

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第9期

Vol.36 No.9

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长江三角洲 PM _{2.5} 质量浓度遥感估算与时空分布特征	徐建辉, 江洪 (3119)
宁波市 PM _{2.5} 中碳组分的时空分布特征和二次有机碳估算	杜博涵, 黄晓锋, 何凌燕, 胡敏, 王川, 任宇超, 应红梅, 周军, 汪伟峰, 许丹丹 (3128)
青岛大气中酸碱气体及 PM _{2.5} 中水溶性离子的浓度特征和气粒平衡关系	周佳佳, 石金辉, 李丽平, 姚小红, 高会旺 (3135)
北京雾霾天大气颗粒物中微生物气溶胶的浓度及粒谱特征	胡凌飞, 张柯, 王洪宝, 李娜, 王洁, 杨文慧, 殷喆, 焦周光, 温占波, 李劲松 (3144)
2015 年春节北京市空气质量分析	程念亮, 陈添, 张大伟, 李云婷, 孙峰, 魏强, 刘嘉林, 刘保献, 孙瑞雯 (3150)
上海市大气挥发性有机化学消耗与臭氧生成的关系	王红丽 (3159)
生物滴滤塔净化氯代烃混合废气的研究	陈东之, 缪孝平, 欧阳杜娟, 叶杰旭, 陈建孟 (3168)
一种基于 GOCI 数据的叶绿素 a 浓度三波段估算模型	郭宇龙, 李云梅, 李渊, 吕恒, 刘阁, 王旭东, 张思敏 (3175)
巢湖溶解性有机物时空分布规律及其影响因素	叶琳琳, 吴晓东, 刘波, 闫德智, 张玫琪, 周阳 (3186)
河北洺河溶解性有机物光谱学特性	虞敏达, 张慧, 何小松, 檀文炳, 张媛, 马丽娜, 席北斗, 党秋玲, 高如泰 (3194)
东山岛地下水“三氮”空间分布特征	吴海燕, 傅世锋, 蔡晓琼, 汤坤贤, 曹超, 陈庆辉, 梁修雨 (3203)
重庆典型岩溶区地下河中溶解态正构烷烃、脂肪酸来源、迁移及转化	梁作兵, 孙玉川, 王尊波, 师阳, 江泽利, 张媚, 谢正兰, 廖昱 (3212)
硫酸对乌江中上游段岩溶水化学及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的影响	黄奇波, 覃小群, 刘朋雨, 张连凯, 苏春田 (3220)
阆中市思依镇水化学特征及其成因分析	张艳, 吴勇, 杨军, 孙厚云 (3230)
东南沿海河流-水库系统藻类生长营养盐限制季节变动	陈聪聪, 饶拉, 黄金良, 白敏冬 (3238)
水体氮磷营养盐水平与氯霉素浓度复合水体对苦草的生理生化影响	胡珍珍, 崔益斌, 李梅, 余静 (3248)
溶藻活性物质对棕囊藻溶藻及其脂肪酸影响的模拟	杨秋婵, 赵玲, 尹平河, 谭烁, 舒万姣, 侯少玲 (3255)
坡岸截留强化处理设施在不同运行条件下对农业面源污染物去除效果	李怀正, 陈珂莉, 危忠, 王卫刚 (3262)
典型材料屋面积尘重金属形态分布与风险评估	李敦柱, 管运涛, 刘安, 李思远 (3269)
南水北调丹江口水库水氯(胺)化消毒副产物产生特性与消毒工艺对比	张民盛, 徐斌, 张天阳, 程拓, 夏圣骥, 楚文海 (3278)
臭氧-混凝交互作用对混凝效果的影响	刘海龙, 郭雪峰, 王敏慧, 焦茹媛, 石健 (3285)
含溴水臭氧化过程阴离子对溴酸盐生成的影响	吴悦, 吴纯德, 刘吕刚, 袁博杰 (3292)
厌氧环境雌黄溶解产物形态的 XAS 研究	王莹, 许丽英, 王少锋, 肖翻, 贾永峰 (3298)
印染及染料行业废水生物处理系统中的 AOX 污染研究	申洋洋, 刘锐, 徐灿灿, 舒小铭, 许江军, 兰亚琼, 陈吕军 (3304)
螺旋霉素制药废水处理过程中耐药菌和抗性基因的转归特征	覃彩霞, 佟娟, 申佩弘, 魏源送 (3311)
两种膜生物反应器处理养猪沼液的比较研究	税勇, 川岸朋树, 宋小燕, 刘锐, 陈吕军 (3319)
农村污水膜生物反应器系统中微生物群落解析	孔晓, 崔丙健, 金德才, 吴尚华, 杨波, 邓晔, 庄国强, 庄绪亮 (3329)
四区一体反应器冬季启动脱氮特性及硝化菌群结构分析	张岩, 孙凤侠, 谢杭冀, 陈敬, 睦稀, 甘志明, 王修平, 史扬 (3339)
从亚硝酸还原厌氧氨氧化转变为硫酸盐型厌氧氨氧化	刘正川, 袁林江, 周国标, 李晶 (3345)
提高有机负荷对好氧颗粒污泥形成与稳定过程的影响	刘小鹏, 王建芳, 钱飞跃, 王琰, 陈重军, 沈耀良 (3352)
常规施肥条件下农田不同途径氮素损失的原位研究: 以长江中下游地区夏玉米季为例	桑蒙蒙, 范会, 姜珊珊, 蒋静艳 (3358)
水氮组合模式对双季稻甲烷和氧化亚氮排放的影响	傅志强, 龙攀, 刘依依, 钟娟, 龙文飞 (3365)
厌氧条件下砂壤水稻土 N ₂ 、N ₂ O、NO、CO ₂ 和 CH ₄ 排放特征	曹娜, 王睿, 廖婷婷, 陈诺, 郑循华, 姚志生, 张海, Klaus Butterbach-Bahl (3373)
黄土丘陵区不同有机碳背景下侵蚀坡面土壤呼吸特征	陈盖, 许明祥, 张亚锋, 王超华, 樊会敏, 王闪闪 (3383)
生物炭添加对半干旱地区土壤温室气体排放的影响	郭艳亮, 王丹丹, 郑纪勇, 赵世伟, 张兴昌 (3393)
宁南山区林地土壤原位矿化过程中碳氮转化耦合特征	倪银霞, 黄懿梅, 牛丹, 赵彤, 闫浩, 蒋跃利 (3401)
石漠化山地植被恢复过程土壤团聚体氮分布及与氮素矿化关系研究	胡宁, 马志敏, 蓝家程, 伍宇春, 陈高起, 傅瓦利, 文志林, 王文净 (3411)
江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点: 以潜江市为例	王玉竹, 肖和艾, 周萍, 童成立, 葛体达, 曾冠军, 吴金水 (3422)
缙云山不同土地利用方式下土壤团聚体中活性有机碳分布特征	李睿, 江长胜, 郝庆菊 (3429)
西北典型工矿型城市街道尘埃重金属污染的环境磁学响应	聂燕, 王新, 王博, 许淑婧, 高福元, 余晔, 夏敦胜, 夏听鸣 (3438)
电镀厂周边环境重金属分布特征及人体健康暴露风险评价	郭鹏然, 雷永乾, 周巧丽, 王畅, 潘佳钊 (3447)
典型电力电容器污染土壤中多氯联苯水平及特性	刘洁, 李晓东, 赵中华, 祁志福, 陈彤, 严建华 (3457)
紫色土对硫丹的吸附与解吸特征	赵炎, 郑国灿, 朱恒, 张进忠, 朱秀英, 胡淑春, 吴娅林 (3464)
紫茉莉对石油污染盐碱土壤微生物群落与石油烃降解的影响	焦海华, 崔丙健, 吴尚华, 白志辉, 黄占斌 (3471)
4 株外生菌根真菌对 Al ³⁺ 吸收与吸附的研究	王明霞, 袁玲, 黄建国, 周志峰 (3479)
长春市郊区蔬菜有机磷农药残留与健康风险评价	于锐, 刘景双, 王其存, 刘强, 王洋 (3486)
北京市北神树生活垃圾填埋场产甲烷菌的群落结构和演替规律	宋立娜, 王磊, 夏孟婧, 苏月, 李振山 (3493)
城市分散式粪便颗粒化有机肥用作叶菜肥的肥力及环境影响	吕文洲, 乔宇祥, 余宁, 史荣华, 王光明 (3501)
V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ 催化剂与活性炭混合降解气相二噁英	任咏, 纪莎莎, 俞明峰, 李晓东, 严建华 (3508)
基于出行服务的纯电动公交车节能减排效益分析	林晓丹, 田良, 吕彬, 杨建新 (3515)
我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨	江梅, 邹兰, 李晓倩, 车飞, 赵国华, 李刚, 张国宁 (3522)
异化铁还原对土壤中重金属形态转化及其有效性影响	司友斌, 王娟 (3533)
《环境科学》征订启事 (3297) 《环境科学》征稿简则 (3303) 信息 (3127, 3202, 3277, 3318)	

