



## 植物は葉緑素を昆虫から身を守るために利用している

### 研究成果のポイント

- ・植物がもつ酵素クロロフィラーゼは、昆虫が葉を食べた時（植物細胞が昆虫の体内で壊された時）に葉緑素（クロロフィル）からクロロフィリドを作りだすことが明らかになった。
- ・人為的にクロロフィラーゼの含量を増やした葉を食べた昆虫の幼虫は、死亡率が上昇した。
- ・クロロフィリドを添加した飼料を食べた幼虫は、生育が遅延した。
- ・本研究は、植物が本来は光合成に利用している葉緑素を害虫から身を守るためにも利用していることを示している。

### 研究成果の概要

植物がもつ酵素クロロフィラーゼは、疎水性（水に溶けにくい性質）の葉緑素（クロロフィル）を親水性（水に溶けやすい性質）のクロロフィリドに変える活性をもちます（図1）。この酵素は、100年以上も前から存在が知られていましたが、植物にとってどのような役割を担っているかは不明でした。

北海道大学低温科学研究所、日本曹達株式会社、チューリッヒ大学、京都大学の共同研究チームは、クロロフィラーゼが細胞内の液胞や小胞体に存在することを明らかにし、さらに、クロロフィラーゼが、植物の細胞が壊れると直ちに葉緑素をクロロフィリドに転換することを見出しました。

また、遺伝子組換え技術によって、細胞内でのクロロフィラーゼの含量を増やすと、その葉を食べた後に死亡する幼虫（ハスモンヨトウ）の比率が高くなりました。さらに、クロロフィリドを幼虫のエサに混ぜると、幼虫の成長が抑えられました。

また、クロロフィリドは葉緑素に比べて、幼虫の腸内に吸着しやすいことがわかりました。

これらの結果から、植物は、昆虫の幼虫に食べられた時に、葉の中に大量にある葉緑素をクロロフィリドに変換することによって、自らを防御していると考えられます。

### 論文発表の概要

研究論文名：Re-examination of chlorophyllase function implies its involvement in defense against chewing herbivores.（クロロフィラーゼ機能の再検討によって、クロロフィラーゼが植物を噛み砕くタイプの摂食動物に対する防御に関与していることが示唆された）

著者：胡 学運（北海道大学低温科学研究所）、牧田 悟（日本曹達株式会社）、Silvia Schelbert（チューリッヒ大学）、佐野慎亮（日本曹達株式会社）、落合正則（北海道大学低温科学研究所）、土屋 徹（京都大学）、長谷川成明（北海道大学低温科学研究所）、Stefan Hoertensteiner（チューリッヒ大

学), 田中 歩 (北海道大学低温科学研究所), 田中亮一 (北海道大学低温科学研究所)

公表雑誌 : Plant Physiology (アメリカ植物学会誌)

公表日 : 米国東部時間 2015 年 1 月 12 日 (月) (オンライン版)

## 研究成果の概要

### (背景)

植物は様々な方法で昆虫から身を守っています。その一つが、昆虫にとって有害な化合物を細胞内に蓄積するという方法です。しかし、この方法は諸刃の剣ともいえ、このような有害な物質を蓄積することは、植物自身にとっても危険な場合があります。そこで、植物は、不活性型の化合物を細胞内に蓄積し、昆虫によって食べられた時に、瞬時にこの化合物を活性化し、これを食べた昆虫の生育を阻害する、という防御方法をとることがあります。このような方法は、化合物と活性化酵素の2つの成分によって成り立っていることから、二成分防御系と呼ばれます。

本研究では、葉緑素とクロロフィラーゼが二成分防御系を構成していることを示しました。すなわち、クロロフィラーゼという酵素が葉緑素 (クロロフィル) に働いて、クロロフィリドという昆虫にとって有害な物質を作り出す、という防御系です。そもそも、クロロフィラーゼという酵素は、100年以上も前からその存在が知られており、この酵素が、疎水性 (水に溶けにくい性質) の葉緑素を親水性 (水に溶けやすい性質) のクロロフィリドに変える活性をもつ、ということはよく知られていましたが、この酵素が植物にとってどのような役割を担っているかは不明でした。

