

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(10)

4. ドウ⑦

④-2 乳化剤

ベーキングでのDATEM（ジアセチル酒石酸エステル）の効果は、ドウの攪拌体制を改良し、気泡構造を均一化し、パン容積の増加を引き起こすことである。次に重要な乳化剤はSSL（ソディウムステアリルラクチュレート）、あるいはCSL（カルシウムステアリルラクチュレート）である。これらは実際には、はっきり定義できないが、遊離の脂肪酸、ステアリン酸のモノ、ジ、あるいはポリ乳酸エステルの混合物から成っている。製パンに於けるSSLやCSLの効果は、DATEMも効果によく似ており、これらの作用メカニズムについては、小麦粉極性脂質と同様のものである。

原理的には、乳化剤と小麦脂質のドウ添加の間には差異はない。小麦粉の分画、再合成の実験から、小麦粉脂質のうちの極性脂質がベーキング時にプラスの要因として働き、乳化剤もこれと同様の働きであった。小麦脂質と関連させて考えると、脂質水系の重要な構造であるラメラ相の存在と、製パン時に良好なパンを与えることとの間には明らかに相関関係がある。色々な結晶相の中でも、ラメラ相だけが広い界面を算出することの出来るものである。これらの界面とは親水生、疎水性の両方であり、分散の性質や気泡の安定性にとって、ラメラ相は理想的な相である。DATEM、SSL、いずれもドウの中に添加すると、強くラメラ液晶相を形成する物質である。

今日、最もよく使われているモノグリセライドは、分子蒸留した純粋なもので、飽和アシル鎖が

結合している。調整方法により、約90%の1-モノグリセライド、10%の2-異性体の平衡状態にある混合物が出来る。この異性体はアシル基の移動のため生じる。完全に固化したラードからモノグリセライドを作るのが普通である。この脂質と水の相ダイアグラムが制作された。約60℃以下では全く液晶相は形成されないことがわかる。

モノグリセライドは、乾燥した粉体として小麦粉に加えられるか（この粉体はベータ型の結晶である）、あるいはこの結晶を水に分散したものをを用いる。例外的なケースとしては、まず水懸濁のゲル相を作り、これを添加する場合もある。このゲル相は、ラメラ液晶相を冷却してつくるが、ラメラ構造は変化せずに分子の鎖部分が結晶化する。しかし、それは熱力学的に安定ではないために取り扱いが困難である。そのため、ドウミキシングあるいは発酵中に小麦脂質との相互作用は起こらないであろう。

糊化が始まってから、モノグリセライドも、水を含んだ液晶相を形成し、それがドウ中での分散量を増やし、反応性も増加させる。アミロースやアミロペクチンとの複合体形成反応は、糊化の時に起こる。もちろん、ドウミキシングの時も、損傷デンプンや遊離のアミロースと、固形の油脂から自由水相中に溶け出したモノグリセライドのモノマー、との間に同様の反応が起こる可能性はある。これらのモノグリセライドの溶解度は、約 10^{-6} mol/l で、これは複合体形成反応に必要な限界の濃度である。

他の乳化剤、例えばDATEMやSSLは、これまで述べたようにラメラ液晶相となってドウに影響を与える。パンクラムのソフト化、抗老化作用といったものも、これらすべての乳化剤が示す性質だが、そのことについては後に説明する。

ベーキングに利用されているそれ以外の乳化剤がある。それらは、科学的組織的には極性脂質とはかなりかけ離れたものである。その例として、エトキシ (C_2H_5O-) モノグリセリドやポリオキシエチレンソルビタンモノステアレートといったものが挙げられる。これらは、ほぼ合成界面活性剤に近いものと考えられているが、一方、天然界に存在する脂質やその代謝物にもかなり近いものである。例えば、このモノグリセリド類などは、我々が食べているあらゆる脂質から酵素的消化作用により小腸で作られている。

ベーキングに用いられる乳化剤を栄養学的面から眺めてみると、体内の胃腸器官でのこれらによる表面効果の可能性についても、十分に考慮しておくことが必要である。それらは、小腸壁を通して体内に吸収されないということを記憶しておくべきだ。それらは、体にとって有害な効果をもっているはずだ。これらの物質のこういった面からの考察は先に述べた。

5 分散しているガス相

ドウ中に分散しているガス相は、気泡を形成している。水を含んだグルテン相中に、気泡が含まれているということは、加熱を受けた時には不安定な状態になる。そのため時間と共に気泡は潰れていく。しかし、気泡自体は動力学的にかなり安定であるため、小麦を用いてパンが焼けるのである。

