

製パンに於ける小麦(8)

4. ドウ⑤

4. ミキシングによる小麦粉構成成分の変化

ドウミキシングは、ドウの視覚的变化、レオロジー的性質の変化、そしてコロイド的構造の変化を引き起こす。これらの変化は、主にタンパク質の変化により起こる。ミキシングでドウは連続相となり、グルテンは水を吸ってグルテンゲルになる。この変化はドウの最も重要な変化である。このセクションではミキシングによるタンパク質の変化について述べ、脂質の変化も述べるが、混乱を避けるために、脂質を結合型と遊離型の脂質に整理して述べる。

デンプンは、ガスを含んでいないドウの約60%を構成している。それにもかかわらず、デンプンのミキシング中における重要性は、少ないと見做されている（しかし、先に述べたように、ドウの水吸収には損傷デンプンの影響が大きい）。ミキシングの結果、デンプンは自由水と共に連続したネットワークを形成する。非デンプン性多糖類は、ミキシングによって酸化的なゲル形成をする。しかし、ミキシング中の非デンプン性多糖類の酸化については余り知られていない。

(1) タンパク質

タンパク質の構造は、小麦粉粒子からパンの固まりになるまでの一連のプロセスの中で、かなりの大きな変化をする。小麦粉粒子が水で湿ると、タンパク質は数マイクロメートルの幅を持つ糸状になる。このタンパク質の糸は光学顕微鏡下で簡単に見える。ミキシングや捏ね前の、水を加えた

直後のドウでは、各小麦粉粒子が未だ粒子状に見えるが、それらはお互にくっついている。数秒のミキシングで、タンパク質ゲル集合体は伸びて束状になる。

ミキシングの初期には、ゲル状タンパク質ユニットが、部分的に会合した糸状物質の束になって、簡単な3次元ネットワークができる。ミキシングが進み、ドウの最適ディベロップメント時になると、これらのタンパク質の糸の束は、1 μm 以下の厚さの膜になる。更にミキシングを続けると、この薄い膜に穴があき、最終的には完全に破れてしまう。イースト、塩、砂糖、ショートニング、酸化剤から成るドウではタンパク質のゲル相は、多くの脂質を巻き込んで広いシート状にディベロップ（伸展）する。

小麦粉と水でミキシングされたドウでは、ミキシングによってタンパク質抽出率が増加する。多くの抽出溶媒中でこの増加が観察された。例えば1%SDS(ドデシル硫酸ナトリウム)、0.05N酢酸、尿素水溶液、AUC(酢酸—尿素—セチルトリメチルアンモニウムプロマイド)が用いられると、その結果は表3のようであった。タンパク質抽出率は、最適のドウディベロップメントを超えると更に高くなる。小麦粉やドウのタンパク質抽出率は、小麦品種間で異なるが、一般に力の弱い小麦粉の方が高く、ミキシングによる抽出率増加も、この弱い小麦粉の方が高い。タンパク質抽出物中のグルテニンの比率も又、弱い小麦粉で、ミキシング時間と共に増加する。

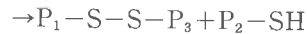
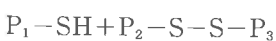
表3 ミキシングと小麦粉タンパク質抽出率との関係

小麦粉	ミキシング条件	抽出率（抽出N%）（**）		
		SDS-可溶	2-ME-可溶	残査
SRA	小麦粉	72.6	25.9	1.5
	ミキソグラフ（10g）で3分間	93.5	4.5	2.0
	〃 15分間	95.0	3.1	1.9
KSU	小麦粉	63.8	33.5	2.7
	ミキソグラフ（10g）で4分間	89.7	8.0	2.3
	〃 15分間	93.9	3.5	2.5
		0.05N酢酸中でのホモジネーション時間と抽出全タンパク質量（%）の関係（**）		
		30分	60分	90分
Red River68	小麦粉	5.4	5.7	5.8
	ファリノグラフで 15分間	6.2	6.2	6.2
Maniton	小麦粉	6.1	6.3	6.4
	ファリノグラフで 15分間	8.0	8.0	8.0
Talbot	小麦粉	6.2	6.3	6.4
	ファリノグラフで 15分間	8.4	8.4	8.5

