

機関番号：12611

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20500682

研究課題名（和文） 米の吸水過程が米飯の食味に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effect of absorption process of water on the taste of cooked rice

研究代表者 香西 みどり (KASAI MIDORI)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号：10262354

研究成果の概要（和文）：炊飯における米の吸水過程は米飯の食味に影響するが、これまで米粒内の水分含量や水分分布という視点から吸水過程を把握した報告はない。本研究では米の吸水過程に着目し、加熱中断で起こる異常炊飯米の生成条件および吸水特性を明らかにし、その生成メカニズムを検討した。その結果、65℃、4時間浸漬すると再炊飯しても粘らず食味が低下しており、デンプンの一部が糊化した異常糊化状態となり、吸水は進むが、米粒が割れて正常な炊飯米とならないことが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：The process of water absorption of rice affect on the taste and texture of cooked rice. There has never studied about both water content and water distribution in the rice grains during cooking process. In this study, the conditions which make an improper cooked rice and the properties of water absorption, and the mechanism of production of improper cooked rice were studied. When the rice was cooked at 65 °C, 4 hours, it became non-sticky rice and unpalatable. A part of starch of rice gelatinized abnormally, the rice grains cracked and became improper cooked rice, although the water absorption exceeded under soaking at 65°C, 4 hours.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：調理科学

科研費の分科・細目：食生活・調理と加工

キーワード：米飯、めっこ飯、浸漬温度、成分分析、物性、NMR イメージング、官能評価

1. 研究開始当初の背景

炊飯は米に水と熱を加えてデンプンを十分に糊化させると同時に適度な硬さ、粘りのテクスチャーをもつ飯を調製する操作である。そのための適度な加水比、加熱条件が炊飯には要求される。炊飯途中の加熱中断や誤操作で保温キープ炊飯をすると食味が低下し、炊き損じ飯となることが知られている。このような飯はめっこ飯として知られており、水分は十分であることからそのまま再炊飯を

行うことは可能であるが、再炊飯米は粘らず食味は大きく低下している。このような現象の把握およびメカニズムの解明は十分になされていない。米飯は日本人の主食であり、嗜好性の高い飯に対する要求が高いことから、炊飯過程における吸水特性の把握や加熱中断で起こる異常炊飯米（以下、めっこ飯）の生成およびメカニズムについて解明することは米の調理加工において重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究では米の吸水過程が炊飯米の適否を決める重要な要因であることから、炊飯における米の吸水過程を視覚的・定量的に把握すること、さらに加熱中断で起こるめっこ飯の特徴および生成条件を明らかにし、生成メカニズムを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

試料米(日本晴)を一定温度(65,75,90℃)の温水に浸漬(1-24h)し、20℃浸漬米を対照として温水処理米およびその後炊飯した米飯(以下、再炊飯米)の物性および官能評価を行った。物性はテクスチャーアナライザーを用いて、低・高圧縮2バイト法で測定した。圧縮率25%の低圧縮を米粒表層部、90%の高圧縮を粒全体の物性とみなした。プローブは直径12mmの円柱形、プローブスピードは0.5mm/sとし、硬さ、粘り、付着性を測定した。水分含量は常圧加熱乾燥法(135℃、2h)で測定した。官能評価は未処理米を対照とし、65℃、75℃、90℃で4時間浸漬後、炊飯した米飯の硬さ、粘り、粒感および均一さの強弱を5段階評点尺度法および9段階嗜好意欲尺度法で評価した。米を一定温度(65℃、75℃、90℃)で4時間浸漬した米の吸水過程をNMRイメージングにより測定した。バイアル瓶(φ15mm、H45mm)に米1gおよび脱イオン蒸留水を1.4ml入れて密栓し、20, 65, 75, 90℃に4時間浸漬後、通常の炊飯と同じ温度履歴で炊飯した。試料調製後30分以内にNMRイメージング測定を行い、米粒内各点のT2値より検量線を用いて水分分布を求めた。20, 65, 75, 90℃で4時間浸漬した浸漬米の外観観察を実体顕微鏡で観察し、写真撮影を行った。各浸漬米および浸漬炊飯米をエタノール・アセトンで脱水乾燥し、粉碎した試料について、BAP法による糊化度の測定、フーリエ変換赤外分光分析(FT-IR)による吸収スペクトルの測定、示差走査熱量測定(DSC)による糊化特性の測定、X線回折による結晶構造の測定、E型粘度計による流動特性の測定を行った。ビーカーに脱イオン蒸留水150mlと精白米10gの入った金網かごを入れ、20℃で1時間浸漬後に、20℃、65℃、90℃の恒温水槽中で浸漬処理を行い、浸漬後に水切りをした浸漬液について全糖量(フェノール硫酸法)、還元糖量(ソモギ・ネルソン法)、タンパク質量(プロテインアッセイキット法)の測定を行った。各浸漬米を炊飯した浸漬炊飯米10gに50mlの脱イオン蒸留水を加え、スターラーで3000rpm,1minの攪拌後、米粒と液に分け、液を飯洗液として遠心分離を行った。上清画分について全糖量、還元糖量、タンパク質量の測定を行い、沈殿画分はエタノール・アセトンで脱水乾燥

