

植物の毒が微生物のエサになる

～タバコが作るニコチンの根圏微生物叢形成における機能を発見～

ポイント

- ・植物が毒性成分（特化代謝産物）を使って根圏の微生物叢を制御するメカニズムを解明。
- ・ニコチン分解遺伝子クラスターの水平伝播が細菌の宿主適応を促進することを発見。
- ・根圏微生物を利用した持続可能な農業生産への進展に期待。

概要

北海道大学教育イノベーション機構の島崎智久助教、同大学大学院理学研究院の中野亮平教授、理化学研究所環境資源科学研究センターの増田幸子研究員、同白須 賢グループディレクター、同市橋泰範チームディレクター、京都大学生存圏研究所の杉山暁史教授、同矢崎一史特任教授らの研究グループは、植物が作る毒性成分が根圏の微生物叢の形成にも寄与することを明らかにしました。

植物の根の近傍領域である根圏では、多種多様な微生物がコミュニティ（根圏微生物叢）を形成して生息しています。近年の研究から、根圏微生物叢が病害や乾燥などのストレスを緩和するとともに、栄養吸収を促進することで植物の生育に極めて重要な役割を果たすことが明らかになってきました。そのため、植物がどのように根圏微生物叢を形成し、その機能を制御しているのか、そのメカニズムが注目されています。

本研究では、タバコが作る毒性アルカロイドであるニコチンを特定の根圏細菌（アルスロバクター）が分解・資化することで、根圏微生物叢内における競合優位性を獲得していることが明らかになりました。また興味深いことに、ニコチンは昆虫に対して強い毒性を示す一方で、アルスロバクターを含めた多くの根圏微生物に対して増殖を抑制する効果は認められず、地上部と地下部で異なる生理機能を発揮していることが示唆されました。また、様々な環境から単離されたアルスロバクター属細菌のゲノム情報を比較したところ、アルスロバクターは遺伝子の水平伝播によってニコチン分解遺伝子を獲得することが明らかになり、根圏細菌のダイナミックなゲノムの再編成が、宿主植物との相互作用において重要な役割を担うことが示されました。

本研究成果は、植物代謝産物を介した根圏微生物叢の形成メカニズムの理解を深めるものであり、植物代謝産物を利用して根圏微生物叢の機能を制御することで、微生物の力を活用した持続可能な農業生産技術の開発につながることを期待されます。

なお、本研究成果は、2026 年 7 月 15 日（水）公開の Microbiome 誌にオンライン掲載されました。

【背景】

「ニコチン」と聞くと嗜好品のたばこに含まれる依存性物質と知られ、一般には健康に悪い物質としてのイメージが定着しています。しかしニコチンは本来、タバコ属植物（ナス科）が昆虫などの食害から身を守るために生産する防御物質の一種です。動くことのできない植物は、こうした多様な毒性の成分（特化代謝産物）を合成し、葉に溜め込むことで外敵から身を守ることが知られています。中でもニコチンはアルカロイドと呼ばれる非常に生理活性が高い化合物で、その生合成メカニズムや昆虫との相互作用における分子メカニズムに関する研究が古くからされてきました。また、合成されたニコチンの一部がタバコの根から分泌されることから、タバコの地下部においても何らかの機能を持つと考えられてきましたが、その実態は不明でした。本研究は、植物の生育において極めて重要な役割を果たす根圏微生物叢の形成における機能に着目し、地下部におけるニコチンの生理機能を探索しました。

【研究手法】

これまでの研究で、タバコの根やニコチンを添加した土壌においてニコチン分解菌として知られるアルスロバクター属細菌が増加することが明らかになっていました。そこで本研究では、これらのニコチンが存在する環境に加え、ニコチンを作らない植物の根など様々な環境からアルスロバクター属細菌を単離し、PacBio シークエンシングシステムを用いた全ゲノム解析^{*1}を行いました。

【研究成果】

得られたゲノム情報をもとにどのようなアルスロバクターがニコチン分解遺伝子を持つのかを調べたところ、タバコの根などニコチンが存在する環境から単離された株が特異的にニコチンの分解遺伝子を持っていることが分かりました。また、一部のアルスロバクター属細菌では、ニコチン分解遺伝子がプラスミド^{*2}上に存在することから遺伝子水平伝播^{*3}によって他の細菌へ伝播することが示唆されました。実際に、ニコチン非分解株を分解株と共培養したところ、ニコチン分解遺伝子が水平伝播することで、ニコチン分解能を獲得することが確認されました。

続いて、水平伝播によって獲得したニコチン分解能がアルスロバクターのタバコ根圏への定着や根圏細菌叢に与える影響を検証するため、ニコチン分解遺伝子を欠損させたアルスロバクターの変異株を作成しました。グルコースを栄養源とする培地では野生株及び変異株のどちらも生育した一方で、ニコチンを栄養源とする培地では変異株でのみ増殖能が失われました（図 1）。また興味深いことに、ニコチンは昆虫に対して強い毒性を示す一方で、アルスロバクターを含めた多くの根圏微生物に対して増殖を抑制する効果は認められませんでした。このことからニコチンはタバコの根圏においては毒ではなく、アルスロバクター属細菌だけが利用することのできるエサ（栄養源）として、根圏に本細菌を誘引する機能があることが分かりました。

