

## 新解説

# グルテンフリー食品への米の利用 (1)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)<sup>1, 2</sup>

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)<sup>3</sup> 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)<sup>3</sup>

Key Words : グルテンフリー 米の利用

本論文「新解説 グルテンフリー食品への米の利用 (1)」は “Gluten-Free Cereal Products and Beverages” (Edited by E. K. Arendt and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER) の第4章 Rice by Crisina M. Rosell and Cristina Marco の一部を翻訳紹介するものである。

### 紹介

米は人々の食生活にとって最も重要な食品の1つであり、歴史上、最も普及した収穫穀物の1つである(全栽培土壌の9%)。事実、他の収穫物に比べ、より多くの人々の食物であり、今日まで米は世界の人々の2/3、ほぼ25億人の食物として支えてきた。しかし、国によって米は食品への寄与の仕方が多種多様であり、加工されるタイプも実にいろいろである。米は主に白米として消費されるが、この10数年間は、その成分として含む数十の食品がマーケットに現れている。米は *Oryza sativa* と *Oryza glaberrima* の異なった2種の品種が栽培されているが、その他に約22種の野生種がある。*Oryza sativa* はアジアの熱帯湿地に原生していたが、現在では世界中で栽培されている。一方、*Oryza glaberrima* はこの3500年間、西アフリカで栽培されてきた。

米は世界の全穀物生産の29%に達し、小麦、コーンの生産と比較される。栽培は発展途上国に集中し、主には東部と中部アジア周縁が主で、そこでは全世界生産の91%を占める(FAOSTAT, 2007) (図4.1)。中国(30%)は世界の最大の米生産国で、インド(21%)、インドネシア(9%)、バングラデッシュ(6%)と続く。アジア、アメリカ、アフリカの残った地域では、各々全世界の37%、5%、3%の米生産をして

いる。米と米ベースの製品で人が利用する量は国によって違っているが、殆ど米生産量に対応している。僅かな例外を除いて、実際には米生産のすべては生産者の国内で消費される。毎日の食事の最大消費はミャンマーで見られ、795g/一人当たりである。アジアでの米の平均食事消費量は285g/一人当たりで、先進国の消費量一人当たり米44gを上回る。今日の3大米消費モデルがある(Infocomm, 2007); アジアモデルは平均年消費量一人当たり80kg以上; 亜熱帯、発展途上国モデルは30-60kgの間; 西欧国モデルは10kg以下の消費である。この10年間、米消費量は発展途上国で次第に低下し、この傾向は新しい画期的な米ベースの食品の開発研究を促すものである。明らかに2000年には400以上の米を含む新しい製品がマーケットに現れ(Wilkinson and Champagne, 2004)、所謂、米消費増加のためにデザインされた新しい先鞭の結果である。

米は発展途上国で摂取される全エネルギーの27%に相当し、それは発展国で消費される全エネルギーの僅か4%である。他の穀物のように米は安価なタンパク質供給源であり、発展途上国で米は食事タンパク質の20%を供給する。

