

炊飯米の形態学的研究

——加熱過程の差、品種による差、炊飯量の差における炊飯米粒組織の観察——

今中 鏡子*・加藤 集子*・川野 純子**
田方真由美***・畠山 敏慧**

A Microscopic Study of Cooked Rice

——The Differences in the Cellular Structure of Cooked Rice by
Changing Heating Process, Sort and Amount——

Kyouko IMANAKA, Aiko KATOU, Jyunko KAWANO,
Mayumi TAGATA and Tosie HATAKEYAMA

Key words : コメデンブン, コシヒカリ, 炊飯加熱過程, 光学顕微鏡観察, 炊飯米の構造

1. 緒 言

1960年代電気釜やガス釜が一般家庭に定着し始めた頃、熊田ムメ教授**の米の研究を頼って、全国の製造元各社から炊飯器の性能検査を依頼され、釜内部の温度測定や味覚テストが盛んに行われた。こうしたテストと併行して「おいしいご飯が炊ける局限」を追求し、大学・短期大学がチームを組み各種実験を行った。組織学的形態観察については、その権威である広島大学川上いつ多教授の指導を仰いで進められ、1969年味覚的においしいご飯の細胞や組織を観察することに成功した。適切な加熱過程を経た炊飯米の細胞や組織は破壊が少なく規則性を保ち、鮮明な像であることを確認した¹⁾。次いで1971年不適切な加熱過程の炊飯米組織は、不鮮明で破壊された組織が多いことを確かめ²⁾、適正加熱した米飯との比較が可能となった。1972年には炊飯米を横断面 (Cross section)、縦断面 (Longitudinal section)、水平縦断面 (Sagittal section= 矢の方向) の三方向から観察し構造を明らかにした³⁾。

最初の論文から28年を経た1998年M施設から「マイコン内臓五升炊きガス炊飯器でおいしいご飯が炊けないので調べて欲しい」と依頼され、これを契機として次のような三つの差について実験を行った。

実験1 加熱過程の差による炊飯米組織形態の比較 M施設から相談を受けたガス炊飯器ではどのように炊飯され、何を改善したらよいか調べるため、加熱過程を適正沸騰、早い沸騰、遅い沸騰などに調整して炊飯を行った。それぞれの炊飯米組織形態と、問題の炊飯米組織形態とを比較し、その炊飯過程を究明した。

実験2 品種の差による炊飯米組織形態の比較 米の品種によって炊飯米組織形態に差があるのか四品種について比較観察した。

実験3 炊飯量および釜の差による炊飯米組織形態の比較 適正加熱過程で炊飯した場合、釜の種類や炊飯量によって米組織形態に差が生じるか否かを観察した。この実験のきっかけは1973年工場給食 28~40 kgの米をライスボイラーで炊飯した観察結果による。極端に大量であったにもかかわらず、結果は家庭用ガス炊飯器や羽釜による炊飯米の組織形態とほとんど差は認められなかった。当時の著者らはその理由が説明できないままデータを長年保留していた。その後幾多の炊飯実験から一粒の米が受ける加熱過程が同じであ

* 広島文化短期大学

** 元広島文化短期大学

*** 広島シーサイド病院

ば、炊き上がった炊飯米の組織は同じ形態になるという仮説を立てるにいたりこの実験を行った。

2. 方 法

(1) 今回の実験で用いる用語について

1) 加熱過程について

ご飯の味は加熱後の沸騰時間に大きく左右される。加熱過程については、早い沸騰加熱過程、適正加熱過程、沸騰遅れ加熱過程の三段階に分けて観察した。いずれも加水は米の1.5倍重量である。

①「早い沸騰加熱過程」は、加熱後4～7分に沸騰し、沸騰後98℃以上20分間を継続する場合 ②「適正加熱過程」は、図1のように加熱後8～15分に沸騰し、98℃以上20分間を継続する場合。厳密に言えば早い沸騰加熱過程であっても適切な余熱を得て美味な場合もあり、これも適正炊飯といえることから、標準沸騰加熱過程と表現した方が実験的には的を得ている。

しかし、どの品種でも加熱後8～15分に沸騰、その後98℃以上20分間経過すれば、ほぼ間違いなく良いご飯が炊けるということから、本実験では「適正加熱過程」と表現する。③「沸騰遅れ加熱過程」は、加熱し始めてから20分前後でようやく沸騰した後98℃以上20分間を継続する場合。米の量に対して火力が弱いので沸騰が遅れる。ここでも「早い沸騰」に合わせ、遅れた沸騰としたいが、日常的用語として使われている「沸騰遅れ」を用いる。

2) 加熱後、スイッチ（火）を切るについて

先ず文中頻繁に使う「加熱後」の時間は加熱し始めた最初からの時間である。「スイッチ（火）を切る」は、羽釜で炊飯をする場合に使う火を落とす、火を引くに当たり火力を切ることである。「点火」「消火」とする場合もあるが、今回は生活に密着した実験なので日常使う言葉を用いた。

3) 98℃以上20分間、米デンプンの糊化、余熱、蒸らし、追い炊き、焼きしめ、湯炊きについて（図1）

「沸騰後98℃以上20分間」を保つ意味は「米デンプンの糊化」に必要な熱量を得るためである⁴⁾。例えば加熱後8分に沸騰した場合、蒸らしを含め28分間で炊飯を終了。加熱後12分で沸騰した場合は蒸らしを含め32分間で炊飯を終了する。終了後直ちに炊飯米をしゃもじで切るように混ぜ、上下万遍なく空気を含ませ、同時に余分の水蒸気を放出させる。

釜のスイッチ（火）が切れた後、外部からの火力を

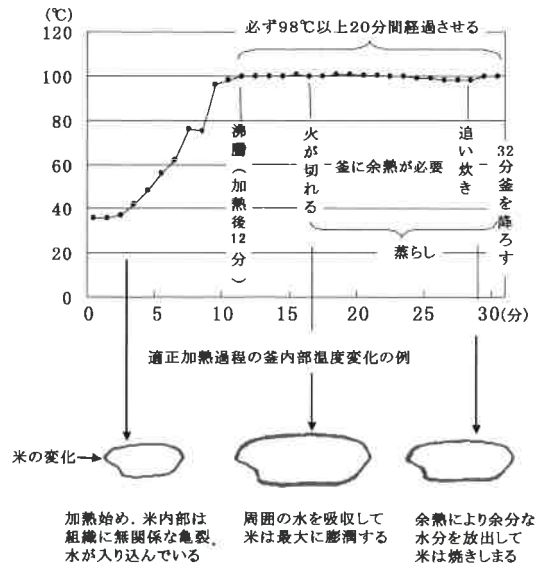


図1 適正炊飯過程のモデル

受けず釜自体に熱を保持する「余熱」が必要である。沸騰時米は周囲の水分をほとんど吸収しているの、それ以後外部から強い火力を受けるとその釜肌に焦げが生じる。一般に「蒸らし」とはスイッチが切れてから余熱が働く間のことをいい、この間温度がやや低下する釜では、過度の焦げが出来ない程度に「追い炊き」をする。余熱の効果は米が沸騰により吸収した水分を適度に放出して「焼きしめ」ることである。スイッチ（火）が切れた釜から良い香りがするのは、適度な熱を得て米が水分を放出し、粘弾性のある噛みごたえの良いご飯が炊けている証といえる。一方沸騰遅れのご飯はまずいので、沸騰時間を適正沸騰8～15分に合わせるため、最初から湯を加えて炊き始める。このことを「湯炊き」という。

4) よいご飯、おいしいご飯、好評なご飯、美味の基準について

実験で炊き上がった炊飯米を試食し、100点評価で72点以上を得たご飯。ただし試食は味覚テストの専門家ではなく、学生を含む一般人である。ごはんの評価は全員が高得点に成り難い。例えば噛みごたえがあるご飯を好む人がいる反面、ふんわりと柔らかめのご飯を好む人もいる。

(2) 内容と試料

1) 実験1 加熱過程の差による炊飯米組織形態の比較およびM施設炊飯米加熱過程の調査

加熱過程の差については、すでに1971年に行っているが²⁾、早い沸騰加熱過程の実験を行っていないなど、依頼されたM施設の炊飯米組織に該当するデータがないため、改めて実験を行った。加熱過程は、早い沸騰加熱過程、適正加熱過程、沸騰遅れ加熱過程、早い沸騰後98°C以上が保てず熱不足についてそれぞれ試料を採取した。実験用炊飯器はR社家庭用一升炊きガス炊飯器。試料は広島県産コシヒカリ1kgを炊飯した。M施設は業務用五升炊きガス自動炊飯器7kg炊飯、品種は後にひとめぼれと判明。

2) 実験2 品種の差による炊飯米組織形態の比較

釜内部をガーゼで仕切り、次の四品種それぞれ250gの米を同時炊飯し、実験1と同様に早い沸騰、適正沸騰、遅い沸騰などに調整し観察した。いずれの加熱過程も沸騰後は98°C以上20分間を経過させた。試料は①新潟県産コシヒカリ(♀農林22号×♂農林1号)②岩手県産ひとめぼれ(♀コシヒカリ×♂初星(♀コシヒカリ×♂喜峰))③岩手県産あきたこまち(♀コシヒカリ×♂奥羽292号)④広島県産中生新千本(なかつしんせんぼん:♀農林22号×♂隼)。炊飯器は実験1と同様にR社家庭用一升炊きガス炊飯器。

3) 実験3 炊飯量の差による炊飯米組織形態の比較

大量少量および釜の種類にかかわらず適正加熱したものであれば、米粒の組織形態は類似しているのではないかと予測した。①家庭用R社五合炊きガス炊飯器で米420g(三合)を適正炊飯した米粒。②病院給食A社縦型炊飯器内釜で米3kgを適正炊飯した米粒。③工場給食ライスボイラーで大量の米28~40kgを適正炊飯した米粒。④市販されている包装米飯。Sb社280g入り米飯。表示通り高周波出力500W電子レンジ3分間加熱した米粒。⑤冷凍保存米「実験3①米420gを適正炊飯」したのから200gを冷凍保存した米粒。⑥「⑤冷凍保存米」を高周波出力600W電子レンジで4分間加熱した米粒。⑦粥。米浸漬後加水7倍、沸騰後表面の一部分が沸騰する程度の弱火で一時間経過した米粒。試料はコシヒカリ。ライスボイラーによる炊飯米は1973年工場給食用業務米によるので品種は不明である。

