

江戸伝統久寿餅由来発酵小麦デンプンの食品学的特性の解明と応用

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	野口, 治子
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	49巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 151-155
発行年月	2023年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



江戸伝統久寿餅由来発酵小麦デンプンの 食品学的特性の解明と応用

2022年度日本食品保蔵科学会技術賞

野口 治子*§

* 東京農業大学農学部デザイン農学科

Elucidation and Application of Food Science Properties of Fermented Wheat Starch Derived KUZU-MOCHI, a Traditional Food Originating in Edo

NOGUCHI Haruko*§

* Department of Agricultural Innovation for Sustainability, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture,
1737 Funako, Atsugi-city, Kanagawa 243-0034

Key words: KUZU-MOCHI, fermented wheat starch, lactic acid bacteria, traditional food
久寿餅, 発酵小麦デンプン, 乳酸菌, 伝統食品

1. はじめに

久寿餅（くずもち）とは、麩（グルテン）製造で副生する小麦デンプンを発酵させた“発酵小麦デンプン”を原料とした和菓子である（図1）。江戸時代後期に関東地方で小麦栽培が広まり、麩が庶民に身近な食べ物となるなかで久寿餅は生まれたと考えられる¹⁾。亀戸天神や川崎大師周辺の名物として庶民に親しまれる菓子となり（図2）²⁾、令和の現代にも受け継がれている。「くずもち」には、発酵小麦デンプンを原料とする久寿餅の他に、

葛の根から作られる葛粉を原料とした葛餅がある。葛餅は透明な餅で軟らかくもっちりとした食感であるの対し、久寿餅は乳白色で、その食感は軟らかいが弾力があり粘らず歯切れの良いことが特徴である。

近年、伝統的手法にて製造されている食品について近代的手法を用いた解析が行われており、その成果が製品



図1 久寿餅

乳白色の久寿餅に黒みつときな粉をかけていただく。



図2 くず餅の屋台売り

江戸から明治にかけての庶民の生活を描いた風俗絵図にも久寿餅は登場する²⁾。
(国立国会図書館デジタルコレクション)

* 〒243-0034 神奈川県厚木市船子1737

§ h3noguch@nodai.ac.jp

の品質向上や新製品開発へと応用されている³⁾⁻⁵⁾。これまでに久寿餅については、原料である発酵小麦デンプンの特性も含め検証された例はなく、発酵小麦デンプンの用途も久寿餅のみに限定されている。本研究では、久寿餅の特徴的な食感形成メカニズムの解明を目的として、発酵小麦デンプンの特性と形成要因について検証した。また、発酵小麦デンプンの新たな活用法の確立を目指し、発酵小麦デンプンを用いた食品開発に取り組んだ。

2. 久寿餅の食感と発酵小麦デンプンの特性

久寿餅の食感の特徴を明らかにするため、他の和菓子(団子、わらび餅、羊羹)と物性比較を行った(図3)⁶⁾。久寿餅の硬さは団子と同程度であり、付着性は約4分の1と粘りが小さい結果であった。これは「歯切れのよい」という食感の特徴と一致した。久寿餅の物性の特徴はデンプンのゲル構造に起因すると考え、内部構造を団子と比較した(図4)。走査型電子顕微鏡観察では、久寿餅の内部にはデンプン粒の残存が多く、網目構造の割合は少なかった。網目構造部分を高倍率にて観察すると、久寿餅ではより緻密な網目構造を形成していた。デンプン糊化の過程では、デンプン粒は加熱とともに吸水、膨潤した後、崩壊して糊化したデンプンが溶出する。デンプン系ゲルは、溶出したデンプンが冷却し網目構造を形成したものである。このため、久寿餅と団子の内部構造の差異は、デンプンの糊化特性の違いによるものと考えられた。

久寿餅の原料である発酵小麦デンプンの糊化特性を明らかにするため、発酵および未発酵の小麦デンプンを用い、糊化過程における粘度挙動とゲルの物性を比較した⁷⁾。粘度特性において発酵小麦デンプンの最高粘度は未発酵小麦デンプンに比べて低く、最終粘度も低い値であった(図5)。また、糊化デンプンの老化しやすさの指標であるコンシステンシー(最終粘度-最低粘度)も

発酵小麦デンプンは未発酵デンプンの約1/6であった。測定後の糊液を冷却しゲルを作成し、その物性をテンシプレッサーにて測定した結果、ゲルの硬さ、歯ごたえ、付着性、粘りのいずれにおいても発酵小麦デンプンが小さい値であった。また、ゲルを低温にて3日間保存した際の硬さの増加は、発酵小麦デンプンが未発酵小麦デンプンより小さい結果となり(表1)、軟らかいゲルは冷やしても硬くなりにくいことが明らかとなった。

