

米飯の嗜好的および物理化学的特性に及ぼす 酢酸添加の影響

香西みどり, 谷 畠 早 苗, 大石 恭子, 島田 淳子*, 畑江 敬子

(お茶の水女子大学生生活科学部, * 昭和女子大学大学院)

原稿受付平成 13 年 3 月 3 日; 原稿受理平成 13 年 8 月 23 日

Effect of Acetic Acid on the Palatability and Physicochemical Properties of Cooked Rice

Midori KASAI, Sanae TANIHATA, Kyouko OHISHI, Atsuko SHIMADA* and Keiko HATAE

*School of Human Life and Environmental Science, Ochanomizu University,
Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610*

** Graduate School, Showa Women's University, Setagaya-ku, Tokyo 154-8533*

The effect of acetic acid on the properties of cooked rice was studied. A sensory test Revealed that rice cooked with water containing 0.1 M of acetic acid was more glossy, transparent, sticky and soft than rice cooked only with water (control). A decrease in hardness and increase in stickiness were shown by a texturometer with increasing concentration of acetic acid. The amount of glucose contained in the rice cooked with acetic acid was more than that of the control, although not depending on the concentration of acetic acid. In the case of free amino acids, only a small increase was found with increasing concentration of acetic acid. The amounts of solids, total nitrogen and bound amino acids contained in the washing solution of the cooked rice increased with increasing concentration of acetic acid, while the amounts of reducing sugars increased, but did not depend on the concentration of acetic acid. The increases in the amounts of those components in the cooked rice after washing were similar to those of the washing solution. In a model cooking experiment, the weight of rice increased with increasing concentration of acetic acid above 60°C. Furthermore, the amounts of reducing sugars and protein contained in the cooking solution were increased by acetic acid, the increase in the amounts of protein strongly depending on the concentration of acetic acid.

(Received March 3, 2001; Accepted in revised form August 23, 2001)

Keywords: cooked rice 米飯, acetic acid 酢酸, hardness 硬さ, stickiness 粘り.

1. 緒 言

米飯の食味には硬さや粘りなどのテクスチャーが大きく寄与する。一般に日本人は粘りのある米飯を好むため、古米やインディカ種米など硬くて粘りの少ない米に対して様々なテクスチャー改良法が研究されている。

これまで米に柑橘果汁や食酢を添加したり(江間と貝沼 1990, 1991), 古米やインディカ種米に高圧(Watanabe *et al.* 1991; 新井と渡辺 1994) またはタンパク質および細胞壁分解酵素処理(安松等 1966; Shibuya and Iwasaki 1984; Watanabe *et al.* 1991; 新井と渡辺 1994) して炊飯することにより飯の硬さが

減少し、粘りが増加することが報告されている。著者等は先にインディカ種であるタイ国産米について加水量の増加や圧力鍋の使用(島田等 1995) および炊飯前の食酢浸漬処理(畑江等 1995) が飯の粘りを増加させる効果があることを報告した。柑橘果汁添加により米飯の粘りが増加するという効果はクエン酸のみでも得られる(江間と貝沼 1991) が、食酢の主成分である酢酸については検討されていない。また、前述した種々の手段による米飯のテクスチャー改変効果はいずれも官能検査や物性測定、組織構造の観察から明らかにされたものであり、成分に関する報告はみられない。食酢の利用は殺菌効果(松田等 1994) もあり米

の調理加工への貢献度が高いことが期待される。

そこで本研究では酢酸添加が米飯の嗜好的、物理的特性および化学成分に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。さらに炊飯過程に溶出する成分についても検討した。

2. 方法

(1) 試料米および炊飯方法

試料米として平成7年度滋賀県産日本晴を用い、入手後は玄米のまま4℃で保存し、実験前日に精米機(トーヨーテスター精米機, MC-90 A, 東洋精米機製作所)により歩留まり91%にとう精した。米200gに水1 lを加え2回/秒で10回攪拌後、水を除去し、同様に水1 lを加え20回攪拌後に水を除去する操作を10回繰り返した。この米に脱イオン蒸留水300 mlを加え、20℃で1 h浸漬後酢酸(和光製薬, 試薬特級)を添加して電気炊飯器(SR-03 F, 松下電器産業)により炊飯した。酢酸は炊飯液中の濃度が0.05, 0.1, 0.2 mol/kgになるように添加した。炊飯液のpHはそれぞれ3.6, 3.34, 3.15であり、脱イオン蒸留水のそれは6.60であった。炊飯器にスライダックをとりつけ、沸騰まで110 Vで12 min, 沸騰後は70 Vで13 min加熱した。蒸らしは15 min行った。炊飯直後の飯50 gと脱イオン蒸留水10 mlをホモジナイズした後のpHは3.61であった。

