

製パンに於ける小麦(1)

1. 小麦粒の構造

小麦は、人間の食糧として消費される前に一度、製粉化されねばならない。製粉プロセスの目的は、内胚乳部をふすまや胚芽から分離し、それを粉体化することである。この章では、製粉のプロセスをまとめてあるが、まずはじめに小麦粒の構造について述べている。この構造に関する知識は、製粉プロセスおよび、焙焼の時に生じるいろいろな成分間の相互作用を理解する上で必要なものである。最後に、製粉プロセスで得られた小麦粉の成分についても述べた。

1. 小麦粒の構造

小麦粒は、植物学者によって穎果と呼ばれている1つの種子である。この種子には、珠心層の表皮や種皮がぴったりとくっついている(図1)。穎果は、イネ科類の特徴である。小麦粒は、長さ5~8mm、幅2.5~4.5mmである。

小麦粒にはそのほぼ中央にまで伸びている縦の溝がある。この溝の存在が、穀粒を扱いにくくしているのである。小麦を改良する1つの方法は、この長い溝を除くことだと考えられている。小麦の粒は胚の端の方で幾分、分厚くなっている。また、反対側の端にはブランシ状の毛(頂毛)がある。

製粉の立場からすると、粒は3つの部分から成り立っているといえる。それは、胚芽(胚)、胚乳、ふすまである。これらの構造と、その植物生理学的構造の意味の間の関係は、図2に示されるようである。小麦粒は14%の水分量をベースにして考

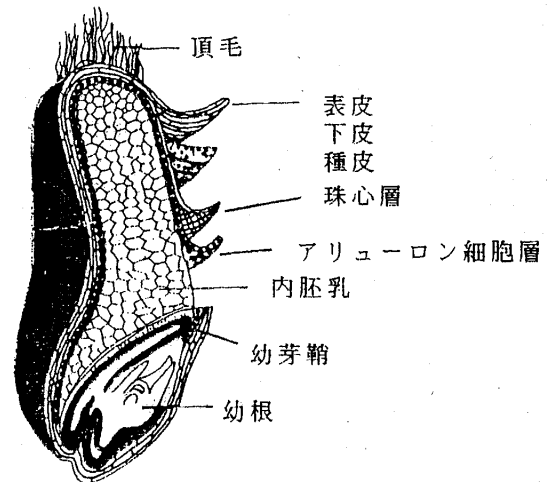


図1. 小麦粒の断面

えると、胚芽が0.99~3.8%、ふすまは10.4~20.0%、胚乳74.9~86.5%から成る。これらの数値は測定方法によってかなり変動する。それらの典型的な数値は主成分の乾燥物量から計算すると、胚芽は2~3%、胚乳は74.9~86.5%、ふすまは15%となっている。製粉工程では、ふすまの中に多くの胚乳を失うことのないよう、胚乳は小麦粉中にできるだけ多く集めたい。

この目的に影響する1つの重要な小麦粒の性質は粒の硬さである。この性質については、章の終りの方で詳細に述べられている。小麦粒の性質の1つは、視覚約にガラス質なのか粉質なのかがすぐにわかる点である。古くから、ガラス質は高タンパク質の硬質小麦と結びつけて考えている。一

