

厚生労働科学研究費補助金

健康安全・危機管理対策総合研究事業

水道事業の流域連携の推進に伴う水供給システムにおける
生物障害対策の強化に関する研究

令和2年度 総括研究報告書

研究代表者 秋葉 道宏
(国立保健医療科学院)

令和3(2021)年 3月

水道事業の流域連携の推進に伴う水供給システムにおける生物障害対策の強化に関する研究

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 生活環境研究部 部長

研究要旨

本研究では「水道事業の流域連携の推進に伴う水供給システムにおける生物障害対策の強化」に資する成果を得ることを目指し、流域での障害生物の発生状況やそのメカニズムの把握、流域スケールでの生物障害発生の広域モニタリングシステムの開発、流域連携による水供給システムの生物障害適応性の強化方策の例示に関連する研究を実施した。

事前に藻類の異常発生を予測することを目指し、機械学習手法のひとつであるサポートベクターマシン (Support Vector Machine : SVM) を用いて、ダム湖での藍藻類の発生を事前に予測するための統計モデルを構築した。予測モデルの入力データとして水質データ、気象データ、及び水理学的データを使用し、予測日から 1 週間後に藍藻類が発生するか否かを予測することを試みた。その結果、*Microcystis* 属及び *Anabaena* 属に関し高い予測性能を示すモデルの構築に成功した。

中国での 2020 年以降に報告された導水事業による水質の改善等に関する研究の状況についてとりまとめた。近年で研究対象水域が拡大し、手法も多様なものとなっており、導水事業に関連して、ウォーターフットプリントの算定、太陽光発電システムの導入、マイクロプラスチックによる汚染等の研究も実施されていた。

PCR によるカビ臭原因物質合成酵素遺伝子検出に基づくカビ臭産生藍藻類の簡易同定を検討した。その結果、カビ臭が発生した全国水源から単藻培養した藍藻株から得られたカビ臭物質合成遺伝子の配列情報に基づき、日本でカビ臭産生藍藻類として代表的な 5 属 (*Microcoleus* 属, *Pseudanabaena* 属, *Planktothricoides* 属, *Dolichospermum* 属, *Aphanizomenon* 属) について簡易同定可能な PCR 系を構築し、その有用性を示した。

単藻培養した一部の藍藻株を用いて培養実験を行い、培養温度と各増殖過程でのカビ臭原因物質産生能の変化について評価した。その結果、*Pseudanabaena limnetica*, *Microcoleus autumnalis* 共に 2-メチルイソボルネオール(2-MIB)産生に及ぼす温度の影響が大きいことが明らかとなった。

粉末活性炭処理による 2-MIB 除去への効率性を向上させるために、2-MIB 吸着競合影響評価指標の探索ならびに複数種の粉末活性炭混合注入による 2-MIB 除去効果への影響評価を行った。3 つの浄水場原水を用いて、粉末活性炭による 2-MIB 除去率と水質指標との関係性についてモニタリング試験を行った結果、原水ごとに 2-MIB 除去率と水質指標との関係性について傾向が異なることを示した。そして、カビ臭が発生する時期を踏まえた上で、適切な指標を水源ごとに選択する必要があることが示された。また、粉末活性炭の中で 2-MIB の除去性が高い種を混合して使用することで、2-MIB 除去率の向上と総使用量を低減することが可能であることを示した。

溶存有機物(DOM)の精密質量スペクトルの差異解析により、地点間・季節間での比較が可能か琵琶湖・淀川水系の水試料を用いて評価した。その結果、地点間の差は固相抽出であっても乾燥濃縮であっても類似した差を見出すことができ、また各地点の特性と矛盾のないものであった。比較的濃縮操作の自動化が簡単な固相抽出であっても倍率を上げれば十分乾燥濃縮と同等の傾向が得られることを示した。

機器分析による水質管理を可能とするために、原因物質の構造や分析条件を明らかにすることを目的とした。水道水生ぐさ臭原因物質の構造を推定した結果、末端ケトン、シクロヘキセノン、メトキシ基を有すること、プロピル基またはブチル基を有することが示唆され、原因物質の構造を 4 つの異性体まで絞り込むことに成功した。また、GC-MS を用いて分析する際の条件を検討し、無極性カラムに対する原因物質の保持指標と電子イオン化法を用いた際のマススペクトルを得て、汎用的・標準的な分析条件を確立した。

