

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第5期

Vol.38 No.5

**2017**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

南京工业区分冬季二次有机气溶胶浓度估算及来源解析 ..... 刘静达,安俊琳,张玉欣,师远哲,林旭 (1733)

南京北郊大气细粒子在人体呼吸系统沉积特性 ..... 梁静舒,安俊琳,王红磊,张玉欣,王俊秀,施双双,王潇 (1743)

广西北海涠洲岛春季大气颗粒物浓度特征及影响因素 ..... 高元官,张凯,王体健,陈志明,耿红,孟凡 (1753)

神农架大九湖大气中的多环芳烃 ..... 金梦云,邢新丽,柯艳萍,郑煌,胡天鹏,孙焰,丁洋,李绘,张泽洲,祁士华 (1760)

沧州市春季 NMHCs 空间分布特征 ..... 段菁春,周雪明,张鹤丰,谭吉华,胡京南,柴发合 (1769)

北京市民用燃煤烟气中气态污染物排放特征 ..... 梁云平,张大伟,林安国,马召辉,邹晓东 (1775)

生活垃圾堆肥设施 VOCs 排放特征及臭氧生成潜势分析 ..... 邵珠泽,郑国砥,王元刚,高定,朱彦莉,陈同斌,聂二旗 (1783)

低温等离子体对复合 CVOCs 的降解特性 ..... 姜理英,张迪,郭海倩,缪晶晶,陈怡伶,李慧 (1792)

运城市道路扬尘化学组成特征及来源分析 ..... 武媛媛,李如梅,彭林,端允,王海京,李颖慧,白慧玲,牟玲 (1799)

高架道路周边建筑物灰尘重金属污染风险:以常州市为例 ..... 姚静波,王明新,齐今笛,孙向武,张文艺 (1807)

上海降水中氢氧同位素特征及与 ENSO 的关系 ..... 董小芳,邓黄月,张杰,朱志鹏,王琳,郑祥民,周立旻 (1817)

DOC + CDPF 对重型柴油车排放特性的影响 ..... 张允华,楼狄明,谭丕强,胡志远 (1828)

我国重点城市饮用水中砷健康累积风险评价 ..... 张秋秋,潘申龄,刘伟,张昱,安伟 (1835)

基于 Monte Carlo 模拟法对水源水体中微囊藻毒素的健康风险评估 ..... 王阳,徐明芳,耿梦梦,黎明,陈耕南 (1842)

北京城区水体中 PPCPs 的分布特征及潜在风险 ..... 张盼伟,周怀东,赵高峰,李昆,赵晓辉,刘巧娜,任敏,赵丹丹,李东佼 (1852)

长江口及邻近海域春夏季有色溶解有机物时空分布特征及主要影响因素 ..... 孙语嫣,白莹,苏荣国,石晓勇 (1863)

垃圾填埋有色溶解性有机质与铜络合机制 ..... 肖骁,何小松,高如泰,席北斗,张慧,黄彩红,李丹,袁志业 (1873)

3 种生物滞留设计对城市地表径流溶解性氮的去除作用 ..... 李立青,胡楠,刘雨情,涂声亮,陈华超 (1881)

三峡库区小流域稻田空间格局对氮磷流失影响 ..... 陈成龙,高明,倪九派,谢德体,邓华 (1889)

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 负荷对树皮填料人工湿地早期反硝化及释碳速率的影响 ..... 姜应和,李瑶,张莹,张翔凌 (1898)

湿地基质及阴极面积对人工湿地型微生物燃料电池去除偶氮染料同步产电的影响 ..... 李薛晓,程思超,方舟,李先宁 (1904)

阳极材料对 6 L 微生物燃料电池性能及有机废水处理效果的影响 ..... 丁为俊,于立亮,陈杰,成少安 (1911)

臭氧-混凝交互作用对水体有机物的影响 ..... 刘海龙,付晶森,郭雪峰,柴建恬,张忠民 (1918)

紫外线和次氯酸钠对 *Escherichia coli* 和 Poliovirus 的消毒作用 ..... 徐丽梅,张崇森,王晓昌,吉铮,周进宏 (1928)

不同沉淀 pH 值条件下制备的水合氧化铝对水中磷酸盐的吸附作用 ..... 王星星,林建伟,詹艳慧,张志斌,邢云青,姜博汇,储鸣 (1936)

树脂基纳米钛铝氧化物复合吸附剂同步去除水中磷和氟 ..... 陈家凯,聂广泽,刘志英,姚远,徐炎华 (1947)

灼烧净水污泥投加方式对磷吸附和磷形态的影响 ..... 朱培颖,李大鹏,于胜楠 (1957)

城市污水管网中污染物冲刷与沉积规律 ..... 桑浪涛,石烜,张彤,付博文,金鹏康 (1965)

11 种邻苯二甲酸酯在好氧污水处理系统中的归趋 ..... 周林军,古文,刘济宁,石利利,徐炎华 (1972)

反硝化抑制硫酸盐还原的工艺特性 ..... 金鹏康,杨珍瑞,李蓉,李岩,周立辉 (1982)

Fe<sup>(0)</sup>-活性炭强化短程反硝化脱氮及影响因素 ..... 吕永涛,刘婷,曾玉莲,孙婷,张瑶,王磊 (1991)

两种不同抑制策略下部分亚硝化系统运行特性比较 ..... 李惠娟,彭党聪,陈国燕,王博,姚倩,卓杨 (1997)

基质比对 ABR 厌氧氨氧化工艺脱氮性能的影响 ..... 闰刚,徐乐中,沈耀良,吴鹏,张婷, Samwine Thomas (2006)

温度对 SCSC-S/Fe 复合系统脱氮除磷及微生物群落特性的影响 ..... 范军辉,郝瑞霞,朱晓霞,万京京,刘思远,王丽沙 (2012)

SCAR 处理城市生活污水的效能及其微生物群落动态分析 ..... 杨波,徐辉,冯修平,李方,田晴,马春燕 (2021)

喹啉降解菌 *Ochrobactrum* sp. 的好氧降解特性及其在焦化废水中的生物强化作用 ..... 徐伟超,吴翠平,张玉秀,张琪,张怡鸣 (2030)

锰氧化菌 *Arthrobacter* sp. HW-16 的锰氧化特性和氧化机制 ..... 万文结,薛芷筠,张泽文,何冬兰 (2036)

温度对海洋厌氧氨氧化菌脱氮效能的影响 ..... 周同,于德爽,李津,吴国栋,王晓静 (2044)

包埋固定化活性污泥脱氮特性与微生物群落分析 ..... 许晓毅,尤晓露,吕晨培,王斌,胡碧波 (2052)

强化两相污泥高固厌氧消化系统的微生物群落 ..... 曹知平,吴静,左剑恶,王晓璐,王翀,王广启,王凯军,钱易 (2059)

三峡库区城乡消落带人工植被恢复土壤放线菌多样性特征 ..... 秦红,任庆水,杨文航,李昌晓 (2065)

川中丘陵区农田源头沟渠玉米季中氧化亚氮排放及其影响因素 ..... 田琳琳,朱波,汪涛,赵原,董宏伟,任光前,胡磊 (2074)

双氰胺对冬闲稻田和油菜地 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 伍延正,张苗苗,秦红灵,陈春兰,王娟,魏文学,李勇 (2084)

