

氏名	蔡 馥 亘		
学位の種類	博 士 (農学)		
学位記番号	博 甲 第 8 5 8 7 号		
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Process Characteristics of Liquid Core Hydrogel Beads for Radish Leaves Utilization (ダイコン葉有効利用のための液体コアハイドロゲルビーズ生成特性)		
主査	筑波大学教授	博士 (農学)	北村 豊
副査	筑波大学教授	農学博士	宮崎 均
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	マルコス ネヴェス
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	吉田滋樹

## 論 文 の 要 旨

ハイドロゲルビーズ (Hydrogel Beads) は、目的成分と周囲環境との間の反応を抑制させるために、食品・医薬品産業でよく加工・製造されているカプセルの一種である。本研究は、農産副産物の一つであるダイコン葉の有効利用を目的として、その粉碎汁の作製を湿式粉碎すなわちマイクロウェットミリング法 (Micro Wet Milling) により行うとともに、得られた粉碎汁をビーズ化するために、スフェリフィケーション法 (Spherification) を適用し、イオンバインドポリマー (アルギン酸塩) の液体コアハイドロゲルビーズを作製するためのプロセス特性を実験的に明らかにしたものである。

著者はまず第1章で、研究の背景や目的を述べるとともに、ダイコン葉の粉碎やビーズ化のためのいくつかの異なる加工手法について、その利点や欠点を詳細に述べている。

第2章では、マイクロウェットミリング法によりダイコン葉部の粉碎汁が調製され、平均粒径 (D50) 及び粒径分布が調べられた。その結果、ビーズ化に適した粉碎汁を加工するには、マイクロウェットミリング法における円盤型砥石を 30rpm の回転速度で操作すれば、粉碎汁中の固形物粒度分布は約  $6.63 \mu\text{m}$  ~  $9.84 \mu\text{m}$  の範囲を取り、最小の D50 を得られることが示された。

第3章では、1回及び2回のゲル化における時間及び乳酸カルシウム濃度が液体コアハイドロゲルビーズの物理的特性及びインビトロの放出挙動に与える影響が解明された。すなわち応答表面法における中央複合体設計解析により、液体コアハイドロゲルビーズの物理化学的特性を評価した。実験では1回ゲル化の時

間・乳酸カルシウム濃度および2回ゲル化の時間・乳酸カルシウム濃度を独立パラメータとし、液体コアハイドロゲルビーズの7つの物理的特性すなわち直径、硬度、カプセル化効率、模擬胃液・小腸液におけるポリフェノール放出挙動、膨潤能力、真球度に及ぼす影響が調べられた。その結果、液体コアハイドロゲルビーズの最適作製条件として、1回ゲル化時間 23.99 分、乳酸カルシウム濃度 0.13 mol/L、2回ゲル化時間 6.04 分、乳酸カルシウム濃度 0.058 mol/L が得られた。またこれらの条件を用いてスフェリフィケーションを行ったところ、-2.47%~2.21%という低い誤差率で、硬度 25.5 N、カプセル化効率 85.67%、模擬胃液ポリフェノール放出 27.38%の液体コアハイドロゲルビーズを得ることができた。

第4章では、アルギン酸塩とアラビアゴム又はグリセリンとを組み合わせさせた液体コアハイドロゲルビーズを作製し、直径、硬度、カプセル化効率、膨潤能力、真球度を求めた。アルギン酸塩/アラビアゴムビーズの硬度は 6.53 N~26.68 N であり、アルギン酸塩/グリセロールビーズ(硬度 19.91 N~24.08 N)よりも著しく変化すること、前者のビーズは後者のビーズより、高いカプセル化効率及び低い膨潤能力を示すことが示された。また SEM 画像の観察により、アルギン酸塩/グリセロールビーズの表面には亀裂が存在し、硬度及びカプセル化率低下との関連性が示唆された。

第5章では、アルギン酸塩/アラビアゴムで作製したビーズの特性すなわちインビトロの放出条件下における硬度、膨潤能力、ポリフェノール放出挙動及び貯蔵安定性が調べられた。これによりアラビアゴムを 25% 配合した液体コアハイドロゲルビーズは、保存中の総ポリフェノールの損失速度定数が  $6.10 \times 10^{-3} \text{ day}^{-1}$ 、半減期が 113.63 日であることがわかった。また、ここで作製されたビーズの模擬胃液におけるポリフェノールの放出が最も遅く、またその放出挙動はフィックの拡散法則に従うことが示された。

第6章では、以上の研究成果がまとめられ、マイクロエットミリング法とスフェリフィケーション法の組み合わせと最適な操作により、ダイコン葉粉砕汁をコアとする物理化学的特性の優れたハイドロゲルビーズが作製できることが示された。

## 審 査 の 要 旨

年間140万トン近くが生産されるダイコンは、その加工・流通性向上のため、葉部が切除される場合が多い。このダイコン葉にはビタミンや食物繊維、ポリフェノールなどヒトの健康機能保持に有効とされる成分が多く含まれている。しかしダイコン葉は苦味が強く、食感も悪いため食材として有効活用されず、生産・加工の現場では多量に廃棄されている。これらの課題を克服する新たな食品形態として液体コアハイドロゲルビーズを提案するとともに、その加工のための技術、すなわちマイクロエットミリング法とスフェリフィケーション法に着目して、そのプロセス特性をゲルの各種物性評価を通じて解明した点が本研究の大きな特徴である。特に応答表面法により、スフェリフィケーション法の最適化を行った点は学術的に高く評価できる。また機能性成分の放出挙動を消化シミュレーション装置により明らかにするとともに、その貯蔵安定性を動力学的に解析して得られたパラメータは、ダイコン葉粉砕汁をコアとするハイドロゲルビーズ作製に有用な基礎データであり、農学や食品工業の発展に資するものである。以上の内容は博士論文に相応しいと判断された。

平成30年1月23日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。