本研究ではさらに、ニコチン蓄積量が大幅に減少した変異体タバコを組み合わせた根圏定着試験や、タバコの根から単離した細菌株を組み合わせ作成した合成細菌コミュニティ（Synthetic Community; SynCom^{*4}）を用いた細菌叢解析により、アルスロバクターがニコチンを栄養源として利用することで他の細菌よりタバコ根圏で優先的に増殖できるようになり、タバコ特有の根圏微生物叢が形成されることが明らかになりました（図 2）。

【今後への期待】

本研究では、毒性成分であるニコチンが特定の根圏細菌のエサになることで、根圏細菌叢の形成に寄与することが明らかになりました。しかし、ニコチンを介して形成された根圏微生物叢がタバコに対してどのような影響を与えるかは依然不明です。今後、タバコ根圏細菌叢が持つ生理学的な機能を明らかにすることで、植物の代謝産物を使って根圏微生物叢の組成や機能を制御する技術に応用されることが期待されます。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業、学振特別研究員 PD「メンブレンベシクルゲノム解析による根圏細菌間相互作用の解明」(JP22KJ3147)、国際共同研究加速基金(帰国発展研究)「植物-根圏マイクロバイオータ相互作用における植物免疫の役割」(JP22K21367)、基盤研究(B)「植物と常在微生物の相互作用における相互転写応答の制御」(JP26K01859)、基盤研究(B)「根圏ホロビオント代謝ネットワークの理解による植物生育促進効果の解明」、基盤研究(B)「複数のイソフラボン代謝経路が織りなす根圏生物間相互作用の解明」(JP24K01894)、前川報恩会 学術研究助成「窒素栄養依存的な植物二次代謝生合成制御の生理学的機能の解明」、京都大学生存圏研究所「プロジェクト型共同研究」、理化学研究所「最先端研究プラットフォーム連携(TRIP)事業」の支援を受けて実施されました。

論文情報

論文名	Horizontal acquisition of nicotine catabolism gene cluster enhances <i>Arthrobacter</i> fitness within tobacco root microbiota (遺伝子水平伝播によるニコチン分解遺伝子の獲得がアルスロバクター属細菌のタバコ根圏での競争優位性を高める)
著者名	島崎智久 ^{1, 2} 、能勢結衣 ² 、増田幸子 ³ 、柴田ありさ ³ 、庄司 翼 ⁴ 、矢部修平 ² 、古林真衣子 ⁵ 、菊池義智 ^{5, 6} 、白須 賢 ³ 、矢崎一史 ⁷ 、市橋泰範 ² 、杉山暁史 ⁷ 、中野亮平 ¹ (¹ 北海道大学大学院理学研究院、 ² 理化学研究所環境資源科学研究センターホロビオント・レジリエンス研究チーム、 ³ 理化学研究所環境資源科学研究センター植物免疫研究グループ、 ⁴ 富山大学和漢医薬総合研究所、 ⁵ 産業技術総合研究所バイオものづくり研究センター、 ⁶ 北海道大学大学院農学研究院、 ⁷ 京都大学生存圏研究所)
雑誌名	Microbiome (微生物学の専門誌)
D O I	10.1186/s40168-026-02466-x
公表日	2026 年 7 月 15 日 (水) (オンライン公開)