米粒の成分は、生育する栽培地、環境要因、加工法に依存する。米は多様な条件下で栽培されるが、

<sup>1</sup> 神戸女子大学, <sup>2</sup> 日本穀物科学研究会会長, <sup>3</sup> 神戸女子短期大学

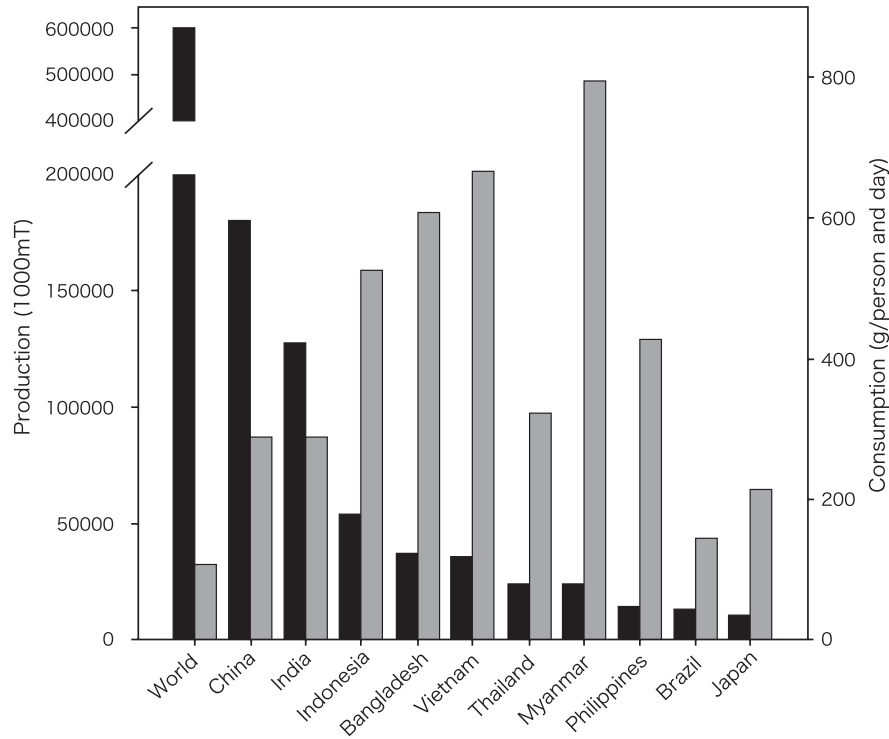


図 4.1 世界最大の米生産国間の水稲生産量（黒）と消費（灰色）1人、1日当たりのグラム数を示す。データは FAOSTAT (2004) による。

表 4.1 米粒と米粉 (100g 当り) の米成分とエネルギー値

		もみ米	精米	全粒粉	白粉
Carbohydrates (%)		77.2	79.9	76.5	80.1
Proteins (%)		7.9	7.1	7.2	5.9
Dietetic fiber (%)		3.5	1.3	4.6	2.4
Lipids (%)		2.9	0.7	2.8	1.4
Minerals (%)		1.5	0.6	1.5	0.6
Lipids	Saturated (g)	0.6	0.7	2.8	1.4
	Monounsaturated (g)	1.1	0.2	1.0	0.4
	Polyunsaturated (g)	1.0	0.2	1.0	0.4
Minerals	Calcium (mg)	23.0	28.0	11.0	10.0
	Iron (mg)	1.5	0.8	2.0	0.4
	Magnesium (mg)	143.0	25.0	112.0	35.0
	Phosphorus (mg)	333.0	115.0	337.0	98.0
	Postasium (mg)	223.0	115.0	289.0	76.0
	Sodium (mg)	7.0	5.0	8.0	0.0
Vitamins	Vitamin E (mg)	1.2	0.1	1.2	0.1
	Vitamin K (mg)	1.9	0.1	-0.0	
	Thuamine (mg)	0.4	0.1	0.4	0.1
	Riboflavin (mg)	0.1	0.0	0.1	0.0
	Niacin (mg)	5.1	1.6	6.3	2.6
	Pyruodixine (mg)	0.5	0.2	0.7	0.4
	Folate(μg)	20.	8.0	16.0	4.0
	Pantothenic acid (mg)	1.5	1.0	1.6	0.8

湿気、温暖環境下ではより早く生長する。米粒には短、中、長粒がある。それらは粘性、あるいはもち性、そして非もち性で、異なった色の品種があり、その中には黒から赤、茶色が含まれる；ある種には芳香さえある。殻を外した米粒は、粒を覆っている3種の果皮層の色により褐色である。米粒は、炭水化物複合体に富み、タンパク質、ミネラル、ビタミン源、主にビタミンB源であり、コレステロールは含まない(表4.1)。米粒の化学組成は製粉時に変化する。ふすま層の外側の除去は、タンパク質、脂質、多パーセントの繊維、ビタミン、ミネラルの損失原因となる。鉄、P、K、Mgはこの穀物の最も重要な金属である。外皮は粒の20%を占め、シリカとヘミセルロースからなる(Champagne *et al.*, 2004)。炭水化物は米の中に最も多い成分であり、そのうち約80%はデンプン(14%水分含量)である。

米デンプンはグルコースポリマーのアミロース、アミロペクチンからなり、米の種類によってその比較は異なる。米粒中のデンプンの含量は表面から中心に向かって増加し、そのため磨いた米(精米)はデンプンに富んでいる。米デンプンはアレルゲンでは無いと考えられているが、存在するのが低刺激性タンパク質のためである。デンプンは米粒の物理的性質、および機能性を決め、これらの性質は大きくアミロース/アミロペクチン比に依存する。アミロペクチンは枝のあるポリマーで、直線ポリマー(アミロース)より多い。しかしながら、アミロースは科学コミュニケーターからより関心がもたれているのはその調理品質の指標と考えられるからである。米デンプンでは、アミロースを欠いたものを“waxy, もち”とよび、waxy座における突然変異のためにおこり、あるいはその不透明な様相から“glutinous”とよぶ。米デンプン構造、機能の性質に関する完全な情報が、最近Fitzgerald(2004)によってレビューされた。

