浸漬における白米の吸水に対する水温と浸漬時間の影響

清酒醸造における蒸米の研究（2）

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	古浦,二郎 玉置,雅彦 荒巻,功 猪谷,富雄
発行元	日本醸造協会
巻/号	105巻8号
巻号補足	
掲載ページ	p. 539-545
発行年月	2010年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

J. Brew. Soc. Japan. Vol.105, No. 8, p,539 ～ 545 (2010)

研 究 報 文

浸漬における白米の吸水に対する水温と浸漬時間の影響 —清酒醸造における蒸米の研究（第2報）—

古浦二郎[1)]・玉置雅彦[2)]・荒巻　功[3)]*・猪谷富雄[4)]
（元・広島県立総合技術研究所食品工業技術センター[1)]，明治大学農学部[2)]，酒類総合研究所[3)]，
県立広島大学生命環境学部[4)]）

平成21年7月10日受理

Effect of water temperature and soaking time on water absorption of polished rice during soaking —Studies on the steamed rice in *sake* brewing (Part 2) —

Jiro KOURA[1)], Masahiko TAMAKI[2)], Isao ARAMAKI[3)] and Tomio ITANI[4)]
(*Hiroshima Prefectural Technology Research Institute Food Technology Research Center*[1)], *Meiji University*[2)], *National Research Institute of Brewing*[3)] *and Prefectural University of Hiroshima*[4)])

Polished rice was soaked in water containing a water-soluble red pigment, and the water-absorbed area on the cut surface perpendicular to the thickness axis was examined. The water-absorbed area decreased greatly at the water temperature lower than 10 ℃. The effects of the water temperature and soaking period on water absorption area and gelatinization of the steamed rice were observed. The results showed that water penetrates into the tissue gaps first, then into the cell gaps, and finally into the cells.

Key words：白米，吸水，浸漬，水温，浸漬時間

緒　　言

清酒製造工程において，白米の吸水状態は蒸米の硬軟に大きく影響し，その後の製麹，酒母及びもろみ工程のいずれに対しても様々な影響を与えている。また，白米の吸水状態は，原料米の品種，水分，原料処理段階での水温，浸漬時間等に大きく左右されることは良く知られている。これまで原料米の水分，浸漬時間と吸水率の関係については熊谷ら[1)]，また，最近ではMRI（磁気共鳴画像法）を用いた吸水過程の観察について吉田，堀金[2)]の報告があるが，一定の水分をもつ白米に対する浸漬時間と水温の影響をその蒸米の状態と併せて顕微鏡下で観察した報告は見当らない。吉澤ら[3)]，熊谷ら[4)]，花本ら[5)]，永田，中沢[6)]は，蒸米吸水率と消化性には相関があること，また花本ら[5)]は白米を浸漬したときの吸水速度は浸漬温度が高いほど速く，一方吸水量は浸漬温度が低いほど大きいことを報告している。なお，熊谷ら[1,4)]は吸水率と白米水分及び精米歩合の間には直線関係が成り立つことを明らかにしており，柴田[7)]は，精米歩合が低下すると浸漬時に水分の吸水率が大きいと報告しているが，これは精米歩合の影響の他に精米時に水分が蒸発し白米水分が減少することによると考えられる。Mizumaら[8,9)]は，酒造好適米の吸水特性は一般米よりもS型吸水特性がより顕著であり，このことは白米の比容積，粒子密度，空隙率などとの構造特性とも関連していることを

*現　賀茂鶴酒造（株）

明らかにした。

著者らは前報[10]において蒸米中のデンプン粒の糊化状態は，浸漬時における第1次の吸水段階での米粒内の水分分布の状態で決定されることを報告した。本報では，浸漬水の水温と浸漬時間を変化させた場合の米粒内への水の侵入状態を，水溶性色素を用いてその切片標本における吸水面積として他と区別することにより検討を行った。また，それらの糊化処理を行いデンプン粒の変化も観察したので，それらの結果も浸漬時における白米の吸水の機構と関係させて検討した。