以上より、発酵小麦デンプンの特徴として、糊液は粘りが小さく、ゲルは軟らかく付着性の少ない物性であり、冷却しても硬くなりにくいことが明らかとなった。この特徴は未発酵の小麦デンプンとは異なることから、発酵によりデンプンの特性が変化したと考えられた。

デンプンの特性変化はデンプンの構造に起因すると考え、発酵前後におけるデンプンの理化学的特性を比較した⁷⁾。発酵小麦デンプンは発酵前に比べて、見かけのアミロース含量は低下し、デンプンのヨウ素吸収スペクトルも短波長側へ移行した。このことより、発酵過程においてデンプンの構造が変化したこと、アミロースやアミロペクチンの分解が示唆された。そこで発酵前後のデンプンをゲルろ過クロマトグラフィーに供したところ、発酵前の小麦デンプンに比べて発酵小麦デンプンはアミロペクチンのピークが減少し、遅く溶出された。アミロースのピークも遅く溶出され、全体が低分子化していることが示された。さらにアミロペクチンの鎖長を解析したところ、アミロペクチン長鎖は減少し、短鎖比率は増加していた。

小麦デンプンは発酵過程において、アミロース含量が減少、アミロペクチンは低分子化し、短鎖比率が増加していることが明らかとなった。これらの変化に伴い、小麦デンプンの糊液の粘度やゲル物性も変化したことで、久寿餅に特徴的な内部構造が構築されるようになり、久寿餅の特徴的な食感が形成されたと考えられた。

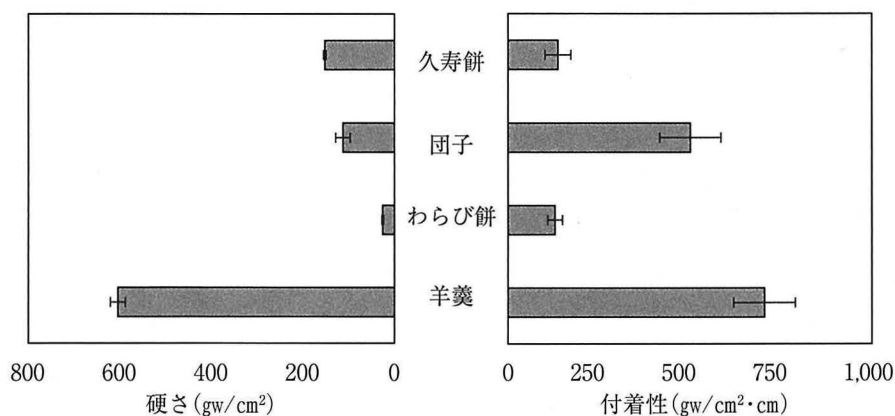


図3 久寿餅の物性

テンシプレッサー (My boy II) を用い、1 バイト法 (圧縮変形45%)、 $\phi 7$ mm円柱プランジャーにて測定し、硬さと付着性を示した (平均値 $\pm$ 標準偏差, $n = 6$)。試料は厚さが約10mmとなるよう整形した。

