

ソフトスチーム技術を利用した高機能穀粉の製粉技術の開発

常見崇史*¹ 樋口誠一*¹ 和田健太郎*² 関根正裕*³

Development of Milling Technology of High-function Flour by Soft Steaming

TSUNEMI Takashi*¹, HIGUCHI Seiichi*¹, WADA Kentaro*²,
SEKINE Masahiro*³

抄録

品質、加工性、コストなど様々な角度から、ソフトスチーム技術を用いた高機能穀粉の最適製造技術について検討した。浸漬後の米にソフトスチーム処理をすると、うるち米（コシヒカリ）、もち米（まんげつもち）共に遊離糖の合計量が増加し、コシヒカリでは70℃、まんげつもちでは65℃の処理温度で最大となった。遊離糖の中ではグルコースの増加が顕著であった。また、ソフトスチーム処理を行った直後に穀粒を圧延処理することにより、乾燥時間が短縮可能であり、製粉工程の効率化が期待された。

キーワード：ソフトスチーム，飽和湿り空気，高機能穀粉

1 はじめに

近年、国内では主要農作物である米を利用した米粉の利用拡大が求められており、栽培コストやデンプン等の品質などの点で、米粉に適した新規需要米の作付面積も増加している。現在、米粉の価格は小麦粉と比較して高い状況が続いているが、これらの価格差は年々小さくなっており、今後の利用拡大に向けた新たな活用法の創出が課題となっている。また、小麦と比較して米は粒がかたいため、米粉の製粉には時間がかかることから、コスト低減のため迅速化も課題となっている。

我々はこれまでに、ソフトスチーム(SS)処理技術を活用した穀類の高付加価値化について検討してきた。ソフトスチーム加工では、食材に100℃以下に調整された飽和湿り空気を接触させることにより、

不必要な食材の熱変性を抑えつつ、必要な熱処理だけを行うことができる。そのため、食材中の糖分量や機能性成分などが上昇し、高品質・高機能な食材の調整が可能であることが確認されている¹⁾。

本研究では、うるち米及びもち米について、ソフトスチーム処理を施すことにより、従来の製造方法で得られる穀粉よりも付加価値の高いものを開発することを目的として、最適な製造条件の検討を行った。また、米粉の製造コスト低減のため、製粉時間の短縮に向けた新たな製粉技術についても合わせて検討した。

2 実験方法

2.1 吸水率の測定

うるち米（平成26年産埼玉県産コシヒカリ）およびもち米（平成26年産埼玉県産まんげつもち）試料10gを精秤し、あらかじめ重量を測った浸漬容器にとり、5℃～50℃の間で20分、30分、60分、120分、240分間水100mlに浸漬した。所定時間経過後、浸漬容器ごと遠心分離機を

*¹ 北部研究所 食品・バイオ技術担当

*² 技術支援室 材料技術担当

*³ 事業化支援室（現 技術支援室）

用いて 2500rpm で 4 分間遠心分離して表面に付着した水を除いた後に精秤し、吸水率を求めた。

2.2 ソフトスチーム処理

浸漬した米に対してソフトスチーム加工装置（㈱TML 製 SSB-6）を用いてソフトスチーム処理を行った。処理条件は 60℃～85℃まで 5℃ごとに設定した。庫内をあらかじめ設定温度に予熱した後、浸漬済みの米粒を庫内に入れソフトスチーム処理を行った。処理時間は 2 時間とした。

2.3 遊離糖の測定

粉碎した試料（乾物重量 3g に相当する量）に、エタノール終濃度 75%となるようにエタノール及び水を合わせて約 20mL 加えて、1 分間ホモジナイズした。遠心分離（2000rpm、10 分）後、上清を別にとり、残渣に 75%エタノールを 10mL 加え 1 分間攪拌した。上記の操作を 2 回繰り返す。すべての上清を集め、75%エタノールで 50mL に定容した。その内 5mL を秤量後に減圧乾固し、移動相 0.5mL を添加して再溶解し、メンブランろ過した試料溶液を高速液体クロマトグラフ (HPLC) にて測定した。カラムは AsahipakNH2P-40 3E（昭和電工（株）製）、移動相はアセトニトリル/水=75/25（v/v）、流速 0.35mL/min とし、示差屈折計(RI)で検出した。

