

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	GUO HAN
論文題目	Starch Crystallinity Determination and Resistant Starch Quantification in Rice after Hydrothermal Treatments Using Terahertz Spectroscopy (テラヘルツ分光法を用いたコメの水熱処理におけるデンプンの結晶化度およびレジスタントスターチの定量化)		
(論文内容の要旨)			
<p>コメは世界的な主食のひとつであり、世界人口の半数以上にとって主要なエネルギー源であるが、食後血糖値の上昇度合いを示すグリセミック指数 (GI) が高いことから、過剰摂取は様々な疾病の要因とされている。したがって、日頃から消費者が健康的な摂取を管理するには、低GI米の選択肢を増やすことが効果的と考えられる。様々な手法で低GI米の開発が検討されているが、良好な食味を保ちつつ消化性を低下させる加工技術は十分に確立されているとは言い難い。その理由として、そもそもデンプンは非常に巨大な分子であるとともに、コメ内に含まれる他の成分の存在がデンプン構造の定量的な評価を阻害し、ヒト体内での消化性との関係性を理解する際の妨げとなっていることがあると言われている。そこで本研究では、テラヘルツ (THz) 帯の分光情報が分子結晶構造を生み出す水素結合に対して大きく変化することより、THz分光法による水熱処理後のコメデンプンの消化性評価の可能性を探索した。</p> <p>本論文は6章で構成されている。第1章では研究背景として現状の問題点を整理するとともに研究目的が述べられ、第2章では本論文に関連するTHz分光装置やX線回折装置の原理や解析方法について整理されている。</p> <p>第3章では試薬として購入したコメデンプンに水分含量を調製してHMT (Heat Moisture Treatment) を施したのち、フーリエ変換型THz分光装置を用いて結晶構造の評価可能性を調査した。その結果、9.0 THz、10.5 THz、12.2 THzおよび13.1 THzのピークを用いたアミロース-脂質複合体 (ALC) の結晶構造 (Vh型) に対する結晶化度の単回帰モデルは、全ての周波数で決定係数 (R^2) が0.97以上、2乗平均平方根誤差 (RMSE) が0.12%未満と良好な性能を示し、これら主要な吸収ピークがHMT後のデンプンのVh型結晶化度の推定に使用できることを示した。さらに、9.0 THz、10.5 THz と12.2 THz、13.1 THzのピークは、Vh型の結晶構造に対して異なる感度を示し、明瞭に2つに区分されたことから、THz分光法で分析することで、難消化性のデンプンとして定義されているResistant Starch (RS) 量を推定できる可能性を示唆した。</p> <p>第4章では、2つの脂肪酸 (ラウリン酸 (LA) とパルミチン酸 (PA)) と複合化したゲル化コメデンプン中におけるALCの結晶化度を推定するためのTHz分光法の可能性を調査した。その結果、12.0 THzの吸収ピークを利用すると、試料マトリックス中のLAや、アミロースと複合体を形成したPAの存在等による干渉を受けることなく、ALCの結晶化度を定量的に測定できることを明らかにした ($R^2 = 0.98$)。これらの結果は、THz分光法がゲル化コメデンプン-脂肪酸混合物中のALCの結晶化度を測定するための正確さと頑健性を持っていることを示唆した。</p> <p>第5章では、千葉県で収穫されたコシヒカリの粳をHMT (65°Cかつ相対湿度98%に48時間)、アニーリング処理 (6時間65°Cに浸漬)、パーボイリング処理 (2時間65°Cに浸漬後、121°Cで15分間オートクレーブ滅菌) した各粳について、無処理粳と同じ恒温恒湿槽で乾燥させ、同じ水分含量とした後精米したものを試料とした。本章ではこの試料に対</p>			

してTHz分光法を適用し、RS含量の評価可能性について調査した。その結果、9.0 THz、10.5 THz、12.1 THz、13.1 THz付近にある4つの吸光度ピークの2次微分強度は、単回帰分析の結果、化学分析手法を用いて評価したRS含量と高い相関が認められた ($R^2 > 0.96$)。

第6章では各章をまとめるとともに本論文を総括し、THz分光法が、非デンプン成分である脂肪酸の存在に干渉を受けることなくコメデンプンの結晶化度を定量的に評価できるとともに、コメ中のRS含量の推定にも利用できることを実験的に明らかにしたと結論付けている。

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)

コメは、その重要性から様々な研究が行われてきたが、主要な分子であるデンプンが巨大な分子構造を持つことやコメそのものに含まれる脂肪酸等の他の成分の干渉を受けることから、加工方法とヒト体内での消化性との関係性を調査することが難しかった。本研究は、従来の分光法で用いられている官能基の分子内振動ではなく、結晶構造を作り出している水素結合に焦点を当てるためテラヘルツ分光法を導入し、水熱処理後のコメデンプンの消化性評価への応用可能性を調査している。評価すべき点は以下のとおりである。

1. アミロース - 脂質複合体の結晶化度の推定には、9.0 THz、10.5 THz、12.2 THzおよび13.1 THzの吸光度ピークを用いた単回帰モデルが有効（決定係数が0.97以上、2乗平均平方根誤差が0.12%未満）であることを明らかにした。さらに、その感度が12.2 THz、13.1 THzと9.0 THz、10.5 THzの2種類に分類できることを見出し、それを利用すると、コメデンプン中の難消化性デンプン含量の割合を推定できる可能性を示唆した。
2. 脂肪酸と複合化させたゲル化コメデンプン試料に対して、12.0 THzの吸収ピークを利用すると、試料マトリックス中のラウリン酸や、アミロースと複合体を形成したパルミチン酸による干渉を受けることなく、アミロース - 脂質複合体の結晶化度を決定係数0.98で推定できることを明らかにした。
3. 異なる水熱処理を施した収穫籾を精米して調製したコメ試料に含まれる難消化性デンプン含量を推定した結果、9.0 THz、10.5 THz、12.1 THz、13.1 THz付近にある4つの吸光度ピークの2次微分強度は、それぞれ高い相関 ($R^2 > 0.96$) が認められ、本分光法の実サンプルへの適応性を明らかにした。

以上のように、本研究はコメに含まれるデンプンの結晶構造や混在する脂質の影響がテラヘルツ分光の吸光度スペクトルに与える影響を詳細に調査するとともに、実際の籾への水熱処理で生じる難消化性デンプン含量の推定にも応用できることを示しており、ヒトの健康に役立つ新たな食品加工技術創出への貢献が期待される。このことから、生物センシング工学、農業システム工学、フィールドロボティクス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、令和6年1月18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に支障がある場合は、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）