

2種類の捕食性細菌を用いた ウキクサマイクロバイーム改変に関する検討

環境エネルギー工学専攻 環境工学コース
生物圏環境工学領域 池研究室 小島 翼

1. はじめに

水生植物であるウキクサは、有望なバイオマス資源として注目されており、排水処理とバイオマス生産を両立する技術への適用が期待されている。他方、ウキクサの生理活性には、その表層に存在する多様な細菌から構成される細菌群集（マイクロバイーム）が重大な影響を与えることが知られている。そこで我々は、ウキクサマイクロバイームの制御因子として、ほかの生きた細菌を捕食して増殖する捕食性細菌に着目した。捕食性細菌が持つ“特定の細菌種を排除する”能力を適切に活用することで、ウキクサマイクロバイームを人為的に改変し、ひいてはウキクサの成長や健康状態を好適に制御することも可能であると考えられる（図1）。一方で、捕食性細菌の特性に応じたウキクサマイクロバイーム改変効果の差異や、複数の捕食性細菌を同時に導入した際の効果増強の可能性については未解明であり、知見の蓄積が必要である。そこで本研究では、2種類の捕食性細菌を用い、ウキクサマイクロバイームに対して単独導入または併用する一連の実験的検討を実施し、捕食性細菌の種類および導入方法が、ウキクサマイクロバイームの群集構造ならびにウキクサの成長に及ぼす改変効果を明らかにすることを目的とした。

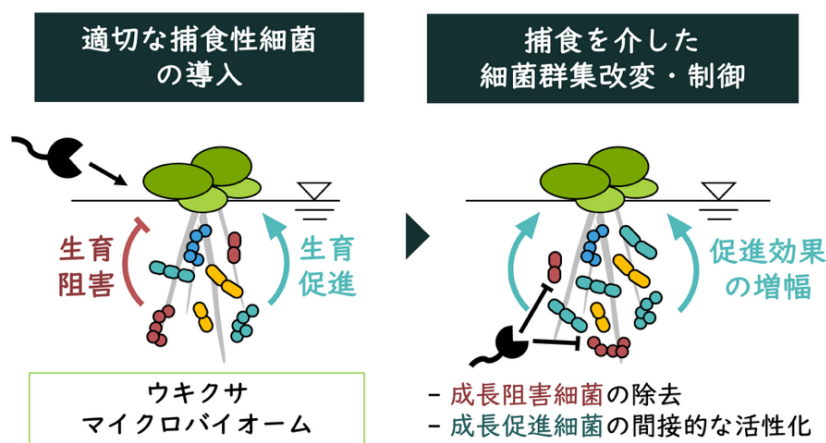


図1 捕食性細菌を用いたウキクサマイクロバイーム改変・制御の概念図

2. 実験方法

供試植物にはコウキクサ (*Lemna minor*) を用い、複数の池水由来の細菌群集をそれぞれ懸濁させた MH 培地で 8 日間共栽培し、ウキクサマイクロバイームを構築した。また、供試菌株として、代表的な捕食性細菌群である BALOs (*Bdellovibrio* and like organisms) に分類される、*Bdellovibrio* sp. BIS2^[1] および *Bacteriovorax* sp. HI3^[2] を用いた。コウキクサを初期葉数が 10 枚となるように新たな培地に植栽し、BIS2 株と HI3 株をそれぞれ単独で導入する系 (BIS2 系、HI3 系) および各菌株を併用する系 (MIX 系) を設定し、捕食性細菌を植種しない対照系も作成した。栽培温度は 28℃ (通常条件) および 32℃ (高温ストレス条件) の 2 条件とし、5 日ごとにコウキクサ 10 枚を新たな培地に継代する計 3 バッチの共栽培試験を行った。各バッチ終了後、コウキクサ葉状体数を計測し、相対成長速度 (RGR; Relative Growth Rate) を算出した。また、定量 PCR により、コウキクサ表層に付着した細菌群および BIS2 株と HI3 株の菌体量を定量した。さらに、16S rRNA 遺伝子を対象としたアンプリコンシーケンスにより、細菌群集構造の解析ならびに細菌間相互作用の推定を目的とした共起ネットワーク解析を実施した。

