

初期老化過程におけるおにぎりのレジスタントスターチ量の変化

* 亀井 文・**星 千裕

要旨

レジスタントスターチ (RS) は、食物繊維と類似の生理作用を持つ機能性成分として注目されている。本研究においては米飯の炊飯直後から約20℃までの温度降下の初期老化過程において、米飯のRS含量がどのように変化するかをおにぎりの形態で明らかにすることを目的とした。炊飯後すぐにおにぎりを作製し、①おにぎりを皿に置き、そのまま放冷と②おにぎりを皿に置き、皿ごとラップをかぶせて放冷の2条件で2時間室温放冷したときの温度変化とRS量の経時変化を比較検討した。①の条件下では、温度は0分から30分において急激に低下しRS量は時間経過ごとに有意にRS量は増加した。②の条件下では、温度の低下は①の条件の温度低下と比べて緩やかな低下となり、時間の経過によるRS量に有意な差は見られなかった。このことから、老化が始まるとされる60℃までのおにぎりの急激な温度低下とその後の継続的な温度低下がRSの生成に関わることが示唆された。

Key words : 白飯、おにぎり、レジスタントスターチ、初期老化

1. 緒言

レジスタントスターチ (RS) は、最近の研究において食物繊維と類似の生理作用を持つ機能性成分として注目されている。RSは「健康なヒトの小腸内で消化吸収されないでんぷんおよびでんぷん分解物」であり、RSはRS1からRS4にRS5を加えて5つに分類されている。RS1は細胞壁によって物理的に消化できないでんぷん、RS2はでんぷん粒子自体に耐消化性があるでんぷん、RS3は調理後に再結晶した老化でんぷん、RS4は化学的修飾を施されたでんぷん、RS5はアミロースと脂肪の複合体でんぷんである¹⁾。我々が摂取する調理後すぐのでんぷん性食品のでんぷん量の約3%、調理後冷めた場合の約12%が小腸を抜けるまで消化されず大腸に到達するという報告がある²⁾。RSは小腸で消化されることがほとんどなく、さらに他の栄養成分の消化吸収速度を抑えることから、血糖値抑制作用や血液中コレステロールおよび中性脂肪の低下などが見られ、糖尿病など生活習慣病の予防に有効であると

報告されている¹⁻⁴⁾。

米は日本だけでなく世界中で最も食される主食の炭水化物の一つであり、でんぷんを多く含む食品である。令和元年国民健康・栄養調査⁵⁾結果によると、我々日本人成人は米からの炭水化物を1日に平均108.1g摂取している。

Birtら¹⁾の報告では、白米のRS量は1.2%とされているが、本間らの研究⁶⁾では、炊飯後直ちに-80℃で24時間凍結し48時間凍結乾燥を行いRSを測定した結果は、こしひかりは0.1%以下、新潟79号は2%以下であった。著者らの先の研究では、炊飯前の白米(こしひかり)のRS量は0.40%、炊飯後炊きたてのRS量は0.34%~0.57%であった^{7,8)}。また、炊飯後直後のRS量が0.37%であった飯を常温放冷した1時間後のRS量は0.58%、冷蔵6時間後は0.52%、24時間冷蔵保存後米飯のRS量は0.68%という結果を得ている⁷⁾。

日本人は炊きたての飯を食することを好むが、弁当のご飯やおにぎり、お寿司と冷めた状態での飯を食することも日常多い。令和元年国民健康・栄養調査⁹⁾に

* 宮城教育大学 教育内容学域 理数・生活科学部門 (食物学)

** 宮城教育大学元家庭科教育講座

よると、持ち帰りの弁当・惣菜を週1回以上利用している者の割合は、男性47.2%、女性44.3%であり、20～50歳でその割合が高いという結果であった。また、農林水産省の米の消費動向に関する調査の結果概要¹⁰⁾によると、5年前と比べて一週間に中食での食事回数が増えてきており、中食で食べる主食はご飯が一番多いという結果であった。このように、我々は温かい状態から冷めた状態まで様々な温度の飯を摂取しているが、食する飯の温度変化によるRS量の変化を調べた研究は著者らが知る限りはない。

そこで本研究では、米飯の炊飯直後から2時間後の初期老化過程において、米飯のRS含量がどのように変化していくのか調べることを目的とした。この研究においては、おにぎりの形態での米飯を用いて調べることとした。

