

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

* 亀 井 文 • * 弓 座 成 美

Effects of different heating methods on resistant starch content in cooked rice

KAMEI Aya and YUMIZA Narumi

Objectives: Resistant starch(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. Rice is major carbohydrate source in Japanese diet. Japanese eat a lot of boiled white rice every day. Therefore, it will be beneficial for our health if RS content in boiled rice would increase. The purpose of this study was to investigate effects of different heating methods on resistant starch content in cooked rice.

Materials & Methods: Rice (*Oryza sativa* 'Koshihikari') were cooked by five different heating methods. The temperatures of different methods were also measured during cooking rice. RS contents of rice were analyzed immediately after cooking. The amount of RS was determined by a Resistant Starch Assay Kit.

Results & Findings: Among five different methods, rice cooked by electric cooker was the highest RS content and RS content of the slowest temperature rising pot cooking became the lowest. These results indicated that rice cooked by different heating methods had changed RS contents. Since the activity of rice's endogenous enzymes and gelatinization of rice are related to their heating temperatures, RS contents of cooked rice could be also related to the changes of heating methods.

Key words : cooked rice (米飯)

resistant starch (RS) (レジスタントスターチ)

heating methods (加熱法)

immediate after cooking (炊飯直後)

I. 緒言

レジスタントスターチ (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^{1) 2) 3)}。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^{1) 2) 3)}。

RSは最近で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

* 宮城教育大学家庭科教育講座

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、この酪酸が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²⁾³⁾⁴⁾。

Birt, F. D.²⁾らの報告では、白米のRS量は1.2%とされているが、本研究室では先行研究において、白米（こしひかり）のRS量は炊きたての場合は0.38%、24時間冷蔵保存後は0.68%という結果を得ている⁵⁾。本間ら⁶⁾は、ミルキークイーン（低アミロース米）、コシヒカリ、新潟79号（高アミロース米）の素焼煎餅、炊飯米粉砕、精白米についてRS含量の測定を行っている。煎餅、炊飯米粉砕試料のRS含量は2%以下であり、アミロース含量が高いほど加熱処理後のRS含量が高い傾向が認められたと報告している。また清水ら⁷⁾の研究では、5種類の炊飯器を用いて炊いた米飯のRS量の比較を行ったところ、RS量の高いものから順に電気炊飯器、電気圧力鍋、高温スチームIH式炊飯器、IH式炊飯器、圧力IH式炊飯器であったが、RS量はいずれも2～3%であった。この研究で用いた電気炊飯器は、蒸らし時間を100℃から降下させて行うのに対し、IH式炊飯器では蒸らし温度を100℃に維持していた。電気、IHという点に着目してみると、IH機能の付いた3種の炊飯器でRS量が低い傾向となった。また、加圧の有無という点で、電気炊飯器と電気圧力鍋、IH式炊飯器と圧力IH式炊飯器をそれぞれ比較してみると、いずれも加圧有りの方がRS量は低くなった。圧力IH式炊飯器では炊き上げ時に1.2気圧をかけて105℃で炊き上げ、電気圧力鍋では1.6気圧、113℃となる。以上のことから、米飯中のRS量は、炊飯器の加熱方法や加圧の強さによって差が生じる傾向がみられた。

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29年国民健康・栄養調査⁸⁾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111.7g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⁹⁾が、日本人の主食としている米飯の加熱温度の変化によるRS生成の違いについての研究はまだあまりないのが現状である。

そこで本研究では、炊飯時の加熱温度上昇方法の違いによって米飯のRS含量に違いがあるのかを調べることを目的とする。温度上昇パターンの異なる鍋（IH）炊飯、電気炊飯器、電子レンジを用いて、米飯が炊きあがるまでの温度上昇の違いによる米飯中のRS含量の変化について検討する。また本研究では、炊きたての米飯のRS量について調べることにした。

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23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。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300gの水を加えて60分間の浸漬を行い、炊飯を行った。