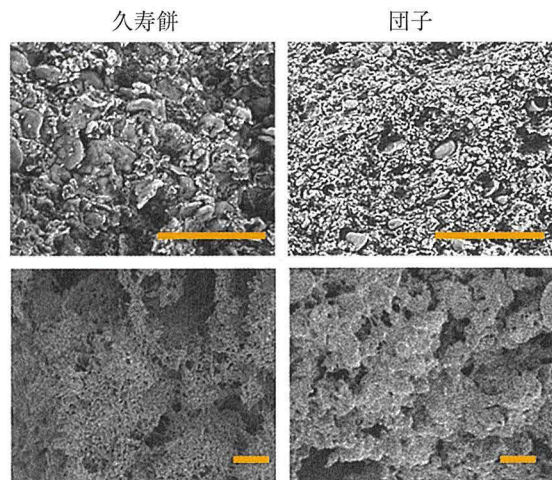


図4 久寿餅の内部構造

走査型電子顕微鏡にて断面を観察した。倍率は上段が500倍、下段が10,000倍、スケールバーは上段が100 μ m、下段が10 μ mを示す。

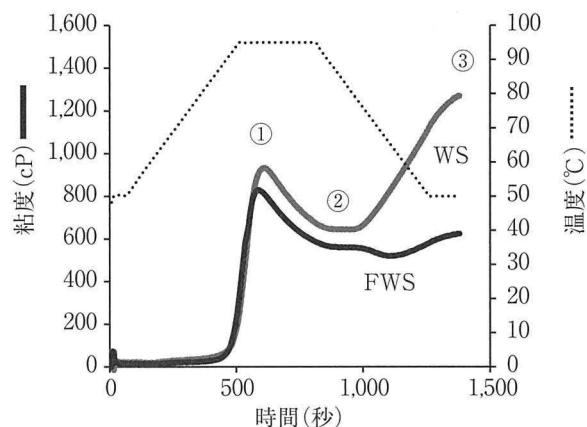


図5 発酵小麦デンプンの糊化粘度特性

発酵小麦デンプン (FWS) と未発酵小麦デンプン (WS) を試料濃度8% (無水物換算, w/w) となるよう純水を加え、ラビッドビスコアナライザー (RVA) にて粘度を測定した。①は最高粘度、②は最低粘度、③は最終粘度を示す。

表1 低温保存におけるゲルの硬さの変化

保存時間 (h)	WS	FWS
1	37.1 $\pm$ 0.8 ^a	15.4 $\pm$ 0.5 ^e
24	43.9 $\pm$ 0.3 ^b	16.6 $\pm$ 0.3 ^f
48	46.1 $\pm$ 0.5 ^c	18.2 $\pm$ 0.4 ^g
72	49.2 $\pm$ 0.3 ^d	18.3 $\pm$ 0.6 ^g

(gw/cn²)

RVA測定後の糊液よりゲルを調製し、4℃保存での硬さの変化をテンシプレッサーにて測定した。硬さは平均値 $\pm$ 標準偏差 (n = 6) で示し、異符号間で有意差有り ($p < 0.05$)。

3. 発酵過程における微生物叢

発酵過程におけるデンプン構造変化の要因を明らかにするため、発酵中の微生物について検討した。

発酵小麦デンプンの製造工程を図6に示した。小麦粉に水を加え混捏し生地を形成させ、これを大量の水で揉み洗いし、グルテンとデンプンを分離した。グルテンは麩の原料やバイタルグルテンとして小麦粉加工品製造に用いられている。一方、水と共に取り除かれたデンプン懸濁液は、一時的に貯蔵され、ある程度の量になったところで屋外の発酵槽へと移された。屋外の発酵槽では、簡易的な覆いがされた状態で発酵が進行し、水切りしたものが発酵小麦デンプンとなる。生地を洗い分離した直後のデンプン懸濁液はpH6.9と中性であるが、発酵槽に移す前の一時貯蔵ではpH4.2、屋外の発酵槽で発酵期間中はpH2～4、水切り後の発酵小麦デンプンはpH3.5であった。発酵期間は約2年と長期間であり、常に酸性環境にある。各発酵時期にて試料採取し酢酸および乳酸量を測定したところ、全ての試料で有機酸が検出され、発酵期間に伴いその量は増加し、酢酸よりも乳酸が多く検出された⁸⁾。発酵物はチーズ様のにおいが強く、アルコール臭は少ないことから、乳酸菌の働きにより発酵中の酸性環境が維持されていると考えられた。

