

# さつまいもの加熱調理直後、冷蔵保存及び再加熱による レジスタントスターチ量の変化

\* 亀 井 文 • \* 高 橋 遥

Effects of household cooking, cooling and reheating on resistant starch contents of sweet potatoes

KAMEI Aya and TAKAHASHI Haruka

**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. Sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) is very common carbohydrate source in Japanese diet. Japanese people cook and eat sweet potatoes by boiling, steaming, baking or other cooking methods. RS content might vary when sweet potatoes are cooked by different methods, kept in refrigerator after cooking and reheated. Therefore, the purpose of this study was to investigate effects of cooking, cooling and reheating on resistant starch contents of sweet potatoes.

**Materials & Methods:** Potatoes were cooked by three different methods (boiling, steaming or baking) until they reached the same degree of tenderness. The temperature of sweet potatoes was also monitored during cooking. RS contents of immediate after cooking, freezing 24hour and reheating of sweet potatoes were analyzed.

**Results & Findings:** Among three cooking methods, boiling was the highest RS contents and baking was the lowest. RS contents of all cooking methods were raised after 24hr freezing. However, RS contents of these cooking methods altered differently after reheating sweet potatoes. These results showed that cooking methods might affect RS contents of sweet potatoes.

**Key words :** Sweet potato (さつまいも)

Resistant starch (RS) (レジスタントスターチ)

Cooking methods (調理法)

Freezing (冷蔵)

Reheating (再加熱)

## I. 緒言

さつまいも (*Ipomoea batatas*) や里芋などのいも類は私たち日本人にとって身近なでんぷん性食品であり、食物繊維も多く含まれている。さつまいもは通常調理して食され、日本でさつまいもを調理する方法は、茹でる、蒸す、焼くという方法がよく用いられている。

日本食品標準成分表2015年版(七訂)<sup>1)</sup>では、生さつまいも100g中の炭水化物量は31.5g、総食物繊維量は2.3g、水溶性食物繊維量0.5g、不溶性食物繊維量1.8

である。さらに調理を行った蒸しさつまいも100g中の炭水化物量は31.2g、総食物繊維量は3.8g、水溶性食物繊維量1.0g、不溶性食物繊維量2.8gと調理によって食物繊維量が増加している。また、田宮らは<sup>2)</sup>31種類・系統のさつまいもを1993年から1996年の4年間にわたり、総食物繊維量と水溶性および不溶性食物繊維量を調査している。この結果の中で、高系14号(なると金時の品種)の4年間の平均値は、総食物繊維量が8.2%、水溶性食物繊維量が3.1%、不溶性食物繊維量が5.1%であった。津久井ら<sup>3)</sup>はさつまいも、じゃがい

\* 宮城教育大学家庭科教育講座

も、里芋、ヤマノイモの4種類6品種のいも類を蒸す、ゆでる、焼く、電子レンジ加熱及び油で揚げるなどの操作で加熱調理して、加熱調理前後のTDF量を定量し、その変動について検討した。その結果は蒸す、茹でる操作の場合の各種いも類のTDF量は増加が見られた。この結果について津久井らは、増加したTDF量はレジスタントスターチの生成によるものではないかと考察している。

レジスタントスターチ(RS)は体内で消化吸収を免れるでんぷんとして、その体内での機能が近年注目されている<sup>4)</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、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>4)5)</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RSは大腸において、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>5)6)7)</sup>。

Yang,Yら<sup>8)</sup>の研究では、市販されている4種類のじゃがいもの調理法の違い(茹で、焼き、電子レンジ加熱)によるRS量の影響について調べたところ、焼きと電子レンジ加熱調理のじゃがいもは茹でたじゃがいもと比べてRS量が高いという結果であった。また、Raats,Sら<sup>9)</sup>による研究は、3種類のよく食されているじゃがいもの調理法と保存方法の違いがどのようにRS量に影響するのかを検討している。2つの調理法 - 焼くと茹でる - で調理したじゃがいもを調理後65℃に保つ、4℃で6日間保存する、4℃で6日間保存した後、65℃に再加熱する、の3つの保存方法を比較したところ、焼いたじゃがいもはゆでたじゃがいもより高いRS量であり、調理後65℃に保つ