を行い、重量を測定して溶出固形分量とした。

4. 研究成果

(1) 浸漬米および浸漬炊飯米の物性

炊飯における米の吸水過程を浸漬温度を変えて調べ、浸漬温度と時間がどのように米の物性に影響を及ぼすかについて検討を行った。

浸漬米において20℃および65℃浸漬米の全体の硬さは未処理飯よりも硬いが、75℃および90℃浸漬米は未処理飯と同程度であった。全体の粘りも75℃および90℃浸漬米は未処理と同程度であり、それに対して20℃および65℃浸漬米は著しく低かった。「芯があり、粘りが少ない」と一般にいわれているめっこ飯の特徴は65℃浸漬米の物性と一致した。浸漬炊飯米の物性は、飯粒全体の硬さおよび粘りにおいては浸漬温度に関わらず未処理飯とほぼ同程度になった。表層の粘りにおいては20℃浸漬炊飯米は未処理飯よりもやや増加するが、65℃で著しく低下し、75℃および90℃も未処理飯より低かった。65, 75, 90℃浸漬米を再炊飯した飯の外観は通常の飯とほぼ同様であったが、飯粒表層の物性は未処理飯と異なり、硬さ、粘り、付着性のいずれも低下することが明らかになった。

(2) 浸漬炊飯米の官能評価

浸漬炊飯米の官能評価を行った結果、硬さには未処理飯との間に差はみられなかった。一方、粘りにおいては65, 75, 90℃の浸漬炊飯米は未処理飯よりも有意に低いと評価された。また65℃浸漬炊飯米は粒感がない、不均一と評価された。嗜好意欲は65, 75℃浸漬炊飯米は有意に嗜好意欲の低い飯であった。

(3) 浸漬米および浸漬炊飯米の水分含量

通常の飯は60~65%の水分含量であるが、浸漬米は浸漬温度の上昇に伴い、有意に水分含量が増加し、75℃、90℃浸漬炊飯米では67%と通常の飯より有意に高い水分含量を示した。このことから浸漬炊飯米に認められる粘りの低下や粉っぽさは、飯の水分含量によらないことが示された。

(4) 浸漬米および浸漬炊飯米の水分分布

一般に水分含量というと常圧乾燥法により高温で乾燥したときの重量変化から求めることが多い。しかし、その測定値は試料全体の平均的な値であり、米の吸水過程を把握したいときには水分含量だけでは情報が不十分であり、米粒内の水分分布を明らかにする必要があり。そこで米粒内の水分分布を調べるためにNMRイメージングの測定を行った。米粒内の各点におけるプロトンのT2を測定し、それを別に求めたキャリブレーションカーブを用いて水分含量に変換して、米粒内の

水分分布として求めた。はじめにプロトン密度強調画像により米粒内への水の浸入の様子を比較検討した。NMR イメージングでは水分が不足している部分が黒に、水分がある部分は白となって観察される。炊飯過程において 20℃浸漬後は米粒内での水分は不十分で全体に黒い画像であるが、加熱とともに水が外側より中心部に浸入し、沸騰直後は中心部が水分が不足であるような不均一な画像であるが、沸騰継続により米粒内の水分分布が均一になっていく様子が観察された。浸漬米の中では特に 65℃が特徴的であり、65℃、4時間の浸漬によって米粒が割れ、なかみが炊飯液中に出、炊飯液が米粒内に入ってくる様子が観察された。いわゆる腹割れ現象が、65℃の浸漬で起こったことは今回初めて明らかにされたことであり、65℃で起こるこのような変化は再炊飯したときの飯粒の形状、物性に大きく影響すると考えられた。75、90℃浸漬米ではこのようなことが起こらず、65℃がデンプンの糊化が起こらずに、吸水が進む中で腹側の強度が弱くなり、破裂した状態になり、中からデンプンなどの成分溶出が起こっていた。

