土に住む菌類に動物の腸内で暮らす性質を持つ可能性を発見

土壌に住む菌類のリンデリナ属菌を、動物の腸内環境に似た無酸素・富栄養条件で培養したところ、コウボのように単細胞で増殖することが分かりました。この性質は、昆虫を宿主とし、その腸内と糞とで姿を変えるウングイスポラ属と共通しており、その近縁である本属も同様の性質を持つ可能性があります。

土壌や落ち葉、動物の糞の中にはさまざまな菌類が暮らしており、有機物を分解して栄養を得ています。しかし、その中には自然界で見つかる機会が少なく、生態が未解明のものも少なくありません。キクセラ目の菌類もその一つです。本研究グループはこれまでに、同目のウングイスポラ属菌が、カマドウマやコオロギの腸内ではコウボ状（単細胞で増殖する形態）、糞の上では菌糸状と、環境に応じて姿を変えることを明らかにしています。そこで本研究では、ウングイスポラ属に最も近縁なリンデリナ属について、同様の性質の有無を検討しました。

国内の土壌から初めてリンデリナ属の一種である *Linderina macrospora*（リンデリナ・マクロスポラ）を分離し、温度・栄養・光・大気条件が形態と生育に及ぼす影響を調べました。その結果、動物の腸内を模した無酸素・富栄養条件下では、胞子から分節胞子（栄養細胞が区切られてできる胞子）が生じ、分裂や出芽によってコウボ状に増殖することが分かりました。また、太陽光のような白色光下では生育が強く阻害されたことから、本種は本来暗所に生息すると考えられます。

このような無酸素・富栄養条件でのコウボ状増殖は、ウングイスポラ属と共通しており、土壌に住むとされてきたリンデリナ属にも、動物の腸内という見過ごされてきた生活の場がある可能性を示しています。本成果は、キクセラ目の生活史の解明とともに、微生物が動物の体内をすみかとするようになった過程を理解する手がかりになると期待されます。

研究代表者
筑波大学生命環境系
出川 洋介　准教授
京都大学生命科学研究科
李 知彦　特定研究員（研究当時：筑波大学生命環境系　特別研究員）

研究の背景

私たちの身の回りの土や落ち葉、動物の糞には多種多様な菌類が存在し、有機物を分解して暮らしています。ただし、こうした菌類の中には、具体的に土や糞のどこに潜み、どのような一生を送っているのかがほとんど調べられていないものも数多くあります。キクセラ目の菌類もその一つです。同目の菌類は土壌や動物の糞から分離されることから、そこを生活の場としていると考えられてきましたが、多くの属は自然界で見つかることがまれで、記載以来一度も再発見されていない属もあります。これらの菌類の系統関係の解明をはじめとした研究を進めるためにも、生活史を明らかにする必要があります。

本研究グループは、これまでにカマドウマの糞から同目の新属ウングイスポラ（*Unguispora*）を発見し、その後コオロギからも同属の新種を見いだしました。これらの菌は、宿主の腸内ではコウボ状（コウボのように単細胞で増殖する姿）、腸外の糞上では菌糸状という異なる姿で生活する「腸内外両生菌類」であることが分かっており、土壌や糞に生息すると考えられてきた同目の他の菌類にも、見過ごされてきた動物の腸内での生活段階が存在する可能性を示唆しています。

そこで本研究では、ウングイスポラ属に最も近縁なリンデリナ属（*Linderina*）に着目しました。リンデリナ属は土壌からまれに分離される菌類で、現在 2 種が知られています。そのうち *Linderina macrospora*（リンデリナ・マクロスポラ）は香港、アメリカ、インドネシア、台湾から報告されていましたが、国内からの記録はありませんでした。

研究内容と成果

本研究では、茨城県内の 2 地点で採取した土壌からリンデリナ・マクロスポラの菌株を分離することに成功しました。本種は、一つの胞子柄に 1〜7 個の饅頭形細胞を左右交互に生じ、その細胞上面に細長い胞子を多数並べて形成します（図 1）。形態観察と DNA に基づく分子系統解析により、本種であることを確認し、国内初記録として報告しました。

次に、ウングイスポラ属のコウボ状増殖を誘導する条件（動物の腸内を模した、酸素濃度 0.1%未満、二酸化炭素濃度 15%以上の無酸素・富栄養条件）で本種を培養しました。その結果、無酸素条件では通常の大気条件とは異なる形の菌糸体が生じ、これが不規則に区切られて分節胞子（栄養細胞が区切られてできる胞子）が形成されました（図 2）。このときの菌糸体の伸び方や区切られる頻度には大きなばらつきがあり、糸状の外観を保つものから、コウボのように単細胞で増殖するものまでさまざまでした。しかしながら、低酸素条件ではこのような変化は見られず、通常の菌糸のみが生じました。同じキクセラ目でも、土壌や糞に普通に生息するコエマンシア属（*Coemansia*）では菌糸以外の生育形態は知られておらず、無酸素条件でのコウボ状増殖はウングイスポラ属と共通する特異な性質であると考えられます。

また、本種の生育適温は 25〜30 °Cであり、菌糸の生育は 10〜35 °C、胞子形成は 20〜30 °Cの範囲で見られました。栄養に富む培地では生育が旺盛になる一方、種の識別に重要な形質である胞子をつける側枝（スポロクラディア）の数が減少したことから、形態観察には栄養の乏しい培地が適していることが分かりました。