2. 炊飯における加熱方法の決定

(1) IHによる鍋炊飯の温度条件

卓上IHを使用した場合の鍋による炊飯方法の設定を行った。鍋は直径約16cm、深さ約8cmのIH対応ステンレス製鍋、熱源は卓上IH調理器（KZ-PH5P、パナソニック株式会社、火力7段階）を使用した。IHの火力の段階は表1の通りである。

『調理と理論』¹⁰⁾におけるガスを用いた鍋の炊飯方法、強火（沸騰まで）、中火（5分）、弱火（15分）、消火後蒸らし（10分）を標準炊飯とし、IHを用いて同様の加熱状態を再現するための火力設定を行った。ガス

表1 IHの火力の段階

一般的に使われる火力	とろ火	弱火		中火			強火
IHの段階	1	2	3	4	5	6	7
消費電力（約）	75W	150W	260W	450W	700W	900W	1400W

の火力強をIHの段階7、火力中を段階4、火力弱を段階2として炊飯を行った。炊飯時の鍋内の温度変化はサーモログー（AM-8000、安立計器株式会社）を用いて計測した。鍋の両端、中央の3か所で測定した温度の平均温度をその炊飯方法における温度変化とした。温度変化は図1の①である。

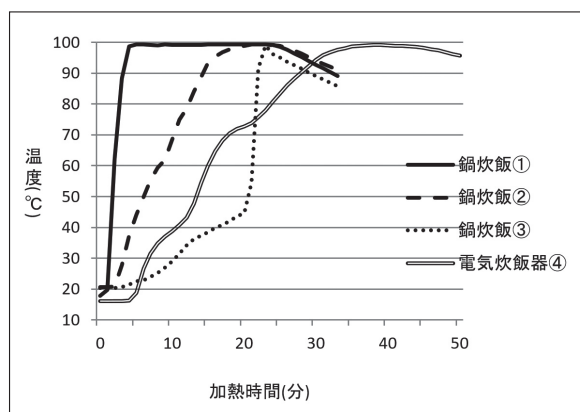


図1 IHによる鍋3条件の炊飯と電気炊飯器の炊飯の温度変化

標準の炊飯方法では、急激に100℃まで温度上昇させ炊飯している。標準炊飯の加熱時間が23分だったので、全ての炊飯方法の加熱時間は23分になるようにした。また、蒸らすということは高温中に一定時間置くことで、糊化が行われると同時に、米粒の周囲に付着していたわずかな水分も完全に吸収され、ふっくらとした飯ができ上がる。そのためにはできるだけ高温に保持する¹⁰⁾ということから、全て消火する前には

100℃に到達させるようにした。

図1は標準的な炊飯方法の100℃まで一気に上昇し高温を維持する炊飯①（火力強7－3分、火力中4－5分、火力弱2－15分）、100℃まで一定に近い温度上昇の②（火力弱3－23分）、低温を長時間維持する炊飯の③（とろ火1－20分、火力強7－3分）の3つの炊飯方法の温度変化を表した図である。

(2) 電気炊飯器炊飯と電子レンジ炊飯の温度変化

電気炊飯器における炊飯には炊飯器（日立RZ-DM3）を使用した。一回に使用した米の重量はIH炊飯時と同様200gとし、洗米後300gの水を加えて60分間の浸漬を行い、炊飯を開始した。炊飯中の温度変化は鍋炊飯の時と同様にサーモログーを使用し、炊飯中の釜内の温度変化を調べた。電気炊飯器における炊飯時の温度変化の結果は図1の④である。

電子レンジを用いた炊飯には電子レンジ専用加熱調理器（レンジでおひつ、(株)カクセイ）を使用した。熱源は過熱水蒸気オープンレンジ（MRO-BX10、日立）を使用した。一回に使用した米の重量は200gとし、洗米後300gの水を加えて60分間の浸漬を行い、炊飯を開始した。電子レンジ500Wで6分加熱後、さらに200Wで12分間加熱し、炊き上がったまま10分間蒸らした。電子レンジでの炊飯時の温度変化測定は、サーモログーの温度感知部分が金属であることから、炊飯時の温度変化は測定することができなかった。

