

審査の結果の要旨

氏名 李玉

緑色野菜はビタミン、ミネラル、食物繊維等、ヒトの健康維持には欠かせない微量元素の供給源となっている。一方、収穫後も生命活動を継続し、急速に鮮度が低下するとともに、保有する栄養成分が減少することも報告されている。このことから、野菜の価値と直結する鮮度を迅速かつ簡便に診断する方法の開発が喫緊の課題となっている。しかし現状では、外観を手掛かりとした人による主観的評価にゆだねられており、評価基準が曖昧であることなど信頼性が乏しい。そこで博士（農学）候補者である李玉（りゅう）は”Nondestructive detection of decay in green vegetables stored at different temperatures using chlorophyll fluorescence imaging”（各温度で貯蔵した緑色野菜のクロロフィル蛍光画像による非破壊鮮度評価）に関する研究を行った。具体的には、非破壊計測手法の1種であるクロロフィル蛍光測定で得られた2次元画像を機械学習で解析することにより、緑色野菜の鮮度を客観的に評価する手法について、主要な緑色野菜であるエダマメ (*Glycine max* (L.) Merr.) とブロッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*) を試料として研究を行った。

エダマメを用いた研究では、試料を 10~25℃、相対湿度 90% の環境で貯蔵し、経時的に密閉型クロロフィル蛍光測定装置で撮影した 2 次元画像から 98 種類のクロロフィル蛍光パラメーターを取得し、偏最小二乗回帰分析 (PLSR) に入力した。外観鮮度の主要な評価指標である色相角（新鮮なエダマメでは約 130°）を出力変数とした場合、決定係数 0.916、交叉検証標準誤差 4.604° の精度で予測可能であった。次に微量栄養素の 1 種であり、野菜の鮮度低下とともに含有量が減少することが知られているアスコルビン酸を出力変数とした場合、決定係数 0.851、交叉検証標準誤差 2.168 mg・100g⁻¹ の精度で予測可能であった。さらに、主要なクロロフィル蛍光パラメーターである最大量子収率が経時的に減少する傾向がみられ、蛍光クエンチング（消光）の値は、色相角の減少に先立って減少することが明らかになった。クロロフィル蛍光パラメーターの減少は、鮮度低下に伴うクロロフィルの分解によりアンテナ組織が損傷したことが原因と考えられた。

ブロッコリーを用いた研究でも同じく、試料を 10~25℃、相対湿度 90% の環境で貯蔵し、経時的に密閉型クロロフィル蛍光測定装置で撮影した 2 次元画像から 98 種類のクロロフィル蛍光パラメーターを取得し、PLSR に入力した。ブロッコリー花蕾の黄化は一様ではなく、局所的に生きることが知られており、急速な鮮度低下の原因となっている。そこで、花蕾部を黄化速度の遅速によって分類した後、エダマメと同様のデータ解析を行った。ブロッコリーの外観は緑色度

(a^*/b^* : 国際照明委員会が定める色空間値から算出)を出力変数とし、決定係数 0.860、交叉検証標準誤差 0.082 の精度で予測可能であった。次にアスコルビン酸を出力変数とした場合、決定係数 0.826、交叉検証標準誤差 $4.812 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ の精度で予測可能であった。さらに、主要なクロロフィル蛍光パラメーターである最大量子収率が経時的に減少する傾向がみられ、非蛍光クエンチングと蛍光減少比の値は、緑色度の減少に先立って減少することが明らかになった。これらの値は生理活性の低下に伴い減少することが知られていることから、鮮度低下に伴う生理活性の低下によって、値の減少が観察されたと考えられた。

本研究では代表的な緑色野菜の鮮度低下の程度をクロロフィル蛍光画像から非破壊で推定することを試みた。その結果、クロロフィル蛍光画像を機械学習で解析することにより、外観変化に先立って鮮度低下の状態を検出可能であることが明らかになった。本知見は、市場、小売店等の流通現場で鮮度が低下した商品をいち早く探し出し、調理や加工に回すことで食品ロスの削減に貢献でき、学術にとどまらず実用上でも有用な発見と考えられる。また、アスコルビン酸は野菜中の含有量が少なく、非破壊検査が困難であったが、クロロフィル蛍光を使えば検査可能であった。すなわち、アスコルビン酸濃度の予測は、非破壊での全数検査を通じて、収穫物の鮮度、栄養価を網羅的に評価する際に有用と考えられる。

これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。