鮮物あたりの値を示す。

1) 茎数、茎長および成長解析の調査法

堆肥施用の有無、株間2水準、2反復、計8区を試験規模1区9 m² (3.75m×2 畝)で設置し、定植から約1ヶ月ごとに茎数、茎長の調査を行った（各試験区間に調査対象外として基準施肥栽培1畝を設置）。一方、成長解析を行うため、堆肥施用の有無、株間2水準、2反復、計8区を1区18 m² (3.75m×4 畝)で設置した。1区内に1.8 m² (1.5m×1 畝)のプロットを8プロット設定した（各区間に基準栽培畝設置）。各区1プロットずつ株元から全株サンプリングし、葉身と枯葉とそれ以外（茎）に分別した。調査したプロットの前、後のプロットはその後の調査から除外した。サンプリングは約1ヶ月ごとに追肥前の6月4日、7月5日、追肥後の8月3日、9月3日の計4回行った。サンプリングしたものは、第2章第1節と同じ方法を用いて、6～8月までの1ヶ月ごとのCGR、NAR、LAI、SLAを算出した。

2) バガス堆肥および葉身の分析法

バガス堆肥の全炭素、全窒素含有率はNCアナライザー（ジェイ・サイエンス、JM1000CN）で定量した。リン酸、カリウム含有率は乾燥粉碎物を硫酸-過酸化水素で湿式分解（水野・南，1980）後、バナドモリブデン酸法、炎光光度法でそれぞれ定量した。アンモニウム態窒素、硝酸態窒素含有率は未風乾試料を2M塩化カリウムで抽出後、蒸留法によって分別定量した（財団法人日本土壌協会，2000）。

葉身は乾燥粉碎物を硫酸-過酸化水素で湿式分解後、全窒素含有率は蒸留法、リン酸含有率はバナドモリブデン酸法、カリウム含有率は炎光光度法によって定量した。ケイ酸含有率は乾燥粉碎物を600℃で灰化し、塩酸処理後に重量法によって、粗ケイ酸として求めた（作物分析法委員会編，1975）。

3) 土壌含水率の調査法

栽培試験圃場に隣接する普通暗赤色土圃場において、栽培試験と同様に堆肥層を作成した畝および堆肥層のない畝を2010年7月22日に設置し、堆肥層のほぼ中心部（畝頂部からの深さ20～30 cmの位置）と、堆肥層直下の部位（同様に約30～50 cmの層位）において、土壌体積含水率を誘電率土壌水分センサー（DECAGON社、EC-10、20）を用いて測定した。用いたバガス堆肥の施用量は栽

培試験と同量とした。また、植物体の生育差による蒸散の影響を除外するため、無作付けとした。

5.5.3 結果および考察

2010年7月下旬から8月下旬までの降水量はほぼ平年並みであった。当支場の普通暗赤色土における、作土層より下のpF1.5～pF3.0の有効水分は $0.03\sim 0.04\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ と極めて少ない(後藤, 2001)。このような圃場において、堆肥層を畝内に作ることによって、根が伸長する位置における土壤体積含水率の低下は緩やかになった(図5.11)。堆肥施用区のCGRはNAR, LAI双方の増加によって、堆肥無施用区を上回った。その結果、堆肥施用区の総乾物重は堆肥無施用区を上回って推移した。同様に、9月3日の株間15cm区の総乾物重は 2.75 kg m^{-2} で、株間25cm区の 2.46 kg m^{-2} より上回った。9月3日の総乾物重に及ばず堆肥施用、栽植密度の影響の大きさを分散分析の寄与率から判断すると、それぞれ65.0%、16.4%と堆肥施用の影響が大きいことがうかがえた。

かん水を行うと、茎の伸長とともに葉身中ケイ酸含有率が高まり、薄く広い葉を展開できるため、LAIが向上し、CGRが増加する(井上, 2010)。本試験でも、堆肥施用区の茎長は堆肥無施用区を上回って推移した。さらに、堆肥施用区では、堆肥無施用区に比べ葉身中ケイ酸含有率が高まり、SLAが増加する傾向であった。一方、かん水効果(井上, 2010)として表れない茎数の増加が堆肥施用によって認められた(表5.7)。後藤・永田(2008)はサトウキビ栽培において、植付け、施肥前に堆肥を全面施用し、すき込むと、茎の伸長とともに茎数が増加し、増収に繋がるとしている。一方、サトウキビ収穫残渣の茎葉、バガスに石灰窒素を添加して堆肥化させた堆肥は、家畜ふん主体の堆肥に比べ窒素肥効率が約12%と低いことを認めている。さらに、この堆肥の圃場条件下での窒素分解率はエンバクなどイネ科緑肥すき込みと同等で、2年後でも約50%であるとしている(後藤・江口, 1998)。また、永田らは(1992)サトウキビ枯れ葉堆肥 20 Mgha^{-1} 施用までは、サトウキビ葉身の窒素含有率は堆肥無施用栽培とほとんど変わらないことを認めている。本試験でも、堆肥からの窒素供給があったと考えられるが、施用量から考えて、決して多いとはいえない。堆肥施用の有無による葉身中の窒素、リン酸、カリウム含有率に有意な差は認められなかった(表5.8)ことも、このことを示唆するものと考えられる。また、Ni17は窒素施用量を増やし、葉身中の窒素含有率を向上させても、乾物生産性が向上しにくい(井上, 2010)。このように、バガス堆肥層を畝内に作ることによって、葉身の窒素含

有率は上昇せず、かん水効果(井上, 2010)と同様のケイ酸含有率の上昇や茎の伸長、LAIの増加を伴う生産性の向上が認められた。この要因は、堆肥層が土壤水分の上方移動を妨げた結果、それより下層の土壤水分が、堆肥層を設置しなかった畝に比べ、多量に保持されたためと考えられる。

一方、本施用法の問題点も考えられた。2010年4月21日に萌芽率を調査した結果、堆肥施用区では66.3%、堆肥無施用区では76.2%であった。本試験は植付け時にかん水を行ったが、本研究で作成した堆肥層の水分保持能は低いことが示された(図5.11)ことから、蔗苗周辺に散布した堆肥が蔗苗からの萌芽を妨げる原因になったと考えられる。このように、蔗苗周辺を乾燥しやすい状態にすることは萌芽数を減少させる恐れがあるため、何らかの対策が必要である。春植えサトウキビ栽培では、6月頃に行う培土によって畝が形成される。萌芽後、茎長が $10\sim 13\text{ cm}$ 程度まで伸張した4月中耕時に、堆肥を畝が形成される位置に散布することも有効分けつ数を確保する一方法と考える。このことに対応できるトラクター牽引の堆肥散布機も開発され、生産現場で利用されている。一方、その後作となる株出し栽培においても十分な厚さの堆肥層が残存していれば、その萌芽数を多く確保できる可能性が考えられる。残茎からの萌芽位置は品種によって異なる(緒方ら, 2004)。萌芽位置と堆肥層が同じ場合、株出し萌芽率の低下に繋がる可能性が考えられ、品種選定についても留意する必要がある。さらに、小田ら(2010)はマルチ資材としての堆肥層厚が薄くなるに従い、水分蒸発速度は指数関数的に高まることを認めている。奄美地域は有機物資源に乏しいため、適切な施用量の検討も含めて、今後は上述の問題を解決し、土壤水分保持能を向上させる堆肥の効率的活用法の実用化を図る。