(5) 浸漬時間および浸漬温度が浸漬炊飯米の物性に与える影響

浸漬温度が 65℃以上の場合には再炊飯して 60℃以下で浸漬した飯とは異なる物性の飯となることが明らかになった。表層の粘り、硬さ、付着性の測定値は 65℃浸漬炊飯米で著しく低下し、浸漬温度が高くなっても温度による大きな違いはみられなかった。75、90℃浸漬炊飯米でも付着性および粘りの低い飯であった。試料米の米粉の糊化開始温度は 60.3℃であり、糊化終了温度は 75.2℃であることから、糊化温度以上の温水に米を長時間浸漬すると、粘りの低下などの食味低下要因になると考えられた。

(6) 米の品種の違いおよび新米・古米の違いがめっこ飯生成に及ぼす影響

米の品種の違いおよび新米・古米によってめっこ飯の生成が異なるかどうかを調べた。日本晴の新米・古米、コシヒカリ、むつほまれについてこれまで同様に浸漬温度を変えて浸漬炊飯米を調製し、米粒表層の硬さ、粘り、付着性を測定した結果、品種によらず、また新米、古米に関わらず浸漬温度に伴う物性変化は同様の傾向を示した。すなわち、硬さ、粘りが低下、特に粘りの低下が明瞭であることが特徴的であった。さらにモチ米とインディカ米についても調べたところ、インディカ米においては他の品種と同様に浸漬炊飯米で粘りの低下がみられた。モチ米については浸漬による傾向が他の米と異なり、米粒表層部の硬さ、粘りなどいずれの物性値も未

処理飯と有意な差はみられなかったが、日本晴でみられた 65℃浸漬米の粉っぽさは認められた。

(7) 浸漬米および浸漬炊飯米の糊化度

20℃浸漬米ではほぼ未糊化状態で糊化度は 8%であったが、65℃浸漬米は 25%、75℃浸漬米は 83%、90℃浸漬米では 93%と浸漬温度が高くなるにしたがい、糊化度も高くなり、特に 75℃以上で糊化度の上昇が顕著になった。浸漬炊飯米ではいずれの試料も糊化度が 95%前後となり、浸漬温度による違いはみられなかった。浸漬米および浸漬炊飯米の糊化度と米粒の硬さには負の相関があり、65℃の浸漬米が硬いのはデンプンの糊化が不十分であることが一因と考えられた。しかし浸漬炊飯米については高い糊化度を示したにも関わらず粘りの低下は明らかであり、粘りと糊化度の相関はとらえられなかった。

(8) 浸漬米および浸漬炊飯米の FT-IR スペクトル

浸漬米の FT-IR スペクトルをとった結果、1000cm⁻¹ 付近のピークの高さは 75℃および 90℃浸漬米ではほぼ同等であったが、65℃浸漬米では明らかに低くなり、20℃ではさらに低くなった。浸漬炊飯米では FT-IR スペクトルに浸漬処理の影響はみられず、いずれも 90℃浸漬米と同じスペクトルを示した。これらのピークの高さと糊化度は高い相関を示した。

(9) 浸漬米および浸漬炊飯米の DSC による糊化特性

20℃浸漬米の糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度はそれぞれ 58.5±0.5℃、64.9±0.1℃、71.9±0.1℃であったのに対して、65℃浸漬米のそれらは 65.3±0.4℃、69.8±0.2℃、74.7±0.2℃となり、浸漬により高温側にピークがシフトした 65℃浸漬中に一部のデンプンの糊化が起こっていると考えられ、DSC 測定において認められた糊化ピークは 65℃浸漬では未糊化であったデンプンに由来すると考えられた。糊化終了温度が高温側へシフトしたことに関しては 65℃の浸漬処理によってデンプンの構造の一部が変化し、糊化しにくくなっている可能性が考えられる。一方、75、90℃浸漬米およびいずれの浸漬炊飯米においても糊化ピークがみられなかった。いずれも糊化度が 83%以上であり、浸漬によって糊化が起こっているため DSC 測定時に新たな糊化ピークが観察されなかったと考えられる。

