Article

Viscoelastic Behavior and Sensory Evaluation of Thickening Sol-Style Foods Prepared with the Use of Thickening Agents Made of Mixed Starch-Guar Gum

Tomoko TAKAHASHI^{*1}, Aki KAWANO^{*2}, and Hiro OGOSHI^{*2}

^{*1} Faculty of Human Life, Jumonji University, Niiza, Saitama 352-8510, Japan

^{*2} Faculty of Home Economics, Japan Women's University, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8681, Japan

Consistent thickening sol-style food samples having hardness equivalent to salad oil and plain yoghurt, respectively, were prepared with the use of thickening agents made of mixing starch and guar gum in various composition ratios. The correlation between the viscoelastic behavior of these samples and such sensory values as “ease of swallowing” was studied. An effective way of assessing the “in-mouth sensation” and “ease of swallowing” of these consistent sol-style food samples was to examine the $\tan \delta$ of the dynamic viscoelasticity of the sample in the linear region, as well as the distortion dependence and, in particular, to study the torque and attenuation status of G' in the non-linear region. The “ease of swallowing” of the samples can be estimated to a certain extent from the G' and $\tan \delta$ on the low frequency side.

Key Words: Mixed starch-guar gum thickening agent / Dynamic viscoelasticity / Sensory evaluation / Strain dependence / Frequency dependence

デンプン－グアーガム混合系増粘剤により調製した粘稠ゾル状食品の粘弾性挙動と官能評価

高橋 智子^{*1}, 川野 亜紀^{*2}, 大越 ひろ^{*2}

(原稿受理：2004年12月13日)

1. 緒 言

前報¹⁾では、嚥下補助食品としての市販増粘剤によりプレーンヨーグルト程度の硬さの粘稠な液状食品を調製し、その粘弾性挙動と健常人の飲み込みやすさなどの官能評価との関係を検討した。その結果、市販増粘剤の粘稠性発現物質がデンプン、グアーガムあるいはグアーガムとデンプンの混合物かにより、粘弾性挙動および官能評価が大きく異なることが示された。しかし、グアーガムとデンプンの混合割合とその粘弾性挙動の変化、およびその粘弾性挙動の変化と官能評価の関係について、前報¹⁾では明確にできなかった。そこで、本研究では、デンプンとグアーガムの混合割合を変えた5種類の増粘剤を調製し、前報¹⁾に引き続きプレーンヨーグルト程度の硬さを有する粘稠な液状食品の粘弾性挙動と官能評価との関係について検討した。また、市販介護食品でたれやソースに利用されている液状食品の硬さは、サラダ油程度からプレーンヨーグルト程度であることが多い。そこで、プレーンヨーグルト程度の硬さに加え、本研究では、サラダ

油程度の硬さに調製した粘稠な液状食品についても検討を加えた。これらの関係を検討することにより、健常人の口中感覚、および飲み込みやすさを把握することができる粘弾性を、より詳細に知ることができると考える。さらには、本研究より得られた結果が嚥下に障害がある人にとって、安全に食べることができる液状食品の開発の基礎的データになると考える。若干の知見が得られたので、ここに報告する。

2. 実 験

2.1 試 料

増粘剤として、ワキシコーンスターチ由来の α 化デンプン（松谷化学工業株式会社：以後デンプンと呼ぶ）およびグアーガム（三栄源エフ・エフ・アイ株式会社）の配合割合を変えて混合した増粘剤を蒸留水に添加し、サラダ油状およびプレーンヨーグルト状の2段階の硬さに調製したものを試料とした。すなわち、サラダ油状の硬さにデンプン単独で調製する場合、その濃度は3.30%(w/v)であり、この試料をOS-G(1:0)の略号で示すことにする。またグアーガム単独で調製する場合、その濃度は1.10%(w/v)であり、この試料をOS-G(0:1)の略号で示すことにする。このデンプンおよびグアーガムの濃度を両端とし、デンプンとグアーガムの配合割合を等間隔に5段