モデル炊飯では米10 gをビーカーに入れ、100 mlの水中で攪拌しながら洗米し、これを8回繰り返した。200 mlビーカーに金網式かごに入れた米10 gと脱イオン蒸留水100 mlを入れ、20℃で1 h浸漬後炊飯液中の濃度が上記と同様になるように酢酸を添加しビーカーをアルミ箔で覆った後、水を800 ml入れた炊飯器にビーカーを6個並べ、炊飯した。

(2) 官能検査

二点強度尺度および嗜好尺度試験により酢酸無添加および酢酸添加米飯の官能検査を行った。パネルはお茶の水女子大学調理学研究室員10名とした。

(3) 物性測定

米飯の硬さおよび粘りをテクスチュロメーター(GTX-2, 全研)により測定した。プランジャーはルサイトφ18 mm, カップはアルミ30 mm, クリアランスは0.2 mm, チャートスピードは750 mm/minとした。

(4) 糖および遊離アミノ酸量の測定

米飯50 gに終濃度80%になるように99.5%エタノールを160 ml加え、ホモジナイズした。0.2 M酢酸添加米飯の抽出時のpHは5.36であり、抽出時のpHをそろえるため他の試料のpHも酢酸を添加して同様にした。ホモジネートを加熱還流し、3回繰り返した後全量をエバポレーター(EYELA, 東京理化学機)で濃縮し、脱イオン水で定容した。0.2 μmのフィルターを通し、分画分子量30,000の限外ろ過膜を通した液を用いて糖およびアミノ酸分析用試料とした。遊離糖としてグルコース, フルクトース, スクロース量を酵素法(Fキットグルコース/フルクトース/スクロース, ベーリンガー・マンハイム)により測定した。還元糖はSomogyi-Nelson法, 全糖はフェノール硫酸法によりマルトース水溶液を標準液として測定した。遊離アミノ酸はアミノ酸分析計(835 S, 日立)により測定した。ペプチド態アミノ酸は分析用試料に終濃度6 Nになるように濃塩酸を加え、110℃で24 h加水分解した。

(5) 総窒素量およびタンパク質の測定
飯洗浄液およびモデル炊飯において米粒と分離した炊飯液を100 mlに定容し、15,000 rpmで20 min遠心分離した上澄みについて総窒素量およびタンパク質の定量を行った。タンパク質はBradford色素結合法(Bradford 1976)によりグロブリンを標準液として測定した。総窒素量はケルダール法によった。

(6) 溶出固形分量の測定

(5)の試料溶液をスターラーで攪拌しながら、25 ml採取し、105℃, 3 h乾燥し、溶出固形分量を算出した。

(7) 重量測定

モデル炊飯において浸漬後、水温40, 60, 80および98℃の各段階で50メッシュのふるいを用いて米粒と炊飯液を分離し、米粒の重量を測定した。

3. 結果および考察

(1) 米飯の嗜好特性に及ぼす酢酸の影響

はじめに酢酸を添加して炊飯した米飯の嗜好特性を官能検査により明らかにした。炊飯液の酢酸濃度は一般に合わせ酢として用いられる飯重量の7%の食酢(山崎と島田 1977)に相当する0.1 Mとした。この酢酸添加米飯は予備的な官能検査によりすし飯として用いることが可能な酸味と香りを有していた。酸味と香りについては酢酸添加の影響が明らかであるので、官能検査では味と香りの項目を除いて評価した。