2. 方法

(1) 試料調製

実験には精白米のコシヒカリ(平成24年度新潟県魚沼産)を用いて行なった。炊飯は象印電子ジャー炊飯器(NYE-2700型 象印マホービン株式会社15合炊)を用いて行なった。800gの米が入ったザルをボウルに入れ、水道水を加えて5回攪拌後、水を換えるという操作を3回繰り返した。その後、ボウルからザルを取り出し水気を切った後、米重量の1.5倍(1200g)を加し、60分の浸漬後に炊飯を行なった。炊き上がり後、しゃもじで炊飯器中に米飯をむらのないよう混ぜた後、手早く80gの米飯を1辺6.3cmのおにぎり押し型(角が丸い三角型)(江戸川物産株式会社)に入れておにぎりを作製した。押し型は米飯を入れる高さは6cmで容積が127cm³、圧縮した後の高さは3.7cmで容積は77.8cm³になるものを使用した。おにぎりは1枚の皿(直径13cm)に1つずつ、おにぎりの三角形の面を下にして、皿の中心に置いた。まず、おにぎりの内部温度がどのくらいの時間で一定になるのか測定を行い、放冷方法と放冷時間を決定することとした。放冷方法は、①そのまま放冷、②皿にラップフィルム(ポリ塩化ビニリデン製、商品名クレラップ、以後、ラップと略す)をかけて放冷、③おにぎりにラップして放冷、の3条件において3つずつ、室温(15℃～20℃)におけるおにぎりの内部の温度を測定した。

温度測定は、サーモロガー(AM-8000、安立計器株式会社)を使用した。

(2) RS測定

1) 試料調製方法

(1)において保存条件と保存時間を決定した条件で実験を行ない、得られたおにぎりの試料は、中心部と表面部に差が出ないように混合してからサンプル試料を採取した。前処理は井川ら¹¹⁾の方法に準じて脱水操作を行った。試料30gを乳鉢に入れて、メタノール75mlを加えて乳鉢中で磨砕しながら脱水した。メタノールの上澄を捨て、再びメタノール75mlを加えて磨砕した。この操作を3回繰り返し、その後アセトン30mlを加えてさらに3回洗浄を行い、これをRS測定用試料とした。

2) RS測定

RSの測定はResistant Starch Assay Kit(K-RSTAR; Megazyme)を用いて行った。ネジ式試験管に脱水操作後の試料100±5mgを精秤し、アミログルコシターゼ(3300units/ml)を含む α -アミラーゼ溶液を40ml加え、16時間、37℃の恒温槽で連続的な振とう(200strokes/min)を行い反応させた。その後、4.0mlの99%エタノールを加え混和後1500×gで10分間遠心分離を行い上清を取り除いた後、50%エタノール2mlを入れて攪拌し、さらに50%エタノールを6ml加えて攪拌後、1500×gで再び10分間遠心分離機で分離し、上清を取り除く操作を2回行なった。残った沈殿に2MのKOH2ml加え、20分間攪拌した後、1.2M酢酸ナトリウム緩衝液(pH3.8)を8ml加えて混和後、アミログルコシターゼ(3300Units/ml)を0.1ml加え50℃で30分間反応させた。その後1500×gで10分間遠心分離を行い、上清0.1mlにGOPOD溶液(1.0mg/ml)を3.0ml入れ、50℃で20分間反応させた後、510nmにおいて吸光度測定を行ない、グルコース量としてRS量を測定した。

(3) 統計解析

統計解析は、SPSS17.0 J for Windowsを用いて一元配置分散分析を行った。有意差が出た場合はその後の検定として、Student-Newman-Keuls testによる多重比較検定を行った。

3. 結果および考察

(1) 室温放冷下におけるおにぎり内部の温度変化

炊飯後のおにぎり形成後、①おにぎりを皿に置き、ラップをせずにそのまま放冷、②おにぎりを皿に置き、皿ごとラップをかぶせて放冷、③おにぎりにラップを巻き、皿に置いて保存、の各条件で米飯を放冷し、おにぎり内部の温度変化を測定した(図1)。