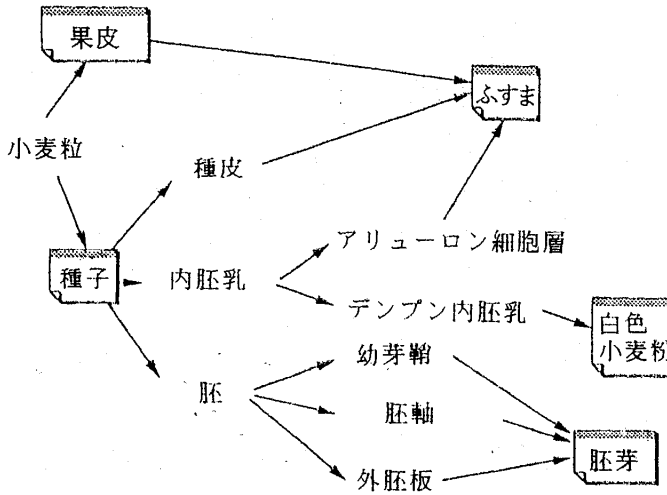


図2. 小麦粒の植物生理上の分画と製粉技術上の分画区分の関係

方、乳白色あるいは、粉質の小麦粒は柔らかいことと低タンパク質含量であることと結びつけて考えられている。

つまり、小麦粒中のガラス質の割合は、粒の硬度のマーカーとして使われてきた。小麦粒中でのガラス質の割合と粒の硬さの間には、わずかながら相関関係がある。しかしながら、Svenssonは、この関係は他の有効なデータがない時にだけ使われるべきだと忠告している。高タンパク質の柔らかい小麦もしばしばガラス質であるからである。

最近、胚乳部の薄く切断したものが、小麦粒の硬と軟の品種を区別するのに用いられている。1 μm あるいは、それ以下(平均(0.8 μm) くらいの厚さまでは、デュラム小麦や硬質小麦の品種から得られる。ところが一方、軟質小麦では、4~12 μm の厚さ(平均9 μm)がバラバラにならないために必要である。その部分(あるいは粒のかなりの部分が残っているものでも)を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察すると、以下のようなことがわかった。

硬質小麦品種のガラス質の部分では、デンプン質とタンパク質のかなり密接した会合状態が認められた。そしてそのタンパク質の基質は連続状(マトリックス)に見えた。エアポケットのようなものは観察されなかった。また、硬質小麦の胚乳部

の非ガラス質の部分は、隙間のある網状組織によって特徴づけられている。軟質小麦のガラス質の部分は、硬質小麦のその部分に相当するほどの凝集性はなかった。薄力小麦粒ではデンプン粒は、粒を切断することにより簡単に外れ、胚乳中の基質(マトリックス)は不連続状態であった。

ガラス質と硬さの関係さをさらに研究するため、小麦のサンプルをグループ分けした。ガラス質の小麦粒は同じ品種の非ガラス質の小麦粒より、硬く、より高タンパク質含量であることが分かった。デンプン粒の損傷もまた、ガラス質の小麦粒の方がひどかった。非ガラス質の硬質小麦の硬さの平均値が、ガラス質の軟質小麦の硬さの平均値より高いことも分かった。分子量が15キロダルトンのタンパク質は、小麦粒の軟らかさと関係しているといわれているが、軟質小麦品種の非ガラス質の小麦粒同様、ガラス質の小麦品種でも認められている。このときのガラス質の小麦粒は、やはり非ガラス質の小麦粒より硬い。

植物という観点からみると、小麦の胚乳部は小麦粉にとって最も重要な部分である。というのは、小麦の成長のために胚乳に貯えられているエネルギー源が必要で、これを使って新しい植物に成長していくからである。小麦が食糧として人間に使われるとき、小麦粒は均一な物質からできていな

表 1. 内胚乳、ふすま、胚芽の化学成分
(データは水分含量14%ベース)

成 分	全 粒 小 麦	内胚乳	胚 芽	アリュ-ロン	ふすま (果皮)
タンパク質(%)	8.2-12.1	5.8-16.2	24.3-31.1	18.4-24.3	2.85-7.60
灰 分(%)	1.8	0.5-0.8	3.65-9.47	11.1-17.2	1.7-5.1
繊 維(%)	9.0	1.4	8.6	43.0	17.1-73.3
脂 質(%)	1.8	1.6-2.2	5.05-18.8	6.0-9.89	0.0-1.03
デンプン(%)	59.2	63.4-72.6	0.0	0.0	0.0

いという事に目を向ける必要がある。小麦粒は、はっきりとその体の中が区分化されている。胚芽や胚乳のような生理学的に異なった部分間では、構成している物質の化学成分は当然異なっているが、胚乳部自体の中でもまた化学成分の少しずつの違いがある。例えば、タンパク質含量は外胚乳から内胚乳へと減少の傾向がみられる。脂質成分の変化もまた胚乳部中で同様の傾向がある。穀粒、胚乳、ふすまというように分けた各区分についての詳細な分析データが調べられている。これらの化学分析値を表1に示した。