SDS：ドデシル硫酸ナトリウム 2-ME：2-メルカプトエタノール

なぜ、タンパク質抽出率がミキシングと共に増加するのか、これを説明するために、二つの仮説が提唱された。一つは、タンパク質集合体が、ミキシングでばらばらになるため、という考え方である。そのためにタンパク質分子が抽出溶媒に溶け易くなる。この説明では、ただ非共有結合（水素結合、イオン結合、疎水結合等）だけが壊れるものと考えられる。その結果、それぞれ個々のタンパク質分子のサイズはほぼ同じになる。先に示したグルテンゲル構造の仮説は、このような考え方とよく一致する。疎水的に結ばれたユニットとユニットの間にミキシングによって水のゾーン（帯）が形成され、小麦粉中にガラス状の連続したタンパク質マトリックスが出来る。このような水を含んだゲル状タンパク質をつくるためにはエネルギーが必要とされる。

もう一つの仮説は、解重合が生じてタンパク質の溶解性が増加するというものである。特に分子に影響が生じるのはグルテン分子である。解重合は少なくとも三つの異なったメカニズムで進む。それらはSH/SS交換反応、酵素的加水分解反応、そしてSS結合の開裂反応である。タンパク質と低分子SH化合物の間のSH-SS交換反応は、タンパク質の分子量が減少する方向に次のように進む。



P_1-SH は P_2-SH より分子量がずっと小さいものと考えたとすると、反応が右方向に進んだとき、タンパク質の溶解度は増加するはずである。低分子量（LMW）SH化合物の分子数は、ミキシング時の小麦粉の強度に影響する。ドウのブレイクダウンに、LMW-SH化合物が重要な役割を果たしていると言われているが、そのことは、水に透析した小麦粉をドウに混ぜると、ミキシングを長時間行ってもブレイクダウンしないという事実からもわかる。この時、グルタチオンをそこに添加すると、ブレイクダウンが起こる。

小麦粉から透析されたものには、システイン（ $44.31 \times 10^{-7} \text{mol}$ ）やグルタチオン（ $17.73 \times 10^{-7} \text{mol}$ ）が含まれている。ドウ中のSH基の数は、ミキシング中に減少するが、優れたベーキング結果を示す品種の小麦粉では、その減少がより大きい。SH基の数は、小麦粉中では $60.4 \sim 69.3 \mu\text{mol/g}$ タンパク質であったが、ドウ中では $44.0 \sim 59.8 \mu\text{mol/g}$ タンパク質に減少する。SH基の減少は、ドウをハンドリングする上で好都合である。ドウの粘りがSH基の数に関係があるからである。

共有結合はプロテアーゼで切断されるが、健全な小麦粉では、ドウディベロップメントの最中にこのようなプロテアーゼによる加水分解反応は起こらない。また、強度の物理的な引き裂き力で、

SS結合の開裂が起こり、タンパク質の解重合反応が進む。SS結合の開裂は、SHラジカルを生じ、活性な二重結合を含む化合物と反応する。もし、ブチルヒドロキシアニソール (BHA) やブチルヒドロキシトルエン (BHT) のような、ラジカルスカベンジャー (ラジカル消却剤) を加えるなら、ミキシング曲線は安定化する。

引き裂き力で起こる解重合は、その条件として、タンパク質分子が十分に大きいことがあげられる。分子は、その中央部で開裂することが予想されるが、それは最も大きい張力がそこにかかるからである。たとえば、ファリノグラフでミキシングする時に生じる張力は、共有結合の中でも最も弱いSS結合を開裂できるぐらいの大きさである。このタイプの解重合では、分子量分布が低分子側に变化する。高分子側のタンパク質分子ではこの分解を受けるが、ある分子量以下のタンパク質では全く影響されない。そこで、このような重合物の中のどこにSS結合があるのかが、大変に重要となる。もし、これらの結合が開裂すると、分子の中心部にこれらの結合をもつもの程、より“レオロジー的に活性”なものといえる。

