

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：87402

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K13817

研究課題名（和文）多糖類複合ゲルの品質予測に関する研究

研究課題名（英文）Study of quality prediction of polysaccharide composite gel

研究代表者

奥村 加奈子（藤野加奈子）（FUJINO, Kanako）

熊本県産業技術センター（ものづくり室、材料・地域資源室、食品加工室）・その他部局等・研究主任

研究者番号：90636292

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：2種類のジェランガムと食塩を混合したゲルおよびこれらにホウレンソウピューレを加えゲル状の総菜を模した試料に、応答曲面法を利用して原料配合量からゲル状食品のテクスチャー特性の予測モデルを作成することが出来た。本手法で得られる予測モデルの妥当性は、かたさ（応力）においてあてはまりが良いことが明らかとなった。また、応答曲面からは配合量の変化による物性値への影響および原料間の相互作用を視覚的に把握することが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ゲル状食品は喫食者が安全に飲み込むことできる物性が求められると同時に、食品としておいしいと感じられる食感を有していることが求められることから、目的とする物性のゲルを得るに至るまでの試作回数が多くなる傾向にある。本研究では、統計的手法を用いてゲルの原料配合条件と物性の関係のシミュレーションや物性値の予測手法の適用性を検証し、原料間の交互作用や配合量の変更による物性の変化の傾向を可視化することができた。本手法をゲル化食品の試作設計時に適用することで、生産効率向上と多様な食感の創造による豊かな食生活の実現、QOLの向上に貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we made the predictive model for the texture characteristics of gel food using response surface method by samples adding spinach puree to a gel mixture of two types of gellan gum and salt. It was clarified that the validity of the prediction model obtained by this method shows a relatively good fit to hardness (stress). In addition, it was possible to visually comprehend the influence of the change in the blending amount on the physical property value and the interaction between the raw materials.

研究分野：食品科学

キーワード：テクスチャー 予測 応答曲面法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

複数のゲル化剤を組み合わせることで作られる複合ゲルは、弾力やクラッシュ感など多様な食感を食品に付与することが可能であり、デザートや飲料、介護食等に広く利用されている。食感の予測と設計を目的とした複合ゲルの物性と構造に関する研究は、これまでに国内外で数多く実施されており、近年は複合ゲルを嚥下困難者向けの食事形態に応用するための研究も盛んである。一方で、物性の予測モデルを作り開発過程の省力化を試みる検討はみられない。製造現場で生産される製品は試験用試料のように単純なマトリクスでは無く多種多様な原材料の配合比と製造条件の影響を受けていることから、その物性設計は容易でなく、試作に多くの時間と労力を割いている。

2. 研究の目的

求めている物性を有するゲルを調製するためにはどのような原料配合にすれば良いか、あるいはこの配合にするとどのような物性を示すのかを効率よく導き出すことが可能なシミュレーションを、品質工学分野において比較的限定的な実験回数で製品プロセスの最適化やばらつきを改善するための最適解の探索するために利用されている応答曲面法の利用により実現できないか検討することを目的とし、開発工程の省力化や食感改良を平易にすることを目指した。

3. 研究の方法

(1) 食塩添加ジェランガムゲルの物性予測モデル

食塩添加ジェランガムゲルの物性予測モデルの作成と評価

容器から取り出した際に保形することを必須条件に原料配合量範囲を設定し、調製条件の検討を行った。実験計画は検出力と予測分散値を比較し、用いる計画を選定した。試料は、選定した計画に基づいてネイティブ型 (HA) ジェランガム、脱アシル型 (LA) ジェランガム、食塩および RO 水を混合後、加熱冷却して調製したゲルとした。ゲルの物性は、2 バイトクスチャー試験を行いかたさ (応力) 凝集性、付着性、瞬間弾力性を測定、算出した。原料の添加量を因子、物性値を応答として交互作用を含む 2 次の回帰式を当てはめて予測式を求めた。得られた予測式の妥当性は、統計的妥当性の指標として用いられる Luck of Fit 検定によるあてはまりの検定、自由度調整済み寄与率、分散分析の p 値を用いて評価した。応答曲面に用いる近似多項式に次数の制限は無いが、近似多項式の次数や項数が増えることで近似の不安定化を招く恐れがあることが知られる。そのため、実用上で応答の傾向を精度よく把握できることを確認できれば、応答曲面法の有効性としては十分と考え、本検討では任意の原料配合量で調整した試料の物性実測値と予測式から得た予測値の差異からその妥当性について評価することとした。

