

北京城区PM_{2.5}各组分污染特征及来源分析

安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献

PM_{2.5} 化学组成

SO₄²⁻ NH₄⁺ NO₃⁻
元素碳 Cl⁻ 有机物 地壳元素

源解析

二次
颗粒物
机动车
扬尘
工业
燃煤
生物质
燃烧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年5月

第43卷 第5期
Vol.43 No.5

目次

北京城区 PM _{2.5} 各组分污染特征及来源分析	安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献 (2251)
基于时空混合效应模型的京津冀 PM _{2.5} 浓度变化模拟	范丽行, 杨晓辉, 宋春杰, 李梦诗, 段继福, 王卫, 李夫星, 李伟妙 (2262)
2000~2018 年京津冀城市群 PM _{2.5} 时空演变及其与城市扩张的关联	赵安周, 相恺政, 刘宪锋, 张向蕊 (2274)
海-陆大气交汇作用下青岛冬季大气 PM _{2.5} 污染特征与来源解析	虞雄, 杨凌霄, 张婉, 齐安安, 王滢铭, 王鹏程, 黄琦, 赵彤, 张雄飞, 徐鹏, 张天琪, 王文兴 (2284)
硫酸盐非均相机制对颗粒物污染的影响: 上海典型污染事件的 WRF-Chem 模拟	张茹涵, 张皓然, 冯伟航, 汤克勤, 马亚平, 王红丽, 黄成, 胡建林, 张宏亮, 李楠 (2294)
省会城市不同功能区大气 PM _{2.5} 化学组分季节变化及来源分析	孙友敏, 范晶, 徐标, 李彦, 韩红, 张桂芹 (2304)
太原市冬季不同污染程度下 PM _{2.5} 的化学组成、消光特征及氧化潜势	任娇, 赵荣荣, 王铭, 张欢欢, 尹诗杰, 薛永刚 (2317)
郑州市冬季大气 PM _{2.5} 金属元素来源及健康风险评价	姚森, 王乾恒, 薛妍, 史来文, 张俊美, 杨书申 (2329)
淄博市冬季 PM _{2.5} 载带金属元素污染特征、生态风险评价及来源分析	白雯宇, 徐勃, 郭丽瑶, 殷宝辉, 马银红, 李丽明, 杨文, 赵雪艳 (2336)
承德市 PM _{2.5} 中多环芳烃的季节分布特征、来源解析及健康风险评价	贺博文, 聂赛赛, 李仪琳, 郭睿瑶, 姚波, 崔建升, 冯亚平, 王帅, 侯晓松 (2343)
珠三角大气中二噁英污染水平与区域迁移	付建平, 谢丹平, 黄锦琼, 杨艳艳, 冯桂贤, 周长风, 廖海婷, 青亮, 张漫雯, 吴明亮, 张素坤 (2355)
华北平原南部农村地区黑碳气溶胶浓度及来源	张玲, 孔少飞, 郑煌, 胡尧, 曾昕, 程溢, 祁士华 (2363)
基于模式过程分析技术天津地区 PM _{2.5} 污染气象成因分析	郝团, 蔡子颖, 韩素芹, 杨旭, 樊文雁, 姚青, 邱晓滨 (2373)
基于排放量和大气反应活性的 VOCs 污染源分级控制	陈鹏, 张月, 邢敏, 李珊珊 (2383)
基于复杂网络的中国臭氧拓扑特征	菅娜, 陈建华, 李冬, 王迪, 薛志钢 (2395)
基于前体物多情景排放的兰州市 2030 年夏季臭氧预测	陈天雷, 吴敏, 潘成珂, 常莉敏, 李洪, 刘鹏, 高宏, 黄韬, 马建民 (2403)
基于源反演和气溶胶同化方法天津空气质量模式预报能力改进	蔡子颖, 唐邈, 肖致美, 杨旭, 朱玉强, 韩素芹, 徐虹, 邱晓滨 (2415)
基于空气质量监测数据的钢铁行业污染源识别方法	石耀耀, 胡京南, 褚咏昕, 段青春, 胡丙鑫, 殷丽娜, 吕玲玲 (2427)
重污染天气应对“绩效分级、差异化管控”措施首次实践效果后评估	曾景海, 王灿 (2436)
黄河流域水污染风险分区	周夏飞, 曹国志, 於方, 杨威杉, 徐泽升 (2448)
黄河流域甘肃段工业行业水污染物空间排放特征	李雪迎, 杨曦, 乔琦, 刘丹丹, 张玥, 赵若楠, 白璐 (2459)
黄河沉积物重金属时空分布与污染评价	王韬轶, 潘保柱, 韩语, 王雨竹, 李晨辉, 杜蕾 (2467)
APCS-MLR 结合 PMF 模型解析厦门杏林湾近郊流域沉积物金属来源	沈宸宇, 闫钰, 于瑞莲, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (2476)
河流底泥 DOM、营养盐与重金属空间分异特征及响应关系	肖艳春, 于会彬, 宋永会 (2489)
太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析	胡杰, 赵心语, 王婷婷, 苟奎贤, 王春玲 (2500)
洪泽湖溶解态有机质与重金属汞的结合特性	胡斌, 王沛芳, 张楠楠, 包天力, 金秋彤 (2510)
富营养化驱动下西凉湖百年生态演化轨迹	郑佳楠, 徐敏, 郑文秀, 朱可欣, 王荣, 张恩楼 (2518)
基于 DGT 技术的黄河上游典型水库沉积物氮磷释放与污染源解析	马玉坤, 朱翔, 庞晴晴, 孔明, 韩天伦, 彭福全, 谢磊, 汪龙眠, 徐斌, 何斐 (2527)
暴雨前后河南北部河流水质分异特征及其污染源解析	张彦, 邹磊, 梁志杰, 姜明, 李平, 黄仲冬, 齐学斌 (2537)
鄱阳湖流域水葫芦 (<i>Eichhornia crassipes</i>) 对水体微塑料的吸附截留效应	李文刚, 吴希恩, 简敏菲, 刘淑丽, 刘海球, 丁惠君 (2548)
太湖塑料添加剂时空分布和生态风险评价	刘舒娇, 丁剑楠, 石波哲, 张军毅, 庄严, 邹华 (2557)
骆马湖表层沉积物微塑料的分布、来源及储量	姚明轩, 白雪, 徐振佳, 李凤杰, 陆滢, 李畅, 华祖林 (2566)
太湖不同介质中磷的污染特征及其治理启示	蔡梅, 陆志华, 王元元, 钱旭 (2575)
辽河四平段流域河流沉积物微生物群落多样性和结构分析	李鹏洋, 安启睿, 王新皓, 孙思宇, 李青乾, 郑娜 (2586)
面源污染诱导嘉陵江沉积物中细菌群落结构与功能异变	薛玉琴, 徐飞, 刘坤和, 王佳颖, 竹兰萍, 朱志豪, 张拓 (2595)
微塑料对沉积物细菌群落组成和多样性的影响	李汶璐, 王志超, 杨文煊, 张博文, 李卫平 (2606)
白洋淀冬季沉积物好氧反硝化菌垂直分布特征及群落构建	张甜娜, 陈召莹, 张紫薇, 周石磊, 孟佳靖, 陈哲, 张一凡, 董宛佳, 崔建升 (2614)
人工诱导水库分层水体提前混合对细菌群落结构和代谢活性的影响	高悦, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 司凡, 杨斌 (2624)
鄱阳湖典型区铜锈环螺体内微塑料分布特征	江为群, 胡启武, 简敏菲, 邹龙, 刘淑丽 (2633)
负载多壁碳纳米管的多孔 Ti/SnO ₂ -Sb-Ni 电极电催化氧化双酚 A	符远航, 刘安迪, 黄伟斌, 唐彬彬, 张进忠 (2640)
磁性 Mn _{0.6} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ 催化 H ₂ O ₂ 降解亚甲基蓝效能及机制	徐冬莹, 余静, 郝旗, 杨迎春, 方淑红 (2650)
两种纳米颗粒对沸石吸附环丙沙星的影响	蒋兰翠, 孟昭福, 刘贤, 刘欣, 王新欣, 曹雪雯 (2662)
AMD 污泥复合材料吸附 As(V) 的机制及其影响因素	张亚辉, 张瑞雪, 吴攀, 陈世万, 杨艳, 安丽, 傅渝然, 张子豪 (2673)
三氯生及其降解中间产物对活性污泥中微生物群落变化和硝化反硝化功能基因的影响	卢英源, 董小琦, 彭星星, 贾晓珊 (2685)
污染场地风险管控可持续评价指标体系构建及关键影响因素分析	李笑诺, 易诗懿, 陈卫平 (2699)
基于生态功能的滨海湿地土壤质量综合评价方法构建及实证分析	张雪, 孔范龙, 姜志翔 (2709)
铜山矿区周边农田土壤重金属来源解析及污染评价	陈航, 王颖, 王澍 (2719)
典型铁、锰矿物对稻田土壤砷形态与酶活性的影响	周一敏, 黄雅媛, 刘凯, 赵儒乐, 李冰玉, 雷鸣 (2732)
两种油菜施肥水溶性壳聚糖修复典型铅污染农田土壤	孟晓飞, 郑国砥, 陈同斌, 杨俊兴, 郭俊梅, 刘杰 (2741)
基于贝叶斯理论的小麦籽粒镉铅超标风险预测	王天齐, 李艳玲, 杨阳, 牛硕, 王美娥, 陈卫平 (2751)
紫色土旱坡地油菜/玉米轮作下氮流失的年度变化特征	徐曼, 高明, 余添, 朱浩宇, 邓华, 王子芳 (2758)
不同原料生物炭的理化特性及其作炭基肥缓释载体的潜力评价	邢莉彬, 成洁, 耿增超, 张宏伟, 梁宏旭, 王强, 孙倩倩, 李艳 (2770)
木醋液酸化生物炭与氮素配施对盐渍土壤活性氮及氨挥发的影响	申书伟, 张丹丹, 王敏鸽, 王旭东 (2779)
生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响	郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 陈海心, 冯浩 (2788)
戴云山南坡不同海拔森林土壤微生物群落结构特征和影响因素	何中声, 王紫薇, 朱静, 陈佳嘉, 谷新光, 江蓝, 陈博, 吴则焰, 刘金福, 陈文伟 (2802)
模拟增温和降雨增加对撂荒草地土壤胞外酶活性及计量特征的影响	王兴, 钟泽坤, 简俊楠, 张硕宏, 杨改河, 任成杰, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娇, 韩新辉 (2812)
中国主要城市的城市化对局地增温的贡献	李宇, 周德成, 闫章美, 张良侠 (2822)
《环境科学》征订启事 (2293)	
《环境科学》征稿简则 (2426)	
信息 (2585, 2672, 2708)	

