

博士論文

還元水あめのガラス転移温度の解明と
食感制御への利用

(要約)

令和5年3月

柏倉雄一

還元水あめは水あめ（澱粉の加水分解物）のグルコース残基を還元して得られる糖質素材であり、様々な分子量（MW）の糖アルコールが混在している。還元水あめの物性は糖アルコール組成によって変化するため、用途に応じて、様々な還元水あめが製造、販売されている。一方、食品を構成する成分の多くは非晶質であり、温度や水分含量の変化によってガラス-ラバー転移（ガラス転移）すること、ガラス転移によって食感が大きく変化することなどが知られている。食品のガラス転移挙動はガラス転移温度（ T_g ）によって特徴付けられる。食品の T_g は構成成分の T_g によって変化するため、 T_g に基づく食感制御や品質管理が提案されている。還元水あめにおいても T_g を理解しておくことで、食感改質剤としての効果を定量的に判断できるようになると期待される。しかし、還元水あめはMWが異なる様々な糖アルコールの混合物であり、その種類は無数に存在するため、それらの T_g を一つずつ調べていくことは現実的ではない。実用的には糖アルコール組成から T_g を予測可能にすることが重要といえるが、そのような報告はこれまでにはなかった。一方、還元水あめはMWが同程度の水あめと比較して T_g が低いことに特徴がある。即ち、還元水あめには可塑剤としての優位性が見込まれる。例えばグミの様な高濃度の糖質によって構成されるラバー状食品に還元水あめを配合すると、還元水あめの T_g が低いことからグミの T_g も低下し、食感が柔らかくなると期待される。しかし、食品に配合する還元水あめの T_g がグミの様なラバー状食品の T_g や食感に及ぼす影響について系統的に調べた報告はこれまでになかった。本研究の目的は、1.還元水あめの T_g を明らかにした上で、糖アルコール組成から予測可能にすること、2.還元水あめの T_g がグミの T_g および食感に及ぼす影響を明らかにすることであった。

第1章では上記した本研究の背景および目的を述べた。第2章では実験で使用した材料（還元水あめ）と装置（示差走査熱量計およびレオメーター）について説明した。

第3章では無水還元水あめの T_g を糖アルコール組成から予測するためのアプローチを導くことを検討した。精製された各種糖アルコール（ソルビトール、マルチトール、マルトト

リイトール、マルトテトライトール) の無水 T_g を示差走査熱量測定によって明らかにし、糖アルコールにおける T_g と MW との関係を明らかにした。この挙動は拡張型指数関数によって表すことができた。一方、無水糖アルコールのガラス転移に伴う熱容量変化 (ΔC_p) と MW および T_g との関係を調べ、 ΔC_p の逆数が T_g に対して直線的に変化することを明らかにした。次に、無水還元水あめの T_g および ΔC_p を明らかにした。また、糖アルコール組成を HPLC によって決定した。還元水あめを構成する糖アルコール成分、糖アルコールの MW から拡張型指数関数によって予測される T_g と、 ΔC_p の逆数と T_g との直線関係から予測される ΔC_p の値を用いて、合成高分子分野などで利用されている T_g 予測モデルの適用性を比較した。その結果、オリジナル Couchman-Karasz モデルが最もよく無水還元水あめの T_g を導くことが明らかになった。以上の結果より、無水還元水あめの T_g は糖アルコール組成から予測可能と結論付けられた。

還元水あめを含めた水溶性非晶質糖質の T_g は水分含量の変化に対して敏感に応答する。したがって、無水還元水あめの T_g だけでなく、還元水あめ-水系の T_g も予測することが求められる。第 4 章では水分含量が還元水あめの T_g に及ぼす影響を明らかにした上で、その T_g 予測について検討した。また、食品や食品素材の品質は水分含量によってだけでなく、水分活性 (a_w) によっても管理されるため、各種還元水あめの平衡水分含量と a_w との関係 (水分収着等温線) を明らかにした。各種還元水あめの水分収着等温線は Guggenheim-Anderson-de Boer モデルによって表すことが可能であり、平衡水分含量と a_w との関係を明らかにすることができた。また、第 3 章で採用した T_g 予測アプローチを還元水あめ-水系に適用し、その有効性を確認した。

第 5 章では、還元水あめがグミの T_g および食感に及ぼす影響について検討した。グミ試料の T_g はグミに配合した還元水あめの T_g と共に高くなることが明らかとなった。また、グミの T_g が高いほど、割断荷重が高くなることが明らかとなった。更に前章で導いた T_g 予測アプローチにしたがってグミの T_g を算出した結果、予測 T_g は概ね良好に実測 T_g と一致す

ることが明らかとなった。

以上、本研究により還元水あめの糖アルコール組成から T_g が予測可能なこと、グミのよ
うなラバー状糖質系食品に対して予測 T_g に基づく食感推測・制御が可能なことが示された。
近年の食品業界では人手不足が大きな問題となっており、本研究のような予測アプローチ
が確立されれば、品質管理や商品開発の効率化に役立つと期待される。