(10) 浸漬米および浸漬炊飯米の X 線回折

20℃浸漬米の X 線回折によるデンプンの結晶構造観察の測定結果では、典型的な A 型図

形を示し、3b, 4a, 4b, 5a, 6a のピークがみられたことから生デンプンとしての結晶構造を有していることが確認された。65℃浸漬米についてもこれらのピークが観察され、A 図形であるといえた。しかし、20℃浸漬米に比べて4a, 4b が明瞭に分離されておらず、6a のピークもやや鈍化していることから 20℃浸漬と 65℃浸漬では異なる状態であり、65℃浸漬米ではわずかではあるが、糊化が少し起きていることが示された。75, 90℃浸漬米では典型的な V 型図形が示され、糊化が進み、結晶構造の残存がわずかであることが観察された。各浸漬炊飯米はいずれも V 型図形を示した。65℃浸漬米の回折図は A 図形から V 図形に移行する途中の状態であると考えられた。炊飯過程の 84℃における糊化度は 21%、65℃浸漬米のそれは 25%であることから、糊化度と回折図の相関があることがしめされた。X 線回折の結果は、BAP 法による糊化度、FT-IR スペクトル、DSC 測定における糊化ピークの有無と対応しており、20℃浸漬米のデンプンはほぼ未糊化状態、65℃浸漬米のデンプンは糊化途中の状態、75℃および 90℃浸漬米はほぼ糊化しているデンプンであると考えられた。これらの浸漬米を炊飯するといずれも通常の飯と同様の糊化した状態となったが、再炊飯米は粘りがなく、粉っぽい特徴があり、糊化度だけでは説明できないことが示された。

(11) 浸漬米デンプンの糊化特性

精白米よりアルカリを用いて除タンパクを行い、デンプンを調製し、これを 20-90℃の各温度で浸漬した後に糊化特性を調べた。60℃での浸漬デンプンの糊化度は 44%、同温度での浸漬米試料の糊化度は 10%であったことから、デンプンの状態で浸漬すると米粒の状態よりも糊化がすすみやすくなるといえる。この傾向は DSC でも同様だった。60℃での浸漬デンプンの糊化開始温度、ピーク温度、終了温度は 20℃浸漬に比べると高温側にシフトし、糊化エネルギーが減少した。X 線回折では 55℃浸漬デンプンの回折図は 65℃浸漬米とほぼ同様のパターンを示し 3b, 4a, 4b, 5a, 6a が確認される A 図形であった。60℃浸漬デンプンでは各ピークの強度が全体的に低下し、A 図形から V 図形に移行する途中の回折図であった。65℃浸漬デンプンは 75℃浸漬米と同様の V 図形であり、デンプンはほぼ糊化した状態であった。

(12) 浸漬液の成分分析

浸漬液の溶出固形分量および全糖量は浸漬温度が高いほど増加し、還元糖量およびタンパク質量は 65℃浸漬液が最も多かった。特に還元糖量の増加が著しく、65℃浸漬では 20℃浸漬の約 6 倍であった。浸漬液上清画分

の糖質の平均重合度は 65℃が最も小さく、単糖および低分子の糖の溶出が大きいことが示された。

(13) 飯洗液の成分分析

飯洗液の成分分析の結果は、浸漬液のそれとは異なり、溶出固形分量は試料間でほとんど違いがみられず、全糖量およびタンパク質は 90℃浸漬が最も低い値であった。一方、65℃浸漬による還元糖の増加は非常に多く、平均重合度も低かった。このことから飯粒表面は酵素により低分子化した糖でおおわれていると考えられた。90℃で浸漬処理を行うと炊飯時のおねぼとなるデンプンの溶出が起る前に浸漬液がほぼ米粒に吸収されてしまうために飯粒表面を覆うデンプンが少なくなり、粘りの低い飯となると考えられた。また 65℃浸漬米では糖質分解酵素が作用してデンプンの低分子化が起るためにおねぼの状態が変わり、粘りや付着性の低い飯になることが示唆された。

(14) 浸漬米粉および浸漬デンプンの流動特性

E 型粘度計による浸漬米粉および浸漬デンプンの流動特性の結果は、粘性係数は 65℃浸漬米粉は 20℃に比べて有意に小さくなり、65℃の温水処理によって米粉糊液の粘性が低下することが示された。また、65℃浸漬米粉の糊液のヒステリシスループ面積も小さくなり、ずり速度を変化させても液体の構造変化が小さく、回復が早いことが示唆された。これに対してデンプン糊液では 20℃と 65℃の粘性係数およびヒステリシスループ面積の差がほとんどみられなかった。

以上、米の吸水過程が米飯の食味に及ぼす影響を明らかにするために、米を種々の温度で浸漬したときの物性と再炊飯米の物性を調べた結果、65℃浸漬米は吸水は進んでいるが、腹割れが起こったため、水が中に入ると同時に浸漬液への溶出も起っていることがわかり、65℃浸漬炊飯米は未処理飯に比べると粘りや付着性が低く、粉っぽいがデンプンの糊化度や結晶構造には特異的な変化はみられないことがわかった。しかし、65℃浸漬によりデンプン分解酵素が作用してデンプンが低分子化されることが示唆された。デンプン糊液の粘性が 65℃浸漬では有意に低下したことから酵素によるデンプンの低分子化が飯の粘りや付着性の低下に寄与することが示唆された。

5. 主な発表論文等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香西 みどり (KASAI MIDORI)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学
研究科・教授

研究者番号：10262354

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし