

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

不同国家农用地土壤环境标准比较与启示
李勣之, 姜璐, 王国庆, 陈玉东, 龙涛, 林玉锁

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年2月

第43卷 第2期
Vol.43 No.2

目次

综述

- 不同国家农用地土壤环境标准比较与启示 李勛之, 姜蓉, 王国庆, 陈玉东, 龙涛, 林玉锁 (577)
- 再生水水质稳定性评价指标与体系 张馨怡, 魏东斌, 杜宇国 (586)

研究报告

- 兰州市采暖期和非采暖期大气降尘重金属的分布特征及来源 黄文, 王胜利 (597)
- 基于多种新型受体模型的 PM_{2.5} 来源解析对比 王振宇, 李永斌, 郭凌, 宋志强, 许艳玲, 王丰, 梁维青, 史国良, 冯银厂 (608)
- 华中地区夏季 PM_{2.5} 中水溶性离子污染特征及来源分析 苏业旺, 刘威杰, 毛瑶, 程铨, 石明明, 许安, 李星谕, 胡天鹏, 祁士华, 邢新丽 (619)
- 淄博 2021 年元宵节 PM_{2.5} 水溶性离子污染特征 陈巧, 吴丽萍, 徐勃, 张向炎, 李梦辉, 赵雪艳, 杨文 (629)
- 浙江省大气颗粒物 PM_{2.5} 中全氟化合物污染特征分析及健康风险评估 李冰洁, 陈金媛, 刘铮铮, 王静, 何士冲 (639)
- 2001~2019 年气象条件对江苏省 PM_{2.5} 分布的影响 潘晨, 康志明 (649)
- 基于神经网络和数值模型的重点区域 PM_{2.5} 预报比较分析 高愈霄, 汪巍, 黄永海, 王晓彦, 朱媛媛, 朱莉莉, 许荣, 李健军 (663)
- 2015~2020 年海南省臭氧时空变化及其成因分析 符传博, 徐文帅, 丹利, 佟金鹤 (675)
- 济南市城区夏季臭氧污染过程及来源分析 孙晓艳, 赵敏, 申恒青, 刘杨, 杜明月, 张文娟, 许宏宇, 范国兰, 公华林, 李青松, 李大秋, 高晓梅, 张丽娜 (686)
- 山东临沂大气夏季典型时段臭氧污染特征及其控制因素分析 杨雪, 安馨悦, 刘玉启, 江春美, 张鹏程, 李灵婕, 赵世阳, 张书源 (696)
- 基于气团老化程度对挥发性有机物分类改善 PMF 源解析效果 朱玉凡, 陈强, 刘晓, 张瑞欣, 郭文凯 (707)
- 日照市夏季 VOCs 物种空间分布特征及其对臭氧生成的影响 姚维杰, 王大玮, 谢付堂, 朱宏伟, 孟祥宇, 田雨, 刘航, 刘晓咏, 张宇婷, 雷山东, 孙业乐, 吴林, 潘小乐, 王自发 (714)
- 泰山大气卤代烃的长期变化趋势与来源 赵峰, 陈天舒, 董灿, 李洪勇, 刘子璐, 毕于健, 国兆新, 王新锋, 杨凌霄, 王韬, 王文兴, 薛丽坤 (723)
- 典型内燃叉车尾气挥发性有机物与正构烷烃的排放特征 周文钦, 李成, 刘俊文, 朱曼妮, 桂小亮, 余飞, 廖松地, 姜帆, 李光辉, 蒋斌, 郑君瑜 (735)
- 2000~2020 年黄河流域植被时空演化驱动机制 田智慧, 任祖光, 魏海涛 (743)
- 西南喀斯特流域土地利用对河流溶解无机碳及其同位素的影响 徐森, 李思亮, 钟君 (752)
- 生物炭添加对太湖滨岸带土壤氮矿化和淋失特征的影响 熊钰婷, 袁旭音, 周慧华, 高一丹, 汪宜敏 (762)
- 不同降雨条件下北运河河岸带类型对径流污染削减效果的影响 朱利英, 赵凯, 张俊亚, 王春荣, 魏源送 (770)
- 雨源型城市河流污染特征及水质联合评价: 以深圳龙岗河为例 毕业亮, 王华彩, 夏兵, 姜参参, 吴伟业, 李志林, 李诗敏, 宿辉, 白志辉, 徐圣君, 庄绪亮 (782)
- 廊坊市区径流污染时空分布特征及来源解析 潘欣荣, 左剑恶, 张宇, 门聪, 张丽萍, 黄守斌 (795)
- 北运河京津冀段河道浮游微生物群落多样性变化分析 郭芝芝, 苏振华, 邱琰茗, 郭道宇 (803)
- 河北省典型景观水体反硝化菌群落时空分布特征及驱动因素: 以石家庄为例 陈召莹, 张紫薇, 张甜娜, 周石磊, 张艺冉, 董宛佳, 于明会, 张一凡, 张家丰 (813)
- 青海湖流域有色可溶性有机物来源与特征分析 俞晓琴, 孟先强, 吴华武, 陈慧敏, 李宇阳, 朱俊羽, 郭燕妮, 姚磊 (826)
- 鄱阳湖丰枯情景对有色可溶性有机物生物可利用性及收支平衡的影响 郭燕妮, 姚晓龙, 陈慧敏, 俞晓琴, 李宇阳, 朱俊羽, 韩龙飞, 周蕾, 周永强 (837)
- 鄱阳湖沉积物溶解性有机质光谱特征 罗燕清, 万智巍, 晏彩霞, 聂明华, 丁明军, 鞠民, 刘赞 (847)
- 汤逊湖表层沉积物重金属污染与潜在生态风险评价 李星谕, 李朋, 苏业旺, 石明明, 胡天鹏, 毛瑶, 刘力, 张雅, 邢新丽, 祁士华 (859)
- 基于核密度估计的城市基础要素与街尘营养元素含量特征关联 王子娇, 李叙勇 (867)
- 新冠疫情下武汉典型饮用水水源中 DBPs 污染特征与风险评估 张坤峰, 昌盛, 涂响, 付青, 杨光, 樊月婷, 孙兴滨 (878)
- 铁改性石英砂过滤协同控制饮用水含氮消毒副产物和条件致病菌 齐鹏, 胡春, 邢学群, 毕志浩, 李泽松 (887)
- 氮掺杂生物炭催化臭氧对于布洛芬的降解特性与机制 柴铨, 许路, 金鑫, 石炬, 吴晨曦, 金鹏康 (896)
- 环糊精多孔聚合物对水中染料分子的吸附性能及主客效应 赵传靓, 王子婕, 闫仪, 徐慧, 周俊垣, 杨利伟, 王东升 (907)
- 冷冻 PN/A 颗粒污泥快速活化过程中的污泥形态与菌群演化特征分析 黄子恒, 张立, 崔舒惠, 张琦英, 文言, 钱飞跃 (920)
- 不同阳离子聚丙烯酰胺有机脱水剂对污泥脱水性能的影响 冯齐云, 高宝玉, 岳钦艳, 石伟杰, 冯春晖, 周继柱, 王国瑞 (928)
- 云南某矿区小流域土壤重金属健康风险评价 刘洋, 何朝辉, 牛学奎, 张迪, 潘波 (936)
- 山地平原过渡带耕地土壤重金属空间特征及潜在生态风险因素探析 张丁, 黄容, 高雪松 (946)
- 地累积指数法评价多金属环境质量的方法优化探索: 以农业发达地区为例 鞠铁男, 雷梅 (957)
- 西南地质高背景区蔬菜 Pb 的安全生产阈值与土地质量类别划分 穆德苗, 孙约兵 (965)
- 典型锰矿区周边农田土壤-农作物重金属污染特征及生态风险评价 黄钟霆, 易盛炜, 陈贝贝, 彭锐, 石雪芳, 李峰 (975)
- 矿业废弃地不同生态修复模式下植物多样性及重金属富集迁移特征 周鹏飞, 张世文, 罗明, 魏洪斌, 宋强, 方兵, 庄红娟, 陈弘扬 (985)
- 不同种植年限蔬菜大棚土壤特性、重金属累积和生态风险 任强, 孙瑞玲, 郑凯旋, 刘伟丹, 阮心玲, 王洋洋 (995)
- 温室与大田种植方式对胡萝卜生长过程中重金属吸收的影响 曹春, 任丹, 吕贞英, 张鹏, 李锦超, 陈勋文, 王俊坚 (1004)
- 两种淹水模式下施用钝化材料对镉污染农田水稻安全的影响 王港, 余海英, 李廷轩, 唐婵 (1015)
- 复合淋洗条件下农用地耕作层土壤去镉效率及其功能调节 曹坤坤, 张沙沙, 胡学玉, 张敏, 胡晓晓, 王子劲 (1023)
- 产多胺细菌调控根际细菌群落阻控小麦 Cd 吸收效应 李晓哲, 覃善梅, 陈兆进, 张君, 姚伦广, 李娜, 庞发虎, 韩辉 (1031)
- 土壤 *phoC* 和 *phoD* 微生物群落对化肥和有机肥配施生物炭的响应 杨文娜, 余冻, 罗东海, 熊子怡, 王莹燕, 王子芳, 高明 (1040)
- 刺槐林恢复过程中土壤微生物碳降解酶的变化及与碳库组分的关系 李文杰, 张颖皎, 赵雅萍, 许森平, 任成杰, 杨改河, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娟, 韩新辉 (1050)
- 中亚热带不同林龄马尾松林土壤酶学计量特征 焦鹏宇, 郭文, 陈泽龙, 刘先, 胡亚林, 王玉哲 (1059)
- 稻田与旱地土壤中真菌和细菌对秸秆碳的利用特征 邓少虹, 郑小东, 毛婉琼, 陈香碧, 胡亚军, 程爱武, 何寻阳, 苏以荣 (1069)
- 模拟及实际根系分泌物对苤蓝土壤微生物群落的影响 韩博远, 张闻, 胡芳雨, 赵庆庆, 卢媛, 孔学, 吕俊岗 (1077)
- 德兴铜矿区抗生素抗性基因污染特征及其驱动因子 韩柳, 楼倩, 乔敏, 刘梦婷, 钟家有, 丁惠君 (1089)
- 陕西渭北旱塬区农田土壤有机质空间预测方法 尉芳, 刘京, 夏利恒, 徐仲伟, 龙小翠 (1097)
- 长三角农田轮作系统氨排放特征、转化机制和减排潜力 徐昶, 苗文亮, 倪远之, 沈根祥, 钱晓雍, 付侃, 高宗源, 王振旗 (1108)
- 《环境科学》征订启事(618) 信息(685, 935, 956)