^{*1} 十文字学園女子大学人間生活学部
〒352-8510 新座市菅沢 2-1-28

^{*2} 日本女子大学家政学部
〒112-8681 文京区目白台 2-8-1

階に設定し、混合系試料を調製した。また、プレーンヨーグルト状の硬さにデンプン単独で調製する場合の濃度は6.20%(w/v)であり、この試料をYS-G(1:0)の略号で示した。グアーガムのみで調製する場合の濃度は2.00%(w/v)であり、この試料をYS-G(0:1)の略号で示すことにした。サラダ油状と同様にプレーンヨーグルト状においても、5段階のデンプンとグアーガムの配合割合を設定し、試料とした。サラダ油状の硬さおよびヨーグルト状の硬さにおける試料の略号、配合割合、デンプンおよびグアーガムの添加濃度をTable Iに示した。サラダ油状およびプレーンヨーグルト状共に、前報²⁾に従い試料調製を行った。すなわち、定量のデンプンおよびグアーガムを計量後、それらを単独あるいは混合し、20℃の蒸留水へ添加する。手動により60回/分の速度で1分間攪拌し、後30分間放置したものを試料とした。各試料のテクスチャー特性値(硬さ、付着エネルギー、凝集性)をTable Iに示した。テクスチャー特性はレオナー(高分解能型レオナー Model RE33005: 山電(株))により得られた時間-荷重曲線より算出した。測定は、直径20 mm、透明合成樹脂製のプランジャーを用い、圧縮速度10 mm/secの定速圧縮法により、試料はひずみ67%で行った。この測定方法は、厚生省により通達された嚥下障害者のためのゾル状食品の硬さの測定法に従ったものである。³⁾

2.2 動的粘弾性測定

動的粘弾性特性は、100FRT-N1(Rheometric Far East Ltd., Tokyo, Japan)を用い、20℃において、ギャップ2.0 mm、直径50 mmの平行板治具により測定した。ひずみ依存測定は角周波数 $\omega=10$ rad/secで行い、測定ひずみ範囲は0.01~100%である。また、周波数依存測定は、いずれの試料も線形性を示すひずみ量であるひずみ0.2%で行い、角周波数0.1~100 rad/secの範囲で測定した。

2.3 官能評価

官能評価はシェッフエの一対比較法を用い、個室法により行った。パネルは、訓練された本学食物学科学学生のべ60名である。評価時の試料一口量は、10 ml定量スプーンにより供食することで一定量とした。試料の提示温度は 20 ± 2 ℃である。評価項目、および順序は、口中のべたつき感(-3: 非常に少ない $\leftarrow$ $\rightarrow$ +3: 非常に多い)、口中の残留感(-3: 非常に少ない $\leftarrow$ $\rightarrow$ +3: 非常に多い)、および口中から喉への飲み込みやすさ(-3: 非常に飲み込みにくい $\leftarrow$ $\rightarrow$ +3: 非常に飲み込みやすい)の3項目である。

3. 結果および考察

3.1 ひずみ依存性

Fig. 1にサラダ油状試料、およびFig. 2にヨーグルト状試料の周波数10 rad/secにおける G' 、トルク T_r および $\tan \delta$ のひずみ依存測定の結果を示した。線形領域における G' は、サラダ油状試料、およびヨーグルト状試料において、いずれもデンプン単独試料であるS-G(1:0)が最も高いことは共通している。サラダ油状試料では、OS-G(1:0)に続いて、 G' はOS-G(0:1)、OS-G(0.25:0.75)の順に小さくなった。また、OS-G(0.5:0.5)とOS-G(0.75:0.25)の G' はほぼ同値を示し、試料の中では最も小さいものとなったが、グアーガムを含む試料の線形領域における G' の値の差は小さい。一方、ヨーグルト状試料の G' は、デンプン単独試料YS-G(1:0)に続いて、YS-G(0:75:0.25)、YS-G(0.5:0.5)、YS-G(0.25:0.75)の G' はほぼ同程度の値で、小さい。また、YS-G(0:1)の G' は最も小さいものとなったが、比較的グアーガムを含む試料の線形領域における G' はいずれも等しい。

サラダ油状試料、およびヨーグルト状試料いずれも、線形性の範囲を超えると、それ以上の変形ではトルクが減衰し、また G' も減少する非線形領域を示した。サラダ油状試料で最も線形領域が狭く(線形領域0.2%以下)、非線形領域におけるトルクの減衰、および G' の減少が顕著なものは、OS-G(1:0)であり、5種類の試料の中で、ひずみ依存性は最も大である。続いて、OS-G(0.75:0.25)、OS-G(0.5:0.5)の順にひずみ依存性は小さくなっていることが、Fig. 1よりわかる。また、OS-G(0.5:0.5)、OS-G(0.25:0.75)、およびOS-G(0:1)のひずみ依存性は、他の2試料に比べ小さい。この3種の試料間におけるひずみ依存性の差は小さいが、その中でもOS-G(0:1)の線形領域はひずみ10%以下と広く、ひずみ依存性が最も小さい。

