

新規な微生物固定化担体を用いた染色廃水の脱色促進

長岡技術科学大学大学院 ○ (非) Vo Tien Thong (非) Nguyen Thu Huong (正) 渡利高大,
(正) 幡本将史 (正) 山口隆司

1. はじめに

染色産業は、東南アジアなどの開発途上国で主要な産業であるが、大量の着色された廃水が排出される。この廃水には、生物が分解できない有機物が多く含まれており、難分解性である。これまでの研究から、染色廃水の処理には、嫌気性処理が有効であるが、色成分の分解には易分解性の有機物が必要である。近年、ポリビニルアルコール (PVA) などを用いた微生物固定化技術は、生物に有毒な物質を多く含む染色廃水中でも微生物の活性を促進し、処理効率を向上させることが報告されている¹。さらに、酸化鉄(Fe₃O₄)などの導電性材料は種間電子伝達を速める効果があり、嫌気性処理を促進することが報告されている²。それらを踏まえ、易分解性のデンプン (starch) と酸化鉄を PVA ゲルに混合させた PVA/Fe/starch ゲルビーズを作製し、嫌気性処理槽に投入することによって染色廃水の脱色を促進することを構想した。

本研究では、混合させるデンプンの違いによる PVA/Fe/starch ゲルビーズの物理的安定性と染色廃水の処理性能をバッチ実験によって評価した。

2. 実験方法

2.1. PVA/Fe/starch ゲルビーズの作製

PVA/Fe/starch ゲルビーズは以下の手順で作製した。

- 1) 70-80°Cに加熱した蒸留水に 10% (w/v) PVA, 0.5% (w/v) アルギン酸ナトリウム, 1% (w/v) のデンプンまたは水溶性デンプン, 5%(w/v) 四酸化三鉄を溶解させた後、冷却して 50°Cに保つことで matrix solution を調製した。
- 2) Cross-linkage solution は 8% (w/v) ホウ酸と 0.5%(w/v) 塩化カルシウムを 30-40°Cの蒸留水に溶解させて作製した。
- 3) Cross-linkage solution にシリンジを用いて、matrix solution を 1 滴ずつ添加し、マグネチックスターラーを用いて攪拌した。その後、形成されたゲル

ビーズを一晩放置した。

- 4) 最後に、ゲルビーズを 1M 硫酸ナトリウム溶液に移して安定化させ、使用するまで保存した。

2.2. PVA/Fe/starch ゲルビーズ性能評価

作製した PVA/Fe/starch ゲルビーズの性能評価を行うため、500 ml のバイアル瓶を用いてバッチ試験を行った。模擬染色廃水は、水道水にアゾ染料 Reactive Black 5 を加えて作製した。各実験は 30°Cで行った。

2.2.1. PVA/Fe/starch ゲルビーズの物理的安定性評価

ゲルビーズの物理的変化を調べるために、100 ml の廃水と 6 g のゲルビーズをバイアル瓶内に加えスターラーで攪拌した。実験は 16 日間行い 2 日ごとに 10 個のゲルビーズを採取し、直径を測定した。

2.2.2. 嫌気条件下での比較実験

30 g のデンプンまたは水溶性デンプンを混合させたゲルビーズ、100 ml の嫌気性汚泥と 200 ml の模擬廃水をバイアル瓶内に投入して処理性能と物理的安定性を評価した。種汚泥は産業廃水を処理する UASB リアクターから採取した汚泥を使用した (MLSS: 6500±200 mg/L; MLVSS; 5000±160 mg/L) 。模擬染色廃水は、アゾ染料と有機物濃度がそれぞれ 0.05 と 4 g/L とし、投入後、窒素ガスをバイアル内に充填した。対象系として汚泥を投入しないバイアルを準備した。

2.3. 分析方法

実験では、ゲルビーズの直径、および廃水の pH、色度、S-COD を評価した。直径の測定には ImageJ を用いた。直径から、式を使用して膨潤率を計算した。

$$\text{膨潤率 (\%)} = V_t / V_0 \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

V_t : t 時間におけるゲルビーズの体積

V_0 : 初期ゲルビーズ体積

色度は HACH 社の Method 8025 に基づいて測定した。S-COD の測定にはサンプルを 0.45 μm フィルターでろ過し、HACH 社の Method 8000 に基づいて行った。

3. 実験結果及び考察

3.1. PVA/Fe/starch ゲルビーズの物理的安定性評価

図 1 には、染色廃水に浸漬させたデンプンおよび水溶性デンプンを含むゲルビーズの平均膨潤率と直径を示す。武井らの研究によると、ゲルビーズの膨潤率が大きくなる程、廃水中での安定性が高くなると報告されている³。本研究では、16 日後のデンプンビーズの最大膨潤率は 150% であり、廃水中での安定性を確認された武井の PVA ゲルビーズの膨潤率に近いものであった。一方、水溶性デンプンを使用したゲルビーズの最大膨潤率は 120% であり、水溶性デンプンよりもデンプンを使用したゲルビーズの安定性が高いと考えられる。