不同阳离子聚丙烯酰胺有机脱水剂对污泥脱水性能的影响

冯齐云¹, 高宝玉^{1*}, 岳钦艳¹, 石伟杰², 冯春晖², 周继柱², 王国瑞²

(1. 山东大学环境科学与工程学院, 山东省水环境污染控制与资源化重点实验室, 青岛 266237; 2. 神美科技有限公司, 河间 062450)

摘要: 为了研究不同阳离子聚丙烯酰胺有机脱水剂对污泥脱水性能的影响, 选用市售同系列不同性质的 8 种阳离子聚丙烯酰胺, 基于其阳离子度的不同, 名称分别为 9101、9102、9103、9104、9106、9108、9110 和 9112, 采用仪器和化学分析手段对其性质进行表征, 并研究分析处理后污泥各项指标的变化情况。结果表明, 8 种有机脱水剂的性质各不相同, 电荷密度、阳离子度、黏度和 Zeta 电位具有类似的变化趋势, 均为从 9101 ~ 9112, 上述各项指标值逐渐增加, 9112 的上述 4 种指标分别高达 2.98 meq·L⁻¹、17.42%、85.07 mPa·s 和 67.10 mV。在污泥脱水过程中, 有机脱水剂可通过改变污泥比阻 (SRF)、絮体特性、黏度、污泥颗粒表面 Zeta 电位、结合水含量和胞外聚合物 (EPS) 的分布来改善污泥脱水性能。有机脱水剂性质与污泥脱水性能的关系研究表明, 有机脱水剂的黏度、电荷密度、阳离子度和 Zeta 电位对污泥的脱水性能有较大影响, 其中污泥的 SRF 与有机脱水剂的黏度呈负相关, 其相关系数高达 0.920 25, 表明在污泥脱水处理中, 有机脱水剂主要通过高的分子量发挥吸附架桥作用来改善污泥脱水性能。

关键词: 有机脱水剂; 污泥脱水; 脱水剂性质; 影响因素; 作用机制

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)02-0928-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.202106119

Effect of Different Cationic Polyacrylamide Organic Dehydrating Agents on Sludge Dewatering Performance

FENG Qi-yun¹, GAO Bao-yu^{1*}, YUE Qin-yan¹, SHI Wei-jie², FENG Chun-hui², ZHOU Ji-zhu², WANG Guo-rui²

(1. Shandong Key Laboratory of Water Pollution Control and Resource Reuse, School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Qingdao 266237, China; 2. Smedic Technology Co., Ltd., Hejian 062450, China)

Abstract: To study the effect of different cationic polyacrylamide organic dehydrating agents on sludge dewatering performance, eight commercially available cationic polyacrylamides of the same series with different properties were used. Based on the different cationic degree, they were named 9101, 9102, 9103, 9104, 9106, 9108, 9110, and 9112, respectively. Their properties were characterized by instruments and chemical analysis, and the indexes of sludge after treatment were also measured. The results showed that the properties of the eight organic dehydrants were different, among which the charge density, cationicity, viscosity, and Zeta potential had homologous trends, which all increased gradually from 9101 to 9112. The four indexes of 9112 were as high as 2.98 meq·L⁻¹, 17.42%, 85.07 mPa·s, and 67.10 mV, respectively. The dewatering performance of sludge was improved by improving the specific resistance of filtration (SRF), floc properties, viscosity, Zeta potential, the bound water content, and the distribution of extracellular polymeric substances (EPS) after dosing organic dehydrating agents. The results showed that the viscosity, charge density, cationic degree, and Zeta potential of the dehydrating agents had a great influence on the sludge dewatering performance. The SRF of sludge was negatively correlated with the viscosity of the organic dehydrating agent, and the correlation coefficient was as high as 0.920 25, indicating that the sludge dewatering performance was improved mainly through the adsorption bridging effect of the organic dehydrating agent in sludge dewatering.

Key words: organic dewatering agent; sludge dewatering; dewatering agent property; affecting factors; mechanism

近年来,随着工业化进程的不断推进,污水处理厂的负荷逐渐增加,污水处理成为全球水行业面临的关键挑战^[1]。污水处理厂在各个工艺过程(物理、化学和生物)中产生的废物称为污泥^[2]。污泥中不仅含有难以降解的重金属和持久性有机污染物,而且含水量极高,给后续处理处置造成了极大的困难^[3,4]。污泥处理广泛采用机械脱水的方法,但由于胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS)的亲水性,污泥机械脱水的效率受到了一定的限制^[5,6]。因此有必要在机械脱水前对污泥进行预处理,降低污泥的含水率,以提高污泥脱水效率,节约后续的运输和处理处置成本^[7]。

污泥的脱水处理又分为物理法和化学法^[8]。物理法通常指通过物理方法改变污泥的性质,如高温、冻融和微波处理等^[9~11]。化学法是指添加酸碱、表面活性剂、氧化剂或混凝剂等改变污泥的化学特性^[12~15]。在实际工业应用中,混凝工艺因为其廉价的成本和较高的效率受到了较为广泛的关注^[16]。

在污泥混凝脱水处理过程中,混凝剂的种类在很大程度上决定着污泥脱水效果的好坏^[17]。混凝剂

收稿日期: 2021-06-15; 修订日期: 2021-07-15

作者简介: 冯齐云(1997~),女,硕士研究生,主要研究方向为污泥脱水剂的研发与应用, E-mail: fqy2019@mail.sdu.edu.cn

* 通信作者, E-mail: baoyugao_sdu@aliyun.com

主要分为无机混凝剂(铝盐、铁盐和铝铁的聚合物)、有机絮凝剂(聚丙烯酰胺及其衍生物)和助凝剂(骨架构建体,如粉煤灰等)^[18-20]. 到目前为止,无机混凝剂主要用作污泥的调理剂^[21]. 有机絮凝剂聚丙烯酰胺(polyacrylamide, PAM)及其衍生物主要用作污泥脱水剂使用,其开发应用占据了污泥脱水中的大部分市场^[22]. 一般而言,有机脱水剂主要通过其吸附电中和作用和吸附架桥作用使污泥聚集,从而改善污泥脱水性能,因此,有机脱水剂的分子量、阳离子度和电荷密度等性质将对污泥脱水性能产生较大影响. 但迄今为止,关于有机脱水剂的电荷密度、黏度、阳离子度和 Zeta 电位等性质对污泥脱水性能影响的系统研究还鲜见报道.

