

染料の脱色に寄与する排水処理汚泥性状と構成微生物叢の解析

香川高等専門学校 賛助会員 ○宮下捺美, 泉陽彩
香川高等専門学校 正会員 多川正

1. はじめに

タイでは、近年 T シャツなどの繊維加工・染色が盛んとなっており、染色工場から排出される排水の処理不十分による河川等の着色が問題となっている。既報¹⁾の現地実態調査の結果では、工場にて稼働する排水処理設備の脱色性能は不十分で、排水基準を大きく上回る処理水の着色が確認された。本研究では排水処理設備の脱色能力の向上と低コストで運用が容易な処理方法の開発を目的とし、実際に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を行っている。本稿では前報¹⁾より報告された回分培養系の微生物において、汚泥性状と構成微生物叢の特徴を追跡調査した。

2. 実験方法

本研究では腐葉土から抽出および培養した微生物を用いて染料に対する馴致培養を行っている。培養に用いた染料の種類や培養条件によって第1段階から第4段階まで大きく4つに馴致培養系を区分しており、脱色が確認された馴致培養系は第3段階および第4段階馴致培養系であった。各培養系における培養条件や基質等について表-1に示した。なお、6色染料は工場で実際に使用される6色の染料（YELLOW, ORANGE, RED, SKY BLUE, NAVY BLUE, BLACK）の混合液である。6色染料の脱色試験により、第3段階馴致培養系（培養112日時点）ではCase 2において脱色率30%以上、第4段階馴致培養系（培養69日時点）ではCase 2-1において脱色率25%程度が確認された（表-2）。第3段階におけるCase 2培養微生物（培養161日時点）を用いた単色染料の脱色試験では、YELLOW, NAVY BLUE, BLACKの3色において50%を超える高い脱色率が確認され、染料ごとに分解性に大きな差が存在することが明らかとなった（表-3）。

汚泥性状の把握として、下水道試験方法の活性汚泥浮遊物質（MLSS）の測定方法に準拠し、培養汚泥のMLSS濃度を測定した。遺伝子解析は各培養系の微生物よりDNAを抽出（凍結融解、ビーズによる物

理的粉碎）し、標的の16S rDNAの約1,500塩基対のうち、全細菌に特異的なPCRプライマーセット（341F-806R）にて約460 bpのPCR増幅（30 cycles）を行い、MiSeqシステムにてシーケンシング解析を行い、構成微生物叢の解析を行った。

表-1 第3段階および第4段階馴致培養系

培養系	曝気	有機物基質	栄養塩	染料	
第3段階	BL	24時間	でんぷん	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	なし
	Case 1	24時間	でんぷん	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	6色染料
	Case 2	なし	でんぷん	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	6色染料
第4段階	BL	24時間	でんぷん	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	なし
	Case 1-1	24時間	でんぷん	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	6色染料
	Case 1-2	24時間	なし	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	6色染料
	Case 2-1	なし	でんぷん	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	6色染料
	Case 2-2	なし	なし	NH ₄ Cl, K ₂ HPO ₄	6色染料

表-2 6色染料の脱色試験結果

培養系	試験条件	経過日数					
		0日	約1週間	約2週間	約3週間	約4週間	
第3段階	BL	好気性	512	512	502	493	499
	Case 1	好気性	543	547	543	521	532
	Case 2	嫌気性	535	447	396	359	
第4段階	Case 1-1	好気性	596	585	580		581
	Case 1-2	好気性	610	603	600		608
	Case 2-1	嫌気性	583	566	570		441
	Case 2-2	嫌気性	610	602	582		599

表-3 単色染料の脱色試験結果（Case 2培養微生物）

染料	試験条件	経過日数			
		0日	約1週間	約2週間	約3週間
YELLOW	嫌気性	595	496	565	190
RED	嫌気性	586	538	560	544
ORANGE	嫌気性	559	535	518	490
SKY BLUE	嫌気性	641	615	604	574
NAVY BLUE	嫌気性	603	553	387	281
BLACK	嫌気性	583	332	299	264

3. 実験結果および考察

3.1 活性汚泥浮遊物質（MLSS）濃度の変遷

第3段階馴致培養系における培養98日、154日、203日時点、第4段階馴致培養系における培養14日、44日、63日、133日、168日、196日時点における測定結果をそれぞれ図-1、図-2に示す。図-1より、Case 1, Case 2ともに154日時点においてMLSS濃度に減少が見られたが、その後Case 1は3,720 mg/L, Case 2は3,060 mg/Lまで増加している。全体を通してMLSS濃度は2,000 mg/L以上と高い値となっている。図-2より、有機物基質を与えるCase 1-1, Case 2-1は日数の経過とともにMLSS濃度は増加し、196日時

点では 3,000 mg/L 前後となっている。対して有機物基質を与えない Case 1-2, Case 2-2 は培養の経過とともに MLSS 濃度は減少し, 133 日時点において 400 mg/L 以下となった。しかし, その後は 500 mg/L 前後を維持していることから, 低濃度だが染料のみでも培養可能であると考えられる。しかしながら Case 2-2 においては脱色効果が確認できなかったことから, 有機物の共存条件下での微生物の共代謝の働きにより染料の分解が進行していると推察された。