2.4 遊離アミノ酸の測定

遊離糖の測定で調製した試料溶液を遊離アミノ酸の測定に使用した。標準試料はアミノ酸混合標準液（H型：和光純薬工業(株)製、各 2.5 μmol/mL）を 0.1mol/L の塩酸を用いて 20、40、80 倍に希釈した。試料溶液については 200 μL、アミノ酸標準溶液は 20 μL をそれぞれ減圧乾燥した。乾燥後、洗浄液（エタノール/水/トリエチルアミン（2/2/1））10 μL を加え、再度減圧乾燥した。これに誘導化試薬（エタノール/水/トリエチルアミン/イソチオシアン酸フェニル（7/1/1/1））20 μL を加え、20 分間放置し、誘導体化した。その後、再度減圧乾燥して余剰の誘導化試薬を除去し、下記移動相 A を 100 μL 加えて HPLC に供した。

カラムは CAPCELL PAK C18 UG120 5 μm (Φ

4.6mm × 250mm)（㈱資生堂製）、移動相 A：0.1M 酢酸アンモニウム/アセトニトリル（95/5,v/v）、移動相 B：0.1M 酢酸アンモニウム/アセトニトリル(40/60,v/v)、リニアグラジエント溶出 0min, A 100%→6min, A 85%→9min, A 70%→12min, A 40%→15min, A 0%→22min, A 0%
流速：1mL/min、注入量：10 μL、カラム温度：40℃、検出波長：254nm で検出した。

2.5 処理米の乾燥工程の検討

ソフトスチーム加工直後の米粒は指で加圧すると容易につぶれるほどに柔らかいが、乾燥をすると、生米より硬くなる。また、通常の通風乾燥ではソフトスチーム後の米粒の乾燥には、8 時間以上を要することから、製粉完了までの工程で時間がかかる。そこで、ソフトスチーム加工直後の柔らかい米粒を W ロール機（㈱新井機械製作所製）により圧延変形した後に除湿乾燥機（㈱T.M.L 製）（60℃設定）を用いて乾燥することで、米粒表面積の増大による乾燥時間の短縮を試みた。対照として圧延処理を行わない米粒に関しても同時に除湿乾燥機内で乾燥した。乾燥開始から 30 分ごとの重量変化を測定し、乾燥効率を調べた。

2.6 ソフトスチーム穀粉の試作

吸水率、遊離糖量の測定結果よりソフトスチーム処理条件を設定し、原料米に対してソフトスチーム加工処理を施した。処理米を乾燥した後、小型製粉機（㈱サタケ製 SGR05A）により製粉を行った。また対照として原料米も製粉した。

3 結果及び考察

3.1 浸漬処理結果

浸漬処理を行ったコシヒカリおよびまんげつもちの吸水率を図 1、図 2 に示した。コシヒカリ、まんげつもち共に吸水率はおよそ 2 時間で一定となり、浸漬温度が高いほど短時間で吸水が進んだ。また、最終的な吸水量は 5℃で浸漬したものが大きかった。コシヒカリとまんげつもちでは、まんげつもちのほうが速やかに吸水し、最終的な吸水量も大きかった。デンプンの糊化には水分が

必要なことから、ソフトスチーム処理をするにあたり、米粒全体が吸水しているほうが望ましい。米粒全体が完全に吸水し安定するまでには、35℃以上の浸漬水温で2時間を要した。また、50℃で浸漬したものはコシヒカリおよびまんげつもちの両方とも2時間経過後に浸漬液が白濁した。温水に浸漬した後に炊飯すると、米表面に粘りが出るのが知られているが、これは、加温に伴うデンプンの流出のほかに、米内在性の細胞壁分解酵素の作用により胚乳細胞壁が加水分解され、デンプンの流出が促されるためと報告されている²⁾。浸漬液の白濁はデンプンの流出と考えられ、米粒成分の溶出による損失を減らす観点より、浸漬条件は35℃で2時間とした。

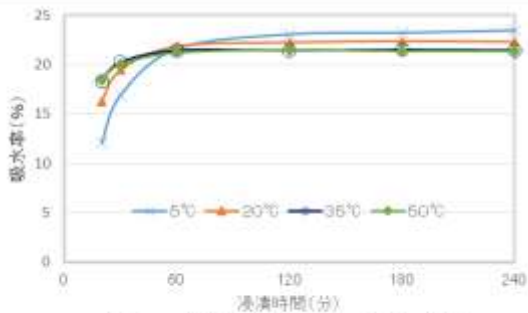


図1 温度別吸水率(コシヒカリ)