タンパク質は2番目に多い精米中の成分で、6.3-7.1g(Nx 5.95)である。タンパク質濃度は粒の外から内に向かって低下し、不可欠アミノ酸リジンに欠乏している。アルブミン、グロブリン、プロラミン、グルテリン含量が穀物中でユニークであり、グルテリンの高濃度とプロラミンの低濃度である(Hamaker, 1994)。他の穀物と比較した時、この特性はリジンの高含量を決めた。最も多い不可欠アミ

ノ酸は、グルタミン酸、アスパラギン酸、ロイシン、アルギニンで、続いてアラニン、バリン、フェニルアラニン、セリンである。脂質はあまり知られていない成分ではあるが、栄養的、感覚的、機械的特徴に寄与し、アミロース鎖と複合体を作る。米脂質はデンプン性と非デンプン性脂質に分けられる。脂質の大部分は非デンプン性脂質であり、アリューロン層と胚芽中に存在する中性脂質で、少量の糖脂質とリン脂質を含む。最近、ある脂質が、ガンや心臓病のようなクローン病の広がりに米の役割と関係あるとされた(Watkins *et al.*, 1990)。

## 米粉生産とその性質

### 米粉生産

#### 製粉

米は収穫され脱穀され、いわゆる水稻、もみ米で、そこでは粒は未だ殻あるいは外皮内にある。小麦に関しては、製粉とは米を作るのに一般に用いられる方法であり、米産業では製粉という言葉は加工ということの意味し、小麦製粉とは完全に異なる。小麦では製粉して粉を得るが、一方、米の製粉は殻の除去を意味し、内胚乳のふすまを除去し、最後には壊れて変形した穀粒の除去である。米の製粉は大きくその成分を変える。

先進国では、米の製粉は非常に洗練された加工法を含む。初めに水稻は米粒より大きなものを目の荒いスクリーンを通して、藁、石、他のゴミ、除いてきれいにする。このプロセスは、繰り返す、細かなスクリーンで小さな雑草の種子、砂、石、他の米粒より小さなものを除く。密度でものを分ける比重テーブルで、石と米を分ける。どんな金属粒子も磁石で分離する。この洗浄段階の後、ハスクは米を2段階の回転ゴムローラーを通して除去するが、それは異なったスピードで反対側に回転するローラーである(Bond, 2004)。玄米は皮を除いて得られる。このものはそのままでも食べられるし、搗精して白米にするかあるいは異なったものや副産物に加工して食べる。茶色はふすま層の存在によるため、それは鉄とビタミンに富む。

精米はまた、精白米として知られ、搗精米、あるいは白米としても知られる、玄米からふすまと胚芽を除去して得られる。搗精米用の多くの機械、方法があるが、しかし時には摩擦と研磨のシステムがつ

づく研磨システムが用いられる。初めのステップで、95%のふすまは研磨剤で除去され、それは粒を研磨面に接触させて行う。最終的に粒の表面に残ったふすま層は、研磨白色装置で粒と粒の間をこすり付けて除去する。搗精程度は直線的に研磨時間で増加しない (Lamberts *et al.*, 2007)。搗精プロセスの間の変化が観察されたが、ふすまの堅さの違いのためである；ふすまの堅さは外から内の層に向かって低下する。しかしながら、内胚乳区分は異なっても同じ堅さである。ふすまから内胚乳への移行は、搗精の程度がほぼ9%になった時に到達する。

米の色は重要な品質上のパラメーターであるが、搗精の程度に関係するが、それは色素の分布が粒の中で均一ではないためである。生の米粒と米粉の輝度は搗精の程度により上昇するが、それはふすまと外側の内胚乳が除去されるまでである。ふすまと内胚乳外側はより、内胚乳の中心あるいは中核部よりも赤、黄色の色素を多く含むからである。しかしながらこれらの色素は、内胚乳中間部、中核部に均一に分布している。

殆どの米は粒として食べる。しかしながら米粒は地面でひび割れするか、あるいは乾燥の間、または搗精プロセスの間もひび割れする。これらのひび割れは、粒が壊れた米をつくる。米の製粉では4-40%の壊れた粒の生成がおり、それは米の品種と搗精装置によるためである。壊れた粒は選別機で全粒と分けるが、それは調理の間それらがどろどろになる傾向にあり、このため食用の品質を低下させるためである。こわれた粒は、最終利用 (醸造、スクリーニング、製粉) 用にとりもついろいろなサイズに分ける。幾つかの国では、こわれた米はそのまま売られるが、製粉した米より値段は安い。破碎した米は、ビール製造、高フラクトースシラップ、粉、高タンパク質粉、デンプン、マルトデキストリン、グルコースシラップ、家畜用餌、スピリッツ、蒸留酒に用いている。

