

タイ王国の染色工場にて使用される染料の生物学的脱色特性の把握

香川高等専門学校 賛助会員 ○宮下捺美, 井口愛恵,
香川高等専門学校 正会員 多川正

1. はじめに

近年, 開発途上国では生活・産業等の排水が未処理の状態や処理が不十分な状態で海や河川に放流され, 水質汚濁問題が深刻化している. タイの一般的な染色工場では, 染色排水を凝集沈殿+好気性生物処理により処理を行い, 河川等に放流しているが, その処理水は脱色されておらず, タイにおける着色度の基準値の約 10 倍も高い着色度のまま放流されているのが現状である¹⁾.

本研究では, タイで稼働する染色工場の排水処理設備の脱色能力の向上と, 低コストでかつ運用が容易な処理方法の開発を目的とし, 省エネルギーかつ環境負荷が低いとされる生物処理に着目し, 実際に工場にて使用される染料を用いて染料の脱色特性や阻害性などを回分培養系の微生物を用いて把握した.

2. 実験方法

2. 1 微生物の馴致培養

本研究では, タイの染色工場で実際に使用している 6 色の染料 (YELLOW, ORANGE, RED, SKY BLUE, NAVY BLUE, BLACK) を入手し, 各色の溶解液 (0.2 g/L) を作成後, 溶解液を 6 色混合や 3 色混合など様々な組み合わせた模擬染色排水を作成し, 抽出微生物に供給し, 馴致培養を行った. 微生物の抽出液は市販の腐葉土 (5 L) を水道水に懸濁し, 大型のゴミや砂を取り除いた懸濁液を用いた. 馴致培養は, 微生物抽出液を容量 7 L のガラス水槽 3 つに 3 L ずつ分注し, 蒸留水を添加して 5 L に調整した. 3 つのリアクターには共通して有機物基質としてでんぷんを供給した. 培養条件は, BL リアクターは一切染料を与えない培養系, 6C リアクターは全 6 色の溶解した染料 (以下, 6C 排水と称す) を添加した培養系および 3C リアクターは全 6 色のうち寒色系 3 色のみ (SKY BLUE, NAVY BLUE, BLACK) を溶解した染料 (以下, 3C 排水と称す) を添加した培養系で馴致培養を行った. 好気性微生物の培養に必要なエアレーション, 攪拌設備を設置し, でんぷん基質と栄養塩 (NH_4Cl , K_2HPO_4) 及び溶解した染料を定期的に供給し, 水温, pH, DO,

CODcr (HACH, DR2800), 着色度 (日本電色工業, NDR2000), 微生物濃度 (MLSS, MLVSS) の測定を定期的に行った.

また, 培養期間後半には, 6C リアクターおよび 3C リアクターには牛糞および都市下水消化汚泥を追加し, 培養条件を以下の 3 つに変更した. すなわち, ①BL リアクター: でんぷん基質, 栄養塩のみを与え 24 時間曝気, ②Case 1: でんぷん基質, 栄養塩, 6C 排水を与え, 24 時間曝気, ③Case 3: でんぷん基質, 栄養塩, 6C 排水を与え, 6 時間曝気・6 時間曝気停止サイクル (間欠曝気培養条件) の 3 条件である.

2. 2 酸素消費速度実験

酸素消費速度の測定に用いた微生物は, BL, 6C および 3C の 3 種類のリアクター培養汚泥とし, 測定条件は各培養汚泥に対して, ①でんぷん基質投入前, ②でんぷん基質投入直後, ③でんぷん基質投入後さらに染料を投入後の 3 条件測定した. 酸素消費速度は基質, 微生物混合液を 100 mL 容の DO 瓶にサンプリングし, マグネティックスターラーにて緩やかに攪拌しながら DO 計 (HACH, HQ30d) にて 10 秒ごとの DO 濃度を計測した. 酸素消費速度の増減を前述の①～③の条件で測定し, 染料の影響を酸素消費速度の傾きより評価した.

2. 3 染料の脱色試験

染料の脱色試験の排水サンプルとして, 6C 排水, 6C 排水を嫌気性 DHS にて処理した排水 2 種類 (以下, 生物処理水 1, 2 と称す) の 3 種類を用いた. 植種微生物には, 牛糞および都市下水消化汚泥を添加後, 約 1 か月培養した BL, 染料を供給した Case 1, Case 2 の 3 種類の培養系の微生物を用いた. BOD の希釈水中に染料排水 1 種類と植種微生物 1 種類を同一濃度で添加して 1L にメスアップし, DO 瓶 (100 mL 容) を 5 本, バイアル瓶 (120mL 容) に注ぎ, 5 本分作成した. バイアル瓶培養の総液量は 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た. なお, DO 瓶試験は好気性条件, バイアル瓶試験では嫌気性条件での脱色試験を想定している.

