

製パンに於ける小麦(2)

2. 小麦粒の構造

製粉の目的は、胚乳からふすまや胚芽を分けることである。胚乳部は製粉によってはじめて小麦粉になる。しかしながら製粉は、ふすまと胚乳を完全に分けるだけでは十分でなく、さらに胚乳を適度なサイズの粒子に小さくしなければならない。胚乳部から小麦粉への移行は、できるだけたくさん、理想的には全ての胚乳が小麦粉中にくるようにしたい。そこで、ふすまや胚芽を、胚乳の細胞や、その小さなかたまりから除去しなければならない。

製粉後、全小麦粒のうちどれくらいが、小麦粉になったのかをみるのに歩留りという言葉が使われる。100%の歩留りとは、小麦粒の全てが小麦粉として利用されることを示す。そのため100%の歩留りの粉は全粒粉と言われている。製粉メーカーの大部分の製品はストレートグレートであるが、それはおよそ70%の歩留りを示す。

製粉メーカーにとってもう一つ別の重要なことは、1バッチから次の1バッチの小麦粉の品質が変化しないように安定化させることである。常に品質の安定した小麦粉を得るために、製粉メーカーは色々な違う小麦を混合することを行っている。

そのため製粉方法として、各製粉メーカーはかなり多数の重要な製粉のストリーム（流れ）をもっている。これらのストリームは、ある指定された一定の品質の小麦をつくるために混合される。しかし、全てのストリームがブレンドに適しているわけではない。それらのストリームの物理化学

的特性が各々異なることからわかるように各ストリームの構成成分は違う。そこでこれらのストリームを各々違う割合でブレンドしたり、あるいはあるストリームのみを故意に除くか加えるかして違った質の小麦粉をつくることも可能である。

表面化学的に製粉のプロセスを考えてみると、空気中での胚乳のかけらは、その砕け方がどうであろうとも、その表面は疎水的になっている。胚乳のある所は、どこでもエネルギーをできるだけ減少させようとして疎水性と親水性の両面の物質に基づく立体構造をとろうとする。成熟した内胚乳では、乾燥状態態が続くと巨大分子上や、組織上で、さらには水のあるところでもその親水的表面構造をとじこめようとするようになる。

例えば、スフェロームは、乾燥した内胚乳中では、変化なしの状態で存在しているが、しかし一度小麦粉の粒子と接触するとその表面を覆っているものが破壊され、中に入っている油脂がその粒子の表面に付着するようになる。そして、表面エネルギーを極めて効果的に減少させるのである。小麦粉がぬれると、粉表面の分子は水に対して今までの疎水性から親水性にスイッチの切り替えをするようになる。

1. コンディショニング（調整）

たいがいの胚芽は製粉の際に小麦粒から容易に取り除かれる。胚芽は幼芽鞘を介して内胚乳とつながっている。ふすまは反対に内胚乳にびったりと付着している。もし、ふすまと内胚乳が完全に分離しなかったら、ふすまは内胚乳に混入するよ

うになり、その結果小麦粉の歩留りは悪くなる。しかしながら、あるコンディショニングを用いると、製パン用のいろいろなふすまの含量のかわった小麦粉をつくることができる。ここでは、白い小麦粉用の製粉についてのみ論じる。

ふすまの完全な分離を容易にするためには、コンディショニング（調整）とテンパリング（温度調節）が行われている。製粉前に水を小麦に与え、そのまま18～24時間室温に保つ。硬質小麦では水分含量を15～16%、軟質小麦では13～14%にして保持する。ふすまと内胚乳という異なる組織の水分保持能力（WBC=Water Binding Capacity）の違いによって、内胚乳は柔らかくなり、ふすまは硬くなる。内胚乳と比較して、ふすまの硬さと軽さは、製粉を可能にする。

ZiedlerとGreerらによると、コンディショニングは、ひとつの妥協案であるという。本来、製粉の過程でふすまと内胚乳は容易に分離されるべきであり、しかもその分、離操作は簡単なものであるべきである。これらの二つの要求は、小麦粉の低い水分含量の時、最もよく満たされる。同時にそのためには、ふすまの硬さを維持すること（ふすまは、製粉の間につぶれてはならない）、内胚乳の柔らかさを保持することが必要である。これらの条件は、小麦粉中の水分含量が多少高目の時に最もよくあらわれてくる。

小麦粉は初めは急速に水分を吸収する。この初期の水の吸収は、ふすまの外部層でおこる。その後の水の吸収速度は、種皮のために遅くなる。内胚乳における水の吸収速度は、細胞のタイプの違いによって異なる。最終的な水分含量は、ひだの近くの細胞によってきまる。また、温度は水の浸透と内胚乳の軟化に影響する。このコンディショニングをどのように行いかは、各製粉業者が選んだ水、水蒸気、時間、湿度の条件によりきまってくる。

