

JIBはみだし授業

日本パン技術研究所教育コースの興味深いテーマを解説します。

パンの微生物汚染と イーストによる日持向上効果

(一社)日本パン技術研究所非常勤講師

オリエンタル酵母工業株式会社 食品事業本部 研究開発部 食品研究所

古川 周平



パンの衛生管理において、カビ対策や細菌（ローブ菌）対策は重要な課題であり、特に梅雨時期から夏場にかけて、製造環境の改善や pH 調整剤等の活用により様々な対策が講じられます。イーストはパン生地中で麦芽糖やブドウ糖、果糖を食べ炭酸ガスとエタノール、有機酸などの発酵産物を生成し生地に蓄積します。炭酸ガスは生地を膨らませ、エタノールや有機酸は主に風味の付与や製パン性に寄与します。

本稿では、イーストが発酵中に作る発酵産物を利用したパンの日持効果について説明します。特に、パンの日持を向上するイーストが 10 年ほど前から販売されており、これらの特徴や製パン工程への影響について紹介します。

1) パン汚染菌

パンの腐敗は主にカビと細菌によるものがあります。細菌としては *Bacillus* 属によるもので焼成後のパンに付着または耐熱性芽胞が焼成時に生残り、パンクラムにローブ現象（糸引き）の腐敗を起こすことが知られています。

カビによる腐敗は *spergillus* 属の黒色斑点や *Penicillium* 属の緑色斑点の発生が圧倒的に多いようです。カビは焼成時に死滅すると考えられるため焼成後のパンへの 2 次汚染が原因と考えられます。

近年、細菌による腐敗は菌数の少ない製パン材料やパン冷却工程の改善により発生件数が減っているとの報告もあります¹⁾。今回はカビに着目しその原因とイーストによる防カビ効果について話を進めていきます。

