フジシール財団　研究助成事業

成果報告書

公益財団法人フジシール財団

理事長　岡　﨑　裕　夫　殿　　報告日 2024 年 5 月 30 日

研究課題	新たな青果物包装形態としての天然由来可食コーティング材の設計・開発		助成金額 ３００万円
助成名	特別長期研究助成　研究助成　若手研究助成		
ふりがな	たなか　ふみひこ	研究助成申請年度	
研究者氏名	田中　史彦	2023 年度	
所属機関	九州大学　大学院農学研究院	研究期間	
		１年間	
役　　職	教授		

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

１．研究成果の概要

（１）はじめに

持続可能な開発目標（SDGs）に鑑み人類の持続的発展に貢献するため、ここではフードサプライチェーンの革新に寄与する食品の新たなエコ対応包装形態について提案した。我が国の石油由来プラスチック生産量は世界第３位であり、年間 900 万ｔが廃棄されている（2016 年）。環境や人体に与える影響も甚大であり、海洋プラスチックごみによる環境汚染も深刻な状況にある。近年の国際動向でも G7 海洋プラスチック憲章の採択など脱プラの動きが加速しており、各産業界で早急な対応が求められている。

そこで本研究では、身近なプラスチック問題として、日々、消費者がスーパーマーケットなどで目にするプラスチック系食品包装材に着目し、これをバイオマス素材に置き換える Green/Blue Shift を目指すこととし、新たな青果物包装形態としての天然由来可食コーティング材と設計支援システムの開発を行った。生物由来可食コーティング材は石油由来プラスチック包装に代わる天然高分子と精油などを用いた “Green/Blue”な包装材料・形態であり、材料の組み合わせにより様々な特性を示す。このため、各種青果物への施用の際には、各種コーティング材が青果物に悪影響を及ぼさず、より良く品質を保てるかに留意しなくてはならない。ここでは、青果物の鮮度保持に適した石油由来プラスチック包装に代わる天然高分子と精油などを用いた“Green/Blue”なコーティング剤を開発するとともに、文献調査により各種コーティング剤の特性や効果についての情報を収集し、インフォグラフィック化することで、様々な青果物の品質保持に適したコーティング剤の選定に有用なデータベースを作成した。

（２）生物由来可食コーティング材の開発

生物由来の各種可食コーティング材の開発では、ピッカリングエマルション系コーティング材として、アルギン酸＋イランイラン（YYO）精油（乳化剤 CNC：セルロースナノクリスタル）（３．成果[1]）、ペクチン＋リモネン/ペパーミント（CNC）[2][3]、非ピッカリング系コーティング材として、ゼラチン・グルコマンナン＋青森ヒバ[4]、緑豆デンプン＋テルピネン-4-オール（TP40）[5]、コーンスターチ＋セルロースナノファイバー[6]を主成分とするコーティング材等を開発し、各種コーティング剤の特性（ガス・水分透過性、粘性、強度、

接触角など）や殺菌効果、青果物品質保持効果などについて調査した。各成果を成果以下に、特筆すべき成果について述べる。なお、詳細は「３．学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績」に列挙した原著論文を参照されたい。

まず、ピッカリングエマルション系コーティング材の開発[1][2][3]では、海草由来のアルギン酸や柑橘類から自家抽出したペクチンを骨格とするコーティング溶液に、イランイラン精油（YYO）やモノテルペン類の一種であるリモネン（LEO）、ペパーミント精油（PEO）と様々な濃度の CNC や CNF を混合した液を加えエマルション化し、エマルション液が長期的に安定化する CNC 添加濃度を明らかにした。おもな結論は以下の通りである。[1]アルギン酸/0.5%の YYO PE でコーティングしたミカンは、重量減少が低く（7.84 ± 1.76%）、硬度が高く（1.58 N）、L^*が高かった（64.54）。また、抗真菌活性が著しく向上した。これは、*Penicillium. italicum* および *P. digitatum* 菌の成長が *in vivo* 試験で抑制された。[2]0.5%のピッカリング乳化した柑橘果皮ペクチン、750 ppm の CNC、および 0.5%の LEO のエマルション溶液では、Tween 80 処理と比較して著しく透明性が上がり、引張強度（23.61 MPa）と伸長率（65.87%）は増加し、コーティング材としての適性が向上した。[3]同様に、ペクチン 0.5%、PEO 0.4%、CNF を 0.1%から 0.325%加えたエマルション溶液では、0.175%濃度の CNF 添加がエマルジョンシステムを安定化するのに適し、*P. digitatum*n に対する抗真菌活性が向上した。