食塩添加ジェランガムゲルの特性

食塩添加ジェランガムゲルの溶解・冷却時の粘度の変化を Rapid Visco Analyzer (RVA) で測定した。食事向けのゲル状食品は加温して提供されることも少なくないため、加熱後冷却を経てゲル化した試料を再加熱した際の最大荷重を破断強度測定で調べた。

(2) 惣菜ゲルを模したゲルの物性予測モデルの作成と評価

食塩添加ジェランガムを試料とした際と同様に、検出力と予測分散値を比較して選定した実験計画に基づいて試料を調整し、予測モデルの作成と評価を行った。ハウレンソウピューレの添加量は食味と保形の観点から、10~40%濃度に設定した。試料は HA ジェランガム、LA ジェランガムと食塩、ハウレンソウピューレと RO 水を混合して加熱冷却して調製したゲルとした。ゲルの物性は、かたさ (応力) 凝集性、付着性、瞬間弾力性をテクスチャー試験から求めた。予測モデル式の作成と妥当性の評価は前述の食塩原価ジェランガムゲルと同様の手順で行った。保存性と色調の変化が小さいことから近年市場で増加傾向にある冷凍介護食を想定し、試料を冷凍後、室温下で解凍した解凍後のゲルについても同様に評価した。

4. 研究成果

(1) 食塩添加ジェランガムゲルの物性予測モデル

食塩添加ジェランガムゲルの物性予測モデルの作成と評価

中心複合計画に基づき 15 種類の試料を調製した。かたさ (応力) と凝集性のモデルは統計的な妥当性の指標および検証試料の実測値と予測値の差異から有用性を確認した。瞬間弾力性のモデルでは、Luck of Fit 検定においてあてはまりの悪さが見られたが、自由度調整 R2 乗は 0.9 以上、分散分析の p 値は 0.05 未満であった。検証試料の実測値と予測値の乖離は 20% 範囲内にあり瞬間弾力性の傾向把握に使用可能であることが示唆された。付着性のモデルでは統計的に有意性がなく自由度調整済み寄与率が 0.5 以下であったことから、付着性には原料添加量以外の因子の関与が大きいことが示唆された。また、本手法により得た応答曲面から原料間の交互作用の予測が可能であり、HA ジェランガム、LA ジェランガム、食塩のいずれも添加量が多くなるほどかたさ (応力) の値は高値を示すこと。HA ジェランガムの添加量が多いほど凝集性が高値

を示すこと。HA ジェランガムが低濃度域では食塩の影響を受けて凝集性が低下するが、高濃度域での変化量は小さいこと。LA 添加量を増やすと凝集性が低下することを視覚的に把握することができた。

食塩添加ジェランガムゲルの特性

試料を攪拌しながら加熱・冷却と同時に粘度測定を行う RVA の測定結果において、加熱時の 80 付近および加熱後冷却時の 60~70 付近の粘度上昇は HA ジェランガムに食塩を添加した際のみ生じており、各ジェランガムの単独ゾルや LA ジェランガムと食塩の混合ゾルではこの温度帯での顕著な粘度上昇は見られなかった。また、LA ジェランガム単独では加熱冷却を経てゲル化しないのに対し、食塩添加時は冷却時に顕著な粘度上昇が起こりゲル化していることから、食塩は HA ジェランガムと LA ジェランガムの双方に対して加熱段階と冷却段階における粘度に影響を与えていることが示唆された。また、冷却後に凝固したゲルを再加熱するとゲルは軟化し、中心条件で調製した試料は 80 まで加温すると溶解して液状となったが、最大荷重は特定の温度帯で急激に減少するのではなく、温度上昇と反比例して直線的に低下することがわかった。

