

グルテンフリー食品用の各種素材 (2)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2} 木村 万里子 (KIMURA Mariko)¹

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長

Key Words : グルテンフリー ベーカリー 小麦 セリアック病

要約

本論文「グルテンフリー食品用の各種素材 (2)」は、海外のグルテンフリー食品のための素材の現状について解説したものである。具体的には、米国の穀物科学者、Jeff Casper と Bill Atwell によって書かれた本 (“Gluten-Free Baked Products” 2014 by AACC International, Inc. 3340 Pilot Knob Road St. Paul, Minnesota 55121, U.S.A.) の一部 (“The Gluten-Free Ingredients”) を翻訳し紹介するものである。ここでは、前報「グルテンフリー食品用の各種素材 (1)」につづいて述べる。

非穀物成分

イヌリン

イヌリンは、フラクトースのポリマーで可溶性プレバイオテックスファイバーとして機能する。チコリ根から取られるが、イヌリンはグルテンフリーパンの容積、テクスチュア、シェルフライフを改良し²⁶⁾、グルテンフリーケーキの品質と栄養面を改良し²⁷⁾、さらにグルテンフリーパスタには低レベルで用いると制限付きで成功する²⁸⁾。

イヌリンは、マルトデキストリンのようにすべて栄養的価値がある。例えばそれは消化器にとって必要な栄養素 (macronutrient) である繊維が、プレバイオテックスとして消化器底部内で価値あるバクテリアの成長を促進する。プレバイオテックスの規則的利用は、体の金属吸収の増加を示し、それはセリアック病を持つ人の栄養として、もう1つ別の重要な意味をもつ²⁹⁾。

イモ類

イモはエネルギーと栄養の貯蔵構造体であり、植物自体の生存に必要なものである。タピオカ、ジャガイモは一般的な例である。これらのイモのデンプンは普通、グルテンフリー食品によく用いられる。デンプンは、生のジャガイモ、あるいはタピオカのイモをつぶし、フィルターにかけるか遠心分離して、繊維、タンパク質を除き、次に乾燥して得られる。とれたデンプンは光輝く白い粉である。ジャガイモとタピオカデンプン粒は他のデンプンより低温で膨潤し、結晶性を失う (即ち糊化する)。この性質はイモデンプンがグルテンフリー粉の構成成分として都合のよいものである。これらのデンプンはベーキング前は低粘度であるが、オープン中において小麦を基本とする食品よりも早く粘度が生じ、これは有用な性質である。一般のジャガイモデンプンは、タピオカデンプンより粘度が高く、粘弾性の高いゲルをつくる。

ジャガイモ粉は、砕いた全ジャガイモをドラム乾燥し、その後粉状サイズまでくだいて調理したものである。ジャガイモ粉のデンプンはまだ未糊化であり、ベーキングしたものの中のジャガイモデンプンの様な機能はまだない。粉はただちに粘度を示し、高レベルではグルテンフリー食品に悪い影響を与えるが、ベーカリー食品にフレーバーとしっとり感を与えるので用いられる。ジャガイモ粉は標準的なこまかな粒子で得られる。

マメ

マメとは植物の大きな部門を指すが、植物の再生構造(実と種子)を指している。マメ、レンズまめ、ルピナス、エンドーマメ、ピーナッツは全てグルテンフリーであるが、幾つかはアレルギーである。ピーナッツ、大豆、ルピナスの仕込み利用時には、注意深く考える必要がある。栄養的にはレンズマメ粉は、高タンパク質、繊維、金属含量である。大豆、ピーナッツは、ほとんどの豆と異なりより高含量の油(Oil)含量を示す:各々18-48%¹⁾。これらの物の多くはベーカリー食品にマメの悪臭を与える。このため他のグルテンフリー粉とブレンドするとき、利用レベルも制限される。

