

| 学 位 論 文 要 旨 | |
|---|---|
| 氏 名 | 福澤 康典 |
| 題 目 | サトウキビの光合成とバイオマス利用に関する研究。 (Study on Photosynthesis and Biomass Utilization of Sugarcane.) |
| <p>サトウキビ (<i>Saccharum</i> spp) は糖料作物に属するがエネルギー作物としての需要も高まりつつある。昨今の石油高騰のあおりを受け、沖縄県や鹿児島県のサトウキビ産業が注目されその増産への気運が高まっている。ところで、サトウキビは植え付け後葉面積が展開する時期に達するまで長い時間を要する。また、長い初期生育期間中に台風や干ばつなど熱帯特有の気象災害を受け、生産が不安定な状況にある。その様な気象災害を回避するためには、初期段階の葉の展開速度や、根系の生長のしっかりしたサトウキビを選定する必要がある。初期段階の生長の早いサトウキビは、生育後半のバイオマス生産能力も高く、増産に結びつく。そこで本研究ではサトウキビのバイオマスエネルギー利用にも着目し、初期生育におけるバイオマス生産特性について詳細に調べ、その改善策を見いだすことを目的に以下の研究を実施した。</p> <p>まず、生長と出葉速度を見るためにサトウキビ 11 系統を比較し、7 葉目の展開後に調査した。その結果、KRSp93-30 と NiTn18 はその系統の中で最も短かった。生長速度が早い系統においてより高い RGR を示した。52 日以上の子育日数で 7 葉目を展開した品種は、高い LAR を持っており、52 日以下では高い NAR であった。したがって出葉速度は NAR に影響されることが明らかとなった。</p> <p>次に、深さ 1m のポットを用いて、40 日間 6 品種のサトウキビを栽培し、根の垂直分布を調査した。その結果、茎根の発達は茎根数/全根数と 0-30cm の根重密度の増加を促進していることが分かった。NAR は茎根数/全根数の増加によって高まり、RGR を増加させたために生長は早くなった。しかし、根の垂直分布は地上部の生長量との関連性が認められなかった。</p> <p>初期生育におけるサトウキビの根系の働きを調べるために施肥窒素を変更して栽培し、その解析を試みた。供試材料は NiTn18 と KRSp93-30 であり、RGR は同じだが根系形質は異なる性質を有している。低窒素区において両品種は Pmax を低下させ、窒素処理による葉身窒素含量の増加は Pmax を増加させた。これは根系の発達が原因で旺盛に窒素吸収量したためと考えられる。KRSp93-30 において Pmax は NAR と正の相関関係であった。これにより地下部形質はサトウキビ初期生育における NAR を支配していることが明確になった。</p> <p>以上より、サトウキビの極初期生育段階の葉の光合成速度とバイオマス生産特性が地上部だけでなく根系形質によって影響を受けていることが明らかとなり、発達した根系基質はサトウキビの増収にとって重要である。</p> | |

