

# 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

\*亀井 文・\*佐藤 岳志

Effects of water content, storage temperature and time on resistant starch of cooked rice

KAMEI Aya and SATO Takeshi

**Key words :** Cooked rice (米飯)

Resistant starch (レジスタントスターチ)

Water content (水分量)

Storage time (保存時間)

Storage temperature (保存温度)

## I. 緒言

これまででんぷんは、そのほとんどが体内で消化吸収されるということで、これを免れる部分については長い間見過ごされてきた。しかし近年は、でんぷん中には小腸で消化吸収されないものがあることが明らかになっている。このような消化抵抗性を示すでんぷんをレジスタントスターチ (RS) と言う<sup>1)</sup>。

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、その生理機能は食物繊維のそれと同様に、便秘改善効果や血糖値抑制作用、血液中コレステロールや中性脂肪の低下、大腸がんリスクの軽減が挙げられる<sup>2) 3)</sup>。RSはRS1からRS4の4つあるいは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<sup>1) 2)</sup>。

最近ではRSは食物繊維と同様に、適量を習慣的に摂取することにより健康に寄与することができる機能的成分として注目されている。RSの主な栄養生理機

能としては、小腸での消化率が低いことから、糖質や脂質代謝において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る。さらに大腸において、腸内細菌の発酵基質として代謝されて、短鎖脂肪酸、特に酪酸を産生する。そして、この酪酸は腸内細菌叢を変化させ腸内の有用な菌を増殖させたり、癌化株細胞の増殖を抑制する、との報告もある<sup>2) 3) 4)</sup>。

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。平成25年国民健康・栄養調査<sup>5)</sup> 結果によると、我々日本人は米からの炭水化物を1日に平均117.1 g摂取している。摂取した調理後すぐのでんぷん性食品のRS量はでんぷん量の約3%、調理後冷めた場合のRS量はでんぷん量の約12%という報告がある<sup>6)</sup> が、我々が摂取している米の炭水化物のほとんどがでんぷんと仮定すると、約3.5 gから14.0 gのRS量を米から摂取していることになる。日本人の食事摂取基準(2015年版)<sup>7)</sup> では、食物繊維の目標量が18歳以上70歳未満で男性が20 g、女性が18 gとなっていることから、米から摂取するRS量は食物繊維摂取量として少なくない値と考えられる。

\* 宮城教育大学家庭科教育講座

そこで本研究は、米の炊飯方法の違いおよび保存状態と時間によって米飯のRS含量に違いがあるのかを明らかにすることを目的とする。まず炊飯時の加水量に着目し、加水量を変化させることで米飯中のRS含量が変化するかどうかを調べ、炊飯時の加水量とRSの生成との関係を明らかにする。また、RS3が生成される老化についても着目し、炊飯後、常温および冷蔵保存した米飯のRS量を調べることにより、飯の老化によるRS生成についても調べることにした。

## II. 方法

### 1. 試料・器具及び洗米方法

日本全土に広く普及していること、またその高い嗜好性から、平成22年度新潟県魚沼産コシヒカリを使用した。1回に使用する米の重量は炊飯器につき200gとした。炊飯には炊飯器（日立RZ-DM3）を使用した。洗米方法は、ボール内に米をいれ水道水を加えて手で5回攪拌後、水を換えるという作業を3回繰り返した。その後米をザルにあげて水を切った。洗米後60分間の浸漬を行い、炊飯を行なった。またこの際、サーモロガー（AM-8000）を使用して、炊飯中の米の温度変化についても測定した。

### 2. 米飯の加水量決定

はじめに予備実験として、米飯として食することができる最大、最小の加水量を決定するため、加水量を変化させて炊飯した米飯で官能検査を行った。

まず、米重量200gに対して1.0倍、1.5倍（基準）、2.0倍の水分量で炊飯を行ったところ、1.0倍のものは基準の1.5倍の米飯に比べるとやや硬いものの、芯なくしっかり炊けており、普通に食べられる米飯であった。従って、米飯として食することができる最小の加水量条件を決めるため、加水量1.0倍（水200g）よりもさらに少ない、加水量0.8倍（水160g）、0.7倍（水140g）、0.6倍（水120g）の3条件の炊飯を行った。加水量0.6倍の米飯は、硬すぎて食べられず、加水量0.8倍のものは飯として呼べる出来上がりだった。そして加水量0.7倍の米飯が食することができるぎりぎりのところであることから、最小の加水量は0.7倍で官能検査に用いることにした。次に、加水量2.0倍のものは、かなり米飯が軟らかくなっており、軟飯の状態