たじゃがいもは、4℃で6日間保存、あるいは4℃で6日間保存した後65℃に再加熱したじゃがいもと比べてRS量が低い結果となった。しかし、種類によるRS量に違いは見られなかった。Raats,Sらは、水分量が少ない調理法での加熱はRSを生成し、水分量の多い調理法ではでんぷん分解が進むのではないかと考察している。そして、調理後の保存が冷蔵の場合にはでんぷんの老化によってRS量が増加し、再加熱によってもRS量は減少しなかった、と報告している。さらにGormley,R.ら<sup>10)</sup>の研究は、7種類のじゃがいもの品種を用いて茹で加熱調理直後から2時間の常温冷却の後に再加熱を1～3回行った時のRS量変化と、茹でた後マッシュしたものとしなかったものを24時間冷蔵または冷凍保存したもののRS量を測定している。その結果は、じゃがいもの品種によるRS量の違いはほとんど見られず、どのじゃがいもも常温冷却の場合は内部温度が低下するにしたがってRS量は増加した。また、再加熱については、回数が増えるにしたがってRS量が増加した。マッシュの有無については、マッシュしたじゃがいもの方が、マッシュしていないじゃがいもよりRS量が高いという結果であった。Gormley,R.らはこれからの結果より、RS量増加に関わる要因は、でんぷんの老化と保存中の温度、そして調理方法であると示唆している。

これまでのいも類の調理におけるRSの研究については国外におけるじゃがいもの研究が多く、わが国においてよく食されているさつまいもの調理法の違いによるRS量変化についてはほとんど研究されていない。そこで本研究においては、でんぷん性食品であるさつまいもを試料として茹でる、蒸す、焼くという3種類の加熱調理直後、冷蔵保存及び再加熱によるRS量の変化を調べることにした。

## II. 方法

### 1. 試料

さつまいもは徳島(里浦)県産のなると金時(平成24年11月)を用いた。

さつまいもを2cmの厚さに輪切りにした後、クッキー型(直径約4cm)でくりぬいたものを、調製条件ごとにそれぞれ3個ずつ使用した。部位差を考慮し中央部から1つと両端部から2つ選んだ。また個体差を

考慮して各加熱調理において3本のさつまいもを用いて調製を行った。

## 2. 調理方法の違いによるさつまいもの試料調製方法

直径約4cm厚さ2cmのさつまいも(皮なし)を用いて、茹で、蒸し、焼き加熱の3つの方法を用いて調理を行った。各調理法での調理時間は食することが出来るようなやわらかさになるまでとした。茹でおよび蒸し調理については、われわれの先行研究での調製方法と同様の方法で行った。まず茹で調理については、水1.5ℓを入れた鍋(直径約15cm)の中にさつまいもを入れ9分後、沸騰してから15分間加熱した。茹で時間は合計24分間である。蒸し調理は皿の上にさつまいもを載せ、お湯が沸騰してから蒸し器の中敷きの中央に置き、鍋に濡れ布巾をかけて20分間加熱した。焼き調理は、家庭用過熱水蒸気オーブン(HITACHI MRO-BX10)を使用した。まず予備実験として、オーブンは余熱無しで、160℃で20分、25分、30分間の加熱を行った。このとき、さつまいもの試料は9cm正方形のアルミホイルで覆ったものを使用した。さつまいも内部温度はサーモロガー(AM-8000)を使用して測定した(図1)。いずれの焼き時間も食することが出来るまで調理されていたため、水分の蒸発が一番少ないであろう焼き時間20分で調理を行った。