生物炭介导的不同地表条件下土壤 N<sub>2</sub>O 的排放特征 ..... 邹娟,胡学玉,张阳阳,张迪,陈威,王向前,陈窈君,刘扬 (2093)

垄作秸秆覆盖下西南地区蚕豆田土壤呼吸与有机碳特征 ..... 熊瑛,王龙昌,杜娟,赵琳璐,周泉,张赛 (2102)

广东省土壤 Cd 含量空间分布预测 ..... 孙慧,郭治兴,郭颖,袁宇志,柴敏,毕如田,杨静 (2111)

宿鸭湖沉积物重金属空间分布及潜在生态风险评价 ..... 张鹏岩,康国华,庞博,郭依,何坚坚,秦明周 (2125)

腐殖酸活性组分及其比例对紫色潮土中铅形态转化和有效性演变动态的影响 ..... 王青清,蒋珍茂,王俊,魏世强 (2136)

紫色水稻土颗粒有机质对重金属的富集特征 ..... 李秋言,赵秀兰 (2146)

生物炭增强黄绵土对西替利嗪的吸附作用 ..... 吴志娟,毕二平 (2154)

两种木材生物炭对铜离子的吸附特性及其机制 ..... 王彤彤,马江波,曲东,张晓媛,郑纪勇,张兴昌 (2161)

牛粪源粪炭及其生物炭对 Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 的吸附特性 ..... 杜文慧,朱维琴,潘晓慧,沈旭阳,陈思远,陈可乐,坎吉汗·木沙拉,张杭君,丁颖 (2172)

C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/BiOBr 复合可见光催化剂的性能及其作用机制 ..... 鲍玥,周旻昀,邹骏华,史宇滨,万先凯,史惠祥 (2182)

《环境科学》征稿简则(2020) 《环境科学》征订启事(2035) 信息(1782, 1798, 1827)

# 生物炭增强黄绵土对西替利嗪的吸附作用

吴志娟, 毕二平\*

(中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 水资源与环境工程北京市重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 生物炭可以作为稳定剂控制污染物在土壤中的迁移转化, 削减其环境风险. 以西替利嗪(cetirizine, CTZ)为目标污染物, 黄绵土为供试土壤, 采用吸附批实验法, 研究添加了不同质量比、不同碳化温度核桃壳生物炭的土壤对 CTZ 的吸附作用. 结果表明, 生物炭对 CTZ 的吸附能力均强于土壤. 添加 400~700℃ 制备的生物炭可显著增强黄绵土对 CTZ 的吸附能力, 这主要与添加生物炭后比表面积(SA)和含碳量相比土壤增大有关. 土壤-生物炭混合体系(除添加 300℃ 制备的生物炭)对 CTZ 吸附分配系数的实验值相比理论值偏小. 这是由于土壤和生物炭组分之间发生了一定的相互作用, 土壤中有有机质及其它组分会与生物炭吸附位点相互堵塞或相互竞争. 添加 400~700℃ 制备的核桃壳生物炭有利于稳定土壤中的 CTZ, 但溶液中 CTZ 浓度相对较低、添加生物炭的量相对较高时, 忽略土壤与生物炭组分之间的相互作用, 会高估混合体系对 CTZ 的吸附能力.

**关键词:** 生物炭; 黄绵土; 西替利嗪; 吸附

中图分类号: X131.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)05-2154-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201611132

## Enhanced Sorption of Cetirizine to Loessial Soil Amended with Biochar

WU Zhi-juan, BI Er-ping\*

(Beijing Key Laboratory of Water Environmental Engineering, School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Biochar could be used as a stabilizer to control the migration and transformation of pollutants in soil and reduce their environmental risks. Cetirizine (CTZ) was selected as a target pollutant to investigate the effect of biochar on sorption characteristics of loessial soil by batch experiments. Biochars were produced from walnut shell at different temperatures and added to soil at different mass ratios. The results indicated that all biochars showed obviously higher sorption capacity than loessial soil. The sorption capacity for CTZ was obviously enhanced by soils amended with biochars produced at 400-700℃, which could be attributed to the increased bulk carbon content and specific surface area (SA). Sorption of CTZ to mixtures, excluding the soils amended with biochar produced at 300℃, was lower than the theoretical value. This could be due to the cross-effect between soil components and biochar. At the same time, the organic matter and native sorbates in soil may block or compete for adsorption sites on biochar surface. Biochars would be helpful to stabilize the loessial soil contaminated with CTZ. However, for relatively low concentration of CTZ in aqueous solution and soils amended with relatively high biochar mass ratio, the sorption capacity of the mixtures could be overestimated theoretically without considering the cross-effect between soil and biochar.

**Key words:** biochar; loessial soil; cetirizine; sorption

药物的大量使用,使得环境中药物活性物质逐渐积累. 根据世界卫生组织相关报道,水循环中痕量的药物活性物质已经对人类健康造成潜在风险<sup>[1]</sup>. 用于治疗呼吸道、皮肤和眼睛等过敏性疾病的抗组胺药物 CTZ<sup>[2]</sup> 在环境中被频繁检出<sup>[3, 4]</sup>, 尤其是花粉热季节,地表水和废水中 CTZ 的浓度均呈上升趋势. Bahlmann 等<sup>[5]</sup> 通过液相色谱-串联质谱法测定污水处理厂 CTZ 的进水最大质量浓度为 0.49 μg·L<sup>-1</sup>, 出水最大质量浓度为 0.51 μg·L<sup>-1</sup>. 亲水性和不易降解性<sup>[6, 7]</sup> 使其在污水处理中得不到很好的去除,最终会随着废水排至环境中. 环境中的 CTZ 容易经土壤进入地下水甚至生物链,从而对人类健康和生态环境造成危害.

生物炭是生物质在缺氧或无氧条件下高温(一般 <700℃)裂解制备的富含碳的物质<sup>[8]</sup>. 其自身的

比表面积大、多孔结构、丰富的表面官能团和矿物成分等特点<sup>[9]</sup>, 使生物炭作为环境友好型材料<sup>[10-13]</sup> 被广泛关注. 生物炭不仅可以作为土壤改良剂<sup>[14, 15]</sup>, 提高土壤肥力、减少温室气体排放;还可以作为稳定剂控制污染物在土壤环境中的迁移转化及生物有效性<sup>[16, 17]</sup>, 消减其环境风险. 添加生物炭后,土壤对污染物的吸附能力显著增强. 有研究表明<sup>[18]</sup>, 土壤中添加 400℃ 碳化温度的松针生物炭质量分数达 0.1% 时,混合体系中生物炭对多环芳烃吸附占主要贡献. 然而目前关于西替利嗪的研究,多集中于其在环境中的潜在风险<sup>[19, 20]</sup>, 关于

收稿日期: 2016-11-17; 修订日期: 2016-12-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41472231)

作者简介: 吴志娟(1990~),女,硕士研究生,主要研究方向为水文地质与工程地质, E-mail: shanwu\_1017@126.com

\* 通信作者, E-mail: bi@cugb.edu.cn

CTZ 在土壤及生物炭上的吸附研究鲜见报道. 本研究以西替利嗪为目标污染物, 陕西黄绵土为供试土壤, 采用批实验法, 分析添加不同质量比、不同碳化温度核桃壳生物炭的土壤对 CTZ 的吸附行为及机制, 以期为污灌等活动中防止 CTZ 及其同类污染物进入地下水提供依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 吸附剂制备

土壤样品为陕西黄绵土[中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所, GBW07460 (ASA-9)], 其基本理化性质为: pH  $8.50 \pm 0.07$ , 有机质含量  $(10.3 \pm 0.3) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 阳离子交换量  $(9.6 \pm 1.3) \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

核桃壳生物炭采用限氧控温碳化法<sup>[21]</sup>制备. 具体是将核桃壳浸泡水洗后, 以  $80^\circ\text{C}$  在鼓风干燥箱中烘干后粉碎过 40 目筛, 分别于  $300$ 、 $400$ 、 $500$ 、 $600$  和  $700^\circ\text{C}$  在马弗炉中碳化 6 h (标记为 W300、W400、W500、W600 和 W700), 冷却至室温后取出. 制得的碳化产物用  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的盐酸浸泡 12 h, 去除灰分; 经抽滤装置用去离子水洗至中性后, 于  $80^\circ\text{C}$  烘干并过 40 目筛装于棕色瓶中待用.

