

みかんジュース廃棄物の再利用： 顆粒化による資源循環と商品化への試作

Reuse of Mandarin Juice Waste: Prototyping for Resource Circulation and Commercialization through Granulation

庄 司 豊、小 川 ももこ

要約

[目的] 静岡県では温州みかん生産が多く、規格外みかんはみかんジュースとして加工される。みかんの約半分の可食部がジュースに加工され、残り半量の非可食部はみかん残渣とし廃棄され、処理コストも高い。従来、みかん残渣の利活用はバイオ燃料原料などが検討されてきたが、細胞壁成分の強固さやコスト面が課題である。そこで本研究では、みかんジュース残渣を「食品として直接利用できる素材」に転換することを目的とし、乾燥・粉末化・顆粒化による長期保存可能な食品素材の開発と、その品質評価を行った。

[方法] 静岡ミツウロコフーズより提供されたみかん残渣およびみかんパルプを用い、まず西光エンジニアリング(株)のマイクロ波減圧乾燥機(45℃、120分)で乾燥後、粉碎・300 μ mメッシュで篩別し粉末化した。次に(株)三協にて流動層造粒法により顆粒化し、小包装化した。顆粒組成は、みかん残渣66.35%、パルプ33.0%、シリカ0.5%、グァーガム0.15%とした。得られた顆粒に対し、温度40℃・湿度75%で1～4か月の加速試験を行い、色調・水分・風味・微生物検査を実施した。また栄養成分分析も行い、食品素材としての特性を評価した。

[結果] 乾燥後の歩留まりは、みかん残渣23.0%、みかんパルプ16.6%であり、パルプでは糖含量が高いため乾燥過程で一部焦げが生じた。顆粒化は流動層造粒法で安定的に行うことができ、約350包の小包装品を作成した。加速試験では4か月保存後に軽度の黄ばみがみられたが、品質は保たれ、常温2年以上の保存が可能と推定された。栄養成分は、炭水化物75.8g/100g、タンパク質7.0g/100g、脂質0.5g/100gで、食物繊維主体の低脂質・低ナトリウム食品であることが示された。

[考察] 乾燥・粉末化・顆粒化により、みかんジュース残渣を保存性・利便性に優れた食品素材へと転換できた。本試作では小包装化あたり534円/包と高コストであったが、300kg規模では15円/包まで削減可能と見積もられ、量産性に課題はあるものの実用化の可能性が高い。特に、みかんパルプの乾燥は焦げの発生など技術的困難を伴い、コスト低減には残渣主体の利用が現実的であると考えられた。今後、機能性表示食品化など市場価値の向上を図ることで、廃棄物削減と新たな地域資源循環モデルの構築に寄与できると期待される。

1. 研究背景および目的

日本の温州みかん栽培は戦前後に拡大し、1979年に361万tでピークに達した後は減少傾向にあるものの、2023年度も68万tが収穫されている。静岡県は和歌山・愛媛に次ぐ全国第3位の産地である。温州みかんは等級選別が行われ、規格外品はジュース原料として利用される。静岡ミツウロコフーズでは年間約1,800tを搾汁し、そのうち約900tが残渣として発生する。残渣のうち600tは飼料利用されるが、300tは廃棄され、処理には購入価格の半額に相当するコストを要する。食品廃棄物は焼却・埋立処分が一般的であり、みかんジュース残渣も十分に活用されていないことから、その有効利用は経済的・環境的に重要な課題である。

換言すれば、みかん全体の約50%は可食部として利用されているものの、残り半分は非可食部(残渣)として有効な用途が乏しく、その処理に経費が投入されている状況にある。こうした廃棄物活用の一つの方向性として、バイオテクノロジーを活用した資源循環型社会の構築が挙げられる。すなわち、細胞壁を構成するセルロース、ヘミセルロース、リグニンなどの植物性成分を酵素や微生物により単糖へと分解し、それを原料として発酵によりアルコールなどを生産する手法である(シュガープラットフォーム)。生成されるバイオアルコールは、バイオエタノールやバイオディーゼルといった燃料、さらに生分解性プラスチックなどの化学素材へと転換可能であり、カーボンニュートラルの観点からもきわめて有望である。

