

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

境垣内岳雄

(2015年5月15日 受理)

要 旨

境垣内岳雄 (2016) 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。九州沖縄農研報告 65 : 1-74.

南西諸島における粗飼料の増産に向けて、基幹牧草ローズグラスの収量を上回る飼料用サトウキビ品種「KRFO93-1」が育成された。しかしながら、栽培体系が確立されていないため普及は円滑に進んでいなかった。そこで、熊本地域において飼料用サトウキビの栽培体系の確立に取り組んだ。

サトウキビは通常、年1回収穫で栽培されるが、「KRFO93-1」を年1回収穫で栽培すると長大化して倒伏が著しく、これが栽培上の課題となっていた。そこで、多収と高い作業性を両立する新しい収穫体系として、1作の栽培期間を短くした年2回体系を開発した。また、年2回の収穫時期を8月と5月に設定することで、雑草抑制にも繋がることを明らかにした。さらに、有効温度を14.3℃とする有効積算温度に基づいた乾物収量モデルを構築し、最適な収穫時期を汎用的に検討可能とした。

飼料用サトウキビは年2回収穫体系で栽培するが、その他の個別の栽培技術の開発も行った。栽植密度は製糖用品種の基準の1.5～2倍の密植にすることで、新植時の初期生育改善と乾物収量増加に繋がることを明らかにした。また、製糖用品種の栽培では必須とされる株出し時の管理作業の株揃えは、飼料用サトウキビでは不要であり、省力的な株出し管理の導入が可能であることを示した。さらに、施肥量は製糖用品種の1作に準じるものの、カリウム、マグネシウム、カルシウムでは吸収量が施肥量を上回るため、多回株出し栽培で多収を維持するためには、これら要素の追加施用が必要であることを明らかにした。

「KRFO93-1」は黒穂病抵抗性が十分でないため、奄美・沖縄地域で栽培を推奨できる飼料用サトウキビ品種がなかった。そこで、黒穂病に強く、かつ多収となる品種の開発に取り組み、製糖用品種「NiF8」と種間雑種系統「KRSp93-26」の交雑から、新品種「しまのうしえ」を育成した。「しまのうしえ」は、「NiF8」と同程度の強い黒穂病抵抗性を有し、また、「KRFO93-1」と同程度の高い収量性を示す。この品種の育成により、奄美・沖縄地域でも飼料用サトウキビの栽培が可能となった。

以上、本研究の結果、南西諸島における飼料用サトウキビの栽培体系を確立するとともに、黒穂病抵抗性の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。

キーワード：飼料用サトウキビ、栽培体系、年2回収穫、品種育成。

目 次

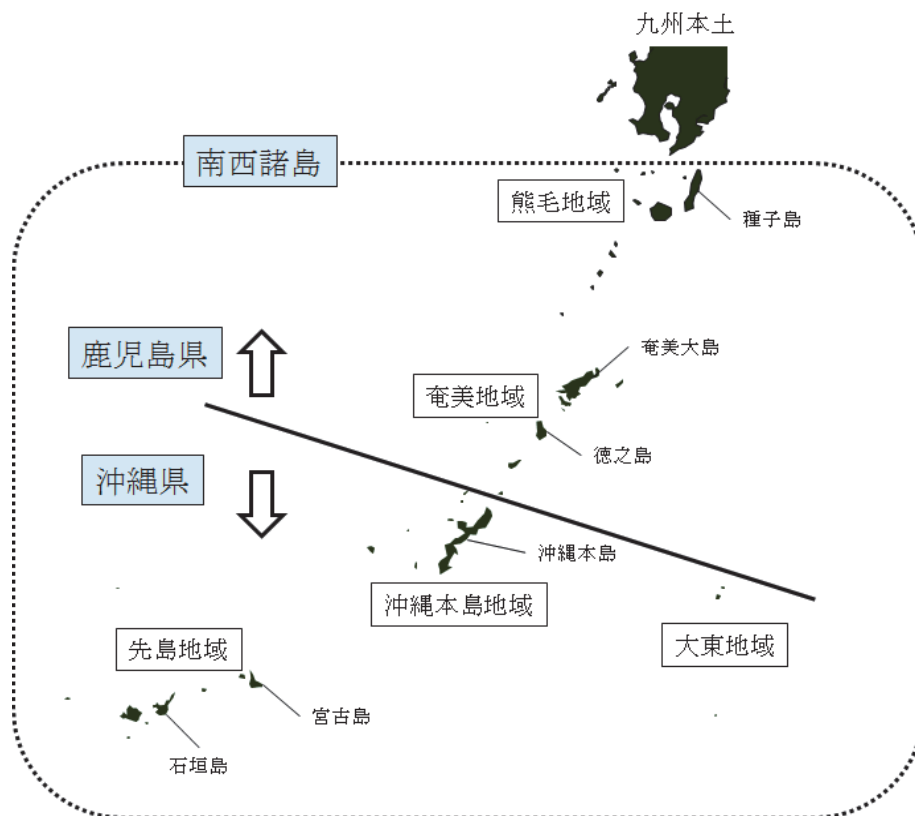
I. 緒言	2
II. 飼料用サトウキビ品種「KRFO93-1」の収穫体系の開発	6
1. 年2回収穫体系における生育および収量の検討	
2. 年3回収穫体系における生育および収量の検討	
3. 年2回収穫体系における収穫時期の設定	
4. 生育期間と飼料成分	
III. 飼料用サトウキビ品種「KRFO93-1」の栽培技術の開発	29
1. 栽培体系における最適栽植密度の検討	
2. 栽培体系における株揃え処理の検討	
3. 栽培体系における施肥方法の検討	
IV. 飼料用サトウキビ新品種「しまのうしえ」の育成	52
V. 総合考察	60
VI. 摘要	65
引用文献	
Summary	

I. 緒 言

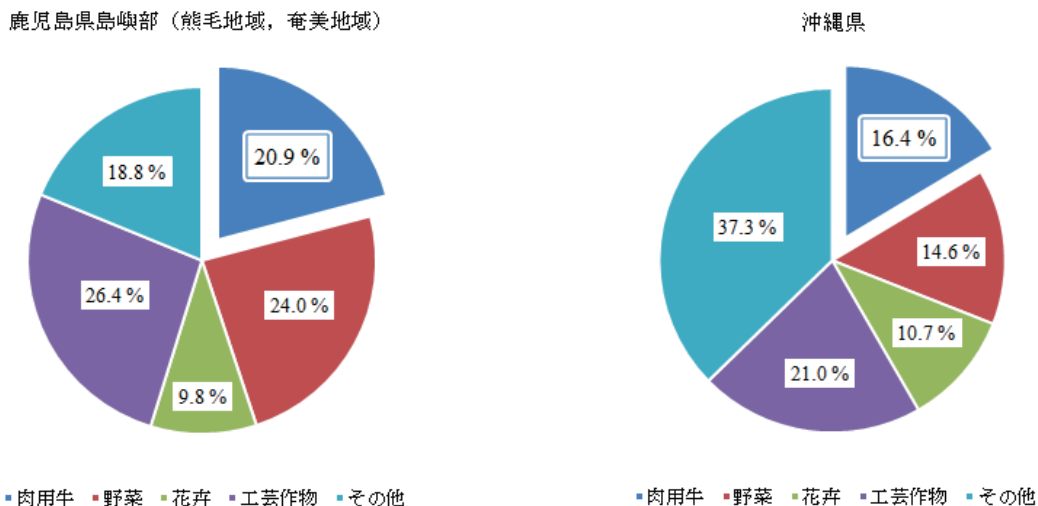
鹿児島県島嶼部（熊毛地域・奄美地域）と沖縄県は、南西諸島と総称される（第1図）。

第2図が示すように、鹿児島県島嶼部の農業生産額は397億円であり、肉用牛が20.9%、野菜が24.0%、花卉が9.8%、工芸作物（主にサトウキビ、茶なども含む）が26.4%を占める（熊毛地域農政企画推進会

議編2013, 奄美群島農政推進協議会編 2014)。また、沖縄県では養豚の生産額が多いことが異なるものの、鹿児島県島嶼部とはほぼ同様に、農業生産額877億円のうち、肉用牛が16.4%、野菜が14.6%、花卉が10.7%、工芸作物（主にサトウキビで、葉たばこや茶も含む）が21.0%を占める（農林水産省 2014a)。このように南西諸島では、肉用牛を中心とする畜産、野菜や花卉などの園芸、サトウキビ作を3本柱とする農業が産業の基盤となっている。

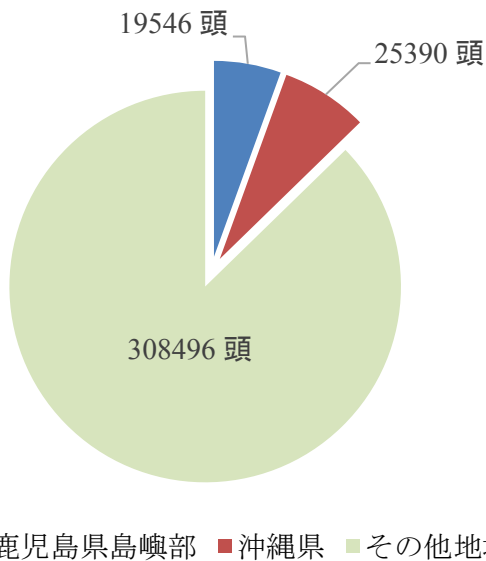


第1図 南西諸島の位置と構成



第2図 鹿児島県島嶼部並びに沖縄県の農業生産額に占める各部門の割合

3本柱の1つである畜産では、肉用牛子牛が南西諸島全域で基幹となる品目である。セリ市場別の統計資料（農畜産業振興機構 2013）をもとに算出すると、2013年では全国の子牛（黒毛和種）セリ頭数約353,000頭のうち、鹿児島県島嶼部から約20,000頭、沖縄県から約25,000頭が出荷されており、南西諸島全体で全国の約13%を占めている（第3図）。このように、南西諸島の農業で重要な子牛生産は、我が国の畜産にとっても重要なものである。

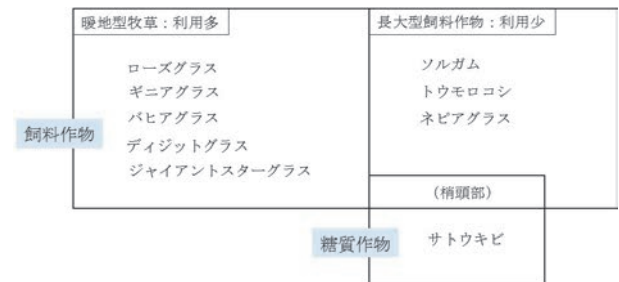


第3図 全国の子牛セリ頭数に占める南西諸島の割合

畜産経営では安定した飼料の供給がポイントとなるが、現在、我が国の飼料自給率は26%と低く、かつては自給できていた粗飼料の自給率も76%に低下している（農林水産省 2014b）。農林水産省は、畜産経営の基盤強化のために飼料自給率の向上を施策として打ち出し、2020年までに飼料自給率を38%まであげること、また粗飼料については100%完全自給を達成することを目標としている。我が国で重要な位置を占めている南西諸島の畜産では、子牛生産の規模拡大と飼養頭数の増加が続いており（樽本 2008）、飼料の生産性向上を通じた粗飼料の増産と栽培コストの低減は喫緊の課題となっている。

現在、南西諸島では、粗飼料として暖地型牧草が利用されており（第4図）、特にローズグラス（*Chloris gayana*）が全域で栽培されている主要な草種である。ローズグラスが広く普及している理由として、収穫からラップサイレージ調製までの一貫した機械体系が整備されていることが挙げられる

（長谷ら 2005, 霍田・蝦名 2009）。また、ローズグラスはTDN（可消化養分総量）が64.8%で（独立行政法人農業技術研究機構編 2001）、子牛生産に十分な栄養価を有している。しかしながら、ローズグラスは低温伸長性が劣ること（長谷ら 2005）、南西諸島でしばしば問題となる干ばつに弱いこと（北村 1983, Nakagawa and Momonoki 2000）、また、永年草であるが、土壌・利用条件によっては数年程度で草勢が衰えて使用できなくなること（霍田・蝦名 2009）などの課題もある。



第4図 南西諸島で栽培されている飼料作物の分類

一方、ローズグラスなどの暖地型牧草のほか、トウモロコシ（*Zea mays*）、ソルガム（*Sorghum bicolor*）、ネピアグラス（*Pennisetum purpureum*）などの長大型飼料作物も粗飼料生産に利用されている（第4図）。収量ポテンシャルは概して長大型飼料作物の方が高いが（Cooper 1970, 中川 2009）、南西諸島における栽培面積は牧草類に及ばないのが現状である。この理由として、トウモロコシやソルガムは台風の襲来を受けると折損や倒伏による被害が甚大であること、また、ネピアグラスは高い収量性を発揮するものの、乾物重の増加に伴って乾物消化率が低下するため（北村ら 1982, 宮城 1987）、収穫適期幅が短く利用が難しいことが挙げられる。長大型飼料作物の普及は進んでいないが、粗飼料生産性を大幅に改善するためには、収量ポテンシャルの高い長大型作物を活用することが、一つの方策として考えられる。

その他、南西諸島の自然環境に適応し、広く栽培されている長大型作物としてサトウキビ（*Saccharum spp. hybrid*）が挙げられる。サトウキビは糖質作物として栽培されているため、ショ糖が蓄積する茎が収穫対象で、茎以外の梢頭部などは副産物として位置づけられる（写真1）。しかしながら、梢頭部の栄養価は輸入エンバク（*Avena*

sativa) 乾草と同程度であることが報告されており (田中ら 2009), また, 採食性も良いことから, 南西諸島では昔から貴重な粗飼料として冬季を中心に利用されている。ただし, 利用できる時期や量が製糖用サトウキビの生産状況に大きく影響を受けるため, 主要な粗飼料としては位置づけられていない。

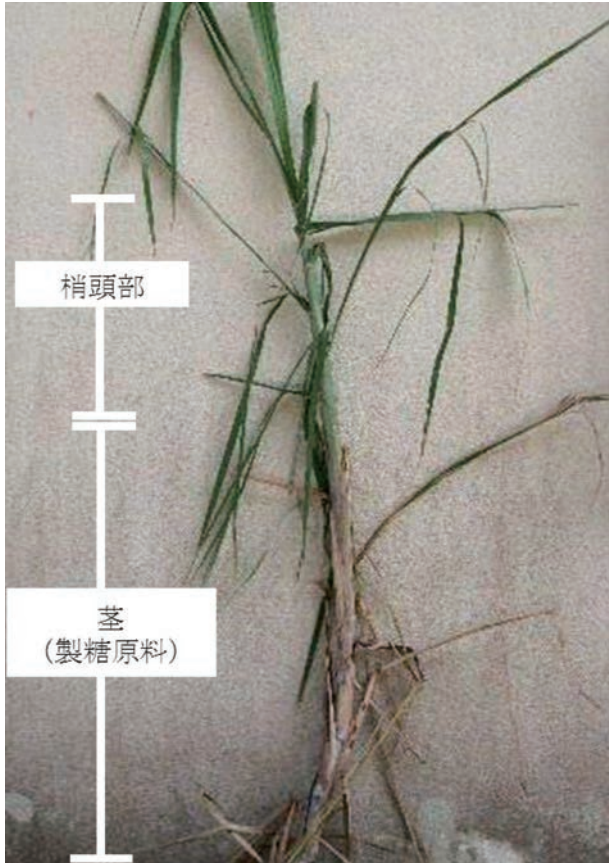


写真1 製糖用サトウキビの茎および梢頭部

農研機構九州沖縄農業研究センターでは, サトウキビを粗飼料としても利用するために, 梢頭部だけでなく茎葉全体を粗飼料とする飼料用品種の開発が進められている (杉本ら 2001, 杉本ら 2003)。製糖用サトウキビ (*Saccharum spp. hybrid*) とサトウキビ野生種 (*Saccharum spontaneum*) との種間雑種はバイオマス生産性が高いことが明らかとなっている (Roach 1978, Jackson 1994, Nagarajan *et al.* 2000)。そこで, 製糖用サトウキビ (品種:「NC0310」) を母本, サトウキビ野生種 (インドネシア原産の野生種「Glagah Kloet」) を父本とする種間交雑で得られた実生から個体選抜, 栄養系選抜を重ねて, 我が国初の飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」を育成した (写真2) (寺島ら 2007, 境垣内・寺島 2008)。



写真2 我が国初の飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」

「KRF093-1」の普及対象地域は鹿児島県熊毛地域であるが, 九州南部の無霜地域の一部でも栽培されている。「KRF093-1」は株出し能力が高く (写真3), 種子島ではローズグラスの2倍以上の高い乾物収量が得られている (第5図; 寺島ら 2007, 境垣内・寺島 2008)。

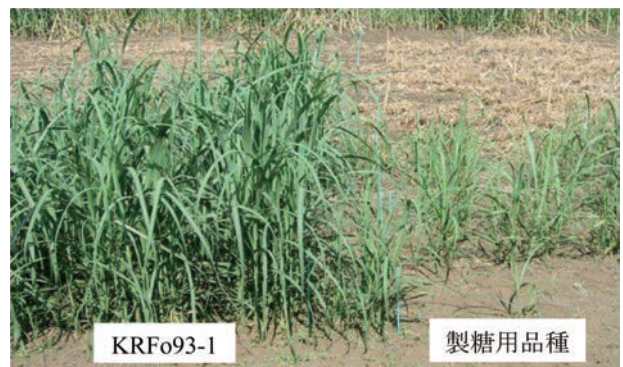
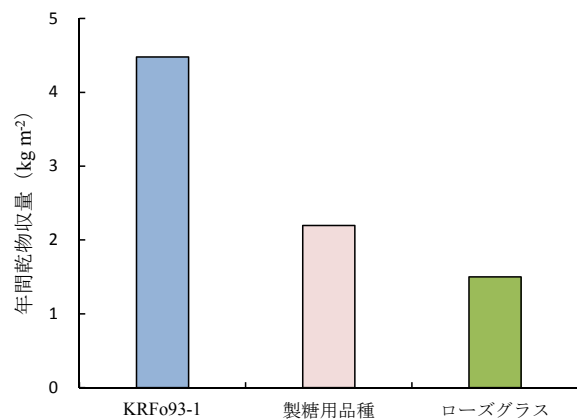


写真3 飼料用サトウキビ「KRF093-1」の株出し能力



第5図 飼料用サトウキビ「KRF093-1」の乾物収量

また、「KRF093-1」は、台風や干ばつなどの自然災害にも比較的強い。さらに、生育期間の長さに関係なく栄養価がほぼ一定で、収穫適期幅が広い（Suzuki *et al.* 2010）、ネピアグラスで問題となるような刈り遅れによる栄養価の低下はない。以上のように、飼料用サトウキビは、既存の長大型飼料作物の欠点を克服した新規作物として、南西諸島の粗飼料生産性を大幅に改善させる可能性を有している。

しかしながら、飼料用サトウキビは新規作物であることから、「KRF093-1」の品種育成時には生産者に推奨できる栽培体系が確立されていなかった。実際に「KRF093-1」の栽培を試みた生産者からは、植付けや施肥方法などの栽培管理の指針がなく導入に躊躇する。特に、製糖用サトウキビと同じ年1回の収穫体系で栽培すると倒伏が著しく収穫が困難である、という意見が寄せられている。したがって、「KRF093-1」を普及・定着させるためには、生産者に推奨できる飼料用サトウキビ向けの新しい栽培体系を構築することが喫緊の課題である。

そこで、新規作物としての飼料用サトウキビの栽培を推し進め、南西諸島で飼料を安定供給することを最終目標として、本研究では、種子島で飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」を普及させるための栽培体系の確立を目指した。構成は以下のとおりである。

まず飼料用サトウキビの栽培で最も重要な収穫に着目して栽培体系の開発を行った（Ⅱ）。飼料用サトウキビを、製糖用サトウキビと同様に年1回の収穫体系で栽培すると倒伏が著しく、収穫作業が困難である。そこで、1作の栽培期間を短くした年2回収穫（Ⅱ-1）、また年3回収穫（Ⅱ-2）について、それぞれ検討した。サトウキビは製糖用として利用する場合は年1回の収穫体系で栽培されるため、年間に複数回、収穫することについての研究例はない。しかしながら、エネルギー用や飼料用として利用することを想定して、年間に複数回、収穫することについては先行研究があり、収穫回数が増えると年間の合計乾物収量が減少することが報告される（Mislevy *et al.* 1995, Lin 2005, Sansayawichai *et al.* 2006）。そこで、収穫時の草姿など収穫作業性を上げることだけでなく、年2回・年3回収穫で年間乾物収量を最大化することも考慮して、最適な収穫回数について検討した。その結果、年2回収穫が

飼料用サトウキビの収穫体系として適していることが明らかとなったので、年2回収穫の場合の収穫時期の設定について検討した（Ⅱ-3）。

また、飼料用サトウキビは製糖用サトウキビと異なり飼料成分の評価が必要となる。飼料成分のうち、硝酸態窒素およびK/(Ca+Mg)当量比で示されるミネラルバランスについて評価した（Ⅱ-4）。特に、年2回収穫のように1作の生育期間が短い場合での影響について検討した。

製糖用サトウキビで確立している既存の栽培技術を基礎としながら、年2回収穫する飼料用サトウキビ用の栽培体系を確立するため個別技術の検討を行った（Ⅲ）。まず、最適な栽植密度について検討した（Ⅲ-1）。サトウキビは初期生育が遅いことが栽培上の課題とされているため（寺内ら 1999, 寺内・松岡 2000, Allison *et al.* 2007）、密植により「KRF093-1」の初期生育が改善できるかを中心に評価した。

次に、株揃え処理の要否について検討した（Ⅲ-2）。飼料用サトウキビをサイレージ利用する際は土砂の混入を防ぐため、地際から10cm程度の高刈りで収穫する必要がある。製糖用サトウキビでは次作の株出しを良好にするために、収穫後の残茎を地際まで刈戻す株揃え処理が行われているが（Yadav 1992, 樋高 2010）、株出し能力の高い「KRF093-1」でもこの作業が必要かどうかを中心に評価した。

さらに、飼料用サトウキビ栽培に必要な施肥量について検討した（Ⅲ-3）。サトウキビはカリウムを贅沢吸収しやすい作物とされているため（宮里 1986, Calcino *et al.* 2000）、多回株出し栽培におけるカリ施肥量と収量の関係を中心に評価した。

以上の研究の結果、種子島で「KRF093-1」を安定的・持続的に栽培するための基礎的な知見が得られた。ところで、「KRF093-1」はサトウキビの重要病害である黒穂病（山内 1989, Comstock 2000）に対する抵抗性が十分ではないため（境垣内・寺島 2008）、普及は黒穂病の発生が認められない鹿児島県熊毛地域以北に限られていた。そこで、飼料用サトウキビを奄美地域や沖縄県まで拡大させるために、黒穂病抵抗性を強化した多収の飼料用サトウキビ新品種として「しまのうしえ」を育成した。この新品種の育成経過および特性について報告する（Ⅳ）。

上記の研究結果をもとにして、飼料用サトウキビ

品種「KRFo93-1」の栽培体系を構築するための総合考察を行った(V)。なお、本研究の大部分は、種子島という限られた環境で実施したものである。しかしながら、熊本地域以北を普及対象とする「KRFo93-1」に引き続き、奄美・沖縄地域を普及対象として新たに育成した品種「しまのうしえ」は、今後、より広域に普及することが期待される。また、農業現場では、本研究で設定した以外の時期に収穫することもありうる。このため、研究結果のうち生育環境と収量の関係性を整理して、収量を予測する推定式を考案し、生産現場での作業計画の策定に寄与することを目指した。

本研究は、東京農業大学に学位論文として提出したものである。研究の取りまとめにあたっては、東京大学名誉教授・東京農業大学教授の森田茂紀博士に丁寧なご指導をいただいた。

本研究は九州沖縄農業研究センター種子島試験地の研究職員、業務第3科職員、事務職員並びに非常勤職員のご協力を得て実施したものである。中でも、「KRFo93-1」の開発を中心に進められた寺島義文氏(現国際農林水産業研究センター)および杉本明博士(元九州沖縄農業研究センター)からは、研究を始めるにあたり多くのご助言をいただいた。また、歴代のさとうきび育種研究室長並びにグループ長である松岡誠博士、寺内方克博士(現中央農業総合研究センター)および樽本祐助博士からは研究実施にあたり丁寧なご指導をいただいた。

飼料用サトウキビの研究にあたっては畜産草地学の知見も必要となるため、九州沖縄農業研究センター畜産草地研究領域の皆様にもご指導をいただいた。特に、服部育男博士、神谷充博士、鈴木知之博士(現国際農林水産業研究センター)、田中正仁博士には飼料特性および給与方法についてご教示いただくとともに、長期間にわたり現地試験を共同で実施いただいた。その他、生育モデルの開発では丸山篤志博士(中央農業総合研究センター)および手塚隆久博士に、植物栄養の解析については安藤象太郎氏(国際農林水産業研究センター)に、黒穂病特性検定については、内藤孝氏(沖縄県農業研究センター)および伊禮信氏(沖縄県農業研究センター)にご指導、ご尽力をいただいた。一人一人のお名前を挙げることはできないが、多くの方に支えられて研究を実施することができた。記して、心より感

謝申し上げる。

II. 飼料用サトウキビ品種「KRFo93-1」の収穫体系の開発

1. 年2回収穫体系における生育および収量の検討

日本の製糖用サトウキビの栽培期間は作型によって異なり、春植え栽培と株出し栽培でおよそ12ヶ月、夏植え栽培ではおよそ18ヶ月である。いずれの場合も、収穫は年1回もしくは2年に1回の頻度であり、1作の栽培期間は長い。製糖用サトウキビの栽培体系に準じて飼料用品種「KRFo93-1」を年1回収穫にすると、生育が旺盛なため長大化して倒伏が著しく、収穫作業が困難となる。このことが、「KRFo93-1」の普及を拡大するための大きな課題である。

これを解決する方法として、収穫までの期間を短縮することが考えられる。つまり、現在の製糖用サトウキビに準じた年1回収穫体系の代わりに、収穫時期を分散させて年2回収穫体系を導入するというアイデアである。そうすれば、1作あたりの生育期間が短くなり、1番草、2番草とも長大化する前の倒伏しない状態で収穫できるため、作業効率の向上が期待される。

しかし、サトウキビの栽培上の課題として初期生育が遅いことがあり、特に、新植での初期生育の向上を大きな課題とする報告が多い(寺内ら 1999, 寺内・松岡 2000, Allison *et al.* 2007)。年2回収穫体系を採用すると、1番草および2番草の両者が初期生育期間を経るため、生育の遅い初期生育期間が長くなり、年間合計収量が減少する恐れがある。製糖用サトウキビでは年2回収穫体系は現実的でないが、飼料やエネルギー生産を目的として年間に複数回収穫した研究例がある。これによると、収穫回数が増加するにつれて年間の合計収量が減少することが示されている(Mislevy *et al.* 1995, Lin 2005, Sansayawichai *et al.* 2006)。

しかしながら、「KRFo93-1」は株出しでの初期生育が非常に優れるという特性を持っている(境垣内・寺島 2008)。このため、株出し栽培で年2回収穫しても収量低下を軽減でき、年1回収穫体系と同様の高い収量が得られる可能性がある。また、サトウキビの収量はS字曲線を描いて推移し、個体群生長速度は生育初期と生育後期の登熟期で小さく、両者

の中間の伸長期では大きいことが知られている（宮里 1986, 島袋 1997）。年 2 回収穫体系で栽培すれば個体群生長速度が低下する登熟期を経ずに収穫されるため、年 2 回収穫で生じる初期生育期間の拡大の影響が補償できる可能性もある。

そこで II-1 では、飼料用品種「KRF093-1」と製糖用基幹品種「NiF8」を株出し栽培して、年 1 回と年 2 回の収穫体系における生育と収量を比較して、年 2 回収穫体系の導入が「KRF093-1」として適切であるかを評価した。

また、サトウキビの生長は大きな季節変化があり（砂川・田名 1968, 島袋ら 1980, 島袋 1997）、生長と気温との間には密接な関係があることが示されている（大内山・酒匂 1960, 小野・中西 1983）。小野・中西（1983）や Allison *et al.*（2007）は、日平均気温と生育に有効な下限温度との差を積算した有効積算温度により、サトウキビの生長を評価している。試験地の種子島は南西諸島の最北端に位置し、冬季の低温が生育の大きな制限要因となる。このため、年 2 回収穫体系での生育や収量の評価にあたっては、特に、気温や有効積算温度との関係も検討した。

1) 材料および方法

(1) 耕種概要と収穫時期

栽培試験は2005年から2008年までの3年間、鹿児島県西之表市の九州沖縄農業研究センター種子島試験地圃場（北緯30° 44′, 東経131° 04′, 黒ボク土）で実施した。供試品種として飼料用サトウキビ品種の「KRF093-1」と製糖用サトウキビの基幹品種の「NiF8」を用いた。

試験区は1区8.0m²（2m×4畦）の3反復であり、

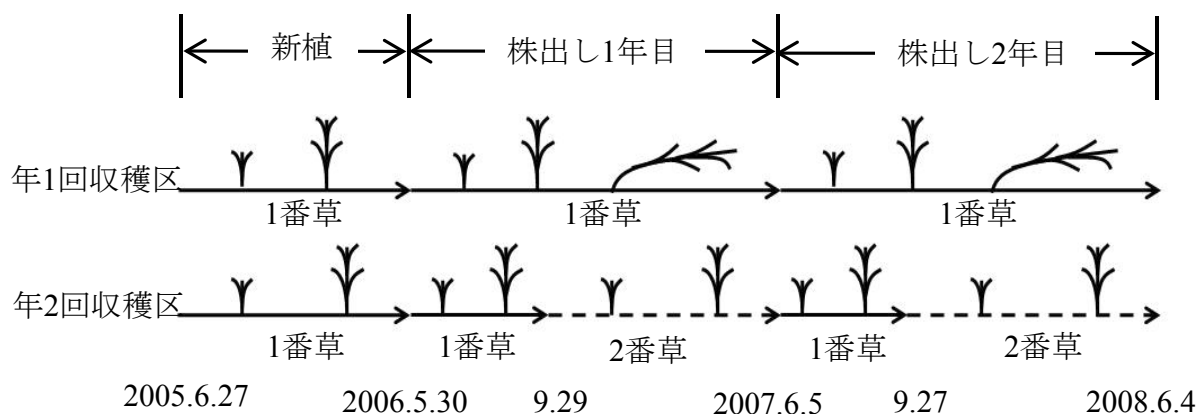
主区を収穫回数（年 1 回収穫, 年 2 回収穫）、副区を品種（「KRF093-1」, 「NiF8」）とする分割区法とした。

設定した収穫体系別の収穫時期を第 6 図に示す。2005年6月27日に製糖用サトウキビに準じて、両品種とも1芽苗で7.0芽 m²の密度で植付けた（畦間は100cm, 株間は約14.3cm）。新植では年 2 回収穫を行わず、2006年5月30日に全ての区を収穫した。

2006年5月30日から2007年6月5日までを株出し1年目として、株出し1年目から収穫回数の処理を加えた。年 1 回収穫区では新植を収穫した後に株出しを行い、371日後の2007年6月5日に1番草のみを収穫した。年 2 回収穫区では、株出し122日後の2006年9月29日に1番草を収穫し、再度、株出しを行い、249日後の2007年6月5日に2番草を収穫した。

2007年6月5日から2008年6月4日までを株出し2年目とした。年 1 回収穫区では365日後の2008年6月4日に1番草のみを収穫した。年 2 回収穫区では114日後の2007年9月27日に1番草を収穫後、再度、株出しを行い、251日後の2008年6月4日に2番草を収穫した。なお、以後、年 1 回収穫区の1番草については年 1 回収穫区とだけ記し、年 2 回収穫区については番草を付けて、年 2 回収穫区の1番草, 2番草と記す。

新植, 株出し1年目, 2年目のいずれの場合も, 1作あたり, 植付け時に基肥として N:P₂O₅:K₂O で 5.8:9.6:4.8 (g m²), 追肥として N:P₂O₅:K₂O で 7.2:0.0:7.2 (g m²) の化学肥料を施用した。新植では基肥を植付け時の6月下旬に, 追肥を8月上旬に施用した。株出し1年目, 2年目において, 年 1 回



第 6 図 試験で設定した収穫体系別の収穫時期

収穫区は基肥を6月上旬、追肥を7月中旬に施用した。年2回収穫区の1番草は基肥を6月上旬、追肥を7月中旬に施用し、2番草は基肥を9月下旬、追肥を3月下旬に施用した。1作あたりの施肥量は同じであったが、年2回収穫区では1番草、2番草を栽培したために、年間の合計施肥量は年1回収穫区の2倍となる。植付けや肥培管理は製糖用サトウキビに準じて行ったが、製糖用サトウキビ栽培で通常、実施する株元への高培土は行わず、平培土のみとした。

(2) 生育調査および収穫調査

生育調査として、株出し2年目には年間を通じて仮茎長を測定した。仮茎長は地際から最上位の肥厚帯までの長さとした。年1回収穫区では株出し後51, 76, 105, 365日目に測定した。年2回収穫区の1番草では株出し後51, 76, 105日目に、2番草では株出し後151, 175, 207, 251日目にそれぞれ測定した。仮茎長は各区とも中央2畦の各5茎を対象とし測定した。また、各調査期間中の仮茎長の伸長量を生育日数で除して、1日あたり茎伸長速度を算出した。

収穫調査では、生草収量、乾物収量、収穫茎数、仮茎長、茎径、蔗汁 Brix、乾物率を測定した。生草収量は、各区とも試験区の地上部を地際で全刈りして重量を測定した。生草収量の測定に用いたサンプルの一部を、カッターで約2cmに切断し、65℃で48時間以上、十分に乾燥させた後、乾物重を測定した。生草重に対する乾物重の割合から乾物率を算出した。乾物収量は生草収量と乾物率の積により算出した。収穫茎は葉鞘が枯れて剥がれ、茎部が外側から見える茎（収穫茎は概して生育が進み、仮茎長が大きい茎）とした。茎径は葉鞘を取り除いた後、茎中央の節間の短径部分をデジタルノギスで測定した。蔗汁 Brix は、梢頭部を切除した茎を圧搾機にかけて搾汁液を採取した後、デジタル屈折計（アタゴ RX5000 a）で測定した。

(3) 有効積算温度

有効温度の下限値は、出葉速度を指標として算出した小野・中西（1983）を参考にして10℃とした。九州沖縄農業研究センター種子島試験地の気象観測データを用いて、有効積算温度は以下の式で算出した。

$$GDD = \sum_i^d (t - 10)$$

ここで、GDDは有効積算温度、dは生育日数、tは

日平均気温を示す ($t > 10$)。

(4) 統計解析

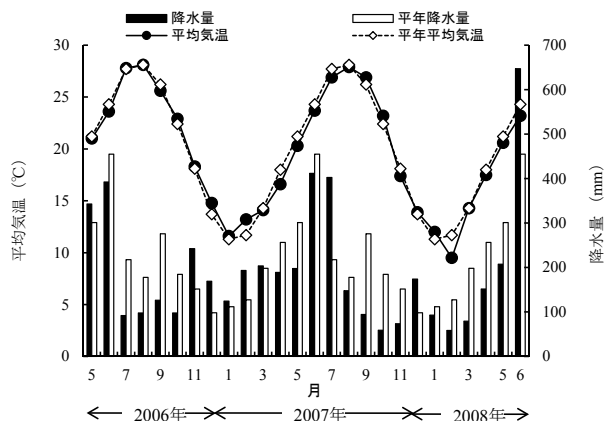
得られたデータの統計解析は統計処理ソフト (SPSS ver. 10.0) を用いて、主区を収穫回数、副区を品種とする分割区法による分散分析を行った。なお、新植では分割区を設定していないため、対応のないt検定 (両側) により品種間の有意差検定のみを行った。

2) 結果

(1) 気象概況

試験期間の株出しの2年間にあたる2006年5月から2008年6月までの月別の平均気温と降水量およびこれらの平年値を第7図に示す。試験地の種子島は南西諸島の中では高緯度に位置するため、12月から3月までの年平均気温は15℃以下であり、特に、1月や2月では小野・中西（1983）の示す生長温度の下限値である10℃をわずかに上まわる程度である。年平均降水量は6月の梅雨時と9月の秋雨時に多く、また、年平均降水量が少ない月でも100mm程度が期待できる。したがって、試験地における主な生育制限要因は冬季の低温と言える。

試験期間の平均気温は、2008年の2月にやや平年値より低かったことを除き、平年値と大きな差異はなかった。降水量は平年値よりもやや少ない傾向が認められたが、試験期間を通して大きな干ばつはなく、水不足による極端な生育抑制はなかった。試験地は無霜地帯に位置するが、2007年2月3日には霜害 (最低気温 -0.5℃) を受け、「KRF093-1」、「NiF8」ともに葉の一部の枯死が認められた。



第7図 試験期間中の月別の降水量と平均気温
株出し1年目: 2006年5月~2007年6月, 株出し2年目: 2007年6月~2008年6月。

(2) 生育日数および有効積算温度

株出しの2年間における年1回収穫区、年2回収穫区の1番草、2番草の生育日数と有効積算温度を第1表に示す。

株出し1年目の生育日数および有効積算温度は、それぞれ371日、3635℃ dayであった(第1表)。また、株出し2年目の生育日数および有効積算温度は、それぞれ365日、3542℃ dayであった。株出し1年目、2年目ともに、年2回収穫区の1番草は生育期間が年間の約30%と少なかったが、平均気温が高い夏季に生育するため有効積算温度では年間の約55%を占めていた。逆に、2番草は生育日数が多いものの、有効積算温度では約45%と1番草より少なかった。

第1表 生育日数および有効積算温度

株出し年数	収穫体系	番草	生育日数 (日)	有効積算温度 (℃ day)
1年目	年1回	1番草	371	3635
	年2回	1番草	122(33)	1983(55)
		2番草	249(67)	1652(45)
2年目	年1回	1番草	365	3542
	年2回	1番草	114(31)	1920(54)
		2番草	251(69)	1622(46)

注：有効積算温度は有効温度の下限値を10℃として計算。
()内の数字は1、2番草の生育期間の年間合計に占める割合を示す。

(3) 新植の収穫時の諸特性および収量

新植の収穫時における収穫茎数、仮茎長は「NiF8」よりも「KRFo93-1」が大きく、茎径、蔗汁Brixは小さかった(第2表)。このように、「KRFo93-1」および「NiF8」ともに飼料用あるいは製糖用に適した品種特性が認められた。新植の収穫時における、「KRFo93-1」の乾物収量は2.67kg m²であり、「NiF8」は半分以下で1.28kg m²であった。

第2表 新植の収穫時の諸特性および収量

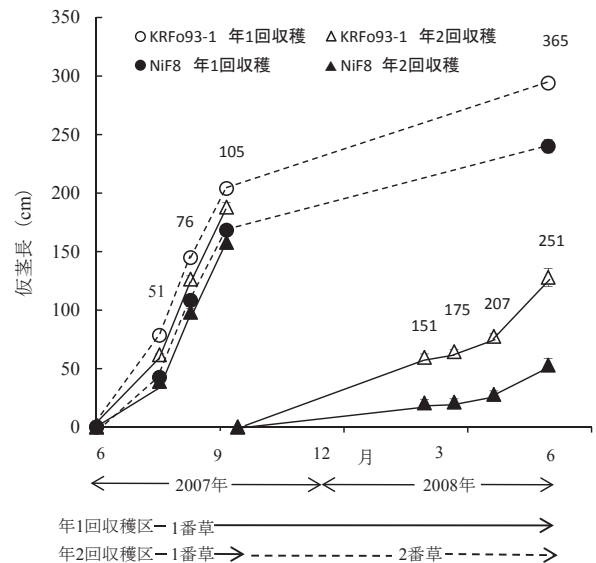
品種	収穫茎数 (本 m ²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁Brix (%)	生草収量 (kg m ²)	乾物収量 (kg m ²)
KRFo93-1	17.9	179	16.0	11.5	11.3	2.67
NiF8	7.9	157	20.5	18.1	5.3	1.28
有意差	**	n.s.	**	**	**	**

注：**はt検定により1%水準で有意差があること、n.s.は有意差がないことを示す。

(4) 年1回および年2回収穫体系での仮茎長の推移

株出し2年目における、「KRFo93-1」と「NiF8」の年1回および年2回収穫区の1番草、2番草の仮茎長の推移を第8図に示す。両品種ともに年1回収穫区の仮茎長は年2回収穫区の1番草より、収穫時期まで継続して大きかった。分散分析の結果、株出し後105日目まで収穫回数による有意差が認められた(株出し後51、105日目でP<0.10、株出し後76日目でP<0.05)。また、品種間で比較すると、年2回収穫区の1番草の収穫時期まで「KRFo93-1」は「NiF8」よりも仮茎長が大きく推移し、品種による有意差が認められた(株出し後51、76、105日目いずれもP<0.01)。

