

農薬を食べる微生物

高橋 祥司

食品の安全が揺らいでいる昨今、農薬や化学肥料を使用しないで栽培された有機野菜の人气が高まっている。しかし、農作業の効率化や作物の収量・品質確保のためには農薬の使用は欠かすことはできない。農薬にはさまざまな化学物質がある。なかでも有機リン化合物と呼ばれる化合物群が現在最もよく用いられている(図1)。家庭園芸用農薬として販売されているスミチオン(化合物名:フェントロチオン)や2008年に起きた中国製冷凍ギョーザ毒物混入事件で検出されたメタミドホスなどもこれに含まれる。有機リン化合物は農薬以外にも、燃料添加剤、可塑剤や難燃剤として私たちの身の回りでも多岐に利用されている。また、1995年に起きた地下鉄サリン事件で用いられた化学兵器サリンも有機リン化合物のひとつである。

有機リン農薬は、神経伝達物質であるアセチルコリンを分解する酵素アセチルコリンエステラーゼに結合し、その働きを妨げることで毒性を発揮する¹⁾。この作用により、アセチルコリンの異常な蓄積が起こり、神経伝達の過剰な刺激が引き起こされた結果、神経機能がかく乱され昆虫は死に至る。昆虫と動物の神経系の構造や機能は基本的に同じなので、有機リン農薬はヒトを含む動物に対しても程度は異なるが毒性を示す。

有機リン農薬の使用は、第二次世界大戦後から本格的に始まり、現在全世界で100種類以上の有機リン農薬が使用されている。また、アメリカだけで毎年約5万トンの有機リン農薬が使用されている。世界中で有機リン農薬は過剰に使用されており、また事故やずさんな管理による流出や有機リン農薬を含む大量の家畜洗浄液の廃棄などにより、土壌や地下水を含むさまざまな環境で有機リン農薬による汚染が引き起こされている²⁾。このような状況から、有機リン農薬汚染による生態系への悪影響が懸念されている。さらに事故、事件や故意による有機リン農薬摂取により全世界で毎年20万人が亡くなっていると推定されており、医療面においても世界的な問題となっている。

自然環境中には、有機リン農薬を分解し自らの生育に利用する微生物の存在が知られている³⁾。1973年にフィリピンの水田土壌から初めて有機リン農薬分解菌 *Flavobacterium* sp. ATCC27551 が単離された。その後、*Pseudomonas* sp., *Burkholderia* sp. や *Arthrobacter* sp. などに属するさまざまな分解細菌が世界各地から単離されている。加えて、細菌だけでなく *Penicillium* sp., *Aspergillus*

sp. や *Trichoderma* sp. に属する糸状菌も単離されている。これら微生物による有機リン農薬分解には、3つの酵素が関与していると考えられている³⁾。初めにホスホトリエステラーゼ(PTE)と呼ばれる酵素により、3つの置換基のうちの1つが加水分解を受け除去される(Z基、図1)。この分解により有機リン農薬の毒性は著しく低減する。生成したジエステル体はジエステラーゼによりモノエステル体に変換され、最後にホスファターゼが残存する置換基を除去する。PTEをコードする遺伝子の周辺には、動く遺伝子トランスポゾンに特有の配列が見られることから、PTE遺伝子がトランスポゾンにより種々の細菌へ伝搬されると考えられている。

現在、この有機リン農薬分解菌の機能を利用したさまざまな技術の開発が進められている²⁾。Mulbryらは、1.5 g/lの有機リン農薬を含む約15,000 lの家畜洗浄液の有機リン農薬を約3週間で分解できる有機リン農薬分解菌を用いたろ過型バイオリアクターを開発している。また、分解酵素PTEを用いた除去技術の開発も進展しており、オーストラリアにあるLandguard社は、家畜洗浄液に含まれる有機リン農薬を分解するためのPTE固定化担体を販売している。

さらに、PTEを用いた有機リン農薬中毒の治療法の開発も試みられている⁴⁾。一般的に有機リン農薬中毒の治療には、アトロピンなどの抗コリン作用薬が用いられているが、治療効果はあまり高くない。そこで、PTEと抗コリン作用薬を組み合わせた治療法が動物実験で検討され、有機リン農薬中毒に対する高い治療効果が得られている。また、PTEを用いた有機リン農薬バイオセンサーの開発や、抗生物質耐性遺伝子に替わる新たな選択マーカーとしてのPTE遺伝子の利用も試みられている。

このように、有機リン農薬を分解する微生物および酵素に関する知識は増え、その工業的および医療的利用への展開が勢力的に進められている。しかしその一方で、農薬以外の有機リン難燃剤などによる環境汚染の存在はあまり知られておらず、その微生物分解に関する知見は非常に少ない。有機リン難燃剤の中には難分解性で変異原性や発がん性を示すものもある。最近、難分解性の環境汚染物質である有機リン難燃剤を効率よく分解する細菌が単離された⁵⁾。今後、このような微生物による有機リン農薬以外の有機リン化合物の分解機構の解明や環境浄化などへの応用が期待される。

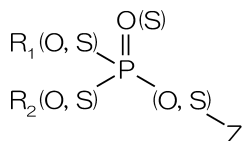


図1. 有機リン化合物。R₁、R₂、脂肪族もしくは芳香族の炭化水素基；Z、化合物により異なる。(直接もしくは酵素原始や硫黄原子を介してリン原子に結合)

- 1) Ragnarsdottir, K. V.: *J. Geological Soc. London*, **157**, 859 (2000).
- 2) Singh, B. K.: *Nat. Rev. Microbiol.*, **7**, 156 (2009).
- 3) Singh, B. K. and Walker, A.: *FEMS Microbiol. Rev.*, **30**, 428 (2006).
- 4) Bird, S. et al.: *Toxicology*, **247**, 88 (2008).
- 5) Takahashi, S. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **76**, 5292 (2010).