

V 穀粉の吸水性の評価と調節

1. はじめに

調理の目的のひとつは、その素材のもつ特性を生かすように加工して食事として供することにある。澱粉を多量に含む穀類を食材として利用する場合、澱粉を糊化させることで消化吸収をよくして栄養効果を高め、糊化した澱粉ゲルがもちもちとした物性を生かすため、加水、加熱を伴う調理を行うことが多い。またその際には、(1)炊飯米のような粒食、(2)小麦粉のような粉末にしてパンや麺に加工、(3)コーンスターチのように澱粉を取りだしてゲル状食品やとろみづけに利用、といった方法がとられる。我が国で最も利用の多い穀類は米と小麦で、近年の食料自給率向上政策の一環として、主食用米以外の米粉用などの水稻作付け面積の拡大、多様な用途に対応した製造技術の革新と商品開発を軸とした米粉の利用拡大を図っている¹⁾。このような背景から、特に(2)に関連した新たな米粉利用技術の開発が進められている。

米粉特有の物性を生かした多様な食品による需要創出につなげるためには、米粉の基本特性の解析と、その加工・調理特性との関係の解明が不可欠である。例えば、ういろう、団子などの水分を多く含む和菓子は、米澱粉糊化ゲルのもちもちとした特性が生かされる食品であり、米粉が十分に吸水することが重要となる。一方で、米粉パンでは、澱粉の糊化に必要な水分を吸水する必要があるものの、過度の吸水は生地へのべたつきや離水を招く。米粉に水を加えて生地を作製する際、粉が吸水すると、再水和し、膨潤し、可溶性成分が溶出することによって、生地の物性をはじめとする様々な重要な機能が発揮される^{2,3)}。したがって、粉の機能を最大限に引き出して利用するためには、粉の吸水性を適切に評価することが重要であると考えられる。また、望まれる吸水特性をもつ米粉を自在に作製することができれば、米粉の新用途開発につながるものが強く期待される。本稿では、穀粉の吸水性測定法とその活用例、および吸水性の調節方法について紹介する。

2. 吸水性の評価法

小麦粉の吸水量を評価する方法は、これまでも、AACC 公定法である遠心法⁴⁾、ファリノグラフ吸水率⁵⁾、濾過法⁶⁾などが知られており、製パン性との関連が詳しく調べられている^{7,9)}。一方で、吸水速度についても、生地作製時に材料を加える順番については生地の物性に影響を及ぼすと考えられることから、評価が試みられてきた。Baumann のキャピラリー法¹⁰⁾や粉体の濡れ性の評価¹¹⁾などが知られているが、測定装置の作製や測定が面倒なことから、ほとんど利用されていない。筆者らは、土壌の最大容水量測定法¹²⁾と上記粉体の濡れ性の測定法を参

考に、特殊な器具を必要としない簡易な吸水測定法を開発した¹³⁾。以下具体的な方法を紹介する。

(1) 用意する物

- ①底に1 cm 間隔で1～2 mm の穴を7つ開けた円筒容器。例えばラピッドビスコアナライザーの測定容器（アルミ製，直径3.8 cm，高さ6.8 cm，厚み0.4 mm）に穴を開けて作製する。（図1）
- ②ガラス繊維ろ紙（円筒容器に合わせる。上記の場合は直径3.7 mm）ここではアドバンテック東洋ろ紙GA55を使用。
- ③25 g の重し
- ④バットにろ紙一枚，その上にペーパータオルを一枚敷く。これは缶とバットが密着するのを防ぐためである。缶を入れたときに水位が1 cm 程度の高さになるように蒸留水を張る。