年1回収穫区の仮茎長を品種間で比較すると、生育期間を通じて「KRFo93-1」が「NiF8」よりも大きかった。両品種ともに株出し後105~365日目の仮茎長の伸長量は、株出し後0~105日目までの伸長



第8図 年1回および年2回収穫体系での仮茎長の推移(株出し2年目)

縦棒は標準誤差を示す(n=3)。

シンボルの上の数字は株出し後の生育日数を示す。

年1回収穫区を破線、年2回収穫区を実線でつなぎ示す。

量より小さかった。

また、年2回収穫区の2番草についても同様に、「KRFo93-1」の仮茎長は「NiF8」よりも大きく推移したが、この生育期間は低温期の冬季を含むため、両品種とも年2回収穫区の1番草と比較して2番草の仮茎長が小さく推移した。

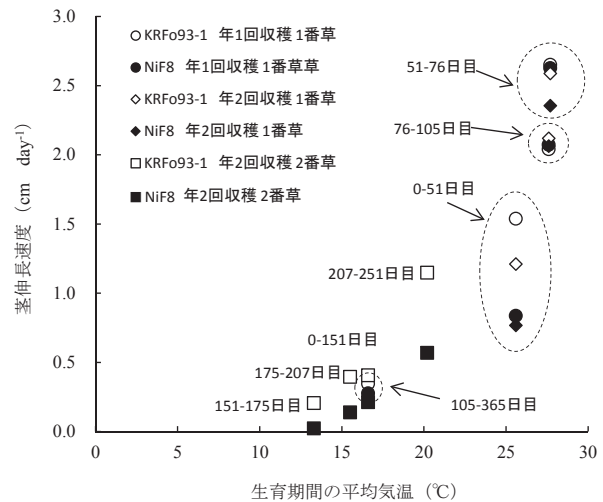
「KRFo93-1」および「NiF8」ともに、生育期間中の平均気温が高いほど1日あたり茎伸長速度が大きかった(第9図)。同時に株出しを開始したにも関わらず、収穫体系別では、年2回収穫区よりも年1回収穫区の仮茎長が大きく、また、品種間では「NiF8」よりも「KRFo93-1」の仮茎長が大きかった(第8図)。しかし、1日あたり茎伸長速度でみると、株出し後0~51日目では仮茎長と同様の傾向が認められたが、生育が進むにつれて差が小さくなり、株出し後76~105日目では全ての区で茎伸長速度がほぼ同じになった。分散分析の結果、茎伸長速度は、収穫回数間で比較すると株出し後0~51日目で $P < 0.10$ 、51~76日目で $P < 0.05$ 、76~105日目で $P = 0.73$ であり、品種間で比較すると株出し後0~51日目で $P < 0.01$ 、51~76日目で $P = 0.23$ 、76~105日目で $P = 0.94$ であった。

年1回収穫区の株出し後105~365日目では、「KRFo93-1」と「NiF8」の茎伸長速度はほぼ同様であり、「KRFo93-1」が 0.35 cm day^{-1} 、「NiF8」が 0.28 cm day^{-1} と共に低かった。また、低温期の冬に生育する年2回収穫区の2番草では、生育期間を通して「NiF8」よりも「KRFo93-1」の1日あたり茎伸長速度が大きく、特に、平均気温が 20.2°C と暖かくなった株出し後207~251日目で両品種間の差が大きかった。

(5) 年1回および年2回収穫体系での収穫時の諸特性

年1回および年2回収穫区の収穫時の諸特性については、株出し1年目、2年目ともほぼ同様の傾向であったため、2年間の平均値を中心に結果を示す。

収穫茎数についてみると、「KRFo93-1」では2年間の平均値は、年1回収穫区が 39.6 本 m^{-2} 、年2回収穫区の1番草、2番草がそれぞれ 24.5 本 m^{-2} 、 35.4 本 m^{-2} であり、年2回収穫区の1番草が最も収穫茎数が少なかった(第3表)。品種間で比較すると「KRFo93-1」は「NiF8」より著しく収穫茎数が多かった。



第9図 生育期間の平均気温と茎伸長速度の関係 (株出し2年目)

シンボルは仮茎長調査時の平均値を示す。

シンボル付近の数字は株出し後の生育期間を示す。

年1回および年2回収穫区とも1番草のみ破線で囲い示す。

仮茎長についてみると、「KRFo93-1」では2年間の平均値は、年1回収穫区が 292 cm 、年2回収穫区の1番草、2番草がそれぞれ 218 cm 、 118 cm であり、年1回収穫区、年2回収穫区の1番草、2番草の順に仮茎長が大きかった。品種間で比較すると「NiF8」の仮茎長は「KRFo93-1」よりも短かった。なお、観察による評価であるが、「KRFo93-1」の年1回収穫区では著しい倒伏が見られたものの、年2回収穫区では1番草、2番草ともに草姿は直立であった。

蔗汁 Brix についてみると、「KRFo93-1」では2年間の平均値は、年1回収穫区が 12.3% 、年2回収穫区の1番草、2番草がそれぞれ 11.1% 、 6.0% であり、年1回収穫区、年2回収穫区の1番草、2番草の順に蔗汁 Brix で大きかった。製糖用サトウキビの栽培法に準じた年1回収穫区では、「KRFo93-1」と「NiF8」の蔗汁 Brix に大きな品種間差異が認められ、製糖用品種と飼料用品種の違いが明確に表れていた。一方で、年2回収穫区の1番草、2番草については、「KRFo93-1」と「NiF8」の蔗汁 Brix に大きな品種間差異が認められなかった。

乾物率についてみると、「KRFo93-1」では2年間の平均値は、年1回収穫区が 24.9% 、年2回収穫区の1番草、2番草がそれぞれ 26.4% 、 16.0% であった。乾物率において、年1回収穫区と年2回収穫区の1番草、2番草の平均値を比較すると、年1回収穫区(24.9%)よりも年2回収穫区の平均値(21.2%)の

第3表 年1回および年2回収穫体系での収穫時の諸特性

株出し 年数	収穫 体系	品種	収穫茎数 (本 m ²)		仮茎長 (cm)		茎径 (mm)		蔗汁 Brix (%)		乾物率 (%)	
			1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草	1 番草	2 番草
1 年目	年 1 回	KRFo93-1	33.3±4.7	-	291±11	-	17.2±0.4	-	12.8±0.7	-	25.1±0.2	-
		NiF8	7.0±0.8	-	255±12	-	23.1±0.9	-	19.8±0.6	-	29.6±0.3	-
	年 2 回	KRFo93-1	20.2±0.8	24.5±1.7	228±10	109±2	17.8±0.8	18.6±0.4	11.6±0.3	5.7±0.1	29.3±1.1	16.5±0.5
		NiF8	6.9±1.1	8.6±2.2	182±12	44±2	21.2±0.3	16.5±0.4	12.2±0.7	4.3±0.2	22.9±0.5	19.0±1.0
2 年目	年 1 回	KRFo93-1	45.8±3.6	-	294±3	-	16.3±0.3	-	11.8±0.4	-	24.8±1.7	-
		NiF8	7.4±2.0	-	240±6	-	21.1±1.7	-	20.5±0.3	-	28.4±0.5	-
	年 2 回	KRFo93-1	28.8±2.8	46.4±2.2	207±6	128±8	16.6±0.4	16.8±0.2	10.7±0.3	6.4±0.3	23.5±0.2	15.5±0.4
		NiF8	9.4±3.2	11.0±4.8	176±2	53±6	21.2±0.7	19.8±1.8	12.7±0.4	5.5±0.4	20.2±0.1	17.0±0.3
平均値	年 1 回	KRFo93-1	39.6±4.0	-	292±5	-	16.8±0.1	-	12.3±0.3	-	24.9±1.0	-
		NiF8	7.2±1.3	-	248±9	-	22.1±1.0	-	20.1±0.1	-	29.0±0.2	-
	年 2 回	KRFo93-1	24.5±1.5	35.4±1.5	218±8	118±4	17.2±0.4	17.7±0.3	11.1±0.2	6.0±0.2	26.4±0.5	16.0±0.4
		NiF8	8.1±2.1	9.8±3.5	179±7	49±3	21.2±0.3	18.1±0.8	12.4±0.5	4.9±0.2	21.6±0.2	18.0±0.6

注：数字は平均値±標準誤差を示す (n=3)。

ほうが低かった。以上のように、年2回収穫区の2番草の乾物率が20%以下で低く、また、年2回収穫区の乾物率の平均値は年1回収穫区よりも低かった。

(6) 年1回および年2回収穫体系での収量

生草収量と乾物収量はほぼ同様の傾向を示したことから、以下は年間乾物収量の結果を記載する。

「KRFo93-1」において、株出し1年目の年間乾物収量は、年1回収穫区では5.01kg m²、年2回収穫区では5.63kg m²であった(第4表)。株出し2年目の年間乾物収量は、年1回収穫区では6.21kg m²、年2回収穫区では5.90kg m²であった。「KRFo93-1」の株出し2年間の年間乾物収量の平均値は、年1回収穫区では5.61kg m²、年2回収穫区では5.77kg m²であり、年2回収穫区は年1回収穫区と同程度以上の高い乾物収量を示した。

「NiF8」において、株出し1年目の年間乾物収量は、年1回収穫区では1.59kg m²、年2回収穫区では1.19kg m²であった。株出し2年目の年間乾物収量は、年1回収穫区では1.63kg m²、年2回収穫区では1.38kg m²であった。「NiF8」の株出しの2年間の年間乾物収量の平均値は、年1回収穫区では1.61kg m²、年2回収穫区では1.29kg m²であり、年2回収穫区のほうが年1回収穫区よりも低かった。

株出し2年間の平均の年間乾物収量において、分散分析の結果、品種間に有意差が認められ、「KRFo93-1」は「NiF8」よりも年間乾物収量が高かつ

た。また、収穫回数による有意差および品種と収穫回数の交互作用は認められなかった。しかし、株出し1年目のみ、「NiF8」は年2回収穫の年間乾物収量が低くなったのに対して、「KRFo93-1」では年2回収穫区の年間乾物収量が高くなったため、品種と収穫回数の交互作用が認められた。

株出し2年間の平均値において、年2回収穫区の年間乾物収量に占める1番草、2番草の割合を第4表から算出すると、2番草の割合は「NiF8」では26%であったのに対して、「KRFo93-1」では41%と高かった。このように、「KRFo93-1」は年間乾物収量が高いことに加えて、生育期間に冬季を含む2番草の乾物収量も高かった。

3) 考察

(1) 収穫回数および品種の違いが茎伸長に及ぼす影響

株出し2年目の年1回および年2回収穫区の1番草について、株出し後51、76、105日目の仮茎長を比較すると、「KRFo93-1」、「NiF8」ともに年1回収穫区が大きく推移した(第8図)。このように、株出しを同時に開始したにも関わらず、収穫回数によって仮茎長の推移が異なった。そこで、1日あたり茎伸長速度を比較した結果、株出し後0~76日目では年1回収穫区の茎伸長速度が年2回収穫区より大きかったが、株出し後76~105日目では収穫回数による差が認められなかった(第9図)。つまり、

第4表 年1回および年2回収穫体系での収量

株出し 年数	収穫 体系	品種	生草収量 (kg m ⁻²)			乾物収量 (kg m ⁻²)		
			1 番草	2 番草	年間	1 番草	2 番草	年間
1 年目	年 1 回	KRFo93-1	20.1	-	20.1	5.01	-	5.01
		NiF8	5.4	-	5.4	1.59	-	1.59
	年 2 回	KRFo93-1	12.6(51)	11.9(49)	24.5	3.68(65)	1.95(35)	5.63
		NiF8	4.1(76)	1.3(24)	5.4	0.95(80)	0.24(20)	1.19
収穫頻度					n.s.	n.s.		
品種					**	**		
収穫頻度×品種					*	**		
2 年目	年 1 回	KRFo93-1	25.1	-	25.1	6.21	-	6.21
		NiF8	5.8	-	5.8	1.63	-	1.63
	年 2 回	KRFo93-1	13.4(43)	17.8(57)	31.2	3.16(54)	2.74(46)	5.90
		NiF8	4.7(64)	2.6(36)	7.3	0.95(69)	0.43(31)	1.38
収穫頻度					n.s.	n.s.		
品種					**	**		
収穫頻度×品種					n.s.	n.s.		
平均値	年 1 回	KRFo93-1	22.6	-	22.6	5.61	-	5.61
		NiF8	5.6	-	5.6	1.61	-	1.61
	年 2 回	KRFo93-1	13.0(47)	14.8(53)	27.8	3.42(59)	2.35(41)	5.77
		NiF8	4.4(70)	1.9(30)	6.3	0.95(74)	0.34(26)	1.29
収穫頻度					n.s.	n.s.		
品種					**	**		
収穫頻度×品種					n.s.	n.s.		

注: **, * は分散分析により 1%, 5%水準で有意差があること, n.s. は有意差がないことを示す。

() 内の数字は 1, 2 番草の年間合計に占める割合を示す。

年 1 回収穫区では年 2 回収穫区よりも仮茎長が大きく推移したのは、株出し開始直後の茎伸長速度が大きいためであることが明らかとなった。

前作の収穫時の蔗汁 Brix を比較すると、年 1 回収穫区と年 2 回収穫区には大きな差があった (第 3 表)。蔗汁 Brix は貯蔵炭水化物に関連する形質であり、牧草 (熊井・真田 1973, 美濃 1979) や水稻 (Ichii and Sumi 1983) では、収穫後残株の貯蔵炭水化物が再生に及ぼす重要性は広く知られている。したがって、年 1 回収穫区と年 2 回収穫区とで植物体の糖蓄積が異なることが、年 1 回収穫で収穫後の仮茎長が大きく推移した要因の一つと考えられる。

地下芽子の調査をしていないが、年 1 回収穫区では年 2 回収穫区よりも前作の生育ステージが進んでいることから、それに伴い地下芽子の生育ステージも進んでいると考えられる。このような地下芽子の発達の違いが株出し開始後の茎伸長に影響した可能性も考えられる。

次に、仮茎長の推移を品種間で比較すると、年 1

回および年 2 回収穫区の 1 番草、2 番草ともに、「KRFo93-1」が「NiF8」を上まわっていた。特に、生育期間に低温の冬季を含む年 2 回収穫区の 2 番草において仮茎長の品種間差が大きく、低温期の 1 日あたり茎伸長速度でも「NiF8」より「KRFo93-1」が常に大きかった (第 8, 9 図)。II-1 では、出葉速度を指標として算出した小野・中西 (1983) を参考に有効温度の下限値を 10℃ と設定し、「KRFo93-1」および「NiF8」について有効積算温度を算出した。一方、低温期に生育した年 2 回収穫区の 2 番草 (第 9 図) で生育期間の平均気温と 1 日あたり茎伸長速度の関係から回帰式を求めると、「KRFo93-1」は $Y=0.1388X-1.7371$ 、「NiF8」は $Y=0.0808X-1.0911$ となり (ともに、X は生育期間の平均気温、Y は 1 日あたり茎伸長速度)、この回帰式を利用して茎伸長速度が 0 cm day⁻¹ となる温度を求めると、「KRFo93-1」で 12.5℃、「NiF8」で 13.5℃であった。このように「KRFo93-1」と「NiF8」では有効温度の下限値が異なる可能性がある。そこで、有効温度

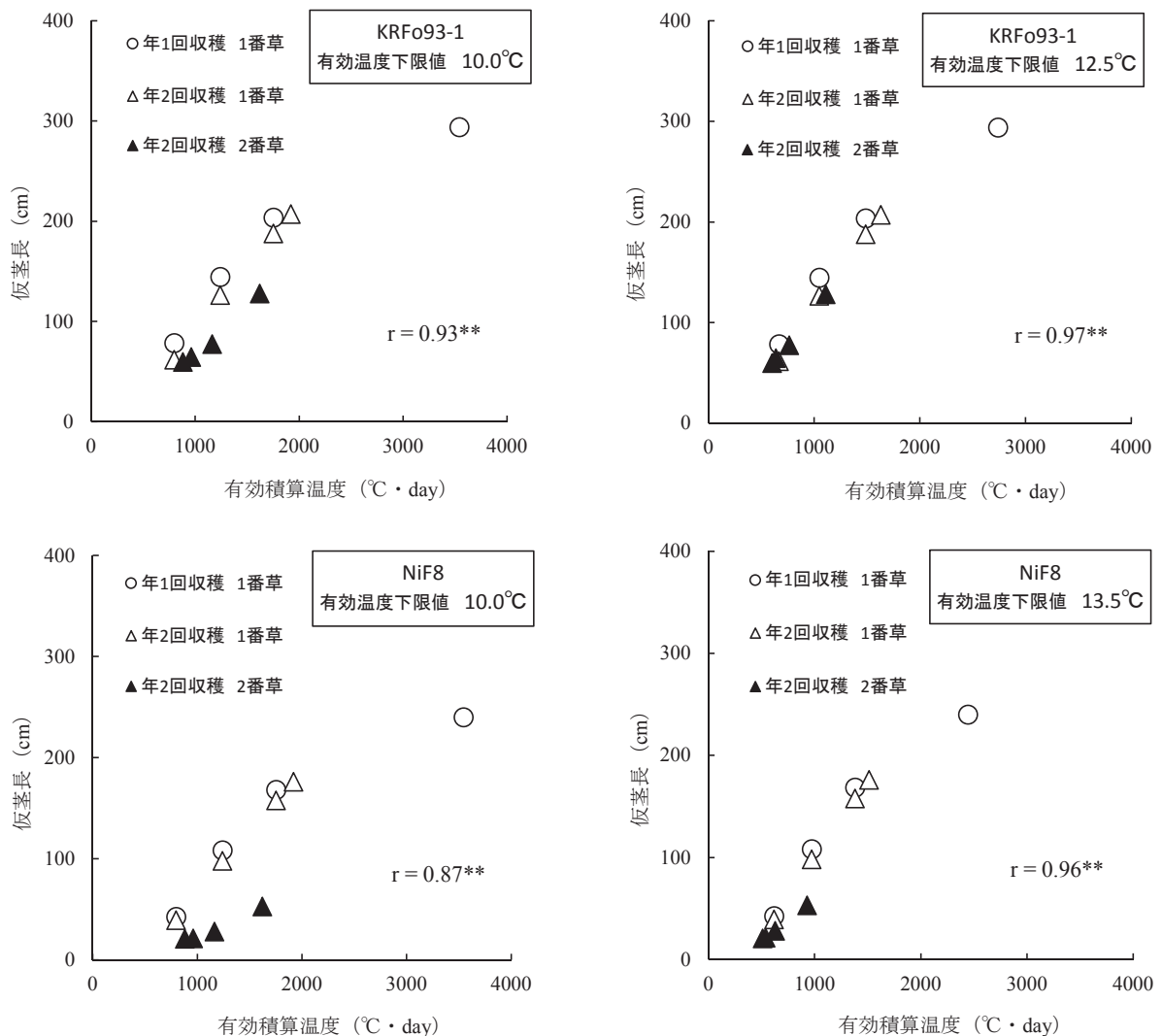
の下限値を「KRf093-1」は12.5℃, 「NiF8」は13.5℃と設定して, 有効積算温度と仮茎長の関係を検討した。その結果, 有効温度の下限値を10℃と設定した場合と比較して, 「KRf093-1」, 「NiF8」ともに相関係数が高かった(第10図)。有効温度の下限値は, 有効積算温度と生育との関係を解析するためにも, 今後, さらに詳細な検討が必要である。

(2) 「KRf093-1」の年2回収穫体系における収量

「KRf093-1」の栽培に年2回収穫体系を導入することが有効であるかどうかを検証するため, 株出しでの「KRf093-1」と「NiF8」を材料として, 年1回および年2回収穫体系で栽培した場合の収量を比

較した。その結果, 「KRf093-1」を株出し栽培した2年間の平均の年間乾物収量は, 年2回収穫区では年1回収穫区とほぼ同程度(1.03倍)であったのに対して, 「NiF8」の年2回収穫区では年1回収穫よりも低かった(0.80倍)(第4表)。

製糖用サトウキビは年1回もしくは2年1回の頻度で収穫されるため, 年2回収穫体系のように年間に複数回収穫した報告は少ない。(Sansayawichai et al. 2006)は飼料利用を目的として, 新植のサトウキビを年1, 2, 3, 6回収穫した際の乾物収量を比較したところ, 収穫回数が高いほど年間乾物収量は低く, 年2回収穫区の乾物収量は年1回収穫区



第10図 有効積算温度と仮茎長の関係 (株出し2年目)

左上: 「KRf093-1」, 有効温度の下限値10.0℃, 右上: 「KRf093-1」, 有効温度の下限値12.5℃。

左下: 「NiF8」, 有効温度の下限値10.0℃, 右下: 「NiF8」, 有効温度の下限値13.5℃。

相関係数は年1回収穫区, 年2回収穫区の1番草, 2番草を込みにして算出。

**は1%水準で相関関係があることを示す。

よりも30%も少なかった。Lin (2005) は飼料用サトウキビ品種の収量性を新植、株出し1年目において、年3回収穫区と年5、6回収穫区(新植は年5回収穫、株出し1年目は年6回収穫)で比較した結果、両年の平均値で年5、6回収穫区では年3回収穫区よりも48%も年間乾物収量が低かったことを示している。また、Mislevy *et al.* (1995) も、エネルギー用サトウキビで同様な結果を示している。このようにサトウキビでは収穫回数を増加させると、年間乾物収量が低下する報告が多い。

「NiF8」を検討した結果、従来からの研究報告と同様に、年2回収穫区では乾物収量が低かったものの、「KRF093-1」では年2回収穫区でも年1回収穫区と同程度以上の高い乾物収量が得られた(第4表)。第4表の株出し2年間の平均値から両品種の乾物収量比(「KRF093-1」の乾物収量/「NiF8」の乾物収量)を算出すると、年1回収穫区で3.48、年2回収穫区の1番草、2番草でそれぞれ3.60、6.91であり、生育期間に低温期を含む年2回収穫区の2番草において「NiF8」に対する「KRF093-1」の優位性が顕著であった。このように、年2回収穫区の2番草の収量が高いことが、「KRF093-1」は年2回収穫体系においても高い収量性が維持できた要因と推察される。特に、試験地の種子島では生育の主な制限要因が冬季の低温であると考えられ、第8、9図で示したような低温期での茎伸長が大きいことは、年2回収穫体系での栽培にとって大きな利点と言える。

また、サトウキビでは生育初期と生育後期の登熟期の個体群生長速度が小さいことが知られている(宮里 1986, 島袋 1997)。低温期に茎伸長が優れる「KRF093-1」でも、登熟期を含む株出し後105~365日目の年1回収穫区の1日あたり茎伸長速度は小さく(第9図)、この期間の個体群生長速度は小さい。一方、年2回収穫区では個体群生長が小さい登熟期に達する前に収穫するため、年2回の収穫で生じる初期生育期間の拡大の影響が補償される可能性があり、このことが、年2回収穫体系でも高い収量を維持できた理由の一つとして考えられる。

以上のように、株出しの「KRF093-1」では、年2回収穫区でも年1回収穫区と同程度以上の年間生草収量、年間乾物収量が得られることから、収量性から評価して「KRF093-1」では年2回収穫体系で栽培しても問題はないことが明らかとなった。

また、「KRF093-1」の年2回収穫体系を試みた理由の一つは、年2回の収穫で収穫時期を分散させることにより、1番草、2番草とも直立状態で収穫することで、作業性を向上させることであった。株出し1年目、2年目ともに、「KRF093-1」の年1回収穫区では植物体が長大化して倒伏するため収穫作業が困難であったが、年2回収穫区では1番草、2番草ともに収穫時の草姿は直立であり、収穫作業性が大きく改善されていた。さらに、収穫時の草姿が直立であることは、受光態勢の点からも有利であると考えられる。

「KRF093-1」は粗飼料として利用するため、年2回収穫体系で高い乾物収量が得られても、消化性が大きく低下すれば有効な収穫体系とはならない。II-1と同時にを行った鈴木ら(2008)の研究では、株出し1年目の「KRF093-1」を材料にして反芻胃内での乾物分解率を測定したところ、年1回収穫区の1番草、年2回収穫区の1番草、2番草の乾物分解率はそれぞれ47.4%、47.9%、50.1%であり、年2回収穫体系で栽培しても消化性は低くならなかった。第4表の乾物収量と鈴木ら(2008)の反芻胃内乾物分解率を乾物消化率と仮定して、年間の可消化乾物収量を推定したところ、「KRF093-1」の年1回収穫区、年2回収穫区でそれぞれ2.38kg m²、2.74kg m²であり、株出し1年目での年間の可消化乾物収量は年2回収穫区が年1回収穫区を上まわることが予想される。

以上のように、「KRF093-1」の年2回収穫区では年間乾物収量、可消化乾物収量は年1回収穫区と同程度以上であり、収穫作業性も大きく改善されることから、試験地の種子島では「KRF093-1」は年2回収穫体系で栽培することが望ましいと判断される。ただし、年2回収穫体系の収穫時期を6月上旬と9月下旬に固定して評価したため、年間の乾物収量や可消化乾物収量が最大となる収穫時期について必ずしも明らかではない。今後は、有効積算温度にも着目しながら、年2回収穫体系における最適な収穫時期について検討する必要がある。

2. 年3回収穫体系における生育および収量の検討

製糖用サトウキビは通常、年1回収穫で栽培される。一方で飼料用サトウキビは年1回収穫で栽培すると、生育が旺盛なため長大化して倒伏が著しく、

収穫作業が困難となる。このため、II-1では1作の栽培期間を短くした年2回収穫体系の導入可能性について検討し、製糖用サトウキビ（品種：「NiF8」）とは異なり飼料用サトウキビ（品種：「KRFO93-1」）は年2回収穫でも年1回収穫と同程度の高い乾物収量が得られること、また、倒伏しない状態で収穫できるため作業性が向上することを明らかにした。

II-1では、「KRFO93-1」が年2回収穫でも乾物収量が高かった要因として、株出し栽培での初期生育が優れることを明らかにした。このため、年2回収穫よりも年間の収穫回数が多い、年3回収穫栽培の導入の可能性も考えられる。年3回収穫ではより若い生育ステージでの収穫となるため、粗蛋白質含量の向上（Suzuki *et al.* 2010）や既存の牧草の収穫機械を共同利用するなどの利点が期待される。一方で、サトウキビは年間の収穫回数が多い栽培体系では年間乾物収量が減少する研究例が報告されており（Mislevy *et al.* 1995, Lin 2005, Sansayawichai *et al.* 2006）、年2回よりも収穫回数の多い栽培体系では年間乾物収量が低下して、「KRFO93-1」の特長である収量性の高さを発揮できないことも懸念される。

そこで、II-2では年間の収穫回数の多い処理区として年3回収穫区を設け、年2回収穫区で栽培した際の生育や収量と比較して、飼料用サトウキビの栽培体系として適しているか否かについて検討した。

1) 材料および方法

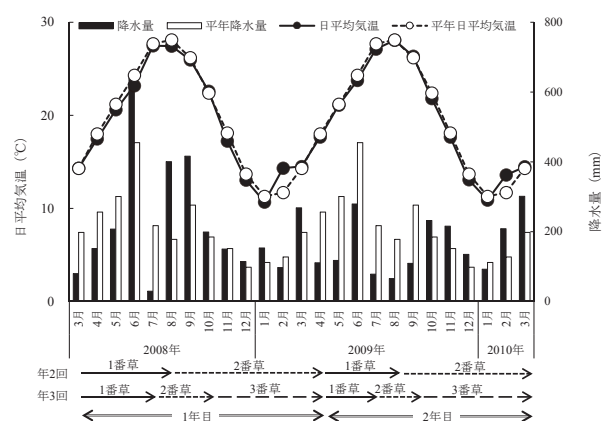
(1) 耕種概要と収穫時期

試験は鹿児島県西之表市の九州沖縄農業研究センター種子島試験地圃場で実施した。供試品種として飼料用サトウキビ品種の「KRFO93-1」を用いた。

植付けは2008年3月14日に7.0（芽 m^2 ）の栽植密度で行った（畦間は100cm、株間は約14.3cm）。処理として年間の収穫回数の異なる年2回収穫区（1番草、2番草）と年3回収穫区（1番草、2番草、3番草）を設けた。試験区は1区7.0 m^2 （畦長3.5m、2畦）として3反復の乱塊法で設置した。

各区の収穫時期を第11図に示す。各区とも1年目の1番草は新植栽培であり、それ以外は株出し栽培となる。1年目の年2回収穫区は1番草を2008年8月11日（生育日数150日）、2番草を2009年4月7日（生育日数239日）に収穫した。年3回収穫区は1番草を2008年7月22日（生育日数130日）、2番草を10月7日（生育日数77日）、3番草を2009年4月7日（生

育日数182日）に収穫した。2年目の年2回収穫区は1番草を2009年8月5日（生育日数120日）、2番草を2010年3月31日（生育日数238日）に収穫した。年3回収穫区は1番草を2009年7月8日（生育日数92日）、2番草を9月17日（生育日数71日）、3番草を2010年3月31日（生育日数195日）に収穫した。



第11図 試験期間中の気象概況と収穫サイクル

施肥は化学肥料で行い、年2回収穫区、年3回収穫区ともに1作あたり、基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0（g m^2 ）、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0（g m^2 ）を施用した。基肥は植付け時および株出し栽培開始時に、また、追肥は植付け後2ヶ月および株出し栽培開始後1ヶ月を目安として施用した。1作あたりの施肥量は同じであったが、年3回収穫区では3番草まで栽培したために、年間の合計施肥量は年2回収穫区の1.5倍となる。植付け方法や肥培管理方法は製糖用サトウキビに準じて行ったが、通常、製糖用サトウキビ栽培で実施する株元への高培土は行わず、平培土のみで栽培した。

(2) 調査

i) 収穫時調査

収穫時に生草収量、乾物収量、乾物率、仮茎長、茎径、蔗汁Brixを測定した。生草収量は各区とも試験区の地上部を地際で刈り、重量を測定した。生草収量の測定に用いたサンプルの一部を、約2cmにカッターで切断し、80℃で48時間以上、十分に乾燥させた後、乾物重を測定した。生草重に対する乾物重の割合から乾物率を算出した。乾物収量は生草収量と乾物率の積により算出した。仮茎長、茎径、蔗汁Brixは各区5茎について調査した。仮茎長は地際から最上部の肥厚帯までの長さを測定した。茎

径は葉鞘を取り除いた後、茎中央の節間の短径部分をデジタルノギスで測定した。蔗汁 Brix は、梢頭部を切除した茎を搾搾機にかけて搾汁液を採取した後、デジタル屈折計（アタゴ RX5000 a）で測定した。

ii) 仮茎長の推移

同時に株出しの生育が始まる2年目の年2回収穫区の1番草および年3回収穫区の1番草について仮茎長の推移を比較した。仮茎長は2009年5月17日、6月17日、7月8日（それぞれ株出し40, 71, 90日後）に各区10茎について調査した。

(3) 統計解析

得られたデータの統計解析には統計処理ソフト（SPSS ver.21.0）を用いた。

2) 結果

(1) 気象概況

第11図に試験期間中の2008年3月から2010年3月までの月別の日平均気温と降水量およびこれらの平年値を示す。試験地の種子島は南西諸島では高緯度に位置するため、12月から3月までの日平均気温は15℃以下と低く推移した。霜害による枯死は認められなかった（観察による評価）。試験期間を通して大きな干ばつはなく、水不足による極端な生育抑制はなかった。

(2) 年2回および年3回収穫体系での収穫時の諸特性

1年目の年2回収穫区の1番草、2番草の仮茎長は136cm, 133cmであり、年3回収穫区の1番草、2番草、3番草の仮茎長は108cm, 114cm, 21cm

であった(第5表)。2年目の年2回収穫区の1番草、2番草の仮茎長は196cm, 130cmであり、年3回収穫区の1番草、2番草、3番草の仮茎長は107cm, 115cm, 56cmであった。年3回収穫区の3番草は生育期間が低温期であったため、生育日数は1年目が182日、2年目が195日と長いものの、茎伸長速度が遅く仮茎長は短かった。

茎径は最小が1年目の年3回収穫区の2番草で14.4mm, 最大が2年目の年2回収穫区の1番草で19.2mmであった(第5表)。茎径には収穫回数や番草による明瞭な影響は認められなかった。なお、年3回収穫区の3番草は1年目、2年目ともに生育量が小さく茎径の測定ができなかった。

蔗汁 Brix は最小が2年目の年3回収穫区の1番草で5.9%, 最大が2年目の年2回収穫区の2番草で14.3%であった(第5表)。年2回収穫区と比較して年3回収穫区では、各番草とも1作の生育日数が短いことから蔗汁 Brix が低かった。なお、蔗汁 Brix においても年3回収穫区の3番草は1年目、2年目ともに生育量が小さく測定ができなかった。

(3) 年2回および年3回収穫体系での収量

1年目の年間生草収量は、年2回収穫区では14.4 (kg m⁻²), 年3回収穫区では10.7 (kg m⁻²)であった(第12図)。2年目の年間生草収量は、年2回収穫区では27.1 (kg m⁻²), 年3回収穫区では16.9 (kg m⁻²)であった。1年目、2年目ともの年2回収穫区と年3回収穫区の年間生草収量には、分散分析により1%水準で有意差が認められた。

第5表 年2回および年3回収穫区の収穫時の諸特性

年次	収穫頻度	番草	生育日数 (日)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁 Brix (%)
1年目	年2回	1番草	150	136±6	16.5±0.4	10.7±1.1
		2番草	239	133±4	16.6±0.7	12.7±0.2
	年3回	1番草	130	108±1	16.4±0.7	6.0±0.9
		2番草	77	114±5	14.4±0.4	6.7±0.4
		3番草	182	21±1	-	-
	2年目	年2回	1番草	120	196±4	19.2±0.3
2番草			238	130±1	15.4±0.6	14.3±0.1
年3回		1番草	92	107±3	16.9±0.6	5.9±0.2
		2番草	71	115±5	15.9±0.6	10.2±1.0
		3番草	195	56±3	-	-

注：数字は平均値±標準誤差を示す (n=3)。

年3回収穫区の3番草の茎径、蔗汁 Brix は植物体が小さいため計測できず。

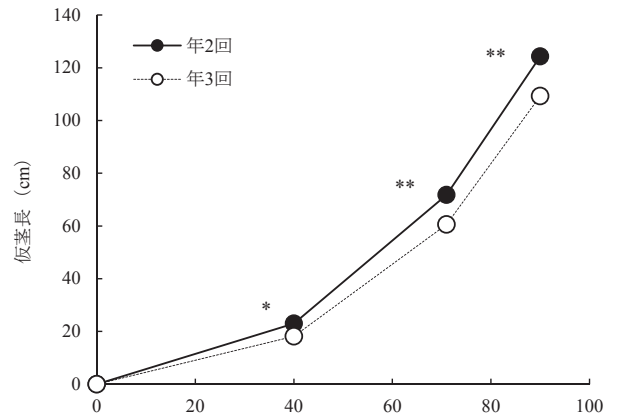
1年目の年間乾物収量は、年2回収穫区では3.38 (kg m⁻²)、年3回収穫区では1.90 (kg m⁻²)であった(第12図)。2年目の年間乾物収量は、年2回収穫区では5.69 (kg m⁻²)、年3回収穫区では3.12 (kg m⁻²)であった。1年目、2年目ともの年2回収穫区と年3回収穫区の年間乾物収量には、分散分析により1%水準で有意差が認められた。

なお、年3回収穫区の3番草の生育日数は1年目、2年目がそれぞれ182日、195日と1番草、2番草と比較して長いものの、生育期間が低温期であるため、生草収量、乾物収量とも低かった(第11, 12図)。乾物収量を生育日数で割った乾物増加速度は、年3回収穫区の1番草が6.2 (g m⁻²日⁻¹)、12.2 (g m⁻²日⁻¹)、2番草が13.7 (g m⁻²日⁻¹)、21.2 (g m⁻²日⁻¹)であるのに対して、3番草は0.8 (g m⁻²日⁻¹)、2.9 (g m⁻²日⁻¹)と低かった(第12図、第5表より算出)。

年2回収穫区、年3回収穫区ともに1年目の年間生草収量、年間乾物収量と比較して2年目の年間生草収量、年間乾物収量が大きかった。

(4) 年2回および年3回収穫体系での仮茎長の推移

同時に株出しの生育が始まる2年目の年2回収穫区および年3回収穫区の1番草について仮茎長の推移を比較した。株出し40, 71, 90日後の仮茎長は年2回収穫区で23cm, 72cm, 124cm, 年3回収穫区で18cm, 61cm, 109cmであり、いずれも年2回収穫区で有意に高く推移した(第13図)。



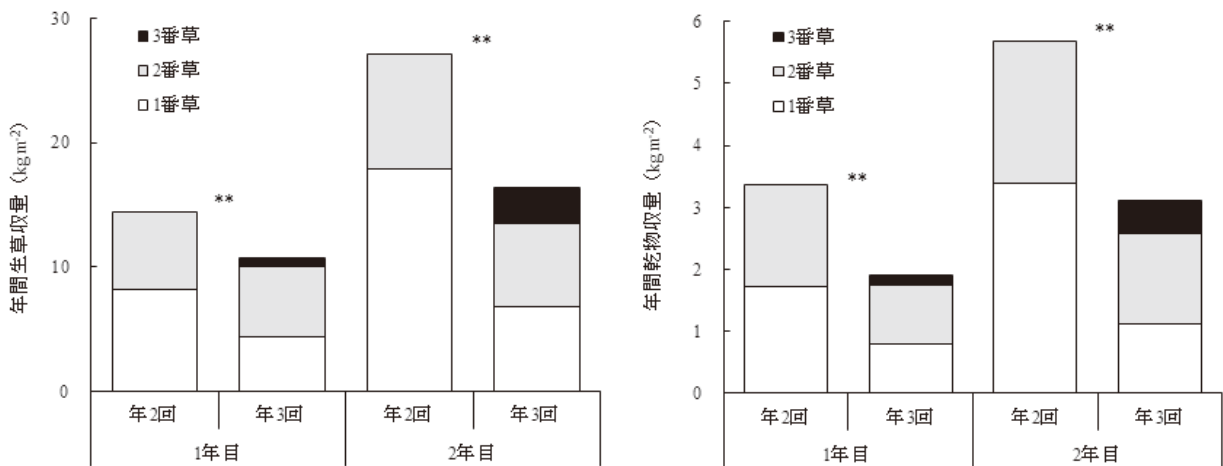
第13図 年2回および年3回収穫区の2年目の1番草の仮茎長の推移

**、*はそれぞれ分散分析により1%、5%水準で有意差があることを示す。

年2回、年3回収穫区ともに株出しの生育は2009年4月7日に開始。

3) 考察

「KRFO93-1」において1年目、2年目ともに、年2回収穫区と比較して年3回収穫区の年間生草収量、年間乾物収量は小さく、処理による有意差が認められた(第12図)。II-1では「KRFO93-1」と「NiF8」を供試して、年1回収穫区と年2回収穫区の年間乾物収量を比較したところ、「NiF8」では減少傾向が認められるものの「KRFO93-1」では高い収量水準が維持されることを明らかにした。このため、年3回収穫区でも高い乾物収量を維持することが期待されたが、Sansayawichai *et al.* (2006) の報告と同様に、



第12図 年2回および年3回収穫区の年間生草収量 (左), 年間乾物収量 (右)

**は分散分析により1%水準で有意差があることを示す。

年2回収穫区と比較した際の年3回収穫区の収量性の低下は顕著であった。以上から、株出しでの初期生育に優れる「KRF093-1」においても、年3回収穫のような年間の収穫回数が多い場合では、特長である収量性の高さを最大限に発揮できないことが明らかとなった。なお、年3回収穫区の年間乾物収量は1年目が1.90 (kg m⁻²)、2年目で3.12 (kg m⁻²)であり、試験地の種子島における既存の牧草ローズグラス（鹿児島県 2012）と比較すると高い収量水準にある。

年3回収穫区の年間乾物収量が年2回収穫区より低かった要因として、以下の2つが考えられる。1つ目の要因として収穫時期と生育ステージの関係が推察される。サトウキビの個体群成長速度は生育の初期で低く、S字曲線を描く推移を示す（宮里 1986, 島袋ら 1980, 島袋 1997）。また、サトウキビではソルガムやネピアグラスなどの長大作物と比較して、初期生育が遅いことが栽培の課題とされる（寺内ら 1999, Allison *et al.* 2007）。このことから、年3回収穫区ではサトウキビの生育が旺盛期に向かう前の個体群生長速度の低い生育ステージに収穫時期が重なるため、年間の年間乾物収量の低下に繋がったと推察される。2つ目の要因として、年間の収穫回数が多くなることに伴う、株出し栽培開始後の初期生育速度の低下が推察される。第13図で示されるように、年2回収穫区と比較して年3回収穫区では、同時に株出しの生育が開始した際の仮茎長が有意に低く推移した。また、II-1では同様の比較を行い、年2回収穫区でも年1回収穫区と比較すると仮茎長が低く推移したことを示している。サトウキビの萌芽は地下株に着生する芽子状態（生存率や発芽率）に影響を受けることが示唆されており（宮平・神谷 1984, 寺島ら 2004）、また、牧草において地下株や収穫残株の養分が再生草の生育に影響することが知られる（Ichii and Sumi 1993, 熊井・真田 1973, 美濃 1979）。このため、年3回収穫のように過度に年間の収穫回数を多くすると、地下株の芽子状態や地下株の養分蓄積が劣るため、株出しでの初期生育が低下する可能性が示唆された。

