

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 崎 裕 夫 殿

報告日 年 月 日

研究課題	天然由来カーボンドットを用いた青果物の Green コーティング包装資材の開発	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	2024年度
所属機関	九州大学 大学院農学研究院	研究期間
		1.5年
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

食品の収穫後ロス世界的な課題であり、果実・野菜の約40～50%が流通過程で損失していると報告されている。これらは食料問題のみならず経済的損失や環境負荷増大の要因となる。一方、食品包装は品質維持や微生物増殖抑制に重要な役割を果たすが、現行の石油由来プラスチックは分解性に乏しく、海洋プラスチック問題など深刻な環境問題を引き起こしている。

このため近年では、生分解性を有するバイオマス材料への代替とともに、抗菌性・抗酸化性などの機能を付与した「アクティブ包装」の開発が求められている。中でもカーボンドット (Carbon Quantum Dots: CQDs) は、優れた光安定性、生体適合性、抗酸化性、紫外線遮蔽性を有するナノ材料であり、食品包装への応用が期待されている。

そこで本研究では、未利用バイオマスであるカボチャ果皮を原料とした天然由来カーボンドットを合成し、カルボキシメチルセルロース (CMC) およびゼラチン系可食フィルムへ導入することで、青果物の品質保持に資する Green コーティング包装資材の開発を目的とした。

(2) 天然由来カーボンドットを利用したコーティング材の開発

本研究では、カボチャ果皮を原料とし水熱炭化法により CQDs を合成した。得られた CQDs は粒径約 5～8 nm のナノ粒子であり、良好な分散性と蛍光特性を有することが確認された。

これら CQDs を CMC/ゼラチン複合フィルムへ1～3%添加した結果、以下のような顕著な機能向上が認められた。

①機械特性の向上

CQDs 添加によりフィルムの引張強度は最大約 147%向上し、分子間相互作用の増強により強固な構造を形成した。

②バリア性および表面特性の改善

水蒸気透過率は低下し（約 12%減少）、さらに接触角の増加により疎水性が向上した。これは包装内の水分移動抑制に寄与する重要な特性である。

③紫外線遮蔽機能

CQDs の導入により紫外線遮蔽性能は大幅に向上し、3%添加では UV-A に対して約 72%、UV-B に対して約 94%の遮蔽率を示した。

④抗酸化・抗菌機能

CQDs は高いラジカル消去能を示し、DPPH 除去率は最大 88.6%に達した。また微生物増殖抑制効果も確認された。

⑤安全性評価

細胞毒性試験により、2 mg/mL 以下の濃度では高い細胞生存率が維持され、安全性が確認された。

以上の結果から、CQDs は単なる強化材に留まらず、機能性を付与するアクティブ成分として有効であることが明らかとなった。

（３）青果物への適用（トマト保存試験）

開発したフィルムを用いてミニトマトの保存試験を実施した結果、CQDs を 3%添加した包装が最も優れた品質保持効果を示した。主な効果は以下の通りである。

重量減少の抑制（20 日後：約 9.3%）、硬度（鮮度）の維持、pH 変化の抑制、可溶性固形分（糖度）の安定化、微生物数の大幅低減。特に微生物数は約 2.22 Log CFU/g まで低減し、従来包装と比較して顕著な抗菌効果が確認された。これらは、CQDs による抗酸化作用、紫外線遮蔽、水分移動抑制の複合効果によるものである。