将土壤和生物炭以不同比例混合, 使得生物炭在混合物中的质量分数分别为 1%、5%、10% 和 20%. 为了保证混合物的均匀性, 手动混合后放入全自动翻转式振荡器 ( $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 振荡 3 d 后取出. 土壤-生物炭混合物分别标记为: 1% SWXXX、5% SWXXX、10% SWXXX、20% SWXXX, XXX 表示生物炭制备的碳化温度.

生物炭、土壤以及土壤-生物炭混合体系的总 C、H、N 元素含量用美国有机元素分析仪 Thermo Scientific FLASH 2000 CHNS/O 测定; 比表面积使用美国麦克 ASAP 2020 测定.

### 1.2 药品与仪器

药品: CTZ (日本 TCI 公司, 纯度  $\geq 98\%$ ), CAS 号为 83881-51-0, 分子式  $\text{C}_{21}\text{H}_{25}\text{ClN}_2\text{O}_3$ , 结构式如图 1 所示, 水中溶解度 ( $25^\circ\text{C}$ ) 为  $4263 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 辛醇水分配系数  $\lg K_{ow}$  为 1.70 (由 EPI Suite v4.10 获得); 乙腈 (美国 MREDA TECHNOLOGY 公司, HPLC 级); 磷酸二氢钾、无水氯化钙、盐酸和氢氧化钠 (北京化工产, 分析纯); 实验用水为超纯水 (Milli-Q 超纯水机制得).

仪器: 高效液相色谱仪 (日本岛津公司, DGU-20A3 低容量排气装置, LC-20AT 常规溶剂输送

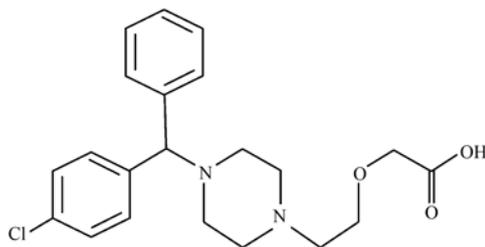


图 1 CTZ 分子结构式

Fig. 1 Molecular structure of CTZ

泵, SPD-20A 高灵敏度紫外-可见检测器, CTO-20A 柱温箱); pH 计 (德国 Sartorius 公司, PB-10 型号); A-WS 台式低速离心机、恒温振荡仪 (上海福玛实验设备有限公司, QYC-2112 型号); 电子天平 (德国 Sartorius 公司, BP221S 型号); 电热恒温鼓风干燥箱 (天津中环实验电炉有限公司, DH-1021-3 型号); 粉碎机 (天津市泰斯特仪器有限公司); SHB-III 循环水式多用真空泵 (郑州长城科工贸有限公司); 全自动翻转式振荡器 (长沙永乐康 YKZ 系列).

### 1.3 实验方法

吸附实验中 CTZ 溶液用超纯水直接配制, 背景溶液为  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{CaCl}_2$  溶液. 等温实验初始 pH 为  $6.0 \pm 0.1$ , 初始质量浓度范围为  $5 \sim 640 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

吸附批实验在室温条件下 ( $25^\circ\text{C}$ ) 进行, 依据吸附剂的吸附性能, 向 20 mL 的玻璃瓶中分别添加不同质量的吸附剂 (生物炭  $10 \sim 160 \text{ mg}$ , 土壤  $1000 \text{ mg}$ , 混合物  $50 \sim 1000 \text{ mg}$ ), 以使得平衡时吸附剂对 CTZ 的吸附量达到初始量的 20% ~ 80%. 每个浓度点均有两个平行样和一个控制样. 预实验结果表明 CTZ 在 W400 ~ W700 和土壤上的吸附动力学平衡时间均为 3 d, 在 W300 上的吸附平衡时间为 27 d. 因此将这些样品放入恒温振荡器振荡 3 d (W300 和 SW300 振荡 27 d) 以达到吸附平衡. 平衡后将样品取出放入低速离心机以  $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  的转速离心 15 min 达到固液分离. 最后取上清液放入 2 mL 的测样瓶待测.

CTZ 的测定采用高效液相色谱仪, 配备有  $4.6 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$  的反相 XDB-C18 柱和紫外检测器. 检测条件: 流动相为乙腈-磷酸二氢钾 (磷酸二氢钾溶液用磷酸调 pH 至 3.0, 体积比 45:55), 流速  $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 波长 276 nm, 柱温  $30^\circ\text{C}$ , 进样体积  $10 \mu\text{L}$ <sup>[22]</sup>. 控制样表明吸附实验过程中的污染物浓度损失可忽略不计, 吸附剂对吸附质的吸附量按质量平衡计算.

## 1.4 数据处理

吸附数据采用 Freundlich 模型[公式(1)]进行拟合. 吸附分配系数  $K_d$  根据等式(2)计算得出.

$$q_e = K_F c_e^n \quad (1)$$

$$K_d = q_e / c_e \quad (2)$$

式中,  $q_e$  是吸附平衡时 CTZ 在吸附剂上的固相吸附量( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),  $c_e$  是吸附平衡时 CTZ 的液相质量浓度( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $K_F$  是 Freundlich 吸附常数,  $n$  为非线性系数.

## 2 结果与讨论

### 2.1 吸附剂的物理化学性质

生物炭和土壤的元素组成、BET 比表面积、平均孔径、总孔隙体积等表征数据见表 1. W400 ~ W600, C 元素含量逐渐增加; H、N 元素含量从 W300 到 W700 逐渐减少, 与以往的研究结果一致<sup>[23]</sup>. 通过 BET 比表面积数据可以发现, W300 基本是无孔结构; W400 比表面积相比 W300 增加一个

表 1 土壤和生物炭的物理化学性质

Table 1 Physicochemical properties of biochars and soil

样品	C/%	H/%	N/%	BET 比表面积 / $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	平均孔径 /nm	总孔隙体积 / $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	产率/%
W300	72.7	3.89	— <sup>1)</sup>	2.41	6.25	0.0038	41.63
W400	72.1	2.49	0.14	135	1.85	0.062	30.10
W500	88.5	2.26	0.39	520	1.67	0.22	24.01
W600	91.2	1.53	0.35	556	1.78	0.25	20.12
W700	81.7	1.03	0.12	648	2.04	0.33	19.49
土壤	1.94	0.310	—	9.64	0.00	0.00	

1) “—”指低于检测限

数量级, 具有多微孔结构; W700 比表面积达到最大, 具多微孔和介孔结构.