大豆粉はグルテンフリーベーカリー食品のテクスチャ改良にいい効果を与え、特にグルテンフリーパンの場合、大豆粉は低脂肪(Fat)、低糖含量のため消費者に大きな期待を持たせるチャレンジである。全脂質と酵素活性大豆粉が、テクスチャ改良に効果を示し、グルテンフリーパンのクラムを柔らかくしてシェルフライフを伸張し、ずっと通して水分含量の増加に寄与した^{30,31)}。これに比べ、これらの長所は酵素不活性化した脱脂大豆粉では示されない。これらの研究は元々の大豆粉中の酵素、大豆タンパク質が製品品質を高めるのに効果がある事を示している。

非穀物タンパク質

タンパク質はグルテンフリーベーカリー食品

やスナック中で多くの機能をもつ。しばしばグルテンフリー穀物以外のタンパク質も仕込み中に添加される。これらのタンパク質は、グルテンの示す粘弾性ガス保持品質を与えるものではないが、栄養的強化、乳化力、クラムの柔らかさ、フレーバー、シェルフライフ伸長を与える目的で添加されるものである³²⁾。マメタンパク質に加え、さらに以前のセクションで述べたように、いろいろな非穀物タンパク質、その中には牛乳、卵も含まれるがグルテンフリー仕込み中に見られる。一般的なタンパク質ではないが、グルテンフリー食品に用いられ、あるいはテストされるようなものにカノーラ(canola, 西洋アブラナ)やカロブ(carob, イナゴマメ)、いも等のタンパク質がある。最近市販のタンパク質でジャガイモから分離されたユニークなアワ形成、ゲル形成能を持つタンパク質が菜食主義者のグルテンフリー仕込みに用いられている。

非穀物タンパク質の栄養品質は、アミノ酸組成、消化性によってテストされる。The Food and Agriculture Organization and World Health Organization (FAO/WHO) と FDA が採用され、これをタンパク質スコア(PDCAAS)の品質決定の望ましい方法とした³³⁾。この方法はカナダでは用いられていない。カナダでは”Determination of Protein Pating”メソッドF0-1を用いて、良好で上等なタンパク質要求性試験としている。PDCAASは、リフェレンスとなるアミノ酸プロファイルに対し、小麦グルテンのようなタンパク質のアミノ酸組成を比較するものであり、学校に入る前の子供が示すような消化後のアミノ酸要求性を実現するものである。最も高いPDCAAS値1.0は、完全なアミノ酸組成を持つタンパク質で得られ、高い消化性を示す³³⁾。ホエー、カゼイン、卵の様なタンパク質は1.0の値を与える。グルテンには幾つかの制限アミノ酸があり、他のタンパク質の様に消化性が良くなく、その結果PDCAASは0.25であり、全小麦タンパク質の0.42より低い³⁴⁾。PDCAAS値の小麦グルテンと全小麦の間の値

の違いは、全小麦中の胚芽、ふすまのタンパク質の品質のせいである。もっと最近利用されている植物性タンパク質材料、分離されたものの多く、例えばジャガイモなどからのものは、消化性がよくアミノ酸組成もいいが、グルテンのユニークな機能性を欠いている。

セリアック的に安全で、粘弾性と糸状の塊を持つタンパク質の同定は、研究者、グルテンフリー食品仕込み作成者にとり、つかみ所のないものとされて来た。最近の進歩はグルテンフリー食品の仕込みに粘弾性のある特徴を与えることができたという報告があったが、それとて一般利用されるようになるまでのニュースだが。その進歩とは、コロイドタンパク質粒子がデンプンと混合された時、タンパク質に連続ネットワークが形成された点である³⁵⁾。

酵素

酵素はベーカリー食品改良に有用な触媒反応をするタンパク質である。これらの目的に、容積の増加、テクスチュアの改良、シェルフライフの増加がある。酵素は材料中そのまま (endogenous enzymes)、または特別の比活性を持つ様に調整されたもの (exogenous enzymes) として添加されるものがある。小麦粉ベースのベーキング食品には多くの酵素の利用記録があるが、グルテンフリーベーカリー食品にはその利用の歴史は比較的新しい。これまでのベーカリーでは、デンプン、タンパク質への焦点に酵素の第一の関心があった。グルテンフリー食品の進歩の中では、他の活性、たとえばヒドロコロイドの機能に関心がある。酵素の効果は、グルテンフリー粉の組成、加工期間、加工条件に影響する。