鍋炊飯①②③、電気炊飯器炊飯、電子レンジ炊飯の各々の加熱炊飯方法を表2にまとめた。

表2 各加熱条件の炊飯方法

	鍋炊飯① (標準炊飯)	鍋炊飯②	鍋炊飯③	電気炊飯器	電子レンジ
炊飯方法	火力強(7) 3分 火力中(4) 5分 火力弱(2) 15分	火力弱(3) 23分	とろ火(1) 20分 火力強(7) 3分	白米炊飯 50分 (蒸らし含む)	500W 6分 200W 12分
	消火後、蒸らし10分				蒸らし10分

3. 加熱条件の異なる米飯の水分量測定

加熱条件の異なる炊飯（鍋炊飯3条件、電気炊飯器炊飯、電子レンジ炊飯）後の米飯を、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 $\pm 0.0003\text{g}$ 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。

$$\begin{aligned} \text{水分\%} &= \text{水分重量} / \text{試料重量} \times 100 \\ &= [(\text{秤量瓶に試料を入れた乾燥前の重量}) \\ &\quad - (\text{乾燥後の重量})] / \\ &\quad [(\text{秤量瓶に試料を入れた乾燥前の重量}) \\ &\quad - (\text{秤量瓶の空重量})] \times 100 \end{aligned}$$

4. 加熱条件の異なる米飯のRS量の測定

(1) 試料の作成

加熱条件の異なる炊飯（鍋炊飯3条件、電気炊飯器炊飯、電子レンジ炊飯）後の米飯を、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。これらの試料は、井川ら¹¹⁾の方法に準じて脱水操作を行った。米飯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場合は、ミル（フォースミル FM-1）を使用して粉末とした。

(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 α -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、50%エタノール2mlを入れて混和し、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. 統計解析

統計解析は、SPSS12.0 J for Windowsを用いて一元配置分散分析を行い、5%有意水準で異なる炊飯方法で炊飯した米飯間で有意な差が見られた場合は、Student-Newman-Keuls testによる多重比較検定を行った。

Ⅲ. 結果及び考察

1. 炊飯加熱方法の異なる米飯の水分量

加熱条件の異なる米飯の水分量は、鍋炊飯①が63.80%、鍋炊飯②が63.32%、鍋炊飯③が64.48%、電気炊飯器炊飯が62.05%、電子レンジ炊飯が65.51%であった。いずれの炊飯方法も60～66%の範囲内で、あまり大きな差はなかったが、鍋炊飯に比べると電気炊飯器炊飯の水分量は有意に低く、電子レンジ炊飯は鍋炊飯と比べて有意に高い値となった。

電気炊飯器、電子レンジの米飯の水分量が鍋炊飯と比べて有意差な差がみられた理由としては、炊飯器具の違いが要因として考えられる。電気炊飯器炊飯は炊飯時間が蒸らし時間を含めて50分であるのに対して鍋炊飯はいずれの加熱条件も33分の炊飯時間であり、電子レンジの炊飯時間は28分であった（表2）。炊飯直後の水分量を比較していることから、炊飯時間が長いと炊飯途中の水分の蒸発量が多くなり、水分量の減少につながったのではないかと考える。また、電子レンジの場合はIHや炊飯器は鍋や釜の底を発熱させることで鍋や釜周辺から徐々に温めていくのに対し、電子レンジは食品自体を発熱させる。この熱源の違いによる炊飯方法の違いも影響しているのではないかと考える。

2. 加熱炊飯方法の異なる米飯のRS量

RS量は、鍋炊飯①が0.45%、鍋炊飯②が0.45%、鍋炊飯③が0.34%、電気炊飯器が0.57%、電子レンジが0.52%となった（図2）。加熱前の精白米のRS量は0.40%であった。鍋炊飯③のRS量は他4つの炊飯方法の米飯のRS量に比べて有意に低い結果となった。さらに、5つの炊飯方法の中では電気炊飯器で炊飯した米飯のRS量が一番高い値となった。この結果より、まず、全ての米飯のRS量が0.30～0.60%とごく少量しか含まれておらず、米飯中のデンプンは、体内では