为了比较混合后样品物理化学性质的实际测定值与理论计算值的差异, 根据质量平衡, 混合物样品中 C 和 H 元素含量预测值由以下式子计算(N 含量由于低于检测限而未被检测出):

$$E_{\text{mix, the}} = f_{\text{soil}} E_{\text{soil}} + f_{\text{bc}} E_{\text{bc}} \quad (3)$$

式中,  $E_{\text{mix, the}}$  是混合物样品 C 和 H 元素含量理论值;  $E_{\text{soil}}$  和  $E_{\text{bc}}$  分别是土壤和生物炭的 C、H 元素含量;  $f_{\text{soil}}$  和  $f_{\text{bc}}$  分别是土壤和生物炭在混合物中所占的质量分数. SA 的理论值计算方法同上.

混合物 C、H 元素含量与生物炭添加比例成正比(表 2), 表明生物炭和土壤混合得较均匀, 向土壤中添加生物炭能够增强土壤肥力<sup>[24, 25]</sup>. 混合物

表 2 混合样品元素组成和比表面积的理论值与实测值的比较

Table 2 Comparison between the theoretical and experimental values of elemental composition and SA of biochar-soil mixtures

样品	生物炭添加 质量比/%	C/%		H/%		SA/ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	
		理论值	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值
SW300	1	2.64	3.38	0.35	0.37	9.57	12.1
	5	5.47	4.63	0.49	0.41	9.28	12.6
	10	9.01	5.38	0.67	0.52	8.92	12.1
	20	16.1	14.6	1.03	0.69	8.19	8.71
SW400	1	2.64	1.69	0.33	0.30	10.9	12.3
	5	5.44	4.04	0.42	0.39	15.9	15.7
	10	8.95	8.02	0.53	0.47	22.2	19.4
	20	16.0	13.8	0.75	0.66	34.7	21.9
SW500	1	2.80	3.77	0.33	0.37	14.7	15.9
	5	6.26	4.30	0.41	0.33	35.2	34.3
	10	10.6	7.26	0.51	0.43	60.7	55.5
	20	19.3	16.2	0.70	0.60	112	109
SW600	1	2.83	2.81	0.32	0.32	15.1	14.1
	5	6.40	6.71	0.37	0.35	37.0	36.0
	10	10.9	9.97	0.43	0.40	64.3	60.6
	20	19.8	17.8	0.56	0.46	119	103
SW700	1	2.72	2.83	0.32	0.28	16.0	17.8
	5	5.88	5.84	0.35	0.34	41.6	40.2
	10	9.82	11.2	0.38	0.33	73.5	65.6
	20	17.7	19.5	0.46	0.37	137	129

总 C 含量理论值与实测值并不完全相同,这可能与土壤和生物炭组分之间的相互作用有关<sup>[26]</sup>. SW300 比面积的实测值较理论值均偏大,是由于生物炭表面的非碳化有机质组分会被土壤中的矿物去除,使其比表面积变大<sup>[27]</sup>. 对于 SW400 ~ SW700,随着碳化温度升高,生物炭的非碳化有机质减少,这种比表面积增大效应减弱;另外,随着生物炭添加量增大(添加质量比为 10% 和 20%),土壤和生物炭组分之间相互作用更加强烈,相互堵塞导致混合后比表面积实测值较理论值偏小.

2.2 生物炭和土壤分别对 CTZ 的等温吸附

生物炭和土壤分别对 CTZ 的等温吸附结果用 Freundlich 模型拟合(图 2 和表 3). 土壤对 CTZ 的吸附基本为线性吸附. W300 ~ W700 对 CTZ 的等温吸附曲线表现为明显的非线性吸附. W400 ~ W700 对 CTZ 的吸附量在该研究的浓度范围内变化量相对较小,表

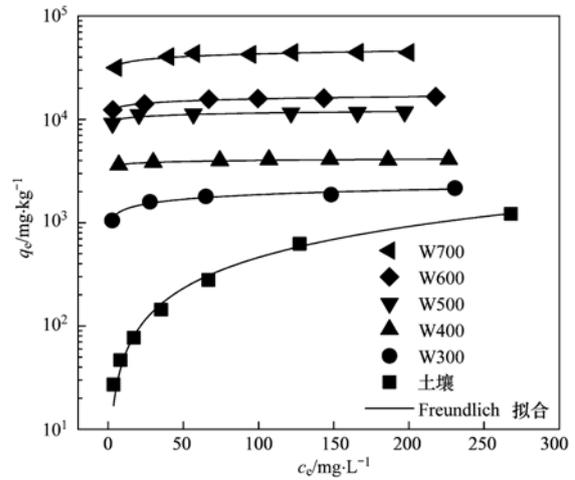


图 2 土壤和生物炭(W300 ~ W700)对西替利嗪的等温吸附曲线

Fig. 2 Sorption isotherms of cetirizine to soil and biochars (W300-W700) in aqueous solution

表 3 土壤、生物炭以及土壤-生物炭混合体系对 CTZ 等温吸附的 Freundlich 模型拟合参数及吸附分配系数  $K_d$  值

Table 3 Freundlich isotherm parameters and the sorption distributed coefficient( $K_d$ ) of cetirizine on soil, biochars, and biochar-soil mixtures

样品	生物炭添加质量比/%	$K_F$	$n$	$N$	$R^2$	$K_d/\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$	
						$c_e = 0.005 S_w$	$c_e = 0.05 S_w$
土壤	0	6.937	0.92 ± 0.03	8	0.998	5.43	4.52
	1	11.02	0.86 ± 0.02	8	0.998	7.18	5.20
	5	11.44	0.85 ± 0.02	8	0.999	7.23	5.12
	10	9.812	0.87 ± 0.02	8	0.999	6.58	4.88
	20	11.45	0.83 ± 0.03	8	0.997	6.81	4.60
SW300	100	935.1	0.20 ± 0.02	7	0.945	67.8	10.7
	1	7.531	0.91 ± 0.01	6	0.998	5.72	4.65
	5	11.86	0.84 ± 0.02	8	0.998	7.27	5.03
	10	24.32	0.73 ± 0.03	8	0.994	10.7	5.72
	20	76.65	0.55 ± 0.05	8	0.976	19.4	6.86
SW400	100	3 382	0.04 ± 0.00	7	0.919	179	19.7
	1	8.043	0.90 ± 0.24	8	0.998	5.92	4.70
	5	44.05	0.63 ± 0.04	7	0.987	14.2	6.06
	10	160.1	0.45 ± 0.05	7	0.956	29.8	8.39
	20	569.8	0.29 ± 0.03	7	0.935	64.9	12.7
SW500	100	9 022	0.05 ± 0.01	6	0.866	493	55.3
	1	12.63	0.83 ± 0.03	8	0.997	7.51	5.08
	5	126.9	0.48 ± 0.04	8	0.974	25.9	7.81
	10	409.0	0.34 ± 0.03	8	0.973	54.3	11.9
	20	1 147	0.23 ± 0.02	8	0.979	109	18.5
SW600	100	11 403	0.09 ± 0.00	6	0.979	705	86.7
	1	27.31	0.72 ± 0.03	8	0.992	11.6	6.09
	5	543.8	0.31 ± 0.02	8	0.974	65.9	13.5
	10	1 644	0.20 ± 0.01	8	0.991	142	22.6
	20	3 767	0.15 ± 0.01	8	0.971	280	39.5
SW700	100	28 452	0.09 ± 0.01	7	0.895	1 758	216

明生物炭对 CTZ 的吸附量已经达到饱和和吸附量.