(3) 炊飯米粒の観察位置

今回の観察に当たり、炊飯米粒のデンプン粒および

デンプングループの位置関係を図1-2-a, b(p.19)に示した。このことについては1971年炊飯米粒の組織構造を発表したが³⁾、35年間の歳月が資料検索を困難にしているので再掲。今回の観察位置は縦断面中央付近である。

(4) 試料切片の作成

試料をカルノア氏液で固定し、アルコール脱水の後、定法に従ってパラフィン包埋し、5μmの薄片とした。米粒は多くのデンプン粒で構成され、非常に脆く硬いため、薄片の採取は回転式マイクロトームを用い、ブロックに息をかけ湿り気を与えながら一枚一枚丁寧に切り取る。図1-2-bのような米粒全体を採取するには熟練がいる。このような全体像採取は困難を極めるので、部分的に採取して観察する。このとき図1-2-a・bの組織構造から炊飯米粒の部位を判断する。

(5) 染色

細胞質染色にライトグリーン、デンプン粒染色にゲンチャンバイオレットおよびヨード・ヨードカリ染色の三重染色。一部たんぱく質検出にアクロレインシッフ染色を行った。

(6) 観察

光学顕微鏡(生物顕微鏡 Nikon-Ke)

標本を染色するので物質を色分けして識別できることや観察倍率が40~1000倍なので全体像を把握しやすい利点があるが、細胞内器官などの微細な構造観察は不可能である。

(7) 釜内部温度の測定

六点式熱電対温度計。

3. 結果と考察

染色方法を確かめるため、本実験で用いる染色法により一般によく知られているジャガイモデンプンを染色した。図2-aは生のジャガイモの組織をライトグリーン、ゲンチャンバイオレットおよびヨード・ヨードカリ三重染色したものである。ライトグリーン部分に細胞壁(CW)があり、これに囲まれた部分が1個の細胞、その細胞の中に紫色に好染している物質(S)が多数ある。この標本を偏光顕微鏡で観察すると紫色に好染した物質と同じ位置に図2-bのような偏光十字が

現れデンプン粒 (S) であることが証明される。さらに 10 mm 厚さに切り沸騰10分間を経過させたジャガイモを同じ染色法で観察すると、図 2-c のように膨潤したジャガイモデンプンが薄茶色に染まり、デンプン粒 (S) の痕跡を残しながら細胞一面に膨潤し広がっている。このことからゲンチャンバイオレットおよびヨード・ヨードカリ染色により、デンプンを識別できることが証明された。また、標本により同じ染色法でも青色や紫色さらに赤色や茶色などに発色するが、これは熱などにより、グルコース鎖の長短が生じ、多糖とヨウ素間の結合に強弱が生じる⁴⁾。さらにゲンチャンバイオレットの介在が染色を助けている。以上から炊飯米組織のデンプン検出にもこの三重染色を用いた。

(1) 実験 1 加熱過程の差による炊飯米組織形態の比較

M施設から「5升炊きガス炊飯器でおいしいご飯が炊けない」と相談を受けた炊飯米をプレパラートにして観察した。図 3-a は炊飯器の説明書に従い、スイッチを入れて約 1 時間かかって炊き上がった炊飯米の組織である。グリーン部分に細胞壁 (CW) が存在し、このグリーンで囲まれた細胞の中にある茶色に好染した手まり状の塊が、デンプングループ (SG) である。グループの中に膨潤しきれない多角形のがデンプン粒 (S) が顆粒状で観察される。組織はほとんど崩壊した部分が無く極めて鮮明な上に間隙が多い。このような像を示す炊飯加熱過程を究明するため、釜内部温度を調節し、①適正加熱過程 ②早い沸騰加熱過程 ③沸騰遅れ加熱過程 ④早い沸騰後98°C 以上を短縮し熱不足の米粒について観察した。

図 4 は①適正加熱過程の釜内部温度であり、12分で

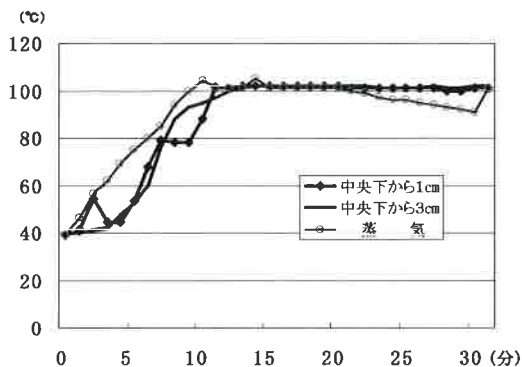


図 4 適正加熱釜内部温度 (実験 1)

100°C に達し、18分で火が切れ、20分を過ぎて良い香りが出るなど理想的な炊飯となった。追い炊きは加熱後29分に行い32分に釜を降ろしたので、98°C 以上を20分間経過した。

この米粒組織は、図 3-b のように細胞やデンプングループ (SG) の形態を残しながら、デンプン (S) は良く膨潤し、部分的に同一方向にデンプン粒が流れるような動向性 (Go) が見られる。この程度に膨潤したデンプン粒と動向性がみられるご飯は炊きたてが美味である。図 3-c は②沸騰が早く加熱後 6 分、その後 98°C 以上20分間を経過した組織。このときの米粒組織は、細胞やデンプングループの形態を鮮明に残しながら、デンプン粒はよく膨潤し間隙は少なく、動向性はみられない。これまで重ねた実験と試食から、このように早く沸騰したものでもその後98°C 以上20分間を経過したご飯は、歯ごたえがあり冷えてから食しても良い。図 3-d は③沸騰が遅れ加熱後19分、その後98°C 以上20分間を経過した炊飯米組織である。デンプングループはほとんど崩壊し、デンプン粒は十分膨潤して動向性が進んでいる。沸騰遅れのご飯にはおいても食感も悪く、これについては後記「(3)3.ウ」に記す。

図 3-e は④熱不足の形態。加熱後 6 分と沸騰が早くその後98°C 以上を短縮して取り出した組織は、十分熱が得られないため、膨潤しきれない多角形のデンプン粒がみられ芯 (Nbg) を残す。芯には亀裂が観察されるが、これは図 3-f・g のように、米を洗い浸漬したときに生じる。ライトグリーン好染部分は細胞壁、赤色の顆粒はデンプン、白い亀裂が吸水した部分である。このように吸水した米は組織や細胞に関係がない細かな亀裂が生じ、炊飯が始まると徐々に消失し、組織は本来の規則性を保ちつつ膨潤する。芯は沸騰後10分頃まで残り、図 1-2-a, b の大きな亀裂の中間に生じる⁵⁾。

以上からM施設の図 3-a の組織は、デンプングループが鮮明で、その中のデンプンは膨潤しきれず多角形であり、粒と粒との間に鮮明な間隙が観察されることから、図 3-e の「沸騰が早く、十分熱が得られない米粒組織」と類似している。問題の炊飯器では、スイッチを入れて約 1 時間かかって炊きあがるが、実際は「沸騰が早く」その後、適度な熱が得られない「熱不足」の炊飯条件であった。すなわち浸漬を兼ね低い温度から徐々に加温、その後急激に加熱して 4~7 分の間で沸騰し、98°C 以上の適温が10分未満で下がってしまい、おいしいご飯は炊けない。

(2) 実験2 品種の差による炊飯米組織形態の比較

実験1の試料はコシヒカリであったが、M施設で使用された米が後にひとめぼれと判明したこともあり、品種による米粒組織の差について調べた。

観察した米は遺伝的にコシヒカリと関連がある①新潟県産コシヒカリ ②岩手県産ひとめぼれ ③岩手県産あきたこまち ④広島県産中生新千本の四品種である。これをガーゼで仕切った釜で同時炊飯し、それぞれ適正加熱過程、早い沸騰加熱過程、沸騰遅れ加熱過程について形態を観察した。

1) 沸騰時間別釜内部温度の変化

図5は適正な加熱過程、沸騰は加熱後11分。図6は早い沸騰加熱過程、沸騰は加熱後7分。図7は沸騰遅れ加熱過程、沸騰は加熱後19分の釜内部温度の曲線である。いずれも沸騰後98°C以上20分間を保った。

2) 四品種炊飯米の澱粉グループ基本構造比較

図8-aはコシヒカリの組織900倍である。手まり状の固まりがデンプングループ(SG)、この中の顆粒がデンプン粒(S)である。膨潤しているため直径8μm

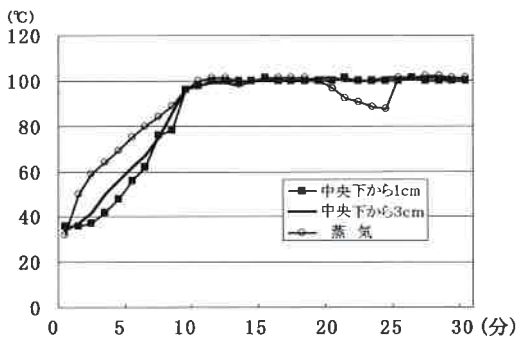


図5 適正加熱炊飯過程 (11分沸騰その後98°C 20分経過)

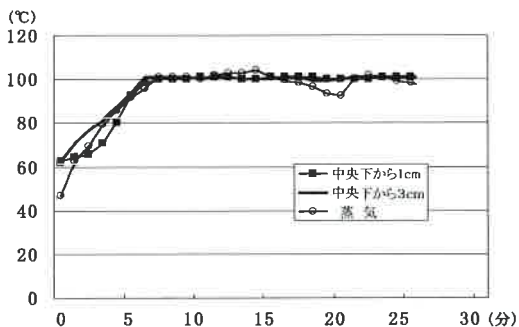


図6 早い沸騰炊飯加熱過程 (7分沸騰その後98°C 20分経過)

