

原料米の乳酸発酵と乳酸水溶液浸漬による 米飯及び米菓の品質向上

宮森清勝*

Treatment of Raw Rice with *Lactobacillus plantarum* and Lactic Acid Improve the Quality of Cooked Rice Grains and Rice Crackers

Kiyokatsu Miyamori

In order to improve the quality of cooked rice grains and rice crackers, we examined the effects of treatment of raw rice with the lactic acid bacterium *Lactobacillus plantarum* or lactic acid on their quality. When rice was soaked in water containing 0.1% of gluconic acid, *L. plantarum* grew in it. The growth of *L. plantarum* and production of lactic acid by its growth were observed as the increase of glucose, which was possibly produced via activities of enzymes in rice. Treatment of rice with *L. plantarum* or lactic acid solution lowered the hardness and conversely increased the stickiness of cooked rice grains. In addition, these treatments inhibited the increase of hardness of cooked rice grains induced by their refrigeration. Furthermore, these treatments increased the specific volume of rice crackers.

(Accepted Mar. 10, 2003)

米を主原料とする食品の品質は、主成分である澱粉の性状や水分含有量に大きく影響される。例えば澱粉の含量が多く、糊化特性の最高粘度が低い米から作られる米菓はよく膨化し^{1, 2)}、食感的に好まれる傾向にある³⁾。また、米飯や餅など水分含量が多い食品は、澱粉の老化などで物性が硬化したり微生物が繁殖したりして、商品価値を損ないやすい。一般に食品の硬化はマルトースやトレハロースなどを添加することで抑えられることが知られている⁴⁾。一方、江川ら⁵⁾は乳酸発酵を利用して低タンパク質米粉を作り、これを原料とした柏餅生地は硬化が遅延されることを報告している。しかしながら、その機序については詳細に検討されていない。また乳酸発酵⁶⁾には、pHの低下や乳酸自体が持つ抗菌作用によって食品の保存性を高めたり、食品の香りや味を改良したりする働きがある。さらにその菌体成分は生体の免疫機能を活発化すると言われ

ている⁷⁾。これらのことから、原料米の乳酸発酵による炭水化物やタンパク質の変化及び産生物質の活性によって、米加工食品の硬化抑制や保存性向上、並びに新たな生理機能性の付与が期待される。そこで、本研究では米加工食品の品質向上を目的として、米の乳酸発酵に伴う米浸漬液の成分の消長について調べるとともに、乳酸発酵及び乳酸水溶液への浸漬が米飯の物性や米菓の比容積に及ぼす影響について検討した。

実験方法

1. 原料米

平成11年度福島県産コシヒカリ玄米1等と平成8年度福島県産こがねもち玄米1等を、ニューワンパス精米機BS08A(佐竹製作所)で搗精して実験に供した。

2. 米の乳酸発酵及び乳酸浸漬処理

対照の無処理区では、うるち米(精白度90%)150gを水洗し、蒸留水で総重量を367.5g(1.45倍)に調

*現 東京都立産業技術研究所

えて、25℃、1時間浸漬した。乳酸発酵処理は、変敗微生物の増殖を抑制するために、蒸留水に代えて0.1%グルコン酸水溶液で総重量を調べ、米1g当たり乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* 1×10^6 CFU(凍結乾燥品、協和ハイフーズ)を添加して35℃、24時間あるいは48時間発酵させた。グルコン酸水溶液への浸漬(以下グルコン酸浸漬と記す)処理は、0.1%グルコン酸水溶液で総重量を調べたのち35℃、24時間浸漬した。乳酸水溶液への浸漬(以下乳酸浸漬と記す)処理は、各濃度(0.09%、0.18%、0.35%)の乳酸水溶液で総重量を調べたのち、各温度(10℃、35℃、50℃)で24時間浸漬した。

無処理区のもち米では、もち米(精白度90%)150gを水洗し、蒸留水で総重量を345g(1.3倍)に調べて、10℃、15時間浸漬した。乳酸発酵処理は、0.15%グルコン酸水溶液で総重量を調べ、米1g当たり乳酸菌 *L. plantarum* 1×10^6 CFUを添加して35℃、24時間発酵させた。

