



竹利用性昆虫の共生菌の栄養源を特定 ～ニホンホホビロコメツキモドキの栽培する酵母菌の増殖基質～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院生命農学研究科の土岐 和多瑠 講師と青木 弾 講師の研究グループは、竹の空洞で幼虫が育つ昆虫ニホンホホビロコメツキモドキとエサとして栽培される酵母菌の共生関係について調べ、竹の組織に含まれる単糖類（グルコース、フルクトース）を栄養源に酵母菌が増殖し、幼虫のエサとなることを解明しました。

木材の大部分は、難分解性成分（セルロースなど）であり、ほとんどの動物は自力で消化できません。そのため、木材で育つ昆虫は、それらの難分解性成分を分解できる共生微生物（酵母菌など）の助けを借りて、木材を利用すると考えられています。しかし、木材のどの成分を微生物が利用するかはほとんど分かっていませんでした。

ニホンホホビロコメツキモドキのメスは、竹をかじって穴を開け、空洞内に産卵するとともに酵母菌を植え付けます。空洞内で孵化した幼虫は、増殖した酵母菌を食べることで成長します。私たちは、竹に含まれる糖類のうち、酵母菌が実際に利用した糖類を調べるため、新鮮な竹、酵母菌培養後の竹、酵母菌と幼虫を育てた竹の空洞表面の組織を採取し、それらに含まれる糖類を分析しました。その結果、酵母菌は、主にグルコースとフルクトースを利用した一方、利用可能にも関わらず難分解性の糖類を利用していませんでした。このことから、木材利用性昆虫の共生菌は、必ずしも難分解性成分の分解を通して昆虫に寄与するわけではないことが考えられました。

本研究成果は、2021年9月28日付英国科学雑誌「Scientific Reports」にオンライン掲載されました。

本研究は、公益財団法人発酵研究所平成30年度一般研究助成(G-2018-1-034)及び日本学術振興会科学研究費国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(A))(20KK0349)の支援のもとで行われたものです。

【ポイント】

- ・木材の大部分は、難分解性の高分子成分（セルロース、ヘミセルロース、リグニン）で構成され、ほとんどの動物は単独では消化できません。そのため、木材で育つ昆虫は、それらの難分解性成分を分解できる共生微生物の助けを借りて、木材を利用すると考えられています。しかし、共生関係の中で、木材のどの成分を微生物が利用するかはほとんど分かっていませんでした。
- ・竹の組織には、高分子で存在する多糖^{注1)}と、低分子で存在する遊離糖^{注2)}が含まれます。多糖を構成する単糖・二糖の単位を構成糖^{注3)}と呼び、多糖の加水分解によって分析できます。微生物が多糖を分解する場合、微生物利用後の竹の構成糖は減少すると予想されます。
- ・竹の空洞で幼虫が育つニホンホホビロコメツキモドキについて、(イ)新鮮な竹、(ロ)共生酵母菌を培養した竹、(ハ)酵母菌と幼虫を育てた竹の空洞表面の組織を採取し、それらに含まれる構成糖と遊離糖を分析しました。その結果、(イ)に比べて、(ロ)や(ハ)で、遊離糖（主にグルコース、フルクトース）が大きく減少した一方、構成糖は減少しませんでした。
- ・培養試験により、酵母菌は、グルコースやフルクトースだけでなく、難分解性の糖類（キシロースやキシラン）を分解する能力を持つことが分かりました。
- ・これらの結果より、酵母菌は、(1)主に遊離糖由来のグルコースとフルクトースを栄養源に増殖し、幼虫のエサとなること、(2)難分解性糖類を利用可能にも関わらず、これらを利用していませんでした。すなわち、木材利用性昆虫の共生菌は、必ずしも難分解性成分の分解を通して昆虫に寄与するわけではないことが考えられました。

【研究背景と内容】

木材は窒素分に乏しく、その大部分は難分解性の高分子成分（セルロース、ヘミセルロース、リグニン）で構成され、ほとんどの動物にとって自力で消化のできない、「おいしくない」物質です。しかし、実際には様々な昆虫が木材を利用しています。その鍵となるのは、難分解性成分を分解できる微生物との共生だと考えられています。つまり、木材で育つ昆虫は、共生微生物に難分解性成分の分解を頼り、木材を利用すると考えられています。しかし、実際に木材のどの成分を微生物が利用するかはほとんど分かっていないのが現状です。

ニホンホホビロコメツキモドキは、幼虫が竹の空洞で酵母菌を食べて育つ、日本固有種の昆虫です（図1）。メスは、大顎で竹をかじって空洞に達する穴を開け、空洞内に卵を一つ産みつけます。その際、共生微生物である酵母菌も植えつけます。孵化した幼虫は、増殖した酵母菌を食べて成長し（図1）、一



図1. ニホンホホビロコメツキモドキのメス（左）と竹空洞内の幼虫（右）。矢印の白色部は増殖した酵母菌。

つの空洞内で成虫になります。酵母菌は空洞表面で広がっていることから、空洞表面の組織を栄養源に増殖すると考えられます。竹の空洞表面はどのような糖類で構成され、酵母菌はどの糖類を栄養源にしているのでしょうか？