1-1) 食品製造環境のカビ問題

カビは孢子から菌糸を伸ばし増殖して多量の孢子を形成します。孢子の形成は視覚的にわかりやすいため、カビの問題は身近に起こりやすい事例となります。

保健所に持ち込まれた苦情事例数を食品の種類別にまとめた NPO 法人カビ相談センターの調査結果がありますので図 1 に紹介します²⁾。

この結果を見るとパンは菓子や嗜好飲料に次いで件数が多いことがわかります。また、6 月から 10 月までにカビの苦情件数が多いことがわかります。

では、なぜ夏の時期にパンにはカビが生えやすいのでしょうか。

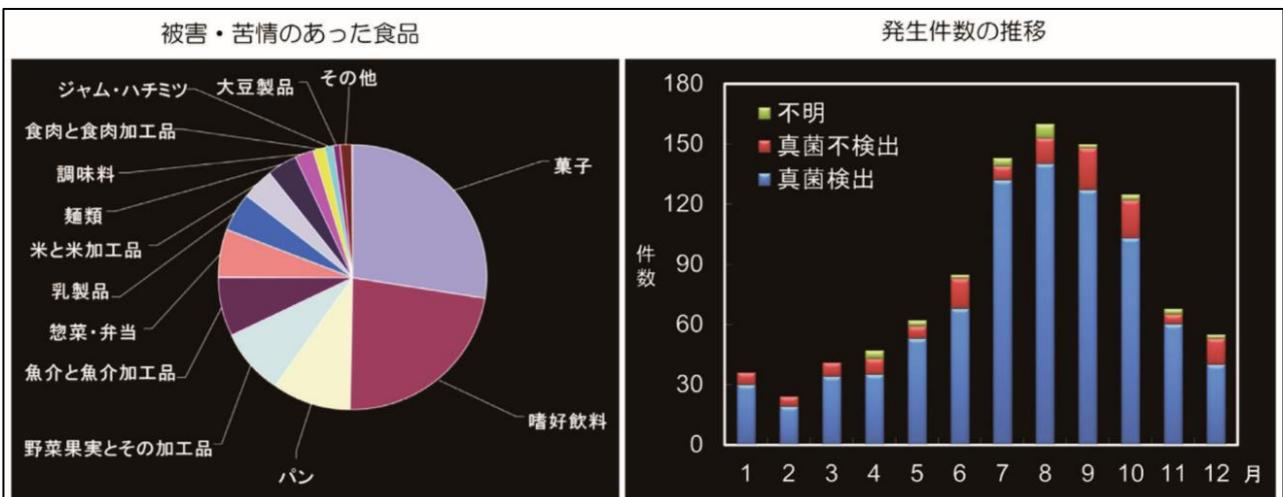


図 1. カビの苦情があった食品と年間の発生件数²⁾

①エタノール
②有機酸類 乳酸、酢酸、プロピオン酸 など 脂肪酸(特にカブロン酸) フェニル乳酸、4-ヒドロキシフェニル乳酸
③タンパク、ペプチド類 バクテリオシン、環状ジペプチド など
④その他の微量成分 アセトアルデヒド、過酸化水素、ダイアセチル 3-ヒドロキシプロパノール など

表 1 汚染菌の増殖に影響を与える要素

1-2) カビの生育環境

食品汚染の原因となる主なカビの生育環境は気温 20℃~30℃、水分活性 (Aw) 0.85~0.99、酸素があり栄養分が豊富なことです。気温は一般的に 30℃以上になるとカビの生育が著しく抑制されます。

空気(酸素)もカビの生育には必須です。食品の保存を高めるため、包材にガスバリア性の高いフィルムの使用や脱酸素剤が用いられるのはこのためです。

食品の中でパン、たとえば食パンはクラム水分が 40%~45%と高く水分活性 (Aw) が約 0.96、栄養があり、夏場に気温が上昇すると、カビにとっては最適な生育環境となります。

つまり、パンはカビが非常に生えやすく変敗リスクの高い食品の一つといえます。

2) 菌の増殖を遅延する有効成分とイースト

パンの日持向上に関わる成分は発酵種の研究から幅広く知られています。

表 1 に主な成分をまとめました。エタノール類、有機酸類、ペプチド類、それ以外の成分としてダイアセチル、アセトアルデヒドなどについても、細菌やカビなどの真菌の増殖遅延に関わることが知られております。

これらの成分の多くは、乳酸菌の発酵代謝産物として長い発酵時間を経てパン生地中に蓄積されることで効果がありますが、それぞれの量が十分でなくても複数の成分が相乗的に効果を発揮しパンの保存性を向上させるようです。

では、主要成分のエタノールと有機酸の日持向上効果について解説します。

2-1) エタノール

エタノールは低分子の揮発性物質でカビに非常に効果があり、古くから製造ラインなどの殺菌にエタノール製剤の噴霧などが行われています。パンでもエタノールを噴霧する方法や生地中に直接練りこむことで賞味期限を延長する方法が知られています^{3) 4)}。

イーストは発酵により糖からエタノールを生成します。生地中で生成したエタノールの多くは焼成中に揮発しますが一部がパン中に残存します。このエタノールがパンの日持に効果を発揮します。一例を図 2 に示しました。70%標準中種の製パン工程におけるパン生地中のアルコール濃度です。

汎用タイプのレギュラーイーストを使用すると、4時間中種の終了時に生地あたり 1.1%までエタノールが上昇しますが、本捏時に生地中のエタノール含量が低下しホイロ発酵で再び 1.0%近い値となっています。

次いで焼成時に 0.6%まで低下して生地中のエタノールが揮散していることわかります。一般的にプルマン型で焼成した食パンのエタノール量は 0.5%~0.8%ほどになります。焼成工程でのアルコールの揮散は焼成時間・焼成温度、生地重量、成形、焼成型などに大きな影響を受けます。

