



食品副産物のアップサイクル リンゴ搾りかすの二軸スクリー造粒の利点

著者

Gabriela Saavedra

Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Germany

キーワード

造粒、二軸スクリーエクストルーダー、リンゴ搾りかす、アップサイクル

はじめに

食品産業における持続可能な食料生産と循環性は、二酸化炭素排出量を削減するために非常に重要です。食品の副産物は、栄養素が豊富ですが、機能特性が乏しいため、食品用途では使用が制限されます。例えばリンゴジュースの主要な副産物である搾りかすは、水溶性が悪く食品成分としての使用に適さないためペクチン抽出や動物飼料としてあまり使用されていません。そのため、そのほとんどが廃棄物となります。今日でも、搾りかすを加工し、その特性を改善するための知見と技術はまだ不足しています。いくつかの文献 (1, 2, 3) では、化学的、酵素的、および/または機械的処理が細胞壁の破壊につながり、それがリンゴ搾りかすの機能特性を変化させる可能性があることを示しています。このため、継続的かつ汎用性の高いプロセスを提供するエクストルーダーは、リンゴ搾りかすを廃棄せず他の用途で利用するための有望な方法となります。

Schmidら (2021) (4) は、リンゴ搾りかすを押し出すことにより、保水力が高まり、可溶性繊維の量が増加し、ペクチン化合物の水による抽出に役立つことをすでに実証しています。この実験で、著者らはエクストルーダーの先端にロードストランドダイを使用していました。したがって、新たに機能化されたリンゴ搾りかすの特性評価をするために、押し出し成形品の粉碎ステップが必要でした。このため、本研究では、リンゴ搾りかすを機能化するために二軸スクリー造粒を選択しました。

エクストルーダーのバレルの先端で開放型押し出し (図1) を使用することにより、材料を造粒、凝集させることができます。材料の流動特性が向上し、細胞壁が破碎されることにより、水結合能力を向上させる多孔質構造が形成されます。これらは全て、押し出し成形品を粉碎加工することなく可能です。

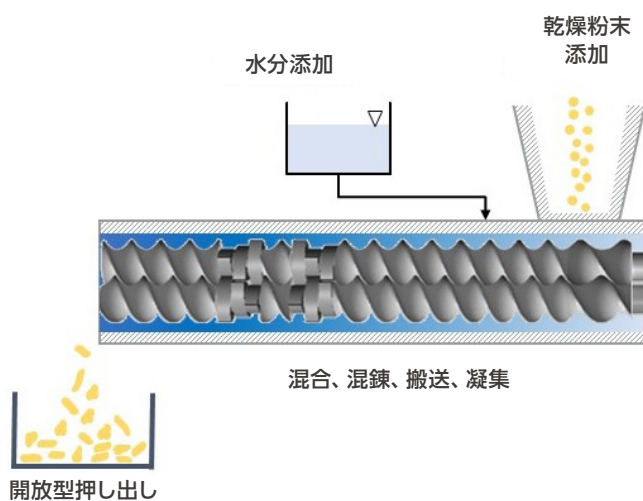


図1. 二軸スクリー押し出しによる造粒工程の概略図

材料と方法

押し出し試験

スクリー径11 mm、同方向回転のThermo Scientific™ Process 11卓上二軸スクリーエクストルーダーを使用して押し出し試験を実施しました。この装置はスプリットバレルデザインで、長さと直径の比率 (L/D) は40です。バレルには7カ所の材料投入ポートが設置されており、8つのセクションのそれぞれが独立して冷却または加熱できます。長さ40% L/Dのシャフト、シャフトホルダー、および開放型押し出しで構成される造粒キットを使用されました。固形物は減量式二軸スクリーフィーダーで供給し、給水はペリスタリックポンプで行いました。

リンゴ搾りかす (0.2、0.4、または0.6 kg/h) を最初のセクションから供給し、水 (0.06、0.12、または0.18 kg/h) は2番目のセクションから供給しました。水と固形分の比率は、23 wt%でプロセス全体を通して一定に保ちました。