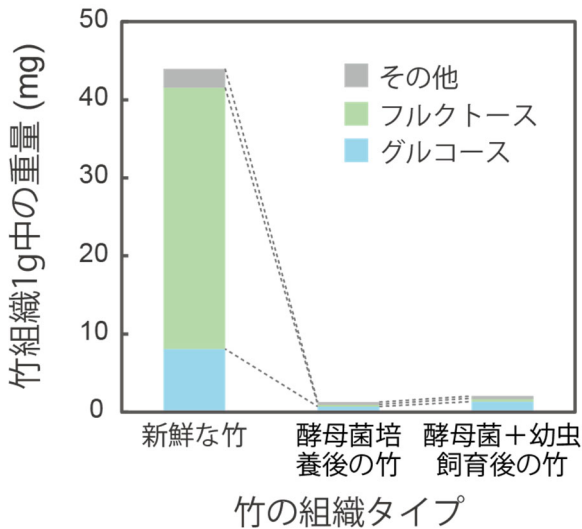


図2. 竹の組織タイプと遊離糖の組成の関係

せんでした。対照的に、遊離糖では、主要成分のグルコースとフルクトースが大きく減少していました（図2）。

竹に含まれる様々な糖類について、酵母菌が分解可能かどうかを調べるために培養試験を行ったところ、グルコースやフルクトースをよく分解し、かつ、難分解性のキシロースやキシランに対しても分解能力を示しました。

以上の結果より、ニホンホホビロコメツキモドキの共生酵母菌は、主に遊離糖由来のグルコースとフルクトースを栄養源に増殖し、幼虫のエサとなること、難分解性糖類を利用可能な性質を有するにも関わらず、これらを利用していないことが判明しました。すなわち、木材利用性昆虫の共生菌は、必ずしも難分解性成分の分解を通して昆虫に寄与するわけではないことが考えられました。

【成果の意義】

木材利用性昆虫と菌の共生関係において、共生菌が実際に利用する物質は何か、これまでほとんど分かっていませんでした。本研究は、ニホンホホビロコメツキモドキにおける共生酵母菌の増殖基質を初めて報告しました。予想に反し、酵母菌は竹に含まれる難分解性の高分子多糖類ではなく、利用しやすい低分子の糖類を栄養源に増殖し、幼虫は、その酵母菌を食べて成虫になりました。木材を利用する昆虫-菌共生系でありながら、木材中の難分解性成分を利用せずに共生系を維持することができることを示しています。本研究により、木材をめぐる昆虫と菌の共生関係の多様性の理解を一步進められたと考えられます。

そこで、新鮮な竹、酵母菌を増殖させた竹、酵母菌と幼虫を育てた竹の空洞表面組織を採取し、含まれる構成糖（多糖類として組織中に存在）と遊離糖（単糖類、二糖類として組織中に存在）が何かをイオン交換クロマトグラフィー^{注4)}を用いて調べました。その結果、構成糖として9種、遊離糖として8種が検出されました。

もし酵母が竹の難消化性成分の多糖類（セルロース、ヘミセルロース）を分解した場合、酵母培養後の竹や酵母と幼虫飼育後の竹で「構成糖」が減少すると予想されましたが、いずれの構成糖も減少し

【用語説明】

注 1) 多糖

単糖が重合した高分子を指します。例えば、エネルギー貯蔵が目的のデンプンやグリコーゲン、細胞壁などの構造形成が目的のセルロースやヘミセルロースがあります。

注 2) 遊離糖

一般に水溶性を示す低分子量の糖類を指し、主に単糖および二糖が該当します。例えば、グルコース（ブドウ糖）、フルクトース（果糖）、スクロース（ショ糖）などがあります。本研究では、試料からエタノール水溶液で抽出された単糖と二糖を遊離糖とし、その量と組成を評価しました。

注 3) 構成糖

多糖の構造単位を示す用語です。例えば、セルロースの構成糖はグルコースのみですが、ヘミセルロースの構成糖はグルコース、キシロース、マンノース、アラビノース、ガラクトース、ウロン酸など、植物種や組織構造に応じて多岐にわたります。本研究では、あらかじめエタノール水溶液で抽出処理をされ、不溶物として試料に残存した多糖を硫酸加水分解することで、構成糖の量と組成を評価しました。

注 4) イオン交換クロマトグラフィー

イオン性あるいは電離性の分子を分離する手法の一つです。本研究では、ヒドロキシ基 (OH) を有する糖類の組成分析に利用しました。多様な単糖と二糖を区別しながら、それらの量を高精度に評価できます。

【論文情報】

雑誌名 : Scientific Reports

論文タイトル : Nutritional resources of the yeast symbiont cultivated by the lizard beetle *Doubledaya bucculenta* in bamboos

著者 : Wataru Toki (土岐 和多瑠 名古屋大学大学院生命農学研究科講師) , Dan Aoki (青木 弾 名古屋大学大学院生命農学研究科講師)

DOI : 10.1038/s41598-021-98733-y

URL : <https://www.nature.com/articles/s41598-021-98733-y>