

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	中島 周作
論文題目	擬似的微小重力環境下におけるリョクトウの機能性評価とテラヘルツ分光法によるデンプン量の推定		
（論文内容の要旨） デンプンは多数のグルコース分子が結合した巨大な分子構造を持ち、植物にとって成長や代謝のエネルギー源となる重要な生体分子である。農産物の栽培環境を制御することで、デンプンの分解を促進させることができると、栽培速度の向上や機能性物質の増産に貢献できると期待される。デンプンの分解を促進させる方法の一つとして、これまで微小重力環境である宇宙空間で農産物を栽培する方法が提案されている。一方、地上でこのような擬似微小重力環境を作り出す装置として、クリノスタットによる研究が古くから行われていることより、地上でも同様の現象を誘発できると考えられる。また、このような環境下において、デンプン分解量を継続的にモニタリングできると、農産物内での物質変化や機能性物質の生成メカニズムの理解に役立つことが期待される。しかし、デンプンは他の物質と比べて巨大な分子構造を有するため、定量には酵素法を用いた化学分析法が一般的であり、試薬等を用いることから簡便な測定法とは言い難い現状がある。 近年、研究が進んできたテラヘルツ分光法のうち赤外線との境界領域では、分子間振動モードや分子内の低振動モードを直接観察できる。そこで、デンプンのような巨大分子構造に対して吸収スペクトルを計測すれば、デンプン量の推定が可能になると考えられる。本論文では、栽培が容易なリョクトウの発芽初期において、クリノスタットがデンプン分解量と機能性成分に与える影響の評価およびテラヘルツ分光法を用いたデンプン量推定の可能性について論じている。 本論文は6章から構成されている。第1章で本研究の背景・目的を述べた後、第2章ではクリノスタットがリョクトウの色素量に与える影響を、第3章ではデンプン分解量や抗酸化物質の量に与える影響を調べている。重力に対して横向きに植えたリョクトウ種子の伸長方向を回転軸とし、クリノスタットを用いて2 rpmで回転させながら2～4日間栽培した。通常重力下で栽培したものと比較した結果、酵素のアミラーゼが活性化し、デンプン分解が促進されることが確認された。機能性成分についてはアントシアニンのように減少する成分も見られたが、カロテノイドやアスコルビン酸は増加することが認められ、さらに抗酸化作用についてもクリノスタット区で高い値が得られた。それらの結果より、クリノスタットによる微小重力環境下で栽培したリョクトウはデンプンから生成されたグルコースやスクロースが多い状態にあり、これらの糖がカロテノイドやアスコルビン酸の合成を促進するシグナルや前駆体として作用したために抗酸化作用が向上したと結論づけた。 テラヘルツ分光法を用いたデンプン量の推定に先立ち、第4章では標準品の試薬を用いてデンプンや構造が類似した糖類のTHz分光測定を1.5から13.5 THzの測定帯域で行った。その結果、デンプンは5.0, 7.8, 9.0, 10.5, 12.1, 13.1 THzに吸収ピークを持			

ち、結晶性分子とアモルファスとの比較から5.0, 7.8 THzの2つピークは分子間振動モード、他の4つのピークは分子内振動モードであることを明らかにした。構造が似たグルコース、マルトース、オリゴ糖でも8.5, 10.5, 12.0, 13.0 THzに吸収ピークが確認されたが、これらの糖は9.0 THzにピークを持たなかったことから、9.0 THzの吸収ピークはデンプンに特徴的なものであると結論づけた。

第5章では、発芽直後から順にサンプリングし、リョクトウ粉末をペレットにしてテラヘルツ分光測定を行ったところ、発芽直後のデンプン含有量が高いリョクトウではデンプン標準品と同様の吸収スペクトルが得られ、成長が進むにつれピーク強度が低下していく様子を明らかにした。デンプン量の推定に有効なピークを特定するため、デンプン標準品とリョクトウの両方をアミラーゼで加水分解し再度テラヘルツ分光法で測定した結果、加水分解後、両サンプルで9.0 THzのピークが消失した。これより、9.0 THzのピークはリョクトウ中のデンプン由来の吸収によるものであることを確認した。このピーク強度と化学分析によって定量したデンプン量で検量線を作成すると高い相関が得られたため ($r^2=0.95$)、テラヘルツ分光法の応用により薬品を用いた煩雑な前処理をすることなく、農産物内のデンプン量を推定できる可能性を示唆する結果を得た。

第6章の総括では、テラヘルツ分光法を用いるとデンプン量の推定が可能となり、クリノスタットで栽培した農産物の機能性を評価できることを示唆した。また、デンプンの分解をより効果的に促進するためのクリノスタットの条件検討の必要性や、テラヘルツ波を用いたデンプンの非破壊計測についての展望が記されている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

微小重力環境下による植物栽培において、通常の重力下と異なる形状や成分組成が報告されているが、そのエネルギー源となるデンプン量の推移と機能性物質の量や抗酸化能との関係性は明らかになっていない。また、このような研究を実施し、今後詳細な栽培条件の検討や、デンプン量と機能性物質との関係性を明らかにするには、デンプンのような巨大分子を簡便に定量計測できる技術が求められる。本論文は、擬似的な微小重力環境を作り出すことができるクリノスタットを利用し、リョクトウの発芽初期におけるデンプン量と機能性物質生成の関係を探索すると共に、テラヘルツ分光法を用いたデンプンの定量法の開発に関する検討結果が述べられている。評価すべき点は、以下のとおりである。

1. クリノスタットを用いた擬似微小重力環境下でリョクトウを栽培し、通常の栽培方法を比較したところ、アントシアニンは減少したものの、カロテノイドやアスコルビン酸は増加すること、アントシアニンの減少には内因性のエチレンが関与していることを示した。
2. 擬似微小重力下におけるリョクトウの発芽初期では子葉内でアミラーゼが活性化し、それがデンプンの分解を促進させていることを見出した。
3. 標準品のデンプンや各種糖のテラヘルツ分光スペクトルを詳細に検討した結果、9.0 THzの吸収ピークはデンプンでのみ観察されることを明らかにした。
4. リョクトウ内のデンプン量に応じて吸収ピークが増減し、特に9.0 THzの吸収ピークの強度とデンプン量に高い相関($r^2=0.95$)を見出し、植物体においても9.0 THzの吸収ピークがデンプンの定量に利用できることを明らかにした。

以上のように、クリノスタットは高付加価値農産物を創出する可能性を有し、テラヘルツ分光法が農産物中のデンプンの定量評価に利用可能であることを示した知見は、重力と農産物内代謝との関係性の理解を深め、デンプンを指標とした新たな品質評価技術の創出に貢献できると期待される。このことから、農業システム工学、フィールドロボティクス、生物センシング工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成31年2月15日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することと支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)