

バイオセンサ： 食品ロスを減らすための手段

ジャスティン・マーフィー

世界人口の増加と気候変動を受けて、科学者らは食品ロスと食品廃棄物を減らすための新たな手段を模索している。その最有力候補がバイオセンサである。

国連環境計画 (United Nations [UN] Environment Program : UNEP) と国連食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization : FAO) によると、世界の食糧の15%近くが毎年、小売市場に届くよりも前に捨てられて廃棄されるという。イスラエルの国立農業研究機関であるボルカニ・センター (Agricultural Research Organization - Volcani Institute) に所属する、ポストハーベストと食品科学の研究者であるエフゲニー・エルツォフ氏 (Evgeni Eltzov) は、これは特に作物に当ては

まると述べて、収穫された全食糧の半分以上が、微生物によって引き起こされる腐敗が原因で失われると指摘した。

エルツォフ氏とその同僚の研究者らは、エルサレム・ヘブライ大 (Hebrew University of Jerusalem) のチームとともに、このような問題の緩和、さらにはできれば取り払うことを目指している。その手段として用いるのが、作物の品質と健康状態を、早期に効果的に検出／監視することのできるバイオセンサである。

研究者らは細菌検出に基づき、自分

たちのバイオセンサシステムによって、作物の収穫後、保管、輸送時のより効率的な作物管理が可能になると述べている。これは、食品ロスの低減につながる。

このバイオセンサの開発にあたり、同チームは、ジャガイモ、特に塊茎に着目した。塊茎とは、その植物のデンプンなどの栄養素を含む、通常は土の下で成長する、肥大化した根のことである。ジャガイモは、イスラエルの食糧輸出の約50%を占める。同国は、年間50万トンを超えるジャガイモを生産しており、この根菜とその健康状態は、イスラエルの経済にとって重要な要素である。

この全細胞細菌バイオセンサは、植物が周囲環境に自然に放出する揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds : VOC) の変化に対する細菌の発光応答を監視する。これによって、ペクトバクテリウム (Pectobacterium) によって引き起こされる、ジャガイモ塊茎の軟腐病の検出が可能である。ペクトバクテリウムとは、植物内の真菌と細菌の間に広く分布するペクチン分解酵素である。

このバイオセンサは、ガスクロマトグラフィー質量分析 (Gas Chromatography Mass Spectrometry : GC/MS) も使用する。これは、農薬散布済みと未散布のジャガイモ塊茎の感染初期における、揮発性有機化合物パターンの違いを識別することができる (図1)。

すべての果物と野菜に、数十万種類もの異なる化学物質が含まれており、



図1 イスラエルの国立農業研究機関であるボルカニ・センターとエルサレム・ヘブライ大のチームが開発したバイオセンサシステムは、ジャガイモの感染を、それが地面まで成長する前に、連続的かつリアルタイムに検出および監視することができる (提供:エルサレム・ヘブライ大)

それら全体で特定のパターン、特に健康状態のパターンが構成される。エルツォフ氏の説明によると、それらの化学物質の濃度と組成は、通常は一定であるため、これを、化学物質の濃度と組成のパターンに応じて変化する、植物の一定で自然な状態の指紋として利用できるという。病原性活性などの異常な状態が生じると、濃度と組成が変化して、このパターンが変化する。感染は、健康な作物のVOCを変化させる。

ジャガイモが病原菌に感染すると、その特定の病原菌に応じてこの指紋が変化する。ジャガイモを攻撃している要因を認識して理解するには、そのパターンを特定すればよいということになる。

作物のそのような変化は一般的に、成長の初期段階に生じる。エルツォフ氏は次のように述べた。「植物が発芽する時、それは正常な果物または野菜のように見える。しかし、そのパターンは、地面に到達する前に既に変化している。病原性活性によって、異なる病原菌が既に生成されているためである。従って、これらの変化を成長の早い段階で検出することができれば(バイオセンサによってそれが可能である)、腐敗などの状態を土の段階で検出して、それに対処することができる。それを隔離して、感染を周囲に拡散させないようにすることができる」。