木醋液酸化生物炭与氮素配施对盐渍土壤活性氮及氨挥发的影响

申书伟¹, 张丹丹¹, 王敏鸽¹, 王旭东^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:以盐渍土壤为研究对象,通过吸附试验和室内土壤培养试验,分析生物炭及木醋液酸化生物炭与尿素配施后对盐渍土壤活性氮、脲酶活性和氨挥发的影响,为提高盐渍土壤氮素有效性提供理论和技术支撑。吸附试验表明,木醋液酸化生物炭提高了对铵态氮的吸附量,与生物炭相比,提高了2.28%~18.18%。土壤培养试验表明,与单施尿素处理相比,生物炭和木醋液酸化生物炭与尿素配施处理使土壤硝态氮、铵态氮分别减少了0.72%和25.26%、1.11%和16.93%;提高了土壤可溶性有机氮和可溶性全氮含量。木醋液酸化生物炭与尿素配施提高了脲酶活性,而生物炭与尿素配施处理则降低了土壤脲酶活性。木醋液酸化生物炭与尿素配施处理氨挥发累积量在不同培养时期均低于单施尿素处理及生物炭与尿素配施处理,且能降低土壤的pH,而未改性的生物炭则提高了土壤pH。因此,在盐渍土区,采用木醋液对生物炭进行酸化后再与氮肥配合施用,不仅有效降低了土壤pH,提高土壤脲酶活性以及可溶性有机氮含量,还可以适当降低土壤铵态氮和硝态氮含量,减少氨挥发,有利于减少土壤无机氮素的损失和提高盐渍土壤氮素有效性。

关键词:酸化生物炭; 盐渍土壤; 活性氮; 脲酶; 氨挥发

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)05-2779-09 DOI: 10.13227/j.hjlx.202108105

Effects of Combined Application of Wood Vinegar-Acidified Biochar and Nitrogen on Active Nitrogen and Ammonia Volatilization in Saline Soil

SHEN Shu-wei¹, ZHANG Dan-dan¹, WANG Min-ge¹, WANG Xu-dong^{1,2,*}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agro-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

Abstract: Adsorption experiments and indoor soil culture experiments were conducted to investigate the effects of biochar and wood vinegar-acidified biochar combined with urea on active nitrogen, urease activity, and ammonia volatilization in saline soil. The adsorption experiments showed that the wood vinegar-acidified biochar increased the adsorption quantity of NH_4^+ -N, which increased by 2.28%-18.18% compared with that of biochar. The soil cultivation experiments showed that compared with that under the single application of urea, biochar and wood vinegar-acidified biochar combined with urea treatments reduced the soil NO_3^- -N and NH_4^+ -N by 0.72% and 25.26% and 1.11% and 16.93%, respectively, whereas it increased the soil dissolved organic nitrogen and total dissolved organic nitrogen. Soil urease activity was increased by the wood vinegar-acidified biochar combined with urea treatment, whereas it was decreased by the biochar combined with urea treatment. Ammonia volatilization accumulation in the wood vinegar-acidified biochar combined with urea treatment was lower than that in the single application of urea and biochar combined with urea treatments at different cultivation periods. The wood vinegar-acidified biochar combined with urea treatment effectively reduced soil pH, but the unmodified biochar increased soil pH. In saline soil areas, acidifying biochar with wood vinegar and then applying acidified biochar with nitrogen fertilizer not only effectively reduced soil pH and increased soil urease activity and dissolved organic nitrogen content, but it also appropriately reduced soil NH_4^+ -N and NO_3^- -N contents, thus reducing ammonia volatilization. This was conducive to reducing the loss of soil inorganic nitrogen and improving the effectiveness of saline soil nitrogen.

Key words: acidified biochar; saline soil; active nitrogen; urease; ammonia volatilization

盐渍土壤是西北地区一类重要的土壤类型,受其盐分的影响,盐渍土壤中养分利用率较低,且大量施肥进一步加剧了盐渍化程度,因此,对盐渍土中养分的调控是人们一直关注的问题。盐渍土中氮素的氨化过程和硝化过程均会受到盐渍程度的影响^[1]。有研究表明,土壤中盐分含量过高时,脲酶水解速率受到抑制,土壤硝化速率降低,反硝化速率提高^[2];而当土壤中盐分含量低于1.70%时,在一定的范围内,随盐分含量升高,土壤硝化作用越强^[3]。氨(NH_3)挥发是土壤氮素损失的主要途径之一^[4]。有研究发现,与非盐渍土壤相比,盐分水平达1.00 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 和5.00 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 的两种盐渍土壤均显著增加

了土壤氨挥发损失^[5];常菲等^[6]的研究认为,尿素和秸秆还田配合有效抑制了河套地区盐渍土壤氨挥发;也有研究认为,有机物料和尿素配合施入会进一步增加氨挥发强度^[7]。以上现象反映出了施用有机物料对土壤氨挥发影响的复杂性。

土壤活性氮是指能被动、植物和微生物直接吸收利用的氮素成分,主要包括土壤可溶性有机氮(DON)、硝态氮(NO_3^- -N)、铵态氮(NH_4^+ -N)和微

收稿日期: 2021-08-11; 修订日期: 2021-10-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200405)

作者简介: 申书伟(1997~),男,硕士研究生,主要研究方向为土壤改良与生物炭应用, E-mail: shen_shuwei@163.com

* 通信作者, E-mail: wangxudong01@126.com

生物量氮(MBN)等,其含量的变化对土壤氮素供应具有重要意义. 土壤中添加有机物料会对土壤氮素转化产生影响^[8,9]. 有研究表明,秸秆和尿素配施可以有效提高土壤中活性有机氮的含量^[10];石思博等^[11]的研究认为,菌渣与化肥配施显著提高了土壤可溶性氮和微生物量氮含量;程会丹等^[12]的研究发现田间翻压一定量的紫云英可以增加土壤活性氮含量,提高氮素可利用性.

生物炭是生物质经热解产生的一种富含碳的有机物^[13],其本身特殊的结构对氮素转化具有显著影响. 有研究发现^[14],生物炭基肥提高了茼蒿田土壤可溶性氮及其组分含量,在中后期土壤可溶性有机氮含量得到显著提高;庞孜钦^[15]通过田间小区试验研究发现,生物炭与氮肥配施提高了对土壤 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N的固持效果,使作物可利用性有效态氮含量得到明显提升. 施用生物炭可以通过影响硝化和反硝化过程,间接对土壤氮挥发造成影响^[16]. 而王一宇等^[17]的研究表明,在盐渍土壤中,添加一定量的生物炭,对氮挥发具有一定抑制作用. 对生物炭进行改性是人们为进一步提高生物炭的功效率而常采取的措施. 王思源等^[18]的研究认为相对于未改性的生物炭,铁氧化改性生物炭对 NH_4^+ -N的吸附作用最强,而改性后C—O官能团的增加是吸附量增加最主要的原因. 施用生物炭已被认为是一种潜在改良盐渍土壤的方法^[19],但生物炭往往因其具

有大量碱性基团,本身pH较高,影响到对盐渍土壤的改良效果. 木醋液是木质生物质材料在热解生产生物炭过程中的副产品^[20],主要是由有机酸(乙酸含量最多)、酮、醛和呋喃等成分组成^[21],可用作土壤改良剂^[22]. 生物炭与木醋液联合施用以改良土壤退化问题有所报道^[23],但用木醋液酸化处理的生物炭对土壤氮素影响研究报道的较少,还需深入研究.

