

第Ⅶ部門

藻類－細菌系を用いた直鎖アルキルベンゼンスルホン酸とカフェインのバッチ廃水処理

立命館大学理工学部 学生員 ○野村 快斗

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 浦上 貴希

立命館大学理工学部 正会員 清水 聡行

立命館大学理工学部 正会員 惣田 訓

1. はじめに

下水処理プロセスでは、有機物は主に細菌類によって分解されるが、近年、分解には直接は寄与しない藻類が、様々な有機物の分解を促進していることが報告されている^{1,2)}。その仕組みは未解明であるが、藻類の光合成により放出された酸素や有機物によって細菌類の代謝が促進され、その呼吸で発生する二酸化炭素によって、藻類の光合成が促進される共生関係が成立する。さらに、藻類細胞は様々な化学物質を吸着することや、有機物を直接分解し得る活性酸素を生成することが知られている¹⁾。従って、藻類－細菌系を下水処理に導入することができれば、従来の方法を上回る効率で有機汚染物質の除去が期待できる。本研究では、モデル汚染物質に直鎖アルキルベンゼンスルホン酸（LAS）とカフェインを選択し、藻類－細菌系による効率的処理の検証を目的として、バッチ処理実験を行った。

2. 実験材料および方法

2-1. 微生物源と合成廃水

大学付近の池の中の石の表面の生物膜から藻類を採取した。細菌群は、肉エキス・ペプトンを主体とする合成下水を処理している活性汚泥を用いた。実験に用いた合成廃水の組成を表1に示す。

2-2. バッチ試験

100mL コニカルビーカー内で合成廃水と微生物群を混合させた実験系を作成した。微生物群に藻類と細菌類をそれぞれ 1000mg/L 含む藻類－細菌系に加えて、対照系として、細菌類のみを 1000mg/L 含む細菌系と、微生物群を添加しない無菌系を用意した。すべての実験系は、白色光 LED テープの照射下で 25℃で攪拌した。各実験系は4つずつ用意し、そのうちの2つを遮光し、光が生分解に与える影響についても観察を行った。

2-3. 分析方法

LAS とその代謝産物であるスルホフェニルカルボン酸（SPC）、カフェインの濃度および検出強度の測定には LC-MS 分析を用いた。なお、細菌類は、LAS の直鎖アルキル基末端のメチル基をカルボキシル基へと ω 酸化させることで SPC を生成し、SPC の分解は、主に直鎖アルキル基のメチル基が 2 単位ずつ減少する β 酸化により進行し、鎖状アルキル基上の炭素数が 4～5 になるまで低分子化されることが一般的である。

3. 結果および考察

図1～図4に LAS とカフェインの濃度および SPC の検出強度の推移を示す。無菌系の結果から、低濃度の SPC は自然に分解・除去されたが、LAS とカフェインは光分解や自然分解を受けないことが確認された。

藻類－細菌系と細菌系の結果から、LAS およびカフェインは生分解に

表1 合成廃水の組成

物質名	濃度 (mg/L)
LAS	50
Caffeine	10
Glucose	250
NH ₄ Cl	190
K ₂ HPO ₄	40
KH ₂ PO ₄	15
NaHCO ₃	275
NaSiO ₃ ・9H ₂ O	100
FeCl ₃ ・6H ₂ O	12

より完全に除去されることが確認された。両物質の完全除去に要した時間は、細菌系は3日であったのに対し、藻類－細菌系は2日であり、藻類による生分解促進効果が示された。特にカフェインは、低濃度で実施された既報²⁾と異なり、光を照射した藻類－細菌系において最も速やかに除去された。

LASは鎖状アルキル基上の炭素数(CnLAS)によって、分解速度に違いが生じることが明らかとなった。C12LASおよびC13LASは、速やかに分解された。一方、C10LASおよびC11LASは、1日ほどのラグ期の後、1～2日目に急激に分解速度が上昇した。このことから、LASの ω 酸化は、炭素数の多いものから優先的に進行すると考えられる。また、光を照射した藻類－細菌系で1日目に生じたSPCは、C12LASおよびC13LAS由来のものであると考えられる。

SPCは光を照射した藻類－細菌系で最も速く分解され、光合成によって生分解が促進されたことが示された。光を照射しない藻類－細菌系および細菌系では、検出強度のピークが2日目に現れており、比較的緩やかに分解反応が進行したことが分かる。ただし、光を照射しない藻類－細菌系のピーク値は細菌系よりも低かった。このことから、藻類の共存下においてはSPCの β 酸化が促進され、その蓄積量が抑えられることが示唆された。