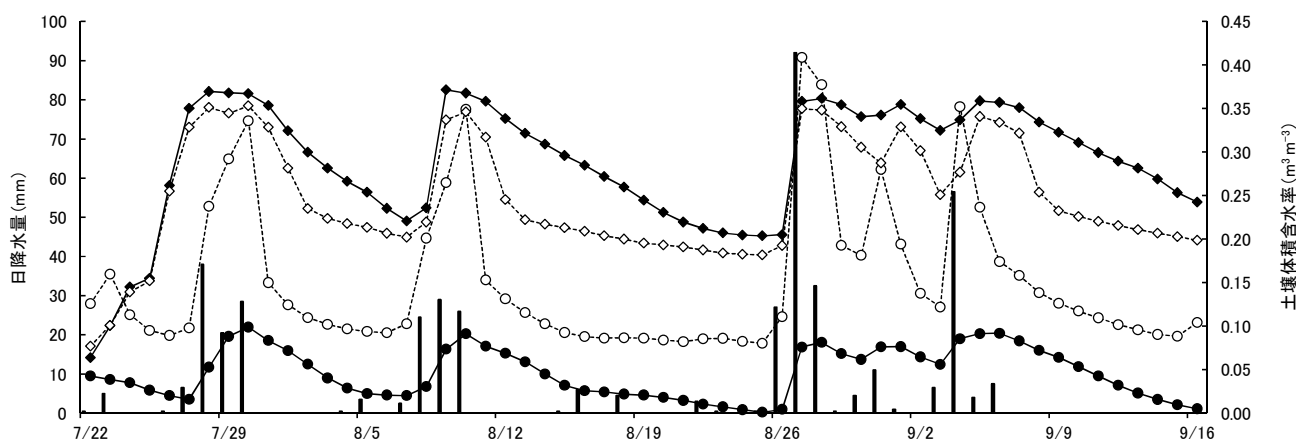


図5.11 乾物生産旺盛期の日降水量と層別別土壌体積含水率の推移

棒グラフは日降水量、折れ線グラフ●は堆肥施用栽培の畦頂部から20~30cm層位、◆は同栽培30~50cm層位、○は堆肥無施用栽培の畦頂部から20~30cm層位、◇は同30~50cm層位の土壌体積含水率の推移を示す。

表5.7 サトウキビNi17春植え栽培の成長解析

成長解析期間	処理内容 バガス堆肥	総乾物重 (kg m ⁻²)	CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	NAR (g m ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	SLA (m ² kg ⁻¹)	茎長 (m)	茎数 (10 ³ 本 ha ⁻¹)
6月 (6/4~7/5)	無施用	0.223 [∩]	4.53 [∩]	2.98 [∩]	1.55 [∩]	17.7 [∩]	0.637 [∩]	133 [∩]
	施用	0.319 ^{**}	7.70 ^{**}	4.08 [∩] *	1.87 [*]	18.8 [∩]	0.678 [∩]	156 [∩]
7月 (7/5~8/3)	無施用	1.15 [∩] N.S.	31.8 [∩] N.S.	8.33 [∩]	3.83 [∩]	16.7 [∩]	1.35 [∩]	90.0 [∩] N.S.
	施用	1.22 [∩]	31.0 [∩]	6.64 [∩] **	4.69 [∩] *	17.3 [∩]	1.39 [∩]	93.5 [∩]
8月 (8/3~9/3)	無施用	2.33 [∩]	38.2 [∩] *	6.49 [∩]	5.93 [∩]	13.1 [∩]	1.81 [∩]	86.5 [∩] △
	施用	2.88 [∩] **	53.7 [∩]	8.24 [∩] △	6.57 [∩]	13.4 [∩]	1.88 [∩]	91.8 [∩]

バガス堆肥施用の有無、株間の違いの2要因を二元配置法で行った結果の堆肥の有無別の平均値を示す。

6月の総乾物重、茎長は7/5調査時、7月は8/3、8月は9/3調査時の値を示す。

茎長は計測時における地表面から第一完全展開葉肥厚帯までの長さを表す。

△, *, **は分散分析によってそれぞれ10%, 5%, 1%水準で有意差のあることを, N.S.は有意差の無いことを示す。

表5.8 サトウキビ葉身中の時期別成分含有率

調査時期	処理内容	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂
バガス堆肥 (g kg ⁻¹)					
7月5日	無施用	14.4 [∩]	6.78 [∩]	22.6 [∩]	38.4 [∩]
	施用	14.3 [∩] N.S.	6.99 [∩] N.S.	23.4 [∩] N.S.	38.8 [∩] N.S.
8月3日	無施用	13.3 [∩]	5.85 [∩]	14.3 [∩]	30.1 [∩]
	施用	13.1 [∩] N.S.	6.28 [∩] N.S.	15.6 [∩] N.S.	33.5 [∩] N.S.
9月3日	無施用	10.1 [∩]	5.68 [∩]	12.0 [∩]	24.4 [∩]
	施用	10.1 [∩] N.S.	5.62 [∩] N.S.	13.0 [∩] N.S.	31.3 [∩] △

2要因を二元配置法で行った結果の堆肥の有無別の平均値を示す。

△は分散分析によって10%水準で有意差のあることを, N.S.は有意差の無いことを示す。

5.5.4 要約

奄美地域に広く分布する暗赤色土は保水性に乏しく、このことがサトウキビの生育阻害要因となっている。そこで、バガス堆肥の施用が暗赤色土の土壌水分およびサトウキビの生育に及ぼす効果を検討した。バガス堆肥を蔗苗周辺に条施用することによって、降雨後の土壌含水率の低下が緩やかになった。また、無施用栽培に比べ旺盛な生育を示し、堆肥施用の効果が確認された。一方、萌芽前にバガス堆肥を蔗苗周辺に施用すると、萌芽が抑

制されることが認められた。このため、萌芽後に堆肥を施用するといった対策が必要と考えられた。

第 6 章 総合考察

日本では、甘味資源作物としてテンサイとサトウキビが栽培されており、これらは食糧自給率への寄与度が高いだけでなく、地域経済を支える産業として重要な役割を担っている。特に、サトウキビは沖縄県と鹿児島県の多くの島々において基幹作物として栽培されており、島嶼地域の経済を強固に支えるためにもその生産安定が求められている。

鹿児島県では、サトウキビの生産が本格的に普及して以降、経済性に優れる株出し栽培が推奨されてきた。しかし、有機塩素系農薬の販売禁止以降、株出し時に芽が出ない「不萌芽」を引き起こすハリガネムシの被害が拡大し、株出し栽培の面積は縮小し、これに伴い全栽培面積も減少した。栽培面積の減少は製糖工場をはじめとするサトウキビに関連する産業全体の衰退につながるため、国の「さとうきび増産プロジェクト」に基づき優良品種の導入等の対策が講じられた結果、近年、株出し萌芽性に優れる品種の育成と併せて、不萌芽を回避できる技術が確立され、株出し面積の拡大が期待できるようになった。新植栽培に比べ生産コストが低い株出し栽培を推進することは、これからのサトウキビ栽培にとって必要不可欠と考えられているが、現在、鹿児島県で行われている栽培管理技術はNC0310やNiF8を中心に開発されたものである。新たに奨励品種に選ばれた Ni17 は現行品種に存在しない茎重型品種に分類され、従来の栽培管理技術ではその品種特性を十分に活かすことができていなかった。また、品種育成による株出し萌芽性の向上は進んだが、萌芽性を良好にさせる条件の解明は不十分であり、管理技術の確立には至っていない。

