

新解説

グルテンフリー製品への sorghum (モロコシ) と maize (トウモロコシ) の利用 (1)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1, 2}

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)³ 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)³

Key Words: sorghum (モロコシ) maize (トウモロコシ)

本論文「新解説 グルテンフリー製品への sorghum (モロコシ) と maize (トウモロコシ) 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5章 Sorghum and maize by Schober and Bean の一部を翻訳紹介するものである。

イントロダクション

Sorghum (モロコシ) (*Sorghum bicolor* L. Moench) と maize (メイズ) (*Zea mays*) は Gramineae 類 (family) 中の密接な関連ある Panicoideae 亜科 (subfamily) のメンバーである。Sorghum は中央アフリカが原産地であるが、その定着にはいろいろな仮説があり紀元前 4500—紀元前 1000 の間といわれ、その後アジアやインドに広がっていった (Kimber, 2000)。Sorghum は世界中で栽培され、大部分 (~55%) はアジア、アフリカである。米国は世界生産の約 30% であり、残りの主生産国は南アフリカである (Smith 2000; Rooney and Serna – Saldivar, 2000)。Sorghum はわずかだがヨーロッパでも作られる。

Sorghum は世界中の多くの乾燥地帯の重要な主食食品であり、乾燥に耐えるものであり；しばしば他の穀物が生産できないところでも育つ。

Maize は世界中で育つ主力穀物種であり全生産域で小麦に次ぐ 2 番目にランクされるものでさらに全生産量では米に次いで 2 番目のものである (Farnham *et al.*, 2003)。米国は世界最大の maize 生産国で、北米は全世界生産の ~50% にあたり、続いてブラジル、中国である (Johnson, 2000)。Maize は北アメリカ原産で紀元前 5000 の早い段階で今日のメキシコで栽培され、そこから次第にヨーロッ

パに広がった (Johnson, 2000; Farnham *et al.*, 2003)。

粒の物理的性質

Sorghum 粒は典型的にまるいと考えられるが、殆どは少なくとも一面に平らな表面を有している (Reichert *et al.*, 1988)。Sorghum の遺伝的な多様性のため、粒のサイズと形は広範囲にいろいろであり、sorghum 1000 粒重は 30-80g といろいろである (Rooney and Serna – Saldivar, 2000)。市販の sorghum 雑種は平均粒重量は 25-35mg で長さ約 4mm 幅 2mm 厚さ 2.5mm である (Rooney and Serna-Saldivar, 2000)。組織学的には sorghum 粒は、果皮、内胚乳、胚からなる。Sorghum はユニークで、果皮にデンプン粒が存在する唯一の穀粒である。Sorghum 内胚乳の外側の端は脂質、酵素、タンパク体を含むアリーロン層からなる。アリーロン層の下は、外側の角質状(固く、時にガラス様と言われ—Hoseney 1994 参照、これらの言葉を述べている) 内胚乳区分で内部の粉状(ソフト)のコアを囲んでいる (Serna-Saldivar and Rooney, 1995; Rooney and Serna-Saldivar, 2000)。外側の角質状内胚乳は連続タンパク質マトリックスでカバーされたタンパク体でしっかりパックされている (Seckinger and Wolf, 1973)。Sorghum 粒のこの場所のデンプン粒は、タンパク体が粒の側面に圧力を

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会前会長, ³ 神戸女子短期大学

かけたようなくぼみが見られる (Rooney and Serna-Saldivar, 2000)。

それに対するコントラストとして、粒中心部の粉状内胚乳は不連続なタンパク質マトリックスと球状デンプン粒とで緩くパックされている (Secking and Wolf, 1973; Rooney and Serna-Saldivar, 2000)。粉状に対する角質状内胚乳の相対的比率は sorghum 中大きく異なり、sorghum 中の全体的な粒の堅さはしばしば穀粒の角質硝子体 % に十分関係していると報告されている (Hallgren and Murty, 1983)。Sorghum 外観は白、黄から赤と、非常にいろいろである。

Sorghum の内胚乳色は黄色から白色で、薄い果皮をつけた胚芽プラズマ中の粒の概観に影響する。タンニン、あるいはプロアントシアニジンは、着色した胚乳を持つ sorghum の種類に見られるポリフェノール成分である。着色性の胚乳の存在とこのタンニンは遺伝的コントロール下にあり、B₁/B₂ 遺伝子を持つ sorghum のみ着色した胚乳を持つ (Waniska, 2000)。一般の通説として全ての sorghum 種類はタンニンを含み、時に非タンニンフェノール物質がタンニンとして存在している。他の一般的通説としてタンニンの存在が sorghum 中粒の色に関係する；着色した胚乳をもつ sorghum 種は白っぽい皮色を持つ (Waniska, 2000)。

Maize 粒は穀物粒中の最大のサイズをもち、平均して粒重量は 250-300mg でユニークな扁平構造をしている (Johnson, 2000; Watson, 2003)。Sorghum のように、maize 粒大部分の成分は外部皮層、内胚乳、胚である。Maize 内胚乳は粒の大部分の区分で、sorghum の様に角質状 (固い) と粉状 (柔い) 内胚乳からなる。Maize は品質が非常に多く、5 種の基本タイプに分けられ、そこには dent (へこみ)、flint(石状)、flour(粉状)、sweet(甘い)、pop(はぜ)がある (Watson, 2003)。各粒のタイプ内には色がある (Johnson, 2000; Watson, 2003)。いろいろな maize 粒タイプ間の大部分の区分要因は、内胚乳成分の違いである。Dent 粒は粉っぽい内胚乳中心と端部と後部の固い内胚乳をもつ。柔らかい内胚乳中心部は乾燥で破壊され、粒の端部がへこみを作る。Yellow dent corn は、米国で最も広く栽培される maize で (Johnson 2000; Watson 2003)、広く用いられそこには燃料エタノール生産として用いられる応用面も含み、さらに分離

したデンプン、動物飼料、ヒト用食品を含む (Watson, 2003)。白色 dent 粒はしかしながら乾燥製粉に好まれ、コーントルチラ産業は明るい色の加工食品としてこの粒から作られた (Johnson, 2000)。flint タイプ maize 粒は sorghum に似ており、内胚乳の固い層は中心の粉状内胚乳をとり囲んでいる。Popcorn 粒は flint 粒に似ていて、それは固い外側内胚乳層を持つが普通 flint 粒より小さい。Flour 粒は粒を通してソフトな内胚乳で砕きやすい、しかし全体的には粒の柔らかさはカビ抵抗およびハンドリング属性に貧弱な結果をもたらす。Sweetcorn は典型的に野菜として消費され、粒中で糖のデンプンへの変換からくるため、テクスチャ同様に粒の甘味が増加する (Johnson 2000; Watson 2003)。

粒の固さあるいは内胚乳テクスチャ (粒の構造) は、重要な物理的粒品質属性であり、穀物粒の加工的に重要な役割を果たし、パンやスナック食品の様な製品の穀物粒ベースの加工食品の最終的品質に十分な役割を演じている (Cagampang and Kirleis, 1984; Bettge and Morris 2000)。穀粒の固さはまた、カビに対する植物防御を行い、あるいは昆虫の攻撃からの可能性にも防御の十分な役割を果たしている (Chandrashekar and Mazhar, 1999)。そこで粒の固さは、穀粒に於ける重要な経済的、最終利用品質の特性である。即ち、それに応じてかなりの研究が進められ穀物粒の固さの生化学的な基礎の理解がすすんだ。ある粒、例えば小麦の用な粒で進められたが、maize や sorghum では粒をコントロールする正確な生化学的なメカニズムは十分に理解されてない。現在の生化学的な粒の力の maize, sorghum での理解の基本については最近レビューされ (Chandrashekar and Mazhar, 1999)、そしてこの章で最も詳しく後半で述べる。

これまで述べたように、粒の固さは穀物粒の加工において重要な役割を演じている。これは特に製粉的に重要であり、そこでは粒の固さは製粉の回収と製粉したものの品種に影響する (Cagampang and Kirleis, 1984; Chandrashekar and Mazhar, 1999; Bettge and Morris, 2000)。粒の固さと乾物製粉の性質の間の関係は十分に公表されている (Paulsen and Hill, 1985; Peplinski *et al.*, 1992; Pan *et al.*, 1996; Shandera *et al.*, 1997)。固い maize あるいは sorghum の乾燥製粉は、大きな固い内胚乳粒子 (グリストという) を製

粉の流れの初期に作る。粒の中心部のよりソフトな内胚乳は、他製品の製粉の流れを作る。

乾燥製粉に加え、maize, sorghum 粒両方の物理的特徴はそれらのトリテラやスナックの製造中の“ニスタマリゼーション”(アルカリ処理)に影響する (Sahai *et al.*, 2000)。Maize 粒の固さは、アルカリクッキング中 (Pflugfelder *et al.*, 1998), 固形量と成分の両方に関係があり、またニスタマリゼーションのプロセス後の最終製品の水分含量とテクスチュアに関係する (Serna-Saldivar *et al.*, 1993; Almeida-Dominguez *et al.*, 1997)。固さに加えて他の穀粒の性質と要因も maize のアルカリ処理品質に影響することが判っているがそこには; 粒のグレード, かさ密度, 浮く部分 (percent floaters), 砕けた部分量, 砕けた粒がふくまれる (Sahai *et al.*, 2000)。幾つかの異なった試験で maize のかたさを調べる。乾燥製粉パフォーマンスを予測するのに用いられる。そこには接線研磨脱穀装置 (TADD), Stenvert ミクロハンマーテスト, Wisconsin 破損テスト, ガスピクノメーター測定の比重, 硝酸ナトリウム溶液中に浮く粒%, 重量計, 粒サイズ, 1000 粒重計が含まれる。これらのいろいろな硬度計の中で, TADD, Stenvert micro-hammer mill 硬度計, 浮くパーセントは maize のひきわり回収量の予測と重要な品質測定値を与える (Shandera *et al.*, 1997)。

これまで述べたように, 粒の固さは sorghum のニスタマリゼーションに重要な要因である事もわかった (Almeida-Dominguez *et al.*, 1997)。Sorghum の変動性の為に, 外皮 (ふすま外皮層の除去) 処理の脱色の程度は, 最終製品 (例えばトリテラ) の色同様調理特性にインパクトを与えることがわかった (Bedolla *et al.*, 1983; Choto *et al.*, 1985)。再び, maize の様に幾つかの異なったテストが sorghum でも粒のかたさを測定するのに用いられた。Pomeranz, (1986) は, Brabender hardness 試験機, Stenvert micro-ハンマー試験機, 粒子サイズインデックス, 近赤外装置 (NIR) で sorghum の固さの測定 / 固さ予測を測定した。多分最も広く用いられている粒の固さ測定方法は, それと関連して sorghum の製粉パフォーマンスに関して TADD (Rooney and Waniska, 2000) の方法があり, それは粒の外側を研磨剤ですりつぶす方法である。時間ごとの重量損出量は, 固さ研磨インデックス (AHI) を計算してはかる事ができる (Oomah

et al., 1981)。シングル粒特徴システム (SKCS) は sorghum 中で粒の固さを測定するのに用いられて来た (Pedersen *et al.*, 1996; Bean *et al.*, 2006)。SKCS では粒はクレスセントとローターの間でつぶす (Osborne and Anderssen, 2003); これは TADD と比較していろいろなタイプの固さ測定できる。

SKCS 硬度値と TADD 硬度値の間の僅かの相関性は報告されている (Awika *et al.*, 2002; Bean *et al.*, 2006)。Bean *et al.*, (2006) は, 多くの異なった sorghum 種の SKCS 硬度値, AHI, 粒性質を比較し複雑な関係を見出し, 多くの粒のファクターが TADD と SKCS による硬度測定に重要な役割をしていることを見出した。固いものから粉っぽい内胚乳の相対的性質は, sorghum で幅広くいろいろあるが, 全体的には sorghum 粒の固さが粒のガラス状%と関連があるとよく報告される (Hallgren and Murty 1983) が, それは硝酸ナトリウム溶液中に浮く粒のパーセンテージの様な簡単な方法で調べる。行いやすいのだが Pedersen *et al.*, (1996) によって指摘されたように, ガラス性は物理的固さの測定ではなく, 未だに相対的に信頼できる迅速で簡単な sorghum 中の固さを予測できる方法である。

化学組成

化学組成を穀物粒の一定のタイプ内で比較する事は難しく, 言うまでもなく 2 種の異なるタイプ穀物間でもそうであり, それは生長時の環境と栽培条件 (例えば受粉) の違い, 組成を測定する用いた分析方法の違い, 組成を述べるための命名法の違い等々のためである。上述の警告の下に, “典型的”な sorghum の組成がこれまで述べ (Serna-Saldivar and Rooney 1995; Rooney and Serna-Saldivar 2000), さらに maize の組成を述べた (Johnson 2000; Watson, 2003)。これらの仕事から明らかなのは, 全ての穀物粒同様 sorghum, maize の殆どの組成はタンパク質とデンプンである。そのようなものとして, これら 2 つの成分のクラスを以下より詳細に述べる。

Sorghum プロラミン

穀物タンパク質の比較研究は時に難しいが, それは抽出方法, 用いる分析方法, タンパク質を記述する名称の違うことであろうが, 明らかな事はプロラミンは貯蔵タンパク質であり, その第 1 の機能は植

物の次世代のための窒素源として使われることである。プロラミンは水アルコール（抽出に還元剤を用いようと用いまいと）に可溶で、高レベルのアミノ酸プロリン、グルタミンを含むものである（Belton *et al.*, 2006）。Sorghum では抽出方法を改良した最近の研究から、ケファリンと呼ばれるが、プロラミンは全粒タンパク質の約 70-90% を示す（Hamaker *et al.*, 1995）。ケファリンは、 α -、 β -、 γ -のサブクラスに分けられ、それらは溶解性、構造、アミノ酸組成により分けられる（Shull *et al.*, 1991）。大部分のケファリンは α -サブクラスであり、トータルケファリンの約 65-85% を占め、一方 β -、 γ -サブクラスはプロラミンの約 7-8% と 9-12% それぞれである（Watterson *et al.*, 1993; Hamaker *et al.*, 1995）。さらにこれらプロラミンの3つの大部分のサブクラスに加えて、他のマイナーのサブクラス、例えば δ -ケファリンも報告されている（Belton *et al.*, 2006）。ケファリンは sorghum 内胚乳中、第一の球形タンパク体として存在し、 α -ケファリンは主にタンパク体の中心部に存在していて、 β -と γ -ケファリンはタンパク体の外側の端に形成されている。

Sorghum のタンパク体は高度に酵素分解に抵抗性があり、エクストルージョンの様な加工してもなお抵抗性がある。最近 β -、 γ -ケファリンは高度に架橋したシェルとなりより簡単に分解された α -ケファリンを取り囲んでいると考えられている（Hamaker and Bugusu, 2003）。ケファリンは一般に最も疎水的な穀物プロラミンと考えられ、抽出する際、より普通に用いる 70% ethanol とくらべてもっと非極性溶剤の例えば 50% tertiary-butanol を用いる。最近のケファリンの水和の自由エネルギーに関するレポートではこの主張を指示しているようで、sorghum ケファリンは小麦プロラミンよりもっと疎水的であることがわかった（Belton *et al.*, 2006）。

ケファリンと maize プロラミンの水結合能を比較すると、2つのもの間に大きな違いはしかならなかった（Belton *et al.*, 2006）。

Sorghum の1つの重要な特徴的様相はそのタンパク質消化性が調理で低下することで、明らかに調理プロセスでよりタンパク質の架橋が生じるためである（Doudu *et al.*, 2003）。この発見と一致して、Hamaker と Bugusu (2003) はレーザー走査型焦点顕微鏡によって調理は sorghum タンパク質を

伸張し、蜘蛛の巣状 (web-)、シート状構造にすることを観察した。オリゴマーと蜘蛛の巣状タンパク質構造の両方の形成は maize では程度は低いが起こる（Duodu *et al.*, 2003; Hamaker and Bugusu 2003）。興味深いことに、調理したツエインの水分吸収能は調理したケファリンのものより低いことが判った（Belton *et al.*, 2006）。最近高度に消化できる sorghum 変異種の妙な形のタンパク体が見つかったが（Oria *et al.*, 2000）；これら変異種からの sorghum 粉は食品生産中での機能に影響するであろう。この考えをはっきりするためにはもっと研究が必要である。

