

水分補給剤の開発

蓮 井 裕 二*

Development of the water replenishing jelly

Yuji HASUI*

Key words : 水分補給剤

半固形食品

寒天

κ -カラジナン

The water replenishing jelly

Semi-solid foods

Agar

κ -Carrageen

はじめに

近年、夏の高温異状などの自然環境異変により、熱中症等で入院する高齢者が増加傾向にある¹⁾。特に高齢者の場合、発汗によって、脱水が起きても直ちに脱水量に相当する水分を摂取することはなく、その後の食事等と共に脱水を回復することが多い。発汗時に、急に水分のみを補給すると、血液は一時的に希釈され、この現象に対して腎臓は血液の濃度を正常に保とうと働き、補給した水分を尿として放出することになる。その結果、水分を摂取したのにもかかわらず、脱水の回復は遅れやすい。したがって、水分の補給剤は急激に血液の濃度を希釈させない適度なミネラルを添加した、穏やかに時間をかけて吸収させる材料が求められる。また、高熱等により、体温と共に腸内の温度も同時に上昇し、腸内細菌の毒素エンドトキシンが吸収され、熱中症を悪化させることが明らかになっている²⁾。現在、水分補給剤も数種類市販されており、その材料はペクチン、寒天、グアーガムなどが広く使われている。本研究では、腸内の温度が水の場合よりも低く維持され、腸内環境を改善するために、我々が開発した乳酸菌を増加させ、黄色ブドウ球菌の増殖を抑制する作用を持つ機能性オリゴ糖を添加することで、これまでの水分補給剤^{3) 4)}よりも、より幅広く腸の健康を維持する水分補給剤を考案した。複数の多糖

類の中から水分保持性の高い官能基として硫酸基を多く持った κ -カラジナンを選抜し、この κ -カラジナンと相性の良い寒天の調合を行った。それらの溶解温度により、ゲルの物性が変化することが分かったので、多糖、機能性オリゴ糖の調合割合、溶解温度の検討を行い、半固体の物性を示す複合的材料の開発を目指し、一応の結果が得られたので報告する。

実験方法

1. 寒天及び κ -カラジナンの調合割合

100mlの蒸留水に寒天、 κ -カラジナンを表1の割合で溶かし、ポカリスエット粉末を規定の半量を加え、85℃で10分間加熱して完全に透明になってから、ウォータバスに氷を加えた水中で急冷し、ゲル化し、調合ゲルの機械的物性を測定した。

テクスチャーは山電株式会社クリープメータRE2-33005Bを使用し、測定は直径40mm、深さ15mmのステンレスシャーレに充てんした試料に対して、直径16mm、高さ25mmの樹脂製プランジャーにて、圧縮速度2.5mm/sec、クリアランス5mmで2回圧縮測定し、得られたテクスチャー曲線から硬さ、付着性、凝集性を求めた。

2. 溶解温度によるゲルの機械的物性特性

官能試験の結果からゲルの調合割合は、さらに微調整して硬さを低下させることが望ましいとい

* 東北女子大学

表 1. 寒天及びκ-カラジナーンの調合割合

| | A (%) | B (%) | C (%) | D (%) |
|-------|---------------------|----------------|--------------------|------------|
| 寒天 | 0.2 | 0.35 | 0.4 | 0.5 |
| カラジナン | 0.5 | 0.35 | 0.3 | 0.2 |
| 官能試験 | 柔らかすぎる、口腔内で直ちに液状になる | 半固体としてちょうど良い硬さ | 水持ちが良いが、やや滑らかさに欠ける | 半固体にしては、硬い |

う結果を得たので、寒天:κ-カラジナン=0.35:0.4の調合割合に変更した。100mlの蒸留水に寒天0.35g、κ-カラジナン0.4g溶かし、次に超音波処理ペクチンペクチンオリゴ糖を0.5g添加し、75℃、85℃、90℃の各温度で10分間加熱し、透明になってからウォーターバスに氷を加えた水中で急冷よってゲル化し、クリーブメータにより測定した。

3. 超音波処理ペクチンオリゴ糖の製造

ペクチン0.5%溶液200mlに濃塩酸を加えて0.25%塩酸溶液とし、これをオートクレーブにて121℃、20分間加圧、加熱した。これにアルコールを加え約70%アルコール沈澱を行い、遠心分離機によって得られたオリゴ糖を塩酸処理オリゴ糖とした。次にこの塩酸処理ペクチンオリゴ糖を国際電気株式会社の超音波処理器25Khzで10時間処理し、その間、経時的に5mlずつサンプリングし、フェノール硫酸法⁴⁾、ソモギーネルソン法⁴⁾によって、全糖量、還元末端糖量を測定し、オリゴ糖の重合度を求めた。オリゴ糖の製造法は図1の通りである。この超音波処理したオリゴ糖を超音波処理オリゴ糖と呼ぶことにした。