コンディショニングの条件は、始めの穀粒の硬さと、水分含量の両方によってきまってくる。水の浸透は、硬い穀物よりも柔らかい穀物のほうでより早い。さらに元的小麦粒中の水分含量が高い方が早い。元々もっている小麦中の水分は、その後で水を加えて湿らせる時にいろいろと影響す

る。乾いた穀粒では、疎水性になっている表面をまず水で湿らせねばならない。そのことが、水の浸透を遅らせる。高タンパク質含量と低水分含量の硬質小麦粒は、そのため長いコンディショニングの時間を必要とする。

2. 製粉工程

製粉所では、小麦はまず洗浄され、ほこりや他の種類の穀物の種子やその他の汚染物質が取り除かれる。次に、最適の製粉条件を得るため、今まで述べられたコンディショニングが行われる。

これまでの製粉では大きな粒子を次第に小さくする方法が使われている。ほとんどの製粉所では、ローラーシステムを使っている。ロールの数とそれに則したやり方は、ある製粉会社の製粉ユニットと他の会社のものとは異なる。

製粉時には、2つのタイプのロールが用いられる。その一つは、粒を壊すためのブレイクロールで、これは、ガタガタと激しく動くロールであり、もう一つは、粉をより小さくするためのリダクションロールであり、これはなめらかに動くロールである。それらのロールは、一組ずつセットされ、別々のスピードで動いている。

2種類のロールは、製粉の間、違う働きをする。即ちブレイクロールは、小麦粒の組織を破壊するためのものであり、一方リダクションロールは小麦粒の大きさを小さくするためのものである。小麦は最初一連のブレイクロールの列を通り過ぎる。そして次第に細かくされ、ロールの幅はだんだん狭くされていく。ブレイクロールには、表面にひだがついていて、穀粒は片側のロールにつくつき、もう一方のロールが粒を引きちぎる。

穀粒の組織の破壊には、切断と圧迫の両方が必要である。小さなふすまになると胚乳から分離するのが困難になるので、ふすまが小さくなって、ちらばらないように十分に注意しなければならない。ブレイクロールから出てきた壊された小さな粒は、次に篩にかけられる。小麦粉としては、大きすぎる粒は、さらに小さくするためのリダクションロールに送られ、そこで適当な大きさにされる。同じ大きさの粒がくると、リダクションロールでは粉碎が容易である。ふすまはピュアリファイヤーの中できれいに除かれる。

小麦粉の歩留りは、穀粒中の胚乳の割合によって制限され、それは74.9~86.5%の範囲といわれている。今日、用いられている製粉の過程では、糊粉層はふすまの中に混入するが、小麦粉の歩留りは理論値より少ない。

小麦粉の歩留りを予測するのに色々な方法が使われている。穀粒の大きさ、ヘクトリットル重量(100リットル重量)、細胞壁の構造と成分組成といった項目を測定することから小麦粉の歩留りを予測している。穀粒の大きさと小麦粉の歩留りの間の相関係数 r は、冬小麦では0.01、春小麦では-0.08とわかった。ヘクトリットル重量と小麦粉の歩留りの間の相関係数はより高く、冬小麦では $r=0.34$ 、春小麦では $r=0.41$ である。Pomeranzは、製粉時の小麦の性質が非常に異なっているにもかかわらず細胞壁の化学成分や構造は何れも小麦種間でよく似ていると結論している。

3. 粒の硬さ

穀粒の特徴である硬さは、製粉の間に明らかに差として出てくる。小麦の種類は、それらの製粉時の特徴から硬質小麦と軟質小麦とに分けられる。その硬さは小麦の使用目的をきめる。最も硬質な小麦であるデュラム小麦はパスタ用に適しており、最も軟質のものはビスケット用に適している。パン作りに適している小麦は、中間的な硬さを持つ。穀粒の硬さの違いによって、製粉後の小麦粉粒子は見た目にも違っている。軟質小麦では、内胚乳の細胞自体が破れてデンプン粒が外に出てくる傾向にあるが、硬質小麦では細胞間の細胞壁にそってちぎれる傾向にある。

ある硬質小麦では細胞がちぎれるとき、その破壊は、デンプン粒子とタンパク質マトリックス両方でおこる。軟質小麦では、小麦粉粒子は、タンパク質マトリックスから外れたデンプン顆粒のために多少フワフワしているのに対し、硬質小麦からの粒子は単独の細胞またはいくつかの細胞からなる。硬質小麦からの小麦粉は相対的に大きな多面体小麦粉粒子になっているが、軟質小麦から製造した小麦粉では、その粒子は小さく不ぞろいの粒子である。