Maize プロラミン

全体的に maize のタンパク質は sorghum に類似する。主なるタンパク質クラスは再びプロラミンで、maize の場合ツエインという。Sorghum プロラミンの様にツエインはサブクラスに分けられる（Esen 1987）。事実 sorghum のサブクラスは maize に見られるものに類似するように作成された（Shull *et al.*, 1991）。大部分のツエインは α -ツエインであり、全たんぱく量の \sim 70%で、続いて β -および γ -サブクラスで5%、 \sim 20%各々である。他の微量プロラミンサブクラス例えば δ も報告されている。

ツエインはカフェリンのようにタンパク体中に位置していて、 α -ツエインは第1にタンパク体の中心部に位置し、 β -、 γ -ツエインは外側の端にある（Lawton and Wilson 2003）。分離したツエインは商業的に利用され、主には食品製品の包装に使うが、歴史的には多く使われてきた（Lawton, 2000）。分離されたツエインは高温で攪拌すると、粘弾性のあるドウを作る事がわかった（Lawton 1992）。もしあればどんな役割か、グルテンフリー食品の発展に役割を演じるだろうか、現在は不明。

タンパク質と粒の固さ

研究から、maize と sorghum の内胚乳タンパク質はこれらの粒の固さに重要な役割を演じることが判った（Wall and Bietz 1987; Wallace *et al.*, 1990; Mazhar and Chandrashekar 1993; Mazhar and Changrashekar, 1995; Pratt *et al.*, 1995; Donbrink-Kurtman and Biez 1997; Chandrashekar and Mazhar 1999）。Maize, sorghum の内胚乳のかたさにはタ

ンパク質含量とプロラミン成分との関係があった (Chandrashekar and Mazhar, 1999)。Prat *et al.*, (1995) は maize 中の γ -プロラミンレベルと粒の固さの関係を逆相高速液体クロマトグラフィーを用いて示した。対照として Dombink-Kurtzman and Bietz (1997) は、粉っぽい内胚乳がガラス質の内胚乳と比べて γ -ツエインの高いことを報告し、ガラス質内胚乳はソフト内胚乳に存在する α -ツエイン量の2倍ほど含んでいる事を報告した。粒の内部部分にはプロラミンがより低量含まれているが、 α -プロラミンより γ -プロラミンの方が比率的には多く含まれている。

Mazhar and Chandrashekar (1995) は、 α -、 γ -ケファリンの含量と分布が内胚乳のテクスチャの変成に関係があり、 α -ケファリンはタンパク体のサイズに関係があり γ -ケファリンはタンパク体の外側測に架橋する事で固くする事に関係していると考えた。さらにこれらの著者らは、粒の固くなることには大きなタンパク体による強い架橋 (高レベルの γ -ケファリン) のあることが必要 (高レベルの α -ケファリン) と報告した。結論として Chandrashekar and Mazhar (1999) は、プロラミンサブクラスと粒の固さの間の関係を γ -プロラミンはセメントを作り、一方「 α -プロラミンはレンガを作る」と述べた。

Sorghum デンプン

全ての穀粒と同様、デンプンが sorghum, maize 粒の大部分の成分である。重量ベースで sorghum 粒の 50-75% はデンプンである (Rooney and Sepna-Saldivar, 2003)。デンプンは内胚乳に存在 (ガラス質, 粉質両方) し、前述のように粒の皮部にあり、それは sorghum のユニークな様相である (Rooney and Serna-Saldivar, 2003)。デンプン粒は sorghum 中、2-30 μ m 直径で、角質内胚乳で多角形のデンプン粒は、形がよりまるい粉状内胚乳中のデンプン粒より小さい (Serna-Saldivar and Rooney, 1995)。Sorghum デンプンの糊化温度は 71-80 $^{\circ}$ C のばらつきがあると報告され (Sweet *et al.*, 1984)、角質内胚乳からのデンプンはより高い糊化温度で、それは粉質の内胚乳デンプンよりも高い (Cagampang and Kirleis 1985)。角質内胚乳デンプンはより高い粘度をもち、より低いヨーソ結合能であり、それは粉質内胚乳のものより低い (Cagampang and Kirleis, 1985)。正常の粒からのデンプンは 23-30% アミロースを含み、一方ワ