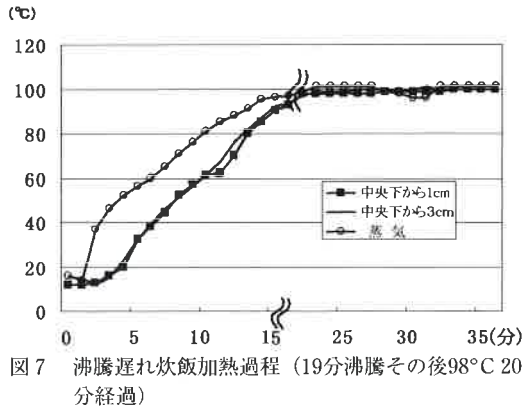


図7 沸騰遅れ炊飯加熱過程 (19分沸騰その後98°C 20分経過)

前後と大きいのが他の食品デンプンに比較すると微細である。加熱前の米デンプンでは2~5μmとさらに小さい。この図の下方にジャガイモデンプン長径87μmと大きなものを選び輪郭を同倍率で入れた。このようにコメデンプンがあまりに微細で観察が不可能なため、書籍によっては米のデンプングループをデンプン粒と述べている場合がある。コシヒカリのデンプン粒は、膨潤しているにもかかわらず多角形であり、粒と粒との間隙がグループの周辺部まで鮮明である。図8-bはひとめぼれの組織である。コシヒカリの性質を継ぎ、コシヒカリに似た形態を持っている。図8-cのあきたこまちはややコシヒカリに似ているが、グループ周辺部のデンプン境界は鮮明さに欠ける。図8-dの中生新千本は母方がコシヒカリと同じ農林22号であるが像はやや異なる。グループ内のデンプン粒はコシヒカリのようにはっきりした多角形ではなく、グループ周辺部ではデンプン粒と粒とが部分的に融合して観察される。同じ釜内部で同じ温度過程を経たにもかかわらず微細な形態に差が見られる。

3) 沸騰時間別品種別炊飯米の形態比較

四品種について①早い沸騰加熱過程 ②適正加熱過程 ③沸騰遅れ加熱過程の炊飯米の形態を観察した。図9では特徴が比較し易いコシヒカリと中生新千本の二品種について360倍の像を報告する。

ア. 早い沸騰加熱過程(図6) コシヒカリ図9-aは細胞やデンプングループ(SG)とその中のデンプン粒(S)の崩壊がほとんど無く鮮明である。900倍の像で述べたように、広い範囲でデンプン粒は多角形のまま膨潤し粒と粒との間隙がグループの周辺部まで鮮明である。同じ釜で炊いた中生新千本の像図9-bもほとんど崩壊がないが、コシヒカリのデンプン粒のような

多角形はみられず、デンプン粒と粒との間隙がやや不鮮明な部分が多い。

イ. 適正加熱過程 (図5) 図9-cはコシヒカリの像であるがこの像では図8-aの沸騰が早い像と差がない。同じ釜で炊飯した中生新千本は図9-dのようにデンプン粒が、そろって一定方向に流れて行くような動向性を示す部分が多くなるがグループの崩壊までは至らない。早い沸騰加熱過程を含め、何れの品種も組織の破壊はほとんどなく規則性を保ち、良いご飯の組織である。味は同じ釜で炊飯したので厳密な評価はできないが総体的に平均点74~77点/100点と好評であった。

ウ. 遅い沸騰 (図7) 図9-eのコシヒカリでは、ところどころ動向性が見られるが、デンプングループとその中のデンプン粒に鮮明な部分があり、グループの崩壊は少ない。図9-fは同じ釜で炊飯した中生新千本である。動向性が進んでグループの崩壊が部分的に見られる。デンプン粒の形が無く糊状の部分もわずかにある。しかし今回の沸騰遅れの炊飯米は四品種とも比較的味がよく、組織の崩壊が少ないことでも裏付けている。さらに沸騰が遅れると前記の図3-dのようなグループの単位が失われた組織が多く観察され、米周辺に図10-aのような「ねば」が出始める。これは米の量に対して火力が弱く、加熱し始めてから20分前後でようやく沸騰する状態。その間にねばが生じ、悪い焦げとなって特有のおいとなり、水っぽく柔らかいご飯になる。最初から湯炊きにして沸騰時間を8~15分に合わせる必要がある。

4) 加熱過程と炊飯米組織形態との関係一覧

今回の観察結果をまとめると表1 (p. 23) のようになる。炊飯加熱過程ごとに細胞壁、デンプングループ、デンプン粒、糊化が進むと現れる動向性、沸騰が遅れると大量に生じるねばについて整理した。しかし炊飯米の組織形態は掲載した図 (写真) のような像が一律に広がっているのではなく、部分によって様々な形態があり個体差もある。すなわち本実験結果として用いた図 (写真) は、その平均的な部分を選んでいる。ただ米の中心近い部分であれば一枚の写真から、表1のような基準でどのような加熱過程を経たか判断することはほぼ可能である。

しかし、熱の影響による組織形態の変化は品種により多少異なるので、厳密な表を完成するにはさらに観察が必要である。例えば適正加熱過程コシヒカリ図9-cに動向性は見られないが、図9-dの中生新千本で

はところどころに出現しているなど中生新千本の方が熱の影響を早く受けやすい。

5) コシヒカリ澱粉粒の石垣状配列

グループ内のデンプン粒の並びが図3-c, 図8-a, 図9-a, c, eにみられるように直線的に並び二段三段と重なった部分が観察され、あたかも石垣のように見える部分が多い。これまでに新潟県産 (魚沼を含む) コシヒカリ、石川県産コシヒカリ、千葉県産コシヒカリ、広島県産コシヒカリの組織を観察したが、この全てに見られる特徴であった。早い沸騰や適正沸騰では澱粉粒の境界が鮮明なので判別しやすいが、遅い沸騰であってもグループの崩壊がないかぎり、その痕跡が残るのでコシヒカリと判断しやすい。他の品種 (過去に観察した数種) では、グループの中心から弧または円を描くような粒の配列が観察され、直線的な配列があってもコシヒカリのように二段三段と重なる構造はほとんどみられない。後記図13-a, b, c, f, 図14-b, c, eも同様である。

デンプン粒と粒との間隙が鮮明であることは、一粒の澱粉粒が強靱な膜または隔壁で覆われている可能性がある。この膜または隔壁はこの方法では染色されない物質であるため、間隙として白く残っている。木村、池田は走査電子顕微鏡像7000倍で炊飯したコシヒカリを観察している⁶⁾。その像を光学顕微鏡像と合わせて考察してみるとデンプン粒と粒と間隙の境界となる物質がみられる。

6) 米デンプン単粒の可能性

米デンプンが単粒か複粒かが議論されている。正確にはイネが受粉して胚乳にデンプンが形成される過程を追跡する必要があるが、あまりに微細なため光学顕微鏡レベルでは観察が難しい。川上は透過電子顕微鏡像から「受粉二日目の胚乳では白色体 (amyloplast) でデンプンをつくっている—中略—五日目で白色体 (amyloplast) はその痕跡が無く、別の dense body または spherosome の中でつくられるようである」としている。「spherosome は境界膜が一重であり、白色体は二重の境界膜を持つので両者を混同することはない」とも述べている⁷⁾。このように膜の中でデンプングループがつくられるので、同じ膜内で作られたデンプンを複粒と言うのであれば複粒である。また川上は「形成中心を中心とした黒い十字が認められる」さらに「デンプンの形成中心が1個であるものを単粒 simple starch grain といい、2個以上の形成中心を持つものを複粒 compound starch grain という。」と述べている⁷⁾。



図12 コメデンブン偏光 ×1800

このことから判断すると図12のコメデンブンは単粒と判断できる。さらに成熟した胚乳をこのように炊飯して観察してみると特にコシヒカリに見られるように、デンブン粒と粒との間隙が鮮明あることから単粒である可能性も大きい。

7) その他の炊飯米

1994年の干ばつのため米が緊急輸入された。この時も中国米、タイ米、カルフォルニア米、日本米をガーゼで仕切り同時に適正炊飯をした。タイ米は図11-aのように澱粉グループ内が糊状となり、デンブングループ単位で崩れるのかザラザラとした細かな粒子が感じられた。タイ米などインディカ種に適した炊飯方法を行うことが大切である。図11-bはカルフォルニア米。これは日本米と同じジャポニカ種で中国米と併せて比較的味は良く組織形態が類似していた。

(3) 実験3 炊飯量および釜の差による炊飯米組織形態の比較

先の観察でコシヒカリの炊飯米組織が鮮明であったので、コシヒカリを用いて炊飯量を変え炊飯実験を行った。工場給食 28~40 kg 炊飯については、当時の工場給食用業務米なので品種は不明である。

1) 家庭用ガス炊飯器五合炊きで米 420 g (三合) を適正炊飯した米粒

図13-aは加熱後8分で沸騰24分に火が切れ、28分に追い炊きし29分で終了した炊飯米である。図13-bは図13-aの一部を拡大した組織。崩壊は無くデンブンは良く膨潤している。コシヒカリの特徴である石垣状の配列と多角形のデンブン粒があり、粒と粒との間隙がみられる。

2) 病院給食縦型炊飯器 A社 RMRG-152 で内釜で米 3 kg を炊飯した米粒

外釜からは沸騰時間が不明であるが加熱後30分で内釜を取り出し配膳する。図13-cはこの炊飯米の組織であり、図13-aの形態と同様であることから適正に炊飯がされている。図13-dは、この炊飯米を外釜から取り出さずさらに30分経過したもの、すなわち加熱後60分を経過し、蒸らし過ぎになった米の組織である。デンブングループは崩壊した部分が多く、噛みごたえや粘弾性を失い水っぽくて柔らかい。この病院から「コシヒカリを炊いているのにまずい」と相談を受けたのは、こちらの蒸らし過ぎのご飯であった。本実験以後盛り付け時間から逆算して炊飯時間を改善した後は、図13-cの適正炊飯されたご飯が供食されている。

3) 工場給食ライスボイラーで大量の米 28~40 kg 炊飯した米粒

①従来の炊き方(1973年3月23日)は米 36 kg を洗米機で洗い箆に上げて水を切る。ライスボイラーへ米を入れ熱湯を加えて約60°C から炊き始め(0.82 kg/cm²:蒸気圧)5分後に沸騰する(3.2kg/cm²)。この時大しゃもじで混ぜ蓋をする。その2分後二回目の攪拌、その後10分(加熱後17分)で蒸気を切る。5分後(加熱後22分)圧力は0になるが温度は98°C以上を保ち続け、さらに18分間(加熱後40分)経過するが温度は下がらない。余熱が長く継続するために大量の焦げが出来る。そこで蒸らし過ぎと大量の焦げを防ぐため、10回以上の炊飯を試みた結果、炊飯温度と余熱とが十分なので、家庭の炊飯過程と同様の方法でよいと判断し、次の方法で炊飯した。