グルテンフリーベーカリー食品において酵素利用が向けられる焦点のほとんどは、グルテンフリーパンのテクスチュア改良とシェルフライフ改良であり、目標の小麦パンがあるだけに最も難しい点がある。グルテンフリー食品の仕込みに酵素を用いる時、仕込み作成者はその酵素を取り出した源がグルテンフリーである

かどうか酵素供給者に確かめることが極めて大切だ。ある酵素供給者は、小麦あるいはグルテンを含む穀物、例えば大麦のようなものから取り出している。

α- アミラーゼ

α- アミラーゼは普通、ベーカリー食品の保存性を良くするために用いられ、そこではベーキングされたデンプンはデキストリンに変化する。それはデンプンの分解物である。これらのデンプンのフラグメントは、デンプン-タンパク質と相互作用と関係し、パンの堅さを変化させる³⁶⁾。α- アミラーゼはカビ源からもバクテリア源からも得られ、それらは最終食品に変化を与える。カビアミラーゼはベーキング中の不活性化し、一方バクテリアのアミラーゼは熱に耐性があり、残った活性は保存性をあげる。バクテリアのマルトース化アミラーゼ (Maltogenic amylase) は特に関心をもたれ、それは本酵素がデンプンの老化、あるいはβ化の時に関係する糖を生産している間もデンプン構造の多くを維持し、その結果、グルテンフリーベーカリー食品に乾いた柔らかいクラム構造を与えることができるからである。

Cyclodextrin Glycosyltransferase (サイクロデキストリン グルコシルトランスフェラーゼ)

この酵素をグルテンフリーパンに使う目的は、この酵素のもつ幾つかの特徴に基づくためである。この酵素の最も興味深い点は、デンプンを加水分解しデキストリンをつくること、そしてできた直線状デキストリンをサイクロデキストリンと呼ばれるリング状構造にすることである。この酵素でできるサイクロデキストリンはドーナツ構造をとり、疎水性がその構造の内側を、親水性が外側をむく。この構造は、脂質やタンパク質と複合体を作り乳化性を示す。この酵素によりグルテンフリーパンの容積、形、テクスチュアの改良がすすむと報告された³⁷⁾。サイクロデキストリンは脂質と結合し、疎水性タンパク質と相互作用してより安定な膜形成能をもつ。改良され

た膜形成能はバターやドウのガス保持能をよくすると言われている。

Sugar oxidases (シュガーオキシダーゼ)

シュガーオキシダーゼは、伝統的なベーカリー食品中のグルテンネットワークを強化するのに用いられるが、グルテンフリー食品ではガス保持能の改良に用いられる。シュガーオキシダーゼ、例えばグルコースオキシダーゼあるいはヘキソースオキシダーゼ等は、酸素の存在下、糖を酸化してヒドロゲンパーオキシドをつくりラクトン型に変える。できたヒドロゲンパーオキシドはベーキング過程で安定なSS結合をつくり、架橋タンパク質を作る。ある研究では、米粉ベースのパンがヒドロゲンパーオキシド形成によるポテンシャルな効果を示し、グルコースオキシダーゼ添加でパンの比容積、テクスチャが改良し、ヒドロコロイドを低下するとシェルフライフの増加、ガス保持性の改良がみられた³⁸⁾。もう一つのわかりやすい研究では、グルコースオキシダーゼによりとうもろこし、ソールガムベースのパンの比容積を増加し、一方ソバ、テフベースのパンでは容積の増加を示さなかった³⁹⁾。この研究ではパンにヒドロコロイドが添加されなかったため、酵素の純粋な効果が観察された。

Laccase (ラッカーゼ)

シュガーオキシダーゼ同様、ラッカーゼも架橋タンパク質による大きなネットワークでグルテンフリードウやバター中にガス保持構造を作る力があつた⁴⁰⁾。

Transglutaminase (トランスグルタミナーゼ)