鹿児島県は沖縄県と異なり、非火山灰土地域だけでなく、火山灰土が主に分布する種子島でもサトウキビ栽培が盛んに行われている。これら二地域は土壌の理化学性が大きく異なるため、その特性に合致した管理が必要と考えられる。しかし、サトウキビ栽培上重要と考えられている土壌中のケイ酸含量は十分な調査が行われていないにもかかわらず、両地域で補給のためのケイ酸資材が同様に取り扱われるなど、その対応は不明確であった。また、奄美地域では暗赤色土が広く分布しているが、乏しい保水性を緩和する対策など進んでおらず、土壌特性を考慮した対応をさらに進める必要があった。

本研究では、サトウキビの品種特性や栽培土壌に合致した管理、株出し萌芽性を良好にさせる条件を明確にすることで、生産コスト低減や品質の確保といったこれからのサトウキビ生産に求められる栽培管理技術の基礎的

知見を得ることを目的とした。

1) 茎重型品種 Ni17 春植え栽培における収量・品質確保のための対策

Ni17 は株出し萌芽性に優れる品種として 2001 年に鹿児島県奨励品種に採用され、本品種を導入することによる株出し栽培の面積拡大が期待されている（竹牟禮ら、2004）。奄美地域の栽培管理技術は群落の受光体勢に優れる茎数型品種を中心に構築されてきた（園田ら 1986；大城ら 1989；野瀬ら、1989；島袋、1997；三浦ら、2000；佐藤・吉田、2001）が、Ni17 は茎重型に分類され、従来よりも早期に糖度が上昇する早期高糖性を備えていたことから、その特性を活かした栽培管理法が求められている。まず、第 2 章第 1 節では、春植え栽培における収量・糖度を確保するための基本的な管理技術として、かん水の有無、窒素増施、栽植密度の違いが乾物生産性に及ぼす影響について成長解析を基に検討した。その結果、乾物生産旺盛期の葉身中窒素含量上昇によって葉面積当たりの同化能を向上させ、生産性を改善することは難しいと考えられた。乾物生産の向上には、単位面積当たりの葉面積を拡大することが有効であった。また、かん水栽培下で認められた葉身のケイ酸含有率増加を伴う葉面積の拡大は、生産性向上に向けた一つの方法と考えられた。したがって、Ni17 の生産性向上には、保水性の高い圃場選択や有機物投入など水分供給能を向上させる方策が有効で、同時に、資材の投入などによってケイ酸供給能を高めることも重要と考えられた。判然としなかった葉面積拡大を目的とした密植栽培については、第 2 章第 2 節で詳細な検討を加えた。

密植栽培は生育初期の葉面積指数を増加させる方法として有効であるが、生育後期の茎数過剰により収量の向上に結びつかない場合がある（野瀬ら、1989）。Ni17 春植え栽培において、株間を狭くし、植え付け種苗数を多くする密植栽培を行った結果、増収することが明らかとなった。この要因は一茎重を維持したまま、収穫茎数を増やすことがきたためであった。密植による一茎重の減退が生じなかったのは、乾物生産旺盛期における有効茎一茎当たりの葉面積が増加したことによると考えられた。このように、分けつの発生が遅く収穫茎数が少ない特徴を持つ品種に対して、密植栽培は有効な技術であることを明らかにした。Ni17 密植栽培の栽植様式は植え付け芽数と収穫茎数の関係から、畝間はケーンハーベスタ収穫が可能な 120 cm、株間は従来の 25 cm に対して 20 cm とすることが妥当と判断された。

第 2 章第 3 節では、単純な窒素増施では Ni17 の増収は

期待できないことが第1節で示されたため、施肥効率を高めることを目的として、被覆尿素を用いた施肥の検討を行った。また、Ni17は保水性の高い圃場選択が有効であることが示されたことから、暗赤色土に比べ透水性が不良で、生産性が高くないとされている黄色土畑に対する適応性を春植え一株出し栽培で検討した。その結果、Ni17は暗赤色土よりも黄色土で栽培を行う方が、高収量となることが明らかとなった。しかも、地下水への窒素流入量も少なくなり、黄色土でのNi17普及拡大は、施肥による影響が注視されている島嶼地域の窒素負荷（中西・山本，1995；中西，2001）の低減にも貢献できると考えられた。一方、被覆尿素を用いることで窒素吸収量は増加したが、梢頭部重が増えただけで増収しなかった。従来品種での栽培試験を基に開発された施肥技術（長友ら，2005）は、単純にNi17に適応できなかったため、第3章第2節においてNi17の品種特性を考慮した窒素施肥法の検討を行った。

以上のことから、Ni17は透水性が不良である黄色土地域を中心に普及拡大を行うことが適すと考えられた。春植え栽培では、株間を従来品種の基準よりも狭い20cmとすることで緩慢な初期生育が改善され、生産性の向上が期待できることを明らかにした。施肥窒素増加による増収への反応は乏しく、糖度低下への影響も懸念されることから、NiF8で行ったような施肥基準量改訂による増施は必要ないと判断された。

2) 株出し栽培における収量・品質確保に向けた対策

サトウキビ同様、切り株から後作を栽培する牧草では、残株中の栄養状態を考慮した刈り取り期や肥培管理の検討が行われている（前野・江原，1970）。サトウキビ栽培でもこのような萌芽性を良好にする条件の解明が進めば、安定的に株出し栽培を行う管理法の開発に繋げることが可能となる。まず、新植時の栽培管理の違いが残株の栄養状態に及ぼす影響を、新植収穫茎の蔗汁 Brix、乾物率、窒素含有率を基に検討した。引き続き、株出し栽培を同じ管理で行い、乾物生産性を調査した。その結果、新植時の栽培管理の違いによって収穫茎の栄養状態は異なり、引き続き生産される株出し栽培の乾物生産性も異なることが明らかとなった。中でも、新植栽培における収穫茎中窒素含有率の株出し栽培への影響は顕著で、これを高めることは株出し栽培の生育向上につながると考えられた。かん水を行うとサトウキビの収量は大きく改善されるが、収穫茎中の窒素含有率が低下するため、株出し栽培の萌芽が遅れ、乾物生産性が低下した。一方、茎重型品種に有効な密植栽培を行うことでも、収穫茎中

窒素含有率が低下したが、収穫茎数の増加が萌芽数確保に寄与するため、株出し栽培の乾物生産性は低下しなかった。密植栽培の効果を株出し栽培に引き継ぐためには、収穫茎中窒素含有率を高める追肥窒素増施を組み合わせることが一つの有効な方法と考えられた。一方、かん水を行い生産性を向上させる栽培に対して、単に追肥量を増やすだけでは、残株中窒素含有率を高めることは難しく、施肥の時期や回数の検討が必要と考える。

茎重型品種では、従来品種のような単純な増施では窒素吸収量が増加するだけで増収に繋がらなかったことから、品種特性を考慮した窒素追肥法の検討を行った。奄美地域に適応性の高い品種選定を行う生産力検定試験結果を解析したところ、Ni17の一茎重と茎収量の間には高い正の相関関係が認められ、増収には一茎重を増加させる必要が高いことが明らかとなった。さらに、追肥窒素量を変えることで、このことが可能となるか検討した。Ni17の生産力検定試験結果は、目標収量到達に対する一茎重の重要性を示していたが、Ni17株出し栽培では、窒素を増施しても一茎重を重くできなかった。最高分けつ数（ $\times 10^3$ 本 ha⁻¹）110程度であれば、従来窒素量で目標収量に達し、150程度と多い場合、到達は困難だが、追肥増施により無効分けつ数が抑制され、糖度も低下せず増収することが明らかとなった。

