

用于强化饮用水处理的微纳米气泡（MNB）共凝：新型清洁工艺的效率 和机制研究 - ScienceDirect

sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135422011903

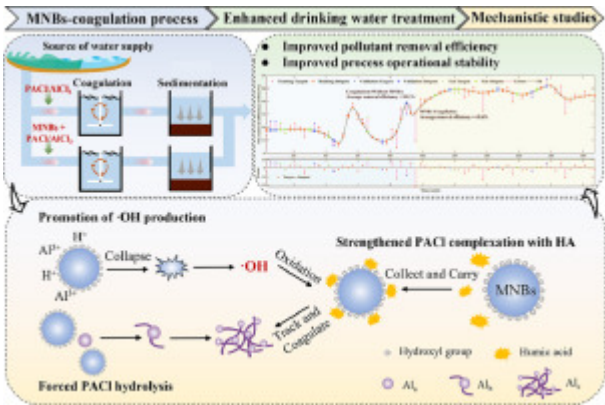
用于强化饮用水处理的微纳米气泡（MNB）共凝：新型清洁工艺的效率 和机理研究☆

11111111

抽象的

MNB（微纳米气泡）广泛用于环境处理的清洁过程，但很少有研究探讨 MNB 与混凝的相互作用。在这项研究中，开发了一种新工艺，即 MNB 混凝，用于强化饮用水处理。腐殖酸 (HA) 去除效率用于评估 MNB 混凝处理饮用水的有效性。利用含有和不含MNBs的聚合氯化铝(PACl)的水解组分比、HA和PACl的络合强度以及絮凝官能团表征来分析MNBs混凝过程增强饮用水处理的机理。Jar 测试结果表明，MNBs 混凝工艺可以提高 HA 的去除效率（DOC 去除率最高提高 27.9%）。在去除HA的连续流实验中，MNBs混凝可以将 UV₂₅₄ 的去除效率提高约26.5%，并且浊度没有显著变化。这些结果归因于MNB固有的羟基自由基生成特性、MNB强制水解PACl以增加Al₃百分比，以及MNB增加HA与PACl的络合强度的能力。同时，MNBs-混凝过程具有很强的抗干扰能力，几乎不受Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺等阴离子和阳离子的干扰，在天然地表水中具有良好的性能。总之，MNBs混凝在提高饮用水处理效率方面具有巨大的实际应用潜力。

图形概要



介绍

天然有机质 (NOM) 是地表水中常见的有机物质的复杂基质（Sillanpää 等，2018）。腐植酸 (HA) 是 NOM 的主要成分，约占有机质含量的 50%~90%（Yue 等，2021）。HA是一种带负电的高分子有机物质，具有大量官能团（Rodríguez和Núñez，2011）。HA倾向于与重金属形成牢固的络合物，从而形成具有强转运能力、生物利用度和毒性的有机金属络合物（Tamamura等，2013；Terashima等，2007）。同样重要的是 HA 对消毒副产物 (DBP) 的形成有贡献（Golea 等，2017），这可能导致传统氯化消毒过程中

存在潜在致癌化合物，包括脂肪族卤化三卤甲烷 (THM)、卤乙酸 (HAAs)、卤乙腈 (HAN) 等 (Serrano 等, 2015)。在城市人口不断增长的地区，地表水通常被用作饮用水源 (Borrull 等人, 2021)。因此，HA 的存在，即使是微量，也会引起人们对水质及其长期接触对人类健康的潜在影响的极大关注。

各种实验室规模的研究表明，混凝是去除 HA 的最佳可用、经济且有效的方法 (Xu 等人, 2016)。混凝是基于电荷中和、吸附架桥、网捕、扫掠等多种功能来实现污染物的去除 (Liu et al., 2021)。聚合物混凝会产生大量正电荷，例如聚氯化铝 (PACl) 和具有丰富比表面积的胶体形式，它们通常被用作混凝过程的有效成分 (Zhao et al., 2012)。先前的研究表明，大部分 HA 可以通过混凝去除，但去除一些低分子量或亲水性化合物的效率有限 (Siélichi 等, 2008)。因此，增强凝固通常被用作更彻底去除 HA 的首选技术。在混凝过程中添加吸收剂 (活性炭 (Wang 等, 2016)) 或氧化剂 (O_3 (Yu 等, 2016)) 是增强混凝的常见做法。这些方法虽然可以提高 HA 去除效率，但增加了水处理设施的规模，产生更多的固体废物，增加碳消耗，不符合清洁生产工艺的要求。