なお，この報告は1963～1964年に行った実験のデータを再度整理したものである。

材料と方法

1. 試　料

試料には，当時酒造用原料米としてよく用いられていた1963年産農林22号の精米歩合70％（水分13.5％）の白米を用いた。

2. 浸漬した白米の水切り

浸漬は水道水を用い水温7，10，20，30，40及び50℃の各温度で0.5～24時間行った。その後，浸漬した試料米（約30g）を50ml容遠沈管用ステンレス製籠に採り，1,000rpmで3分間遠心分離（(株）久保田製作所k－80）を行い，水切りした。水切りした米は，飽和硫酸カルシウム液入りのデシケータに30分間入れ，その後蒸し時間60分で蒸米を調製した。

3. 浸漬した白米の染色方法

浸漬した白米を水から取り出し，表面の水分をろ紙で取り除いた後，予め融点52℃のパラフィンにワセリンを混合して夏場50℃，冬場40℃に溶融点を調節したパラフィンに包埋して固めた。その後，滑走式ミクロトーム（ヤマト製）を用いて浸漬米を厚さ軸に沿って直角に半分に切断し，この切口に水溶性赤色色素であるエオシンYの微粉末を小型スパーテルで振りかけたのち，直ちに毛筆で色素を掃き除き，さらにミクロトームの刃で色素を完全に除去した。これらの操作により，吸水した組織は色素が水に溶けて染色され，一方吸水していない組織では切口が濡れていないため染色されず，染色領域が明確になった。

4. フィルムの透光量の測定法と吸水面積率の計算法

切断し染色された白米を1粒が35mmフィルム1枚の大きさに納まる程度に接写撮影した。なお，光量，露光時間，現像時間は同一条件とした。フィルム上で米影以外の場所及び米の亀裂部分は透明なので墨で塗り潰し，このフィルムの米影のみの透光量（μA）を測定した。

6Vの蓄電池で光源の電球を点灯し，Y2イエローフィルターを通し，オパールグラスで光を均一にし，その次にフィルムを入れた。このフィルムの像をレンズを通し米粒大の大きさの像を光電池の中央（感度最良の所）に結像させた。この光電池の発する微小電流をマイクロアンメーターで読み取り，この値を像の透光量とした。

他方，米影の面積を求めるためフィルムを密着焼付けした米影を切り取り，その重量より米影の面積を算出した。未感光フィルム1cm^{2}当たりの透光量を測定し，Aとした。米影のみの透光量を米影面積で割り1cm^{2}当たりの透光量を求め，Bとした。B/A（％）を吸水面積率とした。

白米16粒について測定し，その中の最大，最小の値を除き14粒の平均値を吸水面積率の値とした。

5. 蒸米内部のデンプン糊化状況の観察

前報[10]と同様の方法で行った。すなわち，浸漬した白米の染色方法と同様にパラフィンに包埋した蒸米からミクロトームにより10～20μm厚の切片を作成し，これをカーミン酢酸液に浸して顕微鏡観察および写真撮影に供した。

予め浸漬米の切口面の方向について，（A）厚さ軸に直角な切口面，（B）幅軸に直角な切口面，（C）長さ軸に直角な切口面の3通りについて検討をした（Fig. 1）。その結果，（B）の切口面では水を腹側のみが吸水して中心部に達しない場合は吸水面積率0であり，この切口では真の吸水面積率は測定できないことが判明した。一方，（A）と（C）は吸水面積率の測定が可能であり，また，両者は全く同じ傾向を示したので，（A）か（C）のどちらかを測定すればよいことが分かった。そこで，取り扱いやすい（A）の方法を吸水面積率の検討に用いることとした。

