

Food Technology Chemical Center
University of Lund, Lund, Sweden
Amm-Charlotte Eliasson Kåre Larsson

〈文献〉 Cereals in Breadmaking 〈文献紹介者〉 瀬口正晴神戸女子大学教授

製パンに於ける小麦(14)

5. パン②

(3) デンプン

デンプンの糊化については、すでに詳細に述べた。オープン温度はそのうちにデンプンの糊化開始温度 (T_o) に達する。ベーキング中のデンプン糊化の温度域をパンクラム中央部の温度プロフィールで示した (図19)。

① 糊化温度域

ドウ中での糊化の過程は、ドウ中の水分含量とその他のドウ中の成分によって影響を受ける。 T_o は水分含量による影響を受けないが、最終温度 T_c は影響を受ける。このことは、糊化温度域が水分含量の影響を大きく受けることを意味している。ドウ中の他の成分、例えば蔗糖や塩の存在は、 T_o の増加を引き起こす。それらの全体的な効果とし

ては、糊化温度域のうち高温側が100℃以上にまであがるという点である。クラム温度は、決して100℃を越えることはないので、恐らくクラム中には糊化しないデンプン粒が存在するようになるであらう。

白パンでは糊化程度はおよそ100%であるが、パイ皮の中では約50%である。砂糖入りクッキーでは一般にもっと低く20%かそれ以下である。ベーキング中のデンプン粒の糊化はいろいろである。パンの中ではデンプン粒のすべての糊化程度のタイプが存在していて、例えば糊化したもの、崩壊したもの、ばらばらになったもの、そして酵素的に分解されたものなどである。一方、ビスケットではデンプン粒の膨潤したもの、糊化したもの、

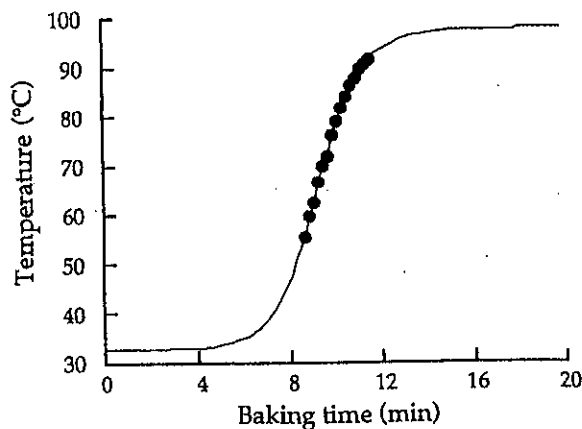


図19 デンプンの糊化温度域
デンプンの糊化温度域 (水/デンプン比 1:1) を
クラムの温度プロフィール上に黒丸で示した

崩壊したものが存在している。

グルテンも、またデンプンの糊化温度に影響を与える。デンプン1g中に0.1gのグルテンを添加すると T_0 は7.5℃上昇する。グルテンタンパク質はDSCで検知できるような熱の移動を示さない。小麦粉と水の混合物のDSCサーモグラムを見ると、それは基本的にはデンプンの糊化を示しているが、他の小麦粉成分によってもその値は影響を受けている。デンプンのDSCサーモグラムと、それを取り出した元の小麦粉のDSCのデータは全く同じだが、しかし糊化温度域を比較してみると、デンプンに比べ小麦粉の方がより高温領域側へ移行している。

② オープンスプリングの結果との関係

デンプンの糊化がオープンスプリングの結果を決めるが、それは同時にクラム構造の崩壊を抑える役目もしている。これらの両方への効果は、レオロジー的变化、それにつづく糊化、更に後述する泡構造から穴構造への変化等によって説明される。デンプンの糊化の間、デンプン粒は水を吸収し、糊化に使える水量の程度により膨潤する（ドウ中の不十分な自由水ですすむ）。ベーキングの間グルテンからデンプンへの水の再分配がはっきり起こる。このような水の再分配はパンの老化にも関係してくる。

デンプンの糊化は、ドウのレオロジー的性質に大きな変化を引き起こす。まずドウの温度が高くなり始めたとき、粘度は一度減少するが、約60℃でその粘度は増加しはじめる。小麦一水ドウの動的なレオロジー測定から次のことがわかる。ドウが55℃以上に加熱された時、貯蔵係数 G' が増加し、相角度 δ は減少する。これらの変化は約75℃まで続く；その後それらの値は多少一定におさまってくる。 G' と δ はドウ中のデンプン含量に比例して影響を受ける。すなわちデンプンが多いほど G' は高くなり、 δ は低くなる。デンプンレベルの増加にともなう δ の減少は、デンプンが最終的なパンの中で連続的な構造を作ること重要な役割を負っていることを示している。