本文通过吸附试验和室内恒温培养试验,研究了生物炭及木醋液酸化处理后生物炭与尿素配施对盐渍土壤活性氮转化、脲酶活性及氨挥发的影响,以期对木醋液酸化生物炭提高盐渍土壤氮素有效性提供一定理论基础.

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自甘肃省高台县巷道镇红联村,土壤为灌淤旱耕人为土. 采集0~20 cm耕层土样,取样时采取多点混合法进行取样. 土壤基本理化性质见表1. 供试材料生物炭和木醋液由陕西省谷佳现代有机农业科技有限公司生产提供,其理化性质见表2,供试肥料为尿素,含N量为46%.

酸化生物炭制备方法:将研磨过0.15 mm筛的生物炭与木醋液以1 g:50 mL的比例混合,200 r·min⁻¹振荡2 h,而后浸泡48 h进行酸化处理. 然后过滤,在60℃条件下干燥后备用.

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the testing soil

项目	pH	ω (有机碳) /g·kg ⁻¹	ω (全氮) /g·kg ⁻¹	ω (全磷) /g·kg ⁻¹	ω (硝态氮) /mg·kg ⁻¹	ω (铵态氮) /mg·kg ⁻¹	ω (速效磷) /mg·kg ⁻¹	ω (全盐量) /g·kg ⁻¹
数值	7.64	8.20	0.85	0.81	105.95	53.48	25.88	0.26

表 2 供试生物炭基本理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of the testing biochar

项目	ω (硝态氮) /mg·kg ⁻¹	ω (铵态氮) /mg·kg ⁻¹	ω (有机碳) /g·kg ⁻¹	pH	ω (C) /%	ω (N) /%
生物炭	2.37	1.58	55.64	9.28	74.75	0.81
酸化生物炭	2.45	3.46	56.11	4.47	76.95	0.80

1.2 试验设计

1.2.1 吸附试验

称取0.2 g生物炭(B)及酸化生物炭(BP),加入50 mL不同浓度(10、20、50、90、150、300、600和900 mg·L⁻¹)的硫酸铵吸附液,每个处理重复3次,置于恒温振荡器中,200 r·min⁻¹(25℃)振荡24 h,过滤后测定滤液中 NH_4^+ -N的浓度. 单位质量生物炭对 NH_4^+ -N的吸附量按式(1)计算,吸附率按式(2)计算.

$$q_e = (c_0 - c_e) \times V/m \quad (1)$$

$$R = (c_0 - c_e)/c_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中, q_e 为单位质量生物炭对 NH_4^+ -N的吸附量(mg·g⁻¹); c_0 为溶液中 NH_4^+ -N起始浓度(mg·L⁻¹); c_e 为吸附平衡时溶液中 NH_4^+ -N的浓度(mg·L⁻¹); V 为吸附平衡溶液的体积(L); m 为生物炭的加入量(g), R 为生物炭对 NH_4^+ -N的吸附率.

1.2.2 土壤培养试验

称取过2 mm筛的风干土样150 g置于250 mL塑料瓶中,共设4个处理,不施用氮肥的土壤对照(CK)、单施尿素(U)、施用尿素和生物炭(BU)、

施用尿素和木醋液酸化生物炭(BPU),每个处理重复3次.其中尿素均按纯N计 $0.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 施用,生物炭及酸化处理生物炭按土重1%比例施用.瓶口用塑料膜封口,在膜上均匀地扎上针孔,使空气流通保持顺畅,且减少了水分的蒸发,而后于恒温培养箱中 25°C 进行恒温培养,分别于第7、15、30和60 d后采样,期间土壤水含量维持在最大田间持水量的75%~80%(每5 d补充一次水分),采样后进行土壤性质的测定.

1.2.3 土壤氨挥发测定

氨挥发测定参照杨文娜等^[24]的方法.与上述土壤培养试验保持一致,每个处理重复3次.在广口瓶中放入盛有5 mL 2% 硼酸指示剂的小烧杯,以吸收土壤挥发出来的氨,瓶口用封口膜封紧,置于 25°C 培养箱进行恒温培养,分别于第7、15、30和60 d后取出硼酸吸收液进行滴定.

1.3 样品测定

吸附试验滤液使用流动分析仪(AA3)测定.供试土壤的硝态氮($\text{NO}_3^{-}\text{-N}$)和铵态氮($\text{NH}_4^{+}\text{-N}$)的测定采用常规方法^[25].土壤pH用过1 mm 筛的风干土以2.5:1的水土比浸提后用pH计(梅特勒 five ease plus FE28)进行测定.土壤脲酶的测定参照关松荫^[26]的方法.土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 浸提法,其中微生物量氮用连续流动分析仪(AA3)测定,微生物量碳用TOC- V_{CPI} (日本岛津)分析仪进行测定.土壤可溶性全氮(TDN)采用碱性 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 消解-紫外分光光度法测得^[27,28].

土壤微生物量碳 = (熏蒸土壤微生物量碳 - 未熏蒸土壤微生物量碳)/0.45

式中,0.45 是将提取液的有机碳增量换算成土壤微

生物量碳所采用的转换系数.

土壤微生物量氮 = (熏蒸土壤微生物量氮 - 未熏蒸土壤微生物量氮)/0.25

式中,0.25 是土壤微生物量氮的矿化系数.

土壤可溶性有机氮含量(DON) = 土壤可溶性全氮含量(TDN) - 土壤无机氮($\text{NH}_4^{+}\text{-N} + \text{NO}_3^{-}\text{-N}$)

1.4 数据处理

数据分析采用SPSS 25.0 和 Excel 2019, Duncan 新复极差法进行处理间的差异显著性比较,显著性水平 $P < 0.05$,使用 Origin 2018 进行作图.

2 结果与分析

2.1 生物炭及酸化生物炭对 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的吸附特征

图1 为生物炭及酸化生物炭在不同浓度下吸附 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的结果.从中可知,随着溶液初始浓度的增加,两种类型生物炭对 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的吸附均逐渐增加,生物炭对 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的吸附率随吸附液浓度的增大而呈快速增加的变化趋势,酸化生物炭对 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的吸附率始终高于生物炭的吸附率,说明在等温等时间条件下,酸化处理促进了生物炭对 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的吸附,吸附量增幅为2.28%~18.18%.

2.2 土壤活性氮的变化特征

2.2.1 土壤无机氮的变化特征

表3 反映了恒温培养条件下,生物炭与木醋液酸化生物炭对土壤活性氮的影响.土壤 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 变化显示,CK 处理土壤 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 含量呈先升高后逐渐下降的变化趋势,U、BU 和 BPU 处理均呈前期由较高点快速降低,后期趋于平缓的变化趋势.与CK 处理相比,添加尿素处理(U 处理)土壤 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 含量在整个培养期均有增加.与U 处理相比,在培养的第7 d,BU 和 BPU 处理土壤 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 含量分别降低了

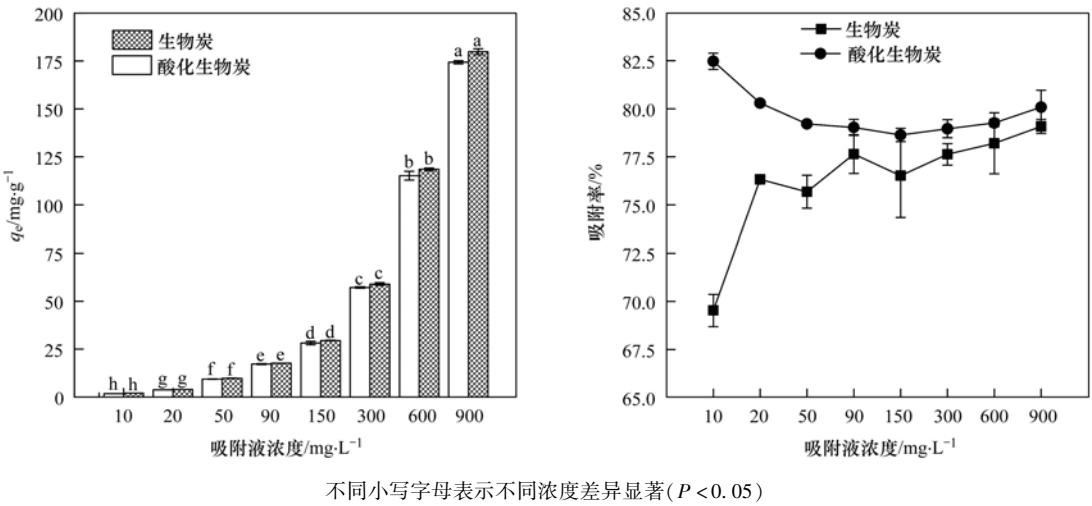


图1 不同浓度的吸附液对生物炭及酸化生物炭吸附 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of adsorbent on the adsorption of $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ by biochar and acidified biochar

15.06%和37.10%,差异显著($P < 0.05$);在培养的第15 d, BU 和 BPU 处理分别增加 8.47%和 0.20%.第30 d和60 d,两者与 U 处理差异均不显著.而 BPU 处理较 BU 处理土壤 NH_4^+ -N在第7 d和15 d均显著降低;第30 d和60 d,两者差异不显著.