乳酸発酵中の生菌数は標準寒天培地(栄研化学)、乳酸菌数はMRS培地(メルク)を用いて、いずれも混釈平板培養法により35℃、48時間培養したのち出現コロニーを計測した。浸漬液中の有機酸や糖は、有機酸分析用キャピラリー(Agilent #G1600-62311)を装着したキャピラリー電気泳動装置HP3D(横河アナリティカルシステム)に有機酸分析用緩衝液(Agilent #8500-6785)を用いて測定した。

3. 米飯の物性測定

2の方法で各種処理した浸漬米(うるち米)を電気炊飯器ECJ-PM31(三洋電機)で炊飯し、20分間そのまま保温した。次に米飯をポリプロピレン容器に移して密閉し、その直後あるいは15℃、18時間冷蔵した米飯を、ともに25℃、2時間静置してから物性試験に供した。物性測定は、岡留ら⁸⁾の方法に準じてレオナーRE-3305(山電)のテクスチャー解析Ver.2.0で行い、テフロン製ブランジャーを1mm/secで移動させて米飯1粒を25%圧縮した。

また、電気炊飯器で炊飯あるいはもちつき機AFC-166(東芝)で蒸煮して作成したもち米飯の物性を、うるち米飯と同様に測定した。

4. 米菓素焼き試料の試作と性状分析

無処理のもち米による米菓素焼き試料の試作は、はじめに、洗米・浸漬・水切りしたもち精白米900gをもちつき機で餅にし、5℃、50時間の条件下で冷蔵硬化させてから米菓生地成型した。次に30℃、80%RH

の恒温恒湿槽LH-20(ナガノ科学機械製作所)と自然乾燥で生地を水分21%に調製したのち、電気オーブンTGR-113(東芝)を用いて240℃で焼き上げて素焼き試料にした。

乳酸発酵及び乳酸浸漬処理した場合の試作は、もち精白米に0.15%グルコン酸水溶液と乳酸菌(乳酸発酵)あるいは0.5%乳酸水溶液(乳酸浸漬)を添加して35℃で浸漬して行った。なお、水切り以降の操作は、両処理とも無処理の場合と同様に行った。

米菓素焼き試料の成分分析は、水分を常圧加熱直接法、タンパク質をデュマ法、脂質を酸分解法、灰分を酢酸マグネシウム添加灰化法で行った。米菓素焼き試料の比容積(cm^3/g)は、植物種子置換法で求めた容積を乾物換算した重量で除して算出した。

実験結果及び考察

1. 米浸漬液の乳酸発酵に伴う成分変化

乳酸菌は、属・種・株によって栄養要求性が異なることが知られている。江川ら⁵⁾は糖類を添加して白米を乳酸発酵させているが、本研究では糖類を全く添加せず、*L. plantarum*の凍結乾燥品を精白度が異なるうるち米粒に添加して米の乳酸発酵を試みた。精白度90%と96%の米粒では乳酸菌の増殖が優勢に進み、乳酸菌数は700倍ほどまで増殖した。一方、無搗精の玄米粒では乳酸菌以外の微生物の増殖が優勢となった。しかしながら、玄米も粉砕することで乳酸発酵したことから、米胚乳から成分が溶出すれば米の乳酸発酵が進み、変敗微生物の増殖が抑制されると考えられた。

次に、添加した乳酸菌の増殖に必要な栄養要求性を調べるために、乳酸発酵時における浸漬液の成分変化を測定した。一般に、米にもともと附着した微生物が多い場合には、乳酸発酵に加え発酵初期に変敗微生物の増殖も同時に起こり、そのため食味への影響が懸念