トランスグルタミナーゼは、タンパク質中に見出されるアミノ酸、L-lysine と L-glutamine 間の架橋を作る酵素である。これらの架橋を作ることでレオロジーや機能が修正されより大きなタンパク質のネットワークを作る。グルテンフリー食品への応用では、この酵素はガスホールデング性を改良するような構造を作る力があ

り、改良されたグルテンフリー食品の最終的テクスチャには興味深いものがある⁴¹⁾。

ある研究では、トランスグルタミナーゼの影響を6種の異なったグルテンフリー穀物(玄米、ソバ、コーン、オート、ソールガム、テフ)を使った製パン試験で評価した。ここでは米粉、そば粉パンで改良されたパンベーキング特性、例えば全体の見てくれの効果が示された⁴²⁾。これらの改良は、オート、ソールガム、テフ粉パンでは認められなかった。トランスグルタミナーゼで米タンパク質の機能の改良されたことが、ヒドロコロイドを用いたグルテンフリーパンで報告された。この研究はトランスグルタミナーゼを含んだ米パン中の米タンパク質が重合化し、そのときヒドロキシプロピルメチルセルロースとも関係してパンの比容積の増加とクラムのソフト化に貢献した⁴³⁾。

トランスグルタミナーゼはセリアック反応の一部関連物質であり、多少アイロニー的であるがトランスグルタミナーゼは非グルテンタンパク質の重合化、あるいは架橋化を通じてグルテンフリーパンのテクスチャ改良の1方法と評価されている。ある胃腸学者はトランスグルタミナーゼの利用に関心をもち、ペプチドのフラグメントをより反応性の高い物に変え、小腸のバリアーを通過させようとしている^{44,45)}。我々がセリアック病患者用に次ジェネレーションのグルテンフリー食品を考えると、食品科学と消化器病学とは上塗りせねばならない。

Gums/Hydrocolloids (ガム/ヒドロコロイド)

グルテンフリーブレンドの構成は、グルテンフリー粉、デンプン、タンパク質成分からなり、効果的なガス保持能をもつ粘弾性を欠いた構成である。このためヒドロコロイドと呼ばれる水溶性ポリマーが、水系バターあるいはドウのガス保持能を改良するために使われる。最近使われるヒドロコロイドは、小麦粉に比べて非小麦粉パンを作るのに必要なこの機能はずっと小さいのであるが、仕込み製作者は他にいいものがないために、ヒドロコロイド

システムを最も良いものとして使っている。ハイドロコロイドは、またグルテンフリーベーキングの品質に必要な2つの大切な機能を与える；水分保持能とデンプン老化の抑制である。

ハイドロコロイドは本質的には長鎖の糖からなり、多糖類と呼ばれる構造に入る。この定義から、デンプンを含む多くの材料はハイドロコロイドである。殆どの多糖ベースのハイドロコロイドには消化抵抗性があり、胃腸中では糸のような性質で、デンプンとは違い、グルコース糖にメーキャップされてから消化される。ハイドロコロイドはまたアミノ酸の鎖からなり、消化されるときはゼラチンの場合の様にである。ガムとハイドロコロイドはいろいろな源からくるが、その中には植物抽出物（ペクチン）、植物残渣あるいは抽出物（アラビアガム、アカシアガム）、海藻（寒天カラギーナン、アルギン酸）、微生物発酵物（キサンタン、ゲラン）、動物起源（ゼラチン）がある⁴⁶⁾。ハイドロコロイドは濃厚な水懸濁液だが、しかし全てのハイドロコロイドがゲルというわけではない。ゲル構造はグルテンのもつ特徴と分ける；それらは粘弾性である。一般に言われるようにゲルはハイドロコロイド粒子のネットワークであり、液体媒体中で非常に薄いスポンジ状に伸張する。本質的にはゲルはゼリー状個体だが、それは高濃度液体を含む個体よりも液体に近い。ゲルは典型的には熱可逆的であり、高温では可溶で、ベーカリー食品中では不安定さを導く。この理由のため、例えばメチルセルロース、ハイドロオキシプロピルメチルセルロースのようなハイドロコロイドが盛んに研究されるのは、加熱時に異常なゲル形成の性質を示すためである。