カビ臭原因物質合成酵素遺伝子の異なる環境因子 (栄養塩, 温度, Mg^{2+} 濃度) における発現

量変化, カビ臭原因物質産生量, 開発したカビ臭原因物質産生藍藻類の whole-cell qPCR 法を用いた半定量技術・定量技術, そして細胞密度との比較を実施した。環境因子の中で窒素濃度, 水温による影響が大きいことが示された。whole-cell qPCR 法によるジェオスミン産生 *Dolichospermum* 属と 2-MIB 産生 *Pseudanabaena* 属 (*Phormidium* 属) の半定量・定量法を開発し, その有用性を示した。

研究分担者

西村修	東北大学大学院工学研究科 教授
柳橋泰生	福岡大学工学部 教授
藤本尚志	東京農業大学応用生物科学部 教授
高梨啓和	鹿児島大学学術研究院 理工学域工学系 准教授
越後信哉	京都大学大学院工学研究科 准教授
清水和哉	筑波大学生命環境系 准教授
浅田安廣	国立保健医療科学院 主任研究官

A. 研究目的

近年, 地球温暖化の影響も考えられる水道原水水質悪化の報告例が目立つ。特に生物障害は, 水中に生息する生物が引き起こすものであり, 気候変化の影響を直接的に受けやすい。一方で, 昨今の水道を取り巻く状況としては, 水道施設の老朽化や職員の減少, 給水収益の悪化の中で公共サービスとしての持続性の確保が課題となっており, その解決に向けた体制づくりが求められている。本研究課題では, このような水道事業の背景を踏まえながら, 水道事業の流域連携の推進の視点から水供給システムにおける生物障害対策の強化に資する成果を得ることを最終的な目標とし, 以下の3つの検討を実施した。

- ① 流域での障害生物の発生状況やそのメカニズムを把握
- ② 流域スケールでの生物障害発生 of 広域モニタリングシステムを開発
- ③ 浄水プロセスの適応性を高めながら, ①, ②と連携して, 流域連携による水供給システムの生物障害適応性の強化方策を例示

B. 研究方法

4つのダム(室生ダム, 阿木川ダム, 寺内ダム, 一庫ダム)を対象とし, 機械学習手法のひとつであるサポートベクターマシン (Support Vector

Machine: SVM) を用いて藻類異常発生予測を行った。予測モデルの入力データとして水質データ, 気象データ, 及び水理学的データ (2005年から2017年) を使用した。モデルに用いる変数選択においては, 正則化回帰手法である Lasso 回帰及び Elastic Net 回帰を用いた。そして, 予測日から1週間後に藍藻類が発生するかどうかを予測することを試みた。

文献データベースにおいて「water diversion」をキーワードとして検索し文献を入手し, とりまとめた。また中国学術雑誌全文データベースにおいて, 導水事業を示す「調水」で検索し, 文献を入手し, 翻訳・整理した。

カビ臭が発生した水源 21 か所の試料からピペット洗浄法により単離した藍藻株, 国立環境研究所微生物系統保存施設に保有する藍藻株 (以降, NIES 株と記載), 水道事業体保有の藍藻株 (以降, 分譲株と記載) について培養, 遺伝子解析を行い, 得られた配列情報から, カビ臭原因藍藻類として代表的な 5 属 (ジェオスミン: *Dolichospermum* 属, *Aphanizomenon* 属 2-メチルイソボルネオール (2-MIB): *Pseudanabaena* 属, *Planktothricoides* 属, *Microcoleus* 属) を簡易同定可能な PCR 系の実験条件を検討した。さらに水源試料から抽出した DNA 試料に対して, 構築した遺 PCR 系を用いて, カビ臭原因物質産生藍藻類の同定を試みた。

カビ臭原因物質が確認された水源から単離された *Pseudanabaena limnetica* および *Microcoleus autumnalis* について培養実験を行い, 培養温度 (20, 25, 30°C) と増殖過程におけるカビ臭原因物質の生成について検討を行った。

粉末活性炭による 2-MIB 除去に関するモニタリング試験では, 3つの浄水場 (A, B, C 浄水場) 原水について 2020年6月から2021年3月までの期間で計 18 回の粉末活性炭による 2-MIB 除去実験を行った。代表的な測定項目は, 2-MIB 濃度, 全有機炭素 (TOC) 濃度, UV254, 3次元蛍光分析 (Excitation-Emission Matrix, EEM) である。また粉末活性炭混合注入試験では, 国内浄水場の原水を用いて 3種類の粉末活性炭を組み合わせる 2-MIB 除去実験を行った。