第12図、第5表に示されるように、低温期に生育した年3回収穫区の3番草は年間乾物収量への寄与が少ないだけでなく、収穫時の仮茎長から推察されるように草丈が短い期間が長く、雑草による生育阻

害が懸念される。サトウキビは長大型作物であるため、草丈が高くなると雑草による生育阻害を受けにくい、他の長大作物と比較して初期生育が遅いことから、初期期間を短くすることが雑草との生育競合回避のために重要と考えられる。

3. 年2回収穫体系における収穫時期の設定

II-1では飼料用サトウキビ「KRF093-1」の年2回収穫体系について検討した結果、年2回収穫では年1回収穫と同程度の高い乾物収量が得られ、かつ倒伏していない状態で収穫できるため、収穫の作業性が向上することを明らかにした。また、II-2で年3回収穫体系について検討した結果、年2回収穫体系より年間乾物収量が低いことが明らかとなった。これらの結果から、飼料用サトウキビの栽培体系は、収量性と作業性が優れる年2回収穫を基本として構築することが有効と考えられる。

飼料用サトウキビを年2回収穫体系で栽培するにあたり、年2回の収穫時期をどのように設定するかが次の課題となる。そこで、年2回収穫体系で収穫時期を変えた処理区を設け、収量性並びに生育の安定性の観点から比較検討を行った。

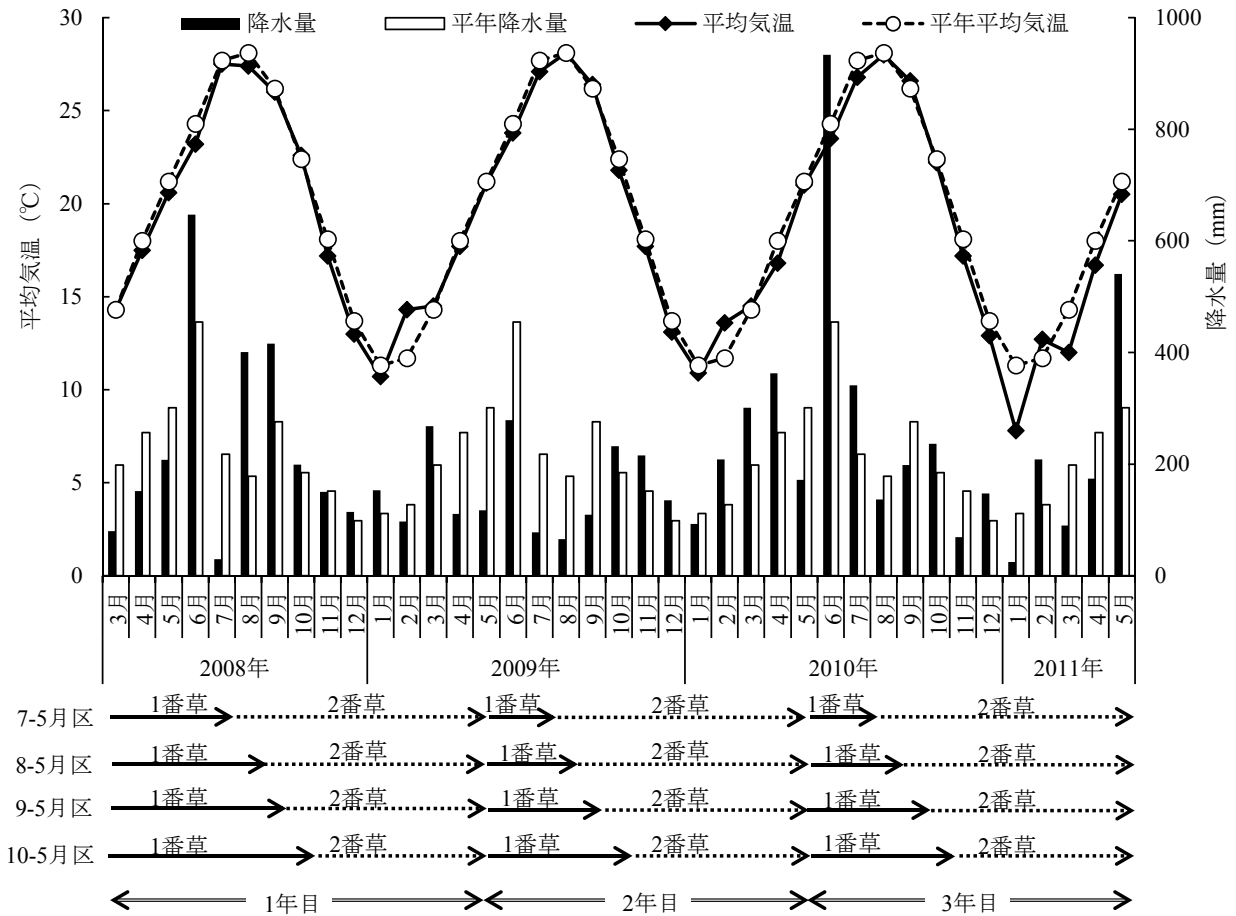
1) 材料および方法

(1) 耕種概要と収穫時期

栽培試験は、鹿児島県西之表市の九州沖縄農業研究センター種子島試験地圃場で実施した。供試したのは飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」である。

第14図に示すように、年2回収穫の収穫時期を変えた4処理区を設定した。すなわち、7月と5月に収穫を実施する7-5月収穫区（以下、7-5月区）、8月と5月に収穫を実施する8-5月収穫区（以下、8-5月区）、9月と5月に収穫を実施する9-5月収穫区（以下、9-5月区）および10月と5月に収穫を実施する10-5月収穫区（以下、10-5月区）の4処理区である。なお、種子島では5月に青刈り給与する粗飼料が不足しやすいため、現場での普及を考慮して各処理区ともに5月を収穫時期に設定してある。いずれの処理区も、生育期間に夏季を含み7, 8, 9, 10月に収穫した作期を1番草、生育期間に冬季を含み5月に収穫した作期を2番草とした。

植付けは、2008年3月5日に6.36芽 m⁻²の栽植密度で行った。畦間は110cmとした。各処理区とも1年目の1番草は新植、1年目の2番草以降は株出



第14図 試験期間中の気象概況と収穫サイクル

し栽培である。

1年目の1番草は、7-5月区では2008年7月14日（生育日数131日），8-5月区では8月12日（生育日数160日），9-5月区では9月10日（生育日数189日），10-5月区では10月14日（生育日数223日）に収穫した。各処理区とも2番草は2009年5月15日に収穫した（生育日数は7-5月区，8-5月区，9-5月区，10-5月区でそれぞれ305日，276日，247日，213日）。

2年目の1番草は、7-5月区では2009年7月17日（生育日数63日），8-5月区では8月17日（生育日数94日），9-5月区では9月17日（生育日数125日），10-5月区では10月9日（生育日数147日）に収穫した。各処理区とも2番草は2010年5月14日に収穫した（生育日数は7-5月区，8-5月区，9-5月区，10-5月区でそれぞれ301日，270日，239日，217日）。

3年目の1番草は、7-5月区では2010年7月16日（生育日数63日），8-5月区では8月17日（生育日数95日），9-5月区では9月15日（生育日数124日），

10-5月区では10月13日（生育日数152日）に収穫した。各処理区とも2番草は2011年5月17日に収穫した（生育日数は7-5月区，8-5月区，9-5月区，10-5月区でそれぞれ305日，273日，244日，216日）。

試験区は1区あたり13.2m²（4畦×3m）で3反復の乱塊法とし，中央2畦を調査対象とした。施肥は各区ともに1作あたり，基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0g m²，追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0g m²を施用した。基肥は植付け時および株出し開始時に施用した。また，追肥時期は1年目の1番草では植付け後2ヶ月，株出しでは株出し開始後1ヶ月を目安とした。植付け方法や肥培管理方法は製糖用サトウキビに準じて行ったが，通常，製糖用サトウキビ栽培で実施する株元への高培土は行わず，平培土のみで栽培した。

(2) 収穫調査

収穫時に乾物収量，乾物率，仮茎長，茎径を測定した。乾物収量は，以下の手順で測定した。まず，各区とも試験区の地上部を地際で刈り，生草収量を

測定した。生草収量の測定に用いたサンプルから生草重で3kgを取り分け、約2cmにカッターで切断し、65℃で48時間以上、十分に乾燥させた後、乾物重を測定した。生草重に対する乾物重の割合から乾物率を算出した。乾物収量は生草収量と乾物率の積により算出した。仮茎長および茎径は各区5茎について調査した。仮茎長は地際から最上部の肥厚帯までの長さを測定した。茎径は葉鞘を取り除いた後、茎中央の節間の短径部分をデジタルノギスで測定した。

(3) 統計解析

生育や収量など得られたデータの解析には、統計処理ソフト (SPSS ver.21.0) を用いた。1番草と2番草の合計値である年間乾物収量については、年次と処理区を因子とする二元配置の分散分析を行った。

2) 結果

(1) 気象概況

第14図に試験期間中(2008年3月から2011年5月)の月別の日平均気温と降水量、およびこれらの平年

値を示す。試験地の種子島は南西諸島でも比較的高緯度に位置し、12月から3月までの日平均気温は15℃以下と低く推移した。特に2011年1月など、3年目の2番草の生育期間には、日平均気温が平年値と比較して低く推移した。ただし、霜害による茎葉部の枯死は認められなかった。

2009年4月から9月など、降水量が平年値を下回る月もあったが、試験期間を通して葉が枯れるような干ばつはなく、水不足による極端な生育抑制はなかった。

(2) 各処理区における収穫時の諸特性

材料と方法でも記載したように、いずれの処理区でも、1年目の1番草は新植、それ以外は株出し栽培である。以下、株出し栽培した1年目の2番草以降について収穫時の諸特性を記載する。

収穫茎数は1, 2, 3年目ともに、10-5月区の2番草では少なく、7-5月区の2番草では多かった(第6表)。8-5月区および9-5月区では2, 3年目の1番草と2番草の収穫茎数は同程度であっ

第6表 収穫時期の異なる年2回収穫での「KRF093-1」の収穫時の諸特性

年次	試験区	番草	株出し回数	生育日数	収穫茎数 (本 m ²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	乾物率 (%)
1年目	7-5月区	1番草	新植	131	16.7±1.1	92±2	15.4±0.4	16.8±0.1
		2番草	株1	305	30.6±3.8	193±4	13.6±1.2	25.4±0.8
	8-5月区	1番草	新植	160	17.7±0.8	153±5	16.4±0.5	19.8±0.3
		2番草	株1	276	22.0±1.0	167±4	15.2±0.6	25.4±0.7
	9-5月区	1番草	新植	189	17.0±0.8	218±4	18.4±0.2	23.7±1.2
		2番草	株1	247	18.8±3.8	115±6	17.4±0.7	19.9±0.3
	10-5月区	1番草	新植	223	17.3±0.5	259±20	16.9±0.6	24.0±0.8
		2番草	株1	213	10.9±2.0	47±1	14.1±1.4	16.2±0.3
2年目	7-5月区	1番草	株2	63	23.9±1.2	115±4	19.1±0.5	13.4±0.6
		2番草	株3	301	30.6±1.6	187±7	15.2±0.2	26.6±0.4
	8-5月区	1番草	株2	94	22.2±0.9	209±2	17.0±0.3	18.0±0.2
		2番草	株3	270	26.9±3.5	141±2	15.1±0.5	26.2±1.0
	9-5月区	1番草	株2	125	21.7±1.4	250±5	16.4±0.7	24.7±0.5
		2番草	株3	239	25.7±2.2	92±3	16.0±0.6	18.9±0.2
	10-5月区	1番草	株2	147	23.0±1.2	254±3	16.3±0.2	24.8±0.8
		2番草	株3	217	10.3±3.1	38±0	14.6±0.2	19.4±0.5
3年目	7-5月区	1番草	株4	63	31.4±2.2	101±1	15.8±0.2	13.6±0.3
		2番草	株5	305	35.9±0.9	202±6	14.1±0.3	28.0±1.1
	8-5月区	1番草	株4	95	25.1±0.7	200±3	17.0±0.7	18.3±0.1
		2番草	株5	273	29.1±2.4	147±2	12.8±0.4	26.0±0.1
	9-5月区	1番草	株4	124	25.1±1.3	250±5	16.4±0.7	25.1±0.9
		2番草	株5	244	23.3±1.4	75±4	13.2±0.2	22.0±0.3
	10-5月区	1番草	株4	152	21.9±1.1	271±2	16.9±0.5	26.0±0.5
		2番草	株5	216	16.4±1.8	25±2	12.9±0.7	21.0±0.5

注：数字は平均値±標準誤差 (n=3) を示す。

た。

仮茎長は1, 2, 3年目の10-5月区の2番草では小さかった(第6表)。また, 2, 3年目ともに9-5月区, 10-5月区の1番草では仮茎長が250cm以上と大きかった。7-5月区および8-5月区では, 2, 3年目の1番草と2番草の仮茎長の差は小さかった。

第6表の仮茎長を生育日数で除して, 1日あたりの茎伸長速度を算出した(第15図左列)。1番草について比較すると, 各処理区ともに1年目の1番草は新植であるため, 茎伸長速度は2, 3年目の1番草より低かった。また, 1番草と2番草を比較すると, 生育期間に冬季を含む2番草の茎伸長速度が小さく, 特に10-5月区の2番草では, 1, 2, 3年目がそれぞれ0.22, 0.18, 0.11cm day⁻¹と小さく, 被植度も低かったため雑草の繁茂が観察された。1年目の2番草以降の株出し栽培での結果を対象として,

生育期間の平均気温と茎伸長速度の関係を検討すると, 両者には1%水準で正の相関関係が認められた(第16図左)。すなわち, 生育期間中の平均気温が高いと茎伸長速度が高いことが明らかとなった。

茎径は各処理区ともに1番草と比較して2番草で小さく, また, 年次が進むほど小さい傾向が認められた(第6表)。

乾物率は2, 3年目の7-5月区の1番草では低かった(第6表)。生育量並びに生育日数が長いほど, 乾物率が高い傾向にあった。

(3) 各処理区の乾物収量

各処理区の乾物収量を第7表に示す。1年目の年間乾物収量は7-5月区が3.38 kg m², 8-5月区が3.68kg m², 9-5月区が4.02 kg m², 10-5月区が3.35kg m²であり, 年間乾物収量は9-5月区が最大であった(第7表)。

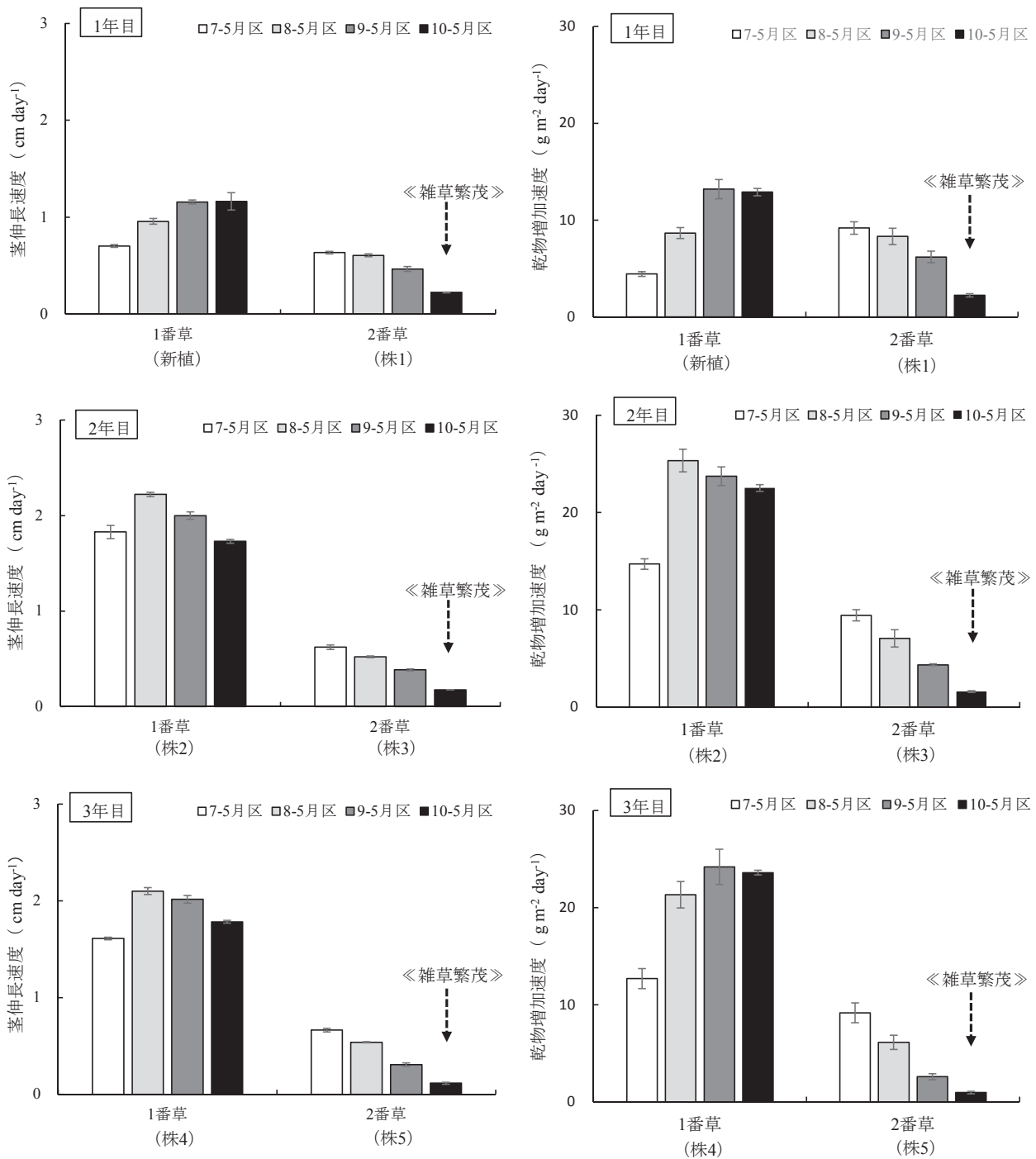
第7表 収穫時期の異なる年2回収穫での「KRF093-1」の乾物収量

年次	処理区	乾物収量 (kg m ²)		
		1番草	2番草	年間合計
1年目	7-5月区	0.58 (17.2)	2.80 (82.8)	3.38
	8-5月区	1.39 (37.7)	2.29 (62.3)	3.68
	9-5月区	2.49 (62.0)	1.53 (38.0)	4.02
	10-5月区	2.87 (85.8)	0.47 (14.2)	3.35
2年目	7-5月区	0.93 (24.6)	2.84 (75.4)	3.77
	8-5月区	2.38 (55.5)	1.91 (44.5)	4.29
	9-5月区	2.97 (74.0)	1.04 (26.0)	4.01
	10-5月区	3.31 (90.5)	0.35 (9.5)	3.66
3年目	7-5月区	0.80 (22.2)	2.80 (77.8)	3.60
	8-5月区	2.03 (54.8)	1.67 (45.2)	3.70
	9-5月区	3.00 (82.6)	0.63 (17.4)	3.63
	10-5月区	3.59 (94.5)	0.21 (5.5)	3.80
平均値	1年目			3.61
	2年目			3.93
	3年目			3.68
	7-5月区			3.58
	8-5月区			3.89
	9-5月区			3.89
	10-5月区			3.60
分散分析				
	年次			n.s.
	処理区			n.s.
	年次×処理区			n.s.

注：1年目の1番草のみ新植, それ以外は株出し。

n.s. は二元配置の分散分析で有意差がないことを示す。

() 内の数字は年間合計に対する1番草, 2番草の相対値を示す。



第15図 各収穫時期での茎伸長速度 (左列) および乾物増加速度 (右列)

縦棒は平均値±標準誤差 (n=3) を示す。

() 内は新植および株出し回数を示す。

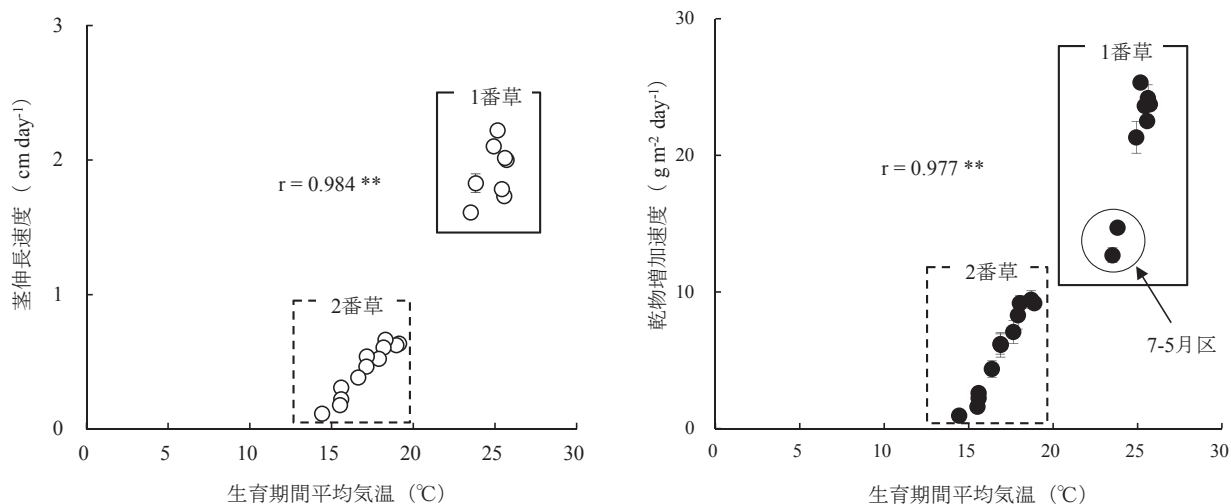
破線の矢印は雑草が繁茂したことを示す。

2年目の年間乾物収量は7-5月区が3.77kg m², 8-5月区が4.29kg m², 9-5月区が4.01kg m², 10-5月区が3.66kg m²であり, 8-5月区が最大であった。

3年目の年間乾物収量は7-5月区が3.60kg m², 8-5月区が3.70kg m², 9-5月区が3.63kg m²,

10-5月区が3.80kg m²であった。2番草の生育期間の平均気温が低かった3年目では (第14図), 年間乾物収量に占める1番草の割合が高い10-5月区の収量が相対的に高くなり, 各処理区間の年間乾物収量の差が小さかった。

年次および処理区を因子とする二元配置の分散分



第16図 生育期間の平均気温と茎伸長速度（左）および乾物増加速度（右）の関係

株出し（1年目の2番草以降）での結果を対象。

縦棒は標準誤差を示す（n = 3）。

**は1%水準で正の相関関係があることを示す。

析の結果、処理による有意差は認められず、交互作用も認められなかった（第7表）。年間乾物収量の平均値は8-5月区および9-5月区では3.89kg m²であり、有意差は認められないものの8-5月区および9-5月区で高い傾向が認められた。

第7表の乾物収量を生育日数で除して、1日あたりの乾物増加速度を算出した（第15図 右列）。茎伸長速度と同様に1番草間で比較すると、各処理区ともに1年目の1番草は新植であるため、乾物増加速度は2、3年目の1番草より低かった。

また、1番草と2番草を比較すると、生育期間に冬季を含む2番草で乾物増加速度が低く、特に10-5月区の2番草では低かった。株出し栽培（1年目の2番草以降）を対象として、生育期間の平均気温と乾物増加速度の関係を検討した結果、両者には1%水準で有意な正の相関関係が認められた（第16図 右）。すなわち、生育期間中の平均気温が高いと乾物増加速度が高い傾向が認められた。

3) 考察

(1) 年2回収穫の収穫時期設定と年間乾物収量

年2回収穫体系において異なる収穫時期を設定して（7-5月区、8-5月区、9-5月区および10-5月区、材料と方法を参照）収量性を評価したところ、処理区間で年間乾物収量に有意差は認められなかった（第7表）。一方、有意差は認められないものの、8-5月区および9-5月区の年間乾物収量の平均値

は、7-5月区や10-5月区よりも高い傾向が認められた。年間乾物収量に占める1番草、2番草の割合は、8-5月区がほぼ均等であり、次いで9-5月区、7-5月区で偏りが少なかった（第7表）。一方、10-5月区は偏りが著しく、年間乾物収量はほぼ1番草で占められていた。このように1番草、2番草の各番草の偏りが著しくない場合、年間乾物収量が高い傾向が認められた。

サトウキビはソルガムやネピアグラスなどの長大作物と比較した場合、初期生育が遅いことが特徴であり、これが栽培における課題となっている（寺内ら1999, Allison *et al.* 2007）。また、サトウキビの個体群生長速度は生育の初期で低く、S字曲線を描く推移を示す（鳥袋ら1980, 宮里1986, 鳥袋1997）。このため、10-5月区の2番草のように生育が停滞する環境下に栽培期間を設定してしまうと、生育日数は長くても生長量は小さく、生長の遅い初期生育期間に収穫することになる。また、7-5月区では、10-5月区と比較して各番草の偏りが顕著でないが、年間乾物収量は8-5月区、9-5月区より低い傾向が認められた（第7表）。2、3年目の7-5月区の1番草（第16図 右の丸印）は平均気温に対して乾物増加速度が低かった。これは生育期間中の平均気温が高いものの生育日数が短いため、生育期間に占める初期生育の割合が高く、乾物増加速度が低かったためと推察される。このように、

7-5月区における1番草の収穫時期設定では、気温の高い良好な生育環境を乾物生産に利用できないと考えられた。以上のように、各処理区における年間乾物収量に有意差は認められないものの、上記の結果を総合して検討すると、8-5月区および9-5月区で収量が高いと判断される。

(2) 収穫時期の設定と生育の安定性

飼料用サトウキビの生育の安定性を確保するためには、雑草との光競合を回避することは重要な課題の1つとなる。作物と雑草の光競争における優劣は、草高や葉面積指数など被植程度に影響を受ける(野口1986, 高柳2006)。II-3では被植度の測定は行っていないが、茎伸長速度は草高に関する形質であるため、議論の参考となる(第15図)。すなわち、いずれの処理区においても茎伸長速度は、生育期間に冬季を含む2番草では、1番草より低くなり、特に10-5月区で著しく低かった。写真4に越冬前の11月における各処理区の2番草の草姿を示す。10-5月区では茎伸長速度が低く、さらに、冬季までの生育日数が短いため、草冠を閉じない状態で越冬した。この結果、畝間・株間に雑草が繁茂して、他の処理区よりも除草作業に時間を要した。一方で、8-5月区、7-5月区では冬季を迎えるまでに草冠を閉じた状態になっており、被植度が高く(写真4)、雑草の発生が少なかった。

以上のように、年2回収穫体系でも、収穫時期の設定を工夫すれば耕種的な雑草防除が可能となる。したがって、10-5月区のような収穫時期の設定は避けるべきである。以上の検討結果を総合的に判断すると、収量性並びに生育の安定性(雑草との光競

合回避)の観点から年2回収穫体系について評価すると、8-5月区が最適という結論になる。

4. 生育期間と飼料成分

飼料用サトウキビでは従来の製糖用サトウキビとは異なる飼料としての評価が必要となる。これまで飼料用サトウキビ品種「KRFO93-1」は飼料成分(境垣内・寺島2008)、消化性(Suzuki *et al.* 2010)、サイレージ発酵品質(境垣内・寺島2008, 原田ら2010)など、栄養価や採食性に関する検討が行われてきた。

飼料としての利用に向けては疾病に関する項目の評価が必要であり、硝酸態窒素並びにミネラルバランスはこの主要な評価項目として挙げられる。

硝酸態窒素は高濃度に飼料作物に蓄積され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(農林水産省草地試験場編1988)。しかしながら、サトウキビは窒素多施用条件下でも蓄積が少ないなど、硝酸態窒素の蓄積が少ない植物として知られる(Ishikawa *et al.* 2009)。また、「KRFO93-1」においても基準値以下であったことが報告される(原田ら2010)。このように、硝酸態窒素への懸念が低いことは、飼料用サトウキビを利用する際の長所と言える。

もう一方の主要な評価項目であるミネラルバランスは、 $K/(Ca+Mg)$ 当量比で示される。飼料の $K/(Ca+Mg)$ 当量比が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とされる(Kemp and t'Hart 1957, 農林水産省草地試験場編1988)。研究事例は少ないものの、「KRFO93-1」において、 $K/(Ca+Mg)$ 当量比が2.2を超える報告もあるため(境垣内ら2008, 原田ら2010)、今後の「KRFO93-1」のさらなる普及に向けては $K/(Ca+Mg)$ 当量比に関する検討が必要である。

水稻(加納ら2000)やトウモロコシ(広田ら1991)では、 $K/(Ca+Mg)$ 当量比は生育初期で高く、生育および登熟が進むにつれて低下することが報告されている。これまでIIでは、飼料用サトウキビ向けの収穫体系として製糖用サトウキビよりも1作の栽培期間が大幅に短い年2回収穫体系を提案した。このため、「KRFO93-1」でも年2回収穫のような若

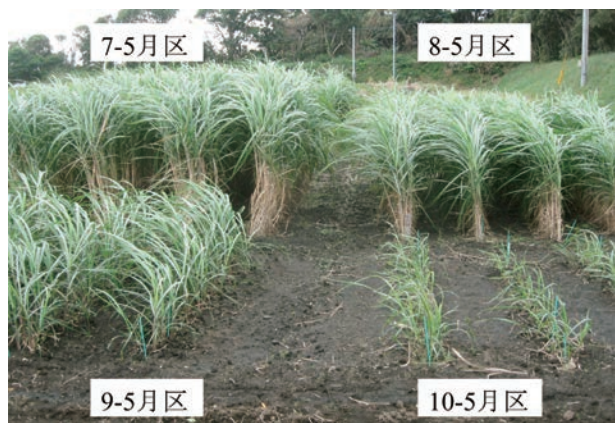


写真4 1年目の2番草における各処理区の越冬前の草姿

写真は2008年11月18日に撮影

い生育ステージで収穫する場合は、 $K/(Ca+Mg)$ 当量比が高まることが懸念される。そこで、II-4では新植および株出し栽培における「KRFO93-1」を対象として、生育と $K/(Ca+Mg)$ 当量比の関係について検討した。加えて、蓄積が少ないことが予想される硝酸態窒素についても、若い生育ステージで収穫することによる影響について検討した。

1) 材料および方法

(1) 試験1：新植における「KRFO93-1」の生育に伴う地上部のミネラル濃度および $K/(Ca+Mg)$ 当量比の変化

試験は鹿児島県西之表市の九州沖縄農業研究センター種子島試験地圃場で実施した。試験には飼料用サトウキビ品種の「KRFO93-1」を用いた。2007年5月18日に1区132m²（4畦×33m）とし、1芽苗で6.36芽 m²の栽植密度で植付けた（畦間は110cm、株間は約14.3cm）。

施肥は化成肥料を用いて、植付け時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0 (g m⁻²)、植付け後60日目（7月17日）に追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0 (g m⁻²)を施用した。肥培管理方法は製糖用サトウキビに準じて行ったが、通常、製糖用サトウキビで実施する株元への高培土は行わず、平培土のみで栽培した。

植付け114日後、147日後、179日後、201日後、273日後、328日後（それぞれ、2007年9月9日、10月12日、11月13日、12月5日、2008年2月15日、4月10日）に、試験区内のうち2、3畦目から平均的な生育を示した4株を選び、株ごとに収穫調査を実施した。収穫調査時には仮茎長、株あたり乾物重、乾物率を測定した。仮茎長は地際から最上位の肥厚帯までの長さを測定した。1株を地際から刈り取り株あたり生草重を測定した。株あたり生草重の測定に用いたサンプルを約2cmにカッターで切断し、65℃で48時間以上、十分に乾燥させた後、サンプルの生草重に対する乾物重の割合から乾物率を算出した。株あたり乾物重は株あたり生草重と乾物率の積で算出した。

植物体のミネラル濃度の分析には、乾物率を測定したサンプルを用いた。植物体のK、Ca、Mg濃度は湿式灰化－原子吸光光度法（バリアン、SpectrAA280FS）で測定した。 $K/(Ca+Mg)$ 当量比は、K、Ca、Mg濃度の値を用いて算出した。また、

硝酸態窒素濃度の分析は、オートアナライザー法（ビーエルテック、QuAAtro）により分析した。

試験開始前に試験区内の3ヶ所から土壌を採取して、pHおよび交換性K、Ca、Mgを測定した。pHはガラス電極法（堀場製作所、pH/ION METER F-24型）、交換性K、Ca、Mgはショーレンベルガー法－原子吸光光度法（バリアン、SpectrAA220）で測定した。

(2) 試験2：生育期間の異なる「KRFO93-1」の地上部のミネラル濃度および $K/(Ca+Mg)$ 当量比

II-1の年1回収穫および年2回収穫体系で栽培した飼料用サトウキビ「KRFO93-1」を供試した。試験の詳細はII-1で記載したため、概略のみ記載する。

試験地は試験1と同様であった。新植は年1回収穫のみとし、年1回収穫区、年2回収穫区の設定は株出し1年目、2年目のみ行った。なお、以後、年1回収穫区の1番草については年1回収穫区とだけ記し、年2回収穫区については年2回収穫区の1番草、2番草と記す。

施肥は化成肥料を用いて、1作あたり基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで5.8:9.6:4.8 (g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:0.0:7.2 (g m⁻²)を施用した。新植では基肥を植付け時の6月下旬に、追肥を8月上旬に施用した。株出し1年目、2年目において、年1回収穫区では基肥を6月上旬、追肥を7月中旬に施用した。年2回収穫区の1番草では基肥を6月上旬、追肥を7月中旬に施用し、2番草では基肥を9月下旬、追肥を3月下旬に施用した。

II-1に記載がない項目では茎／葉比を測定した。茎／葉比は葉身と茎（葉鞘および枯葉も含む）に分解して、乾物あたりの茎／葉比で算出した。なお、茎／葉比は株出し1年目、2年目ともに年1回収穫区および年2回収穫区の2番草のみを対象に測定した。

試験1と同様の方法で、乾物率を測定したサンプルから植物体のK、Ca、Mg濃度を分析し、 $K/(Ca+Mg)$ 当量比はこれらの値を用いて算出した。また、試験1と同様の方法で試験開始前に試験区内の3ヶ所から土壌を採取して、土壌のpH、交換性K、Ca、Mgを測定した。

2) 結果

(1) 試験1：新植における「KRFO93-1」の生育に伴う地上部の $K/(Ca+Mg)$ 当量比および硝酸態

窒素濃度の変化

i) 生育の推移

試験地の種子島は南西諸島では高緯度に位置するため、12月から3月までの年平均気温が15℃以下と低温であり、生育の主な制限要因となる。II-1で示すとおり、試験期間中の月平均気温は、ほぼ平年並みであった。2008年の2月は平年よりやや低かったが、霜害による葉の枯死などは認められなかった。降水量は2007年9月から11月および2008年2月から4月が平年より少なかったものの、水不足による大きな生育抑制は認められなかった。試験期間中に台風が接近したが、生育への影響は軽微であった。

土壌のpHは 6.20 ± 0.10 でサトウキビに好適な値であった。土壌の交換性K (K_2O) は $39.0 \pm 4.7mg$ 乾土 $100g^{-1}$ 、交換性Ca (CaO) は $365 \pm 37mg$ 乾土 $100g^{-1}$ 、交換性Mg (MgO) は $62.2 \pm 3.3mg$ 乾土 $100g^{-1}$ であり、交換性K, Ca, Mgともサトウキビ栽培基準(鹿児島県農政部 1991)と比較してほぼ適正な値であった。

仮茎長は植付け201日後(2007年12月5日)まで生育日数の増加に伴い大きくなり、328日後(2008年4月10日)までの冬季間は約210cmでほとんど増加しなかった(第8表)。

地上部乾物重は生育日数の増加に伴い大きくなり、植付け328日後が最大で $686g$ 株 $^{-1}$ であった(第8表)。乾物率は、初回調査時の植付け114日後(9月9日)が19.2%で最も低く、その後、生育日数の増加に伴い高くなった(第8表)。

ii) 生育に伴う地上部のK/(Ca+Mg)当量比および硝酸態窒素濃度の変化

地上部のK濃度は初回調査時の114日後が最大で2.12%であり、生育日数の増加に伴い小さくなり、273日後、328日後では0.64%、0.71%と低かった(第8表)。Mg濃度もK濃度と同様に生育日数の増加に伴い小さくなったが、Ca濃度は各調査時に有意な差は認められなかった。K/(Ca+Mg)当量比は114日後が最大の2.14であり、全ての調査時において基準値の2.2を下まわった。その後、生育日数の増加に伴い小さくなり、273日後、328日後では0.81、0.86であった。

第17図に生育の指標とした乾物重とミネラル濃度(K, Ca, Mg濃度)およびK/(Ca+Mg)当量比の関係を示す。乾物重とK濃度の間には5%水準で有意な負の相関関係が認められた。一方、乾物重とMg濃度、Ca濃度の間には明瞭な関係は認められなかった。また、乾物重とK/(Ca+Mg)当量比の間には5%水準で有意な負の相関関係が認められた。

地上部の硝酸態窒素濃度は調査期間を通して、基準値の0.2%を大きく下回った(第8表)。

(2) 試験2: 生育期間の異なる「KRF093-1」の地上部のK/(Ca+Mg)当量比

II-1で報告のとおり、平均気温、降水量ともに平年値と比較して大きな差異はなかった。しかし、試験地は無霜地帯に位置づけられるが、2007年2月3日に霜害(最低気温 $-0.5^{\circ}C$)を受け、「KRF093-1」の葉の一部に軽微な枯れが認められた。

土壌のpHは 6.3 ± 0.03 でサトウキビに好適な値であった。土壌の交換性K(K_2O)は $32.5 \pm 3.5mg$ 乾土

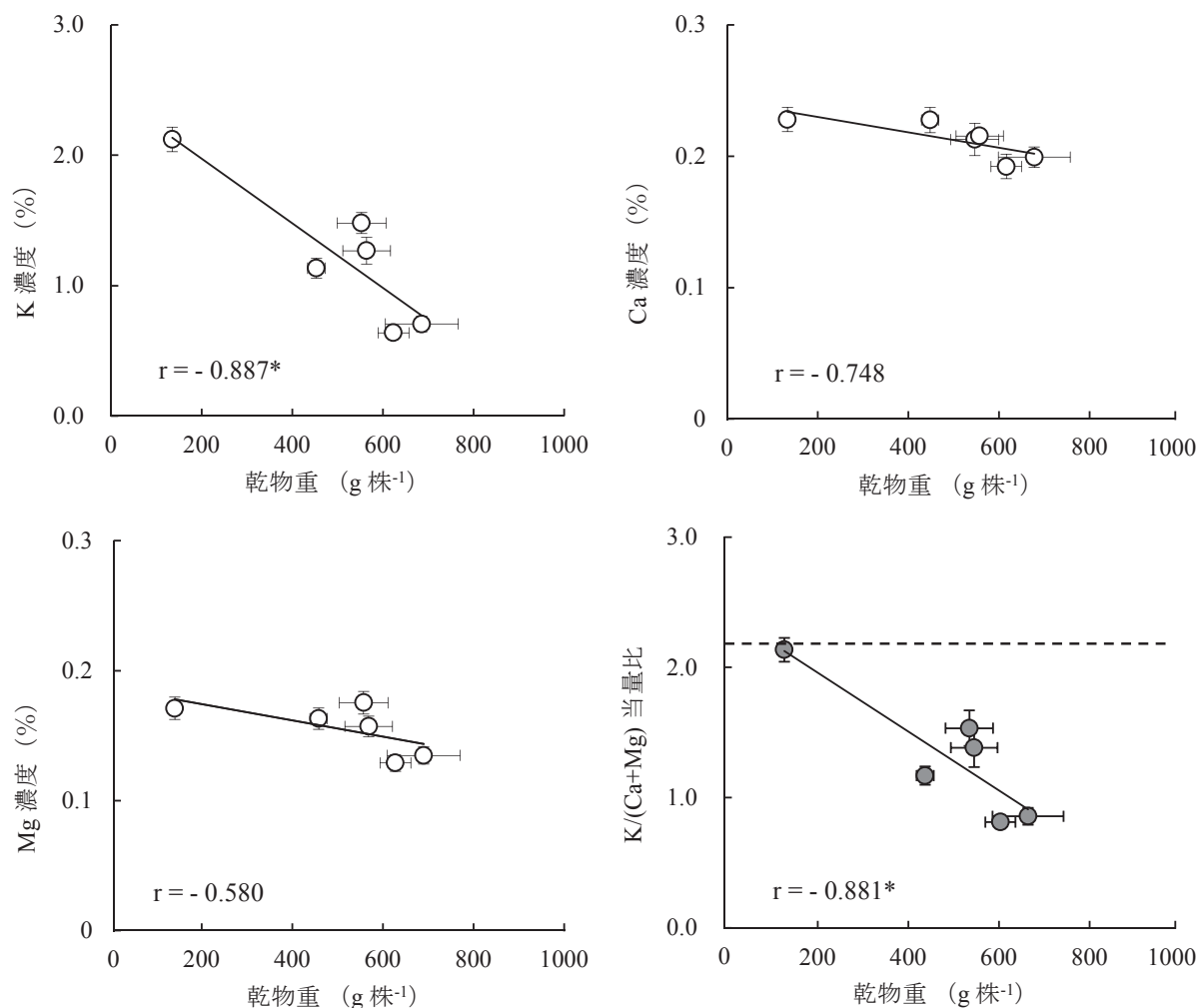
第8表 新植における地上部諸特性、ミネラル濃度およびK/(Ca+Mg)当量比の推移(試験1)

植付け後 日数 (日)	仮茎長 (cm)	地上部 乾物重 (g 株 $^{-1}$)	乾物率 (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	K/(Ca+Mg) 当量比	NO $_3$ -N (%)
114	123 c	135 c	19.2 d	2.12 a	0.228	0.171 ab	2.14 a	0.00175
147	173 b	453 b	26.9 c	1.13 b	0.228	0.163 abc	1.17 bc	0.00150
179	198 ab	553 ab	27.3 bc	1.48 b	0.213	0.175 a	1.53 b	0.00200
201	209 a	564 ab	29.4 ab	1.27 b	0.216	0.157 abc	1.38 b	0.00175
273	211 a	623 ab	28.7 abc	0.64 c	0.192	0.129 c	0.81 c	0.00275
328	210 a	686 a	30.2 a	0.71 c	0.199	0.135 bc	0.86 c	0.00125
有意差	**	**	**	**	n.s.	**	**	n.s.

