

2026. 7. 9

報道関係者 各位

< 配信枚数 3 枚 >

**染料の色が消えた排水が安全とは限らない
人工湿地由来細菌による染料分解で毒性が増加することを発見**

立命館大学工学部の惣田訓教授は、繊維産業などで使用される難分解性のアゾ染料^{*1}について、「脱色＝無害化」ではないことを明らかにしました。本研究では、人工湿地から分離した嫌気性細菌（酸素のない環境で働く細菌）を用いてアゾ染料を分解したところ、97%以上の高い脱色率を示した一方で、分解過程で有害な「芳香族アミン^{*2}」が生成され、水生生物への毒性が増加することを確認しました。これにより、染料排水の安全性を評価する際、脱色のみでは排水の安全性を評価できず、脱色後の毒性評価や後段処理による有害物質の除去が重要であることを示しています。

本件のポイント

- 人工湿地由来の嫌気性細菌が、難分解性のアゾ染料を97%以上脱色することを確認。
- 染料の脱色が進行する一方で、有害な芳香族アミンが生成・蓄積し、水生生物（ミジンコ）に対する毒性が増加することを明らかにした。
- 「脱色＝無害化」ではないことを実証し、染料排水処理における毒性評価や後段処理の重要性を示した。

< 研究成果の概要 >

繊維の染色などで使われるアゾ染料は、色が消えれば排水に含まれていても安全になったように見えますが、実際には脱色後も有害な物質が残る可能性があります。本研究では、人工湿地から分離した嫌気性細菌「*Clostridium* sp. T4」を用いて、難分解性のアゾ染料「Reactive Black 5 (RB5)」の分解特性と毒性変化を評価しました。その結果、同細菌はアゾ染料を97%以上脱色した一方で、分解過程で有害な芳香族アミンが生成し、水生生物に対する毒性が増加することを明らかにしました。本研究成果は、染料排水処理において脱色率のみを指標とするのではなく、処理後の毒性評価が併せて重要性を示すものであり、より安全な排水処理技術の開発に貢献することが期待されます。

< 研究の背景 >

アゾ染料は繊維・染色産業で広く使用されていますが、難分解性であるため、環境中に排出されると水質汚染の原因となることが知られています。特に、インドネシアの伝統的な染め物であるバティック産業などでは、染料を含む排水の適切な処理が課題となっています。これまでの研究により、嫌気性微生物によってアゾ染料を効率的に脱色できることが報告されてきました。しかし、その多くは脱色率を主要な評価指標としており、脱色後に生成される分解生成物の安全性については十分に評価されていませんでした。そのため、染料の色が消失した後の毒性変化を明らかにし、真の意味での無害化が達成されているかを検証することが求められていました。

< 研究の内容 >

本研究では、人工湿地から分離した嫌気性細菌「*Clostridium* sp. T4」を用いて、難分解性アゾ染料「Reactive Black 5 (RB5)」の分解過程と毒性変化を同時に評価しました。従来の研究では脱色率の評価が中心であったのに対し、本研究では LC/MS (液体クロマトグラフィー質量分析)^{*3} を用いて分解後に生

成される物質を解析するとともに、ミジンコを用いた急性毒性試験を実施し、脱色と安全性の関係を詳細に検討しました。

その結果、嫌気性細菌はアゾ染料を 97%以上脱色した一方で、分解に伴い芳香族アミンが生成・蓄積し、脱色の進行に伴って毒性が増加することを明らかにしました。これにより、嫌気的な染料分解では色の除去だけでは環境安全性を評価できず、脱色後の毒性評価や、生成された有害物質を除去するための後段処理が重要であることが示されました。