(2) 測定方法

- ①円筒容器の底に乾いたガラス繊維ろ紙を敷き入れて重量を測定した後，粉10 g を計り入れる。



図1 吸水評価に用いるもの

上から、バット、底に穴をあけた円筒容器、ガラス繊維ろ紙、重し

- ②粉の入った容器を机上数 cm の高さから落とすようにして軽くたたき（120 回）、缶の中の粉が均一に詰まるようにする。このとき、粉の高さは約 12 mm となる。
- ③蒸留水を張ったバットに粉を入れた容器を浸し、容器が浮かないように重しを乗せる。初期は 1～2 分間隔、その後は 5～10 分毎に水から容器を引き上げ、缶の外に付着した水を素早くペーパータオルで拭き取り、重量を測定し、素早くバットに戻す（図 2）。重量の変化が観察されなくなるまで繰り返す。吸水によりバットの水位が下がるので、適宜蒸留水を補充する。
- ④一試料あたり、4 回程度測定し、平均値を取る。
- ⑤粉の水分含量を勘案して全水分量を計算し、粉 100 g 当たりの全水分量としてグラフにプロットする。
- ⑥時間経過に伴う吸水量の変化は、 t を測定時間、 Y を全水分量として、

$$Y=A(1-e^{-Kt})+B \quad (\text{式 1})$$

を当てはめることができる。このとき、 A は吸水量、 K は吸水速度係数、 B は初期水分量を表す。吸水試験によって得られた吸水量から乾物重に対する全水分量 Y を計算して、 t と Y を軸にしたグラフにプロットし、統計解析ソフト（例えば GraphPadPrism）を用いて式 1 に当てはめ、 A 、 K 、 B を算出する。 A の半分量を吸水するのにかかる時間である半吸水時間 $H=\ln(2)/K$ は、吸水速度の目安となる。

3. 粉碎方法の異なる米粉の吸水性の評価¹³⁾

コシヒカリ精米を気流粉碎（湿式および乾式）、ピンミル、ロールミルの方法で粉碎した。それぞれの粉の平均粒径（レーザー回折式粒度分布計使用）と損傷



図 2 吸水性評価装置の全貌

澱粉含量（Megazyme キット使用）を測定した（表1）。吸水量を測定したときの吸水量の推移をグラフにプロットした（図3）。湿式気流 A と B は、いずれも湿式気流粉碎であるが、製粉事業者および粉碎機のメーカーが異なり、粒度分布が異なっているものである。

統計解析ソフトを用いて吸水量 A と半吸水時間 H を算出すると、表1のようになる。この例では、湿式の粉碎で得られた粉は吸水量 A が小さく、乾式の粉碎で得られた粉の吸水量は大きかった。コシヒカリ以外の品種でも、粉碎方法による吸水のパターンの違いは同様であり、吸水性は概ね粉碎方法により特徴があり、品種との関連性は高くないことがわかった。

小麦粉 / 米粉 = 70/30 の粉を用いて、加水率を一定にして製パンした米粉パンの比容積との相関を解析すると、吸水量 A が小さく（=吸水量が少なく）、半吸水時間 H が短い（=吸水が速い）米粉を使用したパンの比容積は高く、吸水量

表 1 粉碎方法の異なる米粉の吸水特性（コシヒカリ）

粉碎方法	平均粒径 (μm)	損傷澱粉含量 (%)	吸水量 A (g / 100 g)	半吸水時間 H (min)
湿式気流 A	81 \pm 50	4.5	76	2.3
湿式気流 B	50 \pm 29	5.1	80	11.3
乾式気流	57 \pm 39	15.3	127	6.7
ピンミル	161 \pm 81	7.6	95	3.3
ロールミル	145 \pm 78	8.0	100	2.6