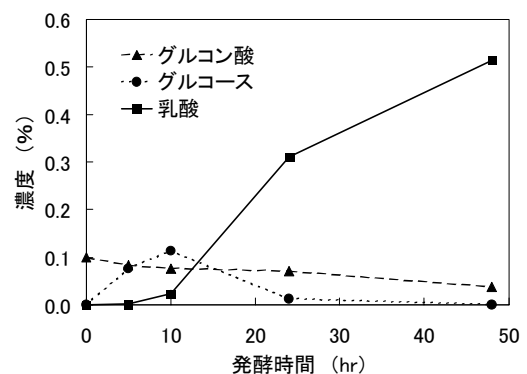


図1 乳酸発酵時における米浸漬液の成分変化

される。変敗微生物の増殖を抑制するために、先の報告⁹⁾ではクエン酸を添加したが、本研究では、まるみのある柔らかな酸味を呈し、クエン酸と比べて酸味度が3割ほどで同等の抑制作用があるグルコン酸¹⁰⁾を使用した。図1に示すように、浸漬液中では、まずグルコースが生成してから乳酸が生成し始め、続いて乳酸の生成が増すとともにグルコース量が減少し始めた。これは、最初に米の内部酵素によってグルコースが生成され、次にこれを栄養分として利用する乳酸菌が増殖して乳酸量が増したが、次第にグルコースの生成が乳酸菌の増殖に追いつかず、グルコース量が減少したと考えられた。また、グルコン酸も徐々に減少したことから、乳酸発酵に利用されていると考えられた。

2. 乳酸発酵と乳酸浸漬による米飯の品質改善

各種条件で処理したうるち米を炊飯し、その直後及び15°C、18時間冷蔵した米飯について、1粒を25%まで圧縮したときの物性を図2及び図3に示す。炊飯直後では、無処理やグルコン酸水溶液に加熱浸漬(35°C)したもの(グルコン酸浸漬処理)と比べ、乳酸発酵処理した米飯は硬さが減るとともに、粘りとバ

ランス度(粘り/硬さ)が増し、もちもちとした食感になった(図2)。冷蔵後はいずれの米飯も硬さが増加し、粘りとバランス度が減少したが(図3)、それらの炊飯直後に対する変化量は無処理やグルコン酸浸漬処理と比べて乳酸発酵処理した米飯で小さく、冷蔵による硬化が抑えられた(図2及び図3)。先に、江川ら⁵⁾が乳酸発酵を用いて作った低タンパク質米飯は軟らかく、その粉から製造した柏餅生地は硬化が遅延されることを報告している。今回の結果はそれらを追認するとともに、米飯の冷蔵による硬化も、乳酸発酵によって抑えられることが判明した。

米飯の物性変化は、単にグルコン酸水溶液に加熱浸漬した場合にも認められたことから(図2及び図3)、乳酸発酵で生成する乳酸のみによっても米飯の物性変化が生じるのではないかと予想された。そこで、乳酸水溶液中に加熱浸漬したうるち米を炊飯し、炊飯直後と冷蔵後の物性をそれぞれ測定した。結果は図4及び図5に示すように、乳酸発酵処理した米飯と同様に物性が変化し、乳酸加熱浸漬をpHが低い条件で行ったときほど物性の軟化や硬化抑制が大きかった。また、

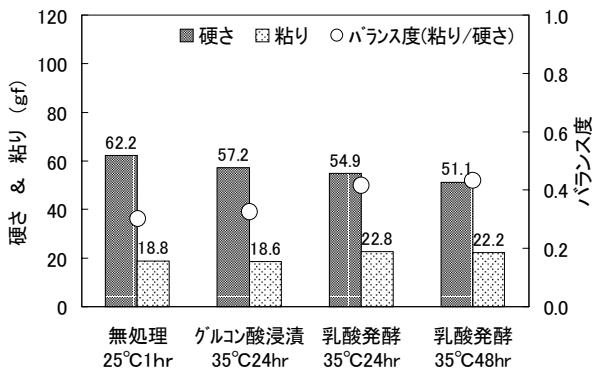


図2 乳酸発酵処理したうるち米飯の物性 (炊飯直後)