因此,本研究选用市售相同系列不同性质的 8 种有机脱水剂,在分析测定其电荷密度、黏度、阳离子度和 Zeta 电位等特性指标的前提下,采用相同

的投加量对剩余污泥进行脱水处理,测定处理后污泥的污泥比阻(specific resistance to filtration, SRF)、泥饼含水率、黏度和絮体特性等指标,研究不同阳离子聚丙烯酰胺有机脱水剂对污泥脱水性能的影响情况.

1 材料与方法

1.1 污泥来源与性质

污泥取自山东大学青岛校区污水处理厂污泥井,该污水处理厂为一体式设计,处理规模 5 100 m³·d⁻¹,采用 A²O 处理工艺,两组模块并行. 污泥自污水处理厂取回后,静置沉淀 12 h 除去上清液,测得含水率和各项指标. 余下污泥放入冰箱于 4℃ 低温储存,并在 4 d 内用完. 进行各项实验前,污泥过 40 目筛,以去除其中的泥沙和大颗粒物. 初始污泥的各项指标如表 1.

表 1 初始污泥性质

Table 1 Properties of raw sludge

项目	含水率/%	SRF × 10 ¹² /m·kg ⁻¹	pH	黏度 /mPa·s	ρ(MLSS) /g·L ⁻¹	ρ(MLVSS) /g·L ⁻¹
参数	98.08 ± 0.20	20.61 ± 7.49	6.80 ± 0.08	678.87 ± 56.45	12.11 ± 1.95	11.68 ± 1.86

1.2 试剂来源与性质

本研究使用的 8 种有机脱水剂为神美科技提供的水处理用固体试剂. 脱水剂为同系列的阳离子 PAM,基于其阳离子度的不同,名称分别为 9101、9102、9103、9104、9106、9108、9110 和 9112. 除阳离子度外,8 种阳离子聚丙烯酰胺还具有不同的电荷密度、Zeta 电位和黏度等.

1.3 实验方法

量取 500 mL 污泥置于 1 L 烧杯中,在 ZR4-6 混凝实验搅拌机(深圳中润公司)上完成所有污泥脱水实验. 混凝实验各阶段操作条件如下:首先在 200 r·min⁻¹下快搅 30 s,使污泥充分混匀;在 30 s 末加药,加药后继续以 200 r·min⁻¹的转速快搅 30 s,使脱水剂与污泥充分混匀;然后在 60 r·min⁻¹下慢搅 3 min. 混凝结束后取污泥样品进行后续指标的测定. 有机脱水剂的投加量均为绝干泥的 1‰~5‰. 取 3‰投加量时测定其结合水含量和 EPS 分布.

1.4 脱水剂表征方法

有机脱水剂的电荷密度采用 PCD-05 颗粒电荷测定仪(德国 BTG 公司)进行测定; Zeta 电位采用 Zetasizer nano(英国马尔文公司)进行测定;黏度采用 NDJ-5S 型黏度计(上海伦捷公司)进行测定;阳离子度采用 GB/T-31246-2014 中的方法进行测定.

1.5 污泥脱水性能指标

1.5.1 污泥比阻的测定

污泥 SRF 采用污泥比阻测定仪进行测定,具体测定方法为:取 100 mL 污泥在 0.05 MPa 的压力下真空过滤,每隔一定时间记录滤液体积,直至过滤满 20 min 或真空被破坏. 泥饼放入 104℃ 的烘箱中干燥 2 h 测定含水率. 根据公式(1)计算得到 SRF 值.

$$SRF = 2pA^2b/\mu C \tag{1}$$

式中, p 为过滤压力(Pa); A 为过滤面积(m²); b 为过滤过程中 t/V 对 V 作直线的斜率,其中 t 为过滤时间(s), V 为滤液体积(mL); μ 为滤液黏度(Pa·s); C 为单位体积污泥产生的滤饼质量(kg),计算公式如下:

$$C = 1 \times \left(\frac{100 - C_i}{C_i} - \frac{100 - C_f}{C_f} \right)^{-1} \tag{2}$$

式中, C_i 为 100 g 污泥中的干污泥量(g); C_f 为 100 g 滤饼中的干污泥量(g).

1.5.2 污泥絮体特性的测定

絮体中位粒径($D_{0.5}$)体现了污泥中絮体粒径的大小,分形维数(D_f)体现了絮体结构的疏松程度. 污泥的絮体特性采用 Mastersizer 3000(英国马尔文公司)进行测定;在持续慢速搅拌(60 r·min⁻¹)的条件下测定粒径大小. 根据散射光强(I)和散射矢量的结果计算 D_f ,三者关系如下:

$$I \propto Q^{-D_f} \quad (3)$$

因此,根据 $\log(I)$ 与 $\log(Q)$ 的拟合直线斜率计算 D_f . 一般认为, D_f 值越小,絮体结构越疏松,反之,絮体结构越紧密.

1.5.3 其它指标的测定

污泥黏度采用 NDJ-5S 型黏度计(上海伦捷公司)进行测定;污泥颗粒表面的 Zeta 电位取离心后污泥的上清液,采用 Zetasizer nano(英国马尔文公司)进行测定;EPS 采用热处理和超声处理相结合的方式提取^[5],提取后采用 F-4500FL 荧光分光光度计(日本 Hitachi 公司)进行分析;结合水含量采用 Q2000 型差示扫描量热仪(美国 TA 公司)进行测定.

2 结果与讨论

2.1 有机脱水剂的性质

8 种市售有机脱水剂的电荷密度、黏度、阳离子度和 Zeta 电位测定结果如图 1 所示. 其中,电荷

密度、Zeta 电位和黏度均为 ρ (有机脱水剂) = $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的结果,阳离子度为根据国标方法测试的结果. 结果表明,不同有机脱水剂的各项指标均有一定的差异. 通过图 1(a) 可以看出,脱水剂 9101 ~ 9112 的电荷密度逐渐增加,由 9101 的 $0.72 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ 增加到 9112 的 $2.98 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$;黏度的变化趋势是先增加后有略微下降,由 9101 的 $23.97 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 逐渐增加到 9108 的 $87.83 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,最后又下降到 9112 的 $85.07 \text{ mPa} \cdot \text{s}$. 从图 1(b) 可知,Zeta 电位和阳离子度也有着相似的趋势,8 种有机脱水剂的 Zeta 电位由 9101 的 15.53 mV 逐渐增加到 9110 的 69.80 mV ,后略微下降至 9112 的 67.10 mV ;而阳离子度呈现一直增加的趋势,由 9101 的 2.17% 增加到 9112 的 17.42% .

2.2 有机脱水剂对污泥脱水性能的影响

不同性质有机污泥脱水剂对污泥的 SRF、泥饼含水率、黏度、污泥颗粒表面 Zeta 电位、絮体特性、结合水含量和 EPS 分布的影响结果如下.