結　果

1. パラフィン包埋が吸水面積率に与える影響

パラフィン包埋しないで，浸漬米を厚さ軸（A）の切口に沿って直角に半分に切り，パラフィン包埋を30分間実施し，その間に吸水面積率の変化がないか

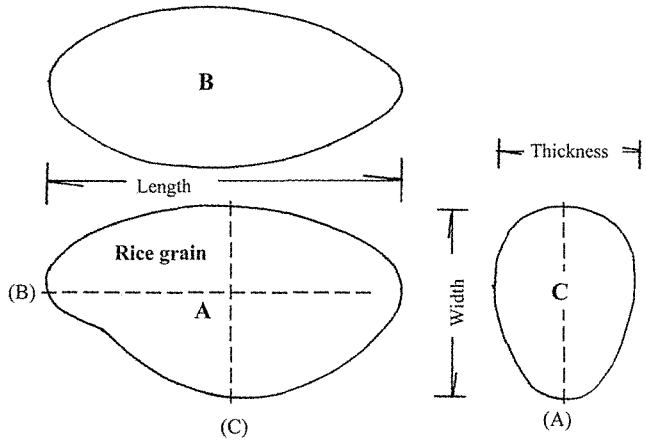
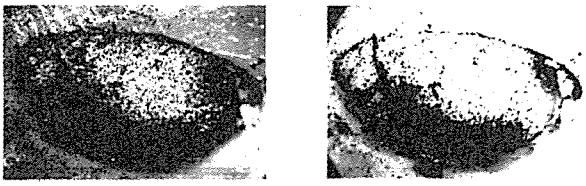
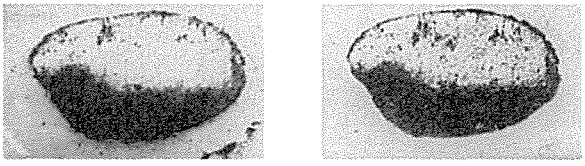


Fig. 1 Cross sections of rice grain.
A: Surface cut at a right angle to the thickness
B: Surface cut at a right angle to the width
C: Surface cut at a right angle to the length
The water-absorbed area on the cut surface perpendicular to the thickness axis (A) was examined.



Before removing water　　After removing water

Fig. 2 Water-absorbed area before and after removing the excess water.



Before embedding　　After embedding

Fig. 3 Water-absorbed area before and after embedding in paraffin.

を検討するため，これを染色し，他の半分は乾燥を防ぎながら室温中に30分間放置したのち染色した。これを接写撮影した結果はFig. 2に示すとおりで，染色領域に差は認められなかった。また別に半分に切った浸漬米を染色してパラフィン包埋を30分行った。このパラフィン包埋前後の写真をFig. 3に示す。パラフィン包埋前のものは色素が完全に除かれていないため，パラフィン包埋後ミクロトームで色素を除いたものと比較すればやや吸水面積率が異なったように見受けられるが本質的には変わらないと判断されたので，

以降の実験はこの方法で行うこととした。

2. 吸水面積率と浸漬吸水率との関係

Fig. 4のように，横軸に浸漬時間，縦軸に吸水面積率と重量による浸漬吸水率をとり，それぞれの吸水曲線を描くと，浸漬吸水率は1～2時間で最高に達し，その後は浸漬を続けても全く重量増加はなく一定値を示した。しかし，吸水面積率では浸漬時間とともに上昇した。このことは，米粒に吸水された水は時間とともに米粒内で移動して吸水面積率が高まることを示している。

3. 吸水面積率と浸漬温度との関係

吸水面積率を縦軸に，浸漬温度を横軸として浸漬温度に対する吸水面積率の関係を各浸漬時間における値としてプロットするとFig. 5に示す結果となった。10℃を境にしてそれ以下の温度では吸水面積率が降下し，特に12時間，24時間の長時間では浸漬の効果が上がらないことが示された。また，10℃以上では緩やかに吸水面積率は上昇することが示された。

4. 吸水面積と浸漬時間との関係

1例として30℃での吸水面積率と浸漬時間との関係をFig. 6に示す。この写真は代表的なものを撮影したもので，吸水面積率の数値は14粒の平均値で，浸漬時間30分で34%，3時間で47%，12時間で64%，24時間で72%という結果であった。24時間で断面を見ると背側で染色されない部分が存在した。