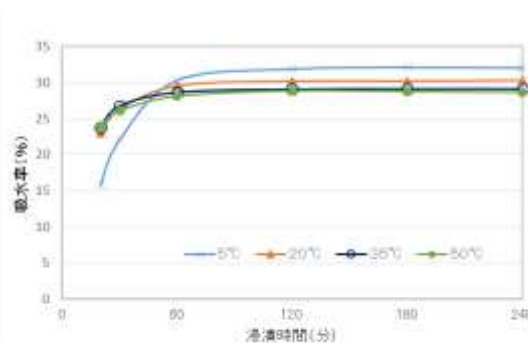


図2 温度別吸水率(まんげつもち)

3.2 ソフトスチーム処理による遊離糖量の変化

浸漬処理後に2時間ソフトスチーム処理(処理温度 60℃~85℃)したコシヒカリおよびまんげつもちの遊離糖及びその合計量を図3、図4に示した。ソフトスチーム処理をすることにより、遊離糖の合計量は増加した。コシヒカリでは処理温度が70℃で遊離糖の合計量が最大となり、遊離糖のなかでは特にグルコースの増加が顕著であっ

た。まんげつもちでは処理温度が65℃のときに遊離糖の合計量が最大となり、コシヒカリよりも著しいグルコースの増加が見られた。また、遊離糖の合計量もまんげつもちのほうが多かった。原料米に多く含まれていたスクロースはソフトスチーム処理後に減少した。これは、原料米中のスクロースの外在率が60%以上と高いため³⁾、浸漬処理中に流出したものと考えられる。ソフトスチーム処理により、遊離糖が増加した原因としては、米内在酵素の作用が考えられる。炊飯操作中の糖分量の変化に関する研究は数多く報告され、炊飯操作による還元糖の増加には複数の米内在性のアミラーゼ類が作用すること⁴⁾や米粒の外層及び内層に至適温度が40℃および60℃の還元糖生成酵素群が存在すること⁴⁾が知られている。うるち米では、胚乳中心部の還元糖生成においてα-グルコシダーゼ活性が最も関係し、次にα-アミラーゼ活性が還元糖生成に寄与するとの報告⁵⁾がある。α-グルコシダーゼは60℃付近において強く作用することから、本研究においてグルコースをはじめとする還元糖がソフトスチーム処理によって増加したことは、内在性酵素であるα-グルコシダーゼによるデンプンの分解反応が進んだことによるものと考えられた。70℃を超えるとグル

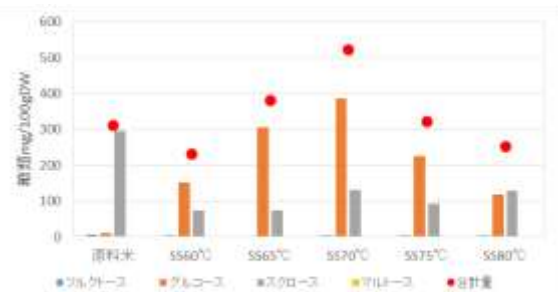


図3 ソフトスチーム処理米(コシヒカリ)の遊離糖量

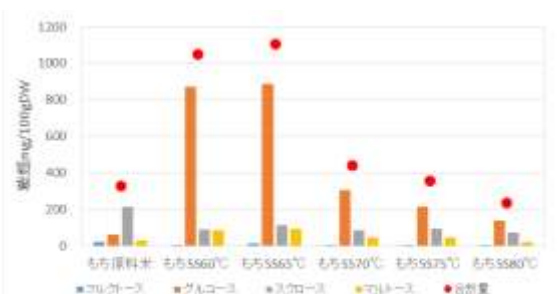


図4 ソフトスチーム処理米(まんげつもち)の遊離糖量

コースの生成が減少したのは、いずれの酵素群も70℃以上で機能が低下するため⁴⁾と考えられた。また、もち米はうるち米よりも糊化温度が低く、低温で糊化する特性を有する⁶⁾。米内在性の α -アミラーゼは昇温とともに熱失活していくが、もち米では残存する α -アミラーゼ活性が高い段階で糊化し、分解を受けやすくなるという報告⁷⁾があり、まんげつもちで遊離糖の合計量が最大となる温度がコシヒカリよりも低かったのは、糊化温度の違いによるものと考えられた。