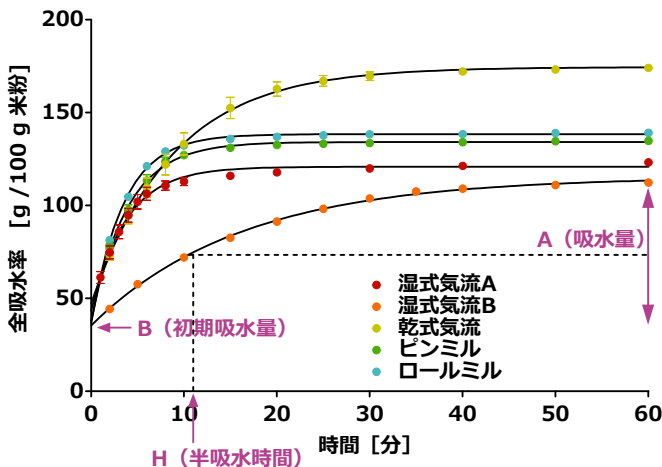


図 3 吸水過程の解析と曲線への当てはめ

が多く吸水の遅い米粉を使用したパンの比容積は低かった（図4）。

物理化学的特性との関連では、損傷澱粉含量と吸水量 A には正の相関が認められた。アミロース含量はいずれとも相関は認められなかった。また、半吸水時間 H は粒度分布との関連が認められた。同じ湿式気流粉碎でも、 A と B で吸水量に有意差はないものの、半吸水時間は大きく異なった。これには、粒度分布が関係しているものと推測された。

ここでは米粉での測定例を紹介したが、トウモロコシ粉、オオムギ粉、ソバ粉、アワやヒエなどの雑穀粉など、多くの穀粉や、大豆粉、乾燥ヤムイモ粉などでも吸水特性を測定できることを確認している。残念ながら、損傷澱粉含量が60%以上の極めて損傷度の高い粉と小麦粉は測定ができなかった。これは、損傷澱粉やグルテンの吸水量が高いこと、吸水したこれらの粉は膨潤してろ紙のすぐ近傍で膜状になり、揚水を妨げることが原因と考えられる。一方で、ごく少量の吸水を測定する系にダウンスケールすることにより、損傷度の高い粉やグルテンなど吸水性の高い成分を含む粉で吸水性を測定することが可能になると考えられる。

4. 穀粉の吸水性の調節

今回紹介したような静置吸水で吸収される水は、①粉の表面に吸着する吸着水、②粒と粒の間隙に入る毛管水、③内部へ吸収される吸収水の三形態が考えられる。米粉の吸水は大きく二段階に分けて進むと考えられる。吸水の初期段階では、毛管引力により米粉の粒子間に水が引き込まれ、米粉表面への吸着が起こる。次の段階では、米粉の内部へ水が浸透し、吸収水となる。初期の吸着水と次段階の吸収水それぞれに着目して粉の性質を改変することで、吸水性を細かく調

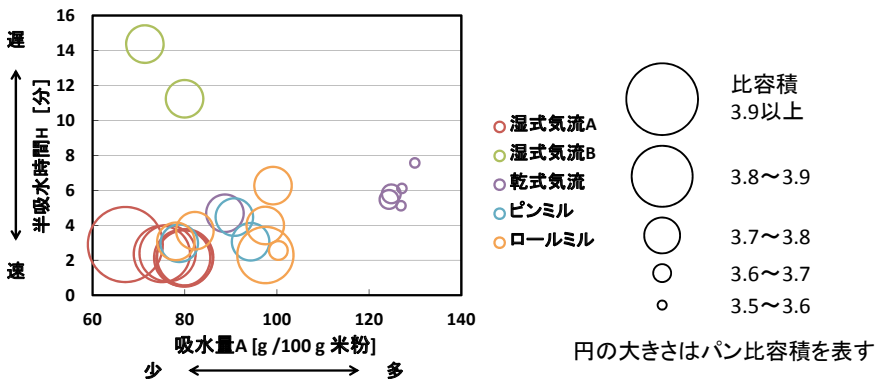


図4 各種米粉の吸水性と米粉パンの比容積

節することが可能になると考えられる。

小麦粉を塩素処理や乾熱することで粉表面の性質が変化し、ケーキの膨らみが改善することが知られている¹⁴⁾。小麦粉表面のタンパク質が疎水的になることで、気泡との親和性や澱粉への水の浸透に影響があると考えられる^{15, 16)}。長期保存や乾熱処理した米粉でもやはり表面の親油性が変化しており、グルテン混合米粉パンの膨らみが悪くなることが示されている。また、このような米粉を水酸化ナトリウム処理してタンパク質を除去することによって、パンの膨らみが改善することから、タンパク質とグルテンの相互作用の変化が示唆されている¹⁷⁾。

