

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第7期

Vol.38 No.7

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

基于船载走航气溶胶质谱技术的海洋气溶胶研究	颜金培, 陈立奇, 林奇, 赵淑惠, 李磊, 朱大勇 (2629)
利用 MODIS C6 数据分析中国西北地区气溶胶光学厚度时空变化特征	赵仕伟, 高晓清 (2637)
秋冬季节华北背景地区 PM ₁ 污染特征及来源	张周祥, 张养梅, 张小曳, 王亚强, 沈小静, 孙俊英, 周怀刚 (2647)
杭州市 PM _{2.5} 中水溶性离子的污染特征及其消光贡献	吴丹, 蔺少龙, 杨焕强, 杜荣光, 夏俊荣, 齐冰, 刘刚, 李凤英, 杨孟, 盖鑫磊 (2656)
青岛不同强度霾天气溶胶中二次无机离子的生成及粒径分布	谢丹丹, 祁建华, 张瑞峰 (2667)
西安市重污染与清洁天 PM _{2.5} 组分及其活性氧物质对比	王堃, 韩永明, 何世恒, 张婷, 刘随心, 曹军骥 (2679)
黄山 PM ₁₀ 中二元羧酸类化合物的季节变化特征及其来源	孟静静, 侯战方, 张二勋, 董杰, 刘晓迪, 邢继钊, 刘加珍 (2688)
泉州市大气 PM _{2.5} 铜系元素组成特征及来源解析	张云峰, 于瑞莲, 胡恭任, 孙境蔚, 许文质, 张棕巍 (2698)
西北石化区周围毒害类空气污染物污染特征及健康风险评价	许亚宣, 李小敏, 于华通, 董林艳, 赵玉婷, 姚懿函, 邹广迅, 张新民 (2707)
G20 峰会期间宜兴市大气 VOCs 特征及来源分析	张璘, 张祥志, 秦玮, 茅晶晶, 秦艳红, 谢卫平, 史文科, 陈文泰 (2718)
四川省 2005 ~ 2014 年农业源氨排放清单及分布特征	冯小琼, 陈军辉, 姜涛, 钱骏, 叶宏 (2728)
长三角地区典型城市非道路移动机械大气污染物排放清单	鲁君, 黄成, 胡馨遥, 杨强, 井宝莉, 夏阳, 卢滨, 唐伟, 楼晨荣, 陶士康, 李莉 (2738)
我国城市饮用水中 N-亚硝基二甲胺的健康风险评估及水质标准制定	张秋秋, 潘申龄, 张昱, 杨敏, 安伟 (2747)
地下水污染风险评价中污染源荷载量化方法的对比分析	赵鹏, 何江涛, 王曼丽, 崔亚丰 (2754)
胶州湾表层海水中的正构烷烃及其来源解析	张倩, 宋金明, 彭全材, 李学刚, 袁华茂, 李宁, 段雨琴, 曲宝晓, 王启栋 (2763)
桂江流域夏季水-气界面 CO ₂ 脱气的空间变化及其影响因素	张陶, 李建鸿, 蒲俊兵, 吴飞红, 李丽, 袁道先 (2773)
都柳江水系沉积物锑等重金属空间分布特征及生态风险	宁增平, 肖青相, 蓝小龙, 刘意章, 肖唐付, 赵彦龙, 吴世良 (2784)
太湖表层水体及沉积物中双酚 A 类似物的分布特征及潜在风险	陈政宏, 郭敏, 徐怀洲, 刘丹, 程杰, 李江, 张圣虎, 石利利 (2793)
洱海沉积物水提取态有机氮特征及与其他来源溶解性有机氮的差异	李文章, 张莉, 王圣瑞, 肖尚斌, 钱伟斌, 席银, 许可宸, 史玲珑 (2801)
阿哈水库沉积物-水界面磷、铁、硫高分辨率空间分布特征	孙清清, 陈敬安, 王敬富, 杨海全, 计永雪, 兰晨, 王箫 (2810)
北京市水环境中精神活性物质污染特征	张艳, 张婷婷, 陈卫平, 郭昌胜, 花镇东, 张远, 徐建 (2819)
降雨特征及污染物赋存类型对路面径流污染排放的影响	陈莹, 王昭, 吴亚刚, 赵剑强, 杨文娟 (2828)
CaO ₂ 不同投加方式对黑臭河道底泥内源磷释放抑制作用	徐焱, 李大鹏, 韩菲尔, 宋小君, 李鑫, 周婧, 黄勇 (2836)
坡耕地薄层紫色土-岩石系统中氮磷的迁移特征	鲜青松, 唐翔宇, 朱波 (2843)
微生物强化组合浮床净化微盐碱水体的效果	陈友媛, 吴亚东, 孙萍, 吴丹 (2850)
氧化镁基生物炭高效去除水体中磷的特性	王彬斌, 林景东, 万顺利, 何锋 (2859)
Pd/Fe ⁰ 双金属复合催化纤维降解水中痕量亚硝基二甲胺	张环, 傅敏, 魏俊富, 王一冰, 安慧颖, 沈书怡 (2868)
针铁矿、磁铁矿和石膏对 2,4-二氯苯酚厌氧降解的影响	孔殿超, 周跃飞, 陈天虎, 王进, 李碧 (2875)
污水再生过程中消毒副产物前体物转化规律	韩慧慧, 缪恒峰, 张雅晶, 陆敏峰, 黄振兴, 阮文权 (2883)
微生物燃料电池改性阳极处理 PTA 废水	孙靖云, 范梦婕, 陈英文, 祝社民, 沈树宝 (2893)
水稻秸秆浸泡液对蓝藻和绿藻生长选择性抑制作用	苏文, 陈洁, 张胜鹏, 孔繁翔 (2901)
沼液 SBR 处理出水养殖螺旋藻	蔡小波, 郁强强, 刘锐, 赵远, 陈吕军 (2910)
K ⁺ 强化高盐环境下厌氧氨氧化脱氮效能	吴国栋, 于德爽, 李津, 周同, 王晓静 (2917)
包埋氨氧化细菌短程硝化的高效稳定运行	于濛雨, 刘毅, 田玉斌, 石欢, 徐富, 杨宏 (2925)
ANAMMOX 的快速启动及 EPS 在 ANAMMOX 颗粒污泥中的空间分布	李惠娟, 彭聪聪, 陈国燕, 姚倩, 卓杨, 王彬斌 (2931)
厌氧氨氧化污泥中氨氧化的潜在电子受体	李祥, 林兴, 王凡, 袁砚, 黄勇, 袁怡, 毕贞, 刘忻, 杨朋兵 (2941)
基于厌氧氨氧化的含氮废气原位处理	林兴, 王凡, 袁砚, 李祥, 黄勇, 袁澄伟 (2947)
基于污泥资源化利用的粗放型绿色屋顶生长基质的组成	沈庆然, 李田, 曹熠, 潘奥 (2953)
罗红霉素短期冲击对活性污泥中氨氧化微生物丰度和多样性的影响	高景峰, 孙丽欣, 樊晓燕, 潘凯玲, 李定昌 (2961)
不同盐度下活性污泥中微生物群落变化规律及其处理模拟染料废水	周贵忠, 许硕, 姚倩, 银钗 (2972)
CO ₂ -咸水-砂岩相互作用过程中微生物群落结构动态变化特征	王博强, 李晨阳, 卢伟, 樊昊, 张冬至, 汪治, 吕聪, 沈福东 (2978)
油菜/玉米轮作农田土壤呼吸和异养呼吸对秸秆与生物炭还田的响应	田冬, 高明, 黄容, 吕盛, 徐畅 (2988)
模拟气候升温对湿地土壤微生物群落及磷素形态的影响	腾昌运, 沈建国, 王忠, 王行, 李鸿毅, 张志剑 (3000)
秦岭红桦林土壤细菌群落剖面分布特征及其影响因素	杜璨, 许晨阳, 王强, 张帆, 马武功, 和文祥, 侯琳, 耿增超 (3010)
微生物对汞矿区农田土壤汞甲基化的影响	贾钦, 朱雪梅, 王琪, 傅海辉, 郝亚琼, 何洁, 杨子良 (3020)
施用海泡石对铅、镉在土壤-水稻系统中迁移与再分配的影响	方至萍, 廖敏, 张楠, 吕婷, 黄小斌 (3028)
BS + CTMAB 复配修饰在黄棕壤吸附苯酚上的应用	刘伟, 孟昭福, 任爽, 李文斌 (3036)
1999 年与 2014 年贡嘎山峨眉冷杉枝和叶中常见重金属的生物富集特征对比	李芬, 王训, 罗辑, 袁巍, 喻子恒, 商立海 (3045)
铅锌尾矿污染区 3 种菊科植物体内重金属的亚细胞分布和化学形态特征	朱光旭, 肖化云, 郭庆军, 张忠义, 杨曦, 孔静 (3054)
膨润土调质对污泥堆肥的脱毒及重金属钝化和雌酮消除作用	周莉娜, 蔡函臻, 李荣华, 王美净, 赵军超, 王权, 张增强 (3061)
餐厨垃圾与秸秆混合中温和高温厌氧消化对比	郭香麟, 左剑恶, 史绪川, 王凯军, 李静 (3070)
我国村镇生活垃圾可燃组分基本特征及其时空差异	晏卓逸, 岳波, 高红, 李志龙, 黄启飞, 聂小琴, 汪群慧 (3078)
甲烷催化还原 NO _x 中 Co 基/分子筛催化剂的助剂和载体优化	潘华, 建艳飞, 陈宁娜, 刘红霞, 何焱, 贺亚飞 (3085)
《环境科学》征稿简则 (2737) 《环境科学》征订启事 (2809) 信息 (2867, 2971, 3027)	

