

世界の食品・原材料・添加物トピックス⑱

食品腐敗に取り組む事〈前編〉

——誰もが認識しているが、取り上げられない重要な問題——

ランディ W. ウオロボ Randy W. Worobo

(IFTプロフェッショナルメンバー, コーネル大学食品科学科教授)

アビゲイル B. スナイダー Abigail B. Snyder (IFTメンバー)

翻訳・ライティング 久保村 喜代子

Kiyoko Kubomura

久保村食文化研究所

月刊フードケミカル 2016年3月号 抜き刷り

食品腐敗に取り組む事〈前編〉

——誰もが認識しているが、取り上げられない重要な問題——



ランディ W. ウォロボ(写真)
Randy W. Worobo/IFTプロフェッショナルメン
バー、コーネル大学食品科学科教授

アビゲイル B. スナイダー
Abigail B. Snyder/IFT メンバー

翻訳・ライティング 久保村喜代子
Kiyoko Kubomura
久保村食文化研究所

1. はじめに

消費者の信頼を高め、また食品廃棄物を削減するために、食品の腐敗に対する対策が求められるようになってきた。これまで腐敗菌は食中毒菌のように直接、食品安全に係る事がないため、規制や検査の対象から外れることが多かった。しかし昨今、食品の腐敗を防ぐために、生産、加工、流通、消費に係る各段階での連携した取り組みが進み、また腐敗菌の検出同定方法について、新しいツールの開発が進められている。

米国内では過去数年、チーズやヨーグルト、ソースなど、さまざまな食品の腐敗事件がメディアの注目を集めている。食品安全に係るリスクに関しては、ほとんどの食品会社が管理を徹底しており、万が一、問題が起こっても速やかに原因を追究し、対策を講じる手



図1 食品廃棄物は、農場から食卓までのサプライチェーンのステップ毎に発生する。傷んでしまう桃などまだ市場に出荷できる果物は、収穫後に各木々の下で見つけられる

はずは整っているはずである。しかし、対応に苦慮するような腐敗や品質問題でニュースに取り上げられた時に、どのようなことが起きるのだろうか？現在のデジタル社会を考慮すれば、腐敗事件は、消費者からの信頼を一瞬で失うことになる。まずは発生を防ぐ方法について研究しなければならない。ひと昔前なら腐った商品はゴミ箱に投げ捨てるだけだった。しかし現在は、すべての消費者が世界に向けて情報を発信できる時代だ。スマートフォンを駆使し、ソーシャルメディアで共有するために写真を撮る。これが、食品業界が食品腐敗に対してさらに注意を払わなければならない理由の一つである。

食品微生物研究は歴史的に、病原菌中心に労力が注がれてきた。深刻な健康リスクがあるのだからそれは当然な事である。一方で、腐敗菌に対する関心は年々薄くなっていった。その結果今日では、論文発表の数が極端に少なくなり、発表された少数の腐敗についての論文のほとんどは、病原菌の用語や概念を流用し、雑にまとめられている。

2. 食品腐敗：欠陥のあるフレームワーク

腐敗製品でも、病原菌に汚染された製品でも、「製品リコール」は同じコンセプトで実施される。病原菌による汚染事故はまた「ア

アウトブレイク」という用語で現されるが、腐敗製品の発生を表現する用語は「リコール」が実施されなければ存在しない。アウトブレイクという用語を使用するか否かによって、消費期限切れによる腐敗、加工時の不手際や取り扱いミス、問題のある原材料に由来する大規模な腐敗事件を、区別するのに役立つ。どれも、腐敗微生物による問題ではあるが、前者は主に消費者や小売業者に責任がある製品固有の特性である。後者は、食品媒介病原菌のアウトブレイクと非常に類似しているが、「アウトブレイク」という用語を腐敗と関連付けるのは不必要に人々の不安を煽る場合があるので気を付けたい。

「食品の安全：Food Safety」とは、一般的に病原性微生物、化学的・物理的リスクを排除し食品媒介疾患を防止することを指す。一方、「食品品質：Food Quality」とは、多様な消費者の嗜好性を含む用語であると一般的に理解されているが、専門的には酵素、環境および腐敗微生物によって引き起こされる化学分解から生じる結果として、食品の官能的な望ましさを表現するための用語である。