②米 28 kg 炊飯 終始 2.0 kg/cm² で炊き8分で沸騰、その後16分経過(加熱後24分)して蒸気を切りドレンコックを抜く。沸騰後98°C 20分経過を確認してご飯を食管に移す。図13-eが工場給食炊飯実験最終(1973年10月21日)で得た組織の写真である。炊飯状態は良い。この日の記録は澱粉粒が角張ったものが部分的にみられるが、歯ごたえのあるご飯に仕上がっていると記していた。

4) 市販されている包装米飯

図13-fはSb社の包装米飯 280 g 入り。表示通り高周波出力 500 W 電子レンジ 3分間加熱88°Cに達した米粒(コシヒカリ)組織である。他社についても観察したがSb社はどの個体の組織形態もコシヒカリの特徴を持ち、デンブンがよく膨潤して全体に鮮明な像が得られ予想を越えて味が良い。炊飯方法は米 7 kg の釜を

次々とベルトコンベアの流れてゆき、下方のガス火力を適正加熱過程が得られるように調節、余熱も与えられて炊き上がる。その後無菌状態でパック詰めを行う⁸⁾。Sb社によると米は季節により吟味し、米の乾燥度に合わせ炊飯の水分を調節するという。全てに完成度が高い。

5) 冷凍保存米

「家庭用ガス炊飯器で米 420 g (三合) を適正炊飯した」炊飯米から 200 g を冷凍保存した。本来冷凍食品は冷凍庫内に蓋なし金属トレーを用いて最大氷結晶生成温度帯を短時間に通過させる⁹⁾。過去の著者の実験ではサヤインゲンを -42°C の庫内で最大氷結晶生成温度帯 $-2.5\sim-3.2^{\circ}\text{C}$ を6~9分で冷凍したが¹⁰⁾¹¹⁾、今回は家庭における冷凍保存を再現し、炊飯米 200 g を1 cm 厚さにラップで包装し家庭用冷凍庫で冷凍した。この時の最大氷結晶生成温度帯 $-0.8\sim-2^{\circ}\text{C}$ を60分かかって通過し、 -10°C に低下するまで240分かかった。これを3日間保存し解凍せずに固定した組織が図14-aである。組織形態は細胞の崩壊は少ないものの、デンプン粒、デンプングループともに不鮮明で糊状部分が多い。これを電子レンジ高周波出力 600 W 4 分間解凍し内部温度 80°C になったものが図14-bである。デンプングループ、デンプン粒ともにコシヒカリと判断できる程に回復している。電子レンジ解凍温度は $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ が望ましいと推察するが今後の課題である。

6) その他の炊飯米

①塩飯。図14-cは米 420 g に水1.5倍重量、塩 7 g を加えて炊飯した。加熱後 8 分で沸騰15分で火が切れ、22分で追い炊きをし28分で完了した米粒組織。部分により個体により様々な像が得られる。この図では細胞やデンプングループおよびデンプン粒の崩壊が少ないが、他に部位や個体では膨潤していないデンプン粒などの像がみられる。塩を加熱以前から加えたため、組織への吸水に影響があると推察する。

②バターライス 図14-dは米 420 g を水洗後策に上げ水切り後、バター 30 g で25秒間炒めて釜に取り、水を加え(塩は加えず)炊飯した。炒めたときの熱により加熱後 5 分で沸騰12分で火が切れ、22分で追い炊き25分で終了した米粒組織である。ここではデンプングループが観察出来るが、他の部分では細胞内が糊状になってデンプングループやデンプン粒の痕跡を残さない部分も多い。実験的にズダンⅢで赤く着色したバターで米を炒め、ピーカーなどで炊いてみると、炊き始めてしばらくは上層部に赤いバター浮いて、下方ま

でバターが浸透するのは炊き上がる直前である。このように炒めの過程や炊飯中の吸水や温度変化が複雑であるため、炊きむらが生じて多様な像を持つ。

③粥 図14-eは、米に加水し30分浸漬後加熱、沸騰後表面の一部分が沸騰する程度の弱火で一時間炊いた米粒組織。細胞内でデンプン粒やデンプングループの痕跡が失われている部分が多いが、部分的にデンプングループとその中にデンプン粒が残存している。

④炊飯米たんぱく質アクロレインシッフ染色 1971年発表をカラーにし、倍率を訂正した。低倍なので細胞壁部分とデンプングループ周囲にたんぱく質が見られるがデンプン粒周辺は不明である。

4. 要 約

M施設から「五升炊きガス炊飯器でおいしいご飯が炊けないので、調べて欲しい」という相談を契機として次の三つの差について実験を行った。加熱過程の差による炊飯米組織形態の比較、品種の差による炊飯米組織形態の比較、釜の差および炊飯量の差による炊飯米組織形態の比較である。

(1) 実験 1

加熱過程の差による炊飯米組織形態の比較では、①適正加熱過程 ②早い沸騰加熱過程 ③沸騰遅れ加熱過程 ④早い沸騰熱不足について観察した。その観察結果とM施設炊飯米組織(図3-a)とを照合すると「早い沸騰熱不足」の組織(図3-e)と類似した。M施設の炊飯器は1時間かかって炊きあがるが、実際は浸漬を兼ね低い温度から徐々に加温、その後急激に加熱して4~7分の間に沸騰し、余熱が無いため 98°C 以上の適温が保てず温度が下がり、おいしいご飯は炊けない。この組織は膨潤しきれない多角形のデンプン粒(S)や間隙が多い芯状の形態が観察された。

(2) 実験 2

品種の差による炊飯米組織形態の比較では、釜内部をガーゼで仕切り、次の四品種の米を同時炊飯し、実験1と同様に適正加熱過程、早い沸騰加熱過程、沸騰遅れ加熱過程について観察した。試料は①新潟県産コシヒカリ ②岩手県産ひとめぼれ ③岩手県産あきたこまち ④広島県産中生新千本(なかつしんせんぼん)。

1) 四品種の比較

比較しやすいので、やや早い加熱後7分沸騰 98°C 以上20分間経を過ぎた炊飯米組織を900倍で観察した。コシヒカリの細胞内に手まり状のデンプングループ(SG)があり、この中に膨潤したデンプン粒(S)があ

る。大きなものでは直径 $8\mu\text{m}$ 前後であるが(図8-a)、加熱前の米デンプンでは $2\sim 5\mu\text{m}$ と小さい。コシヒカリのデンプン粒は、多角形でありデンプン粒と粒との間隙がグループの周辺部まで鮮明であった。ひとめぼれの組織は、コシヒカリに最も似た形態を持っていた(図8-b)。あきたこまちは、ややコシヒカリに似ているが、グループ周辺部のデンプンは境界の鮮明さを欠いていた(図8-c)。中生新千本はデンプン粒はコシヒカリのように、はっきりした多角形ではなく、グループ周辺部のデンプン粒は密着して観察された(図8-d)。同じ釜内部で同じ温度過程を経たにもかかわらず特にデンプン粒に形態の差が見られた。

2) コシヒカリの澱粉粒配列

コシヒカリでは、グループ内のデンプン粒が直線的に並び二段三段と重なり、あたかも石垣のように見える部分が多い(図3-c, 図8-a, 図9-a, c, e, 図13-a, b, c, f, 図, 図14-b, c, e)。他の品種では、グループの中心から弧または円を描くような粒の配列が観察され、直線的な配列があっても二段三段と重なる構造はみられない。

3) 単粒の可能性

図12の米デンプンの偏光顕微鏡像は、川上による「形成中心を中心とした黒い十字が認められる」ことや図8-a, 図13-b コシヒカリのデンプン粒と粒との鮮明な間隙が、米デンプン粒を覆う膜または隔壁の存在を示唆し、単粒である可能性を示している。一方米デンプンはグループ単位で形成され、これを複粒と言えば複粒であり、残された課題である。

4) 加熱過程と炊飯米組織形態との関係一覽

今回の観察結果をまとめると表1のようになる。炊飯加熱過程ごとに細胞壁、デンプングループ、デンプン粒、加熱が進むと現れる動向性、沸騰が遅れると大量に生じるねばについて整理した。炊飯米の組織形態は部分によって様々な形態があり個体差もある。すなわち本実験結果として掲載した図(写真)はその平均的な部分を選んでいるが、米粒中心部分の写真を得れば表1から炊飯過程の推察はほぼ可能である。また熱による組織形態変化の速度が米により微妙に異なるので、厳密な表を完成するにはさらに品種別の観察が必要である。例えば適正加熱過程コシヒカリ図9-cに動向性は見られないが、図9-dの中生新千本ではとどころどこかに出現しているなど中生新千本の方が熱の影響を早く受けやすい。

(3) 実験3 炊飯量および釜の差による炊飯米組織形態の比較

1) 適正炊飯過程による各種炊飯組織形態の類似

釜の種類や少量大量の炊飯量にかかわらず適正加熱した場合であれば、米粒の組織形態は類似しているのではないかと予測し、①家庭用R社五合炊きガス炊飯器により米420gを適正加熱した米粒(図13-a, b) ②病院給食A社縦型炊飯器内釜で米3kgを適正加熱した米粒(図13-c) ③工場給食ライスボイラーで大量の米28~40kgを適正加熱した米粒(図13-e) ④市販の適正加熱された包装米飯 Sb社280g入り米飯を表示通り高周波出力500W電子レンジ3分加熱した米粒(図13-f) ⑤冷凍保存米「実験3①420gを適正加熱」した試料の一部200gを冷凍保存後 ⑥電子レンジで高周波出力600W4分間解凍し内部温度 80°C になった米粒を観察した。いずれの場合も適正加熱過程を経過しているため、米粒組織は崩壊が少なく、規則性のある好ましい状態の組織形態を維持していた。