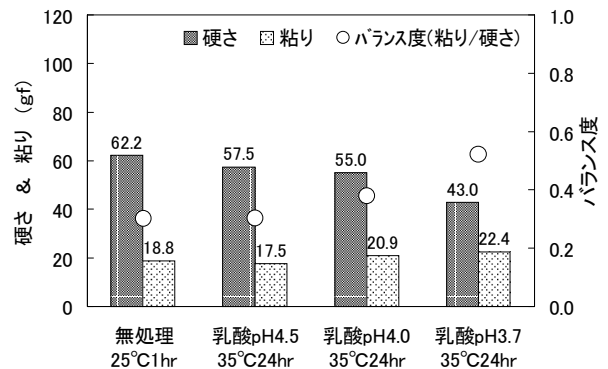


図4 乳酸浸漬処理したうるち米飯の物性 (炊飯直後)

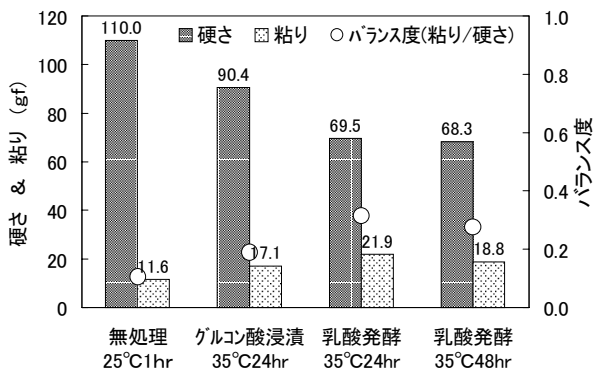


図3 乳酸発酵処理したうるち米飯の物性 (15°C, 18時間冷蔵後)

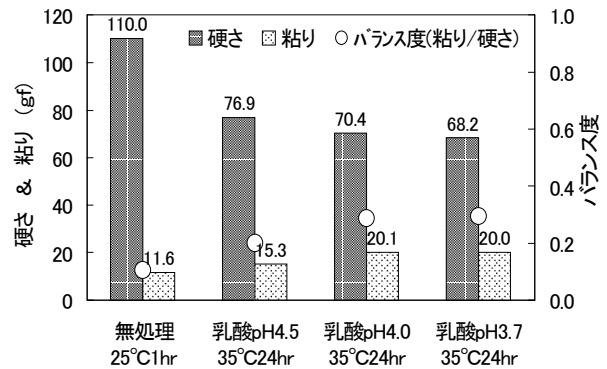


図5 乳酸浸漬処理したうるち米飯の物性 (15°C, 18時間冷蔵後)

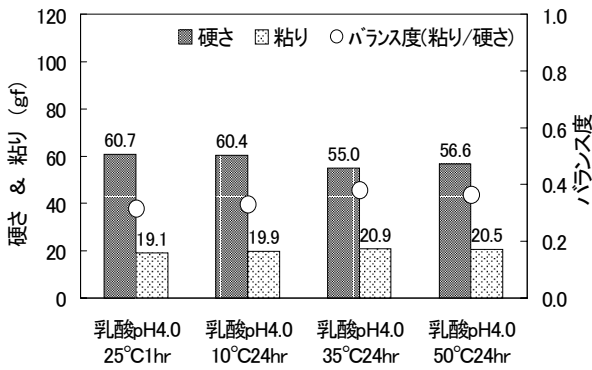


図6 同一乳酸濃度で浸漬処理したうるち米飯の物性（炊飯直後）

乳酸濃度をpH4.0に統一し浸漬温度だけを変えた試験（10℃，35℃，50℃）では，図6に示すように35℃，24時間浸漬した場合に最も物性が変化した．そして，単に乳酸を添加しただけ（25℃，1時間浸漬）の米飯では，乳酸無添加の米飯と比較して物性の変化が小さかった（図4及び図6）ことから，酸性域の炊飯によって米飯物性が受ける影響は少ないと考えられる．