山型のイギリスパンや生地重量の小さい菓子パンではアルコールが飛びやすく、焼成後のパンのアルコール成分は著しく低くなります。

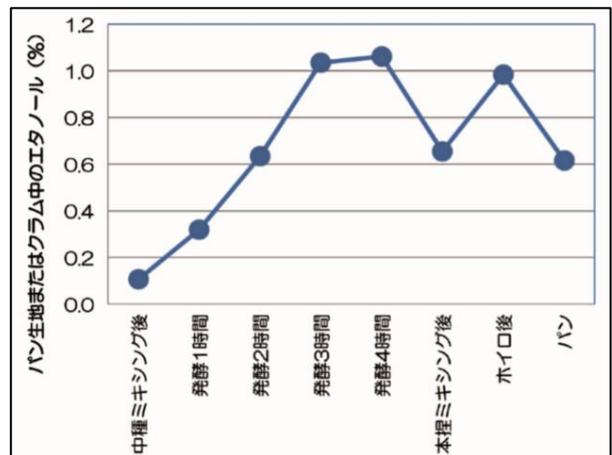


図 2 標準中種製法におけるエタノール含量の変化

2-2) 有機酸⁵⁾

イーストは発酵中に糖を分解しエネルギーを生成する過程でコハク酸、酢酸、乳酸、リンゴ酸など様々な有機酸を生成します。有機酸は解離型分子と非解離型分子があり、非解離型の有機酸がカビや細菌に対して増殖抑制効果を示します。

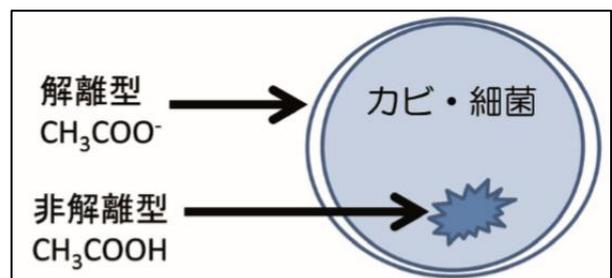


図 3 非解離型酢酸の効果

酢酸を例に挙げると解離型は CH_3COO^- になり、非解離型は CH_3COOH になります。解離型の CH_3COO^- はカビや細菌の細胞内に入ることができませんので増殖抑制効果を示しません。これは CH_3COO^- が負に帯電し細菌やカビの細胞表層も負に帯電しているため、反発しあい細胞内に入ることができないためです。

しかし、非解離型の CH_3COOH は電荷を持たないためカビや細菌の細胞内に入り、細胞内 pH を低下させることで増殖ができなくなり増殖抑制効果を示します(図3)。pH と非解離型の有機酸の割合は有機酸の解離定数 pK_a によって決まります。

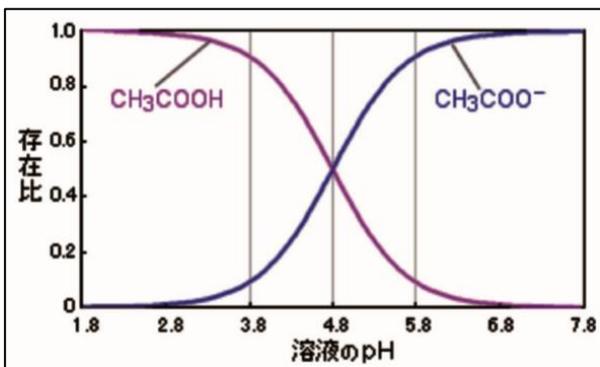


図4 溶液の pH と非解離型酢酸量比

図4に示すように pK_a と pH が同じ値のとき各種有機酸の解離型と非解離型の割合が 50%ずつになります。

pK_a よりも低い pH になると非解離型の有機酸となり高い増殖抑制効果を示します。乳酸の pK_a は 3.86、酢酸の pK_a は 4.76 です。解離定数の低い乳酸は生地の pH を下げる効果があり、低い pH で酢酸は非解離型分子が多くなり強い抗菌性を発揮します。

カビの増殖遅延効果を高めるには、有機酸量を増やすだけでなく、パンの pH を下げる必要があります。

2-3) イースト

有機酸やエタノールなどの成分を発酵過程で通常よりも多く作ることができるイーストがあります。

これが、日持向上効果を有するイーストです。発酵力や耐糖性など優れた製パン特性を持たせることで、従来のイーストを置き換えるだけでパンのカビ発生を遅らせることができます。