琵琶湖淀川流域内の琵琶湖水 (大津港), 淀川水 (枚方大橋左岸), 桂川水 (下水処理施設放流口直下) の3ヶ所を対象とし, 夏季と秋季に採水を行い, 地点間と採水時期の違いについて差異解析を行

った。あわせて、藻類増殖時と非増殖時の琵琶湖水（琵琶湖疏水）の溶存有機物(DOM)の精密質量スペクトルの比較を行った。

黄色鞭毛藻のウログレナ (*Uroglena americana*) による生ぐさ臭の被害が発生している際に採取された水道原水を固相抽出により濃縮・精製し、高分解能 GC-MS を用いて分析し、原因物質の構造や分析条件について検討した。

ジェオスミン産生藍藻類として *Dolichospermum smithii* NIES-824 (*Anabaena smithii* NIES-824), 2-MIB 産生藍藻類として *Pseudanabaena foetida* NIES-512 を用いて、カビ臭原因物質合成酵素遺伝子の発現量とカビ臭物質産生量に対する異なる環境因子（栄養塩、温度、 Mg^{2+} 濃度）による影響を評価した。また同株を用いて新たに開発した簡便迅速な半定量技術 whole-cell qPCR 法の適用性について評価した。

C. 研究結果および D. 考察

室生ダムにおける *Microcystis* 属の発生予測モデルの最良モデルでは、AUC(Area Under the Curve) : 0.89, FPR(False Positive Rate) : 20.0%, 正解率 : 84.0%, 適合率 : 55.6%と高い予測性能を示した。*Anabaena* 属の最良モデルでは、AUC : 0.83, FPR : 35.0%, 正解率 : 72.0%, 適合率 : 41.7%と高い予測性能を示した。また阿木川ダム、寺内ダム、一庫ダムを対象に追加検証を行った結果、*Microcystis* 属についてはすべてのダムにおいて非常に高い予測性能が得られた。一方で、*Anabaena* 属の予測では寺内ダムを除く3つのダムにおいては高い予測性能が得られた。

富栄養化した水環境の改善に関する 2020 年以降に報告された研究論文について整理を行った。近年の研究の傾向としては、南水北調に関する研究が多くみられ、全国的に研究対象水域が拡大していた。その取り組みとしては富栄養化、重金属汚染、硫酸塩汚染、再生水利用との比較、住血吸虫、ウォーターフットプリント、生態系、総合評価等であり、研究内容や手法が多様なものとなっていた。

カビ臭原因物質合成酵素遺伝子を対象とした PCR によるカビ臭産生藍藻類の簡易同定法を検討したところ、*Microcoleus* 属を除く4属については非特異的な検出がなく、*Microcoleus* 属については 2-MIB 合成遺伝子と相同性が高い *Phormidium* sp.のみ非特異的な検出が確認された。続いて、46 水源試料で構築した PCR 系を適用したところ、*Phormidium* sp.を単離した水源を除き、単離した産生株と同じ属の遺伝子のみが検出する結果となった。本研究で構築した手法は培養よりも早く産生種を属レベルで判定できることから、顕微鏡での産生種同定のサポート情報として有用であることが示された。

カビ臭発生水源より単離した株を用いて、培養温度と増殖量、カビ臭原因物質産生量を比較した結果、*P. limnetica* は培養温度による最大増殖量の違いは見られなかった一方で、2-MIB 総濃度の変化は温度の影響が大きいことが明らかとなった。*M. autumnalis* については増殖に及ぼす温度の影響が大きく 25°C で最も増殖速度が大きかった。一方 2-MIB 産生については 25°C で低くなる傾向がみられた。

粉末活性炭処理による 2-MIB 除去に対する水質の影響評価指標を探索したところ、本調査で用いた3つの原水では競合影響を評価可能な共通指標は存在しないことが明らかとなった。また、年間を通して競合影響を評価する水質指標も確認できなかった一方、時期を水温により区切ることによって相関性を示す水質指標が一部確認された。粉末活性炭混合注入試験では、2-MIB 除去性の高い粉末活性炭を混合利用することで、2-MIB 除去率を向上でき、さらに同等の 2-MIB 除去率の達成に必要な活性炭総使用量を低減できることが示された。

