

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目

対流式乾燥機による機能性を活かした農産物の粉末化技術の開発と利用に関する研究

熊本大学大学院自然科学教育部 複合新領域科学専攻 複合新領域科学講座

(主任指導 佐々木 満 准教授)

論文提出者 西園 昌代

主論文要旨

熊本県は九州の中央部に位置し、米、野菜、果樹、畜産をはじめ、多彩な農畜産物を生産しており、農業産出額、生産農業所得は全国でも上位を占めている。一方で、県産の優れた農林水産物を活用した付加価値の高い加工品づくりと、その流通・販売に取り組む 6 次産業化も活発に支援を行っている。6 次産業化あるいは食品製造において、野菜および果実等の農産物の加工は多種多様で、乾燥製品もその 1 つである。

食品加工において、「乾燥」という単位操作は非常に重要な工程であり、水分含量の高い食品から水を除去し、微生物や酵素による腐敗や変敗、食品の成分間の化学反応にともなう変質を防止することによって、食品に長期間の貯蔵性および流通性を付与することができる技術である。日本においても、古くから使われていた技術で、時代の変遷とともに乾燥できる野菜が増え、江戸時代にはショウガやシソは薬として利用していたとされている。現代においても、年々増加傾向にある生活習慣病の予防因子の 1 つとして野菜の摂取が挙げられているが、日本人の野菜摂取量は目標値の約 80 %に過ぎず、摂取量増加は今後の重点項目となっている。この解決策の一つとして、水分量を減少させ旨味や栄養成分を濃縮し、効率的に摂取できるようにした乾燥野菜の生産と普及がある。近年では、生活様式の変化から乾燥野菜(粉末)やドライフルーツ等の簡易調理が可能な加工品の需要が高まり、さまざまな商品が流通している。

一般に、農産加工や 6 次産業化の現場では、青果物の乾燥には操作の簡便性やコスト面、汎用性の高さから、対流式の熱風乾燥機が広く利用されており、トマトやリンゴ、柑橘等様々な青果物の乾燥品が生産されている。これらの青果物の乾燥品を得るために、温度 50°C 以上の熱風を対流させるケースが主流であり、その結果、乾燥品が褐変すること、試料表面の乾燥・硬化が早いため内部の乾燥が不十分になること、水分移動による試料収縮などにより乾燥時間が長くなること、色が悪くなること等の不都合な現象が生じやすかった。現在、色・味・香り・栄養価等の品質を低下させない乾燥法として最良な方法は、真空凍結

乾燥法（以下、FD）であるとされており、医薬品等の製造にも利用されている。また、FDほどではないものの、食品の開発に有効な乾燥方法としてマイクロ波による乾燥法や減圧乾燥法などがある。これらの乾燥法では、乾燥を行うために専用の機器が必要となり、なかでもFDでは、熱風乾燥と比較して乾燥品の製造時間が長いだけでなく乾燥にかかる費用も高額となる、といった課題がある。

著者は熊本県において長年農産物加工や食品開発に携わっており、多くの食品製造業者や農産物加工業者に対して様々な加工指導を行ってきた経緯がある。その指導現場においても乾燥加工品は利用の簡便さ、保存性の良さ等から製品化へ依頼が高く、著者もいろいろな農産物の乾燥品を作っている。農産物のなかでもトマトおよびイチゴは熊本県の主要作物であり、特にトマトは、成熟時の色の鮮やかさや、多くの栄養成分および機能性成分を含有することから、近年では粉末化への要望が高くなっていた。しかし、トマトやイチゴといった野菜果実類は糖度が高く、通常の熱風乾燥法では、FDのように色鮮やかな粉末を得ることは困難とされていた。

このように、現状ではFDやマイクロ波乾燥法、減圧乾燥法に比して乾燥品の品質が低下してしまう熱風乾燥に関し、著者は、乾燥温度を従来よりも低い温度帯で乾燥させる低温乾燥法（Low-temperature drying method. 以下、LTD）であれば試料への負荷を抑えつつ、変色や成分の損失を抑制した高品質な乾燥粉末が製造できると考えた。

本研究では、トマトおよびイチゴを原料として、LTDによる乾燥粉末を製造し、FDによる乾燥粉末と、それぞれに含まれる機能性成分の残存量、色ならびに物理性等特性を比較することにより、低温乾燥法の優位性を明らかにすることを目的とした。LTDは、真空凍結乾燥とは違い、6次産業化あるいは農産加工施設に最も導入されている対流式乾燥機を用いて行う乾燥で、乾燥時の表面積を広げることによって、ドライトマト等の製造に利用される温度帯よりも低い温度で乾燥することが可能である。特別な装置を導入する必要がなく、低コストでいろいろな原料にも対応でき、FDに匹敵する品質を有した粉末の製造に有効な乾燥法として期待できる。

