

JIBはみだし授業

日本パン技術研究所教育コースの興味深いテーマを解説します。

「黒い小麦粉って、 美味しいの？」【その3】

～高灰分粉の深くて未だに不明瞭な部分の本質を探ります～

(一社)日本パン技術研究所 研究調査部 原田昌博

【その1】(Pain2020. 5号通巻797号)では黒い小麦粉の栄養的な価値と、昨今の欧州の主流の小麦粉に対して日本のフランスパン用粉の灰分が低いことに対するフランスパン用粉の生い立ちに迫り、【その2】(Pain2020.9号通巻801号)では小麦粒表面に付着した微量な成分や微生物について述べました。今回の【その3】では漸く小麦粒の内部に話題を移します。その前半編として小麦の皮部やその近傍の成分について述べてまいります。

7. 麦の皮部分に多く含まれる食物繊維

黒い小麦粉は皮部が小麦粉に混ざるため皮部分の成分が小麦粉の栄養や、製パン性に影響を与えます。製粉方法によっては胚芽に含まれる成分も関与してきます。皮部近傍を電子顕微鏡で観察した画像を写真4に示します。微生物や酵素によって分解されにくいセルロースは外皮から糊粉層(アリューロン層)にかけて含まれており、小麦粒の生命体存続のための防御壁となっています。細胞壁の構成成分であるアラ

ビノキシランは外皮部分に多く、胚乳においても細胞壁として僅かながら含まれています。それ以外では、大麦やコンニャク芋と比べると少ないのですが、 β -グルカンやグルコマンナンも含まれています。

これらのうち、製粉によって微細化し不定形の形となった不溶性の繊維(セルロースや不溶性のアラビノキシラン)断片は、それら自体の粘着性が弱いことから、全粒粉を多くブレンドしたパン生地ほどミキシング初期では攪拌子(フックなど)に付着しにくく、攪拌子から離れ、あたかも硬い生地かのような振る舞いを見せる原因のひとつになっています。それでもミキシングを続けていき、高速回転にシフトアップしていくと、不定形の不溶性の繊維は薄膜状になったグルテン膜の間にデンプン粒と一緒に埋もれていきます。捏ね上がった生地は発酵工程を経た後、外部からの力(丸めや成形などの加工硬化)によって伸長抵抗(弾力性)が次第に高まっていく途中、不定形の繊維はグルテン膜に傷をつけて気泡膜に穴を開けるため、気泡の中の炭酸ガスが漏れやすい状態に陥っていきます。その結果、生地は伸縮性が低下します。さら

に生地膜の破壊が著しい場合、生地は可塑的になっていき、結果として窯伸びせず、内相は丸目で膜質は厚く、食感は脆くなっていきます。この可塑的な変化を防ぐためには破壊されないほどのグルテン膜の量が必要で、その目的で一般に粉末グルテンが添加されます。

一方、可溶性の繊維(可溶性アラビノキシランや β -グルカン)は吸水性が高いため、ミキシング中に水を奪って吸水していきます。このため、黒い小麦粉を多く用いた製パンではミキシング時の生地の挙動を見ていると加水量を増やしたいという衝動に駆られます。しかし、実際の製パンにおいてはミキシング