次に、非ピッカリングエマルション系コーティング材の開発[4][5][6]では、[4]ゼラチンにコンニャクグルコマンナンを増粘剤として加え、抗真菌剤として青森ヒバオイル（AO）を添加したエマルション溶液のモモ果実へのコーティングでは、図１に示すようにコーティング溶液はモモ果実表面の毛状突起を避けて表皮を覆うこと、高い抗真菌性が認められたほか、図２に示すように AO 濃度が骨格材料質量比で 50%以外ではエチレンの賛成が抑制されることが明らかとなった。また、[5]緑豆デンプンベースのコーティング材では 0.25% TP40 がイチゴの保存期間を延ばすための最良の処理であると結論した。この他、[6]コーンスターチを骨格とするコーティング材によるトマトの被覆処理では、果実全体またはヘタのみを被覆した後、温湿度 25℃、60%RH で 12 日間貯蔵したトマトの品質が同じ程度の評価となり、ヘタのみを部分コーティングの有効性が示された。本手法はコーティング材使用量減につながる成果であり、コスト削減の観点からも特筆すべき成果である。

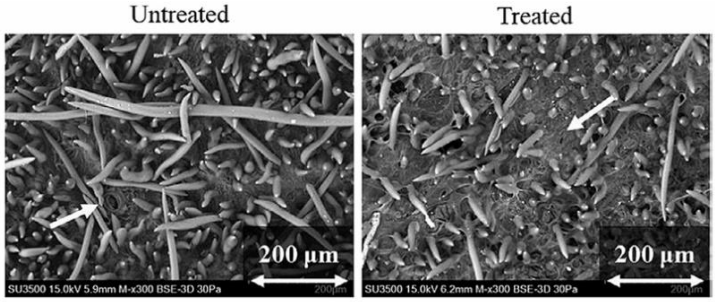

図１　被覆前（左）と後（右）のモモ果実表面（SEM）

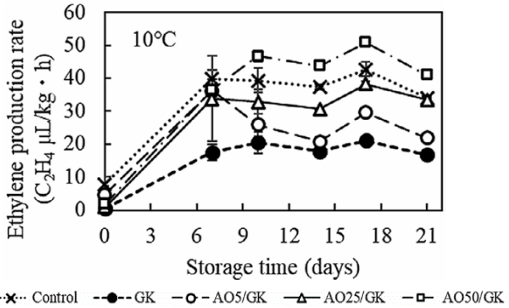

図２　モモのエチレン生成量の経時変化

（３）可食コーティング材データベースの作成

当方らの論文を含め、近年、可食コーティングに関する論文は多数公表されているが、各々が独立・分散した情報でしかない。そこで、これらの情報を Web 上で一元管理し、有効活用する第一ステップとして、可食コーティングデータベースの作成に着手した。データベース設計では、材料組成や特性、製造条件、貯蔵試験結果、抗菌試験結果などを入力データとなる候補を選択し、Web 上に蓄積しており、特性値や貯蔵結果のインフォグラフィック化を可能にしている。今後、青果物の種類や貯蔵期間などのキーワードから貯蔵に適するコーティング材の選択が可能となるような数理モデルの選択と訓練を実行する予定である。

（４）おわりに

短期間ではあったが、青果物包装用コーティングを多数開発し、品質保持と抗菌効果が確認された。インフォグラフィック化による資材の最適設計と脱プラ＋フードロス低減を達成する礎になることを期待したい。

２．研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性

本研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性としては、消費者がスーパーマーケットなどで目にするプラスチック系食品包装材をバイオマス素材に置き換える Green/Blue Shift が可能となり、環境負荷低減脱プラとフードロス削減を同時にかなえる新たな包装形態が誕生する点にある。脱プラとフードロス低減がトレードオフの関係にならない持続可能な流通形態の核となるハードとソフトの技術を開発した点は特筆に値する。