次に，乳酸濃度によりpHを変化させた水溶液に米を浸漬し，浸漬液中のグルコース量を測定した結果を図7に示す．5℃での浸漬ではいずれのpHでもグルコースの生成量にあまり差が生じなかったが，35℃での浸漬ではpHが低いものほどグルコースが多く生成した．また，酵素の働きを阻害する塩化水銀を添加した試験ではグルコースの生成が阻止された．田島ら¹¹⁾は，米粒外層（製粉歩留まり91-86%）の水抽出物にマルトオリゴ糖が含まれ，米に内在する酵素反応によってそれらが生成すると報告している．これらのことから，乳酸発酵や乳酸浸漬処理によって起きた米飯の物性変化は，酸の加水分解によるものではなく，米の内部酵素が働いたために生じたと考えられた．

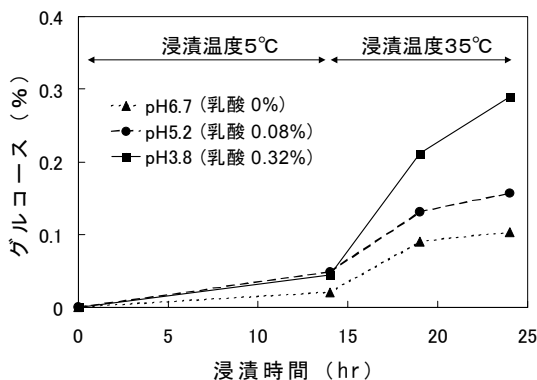


図7 乳酸浸漬処理時における米浸漬液のグルコース量

3. 乳酸発酵と乳酸浸漬による米菓の品質改善

乳酸発酵をpH4.2に減少した段階で終了させて炊飯したうるち米飯を食したところ，酸味が少なく良好な食味を呈し，粘りがあって好ましかった．しかしながら，さらに低いpHまで乳酸発酵させた場合には，軟化効果や硬化抑制効果が大きかった一方で，米飯として食するには酸味を強く感じた．そこで，酸味を調味液でマスキングできる米菓の製造工程に乳酸発酵を取り入れて米菓の品質向上を試みた．米菓の品質は食感に大きく依存し，よく膨化してソフトな食感の製品が好まれている³⁾．膨化性の差異はうるち米に比べてもち米を原料とする米菓で大きく認められることから，もち米を原料にした米菓を作成し，比容積 (cm^3/g) と性状に及ぼす乳酸発酵及び乳酸浸漬処理の影響を検討した．製造に先立ち，乳酸発酵処理したもち米飯の物性を測定した．結果は図8に示すように，炊飯のみならず蒸煮したもち米飯でも物性の軟化が認められた．

次に，乳酸発酵や0.5%乳酸水溶液に加温浸漬（35℃）したもち米から米菓素焼き試料を同一条件で製造した．食した素焼き試料は，加工前のもち米飯のときと比べて酸味が少なく，調味液を付けたものでは酸味を感じなかった．米菓素焼き試料の性状を表1に示す．無処理と比べて乳酸発酵や乳酸浸漬処理した場合，タンパク質が減少し，米菓の比容積が増大した．三枝ら¹²⁾は，米を水に浸漬すると遊離アミノ酸が増大し，この現象が貯蔵タンパク質の分解によるものと推察している．また，諸橋ら¹³⁾は，酸性域下でプロテアーゼ処理した蒸米は，タンパク質が減少して物性が軟らかくなることを報告している．これらのことから，乳酸発酵や米に内在するプロテアーゼによって貯蔵タンパク質が減少し，米飯物性の軟化や硬化抑制，並びに米菓膨化性の増大がはかられたと考えられる．そして，期