长春市郊区蔬菜有机磷农药残留与健康风险评价

于锐^{1,2}, 刘景双¹, 王其存¹, 刘强¹, 王洋^{1*}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了明晰长春市郊区蔬菜有机磷农药残留现状, 原位采集 7 种 214 个蔬菜样品, 采用气相色谱法 (GC-FPD) 对 11 种有机磷农药进行分析测定, 并采用目标危险系数 (THQ) 法等对其风险进行了预测研究. 结果表明, 样品可食用部分有机磷农药含量超过与低于最大残留限量 (MRL) 的比率分别为 23.4% 和 68.7%, 仅 7.9% 样品未检出有机磷农药. 有机磷农药检出率顺序依次为: 二嗪农 (82.2%) > 甲拌磷 (45.8%) > 乐果 (29.4%) > 甲基对硫磷 (27.6%) > 氧化乐果 (23.8%) > 敌敌畏 (22.9%) > 杀螟硫磷 (21%) > 倍硫磷 (18.7%) > 对硫磷 (18.2%) > 甲胺磷 (17.3%) > 马拉硫磷 (12.1%). 叶菜类蔬菜有机磷超标率高于根茎类和茄果类蔬菜. 不同种类蔬菜有机磷农药超标率顺序依次为: 葱 (82.5%) > 萝卜 (37.5%) > 辣椒 (17.2%) > 白菜 (14.3%) > 黄瓜 (3.2%) > 茄子 (2.9%) > 西红柿 (0%). 49.5% 蔬菜中检测到 1 种以上有机磷农药. 目标平均危险系数 (ave THQ) 均小于 1, ave HI 为 0.462. 因此, 从蔬菜有机磷农药平均含量看, 目前蔬菜中的有机磷农药不会对市民造成明显的健康风险.

关键词: 有机磷农药; 蔬菜; 最大残留限量 (MRL); 每日允许摄入量 (ADI); 目标危险系数 (THQ)

中图分类号: X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)09-3486-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.09.046

Contamination of Organophosphorus Pesticides Residue in Fresh Vegetables and Related Health Risk Assessment in Changchun, China

YU Rui^{1,2}, LIU Jing-shuang¹, WANG Qi-cun¹, LIU Qiang¹, WANG Yang^{1*}

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This study aims to investigate the concentrations of organophosphorus pesticides (OPs) in fresh vegetables. A total of 214 samples from seven types of vegetables were collected from the suburb in Changchun City. The OPs were analyzed by gas chromatography coupled with flame photometric detector (GC-FPD). Target hazard quotients (THQ) were applied to estimate the potential health risk to inhabitants. Results showed that OPs concentrations exceeded the Maximum Residue Limit (MRL) in more than 23.4% samples, and were not detected in only 7.9% samples. Detection rates of OPs was as follow in the decreased order: diazinon (82.2%) > phorate (45.8%) > dimethoate (29.4%) > parathion-methyl (27.6%) > omethoate (23.8%) > dichlorvos (22.9%) > fenitrothion (21%) > fenthion (18.7%) > parathion (18.2%) > methamidophos (17.3%) > malathion (12.1%). The percentages above MRL for leaves were higher than for non-leafy vegetables. The order of percentages of OPs above MRL was as follows: green onion (82.5%) > radish (37.5%) > red pepper (17.2%) > Chinese vegetable (14.3%) > cucumber (3.2%) > eggplant (2.9%) > tomato (0%). 49.5% vegetables samples showed more than one OP. The average target hazard quotients (ave THQ) were all less than one and the average Hazard Index (ave HI) was 0.462, so that inhabitants who expose average OP levels may not experience adverse health effects.