注: **は分散分析により1%で有意差があることを示す。

同一アルファベット間はTukey法により有意差なし(P<0.05)。

K/(Ca+Mg)当量比の上限値は2.2, NO $_3$ -Nの上限値は0.02%。



第17図 乾物重と地上部ミネラル濃度および K/(Ca+Mg) 当量比の関係 (試験 1)

シンボルおよび縦棒・横棒は、平均値および標準誤差を示す。

*は 5%水準で負の相関関係があることを示す。

破線は K/(Ca+Mg) 当量比の基準値の2.2を示す。

100g⁻¹、交換性 Ca(CaO) は283±14mg 乾土100g⁻¹、交換性 Mg(MgO) は48.4±0.2mg 乾土100g⁻¹であり、交換性 K, Ca, Mgともサトウキビ栽培基準 (鹿児島県農政部 1991) と比較してほぼ適正な値であった。

茎/葉比は株出し1年目、2年目の年1回収穫区で6.86, 6.57と大きく、株出し1年目、2年目の年2回収穫区の2番草で1.37, 1.47と小さかった (第9表)。ちなみに、II-1のとおり年1回収穫区が最も乾物収量が大きく、年2回収穫区の2番草が最も小さい。新植、年1回収穫区、年2回収穫区の1番草、2番草における、茎/葉比以外の収穫時の諸特性および収量についてはII-1を参照されたい。

地上部の K, Ca, Mg 濃度および K/(Ca+Mg) 当量比を第9表に示す。供試した「KRFo93-1」の K,

Ca および Mg 濃度はそれぞれ1.30~2.43%, 0.197~0.350%, 0.129~0.193% の範囲にあった。K/(Ca+Mg) 当量比は1.53~2.03の範囲にあり、いずれも基準値の2.2を下まわった。

第18図に生育の指標とした乾物重と地上部のミネラル濃度 (K, Ca, Mg 濃度) および K/(Ca+Mg) 当量比の間の関係を示す。なお、図の乾物重はII-1の乾物収量を栽植密度で除して株あたり乾物重を算出した値を活用した。乾物重と K 濃度の間には5%水準で、また、乾物重と Mg 濃度の間には1%水準で有意な負の相関関係が認められた。一方、乾物重と Ca 濃度の間には明瞭な関係は認められなかった。また、乾物重と K/(Ca+Mg) 当量比の間には5%水準で有意な負の相関関係が認められた。

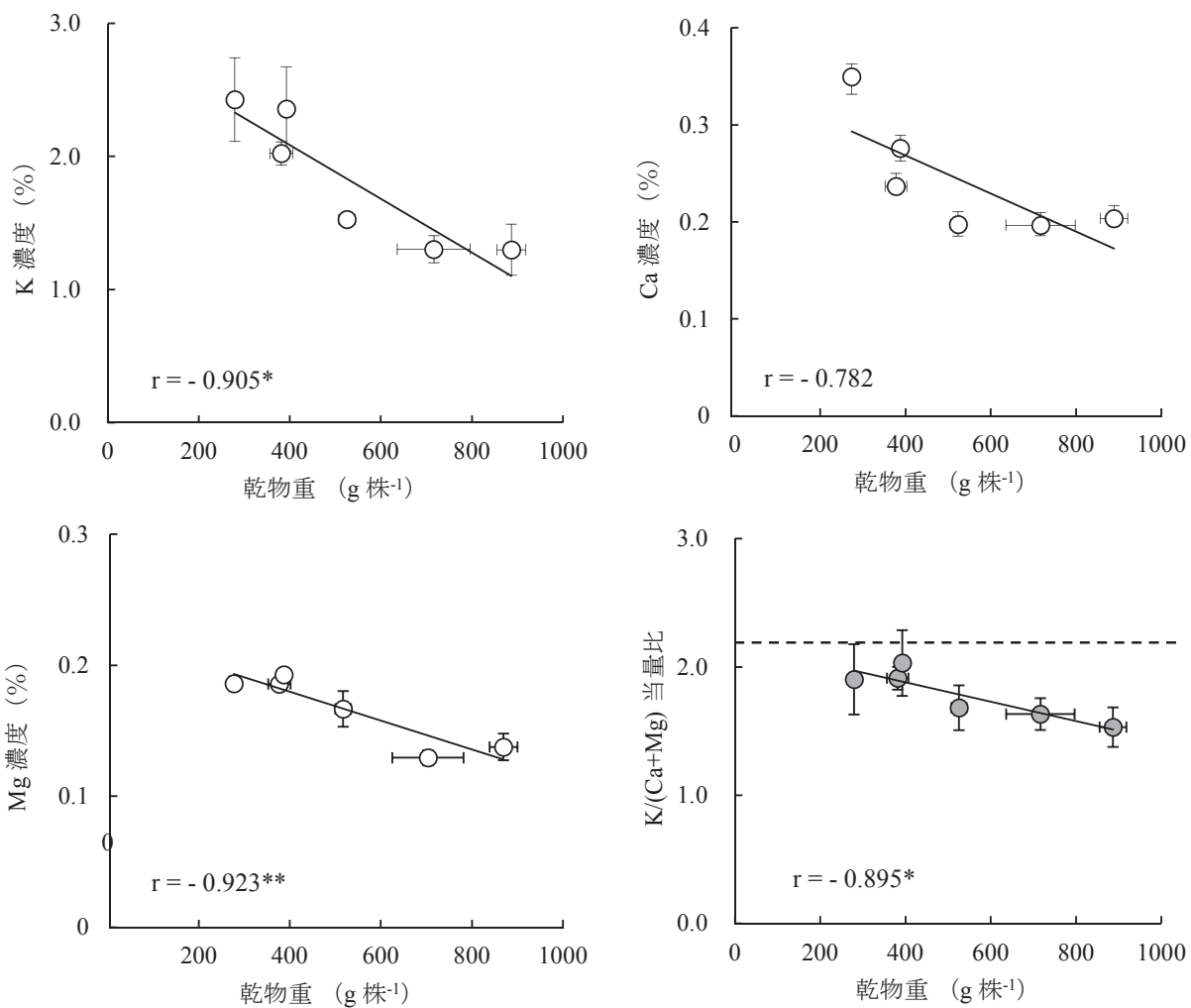
第9表 収穫時の地上部諸特性, ミネラル濃度およびK/(Ca+Mg) 当量比 (試験2)

	年次	収穫体系	番草	茎/葉比	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	K/(Ca+Mg) 当量比
KRF093-1	新植	年1回	1番草	-	2.02±0.09	0.237±0.007	0.186±0.004	1.91±0.09
	株出し 1年目	年1回	1番草	6.86±0.50	1.30±0.10	0.197±0.011	0.129±0.006	1.63±0.12
		年2回	1番草	-	1.53±0.05	0.197±0.012	0.167±0.014	1.68±0.17
	株出し 2年目	年1回	1番草	6.57±0.25	1.30±0.19	0.204±0.008	0.138±0.010	1.53±0.15
		年2回	1番草	-	-	-	-	-
			2番草	1.47±0.07	2.36±0.31	0.276±0.013	0.193±0.003	2.03±0.26

注：新植の数字は平均値±標準誤差 (n=6) を示す。

株出し1年目, 2年目の数字は平均値±標準誤差 (n=3) を示す。

表中の「-」の箇所はデータなし。



第18図 乾物重と地上部ミネラル濃度およびK/(Ca+Mg) 当量比の関係 (試験2)

シンボルおよび縦棒・横棒は, 平均値および標準誤差を示す。

**、*は1%、5%水準で負の相関関係があることを示す。

破線はK/(Ca+Mg) 当量比の基準値の2.2を示す。

3) 考察

飼料としての利用に向けては疾病に関する項目の評価が必要であり、硝酸態窒素並びにミネラルバランスはこの主要な評価項目として挙げられる。

このうち、硝酸態窒素については生育期間を通して基準値の0.2%を大きく下回っており(第8表)、Ishikawa *et al.* (2009) および原田ら(2010)の報告と同様に、生育ステージに関わらず硝酸態窒素の蓄積は少なかった。このように、若い生育ステージで収穫する年2回収穫体系の「KRFo93-1」においても、硝酸態窒素の蓄積による疾病への懸念は低いと判断される。このため、以下はK/(Ca+Mg)当量比と生育の関係について考察する。

水稲(加納ら2000)やトウモロコシ(広田ら1991)では、生育が進むにつれてK/(Ca+Mg)当量比が低下することが報告されている。II-4の試験1, 2ともに、乾物重とK/(Ca+Mg)当量比の間には有意な負の相関関係が認められ(第17, 18図)、飼料用サトウキビにおいても同様に、生育が進むにつれてK/(Ca+Mg)当量比が低下することが明らかとなった。飼料用サトウキビ向けの収穫体系として、1作の栽培期間が短い年2回収穫体系を提案している。その場合、若い生育ステージでの収穫が想定されるが、II-4ではK/(Ca+Mg)当量比が基準値2.2を超える例は認められなかった。また、II-4では土壌のミネラル含量がサトウキビ栽培基準(鹿児島県農政部1991)と比較してほぼ適正值の範囲内あり、このような条件の範囲内の結果であるが、年2回収穫体系での若い生育ステージでの利用においてもK/(Ca+Mg)当量比に問題はないと判断された。

生育が進むにつれてK/(Ca+Mg)当量比が低下したが、この要因として下記の2点が推察される。

水稲の報告(加納ら2000)では、生育初期でK/(Ca+Mg)当量比が高く(3.5~4.0)、生育および登熟が進むにつれて低下している(およそ1.5)。この要因の一つとして、出穂期以降の登熟の進展によりK/(Ca+Mg)当量比の低い子実部の割合が高まることが示唆されている。飼料用サトウキビ「KRFo93-1」の利用は茎葉部であるが、第9表が示すように生育が進むと茎/葉比が大きくなり、茎が主要な収穫部位となる。器官別の分析を実施していないため、これ以上の議論はできないが、茎の比率の増加が生育に伴うK/(Ca+Mg)当量比の低下と関係している

可能性が推察される。

また、若い生育ステージでK/(Ca+Mg)当量比が高くなった要因として施肥の影響が考えられる。上記のとおり、試験1, 2ともに施肥は製糖用サトウキビにならない、基肥を植付けおよび株出し栽培開始の直後に、また、追肥は草冠が閉じて群落が完成した頃を目安に施用した。このため、施肥のK₂Oは初期生育時に重点的に施用されている。サトウキビはKを贅沢吸収しやすいこと(宮里1986)、また、一般的にK吸収とCa, Mg吸収には拮抗作用があることが知られる(Marschner 1995)。このため、生育初期に肥料としてK₂Oを重点的に施用したことが、若い生育ステージにおける高いK/(Ca+Mg)当量比をもたらした可能性も考えられる。

以上のように、硝酸態窒素は生育ステージに関わらず、基準値の0.2%を大きく下回ること、また、K/(Ca+Mg)当量比は土壌のミネラルバランスが適正な条件においては、若い生育ステージにおいてもK/(Ca+Mg)当量比が基準値の2.2を超える例は認められず、また、生育に伴いK/(Ca+Mg)当量比は低下することが明らかになった。このため、年2回収穫体系で飼料用サトウキビ「KRFo93-1」を栽培することは、硝酸態窒素やK/(Ca+Mg)当量比など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。

III. 飼料用サトウキビ品種「KRFo93-1」の栽培技術の開発

1. 栽培体系における最適栽植密度

IIでは飼料用サトウキビ向けの収穫体系について検討し、年2回収穫が収量および収穫作業性の点で優れること、その場合、収穫時期の設定として8-5月が適していることなどを明らかにした。

飼料用サトウキビの安定多収栽培を実現するためには、収穫体系のみならず、その他の栽培技術についても検討する必要がある。そこで、IIIではIIに引き続き、種子島において飼料用サトウキビ品種「KRFo93-1」の安定多収栽培技術の開発に取り組んだ。具体的には、栽植密度、収穫後の残株の処理方法(株揃え)、施肥方法について検討した。

製糖用サトウキビの栽培では、初期生育が緩慢なことが安定多収を実現するための課題として指摘されている(寺内2002, Allison *et al.* 2007)。II-1

で示したように、飼料用サトウキビ品種「KRFo93-1」は株出し栽培における初期生育は製糖用品種と比較して大きく改善されているが、新植での初期生育は株出し栽培のような大きな差異は認められない。このため、新植における初期生育の促進が「KRFo93-1」の栽培上の課題となっている。また、除草剤の登録に向けた取り組みが進められているものの、現時点では飼料用サトウキビ用として登録された除草剤がない。このため、雑草防除は耕種的に行うしかなく、新植において初期生育を促進させることは、雑草との光競合を優位にするという視点からも非常に重要となる。

「KRFo93-1」の新植での初期生育を促進する栽培技術としては、密植が考えられる。密植は葉面積指数を高めることにより、収量増加を狙う栽培技術として様々な作物で導入されており、雑草防除効果も報告されている（大段 2005, 水流ら 2005）。製糖用サトウキビの栽培でも密植の効果が検討されており、生育初期の乾物生産性が改善されること、生育初期の茎数や草高が増大することなどが報告されている（宮里 1986, 野瀬ら 1989）。このため、「KRFo93-1」でも密植により初期生育が促進される可能性が高い。

一方、製糖用サトウキビでは密植による収量増加の報告があるものの（大城ら 1989）、密植では生育後半に過繁茂や倒伏などで枯死茎が多く発生するため、収量増加に繋がらないとの報告もある（野瀬ら 1989, 佐藤・吉田 2001）。収量増加に繋がらない要因として、製糖用サトウキビの1作の栽培期間が12～18ヶ月にも及ぶことが指摘される。一方、「KRFo93-1」では1作の栽培期間が短縮されているため、収穫時でも密植の効果が維持され、収量増加がより明瞭になる可能性が大きい。

そこでⅢ-1では、まず、栽植密度を変えた処理区を設けて、生育初期の茎数および仮茎長の推移から、密植により新植での初期生育の促進効果が認められるかを検証するとともに、雑草抑制に大きく関与する土壌表面の被植度（大段 2005, 小林 2006）に及ぼす栽植密度の影響についても検討した。次に、密植により新植での生草収量や乾物収量が増加するかを検証した。さらに、飼料用サトウキビは株出し栽培を継続するため、栽植密度が株出しでの萌芽および収量に及ぼす影響についても検討した。

最後にこれらをふまえて、「KRFo93-1」を実際に栽培するにあたって留意すべき点を考察した。

1) 材料および方法

(1) 2007年の栽培試験

試験は2007年と2008年の2年間実施した。2007年は鹿児島県西之表市安納の農家圃場（北緯30° 44′, 東経131° 04′, 標高53m, 黒ボク土, 前作はバレイショ）で試験を実施した。試験には飼料用サトウキビ品種「KRFo93-1」を用いた。栽植密度として製糖用サトウキビに準じて6.36芽 m^2 を植付けた対照区のほかに、9.54芽 m^2 を植付けた1.5倍区、12.7芽 m^2 を植付けた2倍区の密植区を設けた。株間は対照区で約14.3cm, 1.5倍区で約9.5cm, 2倍区で約7.1cmとした。ケーンハーベスタでの収穫を想定して畦間はいずれも110cmとし、狭畦による密植の効果は検討しなかった。試験区は1区22.0 m^2 （5m × 4畦）で6反復の乱塊法とした。施肥は製糖用サトウキビに準じ、植付け時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0 (g m^{-2}), 植付け後66日目に追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0 (g m^{-2})を施用した。植付け後45日目と追肥施用時の植付け後66日目に畦間を耕耘機で中耕した。植付け方法や肥培管理方法は製糖用サトウキビに準じて行ったが、通常、製糖用サトウキビ栽培で実施する株元への高培土は行わなかった。

2007年4月16日に植付けた。植付け後45, 63, 88, 122, 148日目に茎数、仮茎長を測定した（植付け後45日目の仮茎長は測定せず）。各区とも、中央2畦の茎数（弱小の遅けつも含む）を測定した。この茎数を植付け芽数で除して、1株茎数を算出した。また、中央2畦の平均的な生育を示した茎の仮茎長（各畦5本）を測定した。

植付け後177日目（10月10日）に新植での収穫調査を実施し、生草収量、乾物収量、乾物率、収穫茎数、仮茎長、茎径、蔗汁 Brix を測定した。生草収量と乾物収量は、平均的な生育を示したサンプル茎5本を刈り取り、1茎の生草重および乾物重を測定した後、1茎重と各区の収穫茎数との積を算出して推定した。ただし、収穫茎数は茎数から弱小の遅けつ数を除いた値とした。仮茎長は地際から最上位の肥厚帯までの長さを測定した。茎径は葉鞘を取り除いた後、仮茎長を指標とし、茎の中程の節の短径部分をデジタルノギスで測定した。蔗汁 Brix は、梢

頭部を切除した茎を圧搾機にかけて搾汁液を採取した後、デジタル屈折計（アタゴ RX5000 a）で測定した。

収穫調査後の残茎は、植付け後177日目にケーンハーベスタ（松元機工, MCH-15）で収穫した後、株出し栽培での基肥として $N:P_2O_5:K_2O$ で $7.2:12.0:6.0$ ($g\ m^{-2}$) を施用した。収穫後27日目に萌芽茎数を調査し、この萌芽茎数を収穫茎数で除して萌芽率を算出した。株出し後175日目に追肥として $N:P_2O_5:K_2O$ で $9.0:0.0:9.0$ ($g\ m^{-2}$) を施用した後、株出し後287日目の7月28日に株出し1回目の収穫調査を実施した。収穫調査方法は新植の場合と同様である。上記のように、Ⅲ-1でも収穫サイクルは年1回収穫よりも短く設定したが、試験実施の都合上、年2回収穫より一作の栽培期間がやや長い栽培期間の設定とした。

(2) 2008年の栽培試験

2008年は2007年とは異なる西之表市安納の農家圃場（北緯 $30^{\circ} 43'$ ，東経 $131^{\circ} 04'$ ，標高30m，黒ボク土，前作はイタリアンライグラス）で試験を実施した。試験には2007年と同様に「KRFo93-1」を用いた。栽植密度は2007年と同様に対照区，1.5倍区，2倍区を設け，畝間や株間も2007年と同様とした。試験区は1区 $17.6\ m^2$ （ $4\ m \times 4$ 畦）で6反復の乱塊法とした。肥培管理は2007年度と同様とした。追肥は植付け後49日目に施用し，植付け後34日目に追肥施用時の植付け後49日目に畦間を耕耘機で中耕した。

2008年4月18日に植付けた。植付け後38，49，61，75，87，102，115，143日目に茎数，1株茎数，仮茎長を測定した。2008年はさらに，植付け後19，49，67，75日目に被植度を測定した。被植度はデジタルカメラ（Canon, IXY DIGITAL 700）と画像処理ソフト（Adobe, Photoshop Elements 2.0）を用いて以下のように測定した。すなわち，晴天日の正午に高さ約3mから群落の写真を各区につき1枚ずつ撮影した。画像処理ソフトを用いて約110cm（畦間） \times 約110cm（畦方向）の範囲の画像を切り取り，「KRFo93-1」の植物体の部分の色の明度を+100に，地表面など「KRFo93-1」の植物体部分以外の色の明度を-100に手作業で変換した後，全体のピクセル数に占める「KRFo93-1」の植物体部分のピクセル数の比率を計算した被植度とした。

植付け後160日目（9月25日）に，2007年と同様

の方法で，新植での収穫調査を実施した。収穫調査後の残茎は，植付け後166日目にケーンハーベスタ（文明農機，HC50-N）で収穫した後，収穫後23日目に2007年と同様の方法で萌芽茎数および萌芽率を測定した。株出し1回目の収穫調査は2007年のみとし，2008年は実施しなかった。

(3) 気象概況

気象条件により栽植密度と新植での生育および収量との関係が影響を受ける可能性があるため，2007年と2008年の新植での生育期間中の気温，日射量，降水量を九州沖縄農業研究センター種子島試験地の気象観測装置により測定した。

(4) 統計解析

すべてのデータは統計処理ソフト（SPSS ver.10.0）で解析した。

2) 結果

(1) 新植での生育期間中の気象概況

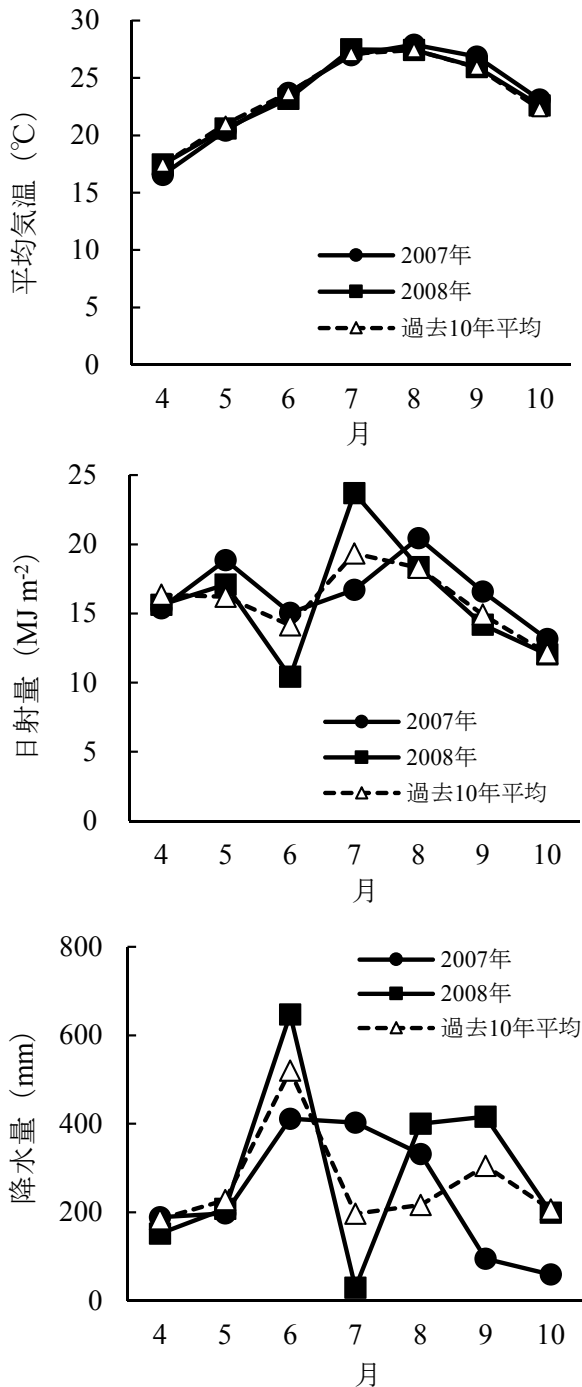
2007年は月平均気温，月平均日射量ともほぼ平年並みであった（第19図）。降水量は7月，8月が平年より多く，9月，10月が平年より少なかった。2007年9月13日に台風13号（最大瞬間風速 $20.0\ m\ sec^{-1}$ ）が接近したが，生育への影響は軽微であった。

2008年も2007年と同様に月平均気温は平年並みであった（第19図）。一方で，2008年の月平均日射量は6月が平年より少なく，7月が平年より多かった。これは，6月に雨天日が多く，また，7月に晴天日が多かったためであり，降水量は6月が平年より多く，7月が平年より少なかった。8月，9月の降水量は平年より多かった。2008年7月14日に台風4号（最大瞬間風速 $49.3\ m\ sec^{-1}$ ），2008年8月2日に台風5号（最大瞬間風速 $39.9\ m\ sec^{-1}$ ）が接近したが，2007年と同様に生育への影響は軽微であった。

(2) 栽植密度が「KRFo93-1」の初期生育に及ぼす影響

i) 2007年の栽培試験

茎数は対照区，1.5倍区や2倍区ともに植付け後63日目に最大となり，その後，減少するという推移を示した（第10表）。茎数は生育期間を通して対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で多かった。特に，植付け後88日目までは対照区と密植区で有意な差が認められた。一方で，1株茎数は生育期間を通して対照区で多く，1.5倍区や2倍区の密植区で少ないという推移を示した。最高分げつ期の植付け後63日



第19図 新植の生育期間中の気象概況

目の茎数に対する、植付け後177日目の収穫茎数の割合から有効茎歩合を算出すると、対照区、1.5倍区、2倍区でそれぞれ65%、53%、46%であり、密植区で有効茎歩合が低く、対照区で高かった（第10、13表より算出）。仮茎長も茎数と同じく、植付け後88日目までは対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で大きく、対照区と密植区で有意な差が認められた。その後は密植区と対照区の仮茎長の差が小さくなった（第10表）。

ii) 2008年の栽培試験

茎数は対照区、1.5倍区、2倍区とも植付け後75日目に最大となり、その後、減少するという2007年とほぼ同様の推移を示した（第11表）。茎数は生育期間を通して対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で多くなり、植付け後143日目まで対照区と密植区に有意な差が認められた。一方で、1株茎数は生育期間を通して対照区で多く、1.5倍区や2倍区の密植区で少ないという2007年と同様の推移を示した。最高分げつ期の植付け後75日目の茎数に対する、植付け後160日目の収穫茎数の割合から有効茎歩合を算出すると、対照区、1.5倍区、2倍区でそれぞれ87%、77%、71%であり、2007年と同様に密植区で有効茎歩合が低く、対照区で高かった（第11、13表より算出）。2007年と同様に仮茎長は植付け後102日目までは対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で大きく、対照区と密植区で有意な差が認められた（第11表）。その後は密植区と対照区の仮茎長の差が小さくなった。

iii) 栽植密度が「KRFo93-1」の土壤表面の被植度に及ぼす影響

被植度は植付け後19日目から75日目まで、対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で大きく、対照区と密植区で有意な差が認められた（第12表）。対照区に対する2倍区の被植度は植付け後49日目で最大で3.0倍であり、植付け後75日目でも1.4倍の被植度を示した（第12表より算出）。密植による被植度の増加は初期生育の促進効果によるものであり（第11表）、茎数の増加により葉数や葉面積が増加することで被植度が増加した。観察による評価であるが、密植区、特に2倍区では、植付け後67日目では株間はほぼ被覆され、また、植付け後75日目では畦間の被植度も大きくなり、密植により群落内への光の透過が大きく低下していた（写真5）。

iv) 栽植密度が「KRFo93-1」の新植での収量に及ぼす影響

2007年（植付け後177日目）における収穫調査の結果、生草収量、乾物収量とも対照区より1.5倍や2倍の密植区で高くなる傾向が認められた（第13表）。2008年（植付け後160日目）における収穫調査の結果、生草収量、乾物収量とも対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で有意に高くなった（第13表）。また、2年間の平均値でも密植区で対照区より生草収量、

第10表 栽植密度が新植での「KRF093-1」の生育に及ぼす影響（2007年）

	処理区	植付け後日数				
		45	63	88	122	148
茎数 (本 m ⁻²)	対照区	6.2 c	26.3 c	23.3 b	18.1	17.2
	1.5倍区	9.0 b	35.2 b	25.8 ab	19.0	17.5
	2倍区	11.7 a	41.0 a	28.8 a	19.2	19.0
有意差		**	**	**	n.s.	n.s.
1株茎数 (本 株 ⁻¹)	対照区	0.98	4.13 a	3.65 a	2.85 a	2.70 a
	1.5倍区	0.94	3.69 ab	2.70 b	1.99 b	1.84 b
	2倍区	0.92	3.23 b	2.26 c	1.51 c	1.49 c
有意差		n.s.	**	**	**	**
仮茎長 (cm)	対照区	-	37 c	84 c	160	226
	1.5倍区	-	41 b	90 b	165	226
	2倍区	-	47 a	100 a	170	230
有意差			**	**	n.s.	n.s.

注：**，*は一元配置の分散分析で1%，5%水準で有意差があることを示す。
同一アルファベット間には Tukey 法により有意差なし (p<0.05)。

第11表 栽植密度が新植での「KRF093-1」の生育に及ぼす影響（2008年）

	処理区	植付け後日数							
		38	49	61	75	87	102	115	143
茎数 (本 m ⁻²)	対照区	5.8 c	12.3 c	16.1 c	18.2 c	18.2 b	18.1 c	16.9 b	15.6 b
	1.5倍区	8.8 b	16.5 b	21.0 b	23.7 b	23.1 a	21.1 b	20.5 a	18.8 a
	2倍区	11.7 a	21.5 a	26.9 a	27.7 a	26.8 a	23.8 a	20.9 a	18.7 a
有意差		**	**	**	**	**	**	**	**
1株茎数 (本 株 ⁻¹)	対照区	0.92	1.93	2.54	2.87 a	2.86 a	2.85 a	2.65 a	2.46 a
	1.5倍区	0.92	1.73	2.20	2.48 ab	2.42 ab	2.21 b	2.14 b	1.97 b
	2倍区	0.92	1.69	2.11	2.18 b	2.11 b	1.87 c	1.65 c	1.47 c
有意差		n.s.	n.s.	n.s.	**	**	**	**	**
仮茎長 (cm)	対照区	10 b	19 b	23 b	49 c	84 c	142 b	180	235
	1.5倍区	12 ab	20 ab	25 ab	52 b	89 b	148 a	185	236
	2倍区	13 a	21 a	28 a	56 a	95 a	149 a	183	234
有意差		**	**	**	**	**	**	n.s.	n.s.

注：**，*は一元配置の分散分析で1%，5%水準で有意差があることを示す。
同一アルファベット間には Tukey 法により有意差なし (p<0.05)。

第12表 栽植密度が新植での「KRF093-1」の被植度に及ぼす影響（2008年）

	処理区	植付け後日数			
		19	49	67	75
被植度 (%)	対照区	3.1 b	5.5 c	32.8 c	42.0 c
	1.5倍区	6.7 a	9.7 b	47.5 b	49.0 b
	2倍区	8.1 a	16.6 a	54.0 a	58.7 a
有意差		**	**	**	**

注：**，*は一元配置の分散分析で1%，5%水準で有意差があることを示す。
同一アルファベット間には Tukey 法により有意差なし (p<0.05)。

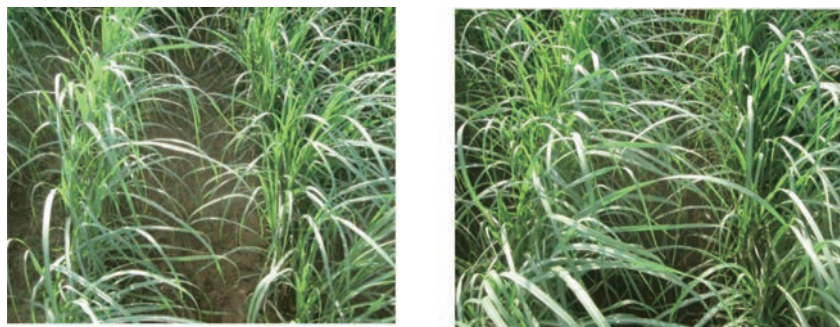


写真5 植付け後75日目の「KRF093-1」の土壌表面の被覆の様子(2008年)
左：対照区，右：2倍区

第13表 栽植密度が新植での「KRF093-1」の収量に及ぼす影響

年次	処理区	生草収量 (kg m ⁻²)	乾物収量 (kg m ⁻²)	乾物率 (%)	収穫茎数 (本 m ⁻²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁 Brix (%)
2007年	対照区	13.0	2.88	22.2	17.2	272	15.5	7.58
	1.5倍区	14.5	3.26	22.5	18.8	270	15.5	7.70
	2倍区	14.1	3.32	23.5	18.9	264	15.6	8.50
	有意差	n.s.	n.s.	†	†	n.s.	n.s.	†
2008年	対照区	12.1 b	2.83 b	23.5	15.9 b	258	17.4	8.10 b
	1.5倍区	13.3 ab	3.15 ab	23.8	18.2 a	258	16.9	8.36 ab
	2倍区	14.8 a	3.58 a	24.3	19.6 a	259	17.0	9.36 a
	有意差	*	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	*
平均値	対照区	12.5	2.85 b	22.8	16.5	265	16.4	7.84
	1.5倍区	13.9	3.21 ab	23.1	18.5	264	16.2	8.01
	2倍区	14.5	3.45 a	23.9	19.3	261	16.3	8.91
	有意差	n.s.	*	n.s.	†	n.s.	n.s.	n.s.

注：各年次における **, *, †は一元配置の分散分析で 1%, 5%, 10% 水準で有意差があることを示す。

平均値における *, †は一元配置の分散分析で、年次の平均値間に 5%, 10% 水準で有意差があることを示す。

同一アルファベット間には Tukey 法により有意差なし (p<0.05)。

生草収量、乾物収量は、収穫茎数とサンプル茎重の積より推定。

2007年、2008年の収量調査はそれぞれ植付け後177日目、160日目に実施。

乾物収量が高くなる傾向が認められ、特に、2倍区では対照区よりもそれぞれ15%、21%の増収が認められた(第13表)。収穫茎数は2007年、2008年および2年間の平均値において、対照区より1.5倍区や2倍区の密植区で多くなった(第13表)。また、乾物率、蔗汁 Brix についても、対照区と比較して1.5倍区や2倍区の密植区で高くなる傾向が認められた(第13表)。収穫調査時の仮茎長や茎径には栽植密度の影響はほとんど認められなかった。

v) 栽植密度が「KRF093-1」の株出しでの萌芽および収量に及ぼす影響

2007年(株出し後27日目)、2008年(株出し後23日目)および2年間の平均値において、萌芽茎数は対照区と比較して1.5倍区や2倍区の密植区で大きくなった(第14表)。萌芽率については2倍区で大

きくなる傾向が認められ、2007年では対照区と2倍区に有意な差が認められた(第14表)。

2007年のみ株出し1回目での収穫調査を実施した。生草収量、乾物収量ともに密植区では対照区よりも多い傾向を示し、2倍区では対照区と比較して生草収量で14%、乾物収量で13%の増収が認められた(第15表)。また、収穫茎数も密植区では対照区よりも多い傾向を示し、2倍区では対照区と比較して10%の増加が認められた(第15表)。

3) 考察

(1) 栽植密度が「KRF093-1」の初期生育に及ぼす影響

サトウキビの草冠が閉じるまでの期間を生育初期と定義すると、対照区を基準にした際には、2007年で植付け後88日目以前、2008年で植付け後87日目以

第14表 栽植密度が株出しでの「KRF093-1」の萌芽に及ぼす影響

年次	処理区	萌芽茎数 (kg m ⁻²)	萌芽率 (%)
2007年	対照区	20.3 b	118 b
	1.5倍区	22.4 ab	118 b
	2倍区	26.7 a	142 a
有意差		*	*
2008年	対照区	18.4 c	111
	1.5倍区	22.3 b	115
	2倍区	25.5 a	122
有意差		**	n.s.
平均値	対照区	19.4 b	114
	1.5倍区	22.3 ab	117
	2倍区	26.1 a	132
有意差		*	n.s.