ハイドロコロイド同士を組み合わせると、同様のレベルで別々に使われる時以上に強い粘度増加、あるいはより強いゲル化が示される事がある。この効果のことを“シネルギー”、とか“シナージスト効果”と言っている。

グルテンフリーベーカリー製品で使われる一般的なハイドロコロイドの評価を以下のべ

る。例は決して多くない。性質曖昧で高価なハイドロコロイドはあるが、その多くは加工が必要で、簡単に一般的なベーカリー製品と纏めることはできない。これまでグルテンフリーベーカリー食品の合成粉で使われた材料例を以下述べる。

高金属含量の成分：

- ・アマランス
- ・ソバ
- ・マメ
- ・ヒエ
- ・キノア
- ・テフ

高繊維を与える成分：

- ・全グルテンフリー穀物粉
- ・ハイドロコロイド
- ・イヌリン
- ・マメ

Xanthan（キサンタン）

恐らくグルテンフリーベーキングで最も広く用いられているハイドロコロイドとは、キサンタンガムであろう。バクテリア、*Xanthomonas campestris* の発酵で生産されるもので、キャベツの葉で初めて同定された。その価格の安さ、匂いのないこと、低温での溶解性、広範囲の温度下、pH域での安定性、長期間保存しても安定である等、多くの長所がある。キサンタンは、ローストビンガム、グアガムとシナージェスチックの関係にあり、そのことは食品中のハイドロコロイド量の低下を可能とする。もう一つ加えられる長所は、冷凍・解凍サイクルの間、キサンタンは水のコントロールを可能としてくれることであり、それは多くのグルテンフリー食品が冷凍販売システムで市販されているため食品中の水のことを考慮せねばならぬからである。キサンタンは、粒子のいろいろちがう形態で利用されているが、それが水和のスピードに影響を与えるためだ。さらにレオロジーの性質を変えたキサンタンガムが利用されている。

種子からの (Gum) ガム

グアガムとローストビンガムも一般にグルテンフリー食品仕込みに使われる。タラガムはグルガムの値段があがる事から関心がひかれたものであり、タラの水和の性質がグアとローストビンガムの水和の中間的な性質であることに関心がひかれてきた。グア、タラ、ローストビンガムはガラクトマンナンとして知られるヒドロコロイドである。名前が示すようにガラクトマンナンは2つの糖:ガラクトースとマンノースのポリマーである。ガム間の糖の比率の違いがガムの性質のはっきりした違いになっている。グアはマンノース-ガラクトース比が約2:1で、タラ、あるいはローストビンガムより高度の分枝構造を持っている。そこでグアガムは冷水に溶け、ぬるっとした粘性を示す。ローストビンガムのマンノース-ガラクトース比は約4:1で、分枝構造は小さい。このガムは完全に水化するのに加熱が必要で、加工食品はサクサクする食感を示す。タラガムの比率は3:1で、

多少グアとローストビンガムとの性質を示す。これらガラクトマンとキサンタンとの利用が一般的なのはシナーギスト効果が生じるためだ。

Cellulose-Derived Hydrocolloids (セルロース誘導ヒドロコロイド)

セルロース誘導ヒドロコロイドには、カルボキシルメチルセルロース、ヒドロキシプロピルセルロース (HPC), ヒドロキシプロピルメチルセルロース (HPMC), メチルセルロース (MC), 微結晶セルロースがある。これらのヒドロコロイドは、元々天然の材料セルロースにもとづいてはいるが、修飾され元の物とはちがう。HPC, HPMC, MC はグルテンフリーベーキングに有用な変わった性質がある:加熱でゲル化するが、冷却すると可溶化する。グルテンフリーベーカリー食品の研究から、この性質の有用である事がはっきりした^{32,42,47)}。