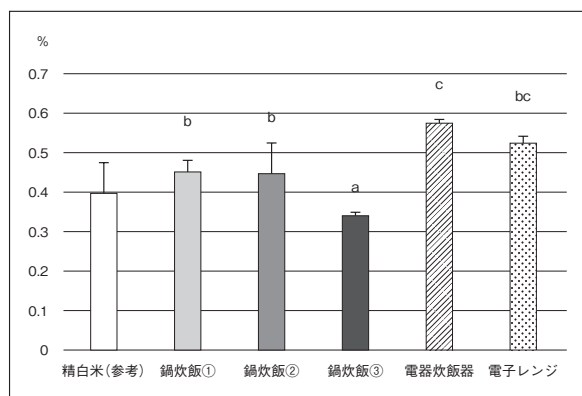


図2 炊飯加熱方法の異なる米飯のRS量
(異なる文字間は $p < 0.05$ で有意差あり)

とんど消化されることが分かった。しかしながら、炊飯加熱方法の違いによって、有意にRS量の変化が見られたことから、RS生成の機序として、加熱の違いが関わっていることが示唆された。鍋炊飯のみを見ても、鍋炊飯③が鍋炊飯①、②に比べて有意に低くなっている。いずれの炊飯方法も精白米200gに対し、水300gを加えて炊飯しているため、加熱方法以外の条件はすべて同じであることから、RS生成には温度上昇の違いが関与していると考えられる。

米には米内在性酵素があり、 α -アミラーゼや α -グルコシターゼなどのでんぷん分解酵素も存在しており、このような米内在性酵素の至適温度は40～60℃、そして70℃ではほぼ失活する¹²⁾。他の炊飯条件と比べて、鍋炊飯③は炊飯時間の半分以上が60℃以下と最も長く、鍋炊飯③のように低温を長時間保つことは、酵素が長時間作用することになりでんぷんの分解が進み、RS量の低下につながったのではないかと考える。それと比べて、鍋炊飯①、②も炊飯過程で60℃以下のときはあるのだが、鍋炊飯③や電気炊飯器に比べると比較的短い時間であることから、RS量に米内在性酵素はあまり関与しなかったと考えられる(図3)。

電気炊飯器も比較的60℃以下の時間が長かったにも関わらずRS量が高かった要因としては、デンプン粒の糊化と崩壊が関与しているのではないかと考える(図3)。Weiらの研究では、糊化開始温度(およそ65℃)まではデンプン粒の構造にあまり変化は起こらず、70℃位から90℃位まで徐々に膨潤し、90℃位から崩壊しているデンプン粒が見られるようになると報告している¹³⁾。この65℃からの温度帯にいる時間をみると、電気炊飯器が最も長く、長時間糊化が起こっ

