

3つの生物による水質浄化システム

新型バイオエンジンの開発



青森県立名久井農業高等学校

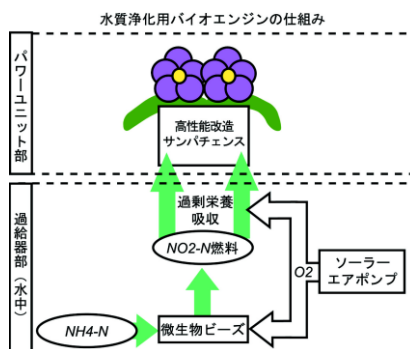
TEAM FLORA PHOTONICS

【はじめに】

世界各地で富栄養化による湖沼の水質汚染が発生している。原因は工場排水や生活排水などの流入により、窒素やリン酸が増えることで、アオコなどの藻類が異常発生するからである。特に閉鎖水域で水の流入出が少ない都市公園の修景池では、水辺が緑に変色し、さらに悪臭を発生することから最も身近な環境汚染ともいわれている。対策のひとつとして大型装置による浄化があげられるが、大量のエネルギーと費用がかかるため課題となっている。

そこで私たち、名久井農業高校の植物研究グループではサンパチェンスという草花と微生物の硝化菌を組み合わせ自然の力で浄化するシステム「バイオエンジン」を2015年に開発した。これによりまったく化石エネルギーを使わずに窒素などの過剰養分を効率よく植物に吸収浄化できるようになったが、課題も残っていた。それがリン酸の浄化である。鉢底に組み込んだ硝化菌はアンモニア態窒素を硝酸態窒素に変え、サンパチェンスに吸収させるがリン酸の吸収には効果がない。したがって窒素ほどリン酸の浄化効果はなく、改善点としてあげられているのである。そこで私たちはこの課題を解決するため、「バイオエンジン」のリン酸吸収力向上の研究を行うことにした。

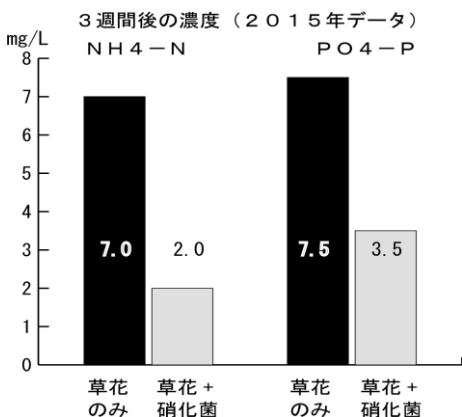
池に設置したバイオエンジン



【方法】

1 従来の浄化の仕組み

水中のアンモニア態窒素は、池などに生息する硝化菌によって硝酸態窒素に変換されないと思うように植物に吸収してもらえない。自然界ではゆっくりと変換されるが閉鎖水域では早く吸収しなければ藻類が発生してしまう。そこで植物の鉢底に人工イクラの技術でビーズ化した硝化菌を入れ、根の下で効率よく硝酸態窒素に変換し吸収させた。また吸収する植物は、気孔が多く高い吸い上げが特徴のサンパチェンス（ツリフネソウ科の1年草）を用いることでスピード浄化と美しい水辺景観を実現できた。しかしサンパチェンスだけの場合とサンパチェンスと硝化菌を組み合わせたバイオエンジンを比較するとアンモニア態窒素では71.4%浄化力が向上したが、リン酸は約50%であった。これは硝化菌ビーズが窒素吸収のために搭載されていて、リン酸対策が特別されていないのが原因である。さらに窒素は大気中に発散されるが、リン酸はそのまま水中に残る。そのためアオコはこのリン酸を主に吸収して繁殖することがわかっている。したがって水質浄化の完成度を上げるには、いかにリン酸を浄化するかが大きなポイントである。



硝化菌ビーズ

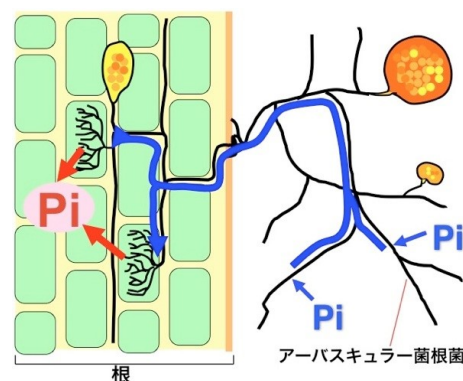


対策としてまず天然石灰でできたリン酸浄化資材の搭載を考えた。しかしホタテ貝を利用しているため周囲の pH が 8 前後となることがわかった。サンパチェンスの最適生育 pH は 6.0、細菌のためアルカリに強い硝化菌でも 6.5~7.3 であり、これでは生育が阻害されてしまう。そこで私たちは同じ生物であるアーバスキュラー菌根菌に注目した。