筆者らは、穀粉を水酸化カルシウムで処理することにより、吸水特性を改変できることを見いだした。処理時間、濃度、温度を調節することで、吸水速度と吸水量を調節することが可能である¹⁸⁾。図5に極端に吸水速度が低下して撥水性を示すようになった粉の吸水曲線を示す。この例では、表面が改質されて疎水的になって水をはじくようになり、水が浸透するまでの時間が長くなったと推測された。このような粉では、例えば打ち粉に用いた場合に、生地を吸水を抑え、打ち粉の茹でどけを抑制することが可能である。米粉から順次タンパク質を除去した粉を用いて水酸化カルシウム処理粉を作製したところ、プロラミン、グルテリンの撥水性発現への関与が強く示唆された。

アニーリングおよび湿熱処理により澱粉の結晶化度を調製した米粉では、示差走査熱量測定による糊化エンタルピー（結晶の溶解に必要な熱量の指標となる）と吸水量との間に高い負の相関が認められ（図6）、澱粉の結晶性が低くなるほど吸水量が多くなることが示された。この例では、穀粉中の澱粉の結晶性が穀粉内部へ吸収される吸収水の量を決定づける要因であることを示唆している。

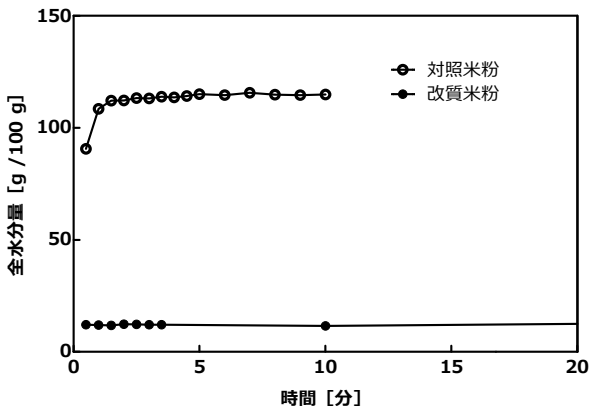


図5 水酸化カルシウム処理により改質した米粉の吸水特性

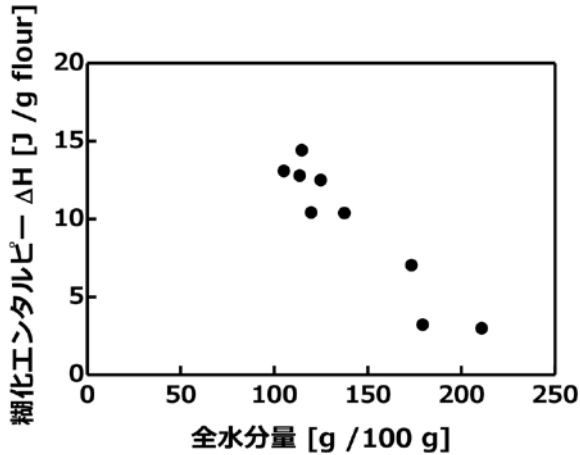


図6 澱粉の結晶化度を調整した米粉の糊化エンタルピーと吸水量との関連

5. おわりに

以上のように、特殊な装置を使用せずに簡易に吸水特性を評価できる手法は、実施場所を選ばないことから、生地作製時に材料を加える順番を検討したり、生地作製に適した粉を選別したりするときの予備試験に用いることができるほか、製粉工場の品質管理などにも利用することができる。

今回紹介しなかったが、酵素処理による澱粉の非晶領域の改変、湿熱処理による澱粉結晶領域の改変による吸着水の改変方法の検討なども行っている。様々な吸水特性の改変方法を組み合わせることにより、穀粉の吸水特性の微調整を行い、加工利用特性を改変することができるようになることで、今後素材の新たな利用法の開発につなげることが期待される。

謝辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」および科学研究費助成事業（基盤研究（C））により実施された。

（食品加工流通研究領域 食品素材開発ユニット 松木 順子）

引用文献

- 1) 農林水産省. 米粉をめぐる状況について. 2016 [cited 2016.7.6]; Available from: <http://www.maff.go.jp/j/seisan/keikaku/komeko/pdf/komeko2.pdf>.