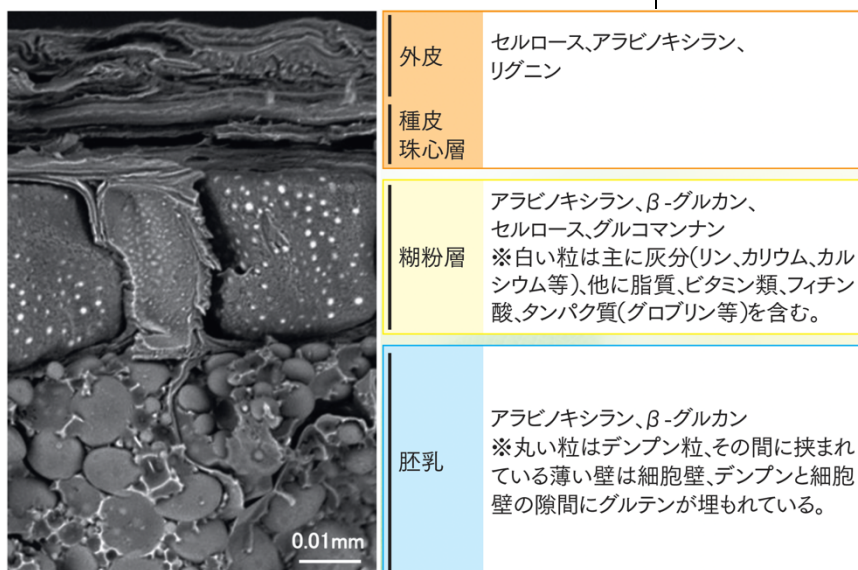


写真4. 小麦粒の皮部近傍の電子顕微鏡写真と食物繊維
(西日本農研 池田達哉氏提供)

時の生地をやや硬めに調製しておかなければ、後の工程で悲劇に見舞われます。その悲劇とは、工程途中で生地が軟化して弾力を失い、結果として腰の無い生地へと変貌していくということです。この生地の軟化の理由は色々と考えられますが、一つは後述する成分によるグルテンの還元作用(フェノール化合物や、生地の酸性化に対する緩衝作用)と、もう一つは小麦粉中の損傷デンプンがアミラーゼの作用を受けて分解され、デンプン損傷部から離水してきた水による離水軟化現象によるものです。

損傷デンプン分解による離水について、仮にパンの製法がストレート法の場合、その水は生地の弾力性で受け止められます。ただし、これは適切な蛋白含量を持った小麦粉を使用した場合に限ります。パンの配合に通常製パンに使用する原料以外の食品素材が使用可能な場合、吸水性の高い食品素材(例えばこんにゃく芋の粉、アルファ化澱粉など)を少量添加して、離水した水をそれら食品素材に吸収させることで、生地の過剰軟化による流動性を食い止める方法もあります。しかし、吸水性の高い食品素材を使用しているにも関わらず、ミキシング時に十分量を超えた水を添加していたらどうなるでしょう。おそらく、離水で溢れた水は吸水性の高い食品素材で受け止めることができずに生地の軟化は一層進むことになるでしょう。これらの現象は全粒粉を多くブレンドした生地でも同様の現象が起こります。

さらに小麦外皮近傍の繊維質も吸水することができます。特に水溶性の食物繊維は多くの水を抱き抱えます。しかし、ミキシングで軟らかめの生地に捏ね上げてしまったら、製パン工程中に滲み出てくる水に対して吸水限界を超えてしまいます。そのような状態に加えて、グルテンの性質がやや弱くて脆い状態になってくるという生地の変化も相まって、最終的に生地がダレて窯で伸びないという事になるでしょう。この現象に対して、視点を変えてデンプンの糊化と老化の切り口で考えます。例えば黒い小麦粉を使用して加水量が幾分増えたと仮定します。この生地の場合、焼成中のデンプンの糊化に使用できる水は増えます。よってデンプンの糊化度は上がるため、焼き立て直後の温かいうちはそれなりに柔らかいパンになると推測されます。しかし、室温に戻って日が経つに連れてデンプン粒から水が離水し老化していきます。これが気泡膜中の熱変性したグルテン膜に戻ってくれば、クラムは触るとウェットに感じられるのですが、その離水した水が繊維へと吸収されると、パンのクラムはバサバサになって老化の早いパンになるという結末です。したがって、全粒粉を多くブレンドして窯伸びするソフトなパンを作る場合、工程中の離水軟化現象を想定して、ミキシング中の生地は硬めが鉄則で、生地膜は極めて薄く、破れにくい膜質に調整する必要があります。品質面ではバサつき易く老化が早いとい

