

直播テンサイ用自動間引き・除草機の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

北海道を代表する作物であるテンサイは、その大部分が移植栽培されている。しかし、移植栽培では作業の機械化がほぼ達成され、労働時間短縮の余地はほとんど残されていない。このため、直播栽培のもつ省力可能性に対する期待が高まっている。直播栽培の場合、全労働時間の約 60%を手作業による間引きと中耕除草作業が占めており、手作業部分を自動化することにより大幅な省力化が可能と考えられる。本研究では、省力的直播テンサイ栽培体系確立のため、現状では手作業で行われている間引きおよび株間除草作業を自動的に行うことができる機械およびシステムの開発を目的とした。本論文の要旨は以下の通りである。

1. テンサイと雑草の識別法の開発

自動間引きと除草のためには、テンサイと雑草を識別する必要がある。実際のほ場環境下での実用的識別法を確立することを目的として、画像処理を使った識別法を開発した。

まず、精細な静画像を取得できるデジタルカメラで間引き時期のテンサイおよび雑草をほ場において真上から撮影し、植物体と土壌の分離手法、識別に有効な形状特徴量を検討した。植物体を土壌から分離抽出するために、**RGB** 色空間において植物体と土壌の分離が最大となる平面を導出し、判別分析法によって自動的にしきい値を決定する方法を開発した。識別はテンサイと 3 種類の雑草（アオビユ、ソバカズラおよびスギナ）を対象とし、6つの形状特徴量（面積、穴の数、面積/周囲長、最大径円面積比、長軸 2 次モーメントおよびフェレ径比）をパラメータとする線形判別関数を用いて行った。ソバカズラをテンサイと誤識別するものが多いため、新しい形状特徴量である‘葉先角度’を導入し、テンサイとソバカズラの再識別を行った結果、テンサイおよび雑草のそれぞれについて、87.2%と 94.4%の識別正答率が得られた。

次いで、実用条件下での識別を検討するため、トラクタに装着した **CCD** ビデオカメラにより走行しながら取得した画像により識別を行った。画像精細度の劣化を補償するため、形状による識別に先立って色情報（**YIQ** 表色系）を用いて識別した結果、**Q** 値による識別で 51.7%の雑草を除外できた。残った雑草とテンサイについて 8 種類の特徴量（穴の数、最大径円面積比、長軸 2 次モーメント、短軸 2 次モーメント、フェレ径比、円形度係数、葉先得点および **Q** 値）をパラメータとする線形判別関数を導出して識別を行った結果、テンサイおよび雑草のそれぞれについて 89.7%と 91.0%の識別正答率が得られ、開発した識別手法は実際のほ場環境下で使用可能であることを明らかにした。

2. 識別正答率の間引き精度上の評価

テンサイおよび雑草の識別性能や雑草の生育状況等が間引き作業の精度におよぼす影響を明らかにするため、開発した間引き・除草アルゴリズムによりコンピュータシミュレーションを行い、識別正答率と間引きによるテンサイ損失の関係、間引き作業の条件などを明らかにした。

シミュレーションの結果、識別正答率が低く雑草の生育量が多いほど、間引き時のテンサイの損失が増大するが、現在得ているテンサイおよび雑草の識別正答率で、雑草生育量がテンサイの4倍以下であれば、テンサイの損失は10%未満であり、テンサイの識別正答率以上の精度で間引き・除草を行うことが可能であること、および間引きの精度は雑草の識別正答率に依存する割合が高く、雑草を高精度に識別できるアルゴリズムが間引きにとって重要であることを明らかにした。

また、播種間隔12 cmの時、間引き後の平均株間とその偏差を検討した結果、強制間引き距離は10 cmが適当であることを明らかにした。

3. 自動間引き・除草機の開発

本研究では、間引き・除草刃は除草のため常に土中に作用し、残すべきテンサイ位置にくると刃が逃げてテンサイに触れないような自動間引き・除草機構を考案した。間引き・除草刃は油圧シリンダにリンクを介して連結され、油圧シリンダの作動により、開閉アームに取り付けられた間引き・除草刃が開閉する。試作した間引き・除草作業部は間引き・除草機構、油圧ソレノイドバルブ、ゲージ輪、ロータリエンコーダを装着した第5輪から構成され、トラクタの3点リンクに装着される。自動間引き・除草機全体は、間引き・除草作業部に加え、CCDビデオカメラ、PC、PIC、画像キャプチャユニット、およびコントロールボックスにより構成した。

屋内ほ場において、試作した自動間引き・除草機の基本的な性能を評価し、土壌硬度が0.19MPaまでであれば開閉時間は土壌硬度に影響を受けないこと、油圧流量が15l/min以上であれば開閉時間がほとんど変化しないこと、CCDビデオカメラと間引き・除草刃の間隔は1000 mm～3780 mmの範囲であれば、間引き・除草刃の開閉精度に統計的に精度の違いがないことを明らかにした。この結果をもとにして、CCDビデオカメラをトラクタ前部に取り付け、雑草のない条件下で模擬テンサイを用いた自動間引き実験を行った結果、開閉位置の最大誤差は43mmで、所定の間引きを行うことを確認した。