注：各年次における **、* は一元配置の分散分析で 1%、5% 水準で有意差があることを示す。
 平均値における * は一元配置の分散分析で、年次の平均値間に 5% 水準で有意差があることを示す。
 同一アルファベット間には Tukey 法により有意差なし (p<0.05)。
 萌芽率は萌芽茎数を収穫茎数で除して算出。
 2007年、2008年の萌芽数の測定は、それぞれ株出し後27日目、23日目に実施。

第15表 栽植密度が株出しでの「KRF093-1」の収量に及ぼす影響 (株出し 1 回目)

栽植密度	生草収量 (kg m ⁻²)	乾物収量 (kg m ⁻²)	乾物率 (%)	収穫茎数 (本 m ⁻²)
対照区	13.3 (100)	2.10 (100)	15.7 (100)	18.9 (100)
1.5倍区	14.5 (109)	2.31 (110)	15.9 (101)	20.5 (109)
2倍区	15.2 (114)	2.38 (113)	15.7 (100)	20.7 (110)
有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

注：2007年10月10日に新植を収穫後、2008年7月23日 (株出し後287日目) に株出し 1 回目の収穫調査を実施。
 () 内の数字は対照区を100とした時の相対値を示す。
 生草収量、乾物収量は、収穫茎数とサンプル茎重の積より推定。

前が生育初期にあたる (観察による評価)。このことを前提として考察を進める。

2007年、2008年ともに、生育初期の「KRF093-1」の茎数および仮茎長は対照区と比較して密植区で高く、密植による初期生育の促進が認められた (第10, 11表)。

密植により茎数が増加した要因は栽植密度の増加であるが、2007年と2008年では密植が茎数に及ぼす影響が異なった。つまり、2008年は生育期間を通して対照区より密植区の茎数が有意に多かったのに対して、2007年では植付け後122日目以降は対照区と密植区に有意な差が認められなくなった (第10, 11, 13表)。この要因として2008年6月の日射量が少なかったことが推察される。日射量はサトウキビの分げつに対する極めて重要な外的要因であり、日照不

足の年に分げつ数が少ないことが知られている (宮里 1986)。2008年の最高分げつ期は植付け75日目であり (第11表)、日射量が少なかった6月は植付け後44日目~73日目にあたる。つまり、2008年は2007年と比較して分げつ旺盛期に日射量が少なく (第19図)、1株茎数が少なかったために、生育期間を通して密植の効果がより大きく維持されたと推察される (第10, 11表)。また、2007年と2008年では前作が異なっていた (2007年はバレイショ、2008年はイタリアンライグラス)。土壌分析を実施しておらず断定できないが、前作が違うことで土壌肥沃土が異なり、分げつ数に影響を及ぼした可能性も考えられる。

しかしながら、草冠が閉じるまでの生育初期では、2007年、2008年ともに対照区と密植区の茎数に有意

な差が認められており、生育初期における密植の効果は明瞭であった(第10, 11表)。

密植により生育初期の仮茎長が増大した(第10, 11表)。その要因として1株茎数が少ないことが考えられる。2007年, 2008年ともに1株茎数は対照区で多く, 密植区で少なかった(第10, 11表)。このことから, 密植区では対照区と比較して, より多くの光合成同化産物を茎の伸長に分配することができたため, 密植区で仮茎長が大きくなったと推察される。密植で仮茎長が大きくなることは製糖用サトウキビでも認められているが, 特に, 密植により生育初期の茎への乾物分配率が高まることが示されている(野瀬ら1989)。このことから, 密植で「KRFo93-1」の仮茎長が大きくなった要因は, 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推察される。

サトウキビの初期生育が緩慢な要因として, 分けつ形成時期や形成速度が遅いため, 茎伸長期の開始が遅くなることが指摘されている(Allison *et al.* 2007)。また, サトウキビの初期生育を改善するために, 少分けつ性品種を密植することが提案されている(寺内ら1999, 寺内・松岡2000, 寺内2002)。材料とした「KRFo93-1」は, 分けつ形成能力の高いサトウキビ野生種を利用して交配しているため, 製糖用サトウキビ品種に比べると著しい茎数型の品種である(境垣内・寺島2008)。このため, 「KRFo93-1」は密植による初期生育の促進が得られにくいことも予想されたが, 2007年, 2008年ともに密植により明瞭な初期生育の促進が得られた(第10, 11表)。

(2) 栽植密度が「KRFo93-1」の雑草防除効果に及ぼす影響

密植により「KRFo93-1」の初期生育が促進され, 密植区の茎数, 仮茎長, 被植度ともに対照区より大きくなった(第10, 11, 12表, 写真5)。作物と雑草の光競合における優劣は, 草高や葉面積指数などに大きく規定される(野口1986, 高柳2006)。このため, 密植で生育初期の「KRFo93-1」の草高や葉面積指数を高めることができれば, 雑草との光競合が有利となるために雑草害が軽減できる可能性が高いと考えられる。密植区の茎数, 仮茎長, 被植度ともに対照区より大きくなっており(第10, 11, 12表, 第2図), また, 密植区では対照区より草冠が

閉じるまでの日数が短期化されたことから(写真5), 対照区と比較して密植区のほうが雑草の耕種的防除効果が高いと推察される。

(3) 栽植密度が「KRFo93-1」の新植での収量に及ぼす影響

「KRFo93-1」において, 2007年, 2008年ともに対照区と比較して密植区では生草収量, 乾物収量ともに高くなり, 密植により新植での増収が認められた(第13表)。密植により収量が増加した要因として, 密植区では対照区と比較して収穫茎数が多いこと, さらに, 乾物率も高い傾向にあることなどが考えられた(第13表)。製糖用サトウキビでは密植による収量増加の報告があるものの(大城ら1989), 収量増加に繋がらないとの報告もある(野瀬ら1989, 佐藤・吉田2001)。この原因として, 密植では生育後半に過繁茂や倒伏などで枯死茎が多く発生し, 密植による茎数増加の効果が収穫時まで維持できないことが指摘されている(野瀬ら1989, 佐藤・吉田2001)。製糖用サトウキビでは栽培期間が12~18ヶ月にも及ぶのに対して, 「KRFo93-1」では栽培期間が短い年2回収穫体系を推奨している。このため, 密植の効果は生育が進むにつれて明瞭でなくなるものの(第10, 11表), 栽培期間が短いため収穫時でも密植の効果が維持され, 収量増加に結びついているものと考えられる。

ところで, 2007年と2008年を比較すると, 2008年のほうが収穫茎数への密植の効果が大きく, 増収効果も明瞭であった(第13表)。この傾向は生育期間を通した茎数の推移からも明らかであり(第10, 11表), 2007年と2008年で違いが認められた要因として, 2008年6月(分けつ旺盛期)の日射量の違いを推察した(第19図)。2007年のように分けつが旺盛な場合には, 対照区でも迅速に茎数が増加するため, 対照区と密植区の茎数の差が小さくなり, 生育が進むにつれて有意差が認められなくなっている(第10, 13表)。逆に, 2008年のように分けつの発生がやや劣る場合には, 対照区の茎数が密植区の茎数に達せず(第11表), 収穫時においても茎数に有意差が認められ, 対照区と密植区の収量の差が大きくなったと推察される(第13表)。このように分けつの発生程度により, 2007年, 2008年で密植による増収効果に違いが認められた。しかしながら, 試験を通じて密植区で生草収量, 乾物収量が高くなっており, 密

植により安定して高い収量が得られると期待される。

(4) 栽植密度が「KRFO93-1」の株出しでの萌芽および収量に及ぼす影響

密植により新植での収量増加が得られることを示したが、「KRFO93-1」は株出し栽培を継続する作物であるため、密植により株出しでの萌芽茎数や萌芽率が低下すれば有効な栽培技術とならない。しかし、2007年、2008年ともに密植区では対照区以上の萌芽茎数や萌芽率を示しており（第14表）、株出しでの萌芽に悪影響は認められなかった。

密植区、特に2倍区で萌芽率が高かった要因として、収穫時の蔗汁 Brix が高かったことが推察される（第13、14表）。製糖用サトウキビでは、新植での原料茎糖度と株出し1回目での茎収量との間に負の相関関係が認められることが多いとされる（杉本ら 2002）。一方で、牧草（熊井・真田 1973、美濃 1979）や水稻（Ichii and Sumi 1983）など、収穫後残株の貯蔵炭水化物量が再生にとって重要であることが広く知られている。収穫時の蔗汁 Brix が高ければ、収穫後残株の Brix も高いと考えることに無理はないため、「KRFO93-1」も牧草や水稻での報告と同様に、2倍区で蔗汁 Brix が高かったことが萌芽率の増加に寄与した可能性がある。特に、蔗汁 Brix は一般的な製糖用サトウキビと比較して著しく低いことから（第13表）、飼料用サトウキビの蔗汁 Brix と株出しでの生育、収量との関係は、既存の製糖用サトウキビの報告（杉本ら 2002）とは異なる可能性が示唆された。

2007年に新植した試験のみであるが、株出し1回目での収穫調査を実施した。その結果、密植区では対照区と比較して収穫茎数が多く、また、生草収量、乾物収量が高い傾向を示した（第15表）。このように、密植の効果は新植のみならず株出し1回目でも認められており、飼料用サトウキビの特長である株出し多収性をより高めることができる可能性が示唆された。

(5) 密植栽培する場合の留意点

Ⅲ-1では、密植により初期生育の促進や新植での収量の増加が得られることを明らかにした。また、「KRFO93-1」は製糖用サトウキビと比較して茎数が多いため（境垣内・寺島 2008）、密植に必要な苗の確保は比較的容易である。このように密植は有効な栽培技術であるため、今後は慣行栽培より密植での

植付けが望ましい。実用栽培においては以下の点に留意することで、密植がより効果的な栽培技術になると考えられる。

密植程度の決定：2007年、2008年のいずれも、密植の程度が高い処理区ほど有効茎歩合が低かった（第10、11、13表より算出）。また、「KRFO93-1」は茎数が多く密植に必要な苗の確保は比較的容易であるが、密植の程度が高まれば植付け苗の準備などに必要なコストが増加する。このため、密植程度の決定にあたっては、雑草の発生量が多ければサトウキビの初期生育、特に分けつが抑制されるために（仲宗根 1979）、雑草の多発生が予想される放棄畑などへの植付けの際には、初期生育の促進と茎数の確保を目的として、密植程度を高くして栽植密度を慣行栽培の2倍とする。しかし、雑草の発生が比較的少ないと予想される畑作物などへの植付けの際には、密植程度を低くして栽植密度を1.5倍とするなど、現場の雑草の発生状況に合わせて判断することが有効と考えられる。

井上ら（2009）は製糖用サトウキビの株出しにおいて、分けつ数が過剰な場合に、窒素追肥の増加が無効分けつの減少に効果的であったことを示している。施肥に必要なコストを考慮する必要があるが、「KRFO93-1」の栽培においても慣行の肥培管理を見直すことにより、有効茎歩合を改善できる可能性があり、肥培管理方法も今後の密植程度の決定に影響するかもしれない。

畦間の中耕による雑草防除：Ⅲ-1では製糖用サトウキビに準じて、平均培土のための中耕（2007年は植付け後45日目、2008年は植付け後34日目）と追肥後の中耕（2007年は植付け後66日目、2008年は植付け後49日目）を実施した。密植区では対照区より初期生育が促進されるが（第10、11、12表、写真5）、草冠が閉じるまでの初期生育期間に3ヶ月程度を必要とする。このため、密植とあわせて、製糖用サトウキビに準じた中耕作業を行うことで、雑草害を軽減できると考えられる。

2. 栽培体系における株揃え処理の検討

飼料用サトウキビは手刈りの他、コーンハーベスタやケーンハーベスタなどの機械で収穫される。土砂の混入はサイレージ品質を低下させるため、機械収穫では他の牧草と同様に刈り高は地上10~15cm

程度に設定される。

牧草では一般に高刈りは再生草の生育を高めるとされており(渡辺ら 1969, Greub and Wedin 1971, 田村・星野 1971), サトウキビと同じ長大型の飼料作物であるネピアグラスでも, 高刈りによる再生草の増収が報告される(伊藤ら 1991, Tudsri *et al.* 2002, Wijitphan *et al.* 2009)。このように, 飼料作物では高刈りが一般的に行われており, 収穫後に高刈りの残株を地際まで刈戻すことはない。

一方で, 製糖用サトウキビでは収穫後に残株を刈り戻す, “株揃え”が管理作業として推奨されており(Yadav 1992, Ahmed and Giridharan 2000, Ramdoss *et al.* 2004, Singh and Singh 2004, Singh *et al.* 2008), 我が国においても残株を刈り戻す株揃えを含めた株出し管理が広く行われている(樋高 2010)。

飼料用サトウキビは株出し能力が高いことが特長であるため(境垣内・寺島 2008), 株揃えの実施の有無に関わらず株出し栽培を継続できる可能性がある。また, もし, 株揃えを実施しなくても株揃えを実施する慣行管理方法と同程度の高い収量が得られれば, 省力的な栽培管理方法として生産現場に導入することができる。このため, 「KRF093-1」を多回株出し条件で栽培し, 高刈り後の株揃え処理の有無が生育および収量に及ぼす影響について検討した。

1) 材料および方法

(1) 耕種概要

試験は2007年から2011年までの5年間, 鹿児島県西之表市安納の農家圃場(北緯30°44', 東経131°04', 黒ボク土)で実施した。試験には飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」を用いた。2007年4月16日に9.54芽 m²(畦間は110cm, 株間は約9.5cm)の栽植密度で植付けた。施肥は製糖用サトウキビに準じ, 一作あたり基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0g m², 追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0g m²を施用した。植付け方法や肥培管理方法は製糖用サトウキビに準じて行ったが, 通常, 実施する株元への高培土は行わなかった。新植の収穫調査を10月4日に実施した。収穫調査後の残茎は10月10日にケーンハーベスタで地際から約15cmの高さで収穫した。

高刈りが株出し栽培での生育に及ぼす影響を検討するため, 対照区と高刈区を設けた(写真6)。対

照区はケーンハーベスタで地際から約15cmで収穫した後, 製糖用サトウキビの慣行にならい株揃え機で地際まで刈り戻した後, 株出し栽培に移行した。一方, 高刈区では株揃えを行わず, 地際から約15cmで収穫した株を残したまま, 株出し栽培に移行した。試験区は1区22.0m²(5m×4畦)で6反復とし, 調査は各区とも中央2畦を対象として実施した。

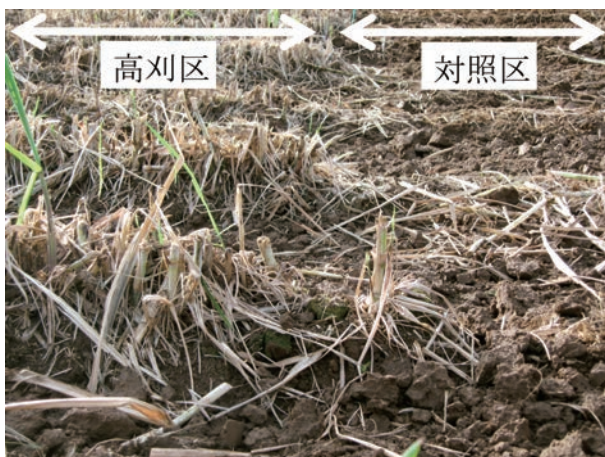


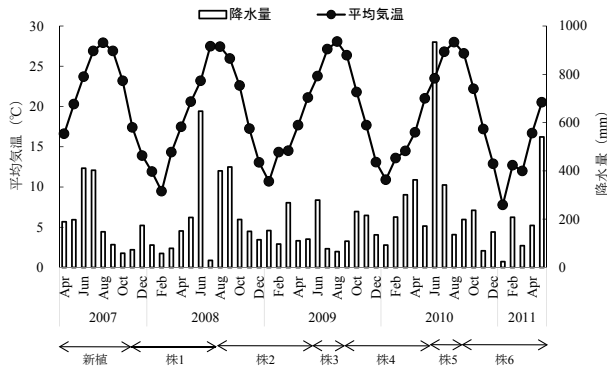
写真6 株出し開始時における対照区および高刈区の様子

対照区は高刈り収穫後に株揃えを実施, 高刈区は高刈り収穫後に株揃えを実施せず。

新植の収穫後, 株出し6回目まで株出し栽培を継続した(第20図)。収穫調査はそれぞれ, 株出し1回目(以下, 株1)は2008年7月18日, 株出し2回目(以下, 株2)は2009年5月14日, 株出し3回目(以下, 株3)は8月26日, 株出し4回目(以下, 株4)は2010年5月17日, 株出し5回目(以下, 株5)は8月19日, 株出し6回目(以下, 株6)は2011年5月11日に実施した。収穫調査後に対照区の残茎を速やかにケーンハーベスタで収穫した(株1は2008年7月23日, 株2は2009年5月19日, 株3は8月27日, 株4は2010年5月19日, 株5は8月24日)。Ⅲ-2では試験実施の都合により, 新植から株2までを2年3回収穫, 株3から株6までを年2回収穫で栽培した。株出し栽培においても, 施肥量は新植と同様に, 一作あたり基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0g m², 追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0g m²を施用した。

(2) 調査

収穫調査では, 分けつ数, 収穫茎数, 仮茎長, 茎



第20図 試験期間中の気象概況と収穫時期の設定

径、蔗汁 Brix、乾物率、一茎乾物重、乾物収量を測定した。分けつ数、収穫茎数は試験区の中央2畦（各5m）を測定した。収穫茎数は分けつ数から後発の遅けつ数を除いた値とした。健全かつ平均的な生育を示したサンプル茎を各畦5本、合計10本を地際から刈り取った。そのうち5本を対象として仮茎長、茎径、蔗汁 Brix を測定した。仮茎長は地際から最上位の肥厚帯までの長さを測定した。茎径は茎の中程の節の短径部分をデジタルノギスで測定した。蔗汁 Brix は、梢頭部を切除した茎を圧搾機にかけて搾汁液を採取した後、デジタル屈折計（アタゴ RX5000 a）で測定した。残りの5本からサンプルの生草および乾物重、乾物率、一茎乾物重を測定した。生草サンプルは80℃で48時間以上、十分に乾燥させた。乾物収量は一茎乾物重と収穫茎数との積から算出し推定した。また、乾物収量から生育日数を除して、乾物増加速度を算出した。

高刈りが生育に及ぼす影響を検討するため、株1から株6までの生育期間において、中央2畦の分けつ数（各5m）と仮茎長（各畦5本）を収穫時まで経時的に調査した。なお、高刈区では残株の地上部の節からも分けつが発生するため、この推移についても合わせて調査した。

試験期間中の日平均気温、降水量を九州沖縄農業研究センター種子島試験地の気象観測装置により測定した。統計処理には統計処理ソフト（SPSS ver.10.0）を用い、対応のないt検定（両側）により対照区と高刈区の差を検定した。

2) 結果

(1) 気象概況

試験期間中の日平均気温と降水量を第20図に示す。試験地は温帯と亜熱帯の境界に位置するため、冬季

の気温が低かった。特に、株6の生育期間中は他の生育期間と比較して低温が顕著であり、1月で7.8℃と最も低かったことに加えて、例年、日平均気温が上昇する3月も12.0℃と低温で推移した。試験地は無霜地帯に位置づけられるが、霜害による地上部の枯死は認められなかった。

降水量が少ない月があったものの、夏季の大きな干ばつもなく（第20図）、水不足による大きな生育抑制は認められなかった（観察による評価）。試験期間中に台風が5回襲来したが、葉の裂傷がわずかに見られたのみで、茎の折損などは認められなかった（観察による評価）。

(2) 新植での生育および収量

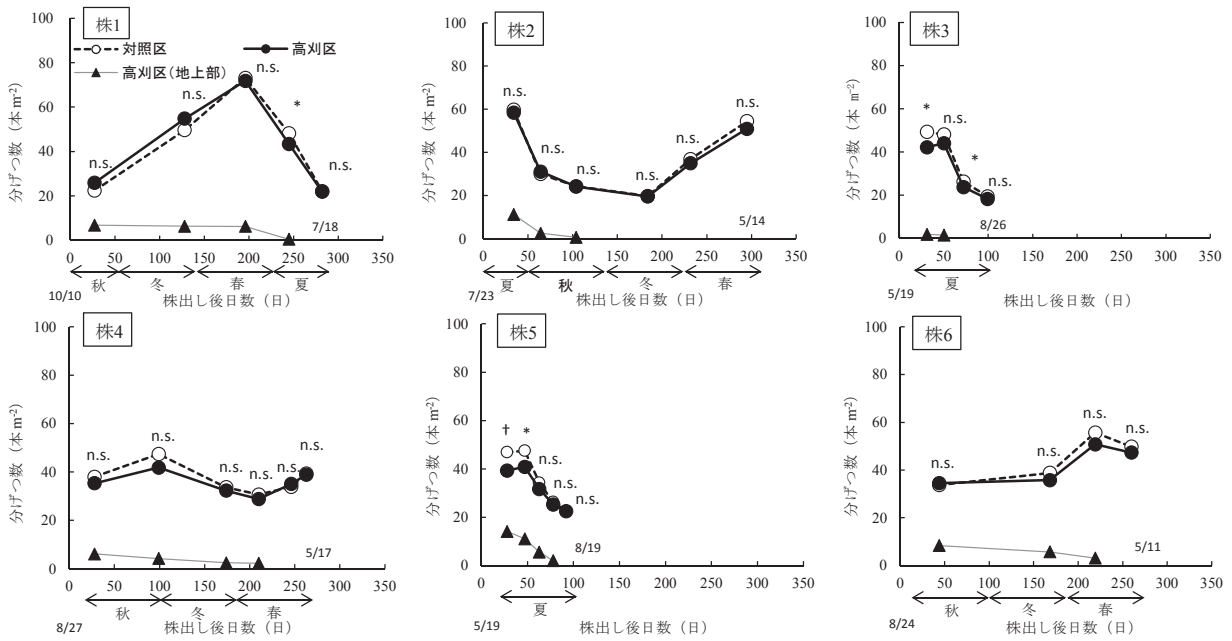
株揃え処理を設ける前の、対照区と高刈区の新植の乾物収量は、対照区が3.26kg m²、高刈区が3.14kg m²であり、両区間に有意な差は認められなかった。また、収穫茎数、仮茎長、茎径、蔗汁 Brix など、収穫時の諸特性も対照区と高刈区で差が認められなかった（データ省略）。このため、処理を加える前の新植の生育や収量に、対照区と高刈区で差はなかったと言える。

(3) 株出しにおける茎数並びに仮茎長の経時的推移

株1から株6までの分けつ数の経時的推移を第21図に示す。高刈区では残株の地上部の節からも分けつが発生する。この地上部の節から発生した分けつ数を“高刈区（地上部）”と記載して示す。株1から株6において、地上部から発生する分けつ数は地下部から発生する分けつ数に比べて少なく、また、生育が進むにつれて、ほとんど消失した（第21図）。これは、地下部の節から発生した分けつは生育に劣るため（観察による評価）、生育の進行に伴い被陰され、枯死茎となることが原因と推察される。このように、地上部の節から発生した分けつは収穫時にはほとんど枯死してしまうため、以後の検討は、地下部の節から発生した分けつのみを対象に行う。

株1から株6において、分けつ数は対照区と高刈区でほぼ同様の経時的な推移をした（第21図）。夏季に生育した株3、株5では分けつ数は株出しの初期生育時に多く、その後、減少した。株1、株2、株4、株5では、株出し開始の時期が異なるものの、ともに春季に分けつ数が増加する推移を示した。

株1から株6において、高刈区は対照区よりも株



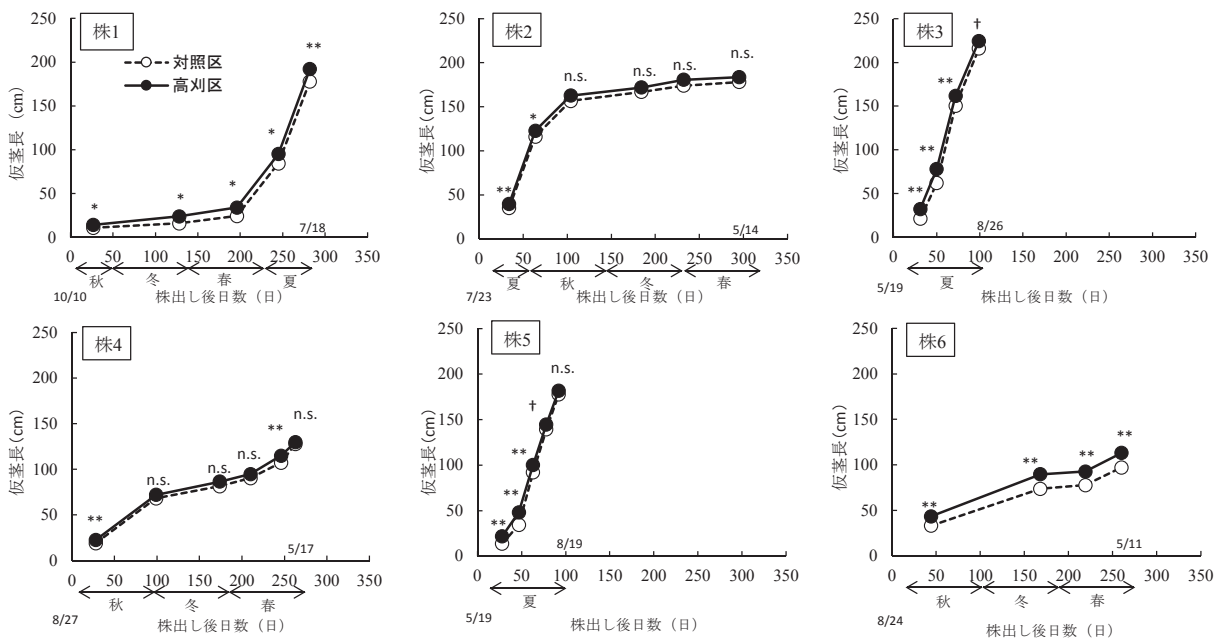
第21図 対照区および高刈区の分けつ数の経時的推移

対照区は高刈り収穫後に株揃えを実施, 高刈区は高刈り収穫後に株揃えを実施せず。

*, †はそれぞれ, 一元配置の分散分析で5%, 10%水準で有意差があること, n.s.は有意差が無いことを示す。

3月から5月を春, 6月から8月を夏, 9月から11月を秋, 12月から2月を冬として示す。

高刈区の分けつ数には高刈区(地上部)の分けつ数は含まない。



第22図 対照区と高刈区の仮茎長の経時的推移

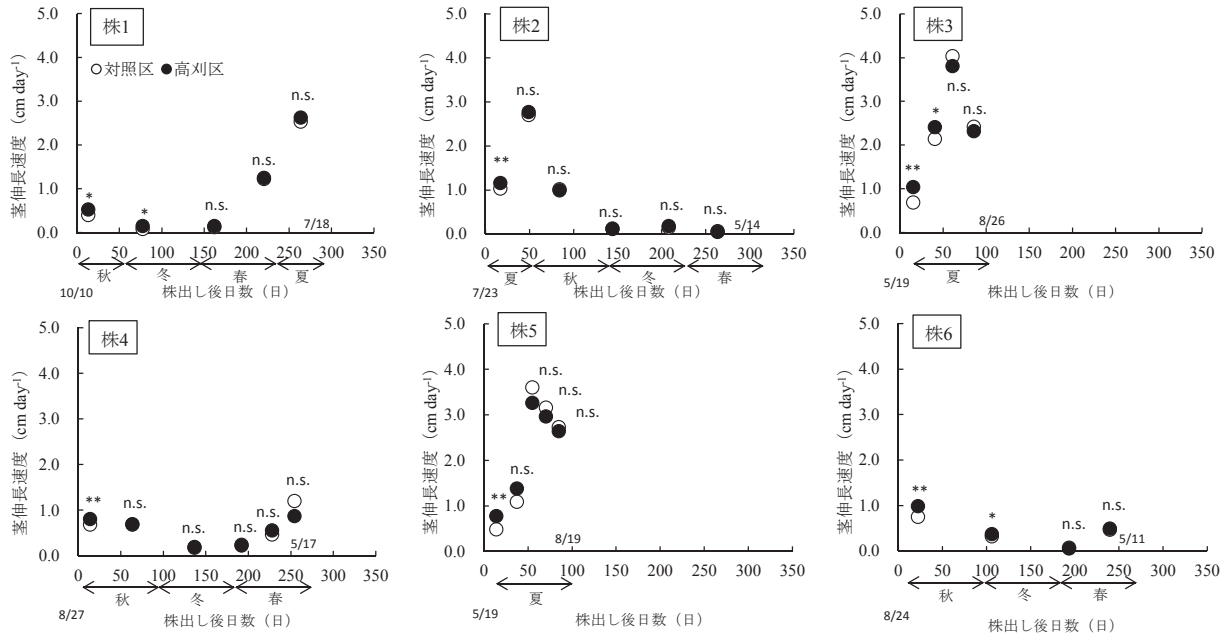
対照区は高刈り収穫後に株揃えを実施, 高刈区は高刈り収穫後に株揃えを実施せず。

** , * , †はそれぞれ, 一元配置の分散分析で1%, 5%, 10%水準で有意差があること, n.s.は有意差が無いことを示す。

3月から5月を春, 6月から8月を夏, 9月から11月を秋, 12月から2月を冬として示す。

出し開始直後の仮茎長が有意に大きく, また, 株1, 株3, 株5, 株6では収穫調査時期近くまでこの関係が維持された(第22図)。特に, 生育期間中の気

温が低かった株6では, 高刈区の仮茎長が大きい傾向が顕著であった。株2や株4においも, 有意な差は認められなかったが, 高刈区の仮茎長は対照区よ



第23図 対照区と高刈区の茎伸長速度

対照区は高刈り収穫後に株揃えを実施，高刈区は高刈り収穫後に株揃えを実施せず。

**、*はそれぞれ、一元配置の分散分析で1%、5%水準で有意差があること、n.s.は有意差が無いことを示す。

3月から5月を春、6月から8月を夏、9月から11月を秋、12月から2月を冬として示す。

りも大きかった。

夏季に生育した株3，株5では，生育全期間を通した1日あたり茎伸長速度が，それぞれ2.27，1.97cm day⁻¹と高かった。株1，株2において，茎伸長速度は，気温が高い夏季では高かったものの，気温の低い冬季では低かった（第23図）。このため，気温の高い夏季のみに生育した株3，株5とは異なり，株1，株2，株4，株6では生育期間全体を通した茎伸長速度が0.68，0.62，0.49，0.43cm day⁻¹と低かった。高刈区では対照区よりも株出しでの初期生育が旺盛であったため，茎葉が土壌を被陰するまでに要する期間が短かった（写真7）。

（4）株出し栽培における生育および収量

株1から株6までの収穫時の諸特性および乾物収量を第16表に示す。株1から株6において，対照区と高刈区に分げつ数，収穫茎数，遅けつ数に差は認められなかった（第16表）。仮茎長，茎径，一茎乾物重は高刈区が対照区よりも大きく，株1，株3，株5，株6では有意な差が認められた。蔗汁 Brix と乾物率は株1から株4までは対照区と高刈区の差は小さかったが，株5，株6では対照区より高刈区で有意に高かった。一茎乾物重と同様に，乾物収量は高刈区では対照区よりも高く，特に，株1，株3，

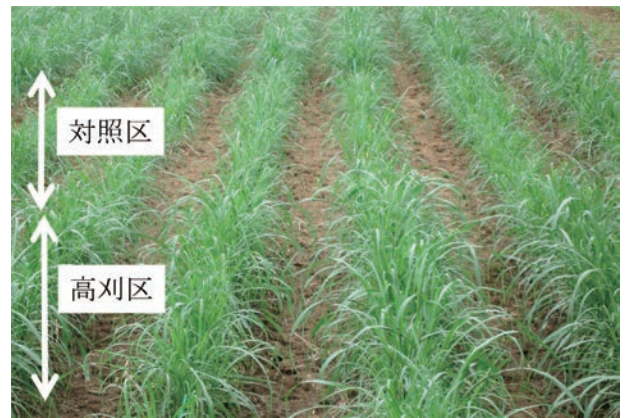


写真7 株出し5回目における対照区および高刈区の初期生育（株出し後38日目）

対照区は高刈り収穫後に株揃えを実施，高刈区は高刈り収穫後に株揃えを実施せず。

株5，株6並びに株出し6回の合計値では有意な差が認められた。有意な差は認められなかったものの，株2や株4においても，高刈区の乾物収量は対照区を上回った。

新植から株6までの4年間で7回収穫した合計の乾物収量は対照区で16.9kg m²，高刈区で18.9kg m²あり，高刈区は対照区を11%上回った（第16表並びに結果の新植の記述から算出）。

第16表 対照区および高刈区の株出しでの生育および収量

株出し回数	処理区	分けつ数 (本 m ²)	収穫茎数 (本 m ²)	遅けつ数 (本 m ²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁Brix (%)	乾物率 (%)	一茎乾重 (g)	乾物収量 (kg m ²)	乾物増加速度 (g m ² day ⁻¹)
株1	対照区	22.1	20.5	1.6	178	18.9	4.9	15.9	112	2.31	8.2
	高刈区	21.9	20.7	1.2	192	19.7	4.5	16.2	130	2.68	9.5
		n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	†	n.s.	*	†	†
株2	対照区	54.5	20.3	34.2	178	13.5	12.9	28.1	139	2.83	9.6
	高刈区	50.9	20.1	30.8	184	14.2	12.8	27.8	148	2.98	10.1
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
株3	対照区	19.5	18.5	1.0	216	17.8	6.0	19.3	135	2.49	25.1
	高刈区	18.3	17.6	0.7	225	19.7	6.2	19.6	167	2.91	29.4
		n.s.	n.s.	n.s.	†	**	n.s.	n.s.	**	*	*
株4	対照区	39.4	26.6	12.8	128	18.0	8.4	22.2	99	2.63	10.0
	高刈区	38.9	27.1	11.9	130	18.9	8.4	21.9	108	2.91	11.1
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
株5	対照区	22.5	21.2	1.3	178	17.5	5.8	17.0	103	2.19	23.8
	高刈区	22.5	20.6	1.9	182	18.2	6.7	18.4	124	2.54	27.6
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	†	**	**	*	†	†
株6	対照区	49.8	17.8	32.0	97	15.2	8.2	20.5	69	1.24	4.8
	高刈区	47.3	18.3	29.0	113	17.5	9.0	21.5	93	1.69	6.5
		n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*	n.s.	**	*	*
合計	対照区	-	-	-	-	-	-	-	-	13.7	-
	高刈区	-	-	-	-	-	-	-	-	15.7	-
											*

注：対照区は高刈り収穫後に株揃えを実施，高刈区は高刈り収穫後に株揃えを実施せず。

**, *, †, . はそれぞれ，一元配置の分散分析で 1%，5%，10% 水準で有意差があること，n.s. は有意差が無いことを示す。

3) 考察

対照区と高刈区において，分けつ数並びに収穫茎数に差は認められなかった（第21図，第16表）。一方で，株1から株6ともに，株出しの生育初期ステージでは高刈区の仮茎長は対照区より有意に大きく，株1，株3，株5，株6では収穫時の一茎乾物重は高刈区で有意に大きかった（第22図，第16表）。また，高刈区の乾物収量は対照区より高く，株1，株3，株5，株6では両区に有意な差が認められた（第16表）。このように，一茎乾物重と乾物収量は同様の傾向を示していることから，高刈区での乾物収量の増加は一茎の生育増大によるものと判断される。

第22図のように対照区より高刈区で仮茎長が大きくなった要因として，株揃えをしないことによる，遅けつへの影響の違いが考えられる。対照区ではケーンハーバスタで地際から約15cmの刈り高さで収穫した後，株揃え機で地際まで刈り戻すため，遅けつも同時に刈り戻してしまう。一方，高刈区では

遅けつを残したまま株出し栽培に移行できる。このように，高刈区では遅けつが次作の茎として生育できることから，株出し初期での仮茎長が大きく推移したと推察される。

株3および株5では対照区と比較して高刈区の収量が高く（第16表），また，前作（株2および株4）の収穫時の遅けつ数および遅けつ割合が多い（第16表）。ネピアグラスでも，刈り高さ以下に残る分けつの生長点が多い場合に，再生草の生育への高刈りの効果が高いことが報告されている（伊藤ら 1992）。このため，株3および株5において高刈区での増収した要因として，前作収穫時の遅けつ数や遅けつ割合が多かったことが示唆される。

一方，株6では株2や株4と同様に，前作（株5）の遅けつ割合や遅けつ数は少ないものの，高刈区では対照区と比較して株出し後から仮茎長が大きく推移し，また，収穫時においても乾物収量の増加が認められた（第22図，第16表）。これには，株6の前

作である株5の残株の貯蔵炭水化物量の差異が影響していると考えられる。再生草に及ぼす収穫後残株の貯蔵炭水化物の重要性は広く知られている(熊井・真田 1973, White 1973, Ichii and Sumi 1983)。第16表が示すように、株5の収穫時の蔗汁 Brix は高刈区が対照区よりも有意に高い。このため、残株の蔗汁 Brix 濃度が高く、株6の生育開始時における貯蔵炭水化物量も多かったと推察される。このように高刈区で残株の貯蔵炭水化物量が多くなることから、株6の再生を促進し、高刈区で対照区より旺盛な生育を示した要因と考えられる。株1から株4において、蔗汁 Brix に差異は認められなかったものの、対照区では高刈り後の残株が取り除かれるため、高刈区では対照区と比較して残株の分だけ貯蔵性炭水化物量は多いと考えられる。このため、株1から株5までについても、株6と同様に貯蔵性炭水化物量が多いことにより、高刈区で生育および収量が高かった可能性がある。

株6は株4と生育時期や生育日数はほぼ同様であったものの、株6の生育期間中では株4と比較して低温が顕著であった(第20図)。株4に対する株6の乾物収量の相対値を第16表から比較すると、対照区では0.47、高刈区では0.58であった。このように、高刈区では株6における減少程度が小さかったため、低温年における収量安定化への寄与が期待される。

高刈区では、地際から10~15cmの高刈りで収穫した後、株揃えを実施せず、次作の株出し栽培に移行した。高刈区では対照区と比較して収量性が優れたことその他、以下の二つ利点が考えられる。一つ目は、株揃え処理が不要となるため、栽培管理が簡略化されることである。二つ目は、高刈区では株出しでの初期生育が優れるため、雑草との生育競合を軽減できることである。サトウキビにおいて初期生育が遅いことは、栽培上の課題として指摘される(寺内ら 1999, Allison *et al.* 2007)。高刈区では対照区と比較して茎葉が土壤を被陰するまでの期間が短かったことから(第22図, 写真7)、高刈区では飼料用サトウキビの被陰による雑草抑制ならび除草作業の軽労化が期待される。

Ⅲ-2の高刈区の乾物収量は対照区よりも高く、これは製糖用サトウキビで推奨されている栽培管理と異なる。サトウキビ野生種は株出し能力を向上させるための育種素材として知られるが(Roach 1978,

Jackson 1994), 「KRF093-1」はサトウキビ野生種を利用して育成した品種である。また、サトウキビ野生種との種間雑種は製糖用サトウキビと比較して根の分布が広く(Sakaigaichi *et al.* 2007)、生理的活性も高いことが報告される(Terajima *et al.* 2005)。根に関する十分な結果を持ち合わせておらず、これ以上の議論はできないが、株揃えの狙いの一つは根圏が土壤表層に集中するのを防ぐこと(Yadav 1992)であることを考え合わせると、高刈区で生育および収量が高かった要因として、種間雑種である「KRF093-1」では、根の量や機能など地下部特性が優れていた可能性が示唆される。今後は高刈条件下での適性について、品種間での差異についても検討する必要がある。

3. 栽培体系における施肥方法の検討

飼料用サトウキビは製糖用とは異なる飼料作物としての評価が必要となる。Ⅱ-4では家畜の疾病に関わる項目として、硝酸塩中毒に関わる硝酸態窒素、並びにグラスステタニー症に関わるK/(Ca+Mg)当量比と生育ステージとの関係について検討した。この結果、Ⅱ-4の栽培条件の範囲内においては、年2回収穫のような若い生育ステージでの収穫でも硝酸態窒素並びにK/(Ca+Mg)当量比は基準値以下であったことを明らかにした。

一方で、研究事例は少ないものの、飼料用サトウキビについてK/(Ca+Mg)当量比が2.2を超える報告もある(境垣内ら 2008, 原田ら 2010)。繁殖親牛では飼料用サトウキビを多給する給与メニューが開発されており(服部ら 2013)、今後は現場での多給も予想される。このため円滑な普及に向けては、飼料用サトウキビのK/(Ca+Mg)当量比について、肥培管理の点からも検討する必要がある。

ミネラルバランスはK/(Ca+Mg)当量比で示されるように、茎葉部のカリウム(K)、カルシウム(Ca)およびマグネシウム(Mg)濃度のバランスにより決まる。また、KとCaおよびMgには吸収の拮抗作用がある(Wood and Meyer 1986, Marschner 1995)。このためK/(Ca+Mg)当量比の低下のためには、K濃度を低下させる、またはCaやMg濃度を増加させる、という2つの肥培管理対策が考えられる。

Caは細胞壁の構成成分として植物体を強靱にす

ること、Mgは葉緑素の構成成分であることやリン酸の吸収に作用することが知られる(宮里 1986, Calcino *et al.* 2000)。Ca, Mgはともに多量養分元素であるが、サトウキビ栽培においては通常、肥料としては施用されず、植付け前の土壌改良剤として苦土石灰が施用されるのみである。一方、細胞内での浸透圧調整に作用するKはさらに重要な多量養分元素であり(宮里 1986, Calcino *et al.* 2000)、窒素(N)やリン(P)とならんで肥料の三要素と呼ばれ、Kの施用はサトウキビ栽培における主要な肥培管理技術とされる(Abayomi 1987, Ghaffar *et al.* 2010)。このようにCa, MgよりもKの肥培管理が一般的であること、また、栽培においてKの施肥量を低減できれば低コスト化に繋がることから、2つの肥培管理対策のうち、まずはKの減肥による茎葉部のK濃度の低下の検討が必要である。

そこで、Ⅲ-3ではミネラルバランスの健全化に向けて、製糖用に準じた現行の施肥方法の区(対照区)に対して、カリ(K₂O)施肥量を減らした処理区(減カリ区、無カリ区)を設け、地上部の養分濃度を調査し、カリ減肥により圃場試験においてK/(Ca+Mg)当量比を低下させることができるか検討した。

一方で、製糖用サトウキビにおいてカリ減肥を継続したことで茎収量が低下した報告があるように(Kumar *et al.* 2003)、カリ減肥によりK/(Ca+Mg)当量比が低下しても、多回株出しでの収量が低下することが懸念される。このため、Ⅲ-3では対照区およびカリ減肥処理区の生育、地上部の養分濃度および土壌の養分含量を継続して調査し、収量性も考慮しながらカリ施肥量の低減の可能性を検討した。また、カリ減肥処理の継続により収量性が低下した場合、カリ施肥量を増加させることで収量性の改善に繋がるかどうかについてもあわせて検討した。

さらに、上記のようなカリ減肥処理の影響に加えて、対照区の生育、養分濃度および土壌の養分含量の推移から、現行の施肥方法の課題についても提示した。

1) 材料および方法

(1) 耕種概要

i) 多回株出し栽培でのカリ施肥量と生育との関係

試験は2007年から2011年の期間、鹿児島県西之表市の九州沖縄農業研究センター種子島試験地圃場で

実施した。供試品種として飼料用サトウキビ品種の「KRFO93-1」を用いた。2007年5月18日に1芽苗で6.36芽m²の栽植密度で植付けた(畦間は110cm, 株間は約14.3cm)。新植のみ年1回収穫で栽培し、2008年5月13日(1年目, 1番草)に収穫した。新植を収穫後、株出し栽培に移行した。株出しから飼料用サトウキビ向けの年2回収穫で栽培し、株出し1回目は2008年9月9日(2年目, 1番草)、株出し2回目は2009年5月19日(2年目, 2番草)に収穫した。株出し3回目は2009年8月27日(3年目, 1番草)、株出し4回目は2010年5月21日(3年目, 2番草)に収穫した。株出し5回目は2010年8月20日(4年目, 1番草)、株出し6回目は2011年5月18日(4年目, 2番草)に収穫した。なお、Ⅲ-3では株出し3回目以後を多回株出しと定義して検討する。現行の飼料用サトウキビの1作の施肥量は製糖用サトウキビの1作と同量に設定しており、以後、現行の施肥量区を対照区として記載する。処理区には対照区の外、カリ施肥量を減らした減カリ区、無カリ区を設けた。対照区は植付け時および株出し時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0(g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0(g m⁻²)を施用し、1作あたりの施肥量をN:P₂O₅:K₂Oで16.2:12.0:15.0(g m⁻²)とした。減カリ区は植付けおよび株出し時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0(g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:0.0(g m⁻²)を施用し、1作あたりの施肥量をN:P₂O₅:K₂Oで16.2:12.0:6.0(g m⁻²)とした。無カリ区は植付けおよび株出し時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:0.0(g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:0.0(g m⁻²)を施用し、1作あたりの施肥量をN:P₂O₅:K₂Oで16.2:12.0:0.0(g m⁻²)とした。なお、年2回収穫は年2作であるため、対照区の年間の施肥量は製糖用サトウキビの施肥量の2倍となる。対照区、減カリ区、無カリ区ともに施肥としてCaOの施用は行わなかった。MgOの施用量は使用した化学肥料の配合の都合から処理区で異なっており、対照区および減カリ区で1作あたり0.60(g m⁻²)、無カリ区で2.10(g m⁻²)を基肥として施用した。試験区は1区16.5m²(5畦×3m)で3反復の乱塊法とし、中央3畦を調査対象とした。栽培管理方法は概ね製糖用サトウキビに準じたが、製糖用で実施する株元への高培土は行わず、平培土