Fig. 1に酢酸無添加を0としたときの酢酸添加米飯

米飯の嗜好的および物理化学的特性に及ぼす酢酸添加の影響

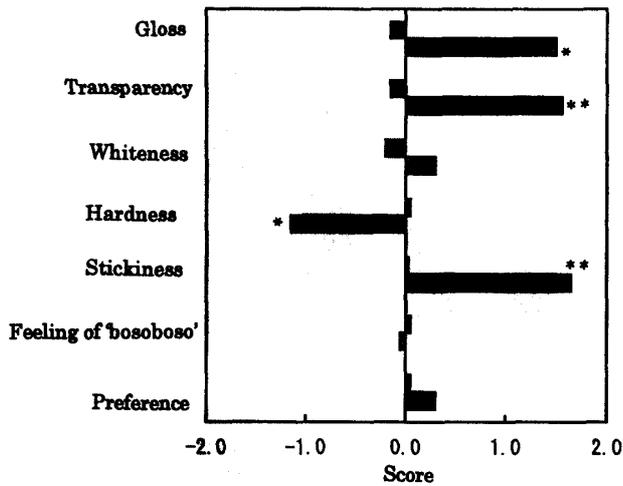


Fig. 1. Sensory test on cooked rice prepared with or without acetic acid

■, control; ▨, 0.1 M acetic acid. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

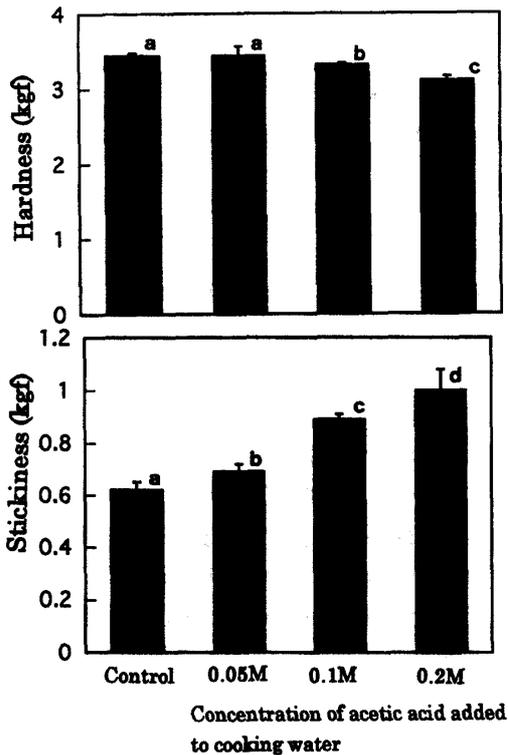


Fig. 2. Effect of acetic acid on the hardness and stickiness of cooked rice

Different letters show significant difference ($p < 0.05$).

の評点を示した。酢酸添加により、つやおよび透明感の増加、硬さの減少、粘りの増加が有意にみられた。本実験により食酢にみられた効果(江間と貝沼 1991; 畑江等 1995)と類似した傾向が酢酸のみでも得られることが確認された。一方、飯としての好ましきには

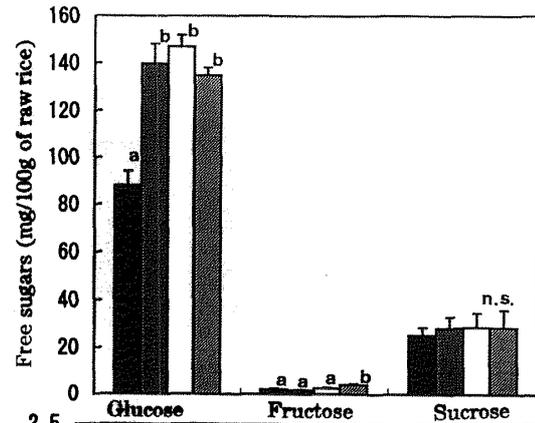


Fig. 3. Effect of acetic acid on the amount of free sugars and free amino acids in cooked rice

■, control; ▨, 0.05 M acetic acid; □, 0.1 M acetic acid; ▩, 0.2 M acetic acid. Different letters show significant difference ($p < 0.05$).