しかし、これら細胞壁成分は構造的に強固で、特にリグニンが酵素反応を阻害するため、安定的かつ高効率に単糖化を進めることは容易ではなく、プロセスコストも高い。このような背景から、筆者らはみかんジュース残渣をバイオ燃料原料としてではなく、非可食部そのものを食用素材として活用するという視点に着目した。みかんジュース残渣は水分が多く、①重量があり嵩張る、②保存性が低い、という食品素材としての問題があるが、乾燥処理によりこれらは解決可能と考えた。さらに乾燥物を粉末化し小包装とすることで、多様な用途への展開も期待できる。

しかし粉末状の残渣は静電気の影響で小分け充填が難しく、粒子が非常に細かいため飛散しやすく、取り扱いに課題があった。そこで筆者らは、粉末を顆粒化することでこれらの欠点を克服し、小包装化した製品として整えることを試みた。また、併せて顆粒化したみかん粉末の賞味期限および栄養成分を評価し、商品化に必要な基礎データの取得を目的とした。

2. 材料

本研究で使用したみかんジュース廃棄物は、静岡ミツウロコフーズ株式会社(静岡県静岡市)より提供を受けた。供与された廃棄物は、①みかん残渣、②みかんパルプの2種類に分類される。みかん残渣は、洗浄・殺菌後のみかんを全果搾汁する工程で生じる搾汁かすであり、外果皮、じょうのう、アルベドなどの固形部分を含む。一方のみかんパルプは、搾汁後の果汁を遠心分離する過程で比重の重い画分として沈降した固形成分であり、ジュース成分から除去されたものである。本研

究では、これら2種類の廃棄物を乾燥後に粉末化し、最終的に顆粒状へ加工して実験に供した。

3. 方法

みかん廃棄物の乾燥処理、粉末化は、西光エンジニアリング株式会社（静岡県藤枝市）に委託して実施した。同社が保有する独自開発のマイクロ波減圧乾燥機は、対象物の色調・香気・主要成分を保持しつつ、水分を効率的に除去できる特性を有している。みかん残渣およびパルプの乾燥は、マイクロ波減圧乾燥機を用いて45℃・120分の条件で行った。乾燥後の試料は、粉碎機（美砕機；株式会社寺田製作所、静岡県島田市）により粗粉碎し、300 μ mメッシュで篩別した。メッシュを通過した粉末を本研究の実験試料として用いた。

みかん残渣およびパルプの粉末は、株式会社三共（静岡県富士市）において顆粒化し、小包装化を行った。作成した小包装みかん顆粒は加速試験に供し、賞味期限を検討した。また、栄養価分析を実施し、主要な栄養成分の含有量を評価した。

4. 結果および考察

4-1. 粉末化行程

みかん残渣およびパルプの乾燥・粉末化は、西光エンジニアリング株式会社にて2024年7～8月に実施した。両試料はそれぞれ約10kgを冷凍状態でミツウロコフーズより供与され（2024年2月）、乾燥工程開始まで約半年間冷凍保存した。みかん残渣は乾燥前9,963g、乾燥後2,293g（歩留まり23.0%）、みかんパルプは乾燥前5,369g、乾燥後890g（16.6%）であった。みかんパルプの回収量が少なかった理由は、乾燥工程で一部ロットが焦げ、風味変化を避けるためそのロットを除外したためである。パルプは果肉由来で甘味が強く、糖類が多く含まれるため、乾燥時の熱で焦げが生じたと考えられる。また、パルプは粘性の高い液状であり、乾燥時に均一にトレイへ広げる必要があるため、乾燥工程の中でも最も時間と手間を要する作業となった。

4-2. 顆粒化行程

粉末化した残渣およびパルプの顆粒化と小包装化は、株式会社三協にて実施した。当初は両者を別々に小包装化する計画であったが、個別処理では費用が増加するため、残渣：パルプ＝2：1で混合し顆粒化する方針とした。顆粒化には押出造粒法、攪拌造粒法、流動層造粒法などがあるが、試作と条件検討の結果、本研究では流動層造粒法を採用した。通常、顆粒化には粘着剤などの添加が必要であるため、デキストリン（20%w/w）、グァーガム（0.15%w/w）、マルトース（10%w/w）などを試験的に添加した。しかし、添加量が増えるとみかんパルプ由来の風味が弱まる傾向が認められた。また、これら糖類はパルプ中にも一定量含まれると考えられるため、不必要と判断した。最終的には、みかん残渣66.35%、みかんパルプ33.0%、二酸化ケイ素0.5%、グァー