結論として、米から精米、破碎米、米ふすま、皮、外皮をえる。価値を与えた多くの製品が米から発達し、例えば昔からの加工米 (おかゆ、発芽米等)、米粉、ふかした米、および乾かしてかりかりにした米、朝食用セリアル、スナックがある (Barber and Benedito 1970, Nguyen and Tran, 2000; Wilkinson and Champagne, 2004)。

## 研削

砕かれた米粒は3つの異なった方法で粉に挽くことができる (Yeh, 2004) ;

- (1) 湿らせた粉碎は、まず初めに砕かれた粒を水中に浸ける。水から引き上げ粒を水の存在下で砕くが、それは損傷デンプン量を減らすためである。過剰の水は乾燥で除去し、粉は再び再粉碎し、湿米粉を得る。この生産物はいろいろなアジアの特殊なものに用いられ、例えば日本のケーキ、台湾のケーキ、インドの発酵食品等である。
- (2) 湿研削を0.3-0.5%NaOHの存在下で行うことが米デンプン、米マルトデキストリン、シロップの調製時に用いられる。
- (3) セミドライ研削はまた、浸ける、引き上げる、そして過剰の水なしで研削する。乾燥の研削も可能である；この場合破碎した乾燥粉は直接に湿米を直接異なったサイズへと砕く。乾燥米粉は、ベーキング、ベビーフード、エクストルージョン料理製品、高タンパク質粉製品に用いられる。

## 米粉の性質

米のバラエティは、その栽培地域、粒サイズ、アミロース含量で分類される。インデカ米はインド、バングラデッシュ、ベトナム、タイ、パキスタン等で育ち、一方、ジャポニカ米は中国北部、中部域同様、日本、韓国で栽培される。穀粒のサイズに基づいて、米は長 (6.6mm 以上)、中 (5.5-6.6mm の間)、あるいは短 (5.5mm 以下) に分類できる。アミロース含量はモチ (1% 以下のアミロース) とウルチ (アミロース 10% 以上) で異なる。米は主に精米として用いられ、このため米の異なったタイプの中で第一の違いは、その物理—化学的性質の違いもあるが、料理の特徴に反映する (Vasudeva *et al.*, 2000)。米粉は完全な穀粒から得られるが、搗精プロセス間に壊れた粒殻からも得られ、そのコストは全精米粒よりも安価である。一般に米粉は粉碎親粒と同じ化学組成である。米粉の特徴は、固有品種のバリエーション、生育環境の違い、粉碎方法、研削方法、事前の処理の違いによって変わってくる。

米粉は主にはアミロース含量が異なり、そのため糊化温度が変わり、一般的糊の性質、粘弾性が変わ



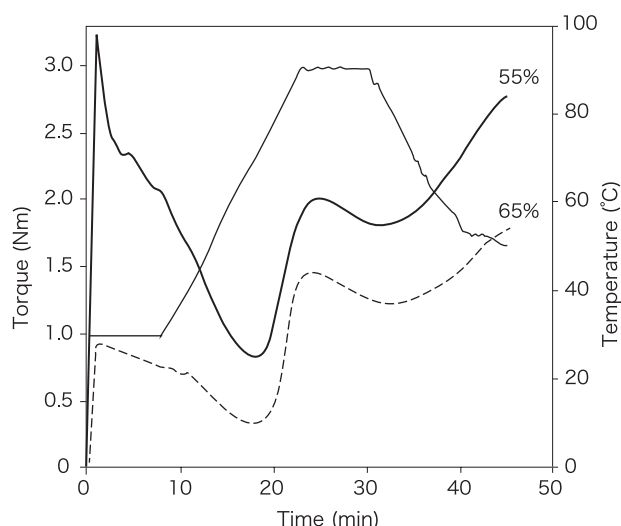


図 4.2 異なった加水量を加えた場合、混合、加熱、冷却中の米生地挙動の Mixolab 分析  
温度:太線。数字は、生地混合のために加えた水の量(粉ベースでパーセント表示)。

