

添加物によるトマト粉末の固結防止対策

日比野剛*, 原 有紀*

Prevention of Caking of Tomato Powder by Adding of Food Materials

Tsuyoshi HIBINO and Yuki HARA

1. はじめに

近年、野菜や果物など食品素材の粉末化の需要はますます高まっている。長期保存や保存場所の節約が可能になる、計量性や使い勝手が向上し使用場面が拡大する、傷などがあっても素材に加工できるなど、食品素材の粉末化による利点は多い。その一方で、粉末化したことにより、粉末同士の混合において凝集物が残って均一に混ざらない、水に分散又は溶解したときにダマになって水面に浮いたりするなど、使い勝手が悪い場合がある。また、食品素材には糖分など吸湿により粘着性が発生する成分が多いことから、ガスバリア性の容器包装であっても、開封後の容器の開閉により粉末が吸湿し、保存中に固結してしまうことがある。そのため、食品粉末の分散性や溶解性を向上する、開封後の固結を防止するなど、粉末素材の利便性（使い勝手）を向上するための技術が検討されている¹⁻³⁾。

食と医薬品研究課では、これまで製剤技術を活用して、緑茶粉末を食品素材のモデルとして造粒による水への分散性の向上、錠剤化などを行い、食品粉末の利便性向上について検討してきた^{4,5)}。本研究では、スプレードライ法で試作したトマト粉末を食品粉末のモデルとして、開封後の固結防止について検討した。具体的には、トマト粉末の製造過程において、粉末化の前後に食品素材や食品添加物を加え、ガラス転移温度の上昇または物理的な分散を行った。室温において、チャック付きポリ袋内で乾燥剤を使用することなく保存する

方法により、トマト粉末が1週間以上固結しないことを目標に検討したので、その結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 原料

トマト粉末調製用の原料として、市販のトマトのあらごし品（クエン酸入り、1パック容量 390 g）を使用した。トマトのあらごし品は、目開き 1 mm のふるいを通して皮と種子を除去した後、コロイドミル（卓上コロイドミル MM-2、日本精機製作所）を使用し、ローター間隔約 0.3 mm、回転数 6,000 rpm の条件で、1パックあたり 10 分間ホモジナイズした。その後、目開き 250 μm のふるいを通してトマトピューレに調製し、スプレードライ用の試料とした。なお、トマトピューレは、105 $^{\circ}\text{C}$ において 20 g を 20 時間乾燥し、試料の固形分を測定したところ、約 7.5%であった。トマトピューレは冷凍保存し、2.2 節においてトマトの粉末化を行う都度、解凍して固形分を測定してから使用した。

また、食品素材の添加効果の比較用に市販のトマト粉末 2 種類（いずれもスプレードライ法で製造されたもの）を使用した。自動ふるい分け振とう機（ロボットシフター RPS-85c、セイシン企業）で粒子径分布を測定したところ、50%粒子径は A 社製が 191 μm 、B 社製が 152 μm であった。

2.2 スプレードライ法によるトマト粉末の調製

2.1 節で調製したトマトピューレは、ミニスプレードライヤー（B-290、日本ビュッヒ）を使用して、表 1 の条件によりトマト粉末を調製した。また、

* 食と医薬品研究課

表 2 に示した食品素材等をトマトピューレに添加してトマト粉末を調製し、2.4 節においてガラス転移温度(Tg)を測定した。

表 1 スプレードライヤーの操作条件

給気温度	115 °C
アスピレーター (設定値)	95
ポンプ (設定値)	30 (約10 g/min)
スプレーエア一量	42~45 (約500 L/h)
排気温度	58~65 °C

表 2 使用した食品素材および食品添加物

種類	製品名	メーカー
デキストリン	ファイバーソル2	松谷化学工業
トレハロース	トレハロースP	旭化成
結晶セルロース *	セオラス® FD-101	旭化成
加工デンプン *	エマルスター30	松谷化学工業
コーンスターチ	コーンスターチW	日本食品加工

* : スプレードライ法による粉末化では使用しない。

2.3 トマト粉末への食品素材の乾式添加

市販のトマト粉末 2 種類は、プラスチックビーカー内で表 2 に示した食品素材等を乾式混合し、60 °C の乾燥機内で 2 週間保存した後、冷蔵庫内で 1 週間保存し、粉末の固結防止効果を目視で評価した。さらに、チャック付きポリ袋内に移し、実験室において室温、乾燥剤無しの状態で 1 ヶ月保存し、固結発生の有無などの変化を確認した。なお、加工デンプンは、トマト粉末に混合した後、チャック付きポリ袋に入れて以降、同様の条件での保存方法により、汎用品のコーンスターチへの置換可否を評価した。