我国村镇生活垃圾可燃组分基本特征及其时空差异

晏卓逸¹, 岳波², 高红^{1*}, 李志龙², 黄启飞², 聂小琴³, 汪群慧^{1,4}

(1. 昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650500; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120; 4. 北京科技大学环境工程系, 北京 100083)

摘要: 为了解我国村镇生活垃圾组成特征及采取焚烧处置的可行性, 本研究在2015年的春夏秋冬4个季节, 对我国12个省份共72个村镇生活垃圾产生源进行采样调查, 分析了垃圾全组分和可燃组分的质量分数、含水率以及垃圾热值等参数, 进行了地域、季节以及村与镇之间差异分析。结果表明, 我国村镇生活垃圾可燃组分质量分数(湿基)由高到低的顺序为: 厨余类(13%~53%) > 橡塑类(10%~18%) > 纸类(10%~15%) > 木竹类(0~10%) > 织物类(0~8%)。相同行政区域内村与镇之间生活垃圾组分差异较小, 南方村镇生活垃圾全组分的平均含水率大于北方, 全国村镇生活垃圾平均含水率为40.1%左右。我国北方生活垃圾热值在4个季节均有81%的村镇超过3500 kJ·kg⁻¹, 而南方村镇生活垃圾在春、夏、秋、冬这4个季节满足这一条件的村镇分别占44%、50%、61%、72%。垃圾经分选后热值得到提高, 但南方村镇春季生活垃圾可燃组分热值仍然偏低, 南方其它季节56%以上的村镇和北方全年所有村镇的生活垃圾均能满足焚烧处置的热值要求, 故对我国北方农村生活垃圾进行焚烧处置是可行的, 而南方村镇生活垃圾需加强预处理工艺。

关键词: 村镇生活垃圾; 组成成分; 含水率; 热值; 时空差异

中图分类号: X501; X708 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)07-3078-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201610191

Basic Features of Combustible Rural Garbage Component and Its Spatial-temporal Difference in China

YAN Zhuo-yi¹, YUE Bo², GAO Hong^{1*}, LI Zhi-long², HUANG Qi-fei², NIE Xiao-qin³, WANG Qun-hui^{1,4}

(1. Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. China Urban Construction Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100120, China; 4. Department of Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to realize the disposal feasibility of rural garbage by incineration, 72 rural garbage sampling points of 12 provinces in China were chosen to analyse mass fraction of full component and combustible component, moisture content of full component and low heating value of rural garbage in spring, summer, autumn and winter of 2015. The results revealed that the mass fraction of combustible rural garbage components in wet basis followed the order of kitchen residual(13%-53%) > the rubber(10%-18%) > the paper(10%-15%) > the wood(0-10%) > the fabric(0-8%). The compositional difference of rural garbage was not apparent between villages and towns within the same administrative region. The average moisture content of full component in southern rural garbage was higher than that in northern area, and the average moisture content of national rural garbage was about 40.1%. The low heating value of rural garbage in full composition which surpassed 3500 kJ·kg⁻¹ was more than 81% in the north China, but in the south China, it was 44%, 50%, 61% and 72% in spring, summer, autumn and winter, respectively. After sorting, the low heating value increased greatly, but the low heating value of southern rural garbage in spring was still less than 3500 kJ·kg⁻¹, more than 56% towns and villages of southern rural garbage in summer, autumn and winter and annual northern rural garbage heating value met the heating value requirement of incineration disposal. Therefore, after sorting, the rural garbage by incineration disposal method was feasible to the north China rural garbage, but the south China rural garbage requires strengthened pretreatment process.

Key words: rural garbage; composition; moisture content; heating value; spatial-temporal difference

随着经济的发展,农村地区正加速向城镇化或自发向交通方便的集镇、乡、村汇集,然而这样的生活方式引发了诸多环境问题,其一为生活垃圾污染。我国农村地区,人口聚居导致垃圾集中暴发,而部分农村地区垃圾的产生与处理处置等环节衔接不紧密而导致“垃圾围村”^[1,2]的困境,“农村生活垃圾污染问题已成为我国农村环境治理、实现村容整洁的一大难题”^[3]。考虑到我国广大农村地区长远

发展,需要找到合适的垃圾处理处置方式,针对我国村镇生活垃圾理化性质方面的研究,已取得了部分研究成果,如王涛等^[4]得出“东江源区农村生活垃圾

收稿日期: 2016-10-25; 修订日期: 2017-01-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAI02B01); 云南省人培项目(KKSY201306049)