2) その他の米

①適正炊飯米蒸らし過ぎ(図13-d)の組織 ②塩飯 ③バターライス ④粥などの組織形態を観察した。

(4) 炊飯に必要な必須条件と沸騰時間の範囲

炊飯過程で最も重要な必須条件は「米デンプンの糊化に必要な沸騰後 98°C 以上蒸らしを含めた20分間の熱量」であり、次に大切な条件は「適正な沸騰時間の範囲」である。1970年代から組織学的に追求してきた局限は、この範囲を求める実験でもあった。今回早い沸騰熱不足を加えて沸騰時間の差、四品種の差、炊飯量の差の実験を通して加熱後8~15分の沸騰が安全な範囲であることを再確認した。この間の組織はいずれも規則性を保ち細胞やデンプングループの崩壊が少なくデンプン粒は良く膨潤していた。

反対に沸騰時間の範囲や米デンプン糊化の時間をおろそかにすると芯の組織が残ったり、デンプングループが崩壊するなど良い状態は得られない。

適正な沸騰範囲であっても11分を過ぎる頃から、部分的に動向性が現れるなど微妙な変化が起こり、ご飯の味や食感などに影響する。米デンプン糊化の必須条件を満たす釜であれば、加熱始めの水温を加減することで、主体的に適正範囲で沸騰時間を選び、好みのご飯を得ることができる。

以上のことは家庭の炊飯、病院や工場給食の大量炊飯さらに市販の包装米飯の炊飯など、大量少量にかか

わらず共通した過程であり「一粒一粒の米が良く炊き上がるために受ける加熱条件」として大切にしたい基本である。

本研究にあたり、長年にわたって、食品形態観察のご指導をいただきました理学・医学博士川上いつゑ先生、当時プレバラート作成についてお力添えいただきました田村咲江先生、故和泉公美子先生、また当初から長年にわたり試料と情報をご提供くださいました橋本萬亀雄様、および試料提供と専門的なご助言をくださいました食協株式会社井尻哲様、恵南悦明様、さらに炊飯米試料を提供くださいました穂山宏子様、工場の炊飯実験に熱心にご協力くださいました当時の国鉄広島工場の皆様、その実験過程を克明に記録された頼實由紀子様にご心より深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 熊田ムメ，今中鏡子：おいしいご飯が炊ける局限の調査Ⅰ，広島文化女子短期大学紀要 3，47-50 (1969)
- 2) 熊田ムメ，今中鏡子，南有田民子：おいしいご飯が炊ける局限の調査 4，広島文化女子短期大学紀要 5，59-68 (1971)
- 3) 今中鏡子，藤井純子，川上いつゑ：炊飯の形態学的考察，広島文化女子短期大学紀要 6，51-57 (1972)
- 4) 二國二郎：デンプンハンドブック，朝倉書店，(1961)
- 5) 熊田ムメ，今中鏡子：おいしいご飯が炊ける局限の調査 2，広島文化女子短期大学紀要 4，51-53 (1970)
- 6) 田村咲江監修：食品・調理・加工の組織学，学窓社，12-13 (1999)
- 7) 川上いつゑ：デンプンの形態，医歯薬出版，4，196-212 (1975)
- 8) エスピー食品株式会社：S & B NEWS LETTER，10-13 (2000)
- 9) 桜井芳人監修，加藤舜郎，藤巻正生，田所吉忠編集：冷凍食品ハンドブック，光琳書院，104-105 (1976)
- 10) 今中鏡子・黒崎敏晴：冷凍サヤインゲンの解凍に関する研究（第 1 報），食品と低温，7(1)，48-53 (1981)
- 11) 今中鏡子・川上いつゑ：冷凍サヤインゲンの解凍に関する研究（第 2 報），食品と低温，7(2)，10-16 (1981)

Summary

In the study, the differences of microscopic view in the cellular structure of cooked rice were closely observed by changing heating process, sort and amount of rice.

In the experiments of the study, rice was washed and 1.5 times the weight of water was added to the rice for cooking. And the following result was obtained.

(1) Experiment 1

In this experiment, the effect of heating process was tested.

- ① When the rice was heated for 8 to 15 minutes before it started boiling and kept at the temperature of over 98°C for 20minutes, the cooked rice tasted good. And when rice was cooked in this way, swollen shapes of starchy granules, some of them were lined in one direction, were observed, and almost all of the cells and starchy group in the rice kept their original shapes. (Figure 3-b)
- ② When the rice was heated for 4 to 7 minutes before it started boiling and kept at the temperature of over 98°C for 20minutes, all of the cells and starchy group (SG) of the cooked rice kept their original shapes and a systematic allocation of them was observed. (Figure 3-c)
- ③ When the rice was heated for 4 to 7 minutes before it started boiling and kept at the temperature of over 98°C only for a short time, starchy granules were not swollen enough and a lot of spaces between them were observed. (Figure 3-e)
- ④ When the rice was heated slowly for almost 20minutes before it started boiling, the shapes of starchy group were not kept and the starchy granules were lined in one direction. (Figure 3-d)

This is the condition where the mount of rice was too much to heat it up quickly. And when rice was cooked in this way, starchy granules were collapsed and burnt by the heat, and caused a burnt smell in the cooked rice. To avoid this kind of trouble in cooking rice, it is necessary to use heated water to maintain the heating time for 8 to 15 minutes before it starts boiling. The relation between the heating time and the conditions of cellular structure of cooked rice is shown in the Chart 1.

(2) Experiment 2

In this experiment, four different sorts of rice, Koshihikari, Hitomebore, Akitakomachi and Nakateshin-senbon, were tested to compare the cellular structure of cooked condition.

- i) To conduct the experiment, the cooking pan of a rice cooker was separated into four sections with gauze, and the four sorts of rice were cooked in the same cooking pan at the same time. Under this condition, the four sorts of rice were heated for 4 to 7 minutes before it started boiling and kept at the temperature of over 98°C for 20 minutes. Then the four sorts of cooked rice were microscopically observed at the magnification of 1,000 times.

The granules in the starchy groups of Koshihikari rice were swollen up to 8 μ m after they were heated though the sizes of the granules were 2 to 5 μ m before they were heated. Also polygonal shapes of the starchy granules and explicit space boundaries between them were observed in the whole cellular structure. (Figure 8-a)

The cellular structure of Hitomebore rice was quite similar to the one of Koshihikari rice. (Figure 8-b)

The cellular structure of Akitakomachi rice was somehow similar to the one of Koshihikari rice, but the space boundaries between the starchy granules were not clear in the surroundings of a starchy

group. (Figure 8-c)

The granules in the starchy groups of Shinsenbon rice were not explicit polygonal shapes and they were mashed in the surroundings though the clear shapes of them were observed in the central part. (Figure 8-d)

- ii) The allocation of starchy granules in Koshihikari rice was characteristic when it was cooked. The starchy granules were lined in one direction, and they were piled up like two or three layers of a stone wall in the many parts of the cellular structure. (Figure 3-c, 8-a, 9-a, c, e, 13-a, b, c, f, 14-b, c, e)

(3) Experiment 3

In this experiment, the effect of the differences in amount of rice and types of cookers was tested.

To conduct the experiment, the following types of rice cookers and amounts of rice were provided, and the cellular structure of cooked rice in each situation was observed.

- ① A rice cooker for home-use with 420 grams of rice (Figure 13-a, b)
- ② A rice cooker for hospital catering service with 3 kilograms of rice (Figure 13-c)
- ③ A rice boiler for office cafeteria-use with 28 to 40 kilograms of rice (Figure 13-e)
- ④ A vacuum packed cooked-rice sold at stores (Figure 13-f)

Although the amount of rice and types of cookers were different, while the rice was heated for 8 to 15 minutes before it started boiling and kept at the temperature of over 98°C for 20 minutes, the cooked rice tasted good in all situations. Thus the cells and starchy group (SG) of the cellular structure in the cooked rice kept their original shapes fairly well, while swollen starchy granules and a systematic allocation of them were observed.

This indicates that a heating condition for cooking good-taste rice should be the same in every situation as in above even though the amount of rice and types of cookers were different.

From this result, the writers really want to emphasize that even a piece of rice can be cooked deliciously as long as the heating condition above is maintained.

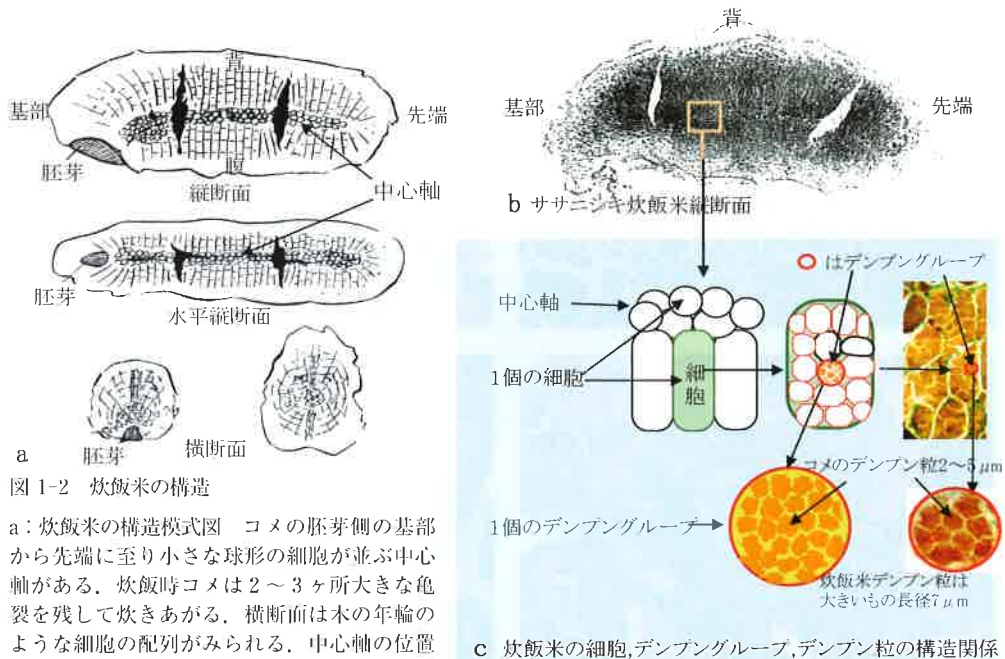


図1-2 炊飯米の構造

a: 炊飯米の構造模式図 コメの胚芽側の基部から先端に至り小さな球形の細胞が並ぶ中心軸がある。炊飯時コメは2~3ヶ所大きな亀裂を残して炊きあがる。横断面は木の年輪のような細胞の配列がみられる。中心軸の位置は、背腹軸の中央から下方を通る品種が多い³⁾。b: ササニシキ縦断面³⁾。中心軸、亀裂が見られる。c: 中心軸付近の細胞とデンプングループおよびデンプン粒の構造関係。コメデンプンは2~5 μm、炊飯米粒では長径7 μmと微細。