### (研究手法と成果)

本研究では、まず、クロロフィラーゼは植物細胞内の液胞や小胞体にあることを、細胞の成分を遠心分離で分画する方法によって明らかにしました。葉緑素は本来、葉緑体の中にあるので、植物の細胞が正常に機能している時には、葉緑体の外にあるクロロフィラーゼが葉緑素に作用することはありません。しかし、遺伝子組換えによって、人為的にクロロフィラーゼを葉緑体の中に輸送してやると、クロロフィラーゼは、葉緑素に作用し、植物細胞の構造が保たれたままの状態であっても、葉緑素をクロロフィリドに変換しました。また、植物 (野生型のシロイヌナズナ) の葉をミキサーですりつぶすと、クロロフィラーゼの活性によって葉緑素はクロロフィリドに変換されました。一方、クロロフィラーゼを欠く変異体の葉を同様にミキサーですりつぶした場合は、クロロフィリドは生成されませんでした。これらの一連の実験から、クロロフィラーゼは正常な細胞では葉緑素から隔離されているので葉緑素に作用しないこと、また、細胞が壊れた時には葉緑素からクロロフィリドを生成することを示しています。

さらに、本研究では、葉緑素を含む飼料とクロロフィリドを含む飼料を虫の幼虫 (ハスモンヨトウ) に与えて効果を比較したところ、クロロフィリドのエサを混ぜた場合、幼虫の成長が抑えられ、死亡する幼虫の比率が高くなることがわかりました。また、植物細胞内のクロロフィラーゼの含量を遺伝子組換えによって増やすと、それを食べたハスモンヨトウの幼虫の死亡率が高まることがわかりました。

これらの結果から、植物は昆虫に葉を食べられた時に葉緑素を瞬時にクロロフィリドに変換することによって、身を守っていると考えられます (図2)。

クロロフィリドがどのように幼虫に作用するのかは現時点では不明ですが、本研究の成果の一つとして、葉緑素と比べて、クロロフィリドは幼虫の腸に吸着しやすいことがわかりました。この結果から、クロロフィリドが幼虫の腸に吸着して栄養の吸収を妨げる、という可能性が考えられます。

クロロフィリドは、植物がもつ他の防御物質と比べると昆虫の成長を阻害する活性が弱く、クロロフィリド単独では、植物が身を守るのに十分ではないと考えられます。しかし、クロロフィリドの素となる葉緑素は植物細胞内に大量に蓄積している物質なので、植物は、このような物質を無駄なく少しでも有効に使って、防御に役立っているのではないかと考えられます。

#### (今後への期待)

本研究では、葉緑素という本来は光合成のために使われている化合物を植物が防御に利用していることを示しました。この研究は、植物がもつ多彩な防御応答の全容解明や、その多様性の解明につながると期待されます。

### お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 准教授 田中 亮一（たなか りょういち）

TEL：011-706-5494 FAX：011-706-5494 E-mail：rtanaka@lowtem.hokudai.ac.jp

ホームページ：http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/plantadapt/

#### 【参考図】

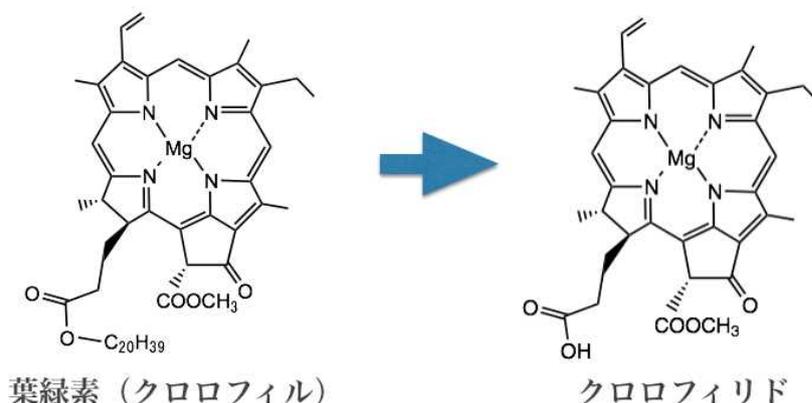


図1 葉緑素（クロロフィル）とクロロフィリドの構造

葉緑素にはフィトール基 ( $C_{20}H_{39}$ ) がついているので、水に溶けにくい。クロロフィラーゼ（酵素）は葉緑素のフィトール基を加水分解し、クロロフィリドを生成する。クロロフィリドは比較的水に溶けやすい。

また、葉緑素に比べてクロロフィリドの方が昆虫の腸内に吸着しやすい。作用機作は不明であるが、葉緑素に比べてクロロフィリドの方が昆虫への毒性が高い。ただし、クロロフィリドの毒性は市販の殺虫剤などと比べると非常に弱いので、クロロフィリドだけでは、植物は昆虫から身を守ることはできない。