3. 3 ソフトスチーム処理による遊離アミノ酸量の変化

ソフトスチーム処理したコシヒカリとまんげつもちのアミノ酸量について図5に示した。コシヒカリでは、アミノ酸の総量は浸漬直後よりもソフトスチーム処理後のほうが増加した。しかし、原料米の総アミノ酸量よりは低下した。ソフトスチーム処理により、アスパラギン酸とアラニンの量が温度の上昇と共に増加する傾向があったが、温度の違いによるアミノ酸量の変化は糖類の増加と比べると少なかった。まんげつもちでもコシヒカリと同様にアミノ酸の総量は浸漬直後よりもソフトスチーム処理後に増加したが、原料米の総アミノ酸量より低く、ソフトスチーム温度の差による違いは大きくなかった。米の原料米よりもアミノ酸量が浸漬直後に大きく減少することは米粒の外層部に多く含まれる遊離アミノ酸が溶出することと考えられ、これは香西らの報告⁸⁾と同様であっ

た。また、浸漬後に一旦減少したアミノ酸量がソフトスチーム処理により増加するが、これは、米粒内中のアミノ酸やペプチド生成に寄与するプロテアーゼの影響と考えられる。プロテアーゼには多種の種類があるが、いずれも比較的低い温度で失活することが報告されている^{9,10)}。本研究において、ソフトスチーム処理によるアミノ酸量は浸漬直後と比べて増加したが、遊離糖の増加と比べるとその量は少なかった。

3. 3 処理米の乾燥時間の変化

ソフトスチーム加工直後のコシヒカリについて、圧延変形したものと、圧延処理を行わない通常の米粒に対する除湿乾燥過程での重量変化を図6に示した。貯蔵穀粒と周囲空気の間では水蒸気の相において水分交換が行われ、水分の飽和水蒸気圧と空気の水蒸気圧が平衡状態になる。また、その時の割合を平衡含水率という。米においては温度20℃、相対湿度50%で平衡含水率がおよそ14%となり¹¹⁾、カビの育成は穀物水分14~14.5%、温度15℃以下では抑制される¹²⁾ことから、水分量が保存に適する14%になるまでの乾燥時間を測定した。ソフトスチーム米粒の乾燥には通風乾燥では8時間以上を要したが、除湿乾燥機を用いて乾燥することで、圧延処理を行わない米粒に関しては5時間半、圧延処理を行った米粒については3時間半で乾燥処理を完了させることが出来た。スチーム処理を行った直後に穀粒を圧延処理することにより、乾燥時間の短縮が可能と