c 炊飯米の細胞,デンプングループ,デンプン粒の構造関係

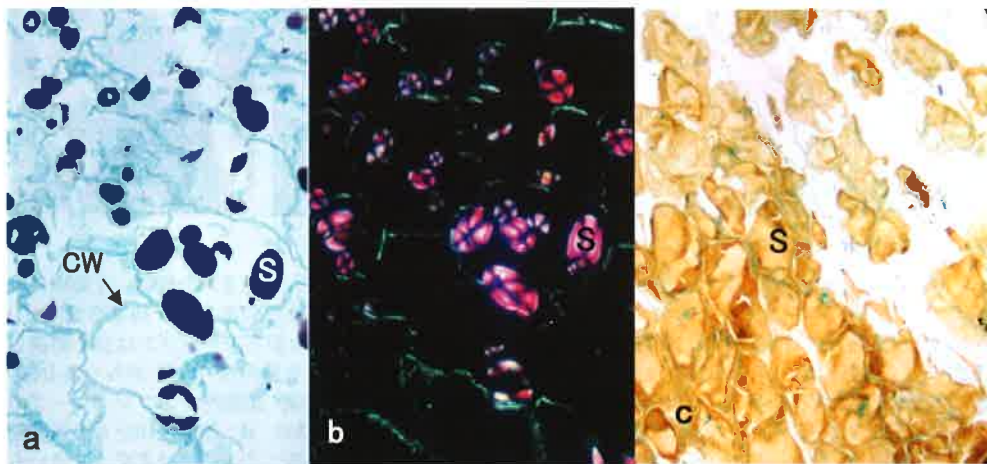


図2 ジャガイモデンプンによる染色法の証明

ジャガイモの切片にライトグリーン、ゲンチアンバイオレットおよびヨード・ヨードカリ三重染色を行い、一般に知られているデンプンを染色 a: ジャガイモデンプン、ライトグリーン部分は細胞壁 (CW)、これで囲まれた部分が1個の細胞、その細胞の中に紫色に好染している物質がある。×135 b: 「a」の標本」を偏光顕微鏡で観察すると、紫色に好染した同じ部分に偏光十字が現れデンプン粉であることが証明される。×135 c: 茹でたジャガイモを同じ染色法で識別、膨潤したデンプンが薄茶色に染まり細胞一面に広がり、デンプン粒 (S) の痕跡も残っている。×135 以上からゲンチアンバイオレットおよびヨード・ヨードカリ染色により、デンプンを識別できることが証明された。

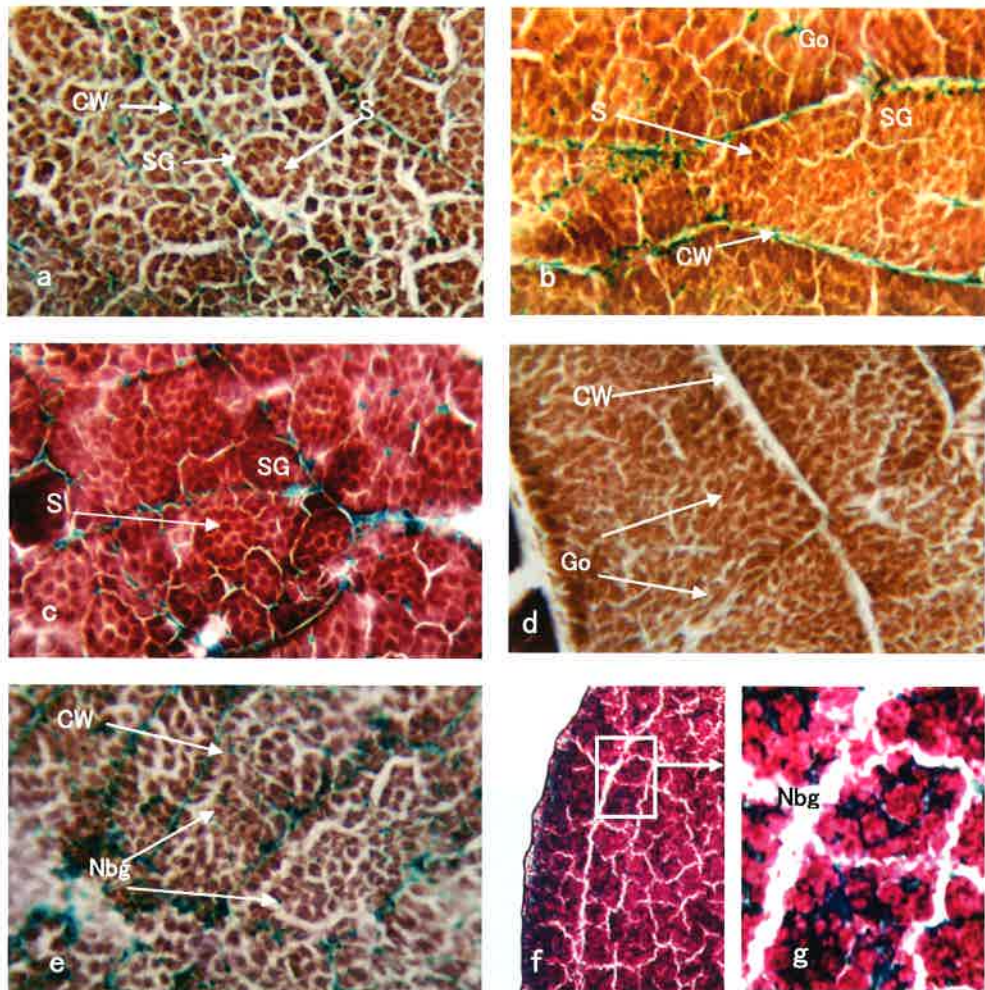


図3 M施設の炊飯米粒および沸騰時間差による炊飯米組織形態の比較

a: M施設の炊飯米組織。鮮明な組織形態、グリーン部分の細胞壁(CW)に囲まれた細胞、その中に幾つかのデンプングループ(SG)があり、デンプン粒(S)が十分膨潤しきれない多角形で観察される。×360
b: 適正加熱過程の炊飯米組織。細胞やデンプングループの形態を残しながら、デンプンは良く膨潤している。よいご飯の組織。また部分的にデンプン粒が同一方向に流れるような動向性(Go)がみられる。×360
c: 加熱後6分と沸騰が早く、その後98°C以上20分間を経過した米粒組織。細胞やデンプングループの形態を鮮明に残しながら、デンプン粒は膨潤している。これもよい状態。×360
d: 加熱後19分と沸騰が遅れた炊飯米組織。デンプングループがほとんど消失し、やや動向性が見られる。このご飯はまずく、臭いも食感も悪い。×360
e: 加熱後6分と沸騰が早く熱不足の組織。膨潤しきれない多角形のデンプン粒がみられ芯(Nb)を残す。芯には組織とは無関係な亀裂(Nbg)が観察される。**f**: 浸漬したコメの組織。亀裂はコメの組織を砕いているように生じ、この部分に吸水する。×90
g: 「f」の拡大。ライトグリーン好染部分は細胞質、赤色好染の顆粒はデンプン粒、白い亀裂(Nbg)部分に吸水、炊飯が始まると徐々に亀裂は消失し、組織本来の規則性を保ちつつ膨潤する。×360
a: M施設の炊飯米組織と **e**: 加熱後6分と沸騰が早く熱不足の組織が類似している。