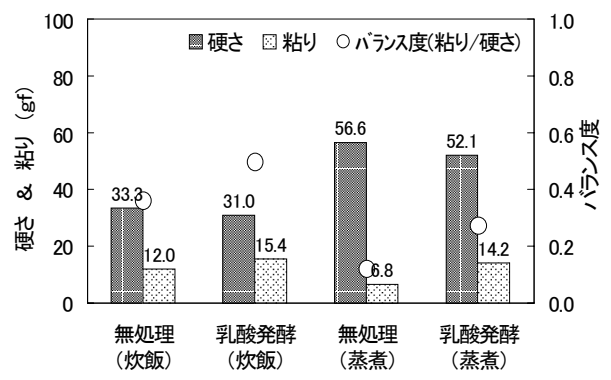


図8 乳酸発酵処理したもち米飯の物性

表1 米菓素焼き試料の性状

	無処理	乳酸浸漬	乳酸発酵
タンパク質 (%)	7.2	5.6	5.2
脂質 (%)	0.7	0.7	0.7
炭水化物 (%)	91.9	93.3	93.6
灰分 (%)	0.2	0.2	0.2
乳酸 (%)	0	0.25	0.31
pH	6.1	3.9	3.8
比容積 (cm ³ /g)	2.5	2.8	3.1

*pHを除き乾物換算

待される生理機能性の付与を除き物性の改善に限れば、乳酸発酵は乳酸水溶液への加温浸漬で代用できることが示唆された。

要 約

米加工食品の品質向上を目的として、原料米の乳酸発酵及び乳酸水溶液への浸漬が米飯の物性や米菓の比容積に及ぼす影響を検討した。乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* とグルコン酸のみの添加による米の乳酸発酵は、米の内部酵素によるグルコースの生成に伴って進行した。乳酸発酵あるいは乳酸浸漬処理した米飯では、無処理と比べて硬さが減るとともに、粘りとバランス度(粘り/硬さ)が増し、冷蔵によって硬くなる現象が抑えられた。また、乳酸発酵あるいは乳酸浸漬したもち米から製造した米菓は比容積が増大した。

文 献

- 宮森清勝, 若林素子, もち米の米菓加工適性に関する研究(第2報) 理化学的特性による米菓比容積の予測, 東京都立食品技術センター研究報告, **8**, 9-14 (1999).
- 宮森清勝, 若林素子, もち米の米菓加工適性に関する研究(第3報) 近赤外分光法による米菓比容積が異なるもち米の分類, 東京都立食品技術センター研究報告, **9**, 1-5 (2000).
- 柳瀬 肇, 遠藤 勲, 竹生新治郎, もち米の品質, 加工適性に関する研究(第4報) 国内産もち米と輸入もち米の品質指標ならびに品質評価, 食総研報, **40**, 8-16 (1982).
- 佐藤有一, 糖, 酵素, 澱粉の添加が餅及び団子生地硬化に及ぼす影響, 福井県食品加工研究所平成9年度食品加工に関する試験成績, 22-23 (1998).
- 江川和徳, 穴戸功一, 乳酸菌を利用した米の処理法及びその米を利用した加工食品並びに低タンパク質米飯の製造方法, 特許第 2706888 号 (1997.10.17).
- 森地敏樹, 乳酸菌の基礎知識, 「バイオプリザーションー乳酸菌による食品微生物制御ー」, 第1版, 森地敏樹, 松田敏生編, (幸書房, 東京), pp. 8-24 (1999).
- 川村博幸, 瀬野公子, 熊谷武久, 渡辺紀之, 八巻幸二, 津志田藤二郎, 乳酸菌菌体成分および野菜抽出物のラットマクロファージ食能に対する効果, 食科工, **47**, 465-469 (2000).
- 岡留博司, 豊島英親, 大坪研一, 単一装置による米飯物性の多面的評価, 食科工, **43**, 1004-1011 (1996).
- 宮森清勝, もち玄米を用いた米菓の製造, 東京都立食品技術センター研究報告, **10**, 1-6 (2001).
- 渡邊昭宣, 米飯の腐敗および食中毒防止対策としての有機酸の効果, ニューフードインダストリー, **35** (1), 65-78 (1993).
- 田島 眞, 堀野俊郎, 前田万里, 孫 鐘録, 米粒外層から抽出されるオリゴ糖類, 日食工誌, **39**, 857-861 (1992).
- Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y., Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution, *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 1122-1125 (1994).
- 諸橋敬子, 江川和徳, 餅製造ラインの利用による粳米の加工技術, 新潟県食品研究所研究報告, **34**, 7-9 (2000).

(平成15年3月10日受理)