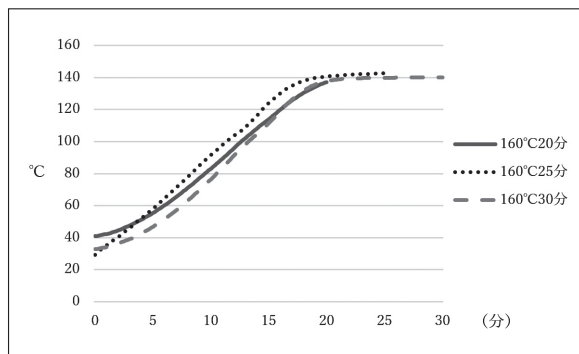


図1 焼き加熱時のさつまいも内部温度変化

表1 試料調製手順

	加熱方法	試料調製	常温に戻す	24時間冷蔵保存	試料調製	電子レンジによる再加熱	試料調製
			ラップをしない状態で1時間半			ラップをして500W 40秒間	
茹で加熱	試料を水から入れ沸騰してから15分間茹でる	試料調製	ラップをしない状態で1時間半	皿の上に試料を置きラップをかける	試料調製	ラップをして500W 40秒間	試料調製
蒸し加熱	沸騰してから20分間蒸す						
焼き加熱	余熱無しオーブンにて160℃ 20分焼く		ラップをしない状態で2時間半				

各々の加熱調理したさつまいもは、すぐに乳鉢ですりつぶし均一化した。生のさつまいもはフォースミルFM-1(ケニス株式会社)を使用して破碎した。

## 3. 加熱調理後の保存及び再加熱方法

加熱調理後、各試料が室温に戻るまでの時間をコンパクトサーモロガーを使用し測定したところ、茹で加熱、蒸し加熱、焼き加熱それぞれ約室温(23.8℃)に戻るまで、1時間6分、1時間12分、2時間17分であった(図2)。そこで、十分に室温に戻すことと、作業の効率を考えて、茹で加熱後は1時間半、蒸し加熱後は1時間半、焼き加熱後は2時間半の間常温で保存した後、24時間冷蔵保存を行った。

24時間冷蔵保存の後の電子レンジによる再加熱の条件は500W40秒(ラップ有)とした。

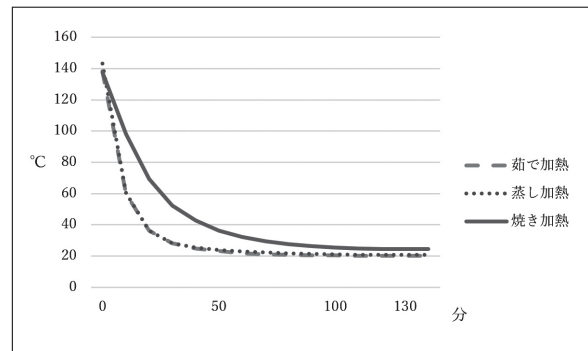


図2 加熱調理後のさつまいも内部の温度下降変化

上記の調製により、各加熱条件での加熱後直後、冷蔵保存後、冷蔵保存後再加熱したさつまいもの試料を用いてRS量の測定を行った。表1は各加熱調理方法における保存条件及び試料調製についてまとめたものである。

#### 4. 調理方法の違いによるさつまいものRS量の測定

##### (1) 試料の作成

上記のように調製した生のさつまいもとそれぞれの調理方法で加熱、冷蔵保存そして再加熱後のさつまいもは井川ら<sup>11)</sup>の方法に準じて脱水操作を行った。調製したさつまいもを約10g乳鉢に入れて、メタノール25ml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25mlを加え磨砕後上澄を捨てる操作をさらに2回繰り返した。その後アセトン25mlを加えてさらに脱水する操作を3回行った試料をRSの測定に用いた。

##### (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、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回行なった。なお、取り除いた上清は非RS量測定に用いた。残った沈殿に2MのKOH2ml加え、水で冷却しながら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。その後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。この時RS測定時と同様に、Reagent blankとD-Glucose standardsも測定した。