であった。このことから、最大の加水量の条件をもう少し下げるため、加水量1.7倍（水340g）、1.8倍（水360g）、1.9倍（水380g）の3条件の炊飯を行った。1.9倍のものはかなり水っぽく、米飯と呼ぶには微妙であり、1.7倍の米飯は基準のものより軟らかいものの、ご飯と呼べるものであった。そして1.8倍が米飯として食べられるぎりぎりの加水量であるとみなし、1.8倍加水の米飯を官能検査に用いることにした。

官能検査においては、家庭科コース、専攻の学生及び教員10名に加水量0.7倍、1.5倍、1.8倍で炊飯した米飯を食べ、それぞれ①「外観の良さ」、②「香りの良さ」、③「ご飯の硬さ」、④「ご飯として食することができるか」の4項目についてたずねた。結果はばらつきが大きく、米飯の好みがわかれる結果となった。しかしながら、最小の加水量として0.7倍、最大として1.8倍の加水量の飯は評価項目④において、平均がふつつ前後にあることから、食することができる範囲として許容であると考え、米重量200gに対して基準の1.5倍、米飯として食することができる最小の加水量として0.7倍、最大として1.8倍の加水量で実験を行うことにした。

### 3. 加水量の異なる米飯の水分量測定

官能検査によって決定した3つの条件の加水量で炊飯した米飯を、むらのないようにそれぞれしゃもじを用いて攪拌し、炊きたての状態でバットに取り荒熱をとって、恒量した秤量瓶の中にそれぞれ約2gを小数点第4位まで正確に秤量し入れた。この米飯を、乾燥器を用い105℃で1時間加熱した。1時間経った後、乾燥器より乾燥剤の入ったデシケーターに移し、30分後秤量を行い、この作業を恒量（重量差が±0.0003g以下）になるまで繰り返した。

水分量の計算式は以下の通りである。

水分％＝水分重量／試料重量×100

＝[（秤量瓶に試料を入れた乾燥前の重量）－（乾燥後の重量）]／

[（秤量瓶に試料を入れた乾燥前の重量）－（秤量瓶の空重量）]×100

### 4. 加水量の異なる米飯のRS量の測定

#### （1）試料の作成

官能検査によって決定した3つの条件の加水量で炊

飯した米飯を、むらがないようにそれぞれしゃもじを用いて攪拌し、この炊きたての状態でバットに取り、30gずつ分取した。この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を加え磨砕した。この行為を3回繰り返し、その後アセトン30mlを加えてさらに洗浄をし、それを3回行った。その後、試料にまだ固まりが見られたため、ミル（フォースミル FM-1）を使用して粉末にした。

#### （２）RS測定

RSの測定はMegazyme社のRS ASSAY KIT（AOAC Method 2002, AACC Method 32-40）により行った。試料100mgに対してアミログルコシターゼを含む $\alpha$ -アミラーゼ溶液を4.0ml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、さらに、50%エタノール2mlを入れて混和後、さらに50%エタノールを6ml加えて混ぜ、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（3300U/ml）を0.1ml加え50℃30分間反応させた。1500×gで10分間遠心分離を行い、上清0.1mlにGOPOD溶液を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。

### 5. 保存時間の異なる米飯のRS量測定

老化の進行度合いによるRS量の変化をみるため、炊きたて飯と比較して放冷1時間、放冷後冷蔵6時間、冷蔵24時間のRS量を測定することとした。

#### （１）試料の調製

洗米方法、使用する炊飯器は1.と同様とし、水は米重量に対して1.5倍の加水量で炊飯を行った。

炊きたて飯は、炊き上がった米飯をしゃもじで攪拌し、バットの上にあけ、直後の米飯を試料とした。その後、米飯を軽くラップをかけて1時間室温で放冷し、これを放冷1時間の試料とした。冷蔵6時間、冷蔵24時間は1時間室温で放冷した後、ラップをし

たまま冷蔵庫に並べて所定の時間保存した後（6h、24h）取り出した。それぞれ試料は約10gずつ4.