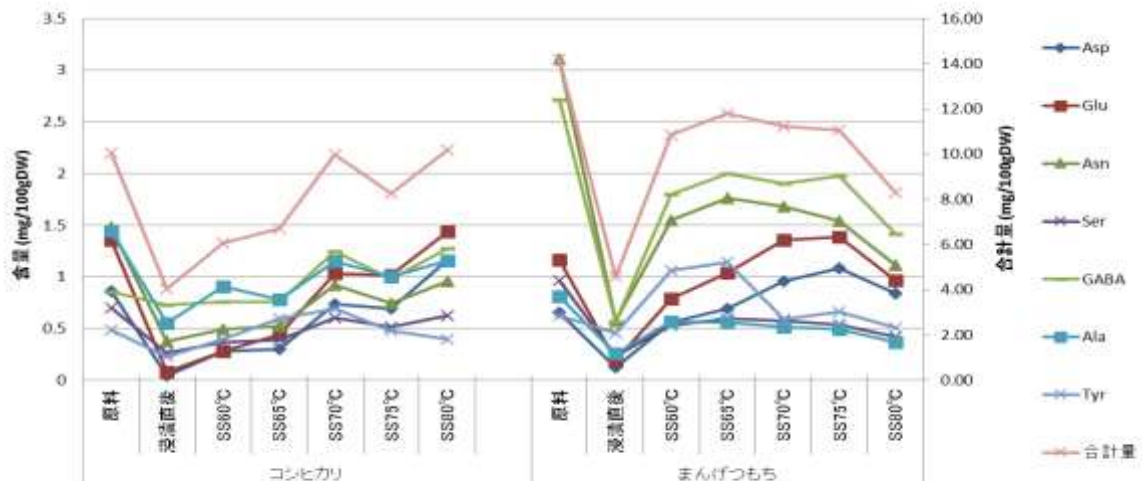


図5 ソフトスチーム処理米のアミノ酸量

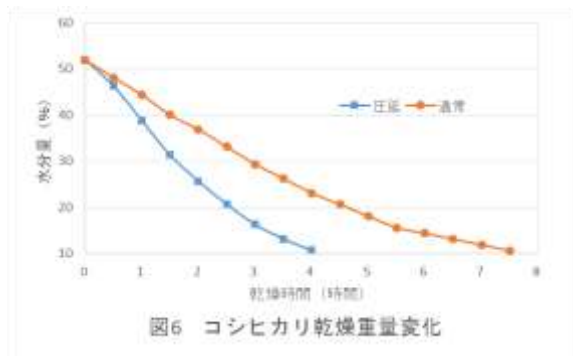


図6 コシヒカリ乾燥重量変化

なり、製粉効率が改善されることが示された。

3. 4 製粉試料の性質

ソフトスチーム処理した米粒を製粉したところ、未処理で製粉した米粉よりも糖分量が増加して甘みのある米粉が得られた。ソフトスチーム処理をしたものは吸水後も粘りが少なく、麺類試作時には製麺機への付着が少なくなるなどの特徴が見られた。ソフトスチーム処理による米粉の利用特性及び諸物性については、今後検討していく予定である。

4 まとめ

- (1) 浸漬時の吸水量はまんげつもちのほうがコシヒカリより多く、浸漬温度が高いほど吸水は速かった。
- (2) 浸漬した米をソフトスチーム処理すると、コシヒカリ、まんげつもち共にグルコースが増加し、コシヒカリでは 70℃、まんげつもちでは 65℃の処理温度で最大となった。また、遊離糖の合計量はもち米のほうが多くなった。
- (3) ソフトスチーム処理によるアミノ酸量は浸漬直後と比べて増加したが、遊離糖の増加と比べるとその量は少なかった。
- (4) ソフトスチーム処理を行った直後に穀粒を圧延処理することにより、乾燥時間の短縮が可能となり、製粉工程の効率化が期待された。

参考文献

1) 関根正裕, 常見崇史, 樋口誠一, 高橋学, 山川裕夫 : 低温スチーム技術を利用した高品位食品加工技術, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **6**, (2008)78

2) 新井映子, 清水智恵子, 渡辺直子 : 加温浸漬による米飯の品質改変, 家政誌, **48**, (1997)789

3) 杉山智美, 小西雅子, 寺崎大二郎, 畑江敬子, 島田淳子 : 米粒中の微量成分とその偏在, 日本食品科学工業学会誌, **42**, (1995)339

4) Awazuhara, M., Nakagawa, A., Yamaguchi, J., Fujiwara, T., Hayashi, H., Hatae, K., Chino, M., and Shimada, A: Distribution and Characterization of Enzymes Causing Starch Degradation in Rice (*Oryza sativa* Cv Koshihikari), *J. Agric. Food Chem*, **48** (2000), 245

5) 岸尾昌子, 青柳康夫 : 米の浸漬におけるデンプン分解酵素の活性と品種および産地間での差異, 日本食品科学工業学会誌, **61**, (2014)232

6) 磯野仁, 大坪研一, 岩崎哲也, 山崎彬 : 国内産, 外国産を含む多品種, 多形質の米の食味特性, 日本食品科学工業学会誌, **41**, (1994)485

7) 松倉潮, 鈴木保宏, 岩井陽子, 門間美千子, 青木法明, 金子成延 : α -アミラーゼ活性の粳米と糯米の比較および糊化粘度への影響, 日本食品科学工業学会誌, **51**, (2004)554

8) 香西みどり, 石黒恭子, 京田比奈子, 浜菌貴子, 畑江敬子, 島田淳子 : 米の炊飯過程における還元等および遊離アミノ酸量の変化, 家政誌, **51**, (2000)579

9) Asakuta, T., Watanabe, H., Abe, K., and Arai, S: Oryzasin as an Aspartic Proteinase Occurring in Rice Seeds: Purification, Characterization, and Application to Milk Clotting, *J. Agric. Food Chem*, **45** (1997), 1070

10) Abe, K., Kondo, H., and Arai, S: Purification and Properties of a Cysteine Proteinase from Germinating Rice Seeds: *Agric. Biol. Chem*, **51** (1987), 1509

11) 相良泰行 : 食品乾燥の基礎知識 (その1) ~標準乾燥特性曲線~, 冷凍, **79**, (2004)17

12) 石橋貞人, 田中俊一郎 : 米の品質と乾燥および貯蔵の原理, 農業機械学会誌, **33**, (1971)312