

[1]

氏名(本籍)	石原 三妃 (東京都)		
学位	博士 (学術)		
学位記番号	博甲第 20 号		
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 8 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当		
論文題目	食物繊維添加食品ゲルの力学特性と官能特性		
論文審査委員	(主査)	教授	福場 博保
		教授	木村 修一
		教授	小此木 成夫
	大阪市立大学	教授	西成 勝好

論文要旨

加齢に伴う身体機能の低下や歯の欠損により、咀嚼が困難な食品は増加する。従って、高齢化社会の進行により、食べやすい形態の食品の需要は高まると考えられる。特に、食物繊維を多く含む食品には咀嚼の困難な食品が多く、また、1日の目標摂取量も多く策定されているために、身体機能の低下した高齢者向け食物繊維食品の要求は高まると予想される。咀嚼し易く、食べやすい食品として、ゼリーが挙げられる。ゼリーの嗜好性はテクスチャーにより大きく左右されるが、用いるゲル化剤や副素材によりその性状は変化する。

本研究では、摂取量の不足が報告されている食物繊維を取り上げ、食物繊維混合ゲルの性状について、主に力学特性と官能特性から検討した、併せて調理の簡便化を図るために、冷凍によるゲルの性状変化についても検討した。ゲル化剤は主にジェランガムを用い、食物繊維は大豆食物繊維とポリデキストロースを用いた、また、冷凍解凍によるゲルの力学特性の変化を抑制するために、増粘剤としてグアーガム、 ι -カラギーナン、ローカストビーンガムを用いた。機器測定では、大変形領域の破断特性、微小変形領域の動的粘弾性の測定を行った。熱特性の検討のために DSC 測定を行い、各々のゲルについて官能評価も行った。また、冷凍解凍によるゲルの性状変化に及ぼす増粘剤の影響を検討するために、離漿量の測定、冷凍時の温度測定も併せて実施した。

0.4%、0.6%、0.8%のジェランガムに0~12%まで大豆食物繊維を混合したゲルは、大豆食物繊維混合量の増加に伴い貯蔵弾性率、破断応力、破断エネルギーは急激に増加し、最大値をとったあと減少した。破断歪みは、大豆食物繊維混合量が増加すると減少した。温度依存性の検討のために、10~60℃までの温度範囲で貯蔵弾性率を測定した結果、大豆食物繊維混合量が増加すると、測定温度の上昇に伴う貯蔵弾性率の低下が抑制された、DSC 測定から得られた、降温 DSC 曲線と昇温 DSC 曲線において、各曲線のピークは大豆食物繊維混合量の増カ加により、高温側にシフトし、熱安定性の高いゲルになった。ジェランガムのゲル化を十分促進させる濃度の CaCl_2 と NaCl を添加したゲルでは、大豆食物繊維の混合により貯蔵弾性率、破断応力、破断エ

エネルギーは減少した。官能評価において、大豆食物繊維混合量が高くなると、経口の「付着性」は有意 ($p < 0.05$) に高く評価された。同じく食物繊維であるポリデキストロースを 0 ~ 27% まで混合したジェランガムゲルにおいては、ポリデキストロース混合量が増加すると、ジェランガムゲルの貯蔵弾性率、破断応力、破断エネルギーは徐々に増加した。このポリデキストロース混合による力学特性の変化は、水素イオン濃度の増加によるものと考えられた。低濃度の CaCl_2 と NaCl 添加ゲルでは、ポリデキストロース混合により貯蔵弾性率、破断応力、破断エネルギーは増加し、最大値を示し、それ以上のポリデキストロース量の混合で減少した。官能評価は、「色の濃さ」、「つや」、「においの強さ」、「スプーンで押したときの弾力性」、「スプーンでつぶしたときのスプーンへの付着性」、経口の「かたさ」、「もろさ」、「付着性」、「飲み込み易さ」、「総合評価」の 10 項目について同点無しの順位法を用いて実施し、評価項目間の関係について検討した。特に「飲みこみ易さ」と経口の「付着性」の間には相関 (-0.74 , $p < 0.05$) が認められ、付着性の高いゲルは飲み込みにくいと評価されていることが確認できた。