土壤 NO_3^- -N变化显示,CK 处理土壤 NO_3^- -N呈波形变化趋势,U、BU 和 BPU 处理含量均呈先增加后降低的变化趋势.与 CK 处理相比,添加尿素处理

(U 处理)土壤 NO_3^- -N含量始终呈显著性增加.与 U 处理相比,在培养的第7 d, BPU 和 BU 处理土壤 NO_3^- -N含量显著降低;在第15 d, BPU 处理降低 11.85%,差异达显著水平($P < 0.05$);在第30 d, BU 处理显著增加;在第60 d,土壤 NO_3^- -N的含量表现为: $U > BU > BPU > CK$. 总体看来,在整个培养期, BPU 处理土壤 NO_3^- -N含量均低于 BU 处理,其中在培养的第7~30 d,差异达到显著($P < 0.05$).

表3 不同处理土壤活性氮含量¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 3 Soil active nitrogen content under different treatments/mg·kg⁻¹

处理	取样时期	CK	U	BU	BPU
$\omega(\text{NH}_4^+-\text{N})$	第7 d	1.67 ± 0.38dB	22.88 ± 1.71aA	19.43 ± 1.24bA	14.39 ± 0.67cA
	第15 d	4.30 ± 0.07bA	4.35 ± 0.07bB	4.72 ± 0.15aB	4.36 ± 0.13bB
	第30 d	1.69 ± 0.17aB	1.88 ± 0.30aC	1.72 ± 0.08aC	1.89 ± 0.15aC
	第60 d	1.55 ± 0.40aB	1.55 ± 0.25aC	1.16 ± 0.09aC	1.29 ± 0.22aC
$\omega(\text{NO}_3^--\text{N})$	第7 d	134.66 ± 1.81dD	346.77 ± 2.68aB	341.44 ± 3.22bB	303.17 ± 2.02cC
	第15 d	174.98 ± 2.68cA	463.87 ± 1.44aA	464.49 ± 3.82aA	408.89 ± 1.08bA
	第30 d	155.27 ± 1.22cC	338.00 ± 1.56bC	342.05 ± 1.09aB	336.79 ± 0.85bB
	第60 d	164.41 ± 1.24cB	263.49 ± 0.51aD	261.59 ± 0.27bD	260.57 ± 0.15bD
$\omega(\text{MBN})$	第7 d	3.28 ± 0.19cBC	13.92 ± 2.35aA	15.77 ± 0.93aA	6.80 ± 1.40bA
	第15 d	6.68 ± 1.10aA	7.14 ± 0.81aB	5.06 ± 0.30bB	3.78 ± 0.50bC
	第30 d	4.23 ± 0.27bB	2.56 ± 0.20cC	2.21 ± 0.38cC	6.55 ± 0.50aAB
	第60 d	2.52 ± 0.06cD	7.68 ± 0.21aB	3.13 ± 0.61cC	5.08 ± 0.22bBC
$\omega(\text{DON})$	第7 d	148.00 ± 1.91cC	258.01 ± 3.25bC	357.10 ± 1.22aB	133.04 ± 3.05dC
	第15 d	495.38 ± 4.24aA	102.75 ± 8.01bD	109.34 ± 6.06bD	67.75 ± 3.07cD
	第30 d	178.38 ± 3.94cB	280.69 ± 4.04bB	160.63 ± 2.78dC	357.70 ± 3.01aB
	第60 d	145.97 ± 0.29dC	344.51 ± 4.65cA	432.09 ± 0.65aA	389.14 ± 5.28bA
$\omega(\text{TDN})$	第7 d	284.33 ± 0.84dD	627.66 ± 1.00bA	717.98 ± 2.88aA	450.61 ± 5.63cD
	第15 d	674.66 ± 4.17aA	570.98 ± 8.04bC	578.55 ± 4.74bC	481.01 ± 3.99cC
	第30 d	335.34 ± 4.52dB	620.57 ± 3.93bA	504.40 ± 1.96cD	696.38 ± 2.30aA
	第60 d	311.93 ± 1.33dC	609.55 ± 4.94cB	694.84 ± 1.00aB	650.99 ± 5.62bB

1) 不同小写字母表示同一时期不同处理差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示同一处理不同时期差异显著($P < 0.05$)

2.2.2 土壤微生物量氮(MBN)的变化特征

不同处理土壤微生物量氮(MBN)的变化显示,CK 处理土壤 MBN 含量呈先升高后逐渐降低的变化趋势,U 处理呈前期由较高点快速降低后期逐渐升高的变化趋势,BU 处理呈前期由较高点快速降低而后逐渐稳定的变化趋势,BPU 处理呈波形变化趋势.与单施尿素(U 处理)相比,除培养第30 d外,其余时期 BPU 处理均显著降低了土壤 MBN.而 BU 处理除培养第7 d外,其余时期土壤 MBN 含量均低于 U 处理,其中第15 d和第60 d达到显著性差异($P < 0.05$).在培养末期(60 d),土壤 MBN 含量表现为: $U > BPU > BU > CK$. 与 BU 处理相比, BPU 处理呈前期降低后期升高的变化趋势,其中,在培养第7 d显著降低了 56.85%,在第30 d和第60 d,是 BU 处理的 2.96 和 1.62 倍,差异显著($P < 0.05$).

2.2.3 土壤可溶性有机氮(DON)的变化特征

不同处理土壤可溶性有机氮(DON)的变化显示,CK 处理土壤 DON 含量呈先升高后逐渐降低的

变化趋势,U 处理呈前期由较高点缓慢降低,后期又缓慢升高的变化趋势,BU 处理呈“U”型变化趋势, BPU 处理呈前期由较高点缓慢降低,后期快速升高并趋于稳定的变化趋势.在培养第7 d,土壤 DON 含量表现为: $BU > U > CK > BPU$. 在培养第15 d,与 U 处理相比, BU 增加不显著, BPU 显著降低了 34.10%.在培养第30 d, BPU 处理显著提高了土壤 DON 含量,分别是 BU、U 处理的 2.23 倍、1.27 倍,而 BU 处理较 U 处理显著降低了土壤 DON.在培养的第60 d, BU 处理显著高于 BPU 处理,且两者含量均显著高于 U 处理.

2.2.4 土壤可溶性全氮(TDN)的变化特征

不同处理土壤可溶性全氮(TDN)的变化显示,CK 处理土壤 TDN 呈先升高后降低的变化趋势,U 处理呈波形变化趋势,BU 处理呈“U”型变化趋势, BPU 处理呈现先逐渐增加后降低的变化趋势. U 处理土壤 TDN 含量均显著大于 CK 处理(第15 d 除外).在培养的第7 d至第15 d,与 U 处理相比, BU

处理均提高了土壤 TDN 含量,而 BPU 处理均降低了土壤 TDN 含量,差异显著($P < 0.05$);在培养第 30 d,与 U 处理相比,BU 处理显著降低了 18.72%,BPU 处理显著提高了 12.22%;在培养第 60 d,土壤 TDN 含量表现为:BU > BPU > U > CK. 总体看来,BPU 处理的土壤 TDN 含量除在第 30 d 高于 BU 处理外,其余时期均显著低于 BU 处理.

2.3 土壤脲酶的变化特征

土壤脲酶对生物炭和木醋液酸化生物炭的响应见图 2. CK、BU 和 BPU 处理土壤脲酶活性呈波形变化趋势,U 处理呈前期由较高点降低后期逐渐升高的变化趋势.较 U 处理,BPU 处理土壤脲酶活性在第 7、30 和 60 d 各增加了 16.97%、54.34% 和 28.74%,差异显著($P < 0.05$);BU 处理在第 60 d 显著减少了 19.31%,其余时间差异均不显著.而 BPU 处理土壤脲酶活性在第 7、30 和 60 d 显著高于 BU 处理.培养结束后,土壤脲酶的活性表现为:BPU > U > BU > CK.

2.4 土壤氨挥发累积量的变化特征

土壤氨挥发的变化特征见表 4. CK、U、BU 和 BPU 处理氨挥发累积量均呈逐渐增加的变化趋势.