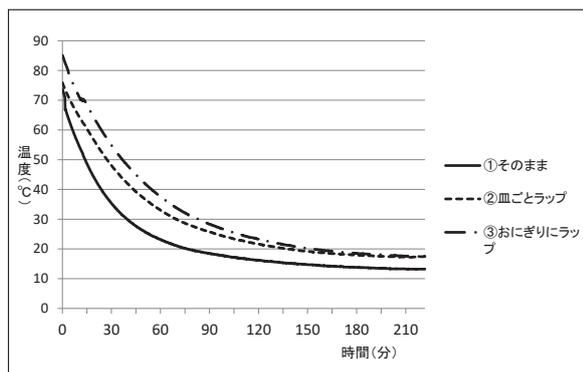


図1 ①②③の条件で米飯を常温保存したときの温度変化

室温(15℃~20℃)において、炊きたての飯が約20℃まで温度が下がるまで①では1時間16分、②では2時間17分、③では2時間32分であった。①のおにぎりの温度は急激に温度が低下したが、②のおにぎりや③のおにぎりの温度変化は①のおにぎりの温度変化と比較して緩やかに低下していった。②のおにぎりや③のおにぎりの条件では、温度変化にあまり違いが見られなかったため、「①おにぎりを皿に置き、そのまま室温放冷」と「②おにぎりを皿に置き、皿ごとラップをかぶせて室温放冷」の2方法で2時間室温放冷したときの温度変化とRS量を比較検討することにした。

(2) 室温放冷下におけるおにぎりのRS量変化

図2はおにぎりをラップせずにそのまま放冷した際のRS量変化のグラフである。RS量は炊飯直後の0.15%から30分後には0.20%、60分後は0.23%、120分後は0.26%となり、時間経過ごとに有意にRS量は増加した。特に温度が急激に低下した0分から30分においてRS量が最も増加していた。

図3はおにぎりを皿ごとラップにかぶせて放冷した際のRS量変化のグラフである。ラップをかけて放冷した場合、温度の低下はラップなしの温度低下と比べて緩やかな低下であった。RS量は炊飯直後の0.18%

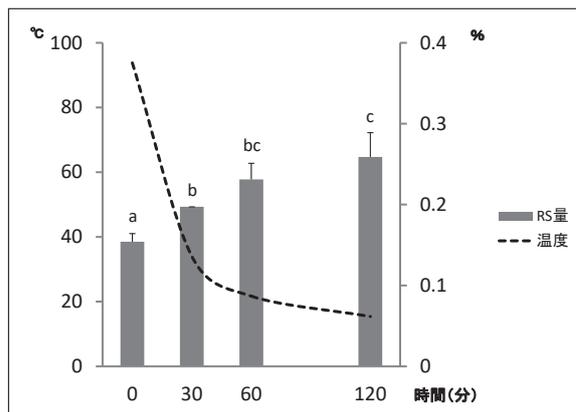


図2 ①そのまま放冷2時間の温度変化とRS量変化 (異なるアルファベットはp<0.05で有意差有り)

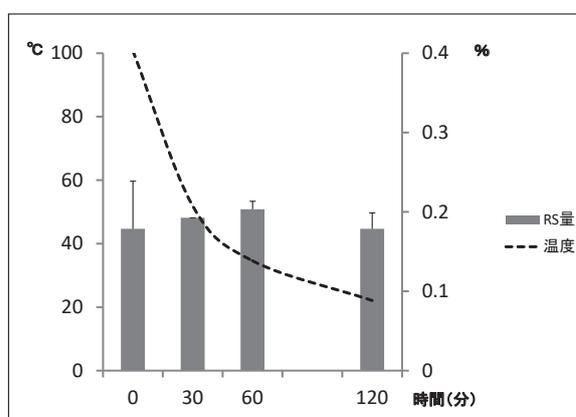


図3 ②ラップ放冷2時間の温度変化とRS量変化

から30分後に0.19%、60分後に0.20%、120分後に0.18%となった。ラップなしで放冷した場合のRS量は時間の経過とともに有意に増加したが、ラップをかけて放冷した場合は、RS量に有意な差が見られなかった。

老化は温度、水分、pH、共存物質、分子の形態、時間などによって影響を受ける。老化は一般的に温度が低いほど早く進むが、それは老化に主要な役割を果たしている水素結合が低温で安定するためであり、0℃付近がもっとも老化しやすい¹²⁾。

また、糊化でんぶんの水分が50~60%の時がもっとも老化しやすい¹²⁾。日本食品標準成分表2020年版(八訂)のこめ[水稻めし]精白米うるち米の水分量¹³⁾は60%であり、本実験においても老化しやすい水分量であったと考えられる。温度低下に伴うでんぶんの再結晶化である老化はアミロースからすぐに行なわれ、調理後のRS3の量はアミロース含量の高いでんぶんほど多い¹⁴⁾。うるち米のアミロース含有量はそれほど多くはないが、新潟県のコシヒカリのアミロース含有率