（１）の方法で磨砕、脱水、洗浄を行った。

#### （２）RS測定

RS測定は4.（２）と同様に行った。

### 6. 統計解析

統計処理はSPSS12.0 J for Windowsを用いた。

平均値の差の検定は一元配置分散分析を行った。その後の検定は多重比較分析Newman-Keulsテストを行った。

## III. 結果及び考察

#### （１）炊飯器内の炊飯中の温度変化

炊飯には3台の炊飯器（日立RZ-DM3）を使用した。初めにこの3台の炊飯器の炊飯機能が同様であるかどうかを確認するため、米の重量は200g、加水量を1.5倍として炊飯中の米の温度変化について、3台の炊飯器内をサーモロガー（AM-8000）を使用して測定した。図1は3台の炊飯器内の炊飯開始から炊き上がり直後までの熱上昇変化のグラフである。炊飯器1～3を比べてみると、同時間ごとの温度の変動係数は一番数値が離れているところでも6.05%であった。従って、この3つの炊飯器はほぼ同様の炊飯が行われているとした。

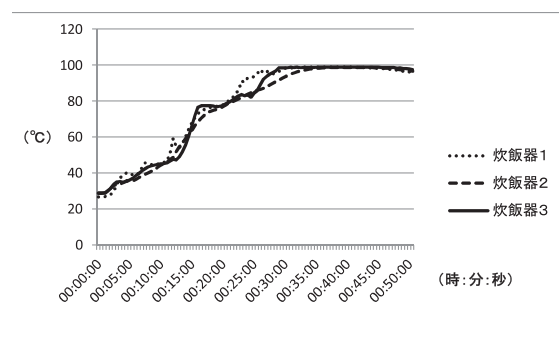


図1 炊飯器内の炊飯中の温度変化

図2は加水量の違いによる炊飯中の温度変化の違いのグラフである。炊飯中の温度変化をみると、加水量が少ないほど100℃付近にまで上昇する時間が早く炊飯時間が短くなり、加水量が多いほど炊飯時間がかかることがわかった。0.7倍の加水量と1.8倍の炊飯時間

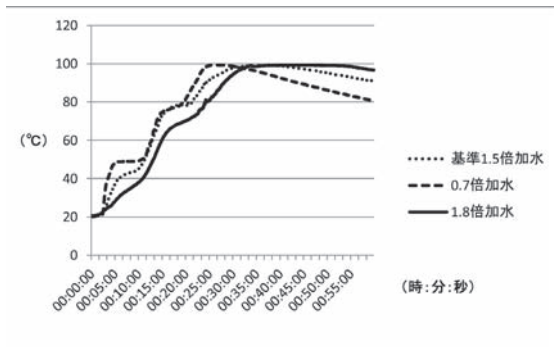


図2 加水量の違いによる炊飯中の温度変化の違い

を比較すると、約10分の違いがあった。また、温度上昇の様子をみると、米に対しての加水量が0.7倍では温度上昇が1番早く急激に上がっていて、次に加水量1.5倍、一番温度上昇が緩やかだったのは加水量1.8倍での炊飯であった。加水量の違いによって炊飯時の温度の上昇と炊き上がり時間に違いがあることがわかった。加水量が少ないほど炊飯時の水分温度が早く上昇し米の吸水も早く行われるが、加水量が多いと水分温度の上昇が緩やかとなり、米の吸水もそれにしたがって緩やかになっていると考えられる。その結果、炊き上がり時間にも違いが出たのであろう。

## (2) 加水量の異なる米飯の水分量

図3は加水量の違いによる米飯中の水分量のグラフである。水分量は基準の加水量1.5倍が63.8%、加水量0.7倍が51.0%、加水量1.8倍が68.1%となった。炊飯後の飯の水分量は基準加水量1.5倍と比較して、加水量0.7倍は12.8%低く、加水量1.8倍は4.3%高い結果となり、3つの米飯の水分量の間には、有意な差が見られた。この結果より、加水量を増やすことによって米飯の水分量も増えていることから、この範囲の加水