酢酸添加による有意な差がみられなかった。この理由として米飯の硬さや粘りに有意な差があるものの、それらに対する好みにはある程度幅があったことが考えられる。

(2) 酢酸添加米飯の物理的特性

次に米飯の物性が酢酸濃度に依存してどのように変化するかについて検討した。

Fig. 2に酢酸添加米飯の硬さおよび粘りの測定結果を示した。硬さは酢酸濃度が0.1 Mのとき有意に減少し、0.2 Mでさらに減少した。粘りは酢酸濃度とともに増加し、硬さより酢酸濃度に強く依存していた。

Fig. 1に示した酢酸添加による米飯の透明感の増加に対応して粘りが増加したことから酢酸により米粒の表面状態が変化したと考えられる。江間と貝沼(1990)は果汁の添加割合が増加するとともに飯のつやや付着

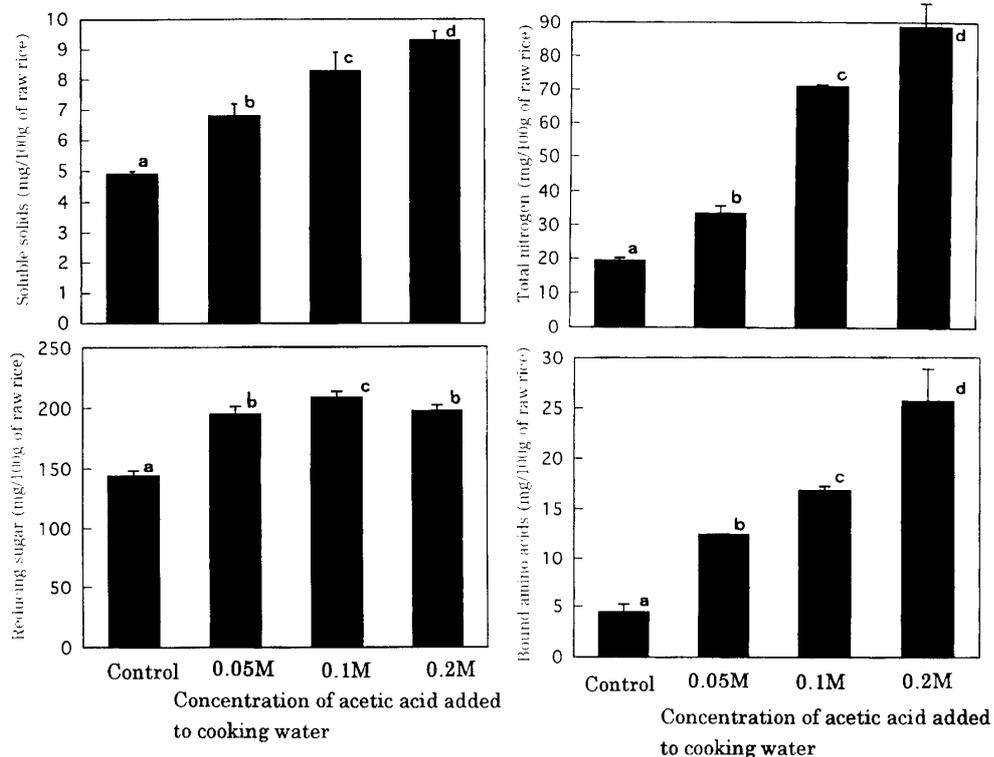


Fig. 4. Effect of acetic acid on the amount of components contained in the washing water of cooked rice

Different letters show significant difference ($p < 0.05$).

性が増し、このとき飯粒周辺部の付着物のきめが細かく濃厚に変化していると報告している。Hamaker *et al.* (1991) は 60 kD のデンプン結合性タンパク質はアミロース含量とほぼ同程度に粘りと負の相関があるとし、また Arai *et al.* (1993) はタンパク質分解酵素処理により飯の粘りとつやが増すのは 60 kD のデンプン結合性タンパク質が除かれたため溶出したデンプンが高度に糊化して米粒の周囲をとりまくためとしている。本実験で酢酸濃度に依存して飯の粘りの増加がみられたことから、酢酸添加により炊飯液中の成分が変化することが考えられる。炊飯液中の成分について本間等 (1983) は固形分の 95.7% が炭水化物、19.2% が遊離糖、4.2% がタンパク質と報告している。炭水化物には細胞壁多糖類なども含むと考えられ、またタンパク質は量は少ないながらも上記の通り粘りに関与すると考えられることから、炊飯液と粘りの関係についてはさらに検討を要する。

(3) 米飯の成分に及ぼす酢酸の影響

前節で酢酸添加により米飯の物性が変化したことから、次に酢酸添加による飯の成分の変化を米飯、飯表面部を洗浄した洗液および洗浄後の飯について測定した。

Fig. 3 に酢酸添加米飯の遊離糖と遊離アミノ酸の結果を示した。遊離糖ではグルコースのみが酢酸添加により増加し、濃度に伴う変化はみられなかった。遊離アミノ酸では全体に変化が小さいが酢酸添加によりやや増加し、わずかではあるがロイシン、チロシンなど疎水性アミノ酸の増加割合が大きかった。