粘度増加により2つの効果があらわれる。空気／水の界面で張力の増加があるが、これは最後には最も弱い泡の壁の破裂の原因となる。増加した

粘性はまた、パン構造の固定化に役立つ。もし、パンの膨張がちょうど止まる時点でオープンから出されたとしたら、パンはつぶれてしまう。これはすでに述べたように、アワ構造がまだ穴のネットワーク構造に変化しない結果である。各泡でできたガスセルは冷えた時にちぢんでしまい、パン全体はつぶれてしまうのである。

DSCによって測定された小麦粉の糊化開始温度は51～57℃の範囲内にあり、最大糊化吸熱に達する温度は60～66℃の範囲内である。レオロジー的性質の最大の変化は高温側で起こり、それは約60℃から始まる。デンプン濃度が低い時には60℃以下の温度でのアミロースのしみだし量は非常に少ない。また60℃以下では膨潤も低い。アミロースのしみでる量の増加とデンプンゲル容積の増加は60～80℃の温度ではかなり小さいが、その両者は80℃以上の温度ではかなり増加する。

デンプンの糊化は、パンクラム形成のための第一の必要条件であることは明白である。これまで数々の実験が行なわれ、デンプンは適当な堅さを得るために、グルテンを薄めてパンの内部を充填するだけのものではないことが示された。小麦デンプンと同じ大きさのガラスビーズをデンプンに置き換えてパンが焼かれた。その結果、パンは完全につぶれてしまった。ベーキングのためには、他のどんな種類のデンプンでも置き換えることはできない。

例えば、とうもろこしもモチデンプンでは適当に発酵したドウにまですることはできたが、ベーキング後、パンのクラム構造は崩れた。米デンプンを使用した時には、ドウ容積の違いが発酵の間に観察された。常に最もよい結果が小麦デンプンで得られるが、ライ麦、大麦デンプンでもほぼ同様の良い結果がえられた。

加熱している間、デンプンに起こる数々の変化に関する温度域については、すでに比較検討した。入手できるほとんど全てのデータは、ドウの状態と比較すると水／デンプン比の高いシステムで得られたものばかりであった。

小麦デンプン粒のほとんどは熱を加えられている間ずっとある特徴的な形態変化を示し、それはまたライ麦や大麦デンプンにも認められた。デン

パン粒の膨潤を電子顕微鏡 (SEM) で観察すると、10%小麦デンプン水懸濁液では、加熱によって引き起こされた変化が1%水懸濁液の時よりも高い温度側で起こることがわかった。デンプン粒の形態の様子、あるいは膨潤の段階は、加熱処理の度合いを判断するために使用できるだろう。

パンクラム中の小麦デンプン粒は、一つ一つの粒子として認められる。それらは、ドウ中のタンパク質シートと平行に方向づけられていて、この方向性はパンの中でより明白である。粒の糊化は、それらをもっと曲がりやすいものにするかもしれない。デンプン粒は加熱中膨張するが、粒の平面はまだ周囲のタンパク質のシートに平行になっている。ドウ中では、そこで温度域がより高い値の方に向かって移ると予想される。DSCによって測定される T_o と T_m' は小麦品種間の違いに関するいくつかの情報を与えてくれる。というのは第一糊化過程が、アミロースがしみでたり、ゲルが膨潤する第二糊化過程前に起こらねばならないからである。

③ デンプン粒表面への加熱の影響

デンプン粒は、加熱するとその表面の特性が変化する。それはデンプンと他の成分の間の相互作用に影響を与えるだろう。加熱されたデンプンは、より疎水性になると報告されている。グルテンタンパク質は熱処理小麦デンプン粒表面に吸着され、その吸着したタンパク質増加量が測定された。温度が50℃から60℃に上がった時、最もその効果が大きくなり、その吸着量はデンプン1g当たりタンパク質が約6mgから約12mgに増えた。タンパク質自体が吸着前に加熱されても、その吸着量には顕著な変化が測定されなかった。デンプンとタンパク質間の相互作用の増加は、確かにオープンスプリングを止めるのに寄与している。よりたくさんタンパク質がデンプン粒を包むのに必要とされるほど、増加する空気/水の界面の安定性は低下してくるであろう。

④ ベーキング時のアミロース-脂質複合体

クラム温度は100℃を越えることはなく、普通の小麦粉ドウでは100℃よりわずかに低い温度でデンプンは完全な糊化をする(図19参照)。ドウと同じ条件の水/デンプン比では、アミロース-脂質複

