

氏名	境 垣 内 岳 雄
学位(専攻分野の名称)	博 士 (農学)
学位記番号	乙 第 903 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 20 日
学位論文題目	飼料用サトウキビの栽培体系の開発および品種育成に関する研究
論文審査委員	主査 教 授・農学博士 森 田 茂 紀 教 授・博士(農学) 根 岸 寛 光 教 授・博士(農学) 馬 場 正 博士(農学) 玉 井 富士雄* 博士(農学) 阿 部 淳**

論文内容の要旨

鹿児島県島嶼部(熊毛地域・奄美地域)と沖縄県からなる南西諸島における基幹産業は農畜産業であり、畜産の振興は地域経済のみならず、我が国全体にとっても重要なものである。肉用牛の子牛生産に基盤をおく南西諸島の畜産を振興するためには、安定した粗飼料の供給が大きなポイントの1つとなる。

現在、南西諸島では暖地型牧草が栽培されており、特にローズグラス(*Chloris gayana*)が全域で利用される主要な草種である。しかしながら、ローズグラスは多年草として利用した場合の収量性などに課題があり、より収量性に優れた飼料作物が求められていた。そこで、南西諸島における粗飼料の増産に向けて、我が国で初の飼料用サトウキビ(*Saccharum spp. hybrid*)品種となるKRFo93-1が育成された。KRFo93-1はローズグラスの2倍以上の高い収量性を発揮するとともに、株出し能力が高いため多年草としての利用でも収量性が優れており、耕地面積が限られる南西諸島において大幅な粗飼料増産を可能とする新規作物として期待されている。

しかし、飼料用サトウキビは新規作物であり、生産者に推奨できる栽培体系が確立されていないため、KRFo93-1の普及は円滑に進んでいなかった。そこで、本研究では、KRFo93-1の普及対象地域である熊毛地域(種子島)において栽培体系を確立するとともに、それを補完する新品種の育成に取り組んだ。

1. 収穫回数の検討

サトウキビは一般に春季に生育を始め、夏季の生育旺盛期を経て、秋季以降の低温を受けて茎にショ糖を蓄積

する。このように、製糖用サトウキビでは約1年間の栽培期間を要し、栽培は年1回収穫を基本としている。しかし、KRFo93-1を年1回収穫で栽培すると、生育が旺盛で長大化するため、倒伏して収穫作業が困難となり、このことが、生産現場における栽培上の課題となっていた。そこで、1作の栽培期間を短くして収穫時期を分散させる、年2回収穫の導入について検討した。すなわち、KRFo93-1と製糖用主要品種NiF8を用いて、年1回収穫区ならびに年2回収穫区における生育および収量性を2年間、比較検討した。その結果、NiF8では年2回収穫区の年間乾物収量(1.29 kg m⁻²)は、年1回収穫区に比較して約20%の減収となったが、KRFo93-1では年2回収穫区の年間乾物収量(5.77 kg m⁻²)は、年1回収穫区と同程度以上の高いものであった。

このように、KRFo93-1が年2回収穫でも高い収量性を示した理由としては、株出し栽培で初期生育が優れていることがあげられる。また、KRFo93-1は2番草の乾物収量が高く、年間乾物収量に占める2番草の割合もNiF8よりかなり高かった。2番草の生育有効温度の下限値を解析した結果から、NiF8(13.5℃)よりKRFo93-1(12.5℃)の方が低温下での茎伸長に優れることも、年2回収穫で高い収量性を示した理由と考えられる。年2回収穫では1番草、2番草のいずれも収穫時の草姿は直立型であるため、年1回収穫と比較して収穫作業性の改善も認められた。また、乾物収量に、別途求めた乾物分解率を乗じて算出した可消化乾物収量も、年1回収穫区(2.38 kg m⁻²)より年2回収穫区(2.74 kg m⁻²)の方が高く、栄養収量でも年2回収穫が優れていること

* 元東京農業大学農学専攻教授

** 東海大学 准教授

が確認できた。以上のことから、KRFo93-1の栽培では、年1回収穫より年2回収穫での栽培が優れていることが明らかとなった。

次に、年3回収穫の導入についても検討した。試験にはKRFo93-1を用いて、年2回収穫区ならびに年3回収穫区における生育および収量性を2年間、比較検討した。その結果、年3回収穫区における1年目(1.90 kg m⁻²)および2年目(3.12 kg m⁻²)の年間乾物収量は、いずれも年2回収穫区より低かった。この理由としては、年3回収穫区では個体群生長速度の低い生育初期が収穫時期となることや、株出し後の茎伸長速度が低いことが考えられる。以上のことから、飼料用サトウキビの特徴である多収性を活かすためには、年2回収穫を基本にした栽培体系を構築すべきであると判断した。

2. 収穫時期の検討と安全性の確認

そこで、年2回収穫における収穫時期の設定について検討した。試験にはKRFo93-1を用いて、収穫時期の異なる処理区(5-7月区、5-8月区、5-9月区、5-10月区)を設け、生育および収量性を3年間比較した。その結果、処理区間に有意差は認められないものの、5-8月区および5-9月区の年間乾物収量(3.89 kg m⁻²)は、5-7月区や5-10月区よりも高い傾向が認められた。また、年2回収穫における収穫時期を工夫することで耕種的な雑草防除に寄与できることも明らかとなった。以上、収量性ならびに雑草との光競合回避による生育の安定性を考慮すると、設定した処理区の中では5-8月区が最適な収穫時期と考えられる。