表 4 不同处理土壤氨挥发累积量¹⁾/mg·kg⁻¹

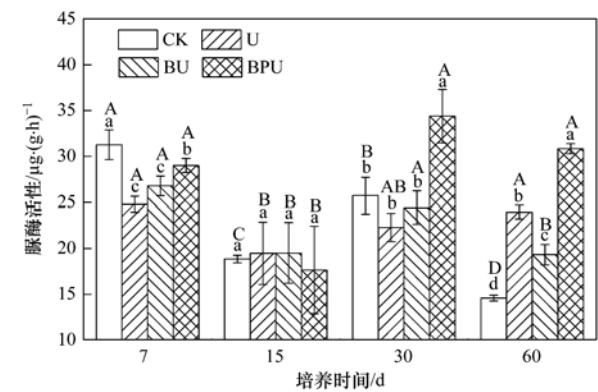
Table 4 Ammonia volatilization accumulation under different treatments/mg·kg⁻¹

取样时期	CK	U	BU	BPU
第 7 d	0.50 ± 0.02dD	6.50 ± 0.33aD	4.30 ± 0.21bD	3.10 ± 0.15cC
第 15 d	0.90 ± 0.05dC	15.80 ± 0.65aC	12.60 ± 0.56bC	10.40 ± 0.46cBC
第 30 d	1.10 ± 0.05dB	25.90 ± 1.08aB	20.90 ± 0.85bB	18.10 ± 0.81cAB
第 60 d	1.20 ± 0.05cA	34.80 ± 1.32aA	26.50 ± 0.95abA	22.30 ± 9.18bA

1) 不同小写字母表示同一时期不同处理差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示同一处理不同时期差异显著($P < 0.05$)

2.5 土壤 pH 和微生物量碳(MBC)的变化特征

土壤 pH 和 MBC 对生物炭和木醋液酸化生物



不同小写字母表示同一时期不同处理差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示同一处理不同时期差异显著($P < 0.05$),下同

图 2 生物炭及酸化生物炭施用对土壤脲酶的影响

Fig. 2 Effects of biochar and acidified biochar on soil urease

添加尿素各处理土壤氨挥发累积量均高于 CK 处理.BU 处理在第 7 d 至第 30 d 氨挥发累积量显著低于 U 处理,降幅各为 33.85%、20.25% 和 19.31%;BPU 处理在整个培养期均显著低于 U 处理,降幅各为 52.31%、34.18%、30.12% 和 35.92%.而 BPU 处理较 BU 处理,在整个培养期均降低了氨挥发累积量,其中在第 7~30 d 达到差异显著($P < 0.05$).

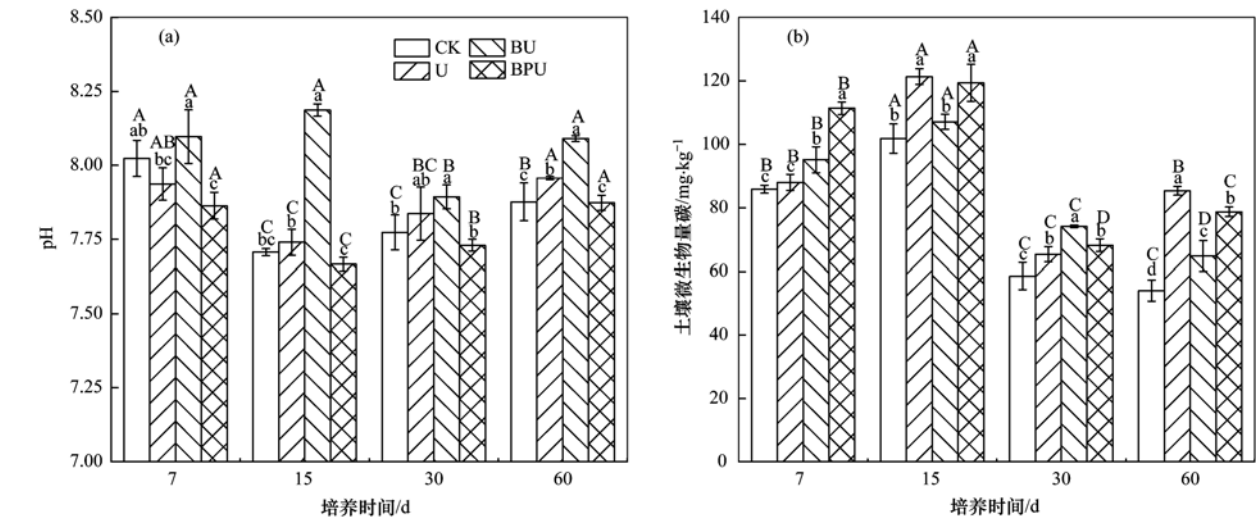


图 3 生物炭及酸化生物炭施用对土壤 pH 和 MBC 的影响

Fig. 3 Effects of biochar and acidified biochar on soil pH and MBC

15 d 后又略高于 CK 处理. 生物炭与尿素配合施入土壤(BU 处理)pH 始终高于其他各处理,而木醋液酸化生物炭与尿素配施(BPU 处理),土壤的 pH 均小于其余处理. 整个培养过程,BU 处理呈波形变化趋势,BPU 处理呈前期由较高点下降后期逐渐上升的变化趋势.

由图 3(b)可知,整个培养过程各处理土壤微生物量碳呈现一定的波动变化. 与 CK 处理相比,单施尿素或尿素与生物炭以及酸化生物炭配合施用,增加了土壤 MBC 含量. 与单施尿素(U 处理)相比,第 7 d 和 30 d, BU 处理土壤 MBC 增加了 8.13% 和 13.46%,差异显著 ($P < 0.05$),BPU 处理增加了 26.58% 和 4.35%. 但在第 15 d 和 60 d,与 U 处理相比,BU 和 BPU 处理降低了微生物量碳. BU 和 BPU 两个处理相比,除第 30 d 外,其余培养时期 BPU 处理均显著提高了土壤 MBC 含量.

3 讨论

3.1 生物炭及酸化生物炭对 NH_4^+ -N 吸附的影响

生物炭因其特殊的表面结构,对铵离子具备一定的吸附能力,且对 NH_4^+ -N 吸附能力会在一定程度上受到溶液初始浓度的影响,吸附量随着溶液初始浓度的增大而增大. 这与 Gai 等^[29]的研究结果一致. 本研究发现,木醋液酸化生物炭对 NH_4^+ -N 的吸附率始终高于未改性的生物炭,这可能是因为生物炭经酸化处理后,酸性基团总量增多,进而增加了生物炭的亲水性和阳离子交换能力,增强了对 NH_4^+ -N 的吸附^[30].

3.2 生物炭及酸化生物炭对土壤活性氮及脲酶的影响

近些年来,生物炭被广泛用于土壤改良中^[31],施入生物炭能改变土壤活性氮循环. 本研究发现,施用酸化生物炭在培养初期土壤 NH_4^+ -N 含量低于施用生物炭的处理,这与前述吸附试验结论一致,即经酸化处理后生物炭对土壤 NH_4^+ 有更强的吸附作用,因此减少了无机氮源,从而使酸化生物炭处理在培养前

期土壤 DON 含量显著低于其余处理. 两种类型生物炭添加后,在培养初期土壤 NH_4^+ -N 含量急剧下降,土壤 NO_3^- -N 累积增加,这与王先芳等^[32]和 Chen 等^[33]的研究结果一致,可能是因为生物炭为硝化细菌提供了适宜的栖息场所,提高了其活性. 在培养末期,生物炭与酸化生物炭的添加均增加了土壤 DON 含量,这是因为生物炭施用于土壤后增加了对土壤无机氮的固定量,后期的释放促进了土壤 DON 的形成^[34,35].

土壤微生物是土壤有机质和氮素转化的主要驱动力^[36]. 在培养前期,添加生物炭处理土壤 MBC 含量显著高于单施尿素处理,这是因为一方面生物炭的施入为微生物提供了良好的栖息场所,另一方面生物炭本身为微生物活动提供了丰富的碳源. 而木醋液酸化生物炭处理土壤 MBC 含量在培养的大部分时期显著高于添加生物炭处理,这与经木醋液酸化处理后的生物炭吸附了大量小分子有机碳化合物,从而为微生物活动提供了更多的碳源物质有关. 本研究发现,在培养初期,较单施尿素处理相比,生物炭的添加提高了土壤 MBN 含量,这与 Wang 等^[37]的研究结果一致. 施用生物炭会促进微生物的生物量和活性,导致土壤 MBN 的增加. 但随着培养时间的延长,添加生物炭与酸化生物炭两个处理土壤 MBN 含量较单施尿素处理有所降低. 这可能是因为生物炭对某些 N 化合物进行了吸附,限制了相应微生物生长所需底物的可用性,他人也有类似的报道^[38].