化学成分の違いが、また各組織中の性質の違いになって表われてくる。焙焼した時の性質が小麦粒の中心部から表層部に向って低下していくということが知られているが、また一方では、ビタミンやミネラル含量は、小麦粒の内部から外部に向かって減少していくということも、よく知られている。

(1) 胚芽

胚芽は、小麦粒とは分離している組織であり、2つの主な部分、即ち胚軸と幼芽鞘から構成されている(図1参照)。さらに胚軸は幼根と幼芽からなる。幼芽鞘の方は、貯蔵、消化、吸収する器官として働いている。胚芽は、タンパク質、脂肪を高含量に含んでいる(表1参照)。還元糖のレベルも高く、Matternによると、その値は26.3%であった。胚芽に含まれているタンパク質には、核タンパク質、アルブミン、グロブリン、プロテアーゼ

がある。

胚芽の脂質成分には、非極性脂質が多く含まれていて、全体の脂質の79~85%は非極性脂質で、残りの14~17%はリン脂質であり、糖脂質はほとんど含まれていない。脂肪酸組成は不飽和脂肪酸が多く、約75%になる。最もたくさんある脂肪酸はリノール酸(C_{18:2})である。栄養学的な観点からは、トコフェロールが多く含まれていることが重要である。

(2) ふすまとアリュ-ロン層

小麦粒の15%を構成するふすまは、果皮、種皮、珠心層、アリュ-ロン層(図1)から成っている。小麦粒の一番外側の部分である果皮は小麦粒を保護する役目を担っている。それはいくつかの層から成り、約45~50μmの厚さを有する。各層の細胞は、いくつかの点で異なっている。例えば、その大きさ、形、細胞壁の厚さに違いがある。ふすまの構成成分(ただしアリュ-ロン細胞は除く)には、セルロースやペントザンのようなデンプン質以外の炭水化物を多く含むという特徴がある。果皮の中の脂質は、主に非極性脂質(86%)から成り、そのうちのほとんどの脂質は遊離脂肪酸とジグリセリドから成っている。

ふすまは、焙焼したときパンの容積に悪影響を与える。その悪い影響は、ふすまの中の構成成分や、そのふすまが作られた製粉場がどこであるかにより異なる。それは、ふすまと内胚乳の分離の方法にどのような方法を使っているかに関係があ

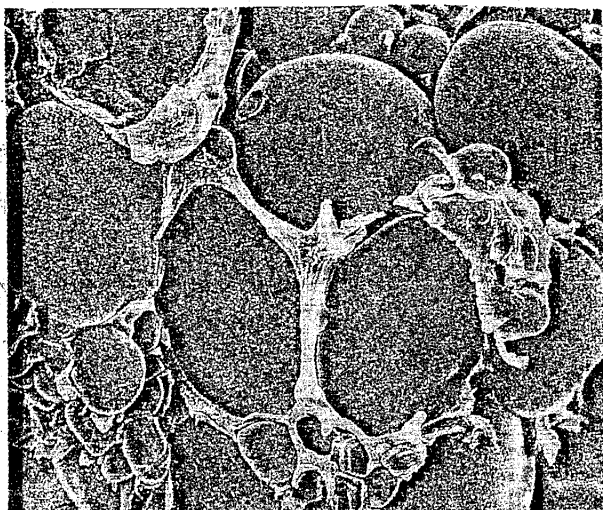


図3. タンパク質マトリックス中のデンプン粒

るからである。ふすまの分離がいい加減になればなるほど、パンの容積に与える影響は大きくなる。その困った影響とは、ガスの保持能力の減少に起因する。この影響は、ドウ中の水の量の増加をおこなったり、Sodium Stearoyl-2-lactylateのような乳化剤を加えることによって多少小さくなるようである。

アリューロン層は興味深い組織である。植物生理学的には、それは内胚乳に属し、内胚乳部の最も外側の層になる。しかしながら、製粉時にはアリューロン層は、ふすまとともに分けられてしまい、一般にふすまに属するものとしてみなされている。アリューロン層は単細胞層の厚さであり、その細胞は厚い壁を持つ大きな長方形の形をしている。アリューロン細胞は簡単に蛍光顕微鏡で観察することができる。それは細胞壁にフェルラ酸を含み、それが自己蛍光を放ち、細胞壁を濃い青色にするためである。