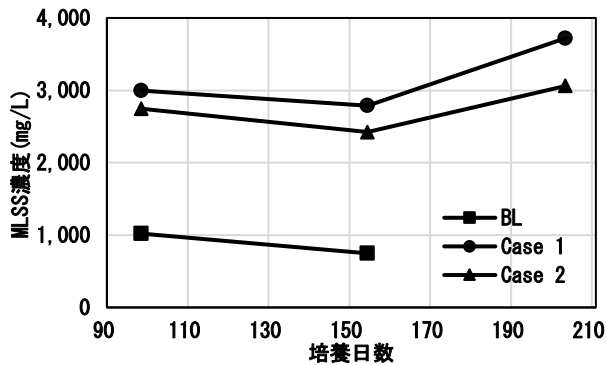


図-1 MLSS 濃度の経日変化 (第 3 段階馴致培養系)

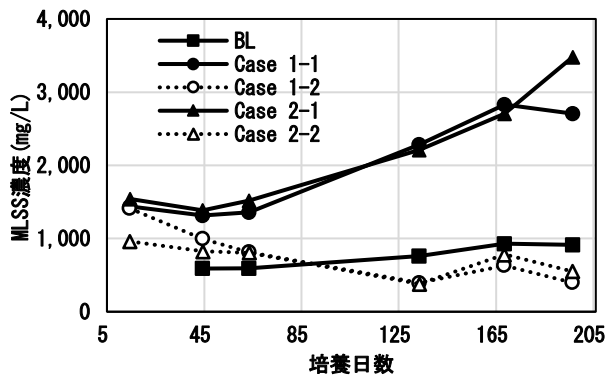


図-2 MLSS 濃度の経日変化 (第 4 段階馴致培養系)

3. 2 遺伝子解析

第 3 段階馴致培養 161 日時点, 203 日時点, 第 4 段階馴致培養 24 日時点, 69 日時点にサンプリングした各培養系の次世代シーケンサーによる遺伝子解析結果をそれぞれ図-3, 図-4, 図-5 に示す。図-3 より, Case 2 において特徴的な微生物種はユリアーキョータ門 (*Euryarchaeota*) と TM7 候補門であり, Case 1 と比較してクロフレキス門 (*Chloroflexi*) の構成比が非常に小さいことがわかる。約 1 か月間の培養により, 図-4 に示すように Case 2 においてバクテロイデス門 (*Bacteroidetes*) の増加が目立った。図-5 より, Case 2-1, Case 2-2 においてユリアーキョータ門 (*Euryarchaeota*) の存在が確認でき, 有機物基質の有無にかかわらず構成比は同程度となっている。約 1 か月間の培養において, Case 1-2, Case 2-2 共通して増加傾向にある

のはプロテバクテリア門 (*Proteobacteria*), ファーミキューテス門 (*Firmicutes*), 減少傾向にあるのはバクテロイデス門 (*Bacteroidetes*), クロフレキス門 (*Chloroflexi*) であった。また Case 1-2 ではニトロスピラ門 (*Nitrospirae*) 増加, Case 2-2 では TM7 候補門の減少が目立った。Case 1-2, Case 2-2 において, 減少傾向にある微生物種は増殖に有機物基質が必要であり, 増加傾向あるいは構成比に変化がない微生物種は染料のみで生育可能であると考えられ, 脱色に大きく寄与していると推察される。

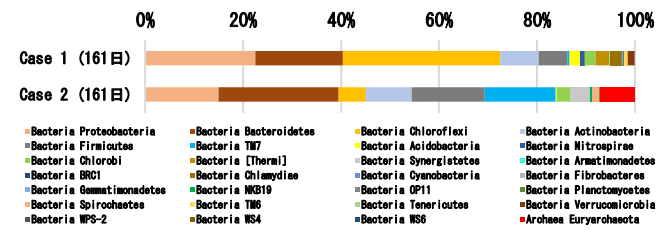


図-3 遺伝子解析結果 (第 3 段階馴致培養 161 日)

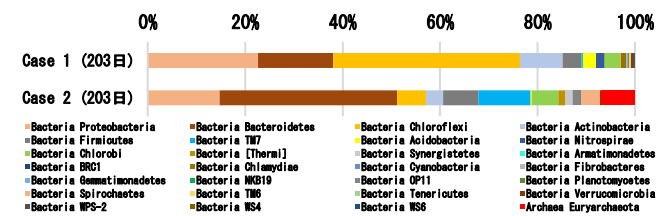


図-4 遺伝子解析結果 (第 3 段階馴致培養 203 日)

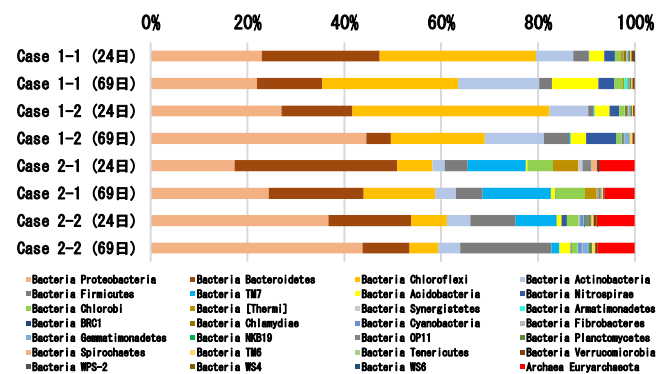


図-5 遺伝子解析結果 (第 4 段階馴致培養 24 日, 69 日)

4. まとめ

更なる脱色能力の向上のためには, さらに種レベルでの微生物叢の変遷の分析を行い, 脱色に寄与すると推察される微生物種の増殖環境 (温度, pH など) を把握する必要がある。また, 共代謝基質等の有効性を検証し, 脱色が進行する条件の特定を行う。

参考文献

1) 多川ら: 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。