土壤脲酶直接参与含 N 有机物转化过程,催化酰胺水解为 NH_3 和 CO_2 ^[39]. 本研究发现,在培养第 7 d,各尿素添加处理土壤脲酶含量均低于 CK 处理,这可能是因为尿素施入土壤后,在脲酶的作用下尿素水解,使培养初期铵态氮含量过高,从而使脲酶的酶促反应受到抑制,导致脲酶的活性降低,钱海燕等^[40]和魏猛等^[41]的研究均发现了这一现象. 在整个培养期,较单施尿素处理,添加不同类型生物炭对土壤脲酶活性均有一定程度的提高,而相关性分析表明,脲酶和土壤 MBN 呈显著性正相关 ($P < 0.05$, 表 5),与土壤 MBC 呈极显著性正相关 ($P < 0.01$, 表

表 5 各因子之间的相关性分析¹⁾

Table 5 Correlation coefficient between different factors

	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	MBN	DON	脲酶	pH	TDN	MBC	氨挥发累积量
NO_3^- -N	1								
NH_4^+ -N	-0.33	1							
MBN	0.61 *	0.20	1						
DON	0.95 **	-0.47	0.34	1					
脲酶	0.93 **	-0.28	0.65 *	0.62 *	1				
pH	0.46	-0.18	-0.08	0.58 **	0.13	1			
TDN	0.98 **	-0.43	0.42	0.99 **	0.65 *	0.55	1		
MBC	0.79 **	0.04	0.92 **	0.58 *	0.85 **	-0.04	0.64 *	1	
氨挥发累积量	0.90 **	0.92 **	0.72 **	0.78 **	0.78 **	0.44	0.82 **	-0.61 *	1

1) * 表示显著性相关 ($P < 0.05$), ** 表示极显著性相关 ($P < 0.01$)

5),这可能是因为生物炭的施用有效改善了土壤中微生物的生存环境,为其提供更多的养分,进而使微生物分泌更多的脲酶^[42]。添加酸化生物炭处理土壤脲酶活性显著高于其他处理,这是因为木醋液改良后生物炭含有更多碳源物质,为土壤中微生物繁殖提供了更丰富的碳源营养,增加了微生物数量和活性,从而也进一步提高了土壤脲酶活性。

3.3 生物炭及酸化生物炭对土壤 pH 及氨挥发的影响

施用不同类型肥料对土壤 pH 会产生不同的影响^[43]。本研究显示,生物炭与尿素配施后土壤 pH 有所升高,这主要是因为生物炭本身含有 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等盐基离子和一些碱性基团^[44],从而导致了土壤 pH 的提高。而酸化生物炭与尿素配施处理土壤 pH 有所降低(与对照相比),这与生物炭经木醋液酸化处理后,吸附了大量的 H^+ 以及有机酸分子有关,当酸化生物炭施入土壤后,能够与盐渍土中的碱发生中和反应,从而降低土壤 pH。

氨挥发是北方偏碱性土壤发生的普遍现象,而引起土壤氮素利用率降低^[45]。本研究发现,氨挥发累积量与 NH_4^+-N 和脲酶呈极显著正相关($P < 0.01$,表 5),与 pH 呈正相关关系(表 5),单施尿素处理土壤氨挥发量明显高于生物炭或酸化生物炭与尿素配施的处理,这是由于尿素经土壤脲酶水解产生 NH_4^+ ,进而在碱性条件下转化为 NH_3 后释放;而生物炭或酸化生物炭能与 NH_4^+ 发生吸附作用,从而减少 NH_4^+ 向 NH_3 的转化。施肥引起氨挥发主要发生在培养前期(15 d 前),这与培养前期土壤 NH_4^+-N 含量高有关,而后期由于硝化作用使 NH_4^+-N 转化为 NO_3^--N ,从而使 NH_3 挥发随之减少。与生物炭相比,木醋液酸化生物炭进一步降低了氨挥发损失,这与木醋液酸化生物炭能够适当降低土壤 pH 值,且增加了对 NH_4^+-N 的吸附有关。

4 结论

(1)生物炭对铵离子具有一定的吸附量,经过木醋液酸化后的生物炭进一步增加了对铵离子的吸附量,增幅为 2.28%~18.18%。

(2)生物炭或木醋液酸化生物炭与尿素配合施入土壤中,对尿素在土壤中转化具有一定的调控作用,增加了对土壤铵态氮吸附,从而延缓铵态氮向硝态氮的转化。

(3)木醋液酸化生物炭与尿素配施处理较生物炭与尿素配施和单施尿素处理,氨挥发量分别降低了 15.85% 和 35.92%;且在一定时间内能显著提高土壤脲酶活性和土壤可溶性有机氮含量,降低了

盐渍土壤 pH,是提高盐渍土氮素有效性和减少氮素损失的有效途径。

参考文献:

- [1] 周慧,史海滨,郭珈玮,等.盐分与有机无机肥配施对土壤氮素矿化的影响[J].农业机械学报,2020,51(5):295-304.
Zhou H, Shi H B, Guo J W, et al. Effect of salt and organic-inorganic fertilizer application on soil nitrogen mineralization[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(5): 295-304.
- [2] Zeng W Z, Ma T, Huang J S, et al. Nitrogen transportation and transformation under different soil water and salinity conditions [J]. Ecological Chemistry and Engineering S, 2016, 23(4): 677-693.
- [3] 孙星.盐分、pH、施 N 量对盐碱土壤 N_2O 排放影响研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2014.24-32.
Sun X. Effects of salinity, pH, nitrogen fertilizer on saline alkali soil N_2O emission [D]. Huhehot: Inner Mongolia Normal University, 2014. 24-32.
- [4] 邹娟,胡学玉,张阳阳,等.不同地表条件下生物炭对土壤氨挥发的影响[J].环境科学,2018,39(1):348-354.
Zou J, Hu X Y, Zhang Y Y, et al. Effect of biochar on ammonia volatilization from soils of different surface conditions [J]. Environmental Science, 2018, 39(1): 348-354.
- [5] Li Y W, Xu J Z, Liu S M, et al. Salinity-induced concomitant increases in soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission [J]. Geoderma, 2020, 361, doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114053.
- [6] 常菲,红梅,武岩,等.灌溉方式和改良措施对河套灌区盐渍土氨挥发的影响[J].中国土壤与肥料,2019,(2):38-45.
Chang F, Hong M, Wu Y, et al. Effects of irrigation methods and improvement measures on ammonia volatilization of saline soil in Hetao Irrigation Area [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2019, (2): 38-45.
- [7] 杨晓云,杨虎德.不同施肥条件下甘肃夏玉米农田灌淤土壤氨挥发研究[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):79-88.
Yang X Y, Yang H D. The ammonia volatilization of anthropogenic-alluvial soil in summer maize farmland under different fertilization methods in Gansu Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(5): 79-88.
- [8] 马晓刚,何建桥,陈玉蓝,等.负载 NH_4^+-N 生物炭对土壤 N_2O-N 排放和 NH_3-N 挥发的影响[J].环境科学,2021,42(9):4548-4557.
Ma X G, He J Q, Chen Y L, et al. Gaseous nitrogen emission from soil after application of NH_4^+-N loaded biochar [J]. Environmental Science, 2021, 42(9): 4548-4557.
- [9] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008,45(5):778-783.
Zhu Z L. Research on soil nitrogen in China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 778-783.
- [10] 丛日环,张丽,鲁艳红,等.添加不同外源氮对长期秸秆还田土壤中氮素转化的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(7):1107-1114.
Cong R H, Zhang L, Lu Y H, et al. Effect of adding different exogenous nitrogen sources on nitrogen transformation in long-term straw incorporated soil [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(7): 1107-1114.
- [11] 石思博,王旭东,叶正钱,等.菌渣化肥配施对稻田土壤微