		A(非冷凍生地用)	B(冷凍生地用)
表示	ヘミセルラーゼ	0.2%	
	キシラナーゼ		0.05%
	α-アミラーゼ	0.5%	0.05%
	ビタミンC	1.4%	1.6%
	その他	(その他、省略)	(その他、省略)
分析値	キシラナーゼ※1	0.15units/g	0.30units/g
	アラビノキシラナーゼ※1	0.19units/g	1.19units/g
	β-グルカナーゼ※1	0.13units/g	0.02units/g
	α-アミラーゼ※2	53.93units/g	38.76units/g

※1:メガザイム社の分析キットを使用、※2:色素デンプン法

表5. 市販生地改良剤の実際の酵素活性
(農研機構 作物研究所協力 2010 年)

品質上の欠点は完全には解消できませんが、幾分かはマシになるはずです。

20 年前頃から、製パンに対してネガティブに作用する繊維を分解してグルテンの粘弾性を高める酵素が使われ始めました。近年ではさらに高機能な酵素製剤も販売されています。昔の話で余談になりますが、私は平成 12 年 8 月に、日本パン技術研究所(以下パン技研)で開催された夏季セミナーを受講し、その時にヘミセルラーゼの効能を教わりました。当時を思い返すと、本当に画期的な酵素だったという記憶があります。その数年後、各社の酵素製剤や生地改良剤を色々試してみるうちに、それぞれの製パンに与える影響が微妙に違うことに気がきました。

9 年前のデータですが、市販の生地改良剤 2 種類の中の繊維分解活性を基質特異性の異なる酵素活性ごとに分析した結果を表 5 に示します。両方とも「ヘミセルラーゼ」あるいは「ペントサナーゼ」を含む改良剤ですが、過剰に生地を緩めることなく、グルテンの粘弾性を高める作用は改良剤 B の方が高く、改良剤 A は非冷凍生地用ということもあって、生地中の β-グルカンや損傷デンプンの分解を促し、生地に流動性を与える性質が強いことが判ります。このように、一概に「ヘミセルラーゼ」あるいは「ペントサナーゼ」と言っても、食品用として製造された酵素製剤や生地改良剤は、その酵素の活性の違い(精製度)以外にも基質特異性がわずかに異なるため、より高い製パン性を求める場合、酵素製剤や生地改良剤の実際の製パンにおける比較試験が必要になるのです。

8. 麦の皮部分に含まれる生理活性成分

黒い小麦粉や全粒粉では皮部分に局在する 2 つの成分が栄養や製パン性に影響を与えるといわれています。

その一つはフィチン酸で、その化学構造式からイノシトール-6-リン酸(イノシトールの 6 つの水酸基にリン酸が結合した形)とも呼ばれ、植物では主に種子に結晶化した状態で蓄えられます。通常、小麦ではリン酸が結合したフィチン態リ