発酵物中の菌叢について調べるため、発酵6か月まで

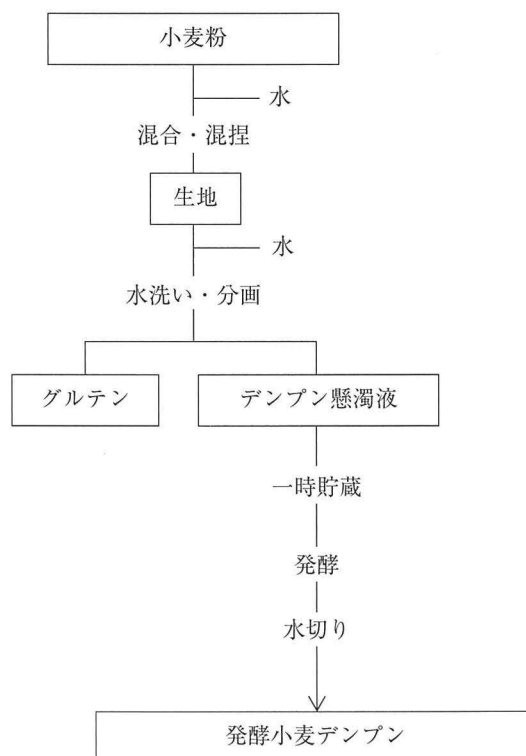


図6 発酵小麦デンプンの製造工程

デンプン懸濁液は一時的に貯められたのち、グルテン残渣を除いてから屋外の発酵槽へと移される。発酵は1年半から2年ほど行われる。

の試料からDNAを抽出し、一般細菌、乳酸菌、カビ・酵母ごとにPCR-DGGE法にて解析を行った(図7)⁹⁾。乳酸菌>一般細菌>カビ・酵母の順で多くバンドが検出され、複数の微生物と多様な種が存在することを確認した。いずれの微生物も、一時貯蔵にて検出されたバンドが、屋外の発酵槽から採取した試料でも検出された。また、バンドパターンは発酵時期により濃淡がみられた。このことより、最初にデンプン懸濁液を一時貯蔵したタンクに存在する微生物叢がスターターのような役割を担っていると推察された。

発酵過程におけるデンプンの構造変化に対する微生物の関与を明らかにするため、微生物酵素に着目し、アミラーゼ、セルラーゼ、プロテアーゼ生産菌のスクリーニ

ングを行った(表2)⁹⁾。一時貯蔵から発酵小麦デンプンが完成するまでの6つ時期(一時貯蔵, 発酵1日目, 2か月, 8か月, 12か月, 完成品)にサンプリングを行い、SYP寒天培地を用いて107株を分離し、これら分離株の各種酵素の生産能について検証した。デンプンを分解するアミラーゼ生産菌のスクリーニングでは、pH6.8の中性環境では107株中83株にアミラーゼ活性が確認され、発酵環境と同じ酸性(pH3.5)では57株に活性が確認された。アミラーゼ生産菌を培養し、培養液を用いて生デンプン分解活性を測定したところ、多くの株で活性を検出した。また、デンプン懸濁液には一部小麦ふすまも含まれていることからセルラーゼ生産性を調べたところ、中性環境にて107株中41株で活性が認められた。発酵初期の屋外の発酵槽では液面に浮かんたグルテン残渣が溶解していく様子がみられたため、プロテアーゼ生産性についても調べたところ、107株中62株で活性を検出した。

以上のことより、発酵環境におけるデンプン構造の変化要因として、有機酸とデンプン分解菌の影響が考えられた。デンプンを有機酸にて長時間処理するとデンプンの粘性が低下するとの報告があり^{10), 11)}、発酵小麦デンプンにおいても乳酸や酢酸が十分に存在していた。また、発酵槽より分離したアミラーゼ生産菌はpH3.5においても生育することを確認しており、これらの大半は生デンプン分解活性も示した。これらのことより、発酵小麦デンプンの形成には有機酸とデンプン分解酵素が関与するものと推察した。

4. 発酵小麦デンプンの利活用

発酵小麦デンプンは、グルテン製造の副産物である小麦デンプンが原料となっている。グルテンはバイタルグルテンとしての需要があり、国内外を問わず世界で利用されている。一方、小麦デンプンの有効な活用法は少なく、未利用資源の一つといえる。発酵小麦デンプンにおいても久寿餅以外での利用はほとんどなされておらず、

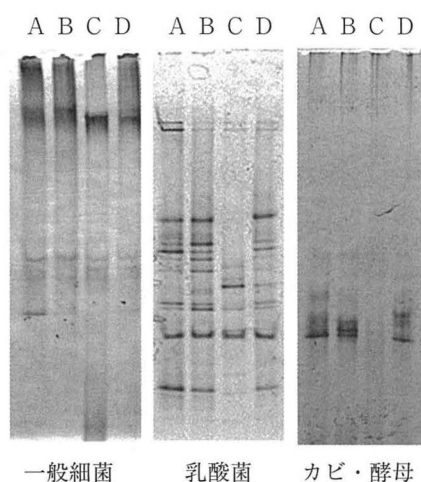


図7 発酵過程の菌叢解析

各発酵時期の試料からDNAを抽出し、GCクランプを付加した一般細菌、乳酸菌、カビ・酵母用プライマーを用い、PCR-DGGE法による菌叢解析を行った。試料のサンプリングは、一時貯蔵(A)、発酵1か月(B)、発酵3か月(C)、発酵6か月(D)にて行った。

表2 酵素生産菌のスクリーニング

	アミラーゼ生産菌	セルラーゼ生産菌	プロテアーゼ生産菌
			
	デンプンが分解された部位は透明	CMCが分解された部位は透明	カゼインが分解された部位は透明
pH6.8	83株/107株	41株/107株	62/107株
pH3.5	57株/107株		