飼料の安定確保のためには収量だけでなく、家畜の疾病に関する検討が必要であり、その場合、硝酸態窒素ならびにミネラルバランスが主要な評価項目となる。飼料中の硝酸態窒素は高濃度になると硝酸塩中毒の原因となることから、急性中毒を回避するための許容値として、乾物あたり0.2%という基準値が設けられている。また、ミネラルバランスはK/(Ca+Mg)当量比で評価し、この値が2.2を超えると、血中のマグネシウム欠乏が原因となりグラスステニー症の発生の危険性が高まる。そこで、KRFo93-1の硝酸態窒素濃度およびK/(Ca+Mg)当量比について、年2回収穫での栽培体系における生育段階との関係に着目しながら検討を行った。

すなわち、KRFo93-1を新植し、植付け後114日目から328日目まで、硝酸態窒素濃度およびK/(Ca+Mg)当量比を継続的に調査した。その結果、硝酸態窒素の濃度は、生育段階に関わらず基準値の0.2%を大きく下

回った。また、K/(Ca+Mg)当量比は、若い生育段階で高い傾向が認められたが、基準値の2.2を超える例は認められず、土壌のミネラルバランスが適正な場合はK/(Ca+Mg)当量比も適正となることも明らかとなった。このように、年2回収穫でKRFo93-1を栽培することは、硝酸態窒素濃度やK/(Ca+Mg)当量比などの飼料としての安全性という視点からも問題はないと判断される。

3. 栽培方法の検討

以上の結果を踏まえて、飼料用サトウキビの年2回収穫体系を想定し、栽培方法について検討した。サトウキビ栽培では、初期生育が緩慢なことが問題となることが多い。KRFo93-1も、株出しでの初期生育は優れるものの、新植では製糖用サトウキビと同様に、初期生育に問題が残る。KRFo93-1は茎数が多く、密植のための種茎確保が容易であるため、新植での初期生育を改善するのに密植が有効かどうかについて検証した。

試験にはKRFo93-1を用い、製糖用サトウキビの基準の栽植密度である対照区(6.36 芽 m⁻²)のほか、株間を狭めた1.5倍区(9.54 芽 m⁻²)および2倍区(12.7 芽 m⁻²)の2つの密植区を設け、初期生育および乾物収量について2年間、比較検討した。その結果、1.5倍区と2倍区において新植での初期生育が促進され、密植による有意な増収効果も認められた。これらの結果から、KRFo93-1の栽培体系では製糖用サトウキビの基準の1.5~2倍の密植が適していると考えられる。

KRFo93-1は、長期間に渡り株出し栽培を行う。そこで、株出し栽培における管理作業の株揃えについて検討した。飼料用サトウキビを機械収穫する場合は、地際から10cm程度で高刈りする。特に、サイレージに調製して保存する際は、品質の劣化をまねく土砂の混入を防ぐ必要があり、高刈りが必須となる。製糖用サトウキビの株出し栽培では生育促進のための管理作業として、収穫後の残株を地際まで刈り戻す株揃えが広く行われている。そこで、KRFo93-1の栽培において株揃えが必要であるか否かについて検討した。

試験にはKRFo93-1を用い、高刈り収穫後、株揃えをする対照区と、高刈りのままで株揃えをしない高刈区を設けて、新植から株出し6回目までの多回株出し条件下で生育ならびに収量性を比較検討した。その結果、高刈区では対照区と比べて茎数は同程度であるが、仮茎長が大きく推移した。また、高刈区では収穫時の一茎乾物重が大きく、株出し1回目から6回目まで検討したところ、合計乾物収量は対照区(13.7 kg m⁻²)に比較して

高刈区 (15.7kg m^{-2}) で有意な増収が認められた。このように高刈区で増収した理由としては、株揃えをしないと遅発の分けつが次作の茎として生育することと、残株の養分 (貯蔵性炭水化物など) が次作の生育に利用されることが考えられる。株揃え作業をしなくてすめば、省力的な栽培体系となるメリットもある。以上のことから、KRF093-1 の栽培では、多収かつ省力化に繋がる栽培管理として株揃えをしないことが推奨される。

さらに、KRF093-1 の多回株出し栽培で多収を維持する施肥方法について検討した。試験では、製糖用サトウキビの施肥量に準じた対照区のほか、 $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 当量比の低下ならびに施肥量の削減の検討するために、カリを減らした減カリ区と、カリを施用しない無カリ区を設けた。対照区、減カリ区、無カリ区の施肥量は、1作あたり $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ でそれぞれ、 $16.2:12.0:15.0$ (g m^{-2})、 $16.2:12.0:6.0$ (g m^{-2})、 $16.2:12.0:0.0$ (g m^{-2}) となる。試験には KRF093-1 を用い、株出し 6 回目までの生育、収量、養分吸収量、土壌養分含量を調査した。その結果、減カリ区や無カリ区では、植物体の K 濃度の低下および吸収の拮抗関係にある Ca、Mg 濃度が増加し、対照区より $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 当量比が有意に低くなった。一方で、株出し回数が進むにつれて減カリ区や無カリ区では対照区と比較して減収程度が大きくなり、株出し 4 回目以降では対照区と無カリ区の乾物収量には有意な差が認められた。以上のように、カリ減肥により $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 当量比は改善されたものの、乾物収量が低下したことから、多回株出し栽培においては対照区のレベルよりカリ減肥は難しいと判断した。