Key words: organophosphorus pesticides; vegetables; maximum residue limit (MRL); acceptable daily intake (ADI); target hazard quotient (THQ)

有机磷农药因具有药效高、低残留等特点普遍用于防治病虫害. 2010 年, 中国农药使用量为 302 700 t, 其中有机磷杀虫剂占 72%^[1]. 有机磷农药会抑制生物体内乙酰胆碱酯酶 (AChE), 使其发生急性中毒^[2], 但长期暴露于低剂量有机磷对人体造成的危害更难识别^[3]. 研究表明有机磷农药对人体的急性危害症状表现为头痛、恶心和呕吐等负面的生理反应 (adverse physiologic effects), 同时, 有机磷也会增加人类患癌症概率 (increased frequency of cancer), 引起认知能力与神经行为异常

(neurobehavioral and cognitive abnormalities), 导致畸形 (teratogenicity) 与内分泌失调 (endocrine modulation), 有机磷农药还存在免疫毒性 (immunotoxicity)^[4-8].

蔬菜因提供人体所必需营养和维生素是人类重

收稿日期: 2015-03-13; 修订日期: 2015-04-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KSCX2-YW-N-077); 国家自然科学基金项目 (41171392); 吉林省自然科学基金项目 (20140101003JC)

作者简介: 于锐 (1985 ~), 男, 博士研究生, 主要研究方向生物地球化学循环, E-mail: yurui7797373@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wangyangw@neigae.ac.cn

要的食物之一^[9],同时,也是人体主要的有机磷农药暴露途径之一^[2, 10]. Chen 等^[17]证实蔬菜中按照农药推荐剂量使用,不会对人体产生健康风险. 但部分菜农因经验不足或为追求高产而不合理地施用农药导致蔬菜出现农药高残留现象. 目前,世界各地蔬菜中检出有机磷农药的报道较多^[2, 3, 11~13]. 2007 年起,我国已全面禁止高毒有机磷农药甲胺磷、甲基对硫磷和对硫磷在农业上使用. 但已禁止的农药在蔬菜中仍有检出,比如贵阳市^[14]和长春市^[15]. 因此,蔬菜中农药残留情况受到越来越多的关注.

长春是吉林省省会,地处东北松辽平原腹地,总面积 4 906 km²,市区人口为 360 万. 2011 年统计的长春市郊蔬菜种植面积 120 km²,产量达 35 万 t^[16]. 由于冬季寒冷,市民有储存秋季收获的蔬菜的传统. 目前国内外关于市售蔬菜中农药残留有较多报道,对秋季收获的新鲜蔬菜有机磷以及带来的健康风险的研究还不够深入.

本研究通过秋季野外采集长春郊区种植蔬菜样品,采用气相色谱法(GC-FPD)测试 11 种有机磷农药含量,研究目的在于通过计算 EDI、THQ 和 HI 评价市民因食用蔬菜带来的健康风险,以期为保障人体健康提出合理的管理措施提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长春市位于我国东北,是吉林省省会(43°43' N, 125°19' E). 该区域大陆季风性气候明显,冬季寒冷漫长,夏季温和短暂. 多年平均气温为 4.8℃,其中夏季最高温度达 39.5℃,冬季最低温度达 -39.8℃. 年均降水量为 569.6 mm,蒸发量为 1 000 mm. 土壤类型以黑土、暗棕壤和草甸土为主.

1.2 样品采集

2014 年 8 月,在长春郊区筛选出 54 个代表性露天蔬菜地,进行原位采集,共采集蔬菜样 7 种(包括葱、萝卜、辣、白菜、黄瓜、茄子和西红柿)共 214 个(表 1). 采集蔬菜样品的可食用部分,采集量约 0.5 kg,装入密封袋,快速运回实验室,4℃冷藏,冷藏时间与测试的时间间隔不超过 24 h.

1.3 样品分析

将蔬菜样品可食用部分,经缩分后,将其切碎,充分混匀放入食品加工器粉碎,制成待测样. 有机磷农药的提取参考文献[3]的方法. 准确称取 35.0

g 混匀样品,加入 60 mL 分析纯乙腈,15 000 r·min⁻¹ 匀浆 2 min,过滤至 100 mL 具塞量筒,加 10 g 分析纯 NaCl,充分振摇 1 min,静置 30 min,分取乙腈层(上层)10 mL,40℃旋转蒸发仪至近干,用色谱纯丙酮分 3 次转移并定容 2.0 mL,置于 -18℃避光保存,冷藏待测. 每个处理 3 次重复. 由于 FPD 检测器抗干扰能力强,为节约时间和成本,省略净化过程,类似的方法国外有较多报道^[18~20].

岛津 GC-2010 plus,FPD 检测器,滤光片为 P,色谱柱为美国产 RTX-5(30 m,内径 0.25 mm,膜厚 0.25 μm). 进样口(汽化室)温度 250℃,检测器 FPD 温度 280℃;进样量 1 μL,不分流进样;载气 N₂ 流量恒线速度 13.0 cm·s⁻¹;辅助气 H₂ 设 85.0 mL·min⁻¹,空气 110 mL·min⁻¹. 程序升温:初始温度为 120℃,保持 3 min,以 5℃·min⁻¹ 上升到 270℃,保持 10 min;总时间为 43 min. 根据色谱峰的保留时间定性,以外标法定量.