作者简介: 晏卓逸(1991~),男,硕士研究生,主要研究方向为固体废物处理处置, E-mail: chineseyanzy91@sina.com

* 通信作者, E-mail: gaohong208@163.com

圾湿基组分中主要以厨余类垃圾为主,其次是灰土类垃圾,其他组分一般在 10% 以下”。韩智勇等^[5]研究得出“西南地区农村生活垃圾主要组分为厨余、灰土、橡胶和纸类,混合垃圾的含水率为 37.04%”。马军伟等^[6]研究得出“浙江山区农村新鲜生活垃圾中可降解类有机垃圾为主要组分,约占总量的 43.64%”。岳波等^[7]通过资料调研我国 71 个村镇得出南方厨余类占村镇生活垃圾的百分比显著大于北方;而北方渣土类占村镇生活垃圾的百分比显著大于南方。段雄伟等^[8]研究得出“广东农村地区新鲜生活垃圾中可堆肥含量高达 62.62%”;在热值方面,韩志勇等^[5]研究得出我国西南地区农村生活垃圾高位热值为 $8\,008\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。周颖^[9]研究江西省兴国县某镇的生活垃圾高位热值为 $5\,147.32\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。苏畅等^[10]研究长沙市宁乡县某两个农村生活垃圾的低位热值为 $1\,761.53\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2\,325.43\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。岳波等^[11]研究我国东、中、西部这 3 个地区 6 个典型村镇生活垃圾的低位热值在 $2\,401\sim 4\,556\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间;在村镇生活垃圾管理方面,谢丽丽等^[12]调查研究发现,江西省农村生活垃圾在 2012~2013 年间,生活垃圾处理厂覆盖人口占总人口 24.88%。黄维等^[13]对重庆市农村生活垃圾提出“户分类、村收集、镇转运、县处理”的处理办法。

何晶晶等^[14]综合环境、资源和经济效益等,得出我国村镇生活垃圾分别适合“全集中”和“村镇县协同”的处理物流模式。

但现有的研究多限于局部地区,缺乏对全国村镇生活垃圾相关性质的整体认识,特别是对农村垃圾可燃组分及热值的季节变化和区域差异、乡镇与村庄之间垃圾性能的差异尚缺乏相关研究报道。虽然目前农村垃圾的主要处理处置方式有“填埋、焚烧、堆肥、太阳能垃圾减量化、产沼气”等^[15],但垃圾处理方式取决于垃圾本身特性,为此,本课题组于 2015 年春、夏、秋、冬这 4 个季节分别对我国南北方 72 个村镇的生活垃圾产生源进行现场取样分析,系统检测了垃圾组分、含水率以及垃圾热值等参数,进行了地域、季节以及乡镇与村庄之间差异分析,并探讨了我国村镇垃圾焚烧处置的潜力及可行性。

1 材料与方法

1.1 采样方法

1.1.1 采样背景

研究采样点选取了 12 个省/市,每个省/市下包含 3 个镇,每个镇下选取了 1 个村,共计 72 个采样点。采样点的选取为地方发展较好或居民生活条件较好的具有代表性的村镇,采样点分布见表 1。

表 1 村镇生活垃圾采样点分布
Table 1 Distribution of rural garbage sampling points in China

区域	省、市/县	典型镇	典型村
北方	黑龙江省哈尔滨市双城区	周家镇、东官镇、幸福乡	东升村、庆新村、久前村
	吉林省延边朝鲜族自治州延吉市	依兰镇、朝阳川镇、东盛涌镇	利民村、合成村、渊背村
	甘肃省庆阳西峰区	董志镇、什社乡、彭原镇	岳家洼、庙张家、花儿岭
	北京市房山区	周口店镇、阎村镇、长阳镇	娄子水村、阎村、稻田村
	山东省单县	莱河镇、郭村镇、黄冈镇	庞楼村、郭庄、韩庄
	河南省淅川县荆州	关镇、马蹬镇、大石桥乡	刘营、王家庄、大石桥村
南方	安徽省岳西县	天堂镇、白帽镇、温泉镇	回龙村、孟家村、张吴塘村
	上海市崇明县	竖新镇、新河镇、东平旅游景区	竖新村、新河农村、东平农村
	重庆市巴南区	跳石镇、界石镇、东泉镇	大沟村、金鹅村、玉滩村
	湖北省麻城市	龟峰山风景区、铁门岗乡、白果镇	龟山茶园冲、铁门岗茅瓦屋、白果龚埠村
	湖南省醴陵县	王坊镇、王仙镇、大林乡	王坊村、大王冲村、高桥村
	广东省南澳县	深澳镇、云澳镇、后宅镇	海滨村、坎头顶村、山顶村

1.1.2 现场采样

垃圾采样方法按照标准(CJ/T 313-2009)^[16]执行。

本研究于 2015 年的 4 个季节分别对全国 72 个采样点进行采样分析,现场采样时的天气为晴天或阴天。垃圾采样时,露天堆场和垃圾转运站处采取坡面法进行取样,垃圾桶和垃圾池处采取全部清掏,取样的垃圾盛放于 100 L 的塑料桶中进行质量称

量,采集的垃圾质量约 150 kg。对垃圾按照橡塑类、纸类、木竹类、织物类、厨余类、砖瓦类、玻璃类、金属类、有害类和灰土类进行分选,称量各组分的质量,并对各组分进行取样送回实验室分析。

1.2 分析方法

1.2.1 含水率测定

垃圾组分含水率分析参照文献[17~19]等标准执行。

1.2.2 热值测定

垃圾热值测定按照文献[16, 20]进行. 低位热值难以直接测定,通常采取计算法得到,湿基低位热值的计算按照(CJ/T 313-2009)^[16]中“6.5 热值”下的运算步骤进行,干基氢元素的含量取 7.5%.

1.2.3 数理统计

运用 Excel 2013 进行数据运算;运用 SPSS 20 进行 Pearson 相关性分析,分析选用的数据为采样调查数据中各垃圾组分百分含量(湿基)、全组分垃圾含水率和热值;运用 Origin 2016 进行绘图.

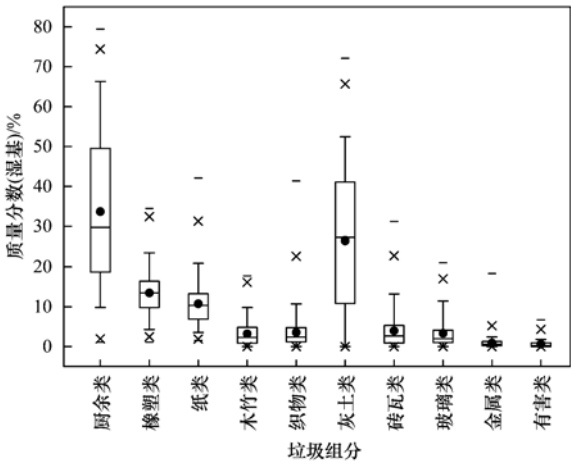
2 结果与讨论

2.1 村镇生活垃圾组分分析

2.1.1 垃圾全组分含量

我国村镇生活垃圾全组分质量分数(湿基)见图 1.

如图 1 所示,我国村镇生活垃圾全组分含量(湿基)由高到低的顺序为:厨余类>灰土类>橡塑类>纸类>砖瓦类>织物类>玻璃类>木竹类>金属类>有害类,其中厨余类和灰土类占较大比例(两者加和大于 50%),橡塑类和纸类的含量在 10%~15%之间,其余组分含量大多处于 5%以下.



箱体高度表示 25%~75% 百分位数;工字标签分别代表 5% 和 95% 百分位数;上端和下端的两条短横线表示的是除去异常值之外最大值和最小值;十字交叉代表 99% 和 1% 的分位数;箱体中的横线表示中位数;箱体中的实心点表示平均数,下同.