学 位 論 文 要 旨

| | |
|---|--|
| 氏 名 | Yasunori Fukuzawa |
| 題 目 | Study on Photosynthesis and Biomass Utilization of Sugarcane. (サトウキビの光合成とバイオマス利用に関する研究) |
| <p>Though sugarcane (<i>Saccharum</i> spp.) is a sugar crop, its demand is increasing as an energy crop. The sugarcane industry in Okinawa and Kagoshima Prefecture is paid to attention because of the influence of rapid rise of oil price, and the increase of production has become important stream. Apropos, sugarcane requires a long time to reach the stage of leaf area expansion after planting. Moreover, the unstable production is caused by the peculiar climatic damage such as typhoons and droughts for a long early growth period. It is necessary to select the variety with which the development rate of leaf and the growth of root system at the early stage are stable for avoiding such a climatic damage. Sugarcane with the rapid growth rate during early stage will lead to high biomass production at the latter stage of growth, in turn; high yield production will eventually increase. Therefore, paying attention to utilization of biomass-energy of sugarcane, it examined in detail about the biomass production characteristics in early growth stage, and the following study was done for the purpose of finding out the remedy.</p> <p>Firstly, 11 varieties of sugarcane were compared to evaluate the difference in growth and leaf emergence rate. The examination was conducted after the development of 7th leaf. Consequently, KRSp93-30 and NiTn18 showed the short period among the varieties. The shorter growth rate showed the higher RGR. Variety above 52 days of growing periods which developed the 7 leaves had high LAR, and below 52 days had high NAR. Therefore, it is clarified that the leaf emergence rate is influenced by NAR.</p> <p>Next, 6 varieties of sugarcane were grown for 40 days using the 1m-depth pot, and the vertical distribution of root was investigated. Consequently, it turned out that the development of shoot root pressed to increase the root weight density and the ratio of shoot root / total root number in the 0-30 cm depth layer. Increase in a shoot root / total root number is raising NAR. It increased RGR, and the growth became early. However, the relationship between root depth and mass of top was not shown.</p> <p>Thirdly, in order to examine function of the root of the sugarcane in early growth stage, nitrogen fertilizer was changed in cultivation and analysis was tried. Materials were NiTn18 and KRSp93-30, which had same RGR and different root system. In low nitrogen treatment, both varieties reduced Pmax. Pmax was enhancement with the increase of leaf blade nitrogen content by nitrogen fertilization that influence of nitrogen was significant in KRSp93-30. It seemed a cause that developed root system absorbed vigorously nitrogen. KRSp93-30 had a positive correlation with significance between Pmax and NAR. It became clear that NAR of sugarcane early growth stage is controlled by root system development.</p> <p>It was proved that the photosynthesis and biomass production in early growth stage was influenced by not only the top but a root characteristic. Therefore, the characteristic of developed root system in sugarcane is very important in order to increase production of sugarcane.</p> | |

| 学位論文審査結果の要旨 | |
|--|---|
| 学位申請者 氏名 | 福澤康典 |
| 審査委員 | 主査 琉球 大学 教授 上野 正実 |
| | 副査 琉球 大学 教授 川満 芳信 |
| | 副査 佐賀 大学 教授 野瀬 昭博 |
| | 副査 鹿児島 大学 教授 岩崎 浩一 |
| | 副査 鹿児島 大学 教授 石黒 悦爾 |
| 審査協力者 | |
| 題目 | サトウキビの光合成とバイオマス利用に関する研究 (Study on Photosynthesis and Biomass Utilization of Sugarcane) |
| <p>バイオマスのエネルギー利用は、大きな環境問題となりつつある地球温暖化およびエネルギー問題を解決する有効な手段として注目されている。すなわち、植物の葉の光合成によって固定されたバイオマスをエネルギーとして変換、利用する事業や研究開発が活発に推進されている。沖縄県の基幹作物であるサトウキビは、葉の光合成様式がC₄型であるので優れた炭素固定能力を有し、単位面積当たりのバイオマス生産能力は極めて高い。このため、副産物のバイオマス利用が期待され、糖蜜から製造したバイオエタノールをガソリンに3%混合して輸送用燃料とするE3プロジェクトが宮古島や伊江島で進められている。一方、沖縄県の生産量は長期的な減少傾向にあるため、エネルギー利用には単位面積当たりの収量（単収）の向上による増産が不可欠である。その方法として、分けつ期以前の極初期段階における生育の改善が最終的な増産につながると期待されている。特に、生育初期段階で十分な葉面積を確保すれば、葉の光合成速度を向上させ、後続の葉面積の展開や根系の発達を促進すると考えられる。すなわち、生育初期の葉面積の拡大が重要である。そこで本研究では、出芽後、葉の展開し始める前から分けつ開始までの初期生育における根系の形質や生育特性を分析して葉面積を拡大させる要因を明らかにし、サトウキビのバイオマス利用推進における基礎的知見を得た。</p> | |