一方、ヨーグルト状の硬さにおける試料においても、YS-G(1:0)の線形領域はひずみ1%以下を示し、また非線形領域におけるトルクの減衰、および G' の減少が最も大である。続いて、YS-G(0.75:0.25)、YS-G(0.5:0.5)の順にひずみ依存性は小さくなっている。また、グアーガムの配合割合が多いYS-G(0.25:0.75)、YS-G(0:1)の線形領域は共にひずみ10%以下

Table I Volume fraction of the mixed sol samples.

Salad oil style samples						
Abbreviation	Volume fraction		Conc.(w/v%)		Hardness $\times 10^4 \text{ N/m}^2$	Adhesiveness Cohesiveness $\times 10 \text{ J/m}^3$
	Starch	Guar gum	Starch	Gum		
OS-G(1:0)	1	0	3.30	0.00	1.56	0.20 0.98
OS-G(0.75:0.25)	0.75	0.25	2.48	0.28	1.58	0.14 1.00
OS-G(0.5:0.5)	0.50	0.50	1.65	0.55	1.59	0.17 1.00
OS-G(0.25:0.75)	0.25	0.75	0.83	0.83	1.51	0.20 1.00
OS-G(0:1)	0	1	0.00	1.10	1.58	0.17 0.97
Plain yoghurt style samples						
Abbreviation	Volume fraction		Conc.(w/v%)		Hardness $\times 10^4 \text{ N/m}^2$	Adhesiveness Cohesiveness $\times 10 \text{ J/m}^3$
	Starch	Guar gum	Starch	Gum		
YS-G(1:0)	1	0	6.20	0.00	5.28	1.18 1.00
YS-G(0.75:0.25)	0.75	0.25	4.65	0.50	5.25	1.34 0.98
YS-G(0.5:0.5)	0.50	0.50	3.10	1.00	5.36	1.48 0.99
YS-G(0.25:0.75)	0.25	0.75	1.55	1.50	5.36	1.35 1.00
YS-G(0:1)	0	1	0.00	2.00	5.46	1.49 1.00

を示し、また非線形領域におけるトルクの減衰、および G' の減少も類似し、他の3種類の試料よりもひずみ依存性は小さくなることが示された。このことより、サラダ油状試料およびヨーグルト状試料、いずれにおいてもデンプン単独試料のひずみ依存性が最も大きく、グアーガムの配合割合が増加するに従い、ひずみ依存性は小さくなることが示された。線形領域における G' については、デンプン単独試料がいずれの硬さにおいても最も高い値を示した。しかし、混合系試料において、配合割合と線形領域における G' の関係は見いだせなかった。

一方、 $\tan \delta$ は、いずれの試料においても線形領域において、デンプン単独試料が他の4試料に比べ小さく、グアーガムの配合割合が多い3種類の試料の $\tan \delta$ は同程度となった。

Fig. 1. Strain dependencies of G' , T_r and $\tan \delta$ for salad oil style samples (20 °C).

○:OS-G(1:0), △:OS-G(0.75:0.25), ●:OS-G(0.5:0.5),
◇:OS-G(0.25:0.75), □:OS-G(0:1)

3.2 周波数依存性

Fig. 3にサラダ油状試料、およびFig. 4にヨーグルト状試料の G' および $\tan \delta$ の周波数依存測定の結果を示した。いずれの試料においても、低周波数側で、 G' の試料間の差が大きい。

サラダ油状試料では、低周波数側でOS-G(1:0)、次いでOS-G(0.75:0.25)の順とデンプンの配合割合が多い試料の G' であるほど大きくなっている。一方、OS-G(0.5:0.5), OS-G(0.25:0.75), OS-G(0:1)の G' は同程度の値を示し、周波数依存性も類似している。また、いずれの試料も低周波数側では、第二平坦部⁴⁾と推測される部分が観察される。第二平坦部はデンプンが形成する内部構造に起因するものと考えられ、デンプンの配合割合が多い試料であるほど、デンプンの形成する凝集構造の

Fig. 2. Strain dependencies of G' , T_r and $\tan \delta$ for plain yoghurt style samples (20 °C).