5. 吸水面積率と蒸米の糊化との関係

10℃及び30℃で浸漬した異なる吸水面積率の米を60分蒸きょうした。この蒸米の切片を顕微鏡観察した結果をTable 1に示す。吸水面積率が65%の場合は，浸漬温度が10℃と30℃で浸漬時間はそれぞれ24時間と16時間と異なるが，どちらも完全な糊化状態を示した。吸水面積率が55%の場合では，浸漬時間はそれぞれ14時間と10時間となり，この条件ではどちらも蒸米の背側にデンプン単粒が僅かに残留しているのが認められた。吸水面積率が50%の場合では，浸漬時間は9時間と3時間となり，9時間の浸漬の蒸米では背側の細胞の中に少量の未糊化デンプン粒が認められるのに対して30℃，3時間浸漬の蒸米では，背側の細胞数3～4列目に未糊化複粒が，層状をなして残留するのが観察された。糊化の程度は10℃ 9時間が進んでおり，30℃，3時間が劣る結果となった。更に吸水面積率が45%の場合では，10℃，5時間浸漬と，30℃，2時間の蒸米はいずれも糊化状態は背側の細胞6～7列と腹側に点々と未糊化複粒が残留するのが観察

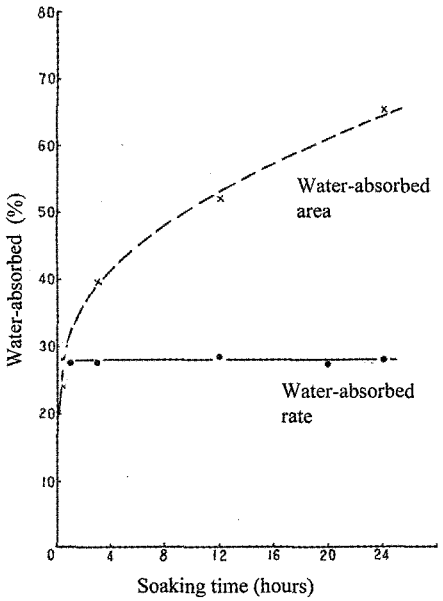


Fig. 4 Comparison of water-absorbed area and water-absorbed rate after soaking.

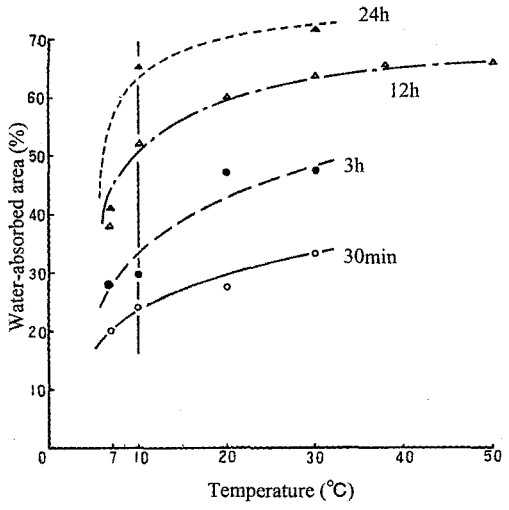


Fig. 5 Relationship between water temperature during soaking and percentage of water-absorbed area.

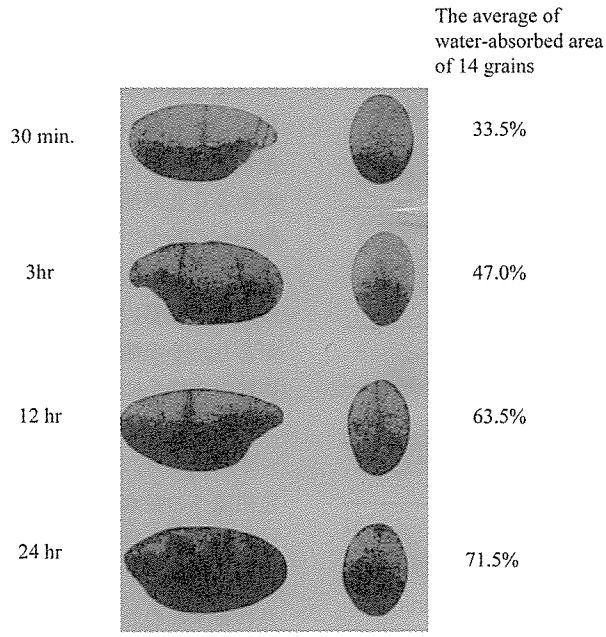


Fig. 6 Changes in water-absorbed area at 30℃.

