

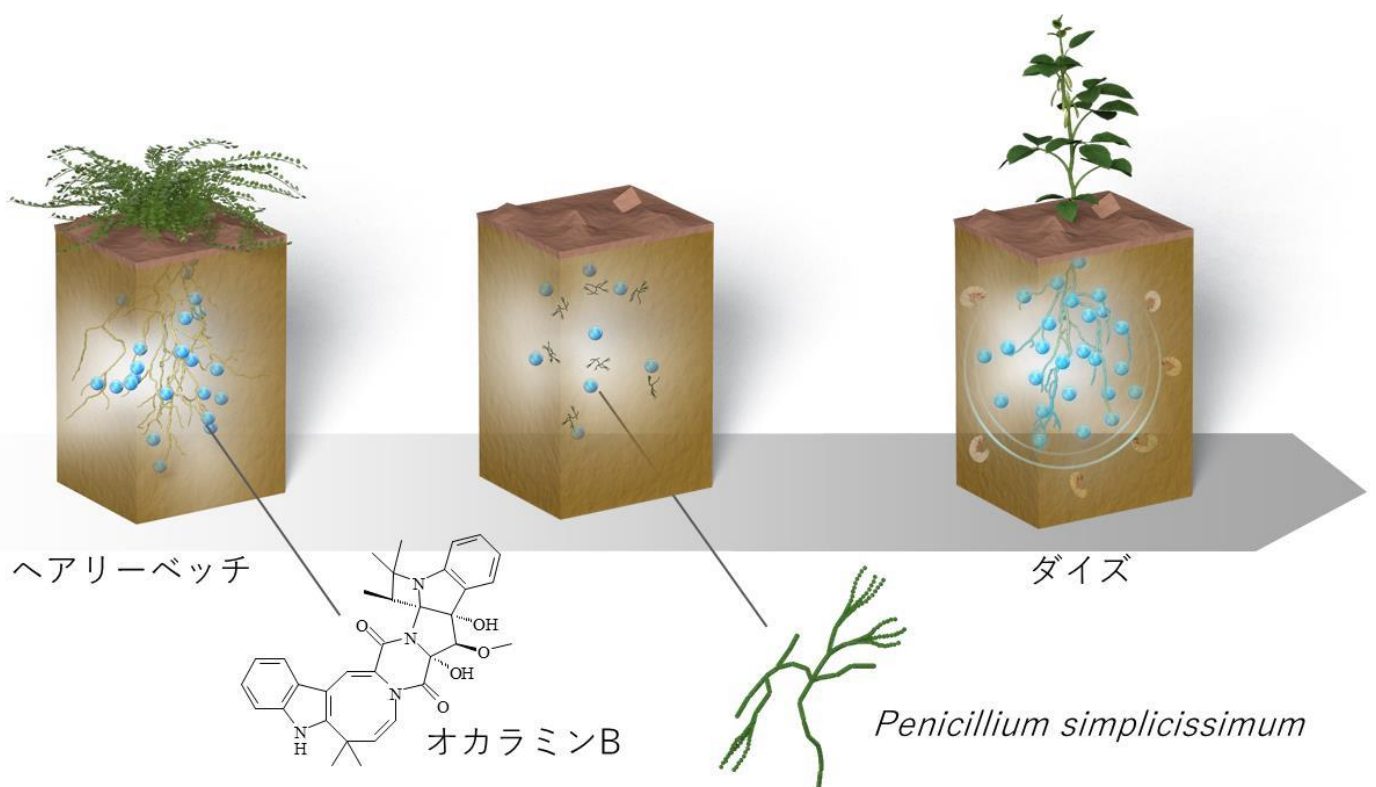
ダイズ根圏に殺虫活性物質オカラミンを発見

—土の中の遺産「根圏ケミカル」をメタボローム解析で明らかに—

概要

根圏は植物の生育や作物生産に極めて重要な土壌領域であり、根圏の微生物叢と植物生育のかかわりについて世界的に研究が盛んです。しかし、根圏での植物と微生物の相互作用に重要な役割を担う「根圏ケミカル(代謝物)」は、土壌での安定性・含量が低いことなどにより、十分理解が進んでいません。京大生存圏研究所 杉山暁史 准教授、中安大 同特任助教、情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 櫻井望 特任准教授(前所属:かずさDNA研究所 メタボロミクスチーム長)、東京農工大学大学院農学研究院 藤井義晴 教授、Hossein Mardani Korrani 同研究員、近畿大学農学部 松田一彦 教授らの研究グループは、微量なサンプルを用いて網羅的に代謝物を解析できるメタボローム解析を行った結果、マメ科植物のヘアリーベッチ栽培後の土壌に、ペニシリウム属のカビ (*Penicillium simplicissimum*) をオカラ上で培養したときに得られるオカラミンという殺虫活性物質の一群を見出しました。自然界でオカラミン類が発見されたのはこれが初めてです。さらに、ヘアリーベッチとダイズを11年間輪作で育てている圃場においても、ダイズ根圏でオカラミンが殺虫活性を有する濃度で検出されました。これは、ヘアリーベッチが土壌に残したオカラミンやオカラミン生合成微生物が、「遺産」としてダイズに受け渡され、ダイズの生育に有利な環境を作っている可能性が考えられます。今後、オカラミンをダイズなどの作物生産へ活用することが期待されます。