1.4 健康风险评价

1.4.1 有机磷农药日摄入量(EDI)

市民因食用蔬菜摄入的有机磷农药含量计算公式:

$$EDI = c \times C_{on} / B_w$$

式中,EDI 为有机磷农药日摄入量[μg·(kg·d)⁻¹],c 为蔬菜中有机磷农药含量(μg·kg⁻¹),C_{on} 为市民每天蔬菜平均消耗量,约为 274 g·d⁻¹,B_w 为市民平均体重,约为 60 kg^[21].

1.4.2 目标危险系数(THQ)

THQ (target hazard quotient)是以测定的人体摄入剂量与参考剂量的比值为评价标准. 该方法用于单一污染物评价,假设人体摄入剂量等于吸收剂量.

$$THQ = EDI / ADI$$

式中,ADI (acceptable daily intake)为每日允许摄入量[μg·(kg·d)⁻¹],其值参考 GB 2763-2014(食品安全国家标准,食品中农药最大残留限量),具体见表 3. 若 THQ < 1,则无显著健康风险;若 THQ > 1,暴露人群有明显健康风险. THQ 值越大,相应的风险越大.

1.4.3 风险指数(HI)

HI (hazard index)用于评价复合污染的健康风险. 公式如下:

$$HI = \sum_{n=1}^i THQ_n$$

若 HI < 1,表明复合污染无显著健康风险;若 HI > 1,则存在明显健康风险. HI 值越大,相应的风

险越大.

1.5 质量控制

11 种有机磷混合标准溶液购自农业部环境保护科研监测所,标准值为 $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,溶剂为丙酮.方法回收率为 $90\% \sim 105\%$,检出限范围 $1 \sim 6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.有机磷农药含量以蔬菜鲜重为基准.

2 结果与讨论

2.1 长春市郊区蔬菜中有机磷农药残留量

图 1 可见,长春市郊区采集的 3 种类型 7 个品种 214 个蔬菜样品中,有机磷农药检出率为 92.1% ,其中 23.4% 样品有机磷含量超过国家食品限量值(MRL), 68.7% 样品低于 MRL;未检测到有机磷农药的样品仅占 7.9% .不同种类蔬菜超标率的顺序依次为:葱(82.5%) > 萝卜(37.5%) > 辣椒(17.2%) > 白菜(14.3%) > 黄瓜(3.2%) > 茄子(2.9%) > 西红柿(0%).从植物类型看,叶菜类蔬菜(包括葱与白菜)超标率最大为 54.4% ,其次是根茎类(萝卜)为 37.5% ,茄果类蔬菜(包括辣椒、黄瓜、茄子与西红柿)超标率最低为 5.4% .

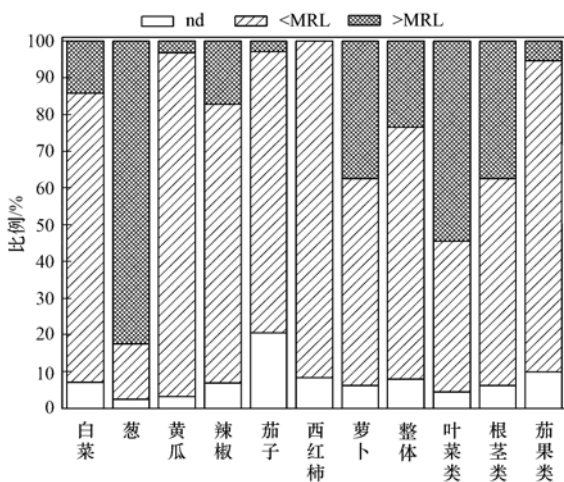


图 1 长春市郊区不同种类蔬菜中有机磷农药复合污染比例

Fig. 1 Percentages of different vegetables contamination by combined OP

叶菜类蔬菜农药超标率高,原因可分析如下:
①叶菜更易受虫害;②叶菜类蔬菜表面积较大,更易沾染喷洒的农药^[2, 13].茄果类蔬菜农药超标率最低,原因:①茄果类蔬菜含水率较高,相比低含水率蔬菜,农药浓度会降低;②蔬菜含水率高,会促进农药降解^[2].根茎类蔬菜中有机磷农药可能由根系从土壤吸收,也可能由沾染农药的叶茎进入根系,对其来源还需进一步研究.

表 1 统计了 11 种有机磷农药在蔬菜中的检出率与超标率.有机磷农药检出率的顺序依次为:二嗪农(82.2%) > 甲拌磷(45.8%) > 乐果(29.4%) > 甲基对硫磷(27.6%) > 氧化乐果(23.8%) > 敌敌畏(22.9%) > 杀螟硫磷(21%) > 倍硫磷(18.7%) > 对硫磷(18.2%) > 甲胺磷(17.3%) > 马拉硫磷(12.1%).可见,二嗪农与甲拌磷是该区域最常用的蔬菜杀虫剂. 49.5% 蔬菜中检测到 1 种以上的有机磷农药.这表明防治蔬菜病虫害时,为降低害虫的耐药性,多种有机磷农药复合或交替喷洒很普遍,也可能与农药本身含多种成分有关^[13, 22, 23].