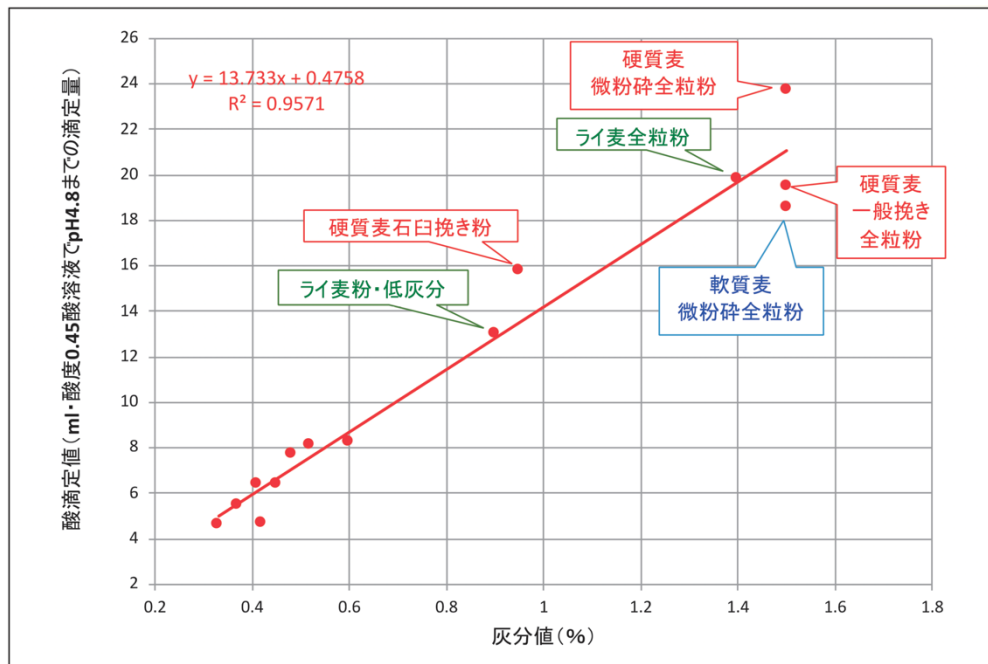


図6. 小麦粉・ライ麦粉の灰分値とpH4.8 になるまでの酸滴定量の関係(208 期ブレッドコース卒業研究)

ン酸の形で 142～1150 mg/100g ほど含まれ(ビタミン辞典より、米では 15～30mg/100g、ピーナッツでは 133～304mg/100g で小麦はやや多い)、小麦の全リンの 70～80% がこの形態で存在しています。そしてフィチン酸自体には毒性はありませんが、カルシウムやマグネシウム、亜鉛などの金属イオンと強く結合し、水に溶けにくい物質になるため、一般に食事から摂取したミネラルがフィチン酸と結合して体内に吸収されずに排泄されてしまい、ミネラル不足に陥るといわれています。ただ、幸いにも日頃の食生活を考えると、黒い小麦粉を過剰に摂取する機会が少ないため、ミネラルの吸収阻害を気にするよりも、むしろ現実的には日本人が不足している食物繊維の摂取によるメリットを考えた方がよいかもしれません。

製パンにおける影響を考えると、フィチン酸が生地の弾性を抑制している要素の一因かもしれません。フィチン酸を食品添加物として販売している扶桑化学工業製品の HP サイトには次のような記述が書かれています。「キレート作用が強く、多くの金属イオンと強く結合します。そのキレート作用がpH 緩衝、変色防止、酸味料など様々な利用をもたらしています」。また、Shengjin technology Co., Ltd.では water softener (軟水化剤)としてフィチン酸を販売しています。つまり、製パン時に配合するイーストフード由来のカルシウム塩やマグネシウム塩とフィチン酸が結合して、生地中の水相の硬度を低下させるということです。その結果軟水で生地を仕込んだ時のように生地が弱化するという、その原因の一つかもしれません。ただ、サワー種製パンにおいては、灰分の高い小麦粉ほどフィチン酸を分解する酸性フィターゼの作用も強くなるので、ミネラルの吸収阻害や製パン性低下の要素は幾分、改善

されるかもしれません。(酸性フィターゼについては次回以降のサワー種発酵のところで述べます。)

pH 緩衝作用については、パン技研の 100 日コースの卒業研究でも、それを実証する結果を得ています。図6に示す通り、メーカーのカatalogに示されている灰分値を横軸にとり pH4.8 (強力 1 等粉の無糖中種 4 時間発酵終了時の pH) に下がるまでの酸の滴定量を測定したところ、灰分が高いほど滴定量が多くなる傾向が見られました。その相関係数はメーカーのカatalog値でありながら 0.9571 という非常に高い相関を示しました。これを逆にサワー種発酵で言い換えるならば、白い粉と黒い粉で pH が同じ 4.0 とするならば、酸度は灰分と相関性が高いため黒い粉ほど酸度が高いということになります。また、強い緩衝作用によって、中種製パン法などの発酵種製法では発酵種発酵中に蓄積した有機酸の作用(本捏ね添加の食塩との相互作用)で本捏ね生地が短時間で締まってくる(弾性化する)現象が緩和されます。したがって、これも生地をダレさせる要因に繋がります。