押し出し実験は、400または600 rpmのスクリー速度で行いました。Schmidら (2021) (4) と同様に、バレル温度を $T_{\text{barrel}2}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}3}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}4}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}5-7}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$ に調整しました。

レオロジー特性評価

生または造粒したリンゴ搾りかす1 gと、分散液として20 mLの上水を混合してサンプルを作成しました。分散液を速やかに攪拌し、レオメーターのプレートの間に置いて測定しました。振動測定は、プレート-プレート測定ジオメトリーを備えたThermo Scientific™ HAAKE™ Mars™ iQ Air回転式レオメーターを使用して行いました。測定ギャップは1.5 mmに調整しました。測定のためにサンプルを配置した後、サンプルは20 °Cで、振幅1%、周波数1 Hzで20分間にわたって振動せん断を与えました。60点の測定値が記録されました。測定は、サンプルのネットワーク破壊を避けるために、線形粘弾性領域内で行われました。

走査型電子顕微鏡

サンプルは、Thermo Scientific™ Phenom™ XL走査型電子顕微鏡で高真空を使用して観察しました。全てのサンプルは、両面カーボン接着ディスクを備えたアルミニウムホルダーに固定しました。すべての画像は、15 kVの加速電圧で撮影されました。

結果

リンゴ搾りかすの技術的機能特性は、湿式造粒プロセスによって改善されました。この材料は、高い水結合能力と、水を添加した直後にゲル化する能力を備えた多孔質粉末となりました(図2)。



図2. 造粒されたリンゴ搾りかす(左)、水を加えた粒状のリンゴ搾りかす(右)

スループット(材料投入速度)の影響

リンゴ搾りかすがエクストルーダー内で滞留する時間は、スループットによって変化します。スループットを2倍にすると、材料の滞留時間は約半分に短縮されます。この変化は、せん断や熱への曝露の変化となり、細胞壁の破壊の程度を変化させる可能性があります。したがって、材料は同じ成形条件(温度やスクリュウ回転速度)であったとしても、結果として得られる特性が異なる場合があります。

滞留時間がゲル化に影響するかどうかを確認するために、造粒されたリンゴ搾りかすの特性をレオメーターのタイムスイープを使用して測定しました。図3に見られるように、すべてのサンプルの貯蔵弾性率は、それらのそれぞれの損失弾性率よりも大きいいため、水と混合すると、全てのサンプルはゲル/ペーストを形成します。

しかし、図3に示すように、ゲル強度とゲル化速度はエクストルーダー内での滞留時間に依存し変化します。細胞壁の破壊は、一定時間にわたってある程度のエネルギー入力を行うことで、ゲル化と水結合の原因となる多糖類を放出できます。これは、スクリュウ速度と温度が一定に保たれているにもかかわらず、サンプルが時間の経過とともに異なるゲル化挙動を示す理由を示しています。