Fig. 4 に酢酸添加米飯の飯洗液中の溶出固形分、還元糖量、総窒素量およびペプチド態アミノ酸量の測定結果を示した。溶出固形分は酢酸濃度に依存して増加した。還元糖量は酢酸添加により増加したが、濃度に伴う変化はみられなかった。総窒素量およびペプチド態アミノ酸量はいずれも酢酸濃度とともに増加した。次に Fig. 5 に洗浄後の飯中の還元糖、遊離アミノ酸量、ペプチド態アミノ酸量の測定結果を示した。なお、飯洗浄液について測定した総窒素量については洗浄液と洗浄後の飯中の総量が酢酸添加によらずほぼ同程度であったことから、飯中での値は示していない。

Fig. 5 に示したように還元糖量は酢酸添加により増加し、濃度による変化はみられなかった。遊離アミノ酸が酢酸添加による変化はほとんどみられなかったのに対して、ペプチド態アミノ酸は酢酸添加濃度に強く

米飯の嗜好的および物理化学的特性に及ぼす酢酸添加の影響

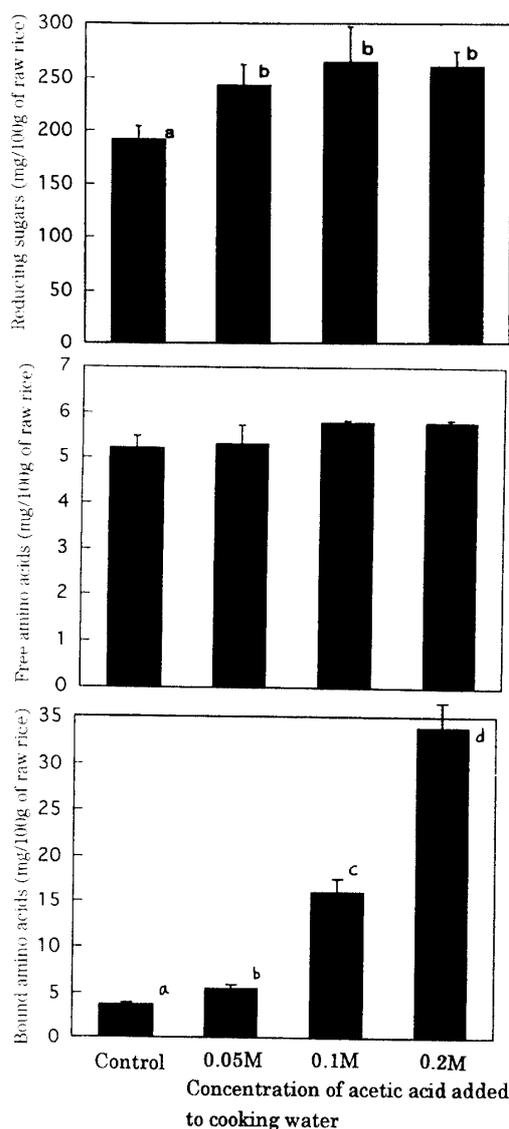


Fig. 5. Effect of acetic acid on the amount of components contained in cooked rice after washing

Different letters show significant difference ($p < 0.05$).

依存して増加した。

Fig. 4 に示した飯洗液中の溶出固形分の増加傾向から酢酸の影響が強いほどデンプンなどが出やすくなったと考えられる。還元糖は酢酸添加による効果が濃度の影響より大きく、ペプチド態アミノ酸量は酢酸濃度に依存して増加するという傾向は飯洗液 (Fig. 4) および洗浄後の飯 (Fig. 5) でよく類似していた。このように成分によって酢酸の影響が異なる理由の一つに、酸による pH の低下とそれに伴う酵素作用の変化が関わっていると考えられる。米の α -アミラーゼの至適 pH は 5.5 付近 (坂本と丸山 1990) にあり、酸性ブ