次に、ゼリーに適した混合実験計画法を、ミルクゼリーとレモンゼリーを用いて検討した。実験計画法は、Scheffé の 3 成分の単体格子計画の拡張法を用い、最適モデル式の選択には、(AIC) 赤池の情報処理基準を使用した。モデル式の他に近似式を求め、モデル式は、実験領域に等高線を描くために、また、各々の因子の影響を直感的に理解するために近似式を用いた。ミルクゼリーは、ジェランガム、粉ミルク、甘味料であるパルスweetを 3 成分として、Scheffé の三角形の領域中に長方形の実験領域を設け、7 点尺度により「かたさ」、「なめらかさ」、「ミルク風味」、「甘味」の 4 項目について官能評価を行った。その結果、機器測定「硬さ」、官能評価「ミルク風味」は粉ミルクよりジェランガムの影響が大きく、機器測定「かたさ」は、官能評価の全ての項目との間に危険率 1 あるいは 5% で相関が認められ、フレーバー抑制の効果がみられた。レモンゼリーは、Scheffé の三角形の領域中に逆三角形の実験領域を設定し、ジェランガム、クエン酸、パルスweetを 3 成分として官能評価を行った。評価は「かたさ」、「なめらかさ」、「レモン風味」、「酸味」、「甘味」の 5 項目で行った。その結果、「レモン風味」の評価は、クエン酸と甘味料によって影響を受け、「酸味」の評価は主にクエン酸のみで評価されていた。この 2 種のゼリーの実験結果より、混合する材料の配合割合の幅が異なる実用的なゼリーの検討に、Scheffé の単体格子計画の拡張法が有効であることが確認された。

最後に、食品ゲルの冷凍解凍処理による、テクスチャーの劣化抑制に役立つ増粘剤の効果について、寒天ゲルを用いて検討した。その結果、ローカストビーンガムを添加すると、冷凍解凍による力学物性の低下が軽減され、冷凍解凍処理による離漿量の増加の抑制にはローカストビーンガムと ι -カラギーナン効果があり、一方、グアーガムは冷凍解凍処理による劣化抑制については効果が認められなかった。

以上の一連の実験結果をふまえ、食物繊維混合ジェランガムゲルの冷凍解凍処理による品質劣化抑制に及ぼす、 ι -カラギーナンとローカストビーンガムの影響を、Scheffé の 3 成分の単体格子計画の拡張法を用いて、新たに設定したひし形の実験領域で検討した。食物繊維無添加、大豆食物繊維添加、ポリデキストロース添加のいずれのゲルも、力学特性の劣化を抑制するには、 ι -カラギーナン添加で効果があると考えられた。

このように、全ての素材が食物繊維である食物繊維混合ゼリーにおいて、食物繊維摂取を目的とした大豆食物繊維、ポリデキストロースはいずれもジェランガムのゲル化を促進し、ゲル化に対する協調効果が認められ、素材の組み合わせとしては有効であることが確認できた。特に大豆食物繊維については熱に対する安定性を高める作用もあり、調理性が高められた。ジェランガムゲルの冷凍解凍処理による品質劣化防止に対しては、 ι -カラギーナンが有効であることが確認された。しかしながら、大豆食物繊維混合により付着性は増加し、嗜好性が低下したことから、混合割合は6%程度までが適当であり、一方ポリデキストロースについては比較的少量の混合が期待できる結果が得られた。また、実用的な混合実験について Scheffé の3成分の単体格子計画の拡張法は有効な実験手段であることが確認された。

審査報告要旨

加齢に伴う身体機能の低下や歯の欠損により、咀嚼が困難な食品は増加する。特に、食物繊維を多く含む食品には咀嚼の困難な食品が多く、また、1日の目標摂取量も多く策定されているため、身体機能の低下した高齢者向け食物繊維食品の必要性は高い。一方、咀嚼し易く、食べやすい食品としてはゼリーが挙げられ、ゲル化剤は咀嚼、嚥下困難者用食品素材として利用されている。

上述のような社会的背景を踏まえ、本論文では食物繊維摂取食品の開発を目的に、食物繊維混合ゲルおよび調理の簡便化を図るための冷凍食物繊維混合ゲルを取りあげている。試料には、食物繊維として大豆食物繊維とポリデキストロース、ゲル化剤としてジェランガム、冷凍解凍による劣化抑制剤としてグアーガム、 ι -カラギーナン、ローカストビーンガム等を使用している。測定は、大変形領域の破断特性、微小変形領域の貯蔵弾性、示差走査熱量曲線等について、また官能評価を併せて行い、以下のような結果を得ている。