以上のことから、Ni17株出し栽培では、収量と糖度の確保を図るため、最高分けつ数を判断基準として追肥窒素施用量を決定することが有効であることを示した。また、株出し栽培の萌芽性や初期生育を安定させるためには、収穫茎中の窒素含有率を高める管理が必要であることを明らかにした。

3) 茎数型品種 Ni22 の適切な窒素施用量

Ni17に続き、株出し萌芽性に優れる新たな品種 Ni22が2006年に鹿児島県奨励品種に選定された。そこで、収量、糖度だけでなく、株出し萌芽性に及ぼす収穫茎中窒素含有率の影響まで考慮し、Ni22の適切な窒素施用量の検討を行った。Ni22は収穫茎数が多いため萌芽する部位の数も多いだけでなく、収穫茎中窒素含有率はNi17などの他の品種に比べ高いことが明らかとなった。このことは、Ni22が他品種と比較して良好な株出し萌芽性を持つ大きな要因となっていると考える。加治・長友（2008）は重窒素トレーサー法によってNiF8春植え栽培における基肥窒素の収量への寄与は小さいことを明らかにしたが、Ni22春植え栽培の基肥と追肥量を検討した本試験でも同様に、基肥の寄与率は追肥に比べ低いことが示された。さらに、Ni22春植え栽培では、基肥窒素を70 kg ha⁻¹

に減肥しても収量への影響はほとんど無いと考えられた。一方、追肥窒素量の違いが株出し萌芽性へ及ぼす影響は、その品種特性からみて低いと判断されたため、追肥窒素量は収量の頭打ちがみられた 90 kg ha^{-1} が適当であると考えられた。

以上のことから、Ni22 春植え栽培の窒素施用量は基肥、追肥それぞれ $70, 90 \text{ kg N ha}^{-1}$ が適当と判断された。

4) 奄美地域と種子島の土壌特性

鹿児島県では、非火山灰土が分布する奄美地域と火山灰土が分布する種子島でサトウキビ栽培が行われている。このことから、各々の特性を考慮した土壌管理を進めるための実態調査を行った。まず、第 5 章第 1 節では、近年のリン酸およびカリ肥料価格の高止まりに対してコスト削減が求められていることから、両地域の土壌実態を調査した。種子島にはリン酸吸収係数が高い黒ボク土が分布しているが、畑土壌中の可給態リン酸含量はほぼ基準値以上で、減肥の可能性が示された。一方、徳之島の露地畑ではリン酸質資材施用を必要とする圃場が多く存在することが明らかとなった。種子島の露地畑のカリ含量は交換性画分に富むが、サトウキビによる吸収の可能性が示唆されている非交換性画分（久場，2011）はそれに比べ著しく少なかった。逆に、奄美地域では交換性画分は種子島に比べ著しく少ないものの、非交換性画分に富むことが明らかとなった。藤島ら（1973）や森塚（2009）は土壌中の非交換性カリ含量まで含めた作物のカリ吸収を考える必要性を提唱しており、サトウキビ栽培においてもその影響を明らかにすることは重要と考える。

サトウキビは多量のケイ酸を吸収し、資材の施用による増収も報告されている。そこで、第 5 章第 2 節では、種子島と奄美地域の土壌からのケイ酸供給能を評価するとともに、補給の必要性を検討した。非晶質ケイ酸鉱物は植物に対する重要なケイ酸の供給源とされ、シュウ酸塩溶液はこれを選択的に溶解するが、種子島では、本液により抽出されたケイ酸含量は酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量に比べ著しく多く、両者の間には正の相関関係がみられた。さらに、酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量が鹿児島県基準値を下回る圃場は 2% 未満であったことから、ケイ酸の供給源が豊富な種子島では、補給の必要性は低いことが示された。一方、徳之島では、シュウ酸塩溶液と酢酸緩衝液による抽出ケイ酸含量の間に正の相関関係がみられたが、両値ともに、種子島に比べ著しく低かった。さらに、42.4% の調査圃場では、酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量は基準値を下回り、その 89.8% の土壌 pH は 6.0 未満で

あったことから、徳之島では、種子島に比べ可給態ケイ酸が少ないだけでなく、その供給源も著しく少ないことが明らかとなった。また、一般的に土壌 pH の低いとされる赤黄色土地域を中心に、ケイ酸資材の施用が必要な圃場が多く存在することが示された。水田土壌の可給態ケイ酸測定は、過大評価につながる酢酸緩衝液抽出法に替わり、リン酸緩衝液抽出法が用いられているが、徳之島の普通畑土壌における酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量は、リン酸緩衝液抽出ケイ酸含量に比べ、必ずしも多くなく、水田のように抽出液変更の必要性は認められなかった。

第 5 章第 3 節ではさらに、種子島地域と奄美地域の土壌で栽培されたサトウキビのケイ酸吸収量を調査した。サトウキビのケイ酸吸収量は土壌中のケイ酸含量を反映し、種子島の黒ボク土圃場におけるケイ酸吸収量は徳之島の黄色土圃場の吸収量に比べ多いことが明らかとなった。本吸収量を基に、株出し栽培 2 回目までの圃場外へ搬出されるケイ酸量を試算した。その結果、機械収穫に伴うケイ酸搬出量 ($\text{kg SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$) は、種子島圃場では 1,147、徳之島圃場では 831 と算出され、さらに、手収穫に比べ多いことが示された。この要因は、ケイ酸の集積量は古い葉や枯れ葉であるハカマが全体の 60~70% と最も多いためであった。また、両栽培土壌ともに、収穫に伴い土壌中の酢酸緩衝液抽出ケイ酸含量は減少し、黄色土では、鹿児島県目標値 ($200 \text{ mg SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$) を下回った。このように、サトウキビ収穫に伴うケイ酸搬出量は多く、土壌中ケイ酸含量が減少することが明らかとなった。したがって、少なくとも土壌中ケイ酸含量が目標値を下回る圃場では、新植時に、試算した地域別の機械搬出量と同程度のケイ酸補給が必要になると考えられた。

現在、種子島では、深耕や資材投入など畑地の生産性向上を目的とした土層改良事業が盛んに行われており、低迷が続くサトウキビの生産回復に繋がることが期待されている。第 5 章第 4 節では、本事業で行われている中和石灰量の算出法の妥当性を評価するとともに、多くの圃場に、迅速に対応するために提唱された簡易予測法（袴田ら，1980）が種子島でも活用できるか併せて検討した。pH (H_2O) 6.0 未満の圃場割合は、全体の 75% で、酸度矯正を必要としている圃場が多く存在することが明らかとなった。このように pH の低い黒ボク土圃場では、リン酸吸収係数の上昇に伴い簡易法による予測値が外れることが示された。したがって、種子島では、炭酸カルシウム添加・通気法を適用する必要性が高く、本事業で行われている緩衝曲線を二次回帰式で表し中和石灰量を求める方法は、回帰式のあてはまりや塩基飽和度の面から妥当と考えられた。

第5章第5節では、保水性に乏しい暗赤色土造成圃場において、サトウキビ栽培畝表面からの水分蒸発を抑制することを目的としたバガス堆肥の施用法を検討した。植溝に堆肥を施用し、厚さ約5 cmの堆肥層を作製することで、根が伸張する位置の土壌堆積含水率の低下が堆肥層のない畝に比べ緩やかになることが確認された。このことは、堆肥層が土壌水分の上方移動を妨げたためと考えられた。また、本試験は無かん水であったにも関わらず、堆肥施用栽培の茎長、葉身中ケイ酸含量は無施用栽培を上回り、第2章第1節のかん水栽培で認められたものと同様の効果が確認された。これらのことから、堆肥層を作ることで、サトウキビへの水分供給能が向上し、乾物生産性が向上することが示された。一方、蔗苗位置に堆肥を散布する本方法では、萌芽率が低下する問題が認められた。現在、生産現場ではこの問題に対応するため、萌芽後に散布する方法がとられ、このことに対応できるトラクター牽引の堆肥散布機が開発され普及が進んでいる。