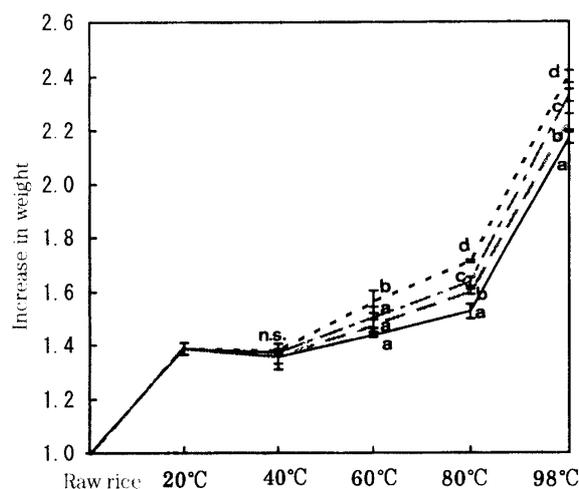


Fig. 6. Effect of acetic acid on the change in weight of rice during cooking

—, control; ---, 0.05 M acetic acid; - · -, 0.1 M acetic acid; ·····, 0.2 M acetic acid. The change in weight is represented by the ratio of the weight after cooking to that of raw rice. Different letters show significant difference ($p < 0.05$).

ロテアーゼ (Doi *et al.* 1980) およびシステインプロテアーゼ (Abe *et al.* 1987) の至適 pH はそれぞれ 2.5~3.0, 4.5~5.75 とアミラーゼのそれより低い。そのため酵素作用に関しては還元糖よりもペプチド態アミノ酸の方が酢酸添加の影響を強く受けると考えられる。さらに米タンパク質の中で希酸、希アルカリ可溶のグルテリン (鈴木等 1998) が最も多く、炊飯液の pH が低下したことで炊飯液への溶出量が増加したと考えられる。

以上の通り、酢酸添加により飯洗液の溶出固形分および洗浄後の飯中のペプチド態アミノ酸量が酢酸濃度に依存して増加した。この原因が酸そのものによるものかあるいは pH の低下に伴う各分解酵素の活性の上昇によるかについて現在検討中である。

(4) モデル炊飯の炊飯過程における変化

これまで述べた通り、炊飯時の酢酸添加は米飯の物性および成分を変化させ、成分によって酢酸濃度の影響が異なった。米飯に及ぼす酢酸の作用機構を明らかにしていくためには、これらの変化が炊飯のどの段階から起こっているかを知ることが必要である。そこでモデル炊飯を行い、各段階で米粒と炊飯液に分離し、米粒については重量変化、炊飯液については溶出固形分、還元糖およびタンパク質量の測定を行った。

米粒の重量変化の結果を Fig. 6 に示した。水温 40

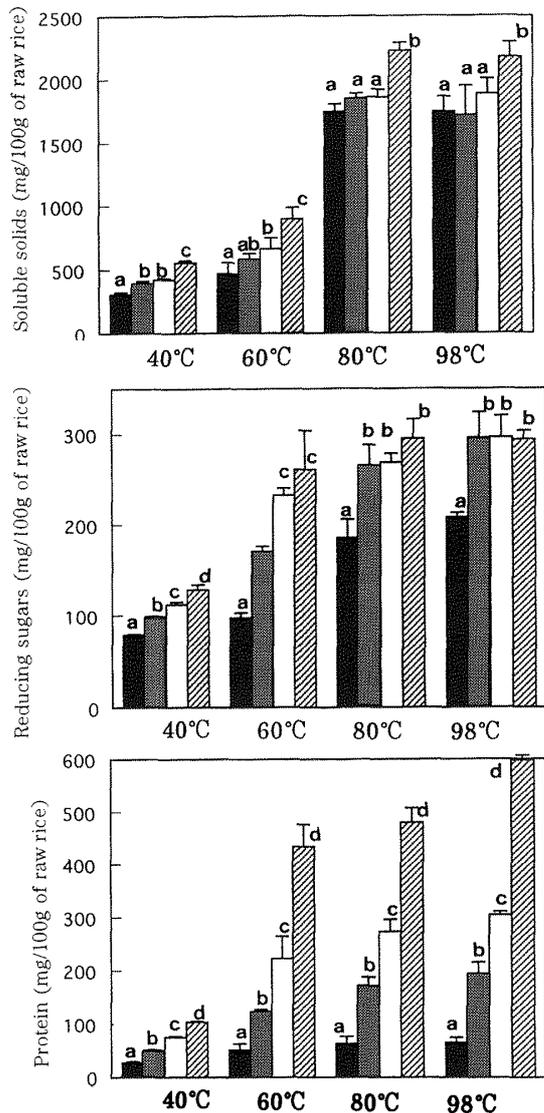


Fig. 7. Effect of acetic acid on components contained in the cooking water of model cooked rice

■, control; ■, 0.05 M acetic acid; □, 0.1 M acetic acid; ▨, 0.2 M acetic acid. Different letters show significant difference ($p < 0.05$).