3.2. 嫌気条件下での比較実験

嫌気性汚泥を追加した実験では、水溶性デンプンを使用したゲルビーズの破裂が観察された。一方、デンプンを使用したゲルビーズでは、破裂が観察されなかった (図 2)。これは水溶性デンプンが溶出し、生物反応を促進したためビーズ構造の破壊を引き起こしたと考えられる。

図 3 に実験開始 1, 8, 16 日目における s-COD および色度の経時変化を示す。デンプンと水溶性デンプンを含むゲルビーズを追加したバイアルでの s-COD 除去率と脱色率は、それぞれ 72.5%, 91.5% (デンプン) と 43.8%, 60.2% (水溶性デンプン) でデンプンを使用したゲルビーズは、水溶性デンプンを使用したゲルビーズよりも効果的であった。また、汚泥を追加していないバイアルでの脱色率はそれぞれ 82.0%, 89.4% であった。そのため、ゲルビーズ単体でも優れた色吸着能力を示した。しかし、s-COD 濃度が急激に増加したため、ゲルビーズ中のデンプンが流出したと考えられる。

次に 10 g のデンプンを使用したゲルビーズを用いてバイアル試験を行った。実験開始 5 日目の脱色率は、ゲルビーズを追加していないバイアルで 53.0%、添加したバイアルで 81.4% であった。そのため、デンプンを使用した PVA/Fe/starch を添加することによって脱色率の向上を確認した。

4. まとめと今後の予定

デンプンを使用した PVA/Fe/starch ゲルビーズは、嫌気性条件においても物理的な安定性を示した。ま

た、10 g のデンプンを含む PVA/Fe/starch ゲルビーズを追加することによって、染色廃水の脱色率が 30% 向上させた。しかしながら、ゲルビーズを追加した後の COD 濃度が急激に増加したため、改善方法を検討する。

謝辞

本研究は公益財団法人クリタ水・環境科学振興財団の助成を受けて実施しました。

参考文献

1. Wenjie Z, Dunqiu W, Yasunori K, Taichi Y, Li Z, Kenji. *Bioresour Technol.* 2008;99(17):8400-8405.
2. Qin J, Qian L, Zhang J, et al. *Chemosphere.* 2021;263:128048.
3. Takei T, Ikeda K, Ijima H, Kawakami K. *Process Biochem.* 2011;46(2):566-571.

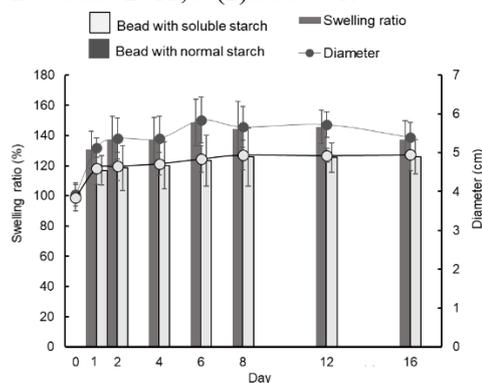


図 1. PVA/Fe/starch ゲルビーズの膨潤率と直径

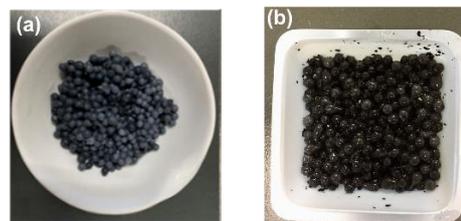


図 2. バッチ実験の開始時 (a) と終了時 (b) の PVA/Fe/starch ゲルビーズ

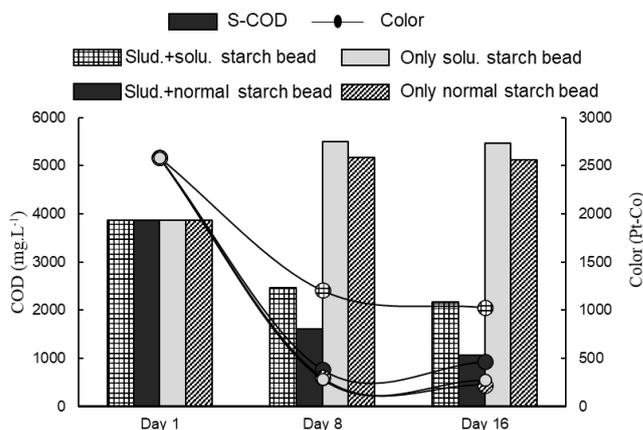


図 3. S-COD と色度の経時変化