は16.5%である¹⁵⁾。この実験においても米飯中のアミロースが炊飯直後からの温度低下によりRS3として生成されていったと考えられる。図1のおにぎりの内部温度変化より、炊飯直後からおにぎりの温度低下は始まり、内部温度が60℃に達した時間は、そのまま放冷した場合が約10分、ラップをかけて放冷した場合は約22分であった。また、30分保存後の温度は、そのまま放冷した場合は34.0℃、ラップをかけて放冷した場合は51.9℃であった。ラップをかけずにそのまま放冷したおにぎりはラップをしたおにぎりよりも、急激に温度が低下していることから、0分から30分においてRS量が最も増加し、その後も120分後には15.4℃までの温度低下に伴いRS量も増加していった(図2)。

この結果は、急激な温度変化によって水素結合による再結晶化が進んででんぷんが老化しRS量が増加したと考えられる。一方、ラップをかけて放冷したおにぎりの30分放冷後の温度は51.9℃で、ようやく老化が始まった状態であり、その後も緩やかな温度低下を示し、RS量の増加はあまり見られなかった(図3)。ラップをかけたおにぎりの緩やかな温度降下は再結晶化速度も緩慢で老化でんぷんになりにくくなり、RS量の増加もあまり進まなかったと考えられる。これらの結果より、炊飯直後のおにぎり作製後のRS生成は、室温放冷中の温度低下状態によって異なることが示唆された。

米飯を主食としている我々日本人は様々な温度の米飯を食することが多い。この研究で用いたおにぎりや寿司などは日常的に常温でおいしく食している。食する米飯温度をすこし下げることにより、摂取するRS量を増加させることが出来れば、疾病予防の一助になるのではないかと考える。今回の実験では、時間経過におけるおにぎりの水分量測定は行なわなかったが、老化の要因には水分量変化も影響すると考えられるため、今後は水分量の経時的測定も行ないたい。

また、著者らの先の研究と比較し、同じ品種の米を使用しているにも関わらず、今回の炊飯直後のRS量は低い値となった。先行研究での炊飯直後のRS量は0.51%⁷⁾と0.57%⁸⁾であり、今回の炊飯直後のRS量はそれらよりは低い値であった。本実験の炊飯直後のRS量が低い要因の一つに使用した炊飯器の違いが考えられる。本実験で使用した炊飯ジャーは先行研究で使用した炊飯器とは異なる機種であった。我々の炊飯

加熱方法の違いによる米飯中のRS量についての先行研究⁸⁾では、米が炊き上がるまでの温度上昇の違いにより炊飯直後のRS量には違いがあるという結果を得ていることから、炊飯器を使用して炊飯を行なう場合、炊き上がりに至るまでの温度上昇方法が異なると炊き上がりに生成されるRS量も変化することが考えられる。

4. まとめ

本研究においては米の炊飯直後から2時間の初期老化過程において、米飯のRS含量がどのように変化していくのか、おにぎりの形態で明らかにすることを目的とした。炊飯後すぐにおにぎりを作製し、おにぎりを皿に置きそのまま室温放冷、おにぎりを皿に置き皿ごとラップをかぶせて放冷の2条件で2時間室温放冷したときの内部温度とRS量の経時変化を比較検討した。ラップなしの条件下では、温度は0分から30分において急激に低下しRS量は時間経過ごとに有意にRS量は増加した。ラップ有りの条件下では、ラップなしの温度低下と比べて緩やかな低下となり、時間の経過によるRS量に有意な差は見られなかった。このことから、急激な温度低下がRSの生成に関わることが示唆された。

利益相反

本研究における利益相反に相当する事項はない。

参考文献

- 1) Birt, F.D., Boylston T., Hendrich S., Jane J., Hollis J., Li L., McClelland J., Moore S., Phillips G.J., Rowling M., Schalinske K., Scott M.P. and Whitley M.: Resistant starch: Promise for improving human health. *Adv. Nutr.* 4, 587-601 (2013)
- 2) Perera, A., Meda, V. and Tyler, R.T.: Resistant starch: A Review of analytical protocols for determining resistant starch and factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Res. Intl.* 43, 1959-1974 (2010)
- 3) Englyst H.N., Kingman S.M. and Cummings J.H.: Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46, S33-S50 (1992)
- 4) 森田達也: レジスタントスターチの栄養生理機能に関する基盤解析, *日本食物繊維誌*, 14, 91-103 (2010)
- 5) 厚生労働省: 令和元年国民健康・栄養調査報告, 第1部 栄