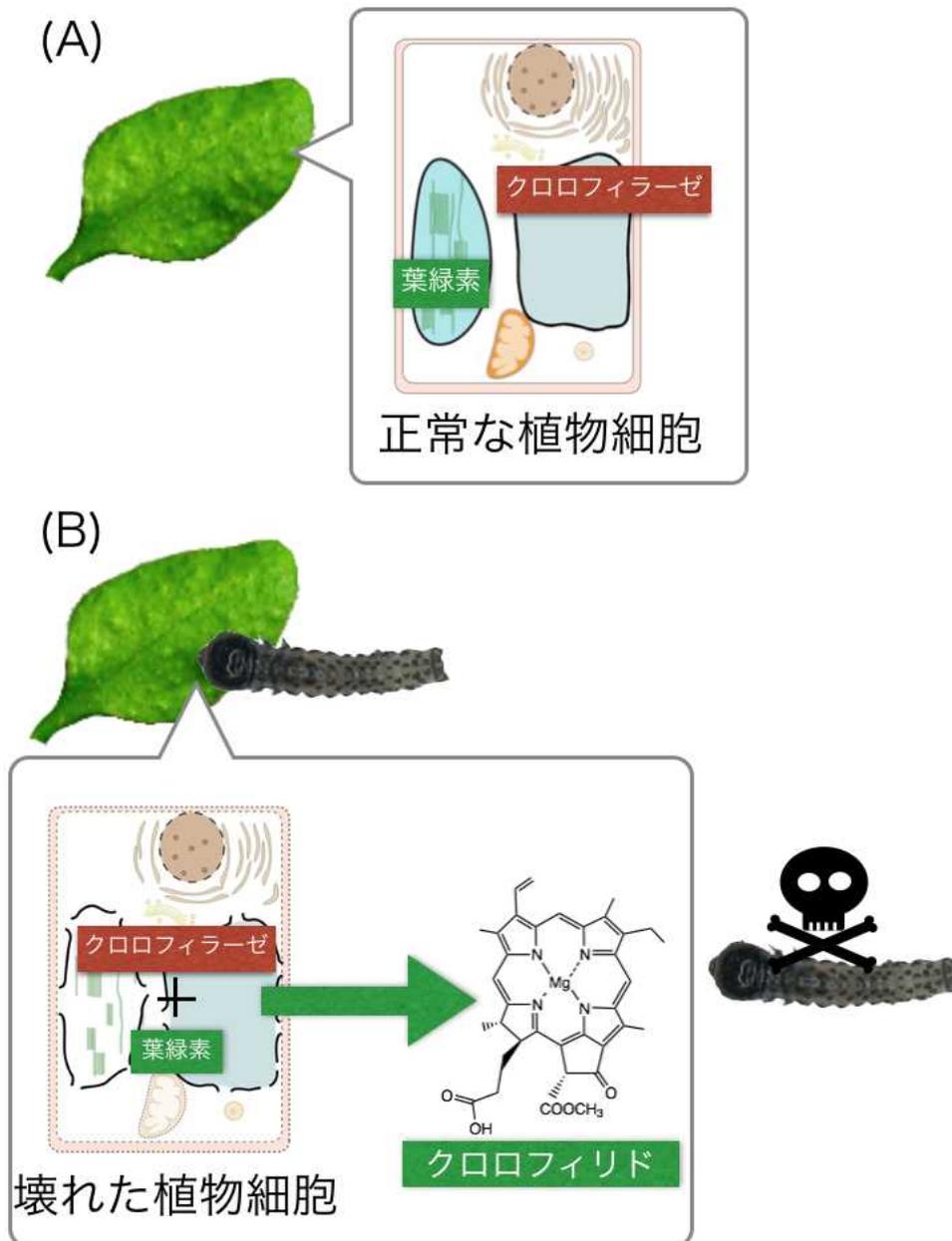


図2 葉緑素とクロロフィラーゼからなる二成分防御系のイメージ図

- (A) 植物細胞が正常な構造を保っている時は、葉緑素は葉緑体に、クロロフィラーゼ（酵素）は液胞にある。
- (B) ガの幼虫などが葉を食べて、葉の細胞が壊れた時は、クロロフィラーゼが葉緑素に作用して、瞬時に葉緑素をクロロフィリドに変える。クロロフィリドには、幼虫の生育を抑制する効果がある。