

論文の内容の要旨

生産・環境生物学 専攻
平成 14 年度博士課程 入学

氏 名 上原 直子

指導教員 東京大学大学院教授 大杉 立

論文題目 サトウキビのソース・シンク機能に及ぼす栽培環境要因の影響

サトウキビは節間にショ糖を蓄積するイネ科植物で、根にショ糖を蓄積するテンサイと並んで重要な糖料作物であり、世界の原料糖生産の 60%を占めている。また近年はバイオエタノールの原料としても注目されており、世界での栽培面積は増加傾向にある。世界の単位面積収量は品種の改善、耐病性品種の作出や灌漑栽培の導入などにより 1960 年代はじめの 50 t ha^{-1} から 2007 年の 70 t ha^{-1} に 40%上昇したが、日本では逆に 1964 年の 78 t ha^{-1} から 2007 年の 68 t ha^{-1} と低下している。また、国内の主要な栽培地である沖縄県や鹿児島県では台風襲来などの気象災害や降雨量などの気象条件の影響を受けるため収穫量の年次変動が大きい。

サトウキビの糖収量は、バイオマス量と茎のショ糖濃度によって決定される。沖縄県ではサトウキビは基幹作物であり、近年、農家に対する取引基準がバイオマス量に相当する重量取引制度からショ糖濃度に相当する品質取引制度に移行し、農業の現場では高い茎中ショ糖濃度が求められている。また、気象災害への対策として収穫早期化・栽培期間短縮があげられ、今後の品種には茎中のショ糖濃度が早く最大値に達する性質が求められている。しかし、サトウキビの糖蓄積に関しては栄養ストレス、低温、水ストレスなどによ

り促進されることがわかっているが、ショ糖濃度が上昇する作用機構については不明な点が多い。また、バイオマス、ショ糖の基になる炭水化物のソース・シンク機能に関連してサトウキビの糖蓄積が論じられることは今まであまり無かった。

本研究は、サトウキビの収量や品質を構成するバイオマス量と茎中ショ糖濃度およびそれらを決定する要因であるソース・シンク機能について、栽培環境要因の及ぼす影響を炭素収支、炭素分配及び炭素代謝・糖蓄積関連酵素活性等の面から解析したものである。

1. 過剰なカリウム施肥が成長および糖含量に及ぼす影響.

沖縄では過去の施肥履歴による土壤中へのカリウム蓄積、またその過剰カリウムに起因したサトウキビの糖収量低下が危惧されている。そこで過剰なカリウムがサトウキビの糖収量およびソース機能に及ぼす影響について解析するため、施肥カリウム濃度を変えてサトウキビを育成した。その結果、標準区である 1K 区 ($3\text{mMK}_2\text{SO}_4$ 施肥) では、生育時期を通して茎中のカリウム濃度が 2000ppm 程度、葉内のカリウム含量が 10 mg g DW^{-1} 程度であったのに対し、施肥カリウム濃度を増加した 10K, 50K 区 ($30, 150\text{mMK}_2\text{SO}_4$ 施肥) では、1K 区よりも茎中のカリウム濃度、葉内のカリウム含量ともに増加していた。一方、施肥カリウム濃度上昇により葉内のマグネシウムやカルシウム含量は低下していた。

糖収量は過剰なカリウム施肥により減少したが、茎中のショ糖濃度には大きな変化は無く、主にバイオマス量にあたる茎長や茎生重が減少した結果であった。また、過剰なカリウム施肥により成長に利用され得る単糖の濃度には減少が見られ、炭水化物の総生産量が減少している可能性が示唆された。過剰なカリウム施肥により、ソース器官である葉身における呼吸速度にはあまり影響はみられなかったが、光合成速度は低下しており、単糖濃度の低下や茎長や茎生重の減少の原因はソース能力である光合成速度の低下によると考えられた。一方、茎中のショ糖濃度にはあまり変化が見られなかったことより、シンク側のショ糖蓄積に関する糖代謝機構には過剰なカリウム施肥による影響が少ないと考えられた。

光合成低下の原因としては、気孔の影響と葉内の炭素固定反応による影響が考えられるが、過剰なカリウム施肥により、RubisCO 含量および気孔伝導度が低下していた。過剰なカリウム施肥により、葉内のマグネシウムやカルシウム含量が低下していたことから、マグネシウムの減少に起因して RubisCO 含量およびクロロフィル含量が減少し、また、カル

シウムの減少に起因して気孔伝導度が低下した可能性が考えられた。

2. 低温処理が成長および糖含量に及ぼす影響.