キシ sorghum からのものは 5% 以下のアミロースである。

ワキシ sorghum デンプンは正常デンプンに比べその性質は異なり、水吸収能同様より高い粘度をもつ (Serna-Saldivar and Rooney, 1995)。ワキシ sorghum デンプンの消化性はまた、正常の sorghum デンプンよりも高いと報告された。(Rooney and Pflugfelder, 1986)。

Maize デンプン

Maize デンプンの化学は、食品、および非食品応用面で広く利用され、深く研究されている; 全世界デンプン生産の 80% 以上は maize から来る (Johnson, 2000; Boyer and Shannon, 2003)。Maize デンプンの全含量と成分は sorghum デンプンに似ている。ワキシ maize タイプは sorghum 同様であるが、sorghum と違い高アミロース maize 種も同定されている。Maize でのこれらのタイプには、アミロース含量が 50-80% の範囲である (Johnson, 2000)。Maize デンプン粒はサイズの点で sorghum に似ていて、約 5-30 μ m の直径にまたがる (Johnson, 2000)。この章の範囲外だが、変性デンプンの多くのタイプは maize デンプンから作られ、天然のデンプンとは違ったユニークな特徴のあるものである (Johnson, 2000)。このデンプンの性質は非常にいろいろで、グルテンフリー食品の生産の場面で有用であり、このエリアではもっと研究が必要ではあるが。前述の様に全体的に sorghum, maize デンプンは似ているがしかし sorghum デンプンの水結合能は maize デンプンよりも低い。さらに sorghum デンプンはまた maize デンプンよりも 90 $^{\circ}$ C のより高い糊化デンプンとより低い溶解性が報告され、これはより高いピークと低温粘度も同様に報告された (Abd Allah *et al.*, 1987)。

製粉

乾燥製粉

西側諸国では sorghum は昔から動物飼料として用いられ、たとえば製粉技術は小麦や maize の様な他の穀物に追いついていない。アフリカでは sorghum の多くは手でつぶし、加工される (Murty and Kumar, 1995, Munck, 1995)。Sorghum のハンマー製粉は普通行われるが、もっと洗練されたやり方も

報告されている (Munck 1995)。Hallgren *et al.*, (1992) は或る工夫を報告しているが、そこでは固いのとソフトの内胚乳区分は分離され、異なった目的で用いられている。固い内胚乳区分は再製粉して粉にし、ソフトな内胚乳区分と共に食用に用いるが、しかしこれはデンプン損傷が大きく以下述べる粉の機能性に影響する。ローラー製粉は小麦製粉で用いる装置だが、経済的に好ましい特徴ある実行可能な製品を作らないが、しかし半乾燥ローラーミル法は納得ゆく粉と食品製品を作ることができると報告された (Munck, 1995)。

Maize は sorghum とは違い、西側諸国では非常に乾燥して製粉をする。米国では3つの基本的な乾燥粉砕 maize 食品用粉が作られる；full-fat (全脂

肪), "bolted" (ふるう), tempered-degermed (やき戻し) である (Deunsing *et al.*, 2003)。これらの製品は粉中の区分を得るために用いる加工方法と同様、元々の穀粒が粉中に残った比率でいろいろ分類される。名前が示すように全脂質製品とは殆どの胚油が製品中に集まり、簡単にいたむもの。"bolted" flour とは製粉ストリームでふるい分けして、ある部分を除き、全脂質区分よりも脂肪や繊維の低いもの。tempered 製品とは、初めに水分を maize に加え、粒の構造的部分、特にふすま、胚を好ましいように分離したもの。添加水分量は重要で、maize 粒自体のいろいろな特徴によるが、例えばクラックし損傷する粒の考慮分が含まれる (Duensing *et al.*, 2003)。