気泡中の気体は、二つの原因で生じる。一つはミキシング中にドウに取り込まれる空気によるもので、もう一つはイーストが発生する CO_2 である。この章では、イーストがどのようにして CO_2 を作るのか、空気がドウに取り込まれることがなぜ重要なのかについて述べる。

(1) イーストと発酵

①膨化剤

ドウにイーストや膨化剤を入れる理由は、ドウ

を膨らませて気泡食品にするためである。パンベーキングのプロセスには、二酸化炭素 (CO_2) の生成が不可欠で、ドウ中の連続グルテンマトリックス中にこれを取り込む必要がある。 CO_2 は、いくつかの原因、例えばイースト、炭酸水素アンモニウム、酸性塩、あるいは重炭酸ナトリウムによって生成する。

CO_2 生成のメカニズムは、各膨化剤により異なる。イーストの場合には、発酵によって生じる。イーストは、糖を発酵して、 CO_2 とエタノールを作る。炭酸水素アンモニウムのような化学物質の場合には、分子の分解で生じる。炭酸水素アンモニウムは、熱をかけるとアンモニア、水、 CO_2 が発生する。一方、酸性塩と重炭酸ナトリウムは、水と熱があると反応し塩、水、 CO_2 を生成する。

最も古い製パン法では、ドウ中の野性酵母の発酵を利用しており、より古いサワードウが発酵のスターターに使われていた。古代には、ワインあるいはビールから採られたイーストも、パンの発酵に使われた。

パンで最も一般的な膨化剤は、勿論イースト(サ

表5 各種条件におけるイーストが生産する一定量CO₂の生産時間

条 件	1 g の乾燥イーストが0.4 g CO ₂ を生産する時間 (分)
2.3 % イースト、糖、5℃	830
25℃	56
35℃	30
2.3 % イースト、無糖、25℃	67
35℃	37
4.6 % イースト、糖、5℃	877
25℃	60
35℃	32

ッカロミセスセレビシー)である。今日では我々はイーストを小麦粉や水と同じくらい製パンの時に重要なものと考えている。生成したCO₂がパンの膨張に必要なことは明らかであるが、イーストの発酵の役割はその他、ドウのテクスチャーに影響すること、パンのフレーバーや香りに影響すること、そして最終的にはパンの栄養的価値を高めることである。

もし、イースト発酵したパンと化学膨剤で作ったパンを比較するならば、たとえばそれにふれた時の感覚的な違いだけでも、発酵の重要性は明らかである。栄養的価値は、主にイースト中の酵素フィターゼ(フィチン分解酵素)活性にあり、この活性が小腸のミネラル吸収を改善する。別な方法としては、直接小麦粉にこのフィターゼを加えるやり方がある。ドウ中のフィチン酸塩は(全粒粉を使う時によりはっきりするが)、ミネラルと複合体を作り、ミネラルの吸収を減少させる。フィターゼは、このフィチン酸塩を分解することができる。

②イーストのための最適条件

イーストは、次の化学反応で単糖から二酸化炭素とエタノールを作る。



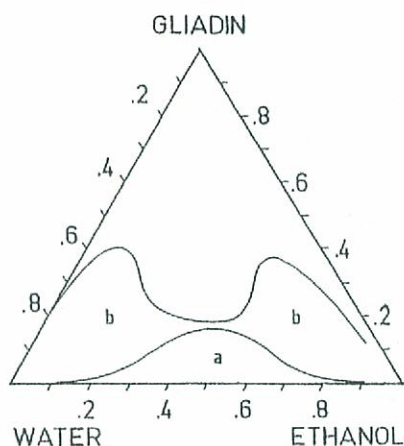
グルコース 1 g から0.49 g のCO₂を作るが、これは30℃、大気圧で276mlのCO₂に相当する。炭水

化物の源はデンプンであるが、イーストは直接にはデンプンを使えず、アミラーゼによって一度加水分解しなければならない。発酵を始めるには、直ちに利用できる炭水化物、即ち単糖がなければならない。イーストは蔗糖を分解し、グルコースとフラクトースにする。マルトースを発酵するには十分な時間が必要である。ラクトースとペントースは、全く発酵に使われない。また、少量の損傷デンプン粒は発酵にとって有用である。それは損傷デンプン粒が、酵素的な加水分解をより早く始めるからである。