0～12%までの大豆食物繊維を、0.4, 0.6, 0.8%の各ジェランガムに混合すると、破断応力、破断エネルギー、貯蔵弾性率は急激に増加し、最大値に達した後減少した。熱特性の検討のために、10～60℃の温度範囲で貯蔵弾性率を測定した結果、大豆食物繊維が増加すると、貯蔵弾性率の温度依存性の低下は抑制され、降温示差走査熱量曲線と昇温示差走査熱量曲線のピークは高温側にシフトし、熱安定性の高いゲルとなった。ジェランガムのゲル化を十分促進させる濃度のCaCl₂とNaClを添加したゲルでは、大豆食物繊維の混合により破断応力、破断エネルギー、貯蔵弾性率は減少した。経口の官能評価による「付着性」は、大豆食物繊維混合量が高くなると有意に高く(P<0.05)評価された。

同じく食物繊維であるポリデキストロースを0～27%まで混合したジェランガムゲルでは、ポリデキストロースの混合量が増加すると、破断応力、破断エネルギー、貯蔵弾性率は徐々に増加し、この力学特性の変化は水素イオン濃度の増加によるものとしている。低濃度のCaCl₂とNaCl添加ゲルでは、ポリデキストロースの混合により破断応力、破断エネルギー、貯蔵弾性率は緩慢に増加し、最大値に達した後減少した。10項目について同点無しの順位法を用いた官能評価では、特に「飲み込み易さ」と経口評価の「付着性」の間に相関が認められ、付着性の高いゲルは飲み込みにくいことを指摘している。

次いで、ミルクゼリーとレモンゼリーを用いて、Schefféの3成分の単体格子計画の拡張的方法を用いた実用的な実験計画について検討している。最適モデル式を選択するには、赤池の情報量処理基準(AIC)を使用し、実験領域に等高線を描く目的でモデル式を求め、各々の因子の影響を直感的に理解するためには近似式を算出している。ミルクゼリーでは、ジェランガム、粉ミルク、甘味料であるパルスweetを3成分とし、Schefféの三角形の実験領域内に新たな長方形の実験領域を設定して検討を行い、さらに、レモンゼリーでは同じくSchefféの実験領域内に逆三角形の実験領域を設定し、ジェランガム、クエン酸、パルスweetを3成分として検討した結果、混合する材料の配合割合の幅が異なる実用的なゼリーの実験計画として、Schefféの単体格子計画の拡張的方法は有効であることを確認している。

また、食品ゲルの冷凍解凍処理によるテクスチャーの劣化抑制に役立つ増粘剤の効果について、寒天ゲルを用いて検討し、ローカストビーンガムでは冷凍解凍による力学物性の低下が軽減され、ローカストビーンガムおよび ι -カラギーナンでは離漿の抑制効果を認めている。

前述の一連の実験結果を踏まえ、食物繊維混合ジェランガムゲルの冷凍解凍処理による品質劣化抑制に及ぼすローカストビーンガムと ι -カラギーナンの影響を、前述のSchefféの拡張的方法を用い、新たに設定したひし形の実験領域で検討を行い、食物繊維無添加、大豆食物繊維添加、ポリデキストロース添加のいずれのゲルも、力学特性の劣化を抑制するには、 ι -カラギーナンで効果があるとの結論を得ている。

以上のように、本論文では、全ての素材が食物繊維である食物繊維混合食品ゲルについて、①食物繊維摂取を目的とした大豆食物繊維、ポリデキストロースはいずれもジェランガムのゲル化を促進し、ゲル化に対する協調効果が認められ、素材の組み合わせとしては有効であること、②特に大豆食物繊維については熱に対する安定性を高める作用があり、調理性が高められたこと、③食物繊維混合ジェランガムゲルの冷凍解凍処理による品質劣化防止に対しては、 ι -カラギーナンで有効であること、④大豆食物繊維の混合割合は6%程度までが妥当であり、ポリデキストロースは比較的多量の混合が期待できることを示し、併せて⑤Schefféの3成分の単体格子計画の拡張的方法は実用的な実験系において有効な実験計画であることを確認している。

これらのことから、審査員一同は全員一致をもって、本論文が博士(学術)の学位を授与するに値するものと判断した。