

Development and Characterization of Smart Colorimetric Indicator Films for Freshness Monitoring of Chilled Fresh Foods

孟, 繁澤

<https://hdl.handle.net/2324/7396287>

出版情報 : Kyushu University, 2025, 博士 (農学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	孟 繁澤 (MENG FANZE)
論 文 名	Development and Characterization of Smart Colorimetric Indicator Films for Freshness Monitoring of Chilled Fresh Foods (チルド生鮮食品の鮮度モニタリング用スマート比色インジケーターフィルムの開発と特性評価)
論文調査委員	主 査 九州大学 教 授 田中 史彦 副 査 九州大学 助 教 田中 良奈 副 査 九州大学 准教授 光岡 宗司

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、冷蔵温度帯における生鮮食品の鮮度管理と品質保証を目的とした比色インジケーターフィルムの設計、特性評価、および応用検証を体系的かつ段階的に展開したものであり、ポストハーベスト工学、材料科学、ナノテクノロジーの融合領域における先進的な研究成果である。本論文では、天然由来色素アントシアニンの機能性に着目し、これをキトサン系、アルギン酸系の高分子マトリックスに統合することで、比色応答性を持つインテリジェント包装材料、すなわち、スマート比色インジケーターフィルムの創製に取り組んでおり、冷蔵食品の保存とリアルタイム鮮度指示の両立を目指している。

まず、キトサン、ポリビニルアルコール、五リン酸ナトリウムの混合物をマトリックスとし、黒クコ (*Lycium ruthenicum*) および赤キャベツ (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*) 由来のアントシアニンを混合することで、色素を安定的かつ均一に保持した複合比色フィルムを作製している。それにより、pH 変化に対する広域かつ長期的な色調応答性が達成されるとともに、引張強度、熱安定性、撥水性、抗酸化および抗菌性能など多岐にわたる基礎特性を明らかにしている。カットパイナップルへの適用試験では、鮮度変化の視覚的モニタリング機能と腐敗抑制による保存期間延長効果を実証しており、低温流通における実装が十分に可能であることも示している。

つぎに、アルギン酸ナトリウムと酸化チタン (TiO_2) ナノ粒子をベースとしたアントシアニン含有複合フィルムを開発しており、紫外線照射下における多孔質構造の形成とその吸着特性が材料設計の特徴となっている。これにより、フィルムの力学的特性、抗菌性、バリア性が向上し、冷蔵エビに対する腐敗抑制機能と鮮度指示機能を両立している点は、光触媒作用を活用した食品保存技術として極めて先進的である。ここでは、構造と機能発現との関係性を分子レベルで明らかにしており、実用材料としての完成度も高い。

また、機能性のさらなる向上を図るために、 TiO_2 の増量によって分散系の粘度や反応性を変化させ、より均質な多孔質構造を持つ複合フィルムを作製している。その結果、FTIR 分析では、フィルム内部での水素結合および静電相互作用の強化、ならびに材料分子構造の安定性の向上が示されている。また、SEM 観察では、フィルム表面に形成された均質な多孔質構造が視覚的に捉えられている。この構造はガス拡散性の改善を促し、色素成分と揮発性成分との効率的な反応促進によって、比色応答性が向上することを示している。さらに、GC-MS 分析により、冷蔵保存中のサーモンにおける揮発性香気成分の分解抑制効果を見出している。これらの複合的な分析結果から、開発

された複合フィルムは pH 変化に対応する色調応答性向上による鮮度変化の視覚的モニタリング機能に加え、副次的ではあるが鮮度保持にも有効な機能を持つ包装材料であると結論づけている。

加えて、将来展望として、揮発性アミン、二酸化炭素、チオール類などの腐敗指標を同時に検出するための比色プローブの複合化や、視覚センシング技術との融合による次世代スマートパッケージングの構築を提案している。これにより、フードチェーン全体にわたる品質追跡と劣化予測が可能となり、より高度な鮮度管理基盤の創出につながるものと指摘している。

以上要するに、本論文はアントシアニン自身、ならびに光触媒材料との組み合わせによるスマート比色インジケーターフイルムの設計について、基礎材料開発から応用検証、さらに未来志向の技術統合に至るまで一貫した研究視点で体系的に展開したものであり、農産食料流通工学の発展に寄与する価値ある業績と評価する。

よって、本研究者は博士（農学）の学位を得る資格を有するものと認める。