もう一つの成分はフェルラ酸です。これはポリフェノールの一種で、アントシアニン(色素)やカテキン、ルチン、クルクミンなどの機能性成分と類似の構造を持ち、細胞壁や外皮に存在し、リグニン(高等植物の木化に関与する高分子のフェノール性化合物)やヘミセルロースと結合しています。そして、他のフェノール化合物と同様に抗酸化作用を持っています。このため「食品添加物リスト」に「酸化防止剤」として掲げられており、アスコルビン酸(ビタミンC)やビタミンEと同様に酸化防止効果が確認されています(うち、アスコルビン酸はパン生地中では酸化型となり酸化剤として作用します)。また、穀物中のフェルラ酸は外皮を含む全粒粉

(127.2mg/100g) や胚芽 (137.1mg/100g) に多く含まれており (強力粉では 7.9mg/100g・日本食品科学工学会誌 45 巻・8 号、1998)、小麦粉生地中ではグルテンの酸化的弾性化を阻害し、還元剤として働くことが判っています (椎葉究編著「シリアルサイエンス」)。

従って、黒い小麦粉ほど、繊維によるグルテンのガス保持力の低下、フィチン酸による仕込み水の硬度低下による生地のベタつき、緩衝作用による弾性化阻害、フェルラ酸による酸化剤要求量の増加 (酸化剤の無効化)、これらが同時に起こるため、製パン性改善の目的で「単に粉末グルテンと L-アスコルビン酸を補強すれば生地物性が改善される」というほど単純ではないことが推測されます。今まで、「黒い小麦粉は酵素が多い、あるいは酵素活性が強いから生地がダレる」といわれて久しくなりますが、バイオテクノロジーが発展した今でも酵素の名前をはっきりと記した著書に行き当たりません。ひょっとしたら全粒粉生地のダレる主たる原因は酵素ではないのかもしれない。

9. 嗜好性低下に関わる成分

蕎麦は挽き立てが良いと言われるように、最近ではライ麦粉や全粒粉においても物流を駆使して極力挽き立てを提供したり、逆に経時変化を防ぐために熱処理をしたり、ガスバリア性の包装フィルムに脱酸素剤を入れて販売しているところもあります。恐らく熱処理は酵素のような生体触媒の失活を目的とし、脱酸素は酸化による変敗を防ぐことを目的としているのではないかと思います。また、黒い小麦粉で食パンなどの軟らかい製品を作るとフスマ臭や苦みやエグ味を生じます。これらの 3 つの要因について掘り下げていきます。

酵素的な反応には脂質酸化酵素のリポキシゲナーゼや脂質分解酵素のリパーゼが関与します。リポキシゲナーゼは生大豆粉にも多く含まれており、小麦粉に少し添加すると生地は白くなります。添加量が多すぎると青臭さや古米臭 (物質名: ヘキサナール) が生じ嗜好性を低下させます。小麦には大豆とは異なる基質特異性 (酸化させる対象物) を持つリポキシゲナーゼが僅かながら含まれることが判っています。小麦由来のリポキシゲナーゼはリノール酸などの不飽和脂肪酸以外の遊離の脂肪酸にも作用し、これらを過酸化脂質に変えます。その過酸化脂質はさらに分解を受けて低分子化し揮発性を伴うヘキサナールへと変わる反応が起こります。そして酵素作用は基質となる油脂を多く含む胚芽やアリューロン層が混ざった粉、つまり高灰分の粉ほど作用が大きくなります。一方、リパーゼも胚芽やアリューロン層に多く含まれ、これら組織に多く含まれる脂質に作用して脂肪酸を遊離させます。遊離した脂肪酸は酸化されやすく、この反応も異臭の原因となっています。従って、これらの酵素活性を阻止する意味で、