表 2 可见,11 种有机磷在蔬菜中检出的最大值、最小值与算术平均值.其平均含量依次为:敌敌畏($83.64 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 甲胺磷($81.52 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 二嗪农($50.32 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 对硫磷($15.39 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 氧化乐果($8.44 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 甲拌磷($7.59 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 甲基对硫磷($6.73 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 乐果($6.4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 倍硫磷($6.33 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 杀螟硫磷($3.83 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 马拉硫磷($1.41 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

表 1、2 可见,不同类型蔬菜中检出的农药种类不同.白菜中主要检出的有机磷为二嗪农(85.7%)和甲拌磷(42.9%),平均农药含量残留相对较高的农药是敌敌畏($23.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),其次是二嗪农($23.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),两者超标率均为 3.6% .葱中除马拉硫磷(47.5%)外,其余 10 种有机磷检出率均大于 50% ;平均含量较高的农药为甲胺磷($379.0 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、敌敌畏($345.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、二嗪农($178.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和对硫磷($51.6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),其超标率分别为 50% 、 52.5% 、 5.0% 与 57.5% .这说明葱被普遍喷洒农药用于防治虫害,残留量大,且农药混用情况很普遍.但秋季的葱在长春常用于冬季储存,从农田到餐桌,生产环节多,周期长,因自然降解等因素农药含量可能会降低.根茎类蔬菜萝卜中主要检出的有机磷为二嗪农(81.3%)、乐果(50%)与甲基对硫磷(50%),其平均农药含量残留相对较高的农药是甲胺磷($34.5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和二嗪农($57.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).茄果类蔬菜检出率最高的农药也是二嗪农,范围为 $52.9\% \sim 91.7\%$.辣椒与茄子中的甲拌磷检出率也较高,分别为 62.1% 和 50.0% .黄瓜中平均含量较高的为甲胺磷($44.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和敌敌畏($40.5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),其超标率均为 3.2% ;辣椒中平均含量较高的为敌敌畏($58.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和二嗪农($55.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),其超标率分别为 3.4% 和 6.9% .茄子与西红柿中有机磷农药检出率与超标率均很

低,这可能是茄子和西红柿农药使用量小,也可能是已更换其他类型农药. 总体看,茄果类蔬菜农药相对于叶菜类检出率高,但超标率却低于叶菜类,这说明茄果类蔬菜有机磷农药使用量相对于叶菜类小,但增加了农药种类,也就是说明茄果类蔬菜农药混用情况较普遍.

与南京地区^[12]及一些发展中国家(如委内瑞拉^[20]、加纳^[3]、泰国^[2]和埃及^[24])的蔬菜有机磷含量相比,本地区蔬菜中甲拌磷、乐果和甲基对硫磷平均含量更低. 但检出率普遍高于上述地区. 这表明有机磷农药在长春被普遍用于防治蔬菜害虫,但使用量小于上述地区.

中国全面禁止高毒有机磷农药甲胺磷、甲基对硫磷和对硫磷在农业上使用的时间起于 2007 年. 但禁止农药有检出,比如葱中甲胺磷($379.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、甲基对硫磷($25.6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和对硫磷($51.6\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)超标率分别为 50.0%、40.0% 和 57.5%. 因此,为降低蔬菜中农药残留量,建议:①加强农药的生产、销售与管理,严禁生产、购买和使用甲胺磷、甲基对硫磷和对硫磷等已禁高毒农药;②提高菜农安全使用农药意识,严格遵守农药使用范围与条件;③加强市售蔬菜的常规监测工作;④注重研发高效、低毒和低残留农药以及生物农药等.

表 1 长春市郊蔬菜中单一有机磷农药检出率与超标率统计

Table 1 Percentages of different vegetables contamination by individual OP										
农药	MRL/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	叶菜类(68)				根茎类(16)				
		白菜(28)		葱(40)		萝卜(16)				
		D. R/%	> MRL/%	D. R/%	> MRL/%	D. R/%	> MRL/%			
甲胺磷	50 ^{abdef} ,100 ^g	10.7	3.6	50.0	50.0	37.5	12.5			
敌敌畏	500 ^{ag} ,200 ^{bdef}	17.9	3.6	87.5	52.5	18.8	0			
氧化乐果	20 ^{abdefg}	10.7	7.1	77.5	45.0	43.8	12.5			
甲拌磷	10 ^{abdefg}	42.9	10.7	87.5	65.0	43.8	18.8			
乐果	1000 ^a ,200 ^b ,500 ^{defg}	14.3	0	87.5	0	50.0	0			
二嗪农	200 ^a ,50 ^d ,100 ^{cg} ,500 ^f ,1000 ^b	85.7	3.6	90.0	5.0	81.3	12.5			
甲基对硫磷	20 ^{abdefg}	21.4	0	82.5	40.0	50.0	18.8			
杀螟硫磷	500 ^{abdefg}	7.1	0	77.5	0	25.0	0			
马拉硫磷	8000 ^a ,5000 ^b ,200 ^c ,500 ^{defg}	3.6	0	47.5	0	12.5	0			
倍硫磷	50 ^{abdefg}	7.1	0	65.0	5.0	31.3	12.5			
对硫磷	10 ^{abdefg}	14.3	7.1	65.0	57.5	12.5	6.3			
茄果类(130)										
农药	MRL/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	黄瓜(31)		辣椒(29)		茄子(34)		西红柿(36)		合计(214)
		D. R/%	> MRL/%	D. R/%	> MRL/%	D. R/%	> MRL/%	D. R/%	> MRL/%	
甲胺磷	50 ^{abdef} ,100 ^g	9.7	3.2	13.8	3.4	2.9	0	0	0	17.3
敌敌畏	500 ^{ag} ,200 ^{bdef}	3.2	3.2	13.8	3.4	2.9	0	0	0	22.9
氧化乐果	20 ^{abdefg}	6.5	3.2	20.7	6.9	5.9	0	0	0	23.8
甲拌磷	10 ^{abdefg}	29.0	3.2	62.1	10.3	50.0	0	0	0	45.8
乐果	1000 ^a ,200 ^b ,500 ^{defg}	19.4	—	24.1	0	8.8	0	0	0	29.4
二嗪农	200 ^a ,50 ^d ,100 ^{cg} ,500 ^f ,1000 ^b	90.3	0	82.8	6.9	52.9	—	91.7	0	82.2
甲基对硫磷	20 ^{abdefg}	6.5	3.2	24.1	3.4	2.9	0	5.6	0	27.6
杀螟硫磷	500 ^{abdefg}	3.2	0	20.7	0	2.9	0	0	0	21.0
马拉硫磷	8000 ^a ,5000 ^b ,200 ^c ,500 ^{defg}	3.2	0	6.9	0	0	0	2.8	0	12.1
倍硫磷	50 ^{abdefg}	3.2	0	13.8	6.9	2.9	0	2.8	0	18.7
对硫磷	10 ^{abdefg}	3.2	3.2	17.2	17.2	2.9	2.9	0	0	18.2