(1) アーバスキュラー菌根菌

植物は根から養分を吸収するが、その根に共生しているのが糸状菌の中の菌根菌である。多くの植物に取り付いており、根の外部には菌糸がまとわりつくとともに、根の細胞内に入り込み、のう状体や樹枝状体を形成する。菌根菌は植物から糖類の供給を受ける代わりに、土壌中の希薄なリン酸を集め宿主植物に供給することがわかっている。菌根菌の機能としてリン酸の吸収促進、耐病性の向上、水分吸収の促進の3つがあげられる。同じ生物の力を使ってリン酸吸収を促進させるため、バイオエンジンに搭載することにした。

図 (北海道大学大学院農学研究院 HP より)



3 実験の手順

(1) バイオエンジンの作り方

- ①サンパチェンスのポット苗を準備し、水を 1 cm ほど張ったトレイに置く
- ②エアレーションしながら約 10 日から 2 週間放置し、水中根を発生させる
- ③7号の大きく深い鉢に黒土を入れ、中に菌根菌を土 1 リットル当たり 20g 入れる (使用した菌根菌は株式会社 BICOM VA)
- ④その鉢に水中根を発生させたサンパチェンスを植え付け 2~3 週間管理し菌根菌の共生を促す
- ⑤その後、水槽にて浄化実験を行う
- ⑥なお浄化試験を行う際は、鉢底に 45g の硝化菌ビーズをネットに入れてぶらさげる

(2) 水質浄化実験の方法

- ①60cm 水槽に水 57L を入れ、ハイポネックス 6-1 0-5 を 1 L 当たり 1 m 溶かし人工的に富栄養化水を作る
- ②サンパチェンスと硝化菌を搭載した従来のバイオエンジン、さらに菌根菌を入れた新型バイオエンジン、そして基準としてサンパチェンスだけ植えた鉢を用意する。
- ③底が 5 cm ほど浸かるように設置する
- ④その後毎週、蒸散量、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リンの濃度を分光光度計で測定する

(3) 植物体の調査

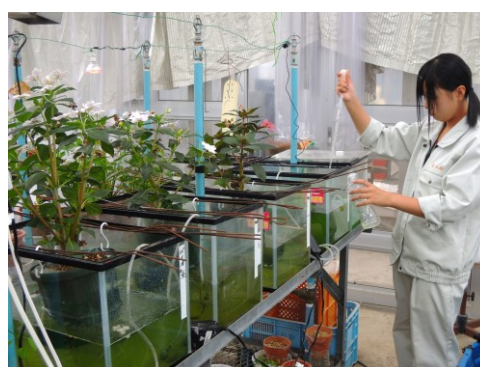
6月28日から9月下旬まで水槽で栽培したサンパチェンスを掘り出し、重量や根の状態を測定する。

(4) 菌根菌の観察

菌根菌が共生しているかどうか顕微鏡で観察する。手順は次の通りである。

- ①太さ 1 mm 未満の細い根を 1 cm に切ったものを数本準備し、マイクロチューブに入れる
- ②マイクロチューブに 10% 水酸化カリウム水溶液を浸る程度に入れ、熱湯で 10 分湯煎する
- ③マイクロチューブに塩酸を加えて中和し、根を水で洗う
- ④またマイクロチューブに根を移し、メチレンブルー染色液 2 滴加えて 1 分放置し、その後水洗する

上：水中根の発生処理 下：BICOM VA



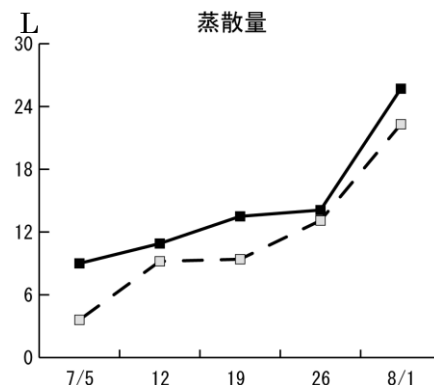
⑤この根を顕微鏡で観察し、サンパチェンスの根に菌根菌が共生しているか確かめる

【結果と考察】

1 蒸散量の比較

サンパチェンスと硝化菌を搭載した従来のバイオエンジン（点線）、さらに菌根菌を入れた新型バイオエンジン（実線）の蒸散量を比較した。その結果、新型の蒸散量が多いことがわかった。蒸散は植物の葉の気孔で行われる。生育の良い新型のバイオエンジンは葉も多く、それだけ蒸散量も増えたと思われる。