○:YS-G(1:0), △:YS-G(0.75:0.25), ●:YS-G(0.5:0.5),
◇:YS-G(0.25:0.75), □:YS-G(0:1)

緩和が長時間であることを示している。また、OS-G(0.5:0.5), OS-G(0.25:0.75), OS-G(0:1)の $\tan \delta$ の周波数依存性はほぼ同様の傾向し、低周波数側で $\tan \delta$ は増加している。デンプン配合割合が多いOS-G(0.75:0.25)の $\tan \delta$ は、高周波数側でOS-G(0.5:0.5), OS-G(0.25:0.75), OS-G(0:1)と同様の値を示しているが、周波数が小さくなるに従い異なる傾向を示し、周波数依存性も上記の3種の試料よりも小さくなっている。また、測定周波数範囲内のOS-G(1:0)の $\tan \delta$ は、1以下を示し、周波数依存性は小さい。

ヨーグルト状試料においても、サラダ油状試料と同様、低周波数側でYS-G(1:0), 次いでYS-G(0.75:0.25), YS-G(0.5:0.5)とデンプンの配合割合が多い試料の G' が大きくなっている。また、YS-G(0.25:0.75), YS-G(0:1)の G' は同程度の値を示し、周波数依存性も類似している。YS-G(1:0), YS-G(0.75:0.25), YS-G(0.5:0.5)試料に低周波数側で、第二平坦部と推測される部分が観察される。また、YS-G(0.25:0.75), YS-G(0:1)の $\tan \delta$ の周波数依存性はほぼ同様の傾向し、低周波数側で $\tan \delta$ は増加している。YS-G(0.5:0.5), YS-G(0.75:0.25)の $\tan \delta$ は、高周波数側でYS-G(0.25:0.75), YS-G(0:1)と同様の値を示しているが、

周波数が小さくなるに従い異なる傾向を示し、低周波数側の周波数依存性は小さい。また、YS-G(1:0)の $\tan \delta$ は1以下を示し、周波数依存性は小さい。

以上の結果より、いずれの試料においても、低周波数側で試料の特性が顕著に現れ、デンプン配合割合の大きい試料であるほど低周波数側での G' は高く、 $\tan \delta$ は小さく、第二平坦部が認められ、緩和時間が長いことが示された。また、サラダ油状試料では、OS-G(0.5:0.5), OS-G(0.25:0.75), OS-G(0:1), ヨーグルト状試料では、YS-G(0.25:0.75), YS-G(0:1)の周波数依存性は類似したものとなった。

3.3 官能評価

サラダ油状試料の官能評価結果をFig. 5に、またヨーグルト状試料の官能評価結果をFig. 6に示した。いずれの試料においても、デンプンの配合割合が大きい試料であるほど、口中でのべたつき感は少なく、口中の残留感も少なく、また飲み込みやすい傾向にあることが示された。その傾向は、軟らかいサラダ油状の混合系試料の方がヨーグルト状試料よりも、多くの試料間に有意差が認められ、顕著である。

Fig. 3. Frequency dependencies of G' and $\tan \delta$ for salad oil style samples(20 °C).

○:OS-G(1:0), △:OS-G(0.75:0.25), ●:OS-G(0.5:0.5),
◇:OS-G(0.25:0.75), □:OS-G(0:1)

Fig. 4. Frequency dependencies of G' and $\tan \delta$ for plain yoghurt style samples(20 °C).

○:YS-G(1:0), △:YS-G(0.75:0.25), ●:YS-G(0.5:0.5),
◇:YS-G(0.25:0.75), □:YS-G(0:1)

3.4 動的粘弾性と官能評価

いずれの硬さにおいても最も口中でべたつかず、残留感も少なく、また飲み込みやすいと評価されたデンプン単独試料のトルクおよび G' のひずみ依存性は他の試料に比べて、顕著に大である。また、試料のひずみ依存性が小さくなるに従い、いずれの硬さにおいても口中のべたつき感、残留感は増加し、飲み込みにくくなる。しかし、線形領域における G' と官能評価値との間には関係は見いだせなかった。また、サラダ油状試料においては、線形領域における $\tan \delta$ が小さい試料であるほど、飲み込みやすいことが示された。ヨーグルト状試料においても、同様の傾向が示されているが、サラダ油状試料に比べて、その傾向は明確ではなかった。