参考文献

1. McGee, H. 2004. *On Food and Cooking; The Science and Lore of the Kitchen*. Scribner, New York.
2. HEALTHGRAIN Consortium 2010. Definition. http://www.healthgrain.org/webfm_send/44
3. Hager, A., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., and Arendt, E. K. 2012. Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared with wheat flours. *J.Cereal Sci.* **56**:239-247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.005>
4. Hoover, R., Sinnott, A. W., and Perera, C. 1998. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grains. *Starch/Staerke* **50**:11-12.
5. Qian, J., Rayas-Duarte, P., and Grant, L. 1998. Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch. *Cereal Chem.* **75**:365-373.
6. Acquistucci, R., and Fornal, J. 1997. Italian buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch: Physico-chemical and functional characterization and *in vitro* digestibility. *Nahrung* **41**:281-284.
7. Beleia, A., Varriano-Marston, E., and Hosene, R. C. 1980. Characterization of starch from pearl millets. *Cereal Chem.* **57**:300-303.
8. Atwell, W. A., Patrick, B. M., Johnson, L. A., and Glass, R. W. 1983. Characterization of quinoa starch. *Cereal Chem.* **60**:9-11.
9. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26. 2013. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
10. Cargill, Inc. Maizewise MW 102-010 corn meal nutritional data sheet. Updated May 20, 2011.
11. Atwell, W. A., and Thomas, D. J. 1999. Starch modifications. Pages 31-48 in: *Starches*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
12. Witeczak, M., Korus, J., Ziobro, R., and Juszczak, L. 2010. The effects of maltodextrins on gluten-free dough and quality of bread. *J. Food Eng.* **96**:258-265.

13. USDA. 2013. Policy memo SP 02-2013. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
14. Schober, T. J., Moreau, R. A., Bean, S. R., and Boyle, D. 2012. Removal of surface lipids improves the functionality of commercial zein in viscoelastic zein-starch dough for gluten free breadmaking. *J. Cereal Sci.* **52**:417-425.
15. Lorenz, K., and Hwang, Y. S. 1986. Lipids in proso millet (*Panicum miliaceum*) flours and brans. *Cereal Chem.* **63**:387-390.
16. Chandrasekara, A., and Shahidi, F. 2010. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* **58**:6706-6714.
17. Thompson, T. 2003. Oats and the gluten-free diet. *J. Am. Diet. Assoc.* **103**:376-379.
18. Hoffenberg, E. J., Haas, J., Drescher, A., Barnhurst, R., Osberg, I., Bao, F., and Eisenbarth, G. 2000. A trial of oats in children with newly diagnosed celiac disease. *J. Pediatr.* **137**:361-366.
19. Kempainen, T. A., Heikkinen, M. T., Ristikankare, M. K., Kosma, V.-M., and Julkunen, R. J. 2010. Nutrient intakes during diets including unkilned and large amounts of oats in celiac disease. *Eur. J. Clin. Nutr.* **64**:62-67.
20. Asif, M., Rooney, L. W., Acosta-Sanchez, D., Mack, C. A., and Riaz, M.N. 2010. Uses of sorghum in gluten-free products. *Cereal Foods World* **55**:285-286.
21. Rooney, L. W., and Serna-Saldivar, S. O. 2000. Sorghum. Pages 152-153 in: Handbook of Cereal Science and Technology, 2nd ed. K. Kulp, ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
22. Wrigley, C., Corke, H., Walker, C. E. 2004. Encyclopedia of Grain Science. Elsevier Academic Press, Waltham, MA.
23. Awika, J. M., McDonough, C. M., and Rooney, L. W. 2005. Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. *J. Agric. Food Chem.* **53**:6230-6234.
24. Frolich, W., and Aman, P. 2010. Whole grain for whom and why? *Food Nutr. Res.* **54**:5056.
25. Goldman, I. 2012. Five things everyone should know about quinoa. *Grow Magazine* **5**(3):10.
26. Juszczak, L., Witczak, T., Ziobro, R., Korus, J., Cieřlik, E., and Witczak, M. 2012. Effect of the inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydr. Polym.* **90**:353-360.
27. Gularte, M. A., de la Hera, E., Gómez, M., and Rosell, C. M. 2012. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Sci. Technol.* **48**:209-204.
28. Mastromatteo, M., Iannetti, M., Civica, V., Sepielli, G., and Del Nobile, M. A. 2012. Effect of the inulin addition on the properties of gluten-free pasta. *Food Nutr. Sci.* **3**:22-27.
29. Abrams, S. A., Griffin, I. A., Hawthorne, K. M., Liang, L., Gunn, S. K., Darlington, G., and Ellis, K. J. 2005. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *Am. J. Clin. Nutr.* **82**:471-476.
30. Clement, J. 2011. Composition for preparing improved gluten-free or gluten-reduced bakery products. U.S. patent application 20110117246.
31. Ribotta, P. D., Ausar, S. F., Morcillo, M. H., Pérez, G. T., Beltramo, D. M., and León, A.E. 2004. Production of gluten-free bread using soybean flour. *J. Sci. Food Agric.* **84**:1969-1974.
32. McCarthy, D. F., Gallagher, E., Gormley, T. R., Schober, T. J., and Arendt, E. K. 2005. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chem.* **82**:609-615.
33. Schaafsma, G. 2000. The protein digestibility-corrected amino acid score. *J. Nutr.* **130**:1865S-1867S.
34. Hoffman, J. R., and Flavo, M. J. 2004. Protein - Which Is Best ? *J. Sports Sci. Med.* **3**:118-130.
35. Van Riemdijk, L. E., and Van Der Goot, A. J. 2011. Colloidal protein particles can be used to develop a gluten-free bread. *Cereal Foods World* **56**:201-204.
36. Martin, M. L., and Hoseney R. C. 1991. A mechanism of bread firming. II. Role of starch-hydrolyzing enzymes. *Cereal Chem.* **68**:503-507.
37. Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., and Rosell, C. M. 2003. Effect of cyclodextrin glycosyl transferase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J. Agric. Food Chem.* **51**:3814-3818.
38. Gujral, H. S., and Rosell, C. M. 2004. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Res. Int.* **37**:77-81.
39. Renzetti, S., and Arendt, E. K. 2009. Effects of oxidase and protease treatments on the breadmaking functionality of a range of gluten-free flours. *Eur. Food Res. Technol.* **229**:307-317.