トマトのあらごし品をスプレードライした粉末についても、食品素材等を乾式で混合し、チャック付きポリ袋に入れ、同様に室温で保存する方法により、固結防止効果を評価した。なお比較用として、市販のトマト粉末 (コーンスターチの乾式混合有り/無し) も評価対象に加えた。また、これらの試料は、同時にデシケータ内で保存する試料も調製し、固結発生の有無など性状変化を観察した。

2.4 示差走査熱量計(DSC)によるガラス転移温度の測定

2.2 節で調製したトマト粉末は、シリカゲルを乾

燥剤とするデシケータ内で 2 週間乾燥した後、示差走査熱量計 (DSC Q2000, TA インストルメント) によりガラス転移温度(Tg)を測定し、食品素材等の添加効果を評価した。また、文献 6 を参考に、トマト粉末 (添加物の混合なし) 約 0.5 g をポリエチレン製のサンプル管に秤量し、吸湿量と Tg の変化を測定した。トマト粉末の吸湿量は、硝酸マグネシウム飽和水溶液を調湿剤として使用し 35 °C に保持したデシケータ内 (湿度約 48 %) で、サンプル管のふたを外し、0, 2, 4, 6, 12 および 24 時間保持した後の重量増を吸湿量 (%) とした。トマト粉末の Tg は、試料を -60 °C まで急冷した後、昇温速度 5 °C /min で 80 °C まで加温して、DSC 曲線より求めた。

3. 結果と考察

3.1 市販のトマト粉末への食品素材の乾式添加

市販のトマト粉末 2 種類へ食品素材等を乾式添加した結果を表 3 に示す。60 °C に保持することにより、デキストリンとトレハロースを添加した試料で固結が発生し、冷蔵庫内での保存においても固結状況が解消されることはなかった。結晶セルロースを添加した試料は、60 °C 保持では固結は発生しなかったが、冷蔵庫内での保存では吸湿によると思われる弱い固結が発生した。加工デンプンを添加した試料は、60 °C 保持、冷蔵庫内での保存ともに固結は発生しなかった。加工デンプンを添加した試料は、さらに、チャック付きポリ袋に移し、室温において乾燥剤無しの状態で保存したところ、1 ヶ月間固結は発生しなかった。

市販のトマト粉末を使用し、加工デンプンを汎用コーンスターチへ置換した結果を表 4 に示す。トマト粉末へ混合後、チャック付きポリ袋に入れ室温で保存したところ、トマト粉末は 2 種類とも、コーンスターチ添加量 10 % の場合、1 ヶ月間の保存で固結が発生した。一方、コーンスターチ添加量 20 % の場合、50 % 粒子径が小さい B 社製のトマト粉末において弱い固結が発生したが、粒子径の大きい A 社製のトマト粉末では固結は発生しなかった。この結果から、加工デンプンからコーンスターチへの置換が可能であり、固結防止には 20 % 以上の添加量が必要であること、トマト粒子は粗い方が固結しにくいことが推察される。

なお、いずれの試料も、保存期間が長くなるほど固結の発生とともに褐変が発生した。チャック付きポリ袋は透湿性があるため、トマト粉末の固結および褐変は吸湿が原因と考えられる。市販のトマト粉末の容器にはガスバリア性の袋が使用されていることから、トマト粉末の保存には吸湿防止が非常に重要であると考えられる。

表3 トマト粉末への食品素材等の乾式混合

種類	添加量	混合物の性状	
		60°C乾燥後	冷蔵庫乾燥後
デキストリン	33.3 %	△	△
トレハロース	33.3 %	△	×
結晶セルロース	30 %	○	△
加工デンプン	30 %	○	○

A社製トマト粉末を使用。

○：固結しない △：弱く固結する ×：吸湿し、固結する

表4 コーンスターチへの置換

トマト 粉末	加工デンプン		コーンスターチ	
	30 %	20 %	20 %	10 %
A社製	○	○	○	×
B社製	—	—	△	×

○：固結しない △：弱く固結する ×：固結する
—：データなし（未実施）

3.2 トマト粉末スプレードライ品の固結防止

トマトのあらごし品は、食品素材等の添加無しでも、ミニスプレードライヤーで粉末化が可能であったが、試料は回収容器の中で吸湿により凝集していた。回収したトマト粉末は、シリカゲルを乾燥剤とするデシケータ内で保存することにより、凝集は解消しないが乾燥した状態になった。乾燥物を乳鉢で軽く解砕し、粒子径分布を測定したところ、50 %粒子径は125 μmであった。しかし、実体顕微鏡で観察したところ、1次粒子は45 μm以下の細かい粒子であったが、大部分は凝集した粒子であった。

デキストリン（トマトピューレの固形分に対する添加量30, 50 %）、トレハロース（同30 %）、コーンスターチ（同20 %）を添加した試料も粉末化が可能であったが、デキストリン添加量50 %の試料以外は、食品素材等添加無しの場合と同様に、吸湿による凝集が発生した。デキストリン添加量50 %の試料は、他の試料と異なり、静電気による