このことより、サラダ油程度、あるいはヨーグルト程度の硬さを有する液状食品では、口中に入れてすぐの口蓋と舌による微少なずり変形より得られた弾性と粘性の比、すなわち $\tan \delta$ により口中のべたつき感を評価し、残留感および飲み込みやすさを推測していると考えられる。続いて、液状食品は舌の変形により飲み込みやすい食塊に形成され、舌の駆動力により口中から咽頭方向へ移動する。この動作に引き続いて、喉頭壁後部から食道へ向かっての蠕動運動による送り込みの波により、食塊は移動する。⁹⁾この段階における食塊の変形はいずれも、微少変形ではなく、大変形に属するものであると考える。本研究より、ひずみ依存性、ことに非線形領域における G' のひずみ依存性が大きいものであるほど、べたつかず、残留感も少なく、飲み込みやすいという評価が得ら

れた。このことより、小さな力でも変形しやすいために舌の変形により食塊形成しやすく、また、蠕動運動によっても変形しやすく送り込みやすいため、飲み込みやすいと評価されたものと推測する。

周波数依存性の測定結果より、低周波数側で試料の特性の差が現れることを先に述べたが、いずれの硬さにおいても低周波数側における G' が高く、 $\tan \delta$ が小さいもののほど口中におけるべたつき感、残留感も少なく、飲み込みやすいと評価された。前報⁹⁾では弱いゲルのような構造をもつ液状食品は緩和時間が長いために、咽頭をまとまって通過することより、飲み込みやすいとの考察を行った。本研究においても、低周波数側の G' が高く、 $\tan \delta$ が小さく、緩和時間が長い試料は、まとまって咽頭を通過することにより、飲み込みやすいと評価されたと考えられる。

4. 結 論

本研究の結果より、サラダ油状やヨーグルト状の粘稠な液状食品の口中感覚や飲み込みやすさを把握する手段として、動的粘弾性のひずみ依存測定における線形領域の $\tan \delta$ 、およびひずみ依存性、ことに非線形領域におけるトルクと G' の減衰状態を検討することであることが示された。また、周波数依存測定では、試料の特性をあらわす低周波数側の G' および $\tan \delta$ を把握することにより、飲み込みやすさをある程度、推測できると思われる。

Fig. 5. Sensory evaluation for salad oil style samples(20 °C).

Fig. 6. Sensory evaluation for salad plain yoghurt style samples(20 °C).

摂食能力が減退した高齢者にとって、むせずに飲み込みやすいの食物の条件として、口腔や咽頭を通過するときに、変形しやすいものであることが、食事作りの現場より報告されている。⁶⁾⁷⁾これは、主にゲル状食品を対象としたコメントであると推測されるが、本研究の結果から、ゾル状食品にも適応できる条件であると考ええる。

本研究において、口中感覚や飲み込みやすさの官能評価値は、必ず変形により得られる物性値と関係あると考え、動的粘弾性との関係を検討した。本研究の結果をもとに今後は、測定条件を工夫することにより、簡便に口中感覚および飲み込みやすさを把握することができる測定方法の開発を試みたい。

REFERENCES

- 1) Takahashi T, Ogoshi H, Miyamoto K, and Yao M. L, *Nihon Reorji Gakkaishi*, **27**, 169, (1999).
- 2) Takahashi T, Maruyama A, Ogoshi H, *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, **55**, 253(1997).
- 3) Ministry of Health and Welfare in Japan, “*The conditions of measurement were based on examinations of the diet criteria for patients with difficulty in masticating or swallowing*”, 1994.
- 4) Onogi S, “*Kagakusyanotameno Reorji*”, Kagakudojin, Kyoto, 1986.
- 5) Groher, M.E., “*Dysphagia*”, Butterworth Publishers, United States of America, 1984.
- 6) Seirei Mikatagahara Hospital, “*Pocket Manual of Dysphagia*”, Ishiyaku Publishers, Inc., Tokyo, 2002.
- 7) Kaneko Y, Mukai Y, “*Sessyoku Engesyogai No Hyokaho To Syokujishido*”, Ishiyaku Publishers, Inc., Tokyo, 2001.