

学 位 論 文 要 旨

近赤外分光法によるブルーベリー果実の成分評価 Evaluation of ingredients of blueberry fruits by near-infrared spectroscopy

環境資源共生科学専攻 森林資源物質科学大講座
白 文明

ブルーベリー果実の主な成分である糖、有機酸及びアントシアニン含有量の定量分析は、化学分析や分光法以外の機器分析で行われている。しかしこれらの方法は破壊分析であり、しかも手間や時間がかかる手法なので、収穫や出荷の現場での測定への応用は大きく制限される。本論文では、非破壊且つ迅速な測定を可能にする近赤外分光法により、ブルーベリー果実に含まれる糖、有機酸及びアントシアニン含有量を定量分析する手法を開発した。近赤外分光法による定量分析では、測定対象や目的成分によって定量精度が常に必要とされる精度以上になるとは限らない。そこで本研究は、まず汎用近赤外分光光度計を用いてブルーベリー果実に含まれる各成分の定量モデルを様々な条件で作成し、その予測精度を検討した。また、実験結果に基づいてデータシミュレーションを行い、現場測定に用いる実用的な分光計に要求される装置性能を検討した。さらに、分光光度計とは測定方式が異なるハイパースペクトルイメージング (Hyperspectral Imaging : HSI) カメラを用いて、ブルーベリー果実に含まれる各成分の定量分析が可能かどうかについての検討も行った。

緒言にあたる第1章に続く第2章では、汎用近赤外分光光度計による定量分析について検討した。ブルーベリー果実の近赤外スペクトルは、測定法（透過法と拡散反射法）と測定部位（萼部位と萼以外の部位）によって大きく変化する。その為に、モデルをつくる際のスペクトル前処理の方法や用いる波数領域が変化する。様々な組み合わせの測定法と測定部位でスペクトルを測定し、PLS (Partial Least Squares) 回帰分析により定量モデルを作成した。化学成分以外が原因のピークの除去、重なりあった吸収ピークの分離、安定な定量モデルの

作成に最適なスペクトル前処理法を検討した。また定量モデル作成に有効な波数域を見出す為に、MWPLS (Moving-Window PLS) 法を用いた。その結果、糖とアントシアニンの含有量予測は、上述のいずれの測定法を用いても、どこの部位で測定をしても実用精度 ($R^2 > 0.85$ 、 $RPD > 2.5$) よりも高い精度で可能であることがわかった。一方有機酸の含有量は、透過法で得られたスペクトルからは予測困難で、拡散反射法で測定したスペクトルにより予測する必要があることがわかった。これは、低波数域のみに観測される有機酸の特徴的な吸収帯を透過法では測定できないことに起因すると考えられる。有機酸の測定では、測定部位を特定した定量モデルを作成して、実際に測定を行った部位に対応するモデルによる予測を行う必要がある。糖やアントシアニンの定量では可能であった部位を特定しないモデルの作成は、酸に対してはできないことがわかった。なお、測定部位はスペクトルを主成分スコアプロットすることにより判別できることが見いだされたので、測定時に測定部位を特定しなくても、スペクトルから測定部位を判断して適切なモデルを適用することが可能である。

定量モデルの作成に用いた波数域は成分ごとに異なる。糖含有量の定量モデルでは、C-H や O-H の第 2 倍音に由来するバンドが含有量の予測に寄与している。一方有機酸の定量モデルでは、C-H や O-H の第 1 倍音に由来するバンドが含有量の予測に寄与していると考えられる。アントシアニンの定量モデルでは、色素であるアントシアニン分子の電子遷移に由来する吸収バンドの低波数端が近赤外領域の高波数側に現れ、含有量の予測に寄与していると考えられる。

第 3 章では、生産現場で用いる装置に必要な装置性能を検討した。大型で高価な汎用近赤外分光光度計を生産現場で用いることは困難なので、小型安価でかつ必要な精度で定量分析が可能な装置を作ることが重要である。そこで、汎用の分光光度計で得られたスペクトルデータに人工的に雑音を加える、波数をずらす、分解能を変えるなどの操作を数値的に加え、そのスペクトルデータの解析することに基づき、各成分を実用精度より高い精度で予測する為に必要な装置性能 (測定波数域、雑音レベル、波数安定度、分解能) を明らかにした。

第 4 章では、HSI カメラによる分析法の検討を扱った。樹上あるいはバック詰めされた多数の果実を同時に分析できると効率が良く便利である。そこで HSI カメラにより同時に測定した多数の果実のハイパースペクトル (分光情報と空間情報を同時に得られる) を用いて糖、有機酸及びアントシアニン含有量の定量モデルを作成し、予測精度を評価した。その結果、アントシアニン含有量の予測精度は、汎用近赤外分光光度計を用いた時よりも低いものの、実用精度以上あることがわかった。一方、糖と有機酸の定量の予測精度は、現状では実用精度に到達していない。しかし、より高性能の HSI カメラを用いて測定を行えば、実用精度以上での定量が可能となる可能性が高いと判断している。

第 5 章では、第 2 章～第 5 章で述べた結果を総括した。本研究の成果は、近赤外分光法をブルーベリー果実成分の非破壊分析に応用した初めての例である。本研究により、ブルーベリー果実の選果に有用な情報を得ることができた。