と思われる凝集が発生した。デキストリンはスプレードライ法におけるスプレー基材として汎用されている⁷⁾が、50 %添加した試料では、デキストリンの甘味が勝りトマトの風味が弱められていた。デキストリンおよびトレハロースを30 %添加したトマト粉末は、トマトの風味が十分感じられるが、これらの素材は甘味があるため多量に添加することはトマトの風味を弱めてしまうことから、30 %程度が添加量の上限ではないかと考えられる。

スプレードライ法により調製したトマト粉末のうち、添加物無しおよびデキストリンを30 %添加した試料について、全量で3 g粉末をチャック付きポリ袋に入れ、実験室において室温、乾燥剤無しの状態で保存し、固結防止効果を評価した結果を表5に示す。比較用のトマト粉末（添加物無し）にコーンスターチ20 %を乾式混合した試料、市販のトマト粉末（コーンスターチの乾式混合有り/無し）の評価結果も合わせて示す。トマトのあらごし品を粉末化した試料は、添加物無しの場合、保存開始後1ヶ月経過したところで弱い固結が発生した。さらに、1ヶ月保存した結果、固結および褐変が発生していた。一方、その他の試料は、1ヶ月保存しても固結は認められなかった。保存開始後2ヶ月経過した時点で、デキストリン30 %を添加した試料、コーンスターチ20 %を乾式混合した試料および市販のトマト粉末2種類（コーンスターチの添加無し）に弱い固結が発生した。市販のトマト粉末にコーンスターチを20 %乾式混合した試料は、いずれも2ヶ月保存しても固結は認められなかった。

また、表5に示した試料について、チャック付きポリ袋内での固結性の評価と同時にデシケータ内で保存した試料は、保存開始後3ヶ月経過しても固結は発生しなかった。また、目視での観察であるが、保存試験開始前と比較しても粉末の色調に変化は認められなかった。

これらの結果より、チャック付きポリ袋内での保存という限定された条件下であるが、コーンスターチを乾式で混合することは、トマト粉末の固結防止に有効であることがわかった。なお、本研究で調製したトマト粉末は、粒子が細かいため固結しやすかったと考えられる。市販品のように粒子径を大きくすることも、固結を防止する方法の

一つであると考えられる。なお、保存開始が12月であったため、室内の湿度が低いことから、表4（実験期間9月から11月）で示した結果より、市販のトマト粉末が固結しない期間が長くなったと考えられる。デシケーター内で保存した試料には固結や色調の変化が認められなかったことから、乾燥状態を保つことが重要で、吸湿させないことにより固結防止および色調変化を抑制できることがわかった。

表5 トマト粉末の固結防止効果の評価

試料	1ヶ月後	2ヶ月後
トマト粉末（添加物なし）	△	×
デキストリン30%添加品（湿）	○	△
コーンスターチ20%添加品	○	△
A社製トマト粉末	○	△
A社製+コーンスターチ20%	○	○
B社製トマト粉末	○	△
B社製+コーンスターチ20%	○	○

○：固結しない △：弱く固結する ×：固結する

3.3 トマト粉末のガラス転移温度測定

スプレードライ法で調製したトマト粉末のDSC曲線とガラス転移温度(Tg)の測定結果を図1に示す。トマトのあらごし品を粉末化した試料a)のTgは39.1°Cであり、トレハロース30%を添加した試料c)およびデキストリン50%を添加した試料d)は、Tgはそれぞれ1.6°C、10.5°C上昇している。図には示していないが、デキストリン30%を添加した試料ではTgは7.3°C上昇した。Tgの上昇は、粉末素材が軟化する温度を高くし、固結防止に寄与する⁸⁾。3.2節において、デキストリンを30%添加した試料が、1ヶ月間固結が発生しなかった要因にTgの上昇が寄与していると考えられる。

コーンスターチ20%を添加して粉末化した試料b)のTgは、無添加の試料a)とほぼ同じ温度の39.7°Cであった。3.1節において、コーンスターチのトマト粉末への乾式添加は固結防止に有効であったが、湿式添加ではTgの上昇はほとんど示されなかったことから、物理的な分散による固結防止と考えられる。コーンスターチは、医薬品錠剤の崩壊剤として利用されていることから、トマト粉末の水分を吸収することにより、固結を防止するのではないかと考えられる。