3. 実験結果および考察

3. 1 酸素消費速度実験

図 3.1 に 6C 培養系の実験結果を、図 3.2 に 3C 培養系の実験結果を示す。6C 培養系における酸素消費速度は、①基質投入前 $0.0002 \text{ mg/L} \cdot \text{S}$ (以下、同単位のため省略)、②でんぷん基質投入後 0.0005 、③染料投入後 0.005 であった。同様に 3C 培養系は、① 0.0002 、② 0.0006 、③ 0.006 であった。いずれの培養系においても酸素消費速度は基質投入前と比べると、基質投入後と染料投入後の DO 消費速度はいずれもわずかに大きくなったが、6C 排水及び 3C 排水の添加の有無(前後)に関係なく同じ速度であった。これにより、6C 排水、3C 排水はいずれも好気性微生物に対してでんぷん基質の分解に阻害を与えるという影響は少なく、しかしながら、脱色はみられなかったことから、染料は難分解で、そのままの形状(組成)で残留していることが示唆された。

3. 2 染料の脱色試験

試験開始から 1 日後、9 日後、29 日後において、それぞれの培養系のサンプルについて、pH、DO、COD_{Cr}、及び着色度の分析を行った。好気性試験条件(DO 瓶)における着色度の経日変化を図 3.3 に、嫌気性試験条件(バイアル瓶)における着色度の経日変化を図 3.4 に示す。約 1 か月の培養期間の微生物では、好気性試験条件、嫌気性試験条件ともに、どの培養汚泥でも染料廃水の着色度の顕著な低下はみられなかった。嫌気性処理を施した生物処理水 1,2 についても、好気性条件で培養した Case 1 の汚泥でも着色度の低下は観察されなかった。これより、染料は非常に難分解で安定しており、牛糞や都市下水消化汚泥を混合させ、微生物叢の多様性を向上させても、現状の培養方法(好気性培養、間欠曝気培養)及び培養期間では、染料分解可能な微生物叢の構築は困難であった。

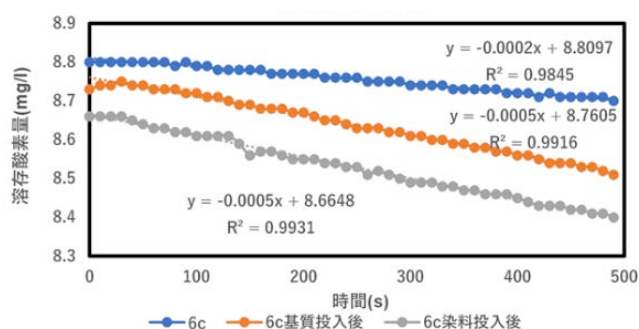


図 3.1 6C 培養微生物の酸素消費速度

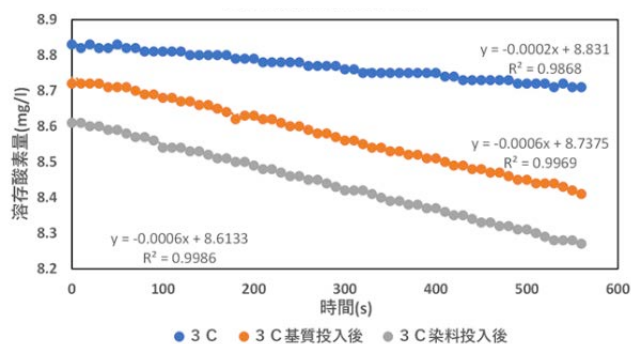


図 3.2 3C 培養微生物の酸素消費速度

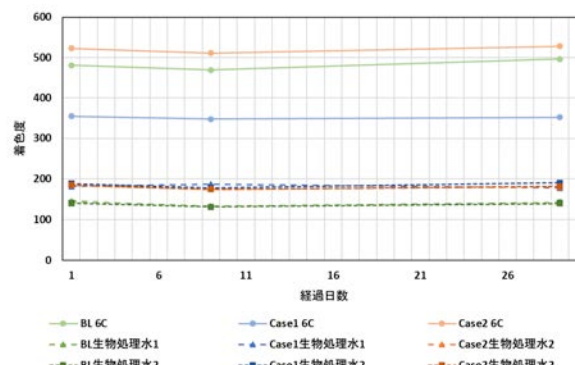


図 3.3 好気性試験条件における着色度の経日変化

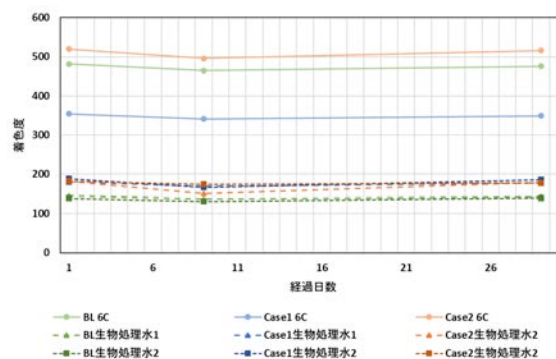


図 3.4 嫌気性試験条件における着色度の経日変化

4. まとめ

本研究で検討した培養方法及び培養期間における、腐葉土、牛糞、都市下水消化汚泥から抽出した微生物を用いた培養では、脱色効果は確認されなかった。現在も培養は継続しており、完全な嫌気性培養に切り替えることで、一部脱色が確認できた。今後は各培養期間で採取保存している汚泥の次世代シーケンサによる菌叢解析を行い、脱色が発現した培養系の菌叢と脱色試験をリンクさせて、より詳細に脱色特性を把握する。

参考文献

1)多川, 岡元ら: 染色工場における排水処理施設の脱色特性の把握および処理改善方案の基礎的検討, 第 54 回日本水環境学会年会, 2020.

謝辞 本研究は JSPS 科学研究費 19K12392 の助成を受けた。