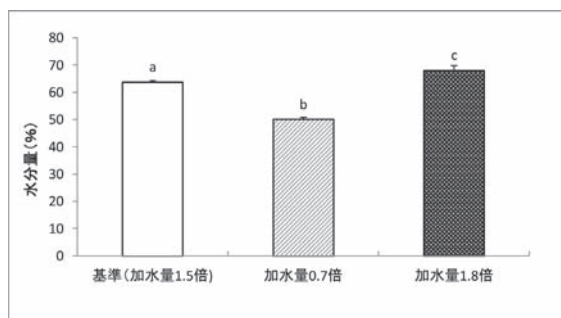


図3 加水量の違いによる米飯中の水分量

(異なるアルファベット間は  $p < 0.05$  で有意差有り)

量の増加においては、その増加に従って水分を吸収しており、加水量0.7倍の米飯においては、まだ水分を吸収できる状態で炊き上がっていることがわかった。

## (3) 加水量の異なる米飯のRS量

図4は加水量の異なる米飯のRS量を表したグラフである。RS量は、加水量1.5倍の米飯が0.51%、加水量0.7倍の米飯が0.48%、加水量1.8倍の米飯が0.47%で、有意差は認められなかった。また、数値としても約0.5%のRS量しか含まれていなかった。炊飯時の加水量が変わることによって米でんぷんの構造、とくにアミロースの構造が変化し、RS量に影響を与えるのではないかと考えて、加水量の変化によるRS量生成の変化を調べた。しかし炊きたての状態において、米飯として食すことが出来る範囲内の加水量の変化では、水分量の少ない硬い米飯でも、水分量の多い軟らかい米飯でもRS量の変化は見られなかった。

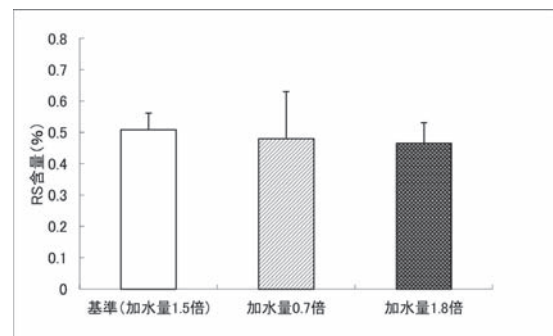


図4 加水量の異なる米飯のRS量

でんぷんの糊化にとって、水分量と温度変化はとても大きな影響を及ぼす。Hue, R.J.Cらは米粉を用いて水分量を変化させてその消化性を調べたところ、水分量を少なくするほど消化性が下がり、またアミロース含量が多い米粉ほど消化性が低かった、と報告している<sup>8)</sup>。また、Hung, P.V.らは米でんぷんを用いた酸と熱によるRS生成の実験において、糊化が十分にされないであろう水分量を米でんぷんの30%として実験を行っている<sup>9)</sup>。これらの実験より、水分量がRS生成に関係していることは明らかであるが、今回の実験で行った最小の水分量でも米に対して70%であることから、おそらく糊化に十分な水分量であったため、RSの生成に違いが出ない結果になったと思われる。



#### (4) 室温および冷蔵保存時間とRS量の変化

米飯として食べられる範囲での加水量の変化は、炊きたての米飯のRS量には影響を与えないということがわかった。そこで、RS3が生成されると言われている老化について着目し、炊飯後、保存時間を変えて室温および冷蔵保存した米飯のRS量を測定した。これまで、米デンプンの老化について保存初期の老化を研究対象としたものはあまりない。さらには初期老化中のRS量の変化についての研究は、筆者が知る限りないと思われる。そこで今回は24時間以内の初期老化中のRS量の変化に着目した。