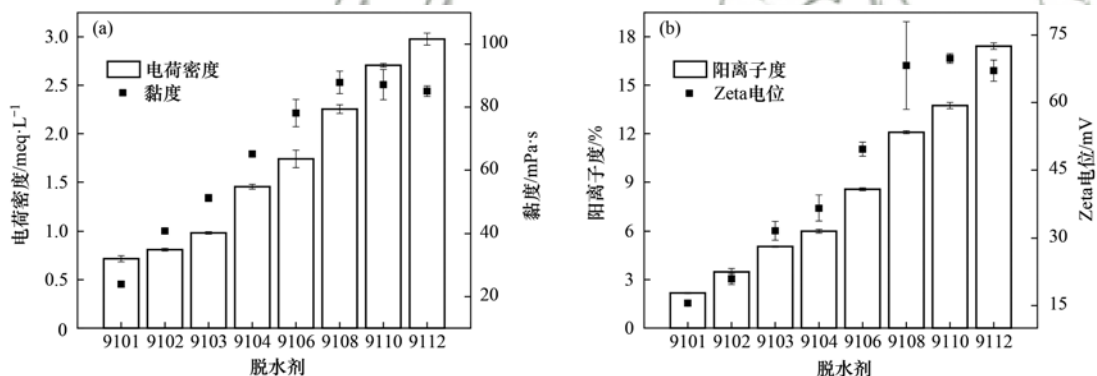


图 1 有机脱水剂的性质

Fig. 1 Properties of organic dewatering agents

2.2.1 有机脱水剂对污泥比阻的影响

不同性质有机脱水剂对污泥 SRF 和泥饼含水率的影响如图 2 所示. 结果表明,随着有机脱水剂投加量的增加,SRF 和泥饼含水率先降低后保持不变. 这是因为污泥胶体粒子带负电荷,有机脱水剂携带的正电荷会中和污泥表面的负电荷,使污泥胶体脱稳形成絮体,改善污泥脱水性能. 当有机脱水剂投加量达到最佳时,污泥表面的负电荷可被完全中和而接近等电点,此时污泥的 SRF 值最低,其脱水性能最好;继续投加脱水剂,污泥脱水性能反而出现一定程度的恶化. 这是因为过量投加的有机脱水剂会使体系带有相反电荷,不利于污泥脱水性能的改善^[23].

从 SRF 的结果来看[图 2(a)],从 9101 到 9112,有机脱水剂对 SRF 的改善效果逐渐增强,投加量为 4‰ 时,SRF 的改善率由 9101 的 82.36% 逐

渐增加至 9110 的 96.97%,随后又略微下降至 9112 的 94.70%. 投加 5‰ 的 9108、9110 和 9112 后,污泥脱水性能出现了恶化,说明此时投加量已过量. 泥饼含水率的结果[图 2(b)]表明,经 9108、9110 和 9112 脱水处理后的污泥含水率较低,投加量为 4‰ 时,泥饼含水率可由原泥的 91.83% 降低至 83% 左右.

2.2.2 有机脱水剂对污泥絮体特性的影响

不同性质有机脱水剂对污泥絮体特性的影响如图 3. 结果表明,有机脱水剂投加量在 1‰ ~ 5‰ 的范围内,不同性质脱水剂处理后污泥絮体的 $D_{0.5}$ 和 D_f 呈现出了相似的趋势,即随着有机脱水剂投加量的增加, $D_{0.5}$ 先增大后保持相对稳定, D_f 先增大后略微下降. 一般而言,较小的絮体会堵塞泥饼中的疏水通道,导致污泥脱水时过滤阻力增大,不利于改善污泥脱水性能. D_f 表示了絮体结构的疏松程度,其值越大表明絮体越密实. 密实的絮体可以形成更加紧

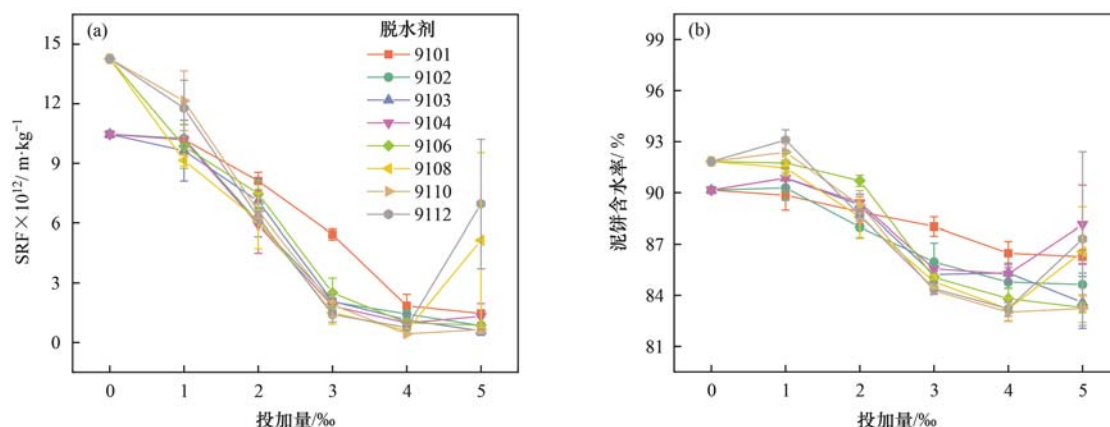


图2 不同有机脱水剂对 SRF 和泥饼含水率的影响

Fig. 2 Effect of different organic dewatering agents on SRF and moisture content of sludge cake

密的疏水通道,且相互之间的作用也会更加紧密,从而减少了絮体相对运动的可能性^[24].

不同有机脱水剂处理后污泥絮体的 $D_{0.5}$ 结果表明[图 3(a)],投加 9112 后,可使 $D_{0.5}$ 由原来的 294.45 μm 增长到 1 744.78 μm ,增长幅度可达 492.55%;而投加 9101 后 $D_{0.5}$ 由原来的 410.11

μm 最高仅增长到 1 442.27 μm ,增长幅度仅为 251.68%,这说明脱水剂的性质对污泥絮体粒径有较大的影响.不同性质有机脱水剂处理后污泥的絮体 D_f 结果表明[图 3(b)],9108 和 9112 均能有效改善污泥絮体的结构,最高分别使 D_f 增加了 63.27% 和 72.28%.

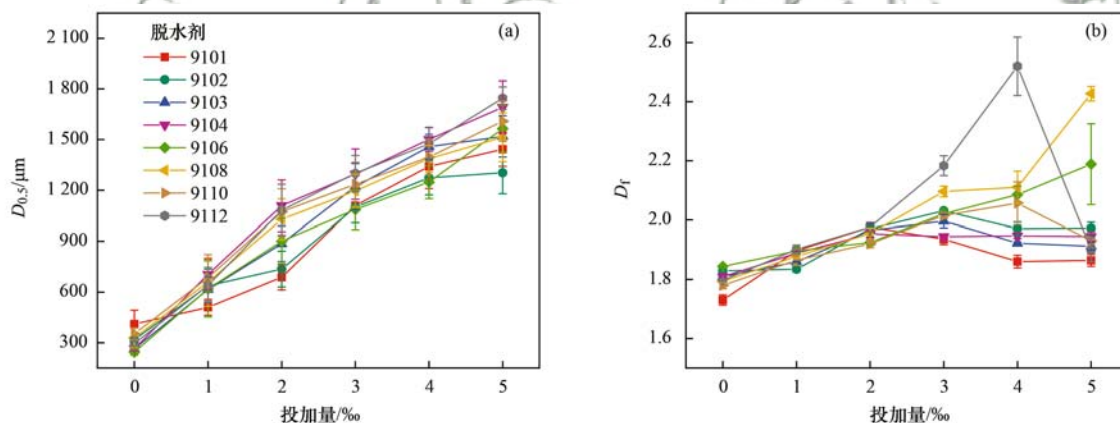


图3 不同有机脱水剂对絮体特性的影响

Fig. 3 Effect of different organic dewatering agents on floc properties

2.2.3 有机脱水剂对污泥黏度、污泥颗粒表面 Zeta 电位的影响

不同性质有机脱水剂对污泥黏度、污泥颗粒表面 Zeta 电位的影响如图 4 所示.结果表明,当有机脱水剂投加量在 1‰~5‰ 的范围内,不同性质污泥脱水剂处理后污泥黏度和污泥颗粒表面 Zeta 电位呈现出了相似的趋势,即随着有机脱水剂投加量的增加,污泥黏度逐渐减小,后有略微上升;污泥颗粒表面 Zeta 电位逐渐增大.污泥黏度与污泥脱水性能密切相关,黏度越大,表明絮体之间的作用力越大,污泥的脱水性能越差^[25].污泥黏度在有机脱水剂投加量 3‰~4‰ 时达到最低,说明在此投加量下,有机脱水剂对污泥脱水性能有较好的改善作用.投加有机污泥脱水剂会使污泥颗粒表面的 Zeta 电位值

有所上升,甚至出现由负变正的情况,这是因为有机脱水剂带有大量的正电荷,在污泥脱水过程中,有机脱水剂发挥电中和作用,使污泥颗粒表面的 Zeta 电位上升^[26].