MNB 的直径为纳米到微米级别，具有较大的比表面积 (Zimmerman 等, 2011)。此外，由于其优越的特性 (例如提高气液界面的传质效率、增加水力停留时间 (在溶液中长达数周) 以及形成具有高氧化电位的羟基自由基 ($\cdot OH$))，近几十年来，MNB 被认为具有解决水处理各种挑战的巨大潜力 (Atkinson 等人, 2019; Takahashi 等人, 2007a, 2007b)。MNB 最常见的应用是富氧水和生物水处理、饮用水消毒、地下水修复以及通过自由基氧化减轻膜污染 (Agarwal 等人, 2011 年; Dayarathne 等人, 2019 年; Hu 和 Xia, 2018; Yasui 等人, 2018)。这些研究旨在实现更高的污染物去除效率，同时缩小设施规模，减少水处理厂的运行时间和维护成本，并最大限度地减少碳消耗 (Rosa 和 Rubio, 2018; Soyluoglu 等, 2021)。

尽管 MNB 在环境处理中被广泛用作清洁过程，但很少有研究将 MNB 应用于混凝过程。一些研究表明，NOM 可以与 MNB 表面相互作用 (Black et al., 1965; Soyluoglu et al., 2021; Sugano et al., 2017)。MNB 在水环境中可以充当收集器和载体，吸收水中的 NOM 并携带 NOM 来追踪阳离子 (Fan et al., 2019)。基于上述背景，MNBs 在凝固过程中存在吸附和携带 NOM 的潜力。由于 MNB 的高传质效率和 $\cdot OH$ 生成特性，混凝效率有望提高，特别是在低浊度水中。

在这项研究中，提出了一种新型环保的 MNB 混凝工艺来提高饮用水处理的效率。HA 去除效率用于评估 MNBs 混凝对饮用水处理的广口瓶试验和连续流试验的有效性。利用含 MNBs 和不含 MNBs 的 PACl 的水解成分比、HA 和 PACl 的络合强度以及 X 射线光电子能谱 (XPS) 来分析 MNBs 混凝过程强化饮用水处理的机理。最终，包括 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和天然地表水在内的水背景基质对 MNBs 混凝工艺改善饮用水处理的影响以及该过程的经济效益进行了系统评估。该研究有望填补 MNBs 在混凝过程中的研究空白，为 MNBs 混凝过程在实际工程中的应用提供理论支持。

章节片段

化学品

所用化学试剂均为分析纯，购自国药集团化学试剂有限公司 (中国)，包括 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 、HCl、NaOH、NaCl、 Na_2SO_4 、 $NaNO_3$ 、 Na_2CO_3 、 $CaCl_2$ 、 $MgCl_2$ 和高岭土。

MNBs 混凝过程的去除性能

图2显示了在不同pH值 (pH = 6,7,8) 和2 mg/L PACl (以Al³⁺计) 下MNBs-凝聚过程对HA的UV₂₅₄和DOC去除效率。对于 MNB 凝固，与酸性和中性溶液中的凝固相比，MNB 的存在可以提高 UV₂₅₄去除效率。这种现象可能归因于MNBs对混凝前水溶液Zeta电位的影响。如图S2所示，当pH为6或7时，MNBs之前的参与

结论

本研究提出了一种新颖的清洁工艺，即MNBs混凝工艺，以提高饮用水处理的有效性。具体增强处理效率及增强作用机制如下：

- (1) MNBs参与混凝过程(MNBs-coagulation)可以增强水中NOM的去除，并使水中DOC含量降低高达27.9%。在连续流实验中，MNB 混凝过程提高了 HA (UV₂₅₄) 去除效率

竞争利益声明

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgment

This study was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (Grants 51978558 and 52000146).

Cited by (6)

- **Continuation of a cleaning process: Application of MNBs-coagulation process to mitigate ultrafiltration membrane fouling**
2024, Water Research
- **Ca²⁺-activated ferrate (VI) to generate reactive species and oxygen for efficient membrane cleaning: Mechanisms and application**
2024, Journal of Membrane Science
- **Study on tetracycline degradation in wastewater based on zero-valent nano iron assisted micro-nano bubbles**
2024, Alexandria Engineering Journal
- **微纳米气泡结合热活化过硫酸盐氧化去除印染废水中溶解性有机物的应用探讨**
2023年，水处理工程学报
- **基于重复压缩方法从纳米囊泡到纳米气泡** ↗
2023，朗缪尔
- **镁和锰混合氧化物的简便合成和表征，用于从水介质中有效去除柠檬黄染料** ↗
2023 年，RSC 进展

简介：一种新颖且更清洁的强化混凝工艺，无需在饮用水处理中使用化学试剂。

[查看全文](#)

© 2022 由爱思唯尔有限公司出版。