

染料の脱色を促進する共代謝基質添加効果の検証及び微生物叢解析

香川高等専門学校 学生会員 ○泉 陽彩
宮下 捺美
香川高等専門学校 正会員 多川 正

1. はじめに

近年、開発途上国では水質汚濁問題が深刻化しており、タイの染色工場では既設の活性汚泥処理による処理が不十分なため、河川の着色等の水質汚濁問題が発生している。本研究では、タイの染色工場の既存の処理プロセスを有効に活用しながら、低コストかつ運用が容易で、廃棄物の発生が少ない微生物による処理技術の開発を目的とし、染料を供給した様々な条件での培養汚泥に対して、脱色を促進するために共代謝基質を添加した際の脱色特性を調査し、処理性能向上に寄与する基質の検討を行った。また、次世代シーケンサーによる微生物叢解析により、染料脱色に寄与する構成微生物叢について調査した。

2. 染料に対する馴致培養

現地調達可能な好気性微生物として腐葉土、嫌気性微生物として牛糞、都市下水消化汚泥から微生物を抽出・植種し、回分式にて培養した。有機物基質にはでんぷん、栄養塩は塩化アンモニウムとリン酸水素二カリウム、染料にはタイの染色工場で実際に使用されている6色の粉末(YELLOW, ORANGE, RED, SKY BLUE, NAVY BLUE, BLACK)を溶解した各色染料(0.2 g/L)を混合した6色染料を使用した。培養方法や条件の変更に伴い、培養段階は4つの馴致培養系(第1段階:0~29日目, 第2段階:30~106日目, 第3段階:107~309日目, 第4段階:310日目以降)に区分される。第4段階は、Case1-1(24時間曝気かつ有機物基質供給系)、Case1-2(24時間曝気かつ有機物基質を供給しない系)、Case2-1(無曝気かつ有機物基質供給系)、Case2-2(無曝気かつ有機物基質を供給しない系)の全4条件(栄養塩は全条件に添加)で染料に対する馴致培養を行っている。第4段階では、無曝気かつ有機物基質供給系(Case2-1)にて脱色が確認されたが、脱色速度は遅く、脱色率は約30%と低いことから、更に脱色能力を向上させる条件を把握する必要があることが示唆された¹⁾。

キーワード: 染色排水, 嫌気性微生物処理, 共代謝

3. 共代謝基質添加による染料の脱色特性の調査

(1) 実験方法

微生物による染料分解は、微生物が染料を炭素源およびエネルギー源として増殖に利用する(資化)、あるいは染料を増殖に利用しないが、微生物が持つ酵素の働きによって染料が分解される共代謝と呼ばれる反応が生じていると考えられる。そこで、いくつかの共代謝を引き起こしやすい基質(共代謝基質)を添加した際の染料の脱色試験を行うことで、共代謝基質添加による脱色特性を調査した。

脱色試験は、生物化学的酸素要求量(BOD)の測定方法を参考にし、栄養塩類を含む希釈液に、植種微生物として各ケースの培養汚泥、6色染料を添加しメスアップした後、嫌気性試験条件としてバイアル瓶(120 mL容)に分注した。バイアル瓶内の総液量は60 mLとし、窒素ガスで2分間パージした後、酸素を通過しないブチルゴム栓で密閉し、15分後さらに1分間窒素ガスを注入した。共代謝基質として微量元素Fe, Ni, Coの3種混合、PVA、スクロース、タイ紅茶抽出液、タピオカスターチ、でんぷんを蒸留水で溶解した水溶液(図-1: 共代謝基質の着色の様子, 写真左から記載の順)を選定し、培養瓶内の濃度を微量元素Fe, Ni, Coの3種混合は2.0, 0.5, 0.5 mg/Lに設定し、その他はCOD_{Cr}濃度としてPVA, スクロース, タピオカ, でんぷんは30 mg/L, タイ紅茶は図-1に示したように着色が観察されたため、14.2 mg/Lになるように添加した。実験開始から15分後と2週間経過後の着色度, COD_{Cr}を測定し、なお比較系として15分後, 2週間後の測定には基質を添加していないものも分析した。



図-1 共代謝基質の着色の様子

連絡先: 〒761-8058 香川県高松市勅使町 355 香川高等専門学校 環境工学研究室 TEL 087-869-3928

(2) 実験結果および考察

図-2, 3 に脱色試験 14 日後の瓶内液体写真とグラフを示す (図-2 は左からグラフに示す基質名と同順). 2 週間後の着色度は全体的に 15 分後の数値を下回り, でんぷんが最も低く, 脱色率は 56.7 % と非常に高い値が得られた. 次にスクロース, タイ紅茶, タピオカであり, 脱色率はそれぞれ 40 % 以上と高い値を示した.