℃までは酢酸添加による差はみられず、60℃では0.2 Mにおいて他の試料より有意に重量増加率が高かった。80℃以上になると酢酸濃度に依存して有意に増加率が高くなった。このことから酢酸添加により米粒の吸水が促進され、それが高温になるほど酢酸濃度に依存して顕著にみられるといえる。

Watanebe *et al.* (1991) は古米を高圧またはセルラーゼやアクチナーゼなどの分解酵素で処理しても米の加熱前後の吸水率に差はみられず、アクチナーゼによって分解されるのは主にアルブミンやグロブリンであ

り、タンパク顆粒として存在するグルテリンはほとんど分解されない (Arai *et al.* 1993) と報告している。本実験により酢酸添加でペプチド態アミノ酸および米の重量が酢酸濃度に依存して増加したことから、酢酸がアルブミンやグロブリンだけでなく米に約70%も含まれるグルテリンにも影響を及ぼして米の重量が対照よりも増加したことが示唆される。すなわち酢酸添加によるグルテリンの炊飯液への溶出量の増加および酸性プロテアーゼによるタンパク質の分解が起こったことが考えられ、量的にも多く、また顆粒状で存在するグルテリンのこれらの変化がデンプンへの吸水を促進した可能性が考えられ、これについては現在検討中である。

米粒と分離した炊飯液について測定した結果を Fig. 7 に示した。炊飯液の溶出固形分は酢酸添加、対照ともに60℃から80℃の間で大きく増加した。60℃までは酢酸濃度が高い方が溶出固形分がやや多い傾向がみられたが、80℃以上では対照と酢酸濃度0.1 Mまでの間に有意な差はみられず、酢酸0.2 Mにおいてのみ有意に溶出固形分が多いという結果になった。前出の Fig. 4 においては飯洗液の溶出固形分が酢酸濃度とともに増加していたことから、固形分の溶出については沸騰後の方が酢酸の影響が大きいと考えられる。炊飯液中に溶出した還元糖量は酢酸添加、対照ともに炊飯温度とともに増加した。酢酸の影響は60℃までは酢酸濃度に依存して増加したが、80℃以上になると酢酸濃度の増加に伴う変化はなかった。このことから60℃以下と80℃以上とでは炊飯液中の還元糖量に及ぼす酢酸の影響が異なることが考えられる。

タンパク質量についてはいずれの水温においても酢酸添加ではその濃度に依存して増加しており、温度が高くなるほどその傾向が強くなった。一方、対照では温度に伴う増加はみられなかった。これらの結果は溶出固形分や還元糖量の結果と明らかに違う点であり、酢酸添加の影響がデンプンよりタンパク質に強く現れることが示された。この理由として Fig. 6 の米の重量増加率のところで述べたように、酢酸の影響がpHの低下に伴うタンパク質の溶出と酵素による分解のいずれにも関わっているためと考えられる。

本実験の結果、炊飯の途中段階から酢酸濃度に依存して重量増加率や成分が影響をうけていることから、酸の影響は米粒表面だけでなく米粒内部からうけているといえる。特に酢酸濃度に依存して米飯洗液および洗浄後の飯中のペプチド態アミノ酸量がともに増加し