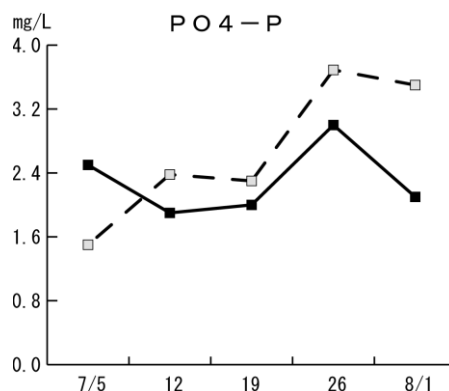
なおこのデータは水だけ入れた水槽の自然蒸発量を測定しそれを考慮した実質の蒸散量である。サンパチェンスの高い蒸散力がわかる。



2 リン酸の浄化推移

毎週、ピペットで採水して分光高度計で測定した。その結果、私たちの予想通り、新型バイオエンジン（実線）の方がリン酸の量が減った。5週間後の量は従来のバイオエンジン（点線）の約46%であり、浄化能力が向上していることがわかる。

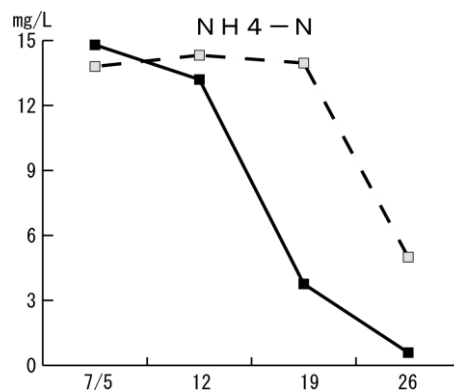
おそらく菌根菌の菌糸が鉢内に染み込んできた富栄養化の水からリン酸を吸収浄化したと思われる。また菌根菌が共生したサンパチェンスの水中根も吸収力を高めた可能性がある。



3 アンモニア態窒素の浄化推移

新型バイオエンジンの目的はリン酸浄化力の向上であるが、水質汚染を引き起こすアンモニア態窒素の量も測定してみた。すると新型バイオエンジン（実線）の方がより浄化していることがわかった。

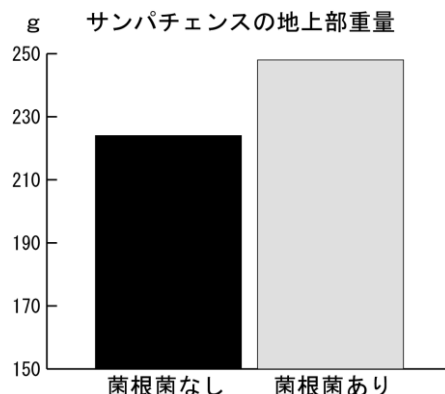
リン酸は植物のATP合成を促進するので当初から生長が良くなると考えていた。事実、新型バイオエンジンの生長は旺盛であった。その影響で蒸散力がさらに高まり、さらに鉢内で見えない根も生長し、このようにアンモニア態窒素の浄化力も向上したと考えられる。これは予想以上の効果であった。



4 硝酸態窒素の浄化推移

アンモニア態窒素は硝化菌によって硝酸態窒素に変換され根から吸収される。測定結果を見ると、従来のバイオエンジン（点線）の硝酸態窒素量が次第に増えていくことがわかる。これにより硝化菌により硝酸態窒素が旺盛に作り出されていることがわかる。しかし増加しているということはサンパチェンス1株では十分に吸収仕切れていないことにもなる。