ミキシング中に分解が起こったかどうかを証明する最も簡単な方法は、ミキシング前後でのタンパク質の分子量分布を調べればよい。しかし、この一見簡単そうな方法は、グルテニンが高分子量のためにうまくゆかない。我々が求めているような、この小さな変化を明らかにするようなゲル濾過クロマトグラフィーの方法は今のところない。もう一つの方法はSH基とSS基の含有量の変化を測定することである。しかしこちらの方も、すでに議論したように、測定方法の感度が良くないため難しい。

しかし、解重合が実際に生じているといういくつかのデータはある。小麦粉とドウから各々抽出されたタンパク質を、更に種類別に分け (オズボーン分画法)、これをSDS-PAGEとゲル濾過法により分子量の違いで分画した。小麦粉中のアルブミンとグロブリンは、ドウのミキシング中には変化しなかった。解重合は最も高分子量のタンパク質だけに起こり、ある分子量以下のタンパク質では全く起こらない。これは観察された事実である。

抽出物中の低分子グルテニン量を調べると、小麦粉中よりドウ中のほうに多い。その結果、それ以外の残査タンパク質量は抽出物中で少なかった。

SDS-PAGEは、還元されたグルテニン、残査タンパク質の両方の分子量に変化のないことを示した。もし、解重合が起これば、グルテニンのサブユニットが影響を受けることも考えられないし、更にそれよりも、これらのサブユニットからより大きな集合体ができることも考えられない。グリアジングループも又、ドウがブレイクダウンを起こす時、影響を受けた。この時、タンパク質溶解度は増加し、SDS-PAGEのHMW(高分子量)域に新しいタイパク質のバンドが現われた。これは恐らくグルテニンが分解した結果であり、その断片はまるでそれらが元々グリアジングループに属していたかのように見える。

もし、システインがドウミキシング中に混在すると、タンパク質抽出率は増加する。この抽出率はミキシング時間による影響を受けず、分子間SS結合の還元によって生じたものと説明されている。しかしシステイン又は他のレオロジー的活性物質(KBrO_3 、 KIO_3 、NEMI、フェルラ酸)の入ったドウをミキシングしても、抽出されるタンパク質の分子量分布に変化を見出すことは不可能であった。

色々な研究結果を参照にしながら我々の得た結論は、次のようなものである。ミキシングの初期の段階でタンパク質の溶解性が増加するのは、タンパク質中の非共有結合が開裂したためで、その時、小麦内胚乳のガラス質タンパク質は水層で取り囲まれ、小さなユニットを形成する。このグルテンゲルの構造については先に紹介した。ドウのブレイクダウンを伴いながら、更にミキシングを続けると、SS結合の開裂が起こる。

(2) 脂質

先に色々な小麦脂質-水相の物理的性質を論じた時、これら各相の分散の性質についても述べた。ラメラ液晶相だけが、自然に分散し、その相だけが疎水性/親水性界面 (空気/水、油/水の界面のような) の安定化に効果がある。

ドウがミキシングされる時、小麦脂質は水を伴った会合体をグルテンゲル中で形成する。これは、

電子顕微鏡を用いた研究により、はっきりと証明されている。さらに、水分含量を色々変えたグルテンゲルのX線解析データは、ラメラ液晶相が、ゲル中に存在していることを示した。ドウをミキシングする間に、これらの脂質混合物に一体何が起きているのか？ この疑問に答えるためには、二つの水準でドウへのミキシングの影響を考えねばならない。

全小麦脂質抽出物が水と接触すると、非極性脂質の多い脂質（油相）と極性脂質の多い脂質（液晶）とに自然に分離する。しかし、小麦粉中で各脂質は、この脂質抽出物中のようには分子同士は混じり合っていない。水とミキシングするということは、小麦粉中の極性脂質は水の中で膨潤し始めることを意味しており、このことは先に相ダイアグラムを用いて説明した。一方、非極性脂質は初期には油滴として存在するが、ミキシングによりこれらの二種のタイプの集合体が接触すると、極性又は非極性脂質間の交換が起こる。

