

バイオミディア

「みどりの香り」をつくる酵素

肥塚 崇男

「みどりの香り」と聞くと、植物の葉をちぎったときの香り、あるいは草刈りをしたときの匂いをイメージする人も多いのではなかろうか。まさに植物組織が破碎されると急速に生成・放散される独特の緑葉香のことである。みどりの香りは、(Z)-3-ヘキセナールをはじめとする炭素数6 (C6) の揮発性アルデヒド類、アルコール類、およびそのエステル体の総称で、分子内の二重結合の位置やその幾何異性により匂い特性が異なる。一般に、みどりの香りは食品中の重要なフレーバー成分として知られており、豆乳に含まれるみどりの香りはオフフレーバー（青臭さ）として捉えられる一方、緑茶やトマトソースなどでは新鮮な果実や野菜の（様な）イメージを与えるフレーバーとして感じることから、みどりの香りの成分組成や量がそれらの品質を左右する。また、森林浴やアロマセラピーの際に感じるみどりの香りは、疲労回復やリラックス効果を示すなど生理活性物質としての一面も有している¹⁾。

一方、植物が加害されることにより瞬時に大気中に放散されるみどりの香りは、草食昆虫が嫌がる忌避物質や傷口を消毒する抗菌物質として、直接的な防衛作用がある。さらに、加害昆虫の天敵をボディガードとして誘引する作用や、周りのまだ食べられていない健全な植物がみどりの香りを受け取った時に、前もって防御応答遺伝子を誘導する（植物の立ち聞きとも呼ばれる）植物間のコミュニケーション媒体としての作用などがあり、間接的な防衛にも役立っている。植物がどのように香り成分を受け取るのかその仕組みは明らかになっていないが、未被害の植物が空気中に漂っているみどりの香りの一つであるヘキセナールを取り込み、糖がついた化合物（配糖体）として蓄積して、それを虫に対する毒性物質として利用することも明らかになりつつある²⁾。

みどりの香り生合成の鍵酵素はシトクロムP450フェ

ミリーに属する脂肪酸ヒドロペルオキシドリアーゼ (HPL) である (図1)。このHPLは酸素添加酵素であるリポキシゲナーゼ (LOX) によってできた脂肪酸ヒドロペルオキシドを開裂してC6アルデヒドとC12オキソ酸への生成反応を触媒する。一般に、ほぼすべての被子植物がみどりの香りを生成するが、進化の過程で植物がいつみどりの香り生成能力を獲得したのか定かでない。しかしながら、HPLの起源は意外と古く、現生の植物と動物の共通祖先ですでにHPL遺伝子の原型が誕生していたとされる³⁾。動物界ではナメクジウオやイソギンチャクなど一部の種に限りHPLホモログ（進化系統上で同一祖先から派生した同族）遺伝子が存在する。一方、植物界ではラン藻や緑藻にHPLホモログは見つからないものの、ヒメツリガネゴケでC9アルデヒドを作るHPLが報告され⁴⁾、シダ類、裸子植物でHPLホモログ遺伝子が見つっている。近年、ゲノム解析が進み、陸上植物進化の基部に位置する苔類のゼニゴケおよび陸上植物にもっとも近縁だと考えられているシャジクモ藻類でもHPLホモログが報告されたが、いずれもHPLではなく、病虫害抵抗性や花芽の成熟を担うシグナル物質であるジャスモン酸の生成に関わるアレンオキシド合成酵素 (AOS) をコードしていた⁵⁾。これは、生物進化の過程で最初にAOS活性として植物が脂肪酸ヒドロペルオキシドを代謝する能力を獲得した後、HPL活性や抗菌物質であるジビニルエーテルを作り出すジビニルエーテル合成酵素 (DES) 活性へとタンパク質の酵素機能を進化させたことを示唆している (図1)。C6アルデヒドを作るようになった最初の植物については未だ明らかになっていないが、種子植物のような高度な陸上環境への適応や多様な組織の分化などと絡めると非常に興味深い。今後、さらなるゲノム解読が進めば、進化過程のどの段階から植物がみどりの香り生成能力を獲得し、陸上植物に広く分布するようになったのか明らかになると期待される。

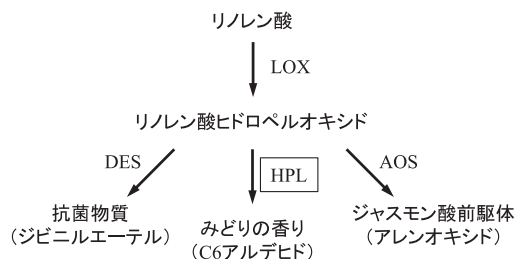


図1. 脂肪酸ヒドロペルオキシドの代謝経路

- 1) 畑中顯和：みどりの香り—植物の偉大なる知恵，丸善株式会社 (2005)。
- 2) Sugimoto, K. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **111**, 7144 (2014)。
- 3) Lee, D. S. *et al.*: *Nature*, **455**, 363 (2008)。
- 4) Stumpe, M. *et al.*: *Biochim. Biophys. Acta*, **1761**, 301 (2006)。
- 5) Koeduka, T. *et al.*: *Planta*, **242**, 1175 (2015)。