さらに、本種は太陽光のような白色光に対して極めて敏感であることも明らかになりました。白色 LED の光を照射すると、菌糸の伸長は大きく抑えられ、20 °Cでは胞子の発芽が止まり、菌が死滅しました。胞子形成は温度に依らずに阻害され、光を照射した条件ではほぼ全く胞子がつくられませんでした。光によって成長や胞子形成が抑えられる菌類は他にも知られていますが、生育そのものが停止し死に至るほどの強い反応はほとんど例がありません。このことから、本種は土壌の深い層のような光の届かない環境に生息していると考えられます。

今後の展開

本研究の結果は、リンデリナ属に動物の腸内での生活段階が潜む可能性を示すものですが、実際にそのような生活をしているかどうかは確かめられていません。今後は、土壌に生息する動物の腸内や糞を対象に本属菌の探索を行い、自然界での生活の場を明らかにする必要があります。また、キクセラ目では光に対する応答がほとんど研究されておらず、本種の極端な光感受性の仕組みを解明することは、菌類が光環境にどのように適応してきたのかを理解する手がかりにもなります。

また本研究は、培養条件を工夫することで、これまで見過ごされてきた菌類の性質を明らかにできることを示しました。同様の手法でキクセラ目の他の属を調べることで、生活史が不明な菌類の実態が明らかになり、菌類が動物の腸内へと生活の場を広げてきた進化の過程の解明につながると期待されます。

参考図

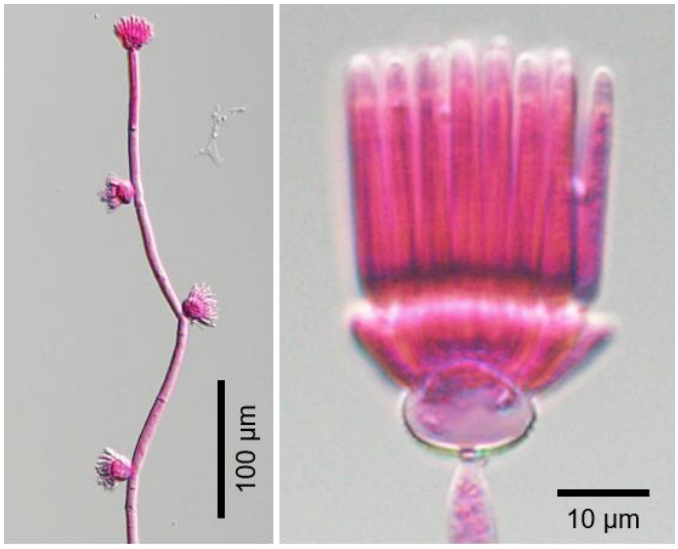


図 1　リンデリナ・マクロスポラ（*Linderina macrospora*）の胞子形成構造
胞子柄から左右交互に饅頭形の細胞が生じ（左）、その細胞上面に細長い胞子を多数形成する（右）。

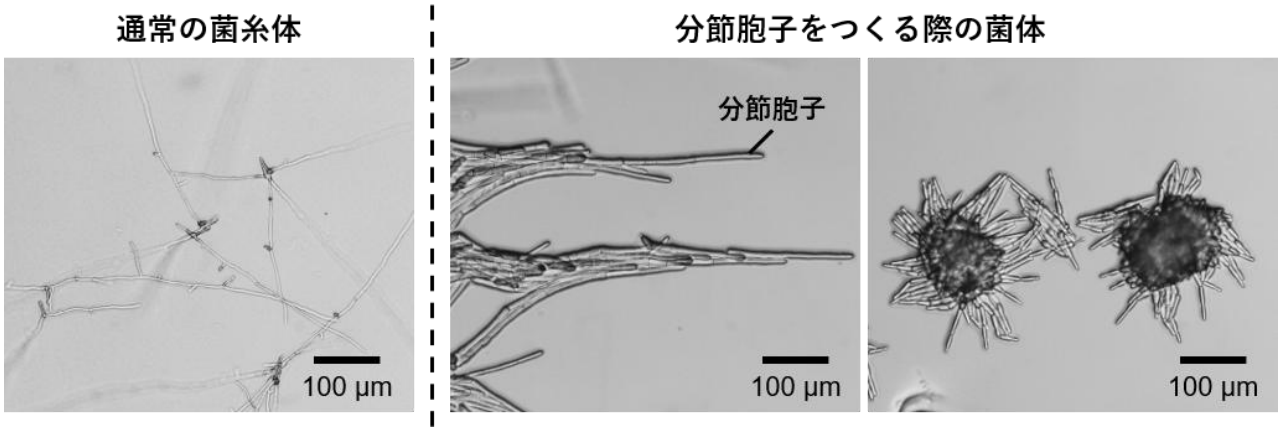


図 2　無酸素・富栄養条件での培養下におけるリンデリナ・マクロスポラの形態
無酸素・富栄養条件で培養を行うと通常みられる菌糸体（左）とは異なる形の体をつくり、体が不規則に区切られることで分節胞子をつくる。外観にはばらつきがあり、糸状になる場合（中央）と、コウボ状になる場合（右）がある。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト（24KJ0485、26KJ0180）の一環として実施されました。

掲載論文

【題　名】 Effects of culture conditions on morphology and growth of *Linderina macrospora* (*Kickxellomycotina*, *Kickxellales*)
（*Linderina macrospora*（キクセラ亜門、キクセラ目）の形態と生育に培養条件が及ぼす影響）

【著者名】 T. Ri, T. Masaki, and Y. Degawa

【掲載誌】 *Fungal Biology*

【掲載日】 2026 年 10 月 22 日（オンライン公開）

【DOI】 10.1016/j.funbio.2026.101886