調湿剤に硝酸マグネシウム飽和水溶液を使用したデシケーター内で吸湿させたトマト粉末について、吸湿量とTgを測定した結果を図2に示す。トマト粉末は、保持時間の経過とともに吸湿量が増加し、Tgは低下し、吸湿量とTgの間には負の相関関係が認められた。試料をDSCの試料パンに充填する際、吸湿時間6時間までの試料は、吸湿時間の増加に伴い固結の程度が増加していたが、スパチュラで粉末状にほぐすことができた。しかし、吸湿時間12時間以上の試料は硬く固結しており、固結物を切断する必要があった。吸湿時間2、4および6時間の試料の吸湿量は、それぞれ1.06、1.95および2.89%であったことから、トマト粉末の固結を防止するには、吸湿量を1%程度までとするなど、かなり乾燥した状況を保持することが必要と考えられる。

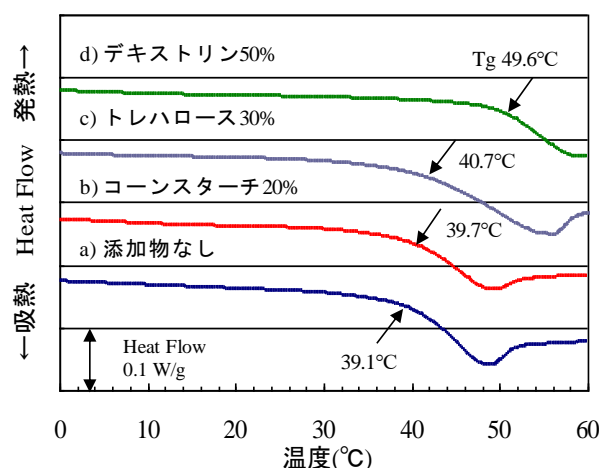


図1 スプレードライ法で調製したトマト粉末のガラス転移温度(Tg)測定

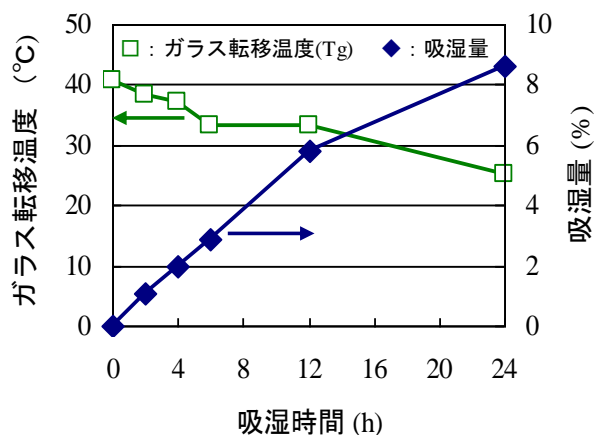


図2 スプレードライ法により調製したトマト粉末の吸湿時間と吸湿量およびガラス転移温度の関係

4. まとめ

本研究は、スプレードライ法で調製したトマト粉末を食品粉末のモデルとして、開封後の粉末の固結防止について検討した。市販のトマトあらし品を原料として使用し、トマトの粉末化の前後に食品素材や食品添加物を加えて、ガラス転移温度(T_g)の上昇または物理的な分散を行うことにより、固結防止を試みた。その結果、トマトピューレの固形分に対しデキストリンを 30 %添加して調製したトマト粉末は、未添加の試料に対し T_g が約 7°C 上昇した。この粉末は実験室において乾燥剤無し、チャック付きポリ袋内で保存する条件で、1ヶ月間固結防止が可能であった。トマト粉末に、コーンスターチを 20 %乾式で混合する物理的な分散においても、同様の条件で1ヶ月間固結防止が可能であった。また、市販のトマト粉末との比較により、粒子径を大きくすることも固結防止対策の一つであることがわかった。

実験室における小スケールでの実験であるが、トマト粉末の固結防止に関する知見を得ることができた。今後も引き続き、食品粉末の固結防止に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 高井陸雄：“食品とガラス化・結晶化技術”。サイエンスフォーラム。p15-22 (2000)
- 2) 勝田康夫ほか：“粉末化食品”。特開 2003-38119 (2003)
- 3) 梅津貴志ほか：“耐吸湿固結性を有する粉体造粒物の製造方法および粉体造粒物”。特許第 5648303 号 (2014)
- 4) 日比野剛：“微粉碎と造粒による緑茶茶葉の粉末素材化(第3報)”。三重県工業研究所研究報告, 42, p56-61 (2018)
- 5) 日比剛ほか：“緑茶茶葉をモデルとした食品錠剤の処方検討”。三重県工業研究所研究報告, 46, p29-40 (2022)
- 6) 今 智子ほか：“酵素の常温保存における耐湿性賦形剤の検討”。低温生物工学会誌, 50(2), p89-92 (2004)
- 7) 大隈一裕：“澱粉研究の潮流 その1 澱粉の加工と食品利用”。応用糖質科学, 1(1), p34-38 (2011)
- 8) 川井清司：“食品の物性制御における水の役割”。日本食品化学工学会誌, 66(7), p263-270 (2019)