3. 結果・考察

複数の微生物源に由来するウキクサマイクロバイームに対し、2種類の捕食性細菌（BIS2株、HI3株）を単独または同時に導入したところ、一部の系において細菌群集構造の顕著なシフトが観察された（図2）。特に、対照系およびBIS2系ではBurkholderiaceae科が高い相対存在比（24.7–56.9%）で優占したのに対し、HI3株を含む導入系（HI3系、MIX系）では同科が著しく減少した（<1.4%）。他方、共起ネットワーク解析において、任意の細菌間のつながりの中での重要度を示す指標として、媒介中心性（Betweenness Centrality）を算出した結果、BIS2株は649.7という高い値を示し、HI3株（150.9）を大きく上回った。これらの結果から、HI3株とBIS2株は群集内で互いに異なる生態学的役割を担うことが示唆された。すなわち、HI3株は特定の優占種を主な標的として局所的に作用し、群集構造を直接的に改変する役割を担う一方、BIS2株は広範な細菌への捕食、あるいは捕食を介した間接的な波及効果によってネットワーク構造に影響を及ぼすことで、高い媒介中心性を示したキーストーン種のような役割を持つ可能性が示唆された。さらに、Rhodocyclaceae科やMethylophilaceae科は単独導入系では試験開始から第3バッチまで残存していた一方、MIX系においてのみ検出限界未満となった。加えて、その減少開始時期も単独導入系より早かったことから、2種類の捕食性細菌の併用は単独導入では達成できない相乗的な改変効果をもたらすことが示された。

なお、通常条件では細菌群集構造の改変に伴う一貫したウキクサの成長促進効果は確認されなかったが、対照的に、ストレス条件下ではMIX系においてRGRが32℃対照系および単独導入系よりも高く、バッチ進行に伴い通常条件に近い水準まで回復する傾向が認められた（図3）。以上より、捕食性細菌導入の効果は、特にストレス条件下では、2種類の捕食性細菌の異なる作用を介した群集改変の結果として、成長促進というよりも成長抑制の緩和として宿主に現れる可能性が示唆された。

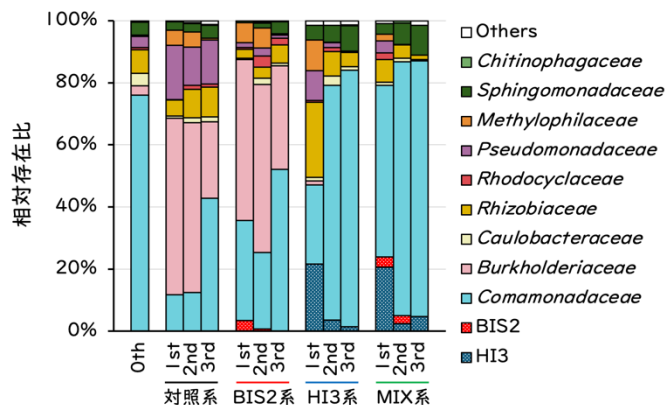


図2 捕食性細菌の導入に伴う細菌群集構造の推移

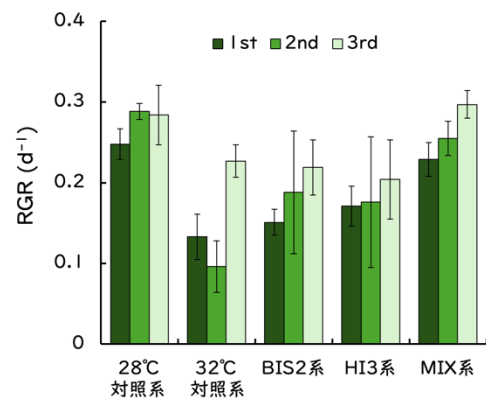


図3 ストレス条件での相対成長速度の比較

4. 結論

捕食特性の異なる2種類の捕食性細菌（BIS2株・HI3株）を用い、ウキクサマイクロバイームへの単独導入および併用が群集構造に及ぼす影響を解析した一連の検討を実施した。その結果、導入する捕食性細菌の種類や組み合わせによって異なる群集改変効果をもたらすことが示され、さらに、この群集改変はウキクサの成長促進にも波及し、ストレス条件下において成長抑制の緩和に寄与し得る可能性が示唆された。今後、適切な捕食性細菌の導入条件を検討することにより、マイクロバイームを意図的に改変させることで、ウキクサ生産性向上技術の確立につながるものと期待される。

参考文献

- [1] T. Sugiyama *et al.*, *Environ. Microbiol.*, Vol.28, No.1, e70243, 2026.
- [2] D. Inoue *et al.*, *Microbes Environ.*, Vol.38, No.3, ME23040, 2023.