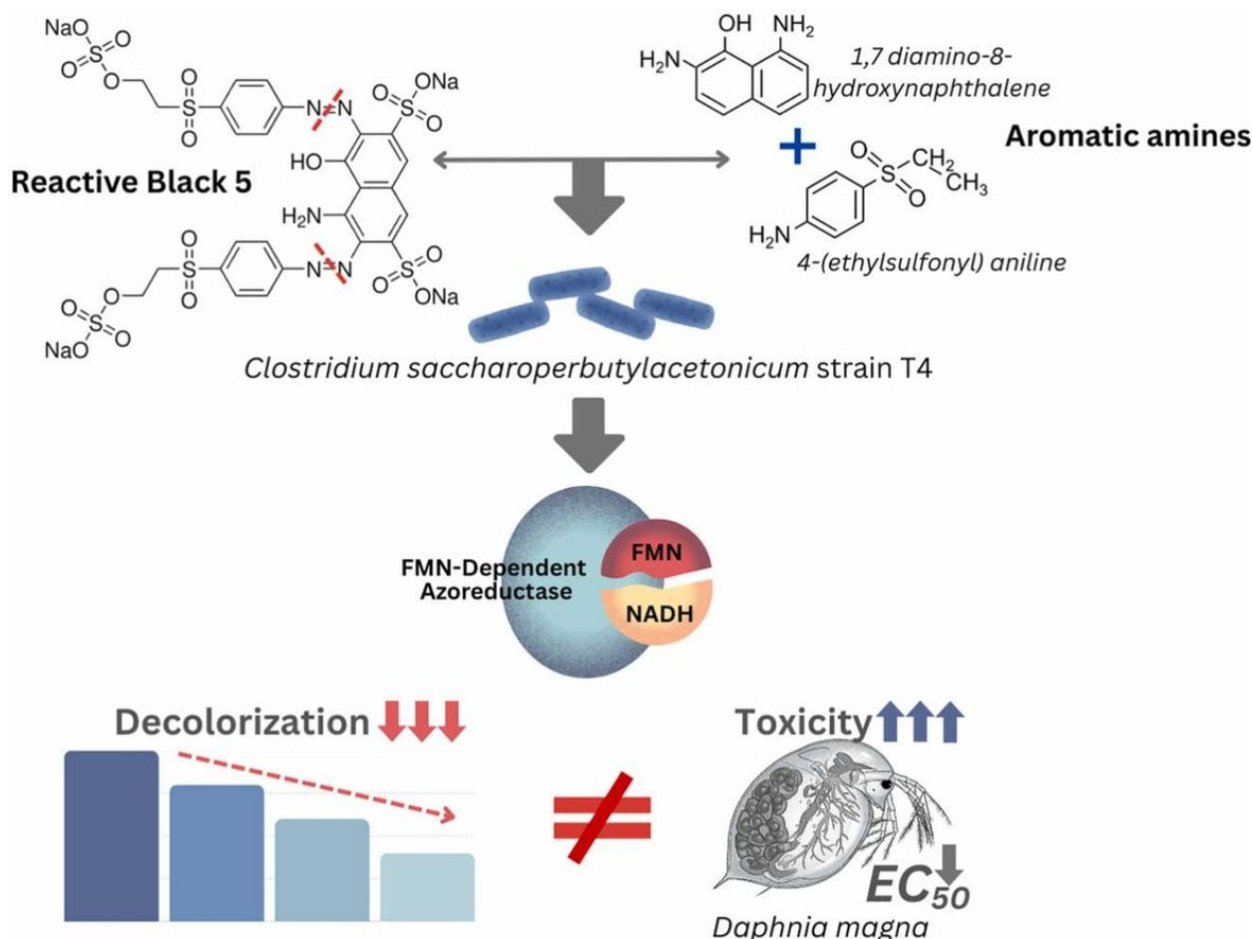


図: *Clostridium* 属細菌による Reactive Black 5 の脱色プロセスと毒性生成機構

細菌の持つ酵素によるアゾ基の切断により、Reactive Black 5 (アゾ染料) が芳香族アミン (1,7-ジアミノ-8-ヒドロキシナフタレン、4-(エチルシルフォニル)アニリン) へと還元分解される。染料の脱色に伴い、生成した芳香族アミンに起因してミジンコに対する毒性が上昇する。

<社会的な意義>

本研究は、染料排水処理において「脱色＝無害化」ではないことを明らかにし、従来の処理評価指標を見直す必要性を示しました。特に繊維・染色産業が盛んな地域では、脱色後に生成される有害な芳香族アミンによる環境リスクを適切に評価することが重要です。

本成果は、嫌気処理による脱色と、その後の好気処理による有害物質の分解を組み合わせ、より安全な排水処理技術の開発に貢献することが期待されます。また、発展途上国における水環境保全や持続可能な産業活動の推進にも寄与する重要な知見といえます。

今後は、生成された芳香族アミンの完全分解技術の開発や、実排水を対象とした安全性評価推進していきます。

<研究者のコメント>

本研究の着想は、インドネシアのバティック産業における染料排水問題に触れたことに由来します。染

料排水処理では「色が消えたかどうか」が重要な評価指標として用いられることが多いですが、本研究によって、見た目の脱色が達成されても必ずしも安全性が確保されるわけではないことが明らかとなりました。環境技術の評価においては、処理効率だけでなく、生態系への影響や環境安全性まで含めて検討することが重要です。今後は、嫌気処理と好気処理を組み合わせたより安全な排水処理技術の開発を進めるとともに、インドネシアをはじめとする地域における持続可能な水環境保全への貢献を目指したいと思います。

<論文情報>

論文名 : Anaerobic decolorization of Reactive Black 5 by *Clostridium* sp. strain T4 and associated toxicity increase due to aromatic amine formation

著者 : Abd. Aziz Amin、澤田 和子、惣田 訓

発表雑誌 : Environmental Technology & Innovation

掲載日 : 2026年6月11日(木) 00:00(日本時間)

DOI : 10.1016/j.eti.2026.105043

URL : <https://doi.org/10.1016/j.eti.2026.105043>

<用語説明>

※1 アゾ染料

分子内にアゾ結合(-N=N-)を持つ合成染料の総称である。鮮やかな発色性や耐久性に優れることから、繊維の染色などに広く利用されている。一方で、環境中では分解されにくく、水質汚染の原因となることがある。

※2 芳香族アミン

アゾ染料が微生物などによって分解された際に生成される有機化合物の一種である。一部の芳香族アミンは生物に対する毒性や発がん性が指摘されており、染料排水処理において安全性評価の対象となっている。

※3 LC/MS(液体クロマトグラフィー質量分析)

液体クロマトグラフ(LC)と質量分析計(MS)をオンラインで結合した分離分析手法。液体試料中の多成分混合物をLCのカラムによって時間的に分離し、溶出物質を順次イオン化して質量分析計へと導入する。各成分の質量電荷比(m/z)を精密に測定することにより、高い選択性と感度で、微量物質の定性および定量分析を行うことができる。

配布先: 草津市政記者クラブ、京都大学記者クラブ、科学記者会、文部科学記者会

以上

●本件に関するお問い合わせ先

(研究内容について)

立命館大学 理工学部 教授 惣田 訓

TEL. 077-561-4836

Email. soda@fc.ritsumei.ac.jp

(報道について)

立命館大学広報課 担当:大森

TEL. 075-813-8300

Email. r-koho@st.ritsumei.ac.jp