40. Selinheimo, E., Autio, K., Kruus, K., and Buchert, J. 2007. Elucidating the mechanism of laccase and tyrosinase in wheat bread making. *J. Agric. Food Chem.* **55**:6357-6365.
41. Renzetti, S., Dal Bello, F., and Arendt, E. K. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.* **48**:33-45.
42. Gujral, H. S., and Rosell, C. M. 2004. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.* **39**:225-230.
43. Cabrera-Chávez, F., Rouzaud-Sáñez, O., Sotelo-Cruz, N., and Calderón de la Barca, A. N. 2008. Transglutaminase treatment of wheat and maize prolamins of bread increases the serum IGA reactivity of celiac disease patients. *J. Agric. Food Chem.* **56**:1387-1391.
44. McKeown, N. M., Jacques, P. F., Seal, C. J., de Vries, J., Jonnalagadda, S. S., Clemens, R., Webb, D., Murphy, L. A., van Klinken, J. W., Topping, D., Murray, R., Degeneffe, D., and Marquart, L. F. 2013. Whole grains and health: From theory to practice - Highlights of the Grains for Health Foundation's Whole Grains Summit. *J. Nutr.* **143**:744S-758S.
45. Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., and Arendt, E. K. 2006. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem.* **83**:28-36.
46. Pyler, E. J., and Gorton, L. A. 2009. Micro ingredients. Chapter 2, part C in: *Baking Science and Technology*. Sosland Publishing, Kansas City, MO.
47. Anton, A. A., and Artfield, S. D. 2008. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **59**:11-23.
48. Allen, L., de Benoist, B., Dary, O., and Hurrell, R., Eds. 2006. *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*. World Health Organization Press, Geneva, Switzerland.