る (Fan and Marks, 1998; Singh *et al.*, 2000; Meadows., 2002; Saif *et al.*, 2003; Rosell and Gomez, 2006)。糊化性質の分析は米粉の性質の特徴を示す有用な方法で行われる。アミログルフは古くから用いられる機器であるが、最近では rapid viscoanalyzer (RVA) に置き換わったが、RVA は精度、感度、迅速性が高く、糊化性をより良く理解をさせてくれる (Meadows, 2002; Gujral *et al.*, 2003a)。米粉の糊化の性質は大きく品種による；事実、米栽培者は良く RVA を米品質の指標としている。栽培品種 Bomha と Thaibonet の米粉は、より高い糊化温度を示すがこれは高糊化温度と低ピーク粘度によるもので、高アミロース含量からくるためである。これらの性質は典型的には長粒による (Rosell and Gomez, 2006; Rosell and

Collar, 2007)。しかしながら、Bomha は非常に短粒であり、料理用の間、長粒の用に振る舞う。Bomha 粒は、高温保持サイクルの間、低粘度のブレイクダウンを示し、冷却の間、老化の傾向を示すはつきりした粘度増加を示す。そのため粒長だけで米の糊化性質を示すことには用いられない。対照として、Bahia と Senia はより高ピーク粘度とより低い糊化温度を示し、そしてその両方は加熱、冷却の間、同じ性質を示す。

近赤外スペクトロスコープは、タンパク質とアミロース含量の迅速測定技術である (Miryeong *et al.*, 2004)。マーケット上に現れた新しい装置の一つに Mixolab がある (Chopin により開発)。Mixolab で、粉の攪拌と糊化の性質が (即ち、粉の機械的、熱的制約下に於ける性質) 決まる (Bonet *et al.*, 2006; Rosell *et al.*, 2007)。得られたプロットから外挿して有用な情報が得られた。加熱サイクルスタート前の最初のカーブの部分から、粉の吸水性が求められる。トルク 1.1Nm の対象は Brabender Farinograph の 500BU に相当する。2 番目カーブの部分は、RVA の普通得られるものと類似のものである。しかしながら Mixolab はドウシステム中で働くのに対し、一方 RVA 分析は懸濁液中で働く。アッセイの間、カーブの異なるスロープは、粉の異なる性質に関係がある：加熱によるタンパク質ネットワークの弱体化のスピード ( $\alpha$ )；糊化速度 ( $\beta$ )；および酵素的分解スピード ( $\gamma$ ) による。例えば、Mixolab は米粉の性質への水添加効果を示す (図 4.2；表 4.2, 4.3)。

水添加増加にともなって、ドウの希釈効果と一致してドウ物性の低下が求められた。この違いは攪拌

表 4.2 Mixolab 実験から得られた米粉性質への異なった加水量添加時の影響

Water level (% flour basis)	Development time (min)	Maximum consistency (Nm)	Amplitude (Nm)	Stability (min)	Minimum torque (Nm)	Peak torque (Nm)	Torque at the end of heating (Nm)	Final torque (Nm)
55.0	1.18	3.25	0.276	0.9	0.82	2.01	1.81	2.78
65.0	1.62	0.93	0.051	1.12	0.33	1.48	1.22	1.78

表 4.3 異なる加水量添加時の米粉生地の Mixolab 曲線から得られたパラメーター

Water level (% flour basis)	Derived parameters				
	Cooking stability	Setback (Nm)	$\alpha$ (Nm/min)	$\beta$ (Nm/min)	$\gamma$ (Nm/min)
55.0	0.90	0.97	-0.156	0.340	-0.018
65.0	0.82	0.56	-0.090	0.384	-0.042

ステップ間（カーブの初めの部分）により大きくなり、そこではドウが機械的拘束により影響され、タンパク質が主な役割を演じているのである（Rosell *et al.*, 2007）。しかしながら、加熱と冷却サイクルの間、異なる水分含量のサンプル間の違いは低下する。システム中の水存在量は、デンプン糊化に限界があるが、多量のデンプンの糊化には十分であった。

製パン用に適した粘性に達するために、米粉ドウは小麦粉ドウに比べて非常に高い水和を要求する。大量の水の添加は、攪拌の間にドウ性質のかなりの改良を導く（例えばより高い安定性）。加熱—冷却サイクルの間、より高い水和ドウはより低いピークトルク（これはデンプン糊化に関連する）を示し、さらに冷却の最後にはより低い最終トルクを示し、それはデンプンの希釈効果のためである。より水和した米粉ドウはまた、より低いセットバック（アミロースの老化傾向に関係）を示し、それはアミロース希釈によるため、一方、デンプンの糊化程度（ $\alpha$ ）、酵素的分解スピード（ $\gamma$ ）は多量の水利用で増加する。糊の性質がベーキングの間の動きに影響するために、特に粉がベーキングをきめる際には注意深い粉砕に用いる米品種の選択が薦められる。