4. 全糖及び還元糖の定量⁵⁾

a. フェノール硫酸法による全糖量の測定

超音波処理中に経時的にサンプリングしたペクチンオリゴ糖0.5%溶液を2倍希釈し、これより、0.1mlとり、1.9mlの水に加えた。これに80%フェノールを0.05ml加え、濃硫酸を定法に従って添加し、OD₄₉₀で測定して検量線より値を求めた。

b. ソモギーネルソン法による還元末端等量の測定

超音波処理中に経時的にサンプリングしたペクチンオリゴ糖0.5%溶液を2倍希釈し、1mlを試

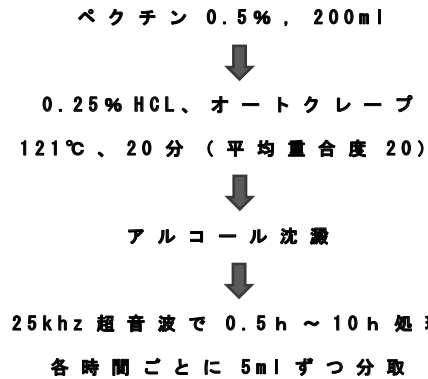


図1. 超音波処理ペクチンオリゴ糖の製造

料溶液とし、定法に従い、還元糖と銅試薬を沸騰水中で10分間反応させ、ネルソン試薬によって発色させ、OD₅₀₀で吸光度を測定し、値を求めた。

5. ゲル及び水の温度上昇比較（室温28℃）

ゲルは200mlのビーカに水100mlを加え、寒天0.35g、κ-カラジナン0.4gを溶かし、10分間加熱、冷却したものを2組と200mlのビーカに蒸留水100mlを加えたものを2組を一昼夜、水、ゲル共に10℃の冷蔵庫に放置し、次に高さ1mのテーブルにて、同じ温度で冷却した温度計2本を各水、ゲルの真ん中に位置するようにつるし、経時的に温度を測定した。

6. 超音波処理ペクチンオリゴ糖による黄色ブドウ状球菌の増殖抑制

黄色ブドウ状球菌 (*staphylococcus aureus*) 培地は7.5%食塩添加した卵黄加マンニット食塩寒天培地（栄研化学株式会社）を使用した。培地には、超音波処理ペクチンオリゴ糖0.5%殺菌溶液

表2. 各調合ゲルにおける機械的物性特性

| | A | B | C | D | 市販ゼリー |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 硬さ (10^4N/m^2) | 0.114 | 0.076 | 0.333 | 0.514 | 0.731 |
| 付着性 (J/m^3) | 5.334 E+01 | 1.418 E+02 | 1.789 E+02 | 3.375 E+02 | 1.619 E+02 |
| 凝集性 | 0.569 | 0.781 | 0.414 | 0.366 | 0.336 |

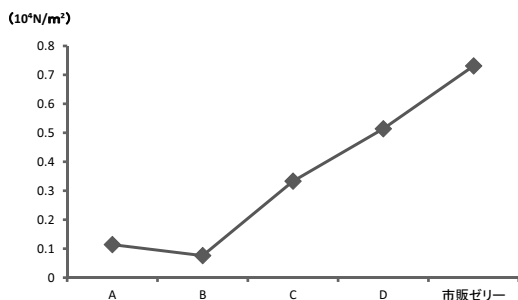


図2. 各調合ゲルにおける硬さ

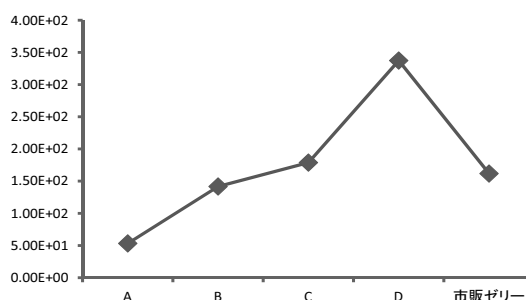


図3. 各調合ゲルにおける付着性

で作成した各希釈溶液 ($\times 10$ 、 $\times 10^3$ 、 $\times 10^5$) をそれぞれ 1ml ずつ 20ml の培地に加えて冷却し、雑菌が生えてこないことを確認してからこれらに黄色ブドウ状球菌をコンラージ棒で塗布した。これ等を 38℃ で 48 時間培養し、黄色いコロニーの量及び培地中のフェノールレッド指示薬の赤色から黄色への変化により、黄色ブドウ状球菌の増殖を確認した。

