

氏 名（本籍） ぐま かい ち え こ  
熊 谷 知 栄 子

学 位 の 種 類 農 学 博 士

学 位 記 番 号 農 第 2 4 9 号

学 位 授 与 年 月 日 昭 和 5 8 年 1 0 月 3 日

学 位 授 与 の 要 件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当

学 位 論 文 題 目 清 酒 釀 造 に お け る 原 料 処 理 に 関 す る 研 究

論 文 審 査 委 員 （ 主 査 ）

教 授 松 田 和 雄 教 授 高 橋 甫

教 授 山 内 文 男

# 論文内容要旨

伝統産業の1つである清酒醸造の原料処理法は幾多の変遷を経て改良された。なかでも酒造原料米は購入した玄米を自家精米するのが普通であったが、委託精米あるいは、共同精米で一括して精米された希望の精米歩合の白米が入荷するという形が次第に普及した。

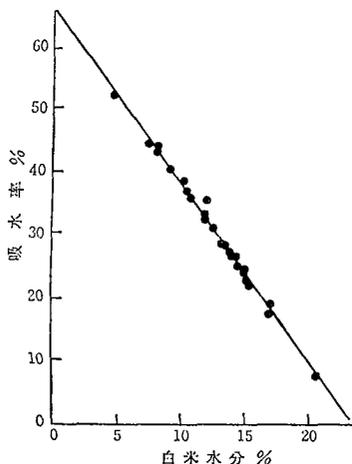
そこで酒造用白米の規格設定の必要性が生じ、その準備として、委託精米及び共同精米と自家精米した精米歩合 70~75% の白米を収集し比較分析した。この実験で白米水分含量と吸水率（浸漬後の吸水量×100/白米重量）間に極めて高度な負の相関関係があり、しかも単に少ない白米水分を補なう以上に多量の吸水がおこなわれること、および精米歩合 75% の白米の平均水分含量が 13.5%、平均吸水率が 28% を示すことを認めた。（第 1 章）

浸漬における白米の吸水率の多少は、直接蒸米の硬軟につながり、ひいては製麴工程、もろみ管理、原料米の酒化率あるいは酒質に影響が大きいので古来重視されて来た酒造特性である。

本研究は、清酒醸造における原料処理工程で重要な白米の吸水率と白米水分含量との関連性を究明することから実験に着手した。

## 1. 白米水分含量と吸水率の関係

同一ロットの白米を異なる相対湿度に放置して、種々の水分含量にした後吸水率を測定し両者の関係を求めたところ係数  $-2.84$  の回帰直線が成立することが明らかになった（図 1）。すなわち、



回帰式  $y = -2.84x + 66$   
 $y$ : 吸水率 (15°C, 60 分浸漬)  
 $x$ : 白米水分

図 1 白米水分と吸水率との関係

白米の水分含量 1% の差異で吸水率が約 3% 変動し、同一ロットの白米でも水分含量が異なれば、吸水率も異なり、蒸米の硬軟も著しくばらつき、酵素による消化性も異なって来る。

（第 2 章）

白米水分含量を精米歩合 75% の白米の平均水分である 13.5% に統一して、従来、吸水率に関与するとされていた項目、すなわち浸漬時間、精米歩合、精米法、古米化、米の品種、産地、登熟度等について比較検討した結果、白米水分が吸水率に関与する最大の要因であることを明確にすることが出来た。（第 3 章）

酒造現場で白米が吸水せず困っているケース、逆に吸水過多になり蒸米が軟らかくなるケースを選び、試料を収集して、白米水分と吸水率を測定したところ、現場においても白米水分の多少が吸水の難易に直接影響していることが確認された。

れた。

同一ロットの白米の水分含量を変えて、掛米として用い、麴を同じにして試醸した結果、蒸米の硬軟に差異が生じ原料白米の酒化率に、白米水分が著しく影響を与えることを実証した。（第 4 章）

白米水分と吸水率の関係を応用した例の第 1 は、昭和 51 年に設定された全国酒米統一分析法において、分析用の白米は凡て水分含量を 13.5% に調整して分析することを決めたことで、統一分