【参考図】

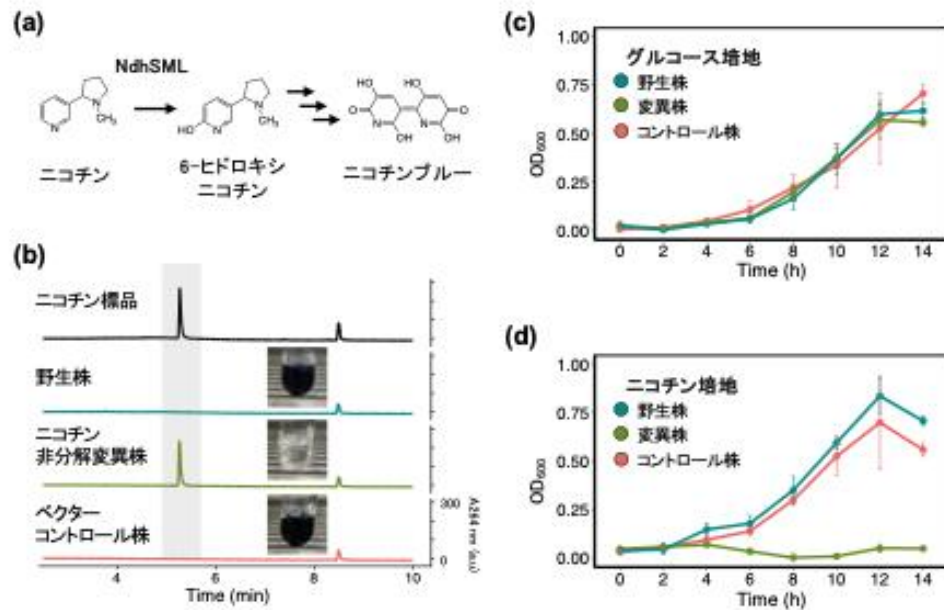


図 1. (a) アルスロバクターによるニコチン分解経路。(b) ニコチン非分解変異株の作出。ニコチン分解遺伝子の一部を破壊することでニコチンを分解しない変異株が得られた。(c) グルコース及び (d) ニコチン培地におけるアルスロバクターの増殖。グルコース培地では野生株と変異株のどちらも増殖できるが、変異株はニコチン培地で増殖できない。

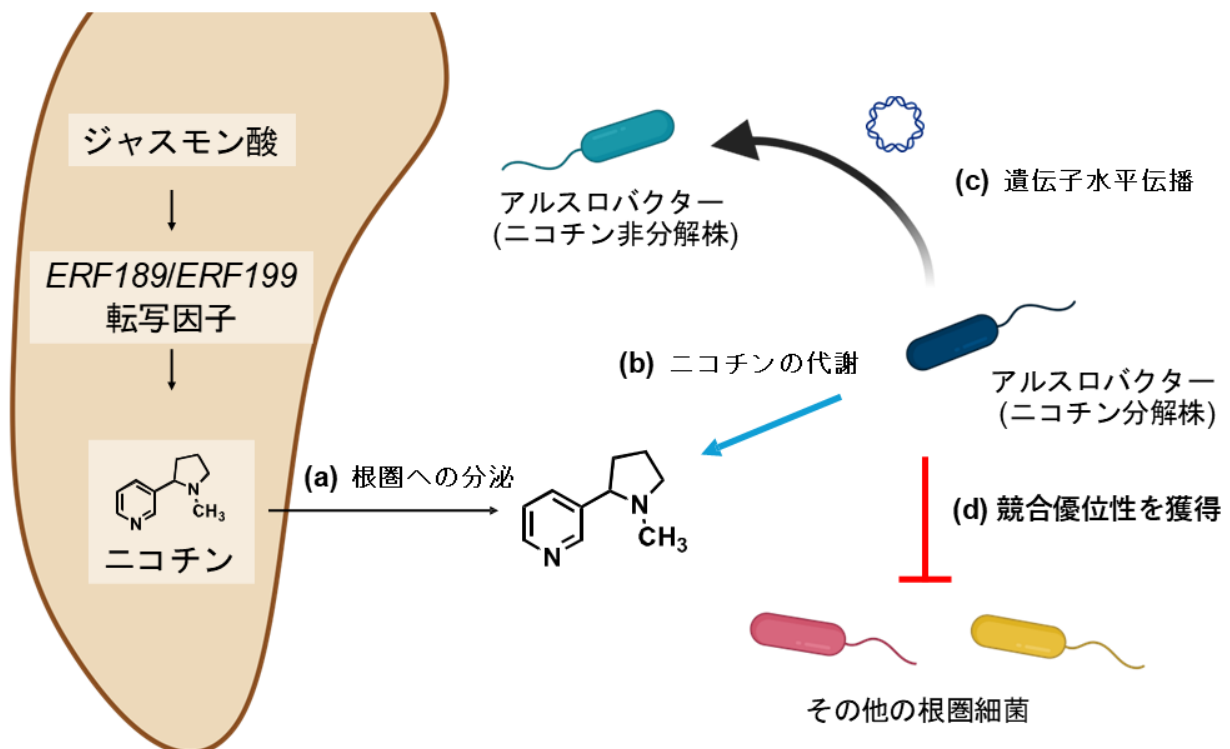


図 2. タバコ根圏細菌であるアルスロバクターは、遺伝子水平伝播によってニコチン分解遺伝子を獲得する。獲得した代謝遺伝子によってニコチンを特異的な栄養源とすることで、タバコ根圏細菌叢内における競合優位性を獲得する。

【用語解説】

- *1 全ゲノム解析 … 生物がもつ全ての DNA（ゲノム）の塩基配列を解析し、遺伝子の種類や配置、進化の過程などを調べる手法のこと。
- *2 プラスミド … 細菌がもつ染色体とは別に存在する環状の DNA のこと。抗生物質耐性や特殊な代謝能力などに関わる遺伝子を運び、細菌同士で受け渡されることがある。
- *3 遺伝子水平伝播 … 親から子へ受け継がれるのではなく、異なる細菌同士の間で遺伝子が直接受け渡される現象のこと。これにより細菌は新しい性質を短期間で獲得できる。
- *4 SynCom … 複数の細菌を人工的に組み合わせて作製した「合成微生物群集」のこと。実際の根圏微生物叢を単純化したモデルとして用いられる。