これらの結果を総合すると、種子島の露地畑では積極的に酸度矯正を行う必要が高く、ケイ酸補給の必要性は低いと考えられた。リン酸吸収係数の高い黒ボク土が分布するが、可給態リン酸は基準値をほぼ満たしており、土壌診断を基にした減肥の可能性が示唆された。一方、奄美地域の露地畑ではリン酸の補給を必要とする圃場が多く、さらに、赤黄色土畑を中心にケイ酸の補給が必要な圃場が多く存在することが明らかとなった。土壌中ケイ酸含量が鹿児島県目標値を下回る赤黄色土畑においては、新植時に、機械収穫搬出量と同程度のケイ酸を補給することが重要である。また、暗赤色土畑ではバガス堆肥を植溝に施用することで、畝からの水分蒸散を抑制でき、乾物生産性が向上する施用法を開発した。サトウキビへの寄与度を明らかにすることは今後の課題であるが、火山灰土と非火山灰土の非交換性画分のカリ含量は大きく異なることが明らかとなった。

5) 今後の展望

島嶼地域の経済を安定的に支えていくためにも、サトウキビ栽培の中で生産コストが低い株出し栽培の面積を拡大することは重要視されている。良好な株出し萌芽性を具備することは重要な育種目標であるが、生産技術面でも、株出し栽培の優位性を活かすための取り組みが強化されつつある。新しい作型である夏植え型秋収穫栽培の導入は、製糖工場の操業日数を増やし粗糖の生産効率を図るだけでなく、気温の高い時期に収穫することで株出し栽培を安定化させることを目的としている(伊禮ら、

2009)。新しい作型の円滑な導入に向けては、株出し栽培を通じた複数年の影響を評価することが重要であり、このことを可能にするシミュレーションソフトの開発や活用といった取り組みも進みつつある(樽本, 2011)。降霜地帯の種子島では、マルチ栽培することで株出し萌芽性の向上を図ってきたが、マルチ栽培に対応した機械作業による収穫残渣すき込み技術を開発することで、多回株出し栽培のさらなる安定化を進めている(上野, 2011)。機械作業においても、従来行われてきた株揃え後に、株の中心を開いて肥料を投入する開溝機の普及が進んでおり、株出し栽培への効果が検証されつつある(樋高, 2011)。このように、砂糖の生産を目的とした育種や技術開発が進む一方、これからのサトウキビには家畜の飼料やエネルギー、加工食品といった多用途への利用が期待され、検討が進んでいる。飼料用サトウキビとして、高バイオマス量のサトウキビが選抜されたが、生産コストを削減するため、製糖用とは異なる多回株出し栽培の技術が検討されている(境垣内ら, 2010b)。サトウキビからエタノールを生産する取り組みでは、生産コストが重要な目標となり、糖蜜やバガスの生産量まで考慮した品種育成が行われている。また、エタノール複合生産のモデルにおいては4回の株出し栽培が組み込まれており、目標達成に向けてはその収量安定は欠かすことのできない要素と考えられる(寺内ら, 2011)。

以上のように、新しい作型の導入や多用途利用といった新たな課題が検討され、サトウキビ産業の発展に繋がることが期待されている。これらを支えるのは目的に合致した優良品種の育成であり、株出し栽培を重視した栽培管理技術も重要な要素と考えられる。また、持続的な生産を行うためには土壌実態の把握とそれを基にした管理は必要である。本研究で取り組んだ「残株中の栄養状態を考慮した株出し管理技術」や「土壌の種類や実態に即した肥料投入」は、今後のサトウキビ産業の発展に寄与するものと考えられる。

謝 辞

本論文は、鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場園芸土壌研究室および農業開発総合センター土壌環境研究室において、筆者ならびに共同研究者が行った研究成果をとりまとめたものです。

本論文をまとめるにあたり、素稿の段階からご指導、ご助言賜った九州大学農学研究院准教授 山川武夫博士に深く感謝いたします。また、論文の審査過程で、本論文に対して貴重なご助言とご指導を賜りました九州大学農学研究院教授 松岡健博士、同教授 望月俊宏博士、同准教授 尾崎行生博士に厚くお礼申し上げます。

本論文をとりまとめる切掛けを戴き、終始丁寧にご指導頂いた全農九州営農資材事業所の松元順博士、(株)ジェイカムアグリ郡司掛則昭博士、鹿児島県農業開発総合センターの古江広治博士に深く感謝いたします。

研究の遂行にあたり終始ご助力を戴いた共同研究者、橋口健一郎氏、加治俊幸氏、長友誠氏、餅田利之氏、西裕之氏、山根一城氏、大内田真氏に深く感謝いたします。また、徳之島支場において、有益なご助言と論文のご校閲を戴いた下西恵氏、小牧有三氏に厚くお礼申し上げます。

鹿児島県農業試験場に勤務以来、研究へのご助言、ご指導を戴いた上村幸廣博士(故人)、脇門英美氏、上菌一郎氏、小玉泰生氏に深く感謝いたします。また、圃場管理や化学分析にあたり多大な労を戴いた重田浩二氏、伊藤勲氏、下山かおり氏、惣福脇晃氏、さらに、研究の遂行にご協力戴いた鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場園芸土壌研究室および農業開発総合センター土壌環境研究室の皆様厚くお礼申し上げます。

引用文献

Alexander, A. G. 1973. Sugarcane Physiology, Elsevier, Amsterdam, 1-752. 「45」
奄美群島農政推進協議会 2011. 奄美農林水産業の動向、主要施策の成果、さとうきび 10-15.
新垣則雄 2011. さとうきびを加害する土壌病害虫の生態とその防除. 特産種苗,12,113-117.
Berthelsen, S., Noble, A. D., Kingston, G., Hurney, A., Rudd, A., Garside, A. 2003. Improving yield and CCS in sugarcane through the application of silicon based amendments. SRDC Project CLW009, 28-39.
Borden, R. J. 1949. Recent development in source of nitrogen for fertilizing crop. The Hawaiian Planters' Record, 53, 79-88.