References 1

- Abd Allah, M. A., Mahmoud, R. M., El-Kalyoubi, M. H., and Abou Arab, A. A. (1987). *Starch/Staerke* **39**: 9-12.
- Almeida-Dominguez, H. D., Suhendro, E. L., and Rooney, L. W. (1997). *J. Food Sci.* **62**: 516-523.
- Awika, J. M., Gualberto, D., Rooney, L. W., and Rooney, W.L. (2002). AACC 87th Annual Meeting, October 13-17, Montreal, Quebec Abstract Book, p. 153.
- Bean, S. R., Chung, O. K., Tuinstra, J. F., and Erpelding, J. (2006). *Cereal Chem.* **83**: 108-113.
- Bedolla, S., Palacios, M. G., Rooney, L. W., Dielh, K. C., and Khan, M. N. (1983). *Cereal Chem.* **60**: 263-268.
- Belton, P. S., Deladillo, I., Halford, N. G., and Shewry, P. R. (2006). *J. Cereal Sci.* **44**: 272-286.
- Boyer, C. D. and Shannon, J. C. (2003). *Corn Chemistry and Technology*, 2th edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 289-312.
- Bettge, A. D. and Morris, C. F. (2000). *Cereal Chem.* **77**: 241-247.
- Cagampang, G. B. and Kirleis, A. W. (1984). *Starch/Staerke* **37**: 253-257.
- Cagampang, G. B. and Kirleis, A. W. (1984). *Cereal Chem.* **61**: 100-105.
- Cagampang, G. B. and Kirleis, A. W. (1985). *Starch/Staerke* **37**: 253-257.
- Chandrashekar, A. and Mazhar, H. (1999). *J. Cereal Sci.* **30**: 193-207.
- Choto, C. E., Morad, M. M., and Rooney, L. W. (1985). *Cereal Chem.* **62**: 51-55.
- Dombrink-Kurzman, M. A. and Bietz, J. A. (1997). *Cereal Chem.* **70**: 105-108.
- Duensing, W. J., Roskens, A. B., and Alexandar, R. J. (2003). *Corn Chemistry and Techonogy*, 2nd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 407-447.
- Duodu, K. G., Taylor, J. R. N., Belton, P. S., and Hamaker, B. R. (2003). *J. Cereal Sci.* **38**: 117-131.
- Esen, A. (1987). *J. Cereal Sci.* **5**: 117-128.
- Farnham, D. E., Benson, G. O., and Pearce, R. B. (2003). *Corn Chemistry and Technology*, 2nd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 1-34.
- Hallgren, L. and Murty, D. S. (1983). *J. Cereal Sci.* **1**: 265-274.
- Hallgren, L., Rexen, F., Petersen, P. B., and Munck, L. (1992). Utilization of sorghum and millets. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Hallgren, L. and Murty, D. S. (1983). *J. Cereal Sci.* **1**: 265-274.
- Hamaker, B. R., Mohamed, A. A., Habben, J. E., Huang, C. P., and Larkins, B. A. (1995). *Cereal Chem.* **72**: 583-588.
- Hamaker, B. R. and Bugusu, B. A. (2003). Afripro. Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets: Enhancing nutritional and functional properties for Africa. Pretoria, South Africa, 2-4 April (<http://www.afripro.org.uk/papers/Paper08Hamaker.pdf>).
- Johnson, L. A. (2000). *Handbook of Cereal Science and Technology*, 2nd edn. New York: Marcel Dekker, pp. 31-80.
- Kimber, C. T. (2000). *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. New York: John Wiley & Sons, pp. 3-97.
- Lawton, J. W. (1992). *Cereal Chem.* **69**: 351-355.
- Lawton, J. W. (2000). *Cereal Chem.* **19**: 1-18.
- Lawton, J. W. and Wilson, C. M. (2003). *Corn Chemistry and Technology*, 2nd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists,