- 生物量碳氮和可溶性碳氮的影响[J]. 生态学报, 2018, **38** (23): 8612-8620.
- Shi S B, Wang X D, Ye Z Q, *et al.* Effects of the combination of fungal residue and chemical fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen and dissolved organic carbon and nitrogen in paddy soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38** (23): 8612-8620.
- [12] 程会丹, 鲁艳红, 聂军, 等. 土壤活性氮动态变化及氮素可利用性对紫云英翻压量的响应[J]. 农业资源与环境学报, 2021, **38** (3): 448-456.
- Cheng H D, Lu Y H, Nie J, *et al.* Effect of application rate of Chinese milk vetch on soil active nitrogen dynamics and nitrogen availability [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, **38** (3): 448-456.
- [13] Lehmann J. A handful of carbon [J]. *Nature*, 2007, **447** (7141): 143-144.
- [14] 杨静, 杨文浩, 李思苇, 等. 生物炭基肥对反季节蔬菜地土壤可溶性氮动态的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2020, **49** (4): 478-485.
- Yang J, Yang W H, Li S W, *et al.* Effects of biochar-based fertilizer on the dynamics of soil soluble nitrogen in off-season vegetable soils[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2020, **49** (4): 478-485.
- [15] 庞孜钦. 氮肥与生物炭对甘蔗生长及土壤氨氧化作用的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2019. 30-47.
- Pang Z Q. Effect of nitrogenous fertilizer and biochar on sugarcane growth and soil ammonia oxidation [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2019. 30-47.
- [16] 程效义, 刘晓琳, 孟军, 等. 生物炭对棕壤 NH_3 挥发、 N_2O 排放及氮肥利用效率的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, **35** (4): 801-807.
- Cheng X Y, Liu X L, Meng J, *et al.* Effects of biochar on NH_3 volatilization, N_2O emission and nitrogen fertilizer use efficiency in brown soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, **35** (4): 801-807.
- [17] 王一字, 王圣森, 戴九兰. 生物炭对盐碱土壤氨挥发影响[J]. 环境科学, 2019, **40** (8): 3738-3745.
- Wang Y Y, Wang S S, Dai J L. Effect of biochar on ammonia volatilization in saline-alkali soil [J]. *Environmental Science*, 2019, **40** (8): 3738-3745.
- [18] 王思源, 申健, 李盟军, 等. 不同改性生物炭功能结构特征及其对铵氮吸附的影响[J]. 生态环境学报, 2019, **28** (5): 1037-1045.
- Wang S Y, Shen J, Li M J, *et al.* Functional and structural characteristics of different modified biochar and its impacts on ammonium nitrogen adsorption[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2019, **28** (5): 1037-1045.
- [19] Zhang X, Qu J S, Li H, *et al.* Biochar addition combined with daily fertigation improves overall soil quality and enhances water-fertilizer productivity of cucumber in alkaline soils of a semi-arid region[J]. *Geoderma*, 2020, **363**, doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114170.
- [20] Liu L, Guo X P, Wang S Q, *et al.* Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation based composts[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, **150**: 270-279.
- [21] Zhang L, Liu R H, Yin R Z, *et al.* Upgrading of bio-oil from biomass fast pyrolysis in China: a review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, **24**: 66-72.
- [22] Lashari M S, Liu Y M, Li L Q, *et al.* Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain [J]. *Field Crops Research*, 2013, **144**: 113-118.
- [23] Zhang Y C, Wang X, Liu B J, *et al.* Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality[J]. *Chemosphere*, 2020, **246**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125699.
- [24] 杨文娜, 邓正昕, 李娇, 等. 生物炭与化肥混合对氨挥发和磷固定的影响[J]. 环境科学, 2021, **42** (1): 467-476.
- Yang W N, Deng Z X, Li J, *et al.* Effect of biochar and chemical fertilizer mixture on ammonia volatilization and phosphorus fixation[J]. *Environmental Science*, 2021, **42** (1): 467-476.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [27] 杨绒, 赵满兴, 周建斌. 过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量的影响条件研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, **33** (12): 107-111.
- Yang R, Zhao M X, Zhou J B, *et al.* Effects of different conditions on the determination of total nitrogen in solution by persulfate oxidation method [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 2005, **33** (12): 107-111.
- [28] 周建斌, 李生秀. 碱性过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量氧化剂的选择[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, **4** (3): 299-304.
- Zhou J B, Li S X. Choosing of a proper oxidizer for alkaline persulfate oxidation to determining total nitrogen in solution[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, **4** (3): 299-304.
- [29] Gai X P, Wang H Y, Liu J, *et al.* Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate[J]. *PLoS One*, 2014, **9** (12), doi: 10.1371/journal.pone.0113888.
- [30] 张扬, 李子富, 张琳, 等. 改性玉米芯生物炭对氨氮的吸附特性[J]. 化工学报, 2014, **65** (3): 960-966.
- Zhang Y, Li Z F, Zhang L, *et al.* Adsorption characters of ammonium-nitrogen in aqueous solution by modified corn cob biochars[J]. *CIESC Journal*, 2014, **65** (3): 960-966.
- [31] Gao S, Deluca T H, Cleveland C C. Biochar additions alter phosphorus and nitrogen availability in agricultural ecosystems: a meta-analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **654**: 463-472.
- [32] 王先芳, 任天志, 智燕彩, 等. 添加生物炭改善菜地土壤氨氧化细菌群落并提高净硝化率[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, **26** (3): 502-510.
- Wang X F, Ren T Z, Zhi Y C, *et al.* Biochar application improves ammonia oxidation microbial community and increases net nitrification in vegetable soils[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, **26** (3): 502-510.
- [33] Chen Y N, Liu Y, Li Y P, *et al.* Influence of biochar on heavy metals and microbial community during composting of river sediment with agricultural wastes[J]. *Bioresource Technology*, 2017, **243**: 347-355.
- [34] Zhong Z K, Makeschin F. Soluble organic nitrogen in temperate forest soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35** (2): 333-338.
- [35] Geisseler D, Horwath W R, Joergensen R G, *et al.* Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms-A review [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, **42** (12): 2058-2067.
- [36] Ashworth A J, DeBruyn J M, Allen F L, *et al.* Microbial

- community structure is affected by cropping sequences and poultry litter under long-term no-tillage [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, **114**: 210-219.
- [37] Wang H H, Ren T B, Müller K, *et al.* Soil type regulates carbon and nitrogen stoichiometry and mineralization following biochar or nitrogen addition[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **753**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141645.
- [38] Durenkamp M, Luo Y, Brookes P C. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, **42**(11): 2026-2029.
- [39] 陈书涛, 桑琳, 张旭, 等. 增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响[J]. *环境科学*, 2016, **37**(2): 703-709.
- Chen S T, Sang L, Zhang X, *et al.* Effects of warming and straw application on soil respiration and enzyme activity in a winter wheat cropland[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(2): 703-709.
- [40] 钱海燕, 杨滨娟, 黄国勤, 等. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. *生态环境学报*, 2012, **21**(3): 440-445.
- Qian H Y, Yang B J, Huang G Q, *et al.* Effects of returning rice straw to fields with fertilizers and microorganism liquids on soil enzyme activities and microorganisms in paddy fields [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, **21**(3): 440-445.
- [41] 魏猛, 娄燕宏, 栾森年, 等. 施肥对文冠果养分吸收及土壤酶活性的影响[J]. *北方园艺*, 2010, (10): 32-35.
- Wei M, Lou Y H, Luan S N, *et al.* Effects of fertilization on soil enzyme activities and nutrients absorption in *xanthoceras sorbifolia* Bunge[J]. *Northern Horticulture*, 2010, (10): 32-35.
- [42] Farrell M, Kuhn T K, Macdonald L M, *et al.* Microbial utilisation of biochar-derived carbon [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **465**: 288-297.
- [43] Wang J, Tu X S, Zhang H M, *et al.* Effects of ammonium-based nitrogen addition on soil nitrification and nitrogen gas emissions depend on fertilizer-induced changes in pH in a tea plantation soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **747**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141340.
- [44] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. *中国农业科学*, 2013, **46**(16): 3324-3333.
- Chen W F, Zhang W M, Meng J. Advances and prospects in research of biochar utilization in agriculture [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, **46**(16): 3324-3333.
- [45] Klimeczyk M, Siczek A, Schimmelpfennig L. Improving the efficiency of urea-based fertilization leading to reduction in ammonia emission[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **771**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145483.