まず、近縁種2種を含む11系統が第7葉期に達する期間について調査した。その結果、生長の早い品種はRGR（相対成長率）が高く、そのRGRはNAR（純同化率）に依存しており、出葉速度はNARに影響されることを明らかにした。NARは光合成速度と正の相関関係にあり、他の作物の乾物生産は主に葉面積に依存するといわれているが、サトウキビの初期生育は光合成速度と相関があることを示した。品種によって地下部形質は大きく異なり、葉面積とRSR（茎根数比＝茎根数/全根数）とは正の相関があり、RSRは初期生育に影響を与えることを見出した。

そこで、地下部形質が地上部乾物生産に与える影響を詳しく調べるために、深さ1mのポットでサトウキビを栽培し、初期段階における根系の特性を分析した。RSRの高い品種は茎根数が多く根重密度は高いことを示し、茎根数の多い品種は地下部バイオマスも大きいことを明らかにした。RSRと根の垂直分布を表す指標である根の深さ指数の間には相関関係は認められなかった。RGRとRSRの間には正の相関関係があったが、根の深さ指数（平均深さ）とは無相関であった。このように、初期生育は茎根の発達による地下部バイオマスの増加に影響を受けるが、根の深さ指数には影響されないことを示した。

これらの結果を踏まえ、初期生育に影響を与える根の形質を変えるために、窒素の施肥量を変化させてその影響を調べた。RSRは異なるが同程度のRGRを示した2品種NiTn18とKRSp93-30を用い、窒素施肥量の効果を分析した。それぞれの品種で反応は異なるが、窒素施肥量を増やすことによって葉身窒素含量が高くなり、NAR、RGRおよびRSRが増加する結果を得た。窒素施肥量と光合成速度の傾きである光合成的窒素利用効率はKRSp93-30が高いことを明らかにした。このように、葉身窒素含量は茎根数と正の相関があり、茎根数が増えると葉身窒素含量が増加して光合成速度を高め、初期生育におけるバイオマス生産を向上させることを明らかにした。

原料の周年供給を想定し、サトウキビと連携するエネルギー作物としてソルガムをとりあげ、増収を目指した栽植密度試験を行った。原料茎重、産糖量およびCGR（個体群成長率）は畝間60x株間30cm区が高い値を示した。これは、60cmx30cmにおいてNARが、畝間60cmにおいてEu（太陽エネルギー利用率）が高いことと関係しており、沖縄における最適栽植密度に関する知見を得た。本実験では栽培面積あたりの窒素施肥量を均一にしたために葉身窒素含量は畝間60cm区で低く、施肥量を見直すことによって増収が期待できることを示した。

以上、本研究では、サトウキビの増収につながる初期生育における葉面積の拡大要因は茎根の発達であることを明らかにした。また初期生育における根の形質と品種特性との関係に関する貴重な基礎的知見を得ている。本研究の成果はサトウキビのバイオマス利用の推進と糖業の安定化に大きく貢献するものと期待できる。よって博士(農学)の学位を与えるに足る資格を持つものと判定した。

| 最終試験結果の要旨 | |
|---|--------------------|
| 学位申請者 氏名 | 福澤 康典 |
| 審査委員 | 主査 琉球 大学 教授 上野 正実 |
| | 副査 琉球 大学 教授 川満 芳信 |
| | 副査 佐賀 大学 教授 野瀬 昭博 |
| | 副査 鹿児島 大学 教授 岩崎 浩一 |
| | 副査 鹿児島 大学 教授 石黒 悦爾 |
| 審査協力者 | |
| 実施年月日 | 平成21年 1月19日 |
| 試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <input checked="" type="radio"/> 口答・筆答 | |
| <p>主査および副査は、平成21年1月19日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足ができる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士（農学）の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに見識を有すると認めた。</p> | |

学位申請者
氏 名

福 澤 康 典

【質問1】 RDI（根の深さ指数）を算出する上で表層根，縄状根，錨根の形態は考慮したのか？

【回答1】 サトウキビの初期生育では種苗根と茎根がでるが，これらは区別せずに深さだけを基準に10cm間隔で層別に根重密度を測定し，RDIを算出した．

【質問2】 RDIと生育との関係は認められないとのことであるが，イネと違ってサトウキビにおいては指標になり得ないのか？

【回答2】 あくまでも初期生育に限った話であるが，結果を見るとRDIは生長に影響していないことがわかる．ただし，干ばつなどになれば違った結果になることも考えられる．根の分布はRDI以外の他の評価方法も試す必要があると考える．