食品の安全性と品質にまつわる概念については、腐敗についての論文が僅かしかないので、しばしば特集などで一つにまとめられている。「IFT 専門誌フードテクノロジー 2014年7月号」で掲載された腐敗検出パッケージに関する特集には、腐敗微生物の代謝活性に起因する化合物の発生を感知する新技術について取り上げた。記事が掲載されたこと自体は、食品腐敗対策を正しい方向性に導く第一歩であり、食品産業にとっては興味深いものであった。しかし、ここで掲載されたパッケージは、生体アミンを放出せずに増殖し腐敗を引き起こす少量の腐敗細菌を検知することができず、同論文では、この技術は「目に見えない所からの腐敗」がネックとなる、と結論付けている。実際、病原性微生物は非常に微量で病気を引き起こすが、腐敗は本質的に官能主

導であり、何個でどうなるとも言いかねる。「目に見えない腐敗」という矛盾は、まさに腐敗に対処する奮闘を象徴するものである。

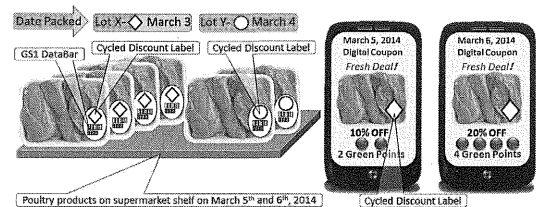


図2 腐敗検出パッケージ；腐敗させる微生物の代謝化合物の発生を感知する新技術

3. なぜ腐敗が問題なのか？

食品の腐敗は、酸性食品のpHを高め、潜伏していた病原菌を増殖させることがある。こうした製品の潜在的な安全性に直接影響を与える場合を除き、規制当局、学術界、食品産業界は、腐敗微生物に対してほとんど注意を払ってこなかった。食品腐敗の基礎研究をテーマとした助成金利用もほとんどない。食品規制要件は、主に安全性によって決定されてきた。しかし、持続的食糧生産という21世紀以降に生まれた特有の要因が、製造業が綿密な品質計画の必要性を以前に増して認識する強力な動機となっている。

腐敗による正確な経済的影響を試算するのは困難である。米国における食糧供給に対する廃棄物は、商品や測定単位(ドル、ポンド、カロリーなど)によって異なるが、生産量の20～50%にあたりと推定されている。Hallらの2009年にまとめた論文では利用可能な食品の40%が毎年廃棄されていると述べている。一方、発展途上国のサプライチェーンにおいては、腐敗による食品ロスの多くが消費者に届く前に発生している(FAO, 2012)。

廃棄製品の生産に投入された資本を考えると、経済損失の大きさは食品業界の外に向かっても波及する。つまり、ある製品の40%が無駄になれば、エネルギー、土地資源、水、

輸送費なども最大40%無駄になっているということである。腐敗をほんの少し減らすことから生じる潜在的なエネルギーの節約は、膨大となるはずである。

多くの人道支援団体は、2050年までに推定90億人に食料を供給するよう生産者たちに要求している。食品利用効率を上げることは、フードアヴェイラビリティ（動植物が利用しうる有効態を上げる）最も有効な方法の一つである。ブランドへの信頼が高まり、腐敗ベースのリコールを回避しようとするインセンティブに加え、経済面や環境に良い影響をもたらす。そのため、世界の食料供給に与える微生物による腐敗問題の影響は、食品微生物学者に対して安全性に加え品質問題にも焦点を広げるべきであることを示唆している。

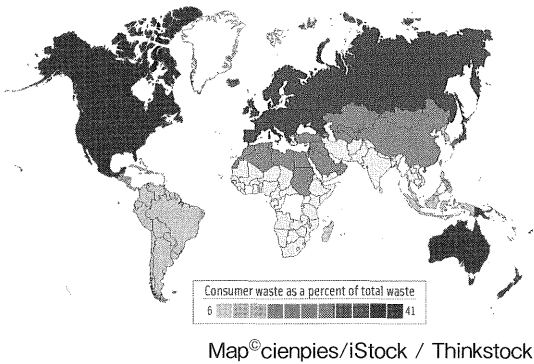


図3 国・地域ごとの総食品ロスに占める消費者による廃棄物の割合

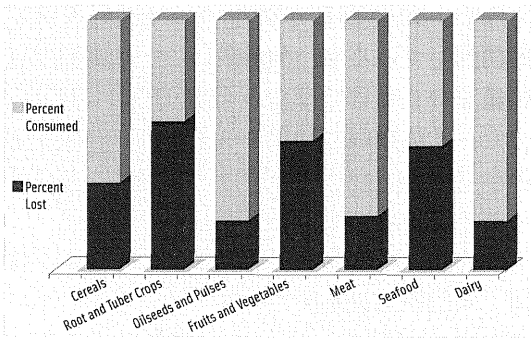


図4 品目別の北米、オセアニアにおける消費量と食品廃棄物の比率に見る食品ロス

4. 生鮮食品の腐敗：衛生プログラムの重要性を伝えるモデル

年間の生産量に対して廃棄量の割合が高いのが、生鮮食品や牛乳のような非常に腐りやすい製品である。牛乳は低温殺菌済みではあっても、完全に殺菌することができなかった芽胞形成菌にとって格好の増殖培地となる。熱処理工程が施されない生鮮食品は、腐敗菌にとって最適な生育環境を提供する。農作物はしばしば熟す前に収穫され、輸送時にも呼吸を続けるが、生体防御が低減する過熟期になると腐敗菌に感染しやすくなる（Barthら、2009）。