图 1 村镇生活垃圾组分质量分数(湿基)

Fig. 1 Mass fraction of components in rural garbage(wet basis)

2.1.2 垃圾可燃组分含量

垃圾可燃组分包括厨余类、橡塑类、纸类、织物类、木竹类,这些可燃组分随区域及季节变化的质量分数见图 2.

图 2 表明:无论是南方村、镇,还是北方村、镇,4 个季节的生活垃圾可燃组分中厨余类含量最高,

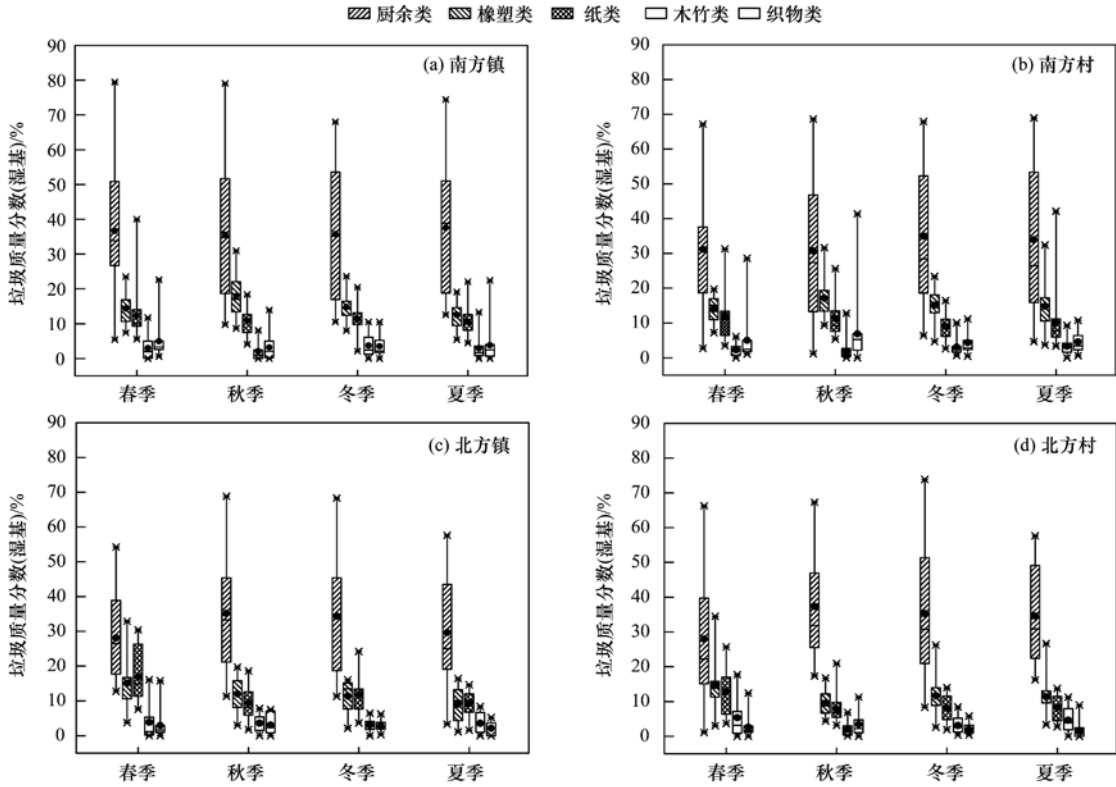


图 2 村镇生活垃圾可燃组分质量分数的时空(季节、区域)变化

Fig. 2 Spatial-temporal variation of mass fraction of combustible rural garbage components

单组分质量分数由高到低的顺序为:厨余类(13%~53%)>橡塑类(10%~18%)>纸类(10%~15%)>木竹类(0~10%)>织物类(0~8%)。

季节是影响生活垃圾组分含量的重要因素,南、北村庄生活垃圾组分质量分数[如图2(b)和图2(d)]随季节变换的波动范围略大于乡镇生活垃圾的组分质量分数[如图2(a)和图2(c)],且南方村镇生活垃圾组分质量分数的波动范围较北方大。

村与镇生活垃圾组成比例较相近,这与农村生活质量提高有很大关系,如家庭养殖减少,塑料和纸质包装材料广泛使用,庭院垃圾以及一次性餐具进入到垃圾中使得木竹类的含量可观,而织物类为耐用品,在垃圾中的含量相对较小。另一方面,由于村镇生活垃圾中各组分的百分比例相近(均值),则分散的村庄生活垃圾汇集后,其物理特性也会处在一个相对稳定的范围内。这为我国村镇生活垃圾实现集中统一处理提供了条件。

2.2 村镇生活垃圾含水率分析

南、北村镇生活垃圾单组分和全组分含水率见图3。

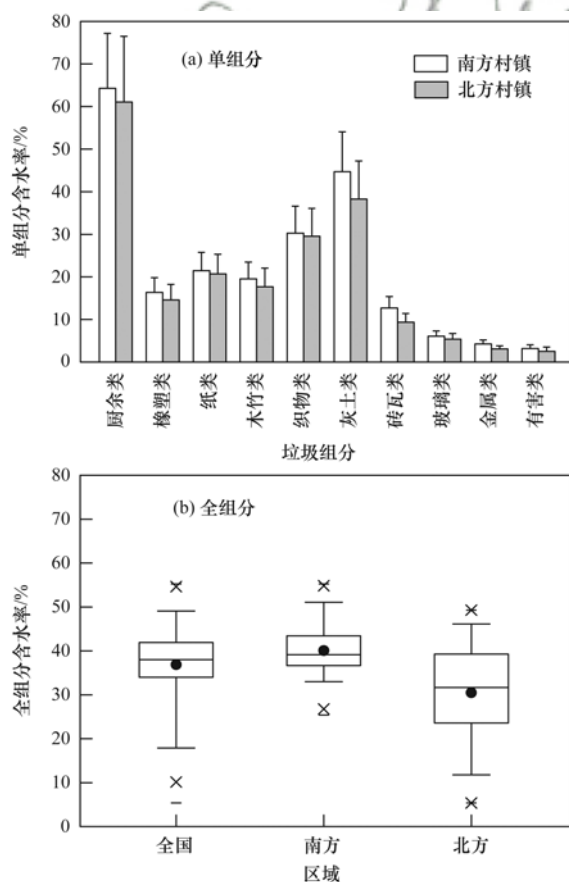


图3 村镇生活垃圾单组分和全组分的含水率

Fig. 3 Moisture content of one-component and full components in rural garbage

如图3(a)所示,南方村镇各单组分的含水率均高于北方,且呈现厨余类>灰土类>织物类>纸类>木竹类>橡塑类>砖瓦类>陶瓷类>金属类>有害类的趋势;全国、南方、北方村镇生活垃圾混合组分的平均含水率分别为36.9%、40.1%和30.5%[见图3(b)],本研究获得的南方村镇生活垃圾含水率与范先鹏等^[21]研究得出湖北省三峡库区农村生活垃圾含水率约41%的结果相似。

2.3 村镇生活垃圾低位热值特征及焚烧处置潜力分析

2.3.1 生活垃圾全组分低位热值分析

南、北方村镇生活垃圾低位热值与季节变化间的关系见图4。

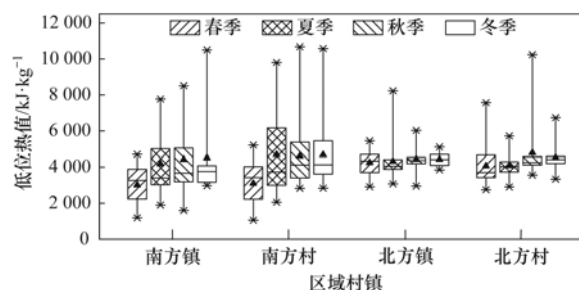


图4 村镇生活垃圾全组分低位热值的时空(季节、区域)变化

Fig. 4 Spatial-temporal (season and region) variation of low heating value of full-range rural garbage components