小麦粉中のアミラーゼ活性が非常に低い時(この時、高いフォーリングナンバー値を示す)は、少し多めにモルツを加える。糖を加えず、最適量のモルツを加えただけのパンと、6%の蔗糖をそこに加えたパンの容積は、同じであった。この容積は、モルツを入れないで、6%の蔗糖だけで焼いたパンより大きい。これは、イーストが浸透圧に対して敏感であるということと、そのために過剰の糖レベルの添加は避けるべきということを示している。

もし、パンを小麦粉と水だけで焼いたならば、パンの容積は大体ミキシング後のドウの体積に一致する。この小麦粉水懸濁液に7.2%のイーストを加えると、228mlから530mlにパンの容積が増加する。イーストを加える量は、大体3.5~5.5%であ

図10 エタノール、グリアジン、水の三相ダイアグラム (単相溶液はb域)



り、この量は小麦粉量から計算する。

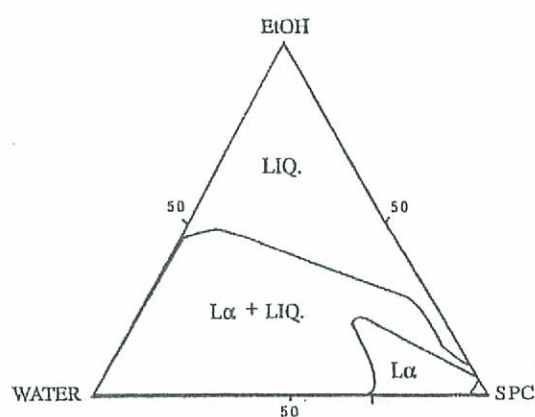
イーストのガス発生力は、温度、pH、アルコール濃度、添加した炭水化物の特徴、浸透圧、イースト濃度等により影響される。種々の条件下で、定量の CO_2 ($0.4 \text{ g CO}_2 / \text{g}$ イースト) が発生する時間を表5に示した。イーストガス発生最適pHは5.5であるが、イーストはpHの変化に鈍感であり、pH3.7~8.0の範囲内でのガス発生量は、最適状態のガス発生量の80%もある。

③ドウの性質に与える影響

発酵は、グルテンゲルやドウの構造に多くの影響を与える。pHは溶解した二酸化炭素で低下するが、サワードウを使う時には、乳酸や短鎖脂肪酸も、またpHを低下させる。更に細胞外溶出成分も多数存在しており、例えばその中には貯蔵タンパク質の酸化還元反応に関与するグルタチオンのようなものもある。気泡の膨化によるドウへの物理的影響や、グルタチオンのようなものに作用するイースト還元酵素により、ドウがゆるむという効果もある。(発酵中のドウレオロジーを測定することによって、そのドウが発酵の間に、より弾力性のあるものに変化することがわかる。)

エタノールは、脂肪に対する特殊な溶解性を示すのと同様、グリアジンのエタノール-水の二相による分離時にも影響を与えられとえられる。グリアジンで考えられる効果が、図10に示した相

図11 フォスファチジルコリン、エタノール、水(室温)の三相ダイアグラム



イアグラムから予想される。ドウ中のアルコール濃度は約1% (W/W) であるが、これは水相(あるいは、混合相)中では約2%を意味する。平衡状態の相への効果は、しかし無視できる。

リン脂質とエタノール/水を含んだ三元相の図は、我々の研究室で研究されたものである。図11からわかるように、エタノール/水の割合の違いによる効果には、ドラマチックな違いがある。それは脂質-水相中の水の割合にも関係してくる。X線を用いたグルテンゲルの研究によると、脂質は完全に膨潤している。このことは、図11にはっきりと示されているように、脂質-水相の性質へのエタノールの効果は無視することができることを意味している。

冷凍ドウの利用は、近年ますます製パン業界で広がっている。この冷凍ドウ技術を用いる時、二つの困った点がある。一つはイーストへの影響で、冷凍のくりかえしによりイーストの発酵力が低下する点である。もう一つはグルテンゲルの冷凍解凍耐性の点であり、これはグルテンゲルのガス保持力の低下に関係する。氷結晶による物理的な損傷は、この両方に関与している。そしてイーストが生存中には、浸透圧効果も重要である。冷凍ドウの技術と、冷凍ドウ中のイーストの発酵力改善の可能性については、最近の論文に述べられている。