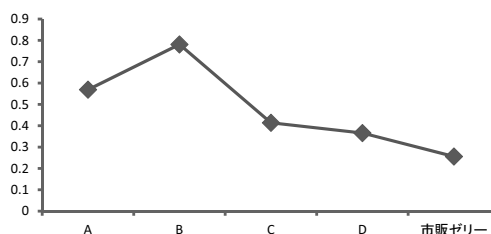


図4. 各調合ゲルにおける凝集性

7. 超音波処理ペクチンオリゴ糖による乳酸菌の増殖効果

乳酸菌は明治フードマテリア製のビフィドバクテリウム ロンガムを使用し、培地はビフィドバクテリウム ロンガムに選択性のある LBS を使用した。培地はオートクレーブにより 121℃ で 15 分間加圧、滅菌し、これに超音波処理、殺菌ペクチンオリゴ糖 0.5% 溶液で作成した各希釈溶液 ($\times 10$ 、 $\times 10^3$ 、 $\times 10^5$) を 1ml ずつ 20ml の培地に添加し、50℃ に冷却してから、ビフィドバクテリウム ロンガム (0.2g/100ml) を 2ml 加え、38℃ で 48 時間培養した。培地が乳酸菌代謝産物により、紫色から黄色に変化すること及びコロニーの量でオリゴ糖無添加培地と比較して、乳酸菌の増

加の有無を判定した。

実験結果

1. 寒天及び κ - カラジナーンの調合割合

寒天、 κ - カラジナーンの全量を 0.7% とし、表 1 の割合で溶かし、85℃ で 10 分間加熱して急冷冷却した。(A) から (D) までの寒天、カラジナーンの調合割合では、6 人 (20 歳) の官能試験の結果は表 1 の通りである。水分補給剤としての半固体の物性に近い値を示した B の評価が最も高かった。

2. 各調合ゲルにおける機械的物性特性

結果は、表 2、図 2、図 3、図 4 のようであった。A、B の調合は嚥下困難者用食品基準 I、II

表3. 溶解温度によるゲルの機械的物性特性

| | A' (75℃) | B' (85℃) | C' (90℃) | 市販ゼリー |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 硬さ (10^4N/m^2) | 0.207 | 0.162 | 0.657 | 0.731 |
| 付着性 (J/m^3) | 2.433 E+02 | 1.625 E+02 | 8.492 E+02 | 1.619 E+02 |
| 凝集性 | 0.418 | 0.597 | 0.355 | 0.336 |
| 官能試験 | もったりした感じ 水持ちがよく、半固体としてちょうど良い硬さ やや硬い | | | |