析法設定以前は米の水分含量は殆ど無視されていたが、現場の実情に合せ、同一水分にして分析比較することによって、再現性のあるデータが得られるようになった。

第2の例は、高級清酒「吟醸酒」造りの原料処理に、この理論を応用したことで、現在、酒造現場にこの方法が急速に普及している。すなわち、吟醸酒用の白米（吟醸米）の精米歩合は50%程度が一般的であるため、長時間必要とする精米工程で水分が蒸散し白米水分が約10%と低くなる。このため水に長時間浸漬すると吸水過多になり、軟らかい蒸米となるので、浸漬操作を途中で打ち切る限定吸水がおこなわれて来たが、経験と勤が要求される他、浸漬と同時に米質がもろくなるので、手洗いによらねばならず、吟醸酒の量産は困難であった。吟醸米に飽和湿度の空気を強制的に通風し加湿すると米の水分含量が増加し、長時間浸漬しても水分含量に対応した吸水率以上には吸水せず、しかも浸漬後の米の組織が固いので、機械処理あるいは量産も可能になった。この方法を用い、過去6年間吟醸酒を試醸した結果、理論通りの蒸米が調製され、製麴、もろみ管理が容易になり、製造酒を全国鑑評会に出品した結果、連続6年間金賞を受賞し優れた技術であることを実証した。（第5章）

## 2. 白米水分含量差により生じる吸水率変動要因の解析

同一ロットの白米水分を10%（乾燥米）、13%（対照米）、20%（吸湿米）の3段階に調整し、水に浸漬すると吸水率は39%、30%、9%になり、状貌に著しい差異が認められる。水に浸漬すると乾燥米は組織がくずれ易く、白色不透明になり、風乾後は元に戻らず白色のまま、更に風乾後の水分含量を種々変えて再浸漬し、水分と吸水率の関係を求めても前記した回帰直線は成立しない。吸湿米は浸漬しても組織が固く、透明感があり浸漬前の状貌と大差がない。風乾すれば元に戻り、これを再浸漬すれば図1に示した回帰直線が成立する。すなわち、白米水分が高い場合は水に浸漬しても、白米水分と吸水率の関係はこわれぬ。

20%台の水分の多い白米を種々の薬剤に浸漬して風乾し、水に再浸漬した時に回帰直線が成立しなくなるような薬剤を検索した結果、アクロレイン、クロム酸などの生体組織固定剤が有効と認められ、特に5~10%のアクロレイン溶液に浸漬した白米を風乾再浸漬した場合、図1の回帰直線がほぼ完全に成立しなくなるのが明らかになった。

水に浸漬後の吸水した白米に対し、浸漬米含水率 $[100 \times (\text{白米の水分量} + \text{吸水量}) / \text{白米乾物量}]$ を摘要し、 $y$ 軸にこの数値、 $x$ 軸に白米水分を図示すると、アクロレインに浸漬した白米を再浸漬した時には、 $x$ 軸に平行した直線を示すようになる。すなわち、アクロレインで米粒組織を固定することによって、水に浸漬後米粒内部に保有出来る水分量は、浸漬前の水分量の多少にかかわらず、白米乾物あたり一定値を示すようになる。一方、胚乳組織の細胞壁（白米そのままとアクロレインで固定した場合）を物理的に破壊した場合も、粒度が小さくなるにしたがって、白米水分が高い方でも良く吸水し、浸漬米含水率が高い水準で一定になる傾向を示した。

よって、白米の水分含量差により生じる吸水率変動には、米粒胚乳組織の構造が関与しており、浸漬前の白米水分が少なくなるほど胚乳細胞壁がもろくなり、浸漬すると同時に白米水分含量差

に応じて、水の浸入した胚乳組織がこわれ、その部分に存在する澱粉粒の吸水量が増加する結果であろうと想定した。この想定を証明するために顕微鏡による組織の観察並びにアクロレイン固定後の吸水量の変化を詳細に検討した。水に浸漬しても水分の多い白米は、浸漬前と同じように中心点より放射状に発達した胚乳細胞およびその内部に複粒構造をした澱粉粒が観察された。水分の低い米の場合は、周辺部（殊に腹側）の胚乳細胞壁に層状の亀裂が生じ、その胚乳細胞内部の澱粉の複粒構造がこわれ単粒が露出している部分があり、胚乳組織が崩壊しているのが認められた。

種々水分を変えた白米を水に一次浸漬した後、アクロレインで組織を固定し二次浸漬すると、白米乾物あたり保有出来る水分量は、一次浸漬前の白米水分が低くなるにしたがって増加し、浸漬米の胚乳組織が浸漬前の白米の水分含量に応じて崩壊が進行していることが明らかになり先に述べた想定を裏付けることが出来た。（第6章）

### 3. 無蒸煮米による酒類の製造

清酒醸造における原料処理工程の省エネルギー化の一環として、無蒸煮米による酒類の製造を試みた。上田らによると、生澱粉分解には黒麹菌 (*Asp. awamori* あるいは *Asp. niger*) の生産する糖化酵素が有効であるとされているが、無蒸煮米による試醸試験は市販醸造用酵素剤 (*Rhizopus* sp., *Asp. oryzae*, *B. subtilis*, *Endomyces* 起源) の糖化酵素力価を清酒もろみと同じ水準から10倍の水準で使用し、清酒醸造法に順じておこなった。