##### (3) 非RS量測定

上記の得られた上清を合わせて、0.1M酢酸ナトリウム緩衝液(pH4.5)を用いて100mlに調製し、その溶液からそれぞれ0.1mlずつ取って、10 $\mu$ lのアミログルコシターゼ溶液(300U/ml)を加え50℃で20分間保温し、さらに3.0mlのGOPOD溶液を加え、50℃で20分間保温後、510nmにおいて吸光度測定を行ない、グルコース量として非RS量を測定した。この時RS測定時と同様に、Reagent blankとD-Glucose

standardsも測定した。

##### (4) 計算方法

RS量、非RS量は以下の式に当てはめて求めた。  
 RS又は非RS(g/100g試料) =  $\Delta E \times F / W \times 9.27$   
 $\Delta E$  = 試料の吸光度 - reagent blankの吸光度の平均  
 $F$  = 100 / (D-glucose standardの吸光度の平均 - reagent blankの吸光度の平均)  
 $W$  = 試料の量(g)

#### 5. 統計解析

統計処理はSPSS V 17.0J for Windowsを用いて行った。平均値の差の比較は二元配置分散分析で分析を行い、交互作用が認められた場合は単純主効果の検定を行なった。多重比較検定はBonferroniを用いて行なった。

### III. 結果及び考察

#### 1. 調理方法と調理後の保存及び再加熱によるRS量の変化

調理方法と調理後の保存及び再加熱方法の違いの2要因について分散分析を行った結果、交互作用に有意差が示されたため、単純主効果の検定を行った。

図3は調理方法の違いによるRS量の変化を表したグラフである。どの調理方法も生のさつまいものRS量と比べて低いことが明らかとなった。3種類の調理方法を比較したところ、加熱直後、冷蔵保存後、そして再加熱直後のいずれの場合も、茹で調理のRS量

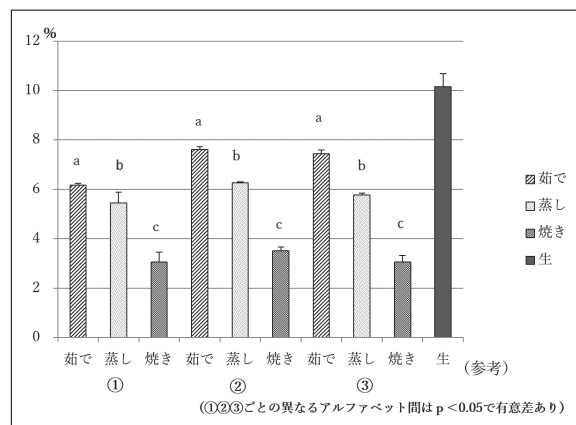


図3 調理方法の違いによるRS量の変化

①加熱直後 ②冷蔵保存後 ③再加熱直後

が1番高く、次に蒸し加熱であり、焼き加熱は一番低いRS量であった。津久井ら<sup>3)</sup>の結果は、蒸す、茹でる操作の場合のいも類のTDF量の増加はレジスタントスターチの生成によるものではないかと考察しており、本研究の結果も同様に茹で加熱と蒸し加熱のRS量が高い値を示した。しかし、Yang,Yら<sup>8)</sup>の研究では、焼きと電子レンジ加熱調理のじゃがいもは茹でたじゃがいもと比べてRS量が高いという結果が報告されている。また、Raats,Sら<sup>9)</sup>の研究も、水分量が少ない調理法でのじゃがいもの加熱はRSを生成し、水分量の多い調理法ではでんぷん分解が進むのではないかと考察している。本研究においては、調理時に水分量が多い茹で加熱のRS量が高い結果となった。調理におけるRSの生成はその調理方法によって異なることは、いくつかの研究で明らかになっているが、いもの種類、加熱温度、時間そしてその時の水分量がどのようにRS生成に関係しているのはまだ明らかではない。本研究ではさつまいもが試料であったため、じゃがいもとは異なる結果になったとも考えられる。今後は、じゃがいもを試料として、同様の実験を行うことも必要であるとする。