千葉明・新毛春夫 1977. 炭酸カルシウム添加・通気法による中和石灰量の測定. 土肥誌, 48, 237-242.
出花幸之介・儀間 靖 1993. バガス直接乾燥法によるサトウキビの繊維分の簡易測定. 沖縄農試研報, 14, 13-18.
土壌養分測定委員会編 1972. 土壌養分分析法. p264-276, 養賢堂, 東京.
藤島哲男・宇田川義夫・松下研二郎 1972. 鹿児島県における火山灰土壌畑地の生産力と各種成分の溶脱について—ライシメーター試験(第3報)施用した肥料成分の吸収量と溶出量—. 土肥誌, 43, 333-338.
藤島哲男・宇田川義夫・松下研二郎 1973. ライシメーター充てん土壌の2カ年半後における化学性の変化—ライシメーター充てん土壌の2カ年半後における化学性の変化—. 土肥誌, 44, 32-38.
福澤康典・小宮康明・上野正実・川満芳信 2009. サトウキビ初期生育における根の種類・量と生育量に関する研究. 日作紀, 78, 356-362.
古江広治・永田茂穂 2000. サトウキビに対するケイ酸質肥料の効果—土壌、栄養診断基準値設定に向けて—. 土肥誌, 71, 391-395.
古江広治 2007. 奄美群島に分布する土壌特性と生産力向上のための土壌管理—第2章奄美群島に分布する土壌の特性—. 九州大学学位論文, p. 33-39.
後藤 忍・江口 洋 1998. 琉球石灰岩風化土壌の圃場条件における各種有機物の分解速度と土壌有機物の集積予測. 土肥誌, 69, 129-134.
後藤 忍 2001. 奄美地域の暗赤色土畑における有機物の分解・集積と作物生産への効果. 九州大学学位論文, 106-129.
後藤 忍・永田茂穂 2008. 亜熱帯地域の暗赤色土畑における堆肥の連用がサトウキビの収量と土壌化学性に及ぼす影響. 土肥誌, 79, 9-16.
袴田共之・小関純一・能代昌雄・松中照夫 1980. 数量化Iによる中和石灰量の予測. 土肥誌, 51, 441-446.
平舘俊太郎 2012. 近年の農業へのケイ酸利用と研究 2. 土壌および土壌鉱物からのケイ酸の溶解. 土肥誌, 83, 455-461.
井上健一・山根一城・加治俊幸 2009. 最高分けつ数を判断基準とする茎重型サトウキビ Ni17 の窒素追肥法. 土肥誌, 80, 1-6.
井上健一 2010. 異なる栽培条件下におけるサトウキビ Ni17 の乾物生産特性. 土肥誌, 81, 53-54.

- 井上健一・橋口健一郎 2011a. 栽植密度の違いが茎重型サトウキビ Ni17 の生育, 収量に及ぼす影響. 土肥誌,82,25-30.
- 井上健一・橋口健一郎 2011b. サトウキビ春植え時における栽培管理が株出し栽培の生育に及ぼす影響. 土肥誌,82, 375-380.
- 井上健一・橋口健一郎 2011c. バガス堆肥の施用が暗赤色土の土壌水分およびサトウキビの生育に及ぼす影響. 土肥誌,82, 398-400.
- 井上健一・餅田利之・橋口健一郎・西 裕之・古江広治 2014. 鹿児島県サトウキビ栽培地域における土壌からのケイ酸供給能の比較. 土肥誌,85, 458-460.
- 井上健一・餅田利之・大内田 真・古江広治・長友 誠 2017a. サトウキビ収穫に伴うケイ素搬出量の推定. 土肥誌,88, 35-37
- 井上健一 2017b. 期待されるサトウキビ単収改善に向けた取り組みー鹿児島県における対応ー. 土肥誌,88, 158-165.
- 今泉吉郎・吉田昌一 1958. 水田土壌の珪酸供給力に関する研究. 農技研報 B,8,261-304.
- 伊禮 信・松岡 誠・寺島義文・氏原邦博 2008. サトウキビ新品種「Ni22」の早期収穫適性. 九農研要旨集,71,27.
- 伊禮 信・松岡誠・寺島義文・境垣内岳雄・氏原邦博・福原誠司・寺内方克・杉本 明 2009. さとうきびの秋収穫による安定株出しのための基本技術の開発. 日作九支報,93,19-27.
- 伊禮 信・寺島義文・坂垣内岳雄・氏原邦博・松岡 誠・杉本 明・竹牟禮穰・福井清美・白澤繁清 2010. 株出し栽培で多くの早期高糖性サトウキビ新品種「Ni22」の育成. 九沖農研センター報告,54,1-22.
- 謝花治・宮城克浩・伊禮 信・宮平永憲・金城鉄男・島袋正樹・神谷寿幸・仲宗根盛雄・前田剛希・大城良計・出花幸之介・正田守幸・恵比寿則明・伊志嶺正人・高江洲賢文・大工政信・神門達也・平田清勝・平田清信 2009. 台風の被害が少なく株出し収量が高いサトウキビ品種「Ni17」. 沖繩農研センター研報,3,56-65.
- 鹿児島県 2016. 農作物奨励品種特性表, さとうきび 26-31.
- 鹿児島県農政部 1978. 地力保全基本調査総合成績書, 耕地土壌の土壌群, 土壌統群, 土壌統別面積 192-293.
- 鹿児島県農政部 2008. 地力増進対策指針
https://www.pref.kagoshima.jp/ag04/sangyo-rodo/nogyo/gizyutu/kankyo/tuti/02tutidukuri_shitei.html
- 鹿児島県農政部 2014. 鹿児島県土壌管理指針ー分析結果に基づいた土壌改良ー,III 鹿児島県の土壌の概要 p147-177,VI 土壌診断とその活用 p234-249.
- 鹿児島県糖業振興協会, さとうきび栽培指針, 2015 年 1 月
- 北岸確三・宮里 愿・沖田 正 1959. 施肥に対する多年生牧草の反応 (第 1 報)ーカリに対する牧草の反応. 土肥誌,30,5-9.
- King,J.N. 1966. The determination of total sucrose in cane and its distribution among individual suppliers by the java ratio method. *The South African Sugar Journal*,50,53-61.
- 加治俊幸 2006. 奄美地域のサトウキビ畑における水収支. 鹿児島農試研報,34,55-64.
- 加治俊幸・長友 誠 2008. 重窒素トレーサー法によるサトウキビの施肥窒素利用率. 鹿児島農総セ研報,2,43-52.
- Kato,N. 1998. Evaluation of silicon availability in paddy soils by an extraction using a phosphate buffer solution. In *Summaries of 16th World Congress of Soil Science*. 266.
- 川満芳信・永江哲也・大見のりこ・上野正実・孫麗亜・渡嘉敷義浩 1997. サトウキビの糖度向上に関する作物, 土壌, 生産システム工学的研究 第 1 報. 南大東島, 石垣島における甘蔗糖度と各種元素との関係. 日作紀別号,66,262.
- Kawamitsu, Y., Singh, R. K., Nelson, B. J., Tamaki, Y. and Murayama, S. 1999. Effects of Nitrogen Supply on Growth Characteristics and Leaf Photosynthesis in Sugarcane. *Sci Bull. Coll. Agr. Univ. Ryukyus*, 46,1-14.
- 喜名景秀 1991. 沖縄県における造成土壌の実態. ペドロジスト,35,138-144
- 北崎浩嗣 2013. さとうきび品目別経営安定対策と交付金対象条件, 鹿児島大学経済学論集,80,47-62.
- 久場峯子 2011. サトウキビ栽培における肥料の低減. 特産種苗,12,107-112.
- 前野休明・江原 薫 1970. 牧草の再生に関する生理・生態学的研究 第 12 報 刈株の諸形質と再生との関係についての考察. 日草誌,16,149-155.
- 間藤徹・村田伸治・高橋英一 1991. イネへのケイ酸施用が有用である理由. 土肥誌,62,248-251.
- 三浦伸之・森田重則・久米隆志・古江広治 2000. さとうきび NiF8 および F177 における窒素施肥反応の違い. 九農研,62,53.