生育中の温度条件は糖収量に大きく影響している可能性がある。そのため昼間または夜間の低温処理（低昼温処理，低夜温処理）を4週間行い，サトウキビ糖蓄積への低温による影響を炭素収支に着目して解析した。低温処理を行った植物は，処理の昼夜を問わず茎長および茎生重の増加が対照区に比べて有意に抑えられたが，反対に茎中のシヨ糖濃度は，対照区より有意に上昇した。低夜温区は対照区より茎生重が軽かったため，糖収量で見ると対照区と変わらなかったが，低昼温区では対照区よりシヨ糖濃度が67%高かったため，糖収量が20%有意に高くなった。

低温による夜間の呼吸抑制に起因する炭素収支の改善を想定した低夜温区では，低温処理に植物体が馴化した結果，昼間における光合成速度が低下し，その一方で夜間の呼吸速度が抑制されなかった。また，安定同位体 ^{13}C 付与2週間後の残存率が低夜温区で対照区より低かったことから，低夜温区での炭素固定に対する消費の割合，すなわち，炭素収支は改善されなかった。一方，もともと炭素収支の悪化が想定された低昼温区では，低温馴化によってさらに夜間の呼吸速度が上昇し， ^{13}C の残存率も対照区より低かったことから，炭素収支の悪化が再確認された。これらのことから，昼，夜間に関わらず，低温処理は炭素収支の悪化をもたらすことが明らかとなった。

新たに固定された炭素（ ^{13}C ）は，温度処理に関わらず約26%が茎の可溶性糖画分に分配されていた。その画分には，対照区では低温処理区に比べると，成長の基質である単糖（ブドウ糖および果糖）がより多く存在していたが，低温処理区ではシヨ糖がより多く存在していた。このことから，対照区では，新規の同化産物を茎においては成長の基質となり得るブドウ糖および果糖の形でより多く蓄積し，一方低温処理区では，シヨ糖の形でより多く蓄積していると考えられた。

以上の結果から，昼・夜問わず低温によってサトウキビの茎中シヨ糖濃度が上昇した原因は個体における炭素収支の改善ではなく，同化産物のシヨ糖への分配促進であることが示唆された。

3. 低温処理が茎中の糖代謝関連酵素活性に及ぼす影響.

低温処理に伴う茎中シヨ糖濃度の上昇は、炭素収支の改善によるものでなく、シンクにおける糖代謝の機能変化に起因することが示唆されたので、シンク活性に当たる糖蓄積関連の酵素活性へ及ぼす低温処理の影響について解析した.

シヨ糖合成の鍵酵素である Sucrose Phosphate Synthase (SPS) 活性は、低温処理によって低下することはあっても上昇することはない、茎中のシヨ糖濃度との相関も見られなかった. また、Sucrose Synthase (SuSy) のシヨ糖合成活性は、低温処理に伴い低下し、茎中シヨ糖濃度と負の相関が見られた. これらのことから、低温処理による茎中のシヨ糖濃度上昇にシヨ糖合成系の酵素は積極的には関与していないと考えられた.

一方、シヨ糖分解に関連する invertase のうち、細胞間隙に存在する Cell Wall bound Invertase (CWI)、細胞質に存在する Neutral Invertase (NI)、液胞内に存在する Soluble Acid Invertase (SAI) は反応温度による活性低下が見られた. Invertase の中でも、NI および SAI については反応温度に起因する以上の活性低下が見られ、特に SAI は酵素活性の温度反応曲線自体が大きく低下していた. 更に、茎中のシヨ糖濃度と SAI 活性の間には高い負の相関関係、また、単糖濃度と高い正の相関関係が得られた. シヨ糖は SAI の局在する液胞に蓄積されるため、茎中シヨ糖濃度上昇は主に SAI の活性低下によるシヨ糖分解抑制によることが示唆された. また低温処理による SAI 活性低下に起因して、シヨ糖から成長に利用可能な単糖に変換する能力が弱まり茎成長が抑えられた可能性も示唆された.

以上より、土壌中のカリウム過剰は、サトウキビ植物体内のカリウム過剰だけでなく、副次的にマグネシウムやカルシウム含量低下を引き起こし、それに伴うソース機能の低下、糖収量低下を招くことが示唆された. また、生育中の低温処理によって茎中のシヨ糖濃度向上が見られるが、それはソース・シンクのバランスにからみた炭素収支の改善から生じるものではなく、シンク活性の変化によるものであり、特に SAI 活性の低下に伴う糖代謝機能の変化によることが明らかとなった. これらの結果は、現在沖縄で見られる収量停滞の原因および糖蓄積の作用機構の解明並びに早期高糖性品種の育成に役立ち、今後のサトウキビ栽培に重要な情報を与えるものと考えられる.