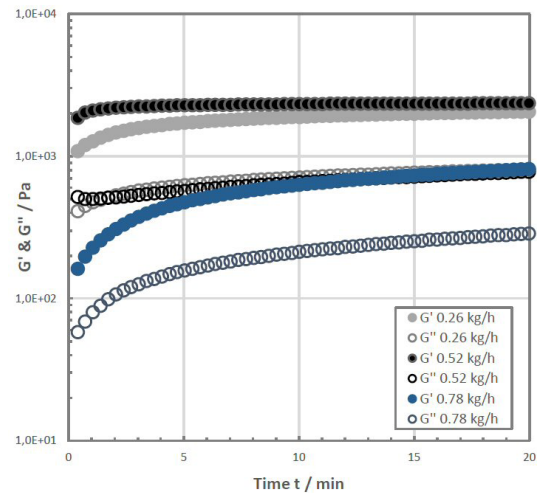


図3. いくつかのスループットで造粒されたリンゴ搾りかすのタイムスイープ測定の結果

エクストルーダースクリュー回転速度400 rpm、バレル温度40/60/80/100/120/120/120 °C、水分添加23 wt%

スループットは、エクストルーダー内での滞留時間を決定するだけでなく、造粒プロセスで得られる粒子サイズと密度に影響を与えます。また、顆粒の細孔径分布が粒子の膨潤特性に影響するため、緻密性はゲル化速度に影響を与える可能性があります。粒子の表面特性は、走査型電子顕微鏡法によって評価されました。画像を図4に示します。このように、押し出しプロセスのスループットは、顆粒の表面特性に影響を与えます。スループットが低いと、粒子が緩くなり、多孔質になります。これは、スクリュウとバレルへの材料充填量が少ないことが原因である可能性があります。一方、スループットが高いと、構造がよりコンパクトになります。顆粒の多孔性は、図3に示すように、サンプルが異なるゲル化挙動を示す理由であると考えられます。

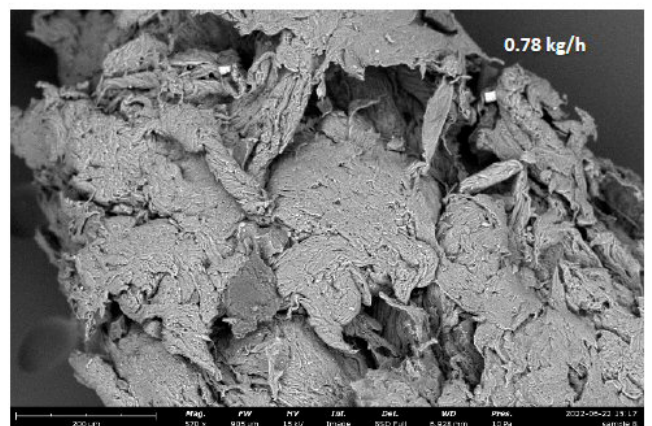
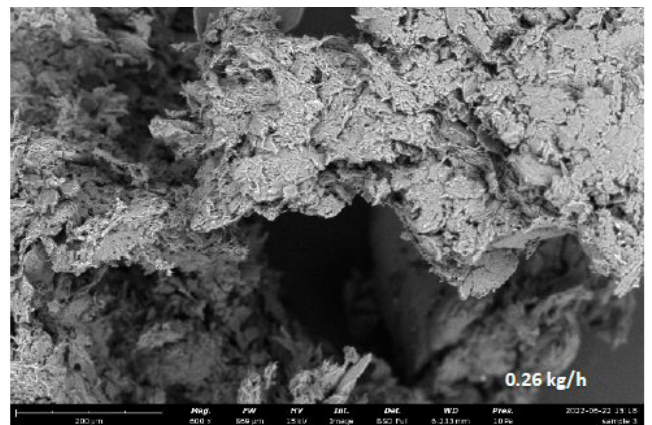


図4. 23 wt%の水添加で造粒したリンゴ搾りかすの走査型電子顕微鏡写真上部: 0.26 kg/hのスループット、下部: 0.78 kg/hのスループット

スクリー速度の影響

前項で見たように、リンゴ搾りかすの機能化には、細胞内の多糖類を適切に引き出すために、ある程度の機械的および熱的エネルギーの入力が必要です。そこで、造粒したリンゴ搾りかすのゲル化・膨潤性に及ぼすスクリー速度の影響を試験しました。スクリー速度を上げても、滞留時間には影響しません。ただし、せん断応力が増加し、摩擦による材料温度の上昇につながる可能性があります。これにより、押し出したサンプルの劣化が発生する可能性も出てきます。一部の文献では、非酵素処理されたリンゴ搾りかす (5) とチョークベリー搾りかす (6) は熱機械的ストレスに敏感であり、これらの材料のゲル化と水結合能力を低下させる可能性があることを示しています。図5のように、スクリー速度の増加は、造粒したリンゴ搾りかすのゲル化速度と能力に影響を与えます。スクリー速度を400 rpmから600 rpmに上げると、ゲル化/膨潤特性が変化します。このようなリンゴ搾りかすの特性は、貯蔵弾性率と損失弾性率の全体的な減少に見られるように、大幅に減少します。前述のように、これは多糖類の分解によって引き起こされている可能性があります。