ガム0.15%（いずれもw/w）の配合で混合し、流動層造粒法により顆粒化した（以後「みかん顆粒」と記す）。なお、二酸化ケイ素はダマの発生防止を目的として添加した。

4-3. 加速試験

作成したみかん顆粒は、4 cm×15cmの筒状包装に5 gずつ充填し、合計約350包を作成した。その後、加速試験を実施した。加速試験とは、高温・高湿など通常より厳しい条件で保存し、短期間で劣化を進めて常温での賞味期限を推定する手法である。本研究では、みかん顆粒を40°C、75%RHで保存し、保存1、2、3、4か月後に色調、水分、におい、味、微生物検査を行った（表1）。この条件下での1～4か月は、常温での6、12、18、24か月に相当する。試験の結果、4か月目に若干の色調変化（赤みを帯びた黄色）が見られたものの、全体として特徴は保持されており、常温で少なくとも2年間は使用可能であることが示唆された。

剤型	スティック包装(5gセンター)					
試験結果(ヶ月)	0	1	2	3	4	
日付	2025年3月18日	2025年4月17日	2025年5月16日	2025年6月16日	2025年7月16日	
1)色調	JIS 色番	2.5Y7/12	2.5Y7/12	2.5Y7/12	2.5Y7/12	10YR7/10
	性状	うすい黄色の粒を有するうこん色の顆粒	うすい黄色の粒を有するうこん色の顆粒	うすい黄色の粒を有するうこん色の顆粒	うすい黄色の粒を有するうこん色の顆粒	つよい赤みの黄色の顆粒
2)水分(%)	3.62	3.97	3.82	4.36	4.02	
3)におい	香ばしい様なにおいと原料特有のにおい	香ばしい様なにおいと原料特有のにおい	香ばしい様なにおいと原料特有のにおい	香ばしい様なにおいと原料特有のにおい	香ばしい様なにおいと原料特有のにおい	
4)味	みかんの様な味でほのかに苦味と渋みを感じる	みかんの様な味でほのかに苦味と渋みを感じる	みかんの様な味でほのかに苦味と渋みを感じる	みかんの様な味でほのかに苦味と渋みを感じる	みかんの様な味でほのかに苦味と渋みを感じる	
5)菌検査	一般生菌数(個/g)	70	35	60	75	40
	大腸菌群	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

表1 加速試験結果

4-4. 栄養成分分析

栄養成分分析の結果、みかん顆粒はエネルギー336kcal/100g、タンパク質7.0g/100g、脂質0.5g/100g、炭水化物75.8g/100g、ナトリウム7 mg/100g、水分13.9g/100g、灰分2.8g/100g、食塩相当量0.02g/100gであった。これらの結果から、みかん顆粒の主要成分は炭水化物であり、その大部分が食物繊維であると推察された。また、低脂質・低ナトリウムで、適量のタンパク質とミネラルを含む保存性に優れた食品素材であることが確認された。

4-5. コスト

本研究は試験的な試作であったため、5gの小包装1包の製造コストは約820円であり、そのう

ち534円が小包装化費であった。しかし、株式会社三協が保有する最大規模（300kg、約6万包）での生産を行うと、1包あたり15円まで費用が低減できると試算された。みかん残渣は乾燥時に焦げの問題が生じないため粉末化が容易であるが、みかんパルプは前述のように乾燥・粉末化に手間がかかる。したがって、製造コスト低減のためには粉末化工程の改善が必須であり、現状では残渣のみを粉末化する方法が現実的であると考えられた。ただし、本研究での粉末化は小規模機器による手工業的手法で行っているため、大量生産を行う際には粉末化工程のスケールアップと方法論の刷新が求められる可能性が高い。

5. まとめ

みかんジュース廃棄物を用いて、長期保存可能なみかん顆粒を作成した。本顆粒は食物繊維に富み、栄養成分面でも有用性が示された。試作段階ではコストが高いものの、大量生産を行うことで大幅なコスト削減が可能であると考えられる。今後、機能性表示食品化など付加価値を付与すること、調理や製菓での利用法を開発することで需要を喚起できれば、商品化の可能性が高まると期待される。