DOM の精密質量スペクトル解析について、地点間の差は濃縮方法（固相抽出、乾燥濃縮）に間で類似した差を見出すことができ、また各地点の特性と矛盾のないものであった。一方で、同一地点での季節間の変化は、地点間の差よりも総じて小さく、濃縮方法によって異なる傾向が得られる場合があった。濃縮方法による差が何を意味するかは、今後もモニタリングを続け、他の水質指標との関連性を評価する必要があると考えられる。

生ぐさ臭原因物質の構造解析について、得られたマススペクトルを解析して原因物質のカルボニル基の構造を推定した。その結果、生ぐさ臭原因物質はアルデヒド基を有しておらず、2個のカルボニル基はいずれもケトンであること、そのうち1個は末端ケトン構造であることが示唆された。続いて、原因物質の全体構造を推定した結果、4個の異性体に限定することができた。そして、装置コストが安価、かつ操作が容易であり広く普及している GC/MS を用いた簡便な化学分析方法を示した。

カビ臭産生藍藻類の同原因物質の産生量、同原因物質合成酵素遺伝子の発現量に対する環境因子の影響について評価し、通常の観測項目における環境因子（窒素、水温）から、カビ臭原因物質産生藍藻類の増殖とカビ臭物質産生の特性を推量する知見を得た。また、カビ臭産生藍藻類の個体群密度の定量が、カビ臭発生予測の重要な位置付けとなることを強く示しているといえた。さらに、水源におけるカビ臭産生藍藻類のモニタリングのために、形態観察では困難な同藍藻類の識別と定量に有効と期待できる whole-cell qPCR 法を開発し、現場でサンプリング後にカビ臭産生藍藻類を定量できる知見が得られた。

E. 結論

SVMを用いることで、ダム湖における1週間後の藻類異常発生を予測するモデルを開発した。そして開発した予測モデルを適用することで、*Microcystis* 属、*Anabaena* 属に関しては高い予測性能が得られた。

中国での導水事業等による水環境改善に関する報告内容を取りまとめた。ここ1年余の間で30件を超える研究報告が行われており、それらの研究は、様々な水域について各種手法を用いて実施されていた。

新たに構築したPCR系を用いたカビ臭原因物質産生藍藻類の簡易同定法を適用することで、水源試料でのカビ臭産生藍藻類を簡易同定可能であり、顕微鏡観察と組み合わせることで早期にカビ臭産生藍藻類の同定が可能となることが示唆された。

カビ臭発生水源より単離した2-MIB産生株である*P. limnetica*, *M. autumnalis* は共に、2-MIB産生に及ぼす温度の影響が大きいことが明らかとなった。今後は、株間、培養条件の違いによるカビ臭原因物質産生の違い等、さらなる検討が必要と考えられた。

粉末活性炭処理における2-MIB除去率の低下に関与する競合物質は、原水ごと、そして時期により異なり、カビ臭が発生する時期を踏まえた上で、競合物質による2-MIB除去率への影響を把握可能な指標を水源ごとに選択する必要があることが示された。複数種の粉末活性炭の混合注入による2-MIBの除去効果について、2-MIB除去性の高い粉炭を少量だけ混合使用することで2-MIB除去率を向上でき、活性炭総使用量を低減できることが示された。

DOMの精密質量スペクトルの差異解析による地点間の差について濃縮方法で比較したところ、比較的濃縮操作の自動化が簡単な固相抽出であっても倍率を上げれば十分乾燥濃縮と同等の傾向が得られることが明らかとなった。一方で同一地点での季節間の変化は、濃縮方法により差異解析の結果に明瞭な違いが現れ得ることが示された。この差の意味も含め、更に長期的なモニタリングを継続して、年間を通じたバックグラウンドスペクトルを得た上で差異解析を行うことが望ましいと考えられた。

水道水生ぐさ臭原因物質の構造について、4個の異性体に限定することができた。また、浄水場への導入が進んでいる汎用型GC-MSを用いて、簡便な分析方法を提案した。本提案に基づいて分析すれば、推定された物質の相対的な濃度を実測可能であると考えられた。

環境因子(窒素、水温)がカビ臭物質産生藍藻類の増殖と同物質の産生量に与える影響について明らかとなった。また、新たに開発した whole-

cell qPCR法の有用性が示され、本手法を用いたカビ臭物質藍藻類の定期的なモニタリングにより、カビ臭発生の予測に貢献できると考えられた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1. 論文発表

井上拓也, 浅田安廣, 田代新, 舩橋康史, 岡本朗, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏. 全国の水道原水中における2-メチルイソボルネオール粉末活性炭への非平衡吸着. 水道協会雑誌. 89(6), 2-10, 2020.