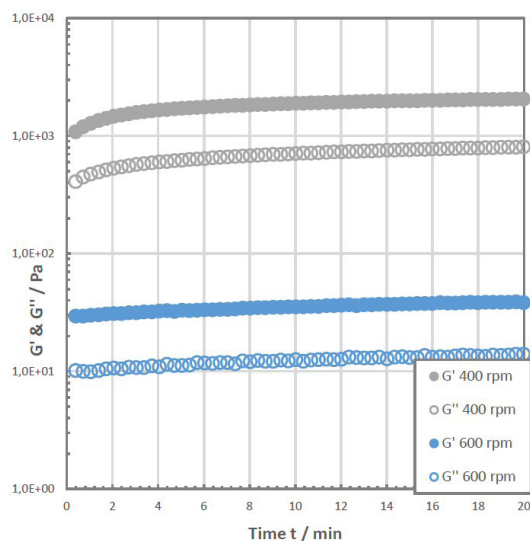


図5. 異なるスクリー速度で造粒されたリンゴ搾りかすのタイムスイープ測定結果

造粒サンプル作成条件: スループット0.26 kg/h、バレル温度40/60/80/100/120/120/120 °C、水分添加23 wt%

結論

ここでは、二軸スクリー造粒による市販の果汁製造から出るリンゴ搾りかすの機能化について紹介しました。スループットを変化させることで、異なるゲル化/膨潤特性を達成できることや、造粒サンプル作成時に考慮すべき点が示されました。熱機械的処理が高すぎると、多糖類の分解につながり、リンゴ搾りかすのゲル化特性が低下する可能性があることも実証されました。このように二軸スクリー造粒は、食品業界から出される廃棄物を機能化するための有望な技術と言えます。

参考文献

1. Elleuch, M.; Bedigian, D.; Roiseux, O.; Besbes, S.; Blecker, C.; Attia, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem.* 2011, 124, 411–421.
2. Cheftel, J.C. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chem.* 1986, 20, 263–283.
3. Hwang, J.-K.; Choi, J.-S.; Kim, C.-J.; Kim, C.-T. Solubilization of apple pomace by extrusion. *J. Food Process. Preserv.* 1998, 22, 477–491.
4. Schmid, V.; Trabert, A.; Keller, J.; Bunzel, M.; Karbstein, H. P.; Emin, M.A. Functionalization of Enzymatically Treated Apple Pomace from Juice Production by Extrusion Processing. *Foods* 2021, 10, 485.
5. Schmid, V.; Trabert, A.; Schäfer, J.; Bunzel, M.; Karbstein, H.P.; Emin, M.A. Modification of Apple Pomace by Extrusion Processing: Studies on the Composition, Polymer Structures, and Functional Properties. *Foods* 2020, 9, 1385.
6. Schmid, V.; Steck, J.; Mayer-Miebach, E.; Behnsnlian, D.; Briviba, K.; Bunzel, M.; Karbstein, H.P.; Emin, M.A. Impact of defined thermomechanical treatment on the structure and content of dietary fiber and the stability and bioaccessibility of polyphenols of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace. *Food Res. Int.* 2020, 134, 109232.

詳細はこちらをご覧ください thermofisher.com/extruders

研究用のみ使用できます。診断用には使用いただけません。
© 2023 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved.
All trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific and its subsidiaries unless otherwise specified.
実際の価格は、弊社販売代理店までお問い合わせください。
価格、製品の仕様、外観、記載内容は予告なしに変更する場合がありますのであらかじめご了承ください。
標準販売条件はこちらをご覧ください。 thermofisher.com/jp-tc **MC067-A23120B**

サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社

分析機器に関するお問い合わせはこちら

TEL: 0120-753-670 FAX: 0120-753-671

Analyze.jp@thermofisher.com

facebook.com/ThermoFisherJapan

@ThermoFisherJP

thermofisher.com

thermo scientific