こうして小麦粉中の脂質も、その脂質抽出物に見られたと同じような脂質相－水相間の平衡状態

に達しようとする傾向を示す。しかし、実際にはミキシングだけで平衡には達しない。ミキシングの程度によって、グルテンゲル中にどんな脂質集合体ができるか、という脂質の化学的種類の違いが決まる。このことが脂質の機能に影響するが、先に図で示されるように、異なった混合物はそれぞれ異なった相の構造を示す。これと関連して、添加乳化剤についても考慮することが重要である。乳化剤は、元々ドウに含まれている脂質といつも互いに影響し合っている。乳化剤の効果も、そのためにドウのミキシング条件で変わる。

第二番目の水準とは、動力学的に安定な状態に達した脂質相が、次々にドウに与える機能的効果のことである。ここでもまたその効果は、ミキシングの条件によって変わるだろう。そのうちラメラ相が最も重要であると考えられるが、それまで各リポソーム様集合体として存在していた脂質は、ドウを長くミキシングすると、疎水性／親水性界面上に均一に分布するようになる。こうした脂質のベーキング改良への重要性は、基本的にはミキシング時間と共に増加するようになる。

特許出願公開中のパン関連発明(要約)

冷凍パン生地¹の製造方法および冷凍パン生地用品質改良剤 公開番号2007-125010
公開日05月24日 味の素(株)優先権主張番号2005290667

〈課題〉焼成後の品質が良好で、保存による品質劣化の抑制されたパン、ペーカリー製品を得ることができる、冷凍パン生地¹の製造方法及び冷凍パン生地用の品質改良剤を提供する。

〈解決手段〉冷凍パン生地¹の製造にトランスグルコシダーゼを用いる。品質改良剤にトランスグルコシダーゼを配合する。

パンの製造方法 公開番号2007-124928

公開日05月24日 山崎製パン(株)

〈課題〉多量の難消化性澱粉を添加したとしても、混捏したパン生地から伸展性、膨張性および弾力性が失われることに起因して、このパン生地を焼成したパンの形状が安定せず、均一性を欠いたり、またはクラストに亀裂が発生したりすることを抑制する。

〈解決手段〉パン生地¹の混捏工程で原料粉として小麦粉および難消化性澱粉を添加するパンの製造方法において、該小麦粉の一部として小麦蛋白質量が13.5質量%を超える高蛋白質含有量の超強力粉を添加し、また、活性グルテンおよびグリアジンのうち少なくとも活性グルテンを添加するとともに、架橋澱粉および／または増粘剤含有油脂を添加する。

果実中に含まれる糖質非アルコール性発酵酵素 公開番号2007-124996 公開日05月24日 三宅敬

〈課題〉ブドウ酒発酵液¹の残渣からの有用成分採取方法、およびその成分の利用方法の提供。

〈解決手段〉ブドウ酒発酵液¹の残渣を綿布袋に入れ圧迫或いは搾り、糖質非アルコール性発酵酵素が多量に含まれる液体を得る。これを糖液(糖濃度20~40%)に混合し、15~30℃にて48~72時間培養して純粋培養

液を得る。この培養液に小麦粉を添加して発酵させ、風味豊かな自然食品のパンを製造することができる。また、該培養液を使用して、シャンパンを製造することができる。

ダッタンソバ粉を用いたパン類およびその製造方法 公開番号2007-135453 公開日06月07日 生活協同組合コープこうべ 毎日フード(株)

〈課題〉ダッタンソバ¹に対して特別な処理を加えたり、特別な添加剤を用いることなく、糖尿病などに対して有効で、しかも通常のパンに比べてしっとりとした食感を有するパンを提供する。

〈解決手段〉ダッタンソバ粉に熱湯を加え混捏して湯種を練り上げ、練り上げた湯種に小麦粉を主原料とする穀粉、酵母、その他の副材料、更に必要に応じて水分を加えて混捏して常温でパン生地を練り上げ、練り上げたパン生地を発酵させた後、焼成してなり、ルチンの含有量が20mg/100g未満であり、かつケルセチンを50mg/100g以上好ましくは50mg/100g~60mg/100g含有するパン類。

セルロースパンとその製造方法 公開番号2007-135562 公開日06月07日 山根千弘 瀬口正晴

〈課題〉従来、セルロースを使った低カロリーパンは、小麦粉に対しセルロースを最大でも35重量%導入するに留まっていた。したがって、大幅な低カロリー化という観点では不十分といわざるを得ない。セルロースが多量に存在していても、色、外観、気泡構造などの内部構造、ふくらみや柔らかさや弾力性などの物性、食感などが一般のパンと同じであるパンを提供する。