ところが新型バイオエンジン（実線）では一度上昇するがすぐに低下する。新型にも硝化菌が搭載されていることから考え

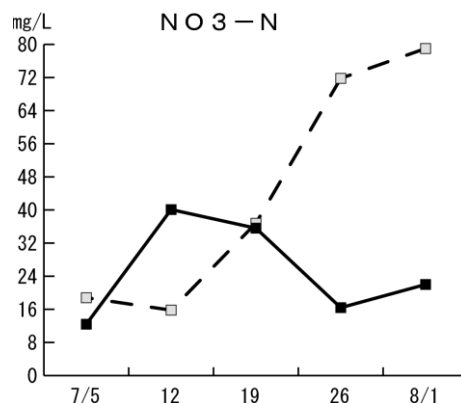


ると、旺盛に生育した新型バイオエンジンのサンパチェンスが変換される硝酸態窒素をどんどん浄化吸収しているからだと思われ。

5 サンパチェンスの地上部重量

生育調査からでもわかっていたが、菌根菌を搭載した新型バイオエンジンの地上部重量が10%以上重くなった。理由として菌根根によりリン酸の吸収が増え、サンパチェンスの生長が促されたことが考えられる。また生長が旺盛となったサンパチェンスの蒸散力が高まり、窒素の吸収力も増えたため植物体が大きくなったとも思われる。

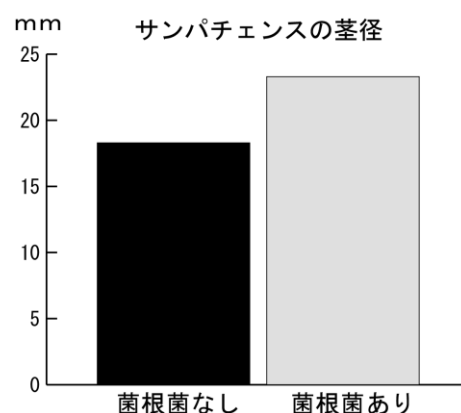
このような相互作用によって全体としてバイオエンジンの浄化力向上につながったものと考えられる。



6 サンパチェンスの茎の太さ

植物は過剰養分を水と一緒に吸い上げる。水は気孔から蒸散し、吸収した窒素やリン酸は植物の栄養源として利用される。その水や栄養分の輸送が行われるのが茎にある維管束である。

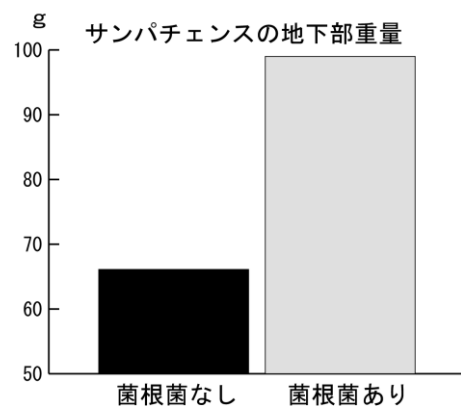
菌根菌を搭載した新型バイオエンジンのサンパチェンスが旺盛に生育した理由は地上部重量の考察でも記載したが、栄養分により茎が太くなり、輸送も盛んに行われたものと考えられる。



7 サンパチェンスの地下部重量

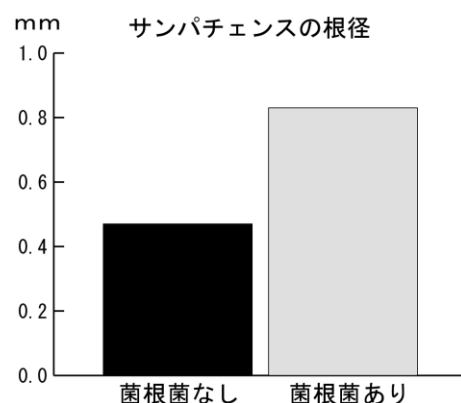
地下部は鉢の中なので生育中は観察できない。そこで3ヶ月稼働させた菌根菌なしの従来型と菌根菌ありの新型バイオエンジンのサンパチェンスを鉢から取り出し、地下部の重量を測定してみた。

すると30%以上も重いことがわかった。これは根が旺盛に生長しているのが理由で、吸収された栄養分がサンパチェンスの生長に役立っていることがわかった。

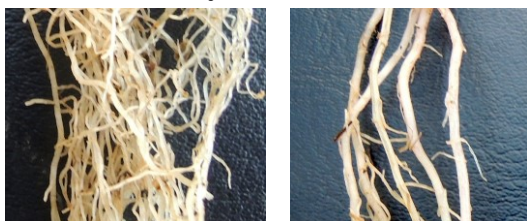


8 サンパチェンスの根の長さとお太さ

菌根菌を搭載した新型バイオエンジンは従来よりも根が長いことがわかった。また根そのものの太さも太かった。一般に菌根菌が植物体と共生すると、その植物の根が太くなるのがさまざまな植物の観察から報告されている。さらに土壌の栄養を供給するため植物全体の生育も良くなるといわれている。分析の結果、地上部だけでなく見えない地下部の生長も促されていたことがわかった。