【質問3】 KRSp93-30では窒素が重要なことが確認できたが，同じことはNiTn18では言えないのではないのか？

【回答3】 NiTn18の場合はKRSp93-30の場合と異なり窒素処理による葉身窒素含量の変化は小さかったためと考えられる．NiTn18ではむしろ葉面積に影響があった．

【質問4】 KRSp93-30は窒素要求量が高いようであるが，窒素含量の高くない琉球列島を含む島嶼ではKRSp93-30は不向きではないのか？

【回答4】 KRSp93-30のような品種は従来の経済品種に比べて糖分よりバイオマスに重点をおいた品種である．昨今の情勢をみるとこのタイプの品種が栽培される余地は十分にある．その際，ニーズに合わせた品種を栽培するべきであるが，そのために窒素試験を行い品種の特徴を明らかにする必要がある．また，KRSp93-30は窒素への応答性は高いが，慣行栽培の施肥量で充分である．

【質問5】 スライドの中で，糖蜜は副産物で食料と競合しないとあったが，糖蜜と原料糖の違いはなにか？糖蜜を食料として使用するケースはないのか？

【回答5】 糖蜜は製糖の副産物で，主要な食料である砂糖を製造する過程で発生し，現在では処理に困っている．原料糖はスクロース，糖蜜はグルコースとフルクトースが主成分である．このため廃糖蜜と呼ばれる場合もある．黒糖はスクロースだけでなく糖蜜も含んだ食料であるが，原料糖の生産では副産物であり食料と競合することはない．

【質問6】 茎根の生長を制御することで地上部の生長が早くなるのか？

【回答6】 本研究ではそのような結果を得た．茎根のみの影響かどうかを見るにはサトウ

キビの苗から母茎を取り除いて栽培する手法があり，茎根だけで育ててその効果をみる事ができる．この苗と従来の苗を比較する実験を次のステップとして考えている．

【質問7】統計処理の方法は？

【回答7】一元配置で分散分析を行い，検定はFisherの最小有意差法を用いた．

【質問8】KRSp93-30は今後，品種登録されるのか？

【回答8】製糖用のサトウキビではないので登録されることはないと考えられる．

【質問9】この研究は初期生育が早ければバイオマス生産が増加することを述べたものであるが，初期生育がよければ最終的な収量が増加することを示す研究はあるのか，それともあくまでも予測なのか？

【回答9】初期生育と最終収量の関係を直接検討した研究はほとんどないが，一部に初期の葉面積が収量に影響したと報告する論文がある．また，今年，別の研究で行ったペイト剤（農薬：プリンスペイト）の施用試験では，ほかの試験区に比べて生育初期が顕著に大きくなり，最終収量までその差が維持されていた．

【質問10】論文の表現において一部主観的な記述が見られたが，客観的な表現するべきではないか？

【回答10】そのように訂正します．

【質問11】CGR等の略語はまず日本語とフルスペルを付すべきである．

【回答11】当該学会では周知の用語として使用されているのでそれに準じたが，専門外の皆さんにもわかりやすくするために略語表を添付します．

【質問12】光強度の単位がmW（SI単位）になっていないのはなぜか？

【回答12】最近ではCO₂ガス交換速度と単位をそろえるためにこのような表現が使用されている．エネルギーに重点を置くのであればSI単位表記も必要かもしれない．

【質問13】「有意な相関が認められた」というような表現があるが，有意性の水準を明記すべきではないか？

【回答13】図表には統計結果に照らし合わせて表記してあるが，本文にも併記します．

【質問14】第2章で初期生育期間を2通りに表してあるため，理解するのに苦労した．このように分けたのはなぜか？統一した方がわかりやすい．

【回答14】ご指摘の通りであるが，まず，初期生育を「分けつ期以前」と定義したため，7葉期の成長解析を行った．しかし現実的には「日数」を生育の指標とする場合が多いので2ヶ月間に区切って生長を調べる必要があった．