本研究成果は、2020年2月24日に国際学術誌「Frontiers in Genetics」にオンライン掲載されました。



1. 背景

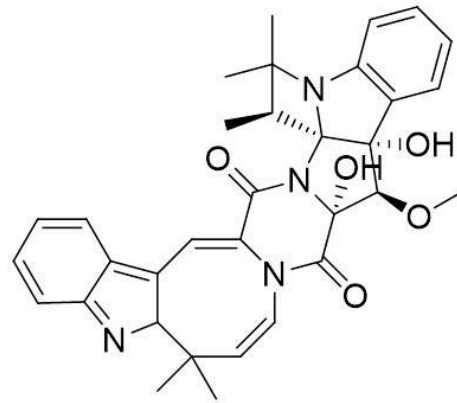
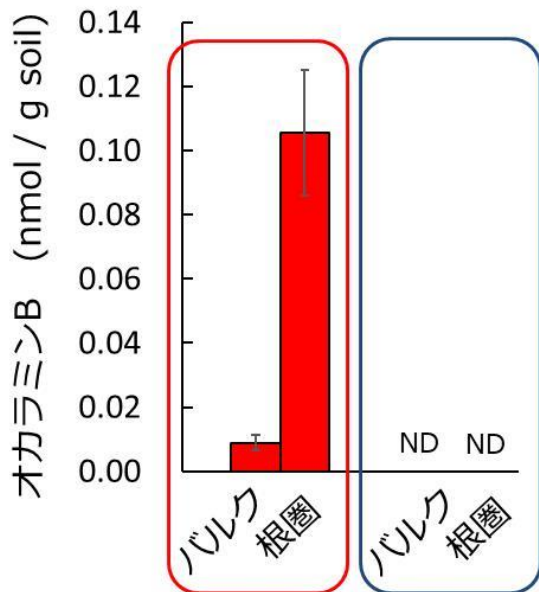
根圏は「根から影響を受ける土壌領域」と定義されている根近傍の土壌です。根圏は、土壌の中でも特に微生物が多く存在することが知られており、この微生物のコミュニティー（根圏微生物叢）は植物の生育に密接に関係します。根圏には植物や微生物が生産する様々な代謝物が存在し、それらの中には根圏での生物間相互作用にかかわるものも知られています。例えば、マメ科植物の根からは根粒菌との共生関係を構築するためのシグナルとしてフラボノイド類が分泌されます。また、植物が体外に放出する化学物質が他の生物に影響を及ぼすアレロパシーという現象も知られており、根圏でもこのような物質が作物や土壌中の生物に影響を与えています。このように土壌中の代謝物は様々な働きを持っていますが、土壌では代謝物が微量である、不安定である、抽出されにくいなどの問題により解析が難しく、未知の重要な代謝物が眠っていると考えられています。私たちは土壌のブラックボックスである「根圏の代謝物の世界＝根圏ケミカルワールド」を解明し、それを作物生産に活用することを目指して研究を進めています。

2. 研究手法・成果

本研究グループは、土壌中の新しい代謝物を探索するために、5種類の土壌を用いて、微量なサンプルから網羅的に代謝物を解析できるメタボローム解析を行い、新規根圏ケミカルを探索しました。その結果、東京農工大学でヘアリーベッチを栽培した土壌が、他の土壌と異なる特徴を有することを見出しました。この土壌に含まれる代謝物の特徴を詳しく調べたところ、ペニシリウム属のカビ（*Penicillium simplicissimum*）をオカラ上で培養したときに得られる、オカラミンという殺虫活性物質の一群が見いだされました。これをカビの生産物から単離した標品と比較することによって、ヘアリーベッチ栽培後の土壌にオカラミン類（オカラミン A、オカラミン B、オカラミン C）が確かに蓄積していることを明らかにしました。自然界でオカラミン類が発見されたのはこれが初めてです。

さらに、ヘアリーベッチとダイズを11年間輪作で育てている圃場において、ヘアリーベッチの後作で栽培したダイズ根圏においてもオカラミンが存在するかを調べたところ、ヘアリーベッチを育てていない畑で栽培したダイズの根圏ではオカラミンが検出されなかったのに対し、ヘアリーベッチ後作で栽培したダイズの根圏ではオカラミンが殺虫活性を有する濃度で検出されました（次ページ図）。

