

食品の膨張と微生物

はじめに

食品は、人の生命に欠くことのできないものであり、健康の維持や増進にも深く関わっているため、安全で衛生的な状態で供給されることが原則とされています。ところが、製造、流通、販売、保管等の不備により、予期せぬ腐敗、変敗が生じることがあります。その原因が微生物の増殖によるケースも多く、その中には食中毒等の健康被害を引き起こす場合もありますが、製品に外観的な変化を生じさせることも多々あります。今回は微生物に起因する膨張、変色、ネトの形成等の外観的な変化のうち「膨張」についてご紹介します。

微生物の代謝

微生物も我々人間と同様、生命維持のために食品（糖類、タンパク質等の有機物、ミネラル等の無機物）を摂取します。摂取された食品は消化、吸収されて新たな細胞の材料として（増殖）、また、エネルギーへの変換（代謝）に利用されます。このエネルギーへの変換過程において摂取された有機物は分解され、分解後に不要となった物質（代謝産物）は体外に排泄されます。排泄物の種類は様々で、気体（ガス）の場合もあります。微生物が密閉容器内の食品を摂取して、代謝産物としてガスを排泄した場合、その食品（容器）は膨張に至ります。

ところで、微生物のエネルギー獲得過程には、主に次の3形式が知られています。

- 1) 発酵： O_2 を利用せずに行われるエネルギー獲得過程。摂取された有機物は完全には分解されず、代謝産物として有機物を含む。
- 2) 呼吸： O_2 を利用して行われるエネルギー獲得過程。摂取された有機物は完全に分解され、代謝産物として有機物を含まない。最もエネルギー効率の良い形式。
- 3) 光合成：光のエネルギーを生物エネルギーに変換する過程。一部の細菌（光合成細菌）のみが行う。

このうち、脱酸素剤や窒素ガス置換等により、 O_2 が除去された包装食品中で微生物が増殖した場合、このエネルギー獲得形式は発酵となります。

また、乳酸菌等の微生物は O_2 存在下でも発酵を行います。

発酵（fermentation）とは、もともと「発泡」に由来する言葉であり、昔は発酵といえば、盛んに泡（ガス）が出る現象を意味していました。この現象を上手に利用して製造される食品もあり、例えば、パンの独特の食感は、パン酵母が産生するガスによりパン生地がスポンジ状になることによります。この様な微生物の発酵（ブドウ糖等の炭水化物を無酸素状態で分解し、エネルギーを獲得する形式）のうち、ガス産生に関連するものを表1に示しました。

なお、呼吸によっても代謝産物として CO_2 が産生されますが、呼吸によって産生される CO_2 の量は消費される O_2 の量と同等です。そのため、微生物が呼吸によりエネルギーを獲得している場合、その結果が膨張として確認されることは稀です。

表－1 主な微生物の発酵形式と代謝産物

発酵形式	主な微生物	主な代謝産物
アルコール発酵	酵母	エタノール, CO_2
乳酸発酵（ヘテロ）	乳酸菌	乳酸, 酢酸, エタノール, CO_2
酪酸発酵	嫌気性菌	酪酸, 酢酸, CO_2 , H_2
アセトン・ブタノール発酵	嫌気性菌	アセトン, ブタノール, CO_2 , H_2
混合有機酸発酵	多くの腸内細菌	乳酸, 酢酸, ギ酸, コハク酸, エタノール, CO_2 , H_2

膨張原因の究明（検査手順）

何故、食品（容器）が膨張してしまったのか？その原因を究明するための検査手順の一例を以下に示します。

1) ガス組成の測定

まず、膨張した食品（容器）内の気体について、ガス組成をガスクロマトグラフ法により分析します。空気の組成（窒素 78 %, 酸素 21 %, アルゴン 0.9 %, 二酸化炭素 0.03 %）に比べて二酸化炭素や水素が優勢に検出された場合には、微生物が関与している可能性が考えられます。膨張の原因となりえる微生物が産生する主なガスを表－2 に示します。

表－2 微生物の産生するガス

微生物	産生するガス
乳酸菌, 酵母	CO_2 のみ
腸内菌, 一部の好気性芽胞菌	$\text{CO}_2 > \text{H}_2$
嫌気性菌	H_2 と CO_2 (多くの場合: $\text{H}_2 > \text{CO}_2$)

表－2 に示した微生物以外にも、稀にカビの増殖が膨張原因となる場合もあります。

また、微生物以外の化学的要因等によりガスが発生する場合（酸性食品の缶詰内の水素発生事例、メイラード反応によるガスの生成等）もありますので、これらも考慮して検査を進めなければなりません。

なお、膨張事例において、しばしば原因微生物が速やかに死滅するケースも散見されます。例えば、膨張という現象を確認できた時には、原因微生物は既に最大限まで増殖し、その後原因究明のための試験を行う時点において死滅期に入っている

ケースです。この様な場合、ガス組成の分析は膨張の原因となった微生物の推定に一役買います。しかし、これのみで原因微生物の確定に至るものではありません。また、膨張した食品の容器を一旦開けてしまうとガス組成を分析できない状態となるため、保険の意味合いで他の分析に先がけて実施することをお勧めします。