- 2) Bushuk, W. and Hlynka, I. (1964) Water as a constituent of flour, dough, and bread. *The Bakers Digest*, **38** (12), 43-46.
- 3) Pilosof, A. M. R., Boquet, R., and Bartholomai, G. B. (1985) Kinetics of water uptake by food powders. *Journal of Food Science*, **50** (1), 278-279.
- 4) AACC International (Proposed November 3, 1999; revised and approved June 3, 2009.) Method 56-11.02. Solvent retention capacity profile, in *Approved methods of analysis*, 11th ed., AACC International: St. Paul, MN, U.S.A.
- 5) AACC International (Proposed November 8, 1995; revised and approved January 6, 2011.) Method 54-21.02. Rheological behavior of flour by farinograph: Constant flour weight procedure, in *Approved methods of analysis*, 11th ed., AACC International: St. Paul, MN, U.S.A.
- 6) 有坂將美, 中村幸一, 吉井洋一 (1992) 製粉方法を異にした米粉の性質. *澱粉科学*, **39**, 155-163.
- 7) Bushuk, W. (1966) Distribution of water in dough and bread. *The Bakers Digest*, **40** (5), 38-40.
- 8) Finney, K. F. and Yamazaki, W. T. (1946) Water retention capacity as an index of the loaf volume potentialities and protein quality of hard red winter wheats. *Cereal Chemistry*, **23**, 416-427.
- 9) Xiao, Z. S., Park, S. H., Chung, O. K., Caley, M. S., and Seib, P. A. (2006) Solvent retention capacity values in relation to hard winter wheat and flour properties and straight-dough breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, **83**, 465-471.
- 10) Baumann, H. (1966) Apparatur nach Baumann zur bestimmung der flüssigkeitsaufnahme von pulvrigen substanzen. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, **68**, 741-743.
- 11) 久野洋, 阿部竜二 (1958) 粉体含量の吸液量と空隙量との関係. *工業化学雑誌*, **61**, 1445-1448.
- 12) 東京大学農学部農芸化学教室, 土壤実験法, 「実験農芸化学」 第3版 上, (朝倉書店, 東京). p. 305 (1988).
- 13) Matsuki, J., Okunishi, T., Okadome, H., Suzuki, K., Yoza, K., and Tokuyasu, K. (2015) Development of a simple method for evaluation of water absorption rate and capacity of rice flour samples. *Cereal Chemistry*, **92**, 487-490.
- 14) Russo, J. V. and Doe, C. A. (1970) Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. *Journal of Food Technology*, **5**, 363-374.
- 15) Ozawa, M., Kato, Y., and Seguchi, M. (2009) Investigation of dry-heated hard and soft wheat flour. *Starch/Stärke*, **61**, 398-406.
- 16) Seguchi, M. (1984) Oil-binding ability of heat-treated wheat starch. *Cereal*

Chemistry, **61**, 248-250.

- 17) Nakagawa, M., Tabara, A., Ushijima, Y., Matsunaga, K., and Seguchi, M. (2016) Hydrophobicity of stored (15, 35 °C), or dry-heated (120 °C) rice flour and deteriorated breadmaking properties baked with these treated rice flour/fresh gluten flour. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **80**, 983-990.
- 18) 松木順子, 徳安健, 與座宏一, 池正和, 撥水性を賦与した改質穀粒又は改質穀粒破砕物とその製造法. 特開 2015-149916, 平成 27 年 8 月 24 日公開.