アリューロン細胞の構成成分は、他のふすま構成成分とはかなり異なる。外側のふすま層には、セルロース、ヘミセルロース、灰分が多く含まれているのに対し、アリューロン層にはタンパク質、脂質、灰分が多く含まれている。アリューロン層に含まれる脂質含量は約8~10%である。その構成成分は、胚芽脂質の場合とよく似ていて約3分

の2はトリグリセリド(60.3~75.1%)から成り、低含量の糖脂質(2.2~9.8%)や、リン脂質(13.8~17.9%)を含んでいる。その脂質は、スフェロソームとして存在し、このオイルの小滴は単層膜に結合している。アリューロン細胞は、代謝上発育の初期段階の間非常に重要な働きをし、そのため、アリューロン細胞は特別な構成成分から成っていると考えられている。

(3) 胚乳部

小麦粒の大部分を占めている胚乳部は、連続的につながったタンパク質の膜(マトリックス)で囲まれたデンプン粒から成っている(図3)。その化学的分析値を表1に示した。そこには非常に高いパーセントでデンプン質が存在している。表1の数値は、胚乳部全体の平均的な数値である。もし胚乳部をさらに分画してみると、外側から中央へと向かってあるこの数値の傾向が認められる。

胚乳部の外側にある亜アリューロン層は、主胚乳部とは明らかに違っている。硬質小麦では、この層は主胚乳部のまわりを連続的に取り囲んで形成している。だが一方、軟質小麦ではこの層は、ところどころ不連続状である。亜アリューロン層中の細胞は小さな立方体の形であるのに対し、内側の主胚乳部の細胞はもっと大きく、針のようにとがった形をしている。中心部の胚乳部では、そ

の形は多面体の形をしているものもある。これらの細胞壁は、小麦粒の違った部分で厚さがそれぞれ異なっている。アリューロン層のそばや、ひだの周りでは最も厚い。

デンプン粒の数は、胚乳中心部の細胞の中で最も多いが、一方、胚乳中のタンパク質の大部分は、胚乳部の外側の細胞中に認められる。ある小麦では、亜アリューロン細胞中のタンパク質含量は80%を越える。これらの細胞には、デンプン粒をごく少量含んでいる。この状態は、小麦粒にガラス質の状態を期待させる。硬質小麦を同定する方法として、ガラス質の存在の有無が用いられるならば、高タンパク質の軟質小麦は、硬いと判断されてしまうだろう。胚乳部の中のタンパク質はほとんどが貯蔵タンパクである。胚乳部の内部から抽出されるタンパク質は、だいたい同量のグリアジンとグルテニンから構成されている。成長中の小麦粒の中では、貯蔵タンパクはタンパク粒（プロテインボディ）として存在している。発達した胚乳部中では、それらのタンパク粒は成長中のデンプン粒によって押しつぶされて、その結果連

続的に続いたマトリックスとなる。

胚乳部の細胞の中身が詳しく調べられると、小麦デンプン粒には、2つのタイプの形態があるということがはっきりした。大粒デンプン粒は、レンズ状の粒で最初に合成される。一方、球状の小粒デンプン粒は、それより遅れて合成され、大粒デンプン粒の間の空いたスペースを充たす。多量の炭水化物のエネルギーが、こうして小さな容積に蓄えられる。

前にも述べたように、スフェロソームの形で胚乳部中には、脂質は凝集している。それらは、亜アリューロン層に最も高い濃度で見られ、胚乳部の約0.77~1.03%を構成している。それらの構成は、16.7~34.1%がトリグリセライドであり、13.3~19.5%が他の非極性脂質で、20.4~38.3%が糖脂質、23.6~35.3%がリン脂質がある。デンプン質の多い胚乳部の中でも、脂質成分のある内側から外側へ向って一定の傾向をもって存在している。胚乳部中のスフェロソーム含量が小麦品種によって違いに差があるのは、よく観察されているところである。