使用した酵素剤、もろみ日数により成分の異なるアルコール17~22%の酒類を製造することが出来た。

無蒸煮米の酒類製造における糖化溶解、醱酵においては、米を微粉碎して用いた場合より、胚乳組織をこわさず粒状で用いた方が、スムーズな醱酵経過を示した。

蒸米を用いる清酒もろみに比較して、無蒸煮米もろみの異なる点を述べると、(1)米粒が蒸米のように膨潤しないので均一な半流動性を示さず、米層と液部の二層に分れて醱酵すること、(2)もろみ初期に直糖の集積が認められないこと、(3)製造酒のアミノ酸が、酸性カルボキシペプチダーゼの力価を加減することにより著しく変動すること、(4)醱酵が終了すると還元糖とアミノ酸が直線的に増加すること、(5)もろみの固液分離が良く、粕の性状は通常の清酒粕と異なることなどに認められた。

生米澱粉は、加熱糊化した米澱粉に比較し糖化酵素の作用を受けにくい、生米蛋白質は酵素により溶解しやすく、生成アミノ酸量は使用した酸性カルボキシペプチダーゼの力価と相関し、同じ力価では生米からの方がアミノ酸生成が高くなり、蒸煮あるいは加熱によって米蛋白質が変性し、澱粉とは逆に酵素作用を受けにくくなる。このことは、無蒸煮米により製造した酒の特徴の1つともなり、酸性カルボキシペプチダーゼの力価を低くして試醸すればアミノ酸量を低くおさえることも出来るし、蒸米では不可能なアミノ酸量を生成させることも可能である。

酵素起源の差異による無蒸煮米の糖化溶解、醱酵への影響を検討する目的で、黒麹起源のものを含めた市販酵素剤のグルコアミラーゼ力価を80単位(清酒もろみの2倍)および200単位に統一

して小仕込試験をおこなった結果、清酒もろみに準じた、低温での並行複醸酵経過をとらせた場合には醸酵経過、アルコール生成に大きな相違は認められなかった。

無蒸煮米による酒類製造を実用化するためには、(1) 酵素剤使用上での酒税法の規定、(2) 消費者に与えるイメージ、(3) 酒質をどのような形にしぼるか、(4) 安全醸造、(5) 糖化の強力な麹菌および酵素剤の開発、以上の諸問題に十分な対応策を講ずる必要があり、これらの諸問題がある程度解決された後、実用化されるべきと考えられる。実用化の順序としては、嗜好品として官能的要求の厳しい飲用酒類よりも、調味用酒、食酢原料酒の方が早道と考えられる。(第7章)

## 審査結果の要旨

清酒醸造においては、原料白米の洗米、浸漬に際して米粒に吸収される水分量の多少は直接蒸米の硬軟に影響し、ひいては製麴工程、もろみ管理、原料米の酒化率あるいは酒質にも影響が大きいため、原料処理工程でもっとも重要な事項とされている。吸水率に関与する要因としては、米の品質、浸漬条件など十数項目が挙げられているが、それらの吸水率への寄与の程度は必ずしも明確にされていなかった。著者は多数の試料について検討した結果、吸水率と白米水分の間に極めて高い負の相関関係が成立し、白米水分1%の変化により吸水率が約3%変動することを明らかにした。白米水分を一定にして、従来吸水率に関与するとされていた項目について検討した結果、それらの影響は小さく、白米水分が吸水率に関与する最大要因であることも確認された。その結果、原料米の統一分析法が水分を一定にして分析するように改良され、再現性のあるデータが得られるようになった。著者はさらに、この事実が実際の酒造にどのように反映するかを確認するため、水分含量を異にする白米を原料として試醸した結果、白米水分が原料米の酒化率に影響することを実証した。また、水分含量の低い吟醸酒用白米を予め加湿することにより、従来勘に頼っていた吟醸酒の原料処理を改善し、再現性のある吟醸酒の製造に成功した。著者はさらに、白米水分と吸水率との相関関係を理論的に解明するため、組織学的な検討を試みた結果、この関係には米粒組織が関与しており、水分の少ない時には胚乳細胞壁が吸水に際し損傷を受け、吸水率が大きくなることを明らかにした。原料処理に関するもう1つの試みとして、著者は省エネルギーの観点から、無蒸煮米による酒類の製造を試み、市販醸造用酵素剤をグルコアミラーゼ力価として従来の清酒もろみの5~10倍レベルで使用することにより、製造が可能であることを明らかにした。

以上、本論文は幾つかの新しい知見を含み、醸造学の分野に寄与するところ多大である。よって、審査員一同、著者は農学博士の学位を授与される資格を有するものと判定した。