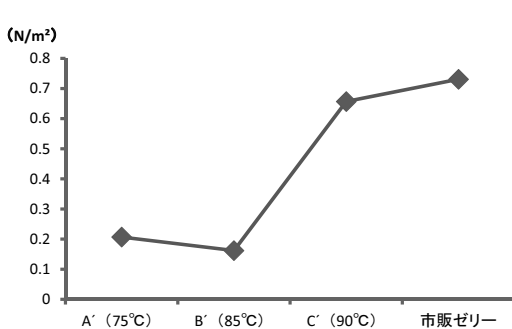


図5. 溶解温度によるゲルの硬さ

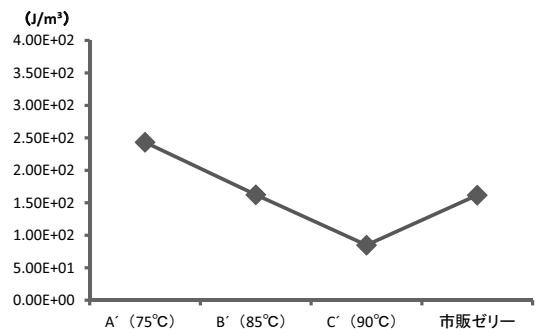


図6. 溶解温度によるゲルの付着性

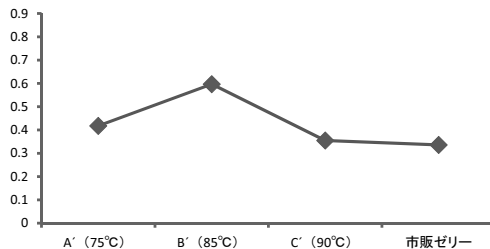


図7. 溶解温度によるゲルの凝集性

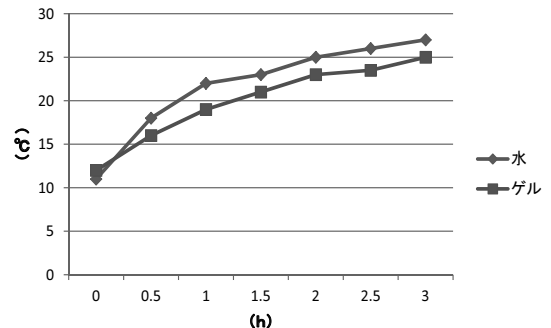


図8. ゲル及び水の温度上昇比較

の硬さにおいてわずかに低下していた。C、Dは基準Ⅰ、基準Ⅱを満たしており、嚥下困難者用食品基準Ⅰ、Ⅱ該当食品といえる。本実験ではトリアスロン競技に長年携わってきたアスリートのアドバイスを参考にさせてもらった。激しい運動中では、嚥下困難者用食品基準Ⅰ、Ⅱよりもさらに柔らかく、より、水分が吸収しやすい状態のものが望ましいということだったので、硬さと付着性のバランスを考慮しながら、基準値よりも数値

の低い水分補給剤の改良を重ねた。

3. 溶解温度によるゲルの機械的物性特性

調合割合を寒天: κ -カラギーナン=0.35:0.35から0.35:0.40に変更した結果は表3のようである。75℃から90℃での調合多糖の溶解温度によるゲルの物性の変化については図5、図6、図7

表4. オリゴ糖の全糖及び還元糖の定量

| 時 間 | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 |
|-------------------|-------|-------|------|------|-------|------|
| OD ₄₈₀ | 1.32 | 1.32 | 1.31 | 1.34 | 1.32 | 1.33 |
| 全糖(mg) | 5130 | - | - | - | 5130 | - |
| OD ₅₀₀ | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.40 | 0.35 |
| 還元糖(mg) | 183.2 | 183.2 | - | - | 523.5 | - |
| 平均 重合度 | 28 | - | - | - | 9.8 | - |

のようであった。85℃で形成されたゲルが最もやわらかく仕上がり、学生6人(20歳)による官能試験では水分保持に優れ、半固体としてちょうど良い硬さという最も高い評価を得たので、水分補給剤の寒天、 κ -カラジナンの溶解温度は85℃に決定した。

4. ゲル及び水の温度上昇比較

温度測定結果は図8のようになった。10℃の冷蔵庫においてゲルは水よりも0.2℃高い状態にあり、28℃の部屋に放置した後も2度ほど低い状態で推移し、4時間後に水ゲルともに28℃になった。この結果から、ゲルは水よりも温度上昇は起きにくく、近年のように高温の夏ではこのような水分補給剤が求められる。

5. オリゴ糖の全糖及び還元糖の定量⁴⁾

オリゴ糖についてフェノール硫酸法とソモギーネルソン法により、全糖量と還元糖量の測定を行った。結果は表4、図9の通りである。塩酸処理オリゴ糖の重合度は25となり超音波処理6時間後のオリゴ糖の重合度は9.8となった。

6. 超音波処理ペクチンオリゴ糖による黄色ブドウ状球菌の増殖抑制

超音波処理ペクチンオリゴ糖添加培地では黄色ブドウ状球菌(*staphylococcus aureus*)は全く生えていなかった。図10の通りである。このペクチンオリゴ糖は黄色ブドウ状球菌に対して殺菌作用を保持しているのか、菌の抑制効果を保持しているのかはまだ不明である。

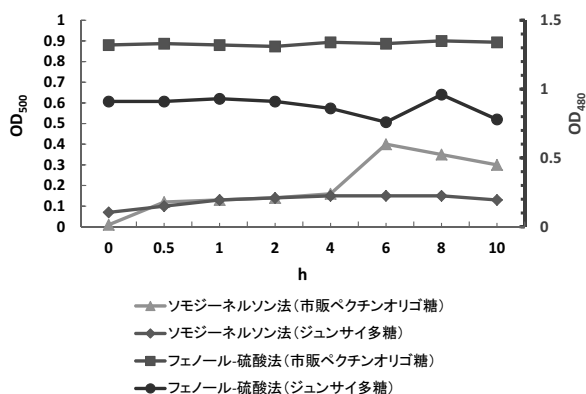


図9. ペクチンオリゴ糖及びジュンサイオリゴ糖の超音波処理における全糖、還元糖の変化

左縦軸はソモギーネルソン法による還元糖の測定
右縦軸はフェノール硫酸法による全糖量の測定

7. 超音波処理ペクチンオリゴ糖による乳酸菌の増殖効果

超音波処理ペクチンオリゴ糖添加乳酸菌培地では、乳酸菌は倍近く増殖していた。図11の通りである。このペクチンオリゴ糖はプレバイオテックスとして腸内環境を整えることが期待され、これを水分補給剤に添加することで、これまでにない水分補給剤が開発されたと考える。