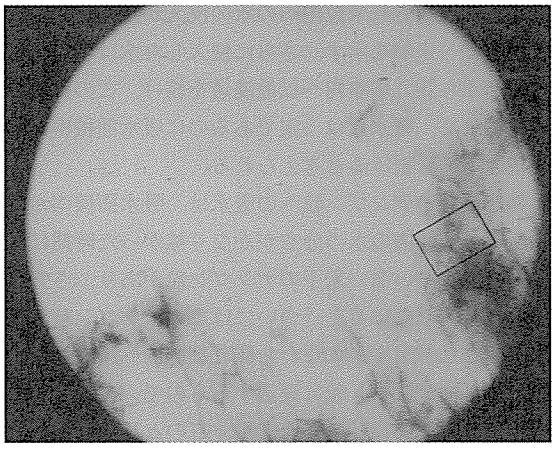


Fig. 7 Water-absorbed and unabsorbed area.

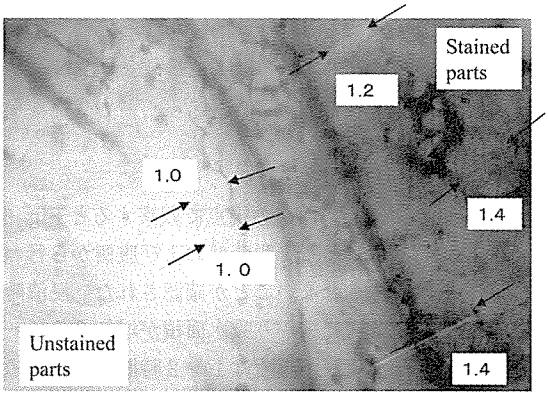
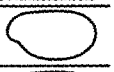
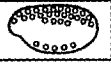


Fig. 8 Magnification of water-absorbed area surrounded by a square in Fig.7.
The numbers are the sizes of cells in μm.

された。

吸水面積率が45%の蒸米試料を10～20 μ m厚の切片にして拡大観察した結果をFig. 7に示す。また，染色されて赤く観察された箇所をさらに拡大観察した結果をFig. 8に示すが，赤く観察された箇所に未だ染色されてない部分が存在することが観察された。この部分のデンプン粒の大きさを写真上で測定した結果，吸水して赤く染色されたデンプン粒は，染色されていないデンプン粒の一方向で1.2倍の大きさになり，立体的には $1.2^3 = 1.73$ 倍の大きさに膨潤していることが分かった。また，未染色デンプン粒の存在する胚乳細胞膜は既に染色されていることが観察された。

Table 1 Gelatinized and ungelatinized parts of rice steamed for 60 min.

Water-absorbed area (%)	10 ℃		30 ℃	
	Soak hr.	Gelatinization	Soak hr.	Gelatinization
65	24	 A	16	
55	14	 B	10	
50	9	 C	3	
47.5	6	 D	—	—
45	5		0.5	
42	1		—	—

Soak: Soaking; Degree of gelatinization **A** (White): completely gelatinized; **B** (Dots at back): ungelatinized starch grains remaining; **C** (Circles with dots): starch cells with ungelatinized starch grains; **D** (Circles in rice grain): ungelatinized starch cells remaining.

考　察

1. 吸水面積率の有効性

米粒の吸水は，吸水面積の視点で観察するとFig. 6のように，初期は主として脱芽部および腹側から行われ背側からは吸水されないことが確認された。浸漬時間の経過と共に背側に拡がり吸水面積が増加する。一方，重量による浸漬吸水率では1～2時間で最高値に達しその後は全く増加しない[10]。このことから，吸水面積率は浸漬時間の経過に従って次第に広がり，米粒の吸水の様子を実際に即した形で示すものである。さらに吸水が止まった後でも吸水した水は次第に米粒内を移動して吸水面積が広がることから，米粒の吸水状態の指標として浸漬吸水率よりも，吸水面積率の方が水の分布状態を的確に表しており，より正確な指標と考えられる。

