

氏名	MD ZOHURUL ISLAM		
学位の種類	博 士 ( 農 学 )		
学位記番号	博 甲 第 8163 号		
学位授与年月日	平成 29 年 3 月 24 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Processing of Orange ( <i>Citrus unshiu</i> ) Powder by Micro Wet Milling and Vacuum Spray Drying (マイクロウェットミリングおよび真空噴霧乾燥による オレンジ( <i>Citrus unshiu</i> ) パウダーの製造)		
主査	筑波大学教授	博士 (農学)	北村 豊
副査	筑波大学教授	博士 (生物工学)	楊 英男
副査	筑波大学教授	農学博士	宮崎 均
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	吉田 滋樹

## 論 文 の 要 旨

ミカン (*Citrus unshiu*) は心地よい香りを有する果実の一つであり、ビタミン C、ポリフェノール、カロテノイド、フラボノイドなどの健康機能成分の供給源でもある。審査対象論文はミカンの果汁を高品質・機能性の粉末に加工する新たなプロセスの開発を目的としてまとめられたものである。

まず第 1 章で著者は、研究の背景や目的を述べるとともに、ミカン果汁の搾汁や粉末化のためのいくつかの異なる加工手法について、その利点や欠点について詳細に述べている。

続く第 2 章で著者は、市販ミカン果汁加工への Vacuum Spray Drying (以下 VSD) 適用の詳細を述べ、賦形剤としてマルトデキストリン (DE 12) を使用して得た粉末のガラス転移温度や水分収着に与える VSD の影響を検討した。VSD とは、加熱媒体として過熱蒸気 (200℃) を使用して液体食品を低温域 (40~50℃) で乾燥粉末化するために開発されたプロセスである。果汁固形分 (OJ) とマルトデキストリン固形分 (MD) を 4 つの異なる比率すなわち 60:40、50:50、40:60、30:70 で調製したミカン果汁の粉末化を行い、含水率、吸湿性、水分活性、粒子径などの物性値が求められた。サイクロンセパレータで最もよく粉末が回収されたのは、OJ/MD 比が 30:70 の粉末であった。また粉末の水分収着等温線が等水蒸気圧法により求められ、異なる水分活性値 ( $a_w = 0.11 \sim 0.86$ ) における粉末の熱移動特性が熱量分析により計測された。VSD においても 60:40 のような果汁固形比の大きい条件では粉末が生産できなかったのは、市販のミカン果汁に高濃度で含有される糖がガラス転移温度を低下させることによると考えられた。水分収着実験データは Brunauer–Emmett–Teller (BET) および Guggenheim–Anderson–de Boer (GAB) モデルによって精度よく相関づけられた。また Tg に対する水の強い塑性効果が Gordon-Taylor モデルにより説明され、ここで Tg は粉末含水率の増加とともに大きく減少することが明らかにされた。

第 3 章で著者は、パルプを含むミカン果汁を加工するための石臼式粉碎 Micro Wet Milling (以下 MWM)

の適用性を解析した。MWM はせん断、衝撃、破碎、摩擦により固形粒子を液中に分散するプロセスであり、粒子径をマイクロレベルにまで低減できるプロセスである。MWM への原料供給速度や石臼の回転速度を変化させることにより、剥皮ミカンの粉碎に適した条件が得られた。すなわち供給速度 15 mL/min と回転速度 50rpm で操作された MWM において、商業的に生産されたミカン果汁と比較して、より細かい粒子とより良い色合いのミカン果汁が加工された。MWM ミカン果汁の走査電子顕微鏡画像により、MWM がミカン果汁中パルプを微細化して全体の粒子径を減じることが明らかにされた。また生理活性物質について、MWM ミカン果汁はより高濃度のアスコルビン酸、総ポリフェノール、総フラボノイドを含み、その DPPH および FRAP 値により MWM ミカン果汁が商業的加工ミカン果汁よりも高い抗酸化性を有していることが証明された。MWM は果汁加工における副産物の最小化にも適用可能であり、より高い栄養成分を有する繊維質豊富な果汁を生産できることが明らかにされた。