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Urban Area of Beijing	AN Xin-xin, CAO Yang, WANG Qin, <i>et al.</i> (2251)
Modeling of PM _{2.5} Concentrations in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Using a Space-time Linear Mixed Effects Model	FAN Li-hang, YANG Xiao-hui, SONG Chun-jie, <i>et al.</i> (2262)
Spatio-temporal Evolution Patterns of PM _{2.5} and Relationship with Urban Expansion in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration from 2000 to 2018	ZHAO An-zhou, XIANG Kai-zheng, LIU Xian-feng, <i>et al.</i> (2274)
Characteristics and Source Analysis of PM _{2.5} in Qingdao in Winter Under the Action of Sea-Land-Atmosphere Convergence	TUO Xiong, YANG Ling-xiao, ZHANG Wan, <i>et al.</i> (2284)
Impacts of Heterogeneous Uptake Pathway on Sulfate Formation: A Case Study in Shanghai Based on WRF-Chem	ZHANG Ru-han, ZHANG Hao-ran, FENG Wei-hang, <i>et al.</i> (2294)
Source Apportionment and Seasonal Changes in PM _{2.5} Chemical Components from Different Functional Areas of a Provincial Capital City	SUN You-min, FAN Jing, XU Biao, <i>et al.</i> (2304)
Chemical Compositions, Light Extinction Effect, and Oxidative Potential of PM _{2.5} Under Different Pollution Levels During Winter in Taiyuan	REN Jiao, ZHAO Rong-rong, WANG Ming, <i>et al.</i> (2317)
Source Apportionment and Health Risk Assessment of Metal Elements in Ambient PM _{2.5} in the Winter of Zhengzhou	YAO Sen, WANG Qian-heng, XUE Yan, <i>et al.</i> (2329)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Sources of the Polluted Metallic Elements in PM _{2.5} During Winter in Zibo City	BAI Wen-yu, XU Bo, GUO Li-yao, <i>et al.</i> (2336)
Seasonal Distribution Characteristics, Source Analysis, and Health Risk Evaluation of PAHs in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, LI Yi-lin, <i>et al.</i> (2343)
Pollution Level and Regional Migration of PCDD/Fs in Ambient Air from Pearl River Delta, China	FU Jian-ping, XIE Dan-ping, HUANG Jin-qiong, <i>et al.</i> (2355)
Concentrations and Sources of Black Carbon Aerosols in Rural Areas of Southern North China Plain	ZHANG Ling, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2363)
Research on Causes of Severely Polluted Weather in Tianjin Based on Process Analytical Technology	HAO Jian, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (2373)
Classification Control of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Pollution Sources Based on Emission Amounts and Atmospheric Reactivity	CHEN Peng, ZHANG Yue, XING Min, <i>et al.</i> (2383)
Complex Networks Reveal the Characteristics of Ozone in China	YING Na, CHEN Jian-hua, LI Dong, <i>et al.</i> (2395)
Ozone Simulation of Lanzhou City Based on Multi-scenario Emission Forecast of Ozone Precursors in the Summer of 2030	CHEN Tian-lei, WU Min, PAN Cheng-ke, <i>et al.</i> (2403)
Improvement of Environmental Model Prediction Based on Inversion and Aerosol Assimilation	CAI Zi-ying, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i> (2415)
Method of Identifying Air Pollution from Iron and Steel Industry Based on Ambient Air Quality Monitoring Data Analysis	SHI Yao-peng, HU Jing-nan, CHU Yang-xi, <i>et al.</i> (2427)
Assessment of "Differentiated Response Requirement Based on Performance Grading" Policy During Heavy Air Pollution Alert	ZENG Jing-hai, WANG Can (2436)
Risk Zoning of Water Pollution in the Yellow River Basin	ZHOU Xia-fei, CAO Guo-zhi, YU Fang, <i>et al.</i> (2448)
Emission Characteristics of Industrial Water Pollutants in Gansu Section of the Yellow River Basin	LI Xue-ying, YANG Xi, QIAO Qi, <i>et al.</i> (2459)
Spatial-temporal Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Yellow River	WANG Tao-yi, PAN Bao-zhu, HAN Xu, <i>et al.</i> (2467)
APCS-MLR Combined with PMF Model to Analyze the Source of Metals in Sediment of Xinglin Bay Suburban Watershed, Xiamen	SHEN Chen-yu, YAN Yu, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2476)
Spatial Differentiation Characteristics and Response Relationship of DOM, Nutrients, and Heavy Metals in River Sediments	XIAO Yan-chun, YU Hui-bin, SONG Yong-hui (2489)
Distribution Characteristics, Evaluation, and Source Analysis of Heavy Metals in Soils of Fenhe Riparian Zone in Taiyuan City	HU Jie, ZHAO Xin-yu, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (2500)
Binding Affinity Between Heavy Metal Hg and Dissolved Organic Matter in Hongze Lake	HU Bin, WANG Pei-fang, ZHANG Nan-nan, <i>et al.</i> (2510)
Ecosystem Evolutionary Trajectory of Lake Xiliang over the Past Century Driven by Eutrophication	ZHENG Jia-nan, XU Min, ZHENG Wen-xiu, <i>et al.</i> (2518)
Sediment Release and Pollution Source Analysis of Typical Reservoirs in the Upper Reaches of the Yellow River Based on DGT Technology	MA Yu-shen, ZHU Xiang, PANG Qing-qing, <i>et al.</i> (2527)
Differential Characteristics and Source Identification of Water Quality of the Rivers in Northern Henan Before and After Rainstorm	ZHANG Yan, ZOU Lei, LIANG Zhi-jie, <i>et al.</i> (2537)
Adsorption and Interception Effects of <i>Eichhornia crassipes</i> on Microplastics in Water of the Poyang Lake Basin	LI Wen-gang, WU Xi-en, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2548)
Spatiotemporal Distribution and Ecological Risk Assessment of Plastic Additives in Taihu Lake	LIU Shu-jiao, DING Jian-nan, SHI Jun-zhe, <i>et al.</i> (2557)
Distribution Characteristics, Sources, and Storage of Microplastics in Surface Sediments of Luoma Lake	YAO Ming-xuan, BAI Xue, XU Zhen-jia, <i>et al.</i> (2566)
Pollution Characteristics of Phosphorus in Different Media in Taihu Lake and Its Treatment Enlightenment	CAI Mei, LU Zhi-hua, WANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (2575)
Analysis on Diversity and Structure of Microbial Community in River Sediment of Siping Section of Liaohe River	LI Peng-yang, AN Qi-rui, WANG Xin-hao, <i>et al.</i> (2586)
Non-point Source Pollution (NPSP) Induces Structural and Functional Variation in Bacterial Communities in Sediments of Jialing River	XUE Yu-qin, XU Fei, LIU Kun-he, <i>et al.</i> (2595)
Effects of Microplastics on Bacterial Community Composition and Diversity in Sediments	LI Wen-lu, WANG Zhi-chao, YANG Wen-huan, <i>et al.</i> (2606)
Vertical Distribution Characteristics and Community Construction of Aerobic Denitrification Bacteria from the Sediments of Baiyangdian Lake During the Winter Freezing Period	ZHANG Tian-na, CHEN Zhao-ying, ZHANG Zi-wei, <i>et al.</i> (2614)
Effect of Induced Mixing on Bacterial Community Structure and Metabolic Activity in Reservoir	GAO Yue, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2624)
Distribution Characteristics of Microplastics in <i>Bellamyia aeruginosa</i> in Typical Area of Poyang Lake	JIANG Wei-qun, HU Qi-wu, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2633)
Electrocatalytic Oxidation of Bisphenol A by Porous Ti/SnO ₂ -Sb-Ni Electrode Loaded with Multi-wall Carbon Nanotubes	FU Yuan-hang, LIU An-di, HUANG Wei-bin, <i>et al.</i> (2640)
Efficiency and Mechanism of Degradation of Methylene Blue with H ₂ O ₂ Catalyzed by Magnetic Mn _{0.4} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ @SiO ₂	XU Dong-ying, YU Jing, HAO Qi, <i>et al.</i> (2650)
Effect of Two Types of Nanoparticles on the Adsorption of Ciprofloxacin on Zeolite	JIANG Lan-cui, MENG Zhao-fu, LIU Xian, <i>et al.</i> (2662)
Adsorption Mechanisms and Effect Factors of As(V) by AMD Sludge Composite Material	ZHANG Ya-hui, ZHANG Rui-xue, WU Pan, <i>et al.</i> (2673)
Shifts in Microbial Community and Variation in Functional Genes for Nitrification and Denitrification in Activated Sludge Affected by Triclosan and Its Transformed Intermediates	LU Ying-yuan, DONG Xiao-qi, PENG Xing-xing, <i>et al.</i> (2685)
Construction of Sustainability Evaluation Index System for Contaminated Site Risk Management and Analysis on Key Influential Factors	LI Xiao-nuo, YI Shi-yi, CHEN Wei-ping (2699)
Construction and Empirical Analysis of a Comprehensive Evaluation Method of Coastal Wetland Soil Quality Based on Ecological Functions	ZHANG Xue, KONG Fan-long, JIANG Zhi-xiang (2709)
Source Analysis and Pollution Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil Around Tongshan Mining Area	CHEN Hang, WANG Ying, WANG Shu (2719)
Effects of Typical Iron and Manganese Minerals on Arsenic Speciation and Enzyme Activities in Paddy Soil	ZHOU Yi-min, HUANG Ya-yuan, LIU Kai, <i>et al.</i> (2732)
Phytoremediation Efficiency of Two Cultivars of <i>Brassica napus</i> L. Under Water-soluble Chitosan Treatment in Typical Pb-contaminated Farmland Soils	MENG Xiao-fei, ZHENG Guo-di, CHEN Tong-bin, <i>et al.</i> (2741)
Risk Prediction of Cadmium and Lead in Wheat Grains Based on Bayes Theorem	WANG Tian-qi, LI Yan-ling, YANG Yang, <i>et al.</i> (2751)
Interannual Variation Characteristics of Nitrogen Loss Under Rapeseed/Maize Rotation in Purple Soil Sloping Field	XU Man, GAO Ming, YU Luo, <i>et al.</i> (2758)
Physicochemical Properties of Biochars Prepared from Different Feedstocks and Evaluation of Its Potential as A Slow-release Carriers for Biochar-based Fertilizers	XING Li-bin, CHENG Jie, GENG Zeng-chao, <i>et al.</i> (2770)
Effects of Combined Application of Wood Vinegar-Acidified Biochar and Nitrogen on Active Nitrogen and Ammonia Volatilization in Saline Soil	SHEN Shu-wei, ZHANG Dan-dan, WANG Min-ge, <i>et al.</i> (2779)
Effects of Biodegradable Plastic Film Mulching on Greenhouse Gas Emissions Under Wheat-Maize Rotation System in the Guanzhong Plain	GUO Yi-ting, LUO Xiao-qi, WANG Rui, <i>et al.</i> (2788)
Forest Soil Microbial Community Structure Characteristics and Its Influencing Factors at Different Elevations on the Southern Slope of Daiyun Mountain	HE Zhong-sheng, WANG Zi-wei, ZHU Jing, <i>et al.</i> (2802)
Effects of Simulated Warming and Increased Precipitation on Soil Extracellular Enzyme Activity and Enzymatic Stoichiometry of Abandoned Grassland	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, JIAN Jun-nan, <i>et al.</i> (2812)
Contribution of Urbanization to Local Warming in Major Cities of China	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei, <i>et al.</i> (2822)