

氏名	TAN PEI YU
授与学位	博士(工学)
学位記番号	博甲第233号
学位授与年月日	令和8年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学位論文題目	Screening of Cyanobacteria Growth-Promoting Bacteria and Insights into Metabolite-Mediated Interactions in a Co-culture System (藍藻-細菌相互作用を示す微生物探索ならびに相互作用に関する基礎検討)
論文審査委員	主査 教授 小西 正朗 准教授 邱 泰瑛 准教授 陽川 憲 准教授 宮崎 健輔 准教授 近藤 寛子

学位論文内容の要旨

本研究では、藍藻 *Synechococcus elongatus* PCC 7942 の増殖効率向上を目的とし、藍藻増殖促進共生菌 (Cyanobacteria Growth-promoting Bacteria, CGPB) を探索し、藍藻-細菌共培養系における相互作用機構の基礎的理解を行った。第2章では、畜産業廃水由来の144分離株から共培養スクリーニングを実施し、4株のCGPB (*Rhodococcus* sp. AF2108, *Ancylobacter* sp. GA1226, *Xanthobacter* sp. AF2111, *Shewanella* sp. OR151) を取得した。フラスコ共培養により、これら4株はいずれも藍藻に対して増殖促進効果を示し、特にAF2108はクロロフィル量を8.5倍、細胞数を3.9倍に増加させ、既存報告と比較しても短期間できわめて高い促進効果を示す株であることが明らかとなった。

次に、第3章では、共生菌由来の可溶性代謝物による作用機構を検証するため、精密ろ過膜で隔てられた2槽のフラスコを有する別府フラスコを用いた共培養実験を行った。その結果、AF2108と物理的接触がなくとも藍藻の増殖が著しく促進されることが確認され、促進因子が細胞外代謝物に由来する可能性が示唆された。さらに、安定同位体比解析により、共培養下の藍藻では $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ が増加し、炭酸水素イオンの利用促進および窒素代謝の活性化が推察された。加えて、RNA-seq解析を通じて藍藻の遺伝子発現変動を評価した結果、カルビンベンソン回路、クエン酸経路、グルタミン合成系、アミノ酸合成系、並びにクロロフィル合成系関連遺伝子群が上昇していた。一方、ペントースリン酸経路及びヌクレオチド糖代謝の低下が確認されて、代謝フラックスの再配分が起きていることが示された。また、鉄輸送系ABCトランスポーター遺伝子の制御変動から、AF2108が分泌するシデロフォアにより藍藻の鉄の利用が改善されている可能性が示唆された。

以上の知見をまとめると、AF2108はシデロフォア、インドール-3-酢酸 (Indole-3-acetic, IAA)、アミノ酸、ビタミン類などの代謝物を介し、藍藻の光合成性能、窒素代謝、細胞増殖バランスを促進することが明らかになった。また、AF2108は物理接触を必要とせず、生理活性物質を通じて藍藻の代謝活性を再構築し、増殖及び光合成性能を促進することが示された。本現象は、単なる栄養供給ではなく、細胞機能調節を含む「代謝的相互作用 (metabolite-mediated interaction)」による共生機構である可能性を示す重要な知見である。

本研究で得られた知見を基盤とし、藍藻-細菌共生系を新たな生産プラットフォームとして確立し、二酸化炭素固定型バイオプロセス、循環型資源利用、および持続型微生物コンソーシアム設計へ応用することが期待される。

審査結果の要旨

本論文では牛の排せつ物由来の液体肥料製品から共培養により藍藻の一種である *Synechococcus elongatus* の増殖を促進する微生物を複数見出したこと、その中でも増殖促進効果が高かった *Rhodococcus* sp. AF2108株に関して、メンブレンリアクターによる非接触条件での共培養、安定同位体解析、次世代シーケンサーを用いた網羅的転写量解析で、増殖促進機構の解明に取り組んだことが報告された。メンブレンリアクターを用いることで効果が高まることから、増殖促進には細胞の接触が不要かつ阻害的に働いていることが初めて見いだされた。転写解析に基づき、*S. elongatus* は共培養により炭素固定、窒素固定、アミノ酸代謝、核酸合成等の代謝経路上の遺伝子転写量が顕著に増加しており、それらの代謝の活性化が関与していることが示された。また同位体解析により、ホスホエノールピルビン酸デヒドロゲナーゼによる炭酸固定が優占化されている可能性が示された。これらの成果について、独自性・新規性が認められる結果が得られていることが確認された。

微細藻類および藍藻の増殖促進細菌による効果に関する報告は多数あるものの、微生物間の相互作用に迫った既往研究はなく、本研究で見出された微生物接触の影響や増殖促進細菌自身の増殖促進効果などの独自性は高いことが確認された。本稿は博士論文として、十分な成果が得られていることが確認された。

以上の理由から、TAN PEI YU氏の博士論文は合格と判断された。