江崎敦, 浅田安廣, 藤本尚志, 早坂泰彦, 鈴木孝俊, 山田晃平, 秋葉道宏. 形態学的特徴と遺伝子解析に基づく全国水道水源でのカビ臭原因物質産生藍藻類の存在調査. 水道協会雑誌. 90(5), 2-12, 2021.

Shinfuku Y, Takanashi H, Nakajima T, Ogura A, Kitamura H, Akiba M. Exploration of an Odorous Aldehydes and Ketones Produced by *Uroglena americana* Using High Resolution Mass Spectrometry, GC-Olfactometry, and Multivariate Analysis. *Chemosphere*, 257, 127174, 2020.

Shinfuku Y, Nakamura T, Takanashi H, Nakajima, Ueda T, Akiba M. A Method to Purify a DNPH-derivatized Sample Using Solid Phase Extraction. *Environmental Science*, 33(5), 70-78, 2020.

Shen Q, Shimizu K, Miao H, Tsukino S, Utsumi M, Lei Z, Zhang Z, Nishimura O, Asada Y, Fujimoto N, Takanashi H, Akiba M. Effects of elevated nitrogen on the growth and geosmin productivity of *Dolichospermum smithii*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 177-184, 2021.

2. 学会発表

新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 秋葉道宏, LC-HRMS, GC-O, GC-HRMS, 多変量解析の組み合わせによる水道水生ぐさ臭原因物質の探索, 第68回質量分析総合討論会, 2020.5, オンライン.

柳橋泰生, 周張弛, 白亦, 楊露. 中国における導水による水環境保全対策, 第42回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 2020.7, オンライン.

山下優輝, 新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 秋葉道宏, ガスクロマトグラフ-高分解能質量分析計を用いた水道水中の生ぐさ臭原因物質