“Green/Blue”なコーティング剤として、緑豆デンプンやトウモロコシデンプン、ペクチン、アルギン酸などを骨格とし、これらに様々な植物精油やそこから単離した殺菌成分、Pickering エマルションを助けるセルロースナノファイバーやセルロースナノクリスタル等を混合した多数のコーティング剤を開発し、各種青果物品質保持効果を明らかにした。文献値と合わせ、AI による最適コーティング剤の選定支援システム開発につながるコーティング剤データベースの作成を行い、まずは各種コーティング剤特性のインフォグラフィック化を行い、新包材としての適性を視覚的に評価するシステムを構築した。これをパッケージ産業界に普及させることで適切な材料の選定も簡便になると期待される。

３．学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績

原著論文　６報（二重下線：研究代表者、一重下線：研究分担者、＊：責任著者）、他もデータ整理中。

[1] Francis Ngwane Nkede, Mohammad Hamayoon Wardak, Ata Aditya Wardana, Meng Fanze, Xirui Yan, Jakia Sultana Jothi, Nguyen Thi Hang Phuong, Fumina Tanaka, Fumihiko Tanaka*, Preparation and characterization of edible coating and film composed of sodium alginate/ylang-ylang oil/cellulose nanocrystals Pickering emulsion and its application to post-harvest control of mandarin (*Citrus reticulata*), *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **691**, 133859 (2024). (Impact Factor=5.2)

[2] Gracella Kusuma, Vincensius Marcellino, Ata Aditya Wardana*, Laras Putri Wigati, Chandra Liza, Retno Wulandari, R. Haryo Bimo Setiarto, Fumina Tanaka, Fumihiko Tanaka, Wahyu Ramadhan, Biofunctional Features of Pickering Emulsified Film from Citrus Peel Pectin/Limonene Oil/Nanocrystalline Cellulose, *International Journal of Food Science and Technology*, xx(x), xxx-xxx (2024). (IF=3.3) Accepted

[3] Vincensius Marcellino, Gracella Kusuma, Ata Aditya Wardana*, Laras Putri Wigati, Chandra Liza, Retno Wulandari, R. Haryo Bimo Setiarto, Fumina Tanaka, Fumihiko Tanaka, Enhancing functional features of pectin-based coating by incorporating cellulose nanofiber/peppermint oil, *International Journal of Food Science and Technology*, xx(x), xxx-xxx (2024). (IF=3.3) Accepted

[4] Arisa Koga, Fumina Tanaka, Shoji Hagiwara, Laras Putri Wigati, Fumihiko Tanaka*, Functional properties of gelatin/konjac glucomannan-based coatings with Aomori hiba essential oil and their effect on ethylene production in peach fruit (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. ‘Hikawa Hakuho’) during cold storage, *Environmental Control in Biology*, **62**(2), 17-28 (2024).

[5] Manaka Takahashi, Francis Ngwane Nkede, Fumina Tanaka*, Fumihiko Tanaka, Development and characterization of mung bean starch and citric acid active packaging combined with terpinen-4-ol and its application to strawberry preservation, *Journal of Food Measurement and Characterization*, **18**, 2280-2292 (2024). (IF=3.4)

[6] Mohammad Hamayoon Wardak, Francis Ngwane Nkede, Tran Thi Van, Fanze Meng, Fumina Tanaka, Fumihiko Tanaka*, Development of edible films and partial coating, a novel coating technique for tomato fruits, using citric acid-crosslinked starch and cellulose nanofiber, *Progress in Organic Coatings*, **187**, 108127 (2024). (IF=6.6)

成果報告書の作成上の留意事項

(1)　当財団指定の様式（Ａ４サイズ）を用い、報告書の様式は変更しないでください。「１．研究成果の概要」、「２．研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」、「３．学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績」の間での行数の変更は可能ですが、総ページ数を３ページとしてください（本留意事項を除く）。

(2)　日本語で作成してください。但し、英語での業績、論文、成果は英語のまま記入してください。

(3)　フォントは MS明朝の10.5ポイントを使用してください。

(4)　すべてのページのフッター部分に研究者の氏名を記入してください。

以上