多くの食品科学者は、人間の直接的な病気を引き起こさない腐敗菌について非病原性であると考えているが、多くの農産物にとって腐敗微生物は植物病原体である。腐敗菌は主に収穫前の環境で発生し、サプライチェーンでの直接接触や輸送機器を介して広がり、それが加工工程での交差汚染に繋がる。エルシニア菌は、新鮮な野菜の軟腐病を起こす主要因の一つである。エルシニア菌は、農産物のサクサク感を喪失を引き起こす。また植物の細胞壁構造を分解する一連のペクチナーゼを生成する。野菜に付着するエルシニア菌は、自然界にみられるエルシニア菌とは異なるが、幾つかの腐敗汚染物質は加工環境の不衛生と直接的に結びついている。高濃度の乳酸菌や機械カビとしてよく知られているゲオトリクムのようなカビ菌の発生は、衛生標準作業手順（SSOPs：Sanitation Standard Operating Procedures）に即していない事の指標となる場合がある。腐敗の発生の多くはさまざまな微生物の複合的増殖により引き起こされる。ある病原菌が存在するだけで製品の安全性が侵害されたとする食品安全の考え方とは対照的である。また腐敗に至るには、微生物の有無だけでなく環境条件も大きく関係する。

多くの腐敗菌は、温度、pH、および酸素

量によって制御することが可能である。エルシニア菌は、中性pH域で20℃以上にならないと増殖できない。一方、別の農産物腐敗菌シュードモナスは低温で成長する好気性菌である。シュードモナス、エルシニアの両方に汚染される可能性の高い食品は、低pHでの腐敗制御が可能である。そのため、乳酸菌の増殖の条件として低pHが選択されている(Barthら, 2009)。一般的には、低温での流通体系を維持することとMA包装(modified atmosphere packaging)の2つの要素が、カット農産物などの農産物の腐敗を防止する上で重要であると言われるが、特定の微生物に対応した対策を行うと、多くの場合は他の腐敗微生物が入り込む隙を作りだしてしまう。最終的には、SSOPs(標準衛生作業手順書)、GMP(適正製造基準)、GAP(適正農業規範)に則った予防的衛生システムの実施が微生物腐敗を減らすための最も優れたファクターとなる。農産物の安全プログラムと同様に、川下での軽減戦略よりも、川上における衛生設備を充実させることがより効果的な腐敗対策となる。

しかし効果的な公衆衛生策を開発することは、腐敗しやすい食品ほど難しい。初期の腐敗、交差汚染、増殖の機会を減少させることに管理を集中させ、腐敗微生物の突然の増殖を抑制しなければならない。サプライチェーンの効率的な管理は、初期の腐敗の発生率を低下させる。生鮮食品や原材料の調達などにおける、購入決定やオーダーのタイミングは予想される賞味期限ロスを織り込んで決定すべきである(Rijplemaら, 2014)。コンピューターによる計算モデルは、発送タイミングの決定や輸送コストを数値化するための有効な方法を提供してくれる。

取引先に優れた品質の原材料を要求することで腐敗を減らすことはできるが、各々性質が異なる製品に対して、微生物の質をモニタリングすることは大変なことだ。発生を抑

えるさらなる方法は、輸送中の傷みを最小限にすることと植物の傷みややすさを低減するために作物の栄養価を十分確保することである(Barthら, 2009)。最初の発生率を減少させることで交差汚染が減り、腐敗による食品ロスが大きく減少する。確立された衛生プログラムは、交差汚染を制する最良の方法の一つである。「一個の腐ったリングは、樽のリングをすべてダメにする」とことわざにもあるように、早い段階で間引きすると腐った部分からの菌の排出を減らすことができる。SSOPsの一般原則のひとつに「前処理において余分な有機物を排除することにより、腐敗菌の逃げ場所を無くすことができる」とある。また害虫の管理も重要である。ショウジョウバエなどの昆虫は、微生物の広がりを助長する可能性がある。