初期老化過程におけるおにぎりのレジスタントスターチ量の変化

- 養素等摂取状況調査の結果, 第9表の2 食品群別栄養素等摂取量 - 食品群, 栄養素別, 摂取量 - 総数, 20歳以上 p.100-103 (2020)
<https://www.mhlw.go.jp/content/000711006.pdf> (2022.8.19閲覧)
- 6) 本間紀之, 赤石隆一郎, 吉井洋一, 中村幸一, 大坪研一: 米および米加工品における難消化性澱粉含量の測定, 日食科工学会誌, 55, 1,18-24 (2008)
- 7) 亀井文, 佐藤岳志: 炊飯時の加水量および米飯の保存温度と時間の違いによるレジスタントスターチ量の変化について, 宮城教育大学紀要, 50, 165-170 (2015)
- 8) 亀井文, 弓座成美: 炊飯加熱方法の違いによる米飯中のレジスタントスターチ量について, 宮城教育大学紀要, 54, 309-314 (2019)
- 9) 厚生労働省, 令和元年国民健康・栄養調査報告, 結果の概要, 第1部 社会環境と生活習慣等に関する状況 4. 外食, 持ち帰りの弁当・惣菜, 配食サービス, 健康食品の利用状況 p.41-42 (2020) <https://www.mhlw.go.jp/content/000711005.pdf> (2022.8.19閲覧)
- 10) 農林水産省. 米の消費動向に関する調査の結果概要 令和2年 p.3-9 (2020) <https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokuryo/200331/attach/pdf/index-14.pdf> (2022.10.15閲覧)
- 11) 井川佳子, 菊池智恵美, 兼平咲江, 村川由紀子, 井尻哲: 米飯における初期老化の評価方法, 応用糖質科学. 49, 29-33 (2002)
- 12) 高橋彰: 7. 澱粉の機能的性質, 澱粉科学の事典, 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編, 朝倉書店, 東京, p.194-202 (2004)
- 13) 文部科学省, 日本食品標準成分表2020年版(八訂) (2020) https://www.mext.go.jp/content/20201225-mxt_kagsei-mext_01110_011.pdf (2022.8.19閲覧)
- 14) Tian,S., and Sun,Y.: Influencing factor of resisitant starch formation and application in cereal products: A review, Int. J. Biol. Macromol., 149, 424-431 (2020)
- 15) 東聡志, 小出道雄, 佐々木行雄, 星豊一: 新潟県における水稻品種の品質・食味の向上 第3報タンパク質含有率, アミロース含有率および炊飯光沢の品種間差米飯における初期老化の評価方法, 北陸作物学会報, 26, 46-47 (1991)

(令和5年2月7日受理)

Effect of Initial Retrogradation Process on Resistant Starch Contents of Japanese Rice Ball 'onigiri'

KAMEI Aya and HOSHI Chihiro

Abstract

Rice is major carbohydrate source in Japanese diet. Japanese rice ball, so called 'onigiri', is made of boiled white rice. Onigiri is often stocked at room temperature for a few hours before eating. Therefore, starch in onigiri would be retrograded. Starch retrogradation is one type of resistant starch (RS). RS escapes digestion until reaching colon and acts like dietary fiber. Recently, many studies suggest that RS, in addition to dietary fiber, may be beneficial for our health. The purpose of this study was to investigate the effect of initial retrogradation process of onigiri on RS synthesis. White rice was cooked using electrical rice cooker. Cooked rice of 80g was shaped triangle to make onigiri. Onigiri were divided into two groups, unwrapped onigiri and onigiri wrapped by cling film, and let them cool down for 120 minutes. The temperature of inside onigiri was monitored and the amount of RS of 0, 30, 60 and 120 minutes of cooling time was measured. The amount of RS of unwrapped onigiri for 0, 30, 60, 120 minutes of cooling time were 0.15%, 0.20%, 0.23%, 0.26% respectively. The amount of RS of wrapped onigiri for 0, 30, 60, 120 minutes of cooling time were 0.17%, 0.19%, 0.20%, 0.18%, respectively. These results showed that cooling time was positively related to the amount of RS of unwrapped onigiri. However, the amount of RS of wrapped onigiri was not clearly associated with the cooling time. These results indicated that RS synthesis of onigiri would be increase when its temperature decline sharply.

Key words : white rice, rice ball'onigiri', resistant starch, initial retrogradation process