調理後の保存及び再加熱によるRS量の変化を図4に示す。茹で加熱の場合は加熱直後のRS量は低く、冷蔵後は高くなり、再加熱後もRS量は下がらなかった。蒸し加熱の場合は加熱直後のRS量は低く、冷蔵後は高くなったが、再加熱後はRS量は下がった。焼き加熱の場合は冷蔵後にRS量が増加傾向にあったものの、どの場合でも有意なRS量の変化はなかった。Raats,S<sup>9)</sup>らのじゃがいもの研究において、調理後の保存が冷蔵の場合にはでんぷんの老化によってRS量が

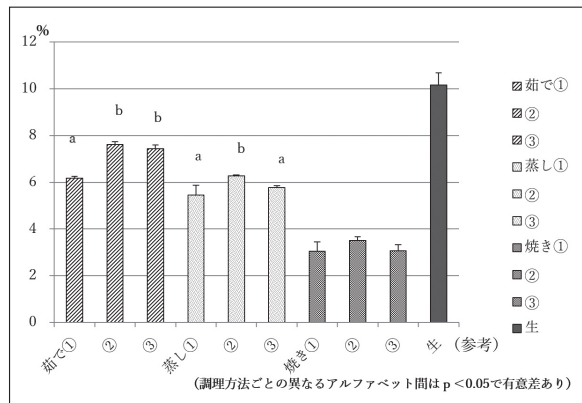


図4 調理後の保存および再加熱後のRS量の変化  
①加熱直後 ②冷蔵保存後 ③再加熱直後

増加し、再加熱によってもRS量は減少しなかった、と報告している。Gormley,R.ら<sup>10)</sup>はじゃがいもの研究結果より、RS量増加に関わる要因は、でんぷんの老化と保存中の温度、そして調理方法であると示唆している。本研究においても、冷蔵保存によるでんぷんの老化によりRS量が増加あるいは増加傾向にはあったが、調理方法の違いによって保存及び再加熱によるRS量の変化は一応ではなかった。このことから、異なる調理方法でのさつまいもの調理後の保存及び再加熱によるRS量生成は異なることが示唆された。

## 2. 調理方法と保存及び再加熱による非RS量の変化

非RS量の測定は、方法の4(3)に記載したように、疑似消化後に消化されたでんぷんの量を測定した値である。調理方法と調理後の保存及び再加熱方法の違いの2要因について分散分析を行った結果、交互作用に有意差が見られなかったため、各要因の検定をおこなった。

まず、調理方法の違いによる非RS量を比較すると(図5)、茹で加熱が蒸し加熱と焼き加熱よりも有意に高い値となった。RS量において茹で加熱が有意に高い値を示していたため、茹で加熱の非RS量は他の調理方法と比べて低い値になることが予測されたが、結果は他の調理方法と比べて高い値であった。茹で加熱は68%、蒸し加熱62%、焼き加熱63%といずれの調理方法においても、さつまいもの非RS量は60%以上と高い値であることが明らかとなった。調理方法の違いにより、生でんぷんの消化の度合いが異なることが示唆された。