如图4所示,我国南方村镇生活垃圾低位热值除春季外,其余季节的生活垃圾低位热值与北方的相当。在春季时,不但比北方的低且整体维持在 $(3\,015.1 \pm 1\,123.5) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,这是由于南方村镇生活垃圾在春季时厨余类平均含量(34%)大于北方厨余类平均含量(28%)(图2),前者的含水率也相应大于后者的原因。南方村镇生活垃圾从春季到冬季,垃圾热值有所提升,而北方村镇生活垃圾在一年中的低位热值均维持在相对稳定的范围内,且村与镇生活垃圾间的低位热值相差不大。南方镇和村的生活垃圾全年平均低位热值分别为 $(4\,279.9 \pm 1\,707.4) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(4\,044.0 \pm 1\,245.9) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,而北方镇和村的生活垃圾全年平均低位热值分别为 $(4\,355.0 \pm 1\,461.4) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(4\,370.2 \pm 1\,549.8) \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,即北方村镇生活垃圾低位热值大于南方。与王和平^[22]研究得出的“当垃圾水分在30%~60%之间变化时,垃圾的热值会在 $7\,166 \sim 3\,583 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间变化”一致。

麦启洲等^[23]研究城市生活垃圾的焚烧与热值时得出“利用焚烧处理生活垃圾废弃物,不仅处理了垃圾,也使垃圾资源化,但自身低位热值不应低于

3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, 热值愈高, 利用价值愈高”。唱鹤鸣等^[24]在研究异重流化床垃圾焚烧炉设计和中试运行时发现, 垃圾低位热值小于3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时需要向焚烧系统中添加煤燃料, 从而变得不经济。我国生活垃圾低位热值小于3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的南、北村镇分布见图5。

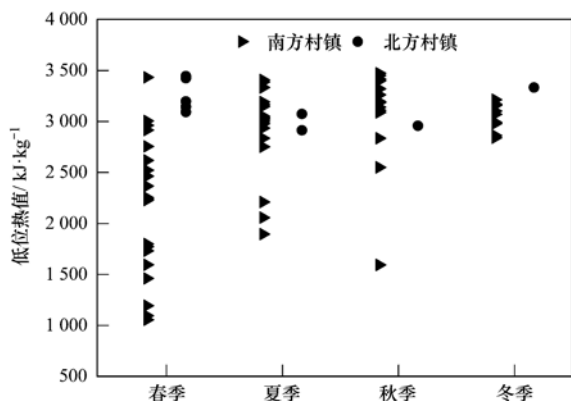


图5 南、北村镇生活垃圾低位热值小于3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的分布

Fig. 5 Distribution of low heating value less than 3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ in south and north rural garbage

如图5所示, 小于3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的热值以南方地区的样本数量占多数, 在季节上由多到少的顺序为: 春季>夏季>秋季>冬季, 南方村镇生活垃圾在春夏秋冬4个季满足焚烧处置要求的村和镇分别为44%、50%、61%、72%。北方全年81%以上的村镇生活垃圾均大于3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, 满足垃圾焚烧处置。

2.3.2 生活垃圾可燃组分低位热值分析

垃圾经过分选, 将垃圾中较稳定且不可燃的组分(如灰土类、砖瓦类、陶瓷类、金属类等)分离开来, 留下可燃组分, 其可燃组分低位热值见图6。

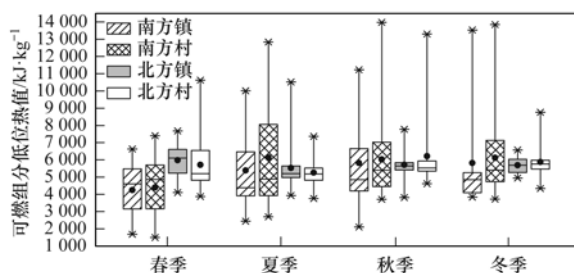


图6 村镇生活垃圾可燃组分低位热值的时空(季节、区域)变化

Fig. 6 Spatial-temporal (season and region) variation of low heating value of combustible rural garbage components

如图6所示, 对比图4中区域、季节变化村镇生活垃圾热值, 经分选后的生活垃圾热值有明显提高。北方村镇生活垃圾经分选后均能满足焚烧处置条件(低位热值大于3 500 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)。南方村镇生活

垃圾经分选后热值也得到普遍提高, 在春夏秋冬4季节满足焚烧处置条件的乡镇占所调查乡镇数的百分比分别上升为: 56%、89%、89%、100%, 而满足焚烧处置条件的村庄占所调查村庄数的百分比分别为: 72%、94%、100%、100%。

因此, 在村镇生活垃圾管理方面, 需重视村镇生活垃圾在源头实现分类、减量和提质。垃圾在源头分类比垃圾混合后再进行分选所消耗的人力物力少, 农村地区生活节奏慢, 更易于实现垃圾分类, 且源头分类简单易操作^[25]。“垃圾经分选预处理后可减小垃圾的体积, 部分可回收成分(金属类、织物类、塑料类、纸类、玻璃类)得以再利用”^[26], 无机不可燃类就地处置, 不仅可减少垃圾的收运成本, 还可大大提高有机可燃类垃圾的含量, 提高垃圾的热值。如南方村镇垃圾, 可通过延长垃圾在源头(收集池)稳定化的时间来减少垃圾的含水率, 其收集池可参考岳波等^[27]设计的准好氧垃圾池进行建造, 垃圾池设有防雨系统和渗滤液导排系统, 可防止垃圾在储存过程中产生二次污染; 垃圾焚烧前进行预处理(如焚烧前堆置4~5 d, 脱出部分水分), 可进一步提高热值, 预处理在降低含水率的同时也会降低垃圾有机质, 为此, 可采取短期通风干燥的办法进行脱水^[28]。

2.3.3 垃圾热值影响因素相关性分析

采样调查得到的垃圾组分质量分数、全组分含水率以及垃圾热值数据的相关性见表2。

如表2所示, 分析研究影响村镇生活垃圾低位热值的影响因素包括10种垃圾组分的质量分数(湿基)以及全组分含水率。在图1和图3中各组分及含水率变化范围内, 得知垃圾低位热值与全组分含水率和厨余类质量分数(湿基)呈显著负相关, 且含水率的影响程度较厨余类高; 橡塑类和织物类对低位热值的影响呈显著正相关; 纸类、木竹类对垃圾低位热值的影响不显著, 这主要是因为垃圾中纸类、木竹类的质量分数较低; 灰土类、砖瓦类、玻璃类、有害类也对垃圾低位热值的影响不显著。

3 结论

(1) 我国村镇生活垃圾全组分质量分数由高到低的顺序为: 厨余类>灰土类>橡塑类>纸类>砖瓦类>织物类>玻璃类>木竹类>金属类>有害类, 相同行政辖区内村与镇生活垃圾中各可燃组分质量分数相近, 这为我国村镇生活垃圾实现集中统一处理提供了条件。