不同性质有机脱水剂处理后污泥的黏度结果表明[图 4(a)],有机脱水剂 9108、9110 和 9112 在投加量为 3‰ 时就能使污泥黏度降到较低的水平,而其余 5 种有机脱水剂则需投加 4‰ 才能达到相近的处理效果.从污泥颗粒表面的 Zeta 电位结果来看[图 4(b)],在有机脱水剂投加量为 3‰ 时,8 种脱水剂处理后污泥颗粒表面的 Zeta 电位不相上下,均为 -7.00 mV 左右,但经 9108、9110 和 9112 处理后污泥的脱水性能较好,说明这 3 种脱水剂除了有着较强的电中和能力,还能发挥较强的吸附架桥作用.

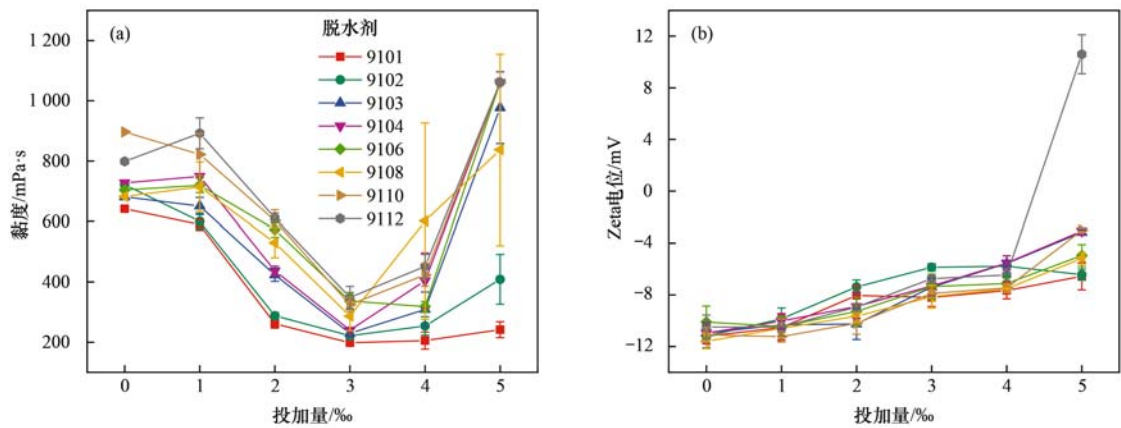


图 4 不同有机脱水剂对污泥黏度和污泥颗粒表面 Zeta 电位的影响

Fig. 4 Effect of different organic dewatering agents on viscosity and Zeta potential of sludge

2.2.4 有机脱水剂对污泥水分分布的影响

为了研究不同性质有机脱水剂对污泥水分分布的影响,在投加 3‰脱水剂后测定污泥总水分含量和结合水含量,结果如表 2.

表 2 不同有机脱水剂对污泥水分分布的影响

Table 2 Effect of different organic dewatering agents on water distribution

脱水剂	ω (总水分)/%	结合水含量(以绝干泥计) $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
9101	93.59	1.75
9102	93.18	1.82
9103	92.78	0.88
9104	92.86	0.93
9106	93.36	0.70
9108	93.42	0.87
9110	93.86	1.84
9112	93.50	1.19

结果表明,不同脱水剂处理后污泥的水分分布各不相同.在 8 种有机脱水剂中,9106 和 9108 处理后污泥的结合水含量较低,是 9101 处理后污泥结合水含量的 40.00% 和 49.71%.从结果来看,污泥结合水含量与污泥 SRF 结果具有明显的差异性,说明

有机脱水剂并不是通过破坏结合水来改善污泥脱水性能.但经不同有机脱水剂处理后污泥的结合水含量略有不同,说明一定量的有机脱水剂可以影响污泥的内部结构,使结合水转化成自由水,提高污泥脱水性能.

2.2.5 有机脱水剂对污泥 EPS 分布的影响

为了研究不同性质有机脱水剂对污泥 EPS 分布的影响,在投加 3‰脱水剂后测定污泥中 EPS 分布,具体结果如表 3.

结果表明,不同有机脱水剂处理后污泥的 EPS 分布有一定的差异.从类蛋白质物质(Peak A, 280/335)和芳香族蛋白(Peak B, 230/335)的峰强度来看,投加有机脱水剂会使紧密结合型 EPS(TB-EPS)中的蛋白类物质减少,而使疏松结合型 EPS(LB-EPS)和溶解性 EPS(S-EPS)中的蛋白类物质增多,这说明有机脱水剂的加入可以使 TB-EPS 中的物质转移到 LB-EPS 和 S-EPS 中,从而改善污泥脱水性能.在 8 种有机脱水剂中,9108 对 TB-EPS 中物质的减少作用最为明显,两类蛋白类物质的峰强度分别由原泥的 3 178.0 和 1 987.0 降低至 1 343.0 和 937.7.

表 3 不同有机脱水剂对污泥 EPS 分布的影响

Table 3 Effect of different organic dewatering agents on EPS distribution

脱水剂	峰强度					
	S-EPS		LB-EPS		TB-EPS	
	Peak A	Peak B	Peak A	Peak B	Peak A	Peak B
原泥	159.0	210.3	78.9	112.6	3 178.0	1 987.0
9101	284.5	212.2	244.0	108.7	3 151.0	1 134.0
9102	289.8	215.3	220.4	69.4	3 053.0	1 824.0
9103	272.7	238.1	255.4	67.5	3 862.0	3 000.0
9104	220.6	213.8	225.2	63.3	3 606.0	1 654.0
9106	154.0	254.3	313.7	228.1	3 092.0	721.6
9108	166.3	232.4	295.8	412.4	1 343.0	937.7
9110	176.0	249.2	290.0	184.4	4 175.0	2 936.0
9112	164.9	258.2	343.1	248.9	3 302.0	831.2

2.3 有机脱水剂性质与污泥脱水性能的关系

为了研究有机脱水剂的性质与处理后污泥脱水性能之间的关系,采用投加量 4‰ 时的 SRF 值,与有机脱水剂的各项特性指标作线性拟合,具体结果如图 5 所示。

结果表明,有机脱水剂的各项指标均与处理后污泥的脱水性能有一定的关系。从图 5 可知,污泥 SRF 值与脱水剂的电荷密度、Zeta 电位、黏度和阳离子度均呈现负相关关系,且相关系数分别为 0.756 11、0.881 89、0.920 25 和 0.712 44,即脱水剂电荷密度、Zeta 电位、黏度和阳离子度越高,

处理后污泥的 SRF 值越小,污泥脱水性能越好。对于电荷密度、Zeta 电位和阳离子度来说,较高的值表明有机脱水剂电性较高,即能发挥较强的电中和作用^[27]。而污泥 SRF 值与脱水剂黏度的关系表明,脱水剂也会通过高的分子量发挥强的吸附架桥作用^[28,29]。在上述 4 种特性指标中,SRF 与有机脱水剂黏度的相关系数高达 0.920 25,表明在有机脱水剂的污泥处理过程中,吸附架桥作用对于污泥脱水性能的影响要大于电中和作用,但总体来看,两种作用相辅相成,共同改善了污泥的脱水性能。