アミラーゼ生産は可溶性デンプンを含むSYP培地にて培養後ヨウ素溶液を滴下した。セルラーゼ生産はカルボキシメチルセルロース(CMC)を含む培地にて培養後、コンゴレッドを滴下し純水で洗浄した後、塩化ナトリウムを滴下後に洗浄、酢酸溶液を滴下した。プロテアーゼ生産は、スキムミルクを含む培地に円形ろ紙を置き、ろ紙に培養上清を滴下した。酵素活性の有無はハロー形成(培地の透明な部分)の有無により評価した。酵素活性の有無はハロー形成(培地の透明な部分)の有無により評価した。

その知名度も低い。そこで、発酵小麦デンプンの特性を活かした利用法について検討した。

発酵小麦デンプンを水で洗浄したのち、エタノール列(50~100%)にて脱水・乾燥させたものを用いて食品の試作を行った。水分含量の多い食品としてプリン、水分含量の少ない食品クッキーと、えびフリッター(揚げ衣に添加)を作成した。牛乳プリンに発酵小麦デンプンを3.5%加えると、滑らかな口当たりと発酵の風味が感じられた。小麦粉の一部(10~50%)を発酵小麦デンプンに置き換えたクッキーでは、軟らかくもろい食感が付与された。揚げ衣の小麦粉の10%を発酵小麦デンプンに置き換えたフリッターでは、サクサクとした食感が強調され、冷めても持続しており、官能評価でも好印象であった。発酵小麦デンプンを用いた食品では、多加水では柔らかく粘りの少ないゲル形成し、低加水ではサクサクとした食感を付与することが明らかとなった。このことから、加工食品の物性改良食材としての応用が期待される。

5. おわりに

デンプンを基質とした発酵技術は、アルコール発酵や糖化など、醸造や物質生産のための製法として古くから利用されており、現代においてもエネルギー生産や希少糖生産など新たな用途が見出されている。発酵小麦デンプンにおける発酵はデンプンの低分子化であり、デンプンの粘性やゲル物性に影響を与えることから、加工デンプンと共に新たな食品素材の生産技術となることが期待される。

謝 辞 この度は栄誉ある技術賞を賜り、ご推薦頂きました先生方々ならびに選考委員の皆様に謹んで御礼申し上げます。本研究を遂行するにあたり、懇切なご指導を賜りました東京農業大学の高野克己名誉教授、ならびに日頃の研究活動を支えて下さった教員の皆様に深く感謝致します。今後も研究に精進してまいりますので、引き続きご指導ご鞭撻のほど、宜しくお願い申し上げます。

文 献

- 1) 野口治子：伝統食品の知恵②発酵食品としての久寿餅(くずもち)，月刊フードケミカル，2021-5，10-13 (2021)
- 2) 清水晴風：世渡風俗圖會卷七，国立国会図書館デジタルコレクション
- 3) 国正重乃：湯葉被膜形成機序の解明と品質ならびに生産性の向上，日食保蔵誌，43，187-191 (2017)
- 4) 大久長範：伝統食品‘稲庭うどん’に内在する空隙と亀裂の役割について，日醸協誌，112，208-213 (2017)
- 5) 小山翔大・小泉香葉・妙田貴生・内野昌孝・藤森嶺・高野克己：後発酵茶・碁石茶の特徴香氣成分とその生成に關与する微生物の解析，日食保蔵誌，45，119-127 (2019)
- 6) 風見真千子・野口治子・丸山慶輔・本橋慶一・矢口行雄・入澤友啓・高野克己：発酵小麦デンプンを原料とする久寿餅の特性，日食保蔵誌，42，149-153 (2016)
- 7) 野口治子・丸山慶輔・本橋慶一・矢口行雄・入澤友啓・辻井良政・佐藤広顕・高野克己：久寿餅原料である発酵小麦デンプンの性状，日食保蔵誌，42，197-202 (2016)
- 8) 入澤友啓・野口治子・内野昌孝・高野克己：発酵小麦デンプンの発酵期間におけるデンプン流と微生物叢の変化，日食保蔵誌，40，171-176 (2014)
- 9) 野口治子・風見真千子・谷口(山田)亜樹子・高野克己：久寿餅原料の発酵期間における酵素生産菌の探索，伝統食品の研究，48，19-24 (2021)
- 10) L. Wang. and Y.-J. Wang：Structure and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato, and rice starches, *Starch*，53，570-576 (2001)
- 11) Joythi, A. N., Wilson, B., Moorthy, S. N. and George, M.：Physicochemical properties of the starchy flour extracted from sweet tubers through lactic acid fermentation, *J. Sci. Food Agric.*, 85, 1558-1563 (2005)