加熱処理が有効になってくるということです。

また、酵素が失活したとしても阻止できない酸化反応もあります。小麦粉は数ミクロンから百数十ミクロンの粒の集合体なので、粒と粒の隙間にはどうしても空気が存在します。また、セモリナ (粗挽き) よりも小麦粉は粒子径が細かいため酸素に触れる表面積が大きくなります。そこに、酸化を促進する酸素、金属イオン、過酸化物質、温度、紫外線などの作用が複合的に加わると酸化反応が連鎖的に起こって、異臭を伴うようになります。特に灰分が高い小麦粉は含有するミネラル (金属イオン) が多いため、酸化反応も起こりやすいことが容易に推測されます。従って、酸化の原因となる酸素を袋から可能な限り抜き、暗所の低温で保管することも有効になってくるというわけです。

ここまでは小麦粉の状態のままで変化する成分によって生じる嗜好性低下に関する要因を述べましたが、黒い小麦粉を用いて二次加工 (製パン・製菓) すると更に嗜好性を低下させる成分が最終製品のパンや菓子の中に生まれてきます。この原因はフェノール化合物と還元糖の熱重合によるものです。アメリカでは肥満などの生活習慣病の疾病抑止と食生活改善の目的で、全粒粉 100% のパンが法規制の下で一般の小麦粉パンとは区分けされた商品棚で販売されています。それに使用されている原料小麦には白粒小麦 (Hard White) が良いとされ、白粒小麦の産地では白粒小麦全粒粉として流通されています (パン技術 No.836)。その理由は全粒粉特有の苦味、エグ味、フスマ臭が赤粒小麦よりも穏やかだからです。そして小麦の表皮の色の違いによる嗜好性低下の原因はフェノール化合物ではないかと考えられています。さらにカナダ・グエルフ大学食品化学課と同食品研究センターによる文献 (Journal of Cereal Science 56, 2012, 181-188) によると、嗜好性低下の原因となるフェノール化合物の特定までには至っていませんが、フェノール化合物に起因する嗜好性低下の程度と製品の水分含量には正の相関があり、クラッカーなどの低水分の食品よりもパン製品のように高水分の食品の方が、嗜好性を著しく低下させることが示されています。小麦種皮のフェノール化合物は外皮の色調と関係しており、そのフェノール化合物の一種であるプロアントシアニジンは種子の生体防御や穂発芽抵抗性にも関与しています。従って、赤粒系統の小麦品種に白粒系統の小麦品種を交配 (もどし交雑など) して白粒系統にした場合、栽培性が著しく低下することが農研機構の研究によって解明されてきています。しかし、国内産小麦で白粒小麦は唯一 1 品種のみ今も栽培されています。品種名はタマイズミ R (産地: 栃木県・三重県) です。輸入小麦銘柄では 3 銘柄が輸入されており、主として中華麺に使用されているオーストラリア産プライムハード (PH)、日本麵用のオーストラリアン・スタンダード・ホワイト (ASW) と菓子用のアメリカ産ウェスタンホワイト (WW) です (写



写真5. 赤粒／白粒小麦の種子と全粒粉の色相(ウェット)

真5)。これら以外は全て赤粒系統に属します。

さらに、これまでの100日コース・ブレッドコースにおける卒業研究において、嗜好性低下の原因の一つに糖が関係している可能性が高いことを掘んでいます。特に果糖の残糖量が多いと焼成中に、ふすま臭や苦味、エグ味が増強されることが実証されています。このことはカナダ・グエルフ大学食品化学課と同食品研究センターによる文献にも記述があり、メイラード反応の中間体とフェノール化合物が反応していることが示唆されています。そして赤粒と白粒の小麦粉で調製したパンのフェノール化合物量はパンのクラム（内相）とクラスト（表皮）で白粒の方が少なく、クラムやクラスト中に存在する遊離のフェノール化合物の種類も異なることが分かっています。また、反応性の高い果糖は、高灰分の粉に多く含まれるショ糖（次回掲載号に後述します）や製パン時に添加される砂糖（ショ糖）にパン酵母の持っているインベルターゼ（ショ糖分解酵素）が作用することによっても生じます。従って、赤粒と白粒の種皮中のフェノール類の量と質の違いと、二次加工（製パン・製菓）条件により全粒粉パンのふすま臭やエグ味が軽減化できるかもしれないということです。

（つづく）