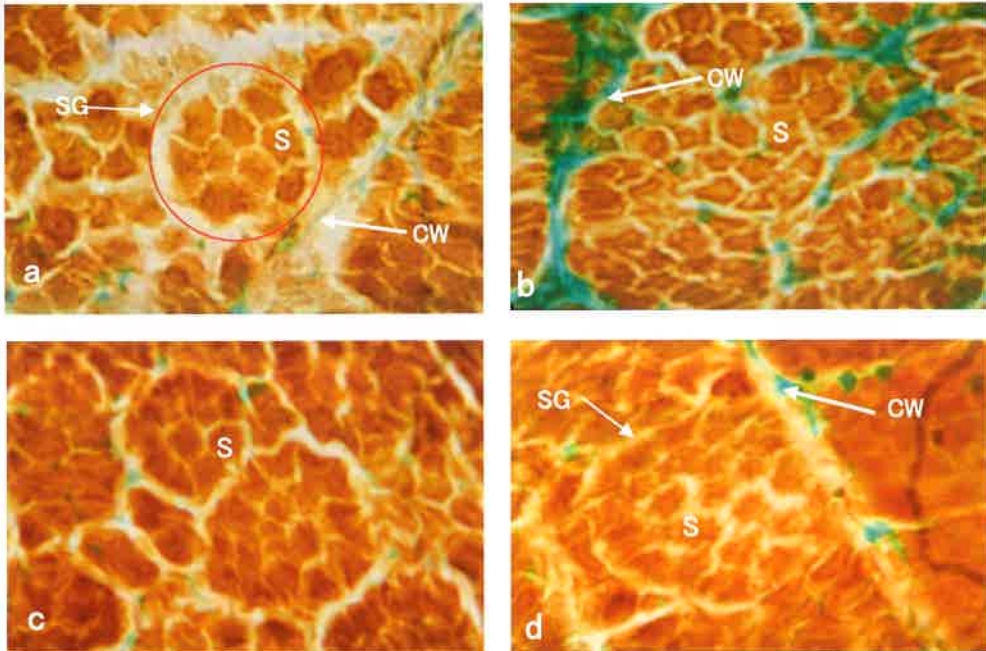


図8 品種別炊飯米組織形態の比較

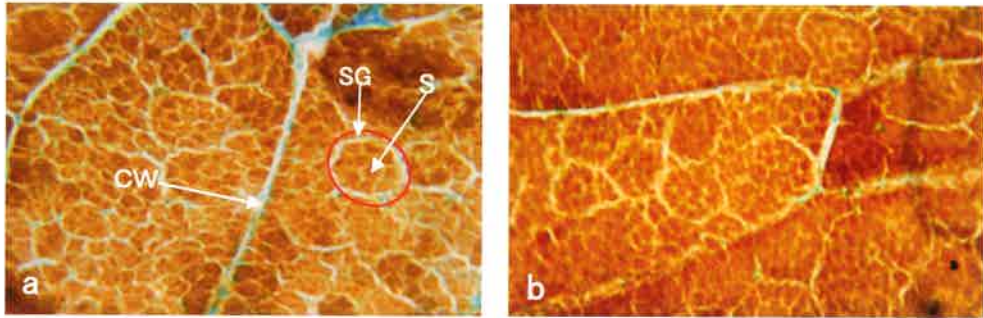
釜内部を仕切り四品種のコメを同時炊飯した。加熱後7分沸騰その後98°C以上20分を経過した炊飯米の組織
a: コシヒカリの炊飯米粒組織、手まり状の固まりがデンプングループ、この中の顆粒がデンプン粒。大きなものでは直径8 μm 前後。十分膨潤しているにもかかわらず多角形であり、粒と粒との間隙がグループの周辺部まで鮮明。×900 **b**: ひとめぼれの炊飯米組織。二代にわたり母方がコシヒカリ、その特性を継ぎコシヒカリに似た形態を持つ。×900 **c**: あきたこまちは母方がコシヒカリ。グループ周辺のデンプン境界は鮮明さがやや欠けるがグループ中央のデンプン粒は多角形。×900 **d**: 中生(なかくて)新千本は母方がコシヒカリと同じ農林22号であるが像はコシヒカリとは異なる。デンプングループ内のデンプン粒はコシヒカリのようにはっきりした多角形ではない。グループ中心部では、個々の粒が見られるがグループ周辺部では澱粉粒が密着して観察される。膜または隔壁が中生新千本の場合はコシヒカリほど境界は鮮明でない。×900
 以上から同じ釜内部で同じ温度過程を経たにもかかわらず微細な形態に差が見られた。比較のため、この説明文の背景に同じ×900のジャガイモデンプンを入れた。大きいものを選び長径87 μm 。膨潤したコメデンプンは8 μm と微細。

Memo コシヒカリのデンプン粒配列の特色

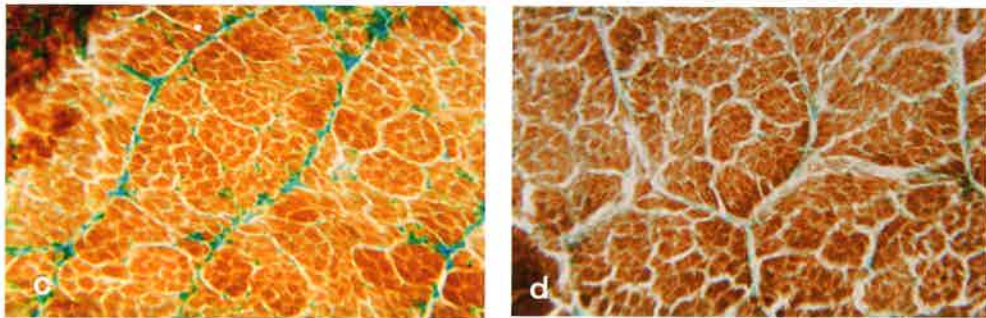
今回の一連の観察から炊飯米コシヒカリのデンプン粒配列が直線上に二段三段と重なった部分が観察され、あたかも石垣のように見える部分が多い。これまでに新潟県産(魚沼を含む)コシヒカリ、石川県産コシヒカリ、千葉県産コシヒカリ、広島県産コシヒカリの組織を観察したが、この全てに見られる特徴であった。他の品種(過去に観察した数種)を観察した範囲では、グループの中心から弧または円を描くような粒の配列が観察され、直線的な配列があってもコシヒカリのように二段三段と重なる構造はほとんどみられない。図3-c, 図8-a, 図9-a, c, e, 図13-a, b, c, f, 図14-b, c, e 参照

ジャガイモデンプン(輪郭) ×900

沸騰が早い炊飯米組織



適正に沸騰した炊飯米組織



沸騰が遅い炊飯米組織

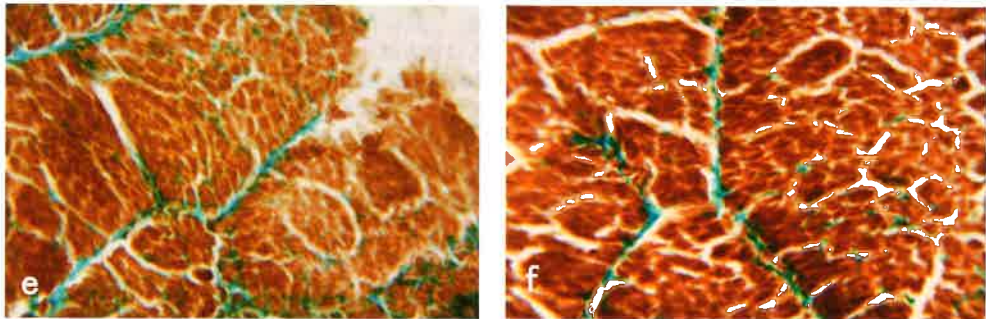


図9 品種別沸騰時間別炊飯米組織形態変化の比較

a: コシヒカリ 早い沸騰 加熱後7分沸騰その後98°C以上20分を保った組織。細胞の崩壊はない(細胞壁: CW)。デンプングループ(SG)とその中のデンプン粒(S)が非常に鮮明。多角形のまま膨潤し粒と粒との間隙がグループの周辺部まで鮮明である。噛みごたえがある良いご飯の組織。×360 **b**: 中生新千本 「a: コシヒカリ」と同じ釜で炊飯した。デンプン粒と粒との境界はコシヒカリのような鮮明さはなくやや不鮮明であるが、デンプンはよく膨潤し、よいご飯の組織。×360 **c**: コシヒカリ 適正沸騰 加熱後11分沸騰後98°C以上20分を保ったの組織。「a」の沸騰が早い像と差がない。×360 **d**: 中生新千本 「c: コシヒカリ」と同じ釜で炊飯した。デンプンは良く膨潤し、デンプン粒が、そろって一定方向に流れて行くような動向性示す部分が多い。×360 **e**: コシヒカリ 遅い沸騰 加熱後19分沸騰後98°C以上20分を保ったの組織。ところどころ動向性が見られるが、デンプングループおよびデンプン粒の崩壊は少ない。×360 **f**: 中生新千本 「e: コシヒカリ」と同じ釜で炊飯。動向性が進んでグループの崩壊が部分的に見られる。澱粉粒の形が無く糊状の部分もわずかにある。×360 今回の沸騰遅れの炊飯米は四種とも較的味がよく、崩壊が少ない組織がそれを裏付けている。

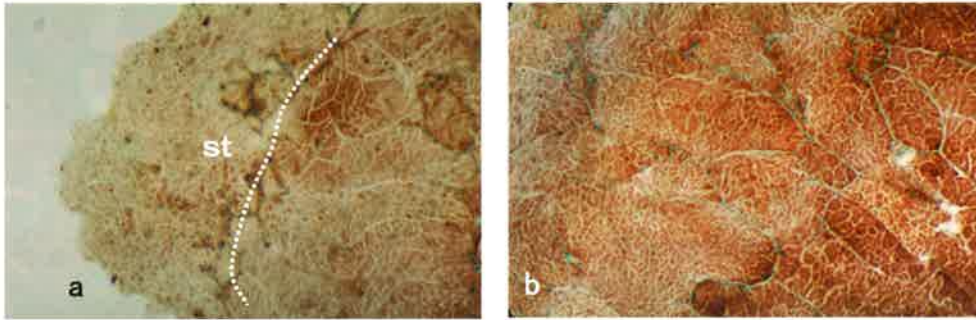


図10 沸騰遅れの炊飯米のねば

a: 沸騰が遅れると米周辺に「ねば (st)」が開始める. $\times 90$ b: 沸騰遅れの炊飯米周辺部 $\times 90$

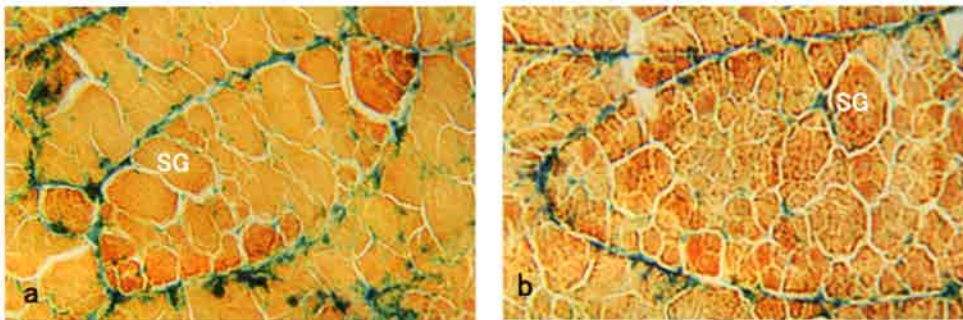


図11 その他のコメ タイ米・カルフォルニア米

中国米, タイ米, カルフォルニア米, 日本米をガーゼで仕切り同時に適正炊飯をした. a: タイ米 デンプングループ内が糊状. 食すと澱粉グループ単位で崩れる. $\times 360$ インディカ種なりに適切な炊飯方法を行うことが大切 b: カルフォルニア米 細胞やデンプングループ デンプン粒ともに崩壊がほとんどなく日本米と差はない. $\times 360$ 中国米もほぼ同様であった.