同チームの研究において、感染は、生物学的毒性を測定する遺伝子組み換え細菌から作られた、バイオセンサ上のバイオレポーター細菌パネルによって検出される。研究者らは、植物周辺に特定の化学物質が存在すると光を生成する、遺伝子組み換え細菌を使用することにより、分析を行った。その光は、光学センサによって測定可能で、感染したジャガイモにおいてより明る

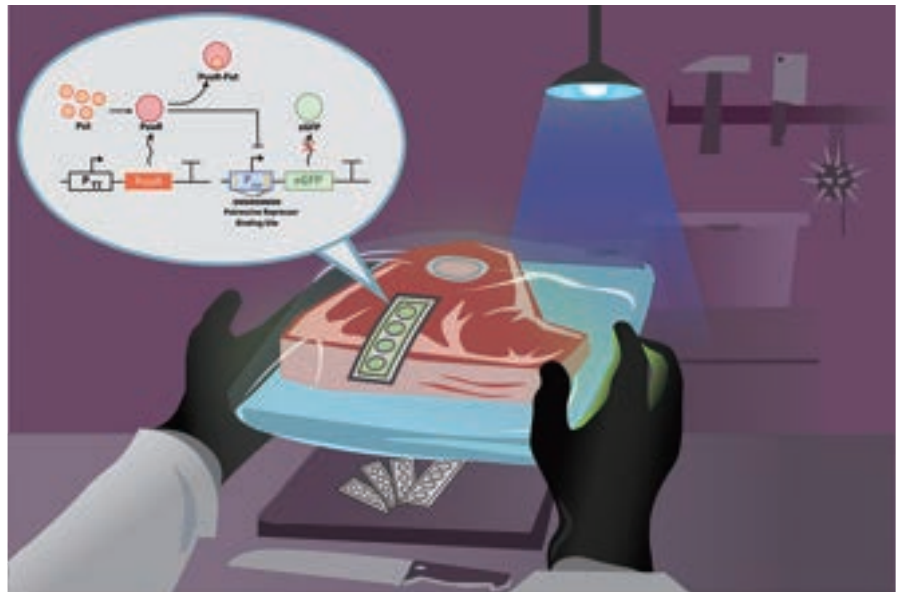


図2 紙ベースの合成光学バイオセンサシステムは、腐敗を示す、肉の中のプトレシンの存在に反応する(提供: コンコルディア大)

く輝く。

「このバイオセンサは、腐敗を連続的かつリアルタイムに検出できる。この技術によって、大量の食品を救うことができる」と、エルツォフ氏は述べた。

食肉業界における取り組み

バイオセンサは、他の食品分野においても実行可能な手段として利用され始めている。例えば、食肉業界である。この業界の業務は一般的に非常に効率的で、加コンコルディア大(Concordia University)の研究者らによると、緩い食品検査基準や、食肉の輸出や輸送の遅延といった予期せぬ問題によって、深刻な結果が引き起こされるという。肉が腐ってダメになるというのが、その代表的な例である。コンコルディア大で開発された、紙ベースのバイオセンサを使用すれば、病気を避けて、より早期にこれに対処することができる。

「肉の腐敗を検出するための現行技術の課題は、ポータブルでなく、消費者は利用できないことにある」と、コンコルディア大の電気およびコンピュ

ータ工学准教授であるスティーブC. C. シー氏(Steve C. C. Shih)は述べた。同氏の研究室は、この研究を主導している。そのような装置を利用できるのは専門の研究施設だけだと、同氏は指摘した。「従来の方法による腐敗の検出は、時間もかかる可能性がある。結果はすぐには出ない」(シー氏)。

同チームのバイオセンサ技術は、そうした問題を克服している。この技術は、プトレシンの存在に反応する光遺伝回路を特長とする。プトレシンは、腐敗の指標となる生体アミン(Biogenic Amine: BA)と呼ばれる分子のクラスに含まれる。BAは、肉に奇妙な匂いや変色がなくても、高いレベルで肉に存在する可能性がある。高濃度のBAを口に入れると、頭痛、嘔吐、動悸などの症状が一般的に現れ、大腸がんの発症リスクが増加する恐れがある。