2) 食品（膨張品）の臭いの確認と観察

微生物により膨張した食品は異臭を発することが多く、臭いが原因微生物特定のヒントとなる場合もあります。嫌気性菌は糞便臭等の不快な臭いを、酵母はエタノール臭やエステル臭を発する傾向にあります。また、乳酸菌が増殖した場合には、酸敗臭を発することがあります。

微生物が原因の多くの場合、膨張品を直接顕微鏡で観察することにより微生物菌体を確認することもでき、さらに、酵母、グラム陰性菌、グラム陽性菌といったおおまかな原因微生物の推察も可能となります。原因微生物が死滅した場合でも、顕微鏡下で菌体が観察されることも多く、原因微生物を推定するための重要なヒントとなります。なお、微生物が膨張の原因であっても、菌数が少ないと顕微鏡で微生物菌体を確認できない場合もあります。特に軽度の膨張の場合、菌数が少ないことはめずらしくありません。

3) 食品中に介在する微生物の検索

多くの場合、前述のガス組成の分析と膨張品の顕微鏡観察により、膨張の原因微生物を推定することができます。しかし、必ずしも膨張の原因微生物が一種類とは限りません。例えば、酵母と乳酸菌が増殖し、それぞれがガスを産生した場合には、2種類(以上)の微生物が膨張の原因となります。また、顕微鏡下で膨張品中に確認された微生物がガスを産生せず、菌数が少ないために顕微鏡下で観察されなかった他の微生物が膨張の原因であった事例もあります。そのため、顕微鏡観察により膨張の原因微生物が推定可能な場合でも、様々な微生物のグループを対象とした微生物の検出試験が必要となります(表－3)。

表－3 膨張原因微生物の検出試験の一例*

寒天培地	培養条件	対象菌	1 g当たりの生菌数
抗真菌剤加トリプトイ	30 ℃, 3日間, 好気	好気性細菌	100以下
DHL	35 ℃, 1日間, 好気	腸内細菌	100以下
抗真菌剤加MRS	30 ℃, 3日間, 嫌気	乳酸菌	5.8×10^7
抗真菌剤加ゲンタマイシン加GAM	35 ℃, 3日間, 嫌気	嫌気性細菌	100以下
抗細菌剤加ポテデキストロース	25 ℃, 7日間, 好気	カビ	100以下
		酵母	2.3×10^6

*：選択培地を用いた平板塗抹培養法

表－3 のような結果となった場合、乳酸菌と酵母が原因微生物の有力な候補と判断されます。なお、上記平板塗沫培養法で微生物が検出されなかった場合は各種液体培地を用いて増菌培養を行い、微生物の検出を試みます。この増菌培養法でも微生物が検出されなかった場合は、食品中には微生物が存在しないか、又は微生物が増殖してガスを産生したものの微生物の検出試験時に既に死滅していた可能性が考えられます。

4) ガス産生能の確認

上記により微生物が検出できたら、その微生物が本当に膨張の原因微生物なのか、また、複数の微生物が検出された場合ではどれが原因微生物なのかを確認するため、ガス産生能の確認を行います。このガス産生能試験では、膨張した食品の正常品や正常品のけん濁液に、検出された微生物を接種し、ガス産生の有無を試験することが望めます。正常品に原因微生物を接種するのが難しい場合には、正常品の代わりにグルコースを添加した培地で代用します。食品の種類によってはグルタミン酸ナトリウムや他のアミノ酸を用いる場合もあります。

表－3 のケースでは、検出された微生物は乳酸菌と酵母です。よって、乳酸菌と酵母についてガスの産生能試験を実施します。正常品又はグルコースを添加した培地に乳酸菌と酵母をそれぞれ添加し、培養します。その結果、仮に酵母の培養物のみでガスの産生が確認され、乳酸菌の培養物でガスの産生が認められなかった場合、膨張の原因は酵母の増殖によるガスの産生と推定されます。また、酵母と乳酸菌の両方でガスの産生が認められた場合、酵母と乳酸菌の両方が増殖してガスを産生し、食品を膨張させたと推定されます。

終わりに

時として、食品は微生物の増殖により膨張します。食品が膨張した場合、どんな微生物が原因となっているかを把握することが重要となります。膨張の原因微生物（敵）を十分に把握することができれば、どこから侵入してくるのか（汚染源の推定）、どの様にしたら撃退できるのか（原因微生物の制御）を調査、把握、検討することが可能となるのです。

原因微生物を把握することで、汚染源が複数の原料のうちの1つと推定できれば、その原料のみをピンポイントで検討し、対処することが可能になります。また、原因微生物が熱に弱い種類と判明した場合では、加熱条件の見直しにより膨張抑制が可能となることもあります。汚染源を特定する手法については JFRL ニュース No. 19「リボプリンターを用いた細菌汚染源の究明」をご参照下さい。

－敵を知り、己を知る－ 食品衛生においても例外ではありません。