生物炭对有机污染物的吸附能力受制备生物炭时的碳化温度控制<sup>[28~30]</sup>,因此采用 5 种不同碳化温

度制备的生物炭,探讨了碳化温度对生物炭性质及吸附能力的影响. 从图 2 可以看出,高碳化温度下制备的生物炭吸附能力最强. 这与以往的研究成果相

一致<sup>[31]</sup>,其原因是:随着碳化温度升高,生物炭内部形成更多的孔结构且孔隙逐渐增大,比表面积和总孔隙体积增大,吸附位点增多,从而吸附能力增强<sup>[32]</sup>.表1数据也显示核桃壳生物炭的 BET 比表面积和总孔隙体积从 W300 ~ W700 分别增大了 268、86 倍,表明生物炭对 CTZ 吸附能力随碳化温度的升高而增强是与其比表面积和孔隙体积的增大有关.

生物炭对 CTZ 的吸附能力显著强于黄绵土,且当溶液中 CTZ 浓度低时更为明显.表3计算了吸附平衡时溶液中不同浓度 CTZ ( $c_e = 0.005 S_w$  和  $c_e = 0.05 S_w$ ,  $S_w$  为 25℃ 时 CTZ 在水中的溶解度)对应的  $K_d$  值,以下分别称  $K_d(0.005)$  和  $K_d(0.05)$ . W300 ~ W700 的  $K_d(0.005)$  是黄绵土的 12.48 ~ 323.6 倍,因此可以添加生物炭到黄绵土中,以增强黄绵土对 CTZ 的吸附能力.

### 2.3 土壤-生物炭混合物对西替利嗪的吸附

该部分探讨了向黄绵土中分别添加质量比为 1%、5%、10% 和 20%,碳化温度 300 ~ 700℃ 的核

桃壳生物炭对 CTZ 吸附作用的影响.吸附平衡后溶液的 pH 值为  $7.6 \pm 0.2$ ,与土壤吸附 CTZ 平衡时溶液的 pH 值一致.从图3和表3可以看出,添加 W300 对黄绵土吸附 CTZ 能力增强不明显.土壤中添加 W300 后,虽然总含 C 量从 3.38% 增加到 14.6%,但比表面积并没有明显增大,因此对 CTZ 吸附能力没有明显增强.添加 W400 ~ W700 可显著增强黄绵土对 CTZ 的吸附能力,相比土壤,20% SW400 ~ 20% SW700 的  $K_d(0.005)$  分别增大了 2.56 ~ 50.5 倍.添加的生物炭碳化温度越高、添加量越多,其混合体系对 CTZ 的吸附能力越强,等温曲线的非线性程度越大.添加生物炭后,土壤有机质含量和比表面积增大,对污染物的吸附能力增强<sup>[33]</sup>.黄绵土中添加 W400 ~ W700 后,比表面积和含碳量均增大(表2),对 CTZ 的吸附能力增强.因此向黄绵土中添加 400 ~ 700℃ 碳化温度制备的核桃壳生物炭,以期减少土壤孔隙水中 CTZ 的浓度,降低其迁移性是可行的.

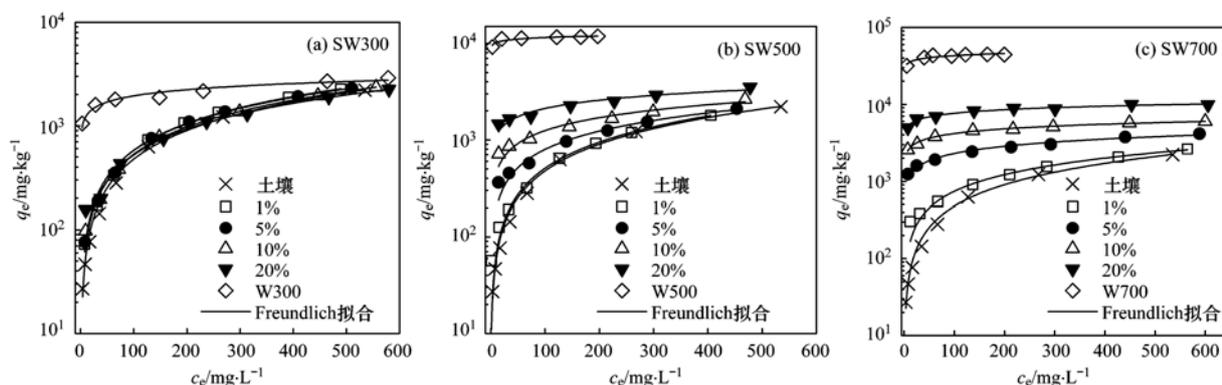


图3 土壤、生物炭及添加不同质量比生物炭的土壤-生物炭混合物对 CTZ 的等温吸附曲线

Fig. 3 Sorption isotherms of cetirizine to soil, biochars and biochar-soil mixtures with different biochar addition mass ratios

### 2.4 混合物吸附能力实测值与理论值的比较

假设混合物对 CTZ 的吸附量是生物炭和土壤分别对 CTZ 吸附量的总和,则混合物样品对 CTZ 吸附分配系数的理论值按下面公式计算:

$$K_{\text{mix,the}} = f_{\text{soil}} K_{\text{d,soil}} + f_{\text{bc}} K_{\text{d,bc}} \quad (4)$$

式中,  $K_{\text{mix,the}}$  是混合物样品对 CTZ 吸附分配系数的理论值;  $K_{\text{d,soil}}$  和  $K_{\text{d,bc}}$  是土壤和生物炭单独存在时分别对 CTZ 的吸附分配系数.

土壤-生物炭混合体系对 CTZ 吸附分配系数  $K_d(0.005)$  和  $K_d(0.05)$  的理论值与实测值并不相同(图4).表明混合体系对 CTZ 的吸附量并不是简单的生物炭和土壤单独对其吸附量的线性叠加,土壤和生物炭的组分之间发生了一定的作用<sup>[34]</sup>,已经成为一个有机整体.土壤溶解性有机质可能进入生物

炭表面或孔隙影响生物炭对 CTZ 的吸附能力,同时土壤组分会与生物炭吸附位点相互堵塞或竞争<sup>[35]</sup>,使混合物对 CTZ 吸附能力的实测值偏低.

$K_d(0.05)$  实测值与理论值之间的差异较小,此浓度下预测混合体系吸附 CTZ 能力的结果较为准确.但  $K_d(0.005)$  实测值与理论值之间的差异较大(除生物炭添加质量比为 1%),且随着生物炭添加量的增大,两者之间的差异越显著,说明生物炭与土壤组分之间的相互作用也随之更加强烈.因此当溶液中 CTZ 浓度相对较低,添加生物炭的量相对较高时,对混合物吸附 CTZ 能力的预测相对不可靠.实际应用时需要考虑生物炭和土壤组分之间的相互作用,避免高估添加生物炭后的混合体系对 CTZ 的吸附能力.