第4章で著者は、マルトデキストリン(DE 13)を賦形剤として用い、VSD および在来の Spray Drying (以下SD)を応用してMWM ミカン果汁の粉末を加工している。すなわち OJ と MD の4つの比率すなわち 60:40、50:50、40:60 および 30:70 で、VSD と SD それぞれにより作成された MWM ミカン果汁粉末について、物理化学的特性および抗酸化特性を比較検討した。その結果、SD では 50:50 あるいはそれ以上の比率の MWM ミカン果汁は粉末化できなかったが、VSD では可能であった。またより OJ の比率が高い場合、SD でのサイクロン回収率は VSD の値よりもかなり小さかった。SD と VSD について、OJ/MD 比 40:60、30:70 の粉末の物性解析に有意差はなかったが、色合いやアスコルビン酸含有量、他の生理活性物質の含有量には有意差が認められた。色合いについて VSD 粉末は SD 粉末よりも良好な値を示したが、それは VSD の乾燥温度が低いことに由来すると考えられた。VSD は MWM ミカン果汁中のアスコルビン酸を最大で 74%保持した一方、SD ではわずか 40%であったことから、50~60℃の低温で乾燥する VSD は、SD よりも高品質の粉末を生産できると結論された。

第5章で著者は、VSD と SD のミカン果汁粉末のアスコルビン酸、色合い、抗酸化活性の変化について90日の保存試験を通じて示している。粉末は相対湿度 33%、温度 10、25、35℃で保存され、MD が高く貯蔵温度が低いミカン果汁の粉末では、抗酸化物と同様、物性の変化は小さかった。MWM ミカン果汁粉末の貯蔵安定性について、ガラス転移 (Gordon Taylor および Khalloufi のモデル)と水分収着 (GAB モデル)に基づき、それらを組み合わせた複合線図が導かれ、限界水分活性と限界含水率が、粉末の雰囲気温度に相当する 25℃のガラス転移温度について得られた。すべての粉末の限界水分活性は 0.53 から 0.61 まで変化し、限界含水率は 0.10 から 0.08 g/g の範囲にあった。OJ と MD 比 30:70 で加工した VSD 粉末が最も安定すると考えられたのは、4つの粉末の中で最も高い限界水分活性( $a_w = 0.61$ )と最も低い含水率(0.11 g/g)が示されたからである。

以上の研究により、MWM と VSD の組み合わせによるミカン果汁の粉末化プロセスが、物理化学的特性や抗酸化特性、貯蔵安定性等の観点から、従来の搾汁・噴霧乾燥法よりも高品質・高機能性の粉末を生産できることを明らかにした。

## 審 査 の 要 旨

ミカンは貯蔵・流通性向上のため、果汁や粉末に加工されることが多い。特にミカン果汁の粉末化の工程においては、殺菌、濃縮、乾燥等、いくつかの熱処理を受けるため、色や香り、ビタミンや機能性成分が失われる可能性がある。これらの課題を克服するとともに、健康機能性成分を増強するため、パルプを含むミカン果汁を粉末に加工する二つの新しい技術、すなわちマイクロウェットミリング (Micro Wet Milling、MWM) と真空噴霧乾燥法 (Vacuum Spray Drying、VSD) に着目して、そのプロセス特性を粉末の各種物性評価を通じて解明した点が審査対象論文の大きな特徴である。特に粉末の物性変化と乾燥操作の関係をガラス転移や水分収着の理論・モデルを用いて定量的に解析した点は学術的に高く評価できる。また粉末の加工・貯蔵特性を熱力学的かつ動力学的に解析して得られたパラメータは、ミカンの微細化・粉末化装置の操作条件や設計指標の策定に有用な基礎データであり、食品工業の発展に資するものである。以上の内容は博士論文に相応しいと判断された。

平成29年1月27日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。