硬質小麦と軟質小麦の間の損傷パターンの違いは、製粉過程の初期の段階ではっきりしている。

小麦粉粒子は、硬い内胚乳の場合は、第2番目のブレイクロール上に集まり、いくつかの大きなかたまりになる。しかし、柔らかい内胚乳では、よく粉碎される。硬質小麦の製粉にはより多くのエネルギーを必要とするが、硬い内胚乳からはふすまが分離しやすく、しかも小麦粉はふるいやすく輸送しやすい。小麦粉歩留りと同様に小麦製粉効率も軟質小麦より硬質小麦の方が高い。

小麦の硬さは種類によって特徴的であり、これはまた、外的環境要因によって影響される。硬さの同じ種類の穀粒の中でも粒同志で異なる。同じ植物体からの粒でさえ、一粒一粒の硬さは異なる。ある程度穀粒の硬さはタンパク質含量によってきまってくるが、あるレベル以上になると、タンパク質含量は硬さに影響しない。

製粉時には、小麦粒の硬さが重要になってくるため、多くの努力がその硬さを測定するために注がれた。その方法とは、棒で挽きやすいか、つぶしやすいか、摩損しやすいか、刻みやすいかを基準に分類されている。粒子サイズインデックステスト(PSI)は、重さを測ったサンプルをひいて粉にし、標準状態の下でふるいにかけ、ふるいを通り抜けたサンプルの重さを測定して行うテストである。皮剥き抵抗テストは、穀粒の外層を擦り剥くことが容易かどうかを測定するものである。

小麦粒の硬さは、各構成成分(タンパク質とデンプン粒)の機械的な特性と、それらの間の相互作用やタンパク質マトリックスの連続性の程度に帰している。異なった種類の小麦中のタンパク質自体の硬さは、いずれも良く似ている。それと同じことはデンプン粒にもいえる。

タンパク質とデンプン粒の相互作用についての主な仮説は、硬質小麦では、デンプン粒とタンパク質の間の相互作用が非常に大きく、そのため製粉の際、生じる破壊はデンプン粒子全体におこるということである。また、軟質小麦においては、これに対してデンプン粒とタンパク質間の相互作用はかなり弱く、製粉の際に生じる破壊は、デンプン粒子表面でおこるぐらいであるということである。

硬質小麦における強い癒着の理由は“anti-sticky”タンパク質(抗癒着タンパク質)と称する

あるタンパク質の欠如であると言われている。そのタンパク質は、デンプン粒子の周りに連続的なタンパク質マトリックス構造が生じることにも影響を与えている。電子顕微鏡でみると、軟質小麦の内胚乳構造はとてもオープンな感じで、いくつかのエアポケットがみられる。硬質小麦の内胚乳では、タンパク質マトリックスには連続性があり、すべてのデンプン粒子を取り巻いているようである。

連続性のあるタンパク質マトリックスを形成するためには、その必要最少量のタンパク質が必要であり、このタンパク質量は外的環境要因によって大きく影響を受けている。タンパク質含有量の範囲がある値よりオーバーすると、硬さはタンパク質含量に依存するようになるが、タンパク質含量が連続性タンパク質マトリックス形成に必要な量より高くなると、もはや、硬さには影響しなくなる。

4. 歩留りと粒子サイズ分布

小麦粉の歩留りは、穀粒の硬さと関係がある。これは、硬質小麦では、ふすまと内胚乳の分離が

容易であることがその大きな理由である。しかし、穀粒の硬さを測定することは容易な仕事ではない。Svenssonは、篩分けの方法と皮剥ぎ抵抗テストの両方を穀粒の硬さの測定のために使った。彼は、春小麦による篩分けテストでは $r = -0.73$ 、冬小麦による篩分けテストでは $r = -0.61$ 、春小麦による皮剥ぎ抵抗テストでは $r = 0.42$ 、冬小麦による同テストでは $r = 0.52$ という小麦歩留りと硬さの相関係数を見出した。篩分けテストはマイナスの相関関係にある。それは目開き $75\mu\text{m}$ の篩を通り抜ける量の測定を行うからである。すなわち、低い値が硬い穀粒を示している。

小麦粉の粒子サイズ分布をみると、軟質小麦ではより小さい粒子を多く含んでおり、硬質小麦と明らかに異なっている。軟質小麦粉のサイズはデンプン粒子と同じくらいの大さの微粒子である。硬質小麦では、15.8%が直径 $25\mu\text{m}$ 以下で、軟質小麦は、それに相当する値は35.9%である。小麦粉はまた、粒子サイズに基づいて空気分級ができるが、そのときの最も小さい粒子は、タンパク質含量が最も高い。