- 宮平永憲・神谷寿幸 1985. サトウキビの生育・収量に及ぼす株出処理の効果. 沖縄農試研報,10,61-68.
- Naoko Miyamaru, Satoru Iha, Yasushi Gima and Koki Toyota 2011. Factors limiting organic matter decomposition and the nutrient supply of soils on the Daito Islands. 土と微生物,65,119-214.
- 水野直治・南 松雄 1980. 硫酸一過酸化水素による農作物中 N,K,Mg,Ca,Fe,Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌,51,418-420.
- 森 清文・西 裕之・古江広治・澁川 洋 2009. 種子島における原料用サツマイモ生育障害土壌化学性の傾向. 2009 年九州沖縄農業研究成果情報 http://www.naro.affrc.go.jp/karc/prefectural_results/kan-kyo/040265.html
- 森 清文・久保寺秀夫・西 裕之・古江広治 2015. 種子島の土地利用型作物圃場における黒ボク土の pH (H₂O) 低下要因. 土肥誌,86,299-302.
- 最上邦章・岡 三徳・園田忠弘・勝田義満・水本文洋 1992. サトウキビ新品種「NiF8」の特性. 九農研,54,27.
- 茂角正延・橘田安正・久保省三・水落勁美 2002. リン酸緩衝液抽出法による水田土壌の可給態ケイ酸評価法. 土肥誌,73,383-390.
- 森塚直樹 2009. 日本の農耕地土壌のカリウムの形態—地域・圃場・根域スケールの評価—. 土肥誌,80,80-88.
- 牟田辰朗・野島秀伸・上菌一郎 1998. 鹿児島県に発生するサトウキビさび病類の被害および品種・系統間差異について. 鹿児島農試研報,26,9-20.
- 長嶺将昭・金城美恵子 1981. カンシヤクシコメツキの生態. 植物防疫,35 卷 11 号,1-6.
- 中西康博・山本洋司 1995. δ¹⁵N 値利用による地下水硝酸起源推定法の考案と検証. 土肥誌,66,544-551.
- 中西康博 2001. 沖縄県宮古島におけるサトウキビへの施肥実態と地下水窒素濃度との関係. 土肥誌,72,499-504.
- 永田茂穂・古江広治・森田重則 1992. 有機物施用による暗赤色土壌の生産力増強(1). 鹿児島農試研報,20,137-144.
- 長友 誠・三浦伸之・久米隆志・加治俊幸・山根一城 2005. 春植・株出体系に対する被覆尿素的施用技術. 鹿児島農試研報,33,63-71.
- 西 裕之・竹牟禮穰・上菌一郎・末川 修・緒方寿明・神門達也・安庭 誠・勝田明敏・田中正一・白澤繁清・小牧有三・園田純也 2007. サトウキビ新品種 'Ni23' の育成とその特性. 鹿児島農総センター研報,1,83-89.
- 西口友広・清水 友・Joyce NJOLOMA・大田守也・佐伯雄一・赤尾勝一郎 2005. ¹⁵N 同位体希釈法によるサトウキビの固定窒素量の推定. 宮崎大学研報,51,53-62.
- 野瀬昭博・仲間 操・宮里清松 1987. 栽植密度及び土壌型が夏植え一次株出しサトウキビの生産特性に及ぼす影響. 琉球大学農学部学術報告,34,1-10.
- 野瀬昭博・仲間 操・宮里清松・村山盛一 1989. 密植が夏植えサトウキビの乾物生産特性に及ぼす影響. 日作紀,58(3),279-289.
- 農畜産振興機構, 砂糖, 統計情報
http://sugar.alic.go.jp/japan/data/jd_data.htm
- 農畜産振興機構 2006. 日本のさとうきび品種
https://sugar.alic.go.jp/pamphlet/satoukibi/hinsyu/hinsyu_index.html
- 農林水産省 2015. 生産農業所得統計
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/
- 小田正人・中村 乾・P.Chongpraditnum 2010. 東北タイで用いられているマルチ資材としての牛糞の性能評価. 熱帯農業,3,22-30.
- 緒方寿明・神門達也・竹牟禮穰・勝田明敏・末川 修 2004. サトウキビ Ni17 の株出萌芽性の解明. 九農研,66,30.
- 大城正市・仲宗根盛徳・亀谷 茂・大浜当八 1989. 春植えサトウキビにおける密植の効果. 九農研,51,57.
- 大屋一弘・喜名景秀 1989a. サトウキビ増収法に関する土壌肥料学的研究(2) 土壌 pH と可溶性ケイ酸 b. 琉球大学農学部学術報告,36,19-23.
- 大屋一弘・喜名景秀 1989. サトウキビ増収法に関する土壌肥料学的研究(3) 暗赤色土の pH と可溶性ケイ酸. 琉球大学農学部学術報告,36,25-31.
- 三枝正彦 2000. 水稻の生育とケイ酸栄養. 化学と生物,38,514-519.
- 境垣内岳雄・寺島義文・松岡 誠・寺内方克・服部育男・鈴木知之・杉本 明・服部太一郎 2010b. 株出しでの年 2 回収穫体系における飼料用サトウキビ品種 KRFo93-1 の生育および収量. 日作紀,79,414-423.
- 境垣内岳雄・寺島義文・寺内方克・杉本 明・加藤直樹・松岡 誠 2010a. 栽植密度が飼料用サトウキビ KRFo93-1 (*Saccharum spp.hybrid*) の新植での生育および収量に及ぼす影響. 日作紀,81,53-54.

- 境垣内岳雄・寺内方克・服部太一郎・石川葉子・松岡 誠・田中 穰・樽本祐助・寺島義文・安藤象太郎・原田直人 2014. カリ施肥量の違いが多回株出しで栽培した飼料用サトウキビの生育および養分吸収に及ぼす影響. 日作紀,83,305-313.
- 作物分析法委員会編 1975. 栽培植物分析測定法, p.63-75, p.141-147.養賢堂,東京
- 佐藤光徳・吉田典夫 2001. サトウキビ NiF8 の茎の発生と生長,および密植, 施肥, 早期培土の効果. 鹿児島農試研報,29,9-22.
- 島袋正樹 1997. サトウキビ育種における多収性に関する研究. 沖縄県農試研報,19,1-75.
- 島袋正樹 1990. 沖縄における交雑育種の現状と展望.第2集. p83-93,育種学最近の進歩.日本育種学会シンポジウム報告.日本育種学会編.
- 園田純也・下田代智英・藤崎成博・西 裕之・白澤繁清 2009. サトウキビ「Ni23」の耐干性と根数・根域の関係. 九農研要旨集,72,29.
- 園田忠弘・最上邦章・坂元 茂 1986. サトウキビの増殖効率に及ぼす植付時期, 栽植密度および晩期追肥の効果. 九農研,48,103.
- 杉本 明・宮城克浩・末川 修・寺島義文・高江洲賢文・伊志嶺正人・大江正信・神門達也・氏原邦博・伊禮信・謝花 治 2002. サトウキビ栽培における収穫時の原料茎糖度と収穫後の一次株出し栽培における茎収量との関係. 日作九支報,68,50-53.
- 田口玄一 1962. 新版実験計画法下, 20.関数形の推定. p569~594,丸善株式会社,東京.
- 高橋和夫 1981. 鋳さいの水稻に対する肥効と水田土壌中の有効態けい酸に関する研究. 四国農試報,38,75-114.
- 竹牟禮穰・勝田明敏・安庭 誠・神門達也・末川 修・緒方寿明・上菌一郎・田中正一・小牧有三・加治屋伸章 2004. 奄美地域における株出適正が高いサトウキビ新品種「Ni17」の特性. 鹿児島農試研報,32,81-90.
- 樽本祐介 2011. さとうきび生産と製糖工場のシミュレーションモデル: システムダイナミックスを活用して. 九州沖縄農業研究センター資料,1-102.
- 太郎良和彦・新垣則雄・上原数見・伊志嶺正人・小林 彩・永山敦士 2007. Fiplonil ベイト剤を用いたサトウキビ害虫ハリガネムシの防除. 応動昆,45,89-91.
- 樋高二郎 2011. さとうきび栽培の機械化. 特産種苗,12,121-125
- 寺内方克 2002. サトウキビ生産の現状と砂糖収量向上のための課題. 日作紀,71,297-307.
- 寺内方克・安原貴臣・石田哲也・小原 聡・寺島義文・樽本祐助・福原誠司・増田隆之・野村智彦・永山寛一・服部太一郎・境垣内岳雄・松岡 誠・杉本 明・松永亮一 2011. 高バイオマス量サトウキビ品種の開発と「砂糖・エタノール複合生産プロセス」の実証. 農林水産技術研究ジャーナル,34,56-59
- 寺内方克 2013. さとうきび単収改善に向けた課題. 砂糖類情報「4」
- Thorne,G.N. 1960.Variations with age in net assimilation rate and other growth attributes of sugar-beet, potato, and barley in a controlled environment. *Annals of Botany*,24,356-371.
- 上野敬一郎 2011. 種子島におけるマルチ栽培と持続的株出し栽培に向けた新たな展開. 特産種苗,12,102-106.
- Van der Vorm,P.D.J. 1980.Uptake of Si by five plant species, as influenced by variations in Si-supply. *Plant and Soil*,56,153-156.
- 山内昌治 1973. 沖縄県に再発生したサトウキビ黒穂病について. 九病虫会報,19,59-61.
- 山本一清 2003. LIA for Win32 (LIA32) ver.0.376 β 1. <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32>
- 山根一城・久米隆志・後藤忍 2004. 奄美群島における地下水実態調査, 九農研,66,68.
- 山崎龍一・久保田増栄 1984. 炭中和石灰量の簡易測定法と中和に関する 2, 3 の知見. 高知農林研究,16,51-57.
- 財団法人日本土壌協会 2000. 堆肥等有機物分析法, p.23-39.
- 財団法人日本土壌協会 2001.土壌機能モニタリング調査のための土壌,水質及び作物体分析法. p84-86,P88-90.