1) MRL (maximum residue limit): 最大残留限量,参考 GB 2763-2014(食品安全国家标准,食品中农药最大残留限量); a、b、c、d、e、f、g 分别对应白菜、葱、黄瓜、辣椒、茄子、西红柿与萝卜; “—”表示无相应的限量值; D. R/%: detection rate, 检出率; 括号中数字为蔬菜样品数量

2.2 有机磷农药日摄入量(EDI)

表 3 为长春市民食用蔬菜有机磷农药日摄入量. 根据文献[21]报道,成年市民每天平均消耗蔬菜量约为 $274\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,由此计算得出,max EDI 值甲胺磷最大,为 $17.845\text{ }\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$,敌敌畏次之,为 $7.193\text{ }\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$,二嗪农再次之,为 6.616

$\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$. max EDI 值按顺序依次为:甲胺磷 > 敌敌畏 > 二嗪农 > 杀螟硫磷 > 对硫磷 > 氧化乐果 > 倍硫磷 > 乐果 > 甲基对硫磷 > 甲拌磷 > 马拉硫磷. 其中,甲胺磷、氧化乐果、敌敌畏与二嗪农分别高出相应的 ADI 值 4.5、4.4、1.8 和 1.3 倍.

表 3 可见,敌敌畏 ave EDI 最大,为 0.382

表 2 长春市郊新鲜蔬菜有机磷农药统计 (n = 214) / μg · kg⁻¹

Table 2 OP concentrations in fresh vegetables collected from Changchun (n = 214) / μg · kg⁻¹

植物类型 蔬菜品种	叶菜类 (68)						茄果类 (130)					
	白菜 (28)			葱 (40)			黄瓜 (31)			辣椒 (29)		
农药	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
甲胺磷	3.1	126.9	4.8	51.8	3 907.6	379.0	0.3	1 345.8	44.9	4.1	159.8	6.9
敌敌畏	7.8	578.3	23.9	2.0	1 575.1	345.8	1 256.6	1 256.6	40.5	6.0	1 396.5	58.3
氧化乐果	4.9	37.2	2.4	1.5	120.1	25.5	0.4	286.6	9.3	1.4	159.1	7.4
甲拌磷	0.6	39.4	3.6	1.0	93.5	26.0	0.8	41.9	2.0	0.4	121.8	7.8
乐果	0.6	16.8	0.8	0.6	89.8	15.5	0.3	84.8	5.2	0.3	169.7	11.7
二嗪农	0.6	487.3	23.3	0.6	1 448.7	178.9	0.3	54.3	4.6	0.8	1 197.7	55.2
甲基对硫磷	0.5	9.7	1.1	0.8	138.2	25.6	9.2	29.2	1.2	0.5	90.9	4.1
杀螟硫磷	2.7	10.2	0.5	0.6	35.0	6.0	22.6	22.6	0.7	1.6	421.5	17.0
马拉硫磷	6.6	6.6	0.2	0.6	25.1	4.1	69.6	69.6	2.2	10.1	39.8	1.7
倍硫磷	0.9	31.0	1.1	1.1	219.4	17.6	24.5	24.5	0.8	4.2	251.4	13.0
对硫磷	0.5	148.6	6.5	3.5	187.8	51.6	21.9	21.9	0.7	22.9	324.3	30.4
植物类型	茄果类 (130)						根茎类 (16)			合计 (214)		
蔬菜品种	茄子 (34)			西红柿 (36)			萝卜 (16)					
农药	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
甲胺磷	10.7	10.7	0.3	nd	nd	nd	6.1	231.6	34.5	0.3	3 907.6	81.5
敌敌畏	11.7	11.7	0.3	nd	nd	nd	46.7	266.9	27.3	2.0	1 575.1	83.6
氧化乐果	0.5	1.9	0.1	nd	nd	nd	1.6	146.7	13.5	0.4	286.6	8.4
甲拌磷	0.3	5.0	1.3	nd	nd	nd	0.5	108.6	9.4	0.3	121.8	7.6
乐果	2.3	7.8	0.4	nd	nd	nd	4.1	108.0	13.2	0.3	169.7	6.4
二嗪农	0.3	75.9	4.3	0.3	29.5	4.2	0.7	623.9	57.3	0.3	1 448.7	50.3
甲基对硫磷	0.5	0.5	0	2.7	3.6	0.2	1.0	119.5	13.8	0.5	138.2	6.7
杀螟硫磷	0.6	0.6	0	nd	nd	nd	1.2	19.6	3.0	0.6	421.5	3.8
马拉硫磷	nd	nd	nd	0.4	0.4	0	3.6	6.9	0.7	0.4	69.6	1.4
倍硫磷	0.6	0.6	0	0.7	0.7	0	1.1	124.4	13.4	0.6	251.4	6.3
对硫磷	119.0	119.0	3.5	nd	nd	nd	1.6	21.6	1.4	0.5	324.3	15.4

1) 有机磷农药以鲜重计; nd: 未检出; min: 最小值; max: 最大值; mean: 算术平均值, 其中, 计算平均值时, 低于 LOD 值按零计算; 括号中数字为蔬菜样品数量

μg · (kg · d)⁻¹, 甲胺磷次之, 为 0.372 μg · (kg · d)⁻¹, 二嗪农再次之, 为 0.230 μg · (kg · d)⁻¹. 总体上, ave EDI 值按顺序依次为: 敌敌畏 > 甲胺磷 > 二嗪农 > 对硫磷 > 氧化乐果 > 甲拌磷 > 甲基对硫磷 > 倍硫磷 ≈ 乐果 > 杀螟硫磷 > 马拉硫磷. 所测 11 种有机磷的 ave EDI 均低于相应的 ADI 值.