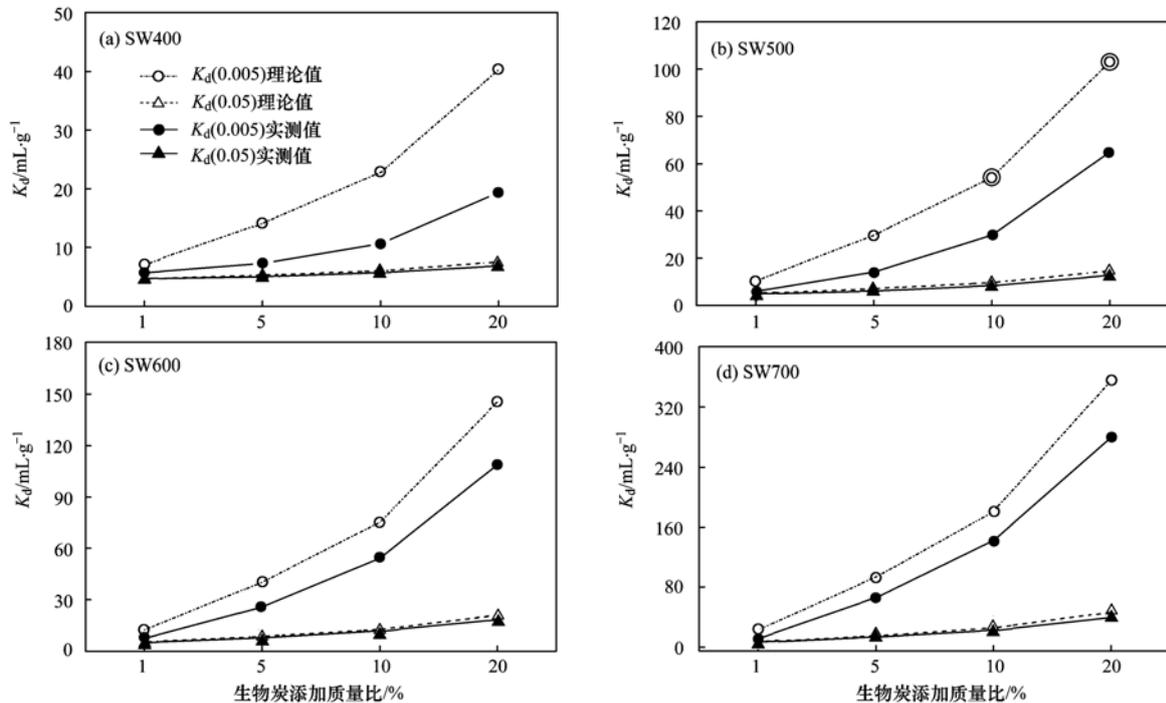


图4 土壤-生物炭混合物对CTZ吸附分配系数 $[K_d(0.005)$ 和 $K_d(0.05)]$ 理论值和实测值比较

Fig. 4 Comparison between the theoretical and experimental sorption capacity  $[K_d(0.005), K_d(0.05)]$  of CTZ by biochar-soil mixtures

### 3 结论

(1) 核桃壳生物炭吸附CTZ的能力随着其碳化温度的升高而增强;W300~W700对CTZ的吸附分配系数 $K_d(0.005)$ 分别是黄绵土的12.5~324倍,这与生物炭本身的多孔结构、比表面积大、含碳量高有关。

(2) 添加W400~W700可显著增强黄绵土对CTZ的吸附能力。且添加的生物炭碳化温度越高、添加量越多,土壤-生物炭混合体系对CTZ的吸附能力越强,这与添加生物炭后比表面积和含碳量增加有关。

(3)  $K_d(0.05)$ 实测值与理论值之间的差异较小,但对于 $K_d(0.005)$ 两者之间的差异较大(除生物炭添加质量比为1%),且随着生物炭添加量的增大差异越显著,此时忽略土壤与生物炭组分之间的相互作用会高估混合体系对CTZ的吸附能力。

#### 参考文献:

- [1] Taheran M, Brar S K, Verma M, *et al.* Membrane processes for removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) from water and wastewaters[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **547**: 60-77.
- [2] van Balen G P, Caron G, Ermondi G, *et al.* Lipophilicity behaviour of the zwitterionic antihistamine cetirizine in phosphatidylcholine liposomes/water systems[J]. *Pharmaceutical Research*, 2001, **18**(5): 694-701.
- [3] Nödler K, Licha T, Bester K, *et al.* Development of a multi-residue analytical method, based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry, for the simultaneous determination of 46 micro-contaminants in aqueous samples [J]. *Journal of Chromatography A*, 2010, **1217**(42): 6511-6521.
- [4] Fick J, Söderström H, Lindberg R H, *et al.* Contamination of surface, ground, and drinking water from pharmaceutical production[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2009, **28**(12): 2522-2527.
- [5] Bahlmann A, Carvalho J J, Weller M G, *et al.* Immunoassays as high-throughput tools; monitoring spatial and temporal variations of carbamazepine, caffeine and cetirizine in surface and wastewaters[J]. *Chemosphere*, 2012, **89**(11): 1278-1286.
- [6] Wennmalm Å, Gunnarsson B. Pharmaceutical management through environmental product labeling in Sweden [J]. *Environment International*, 2009, **35**(5): 775-777.
- [7] Kosonen J, Kronberg L. The occurrence of antihistamines in sewage waters and in recipient rivers[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2009, **16**(5): 555-564.
- [8] Lehmann J, Joesph S. Biochar for environmental management: science and technology[M]. London: Earthscan, 2009.
- [9] Tan X F, Liu Y G, Zeng G M, *et al.* Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions [J]. *Chemosphere*, 2015, **125**: 70-85.
- [10] Jin J, Sun K, Wu F C, *et al.* Single-solute and bi-solute sorption of phenanthrene and dibutyl phthalate by plant- and manure-derived biochars[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **473-474**: 308-316.
- [11] Li H L, Qu R H, Li C, *et al.* Selective removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil washing effluents using biochars produced at different pyrolytic temperatures [J]. *Bioresource Technology*, 2014, **163**: 193-198.