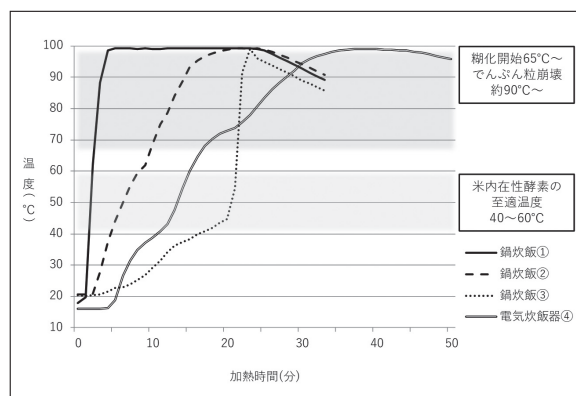


図3 炊飯時の米内在性酵素至適温度帯と糊化温度帯

ていることになる。また、その温度帯での電気炊飯器の昇温速度は緩やかであるため、デンプン粒の崩壊はあまりおこらなかったのではないかと考えられる。しかし、鍋炊飯③は加熱20分を過ぎたところで急激に上昇させ3分ほどで100℃に達する温度で加熱を行った。このような急激な温度変化は多くのデンプン粒の崩壊を起こした可能性がある。電気炊飯器の緩やかな温度上昇は、でんぷん粒内で糊化は進んでいくが、崩壊していないデンプン粒の中のアミロースやアミロペクチン構造に変化が起り、その構造変化がRS生成につながっているのではないかと考える。鍋炊飯①、②も鍋炊飯③よりは緩やかな温度上昇であるが、65～90℃間の温度上昇は炊飯器炊飯よりも急激であり、やはりデンプン粒の多くが崩壊してしまったと考えられ、RS量が炊飯器炊飯ほど高くならなかったと考えられる。

電子レンジについては、炊飯時の温度変化を測定できなかったため、RS量が電気炊飯器の次に高くなった要因と炊飯温度との関係性を考察するのは難しい。電子レンジ加熱においては誘電率の大きい水分を多く含んだ食品はマイクロ波をよく吸収するので温度が速く上がる¹¹⁾。炊飯する際、米は水分に浸かっている状態であり、温度上昇は急であることが考えられるが、電子レンジでは急激な温度上昇は鍋炊飯①と比べても短く、6分ほどで90℃を超えている可能性が高い。この鍋炊飯①の温度上昇よりも急激な温度上昇と思われる温度変化がRS量の関係しているのではないかと考えられる。また、異なった熱源による炊飯方法の違いも影響しているのではないかと考える。電子レンジに関しては、炊飯時の温度変化を詳細に検討することが、

今後の課題である。

この研究においては、電気炊飯器炊飯による米飯が RS 量が高い傾向を示していた。しかし、炊飯器には様々な種類があり、すべての炊飯器が同じ温度上昇をするわけではない。そのため電気炊飯器の RS 量と考えるのではなく、この温度上昇で炊飯した際の米飯の RS 量と考えている。今回用いた電気炊飯器の温度上昇を鍋炊飯で再現してみると RS 量に変化はあるのか、また炊飯器の種類が異なることによって炊飯時の温度上昇は異なるのか、それによる RS 量に変化はみられるのか等、検討が必要と考える。

IV. まとめ

本研究においては、炊飯時の加熱温度上昇方法の違いによって米飯の RS 含量に違いがあるのかを調べることを目的とし、温度上昇パターンの異なる 3 パターンの鍋 (IH) 炊飯、電気炊飯器、電子レンジを用いて、米飯が炊きあがるまでの温度上昇の違いと炊きたての米飯中の RS 含量について検討を行った。RS 含量は炊飯時間の半分以上が 60℃ 以下と最も長かった鍋炊飯③が最も低く、電気炊飯器で炊飯した米飯の RS 量が最も高い値となった。炊飯時の温度上昇変化の結果より、米内在性酵素による作用と米でんぷんの糊化とでんぷん粒の崩壊が RS 量に関係しているのではないかと考えられた。

V. 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) 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 2015, 50, 165-170.
- 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. 日本食品化学工学会誌 2008, 55 (1) 18-24.
- 7) 清水史子, 伊藤ひとみ, 佐藤文香, 小川睦美 異なる炊飯器を用いた米飯レジスタントスターチ含量の定量. 学苑・生活科学紀要 2005, 782, 75 ~ 79.
- 8) 厚生労働省. 平成29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、栄養素別、摂取量 - 総数、20歳以上. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/kenkou/eiyuu/h29-houkoku.html
- 9) 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.
- 10) 山崎清子, 島田キミエ 調理と理論 第2版. 同文書院. 2003, P.38
- 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. 2002, 49, 29-33.
- 12) 馬場由佳 炊飯過程における米内在性酵素の米飯食味への関与. 日本調理科学会誌 2009, 42 (6), 369 ~ 377.
- 13) Wei, C., Qin, F., Hou, W., Xu, B., Chen, C., et al. Comparison of the crystalline properties and structural changes of starches from high-amylose transgenic rice and its wild type during heating. *Food Chem.* 2011, 128, 645-652.

(令和元年 9 月 27 日受理)