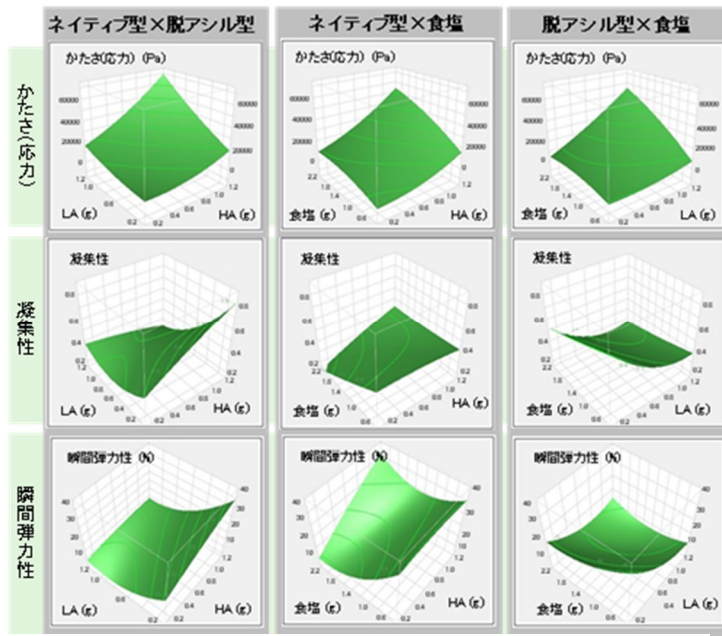


図1 配合原料量と各物性値の応答曲面

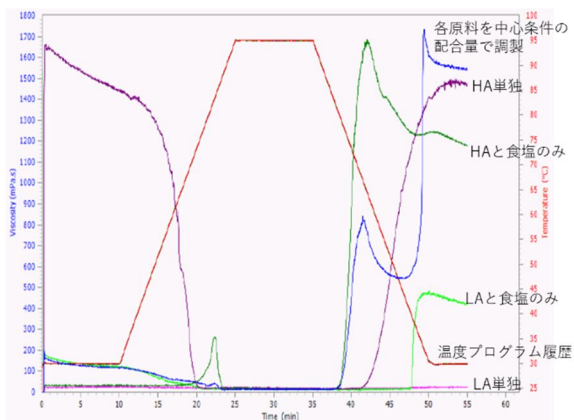


図2 加熱冷却時の粘度変化

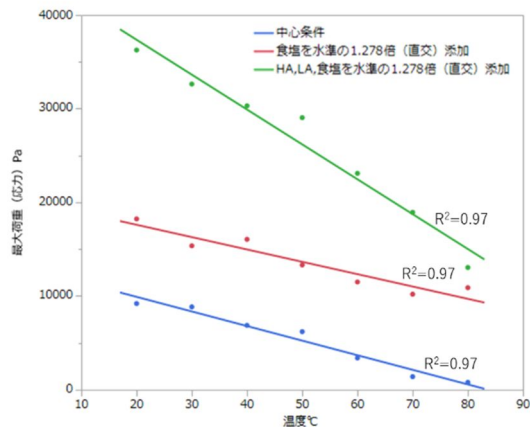


図3 再加熱時の最大荷重の推移

(2) 惣菜ゲルを模したゲルの物性予測モデルの作成と評価

検出力と予測分散値の比較結果から、実験計画には中心複合計画を採用し、25種類の試料を調製した。統計的に有意性が認められた予測式は、未冷凍のゲルのかたさ(応力)、付着性および解凍ゲルの付着性のモデルであった。解凍ゲルのかたさの予測式は、Luck of Fit 検定においてあてはまりの悪さが見られたが、自由度調整 R2 乗値は 0.88 以上、分散分析の p 値は 0.001 未満であった。予測値と実測値の差はおおむね 30% 未満の範囲内にあり、応答曲面法は複数のゲル化を併用して調製したゲル状食品のかたさの傾向を把握する上で有効なツールになり得ることが示唆された。一方で、ハウレンソウピューレの添加量が 30% 濃度を超過すると予測値と実測値の差異が増加する傾向が見られた。HA ジェランガムはカチオン濃度の増加と共にゲル強度が高くなる一方で一定濃度を超えるとゲル強度が低下することが知られる。また、応答曲面から冷凍前試料、冷凍後解凍試料ともにハウレンソウピューレは HA ジェランガムと LA ジェランガムのいずれとも、かたさ(応力)においては交互作用を示さず、冷凍前試料の食塩とハウレンソウピューレのかたさにおいてのみ交互作用が存在することが示されていた。今後は、得られた結果をふまえ、得られた予測モデルに追加実験結果を取り込み、モデルを拡張させることでより予測精度を高める最適化設定の有用性についても検討する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤野加奈子、佐藤崇雄
2. 発表標題 応答曲面法によるゲル状食品のテクスチャー推定
3. 学会等名 日本調理科学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤野加奈子、佐藤崇雄、三牧奈美
2. 発表標題 応答曲面等を用いた食塩添加ジェランガムゲルのテクスチャー予測
3. 学会等名 日本調理科学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

令和4年度 九州・沖縄 産業技術オープンイノベーションデー（2022年10月） 各県公設試 技術シーズ紹介「統計的手法を利用したゲルのテクスチャー予測」

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	佐藤 崇雄 (Satoh Takao) (80467977)	熊本県産業技術センター・食品加工技術室・研究参事 (87402)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------