のみとした。

ii) カリ無施用継続区におけるカリ施肥量の違いが生育に及ぼす影響 (株出し7回目)

対照区と株出し6回目までカリを継続して施用しなかった無カリ区を対象に、株出し7回目の調査を実施した。株出し7回目では、無カリ区の中央3畦について、畦ごとにカリ施肥量を変えて以下の処理区を設けた。無カリ区の各区とも無作為に1畦選び、カリを対照区の2倍施用するカリ2倍区(無カリ-カリ2倍区)を設けた。株出し時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:12.0 (g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:18.0 (g m⁻²)を施用し、1作あたりの施肥量をN:P₂O₅:K₂Oで16.2:12.0:30.0 (g m⁻²)とした。同様にカリを対照区と同量施用するカリ1倍区(無カリ-カリ1倍区)を設け、株出し時に基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0 (g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0 (g m⁻²)を施用し、1作あたりの施肥量をN:P₂O₅:K₂Oで16.2:12.0:15.0 (g m⁻²)とした。株出し7回目もカリを施用せずに栽培する無カリ区を設け(無カリ-無カリ区)、基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:0.0 (g m⁻²)、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:0.0 (g m⁻²)を施用し、1作あたりの施肥量をN:P₂O₅:K₂Oで16.2:12.0:0.0 (g m⁻²)とした。対照区では株出し7回目でも、株出し6回目までと同様の施肥を実施した。株出し7回目は2011年8月22日に収穫した。

(2) 調査概要

収穫調査は以下のように実施した。収穫時に生草収量、乾物収量、乾物率、収穫茎数、仮茎長、茎径、蔗汁Brixを測定した。生草収量は各区とも中央3畦の地上部を地際で全刈りして重量を測定した。生草収量の測定に用いたサンプルの一部を、約2cmにカッターで切断し、65℃で48時間以上、十分に乾燥させた後、乾物重を測定した。生草重に対する乾物重の割合から乾物率を算出した。乾物収量は生草収量と乾物率の積により算出した。仮茎長は地際から最上部の肥厚帯までの長さを測定した。茎径は葉鞘を取り除いた後、茎中央の節間の短径部分を測定した。蔗汁Brixは梢頭部を切除した茎を搾搾機にかけて搾汁液を採取した後、デジタル屈折計(アタゴ、RX5000a)で測定した。乾物率の測定に用いたサンプルから地上部の全窒素(TN)、リン(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)

の濃度を測定した。TNは燃焼法(住化分析センター、スミグラフNC-220)、P、K、Ca、Mgは湿式灰化-原子吸光光度法(バリアン、SpectrAA280FS)で測定した。K/(Ca+Mg)当量比は各養分の値から算出した。

収穫時に中央3畦の畦間の土壌表層(0~15cm)から土を採取し、pH、TN、有効態P(P₂O₅)、交換性K(K₂O)、交換性Mg(MgO)、交換性Ca(CaO)を測定した。pHはガラス電極法(堀場製作所、pH/ION METER F-24型)、TNは燃焼法(住化分析センター、スミグラフNC-220)、有効態Pはトルオーグ法(ブランルーベ、QUAATRO)、交換性K、Mg、Caはショーレンベルガー法-原子吸光光度法(バリアン、SpectrAA220)で測定した。

試験で得られたデータは統計処理ソフト(SPSS ver.10.0)で解析した。

2) 結果

(1) 収穫時の諸特性

i) 生育

試験期間中に平年値と比較して降水量が少ない月、もしくは平均気温が低い月があったが(データ省略)、顕著な生育抑制は認められなかった。台風の襲来を受け葉の一部が裂傷したが、茎の折損など大きな被害はなかった。また、試験地は無霜地域に位置づけられ、霜害による枯死も認められなかった(観察による評価)。

収穫時の「KRF093-1」の諸特性を第17表に示す。収穫茎数は2年目以降の全ての区において年2回収穫の1番草よりも2番草で多い傾向があった。無カリ区では収穫茎数が少ない傾向にあり、株出し2回目の無カリ区と対照区、株出し6回目の無カリ区と減カリ区には有意差が認められた。また、株出し回数が進んだ場合でも茎数の減少は認められなかった。仮茎長は全ての区において年2回収穫の1番草で大きく、2番草で小さかった。年2回収穫の各番草間で比較すると、仮茎長は年次が進むほど小さくなる傾向にあった。仮茎長は対照区に比べて無カリ区で小さく、株出し4回目では処理区間に有意差が認められた。茎径は全ての区において年2回収穫の2番草より1番草で大きかった。施肥処理の違いによる茎径への影響は認められなかった。蔗汁Brixは年2回収穫の2番草で高い傾向があった。施肥処理の違いによる蔗汁Brixへの明瞭な影響は認められな

第17表 「KRF093-1」の収穫時の生育および収量

年次	番草	株出し回数	施肥	収穫茎数 (本 m ⁻²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁 Brix (%)	生草収量 (kg m ⁻²)	乾物収量 (kg m ⁻²)	乾物率 (%)
1年目	1番草	新植	対照区	19.3	261	15.8	12.5	11.1	2.90	26.3
			減カリ区	18.7	258	15.6	12.7	10.9	2.65	24.3
			無カリ区	18.5	247	15.7	12.7	10.8	2.73	25.2
			平均值	18.8	255	15.7	12.6	10.9	2.76	25.3
			有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2年目	1番草	1回目	対照区	16.1	245	19.3	7.3	10.8	2.38	22.0
			減カリ区	16.7	249	20.2	8.2	10.5	2.31	22.1
			無カリ区	16.2	243	19.4	8.0	10.2	2.27	22.1
			平均值	16.3	246	19.6	7.8	10.5	2.32	22.1
			有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	2番草	2回目	対照区	31.0 a	140	18.2	8.0	11.5	2.04	17.7 b
			減カリ区	29.0 ab	128	17.6	7.8	10.7	1.98	18.5 ab
			無カリ区	26.7 b	131	18.0	7.5	10.2	1.95	19.2 a
			平均值	28.9	133	17.9	7.8	10.8	1.99	18.5
			有意差	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
3年目	1番草	3回目	対照区	23.1	190	15.8	6.9	9.2	1.82	19.9 b
			減カリ区	24.2	193	15.6	6.7	8.7	1.79	20.7 ab
			無カリ区	20.6	179	15.5	7.1	7.6	1.64	21.6 a
			平均值	22.6	188	15.6	6.9	8.5	1.75	20.7
			有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
4年目	2番草	4回目	対照区	29.8	126 a	14.3	8.2	9.0	2.04 a	22.6
			減カリ区	30.7	120 a	13.9	8.5	8.4	1.88 ab	22.4
			無カリ区	27.0	105 b	13.5	8.1	6.9	1.59 b	23.0
			平均值	29.2	117	13.9	8.2	8.1	1.84	22.7
			有意差	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
	1番草	5回目	対照区	23.7	175	16.2	6.5 b	8.1 a	1.61	20.0 b
			減カリ区	23.8	172	15.9	6.9 ab	7.3 ab	1.47	20.2 b
			無カリ区	22.3	158	15.8	7.0 a	6.1 b	1.32	21.5 a
			平均值	23.3	168	15.9	6.8	7.2	1.47	20.6
			有意差	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	*
2番草	6回目	対照区	27.8 ab	132	14.3	11.3	7.2 a	1.83 a	25.3	
		減カリ区	31.6 a	121	13.6	11.7	6.8 a	1.76 a	26.1	
		無カリ区	25.4 b	120	14.3	12.0	4.6 b	1.25 b	27.0	
		平均值	28.2	124	14.1	11.7	6.2	1.62	26.1	
		有意差	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	

注：**，*は一元配置の分散分析で1%，5%水準で有意差があること，n.s.は有意差がないことを示す。

同一アルファベット間には Tukey 法により有意差がないことを示す (P<0.05)。

かった。

ii) 収量

1年目の年1回収穫で栽培した新植の対照区の生草収量，乾物収量はそれぞれ11.1kg m⁻²，2.90kg m⁻²であった(第17表)。対照区に比べて減カリ区や無

カリ区では生草収量，乾物収量が少ないが，施肥処理による有意差は認められなかった。

株出し栽培から年2回収穫で栽培した。株出し回数が進むにつれて，収量に及ぼす施肥処理の影響が大きくなり，株出し4回目以後では有意差が認めら

れた。生草収量では株出し5回目の対照区と無カリ区、株出し6回目の対照区および減カリ区と無カリ区に、また、乾物収量では株出し4回目の対照区と無カリ区、株出し6回目の対照区および減カリ区と無カリ区に有意差が認められた。株出し回数の最も多い株出し6回目を例に挙げると、対照区を100とした場合の相対値は生草収量で減カリ区が93、無カリ区が64、乾物収量で減カリ区が96、無カリ区が68であった(第17表より算出)。

対照区の年2回収穫の年間合計は2年目で生草収量が22.3kg m²、乾物収量が4.42kg m²、3年目で生草収量が18.2kg m²、乾物収量が3.86kg m²、4年目で生草収量が15.3kg m²、乾物収量が3.44kg m²であり、対照区の収量は年次が進むにつれて低下し、2年目を100とした場合の4年目の相対値は生草収量で69、乾物収量で78であった(第17表より算出)。減カリ区および無カリ区も年次が進むにつれて収量が低下し、2年目を100とした場合の4年目の相対値は減カリ区、無カリ区で生草収量が66、53、乾物収量が78、61であり、無カリ区で減収の程度が大きかった(第17表より算出)。乾物率は無カリ区で高く、対照区で低い傾向があり、株出し2、3、5回目では施肥処理による有意差が認められた。

(2) 地上部養分の諸特性

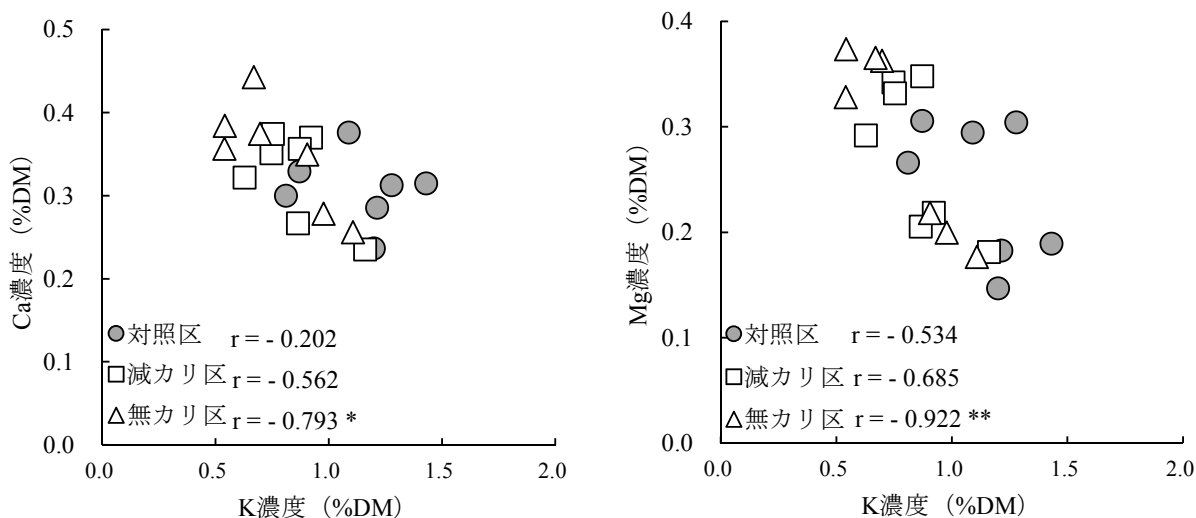
i) 養分濃度

収穫時の「KRF093-1」の養分濃度を第18表に示す。植物体のTN濃度は年2回収穫の1番草で低く、2

番草で高い傾向があった。施肥処理によるTN濃度への影響は認められなかった。P濃度は無カリ区で高い傾向があり、株出し1、4、6回目では施肥処理による有意差が認められた。K濃度は無カリ区および減カリ区で株出し回数が進むにつれて低下程度が大きく、株出し2、3、5、6回目で無カリ区および減カリ区と対照区に、株出し3回目では無カリ区と対照区に有意差が認められた。Ca濃度は対照区で低く、減カリ区や無カリ区で高い傾向にあった。Mg濃度は対照区で低く、減カリ区や無カリ区で高い傾向にあり、株出し3回目では対照区と無カリ区に有意差が認められた。地上部のK濃度とCaおよびMg濃度を処理区別に検討すると、無カリ区では1%水準で負の相関関係が認められた(第24図)。K濃度とCaおよびMg濃度の相関係数は無カリ区、減カリ区、対照区の順で小さくなった。K/(Ca+Mg)当量比は新植の対照区が1.28と最も高かったが、全ての区で基準値の2.2を下まわった。K/(Ca+Mg)当量比は株出し回数が進むにつれて低下し、対照区の株出し6回目では0.65であった。K/(Ca+Mg)当量比は対照区で高く、減カリ区、無カリ区で低く、株出し2、3、5、6回目では処理区間に有意差が認められた。

ii) 養分吸収量

植物体のN吸収量は年2回収穫の2番草で多く、1番草で少ない傾向にあった(第18表)。株出し回数が進むにつれて、無カリ区でN吸収量が少なく



第24図 「KRF093-1」のK濃度とCaおよびMg濃度の関係

**、*は1%、5%水準で相関関係があることを示す。

第18表 「KRF093-1」の収穫時の養分濃度および吸収量

年次	番草	株出し回数	施肥	濃度					K/(Ca+Mg) 当量比	吸収量				
				TN (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)		TN (g m ⁻²)	P (g m ⁻²)	K (g m ⁻²)	Ca (g m ⁻²)	Mg (g m ⁻²)
1年目	1番草	新植	対照区	0.67	0.110	1.20	0.236	0.147	1.28	19.4	3.19	34.7	6.83	4.24
			減カリ区	0.70	0.125	1.16	0.235	0.181	1.12	18.5	3.28	30.5	6.27	4.77
			無カリ区	0.68	0.126	1.11	0.256	0.177	1.05	18.6	3.45	30.3	6.99	4.81
			平均値	0.68	0.121	1.16	0.242	0.168	1.15	18.8	3.31	31.8	6.70	4.61
			有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2年目	1番草	1回目	対照区	0.79	0.167 ab	1.21	0.285	0.182	1.07	18.7	3.97	28.8	6.80	4.35
			減カリ区	0.79	0.158 b	0.87	0.266	0.205	0.74	18.2	3.65	20.0	6.15	4.74
			無カリ区	0.78	0.175 a	0.98	0.278	0.200	0.84	17.4	3.95	22.5	6.32	4.46
			平均値	0.78	0.166	1.02	0.277	0.196	0.88	18.1	3.86	23.8	6.42	4.52
			有意差	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2年目	2番草	2回目	対照区	1.04	0.191	1.43 a	0.315	0.189	1.17 a	21.2	3.89	29.2 a	6.40	3.85
			減カリ区	1.19	0.195	0.92 b	0.370	0.218	0.65 b	23.7	3.86	18.3 b	7.31	4.31
			無カリ区	1.08	0.193	0.90 b	0.350	0.218	0.68 b	21.1	3.76	17.8 b	6.76	4.21
			平均値	1.11	0.193	1.09	0.345	0.209	0.83	22.0	3.83	21.7	6.82	4.12
			有意差	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.
3年目	1番草	3回目	対照区	0.84	0.176	0.81 a	0.300	0.266 b	0.56 a	15.4	3.20	14.9	5.45	4.85
			減カリ区	0.86	0.180	0.63 ab	0.322	0.292 ab	0.40 b	15.4	3.21	11.2	5.73	5.20
			無カリ区	0.88	0.183	0.54 b	0.357	0.328 a	0.31 b	14.5	3.02	9.0	5.88	5.34
			平均値	0.86	0.180	0.66	0.326	0.295	0.43	15.1	3.14	11.7	5.69	5.13
			有意差	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
3年目	2番草	4回目	対照区	1.02	0.170 b	0.87	0.329	0.305	0.54	21.0	3.47	17.8	6.69	6.24
			減カリ区	1.10	0.178 b	0.75	0.351	0.342	0.42	20.6	3.34	14.3	6.61	6.43
			無カリ区	1.00	0.193 a	0.70	0.375	0.363	0.38	15.8	3.07	11.3	5.90	5.71
			平均値	1.04	0.180	0.77	0.351	0.337	0.45	19.1	3.29	14.5	6.40	6.13
			有意差	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
4年目	1番草	5回目	対照区	0.93	0.216	1.28 a	0.312	0.304	0.82 a	15.0	3.48	20.6 a	5.03	4.90
			減カリ区	0.97	0.224	0.87 b	0.356	0.348	0.48 b	14.2	3.30	12.9 b	5.24	5.13
			無カリ区	1.00	0.228	0.54 b	0.384	0.374	0.28 b	13.0	2.99	7.1 c	5.00	4.89
			平均値	0.96	0.223	0.90	0.351	0.342	0.52	14.1	3.26	13.5	5.09	4.97
			有意差	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.
4年目	2番草	6回目	対照区	1.11	0.200 ab	1.09 a	0.376	0.294	0.65 a	20.4 a	3.67 a	20.0 a	6.88	5.40 ab
			減カリ区	1.09	0.176 b	0.75 b	0.374	0.332	0.42 b	19.2 a	3.11 ab	13.3 b	6.61	5.86 a
			無カリ区	1.13	0.213 a	0.67 b	0.443	0.365	0.33 b	14.1 b	2.66 b	8.4 c	5.45	4.51 b
			平均値	1.11	0.196	0.84	0.397	0.330	0.47	17.9	3.14	13.9	6.31	5.26
			有意差	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	**	**	*	**	n.s.	*

注: **, * は一元配置の分散分析で1%, 5%水準で有意差があること, n.s. は有意差がないことを示す。

同一アルファベット間には Tukey 法により有意差がないことを示す (P<0.05)。

1作あたりの N, P の施肥量は16.2g m⁻², 5.2g m⁻²。また, 1作あたりの K の施肥量は対照区で12.5g m⁻², 減カリ区で5.0g m⁻², 無カリ区で0.0g m⁻²。

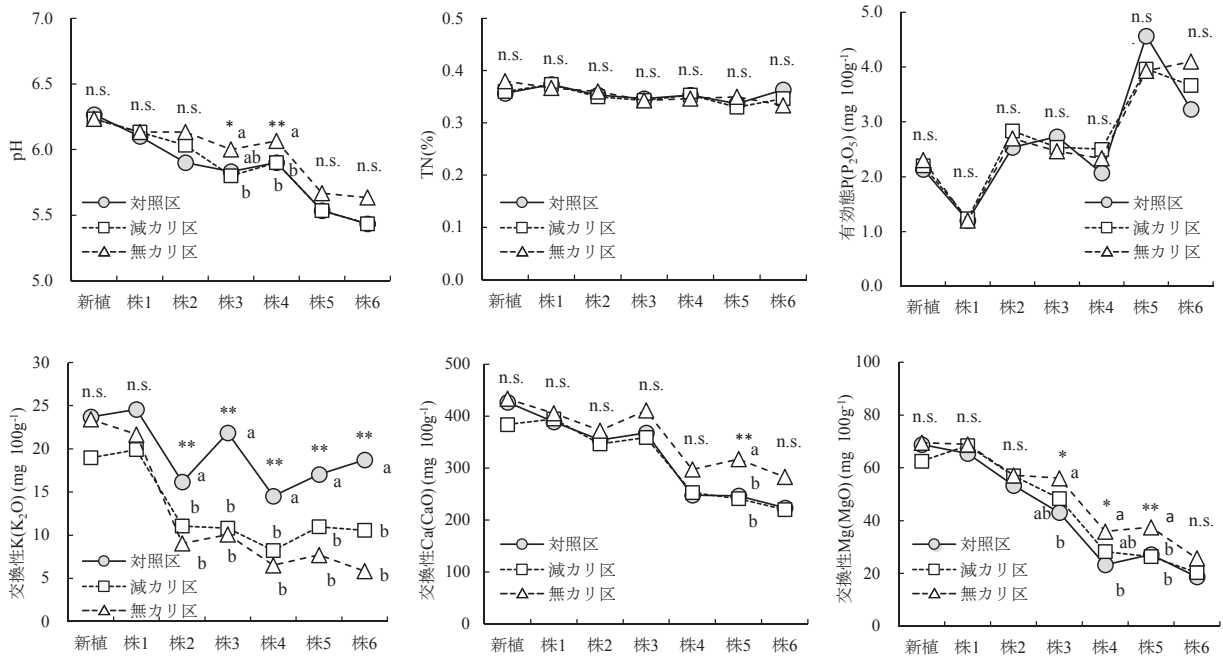
1作あたりの Mg の施肥量は対照区, 減カリ区で0.36g m⁻², 無カリ区で1.27g m⁻²。施肥として Ca の施用はなし。

なり, 株出し6回目では施肥処理による有意差が認められた。P 吸収量は株出し回数が進むにつれて, 無カリ区で少なくなり, 株出し6回目では施肥処理による有意差が認められた。K 吸収量は対照区で多く, 減カリ区および無カリ区で少なくなり, 株出し5, 6回目では無カリ区, 減カリ区, 対照区の各処

理区間に有意差が認められた。Ca, Mg 吸収量は株出し回数が進むにつれて, 無カリ区で少ない傾向にあり, 株出し6回目の Mg 吸収量では施肥処理による有意差が認められた。

(3) 土壌の養分特性

新植収穫時の対照区の土の pH は6.27, TN は0.36%,



第25図 土壌の養分含量の推移

**、* は一元配置の分散分析で 1%、5% 水準で有意差があること、n.s. は有意差がないことを示す。

同一アルファベット間には Tukey 法により有意差がないことを示す (P<0.05)。

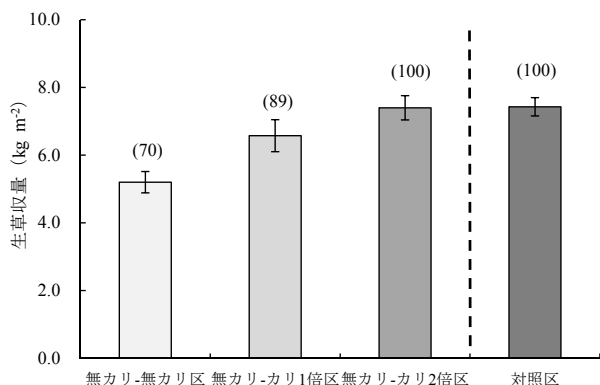
有効態 P(P₂O₅)は2.13mg 乾土100g⁻¹、交換性 K(K₂O) は23.7mg 乾土100g⁻¹、交換性 Ca (CaO) は427mg 乾土100g⁻¹、交換性 Mg (MgO) は68.8mg 乾土 100g⁻¹であった (第25図)。土壌のミネラルはさとうきび栽培基準 (交換性 K19~47mg 乾土100g⁻¹、交換性 Ca336~364mg 乾土100g⁻¹、交換性 Mg32~60g 乾土100g⁻¹、pH6.0~6.5) (鹿児島県農政部 1991) と比較してほぼ適正な値であった。新植収穫時の減カリ区、無カリ区でも土壌の各養分含量は栽培基準と比較してほぼ適正な値であった。

pH は各区とも株出し回数が進むにつれて低下し、株出し6回目の対照区は5.43であった。株出し回数が進むにつれて無カリ区は減カリ区や対照区に比べてpHが高い傾向にあり、株出し3、4回目では施肥処理による有意差が認められた。TNは株出し回数が進んでもほぼ一定であり、施肥処理による影響も認められなかった。有効態Pは各区とも株出し回数が進むにつれて増加し、株出し6回目の対照区では3.23mg 乾土100g⁻¹であった。施肥処理による有効態Pへの影響は認められなかった。交換性Kは各区とも株出し回数が進むにつれて低下した。特に、減カリ区や無カリ区では対照区に比べて交換性Kが低く、株出し2回目以後は施肥処理による有意差

が認められた。交換性Caは株出し回数が進むにつれて低下し、株出し6回目の対照区では224mg 乾土100g⁻¹であった。株出し回数が進むにつれて無カリ区で交換性Caが高い傾向があり、株出し5回目では無カリ区と対照区および減カリ区に有意差が認められた。交換性Mgは株出し回数が進むにつれて低下し、株出し6回目の対照区では18.7mg 乾土100g⁻¹であった。株出し回数が進むにつれて無カリ区で交換性Mgが高い傾向があり、株出し3、4回目は無カリ区と対照区に、株出し5回目では無カリ区と対照区および減カリ区に有意差が認められた。

(4) カリ施用量の増加が生育に及ぼす影響

株出し7回目は生草収量のみ調査した。対照区の生草収量は7.43kg m⁻²であった (第26図)。株出し7回目も継続してカリ施肥せずに栽培した無カリ-無カリ区の生草収量は5.20kg m⁻²であり、対照区を100とした場合の相対値は70であった。株出し7回目からカリ施肥した無カリ-カリ1倍区、無カリ-カリ2倍区の生草収量は6.57kg m⁻²、7.40kg m⁻²であり、対照区を100とした場合の相対値は89、100であり、カリ施肥量の増加によって収量は増加した。特に、無カリ-カリ2倍区の生草収量は対照区と同程度の収量水準であった。



第26図 株出し7回目におけるカリ施肥量と収量の関係

縦棒は標準誤差を示す (n=3)。

() 内は対照区に対する相対値を示す。

無カリ-無カリ区は株出し7回目までカリ施肥なしで栽培。

無カリ-カリ1倍区は株出し7回のみ対照区と同量のカリ施肥で栽培。

無カリ-カリ2倍区は株出し7回のみ対照区の2倍のカリ施肥で栽培。

3) 考察

(1) カリ減肥とミネラルバランスの関係

Ⅲ-3の新植収穫時の土壌のミネラルは栽培基準(鹿児島県農政部 1991)と比較してほぼ適正な値であり(第25図), また, $K/(Ca+Mg)$ 当量比は全ての区で基準値の2.2を下まわった(第18表)。このため栽培開始時のミネラルバランスは適正であったと言える。対照区と比較してカリ施肥量を減らした減カリ区や無カリ区では $K/(Ca+Mg)$ 当量比が低く, 処理を継続した株出し2回目以後では施肥処理による有意差が認められた(第18表)。ローズグラス(Oya *et al.* 1988) やスーダングラス(小村ら 2004) での報告と同様に, この結果から飼料用サトウキビにおいてもカリ減肥により $K/(Ca+Mg)$ 当量比を低減でき, 特に, その効果は多回株出し栽培で明瞭であることが示された。

カリ減肥により茎葉部のK濃度低下に加えて, Ca, Mg濃度が増加した(第18表)。堆肥の多投入により土壌の交換性K含量が多くなると, 拮抗関係にあるCa, Mgの吸収低下が報告されるように(杉原ら 1979, 八槻ら 1992), K, Mg, Caの吸収比率は施肥条件によって異なる。Ⅲ-3でも処理区別の茎葉部のK濃度とCa, Mg濃度の相関係数は無カリ区, 減カリ区, 対照区とカリ施肥量の増加に

伴い小さくなっており(第24図), カリ減肥による $K/(Ca+Mg)$ 当量比の低下にはKとCa, Mgの吸収の拮抗作用も影響したと推察される。

Ⅲ-3とは異なり農業現場では栽培開始時の土壌のミネラルバランスが適正でないことも想定される。鹿児島本土の飼料用サトウキビの $K/(Ca+Mg)$ 当量比が2.69~4.01と基準値を超えた例が示されているように(原田ら 2010), 大規模畜産地域では畜産副産物の多投入によるK過剰が懸念される。K過剰が課題となる場合では, サトウキビがKを贅沢吸収しやすいため(宮里 1986, Calcino *et al.* 2000, Meyer and Wood 2001), 新植や株出し回数が少ない場合ではカリ減肥で栽培しても $K/(Ca+Mg)$ 当量比の低下が明瞭でない可能性がある。しかしながら, 飼料用サトウキビはK吸収能力が高いため, 水流ら(2012)がソルガムで報告したようなクリーニングクロープとしての機能が期待され, カリ減肥処理を継続することで土壌の交換性Kを低下させ, 多回株出しにおいては $K/(Ca+Mg)$ 当量比を低下させることができると考えられる。

K過剰とは逆に土壌の交換性Ca, Mgが低くミネラルバランスが適正でない場合も想定される。境垣内ら(2008)は $K/(Ca+Mg)$ 当量比が4.07~4.80と高く基準値を上回り, その原因として土壌の交換性Ca, Mgが著しく低かったことを示している。試験を実施した種子島の農家圃場では土壌改良剤の苦土石灰の投入が少なく, pHや交換性Ca, Mgの低下が指摘されている(上野 2010)。土壌の交換性Ca, Mgが著しく低い圃場では, カリ減肥だけでは $K/(Ca+Mg)$ 当量比を基準値以下にするのが困難なことも想定されるため, 寺内(2013)の指摘のように苦土石灰等を肥料として施用することも検討する必要がある。

(2) カリ減肥と収量の関係

カリ減肥により $K/(Ca+Mg)$ 当量比が低下した一方で, 対照区と比較して減カリ区および無カリ区では収量低下が認められ, この傾向は多回株出しで顕著であった(第17表)。無カリ区を対象に株出し7回目でカリ施肥を実施したところ, 施用量の増加に伴って生草収量も増加した(第26図)。また, 第19表に示すように, 他の養分とは異なりK濃度は乾物収量との相関係数が正の値であり, 相関係数は対照区, 減カリ区, 無カリ区とカリ施肥量が少なく

第19表 「KRF093-1」の乾物収量と養分濃度の相関係数

施肥	相関係数				
	N	P	K	Ca	Mg
対照区	-0.703	-0.941**	0.179	-0.724	-0.827*
減カリ区	-0.641	-0.926**	0.614	-0.814*	-0.732
無カリ区	-0.827*	-0.923**	0.913**	-0.950**	-0.939**

注：**，*は1%，5%水準で相関関係があることを示す。

なるにつれて大きくなった。カリ施肥量が少ない処理区では茎長，茎数，茎径が小さく，茎収量の低下が報告されているが (Kumar *et al.* 2003, Ghaffar *et al.* 2010)，Ⅲ-3の結果からも，カリ減肥区での収量低下の主な原因は土壤の交換性Kの低下に伴う植物体のK不足と判断される。Shukla *et al.* (2009)は収穫前にカリ施肥をすることで，株出しでの萌芽数，乾物重，養分吸収量が増加したことを示したように，肥料の三要素であるKはサトウキビの株出しにとっても重要な養分である。このため，カリ減肥での栽培はK/(Ca+Mg)当量比を低下させるが，多回株出しでの収量低減を抑えるためには，無カリ区のような著しいカリ減肥を継続することは困難と判断された。なお，土壤の交換性K含量が多い圃場では，カリ減肥による収量低減が生じにくい可能性があるものの，サトウキビがKを贅沢吸収しやすいことを考えると，多回株出し栽培ではカリ施肥を適切に施用すべきと考えられる。

(3) 現行の施肥方法の課題

現行の施肥方法である対照区でも土壤の交換性Kが減少傾向にあり (第25図)，各番草間で比較すると年次が進むにつれて収量が低下した (第17表)。このため対照区でも多回株出し栽培での収量維持のためには，現行に加えた圃場へのK還元が必要と考えられる。Ⅲ-3の試験期間は約4年間であるが，飼料用サトウキビの農家圃場での株出し栽培は5～10年間を想定しているため，土壤の養分含量を維持することの重要性はより高いと言える。畜産副産物でありコストの点から農家が利用しやすいこと，また，堆肥の施用による株出しでの収量減少の抑制が報告されること (Yadav 1992) から，追加の施肥資材としては堆肥の活用が望ましいと言える。サトウキビはKを贅沢吸収しやすい特性を有し，Ⅲ-3でも新植および株出し回数が少ない場合でのK吸

収量が多いことから (第18表)，多回株出し栽培のタイミングで堆肥を施用することにより，より効果的なカリ施肥に繋がると考えられる。ちなみに，試験地の種子島で市販される牛糞堆肥 (農協有機完熟堆肥「未来」) を例に試算すると，牛糞堆肥のカリ (K₂O) 含量は2.2～2.7%である。1年間の肥効を90%とし，栽培基準 (鹿児島県農政部 1991) の2kg m²の堆肥を施用すると年間およそ40g m²のカリを圃場に供給できる。これは現行の飼料用サトウキビの年間の化学肥料のカリ施肥量 (30g m²) を上回る量に相当する。このため，前述のミネラルバランスにも留意した堆肥の施用量，頻度の決定が必要である。

肥料の三要素のうちNとPについて，対照区の結果から現行の施肥量が適切かどうか検討した。Nは施肥での投入量と吸収量が同程度であり (第18表)，また，土壤のTNは多回株出し栽培においてもほぼ一定であることから (第25図)，現在の施肥量は維持すべきと判断される。Pは施肥の投入量が吸収量よりも多く (第18表)，また，試験地は黒ボク土で2000を超える高いリン酸吸収係数であったが (データ省略)，土壤の有効態Pは株出し回数が進むにつれて増加した (第25図)。このため現行のリン酸の施用量は過剰であり，価格の高いリン酸は削減の余地があると判断される。

Ⅲ-3ではNPK以外にCa, Mgを調査対象とした。Caは試験期間中，施肥としての供給はなく，また，Mgも処理区で施用量が異なるが (対照区，減カリ区で0.36g m²，無カリ区で1.27g m²)，いずれも吸収量を大きく下まわった (第18表)。このため，CaおよびMgは収奪される傾向にあり，江畑・東 (1976) の報告と同様に株出し回数が進むにつれて土壤の交換性Ca, Mgが低下した。

対照区の各番草間を比較すると年次が進むにつれて収量が低下し，先述のように交換性Kと同様に，土壤の交換性Ca, Mgも株出し回数が進むにつれて低下した。宮丸ら (2011) はドロマイト質の石灰岩碎石の施用により土壤の交換性Ca, Mgが増加し，サトウキビ収量が増加した例を示している。Ⅲ-3では第26図のKのようなCa, Mg資材の施用による収量への影響を確認出来ていないが，多回株出しで収量が低下した要因の一つとして，土壤の交換性CaやMgの低下が示唆される。飼料用サトウキビ

は植付けから廃耕までの期間が長いので、苦土石灰や堆肥などの資材を肥料に活用して、圃場へCaやMgを還元することは、前述のミネラルバランスへの留意だけでなく、高い収量性維持のために重要であると推察される。

IV. 飼料用サトウキビ新品種「しまのうしえ」の育成

II, IIIでは飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」の年2回収穫による栽培体系を確立した。これにより鹿児島県熊毛地域（以下、熊毛地域）における飼料用サトウキビの安定多収栽培が可能となった。一方で、製糖用サトウキビは熊毛地域から沖縄県にまたがる南西諸島全域で栽培されていることから、飼料用サトウキビについても、南西諸島の最北端の熊毛地域のみならず、鹿児島県奄美地域（以下、奄美地域）や沖縄県においても普及できる可能性が高い。

奄美地域および沖縄県向けの品種育成においては黒穂病抵抗性の付与が重要となる。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、罹病したサトウキビは茎の先端から黒色の鞭状物（写真8）が抽出する（山内1989, Comstock 2000, Croft and Braithwaite 2006）。鞭状物は灰色の薄い膜に覆われており、この膜が破れると多量の厚膜胞子が飛散して病害を蔓延させる。黒穂病は主要なサトウキビ生産国で発生が見られ、我が国でも「NCo310」や「Ni9」など抵抗性の弱い品種の普及とともに発生が拡大した経緯がある。黒穂病に罹病すると健全に生育できず、多い場合では50%もの減収が報告されることから



写真8 黒穂病の病徴である鞭状物

(Comstock 2000), 黒穂病の発生を抑えることは安定生産のために非常に重要と言える。黒穂病の防除方法としては抵抗性品種の栽培が最も有効とされており（山内1989, Burner *et al.* 1993, Comstock 2000), 我が国の製糖用サトウキビ栽培でも「NiF8」など抵抗性品種への置き換えが進められてきた。熊毛地域はこの成功例として知られ、「NiF8」の普及に伴い病害発生は減少し、現在では黒穂病の発生が認められていない。

「KRF093-1」は黒穂病の抵抗性が中程度であり（寺島ら2007, 境垣内・寺島2008), 抵抗性が十分でないことから、普及は黒穂病の発生していない熊毛地域に限定してきた。現在でも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」よりも黒穂病に強い品種の育成が必須となる。このような背景から、品種育成に取組み、黒穂病抵抗性が「NiF8」と同程度に強く、株出し多収を示す新品種「しまのうしえ」を育成した。本品種は2011年に品種登録出願が受理され（品種登録出願番号25824), 奄美地域および沖縄での普及が開始している。IVでは「しまのうしえ」の育成経過並びに品種特性について報告する。

1) 材料および方法

(1) 育成経過

「しまのうしえ」は黒穂病に強く、株出し多収となることを育種目標に設定した。このため、黒穂病抵抗性の製糖用品種「NiF8」を種子親、糖含有率は低い株出し能力に優れる多収の種間雑種系統「KRSp93-26」を花粉親に選定した。沖縄県農業試験場（現、沖縄県農業研究センター）に交配を委託し、種子を導入した。導入種子は九州農業試験場作物開発部さとうきび育種研究室（現、九州沖縄農業研究センター）のガラス室にて播種し、実生を養成した。1998年圃場に定植して個体選抜を実施し、1999年からは98SY-456の系統名を付して2007年まで栄養系選抜を実施した。選抜においては株出しでの収量性並びに黒穂病抵抗性を重視して評価した。2008年からは名称をKR98-1003に変更して、種子島並びに徳之島において生産力検定を実施した（第27図）。

(2) 黒穂病検定

黒穂病検定の概要を以下に示す。2005年から2007年にかけて九州沖縄農業研究センターにおいて選抜



第27図 生産力検定の実施場所

を目的とする予備的な黒穂病検定（以下、黒穂病予備検定）を3回にわたり実施した。また、2007年には沖縄県農業研究センターにおいて黒穂病特性検定を実施した。黒穂病検定は有傷接種法により以下の手順で行った。まず、各供試品種・系統ともに1区40～50芽を準備する。催芽した芽子の基部に針で傷をつけた後、厚膜胞子液（水9gと黒穂病菌1gを混合して調整）を筆で傷口に塗布した（写真9）。その後、接種個体をガラス室内で11ヶ月間生育させ、供試個体に対する発病個体の割合から罹病率を算出した。発病は鞭状物（写真8）の有無を指標として判断した。なお、黒穂病予備検定並びに黒穂病特性

検定ともに、沖縄本島の「Ni9」から収集した厚膜胞子を試験に使用した。

（3）生産力検定

種子島並びに徳之島で実施した生産力検定の概要を以下に示す。

i) 耕種概要と収穫時期

種子島の九州沖縄農業研究センター（西之表市）では、2008年3月から2011年4月までの3年間、徳之島の現地（徳之島町）では2008年3月から2010年4月までの2年間にわたり生産力検定を実施した。試験は1番草を8月、2番草を4月もしくは5月に収穫する年2回収穫体系で実施した。

(i) 種子島（九州沖縄農業研究センター）

供試品種として、「しまのうしえ」、「KRF093-1」並びに「NiF8」を用いた。植付けは2008年3月5日に6.36芽 m^2 の栽植密度で行った（畦間は110cm, 株間は約14.3cm）。各区とも1年目の1番草は新植、それ以外は株出しであり、株出し回数の順に記載すると1年目の2番草は株出し1回目、2年目の1、2番草は株出し2、3回目、3年目の1、2番草は株出し4、5回目となる。

各区とも1年目の1番草を2008年8月22日、2番草を2009年5月18日に収穫した。2年目の1番草を8月24日、2番草を2010年5月17日に収穫した。3年目の1番草を8月23日、2番草を2011年5月17日に収穫した。試験区は1区9.9 m^2 （3畦×3m）で3反復の乱塊法とし、全3畦を調査対象とした。施肥は各区ともに1作あたり、基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで7.2:12.0:6.0g m^2 、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:9.0g m^2 を施用した。基肥は植付け時および株出し開始時に、また、追肥は植付