- [12] Knauer K, Sobek A, Bucheli T D. Reduced toxicity of diuron to the freshwater green alga *Pseudokirchneriella subcapitata* in the presence of black carbon [J]. *Aquatic Toxicology*, 2007, **83** (2): 143-148.
- [13] 吴晴雯, 孟梁, 张志豪, 等. 芦苇秸秆生物炭对水中非和 1, 1-二氯乙烯的吸附特性[J]. *环境科学*, 2016, **37**(2): 680-688.  
Wu Q W, Meng L, Zhang Z H, *et al.* Sorption characteristics of phenanthrene and 1,1-dichloroethene onto reed straw biochar in aquatic solutions [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(2): 680-688.
- [14] Beesley L, Moreno-Jiménez E, Gomez-Eyles J L. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158**(6): 2282-2287.
- [15] Chen B L, Yuan M X. Enhanced sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by soil amended with biochar [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, **11**(1): 62-71.
- [16] Jones D L, Edwards-Jones G, Murphy D V. Biochar mediated alterations in herbicide breakdown and leaching in soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, **43**(4): 804-813.
- [17] Yu X Y, Ying G G, Kookana R S. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil [J]. *Chemosphere*, 2009, **76**(5): 665-671.
- [18] Teixidó M, Hurtado C, Pignatello J J, *et al.* Predicting contaminant adsorption in black carbon (biochar)-amended soil for the veterinary antimicrobial sulfamethazine [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(12): 6197-6205.
- [19] Nham H T T, Greskowiak J, Nödler K, *et al.* Modeling the transport behavior of 16 emerging organic contaminants during soil aquifer treatment [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **514**: 450-458.
- [20] Valhondo C, Carrera J, Ayora C, *et al.* Characterizing redox conditions and monitoring attenuation of selected pharmaceuticals during artificial recharge through a reactive layer [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **512-513**: 240-250.
- [21] Fang Q L, Chen B L, Lin Y J, *et al.* Aromatic and hydrophobic surfaces of wood-derived biochar enhance perchlorate adsorption via hydrogen bonding to oxygen-containing organic groups [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(1): 279-288.
- [22] 陈有梅, 刘博, 周安宁, 等. 盐酸西替利嗪/蒙脱土纳米复合物的制备及其结构与性能 [J]. *复合材料学报*, 2010, **27** (1): 43-50.  
Chen Y M, Liu B, Zhou A N, *et al.* Preparation, structure and properties of cetirizine hydrochloride/montmorillonite nanocomposites [J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2010, **27** (1): 43-50.
- [23] Sun K, Kang M J, Ro K S, *et al.* Variation in sorption of propiconazole with biochars: the effect of temperature, mineral, molecular structure, and nano-porosity [J]. *Chemosphere*, 2016, **142**: 56-63.
- [24] Ding Y, Liu Y G, Liu S B, *et al.* Biochar to improve soil fertility. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2016, **36**(2): 36.
- [25] Novak J M, Busscher W J, Laird D L, *et al.* Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil [J]. *Soil Science*, 2009, **174**(2): 105-112.
- [26] Liang B Q, Lehmann J, Solomon D, *et al.* Stability of biomass-derived black carbon in soils [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, **72**(24): 6069-6078.
- [27] Li J F, Li S J, Dong H P, *et al.* Role of alumina and montmorillonite in changing the sorption of herbicides to biochars [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, **63** (24): 5740-5746.
- [28] Vulava V M, Cory W C, Murphey V L, *et al.* Sorption, photodegradation, and chemical transformation of naproxen and ibuprofen in soils and water [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **565**: 1063-1070.
- [29] Zheng H, Wang Z Y, Zhao J, *et al.* Sorption of antibiotic sulfamethoxazole varies with biochars produced at different temperatures [J]. *Environmental Pollution*, 2013, **181**: 60-67.
- [30] Chen B L, Chen Z M. Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochars of orange peels with different pyrolytic temperatures [J]. *Chemosphere*, 2009, **76**(1): 127-133.
- [31] Zhang G X, Zhang Q, Sun K, *et al.* Sorption of simazine to corn straw biochars prepared at different pyrolytic temperatures [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(10): 2594-2601.
- [32] 张振国, 蒋煜峰, 慕仲锋, 等. 生物炭对西北黄土吸附壬基酚的影响 [J]. *环境科学*, 2016, **37**(11): 4428-4436.  
Zhang Z G, Jiang Y F, Mu Z F, *et al.* Effect of biochar on adsorption behavior of nonylphenol onto loess soil in northwest China [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(11): 4428-4436.
- [33] Ouyang W, Zhao X C, Tysklind M, *et al.* Typical agricultural diffuse herbicide sorption with agricultural waste-derived biochars amended soil of high organic matter content [J]. *Water Research*, 2016, **92**: 156-163.
- [34] Jin J, Kang M J, Sun K, *et al.* Properties of biochar-amended soils and their sorption of imidacloprid, isoproturon, and atrazine [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **550**: 504-513.
- [35] 吴蓓蓓. 生物炭增强土壤吸附阿特拉津的作用及机理 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.  
Wu Q Q. Enhanced sorption of atrazine to soils amended with biochars [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.