総菌数と腐敗に関連性がないことが、品質基準点の設定を難しくさせている。総菌数が1g中 10^6 に達すると製品は腐敗していると概算できると言われているが、一般的にはこのレベルに到達する前に変化が起ころがちである。そのため食品業界内では、製品の官能評価を常に実施し、腐敗が起ころ前にしっかりとした対応をしなければならない。ただし細菌によって起ころ可能性のある腐敗の状況が異なるために、細菌を特定することも必要となる。細菌数が比較的多いからといって、それが必ずしも腐敗に直結するとは限らない。微生物数が少ないのは良好な品質と関連しているが、数が多いことは腐敗と直接結びつくわけではない(Barthら, 2009)。また、賞味期限を設定する上では、存在する微生物の同定を進め、腐敗の可能性を算出することが重要な役割を果たしている。

農作物の軟腐病を引き起こすエルシニア菌は、細胞壁を分解するペクチナーゼを合成することで腐敗をもたらす。腐敗の可能性の高い有機物は、エルシニア菌により明白な官能的变化を引き起こす(表1)。そしてペクチ

表1 一般的な腐敗菌のグループとその増殖をサポートする製品

腐敗微生物	代表的な例	影響を受けやすい食品	官能的な変化
芽胞菌			
耐熱性好酸性菌	アリサイクロバチルス	品質や味が変わらないように低温殺菌されたジュースや濃縮果汁, シロップ, 砂糖やソーダ	目に見える欠陥を含めて必ずしも必要でない医薬的な異臭
酸感受性バクテリア	ゲオバチルス, クロストリジウム菌 桿菌, パエニバチルス	瓶詰茶, ミルク(液体), ジュースなど 適度な酸性の食品	ガス産生, 汚濁など酪酸の異臭
無孢子形成細菌	エウウィニア, シュードモナス, 乳酸菌	生鮮果物や野菜, 肉や家禽類肉	食品マトリックスの崩壊, 生存に必要なアミン多糖類のプロダクト(デキストリンや粘質物)
耐熱性微類	バイソクラミス, タロミセス, ユーベニリウム	高温充填や缶の果物, 野菜類製品	菌糸体の生育や時としてガス産生
	ネオサルトリア, アスペルギルス		目に見える傷など
酵母	サッカロミセス, ザイゴサッカロミセス, ピキア	低水分活性: 塩漬け食品, ベイカリー製品	ガス産生, 異臭, 汚濁
	カンジタ, プレタノミセス, デバリオマイセス	ジャム, ゼリー, 飲料	

ナーゼやプロテアーゼ, またはリパーゼのような生物の代謝過程に参与する数種の分解酵素を生成する。これらはガスを排出し, そのガスと細胞壁の破壊によりできた空間に, カビが菌糸を形成し, 目に見える変化が起こる。これらの官能的变化のメリットを, ジャンツェンの理論では「食品微生物のリスクと戦う脊椎動物は, ネガティブにとらえられる腐敗から結果的に恩恵を受けている」と述べている。酵素を生成することにより, 個々の微生物間に競争上の優位性が出現する。そのため, 生鮮食材の腐敗を判断基準とした厳しい選定点を確立するための規準となる数値として, 個々の微生物の代謝物の量やそれに伴う官能的变化を定量化した数値を使うことができる。これまで腐敗の基準として主に使用されてきた総生菌数の試験結果などは変異性を考慮できず時間もかかり, 試験結果として十分に要領を得たものとは言えない(Barthら, 2009)。腐敗防止手法について, 新たな試験方法の開発が必要とされる。

参 照 文 献

- ・ ジャンゼン・コンネル仮説 (Janzen-Connell hypothesis)
森林生態系における樹種の多様性の確立について説明した仮説
森林生態系において親木となる成木からの距離が短いほど, その成木の種子や, 実にとって天敵となる特異的な病原菌, 捕食者が多くなる。そのため実生や種子の死亡率が高くなり同種の樹木の更新が妨げられる。病原菌や捕食者の数は成木からの距離に反して減少するが, 一方で種子散布数も成木からの距離に比例して減少する。そのため成木の真下においては同種の更新が妨げられることで他の樹種が生育する余地が生まれ, そのことが多様性を確立する要因の一つになっていると考えられる。

次号に続く



くぼむら・きよこ

専門は, セイボリーフレーバー, 特に反応系香料。食品メーカーと新製品開発プロジェクトを組み商品開発などを主な業務とし, 手掛けた製品は1000を超える。ワールドフードサイエンスの編集委員, IFT本部評議会, 国際評議員, IFTジャパンセクション評議員, IFT教育プログラム講師などとして活動中。2008年, IFTフェロー受賞。