表 2 生活垃圾低位热值影响因素相关性分析¹⁾

Table 2 Correlation between low heating value of rural garbage and its influencing factors

	厨余类	橡塑类	纸类	木竹类	织物类	灰土类	砖瓦类	玻璃类	金属类	有害类	全组分 含水率	低位 热值
厨余类	1.00											
橡塑类	-0.29 **	1.00										
纸类	-0.21 **	0.17 *	1.00									
木竹类	0.00	-0.06	0.12 *	1.00								
织物类	-0.04	0.19 **	0.00	-0.09	1.00							
灰土类	-0.86 **	-0.04	-0.13 *	-1.98 *	-0.22 **	1.00						
砖瓦类	-0.07	-0.27	-0.14 *	0.10	-0.11	-0.06	1.00					
玻璃类	-0.10	-0.09	-0.16 **	-0.08	-0.04	-0.03	0.04	1.00				
金属类	-0.05	0.05	0.07	0.04	0.06	-0.14 *	-0.03	0.27 **	1.00			
有害类	0.07	-0.03	0.06	-0.02	-0.03	-0.13 *	0.08	-0.04	0.04	1.00		
全组分含水率	0.310 **	0.13 *	0.03	-0.13 *	0.02	-0.23 **	-0.24 **	-0.19 **	-0.20 **	-0.08	1.00	
低位热值	-0.172 **	0.24 **	0.05	0.02	0.22 **	0.01	0.01	0.06	0.10	-0.07	-0.30 **	1.00

1) * 为 $P < 0.05$, ** 为 $P < 0.01$

(2)春夏秋冬 4 个季节的生活垃圾可燃组分质量分数由高到低的顺序为:厨余类(13% ~ 53%) > 橡塑类(10% ~ 18%) > 纸类(10% ~ 15%) > 木竹类(0 ~ 10%) > 织物类(0 ~ 8%)。南、北村庄生活垃圾组分质量分数随季节变换的波动范围略大于乡镇生活垃圾的组分质量分数,且南方村镇生活垃圾组分质量分数的波动范围较北方大。

(3)村镇生活垃圾中南方村镇各单组分和全组分平均含水率均高于北方,其中,厨余类平均含水率最高 [南方 (64.3 ± 12.9)%, 北方 (61.1 ± 15.4)%],南方村镇和北方村镇全组分垃圾的含水率均值分别为 40.1% 和 30.5%。

(4)在现有的垃圾管理水平上,季节变化对我国南方村镇生活垃圾热值影响程度大于北方,特别在春季时,村和镇生活垃圾热值超过 3 500 kJ·kg⁻¹ 的仅占 44%。相反,我国北方 81% 以上的村镇全年生活垃圾热值均在 3 500 kJ·kg⁻¹ 以上,满足垃圾焚烧的热值要求。

(5)垃圾经过分选后热值得到大幅度提高,除南方村镇春季的生活垃圾外,南方超过 56% 以上的村镇和北方 100% 的村镇垃圾热值均超过 3 500 kJ·kg⁻¹。因此,对我国农村生活垃圾进行焚烧处置是可行的,但需要对垃圾在源头实现分类和减量以提高垃圾热值及降低运营成本。同时,也需加强管理和宣传以提高公众参与度。此外,村镇生活垃圾的处置方式还需结合处理成本、技术要求和环境影响等因素综合考虑。

致谢:本研究在采样过程中得到了黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所王英、李伟群等的帮助,在此一并致谢!

参考文献:

[1] 王波,王夏晖,郑利杰. 我国农村生活垃圾处理行业发展路径探析[J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(5): 37-41.
Wang B, Wang X H, Zheng L J. Exploration for industry development path of rural living garbage disposal in China[J]. Environment and Sustainable Development, 2016, 41(5): 37-41.

[2] 魏佳容,李长健. 我国农村生活垃圾污染防治的法律对策——基于湖南省常德市石门县的问卷调查[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2014, 33(2): 16-22.
Wei J R, Li C J. Legal countermeasures on the prevention and control of rural living garbage pollution in China——Based on questionnaire survey in Shimen county, Changde city, Hunan province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University(Social Sciences Edition), 2014, 33(2): 16-22.

[3] 李再兴,秦学,李贵霞,等. 农村生活垃圾源头分置、分类处理方法研究[J]. 环境工程, 2014, 32(8): 85-88.
Li Z X, Qing X, Li G X, et al. Classified collecting and sorting disposal of rural solid waste[J]. Environmental Engineering, 2014, 32(8): 85-88.

[4] 王涛,史晓燕,刘足根,等. 东江源沿江村镇生活垃圾物理特性分析[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(3): 285-289.
Wang T, Shi X Y, Liu Z G, et al. Analysis on physical characteristics of rural solid waste in Dongjiang River Source Area, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(3): 285-289.

[5] 韩智勇,梅自力,孔垂雪,等. 西南地区农村生活垃圾特征与群众环保意识[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(3): 314-319.
Han Z Y, Mei Z L, Kong C X, et al. Features of domestic wastes and environmental awareness of people in the rural area of Southwest China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(3): 314-319.

[6] 马军伟,孙万春,俞巧钢,等. 山区农村生活垃圾成分特征及农用风险[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(2): 220-228.
Ma J W, Sun W C, Yu Q G, et al. Component characteristic and