表1 加熱過程と炊飯米組織形態との関係 (ねば以外は米中心部分を観察)

組織	細胞壁	デンプングループ	デンプン	デンプン粒の動向性	ねばの出現
判断の基準	○は崩壊なし ★は崩壊あり	○は崩壊なし ★は崩壊あり	○は膨潤している ★は膨潤少ない	○は同向性なし ★は出現している	★ねばあり
沸騰早く余熱不足 (沸騰6±2分)	○○○○○	○○○○○	★★★★○	—	—
沸騰早く適度な余熱 (沸騰6±2分)	○○○○○	○○○○○	★○○○○	○○○○○	—
適正沸騰適度な余熱 (沸騰12分)	★○○○○	★○○○○	○○○○○	★○○○○	—
適正沸騰適度な余熱 (沸騰15分)	★★○○○	★★○○○	○○○○○	★★★★○	★
沸騰遅れ余熱 (沸騰20分前後)	★★★★○	★★★★○	○○○○○	★★★★○	★★★★★

適度な余熱と蒸らし: 沸騰後98°C以上蒸らしを含めて20分間経過させる。これはコメデンプンが糊化する必須条件。20分間以上は蒸らし過ぎ、デンプングループが崩壊するなど好ましくない。沸騰時間は炊き始めてから8分~15分がおいしいご飯が炊ける安全な範囲。

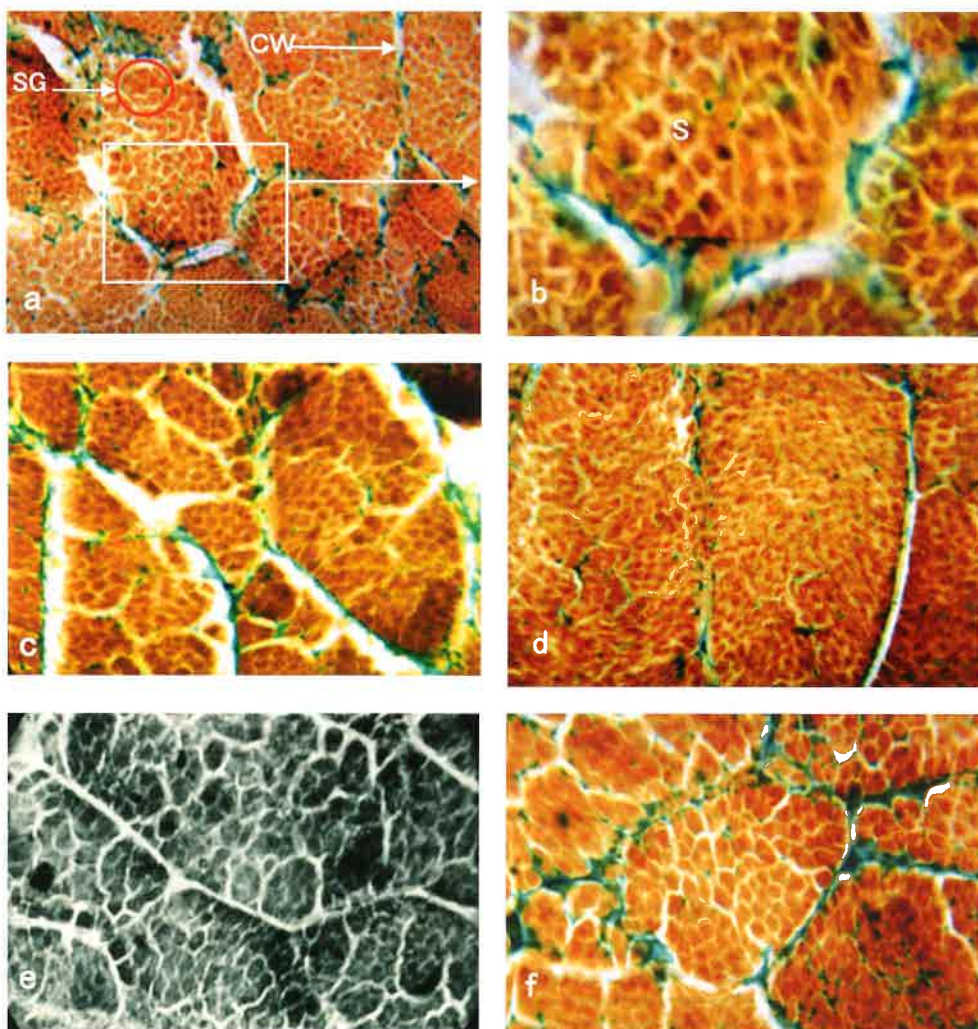


図13 炊飯量および釜の差による炊飯米粒組織形態の比較

a: 家庭用ガス炊飯器五合炊きで 420 g (三合) を適正炊飯した米粒組織。細胞壁 (CW), デンプングループ (SG), デンプン粒 (S) 共に崩壊はほとんど無く鮮明な組織。良いご飯である。×360 **b**: 「a: の一部を拡大」した組織。味も良くコシヒカリの特徴である石垣状の配列と多角形のデンプン粒 (S)。それぞれの粒を覆う比較的熱に強い膜状物質の存在を示唆している。×360 **c**: 病院給食縦型炊飯器 米 3 kg を適正炊飯した米粒組織。デンプン粒が膨潤しながら鮮明な組織。良いご飯の組織。×360 **d**: 「c: 病院給食コメ 3 kg を炊飯した」ものを取り出さず外釜に入れたまま30分経過した蒸らしすぎの米。デンプングループが崩壊した部分が多い。弾力性を失い水っぽく柔らかで好ましくない状態に変化した。×360 **e**: 工場給食ライスポイラーで大量のコメ 28 kg 炊飯した米粒。歯ごたえのあるご飯に仕上がった。終始 2.0 kg/cm² で炊き 8 分で沸騰、その後16分経過 (加熱後24分) してに蒸気を切ってドレンコックを抜く。沸騰後 98°C 20分経過を確認。×360 **f**: Sb 社の包装米飯 280 g 入り。表示通り 500 W 電子レンジ 3分加熱し88°C の米粒 (コシヒカリ)。組織も味も良いご飯。適正加熱過程後無菌状態でバック詰めを行ったもの。×360 以上のように釜の種類炊飯量にかかわらず適正加熱過程で炊飯された米粒組織 (a・b, c, e, f) は崩壊が少なく、鮮明なデンプングループ (SG) やデンプン粒 (S) が観察され、デンプンは良く膨潤している。ところどころ動向性がみられる。

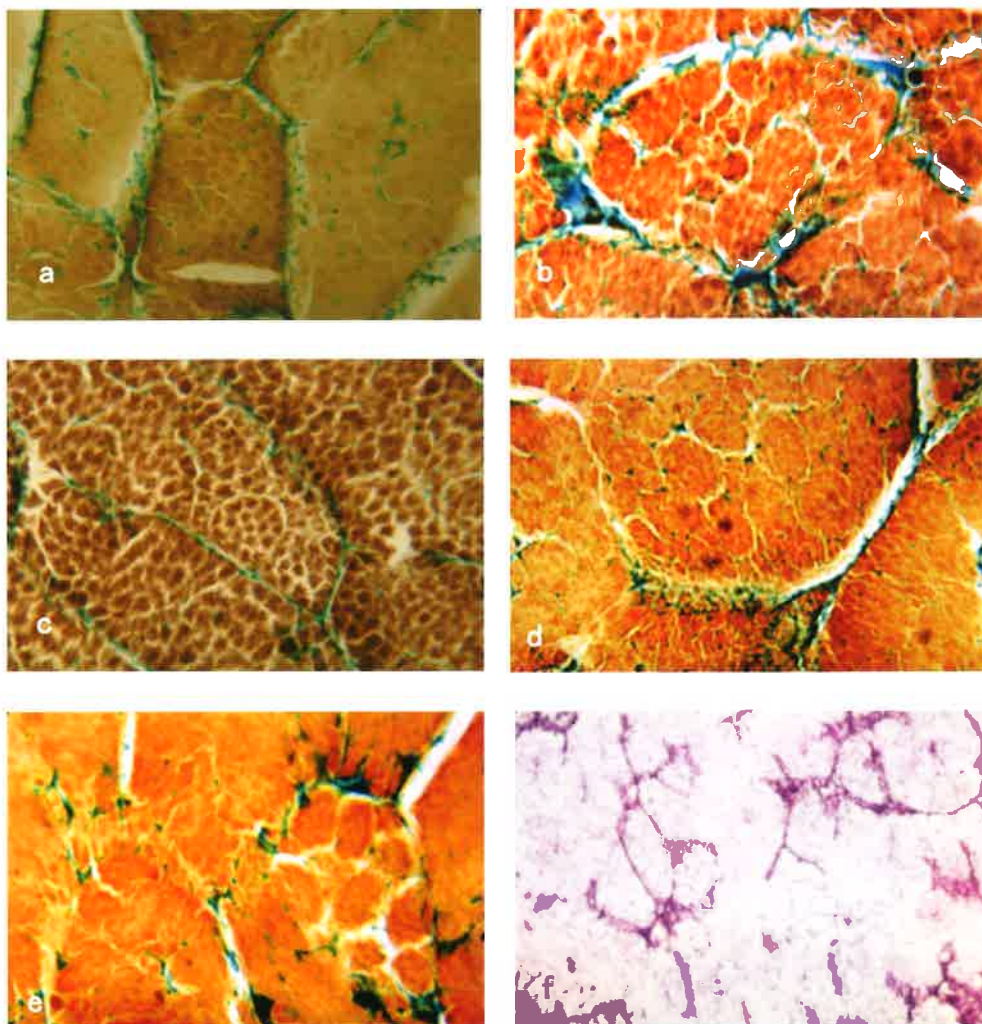


図14 冷凍・解凍米，塩飯，バターライス，粥 他

a：冷凍米 解凍せず。「図12-a」の炊飯米の一部を冷凍した組織。細胞の崩壊は少ない，デンプン粒，デンプングループともに不鮮明で糊状部分が多い。×360 **b**：解凍米 「a：冷凍米」を電子レンジ高周波出力600 W 4分間行い内部温度 80°C になったもの。デンプングループ，デンプン粒ともにコシヒカリと判断できる程度に回復している。×360 **c**：塩飯 細胞やデンプングループおよびデンプン粒の崩壊が少ないが，この図以外の部位や個体ではデンプン粒が膨潤していないなどの像がみられた。塩を加熱以前から加えたため，組織への吸水に影響があると推察。×360 **d**：バターライス ここではデンプングループが観察できるがこの図以外の部分や個体により様々な像がみられる。炒めの過程や炊飯中の吸水が複雑なため，多様な像を持つと推察。×360 **e**：粥（コシヒカリ）細胞内でデンプン粒やデンプングループの痕跡が失われている部分が多いが，部分的に澱粉グループとそこに中に澱粉粒が残存。×360 **f**：炊飯米たんぱく質アクロレインシッフ染色。×90