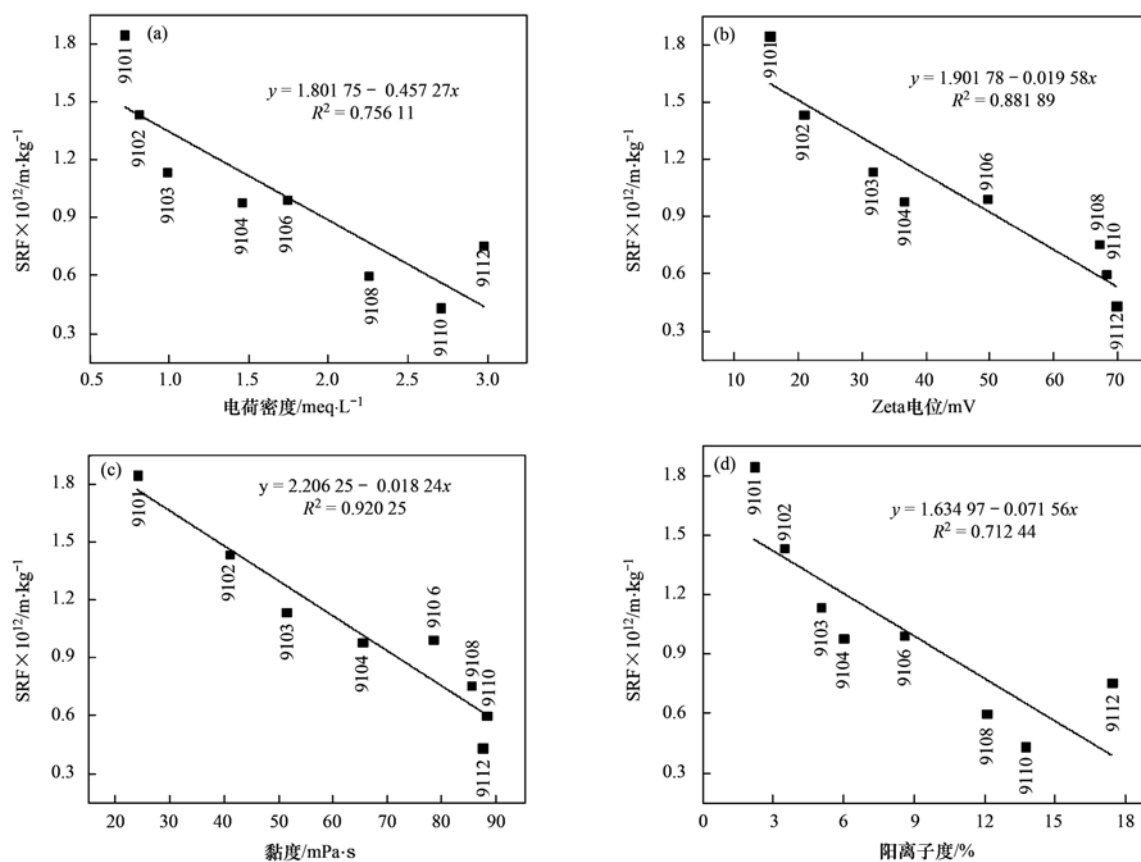


图 5 有机脱水剂性质与处理后污泥 SRF 的关系

Fig. 5 Relationship between property of organic dewatering agent and SRF of treated sludge

3 结论

(1) 8 种有机脱水剂具有不同的性质,电荷密度、Zeta 电位、黏度和阳离子度均由 9101 ~ 9112 逐渐增加。

(2) 不同性质有机脱水剂处理后污泥的脱水性能各不相同。有机脱水剂是通过电中和作用和吸附架桥作用改变污泥的 SRF、絮体特性、黏度和污泥颗粒表面 Zeta 电位来改善污泥脱水性能的。除此之外,有机脱水剂还能破坏污泥的结合水,转移 TB-EPS 中的物质使污泥易于脱水。

(3) 有机脱水剂性质对污泥脱水性能具有不同

的影响。在有机脱水剂的性质指标中,电荷密度、阳离子度、黏度和 Zeta 电位均与处理后污泥 SRF 值呈负相关关系。其中,污泥 SRF 值与有机脱水剂黏度的相关系数高达 0.920 25,表明在污泥脱水处理中,有机脱水剂的吸附架桥作用起了主导作用。而污泥 SRF 值与有机脱水剂电荷密度、阳离子度和 Zeta 电位的相关系数均在 0.75 以上,说明电中和作用也在污泥脱水过程中起了重要作用。

(4) 在污泥脱水的实际应用中,建议选择黏度大的阳离子聚丙烯酰胺脱水剂,以发挥较强的吸附架桥作用。在本文选用的 8 种阳离子聚丙烯酰胺脱水剂中,9108、9110 和 9112 的应用性能较强。阳离

子聚丙烯酰胺的投加量尽量选择 2‰~3‰,最高不宜超过 4‰。

参考文献:

- [1] 姜媛媛, 王彦, 段文焱, 等. 市政污泥热解过程中重金属迁移特性及环境效应评估[J]. 环境科学, 2021, **42**(6): 2966-2974.
- Jiang Y Y, Wang Y, Duan W Y, *et al.* Migration and environmental effects of heavy metals in the pyrolysis of municipal sludge[J]. Environmental Science, 2021, **42**(6): 2966-2974.
- [2] Chen C T, Zhang T, Lv L, *et al.* Destroying the structure of extracellular polymeric substance to improve the dewatering performance of waste activated sludge by ionic liquid[J]. Water Research, 2021, **199**, doi: 10.1016/j.watres.2021.117161.
- [3] Yesil H, Molaey R, Calli B, *et al.* Extent of bioleaching and bioavailability reduction of potentially toxic heavy metals from sewage sludge through pH-controlled fermentation[J]. Water Research, 2021, **201**, doi: 10.1016/j.watres.2021.117303.
- [4] Cao B D, Zhang T, Zhang W J, *et al.* Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: A critical review[J]. Water Research, 2021, **189**, doi: 10.1016/j.watres.2020.116650.
- [5] Ruan S Y, Deng J, Cai A H, *et al.* Improving dewaterability of waste activated sludge by thermally-activated persulfate oxidation at mild temperature[J]. Journal of Environmental Management, 2021, **281**, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111899.
- [6] Zhang W J, Tang M Y, Li D D, *et al.* Effects of alkalinity on interaction between EPS and hydroxy-aluminum with different speciation in wastewater sludge conditioning with aluminum based inorganic polymer flocculant[J]. Journal of Environmental Sciences, 2021, **100**(2): 257-268.
- [7] Wang M Q, Wu Y, Yang B R, *et al.* Comparative study of the effect of rice husk-based powders used as physical conditioners on sludge dewatering[J]. Scientific Reports, 2020, **10**(1), doi: 10.1038/s41598-020-74178-7.
- [8] 袁悦, 谭学军, 郑舍予. 基于有机物释放和经济性的污泥预处理方法评价[J]. 环境科学, 2019, **40**(7): 3216-3222.
- Yuan Y, Tan X J, Zheng S Y. Evaluation of organic matter release and economy for various pretreatments of sewage sludge[J]. Environmental Science, 2019, **40**(7): 3216-3222.
- [9] Deng W Y, Ma J C, Xiao J M, *et al.* Orthogonal experimental study on hydrothermal treatment of municipal sewage sludge for mechanical dewatering followed by thermal drying[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, **209**: 236-249.
- [10] Wu Y J, Xu Y, Zhang X D, *et al.* Experimental study on treating landfill sludge by preconditioning combined with vacuum preloading: Effects of freeze-thaw and FeCl₃ preconditioning[J]. Science of the Total Environment, 2020, **747**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141092.
- [11] Wang S S, Han Y L, Lu X Q, *et al.* Microbial mechanism underlying high methane production of coupled alkali-microwave-H₂O₂-oxidation pretreated sewage sludge by in-situ bioelectrochemical regulation[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, **305**, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127195.
- [12] Chen N, Tao S Y, Xiao K K, *et al.* A one-step acidification strategy for sewage sludge dewatering with oxalic acid[J]. Chemosphere, 2020, **238**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124598.
- [13] He D Q, Chen J Y, Bao B, *et al.* Optimizing sludge dewatering with a combined conditioner of Fenton's reagent and cationic surfactant[J]. Journal of Environmental Sciences, 2020, **88**: 21-30.
- [14] 张斯玮, 梁嘉林, 黄锦佳, 等. 缺氧酸化联合零价铁-过氧化氢改善污泥脱水性能的研究[J]. 环境科学学报, 2019, **39**(3): 780-789.
- Zhang S W, Liang J L, Huang J J, *et al.* Effect of anoxic acidification combined with ZVI-H₂O₂ conditioning on sludge dewaterability[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, **39**(3): 780-789.
- [15] Ranjbar F, Karrabi M, Danesh S, *et al.* Improvement of wastewater sludge dewatering using Ferric Chloride, Aluminum Sulfate and Calcium Oxide (experimental investigation and descriptive statistical analysis)[J]. Water Environment Research, 2021, **93**(7): 1138-1149.
- [16] 贺明星, 程文, 任杰辉, 等. 草酸、壳聚糖与 CaO 联合调理对污泥脱水性能的影响[J]. 中国环境科学, 2020, **40**(7): 3029-3036.
- He M X, Cheng W, Ren J H, *et al.* Effects of dewatering performance of sludge under the co-conditioning of oxalic acid, chitosan and CaO[J]. China Environmental Science, 2020, **40**(7): 3029-3036.
- [17] Liu Y Z, Zheng H L, Sun Y J, *et al.* Synthesis of novel chitosan-based flocculants with amphiphilic structure and its application in sludge dewatering: Role of hydrophobic groups[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, **249**, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119350.
- [18] 王晓萌, 王鑫, 杨明辉, 等. 铝、铁、钛 3 种金属盐基混凝剂调理污泥的性能比较[J]. 环境科学, 2018, **39**(5): 2274-2282.
- Wang X M, Wang X, Yang M H, *et al.* Sludge conditioning performance of polyaluminum, polyferric, and titanium xerogel coagulants[J]. Environmental Science, 2018, **39**(5): 2274-2282.
- [19] Chen X D, Wang D F, Wang S, *et al.* Synthesis and dewatering properties of cellulose derivative-grafting DMC amphoteric biodegradable flocculants[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2021, **29**(2): 565-575.
- [20] 郭俊元, 文小英, 羊润锦, 等. 玉米秸秆生物炭改善污泥脱水性能[J]. 中国环境科学, 2019, **39**(8): 3316-3322.
- Guo J Y, Wen X Y, Yang R J, *et al.* Preparation of corn stalks biochar and improvement of dewatering performance of sludge[J]. China Environmental Science, 2019, **39**(8): 3316-3322.
- [21] Yang P, Li D D, Zhang W J, *et al.* Flocculation-dewatering behavior of waste activated sludge particles under chemical conditioning with inorganic polymer flocculant: Effects of typical sludge properties[J]. Chemosphere, 2019, **218**: 930-940.
- [22] Wu W, Ma J X, Xu J, *et al.* Mechanistic insights into chemical conditioning by polyacrylamide with different charge densities and its impacts on sludge dewaterability[J]. Chemical Engineering Journal, 2021, **410**, doi: 10.1016/j.cej.2021.128425.
- [23] Wu W, Zhou Z, Chen L Y, *et al.* Conditioning for excess sludge and ozonized sludge by ferric salt and polyacrylamide: Orthogonal optimization, rheological characteristics and floc properties[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, **373**: 1081-1090.
- [24] Dai Q X, Ma L P, Ren N Q, *et al.* Investigation on extracellular polymeric substances, sludge flocs morphology, bound water release and dewatering performance of sewage sludge under pretreatment with modified phosphogypsum[J]. Water Research, 2018, **142**: 337-346.
- [25] Zhang X Q, Zeng H Y, Wang Q, *et al.* Sludge predation by aquatic worms: Physicochemical characteristics of sewage sludge