この研究では、プトレシンに自然に結合するタンパク質を使い、光学回路を紙の上に配置して紫外光の下で観察した。肉にプトレシンが存在する場合、紙は緑色になって、肉が腐敗している



図3 このバイオセンサは、クロマトグラフィーなどの従来の検出方法で得られるのと同様の結果を生成する(提供: コンコルディア大のアディル・ボーカインド氏[Adil Boukind])

ことが示される(図2)。シー氏によると、このバイオセンサは、無細胞のタンパク質合成に基づくという。それは、実際の細胞ではなく、生細胞の生物学的システムを使用するタンパク質を生成する。

研究者らはこの研究において、3つの異なる温度(室温、冷蔵庫、冷凍庫)で保存した牛肉で、このデバイスを試験した。冷蔵庫と冷凍庫で保存された肉は、プトレシンのレベルが非常に低く、安全に食べられることが示された。一方、室温で保存された肉は、細菌が存在することを示す外的兆候が表れる前に、高濃度のプトレシンが検出された。

同チームは、このバイオセンサで得られた結果を、食品検査に適用される従来の方法であるクロマトグラフィーで得られた結果と比較し、バイオセンサの結果が、クロマトグラフィーによる結果と非常に近いことを発見した(図3)。

「このバイオセンサにより、健康リスクを大幅に軽減することができる。肉が腐っていることが、匂いがする前

にわかる」と、シー氏は述べた。

今後について

世界中の科学者らが、現在と将来にわたって食糧不足を解消して持続可能性を促進するために取り組んでいる。

ヘブライ大/ボルカニ・センターのチームは、アボカドや果物など、ジャガイモ以外の作物に、同チームのデバイスを既に適用している。同チームはこのバイオセンサを使用して、マンダリンオレンジの中の幼虫を、その姿が目に見える前に検出して調査した。現在は、作物内の生命活動をより高い精度でより効果的に検出できる、より小さなバイオセンサに取り組んでいる。

「農場から市場に輸送するまでのすべての過程を通して、食品を監視できる必要がある」と、エルツォフ氏は述べた。

エルツォフ氏のチームのバイオセンサのように、リアルタイムに連続的に監視できるツールは、従来の方法よりも正確で迅速な監視と検出を維持する能力を提供し、食品の腐敗と損傷を防ぐ。

シー氏によると、同氏のチームも、結果が出るまでの時間を短縮することによって、バイオセンサのリアルタイム監視システムを強化するつもりだという。このデバイスは現在、正確な結果を出すまでに数時間を要する。

「われわれが主に変更を加えなければならぬのは、実際の検出回路だ。われわれの回路はプトレシンのみに特化しているため、これを変更する必要がある。腐敗の状態をより良く表すことのできる試験を開発したいので、プトレシンだけでなく、腐敗を示すすべての種類の分子を検出できるセンサを構築する必要がある」と、シー氏は述べた。

食肉品質検査以外の用途にバイオセンサの能力を拡大することが、もう1つの目標である。

「われわれの研究室は現在、感染症やウイルスの診断ツールとしての紙ベースのバイオセンサに取り組んでいる」とシー氏は述べて、環境モニタリングがもう1つの潜在的用途だと付け加えた。

国連環境計画によると、食品ロスと食品廃棄物は、世界で3番目に大きな温室効果ガスの発生源として、環境問題を引き起こしているという。従って、食品ロスと食品廃棄物は、不安定な気候や、干ばつや洪水などの異常気象に対する、かなり大きな寄与因子となっている。

世界人口は年々増加しているため、農業に利用可能な土地は、それと同じペースで減少しており、環境的影響は増大していると、エルツォフ氏は指摘した。バイオセンサは、主要な解決策として位置付けられる。

「このバイオセンサで、どれだけの食品を救えるか、また、どれだけ環境を守れるか、想像してほしい」と、エルツォフ氏は述べた。