- agricultural utilization risk of household waste in mountainous rural area[J]. *Journal of Zhejiang University(Agriculture & Life Sciences)*, 2012, **38**(2): 220-228.
- [7] 岳波, 张志彬, 孙英杰, 等. 我国农村生活垃圾的产生特征研究[J]. *环境科学与技术*, 2014, **37**(6): 129-134.
Yue B, Zhang Z B, Sun Y J, *et al.* Characteristics of rural household solid wastes in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **37**(6): 129-134.
- [8] 段雄伟, 高海硕, 黎华寿, 等. 广东省农村生活垃圾组分及其污染特性分析[J]. *农业环境科学学报*, 2013, **32**(7): 1486-1492.
Duan X W, Gao H S, Li H S, *et al.* Component Analysis and Pollution Characteristics of Domestic Waste in Rural Area of Guangdong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, **32**(7): 1486-1492.
- [9] 周颖. 农村生活垃圾分类焚烧处理的环境效益分析[D]. 南昌: 江西农业大学, 2011.
Zhou Y. The environmental benefit analysis of classified rural waste burned[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2011.
- [10] 苏畅, 葛大兵, 田雄, 等. 宁乡县农村生活垃圾分类及理化性质研究[J]. *湖南农业科学*, 2014, (5): 83-85.
Su C, Ge D B, Tian X, *et al.* Sorting and physicochemical properties of rural domestic waste in Ningxiang county[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2014, (5): 83-85.
- [11] 岳波, 张志彬, 黄启飞, 等. 我国6个典型村镇生活垃圾的理化特性研究[J]. *环境工程*, 2014, **32**(7): 105-110.
Yue B, Zhang Z B, Huang Q F, *et al.* Study on the physicochemical properties of living solid waste in several typical villages and towns in China[J]. *Environmental Engineering*, 2014, **32**(7): 105-110.
- [12] 谢丽丽, 王东海, 郑建刚, 等. 2012-2013年江西省农村垃圾和污水处置现状调查[J]. *现代预防医学*, 2015, **42**(3): 557-559, 562.
Xie L L, Wang D H, Zheng J G, *et al.* Hygienic survey of garbage and sewage treatment in rural areas of Jiangxi province, 2012-2013[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2015, **42**(3): 557-559, 562.
- [13] 黄维, 艾海男, 祖金利. 重庆市柳荫镇农村环境整治工程设计实例[J]. *中国给水排水*, 2014, **30**(4): 53-56.
Huang W, Ai H N, Zu J L. Design of rural environmental control project in Liuyin town of Chongqing[J]. *China Water & Wastewater*, 2014, **30**(4): 53-56.
- [14] 何晶晶, 章骅, 吕凡, 等. 村镇生活垃圾处理模式及技术路线探讨[J]. *农业环境科学学报*, 2014, **33**(3): 409-414.
He P J, Zhang Y, Lv F, *et al.* Pattern classification of methods and feasible technology route for household waste management in villages and towns[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, **33**(3): 409-414.
- [15] 胡春芳, 闵文江. 农村生活垃圾处理方式调查[J]. *河北农业科学*, 2010, **14**(9): 106-107, 110.
Hu C F, Min W J. Survey of rural domestic waste treatment methods[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, **14**(9): 106-107, 110.
- [16] CJ/T 313-2009, 生活垃圾采样和分析方法[S].
CJ/T 313-2009, Sampling and analysis methods for domestic waste[S].
- [17] GB/T 1931-1991, 木材含水率测定方法[S].
GB/T 1931-1991, Determination of wood moisture content[S].
- [18] GB/T 9995-1997, 纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法[S].
GB/T 9995-1997, Determination of moisture content and moisture regain of textile-oven-drying method[S].
- [19] QB/T 2434-2012, 日用陶瓷原料含水率测定方法[S].
QB/T 2423-2012, Test method for water content of domestic ceramic raw material[S].
- [20] GB/T 213-2008, 煤的发热量测定方法[S].
GB/T 213-2008, Determination of calorific value of coal[S].
- [21] 范先鹏, 董文忠, 甘小泽, 等. 湖北省三峡库区农村生活垃圾发生特征探讨[J]. *湖北农业科学*, 2010, **49**(11): 2741-2745.
Fan X P, Dong W Z, Gan X Z, *et al.* Study on production and features of rural solid wastes in the Three Gorges Reservoir Area of Hubei province[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, **49**(11): 2741-2745.
- [22] 王和平. 垃圾水分对焚烧炉热力性能的影响[J]. *锅炉技术*, 2015, **46**(1): 75-79.
Wang H P. The impact of the waste water on thermal performance[J]. *Boiler Technology*, 2015, **46**(1): 75-79.
- [23] 麦启洲, 钟亚力, 钟美云, 等. 城市生活垃圾的焚烧与热值[J]. *环境卫生工程*, 1995, (1): 29-35.
- [24] 唱鹤鸣, 丁建东. 异重流化床垃圾焚烧炉设计和中试运行[J]. *江苏环境科技*, 2006, **19**(5): 35-36, 45.
Chang H M, Ding J D. Design and practice study of density MSW fluidized bed incinerator[J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2006, **19**(5): 35-36, 45.
- [25] 郭鑫. 天津市生活垃圾分类试点选取及实施建议[J]. *环境卫生工程*, 2014, **22**(2): 22-24.
Guo X. Pilot selection and implementation of domestic waste sorting in Tianjin[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2014, **22**(2): 22-24.
- [26] 杨列, 陈朱蕾, 张俊. 生活垃圾生物预处理后筛分及分选特性试验研究[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(12): 3943-3946.
Yang L, Cheng Z L, Zhang J. Effects of biological pretreatment of municipal solid waste on screening and sorting[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(12): 3943-3946.
- [27] 岳波, 黄启飞, 晏卓逸, 等. 农村生活垃圾收集池[P]. 中国专利: CN205739006U, 2016-11-30.
- [28] 杨列, 陈朱蕾, 唐素琴, 等. 生物预处理过程中有机质与水分对垃圾热值影响研究[J]. *环境卫生工程*, 2014, **22**(4): 19-21.
Yang L, Chen Z L, Tang S Q, *et al.* Effect of organic matter and moisture on waste calorific value during biological pretreatment process[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2014, **22**(4): 19-21.