写真9 黒穂病菌接種の様子（有傷接種法）

左：芽子基部への針の差し込み、右：差し込み箇所への厚膜胞子液の塗布

け後2ヶ月および株出し開始後1ヶ月を目安として施用した。植付け方法や肥培管理方法は製糖用サトウキビに準じて行ったが、通常、製糖用サトウキビ栽培で実施する株元への高培土は行わず、平培土のみで栽培した。

(ii) 徳之島

供試品種として、「しまのうしえ」、「KRF093-1」を用いた。種子島での生産力検定に準じて2008年3月18日に植付けを行った。各区とも1年目の1番草は新植、それ以外は株出しであり、株出し回数の順に記載すると1年目の2番草は株出し1回目、2年目の1、2番草は株出し2、3回目となる。

各区とも1年目の1番草を2008年8月25日、2番草を2009年4月28日に収穫した。2年目の1番草を8月18日、2番草を2010年4月26日に収穫した。試験区は1区9.9m² (3畦×3m) で3反復の乱塊法とし、全3畦を調査対象とした。施肥は各区ともに1作あたり、新植では基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:7.8:10.8g m²、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:5.0g m²を施用した。株出しでは基肥としてN:P₂O₅:K₂Oで10.5:9.1:12.6g m²、追肥としてN:P₂O₅:K₂Oで9.0:0.0:5.0g m²を施用した。その他の肥培管理方法は種子島での生産力検定に準じた。

(2) 収穫調査

収穫時に生草収量、乾物収量、乾物率、仮茎長、茎径、蔗汁 Brix を測定した。生草収量は各区とも試験区の地上部を地際で刈り、重量を測定した。生草収量の測定に用いたサンプルの一部を、約2cmにカッターで切断し、65℃で48時間以上、十分に乾燥させた後、乾物重を測定した。生草重に対する乾物重の割合から乾物率を算出した。乾物収量は生草収量と乾物率の積により算出した。仮茎長、茎径、蔗汁 Brix は各区5茎について調査した。仮茎長は地際から最上部の肥厚帯までの長さを測定した。茎径は葉鞘を取り除いた後、茎中央の節間の短径部分をデジタルノギスで測定した。蔗汁 Brix は、茎から汁液を採取した後、デジタル屈折計および手持屈折計で測定した。

(3) 飼料成分

乾物率の測定に用いたサンプルを用いて飼料成分を分析した。一般飼料成分(粗蛋白質、粗脂肪、可溶性無窒素物、粗繊維、粗灰分)は常法(自給飼料利用研究会編 2009)により分析した。繊維分画は

中性デタージェント繊維 (NDFom), 酸性デタージェント繊維 (ADFom) を分析(自給飼料利用研究会 編 2009) した。インビトロ乾物消化率 (IVDMD) は第1胃フィステルを装着したホルスタイン種メス牛2頭(5歳, 11歳) から採取した第1胃内容物を用い、乾燥、粉碎して2mmのメッシュを通した試料について、フィルターバッグ法(Holden 1999) で48時間培養し、乾物重量差から消化率を求めた、培養は1期2反復で2期おこなった。

(4) 統計処理

試験で得られたデータは統計ソフト (SPSS ver.21.0) で解析した。

1) 結果

(1) 気象概況

i) 種子島

試験期間中の種子島の日平均気温、降水量を第28図に示す。データは九州沖縄農業研究センター種子島試験地の気象観測装置の計測値を用いた。

2011年1月など3年目の2番草の生育期間では、日平均気温が平年値と比較して低く推移した。それ以外の番草の生育期間の日平均気温は概ね平年並みであった。冬季の低温期間でも霜害による茎葉部の枯死は認められなかった(観察による評価)。2009年4月から9月など降水量が平年値を下回る月があったものの、試験期間を通して大きな干ばつはなく、水不足による極端な生育抑制はなかった(観察による評価)。2010年6月など降水量が著しく多い月も認められたが、降水量は概ね平年並みであった。

ii) 徳之島

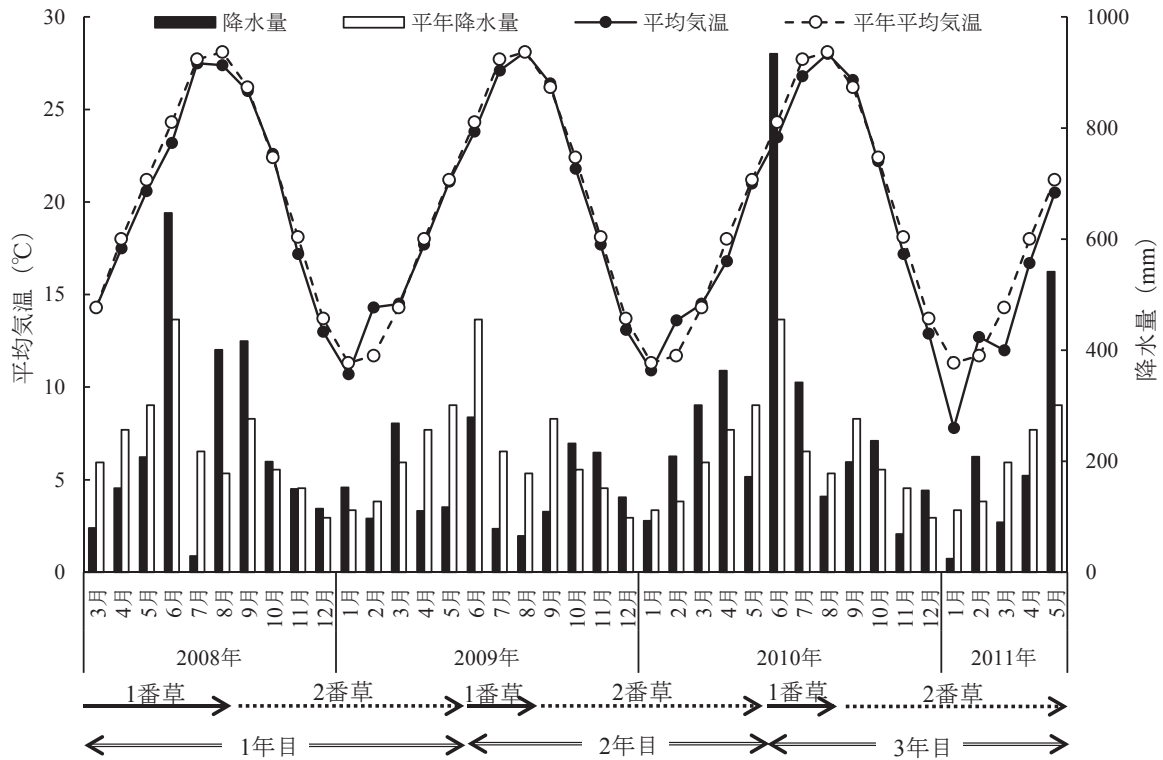
試験期間中の徳之島の日平均気温、降水量を第29図に示す。データは徳之島町現地圃場に最寄りの気象観測地点(伊仙)の計測値を用いた。試験地の徳之島は亜熱帯に属し、温帯に属する種子島よりも冬季が温暖である。また、年間降水量の平年値は種子島の2555mmに対して、1925mmであり降水量は少ない。

2011年1月など1年目の2番草の生育期間では、日平均気温がやや低く推移した。それ以外の番草の生育期間の日平均気温は概ね平年並みであった。試験期間中においても、2009年1月は日平均気温が12.4℃と低く推移したものの、それ以外では冬季でも日平均気温が15℃程度であった。夏季の日平均気温は種子島と同程度であった。2008年1~4月、

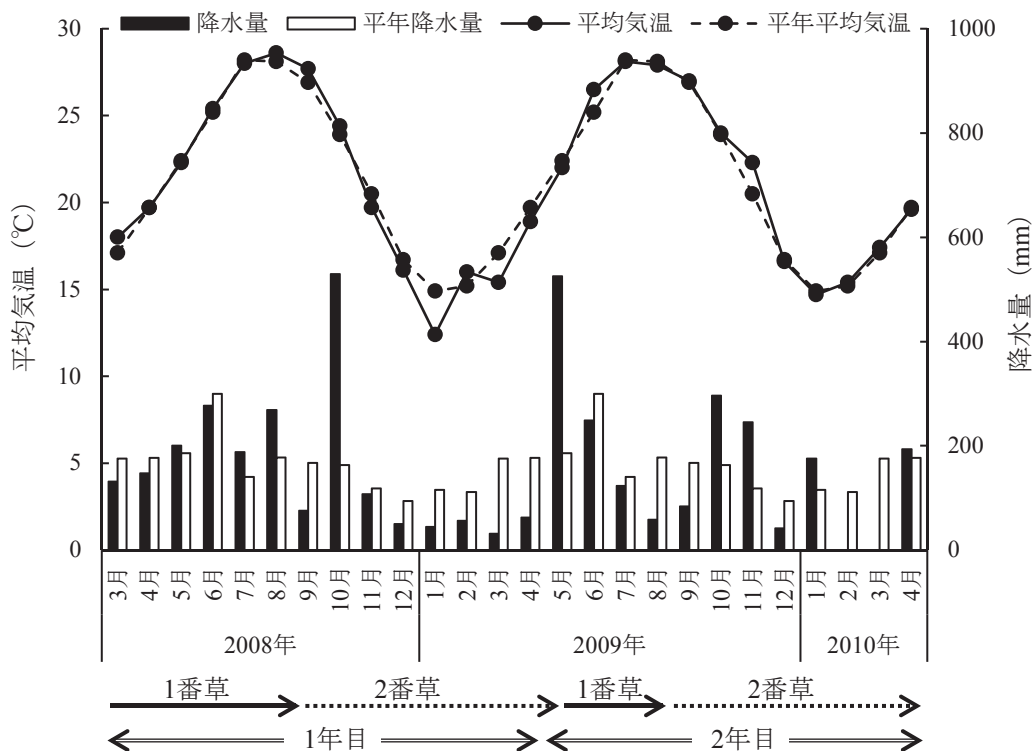
2010年2～3月および2009年8～9月は降水量が平年値を下回ったものの、試験期間を通して大きな干ばつはなく、水不足により極端な生育抑制はなかった（観察による評価）。

(2) 黒穂病検定

九州沖縄農業研究センターで実施した黒穂病予備検定での「しまのうしえ」の罹病率は5.6%、26.3%、21.1%であった。これに対して、「NiF8」は27.5%、



第28図 試験期間中の平均気温と降水量（種子島）



第29図 試験期間中の平均気温と降水量（徳之島）

16.7%, 17.8%であり, 「しまのうしえ」の黒穂病抵抗性は「NiF8」と同程度であった。このため, 沖縄県農業研究センターにおける黒穂病特性検定試験に供試した。この結果, 罹病率は「しまのうしえ」で10.0%, 「NiF8」で8.1%, 「NCo310」で82.0% (いずれも2区の平均値) であり, 「しまのうしえ」は「NiF8」と同程度で黒穂病抵抗性は“強”と判定された(第20表)。

第20表 「しまのうしえ」の黒穂病抵抗性

品種名	発病株率 (%)	判定
しまのうしえ	10.0	強
NiF8	8.1	強
NCo310	82.0	極弱

注: 黒穂病接種検定は2007年に沖縄県農業研究センターが実施。
検定は有傷接種法で実施。
数字は2区の平均値を示す(1区50芽)。

(3) 生育, 収量および飼料成分

i) 種子島

種子島(九州沖縄農業研究センター)における生産力検定の結果を第21表, 草姿を写真10に示す。「しまのうしえ」は「KRFO93-1」より収穫茎数が多く, 特に, 株出し2, 3, 4回目では有意差が認められた。また, 「NiF8」との比較では顕著に多く, 「しまのうしえ」は「NiF8」の約2倍の収穫茎数を有した。「しまのうしえ」の仮茎長は1番草では



写真10 種子島での「しまのうしえ」の草姿
(2年目1番草)

左:「しまのうしえ」, 右:「KRFO93-1」。

2009年8月に九州沖縄農業研究センターにて撮影。

2年目1番草は収穫3回目(株出し2回目)の再生草。

「KRFO93-1」と同程度であったが, 冬季を含む期間に生育した2番草では小さかった。「NiF8」と比較すると「しまのうしえ」の仮茎長はやや大きかった。茎径は「KRFO93-1」と同程度かやや小さく, 「NiF8」より小さかった。蔗汁Brixは「KRFO93-1」と同程度であった。「NiF8」は製糖用品種であるため, 蔗汁Brixが高かった。

「しまのうしえ」の年間生草収量は, 1年目では22.1kg m², 2年目では19.8kg m², 3年目では17.0kg m²であった。第21表から年間生草収量の3年間の平均値を算出すると, 「しまのうしえ」は19.6kg m², 「KRFO93-1」は20.1kg m², 「NiF8」は11.6kg m²であった。このように, 3年目では「しまのうしえ」の年間生草収量が「KRFO93-1」より低かったものの, 3年間の平均値では, 「KRFO93-1」とほぼ同程度の年間生草収量が得られた。また, 「NiF8」と比較すると年間生草収量は1.5倍以上であった。「しまのうしえ」の年間乾物収量は, 1年目では3.96kg m², 2年目では3.79kg m², 3年目では3.48kg m²であった。第21表から年間乾物収量の3年間の平均値を算出すると, 「しまのうしえ」は3.74kg m², 「KRFO93-1」は4.07kg m², 「NiF8」は2.31kg m²であった。このように, 「しまのうしえ」の3年間の平均値は3.74kg m²であり, 「NiF8」の1.5倍以上の高い年間乾物収量が得られた。一方で, 3年目の年間乾物生草収量は「KRFO93-1」より低かった。また, 「しまのうしえ」の乾物率は「KRFO93-1」と比較して低い傾向にあり, 株出し3, 4, 5回目では有意差が認められた。

1, 2, 3年目の1番草, 2番草について飼料成分を分析したところ, 粗蛋白質, 粗脂肪, 可溶性無窒素物, 粗繊維, 粗灰分, NDFom, ADFom, IVDMDともに, 「しまのうしえ」は「KRFO93-1」と同程度であった(第22表)。製糖用品種である「NiF8」は糖質の量を示す可溶性無窒素物が多く, また, 難消化性繊維を示すADFomが少ないため, 「しまのうしえ」や「KRFO93-1」と比較してIVDMDが高い傾向が認められた。

ii) 徳之島

徳之島における生産力検定の結果を第23表に示す。「しまのうしえ」の収穫茎数は「KRFO93-1」より多く, 株出し1, 2回目では有意差が認められた。仮茎長は1年目では「しまのうしえ」が大きく, 2年

第21表 種子島における「しまのうしえ」の生育および収量

年次	番草	株出し回数	品種名	収穫茎数 (本 m ²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁 Brix (%)	生草収量 (kg m ²)	乾物収量 (kg m ²)	乾物率 (%)
1年目	1番草	新植	しまのうしえ	20.5 a	192	17.2 b	6.4	9.2 ab	1.55 a	16.9 ab
			KRF093-1	19.2 a	185	18.6 b	7.5	10.1 a	1.84 a	18.3 a
			NiF8	8.0 b	178	25.0 a	9.1	6.1 b	1.01 b	16.6 b
	有意差			**	n.s.	**	n.s.	*	**	*
	2番草	株1	しまのうしえ	32.5 a	119 ab	17.8 b	8.8 b	12.9 a	2.41 a	18.7 b
			KRF093-1	29.7 a	132 a	18.2 b	7.4 b	10.8 a	2.00 a	18.6 b
			NiF8	10.2 b	103 b	25.3 a	14.9 a	6.0 b	1.33 b	22.2 a
	有意差			**	**	**	**	**	**	*
	年間合計		しまのうしえ	-	-	-	-	22.1 a	3.96 a	-
			KRF093-1	-	-	-	-	20.9 a	3.85 a	-
			NiF8	-	-	-	-	12.1 b	2.34 b	-
	有意差							**	**	
2年目	1番草	株2	しまのうしえ	32.5 a	211 ab	15.5 c	6.4 b	11.4 a	2.04 a	17.9 ab
			KRF093-1	21.8 b	213 a	17.3 b	7.1 b	10.6 a	1.97 a	18.6 a
			NiF8	13.8 c	201 b	21.0 a	8.3 a	7.2 b	1.23 b	17.2 b
	有意差			**	*	**	**	**	**	*
	2番草	株3	しまのうしえ	40.6 a	97 b	18.0 b	8.3 b	8.4 a	1.75 a	20.8 b
			KRF093-1	28.8 b	129 a	16.4 b	9.6 b	9.4 a	2.10 a	22.4 a
			NiF8	17.2 c	92 b	20.1 a	14.6 a	5.3 b	1.21 b	22.9 a
	有意差			**	**	**	**	**	**	**
	年間合計		しまのうしえ	-	-	-	-	19.8 a	3.79 a	-
			KRF093-1	-	-	-	-	19.9 a	4.07 a	-
			NiF8	-	-	-	-	12.5 b	2.45 b	-
	有意差							**	**	
3年目	1番草	株4	しまのうしえ	35.3 a	176 b	15.0 b	6.3 b	9.7 b	1.75 b	18.1 b
			KRF093-1	26.5 b	197 a	17.0 a	6.7 b	11.2 a	2.19 a	19.5 a
			NiF8	16.6 c	156 c	18.7 a	8.4 a	5.6 c	1.00 c	18.0 b
	有意差			**	**	**	**	**	**	*
	2番草	株5	しまのうしえ	42.7 a	93 b	13.7 b	11.8 b	7.3 b	1.73 b	23.7 b
			KRF093-1	35.6 a	129 a	14.3 b	10.3 b	8.4 a	2.09 a	24.9 a
			NiF8	23.7 b	87 c	17.7 a	16.4 a	4.6 c	1.15 c	24.9 a
	有意差			**	**	**	**	**	**	*
	年間合計		しまのうしえ	-	-	-	-	17.0 b	3.48 b	-
			KRF093-1	-	-	-	-	19.6 a	4.28 a	-
			NiF8	-	-	-	-	10.2 c	2.15 c	-
	有意差							**	**	

注：**，*は一元配置の分散分析で1%，5%水準で有意差があること，n.s.は有意差がないことを示す。

同一アルファベット間にはTukey法により有意差がないことを示す (P<0.05)。

目では「KRF093-1」が大きい傾向が認められた。茎径は「KRF093-1」よりやや小さく、株出し2、3回目では有意差が認められた。蔗汁 Brix は「KRF093-1」と同程度であった。

「しまのうしえ」の年間生草収量は、1年目では19.4kg m²、2年目では21.0kg m²であり、「KRF093-1」と同程度であった。「しまのうしえ」の年間乾物収量は1年目では4.21kg m²、2年目では4.85kg m²であり、「KRF093-1」と同程度であった。「しまのうしえ」の乾物率は「KRF093-1」より低く、新植並びに株出し1、2回目では有意差が認められ

た。

2年目の1番草、2番草について飼料成分を分析した。粗蛋白質、粗脂肪、可溶性無窒素物、粗繊維、粗灰分、NDFom、ADFom、IDMDともに、「しまのうしえ」は「KRF093-1」と同程度であった(データ省略)。

(4) 「しまのうしえ」の形態・生態的特性

「しまのうしえ」形態、生態的特性のうち特徴として顕著なものを中心に記載する。なお、形態・生態的特性については境垣内ら(2014a)で詳しく記載されているので参照されたい。「しまのうしえ」

第22表 種子島における「しまのうしえ」の飼料成分

年次	番草	株出し回数	品種名	粗蛋白質 (%DM)	粗脂肪 (%DM)	可溶性無窒素物 (%DM)	粗繊維 (%DM)	粗灰分 (%DM)	NDFom (%DM)	ADFom (%DM)	IVDMD (%DM)	
1年目	1番草	新植	しまのうしえ	5.50	0.67	49.8 b	37.0 a	7.00	69.9 a	43.1	42.5 b	
			KRFo93-1	5.93	0.86	49.7 b	36.4 a	7.18	69.1 a	42.8	45.5 ab	
			NiF8	6.06	0.98	52.7 a	33.5 b	6.82	64.7 b	38.3	50.1 a	
	有意差				n.s.	n.s.	*	*	n.s.	**	n.s.	**
	2番草	株1	しまのうしえ	7.46 a	1.26 a	47.1 b	34.9 a	9.25 a	67.5	39.4 a	47.5	
			KRFo93-1	7.98 a	0.98 a	47.6 b	34.1 a	9.37 a	68.8	39.6 a	47.0	
NiF8			6.40 b	0.57 b	54.1 a	31.7 b	7.21 b	65.3	37.2 b	51.1		
有意差				**	**	**	*	**	n.s.	*	n.s.	
2年目	1番草	株2	しまのうしえ	5.50	0.83	48.6 b	38.9 a	6.20	71.4 a	46.4 a	41.3 b	
			KRFo93-1	5.38	0.78	50.2 ab	37.4 a	6.31	69.6 a	44.4 a	45.0 ab	
			NiF8	5.47	0.72	52.8 a	35.1 b	5.91	66.4 b	41.7 b	46.9 a	
	有意差				n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**	**	*
	2番草	株3	しまのうしえ	6.34	2.13	49.0 b	33.4	9.14 a	67.4	38.6	44.8	
			KRFo93-1	6.67	1.74	50.6 ab	32.6	8.44 ab	67.8	38.3	45.7	
NiF8			6.13	1.74	52.0 a	32.4	7.70 b	67.0	36.8	47.0		
有意差				n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	
3年目	1番草	株4	しまのうしえ	7.03	2.62	51.7	31.2	7.44	63.3	40.3 a	43.1	
			KRFo93-1	6.73	2.46	51.3	32.0	7.50	64.8	39.1 a	46.1	
			NiF8	6.97	2.37	51.6	31.5	7.59	63.6	37.3 b	48.0	
	有意差				n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	
	2番草	株5	しまのうしえ	6.65 a	2.09	50.5 b	30.9	9.91 a	68.3	37.8	43.8 b	
			KRFo93-1	6.90 a	2.06	51.7 b	30.2	9.11 a	66.3	37.1	40.4 b	
NiF8			5.73 b	1.93	54.4 a	30.2	7.76 b	63.8	35.8	48.2 a		
有意差				**	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	

注：NDFom, ADFom は中性デタージェント繊維, 酸性デタージェント繊維を示す。

IVDMD はインビトロでの乾物分解率を示す。

**, * は一元配置の分散分析で 1%, 5%水準で有意差があること, n.s. は有意差がないことを示す。

同一アルファベット間には Tukey 法により有意差がないことを示す (P<0.05)。

第23表 徳之島における「しまのうしえ」の生育および収量

年次	番草	株出し回数	品種名	収穫茎数 (本 m ⁻²)	仮茎長 (cm)	茎径 (mm)	蔗汁 Brix (%)	生草収量 (kg m ⁻²)	乾物収量 (kg m ⁻²)	乾物率 (%)
1年目	1番草	新植	しまのうしえ	18.7	216	17.1	7.5	9.2	2.05	22.3
			KRFo93-1	17.7	206	17.2	9.8	9.4	2.22	23.6
			有意差	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*
	2番草	株1	しまのうしえ	31.8	181	15.3	9.1	10.0	2.19	22.0
			KRFo93-1	22.3	174	16.9	10.0	8.7	2.07	24.0
			有意差	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
年間合計		しまのうしえ	-	-	-	-	19.4	4.21	-	
		KRFo93-1	-	-	-	-	17.1	4.12	-	
有意差							n.s.	n.s.		
2年目	1番草	株2	しまのうしえ	21.4	147	16.6	13.5	10.2	2.16	21.3
			KRFo93-1	14.6	161	17.6	11.6	7.7	1.90	24.9
			有意差	**	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*
	2番草	株3	しまのうしえ	34.4	144	15.4	14.8	11.0	2.67	24.2
			KRFo93-1	31.7	169	16.2	13.8	11.8	3.16	27.1
			有意差	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
年間合計		しまのうしえ	-	-	-	-	21.0	4.85	-	
		KRFo93-1	-	-	-	-	20.5	5.24	-	
有意差							n.s.	n.s.		

注：**, * は一元配置の分散分析で 1%, 5%水準で有意差があること, n.s. は有意差がないことを示す。

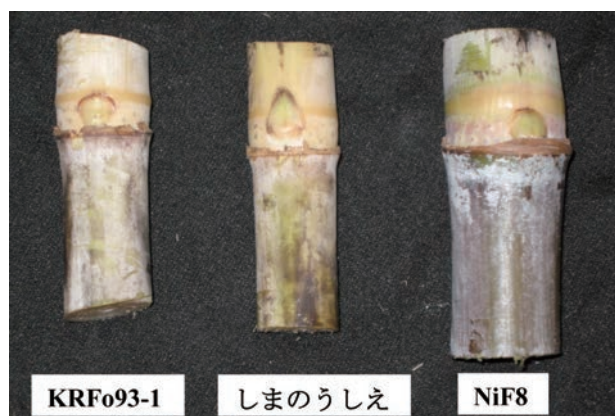


写真11 「しまのうしえ」の芽子形態

の芽子の形態は“狭卵円型”であり「KRFo93-1」や「NiF8」と異なる(写真11)。この芽子の形態は「しまのうしえ」と「KRFo93-1」の識別に最も適した特性である。「しまのうしえ」の葉色は「KRFo93-1」や「NiF8」より薄い“中”，葉身の花青素は“無”であり、「KRFo93-1」や「NiF8」と異なる。収量性は「KRFo93-1」と同じ“極多”であり、「NiF8」より優れる。出穂性は「KRFo93-1」よりやや少ない“多”，脱葉性は「KRFo93-1」より優れる“中”である。糖分は「NiF8」より低く「KRFo93-1」と同じ“かなり低”である。黒穂病抵抗性は「NiF8」と同程度の“強”であり，“中”である「KRFo93-1」より優れる。さび病類抵抗性，葉焼病抵抗性，梢頭腐敗病抵抗性は“強”であるが，モザイク病は“やや弱”で“強”の「KRFo93-1」より劣る。

3) 考察

肉用牛の子牛生産は南西諸島の農業で主要な位置を占める。近年，子牛生産経営の規模拡大と飼養頭数の増加が進んでおり(樽本 2008)，粗飼料の増産と栽培コストの低減がより一層求められている。このような中，サトウキビ野生種を活用した種間雑種に着目して，主要な牧草であるローズグラスより高い収量が得られ，永年性作物として利用できる飼料用サトウキビの開発を進めてきた。これまで熊本地域向け品種「KRFo93-1」を育成したものの(寺島ら 2007，境垣内・寺島 2008)，黒穂病抵抗性が十分でないことから鹿児島県奄美地域や沖縄県で普及を推奨できる品種がなかった。

「しまのうしえ」は製糖用品種「NiF8」と同程度の強い黒穂病抵抗性を有することから，黒穂病の発生が懸念される奄美以南地域でも実用栽培が可能と

判断される。また，鹿児島県内の南西諸島でのローズグラスの年間生草収量は8～10kg m²とされる(鹿児島県 2012)。一方，「しまのうしえ」の年間生草収量は1年目で19.4kg m²，2年目で20.9kg m²であり，ローズグラスと比較して高い収量性が認められる。このため，現在の基幹牧草であるローズグラスの代替として利用することで奄美地域の粗飼料増産に繋がると期待される。また，「しまのうしえ」の品種育成の過程では，鹿児島県奄美地域のみで試験を実施した。しかしながら，沖縄県糸満市における現地実証試験(2010年10月～2011年11月，株出し3，4回目)でも，年間生草収量が17.0kg m²の結果を得ており(データ省略)，沖縄県においても高い収量性を示すことが期待される。

「しまのうしえ」の飼料成分は「KRFo93-1」と同程度であった。このことから，これまで「KRFo93-1」を材料として開発してきた給与技術が「しまのうしえ」についても適用できると考えられる。なお，これらの給与技術はマニュアルとして公開されており(http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/krf093-1.pdf)，また，育成牛については神谷ら(2011)が詳しく報告している。

「しまのうしえ」は優れた耐病性や収量性を示す一方で，今後，改良すべき課題も挙げられる。一つ目は多回株出しでの収量性の強化である。育成地における1年目，2年目の「しまのうしえ」の年間生草収量，年間乾物収量は「KRFo93-1」と比較して同程度であったが，3年目では「しまのうしえ」の収量が低かった。このことから，製糖用品種「NiF8」と比較すると著しく高いものの，「しまのうしえ」の多回株出し能力は「KRFo93-1」よりやや劣ると推察される。今後は多回株出し能力を重視した選抜により，さらに株出し能力を強化した品種を育成する必要がある。

二つ目は乾物率の向上である。「しまのうしえ」は「KRFo93-1」と比較して，乾物率が低い傾向にあった。乾物率は乾物収量に関係するだけでなく，飼料用サトウキビにおいて乾物率が低いと良質なサイレージ調製が難しくなることが示されている(服部ら 2013)。このため，今後の選抜においては乾物率への留意も必要と考えられる。

三つ目は低温期の茎伸長性の強化である。IVでは1番草を8月，2番草を4から5月に収穫する年2

回収穫体系で試験した。このため、2番草の生育期間には気温の低い冬季を含む。「しまのうしえ」と「KRFO93-1」の仮茎長を比較すると、1番草よりも2番草での差が大きく、「しまのうしえ」の茎伸長は低温下で「KRFO93-1」にやや劣ると考えられる。「KRFO93-1」が年2回収穫体系で高い年間収量を得られる要因として、低温期を含む2番草の茎伸長量が大きいことを示した(境垣内ら 2010b)。今後は「KRFO93-1」のような低温下での茎伸長性に優れた特性を付与することにより、年2回収穫で安定多収となる品種の育成に繋がると推察される。

その他、栽培上の留意点として、モザイク病に“やや弱”であることから、罹病個体の抜き取りなど採苗圃場の管理を徹底して、健全苗を植付けに使用することが重要である。

現在、「しまのうしえ」は鹿児島県奄美地域では徳之島、与論島、沖永良部島などで栽培され、特に徳之島ではコントラクター組織で利用する先進的な取り組みも進められている(吉田 2011)。また、沖縄県においても、沖縄本島南部で導入が開始されるとともに、県が事業の中で飼料用サトウキビ(沖縄県ではケーングラスの呼称)の生産体系の構築を進めている。これらの着実な進捗により「しまのうしえ」の普及・定着が進み、鹿児島県奄美地域や沖縄県での粗飼料基盤強化に寄与することが期待される。

V. 総合考察

南西諸島農業の基幹である肉用牛子牛生産の経営基盤強化に向けて、飼料用サトウキビ品種「KRFO93-1」を育成した。「KRFO93-1」は株出し能力が高く(写真3)、南西諸島で広く普及している牧草ローズグラスよりも高い乾物収量が得られる(第5図)(寺島ら 2007, 境垣内・寺島 2008)。また、「KRFO93-1」は収穫適期幅が広く(Suzuki *et al.* 2010)、同じ長大型飼料作物のネピアグラスで問題となるような刈り遅れによる栄養価の低下はない。これらのような他の飼料作物にない特長を有しているため、飼料用サトウキビは南西諸島の粗飼料生産性を大幅に改善させる新規作物として期待されている。

しかしながら、新規作物であるがゆえに、飼料用サトウキビ品種「KRFO93-1」の育成時には生産者

に推奨できる栽培体系が確立されていなかった。また、実際に「KRFO93-1」の栽培を試みた生産者からは、栽培体系の指針がなく導入に躊躇するという意見が寄せられた。このように、「KRFO93-1」の普及・定着に向けては、生産者に推奨できる栽培体系を構築することが喫緊の課題であった。そこで、本研究では、まず、主要な普及対象地域である種子島において「KRFO93-1」の栽培体系の開発を行った。

1. 種子島における「KRFO93-1」の栽培体系の確立

1) 収穫体系

IIでは、栽培で最も基本となる飼料用サトウキビ向けの収穫体系について検討した。飼料用サトウキビを製糖用サトウキビの収穫体系に準じた年1回収穫体系で栽培すると、生育が旺盛なため長大化して倒伏することが栽培上の課題として挙げられていた。このため、II-1では、製糖用サトウキビに準じた年1回収穫体系、並びに1作の栽培期間を短くした年2回収穫体系において生育および収量を比較した。試験には「KRFO93-1」のほか、製糖用主要品種の「NiF8」を供試した。この結果、「NiF8」は年1回収穫と比較して年2回収穫では年間乾物収量が低い傾向がみられたが、「KRFO93-1」は年2回収穫でも年1回収穫と同程度の高い乾物収量が得られた(第4表)。「KRFO93-1」が年2回収穫でも高い乾物収量が得られた要因として、株出しでの初期生育並びに低温期の茎伸長が優れることが示唆された(第8, 9図)。年1回収穫では収穫時に倒伏が著しいことが課題となっていたが、年2回収穫では収穫時の草姿が直立であり、収穫作業性にも優れていた。また、年1回収穫並びに年2回収穫でのTDN(可消化養分総量)が同程度であったことから(鈴木ら 2008)、栄養価の点でも年2回収穫体系は問題ないと判断された。

II-2では、より年間の収穫回数の多い年3回収穫体系の導入可能性について検討した。試験には「KRFO93-1」を用いて、年2回収穫および年3回収穫での生育および収量を比較した。この結果、年2回収穫と比較して、年3回収穫では年間乾物収量が有意に低かったことから(第12図)、多収性という飼料用サトウキビの特長を生かすためには、年2回収穫が最適な年間の収穫回数であると判断された。

Ⅱ-1, Ⅱ-2において、飼料用サトウキビでは年2回収穫での栽培が適することを明らかにしたが、収穫時期を固定して生育および収量性の評価を行った。このため、Ⅱ-3では、年2回収穫の最適な収穫時期の設定について検討した。収穫時期として、7-5月区、8-5月区、9-5月区、10-5月区を設けて、3年間にわたり「KRF093-1」を用いて各処理区の生育および収量を比較した。この結果、各処理区ともに乾物収量に有意な差は認められなかったものの、8-5月区および9-5月区で乾物収量が高い傾向が認められた(第7表)。また、株出し後の茎伸長速度には各処理区で大きな差が認められ、10-5月区の2番草(10月収穫後の株出し)では茎伸長速度が低かった。10-5月区の2番草では、株出し開始後に低温期を迎えるため冬季の被植度が低く(写真4)、土壌を被植するまでに長期間を要し、畦間および株間に雑草が繁茂した。一方で、7-5月区および8-5月区では冬季の被植度が高く、雑草の繁茂を抑えていた。上記のことから、収量性並びに雑草との生育競争を考慮すると、年2回収穫の推奨時期として8-5月が優れていると判断された。

Ⅱ-4では飼料成分のうち、家畜の疾病に関わる項目であるミネラルバランスおよび硝酸態窒素について検討した。特に、年2回収穫のように1作の生育期間が短い場合での影響について検討した。サトウキビは硝酸態窒素の蓄積が少ない作物として知られる(Ishikawa *et al.* 2009, 原田ら 2010)。Ⅲ-3の「KRF093-1」においても、硝酸態窒素は生育期間全体を通して基準値の0.2%DMを大きく下回っており(第8表)、生育ステージに関わらず硝酸態窒素の心配がないことが示された。一方で、K/(Ca+Mg)当量比で示されるミネラルバランスについては、「KRF093-1」において基準値の2.2を超える例が報告される(境垣内ら 2008, 原田ら 2010)。しかしながら、Ⅲ-3では土壌のミネラル含量がサトウキビ栽培基準(鹿児島県 1991)の適正値の範囲内にあったこともあり、生育期間全体を通して2.2を下回り、特に、生育が進むにつれて当量比が低下する傾向が認められた。

以上のように、Ⅱでは飼料用サトウキビの収穫体系として年2回収穫が適すること、並びに、年2回収穫の収穫時期設定の留意点について明らかにすることが出来た。

2) 栽培管理方法

Ⅲでは多収かつ安定的な栽培体系の構築に向けて、個別の栽培技術について検討した。製糖用サトウキビの栽培上の課題として初期生育が遅いことが挙げられる(寺内ら 1999, Allison *et al.* 2007)。飼料用サトウキビは株出しでの初期生育は改善されているものの、新植では製糖用サトウキビと同様の課題がある。このため、Ⅲ-1では、新植での初期生育改善に向けて、密植が有効かどうかについて検討した。製糖用サトウキビの基準である対照区(6.36芽 m^2)並びに1.5倍区(9.54芽 m^2)、2倍区(12.7芽 m^2)の密植区を設けて、2年次にわたり検討した。試験には「KRF093-1」を用いた。この結果、密植区では初期生育での茎数のみならず、仮茎長および被植度が大きくなり(第10, 11, 12表)、新植での増収も認められた(第13表)。このため、「KRF093-1」の栽培においては、慣行の1.5~2倍の密植が適していると判断された。

Ⅲ-2では、株揃え処理の要否について検討した。飼料用サトウキビを機械収穫する際、地際から10cm程度の高刈りで収穫する。これは土砂の混入によるサイレージ品質の低下を防ぐためであり、飼料作物では一般的に高刈り後に残株を刈り戻さず、次作の再生草の生育を開始させる。一方で、製糖用サトウキビでは、次作の株出しを良好にする目的で、収穫後の残株を刈り戻す株揃え処理が推奨されている(Yadav 1992, 樋高 2010)。このように、飼料作物とサトウキビでは残株の処理方法に違いがあることから、飼料用サトウキビにおいて株揃え処理が必要か否かについて検討した。処理区として高刈り収穫後に株揃えを実施する対照区と高刈り収穫後に株揃えを実施しない高刈区を設けた。試験には「KRF093-1」を供試し、4年間にわたり株出し6回目まで処理の効果を調査した。この結果、茎数には差異は認められないものの、高刈区では仮茎長や一茎乾重が対照区と比較して大きくなり、高刈区で乾物収量が高くなった(第16表)。高刈区では乾物収量が高くなっただけでなく、株揃え処理が不要となるため省力的な栽培管理と言える。以上のことから、「KRF093-1」の栽培においては、高刈り後の株揃えは不要と判断された。

Ⅲ-3では飼料用サトウキビに必要な施肥量について検討した。サトウキビはカリウムを贅沢吸収し

やすい作物とされる(宮里 1986, Calcino *et al.* 2000)。このため、カリ施肥量が過剰となると K/(Ca+Mg) 当量比で示されるミネラルバランスが基準値を超えることが懸念される。一方で、カリは肥料の三要素であるため、不足すると生育が劣り、飼料用サトウキビの特長である多収性が発揮されないことが懸念される。このため、株出し栽培で多収を実現するためのカリ施肥量について検討した。試験には「KRF093-1」を用いた。処理区として、製糖用サトウキビの施肥量に準じた対照区に加え、カリを減肥した減カリ区、カリを施肥しない無カリ区を設け、4年間にわたり株出し6回目まで調査を実施した。この結果、無カリ区や減カリ区では K/(Ca+Mg) 当量比が低くなったものの(第18表)、多回株出しでは無カリ区の乾物収量の減少が顕著であった(第17表)。また、株出し7回目において無カリ区を細分化し、カリ増肥の効果を検討したところ、カリを2倍施用した区では対照区と同程度の生草収量が得られた(第26図)。以上のように、カリ減肥を継続することは多回株出しでの収量性に問題があるため、適切でないと判断された。このため、慣行と同程度のカリ施肥量は維持する必要があると考えられた。また、カリ以外の要素について慣行の施肥量の妥当性を検討したところ、窒素は慣行量が妥当と考えられたが、リン酸は吸収量が少ないため削減の余地があると判断された。土壌の交換性マグネシウムやカルシウムは、株出し回数の増加に伴い減少したことから(第25図)、多回株出し栽培で多

収を実現するためには吸収量の多いカリウムとともに、マグネシウムやカルシウムなど三要素以外の施肥も重要と考えられた。

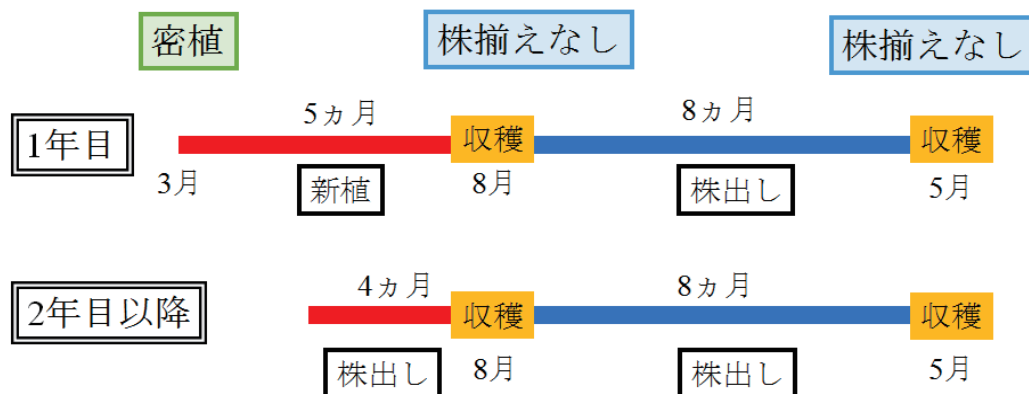
以上のように、Ⅲでは栽植密度、株出し管理、施肥量の個別の管理技術の検討を通して、多回株出し栽培で「KRF093-1」の安定多収を得るための栽培管理方法を明らかにすることができた。