最後に、この間引き・除草機のほ場での適応性を評価するためにほ場実験を行った。供試されたテンサイは185本であり、理想的な間引き・除草作業が行えれば144本が残されることになる。実験の結果、残されたテンサイは127本であった。テンサイの損失は11.8%であり、シミュレーション結果と比較して、間引きの精度は低下した。損失の内訳は、6.9%が誤識別によるもので、4.9%が強制間引き距離の範囲外のテンサイが強制的に間引かれたものであった。後者の原因は、テンサイの出芽が不良であったため、強制間引き距離の近くに残すべきテンサイが比較的多数あり、そのテンサイが刃の開閉位置誤差によって間引かれたことにあった。除草率は94.8%と高かったことから、十分な出芽率が確保でき、間引き・除草刃の開閉精度を向上すれば、本システムで自動間引き・除草を行うことは十分可能であると結論された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 端 俊 一

副 査 教 授 寺 尾 日出男

副 査 助教授 片 岡 崇

学 位 論 文 題 名

直播テンサイ用自動間引き・除草機の開発に関する研究

本論文は 6 章からなり、図 80、表 29、引用文献 74 を含む、総ページ数 160 の和文論文であり、他に参考論文 3 編が添えられている。

テンサイの移植栽培では作業の機械化がほぼ達成され、労働時間短縮の余地はほとんど残されていない。このため、直播栽培のもつ省力可能性に対する期待が高まっており、全労働時間の約 60%におよぶ間引きと中耕除草作業の手作業部分の自動化が期待でされている。本研究は、現在手作業で行われている間引きおよび株間除草作業を省力化する機械およびシステムの開発を目的としたものである。本研究の内容は以下のように要約される。

1. テンサイと雑草の識別法の開発

自動間引きと除草のためには、テンサイと雑草を識別する必要がある。実際のほ場環境下での実用的識別法を確立することを目的として、画像処理による識別法を開発した。

まず、デジタルカメラによる精細な静画像を用い、植物体と土壌の分離手法、識別に有効な形状特徴量を検討した。植物体と土壌の分離には、RGB 色空間における最適分離平面を導出して植物体を自動的に分離抽出する方法を開発した。識別には線形判別関数を用い、そのパラメータとして 6 つの形状特徴量を決定した。しかし、ソバカズラをテンサイと誤識別するものが多いため、新しい形状特徴量として‘葉先角度’を導入した結果、テンサイおよび雑草のそれぞれについて、87.2%と 94.4%の識別正答率を得た。

次いで、実用条件下での識別を検討するため、トラクタに装着した CCD ビデオカメラにより走行しながら取得した画像により識別を行った。画像精細度の劣化を補償するため、形状による識別に先立って色情報を用いて識別し、その後 8 種類の形状特徴量をパラメータとする線形判別関数を導出して識別を行う手法を開発した。テンサイおよび雑草のそれ

それぞれについて 89.7%と 91.0%の識別正答率が得られ、開発した識別手法は実際のほ場環境下で使用可能であることを実証した。

2. 識別正答率の間引き精度上の評価

テンサイおよび雑草の識別性能や雑草の生育状況等が間引き作業の精度におよぼす影響を明らかにするため、コンピュータシミュレーションを行い、識別正答率と間引きによるテンサイ損失の関係、間引き作業の条件などを明らかにした。

識別正答率が低く雑草の生育量が多いほど、間引き時のテンサイの損失が増大するが、現在得ているテンサイおよび雑草の識別正答率で、雑草量がテンサイの4倍以下であれば、テンサイの識別正答率以上の精度で間引き・除草を行うことが可能であること、および間引きの精度は雑草の識別正答率に依存する割合が高く、雑草を高精度に識別できるアルゴリズムが間引きにとって重要であることを明らかにした。

3. 自動間引き・除草機の開発

株間除草のために、間引き・除草刃は常に土中に作用し、残すべきテンサイ位置にくると刃が逃げる自動間引き・除草機構を考案した。間引き・除草刃は油圧シリンダの作動により開閉する。自動間引き・除草機全体は、間引き・除草作業機構、CCD ビデオカメラ、PC、PIC、およびコントロールボックスにより構成した。

試作した自動間引き・除草機の性能をほ場実験により評価し、実用的な土壌硬度範囲、油圧流量、CCD ビデオカメラと間引き・除草刃の距離範囲などを明らかにするとともに、テンサイの損失と除草率について解析している。実ほ場での間引き精度は、シミュレーション結果より低下したが、損失原因を精査し、テンサイの出芽不良が間引き精度に影響することを明らかにした。十分な出芽率が確保でき、間引き・除草刃の開閉精度を向上すれば、本システムで自動間引き・除草を行うことは十分可能であると結論している。

以上の研究成果はテンサイの自動間引きと株間除草の実現可能性を実証したものであり、本研究で開発した画像処理によるテンサイと雑草の識別法は学術的価値も高く、他の作物や雑草にも応用可能な知見を多く含んでいる。よって審査員一同は、寺脇正樹が博士（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。