## CONTENTS

Estimating the Secondary Organic Aerosol Concentration and Source Apportionment During the Summer and Winter in the Nanjing Industrial District .....	LIU Jing-da, AN Jun-lin, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (1733)
Modeled Deposition of Fine Particles in Human Airway in Northern Suburb of Nanjing .....	LIANG Jing-shu, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (1743)
Concentration Characteristics and Influencing Factors of Atmospheric Particulate Matters in Spring on Weizhou Island, Beihai, Guangxi Province .....	GAO Yuan-guan, ZHANG Kai, WANG Ti-jian, <i>et al.</i> (1753)
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere of Dajiuhe, Shennongjia, China .....	JIN Meng-yun, XING Xin-li, KE Yan-ping, <i>et al.</i> (1760)
Spatial Distribution Characteristics of NMHCs in Spring in Cangzhou City .....	DUAN Jing-chun, ZHOU Xue-ming, ZHANG He-feng, <i>et al.</i> (1769)
Emission Characteristics of Residential Coal Combustion Flue Gas in Beijing .....	LIANG Yun-ping, ZHANG Da-wei, LIN An-guo, <i>et al.</i> (1775)
Emission Characteristics and Ozone Formation Potential of VOCs from a Municipal Solid Waste Composting Plant .....	SHAO Zhu-ze, ZHENG Guo-di, WANG Yuan-gang, <i>et al.</i> (1783)
Degradation Characteristics of Composite CVOCs by Non-thermal Plasma .....	JIANG Li-ying, ZHANG Di, GUO Hai-qian, <i>et al.</i> (1792)
Chemical Compositions and Source Apportionment of Road Dust in Yuncheng .....	WU Yuan-yuan, LI Ru-mei, PENG Lin, <i>et al.</i> (1799)
Pollution Risk of Heavy Metals in Dust from the Building Along Elevated Road; A Case Study in Changzhou .....	YAO Jing-bo, WANG Ming-xin, QI Jin-di, <i>et al.</i> (1807)
Characteristics of Stable Isotope in Precipitation and Its Relationship with ENSO in Shanghai .....	DONG Xiao-fang, DENG Huang-yue, ZHANG Luan, <i>et al.</i> (1817)
Effects of DOC + CDPF on Emission Characteristics of Heavy-duty Diesel Vehicle .....	ZHANG Yun-hua, LOU Di-ming, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (1828)
Accumulated Health Risk Assessment of Arsenic in Drinking Water of Major Cities of China .....	ZHANG Qiu-qiu, PAN Shen-ling, LIU Wei, <i>et al.</i> (1835)
Health Risk Assessment of Microcystins from Drinking Water Source by Monte Carlo Simulation Method .....	WANG Yang, XU Ming-fang, GENG Meng-meng, <i>et al.</i> (1842)
Potential Risk and Distribution Characteristics of PPCPs in Surface Water and Sediment from Rivers and Lakes in Beijing, China .....	ZHANG Pan-wei, ZHOU Huai-dong, ZHAO Gao-feng, <i>et al.</i> (1852)
Assessment of the Spatial-temporal Distribution Characteristics and Main Affecting Factors of Chromophoric Dissolved Organic Matter in Spring and Summer at the Changjiang Estuary and Adjacent Areas .....	SUN Yu-yan, BAI Ying, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (1863)
Complexation Between Copper (II) and Colored Dissolved Organic Matter from Municipal Solid Waste Landfill .....	XIAO Xiao, HE Xiao-song, GAO Ru-tai, <i>et al.</i> (1873)
Effects of Three Bioretention Configurations on Dissolved Nitrogen Removal from Urban Stormwater .....	LI Li-qing, HU Nan, LIU Yu-qing, <i>et al.</i> (1881)
Influence of Spatial Pattern of Paddy Field on the Losses of Nitrogen and Phosphorus in Three Gorges Reservoir Area .....	CHEN Cheng-long, GAO Ming, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (1889)
Effects of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N Loading on the Early-Period Efficiency of Denitrification and Carbon Releasing in Constructed Wetland Filled with Bark .....	JIANG Ying-be, LI Yao, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (1898)
Effects of Microbial Fuel Cell Coupled Constructed Wetland with Different Support Matrix and Cathode Areas on the Degradation of Azo Dye and Electricity Production .....	LI Xue-xiao, CHENG Si-chao, FANG Zhou, <i>et al.</i> (1904)
Effects of Anode Materials on Electricity Generation and Organic Wastewater Treatment of 6 L Microbial Fuel Cells .....	DING Wei-jun, YU Li-liang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1911)
Effects of Joint-reaction Combined by Ozonation and Coagulation on Aquatic Organic Matters .....	LIU Hai-long, FU Jing-miao, GUO Xue-feng, <i>et al.</i> (1918)
Disinfection Action of Ultraviolet Radiation and Chlorination on <i>Escherichia coli</i> and Poliovirus .....	XU Li-mei, ZHANG Chong-miao, WANG Xiao-chang, <i>et al.</i> (1928)
Adsorption of Phosphate from Aqueous Solution on Hydrous Zirconium Oxides Precipitated at Different pH Values .....	WANG Xing-xing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (1936)
Performance of Polymer-based Titanium and Zirconium Oxides Composite Adsorbent for Simultaneous Removal of Phosphorus and Fluorine from Water .....	CHEN Jia-kai, NIE Guang-ze, LIU Zhi-ying, <i>et al.</i> (1947)
Effect of Different Adding Means of Ignited Water Purification Sludge on Phosphorus Adsorption and Forms .....	ZHU Pei-ying, LI Da-peng, YU Sheng-nan (1957)
Law of Pollutant Erosion and Deposition in Urban Sewage Network .....	SANG Lang-tao, SHI Xuan, ZHANG Tong, <i>et al.</i> (1965)
Fate of Eleven Phthalic Acid Esters in Aerobic Sewage Treatment System .....	ZHOU Lin-jun, GU Wen, LIU Ji-ning, <i>et al.</i> (1972)
Characteristics of Denitrification Inhibiting Sulfate Reducing Process .....	JIN Peng-kang, YANG Zhen-rui, LI Rong, <i>et al.</i> (1982)
Enhanced Short-cut Denitrification by Fe <sup>(0)</sup> -activated Carbon and Its Influencing Factors .....	LÜ Yong-tao, LIU Ting, ZENG Yu-lian, <i>et al.</i> (1991)
Comparison of Operating Performance of Partial Nitritation Systems with Two Different Inhibition Strategies .....	LI Hui-juan, PENG Dang-cong, CHEN Guo-yan, <i>et al.</i> (1997)
Effect of Substrate Ratio on Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX in ABR .....	LÜ Gang, XU Le-zhong, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (2006)
Effects of Temperature on the Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Removal and Microbial Community in SCSC-S/Fe .....	FAN Jun-hui, HAO Rui-xia, ZHU Xiao-xia, <i>et al.</i> (2012)
Analysis on Performance and Microbial Community Dynamics of a Strengthened Circulation Anaerobic Reactor Treating Municipal Wastewater .....	YANG Bo, XU Hui, FENG Xiu-ping, <i>et al.</i> (2021)
Aerobic Degradation Characteristics of the Quinoline-Degrading strain <i>Ochrobactrum</i> sp. and Its Bioaugmentation in Coking Wastewater .....	XU Wei-chao, WU Cui-ping, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i> (2030)
Manganese Oxidation Characteristics and Oxidation Mechanism of a Manganese-Oxidizing Bacterium <i>Arthrobacter</i> sp. HW-16 .....	WAN Wen-jie, XUE Zhi-jun, ZHANG Ze-wen, <i>et al.</i> (2036)
Effect of Temperature on Nitrogen Removal Performance of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria .....	ZHOU Tong, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (2044)
Nitrogen Removal Performance and Microbial Community Analysis of Activated Sludge Immobilization .....	XU Xiao-yi, YOU Xiao-lu, LÜ Chen-pei, <i>et al.</i> (2052)
Microbial Structure of an Enhanced Two-phase High-solid Anaerobic Digestion System Treating Sludge .....	CAO Zhi-ping, WU Jing, ZUO Jian-e, <i>et al.</i> (2059)
Comparative Studies on Soil Actinobacterial Biodiversity After Re-vegetation in the Urban and Rural Hydro-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Region .....	QIN Hong, REN Qing-shui, YANG Wen-hang, <i>et al.</i> (2065)
Nitrous Oxide Emissions and Its Influencing Factors from an Agricultural Headwater Ditch During a Maize Season in the Hilly Area of Central Sichuan Basin .....	TIAN Lin-lin, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (2074)
Effect of Dicyandiamide on N <sub>2</sub> O Emission in Fallow Paddy Field and Rape Cropping .....	WU Yan-zheng, ZHANG Miao-miao, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (2084)
Characteristics of Biochar-mediated N <sub>2</sub> O Emissions from Soils of Different Surface Conditions .....	ZOU Juan, HU Xue-yu, ZHANG Yang-yang, <i>et al.</i> (2093)
Characteristics of Soil Respiration and Soil Organic Carbon in Fava Bean Farmland Under Ridge Tillage and Straw Mulching in Southwest China .....	XIONG Ying, WANG Long-chang, DU Juan, <i>et al.</i> (2102)
Prediction of Distribution of Soil Cd Concentrations in Guangdong Province, China .....	SUN Hui, GUO Zhi-xing, GUO Ying, <i>et al.</i> (2111)
Spatial Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Suya Lake .....	ZHANG Peng-yan, KANG Guo-hua, PANG Bo, <i>et al.</i> (2125)
Effects of the Active Components of Humic Acids and Their Proportions on the Dynamics of Lead Transformation and Availability in Purple Alluvial Soil .....	WANG Qing-qing, JIANG Zhen-mao, WANG Jun, <i>et al.</i> (2136)
Enrichment Characteristics of Heavy Metals in Particulate Organic Matter of Purple Paddy Soil .....	LI Qiu-yan, ZHAO Xiu-lan (2146)
Enhanced Sorption of Cetrizine to Loessial Soil Amended with Biochar .....	WU Zhi-juan, BI Er-ping (2154)
Characteristics and Mechanism of Copper Adsorption from Aqueous Solutions on Biochar Produced from Sawdust and Apple Branch .....	WANG Tong-tong, MA Jiang-bo, QU Dong, <i>et al.</i> (2161)
Adsorption of Pb <sup>2+</sup> and Cd <sup>2+</sup> from Aqueous Solution Using Vermicompost Derived from Cow Manure and Its Biochar .....	DU Wen-hui, ZHU Wei-qin, PAN Xiao-hui, <i>et al.</i> (2172)
Performance and Mechanism Study of Visible Light-driven C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /BiOBr Composite Photocatalyst .....	BAO Yue, ZHOU Min-yun, ZOU Jun-hua, <i>et al.</i> (2182)