一方、対照区で三要素の施肥量と吸収量とを比較すると、窒素やリンは収支バランスが取れているもの、対照区においてもカリウムは吸収量が施肥量を上回っていた。また、多量要素のカルシウムとマグネシウムの吸収量が多く、土壌養分含量は対照区、減カリ区、無カリ区のいずれも株出し回数とともに大きく減少した。以上のように、多回株出し栽培で収量を維持するためには、カリウム、マグネシウム、カルシウムなどの吸収量が施肥量を上回る養分について、堆肥などを追加施用することが重要と考えられる。

4. 耐病性品種の育成

奄美地域および沖縄県向けのサトウキビ品種は、黒穂病抵抗性の付与が必要となる。黒穂病は糸状菌である黒穂病菌 (*Ustilago scitaminea* Sydow) によって引き起こされ、罹病すると健全に生育できず大きく減収する。

KRF093-1 は黒穂病抵抗性が中程度であることから、普及は黒穂病の発生していない熊本地域に限定されてきた。この問題は現在でも続いており、黒穂病の発生が認められる奄美地域や沖縄県で飼料用サトウキビを普及させるためには、KRF093-1 より黒穂病抵抗性の優れた品種が必須となってくる。

そこで、黒穂病抵抗性が優れ、株出し多収となることに目標として、黒穂病抵抗性の優れた製糖用品種 NiF8 を種子親、また糖含有率は低いが、株出し栽培の収量性が優れた種間雑種系統 KRSp93-26 を花粉親として交雑育種を進めた。実生選抜および栄養系選抜を種子島で行うとともに、生産力検定試験を種子島と、普及対象の奄美地域の徳之島で実施した。また、黒穂病の特性検定試験を沖縄県で実施した。この結果、NiF8 と同程度の強い黒穂病抵抗性を有するとともに、KRF093-1 と同程度の高い収量性を示す新品種しまのうしえを開発した。新品種のしまのうしえが育成できたことで、奄美地域および沖縄県でも、飼料用サトウキビの栽培が可能となった。

5. 収量予測モデルの構築

以上の検討結果を踏まえて南西諸島で飼料用サトウキビの普及を図る場合、それぞれの地域の自然条件の変異に対応して、収穫時期の設定などについて調整を行う必要も考えられる。そこで、本研究で得られた生育環境と収量データの関係性を精査することで、乾物収量の推移を一般化した収量予測モデルの構築を試みた。

すなわち、有効温度の下限値を 14.3°C とした有効積算温度 (X) と乾物収量 (Y) との関係性を解析した。代表的な S 字曲線であるロジスティック曲線で回帰したところ、株出し開始初期の乾物収量が過大評価された。一方、ゴンペルツ曲線を利用すると、乾物収量は $Y=6.21 [0.0127^{\exp(-0.00126X)}]$ という曲線で回帰でき、決定係数も $R^2=0.768$ と高かった。

このように飼料用サトウキビの乾物収量は有効積算温度から予測することができるため、今後はこの回帰式を活用することで、熊本地域における KRF093-1 の栽培管理スケジュール作成などを通して生産現場への貢献が期待される。

以上、本研究の結果、南西諸島において飼料用サトウキビを栽培するための技術体系を確立することができた。また、耐病性品種の育成にも至り、安定的な飼料確保の基盤を構築することができた。このことは、南西諸島における畜産の振興に大きく貢献するものである。

審査報告概要

本研究は、飼料用サトウキビ (*Saccharum* spp. hybrid) 品種の KRFO93-1 を中心にして、南西諸島における飼料用サトウキビの栽培体系の確立について検討したものである。高いバイオマス生産をあげると同時に収穫作業を効率的に進めるために新たに考案した年2回収穫体系の有用性を実証し、新植や株出し栽培で1番草は8月、2番草は翌年の5月の組合せが最適であることを明らかにした。密植すると増収し雑草防除効果も期待できること、株摘えは行わないで省力化できること、N・P・Kに加え、CaとMgの供給の必要性も解明した。

また、有効積算温度を利用した収量予測モデルも構築して、KRFO93-1の栽培体系を確立した。さらに、耐病性品種しまのうしえも育成し、南西諸島全域での飼料用サトウキビの栽培を可能とした。本研究の結果、畜産業が重要な南西諸島において、新規作物の飼料用サトウキビの栽培が普及し始めており、今後、南西諸島における飼料作物生産、さらに子牛生産に大きく貢献するものと期待できる。

よって、審査員一同は博士（農学）の学位を授与する価値があると判断した。