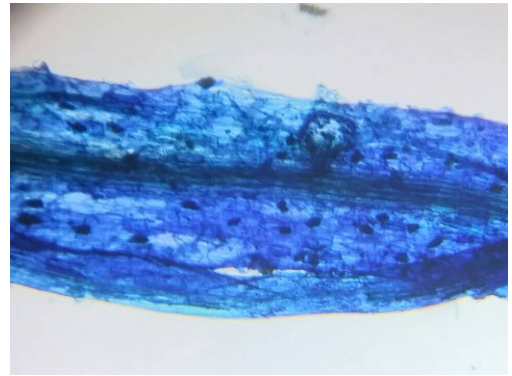
左：菌根菌なし
右：菌根菌あり



9 菌根菌の観察

アーバスキュラー菌根菌は約 80%の植物と共生できるといわれている。これは 20%は共生しないということでありもし共生していないと今回の考察が成り立たなくなる。そこで時間をかけて菌根菌が果たして共生しているかどうかを顕微鏡で観察してみた。その結果、根の多くの場所で菌根菌特有ののう状体が観察された。樹枝状体もあり、菌根菌が間違いなく根に入り込んでいることが確認された。サンパチェンスに菌根菌が共生している証拠は今まで例がなく、これによりサンパチェンスも菌根菌と共生でき、その恩恵を利用できることが明らかにすることができた。

根の黒点が菌根菌の「のう状体」



【結論】

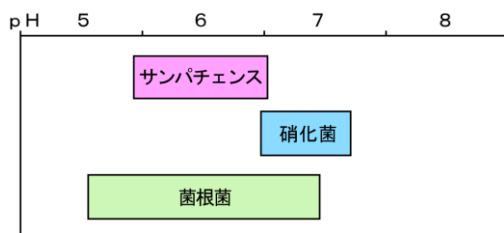
以上の実験から従来のサンパチェンスと硝化菌の組み合わせのバイオエンジンに比べ、菌根菌を加えた新型バイオエンジンの方が、リン酸はもちろん、窒素に対する浄化力が高まることがわかった。まとめたものが下表である。

5週間後のアンモニア態窒素及びリン酸の濃度 (mg/l)

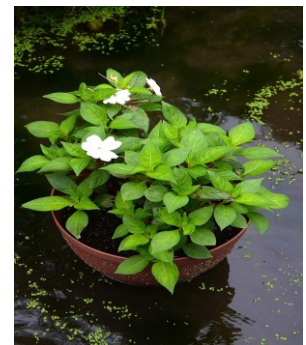
試験区	無処理	現行 (草花+硝化菌)	新型 (草花+硝化菌+菌根菌)
NH ₄ -N	35.5	4.98	0.59
PO ₄ -P	37.0	3.7	2.1

これは菌根菌をサンパチェンスに共生させたことで地上部、地下部とも生育が旺盛になり、その結果、窒素分の吸収も促進されたからだと考えている。その証拠として、菌根菌がサンパチェンスの根に共生していること、また根太くなり生育も旺盛になったことがあげられる。さらに浄化の鍵を握る菌根菌、サンパチェンス、硝化菌の3つの最適 pH が5～7程度と石灰資材を使うより扱いやすく順調に生育したことも大きなポイントであった。

3つの生物の最適 pH



新型バイオエンジンの浄化の仕組み



五戸町図書館に設置 (2017. 6)



これにより化石燃料を使わずに水質汚染を防止できることがわかった。昨年の夏～秋にかけてこの新型バイオエンジンを地元中学校の池に設置してモニタリングしてもらった。その結果、例年発生するアオコが今年度は発生せず、効果があったことがわかった。このようなシステムは今までに例がなく、2017年はたくさんの市町村の都市公園で浄化と水上ガーデニングで社会貢献している。また4月にパシフィコ横浜で開催された日本フラワーガーデンショーに高校生として初の出展を果たし PR と普及を図った。今後はアジアの環境問題解決に貢献したい。

【参考文献】

- 1 菌根菌の観察 岩手県総合学校教育センターH.P.(<http://www1.iwate-ed.jp>)
- 2 水調べの基礎知識 (オーム社)