米飯の嗜好的および物理化学的特性に及ぼす酢酸添加の影響

たことから、タンパク質の炊飯中の挙動が酢酸添加米飯の物性に与える影響が大きいと考えられ、今後さらに検討を進めていく予定である。

5. 要 約

米飯の嗜好特性および成分に及ぼす酢酸の影響を明らかにするために酢酸添加米飯の官能検査、物性測定および成分分析を行った。

(1) 炊飯液の酢酸濃度を 0.1 M として炊飯した酢酸添加米飯は酢酸無添加米飯よりつや、透明感、粘りがあり、硬さが減少した。

(2) 酢酸濃度に依存してテクスチュロメーターによる硬さの減少および粘りの増加がみられた。

(3) 酢酸添加米飯では無添加よりグルコースが多かったが酢酸濃度には依存しなかった。遊離アミノ酸は酢酸によりわずかな増加がみられたが、変化が少なかった。

(4) 飯洗液中の固形分量、総窒素量およびペプチド態アミノ酸量は酢酸濃度とともに増加し、還元糖は酢酸による増加はみられたが濃度依存性はみられなかった。飯洗浄後の飯中の還元糖およびペプチド態アミノ酸の酢酸濃度依存性は洗液のそれらと類似していた。

(5) モデル炊飯において水温 60℃ 付近から重量増加率が酢酸濃度に依存して増加した。炊飯過程で溶出してくる還元糖、タンパク質量は水温 40℃ 付近から酢酸による増加がみられ、特にタンパク質量は酢酸濃度に依存して大きく増加した。

引 用 文 献

- Abe, K., Kondo, H., and Arai, S. (1987) Purification and Properties of a Cysteine Proteinase from Germinating Rice Seeds, *Agric. Biol. Chem.*, **51**, 1509-1514
- Arai, E., Aoyama, K., and Watanabe, M. (1993) Enzymatic Improvement of the Cooking Quality of Aged Rice: A Main Mode of Protease Action, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 911-914
- 新井映子, 渡辺道子 (1994) 高圧処理または酵素処理によるインディカ種米の米飯テクスチャー改変, *日食工誌*, **41**, 619-626
- Bradford, M. (1976) A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding, *Anal. Biochem.*, **72**, 248
- Doi, E., Shibata, D., Matoba, T., and Yonezawa, D. (1980) Characterization of Pepstatin-Sensitive Acid Protease in Resting Rice Seeds, *Agric. Biol. Chem.*, **44**, 741-747
- 江間章子, 貝沼やす子 (1990) 柑橘果汁の炊飯への利用, *調科誌*, **23**, 198, 205
- 江間章子, 貝沼やす子 (1991) 柑橘果汁の炊飯への利用 (一古米への効果一), *調科誌*, **24**, 89-95
- Hamaker, B. R., Griffin, V. K., and Moldenhouse, K. A. K. (1991) Potential Influence of a Starch Granule-Associated Protein on Cooked Rice Stickiness, *J. Food Sci.*, **56**, 1327-1329 (1991)
- 畑江敬子, 綾部園子, 貝沼やす子, 島田淳子 (1995) 材料添加によるタイ国産米の食味改良効果, *調科誌*, **28**, 231-236
- 本間伸夫, 佐藤恵美子, 渋谷歌子, 石原和夫 (1983) 炊飯に伴う米の外観, テクスチャー, 香味の変化について (その 1), *家政誌*, **34**, 698-704
- 松田敏生, 矢野俊博, 丸山昌弘, 熊谷英彦 (1994) 有機酸類の抗菌作用—各種 pH における最小発育阻止濃度の検討—, *日食工誌*, **41**, 687-702
- 坂本 薫, 丸山悦子 (1990) 精白米 α -アミラーゼの精製とその性質, *澱粉科学*, **37**, 29-34
- Shibuya, N., and Iwasaki, N. (1984) Effect of Cell Wall Degrading Enzymes on the Cooking Properties of Milled Rice and the Texture of Cooked Rice, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **31**, 656-660
- 島田淳子, 大田原美保, 綾部園子, 畑江敬子, 小西雅子 (1995) タイ国産米の炊飯特性と加圧炊飯による食味改良効果, *調科誌*, **28**, 158-166
- 鈴木敦士, 渡部終五, 中川弘毅 (編) (1998) 『タンパク質の科学』, 朝倉書店, 128
- Watanabe, M., Arai, E., Honma, K., and Fuke, S. (1991) Improving the Cooking Properties of Aged Rice Grains by Pressurization and Enzymatic Treatment, *Agric. Biol. Chem.*, **55**, 2725-2731 (1991)
- 山崎清子, 島田キミエ (1977) 『調理と理論』, 同文書院, 53
- 安松克治, 備中住子, 堀 四郎, 島蘭平雄 (1966) ひいろたけ酵素の生産と応用 (第 4 報), *日食工誌*, **13**, 291-293