- and implications for dewaterability [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, **258**, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120612.
- [26] Li Y T, Yu X Y, Zhang S T, *et al.* Influences of K^+ , Ca^{2+} , and Al^{3+} on electrokinetic process and conductive mechanism of sludge electro-dewatering [J]. Environmental Research, 2021, **198**, doi: 10.1016/j.envres.2021.111222.
- [27] Hu P, Zhuang S H, Shen S H, *et al.* Dewaterability of sewage sludge conditioned with a graft cationic starch-based flocculant: Role of structural characteristics of flocculant [J]. Water Research, 2021, **189**, doi: 10.1016/j.watres.2020.116578.
- [28] Zhao Q J, Evans C M. Effect of molecular weight on viscosity scaling and ion transport in linear polymerized ionic liquids [J]. Macromolecules, 2021, **54**(7): 3395-3404.
- [29] Wu P, Yi J X, Feng L, *et al.* Microwave assisted preparation and characterization of a chitosan based flocculant for the application and evaluation of sludge flocculation and dewatering [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, **155**: 708-720.

《环境科学》连续 10 次荣获 “中国最具国际影响力学术期刊”称号

2021 年 12 月 6 日,中国学术期刊(光盘版)电子杂志社(CNKI)等机构发布“2021 中国最具国际影响力学术期刊”评选结果。《环境科学》荣获“2021 中国最具国际影响力学术期刊”称号,是唯一入选的环境科学与资源科学类中文期刊,也是自首次评选以来连续 10 次获此殊荣。评选以期刊国际影响力指数进行排序,遴选出排名前 5% (Top5%) 的期刊获评“中国最具国际影响力学术期刊”。