一般に、長粒品種は中間粒あるいは短粒品種よりもアミロース含量が高く、高い糊化温度を示し、より老化傾向が大きい。米粉はもち米品種からも得られる。これらのもち品種はアミロース含量が1%以下で、低糊化温度（61–62°C）を示す。例えその性質がベーキングに適してなくともこれらの粉はマイナーな成分として用いる事ができる（Bean *et al.*, 1984）。環境の違いがまた、米粉の糊の性質を決めるのに顕著な役割を演じる。実際には、Minh-Chau-Dang and Copeland (2004) が、3種の異なる米品種（Doongera, Langi, and Kyeena）の糊の性質への生長季節、場所の違いの影響を調べた。遺伝子タイプ、生長季節、栽培場所、全てが米粉の糊化の性質に影響する。

生長季節が最も寒冷のものは、各栽培品種のアミロース含量が顕著に高く、その結果、アミロース含量のより低いサンプルよりもRVAトレースで低いピーク粘度と高いセットバックを示す。同じ米栽培品種が同一季節に他の場所で生長する時、得られた粉には科学的成分に顕著な違いは無かった。しかしながら、顕著な違いが糊化の性質にあり、環境の影響

は米の糊化の性質に影響する事がわかる。結論から言うと、米粉の糊化の性質は遺伝子タイプに関係あり、環境要因で影響を受けるが、粒の細かな変化は化学分析では判らないという事である。

米粉の物理的性質は、また収穫と製粉の間の経過時間によっても影響を受けるが、それは貯蔵前の乾燥プロセスに用いた温度によるものと同じであった。収穫時の米水分含量の米粉の性質への影響が、長粒、中粒米で研究された（Lin-feng-Wang *et al.*, 2004）。粉のピーク粘度は、米の機能性とパフォーマンス（できばえ）を示すもので、米収穫時の水分含量の低下にともなって増加する、しかし増加のスピードは米品種、生長場所によって影響される。さらに貯蔵期間、温度は顕著に米粉のエンタルピー、糊化温度、老化に影響する事がわかった（Fan and Marks, 1999）。

最近、Zhou *et al.*, (2003) は、米貯蔵の時間と温度も各栽培品種のRVA米粉糊化カーブに影響することを観察した。この実験で、タンパク質のプロフィールの変化が観察され、そこには高分子量ペプチド量の増加と貯蔵時間の間のポジティブな関係が認識された。事実、オリゼニンの構造と性質の変化は、デンプンよりも、貯蔵と結びつく米の物理的性質の変化に関係が大きかった（Teo *et al.*, 2000 ; Patindol *et al.*, 2003）。製粉工程の条件は非常に重要であり、テンパリングの間、多くの乾燥ステップと温度は大きく米品質に影響する（Correa *et al.*, 2007）。2段階、あるいは3段階目の乾燥は、1段階目の乾燥に比べ乾燥による割れ目%を低下させる（Aquerreta *et al.*, 2007）。高温でのテンパリング（60°C）も乾燥ステップ数とは関係無く割れ目粒の%を低下する。用いる研削法も、米粉の機能的性質に影響を与える。製粉の方法とタイプは、米粉の粒子サイズを決め、また損傷デンプン量を決める。Nishita and Bean (1982) は、異なった製粉機で得た米粉の性質について比較研究した。

ローラー製粉機は米粉を中間の粒子にし、ベーカーリーに都合良い状況にする。対照としてバー製粉機は、多少あらっぽい粉にし、製パンでは低品質用のものを作る。ハンマー製粉機を利用すると、高レベルの損傷デンプンを含むより細かな粒となり、製パンには十分ではないが、ケーキ製造には用いる事ができる。糊化性質では、より大きな粒子サイズの粉

は、低いピーク粘度と 50°C で最終粘度（老化への低い傾向）となり、一方、中間あるいは小粒子の粉は、どんな顕著な変化もその性質に示さなかった。

DSC で得たエンタルピー結果は、粉碎の間のデンプン損傷の程度を示す。より低いエンタルピー値はより高いデンプンの損傷と関係ある。(TSL) (熱刺激ルミネッセンス) も熱分析技術として用いられるが、TSL で観察されるものは、標本においては永久の相変化によるものである (Murthy *et al.*, 2007)。照射した米粉をこの技術で調べ、電子/ホールトラップ生成に TSL ピーク強度の増加が見られた。