- の構造推定, 環境科学会 2020 年会, 2020.9, ,
オンライン.
- 松本恭太, 浅田安廣, 江崎敦, 藤本尚志, 秋葉道宏. PCR 法によるカビ臭原因物質産生 *Phormidium autumnale* の遺伝子検出に関する検討. 令和 2 年度水道研究発表会, 2020.11, 誌上発表.
- 江崎敦, 浅田安廣, 藤本尚志, 秋葉道宏. 遺伝子解析に基づくカビ臭原因物質藍藻類の同定. 令和 2 年度水道研究発表会, 2020.11, 誌上発表.
- 高篠鮎人, 浅田安廣, 神里良太, 茂田裕充, 浦上正, 秋葉道宏. 粉末活性炭処理における 2-メチルイソボルネオールとの競合吸着物質の推定. 令和 2 年度水道研究発表会, 2020.11, 誌上発表.
- 柳橋泰生, 白亦, 周張弛. 環境試料の臭気指数測定方法におけるベルヌーイ試行明白率の試算, 第 33 回におい・かおり環境学会, 2020.12, オンライン.
- 八島将太, 門屋俊祐, 西村修, 今本博臣, 三浦尚之, 秋葉道宏, 佐野大輔. 浄水障害を引き起こす藻類の水源域における異常発生予測モデルの開発, 第 55 回日本水環境学会年会, 2021.3, オンライン.
- 柳橋泰生, 周張弛. 中国における導水事業による水環境改善に関する研究の状況, 第 55 回日本水環境学会年会, 2021.3, オンライン.
- 松本恭太, 浅田安廣, 江崎敦, 藤本尚志, 秋葉道宏. カビ臭原因藍藻類の簡易同定に向けた合成酵素遺伝子検出の有用性評価. 第 55 回日本水環境学会年会, 2021.3, オンライン.
- 早坂俊一, 浅田安廣, 三好太郎, 秋葉道宏. カビ臭除去対応時における複数種の粉末活性炭混合注入を通じた使用量低減効果. 第 55 回日本水環境学会年会, 2021.3, オンライン.
- 山下優輝, 新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 秋葉道宏, 生ぐさ臭を呈する水道原水から発見されたカルボニル化合物の構造推定, 第 55 回日本水環境学会年会, 2021.3, オンライン.
- 新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 秋葉道宏, ガスクロマトグラフ高分解能質量分析計による水道水生ぐさ臭原因物質の構造推定, 第 55 回日本水環境学会年会, 2021.3, オンライン.
- Yuta Shinfuku, Hirokazu Takanashi, Tsunenori Nakajima, Michihiro Akiba, An Exploration of the Causative Substance of Fishy Smell in Raw Water for Taps by Combining High Resolution Mass Spectrometry and Multivariate Analysis, The 23rd Symposium of Japan Society on Water Environment Online, 2020.9, online.
- Yuta Shinfuku, Hirokazu Takanashi, Tsunenori Nakajima, Michihiro Akiba, An Exploration of the Causative Substance of Fishy Smell in Raw Water for Taps by Combining High Resolution Mass Spectrometry with Multivariate Analysis, Water and Environment Technology Conference 2020 Online, 2020.11, online.
- Qingyue Shen, Kazuya Shimizu, Hanchen Miao, Shinya Tsukino, Motoo Utsumi, Zhongfang Lei, Zhenya Zhang, Osamu Nishimura, Yasuhiro Asada, Naoshi Fujimoto, Hirokazu Takanashi, Michihiro Akiba, Effect of TN/TP ratio on growth and geosmin productive activity in cyanobacteria, The 4th International Conference on Resent Advancements in Sustainable Management of Livestock Waste and Rural Environment (Livestock Waste 2020), 2021.3, Tsukuba, Japan.
- Hanchen Miao, Qingyue Shen, Satoshi Ichise, Marie Shimada, Naoshi Fujimoto, Yasuhiro Asada, Hirokazu Takanashi, Michihiro Akiba, Zhongfang Lei, Zhenya Zhang, Kazuya Shimizu, Monitoring of geosmin-producing cyanobacteria by whole-cell PCR, The 4th International Conference on Resent Advancements in Sustainable Management of Livestock Waste and Rural Environment (Livestock Waste 2020), 2021.3, Tsukuba, Japan.
- Ji Zhang, Qingyue Shen, Satoshi Ichise, Marie Shimada, Naoshi Fujimoto, Yasuhiro Asada, Hirokazu Takanashi, Michihiro Akiba, Zhongfang Lei, Zhenya Zhang, Kazuya Shimizu, Rapid detection for 2-MIB-producing cyanobacteria, The 4th International Conference on Resent Advancements in Sustainable Management of Livestock Waste and Rural Environment (Livestock Waste 2020), 2021.3, Tsukuba, Japan.
- H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)
1. 特許取得
該当なし
 2. 実用新登録
該当なし
 3. その他
- I. その他 (受賞等)
 - 新福優太, 公益社団法人日本水環境学会博士研究奨励賞 (オルガノ賞), An Exploration of the Causative Substance of Fishy Smell in Raw Water for Taps by Combining High Resolution Mass Spectrometry and Multivariate Analysis, 2020.9, 公益社団法人日本水環境学会.
 - 山下優輝, 2020 年会優秀発表賞 (富士電機賞), ガスクロマトグラフ-高分解能質量分析計を用いた水道水中の生ぐさ臭原因物質の構造推定, 2020.9, 公益社団法人環境科学会.
 - 山下優輝, 第 55 回日本水環境学会年会学生ポスター発表特別賞 (ライオン特別賞), 生ぐさ臭を呈する水道原水から発見されたカルボ

ニル化合物の構造推定, 2021.3, 公益社団法人日本水環境学会.

Shen Q ら, ポスタープレゼンテーション賞, Effect of TN/TP ratio on growth and geosmin productive activity in cyanobacteria, The 4th International Conference on Resent Advancements in Sustainable Management of Livestock Waste and Rural Environment, 2021.3.

Miao H ら, ポスタープレゼンテーション賞, Monitoring of geosmin-producing cyanobacteria by whole-cell PCR, The 4th International Conference on Resent Advancements in Sustainable Management of Livestock Waste and Rural Environment, 2021.3.

Zhang J ら, ポスタープレゼンテーション賞, Rapid detection for 2-MIB-producing cyanobacteria, The 4th International Conference on Resent Advancements in Sustainable Management of Livestock Waste and Rural Environment, 2021.3.