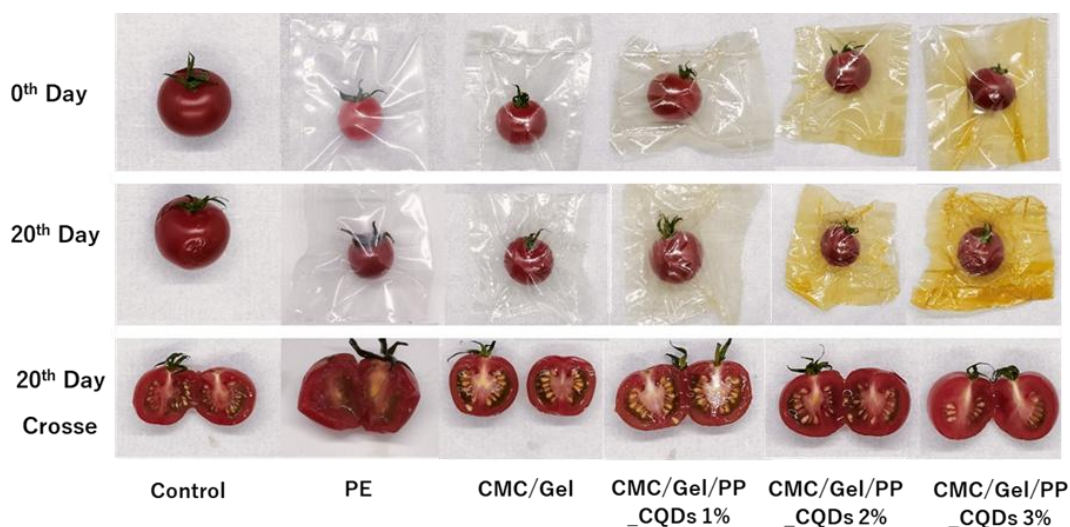


図 CQDs 含有フィルムによるミニトマトの保存効果（貯蔵 0 日、貯蔵 20 日）

（注）Control：無包装、PE：ポリエチレン、CMC/Gel：CMC／ゼラチンフィルム、CMC/Gel/PP_CQDs：カボチャ皮由来 CQDs 添加フィルム（1～3%）（出典（一部改変）：Reshaka Kavindi et al., Food Research International (2026), CC BY 4.0)

（４）おわりに

本研究では、カボチャ果皮由来カーボンドットを利用した天然由来の Green コーティング包装材を開発し、機械特性、バリア性、抗酸化性、抗菌性などの多機能化を実現した。また、青果物保存試験により実用的な品質保持効果を確認した。本成果は、未利用バイオマスの高付加価値化と脱プラスチックを同時に達成する新たな食品包装技術として有望であり、今後の持続可能な食品流通システム構築に寄与するものと期待される。

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性

本研究成果は、石油由来プラスチック包装からバイオマス由来材料への転換を促進する Green パッケージング技術として、パッケージ産業に対して極めて高い貢献可能性を有する。特に、これまで十分に活用されてこなかった未利用バイオマス資源であるカボチャ果皮を原料として天然由来カーボンドット (CQDs) を創製し、機能性材料として高度利用した点は、資源循環型社会の実現に向けた新たな価値創出の観点からも重要である。食品廃棄物の削減と高付加価値材料の開発を同時に達成する本アプローチは、持続可能なパッケージング産業における基盤技術となり得る。

本研究で開発した CMC/ゼラチン系複合フィルムは、CQDs の導入により構造的・機能的に大きく改善され、機械強度の向上、耐水蒸気性の向上、表面疎水性の付与といった包装材料に求められる基礎物性を高いレベルで満足することが明らかとなった。さらに、紫外線遮蔽機能 (UV-A 約 72%、UV-B 約 94%) や高い抗酸化能 (DPPH ラジカル捕捉率約 88%) を有しており、光劣化や酸化反応を抑制する機能を兼ね備える。これにより、従来の包装材料が担ってきた物理的保護機能に加え、食品品質の劣化を積極的に抑制する「アクティブ包装」としての機能を実現している点が特筆される。

また、実際の青果物としてミニトマトを対象とした保存試験においては、CQDs 複合フィルムによる包装が重量減少、硬度低下、pH 変化および微生物増殖を効果的に抑制し、他のバイオマス系包装材と比較しても優れた品質保持性能を示した。特に微生物数の顕著な低減は、食品の安全性向上と保存期間延長に直接寄与する成果であり、流通・販売段階におけるフードロス削減に対する実用的な効果が期待される。このように、本研究成果は環境対応と食品保存性能の両立という従来のトレードオフ関係を克服する技術として産業的意義が大きい。

さらに、CQDs は光励起により蛍光を発する特性を有するため、今後は食品の鮮度や品質変化を可視化するインテリジェント包装への応用展開も期待される。すなわち、本技術は単なる生分解性材料にとどまらず、環境負荷低減、食品ロス削減、さらには情報機能付与を統合した次世代型スマートパッケージングの基盤となるポテンシャルを有する。

以上より、本研究で開発した天然由来カーボンドットを活用した Green コーティング包装資材は、脱プラスチックとフードロス削減を同時に実現し得る革新的技術であり、今後のパッケージ産業における材料選定および設計思想の転換を促す中核技術として広範な応用が期待される。

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（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「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」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨 記載してください。）

原著論文 1 報（二重下線：研究代表者、一重下線：研究分担者、*：責任著者）

Reshaka Kavindi, M.A., Nkede, F.N., Meng, F., Wardak, M.H., Yan, X., Ahamed, T., Fumina Tanaka, Amaratunga, K.S.P., Fumihiko Tanaka*, Development of active food packaging using carboxymethyl cellulose/gelatin composites reinforced with carbon quantum dots derived from pumpkin peel waste, Food Research International, 237, 119344 (2026).