

学位論文題名

テンサイの生長計測技術の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

1. 緒言

テンサイは、わが国の重要な甘味資源作物であるとともに北海道の基幹畑作物である。しかし、近年は、国内外の価格差是正の要請等、砂糖を巡る関係業界は厳しい情勢下であり、生産現場においては、これまで以上の大幅なコスト削減を迫られている。コストの削減を図るためには、肥培管理の最適化による生産性の向上や、収量予測、収穫適期判別技術の確立による製糖計画の効率化などが必要と考えられているが、そのためにはテンサイの生長を迅速かつ正確に把握する技術が前提となる。そこで、本研究では、テンサイ根部の非破壊生長計測技術を確立することを目的とした。テンサイ根部の生長を計る上で最も重要な指標として、根重と根中糖分がある。本研究では、根重との相関が高いと想定される根径と、根中糖分の目安とされる屈折糖度 (Brix) について、非破壊計測するための装置の開発を試みた。開発目標として、根径計測装置と糖分計測装置のいずれにおいても一般的な生産現場で利用可能な形態の装置とし、根径計測においては 0.1mm 以下の計測分解能、糖分計測においては標準誤差 1% 以下の計測精度を定めた。

2. テンサイの肥大計測手法の検討

土壌中にあるテンサイ根部の肥大を連続的に計測し、データ収集する手法を検討した。まず、土壌中での肥大計測に適した手法として、地中に埋設した接触式直線変位計を用いて、テンサイの肥大計測を行う手法を考案した。計測にあたっては、テンサイはほぼ同心円状に肥大することを想定し、側面 1 点での計測で根径の肥大量を推定することとした。次に、考案した手法に基づき、ひずみゲージ式直線変位計と屋内型のデータロガーからなる肥大計測システムを試作した。試作したシステムの温度影響を調査した結果、1°C 上昇当たりおよそ 2.2 μm と十分に小さく、肥大計測に支障はないと判断した。また、試作したシステムを用いて、圃場で栽培するテンサイの肥大をおよそ 2~4 ヶ月にわたり計測した結果、側面 1 点での計測による根径推定結果には大きな誤差が生じ、テンサイを両側から挟んで 2 点で計測した結果での誤差は小さかった。肥大計測結果には、日周期の膨張収縮が見られ、これはテンサイ根部側面の表面にひずみゲージを直接貼り付けて検証した肥大生長パターンとよく一致した。それは生育初期から末期まで継続して見られた。また、肥大計測結果には、降水直後にテンサイが急激に肥大する様子や、前述の収縮の日積算量は同日の日射量と相関が高い、等、気象との関連性も確認できた。テンサイの肥大計測をする際に、テンサイ根部のどの部位を接触点とすべきかについて、テンサイ根部の直径計測位置と根部の質量との関係を基に検討した結果、最下葉痕跡から 30mm 下付近で計測すると、根重の推定精度が最も高いことが分かったため、この部位を適正な計測位置と定めた。さらに、実用的な

肥大計測装置の開発要件を検討し、本体と電源供給装置との一体化、管理作業に支障を与えない装置の設置法等が重要であるとの結論を得た。

3. テンサイの肥大計測装置の開発

実用的な肥大計測装置の開発を目的とし、計測手法、および装置構成を再検討し、新たな装置を試作した。試作した装置では、テンサイの肥大方向を垂直方向に変換しながら地上に伝達させる機構（変位伝達部）の導入により、変位計を地上に設置できることができ、それにより設置面積が縮小され、畝型の制限がなくなった。また小型のデータロガーと印加電圧用の電池の採用により、外部からの電力供給が不要になり、生産現場で利用できる形態になった。圃場試験の結果、本装置は、1点接触による計測方法でも高精度で安定してテンサイの根径を計測でき、肥大速度の変化を即座に捉えられることが確認された。計測分解能も0.05mm以下と開発目標を上回ることが確認された。また、装置を小型化したことにより、株間に設置できる大きさとなり、圃場管理作業の妨げにもなりにくいと判断できた。また、適正な計測位置を特定すれば、パレイショにも適用できることが確認された。一方、根部が収縮したときに、その収縮を追従捕捉する精度が低かった。要因として変位伝達部の金属管とその内部を通る変位伝達用ステンレス鋼線との遊びが挙げられ、寸法、構成の見直しによって改善できる見通しが得られた。実用場面を想定し、本装置による計測で得た根径から根重を推定する場合の精度を検証した結果、標準誤差およそ30gで推定できることが明らかとなった。ただし、その際には品種や栽培方式の違いによる特徴を踏まえて、推定方法を検討する必要がある。開発した肥大計測装置によりこれまで未解明であったテンサイの肥大生長特性を明らかになり、栽培技術の改善や生産の合理化に寄与できるとの結論を得た。

4. テンサイの非破壊糖分計測装置の開発

テンサイの生育を阻害せずに根中糖分を非破壊計測する装置の開発を行った。はじめに、剥皮しない未加工のテンサイからNIR法を用いて糖分を推定した場合の精度を知るために、一般的な室内据え置き型のNIR分析装置を用いて、テンサイの根部表面から取得したNIRスペクトルと実測した屈折糖度(Brix)より糖度検量線を作成し、精度を評価した。その結果、標準誤差は1.1°Brixであった。高精度化の条件として、外皮により遮光されることや根部表面の不規則な凹凸により密着性が悪くなることに対する改善策が必要であることがわかった。そこで、改善策として、光ファイバを通した金属管の先端にボールレンズを装着したプローブを考案し、それを照・受光部とした可搬型のテンサイ糖度計測装置を試作した。ボールレンズを装着することにより、テンサイに対する拡散反射光の到達深度は深くなり、照・受光部の接触角度によるスペクトルの変動も軽減され、装置の照・受光性能が向上した。また、糖度の推定精度の調査を行ったところ、ボールレンズ装着時の標準誤差0.7°Brix、非装着時0.9°Brixと、ボールレンズの有効性が認められ、開発目標とした計測精度を上回った。屋外で生育中のテンサイからスペクトル取得した場合でも、室内試験と同様のスペクトル取得が可能で、標準誤差は屋外時1.0°Brix、屋内時0.9°Brixと、同等の精度で糖度推定できることを確認した。本装置は肥大計測装置と組み合わせることにより、連続的な成分計測や糖量推定が可能である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 柴 田 洋 一