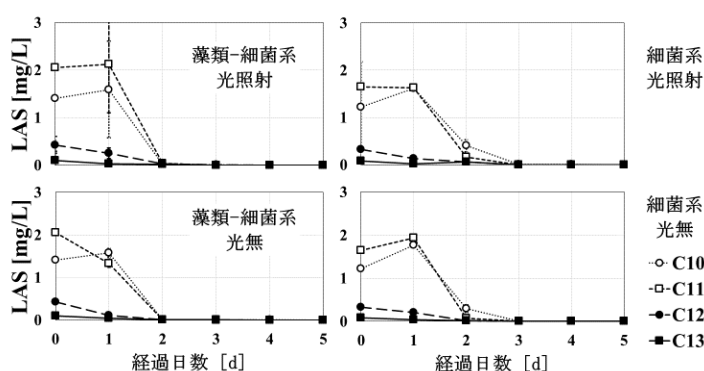


図1 LASの濃度の推移。

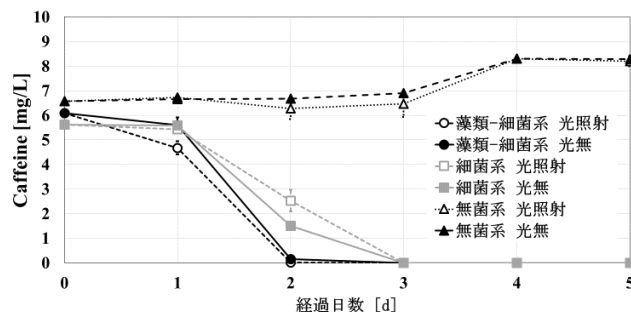


図2 Caffeineの濃度の推移。

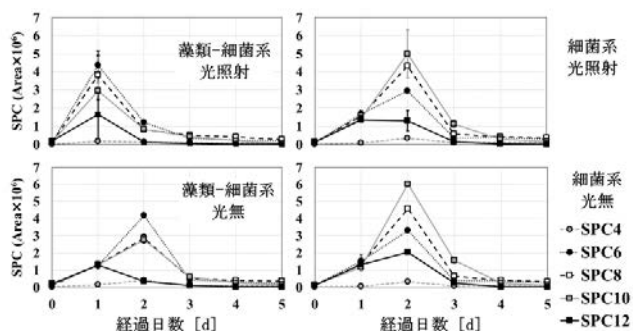


図3 SPC（鎖状アルキル基の炭素数4, 6, 8, 10, 12）の検出強度。

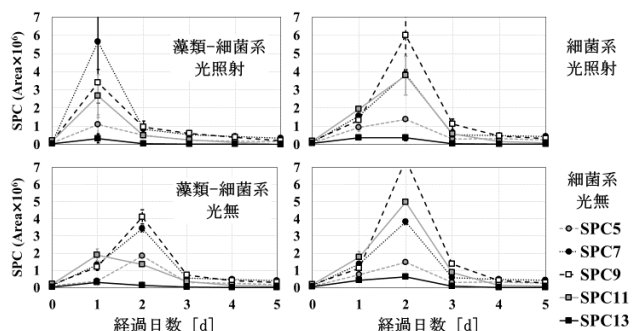


図4 SPC（鎖状アルキル基の炭素数5, 7, 9, 11, 13）の検出強度。

4. 結論

LASおよびカフェインの生分解は、藻類の共存下において促進される。LASの中間生成物であるSPCの β 酸化も、藻類の共存下において促進され、特に、光合成が生じる条件下では、より効率的に処理されることが明らかとなった。

5. 参考文献

- 1) Hua X, Li M, Su Y, Dong D, Guo Z, Liang D. The degradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in the presence of light and natural biofilms: The important role of photosynthesis. J. Hazard. Mat., 229-230, 450-454, 2012.
- 2) Katam, K., Shimizu, T., Bhattacharyya, D., Soda, S. Nutrient, linear alkyl benzene sulfonate, and caffeine removal from synthetic wastewater with an algal-bacterial culture and an activated sludge culture in batch mode. Japanese J. Water Treat. Biol., 55(4), 79-87, 2019.