合体による熱量変化は100℃以上の温度にならないと検知されない。吸着量(T_{cx})の最大値を示す温度は、小麦粉-水の混合物中では112.5℃と測定された。これは幾分この小麦粉から取ったデンプンで得られた値(114.9℃)よりも低い。エンタルピー値(ΔH_{cx})が比較されると、より高い値が小麦粉で得られ、乾燥重量1g当たりデンプンの1.51Jに対し、1.84Jであった。デンプンと小麦粉の違いはたぶん加熱している間に新しい複合体が形成されるからと考えられる。

非デンプン性脂質は少量のモノアシル脂質からなるため新しい複合体を形成する可能性があり、さらにいくつかのジアシル脂質との複合体形成の可能性もある。それはレシチンの効果により示されている。このような複合体はデンプンの糊化の間に作られるものと思われる。もし、乳化剤をドウに加えたら、これも又オープン中で糊化する間に、デンプンと複合体を作るだろう。事実、モノグリセライドをドウに加えた時の方が、パンベークン時により大きな吸熱量の測定がされた。

いくつかのクラムソフトナー、[モノグリセリド、ソディウムソテアリル-2-ラクチレート(SL)、サクシニレーテッドモノグリセリド]が、デンプンとタンパク質間でどのように分布しているか、色々なパンベークンの段階で、その乳化剤を抽出して検討した。その結果、ドウ中でグルテン相とデンプンの間の二層水分離の考え方と、ベーキング中にグルテンゲルが消失するという観点から再び考えなおさねばならなかった。

⑤ デンプンの糊化に及ぼす添加材料の影響

すでに述べられているように、小麦粉で測定される糊化温度は小麦粉から分離されたデンプンで測定された温度よりも幾分高い。糊化の始まりはガス保持力の消失の始まりと見做すことができる。それは、もしデンプンの糊化が遅れた時、オープン中のパン容積膨張時間が長くなると言える。事実、粉の糊化温度と焼き加減の間にはそのような関係があり、良いベーキング結果を与える小麦粉の品種では T_o と T_m の値が高い。

デンプンの糊化を遅らせる物質をドウに加えると、パンの出来を良くすると言われている。乳化剤は一例であるが、乳化剤の糊化温度に及ぼす影

響は全く小さい。SSLを5%添加すると(デンプン重量に対し)、約2℃のTo増加をもたらす。もう一つ他の乳化剤のレシチンは全くToの変化を起こさない。糊化温度への添加乳化剤の効果は、無視できるように思われる。それにもかかわらず、乳化剤と脂質は少なくとも抵抗器付きオープンで測定すると容積膨張時間を長くする。

ショートニングの入っていないドウではその時間は5分であったが、これは3%ショートニング添加で6.5分に増加する。SSLを0.5%加えても同じような結果が出た。他の実験では、3%ショートニングを加えた時セット温度がコントロールの時の55℃から80℃に増加した。また、脱脂小麦粉ではセット温度が77℃になった。すべての抽出脂質がそこにもどされると、セット温度は55℃となり、非極性脂質がもどされるとセット温度は74℃であった。さらに極性脂質をもどすとセット温度は55℃になった。

乳化剤や脂質の添加効果は多分、DSCやX線回析法で測定されるような第一の糊化過程への影響とは関係ないだろう。これらの添加物は、その

かわりアミロースのしみだし、および粒の膨潤といった第二の過程に影響すると思われる。そしてドウの粘性増加を遅らせると思われる。

動的レオロジー特性を小麦粉-水ドウの加熱中に測定すると、NaCl及び蔗糖添加でG'増加の遅れることがわかった。NaClと蔗糖が添加されると δ の減少がより低い温度から始まった。初期値はコントロールよりもやや高かった。この全体の影響は、 δ は2つのタイプのドウで約55℃以上で同一であったが、G'は蔗糖やNaClを含んだドウでは低かった。

グリセロールモノステアレート(GMS)が、10%の小麦デンプン懸濁液に加えられた時、 δ の最小値が約70~75℃で生じ、それに比べGMSのないコントロールでは約65℃で生じた。 δ 値は、乳化剤の存在下でより高い値を示すのに、G'はより低い値を示す。このような結果は、乳化剤添加が糊化デンプンのレオロジー的性質を変え、ある意味でそれは、乳化剤添加により、デンプンゲルのセットを遅らせ焼成時の出来栄を向上させるという仮説に一致する。