他のルミネッセンス技術は光ルミネッセンス (Katsumata *et al.*, 2005) である。光ルミネッセンスのピークの強さは、米の品種の違いとその起源によって異なる。光ルミネッセンスの 2 次元イメージは、この技術を米製品の品質コントロールの目的で非破壊的迅速評価として大きく用いられ、異なった品種のブレンド、コンタミ、外国サンプルの検知を可能とした (Katsumata *et al.*, 2005)。粉のレオロジー的性質は、温度、水分、脂質含量によっても影響される。Dautant *et al.*, (2007) は、一定の水分含量下で粘度は温度が上がると低下すること、そして適用される温度に関係なく、ずり速度が上がると低下することを見出した。このずり速度が上がると粘度低下する事は、材料の擬似性を示す。水分あるいは脂質含量 (5% まで) の増加は、また粘度を低下させる。エクストルージョンプロセスの間、米粉は調理される。そこで、食品産業に用いられるベストの加工条件を決めるとき、重要な事は米粉の特性を考慮する事であり、それは最終製品の品質に影響するためである。

通常、米粉は精米からか製粉粒からも得られるが、時には玄米が製粉に用いられる事もある。玄米から得られた粉は、同じ製粉したものより 13–17°C 糊化温度が高く、そして約 40% 大きな糊化エンタルピーを示す (Normand and Marshall 1989)。玄米からの粉は高含量の繊維、ビタミンを含み、穀粒の外側の粒中にそれらは富んでいる。これらの成分は特に焼

き物に感覚的性質 (色, テクスチャ, 味) を与える。しかしながら玄米粉は非常に短い保存期間しかない。これは活性リパーゼとリポキシゲナーゼの存在によるため、これは遊離脂肪酸の放出により、酸化が始まり製品の味に苦みを与える。これらの粉の安定性は貯蔵中の温度、湿度の低下、あるいは不活性大気を用いる事で増加が起こる；しかしながらこれらの修正は製品のコストに影響する。変わったものとして、玄米粉は、既にひいた米粉に製粉したふすまを適当レベル添加する事でも調製することができる。この場合、ふすまは化学的、物理的処理を事前に行いその安定性を確かなものにして保存性の延長を確かなものにする事ができる (Champagne *et al.*, 1991; Champagne and Grimm, 1995)。異なったやり方でふすまの脂肪を除去する。米ふすまを脱脂、あるいはしない場合も、小麦ベース製品の繊維、ビタミン源として用いる事ができる (Lima *et al.*, 2002)。

米粉は調理した米からも得る事ができ、その加工で定常および動的剪断におけるレオロジー的性質を修正する (Chun and Yoo, 2004)。製粉前、穀粒を煮るような加工して、米の物理化学的特徴を変える事ができる。煮る加工で、水稻を水に浸け、加圧下の蒸気をかけ、米粒中のデンプンを糊化する。冷却後、ゆっくり乾燥すると砕ける効果が低下する。デンプンの結晶から非結晶状態に変化させる事は、栄養成分をふすま層からデンプン内胚乳へ移動する傾向にある。煮た米はより高含量レベルの栄養価 (ビタミン, メタル) と異なった官能特性を示す。煮た米から得た粉は、ソフトで粘ったドウを作るが、それは低水分保持能とアミラーゼ攻撃への高い感受性のためである。そこで、これらの粉は製パンには適さず、ケーキ製造に低濃度で用いる事ができ、そこでは短加工時間がアミラーゼ活性を低下させる。前もって糊化した米粉は、エクストルージョン、パフ、あるいはローストによって得る事ができる。全てのこれらの処理は、米粉のレオロジー性質と反対に働き、ネバネバしたドウと低容積パンをつくる (Bean and Nishita, 1985)。次号につづく。