考 察

水分補給剤の機械的物性の定義はまだ定かではない。特に半固体⁶⁾の定義についても厚労省から出されているわけでもないので、当分の間、混乱が生ずるかもしれない。さて、我々は、一応嚥下障害者用食品許可基準を目標に水分補給剤の研

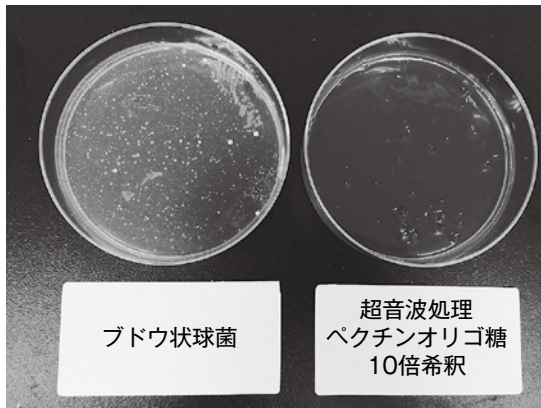


図10. 超音波処理ペクチンオリゴ糖による黄色ブドウ状球菌の増殖抑制

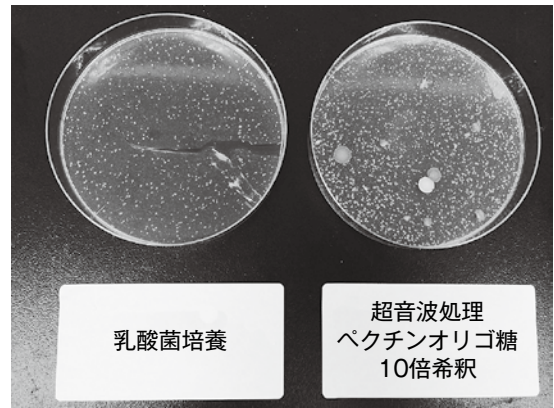


図11. 超音波処理ペクチンオリゴ糖による乳酸菌の増殖効果

究を重ねてきた。実際に我々が開発した水分補給剤と市販されているとろみ食品ではテクスチャーに大きな相違があった。市販とろみ食品の多くが難消化性デキストリン、ペクチンを採用しており、食品を飲み込む際に切れの悪さを感じる。これは付着性が基準の範囲ではあるが、その値はわずかに高く、後味の悪さに繋がるようである。許可基準Ⅰでは硬さ $2.5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 、付着性 $4 \times 10^2 \text{ J/m}^3$ 以下、凝集性 $0.2 \sim 0.6$ である。本研究での官能試験の結果、開発したゲルの硬さは $1.6 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ となり、やや柔らかく、水分を多く含む水分補給剤として適しているという評価であった。また、付着性は 1.625×10^2 で許可基準値の $1/2$ 以下であり、この物性が飲み込み時の後味により影響を与えていると考えられる。凝集性は嚥下障害者用食品許可基準値の上限に近い値を示すが、飲み込みやすさに影響を与えているように思われる。一方、表2のC及びDの物理特性は、硬さ $3300 \sim 5100 \text{ N/m}^2$ 、付着性 $178.9 \sim 337.5 \text{ J/m}^3$ 、凝集性 $0.414 \sim 0.366$ という結果となり、嚥下障害者用食品許可基準Ⅰ、Ⅱの値を示した。市販ゼラチンゼリーよりやや柔らかい物性を示し、これはゼリーと水分補給剤の使用目的の違いによる言える。

文 献

1. 国立環境研究所編集委員会 (2009)
2. 我那覇仁 (2006) 小児疾患シリーズ熱中症 臨床医薬 22: 55-61, 2006
3. 柏下淳 (2003) 摂食嚥下障害者に対する市販水分補給製品の評価岐阜市立女子短期大学研究紀要第52. p139~141
4. 藤谷順子, 宇山理沙, 大越ひろ, 柏下淳, 小城明子, 高橋浩二, 前田広士, 藤島一郎, 植田耕一郎, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整色分類 (2013) 日摂食嚥下リハ誌 p255~267
5. 福井作蔵 (1990) 還元糖の定量法 (第二版) 学会出版センター
6. 丸山道生 (2012) 液体流動食の半固形化ハンドブック (第一版) 株式会社ジェフコーポレーション