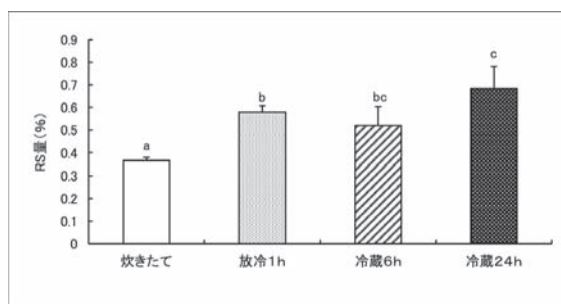


図5 保存時間の異なる米飯のRS量

(異なるアルファベット間は  $p < 0.05$  で有意差有り)

図5は室温および冷蔵保存時間とRS量の変化のグラフである。RS量は炊きたてが0.37%、室温放冷1時間が0.58%、冷蔵6時間が0.52%、冷蔵24時間が0.68%となり、三条件の保存した米飯は炊きたて飯より有意にRS量が高かった。さらに、冷蔵24時間のRS量は放冷1時間のRS量と比べて有意に高かった。これらの結果より、RS3が米飯の室温および冷蔵保存中に生成され、24時間以内でも時間が経つほどRS量が増加していくことが明らかとなった。

糊化したデンプンは水分が50%~60%、温度は0℃付近で最も老化しやすいと言われている<sup>10)</sup>。今回使用した米飯の水分率が58.3%であったことを考えると、かなり老化しやすい水分含量であったと考えられ、RSが生成するには適した条件であったと考えられる。

今回の実験でRS量が増加したのは、デンプンの老化によってアミロースの構造に何らかの変化が起き、消化酵素によって消化することができない部分が現れたことが原因なのではないかと考えている。また、冷蔵前の室温で1時間放冷の間にRS量が有意に増加し

ており、このことから、デンプンが老化するかなり初期の段階から、RSは生成されているということが示唆された。

#### IV. まとめ

本研究では、まず米飯中のRS量と水分量の関係性を明らかにすることを目的として実験を行った。その結果、炊きたての状態において米飯として食すことが出来る範囲内の水分量の変化では、RS量に変化は与えないということがわかった。また、室温および冷蔵保存時間とRS量の関係について実験を行ったところ、炊飯後、室温および冷蔵保存することによってRSが米飯中に生成され、冷蔵24時間まで増加した。さらに、1時間放冷でもRS量が増えていることから、老化によるRSの生成は初期老化の段階で行われていることが考えられた。

今後は、保存時間および保存方法によってRS量が増えることから、1時間の放冷でもRS量が増加していた初期老化のRS生成について研究を進めていくつもりである。

#### V. 謝辞

本研究を進めるに当たり、官能検査に協力してくださった宮城教育大学家庭科教育講座の教員および学生の皆さんに謝意を表します。

#### VI. 参考文献

- 1) Englyst H. N., Kingman S. M. and Cummings J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. Eur. J. Clin. Nutr. 1992, 46, S33-S50.
- 2) Birt, F. D., Boylston T., Hendrich S. et al. Resistant starch: Promise for improving human health. Adv. Nutr. 2013, 4, 587-601.
- 3) 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. 日本食物繊維学会誌, 2010, 14, 91-103.
- 4) Asp, N-G. "Resistant starch- An update on its physiological effects." Dietary Fiber in Health and Disease. Kritchevsky and Bonfield eds. Plenum Press.

1997, 201-210.

- 5) 厚生労働省. 平成25年国民生活基礎調査報告, 第1部 栄養素等摂取状況調査の結果、第9表 食品群別栄養素等摂取量—食品群、栄養素等別、摂取量-全国補正值、総数、1歳以上. <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoudl/h25-houkoku-04.pdf>

- 6) 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. 2010, 43, 1959-1974.

- 7) 菱田明, 佐々木敏.監修 “炭水化物” 日本人の食事摂取基準2015年版. 第1出版. 2014, 143-152.

- 8) Hsu,R.J.-C., Lu,S., Chang,Y-H., and Ching,W. Effect of added water and retrogradation on starch digestibility of cooked rice flours with different amylose content. J.Cereal Res. 2015, 61, 1-7.

- 9) Hung,P.V., Vien,N.L. and Lan-Phi,N.T. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. Food Chem. 2015, in press.

- 10) 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二, 高橋彰. “糊化と老化” 澱粉科学の事典. 朝倉書店. 2003, 193-202.

(平成27年 9 月30日受理)