- pp. 313-354.
- Mazhar, H. and Chandrashekar, A. (1993). *J. Cereal Sci.* **70**: 667-671.
- Mazhar, H. and Chandrashekar, A. (1995). *J. Cereal Sci.* **21**: 155-162.
- Munch, L. (1995). *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 223-281.
- Murty, D. S. and Kumar, K. A. (1995). *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 185-222.
- Oomah, B. D., Reichert, R. D., and Youngs, C. G. (1981). *Cereal Chem.* **58**: 392-395.
- Oria, M. P., Hamaker, B. R., Axell, J. D., and Huang, C. P. (2000). *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **97**, 5065-5070.
- Osborne, B. G. and Anderssen, R. S. (2003). *Cereal Chem.* **80**: 613-622.
- Patancheru, India, pp. 121-130.
- Pedersen, J. F., Martin, C. R., Felker, F. C., and Steele, J. L. (1996). *Cereal Chem.* **73**: 421-423.
- Pan, Z., Eckhoff, S. R., Paulsen, M. R., and Litchfield, J. B. (1996). *Cereal Chem.* **73**: 517-520.
- Paulsen, M. R. and Hill, L. D. (1985). *J. Agric. Eng. Res.* **31**: 255-263.
- Peplinski, A. J., Paulsen, M. R., and Bouzaher, A. (1992). *Cereal Chem.* 397-400.
- Pflugfelder, R. L., Rooney, L. W., and Waniska, R. D. (1988). *Cereal Chem.* **65**: 127-132.
- Pomeranz, Z. Y. (1986). *Cereal Chem.* **63**: 36-38.
- Pratt, R. C., Paulis, J. W., Miller, K., Nesen, T., and Bietz, J. A. (1995). *Cereal Chem.* **72**: 62-167.
- Reichert, R., Mwararu, M., and Mukuru, S. (1988). *Cereal Chem.* **65**: 165-170.
- Rooney, L. W. and Pflugfelder, R. L. (1986). *J. Anim. Sci.* **63**: 1607-1623.
- Rooney, L. W. and Serna-Saldivar, S. O. (2000). *Handbook of Cereal Science and Technology*, 2nd edn. New York: Marcel Dekker, pp.149-176.
- Rooney, L. W. and Waniska, R. D. (2000). *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. New York: John Wiley & Sons, pp.689-750.
- Rooney, L. W. and Serna-Saldivar, S. O. (2003). *Corn Chemistry and Technology*, 2nd edn. St. Paul. MN: American Association of Cereal Chemists, pp.495-535.
- Sahai, M. D., Surjewan, I., Mua, J. P., Buendia, M. O., Rowe, M., and Jackson, D. S. (2000). *Cereal Chem.* **77**: 254-258.
- Seckinger, H. L. and Wolf, M. J. (1973). *Cereal Chem.* **50**: 455-465.
- Serna-Saldivar, S. O., Gomez, M. H., Almeida-Dominguez, H. D., Islas-Rubio, A., and Rooney, L. W. (1993). *Cereal Chem.* **70**: 762-764.
- Serna-Saldivar, S. and Rooney, L. W. (1995). *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp.69-124.
- Shandera, D. L., Jackson, D. S., and Johnson, B. E. (1997). *Maydica* **42**: 281-289.
- Shull, J. M., Watterson, J. J., and Kirleis, A. W. (1991). *J. Agric. Food Chem.* **39**: 83-87.
- Smith, C. W. (2000). *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. New York: John Wiley & Sons, pp. 401-408.
- Sweat, V. E., Faubion, J. M., Gonzales-Palacios, L., and Rooney, L. W. (1984). *Trans. ASAE* **27**, 1960-1984.
- Waniska, R. (2000). *Technical and Institutional Options for Sorghum Grain Mold Management: Proceedings of An International Consultation*, 18-19 May 2000.
- Patancheru, India: ICRISAT, pp. 72-106.
- Watson, S. A. (2003). *Corn Chemistry and Technology*, 2nd edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 69-106.
- Wall, J. S. and Bietz, J. A. (1987). *Cereal Chem.* **64**: 275-280.
- Wallace, J. C., Lopez, M. A., Paiva, E., and Larkins, B. A. (1990). *J. Plant Physiol.* **92**: 191-196.
- Watterson, J. J., Shull J. M., and Kirleis, A. W. (1993). *Cereal Chem.* **70**: 452-457.