2.3 食用蔬菜引起的健康风险评价

表 3 可见, max THQ 值按顺序依次为: 甲胺磷 > 氧化乐果 > 敌敌畏 > 二嗪农 > 甲拌磷 > 乐果 > 对硫磷 > 杀螟硫磷 > 甲基对硫磷 > 倍硫磷 > 马拉硫磷. 其中, 甲胺磷、氧化乐果、敌敌畏和二嗪农 max THQ 大于 1. 从复合污染看, 由蔬菜最大有机磷农药含量计算 HI 值为 14.194. 其中, 甲胺磷、氧化乐果、敌敌畏和二嗪农贡献率分别为 31.4%、30.7%、12.7% 和 9.3%. 这表明从蔬菜最大有机磷农药含量看, 甲胺磷、氧化乐果、敌敌畏和二嗪农等农药对人体健康危害大.

表 3 可见, ave THQ 值按顺序依次为: 氧化乐果

> 敌敌畏 > 甲胺磷 > 甲拌磷 > 二嗪农 > 对硫磷 > 乐果 > 甲基对硫磷 > 倍硫磷 > 杀螟硫磷 > 马拉硫磷. 其中, 氧化乐果、敌敌畏、甲胺磷与甲拌磷的贡献率分别为 27.8%、20.7%、20.1% 与 10.7%. 11 种有机磷 ave THQ 均小于 1, 这表明从单一有机磷农药平均含量看, 因食用蔬菜, 市民无显著健康风险. 从复合污染来看, 由蔬菜平均有机磷农药含量计算 HI 值为 0.462, 也小于 1. 这表明从蔬菜平均有机磷农药含量看, 无论是单一污染, 还是复合污染, 均不会对市民造成明显的健康风险.

本研究中并未考虑特殊群体, 如儿童等, 有研究表明有机磷农药对学龄儿童 (school-age children) 的神经系统发育有致命性的危害, 会严重影响儿童智力^[25]. 同时, 时间所限, 本研究并未考虑采集季节对农药含量的影响. Bhanti 等^[26] 对印度北部蔬菜研究发现冬季蔬菜有机磷含量比夏季和雨季时高. 另外, 蔬菜从采摘、运输到餐桌, 时间长, 在洗涤、烹饪等制作过程会影响农药含量. 因此, 对蔬菜农药

表 3 市民食用蔬菜有机磷农药摄入量与相关的健康风险评价¹⁾

Table 3 Estimated daily intake and potential health risk of OP through vegetable consumption							
农药	ADI / $\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	ave EDI / $\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	ave THQ	HI	max EDI / $\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	max THQ	HI
甲胺磷	4	0.372	0.093	0.462	17.845	4.461	14.194
敌敌畏	4	0.382	0.095		7.193	1.798	
氧化乐果	0.3	0.039	0.128		1.309	4.362	
甲拌磷	0.7	0.035	0.049		0.556	0.795	
乐果	2	0.029	0.015		0.775	0.388	
二嗪农	5	0.230	0.046		6.616	1.323	
甲基对硫磷	3	0.031	0.010		0.631	0.210	
杀螟硫磷	6	0.017	0.003		1.925	0.321	
马拉硫磷	300	0.006	0.000		0.318	0.001	
倍硫磷	7	0.029	0.004		1.148	0.164	
对硫磷	4	0.070	0.018		1.481	0.370	

1) ADI (acceptable daily intake) 每日允许摄入量; ave EDI (estimated average daily intake) 有机磷农药平均日摄入量; ave THQ (average target hazard quotients) 目标平均危险系数; max EDI (estimated maximum daily intake) 有机磷农药最大每日摄入量; max THQ (maximum target hazard quotients) 目标最大危险系数

含量以及带来的健康风险还需进一步研究。

3 结论

(1) 叶菜类蔬菜有机磷农药超标率最高, 根茎类次之, 茄果类蔬菜超标率最低。

(2) 从测定的蔬菜中有机磷农药平均浓度看, 目前蔬菜中的有机磷农药不会对市民造成明显的健康风险, 但仍有高毒农药检出, 应加强管理。

参考文献:

[1] Li H Z, Mehler W T, Lydy M J, *et al.* Occurrence and distribution of sediment-associated insecticides in urban waterways in the Pearl River Delta, China [J]. *Chemosphere*, 2011, **82**(10): 1373-1379.

[2] Sapbamrer R, Hongsihsong S. Organophosphorus pesticide residues in vegetables from farms, markets, and a supermarket around Kwan Phayao Lake of Northern Thailand [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2014, **67**(1): 60-67.

[3] Godfred D, Osei A. Dietary intake of organophosphorus pesticide residues through vegetables from Kumasi, Ghana [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, **46**(12): 3703-3706.

[4] Alavanja M C R, Hoppin J A, Kamel F. Health effects of chronic pesticide exposure: Cancer and neurotoxicity [J]. *Annual Review of Public Health*, 2004, **25**: 155-197.

[5] Bouchard M F, Chevrier J, Harley K G, *et al.* Prenatal exposure to organophosphate pesticides and IQ in 7-Year-Old children [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2011, **119**(8): 1189-1195.

[6] Engel S M, Wetmur J, Chen J, *et al.* Prenatal exposure to organophosphates, paraoxonase 1, and cognitive development in childhood [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2011, **119**(8): 1182-1188.

[7] Handal A J, Lozoff B, Breilh J, *et al.* Effect of community of residence on neurobehavioral development in infants and young

children in a flower-growing region of Ecuador [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2007, **115**(1): 128-133.

[8] Jurewicz J, Hanke W. Prenatal and childhood exposure to pesticides and neurobehavioral development: Review of epidemiological studies [J]. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2008, **21**(2): 121-132.