3) 種子島における栽培体系の確立と普及状況

Ⅱ、Ⅲの検討から、種子島において飼料用サトウキビ品種「KRF093-1」の多収かつ安定的な栽培体系を構築するための知見を得た。これらの知見をまとめて推奨する栽培体系を示したのが第30図である。

第30図に示すように、年2回の収穫時期は8月および5月とした。この理由として、Ⅱ-3において8-5月区で高い乾物収量と雑草抑制効果が得られたことに加えて、以下の2点が挙げられる。

一つ目は種子島の青刈り粗飼料の端境期との関係である。4月まではイタリアンライグラスやエンバクなどの冬作物の他、製糖用サトウキビの副産物である梢頭部が利用できるため、青刈り給与の粗飼料は比較的豊富な状況にある。一方で、5月は製糖業が終了しているため梢頭部が入手できないこと、さらに、冬作物とローズグラスなどの夏作物の端境期にあたることから、青刈り給与の粗飼料が不足する。このため、5月に収穫時期を設定することで地域のニーズに合致した体系となる。二つ目は降水量との関係である。第7図などで示されるように、種子島の降水量の平年値を見ると、梅雨の時期にあたる6



施肥 製糖用サトウキビの1作の施肥量が基準
(多回株出し栽培ではK, Mg, Caなどの追加施肥)

第30図 種子島における「KRF093-1」の推奨栽培体系

月並びに秋雨の時期にあたる9月に降雨が多い。降雨時には収穫機械を圃場へ入れることが難しく、また、雨水の混入で水分含量が高くなるとサイレージ発酵の品質低下が懸念される（服部ら 2013）。このため、梅雨並びに秋雨の時期の前である5月並びに8月に収穫を済ませることが望ましいと考えられる。

なお、サトウキビは初期生育が遅いことが栽培上の課題とされるが、飼料用サトウキビでも株出しと比較すると新植では生育が緩慢である。このため、第30図に示すように1年目の新植のみ3月に植付けて生育期間を確保する設計としている。

Ⅲの知見をもとに、その他の栽培技術についても第30図に記載した。栽植密度の試験結果から、「KRF093-1」の新植での生育促進のために、現在の製糖用サトウキビの基準である6.36芽 m^2 よりも1.5倍から2倍の密植が望ましいと判断される。密植程度は、雑草が少ない場合は1.5倍、雑草が多い場合には2倍というように栽培圃場の雑草繁茂の状況を考慮して判断すべきと考えられる。なお、飼料用サトウキビは長期間にわたり株出し栽培を継続する作物であることから、新植時にできるだけ欠株をなくすという視点からも密植は重要な栽培技術と言える。

施肥試験においてカリ増肥処理を設けておらず、これに関する検討は十分にできていない。しかしながら、慣行施肥量の対照区でも土壤の交換性カリ含量が低下傾向にあることから（第25図）、多回株出し栽培においては、堆肥など化学肥料以外からもカリを供給することが重要と考えられる。苦土・石灰なども含めた施肥量については、今後、より詳細な検討が必要である。

第30図のように、種子島において「KRF093-1」の安定多収を実現するための推奨栽培体系を提示することができた。この栽培体系をもとにして、種子島での飼料用サトウキビの普及を進めている。普及例として、西之表市の中園ファーム並びに南種子町の西園畜産を挙げる。両者ともに繁殖親牛100頭程度の大規模経営であり、コーンハーベスタと細断型ロールペーラによるサイレージ体系で飼料用サトウキビを利用している。現在では、繁殖親牛の粗飼料として定着しており、粗飼料生産の増産並びに低コスト化に貢献している。

2. 有効積算温度に基づく乾物収量予測

上記のように、熊毛地域（種子島）において「KRF093-1」の安定多収栽培を実現するための、最適な栽培体系を明らかにした。しかしながら、生産現場では他の作業と繁忙期が重なることにより、計画どおりの時期に収穫できないことも予想される。このような状況に対応するためには、生育環境から乾物収量を推定する収量予測モデルの構築が必要である。

さらに、Ⅳでは、「KRF093-1」に続く品種として、「しまのうしえ」を育成した。このため、飼料用サトウキビの栽培地域は今後、熊毛地域に留まらず、南西諸島全域に広がっていくことが期待される。

収量予測モデルは、このような従来の試験結果がない地域の栽培体系の検討に大きく役立つ。そこで、本研究で得られた生育環境と収量のデータの関係性を精査することで、生産現場で活用できる収量予測式の作成を試みた。特に、Ⅱ-2で示したように、熊毛地域では気温が「KRF093-1」の生育の大きな制限要因となる。また、川方・矢島（1994）では水稻において積算気温に基づいた地上部重の推定式を示している。このため、有効積算温度と乾物収量の関係を検討した。

有効積算温度の算出において、有効温度の下限値の設定が重要となる。このため、Ⅱ-3のデータを用いて、有効温度の下限値を明らかにした。すなわち、まず、第16図の生育期間の平均気温と乾物増加速度の関係から有効温度の下限値を算出した。冬季を含む低温期に生育した2番草について、生育期間の平均気温（ x ）と乾物増加速度（ y ）の回帰式を求めると $y=2.20x-31.5$ であり、乾物増加速度が $0 g m^{-2} day^{-1}$ となる温度は $14.3^{\circ}C$ であった。

このため有効温度の下限値を $14.3^{\circ}C$ に設定して、各番草の有効積算温度（ X ）を算出し、乾物収量（ Y ）との関係を検討した。

Ⅱ-3の株出しでの全20作期（株出し1～5回目、4処理区）を対象として、説明変数を有効積算温度、目的変数を乾物収量とする推定式を作成した。有効積算温度は以下の式で算出した。

$$GDD = \sum_i^d (T - T_b)$$

ここで、GDDは有効積算温度、 d は生育日数、 T は日平均気温、 T_b は有効温度の下限値を示す。

乾物収量は生育に伴いS字を描いて推移するこ

とから、S字を描く曲線のうちゴンペルツ曲線への適合を試みた。

$$Y=a[b^{\exp(cX)}]$$

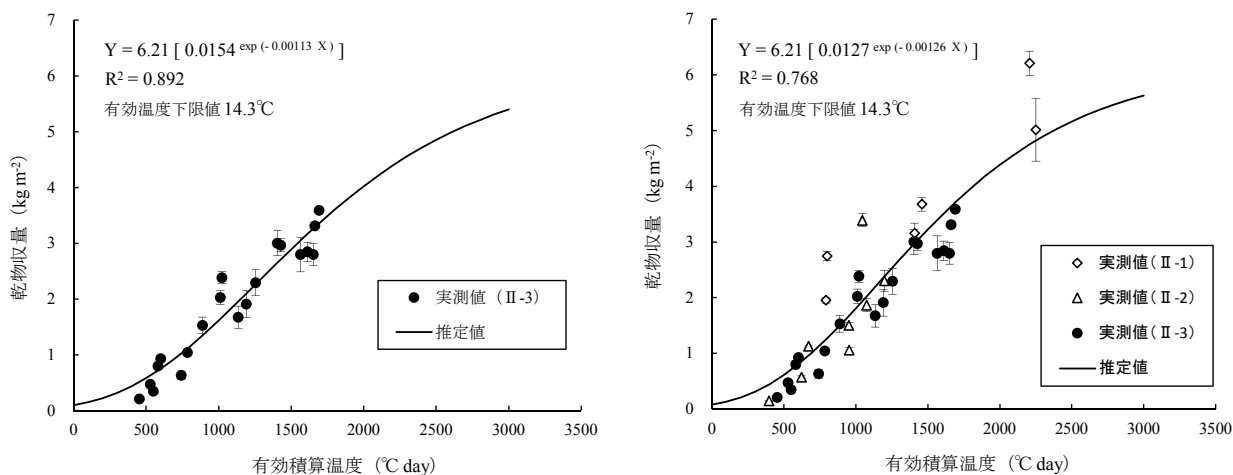
ここで、XはGDD、Yは推定乾物収量、aは最大乾物収量、bおよびcは曲線の形状に関連するパラメータを示す。なお、aにはII-1の最大乾物収量である年1回収穫時の6.21kg m²を採用した。bおよびcはMicrosoft Excelのソルバー機能を利用して、乾物収量の実測値と推定値の差の2乗和が最小となるように決定した。

この結果、 $Y=6.21[0.0154^{\exp(-0.00113X)}]$ で回帰され、決定係数は $R^2=0.892$ と高く(第31図左)、有効積算温度を用いて乾物収量の変化の多くを説明することができた。なお、他の代表的なS字曲線であるロジスティック曲線でも回帰を試行したところ、 $R^2=0.840$ と決定係数はやや小さくなり、また、株出し開始初期の乾物収量が過大評価されたため、上記のゴンペルツ曲線での回帰が妥当と判断した(データ省略)。

さらに、より多様な状況での収量予測式を得るため、同じく九州沖縄農業研究センター種子島試験地で得た、試験年次および圃場が異なるデータを合わせて解析した。解析に用いたデータはII-3に加えて、II-1の6作期、II-2の8作期の全34作期であった。この結果、乾物収量と有効積算温度の関係は、 $Y=6.21[0.0127^{\exp(-0.00126X)}]$ で回帰され、 $R^2=0.768$ であった(第31図右)。このように試験年次や圃場が異なる結果を含んだ解析では有効積算温度以外の影

響を受けるため、決定係数が小さくなったものの、同様に乾物収量の変化の多くを有効積算温度で説明することができた。また、第31図(左)の推定式では年2回収穫など1作の作期が短い場合の結果が大部分を占めたが、第31図(右)ではII-1のような有効積算温度が約2200~2300°C dayの年1回収穫(白抜きひし形のシンボル)の乾物収量の推定にも対応できていた。なお、他の代表的なS字曲線であるロジスティック曲線でも回帰を試行したところ、 $R^2=0.765$ と決定係数はほぼ同じであったが、株出し開始初期の乾物収量が過大評価されたため、上記のゴンペルツ曲線での回帰が妥当と判断した(データ省略)。

種子島は年間降水量の平年値が2345mmと多く(気象庁 気象観測データ)、また、主な土壌は黒ボク土で作土層が深いため、水は生育の制限要因になりにくい。種子島のような環境条件の範囲内ではあるが、Vでは有効積算温度という簡易な指標により乾物収量の予測が出来ることを示した。このため、今後はこの回帰式を活用することで、作業スケジュール作成などを通じた生産現場への貢献が期待される。一方で、他の南西諸島の年間降水量の平年値は徳之島では1912mm、沖縄本島(那覇市)では2040mm、石垣島では2106mmであり、種子島より少ない(気象庁 気象観測データ)。また、奄美、沖縄地域では作土層が浅いことも指摘される(脇門2014)。このため、気温に加えて、水が生育の制限要因になりやすい奄美、沖縄地域においては、有効



第31図 有効積算温度による乾物収量の推定

(左) II-3の結果のみ、(右) II-1、II-2、II-3の結果を含む。

縦棒は標準誤差 (n = 3) を示す。有効温度の下限値は14.3°Cに設定

積算温度における簡易な推定式がどの程度適用できるかについて、今後検討する必要がある。

3. 今後の品種育成の課題

VではII-3の結果をもとに、乾物収量増加に対する有効温度の下限値を14.3℃に設定して解析を実施した。有効温度の下限値はInman-Bamber (1994)では出葉が10℃、分けつ出現が16℃と報告されるように対象とする形質で異なる。また、小野・中西 (1983)では出葉の比較、Singels and Donaldson (2000)では草冠形成の比較により、有効温度の下限値に品種間差異があったことが示される。また、本研究でもII-1では「KRF093-1」と「NiF8」の茎伸長に差があったことを示した。飼料用サトウキビ品種間の比較では、IVで育成報告した「しまのうしえ」は、「KRF093-1」と同程度の多収が得られるものの、生育期間に低温期を含む2番草では収量が低い傾向が認められた。このように、「しまのうしえ」が「KRF093-1」より低温下での生育に劣る要因として、有効温度の下限値が異なる可能性が考えられる。今後は低温下での生育を指標として品種育成をすることで、飼料用サトウキビ生産の高位安定化の実現が期待される。

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基盤となる技術体系を確立することができた。また、熊本地域で活用できる「KRF093-1」の収量予測モデルを構築した。さらに、奄美・沖縄地域に飼料用サトウキビの普及を可能とする黒穂病抵抗性品種の育成にも至った。このことは、安定的な飼料確保の基盤を通じて、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。

なお、本研究に関する原著論文は以下に掲載されている（II：境垣内ら 2010b, 境垣内ら 2012, 境垣内ら 2014c, 境垣内ら 2015, III：境垣内ら 2010a, Sakaigaichi *et al.* 2013, 境垣内ら 2014b, IV：境垣内ら 2014a）。

VI. 摘要

鹿児島県島嶼部（熊本地域・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「KRF093-1」が育成された。「KRF093-1」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、「KRF093-1」の普及は円滑に進んでいなかった。そこで、本研究では、「KRF093-1」の普及対象地域である熊本地域（種子島）において栽培体系を確立するとともに、奄美・沖縄地域での普及を可能とする黒穂病抵抗性の品種の育成に取り組んだ。

1. 年間収穫回数の検討

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、「KRF093-1」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、「KRF093-1」と製糖用主要品種「NiF8」を用いて、年1回収穫区並びに年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 (1.29kg m^{-2}) は、年1回収穫区に比較して約20%の減収となったが、「KRF093-1」では年2回収穫区の年間乾物収量 (5.77kg 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(2.38kg m⁻²)より年2回収穫区(2.74kg 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回収穫区並びに年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(1.90kg m⁻²)および2年目(3.12kg 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(7-5月区、8-5月区、9-5月区、10-5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、8-5月区および9-5月区の年間乾物収量(3.89kg m⁻²)は、7-5月区や10-5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、収量性並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8-5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、硝酸態窒素並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タ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、土壤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が明らかとなった。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、密植による増収効果も認められた。これらの結果から、「KRf093-1」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。

「KRf093-1」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、「KRf093-1」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「KRf093-1」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並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 (13.7kg m^{-2}) と比較して高刈区 (15.7kg m^{-2}) で有意に高かった。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げ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、 $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 当量比の低下並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、土壤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、土壤養分含量は対照区、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. 黒穂病抵抗性品種の育成

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」より黒穂病に強い品種が必須となる。

そこで、黒穂病に強く、株出し多収となることを目標として、抵抗性の製糖用品種「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、「KRFo93-1」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℃とした有効積算温度(X)と乾物収量(Y)との関係を解析した。代表的なS字曲線であるゴンベルツ曲線で回帰したところ、乾物収量は $Y=6.21[0.0127^{\exp(-0.00126X)}]$ で示され、決定係数も $R^2=0.768$ と高かった。なお、他の代表的なS字曲線であるロジスティック曲線では、株出し開始初期の乾物収量が過大評価される傾向にあった。

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、収穫時期の設定の調整などを通じた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。

引用文献

- 1) Abayomi, A.Y. 1987. Growth, yield and crop quality performance of sugarcane cultivar Co957 under different rates of application of nitrogen and potassium fertilizers. *J. Agric. Sci.* **109** : 285-292.
- 2) Ahmed, S. N. and Giridharan S. 2000. Study on the influence of management practices on sugarcane ratoon crop. *Indian Sugar* **49** : 835-837.
- 3) Allison, J. C. S., Pammenter N. W. and Haslam R. J. 2007. Why dose sugarcane (*Saccharum* sp. Hybrid) grow slowly? *S. Afr. J. Bot.* **73** : 546-551.
- 4) 奄美群島農政推進協議会 編 2014. 奄美農林水産業の動向. 奄美群島農政推進協議会, 奄美, 3-76.
- 5) Burner, D. M., Grisham, M. P. and Legendre B. L. 1993. Resistance of sugarcane relatives injected with *Ustilago scitaminea*. *Plant Disease* **77** : 1221-1223.
- 6) Calcino, D., Kingston G. and Haysom. M. 2000. Nutrition on the plant. Hogarth, D. M. and Allsopp, P. G. eds. *Manual of Cane Growing*, Bureau of Sugar Experiment Stations, Brisbane, 153-194.
- 7) Comstock, J. C. 2000. A guide to sugarcane disease. Cirad Publication Service, Montpellier. 181-185.
- 8) Cooper, J. P. 1970. Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. *Herbage Abstracts* **40** : 1-15.
- 9) Croft, B. J. and Braithwaite, K. S. 2006. Management of an incursion of sugarcane smut in Australia. *Australasian Plant Pathology* **35** : 113-122.
- 10) 独立行政法人農業技術研究機構 編 2001. 日本標準飼料成分表 2001年度版. 中央畜産会, 東京, 22-23.
- 11) 江畑正之・東孝行 1976. 連続株出栽培におけるさとうきびの形質ならびに土壌の変化について. *熱帯農業* **20** : 77-80.
- 12) Ghaffar, A., Saleem, M. F., Ali, A. and Ranjha, A. M. 2010. Effect of K₂O levels and its application time on growth and yield of sugarcane. *J. Agric. Res.* **48** : 315-325.
- 13) Greub, L. J. and Wedin, W. F. 1971. Leaf area, dry-matter production, and carbohydrate reserve levels of birdsfoot trefoil as influenced by cutting height. *Crop Science* **11** : 734-738.
- 14) 原田直人・小村洋美・堤知子・宮蘭勉・桑水郁朗 2010. 鹿児島県本土における飼料用サトウキビ「KRFo93-1」の特性, 栄養評価および栽培・利用体系の開発. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告(畜産) **4** : 25-30.
- 15) 服部育男・境垣内岳雄・神谷充・樽本祐助 2013. 地域資源の活用－放牧から自給飼料, サイレージまで－最新農業技術 畜産 **6**, 農文協, 東京, 213-221.
- 16) 広田千秋・大坂長嗣・村田憲昭・高橋邦夫 1991. サイレージ用トウモロコシの栄養収量向上と品質安定化技術 4) 登熟不良トウモロコシの品質低下軽減技術. 青森県畜産試験場研究成績書 68-73.
- 17) Holden, L. A. 1999. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *J. Dairy Sci.* **82** : 1791-1794.

- 18) Ichii, M. and Sumi, Y. 1983. Effect of food reserves on the ratoon growth of rice plant. *Jpn. J. Crop Sci.* **52** : 15-21.
- 19) Inman-Bamber, N. G. 1994. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. *Field Crops Res.* **36** : 41-51.
- 20) 井上健一・山根一城・加治俊幸 2009. 最高分げ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.
- 21) Ishikawa, S., Ando, S., Sakaigaichi, T., Terajima, Y. and Matsuoka, M. 2009. Effect of high nitrogen application on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-N concentration of sugarcane. *Soil Sci. Plant Nutri.* **55** : 485-495.
- 22) 伊藤浩司・石井康之・田中重行 1991. ネピアグラスの乾物生産性に及ぼす刈り取り高さの影響. *日作九支報* **58** : 55-58.
- 23) 伊藤浩司・青木洋子・石井康之 1992. 刈り取り高さ及び時期がネピアグラスの再生速度に及ぼす影響. *日作九支報* **59** : 72-74.
- 24) Jackson, P. 1994. Genetic relationship between attributes in sugarcane clones closely related to *Saccharum spontaneum*. *Euphytica* **79** : 101-108.
- 25) 自給飼料利用研究会編 2009. 三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会, 東京, 6-32.
- 26) 鹿児島県 2012. 飼料作物栽培基準 鹿児島県, 鹿児島, 8-9.
- 27) 鹿児島県農政部 1991. さとうきび栽培基準. 鹿児島県, 鹿児島, 18-21.
- 28) 神谷充・服部育男・鈴木知之・境垣内岳雄・寺内方克・樽本祐助・佐藤健次・神谷裕子・林義朗 2011. 飼料用サトウキビサイレージの給与が黒毛和種去勢牛の育成期における飼料摂取量と増体に及ぼす影響. *日畜会報* **82** : 383-390.
- 29) 加納昌彦・高橋敏能・萱場猛夫 2000. 家畜ふん尿の施肥量と施肥法の違いが水稻ホールクロップの窒素の利用率, 無機物含有率, サイレージの発酵品質ならびに栄養収量に及ぼす影響. *日草誌* **45** : 379-387.
- 30) 川方俊和・矢島正晴 1994. 積算気温に基づく水稻の葉重と地上部重の簡易モデル. *農業気象* **50** : 115-120.
- 31) Kemp, A. and tHart, M. L. 1957. Grass tetany in grazing milking cows. *Neth. J. Agr. Sci.* **5** : 4-17.
- 32) 北村征生・阿部二郎・堀端俊造 1982. II ローズグラス, ギニアグラスおよびネピアグラスの乾物消化率および可消化乾物収量におよぼす生育季節および刈取間隔の影響. *日草誌* **28** : 41-47.
- 33) 北村征生 1983. 暖地型イネ科7草種における耐旱性の比較. *沖縄畜産* **18** : 39-45.
- 34) 小林浩幸 2006. 不耕起ダイズ栽培における雑草の生態と耕種的防除. *東北農業研究センター研究報告* **105** : 97-154.
- 35) 小村洋美・松田誠・黒江秀雄・原田直人・竹之内豊 2004. K, Ca および Mg 施用量がスーダングラスのミネラル含量に及ぼす影響. *鹿児島県畜産試験場研究報告* **39** : 125-134.
- 36) 熊毛地域農政企画推進会議 編 2013. 熊毛地域農業の動向. *熊毛地域農政企画推進会議, 西之表*, 1-44.
- 37) 熊井清雄・真田雅 1973. 牧草の再生に関する研究第IV報 オーチャードグラスの再生に及ぼす貯蔵炭水化物ならびに体内窒素の意義. *草地試験場研究報告* **3** : 25-32.
- 38) Kumar, V., Verma, K. S. and Sagwal, O. P. 2003. Effect of continuous application of different levels of potassium on yield and juice quality of sugarcane and economic return. *Indian Sugar* **52** : 911-917.
- 39) Lin, J. R. 2005. Effect of cutting intensity on Minmu 42, a forage variety of sugarcane hybrid. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* **34** : 514-517.
- 40) Marschner, M. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic press, London, 6-73.
- 41) Meyer, J. H. and Wood, R. A. 2001. The effects of soil fertility and nutrition on sugarcane quality: a review. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.* **75** : 242-247.
- 42) 美濃羊輔 1979. 牧草の再生と炭水化物代謝. *化学と生物***17** : 352-357.
- 43) Mislevy, P., Martin, F. G., Adjei, M. B. and Miller J. D. 1995. Agronomic characteristics of US 72-1153 energycane for biomass. *Biomass and Bioenergy* **9** : 449-457.
- 44) 宮城悦生 1987. ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach) の生産性および飼料価値に関する研究. 4. 刈り取り間隔が栄養価におよぼす影響. *琉球大学農学部学術報告* **34** : 37-50.
- 45) 宮平永憲・神谷寿幸 1984. サトウキビ株出の萌芽体系について. *沖縄県農業試験場研究報告* **9** : 59-66.
- 46) 宮丸直子・伊波聡・大城浩照・儀間靖 2011. 石灰岩砕石と炭カルの酸度矯正効果およびサトウキビ収量に与える影響の比較. *沖縄県農業研究センター研究報告* **5** : 27-31.
- 47) 宮里清松 1986. サトウキビとその栽培. *沖縄県糖業振興会, 那覇*, 1-364.
- 48) Nagarajan, R., Alarmelu, S. and Shanthi, R. M. 2000. Studies on variation in interspecific hybrids of *Saccharum*. *Sugar Tech* **2** : 42-46.

- 49) 長谷健・持留信雄・樋高二郎・小松敏憲・澤井晃・山方誠・白山竜次・南公宗・立山義夫 2005. ローザグラスの新品種「リョクフウ」の育成とその特性. 鹿児島県農業試験場研究報告 **34** : 29-33.
- 50) Nakagawa, H. and Momonoki, T. 2000. Yield and Persistence of Guinea grass and Rhodes grass Cultivars on Subtropical Ishigaki Island. *Jpn. J. Grassl. Sci.* **46** : 234-241.
- 51) 中川仁 2009. バイオマス燃料用原料としての熱帯牧草を中心とした草本性バイオマスの特性と品種改良. 日草誌 **55** : 274-283.
- 52) 仲宗根盛雄 1979. 新植サトウキビにおける冬雑草の被害と除草効果. 沖縄県農業試験場研究報告 **4** : 8-16.
- 53) 野口勝可 1986. 畑作物と雑草の光競合に関する生態学的研究. 雑草研究 **31** : 96-101.
- 54) 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** : 279-289.
- 55) 農畜産業振興機構 2013. http://www.alic.go.jp/n-koushi/niku03_000053.html
- 56) 農林水産省 2014a. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/
- 57) 農林水産省 2014b. http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/tikusan/bukai/h2604/pdf/03_data3_1_rev.pdf
- 58) 農林水産省草地試験場編 1988. 関東東海地域飼料畑土壌診断基準作成検討会報告書. 草地試験場資料 **60-15** : 21-24.
- 59) 小野良孝・中西建夫 1983. 南西諸島におけるサトウキビの生育・収量の季節変化 第1報 主茎の出葉経過. 日作紀 **52** : 500-507.
- 60) 大段秀記 2005. 大豆「サチユタカ」の狭畦密植栽培による雑草抑制効果と効率防除法. 九州沖縄農業研究センター研究資料 **91** : 97-102.
- 61) 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. 九州農業研究 **51** : 57.
- 62) 大内山茂樹・酒匂三千夫 1960. 甘蔗の生育と気温の関係. 九州農業研究 **22** : 23-24.
- 63) Oya, K., Ishimine, Y., Miyagi, S. and Maeto, M. 1988. Fertilization management of Okinawa soils for cultivation of forage crops II. Response of Rhodes grass to potassium application on a dark red soil. The Science Bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus **35** : 17-26.
- 64) Ramdoss, G., Kathiresan, G., Vijayaraghavan, H. and Kannappan, K. 2004. Effect of stubble shaving daincha intercropping and 'N' management of sugarcane ratoon crop. *Indian Sugar* **53** : 709-712.
- 65) Roach, B. T. 1978. Utilization of *Saccharum spontaneum* in sugarcane breeding. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* **16** : 43-57.
- 66) Sakaigachi, T., Terajima, Y., Sugimoto, A., Irei, S., Fukuhara, S., Matsuoka, M., Ujihara, K., Abe, J. and Tajima, R. 2007. Comparison of root distribution and root growth direction in two sugarcane hybrids with contrasting tolerance to water stress. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* **26** : 754-758.
- 67) 境垣内岳雄・寺島義文 2008. 飼料用サトウキビ「KRF093-1」の生育と普及に向けた研究展開. 農業技術 **63** : 24-29.
- 68) 境垣内岳雄・原田直人・小村洋美・寺島義文・寺内方克・松岡誠 2008. 種子島の農家圃場における飼料用サトウキビ KRF093-1の乾物生産量および養分吸収量の解明. 熱帯農業研究 **1** (別2) : 93-94.
- 69) 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 (*Saccharum* spp. hybrid) KRF093-1の新植での生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 **79** : 1-9.
- 70) 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 KRF093-1の生育および収量. 日作紀 **79** : 414-423.
- 71) 境垣内岳雄・寺島義文・寺内方克・服部太一郎・石川葉子・松岡誠・杉本明・安藤象太郎・原田直人 2012. 飼料用サトウキビ品種 KRF093-1の生育と K/(Ca+Mg) 当量比の関係. 日作紀 **81** : 71-76.
- 72) Sakaigachi, T., Terajima, Y., Terauchi, T., Hattori, T., Ishikawa, S., Hattori, I., Sugimoto, A. and Matsuoka, M. 2013. Effect of stubble shaving after high-level cutting on the growth and yield of forage sugarcane, KRF093-1, under multiple ratooning cultivation. *Plant Prod. Sci.* **16** : 183-190.
- 73) 境垣内岳雄・寺内方克・寺島義文・服部育男・松岡誠・杉本明・服部太一郎・樽本祐助・田中穰・石川葉子・伊禮信・氏原邦博・下田聡 2014a. 黒穂病抵抗性に優れ多収の飼料用サトウキビ品種「しまのうしえ」の育成. 九州沖縄農業研究センター報告 **62** : 41-51.
- 74) 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 2014b. 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.
- 75) 境垣内岳雄・寺島義文・寺内方克・松岡誠・服部

- 太一郎・石川葉子・田中穰・樽本祐助 2014c. 飼料用サトウキビ品種 KRFo93-1 の年 3 回収穫体系での生育および収量. 日作紀 **83** : 356-361.
- 76) 境垣内岳雄・樽本祐助・服部育男・丸山篤志・寺内方克・松岡誠・服部太一郎・田中穰・石川葉子・寺島義文 2015. 収穫時期の異なる年 2 回収穫栽培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 **84** : 41-48.
- 77) Sansayawichai, T., Ponragdee, W., Phaophaisal, I., Suzuki, T., Takagi, H. and Sugimoto, A. 2006. Investigation on cultivation conditions and yield of new breeding lines for forage use. JIRCAS Working Report **47** : 89-91.
- 78) 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. 鹿児島県農業試験場研究報告 **29** : 9-22.
- 79) 島袋正樹・工藤政明・宮城幸照 1980. サトウキビの物質生産に関する研究. 1. サトウキビ夏植における乾物生産と収量成立過程について. 沖縄県農業試験場研究報告 **5** : 1-15.
- 80) 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. 沖縄県農業試験場研究報告 **19** : 1-75.
- 81) Shukla, S. K., Yadav, R. L., Singh, P. N. and Singh, I. 2009. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) ratoon yield. *Eur. J. Agron.* **30** : 27-33.
- 82) Singels, A. and Donaldson, R. A. 2000. A simple model of unstressed sugarcane canopy development. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.* **74** : 151-154.
- 83) Singh, D. and Singh, S. M. 2004. Agrotechniques for multiple ratooning sugarcane. *Indian J. Agron.* **49** : 285-287.
- 84) Singh, S. N., Singh, S. C., Kumar, R., Shukla, S. K. and Sharma, M. L. 2008. Effect of agro-technological manipulations in improving the productivity of cane under multiratooning system. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* **3** : 29-32.
- 85) 杉原進・石井和夫・近藤熙 1979. 畑地に対する牛ふん厩肥の連年多用. 第 1 報 厩肥の多量施用が畑作物の収量及び土壌に及ぼす影響. 東北農業試験場研究報告 **60** : 17-40.
- 86) 杉本明・遠藤剛・松岡尚二・中目忠雄・宮城克浩・寺内方克・松岡誠・氏原邦博・寺島義文・伊禮信 2001. 種属間交配で作出した株出し多収性系統の家畜飼料としての生産力. 熱帯農業 **45**(別 2) : 59-60.
- 87) 杉本明・宮城克浩・末川修・寺島義文・高江洲賢文・伊志嶺正人・大工政信・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.
- 88) 杉本明・寺島義文・宮城克浩・大田守也・外間康洋・児島浩貴・氏原邦博・伊禮信・福原誠司・謝花治 2003. 種属間交雑で作出した連年株出し多収性サトウキビの飼料としての評価. 熱帯農業 **47**(別 2) : 105-106.
- 89) 砂川浩一・田名広助 1968. 気象要素がさとうきびの生育並びに収量に及ぼす影響について. 琉球農業試験場研究報告 **4** : 1-15.
- 90) 鈴木知之・境垣内岳雄・寺島義文・服部育男・神谷充・神谷裕子・田中正仁 2008. 生育期間の異なる飼料用サトウキビの化学組成と反すう胃内分解率. 九州農業研究 **71** : 114.
- 91) Suzuki, T., Sakaigaichi, T., Terajima, Y., Matsuoka, M., Kaimiya, Y., Hattori, I. and Tanaka, M. 2010. Chemical composition and *in situ* degradability of two varieties of different growth stages in subtropical Japan. *Grassl. Sci.* **56** : 134-140.
- 92) 高柳繁 2006. 作物と雑草の相互作用系. 雑草生態学. 朝倉書店, 東京, 71-74.
- 93) 田村紘吉・星野正生 1971. 南方型牧草の再生に関する研究. I ダリアグラスの再生長に及ぼす刈取の高さおよび残葉の影響. 日草誌 **17** : 28-35.
- 94) 田中正仁・鈴木知之・神谷充・服部育男・神谷裕子・塩谷繁 2009. さとうきび梢頭部の飼料化技術の確立. 九州沖縄農業研究センター研究資料 **93** : 81-84.
- 95) 樽本祐助 2008. さとうきび農業の経営分析 - 農業センサスからみる経営展開 -. 農林統計出版, 東京, 67-81.
- 96) 樋高二郎 2010. 鹿児島県におけるさとうきび栽培関連機械の現状と課題および研究成果. 砂糖類情報 **160** : 26-33.
- 97) 寺島義文・杉本明・福原誠司・氏原邦博・伊禮信 2004. 種属間交雑で作出した多収性サトウキビ系統の地上部, 地下部の特性. 日作紀 **73**(別 1) : 140-141.
- 98) 寺島義文・杉本明・境垣内岳雄・松岡誠・伊禮信・氏原邦博・福原誠司・服部育男・神谷充・塩崎久博・遠藤剛・宮下浩秋 2007. 南西諸島の新しい飼料作物 - 飼料用サトウキビ新品種「KRFo93-1」 -. 日作九支報 **37**(2) : 34-36.
- 99) Terajima Y., Sugimoto, A., Fukuhara, S., Ujihara, K., Matsuoka, M. and Irei, S. 2005. The feature of root growth and activity of a high interspecific hybrid between *Saccharum* hybrid and *S. spontaneum* L. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* **25** : 255-258.
- 100) 寺内方克・中川仁・松岡誠・中野寛・杉本明

1999. スイートソルガムとの比較によるサトウキビ初期生育特性の解析. 日作紀 **68**: 414-418.
- 101) 寺内方克・松岡誠 2000. サトウキビ初期生長特性改善のための形態形質の解析. 日作紀 **69**: 286-292.
- 102) 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.
- 103) 寺内方克 2013. さとうきび単収改善に向けた課題. 砂糖類・でん粉情報 **6**: 56-62.
- 104) 水流正裕・渡辺晴彦・春日重光・百瀬義男 2005. 飼料用ソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) の散播・密植栽培による雑草防除. 日草誌 **51**: 152-156.
- 105) 水流正裕・高井智之・後藤和美・清沢敦志・渡辺晴彦 2012. ソルガム類 (*Sorghum bicolor* Moench) における養分濃度および吸収量の品種間差. 日草誌 **58**: 9-15.
- 106) 霍田真一・蝦名真澄 2009. ローズグラスの育種経緯と品質および利用. 日草誌 **55**: 188-195.
- 107) Tudsri, S., Jorgensen, S. T., Riddach, P. and Pookpakdi, A. 2002. Effect of cutting height and dry season closing date on yield and quality of five napier grass cultivars in Thailand. Tropical Grasslands **36**: 248-252.
- 108) 上野敬一郎 2010. 種子島における肥料節減に向けた技術開発の取り組み. 砂糖類情報 **163**: 63-67.
- 109) 脇門英美 2014. 奄美地域におけるさとうきびの安定生産を図る土づくり. 砂糖類・でん粉情報 **17**: 45-51.
- 110) 渡辺潔・桂男・関村栄・大泉久一 1969. オーチャードグラスの再生長に及ぼす刈取り高さと生育季節の影響. 日草誌 **15**: 16-20.
- 111) White, L. M. 1973. Carbohydrate reserves of grasses: a review. *J. Range Manage.* **26**: 13-18.
- 112) Wijitphan, S., Lorwilai P. and Arkaseang C. 2009. Effect of cutting heights on productivity and quality of king napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. King grass) under irrigation. *Pakistan J. Nutri.* **8**: 1244-1250.
- 113) Wood, R. A. and Meyer, J. H. 1986. Factors affecting potassium nutrition of sugarcane in South Africa. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.* **60**: 198-204.
- 114) Yadav, R. L. 1992. Ratooning of sugarcane. Periodical Experts Book Agency, Delhi, 101-130.
- 115) 山内昌治 1989. サトウキビ黒穂病の発生生態ならびに防除に関する研究. 沖縄県農業試験場特別研究報告 **3**: 1-102.
- 116) 八槻三千代・大島健太郎・草薙陸雄・小坂恵治 1992. 堆厩肥の連続施用がサイレージ用トウモロコシ及び土壌の無機組成に及ぼす影響. 秋田県畜産試験場研究報告 **7**: 5-11.
- 117) 吉田広和 2011. 徳之島町における飼料生産供給体制の構築に向けた取り組みについて. 緑地 **205**: 2.

Studies on Cultivation System and Breeding of Forage Sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid)

Takeo Sakaigaichi

Summary

The first forage sugarcane variety in Japan was developed and registered as “KRf093-1” and was bred in order to improve roughage productivity on the Nansei Islands. However, its optimal cultivation system has not been established. In this study, we first try to develop a cultivation system for growing KRf093-1 in the Kumage region, its recommended cultivation area.

Generally, the cultivation period for a single sugarcane crop spans one year, if the crop is grown for use in sugar-related manufacturing. However, KRf093-1 is capable of producing more than one harvest per year due to its vigorous growth. We examined the possibility of increasing the number of crop cycles to two harvests per year. The annual dry matter yield of KRf093-1 when producing two harvests per year was as high as that produced by one harvest per year. In addition, harvesting was improved in the two-harvests-per-year model because crops did not lodge but instead stood erect. Our results suggest that the production of two harvests per year is a better crop cycle for KRf093-1 than one harvest per year.

The optimal harvest time for the two-harvests-per-year model of KRf093-1 cultivation was also studied. Growth and yield were examined in plots harvested July-May, August-May, September-May, and October-May, over the course of three years. The highest annual dry matter yield of the three-year average was both in August-May and September-May harvest plots. During the second crop cycle of the October-May plot, weeds grew vigorously because the canopy of the crop was not closed. However, in the July-May and August-May plots, the crop itself controlled weed growth because the canopy closed before the onset of winter. As mentioned above, this indicates that August-May is the optimal harvest time.

The optimal harvest time under the two-harvests-per-year model may change somewhat in response to the meteorological conditions of each region. Thus, we attempted to construct a model for predicting dry matter yield. The relationship of growth degree days (X) whose base temperature was 14.3°C and dry matter yield (Y) were analyzed. The dry matter yield was expressed using the regression curve $Y = 6.21[0.0127 \exp(-0.00126X)]$ and R^2 was 0.768. This regression curve is expected to aid in determining the optimal harvest time of KRf093-1 in the Kumage region.

Forage sugarcane cultivation techniques based on a model of two harvests per year were studied. The early growth of the plant cane is slow, which is a commonly known and discussed problem. Thus, we examined whether dense planting is an effective method of improving the early growth rate of plant cane. The early growth and yield of KRf093-1 were examined in control plots, planted at 1.5 times the control density and twice the control density, for two years. Early growth and yield were both significantly higher in the densely planted plots than in the control. Thus, a dense planting of 1.5 to 2 times the control density is recommended to improve the growth of cane plants.

We examined a cultivation technique of ratoon crop called stubble shaving. The growth and yield of the plot with stubble shaving (control) and those of the high-level cutting plots without stubble shaving (HC) were compared through the growth of the sixth ratoon crop. The sum of the dry matter yields of six ratoon crops was significantly higher in HC than in the control. The increase in the dry matter yield of HC was due to the enhanced stem growth, as average single stem dry weights in HC plots exceeded those in the control plot. Thus, cultivation management without stubble shaving is recommended for KRf093-1 cultivation.

Fertilizer management was also studied. The application of the currently accepted quantity of K_2O fertilizer should be maintained so as not to decrease the yield of multi-ratooning crops. The current N application quantity is appropriate, while P_2O_5 application was superfluous in the control. Since the soil exchangeable K, Ca, and Mg contents decreased even in the control plot, additional fertilizer such as manure and lime should be applied in order to maintain yield levels in multi-ratooning crops.

Additionally, we attempted to breed a new variety of forage sugarcane to complement KRf093-1. Smut disease is caused by the fungus *Ustilago scitaminea* Syd. and is of concern to sugarcane cultivation. Since the existing smut resistance of KRf093-1 is insufficient, its adoption has been limited to the Kumage region where smut disease does not currently exist. Thus, a new smut-resistant variety is needed if the use of forage sugarcane is to be widely adopted in the Amami region and Okinawa Prefecture. Cross-breeding was conducted in order to develop a new variety with both high smut tolerance and high yield productivity. The smut resistant variety NiF8 was used as the seed parent, and the high-yield breeding line KRSp93-26 was used as the pollen parent. Through our experiments, we developed a new variety, registered as “Shimanoushie,” with both high smut resistance and high yield productivity. This variety enables cultivating forage sugarcane in the Amami region and Okinawa Prefecture.

As described above, we succeeded in developing a cultivation system of forage sugarcane on the Nansei Islands. Moreover, we bred a new, smut-resistant variety. These results will be of significant benefit to the livestock industry on the Nansei Islands.

Key words : forage sugarcane, cultivation system, two harvests per year, breeding.