図5はカビの胞子をパンスライス面に接種し 28°C ・5日間保存した時の結果です。カビは *Aspergillus niger* IAM2020 を使用しました。

汎用タイプイーストのレギュラーイーストは 84 時間からカビを接種した箇所に黒い胞子の旺盛な生育が認められますが、香芳プラスイーストや NF イーストを使用したパンでは明らかに生育が遅延していることがわかります。

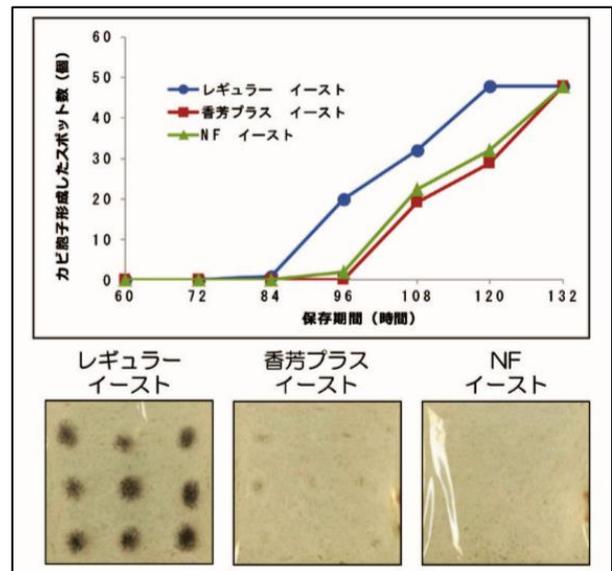


図5 各種イーストの防カビ性試験の結果 (写真は4日目)

香芳プラスイーストは低糖から中糖のアイテムで使用できる食パン用イーストですっきりとしたパン風味が特徴です。

NF イーストは菓子パン用で食パン、テーブルロールからリッチな配合の生地まで幅広く使用することができます。

パンの成分値を図6に示しました。レギュラーイーストと比べて、酢酸や乳酸、アルコールの成分が高くなっていることがわかります。この成分がパンでカビの増殖を遅延させていると考えられます。

これらのイーストを使用することで、カビの発生リスクの低減が期待できます。

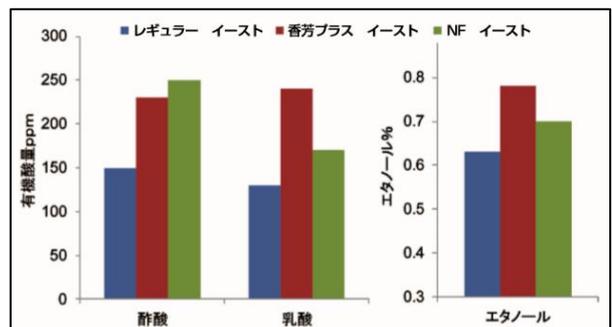


図6 パン中の有機酸量とエタノール量の比較

3) 製パン条件の影響

カビの増殖抑制効果はパンの製法や種類によっても影響を受けます。例えば食パンでは、ストレート製法、4時間中種製法、オーバーナイト中種製法でカビの増殖抑制効果を比較した場合には、オーバーナイト中種製法 > 4時間中種製法 > ストレート製法の順に高いカビの増殖抑制効果を示します。これはイーストの発酵時間が異なるため、イーストの発酵によって生成されるエタノールなどのカビ増殖抑制物質の量が異なることが要因として考えられます。

3-1) 焼成時間

焼成条件はパン中のエタノール量に大きく影響します。図7に標準中種の食パンをブルマン型で焼成した際の焼成時間とエタノール量、カビの増殖抑制効果の関係をまとめました。揮発性の高いエタノールは焼成時間の延長に伴い低下することがわかります。

エタノールはパンのカビ増殖抑制の重要な成分です。このため、焼成時間を長くすることでカビが生えやすくなります。

また、食パンはスライス箇所によってもカビの生えやすさに差が生じることが知られています(図8)。生地玉の入れ方や内相の目の開き方により三斤棒の中でもエタノールの揮発量が異なるためです。