环境科学

CONTENTS

A Comparative Study of Soil Environmental Standards for Agricultural Land Among Different Countries and Its Implication for China	LI Xu-zhi, JIANG Rong, WANG Guo-qing, <i>et al.</i> (577)
Evaluation Parameters and System for Reclaimed Water Quality Stability	ZHANG Xin-yi, WEI Dong-bin, DU Yu-guo (586)
Distribution Characteristics and Sources of Heavy Metals in Atmospheric Deposition During Heating and Non-heating Period in Lanzhou	HUANG Wen, WANG Sheng-li (597)
PM _{2.5} Source Apportionment Based on a Variety of New Receptor Models	WANG Zhen-yu, LI Yong-bin, GUO Ling, <i>et al.</i> (608)
Characteristics and Source Analysis of Water-soluble Inorganic Pollution in PM _{2.5} During Summer in Central China	SU Ye-wang, LIU Wei-jie, MAO Yao, <i>et al.</i> (619)
Pollution Characteristics of Water-soluble Ions in PM _{2.5} During the Lantern Festival of 2021 in Zibo City	CHEN Qiao, WU Li-ping, XU Bo, <i>et al.</i> (629)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Perfluorinated Compounds in PM _{2.5} in Zhejiang Province	LI Bing-jie, CHEN Jin-yuan, LIU Zheng-zheng, <i>et al.</i> (639)
Impact of Meteorological Conditions on PM _{2.5} in Jiangsu Province from 2001 to 2019	PAN Chen, KANG Zhi-ming (649)
Comparison and Analysis of PM _{2.5} Forecast in Key Areas Based on the Neural Network Model and Numerical Model	GAO Yu-xiao, WANG Wei, HUANG Yong-hai, <i>et al.</i> (663)
Temporal and Spatial Variations in Ozone and Its Causes over Hainan Province from 2015 to 2020	FU Chuan-bo, XU Wen-shuai, DAN Li, <i>et al.</i> (675)
Ozone Formation and Key VOCs of a Continuous Summertime O ₃ Pollution Event in Ji'nan	SUN Xiao-yan, ZHAO Min, SHEN Heng-qing, <i>et al.</i> (686)
Pollution Characteristic and Control Factor Analysis of Atmospheric Ozone During Summer Typical Periods in Linyi, Shandong	YANG Xue, AN Xin-yue, LIU Yu-qi, <i>et al.</i> (696)
Improved Performance of PMF Source Apportionment for Volatile Organic Compounds Based on Classification of VOCs' Aging Degree in Air Mass	ZHU Yu-fan, CHEN Qiang, LIU Xiao, <i>et al.</i> (707)
Spatial Distribution Characteristics of VOCs and Its Impact on Ozone Formation Potential in Rizhao City in Summer	YAO Wei-jie, WANG Da-wei, XIE Fu-ying, <i>et al.</i> (714)
Long-term Trends and Sources of Atmospheric Halocarbons at Mount Taishan, Northern China	ZHAO Feng, CHEN Tian-shu, DONG Can, <i>et al.</i> (723)
Emission Characteristics of VOCs and <i>n</i> -alkanes from Diesel Forklifts	ZHOU Wen-qin, LI Cheng, LIU Jun-wen, <i>et al.</i> (735)
Driving Mechanism of the Spatiotemporal Evolution of Vegetation in the Yellow River Basin from 2000 to 2020	TIAN Zhi-hui, REN Zu-guang, WEI Hai-tao (743)
Effects of Land Use on Riverine Dissolved Inorganic Carbon (DIC) and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in a Karst River Basin, Southwestern China	XU Sen, LI Si-liang, ZHONG Jun (752)
Effects of Biochar Addition on Soil Nitrogen Mineralization and Leaching Characteristics in Riparian Zone of Taihu Lake	XIONG Yu-ting, YUAN Xu-yin, ZHOU Hui-hua, <i>et al.</i> (762)
Impacts of Riparian Buffer Zone Type on Reduction in Runoff Pollution in the North Canal River Under Different Rainfall Events	ZHU Li-ying, ZHAO Kai, ZHANG Jun-ya, <i>et al.</i> (770)
Pollution Characterization and Comprehensive Water Quality Assessment of Rain-source River: A Case Study of the Longgang River in Shenzhen	BI Ye-liang, WANG Hua-cai, XIA Bing, <i>et al.</i> (782)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Source Apportionment of Runoff Pollution in Langfang City	PAN Xin-rong, ZUO Jian-e, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (795)
Analysis on Diversity of Plankton Microbial Community in the Beijing-Tianjin-Hebei Section of the North Canal River	GUO Zhi-zhi, SU Zhen-hua, DI Yan-ming, <i>et al.</i> (803)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Driving Factors of Denitrification Bacterial Community Structure from Landscape Water in Hebei Province: Taking Shijiazhuang as Example	CHEN Zhao-ying, ZHANG Zi-wei, ZHANG Tian-na, <i>et al.</i> (813)
Source and Optical Dynamics of Chromophoric Dissolved Organic Matter in the Watershed of Lake Qinghai	YU Xiao-qin, MENG Xian-qiang, WU Hua-wu, <i>et al.</i> (826)
Influences of Hydrological Scenarios on the Bioavailability, Fate, and Balance of Chromophoric Dissolved Organic Matter in Lake Poyang	GUO Yan-ni, YAO Xiao-long, CHEN Hui-min, <i>et al.</i> (837)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter in Sediments from Poyang Lake	LUO Yan-qing, WAN Zhi-wei, YAN Cai-xia, <i>et al.</i> (847)
Pollution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Tangxun Lake	LI Xing-yu, LI Peng, SU Ye-wang, SHI Ming-ming, <i>et al.</i> (859)
Identifying Relationship Between Nutrient Contents in Road-Deposited Sediment and Urban Basic Elements Based on Kernel Density Estimation	WANG Zi-qiao, LI Xu-yong (867)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of DBPs in Typical Drinking Water Sources in Wuhan Under the COVID-19 Pandemic	ZHANG Kun-feng, CHANG Sheng, TU Xiang, <i>et al.</i> (878)
Synergistic Control of Nitrogenous Disinfection By-products and Opportunistic Pathogens in Drinking Water by Iron-Modified Quartz Sand Filtration	QI Peng, HU Chun, XING Xue-ci, <i>et al.</i> (887)
Degradation Characteristics and Mechanism of Ibuprofen by Ozone Catalyzed by Nitrogen-Doped Biochar	CHAI Cheng, XU Lu, JIN Xin, <i>et al.</i> (896)
Adsorption Properties and Host-guest Effects of Porous Cyclodextrin Polymers for Dye Molecules in Water	ZHAO Chuan-liang, WANG Zi-jie, YAN Yi, <i>et al.</i> (907)
Characterization of Sludge Morphology and Bacterial Community Evolution in the Rapid Activation of Freeze-stored PV/A Granular Sludge	HUANG Zi-heng, ZHANG Li, CUI Shu-hui, <i>et al.</i> (920)
Effect of Different Cationic Polyacrylamide Organic Dehydrating Agents on Sludge Dewatering Performance	FENG Qi-yun, GAO Bao-yu, YUE Qin-yan, <i>et al.</i> (928)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in a Small Watershed of a Mining Area in Yunnan	LIU Yang, HE Zhao-hui, NIU Xue-kui, <i>et al.</i> (936)
Spatial Characteristics and Potential Ecological Risk Factors of Heavy Metals in Cultivated Land in the Transition Zone of a Mountain Plain	ZHANG Ding, HUANG Rong, GAO Xue-song (946)
Geo-accumulation Index Method to Optimize the Evaluation Method of Polymetallic Environment Quality: Taking Developed Agricultural Areas as an Example	JU Tie-nan, LEI Mei (957)
Safety Production Threshold and Land Quality Classification of Vegetable Pb in High Geological Background Area of Southwest China	MU De-miao, SUN Yue-bing (965)
Pollution Properties and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils and Crops Around a Typical Manganese Mining Area	HUANG Zhong-ting, YI Sheng-wei, CHEN Bei-bei, <i>et al.</i> (975)
Characteristics of Plant Diversity and Heavy Metal Enrichment and Migration Under Different Ecological Restoration Modes in Abandoned Mining Areas	ZHOU Peng-fei, ZHANG Shi-wen, LUO Ming, <i>et al.</i> (985)
Soil Properties, Heavy Metal Accumulation, and Ecological Risk in Vegetable Greenhouses of Different Planting Years	REN Qiang, SUN Rui-ling, ZHENG Kai-xuan, <i>et al.</i> (995)
Effects of Greenhouse and Open-field Cultivation on Heavy Metal Uptake During Carrot Growth	CAO Chun, REN Dan, LÜ Zhen-ying, <i>et al.</i> (1004)
Effects of Different Amendments on Cadmium Accumulation in Rice Safety in Cadmium-Contaminated Farmland Under Two Flooding Treatments	WANG Gang, YU Hai-ying, LI Ting-xuan, <i>et al.</i> (1015)
Effect of Composite Leaching on Cadmium Removal Efficiency in Plow Layer Soil of Agricultural Land and Its Functional Regulation	CAO Kun-kun, ZHANG Sha-sha, HU Xue-yu, <i>et al.</i> (1023)
Polyamine-producing Bacteria Regulated the Community Structure of Rhizosphere Bacteria and Reduced the Absorption of Cd in Wheat	LI Xiao-zhe, QIN Shan-mei, CHEN Zhao-jin, <i>et al.</i> (1031)
Responses of Soil <i>PhoC</i> and <i>PhoD</i> Gene Microbial Communities to the Combined Application of Biochar with Chemical Fertilizers and Organic Fertilizers	YANG Wen-na, YU Luo, LUO Dong-hai, <i>et al.</i> (1040)
Changes in Soil Microbial Carbon-Degrading Enzymes and Their Relationships with Carbon Pool Components During the Restoration Process of <i>Robinia pseudoacacia</i>	LI Wen-jie, ZHANG Zhen-jiao, ZHAO Ya-ping, <i>et al.</i> (1050)
Soil Enzyme Stoichiometric Characteristics of <i>Pinus massoniana</i> Plantations at Different Stand Ages in Mid-subtropical Areas	JIAO Peng-yu, GUO Wen, CHEN Ze-long, <i>et al.</i> (1059)
Characteristics of Microbial Utilization for Crop Residue-Derived C in Paddy and Upland Soils	DENG Shao-hong, ZHENG Xiao-dong, MAO Wan-qiong, <i>et al.</i> (1069)
Influence of Artificial Root Exudates and Actual Root Exudates on the Microbial Community in Pyrene-contaminated Soil	HAN Bo-yuan, ZHANG Wen, HU Fang-yu, <i>et al.</i> (1077)
Pollution Characteristics and Driving Factors of Antibiotic Resistance Genes in Dexing Copper Mine	HAN Liu, LOU Qian, QIAO Min, <i>et al.</i> (1089)
Spatial Prediction Method of Farmland Soil Organic Matter in Weiwei Dryland of Shaanxi Province	WEI Fang, LIU Jing, XIA Li-heng, <i>et al.</i> (1097)
Emission Characteristics, Transformation Mechanism, and Reduction Potential of Ammonia Emissions from a Crop Rotation System in Yangtze River Delta	XU Chang, MIAO Wen-liang, NI Yuan-zhi, <i>et al.</i> (1108)