本論文は6章から構成されており、第1章では、著者が本研究を始めるに至った背景と本研究の目的について示した。

第2章では、既往研究として乾燥方法の変遷と各乾燥法の特徴と課題について概説した。

第3章では、まず対流式乾燥機を使用して、良質なトマト粉末を製造できる最適な乾燥温度の試験を実施した。方法として、トマト果実丸ごとの破碎果汁をクッキングシートで作った容器全面に流し込み、乾燥温度40℃、50℃、60℃の3段階で乾燥し、それぞれの乾燥試料中のリコピン含量と総ポリフェノール含量を測定した。その結果、リコピン含量は40℃乾燥物が最も高く、一方、ポリフェノール含量は、リコピン含量とは逆に乾燥温度が高くなるに伴い増加した。これはポリフェノールオキシダーゼの失活により高くなったと考えられ、色もやや褐変化した。この結果より、乾燥に用いた温度はリコピン含量が最も多く、最も低い温度設定の40℃、そのとき使用した乾燥時間10時間の乾燥条件が確立でき、以後この乾燥法（LTD）で試験を行った。LTDで作ったトマト粉末の評価をFDで作った粉末と比較するために、機能性成分および栄養成分等について分析し比較検討した。まず、トマトの

主要な機能成分であるカロテノイドの一種であるリコペンの量を測定した。リコペンはカロテノイドの中でも特に強い抗酸化力を示すことが知られている物質である。LTD 粉末と FD 粉末では品種間で約1~5%の差は認められたが、ほぼ等しい結果であった。また、強い抗アレルギー活性を示すトマト特有のポリフェノールや、ヒトに対する高い抗酸化活性を示すアントシアニン、アスコルビン酸やフェノール系化合物といったポリフェノールの総量（総ポリフェノール量）およびそれらの抗酸化活性を知るために DPPH ラジカル消去活性を測定した。その結果、成熟果の総ポリフェノール量および DPPH ラジカル消去活性はともに未熟果よりも約 2 倍高かった。乾燥法の違いでは、両成分とも LTD と FD の間には大きな差異は認められなかった。味覚に影響を及ぼす遊離アミノ酸、有機酸についても測定したところ、品種によるバラツキはみられたものの FD とほぼ同等で、LTD はトマト粉末製造には有効な乾燥法であることが確認できた。

第 4 章では、トマト同様、熊本県の主要農産物であるイチゴについて粉末化を試み、FD 粉末と比較した結果を示した。方法として、イチゴ成熟果を第 3 章で確立したトマト粉末の乾燥粉末の作製条件に準じて行った。成分分析は、トマトで行った総ポリフェノール量、DPPH ラジカル消去活性、遊離アミノ酸量、有機酸量に加え、物理化学特性として粉末の色、水分保持能力 (WHC)、可溶性指数 (WSI) 及び電子顕微鏡による微細構造を調べ比較検討した。成分分析の結果では、ポリフェノール量、DPPH ラジカル消去活性、遊離アミノ酸量、有機酸量のいずれの成分でも LTD 粉末と FD 粉末はほぼ同量の結果で、品種によっては LTD 粉末が LD よりも多くなる結果が示された。イチゴ粉末の色では、LTD 粉末は FD 粉末に比べやや明度が低く、黄色が高い傾向を示したものの、食品素材として利用するには有効であると言える。また、WHC は品種ごとには違いがみられたが、同品種間にはほぼ同量の水分を保持することがわかった。WSI では LTD と FD の差は $\pm 5\%$ 以内と小さく、WSI 特性値についても両者とも類似した特性を有すると考えられた。電子顕微鏡による微細構造では、LTD、FD いずれの粉末粒子とも類似した構造を有していることがわかり、この構造の類似性が WHC と WSI の同等値につながったものと推察した。

また、イチゴの乾燥においては、2 種の異なるメーカー（木原株式会社および明城株式会社）の対流式乾燥機を使用して、機種が異なった場合の乾燥粉末に及ぼす影響について示した。乾燥は同じ LTD の条件で行った結果、粉末の色は、明度以外は両方とも同程度で、明度は明城製乾燥機の方が高く、FD 粉末とほぼ同じ値を示した。この明度の差は、乾燥機の機種によって、乾燥室の容量、熱源の差異などにより乾燥熱量が異なることに起因すると推察した。しかし、他の成分測定の結果を踏まえると、両乾燥機による差は非常に小さく、LTD を行う乾燥機が変わっても、条件を変化させずに製造が可能であることが示唆された。

以上、LTD は成分の損失を抑え、FD で製造される乾燥粉末と同等な品質のものを可能にする乾燥法であり、中小規模の食品加工の現場においては FD のような専用で高価な装置の導入が不要で、FD よりも短時間で機能性を有する乾燥食品の製造に有効な乾燥法であることを示すことができた。

第 5 章では、LTD で作製した粉末を利用した食品の試作を行うとともに、そのレシピを考案した。粉末の利用は食品加工においてシーズニングとしての利用でき、菓子類、パン、

麺類へ添加して、色の付加や栄養素、機能性の強化等による食品への利用が考えられた。また、食品以外の利用として、成分の損失が少なく高い成分保持能から理化学系におけるFD代替の前処理法としても有効であるとする。

第6章は全体の総括であり、LTDが誰もが使えて良質な乾燥粉末を製造する技術として有効であることを結論付けた。