副 査 教 授 近 江 谷 和 彦

副 査 准 教 授 片 岡 崇

副 査 准 教 授 岸 本 正 (岩手大学大学院

連合農学研究科)

学 位 論 文 題 名

テンサイの生長計測技術の開発に関する研究

本論文は5章からなり、図85、表10、文献64を含む頁数147の和文論文であり、別に参考論文3編が付されている。

近年、北海道の主要畑作物の一つテンサイの生産現場においては、大幅なコスト削減が求められている。コストの削減を図るためには、肥培管理の最適化による生産性の向上や、収量予測、収穫適期判定技術の確立による製糖計画の効率化などが必要と考えられているが、そのためにはテンサイの生長を迅速かつ正確に把握する技術が前提となる。そこで、本研究では、テンサイ根部の非破壊生長計測技術を確立することを目的とした。テンサイ根部の生長を計る上で重要となる指標として、根重と根中糖分がある。本研究では、根重との相関が高いと想定される根径と、根中糖分について、非破壊計測するための装置の開発を目指した。

1. テンサイの肥大計測手法の検討

地中にあるテンサイ根部の肥大を連続的に計測し、データ収集する手法を検討した。地中に水平に設置した接触式直線変位計を用いて、テンサイ根部の肥大計測をリアルタイムに連続的に非破壊計測する装置を試作し、テンサイ根部が肥大を始める7月後半から収穫時期の11月前半まで、およそ3ヶ月にわたり、1時間おきに計測できることを実証した。計測結果から、テンサイの根部は毎日、膨張と収縮を規則的に繰り返しながら肥大していくことが観測された。また、降雨や日射量に反応して肥大量が増大する様子を捉えることもできた。根部の肥大生長推移の計測例はこれまでになく、テンサイの生育特性を知るうえで大きな成果である。

テンサイ根部の直径と質量との関係を調査した結果、最下葉痕跡から30mm下付近で計測した直径が、根重との相関が最も高く、この部位を適正な計測位置と定めた。本手法により根部の質量推定を行う場合は、変位計1対でテンサイを両側から挟んで計測すると精度が高くなった。装置の精度は温度の影響を受けるが、その値は十分に小さく肥大計測に支障はないことが確認された。以上から、変位計を用いる本手法によりテンサイ根部の肥大計測は可能であるとの結論を得た。

2. テンサイの肥大計測装置の開発

前章の結果を踏まえ、実用的な肥大計測装置の開発を行った。開発した装置では、テンサイの肥大方向を垂直方向に変換しながら地上に伝達させる変位伝達機構の導入により、変位計を地上に設置できることができ、それにより設置面積が縮小され、畝型の制限がなくなった。また小型のデータロガーと印加電圧用の電池の採用により、外部からの電力供給が不要になり、生産現場で利用で

きる形態になった。圃場試験の結果、開発した装置は、変位伝達部の金属管とその内部を通る変位伝達用ステンレス鋼線との僅かな遊びにより、収縮を追従捕捉する精度に問題がみられたものの、肥大速度の増加を的確に捉えることが示された。

3. テンサイの非破壊糖分計測装置の開発

根中糖分を非破壊計測する装置の開発を行った。はじめに、装置開発のための指針を得るため、一般的な室内据え置き型の近赤外分光分析装置を用いてテンサイの根部表面から取得した近赤外分光スペクトルと、実測した屈折糖度より、糖度検量線を作成する試験を行った。その結果、高精度化の条件として、テンサイ根部の外皮による遮光や、根部表面の不規則な凹凸による照・受光部とテンサイ表面との密着性の低さを改善する必要があることがわかった。そこで、改善策として、先端にボールレンズを装着した照・受光用プローブを考案し、それを組み込んだ可搬型のテンサイ糖度計測装置を試作した。ボールレンズの効果を検証した結果、ボールレンズにより拡散反射光のテンサイへの到達深度は深くなり、照・受光部の接触角度による取得スペクトルの変動も軽減された。試作した装置による糖度の推定精度を調査した結果、ボールレンズ装着時の標準誤差は0.7°Brix、非装着時は0.9°Brixと、ボールレンズ装着時に推定精度が向上した。また、圃場で生育中のテンサイからスペクトル取得した場合でも、室内試験と同様のスペクトル取得が可能で、糖分計測精度も同等であることを確認した。本装置は先に述べた肥大計測装置と組み合わせることにより、連続的な成分計測や糖量推定が可能となり、テンサイの糖熟に関する生長特性の解明や、糖収量の予測精度の向上への寄与が期待できる。

以上のように本論文は、テンサイ根部の肥大生長量を連続的に非破壊計測する技術を開発した。さらに、生育中のテンサイの糖分を光学的な手法で非破壊計測する装置を開発した。これらの成果は、これまで未解明であったテンサイ根部の生長過程を解析する科学的ツールとして有効であるとともに、肥培管理の最適化や収穫適期判定等、営農場面においても利用価値の高いものである。よって、審査員一同は、嶋津光辰が博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。