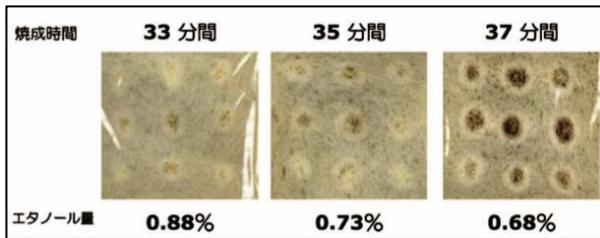


図7 焼成時間とパンのエタノール量、防カビ性の比較
(標準中種製法 プルマン型、
A. niger IAM2020 強制接種 5日目)

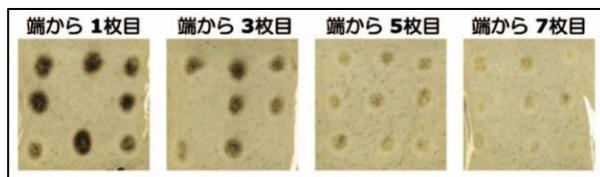


図8 パンスライス箇所と防カビ性の比較
(標準中種製法 プルマン型、
A. niger IAM2020 強制接種 5日目)

3-2) 日持向上剤や発酵風味液との併用

日持向上効果を有するイーストを発酵風味液や日持向上剤と組み合わせることで、カビや細菌の増殖抑制効果を高めることができます。例えば、酢酸 Na 製剤を使用している場合、有機酸塩を使用するためパンの pH が高くなることがあります。

香芳プラスイーストやNFイーストは乳酸などの有機酸を生成し適度にパンの pH を下げる効果があります。

図9に加糖中種のテーブルロール配合にて一般的な製パン用 pH 調整剤との併用試験をまとめました。

レギュラーイーストと比べNFイーストを使用する場合、非解離型の酢酸量が 150ppm 程度増加することでパンの保存性が向上します。pH 調整剤の組み合わせで比較した場合も NF イーストを使用した場合はパンの pH が下がることで、有機酸は非解離型分子の比率が高くなりパンの保存性が向上します。

このように併用することで酢酸 Na 製剤の添加量を減らすことも可能になります。

	レギュラーイースト	レギュラーイースト + pH調整剤	NFイースト	NFイースト + pH調整剤
青カビ				
pH	5.23	5.29	5.05	5.14
酢酸量 (ppm)	190	1110	590	1550
非解離酢酸量 (ppm)	49	244	194	441

図9 日持向上効果を有するイーストと pH 調整剤の併用効果
(加糖中種製法 A. niger IAM2020 強制接種 5日目)

4) まとめ

食品の防菌防黴技術として、古くから低温保管や水分活性、pH 管理、ガス置換などの技術が知られています⁶⁾。

今回はパンのカビや細菌への対策の一つとして、イーストからのアプローチとその製パン工程の影響について基本的な内容を解説してきました。

日持向上効果を有するイーストは従来の食パン用イーストや菓子パン用イーストと同様に優れた発酵性能と製パン性を有していますので、イーストを置き換えるだけで、カビやローブ菌の増殖リスクを低減させることができます。

さらに近年、ソフトでしっとりとした食感の嗜好性が強く水分量の多いパンが多く見受けられます。日持向上剤や発酵風味液と併用することで、効果を向上させることができます。

イーストが食のおいしさだけでなく、食の安心安全に少しでも貢献できることを期待します。

参考文献

- 1) 内藤茂三 洋菓子の微生物腐敗と制御 (2014) J.Antibact.Antifung.Agents Vol.42, No.12, pp.667-676
- 2) 高橋淳子ら 食品製造環境で問題となるカビ汚染 (2014) J.Antibact.Antifung.Agents Vol.42 ,No.12, pp.651-657
- 3) 食品のカビ汚染と危害 (2004) 幸書房
- 4) 山田正一ら 特開平3-247228
- 5) 食品危害微生物ハンドブック (1999) サイエンスフォーラム p.368-375
- 6) 防菌防黴ハンドブック (1986) 技報堂 p.171