## References

- Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C., and Vírveda, P.: *J. Food Eng.* **80**: 611-618. 2007.
- Barber, S. and Benedito de Barber, C.: *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.* **10**: 18-26. 1970.
- Bean, M. M. and Nishita, K. D.: *Rice: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. 1985.
- Bean, M. M., Esser, C. A., and Nishita, K. D.: *Cereal Chem.* **61**: 475-480. 1984.
- Bond, N.: *Rice: Chemistry and Technology*, 3rd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 283-300. 2004.
- Bonet, A., Blaszcak, W., and Rosell, C. M.: *Cereal Chem.* **83**: 655-662. 2006.
- Champagne, E. T. and Grimm, C. C.: *Cereal Chem.* **72**: 255-258. 1995.
- Champagne, E. T., Hron, R. J., and Abraham, G.: *Cereal Chem.* **68**: 267-271. 1991.
- Champagne, E. T., Wood, D. F., Juliano, B. O., and Bechtel, D. B.: *Rice: Chemistry and Technology*, 3rd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 77-107. 2004.
- Chun, S. Y. and Yoo, B.: *J. Food Eng.* **65**: 363-370. 2004.
- Correa, P. C., da Silva, F. S., Jaren, C., Afonso, P. C., and Arana, I.: *J. Food Eng.* **79**: 137-142. 2007.
- Dautant, F. J., Simancas, K., Sandoval, A. J., and Müller, A. J.: *J. Food Eng.* **78**: 1159-1166. 2007.
- FAOSTAT (2007). <http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>.
- Fan, J. and Marks, B. P.: *Cereal Chem.* **75**: 153-155. 1998.
- Fan, J. and Marks, B. P.: *Cereal Chem.* **76**: 894-897. 1999.
- Fitzgerald, M.: *Rice: Chemistry and Technology*, 3rd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 109-141. 2004.
- Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., and Rosell, C. M.: *J. Agric. Food Chem.* **51**: 3814-3818. 2003a.
- Hamaker, B. R.: *Rice Science and Technology*. New York: Marcel Dekker, pp. 177-194. 1994.
- Infocomm (2007): Rice information (<http://rO.unctad.org/infocomm/>).
- Katsumata, T., Suzuki, T., Aizawa, H., and Matashige, E.: *17th International Conference on Optical Fiber Sensors. Proceedings of the SPIE*, Vol. 5855: pp. 423-426. 2005.
- Lamberts, L., De Bie, E., Vandeputte, G. E. et al.: *Food Chem.* **100**: 1496-1503. 2007.
- Lima, I., Guraya, H., and Champagne, E.: *Nahrung* **46**: 112-117. 2002.
- Linfeng-Wang, Siebenmorgen, T. J., Matsler, A. D., and Bautista, R. C.: *Cereal Chem.* **81**: 389-391. 2004.
- Meadows, F.: *Cereal Chem.* **79**: 559-562. 2002.
- Minh-Chau-Dang, J. and Copeland, L.: *Cereal Chem.* **81**: 486-489. 2004.
- Miryong, S., Barton, F. E., McClung, A. M., and Champagne, E. T.: *Cereal Chem.* **81**: 341-344. 2004.
- Murthy, K. V. R., Rey, L., and Belon, P.: *J. Luminesc.* **122-123**: 279-283. 2007.
- Nguyen, V. N. and Tran, D. V.: Rice and life. In: *FAO Rice Information*, Vol.2: 2000. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGPC/doc/riceinfo/Riceinfo.htm>
- Nishita, K. and Bean, M. M.: *Cereal Chem.* **59**: 46-49. 1982.
- Normand, F. L. and Marshall, W. E.: *Cereal Chem.* **66**: 317-320. 1989.
- Patindol, J., Wang, Y. J., Siebenmorgen, T., and Jane, J. L.: *Cereal Chem.* **80**: 30-34. 2003.
- Rosell, C. M. and Collar, C.: *Handbook of Food Products Manufacturing*. Weinheim: Wiley-VCH. 2007.
- Rosell, C. M. and Gómez, M.: *Bakery Products: Science and Technology*. Ames, Iowa: Blackwell Publishing, pp.123-134. 2006.
- Rosell, C. M., Collar, C., and Haros, M.: *Food Hydrocolloids* **21**: 452-462. 2007.
- Saif, S. M. H., Lan, Y., and Sweat, V. E.: *Int. J. Food Properties* **6**: 531-542. 2003.
- Singh, V., Okadome, H., Toyoshima, H., Isobe, S., and Ohtsubo, K.: *J. Agric. Food Chem.* **48**: 2639-2647. 2000.
- Teo, C. H., Abd-Karim, A., Cheah, P. B., Norziah, M. H., and Seow, C. C.: *Food Chem.* **69**: 229-236. 2000.
- Vasudeva, S., Okadome, H., Toyoshima, H., Isobe, S., and Ohtsubo, K.: *J. Agric. Food Chem.* **48**: 2639-2467. 2000.
- Watkins, T. R., Geller, M., kooyenga, D. K., and Bierenbaum, M. L.: *Environ. Nutr. Interact.* **3**: 115-122. 1990.
- Wilkinson, H. C. and Champagne, E. T.: *Cereal Foods World* **49**: 134-138. 2004.
- Yeh, A. I.: *Rice: Chemistry and Technology*, 3rd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp.495-540. 2004.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C.: *Food Res. Int.* **36**: 625-634. 2003.