図-2 共代謝基質を添加した脱色試験 14 日後

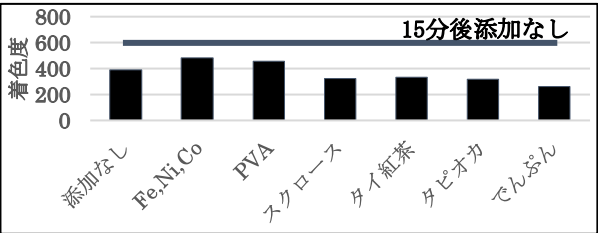


図-3 共代謝基質を添加した脱色試験の結果

4. 共代謝基質の添加濃度の違いによる脱色特性

前章にて脱色促進効果が期待できた 4 種類の共代謝基質について, 設定 CODcr 濃度を表-2 に示すように変化させ, 同様の方法で脱色試験を行い, 共代謝基質の添加濃度の違いによる脱色特性を調査した.

表-2 共代謝基質の添加濃度を変更した脱色試験結果

共代謝基質設定 CODcr 濃度 (mg/L)		着色度	CODcr (mg/L)
-15 分後-添加なし		581	39
-14 日後-添加なし		524	47
スクロース	30	485	98
	150	504	180
	300	513	307
でんぷん	30	392	73
	150	829	133
	300	1289	205
タピオカ	30	423	98
	150	453	138
	300	533	197
タイ紅茶	3.6	485	38
	7.1	486	47
	21.3	493	56

スクロース, タピオカを設定 CODcr 濃度 30 mg/L で添加した条件で着色度 100 程度の低下が確認できたが, 試験終了後の CODcr 数値は 98 mg/L と高濃度の残存が

確認された. 一方, タイ紅茶を設定 CODcr 濃度 3.6 mg/L で添加した条件では, 着色度が 100 程度低減, かつ残存 CODcr 濃度も 38 mg/L となり, タイの CODcr 排水基準 60 mg/L 以下をクリアした. また, 残存 CODcr 濃度は 98mg/L と高濃度ではあるが, でんぷんを設定 CODcr 濃度 30mg/L で添加した条件で最も着色度の低下が確認された. 全条件で共代謝基質の設定 CODcr 濃度を高くするにつれて着色度も上昇しており, 最適添加濃度の探索が課題となった.

5. 遺伝子解析

第 4 段階において脱色が確認された無曝気かつ有機物基質供給系(Case2-1), 脱色が確認されなかった無曝気かつ有機物基質無供給系(Case2-2)において次世代シーケンサーを用いて染料脱色に寄与する構成微生物叢について調査した. 図-4 に Cace2-1, Case2-2 において培養開始時点と培養開始からそれぞれ 24 日, 69 日, 434 日時点の門レベルにおける微生物 (存在割合 1%以上) を示す. 長期間の馴致培養により両 Case で *Bacteroidetes* 門, TM7 候補門が減少, Case 2-1 においては *Chloroflexi* 門の増加, Case 2-2 においては偏性嫌気性の *Firmicutes* 門, *Nitrospirae* 門の増加が目立った. 脱色が確認できた培養系の属レベルでの染料脱色に寄与する構成微生物叢の特定は不十分であるため, さらなる文献調査及び実験の継続の必要性が示唆された.

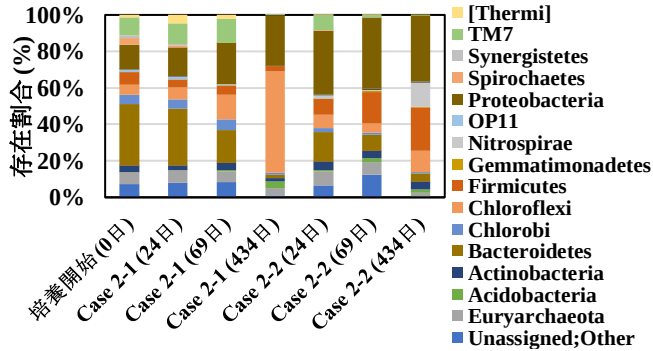


図-4 微生物叢の構成 (門レベル)

6. まとめ

スクロース, でんぷん, タピオカ, タイ紅茶は染料の脱色促進に寄与する共代謝基質として有効に作用する可能性が示唆された.

参考文献

1) 泉ら: 染色工場で使用される染料の生物学的脱色排水処理システムの開発, 土木学会四国支部第 28 回技術研究発表会, 2022.

謝辞 本研究は JSPS 科学研究費 19K12392 の助成を受けた