CONTENTS

Marine Aerosol Using On-board Aerosol Mass Spectrometry	YAN Jin-pei, CHEN Li-qi, LIN Qi, <i>et al.</i> (2629)
Analysis of Spatio-temporal Distribution and Variation Characteristics of Aerosol Optical Depth over the Northwest of China by MODIS C6 Product	ZHAO Shi-wei, GAO Xiao-qing (2637)
Sources and Characteristics of Regional Background PM ₁ in North China During the Autumn and Winter Polluted Period ...	ZHANG Zhou-xiang, ZHANG Yang-mei, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (2647)
Pollution Characteristics and Light Extinction Contribution of Water-soluble Ions of PM _{2.5} in Hangzhou	WU Dan, LIN Shao-long, YANG Huan-qiang, <i>et al.</i> (2656)
Formation and Size Distribution of the Secondary Aerosol Inorganic Ions in Different Intensity of Haze in Qingdao, China	XIE Dan-dan, QI Jian-hua, ZHANG Rui-feng (2667)
Comparison of Characteristics and Reactive Oxidative Species of PM _{2.5} in Xi'an, China During Haze and Clean Days	WANG Kun, HAN Yong-ming, Ho Steven Sai Hang, <i>et al.</i> (2679)
Seasonal Variation and Sources of Dicarboxylic Acids and Related Compounds in PM ₁₀ from Mt. Huangshan	MENG Jing-jing, HOU Zhan-fang, ZHANG Er-xun, <i>et al.</i> (2688)
Composition Characteristics and Sources Apportionment of Lanthanoid in PM _{2.5} of Quanzhou	ZHANG Yun-feng, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (2698)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants in the Surroundings of Three Petrochemical Industries in Northwest China	XU Ya-xuan, LI Xiao-min, YU Hua-tong, <i>et al.</i> (2707)
VOCs Characteristics and Sources Apportionment in Yixing City During the G20 Summit	ZHANG Lin, ZHANG Xiang-zhi, QIN Wei, <i>et al.</i> (2718)
Agricultural Ammonia Emission Inventory and Its Spatial Distribution in Sichuan Province from 2005 to 2014	FENG Xiao-qiong, CHEN Jun-hui, JIANG Tao, <i>et al.</i> (2728)
Air Pollutant Emission Inventory of Non-road Machineries in Typical Cities in Eastern China	LU Jun, HUANG Cheng, HU Qing-yao, <i>et al.</i> (2738)
Estimation of Health Risk and Enaction of Safety Standards of <i>N</i> -nitrosodimethylamine (NDMA) in Drinking Waters in China	ZHANG Qiu-qiu, PAN Shen-ling, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2747)
Comparison and Analysis of the Quantitative Methods for Pollutant Sources Load in Groundwater Contamination Risk Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> (2754)
Distribution and Sources of <i>n</i> -alkanes in Surface Seawater of Jiaozhou Bay	ZHANG Qian, SONG Jin-ming, PENG Quan-cai, <i>et al.</i> (2763)
Spatial Variations of CO ₂ Degassing Across Water-air Interface and Its Impact Factors in Summer in Guijiang River, China	ZHANG Tao, LI Jian-hong, PU Jun-bing, <i>et al.</i> (2773)
Spatial Distribution Characteristics and Potential Ecological Risk of Antimony and Selected Heavy Metals in Sediments of Duliujiang River	NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, LAN Xiao-long, <i>et al.</i> (2784)
Distribution Characteristics and Potential Risk of Bisphenol Analogues in Surface Water and Sediments of Lake Taihu	CHEN Mei-hong, GUO Min, XU Huai-zhou, <i>et al.</i> (2793)
Characteristics of Water Extractable Organic Nitrogen from Erhai Lake Sediment and Its Differences with Other Sources	LI Wen-zhang, ZHANG Li, WANG Sheng-rui, <i>et al.</i> (2801)
High-resolution Distribution Characteristics of Phosphorous, Iron and Sulfur Across the Sediment-Water Interface of Aha Reservoir ...	SUN Qing-qing, CHEN Jing-an, WANG Jing-fu, <i>et al.</i> (2810)
Distribution Characteristics of Drugs of Abuse and Their Metabolites in Aqueous Environment of Beijing, China	ZHANG Yan, ZHANG Ting-ting, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (2819)
Impacts of Rainfall Characteristics and Occurrence of Pollutant on Effluent Characteristics of Road Runoff Pollution	CHEN Ying, WANG Zhao, WU Ya-gang, <i>et al.</i> (2828)
Inhibition of Internal Phosphorus Release in the Black-Odor Channel Under Different Adding Methods of CaO ₂	XU Yao, LI Da-peng, HAN Fei-er, <i>et al.</i> (2836)
Transport of Nitrogen and Phosphorus from Sloping Farmland with Thin Purple Soil Overlying Rocks	XIAN Qing-song, TANG Xiang-yu, ZHU Bo (2843)
Purification of Slightly Salt-alkaline Water Bodies by Microorganism Enhanced Combined Floating Bed	CHEN You-yuan, WU Ya-dong, SUN Ping, <i>et al.</i> (2850)
MgO-Biochar for the Adsorption of Phosphate in Water	WANG Bin-bin, LIN Jing-dong, WAN Shun-li, <i>et al.</i> (2859)
Degradation of <i>N</i> -nitrosodimethylamine by Palladium/ Iron Bimetallic Composite Catalytic Fiber	ZHANG Huan, FU Min, WEI Jun-fu, <i>et al.</i> (2868)
Effects of Goethite, Magnetite and Gypsum on the Anaerobic Degradation of 2,4-Dichlorophenol	KONG Dian-chao, ZHOU Yue-fei, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (2875)
Transformation of Disinfection Byproduct Precursors During the Wastewater Regeneration Processes	HAN Hui-hui, MIAO Heng-feng, ZHANG Ya-jing, <i>et al.</i> (2883)
Treatment of PTA Wastewater by Modified Anode Microbial Fuel Cell	SUN Jing-yun, FAN Meng-jie, CHEN Ying-wen, <i>et al.</i> (2893)
Selective Inhibition of Rice Straw Extract on Growth of Cyanobacteria and Chlorophyta	SU Wen, CHEN Jie, ZHANG Sheng-peng, <i>et al.</i> (2901)
Cultivation of <i>Spirulina platensis</i> in Digested Piggery Wastewater Pretreated by SBR with Operating Conditions Optimization	CAI Xiao-bo, YU Qiang-qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (2910)
Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX Process with K ⁺ Addition in Saline Surroundings	WU Guo-dong, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (2917)
Efficient and Stable Operation of Shortcut Nitrification by Entrapping Ammonia Oxidizing Bacteria	YU Meng-yu, LIU Yi, TIAN Yu-bin, <i>et al.</i> (2925)
Fast Start-up of ANAMMOX and the Spatial Distribution of EPS in ANAMMOX Granules	LI Hui-juan, PENG Dang-cong, CHEN Guo-yan, <i>et al.</i> (2931)
Ammonia Oxidation with Potential Electron Acceptor in ANAMMOX Sludge	LI Xiang, LIN Xing, WANG Fan, <i>et al.</i> (2941)
Ammoniac Waste Gas in-situ Treatment Based on ANAMMOX Process	LIN Xing, WANG Fan, YUAN Yan, <i>et al.</i> (2947)
Extensive Green Roof Substrate Composition Based on Sludge Recycling	SHEN Qing-ran, LI Tian, CAO Yi, <i>et al.</i> (2953)
Short-term Effect of Roxithromycin on Abundance and Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Activated Sludge	GAO Jing-feng, SUN Li-xin, FAN Xiao-yan, <i>et al.</i> (2961)
Influence of Salinity on Microbial Community in Activated Sludge and Its Application in Simulated Dye Wastewater Treatment	ZHOU Gui-zhong, XU Shuo, YAO Qian, <i>et al.</i> (2972)
Shift of Microbial Communities During the CO ₂ -Brine-Sandstone Interaction Process	WANG Bo-qiang, LI Chen-yang, LU Wei, <i>et al.</i> (2978)
Response of Soil Respiration and Heterotrophic Respiration to Returning of Straw and Biochar in Rape-Maize Rotation Systems	TIAN Dong, GAO Ming, HUANG Rong, <i>et al.</i> (2988)
Effect of Simulated Climate Warming on Microbial Community and Phosphorus Forms in Wetland Soils	TENG Chang-yun, SHEN Jian-guo, WANG Zhong, <i>et al.</i> (3000)
Patterns of Bacterial Community Through Soil Depth Profiles and Its Influencing Factors Under <i>Betula albosinensis</i> Burkill in the Xinjiashan Forest Region of Qinling Mountains	DU Can, XU Chen-yang, WANG Qiang, <i>et al.</i> (3010)
Effects of Microbial Activities on Mercury Methylation in Farmland near Mercury Mining Area	JIA Qin, ZHU Xue-mei, WANG Qi, <i>et al.</i> (3020)
Effect of Sepiolite Application on the Migration and Redistribution of Pb and Cd in Soil Rice System in Soil with Pb and Cd Combined Contamination	FANG Zhi-ping, LIAO Min, ZHANG Nan, <i>et al.</i> (3028)
Application of Amphoteric-Cationic Combined Modification on Phenol Adsorption of Yellow Brown Soil	LIU Wei, MENG Zhao-fu, REN Shuang, <i>et al.</i> (3036)
Bioaccumulation of Heavy Metals in Twigs and Leaves of <i>Abies fabri</i> at Mount Gongga in China; A Comparison Study Between 1999 and 2014	LI Fen, WANG Xun, LUO Ji, <i>et al.</i> (3045)
Subcellular Distribution and Chemical Forms of Heavy Metals in Three Types of Compositae Plants from Lead-Zinc Tailings Area	ZHU Guang-xu, XIAO Hua-yun, GUO Qing-jun, <i>et al.</i> (3054)
Effects of Bentonite Amendment on Detoxification, Heavy Metal Passivation and Estrone Elimination of Sewage Sludge Compost	ZHOU Li-na, CAI Han-zhen, LI Rong-hua, <i>et al.</i> (3061)
Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Straw	GUO Xiang-lin, ZUO Jian-e, SHI Xu-chuan, <i>et al.</i> (3070)
Basic Features of Combustible Rural Garbage Component and Its Spatial-temporal Difference in China	YAN Zhuo-yi, YUE Bo, GAO Hong, <i>et al.</i> (3078)
Optimization of Promoter and Support for Co-based/zeolites Catalysts in Catalytic Reduction of NO _x by CH ₄	PAN Hua, JIAN Yan-fei, CHEN Ning-na, <i>et al.</i> (3085)