

第 439 回雑誌会

(Oct 20, 2025)

(1) Prophage induction by non-antibiotic compounds promotes transformation of released antibiotic resistance genes from cell lysis

Lu, J. and Guo, J

Water research, **263**, 122200, 2024.

Reviewed by S. Tamai

プロファージは溶原性ファージが宿主に感染した際に導入した遺伝子であり、宿主が外的刺激を受けた際にプロファージからファージが誘導され、宿主を溶菌する。プロファージは薬剤耐性菌 (ARB) から検出されていることから、ファージによる溶菌に伴って ARB から薬剤耐性遺伝子 (ARGs) が放出され、形質転換によって ARB が拡散する可能性がある。一方で、高濃度の消毒剤は細菌に損傷を与えるが、水環境中に残留する低濃度の消毒剤が細菌に損傷を与え、ファージの誘導を促すかは明らかになっていない。そこで本研究では、消毒剤によるファージ誘導が、ARGs の拡散と形質転換に与える影響を評価し、そのメカニズムについて検討した。消毒剤としてトリクロサンとナノ銀を使用し、細菌として ARGs とプロファージを保有する 15 種類の臨床分離 ESKAPE 病原体を使用した。初めに、消毒剤濃度とファージの誘導の関係性を評価した。細菌培養液に消毒剤を各濃度 (0, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 $\mu\text{g/L}$) で添加し、37°C で最大 8 時間培養した。遠心分離後、上澄みを 0.22 μm フィルターでろ過し、フローサイトメトリーによってウイルス粒子数 (VLP) を測定した。また、自然形質転換能を持つ *Acinetobacter baylyi* とウイルス回収液を使用して形質転換実験を行い、ファージの誘導に伴って放出された ARGs による形質転換の促進を評価した。さらに、消毒剤の添加による活性酸素 (ROS) や遺伝子発現量の変化から、ファージ誘導のメカニズムについて検討した。

15 種類の細菌のうち、8 種類が各消毒剤を 100 $\mu\text{g/L}$ の添加することによってウイルス粒子数が 2~4 倍に増加した (最大 11,437 VLPs/ μL)。さらに、放出された ARGs 量は各消毒剤の濃度が 1 $\mu\text{g/L}$ から有意に増加し、100 $\mu\text{g/L}$ では未添加条件と比較して 2.7~3.2 倍に増加した。*A. baylyi* の形質転換率はトリクロサン濃度 1.0 $\mu\text{g/L}$ から有意に増加し、100 $\mu\text{g/L}$ において最大となった。しかし、ドナー遺伝子としてプラスミドを使用した場合、形質転換率は変化しなかった。このことから、トリクロサンによる刺激が形質転換を促進したのではなく、細胞外 ARGs 量が増加したことで形質転換が促進されたと考えられる。また、ROS や RNA の発現量は消毒剤の添加によって増加したが、ROS を捕捉剤で減少させることによってウイルス粒子数、形質転換率、および RNA 発現量は低下し、ROS による酸化ストレスがプロファージ誘導を促進していた。プロファージの誘導はトリクロサンが低濃度 (1 $\mu\text{g/L}$) の条件で発生したことから、環境中の微量な消毒剤が ARGs の拡散に影響を与えている可能性がある。

(2) Long-term removal of perfluoroalkyl substances via activated carbon process for general advanced treatment purposes

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Yoshida, N., Asami, M. and Matsui, Y.
Water Research, **245**, 120559, (2023).

Reviewed by H. Yoshida

人体に健康被害を引き起こす PFAS は環境に残留しやすいため、その除去は不可欠である。PFAS 除去に有効な活性炭吸着は、多くの浄水場で利用されているが、活性炭の PFAS 除去特性に関する情報は少なく、浄水場における粒状活性炭 (GAC) フィルターや粉末活性炭 (PAC) は PFAS 除去のために最適化されていない。そこで本研究では、GAC フィルターによる PFAS 除去における長期的な運用の有効性と PAC 処理における最適な PAC 投与量を評価することを目的とした。試料は、4 か月に一度の頻度で GAC フィルターを交換している F 浄水場において、1 ヶ月月ごと (2021 年 : 1 月 ~ 2022 年 : 9 月) に原水と処理水のサンプルを採取した。また、異なる PAC 注入率 (10 ~ 20 mg/L) で処理を行っている 12 カ所の浄水場の原水と処理水を採取した。各原水と処理水は GF/F フィルターでろ過後、固相抽出 UHPLC-MS/MS によって PFAS 濃度を測定し、処理水濃度/原水濃度から PFAS の残留比を算出した。

F 浄水場及び PAC を使用している全ての浄水場の原水と処理水において、カルボン酸を含む PFAS (PFCA) が検出された。また、処理水中の PFCA 残留比は、炭素鎖数が減少するとともに増加した。最も炭素鎖数の多い (C9) PFNA では、残留比は 0 ~ 0.3 であったが、最も炭素鎖数の少ない (C4) PFBA では、残留比は 0.3 ~ 1.3 となり、GAC から脱着していることが明らかとなった。さらに、全ての PFCA 残留比は、水温の上昇とともに増加した。これは、水温が上昇することで活性炭微細孔内での物質の拡散速度が増加し、飽和状態となった GAC 内で有機物と PFCA の置換が活発に行われたためであると考えられる。PAC 処理を用いた浄水場においても、F 浄水場と同様に炭素鎖数の少ない PFCA が処理水中に残留した。また、炭素鎖数の少ない PFCA の残留比は PAC の注入率と強い負の相関を有していた。さらに、PFCA の残留比と PAC 注入率に直線の相関関係があると仮定した場合、炭素鎖数が 7 以上の PFCA では PAC 注入率が数十 mg/L で残留比 0.1 を達成できるのに対して、PFBA では 1000 mg/L 以上の注入率が必要であると推定された。以上の結果から、一般的な活性炭処理では炭素鎖数の少ない PFCA の除去が困難であるため、GAC フィルターを用いる場合は交換頻度をさらに増やす必要がある。また、PAC 処理の場合には、注入率の増加ではなく、微粉末化などの吸着性能を向上させる工夫が重要である。