調理後の保存及び再加熱方法の違いによる非RS量の変化を図6に示す。加熱直後の非RS量は冷蔵後や

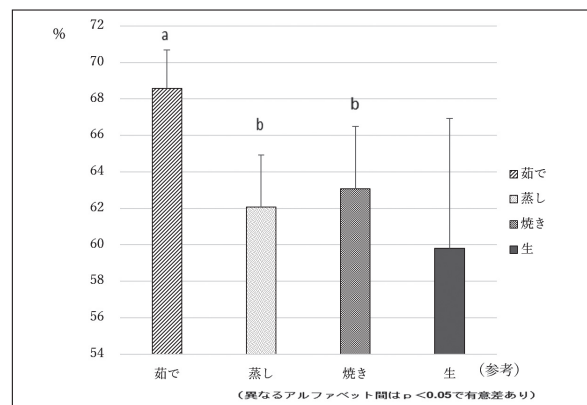


図5 調理方法の違いによる非RS量の変化

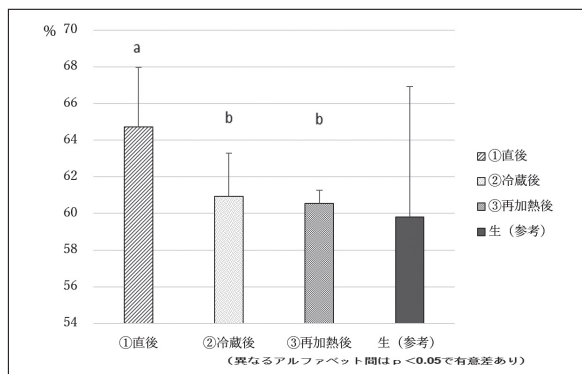


図6 調理後の保存および再加熱後の非RS量の変化

再加熱後よりも有意に高い値であった。これは上記のように、加熱直後は消化性でんぷんであったものが冷蔵保存によるでんぷんの老化のためRS量が増加したことに伴い、消化性でんぷんである非RS量は有意に低下したことが示唆された。また、再加熱後も冷蔵後と同様に非RS量は加熱直後と比べて有意に低いことから、老化によって生成されたRSは単純に再加熱によって再糊化し、消化性でんぷんに変化するのではないことが示唆された。

#### IV. まとめ

本研究においては、でんぷん性食品であるさつまいもを試料として茹でる、蒸す、焼くという3種類の加熱調理直後、冷蔵保存及び再加熱によるRS量の変化を調べることを目的とした。調理方法の違いでは、加熱直後、冷蔵保存後、そして再加熱後のいずれの場合も、茹で調理のRS量が1番高く、次に蒸し加熱が高く、焼き加熱が一番低いRS量であった。また、冷蔵保存によるでんぷんの老化によりRS量が増加あるいは増加傾向にはあったが、調理方法の違いによって保存及び再加熱によるRS量の変化は同様ではなく、異なる調理方法でのRS量生成は異なること、そして、その調理方法ごとのその後の冷蔵保存や再加熱時のRS量の変化も異なることが示唆された。

#### V. 参考文献

- 1) 文部科学省日本食品標準成分表2015年版(七訂)  
http://www.mext.go.jp/a\_menu/syokuhinseibun/1365297.htm
- 2) 田宮誠司、片山健二、小巻克己. サツマイモの不溶性および水溶性食物繊維含量の年次変動と品種間差異. 育種学研究. 1999, 1, 143-147.
- 3) 津久井重紀夫、鈴木敦子、小口悦子、永山スミ. いも類の食物繊維量の加熱調理による変化. 日本家政学会誌. 1994, 45 (11), 1029-1034.
- 4) 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.
- 5) Birt, F. D., Boylston T., Hendrich S. et al. Resistant starch: Promise for improving human health. Adv. Nutr. 2013, 4, 587-601.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Yang, Y., Acharandio, I. & Pujola, M. "Effect of the intensity of cooking methods on the nutritional and physical properties of potato tubers." Food Chem. 2016, 197, 1301-1310.
- 9) Raatz, S.K., Idso, L., et al. "Resistant starch analysis of commonly consumed potatoes: Content varies by cooking method and service temperature but not by variety." Food Chem. 2016, 208, 297-300.
- 10) Gormley, R. and Walshe T. "Effects of boiling, warm-holding, mashing and cooling on the level of enzyme-resistant potato starch" Int. J. Food Sci. Tech. 1999, 34, 281-286.
- 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.

(平成30年9月28日受理)