2. 吸水面積率とデンプン糊化の程度

Table 1より，吸水面積率が同じでも，浸漬時間の長い方が蒸米粒内のデンプン糊化の程度は進んでいることがわかる。吸水面積率45％の蒸米において，腹側に未糊化デンプン粒が残留した原因を明らかにするために吸水面積部を拡大観察した結果（Figs. 7，8），吸水面積部にも未吸水のデンプン粒が存在することが判明し，吸水面積部が全て糊化可能ではなく，全てが糊化可能となるためにはさらに若干の浸漬時間が必要であることが推察された。これは，吸水の過程には細胞内への吸水，さらにデンプン自身の吸水による膨潤という段階があって始めて糊化可能になるからと考えられる。伊藤[11]は白米には無数の分子レベルの細孔があり，その他に亀裂や細胞間間隙があって，まずこの間隙や細孔に水が浸透して吸水が行われると報告している。

本研究から，米を水に浸漬したときの吸水は，①米粒組織への吸水，②胚乳細胞への吸水，③デンプン粒への吸水の3段階で行われると考えられる。

第一段階の米粒組織への吸水では，浸漬初期に観察される米粒の急激な重量増加は主として組織内への毛管吸水によるもので，従来から測定される重量増加による浸漬吸水率がこれに相当するものと考えられる。

第二段階の胚乳細胞内への吸水では，米粒組織の間隙が水で飽和され米粒内への水の浸入が止まり，浸漬吸水率は一定値を示す。さらに侵入した水は米粒組織の間隙から胚乳細胞内へ拡散浸透を続け，この拡散浸透によって，吸水量は一定であるのに吸水面積率は引き続き増加を続けると考えられる。

第三段階のデンプン粒への吸水は，吸水面積率から判断して米粒内の水の分布がかなり拡がった時期にもまだ吸水していない若干のデンプン粒があり，さらに浸漬を長時間続けると，ついにはこのデンプン粒も吸水することを示す。すなわち胚乳細胞内へ浸透した水は，さらにデンプン粒に浸透するもので，この2つの過程には時間的に「ズレ」を示すものと思われる。

上記の様な考え方で，蒸米中のデンプン粒の糊化状態を観察すると，この第三段階の細胞内吸水で膨潤したデンプン粒だけが糊化するものと考えられる。

従来の浸漬吸水率は，第一段階の米粒組織への吸水を示すもので，吸水の目安としては不完全である。しかし吸水面積率は第二段階の胚乳細胞への吸水を示すもので，必ずしも完全とは言えないが，白米への吸水状態の有力な手がかりになるものと考えられる。現場でも，浸漬後の水切りには十分な時間をとることとされており，それはこのような理由によるものと考えら

れる。

要　約

白米の浸漬における水温と浸漬時間の影響を水溶性赤色色素を用いて顕微鏡下で観察し，厚さ軸に直角な切口面における吸水面積率を求めた。水温10℃を境としてそれ以下では，急激な吸水面積率の低下が認められた。水温及び浸漬時間をそれぞれ変化させ吸水面積率を調べ，それらの蒸米の糊化状態を観察したところ，白米への水の浸入は，①米粒組織への吸水，②胚乳細胞への吸水，③デンプン粒への吸水の順で起こると考えられた。

文　献

1）熊谷知栄子，黒柳嘉弘，野白喜久雄：醸協，**71**,718-722（1976）
2）吉田充，堀金明美：醸協，**103**, 10-16（2008）
3）吉澤淑，石川雄章，今村一臣，武田荘一，藤江勇：醸協，**69**，315-318（1974）
4）熊谷知栄子，黒柳嘉弘，秋山裕一，野白喜久雄：醸協 **71**，788-791（1976）
5）花本秀生，中井進，中沢英五郎，清水正，竹村成三：醸協，**71**，890-892（1976）
6）永田興四郎，中沢英五郎：醸協，**71**，121-124（1976）
7）柴田豊太郎：醸協，**61**，1023-1028（1966）
8）Tomochika Mizuma, Akiko Tomita, Atsushi Kitaoka, Yoshifumi Kiyokawa and Yoshinori Wakai. *J.Biosci.Bioeng.***103**, 60-65（2007）.
9）Tomochika Mizuma, Yoshifumi Kiyokawa and Yoshinori Wakai. *J. Biosci. Bioeng.* **106**, 258-262（2008）.
10）古浦二郎：醸協，**67**，543-547（1972）
11）伊藤清：醸協，**87**，497-502（1992）