Investigation of Sugarcane Cultivation Practices with regard to Different Varietal Characteristics and Soil Types

Kenichi Inoue

Summary

It has been found that unlike grains such as paddy rice and sweet potato, the sugarcane stalk weight per unit land area has been in decline over time. Sugarcane is an important crop that supports the economy of Tanegashima Island and Amami regions in Kagoshima Prefecture. In recent years, the stalk weight per unit land area has shown a steady or slightly increasing trend in spring-planted sugarcane but a decreasing trend in ratoon sugarcane. Therefore, it is important that management methods for ratooning are improved to increase the productivity of sugarcane. In Okinawa Prefecture, sugarcane is only cultivated in non-volcanic ash fields, while in Kagoshima Prefecture it is also cultivated in volcanic ash fields. Therefore, it is of great importance to determine fertilizer volume based on the chemical properties of each soil type. This study aimed to obtain basic knowledge on cultivation and soil management techniques for improving the productivity of sugarcane.

To stabilize the yield of the Ni17 cultivar, which was introduced to expand the area of ratooning, we investigated how the planting density of spring-planted sugarcane affects the yield. The author found that narrowing the inter-planting distance and increasing the number of planted seedlings led to an increase in crop growth rate and improved the leaf area index at the early stage of dry matter production. Based on the relationship between the number of planted sprouts and the number of harvested stems under dense plant cultivation, it was determined that a furrow of 120 cm and an inter-plant distance of 20 cm were appropriate. We also found that nitrogen leaching rates were lower and crop yields were higher for both spring-planted and ratoon sugarcane when the plants were cultivated in yellow soil rather than in dark red soil. Next, we aimed to stabilize the production of ratoon sugarcane by examining the effect of the cultivation method used for the first crop (spring-planted sugarcane) on the dry matter productivity of the second crop (ratoon sugarcane). The author found that the nitrogen content of the harvested stems from the first crop was reduced when the plants were irrigated during summer (July to September) and was improved when nitrogen top-dressing was applied. Similarly, the dry matter productivity of the second crop was reduced when the first crop was irrigated and was improved when twice the amount of nitrogen top-dressing was applied. Dense planting of the first crop led to the reduced nitrogen content of the harvested stems of the first crop but no difference in the dry matter productivity of the second crop. This suggests that increasing the number of harvested stems of the first crop helps secure a large number of stems for the second crop. Based on these observations, we conclude that management techniques that increase the nitrogen content of the stems of the first crop promote the growth of the second crop.

Therefore, the author examined the appropriate amount of nitrogen fertilizer that should be applied to ratoon sugarcane. The target yield (80 Mg ha^{-1}) was largely secured when the maximum number of tillers was $110 \times 10^3 \text{ ha}^{-1}$. In this density, an increase in nitrogen fertilizer did not lead to an increase in yield and resulted in a decrease in sucrose content of pressed juice. In contrast, when the maximum number of tillers was increased to $150 \times 10^3 \text{ ha}^{-1}$, an increase in nitrogen fertilizer resulted in a reduced number of unproductive tillers and an increased yield, with no concurrent decline in sucrose content of pressed juice. These findings suggest that it is possible to determine the amount of additional nitrogen fertilizer that needs to be applied to ratoon Ni 17 sugarcane based on the maximum number of tillers. Ni22 is a newly introduced cultivar of sugarcane. The nitrogen content of the harvested stem of spring-planted sugarcane from Ni22 cultivar was higher than that of Ni17 and Ni23. Furthermore, even when the base application rate of nitrogen fertilizer to the spring-planted sugarcane was reduced, the crop yield remained high and the sproutability of the subsequent cultivation (ratoon sugarcane) was good. Therefore, the base fertilizer application rate for Ni22 spring-planted sugarcane can be reduced from the standard amount of 90 kg ha^{-1} to 70 kg ha^{-1} .

To increase the sustainability of sugarcane production, we investigated the chemical properties of upland fields of Tanegashima Island and Amami regions and examined the optimal management method for each soil type. The open field of Tanegashima Island is made up of volcanic ash soils, so the acidity of the soil needs to be improved because the soil pH is incredibly low. Like paddy rice, sugarcane absorbs a large amount of silicic acid; however, the silicate-supplying capacity of

upland soil is high, so it was considered that there was little need to apply silica fertilizer. In contrast, approximately 40% of the Amami open field is made up of non-volcanic ash soil, in which the amount of available silicate is below the reference value ($200 \text{ mg SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$). Most fields that were below this reference value were considered to be red–yellow soil fields, which account for approximately 40% of the Amami area open field. Therefore, we calculated the amount of silicate that is removed from sugarcane fields by machine harvesting. We found that in the red–yellow soil field, it was necessary to apply approximately $800 \sim 900 \text{ kg ha}^{-1}$ of silicic acid before planting first crop. Approximately 50% of the Amami area open field is made up of dark red soils with low water retention, which causes growth inhibition in sugarcane. Therefore, we investigated the effects of applying bagasse compost, which is used to suppress water evaporation from the surface of sugarcane-cultivating ridges. The application of compost to the vegetation to make an approximately 5-cm-thick compost layer reduced the decline in soil water content (the volumetric water content of the soil) at the position where the roots extend compared with soils on ridges without a compost layer.

In this study, the author examined various cultivation methods for sugarcane considering different varietal characteristics and soil types. The methods outlined in this study could be used to improve sugarcane productivity, which exhibits a declining trend over time, and will likely contribute to the development of the sugarcane industry in the future.

Keywords: nitrogen, silicate, sugarcane, volcanic and non-volcanic ash soils