根圏ケミカルを介した相互作用は、同時期に栽培された植物間でのアレロパシーとして知られていました。今回の発見は、ヘアリーベッチが土壌に残したオカラミンやオカラミン生合成微生物が、次作のダイズ根圏で機能することを示しています。これは、時を超えて受け継がれる種間の相互作用であり、植物が「遺産」として次の世代に植物を守る根圏ケミカルを受け渡していることを示唆しています。オカラミンは、昆虫等の無脊椎動物の神経系にしか見られないグルタミン酸作動性塩素チャンネルに作用することで殺虫活性を発揮します。このように、昆虫高選択性を示す化合物が植物根圏の微生物から生産され、植物を守る現象は、次代の環境低負荷農業生産の進む道を示しています。



バルク：植物から離れた土
根圏：根の近くの土

ヘアリーベッチ栽培後にダイズを栽培

ヘアリーベッチを栽培せずダイズを栽培 ND：検出されない

図 ヘアリーベッチ栽培後の圃場ではダイズ根圏にオカラミンが検出される

3. 波及効果、今後の予定

メタボローム解析により自然界から同定されたオカラミンは、遺産としてヘアリーベッチからダイズに受け継がれ、ダイズの生育に有利な環境を作っていることが推測できます。このような土壤環境での代謝物を介した相互作用は、農薬や化学肥料の使用を削減しつつ、作物の質を安定化させる「頑健性制御」に役立つと考えられます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、JST CREST 研究領域「環境変動に対する植物の頑健性の解明と応用に向けた基盤技術の創出」の支援を受けて行われました。

<用語解説> (50音順)

アレロパシー

植物が体外に放出する天然の化学物質が他の生物（植物、微生物、昆虫、動物など）に、何らかの影響をおよぼす現象。阻害作用が顕著であるが、促進作用も見られることがある。植物が放出した成分が微生物等によって変化を受けて作用する場合も含まれる。薬用植物の成分など二次代謝物質の存在意義のひとつである可能性がある。連作障害の要因の一つともされるが、有機農業における病虫害雑草防除にも役立つと期待されている。

オカラミン

Penicillium simplicissimum などの糸状菌により生合成されるインドールアルカロイド化合物で、これまで18種の類縁体が発見されている。昆虫や線虫などの無脊椎生物の神経系でのみ発現しているグルタミン酸作動性塩素チャンネルに選択的に作用し、殺虫活性を示す。ヒトには存在しないタンパク質に結合するため、オカラミンは極めて安全性に優れた天然殺虫剤として期待されている。

根圏

植物の根から影響を受ける領域と定義されている、根の近傍の土壌のこと。植物の種類や生育環境によってその領域が異なり、根から何ミリと厳密に定義することは困難である。

根圏微生物叢

根圏に生息する微生物のコミュニティ。土壌は多様な微生物が存在するが、根圏は植物根からの影響をうけるため、微生物の多様性（種類の多さ）が低くなる。その一方で、微生物の量は多い。近年、根圏微生物叢を包括的に解析する技術が確立されてきたことから、植物の生育と根圏微生物の関係性が世界的に研究されている。

ヘアリーベッチ

元は牧草として牛の飼料にしたり、緑肥として化学肥料の代わりに使われてきたヨーロッパ原産のマメ科植物。ソラマメに近縁で寒さに強く、秋に播いて春先にすき込むのが一般的な栽培法。耐虫・耐病性が高く、アレロパシー活性が強い。雑草を抑制する成分としてシアナミドが発見され、現在日本では被覆植物として果樹園の下草管理、緑肥として稲の有機栽培などに普及しつつある。種子は大手種苗会社から販売されている。

メタボローム解析

試料に含まれる数千～数万の化学成分（分子量 1500 程度までの低分子化合物）を、高感度な質量分析装置などを用いて一斉に検出しようとする解析技術のこと。土壌だけでなく、生物、食品など、身の周りの試料には、存在は確認できるもののすぐには正体がわからない「未知化合物」も多数含まれており、メタボローム解析はこれら成分の解明と利活用にも期待されている。「メタボローム」という語は、生体内の代謝物質「メタボライト」と、一斉解析を示す語尾「オーム」に由来する。

<研究者のコメント>

メタボローム解析により根圏の新しい代謝物を発見することができました。オカラミンは殺虫活性の高い化合物なので、今後、圃場での研究を行い、オカラミンが植物生育にどのように関係するのかを明らかにし、持続型農業に役立つ技術を開発していきたいです。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Metabolome analysis identified okaramines in the soybean rhizosphere as a legacy of hairy vetch
(ダイズ根圏にヘアリーベッチの遺産としてのオカラミンが存在することをメタボローム解析により発見)

著者：Nozomu Sakurai, Hossein Mardani Korrani, Masaru Nakayasu, Kazuhiko Matsuda, Kumiko Ochiai, Masaru Kobayashi, Yusuke Tahara, Takeshi Onodera, Yuichi Aoki, Takashi Motobayashi, Masakazu Komatsuzaki, Makoto Ihara, Daisuke Shibata, Yoshiharu Fujii, Akifumi Sugiyama

掲載誌：Frontiers in Genetics