〈解決手段〉セルロース／水酸化ナトリウム水溶液またはセルロース／硫酸水溶液から多孔構造の再生セルロースを得ること、またはこれに食用多糖類及び／またはポリペ

特許出願公開中のパン関連発明(要約)

ブチドを複合化させることによって、セルロース含量が全固形分に対し40重量%以上、好ましくは55重量%以上と極めて高く、かつ外観、物性等が一般のパンと同じであるセルロースパンを得た。

食品生地 の製造方法 公開番号2007—135563 公開日06月07日 伊藤修二

〈課題〉パンやピザなど食品生地の加工時において、粉体と液体の混練を行うとき周辺に粉体が飛散し、また混捏を行うときは打ち付ける作業台が必要であり、設備面や衛生面から製造する場所が限定され、何処でも誰でも手軽に作ることが出来ない。

〈解決手段〉食品生地を作成するために必要な全ての原料を一つの容器に投入し、該容器を密閉して全体または一部に外部から力を加えて該容器を振り、または叩くことによって、該容器の内部にある生地原料を混練し混捏する。また、発酵によって内部で原料が膨張し、その圧力で出来上がった食品生地を所要の場所に排出する。この方法によって粉や液体が外部に漏洩せず、また混捏するための作業台の必要もなく、何処でも誰でも手軽に作ることができる。

油脂性素材配合焼菓子練り込み用油脂組成物 公開番号2007—143433 公開日06月14日 (株)ADEKA

〈課題〉クリーミング性が良好で、且つ、焼成後経時的に発生するブルームや白色化を抑制し、また、油脂性素材の焼成加熱による固化現象を緩和することができる油脂性素材配合焼菓子練り込み用油脂組成物を提供すること。

〈解決手段〉ヨウ素価52～70のパーム分別軟部油を70質量%以上含む油脂配合物をエステル交換した油脂を、油相中に80～100質量%含有することを特徴とする油脂性素材配合焼菓子練り込み用油脂組成物。

低蛋白ラスクおよびその製造方法 公開番号2007—151531 公開日06月21日 (株)バイ

オテックジャパン 優先権主張番号2005323012

〈課題〉腎臓病患者用の低蛋白保存食となる乾パンの蛋白含有量の1/10以下の低蛋白ラスクを提供する。

〈解決手段〉パン生地として、低蛋白米粉または低蛋白米粉と小麦澱粉を主成分とした粉生地に、少なくとも粉生地量に対して膜形成材として1.5%重量以上の増粘多糖類を加え、また硬化抑制材として、適宜量の α 化澱粉(α 化低蛋白米粉又は梗米 α 粉)と β アミラーゼを添加してなる生地を使用して、常法通り製パンした後、所定時間放冷し、適宜な厚さにスライスし、常法通りの中が乾燥するまでトーストして製出する。

スプレッドその製造方法およびスプレッドを用いたベーカリー製品 公開番号2007—151547 公開日06月21日 森永製菓(株) 優先権主張番号2005327997

〈課題〉ウエハース、パン等の表面に塗り広げて食される加工油脂食品であるスプレッドにおいて、栄養的価値の高い蛋白質を高濃度に含有し、且つ、ウエハース等に塗り広げるのが容易であり、菓子加工時の取り扱い性にも優れたスプレッドおよびその製造方法を提供し、並びに、該スプレッドを用いたベーカリー製品を提供する。

〈解決手段〉油脂と蛋白質組成物と糖質とを含有し、蛋白質含有量が20～60質量%であるスプレッド原料混合物を最大粒径が15～40 μ mとなるように微粒子してスプレッドを得る。また、前記スプレッドを第一スプレッド原料とし、最大粒径が40 μ mを超える第二スプレッド原料をスプレッド全体の85質量%以下で添加してスプレッドを得る。更にまた、これらのスプレッドをウエハース、ビスケット、クラッカー、パン、中空菓子等に塗付、または充填してベーカリー製品を得る。