[9] Swarnam T P, Velmurugan A. Pesticide residues in vegetable samples from the Andaman Islands, India [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185**(7): 6119-6127.

[10] Muñoz-Quezada M T, Iglesias V, Lucero B, *et al.* Predictors of exposure to organophosphate pesticides in schoolchildren in the Province of Talca, Chile [J]. *Environment International*, 2012, **47**: 28-36.

[11] Bai Y H, Zhou L, Wang J. Organophosphorus pesticide residues in market foods in Shaanxi area, China [J]. *Food Chemistry*, 2006, **98**(2): 240-242.

[12] Wang L G, Liang Y C, Jiang X. Analysis of eight organophosphorus pesticide residues in fresh vegetables retailed in agricultural product markets of Nanjing, China [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, **81**(4): 377-382.

[13] Li W H, Tai L Y, Liu J X, *et al.* Monitoring of pesticide residues levels in fresh vegetable from Heilbei Province, North China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, **186**(10): 6341-6349.

[14] 李俊, 张崇玉, 赵为武. 贵阳市蔬菜农药残留现状初步分析 [J]. *山地农业生物学报*, 2010, **29**(2): 181-184.

[15] 孙胜龙, 李雪飞, 刘歆瑜. 长春市主要蔬菜中农药残留分析 [J]. *生态环境*, 2005, **14**(2): 214-217.

[16] 吉林省统计局. 2011 年吉林统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.

[17] Chen C, Qian Y Z, Liu X J, *et al.* Risk assessment of chlorpyrifos on rice and cabbage in China [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2012, **62**(1): 125-130.

- [18] Torres C M, Picó Y, Mañes J. Determination of pesticide residues in fruit and vegetables[J]. *Journal of Chromatography A*, 1996, **754**(1-2): 301-331.
- [19] Gobo A B, Kurz M H S, Pizzutti I R, *et al.* Development and validation of methodology for the determination of residues of organophosphorus pesticides in tomatoes [J]. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2004, **15**(6): 945-950.
- [20] Quintero A, Caselles M J, Ettiene G, *et al.* Monitoring of organophosphorus pesticide residues in vegetables of agricultural area in Venezuela[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, **81**(4): 393-396.
- [21] Zhuang P, McBride M B, Xia H P, *et al.* Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China [J]. *Science of the Total Environment*, 2009, **407**(5): 1551-1561.
- [22] Knežević Z, Serdar M. Screening of fresh fruit and vegetables for pesticide residues on Croatian market[J]. *Food Control*, 2009, **20**(4): 419-422.
- [23] Chowdhury M A Z, Fakhruddin A N M, Islam M N, *et al.* Detection of the residues of nineteen pesticides in fresh vegetable samples using gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Control*, 2013, **34**(2): 457-465.
- [24] Dogheim S M, El-Marsafy A M, Salama E Y, *et al.* Monitoring of pesticide residues in Egyptian fruits and vegetables during 1997[J]. *Food Additives and Contaminants*, 2002, **19**(11): 1015-1027.
- [25] Eskenazi B, Kogut K, Huen K, *et al.* Organophosphate pesticide exposure, PON1, and neurodevelopment in school-age children from the CHAMACOS study [J]. *Environmental Research*, 2014, **134**: 149-157.
- [26] Bhanti M, Taneja A. Contamination of vegetables of different seasons with organophosphorous pesticides and related health risk assessment in northern India[J]. *Chemosphere*, 2007, **69**(1): 63-68.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} Concentration over the Yangtze Delta Using Remote Sensing: Analysis of Spatial and Temporal Variations	XU Jian-hui, JIANG Hong (3119)
Seasonal and Spatial Variations of Carbon Fractions in PM _{2.5} in Ningbo and the Estimation of Secondary Organic Carbon	DU Bo-han, HUANG Xiao-feng, HE Ling-yan, <i>et al.</i> (3128)
Concentrations of Acidic Gases, Ammonia and Related Water-Soluble Ions in PM _{2.5} and Gas-Particle Partitioning in Qingdao	ZHOU Jia-jia, SHI Jin-hui, LI Li-ping, <i>et al.</i> (3135)
Concentration and Particle Size Distribution of Microbiological Aerosol During Haze Days in Beijing	HU Ling-fei, ZHANG Ke, WANG Hong-bao, <i>et al.</i> (3144)
Air Quality Characteristics in Beijing During Spring Festival in 2015	CHENG Nian-liang, CHEN Tian, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (3150)
Chemical Loss of Volatile Organic Compounds and Its Impact on the Formation of Ozone in Shanghai	WANG Hong-li (3159)
Removal of Waste Gas Containing Mixed Chlorinated Hydrocarbons by the Biotrickling Filter	CHEN Dong-zhi, MIAO Xiao-ping, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3168)
A Three Band Chlorophyll-a Concentration Estimation Model Based on GOCI Imagery	GUO Yu-long, LI Yun-mei, LI Yuan, <i>et al.</i> (3175)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Dissolved Organic Matter and Influencing Factors in Lake Chaohu	YE Lin-lin, WU Xiao-dong, LIU Bo, <i>et al.</i> (3186)
Spectral Characteristic of Dissolved Organic Matter in Xiaohe River, Hebei	YU Min-da, ZHANG Hui, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (3194)
Spatial Variation of Ammonia-N, Nitrate-N and Nitrite-N in Groundwater of Dongshan Island	WU Hai-yan, FU Shi-feng, CAI Xiao-qiong, <i>et al.</i> (3203)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Alkanes, Dissolved Fatty Acids in a Karst Underground River Water, in Chongqing Area	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (3212)
Influence of Sulfuric Acid to Karst Hydrochemical and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in the Upper and Middle Reaches of the Wujiang River	HUANG Qi-bo, QIN Xiao-qun, LIU Peng-yu, <i>et al.</i> (3220)
Hydrochemical Characteristic and Reasoning Analysis in Siyi Town, Langzhong City	ZHANG Yan, WU Yong, YANG Jun, <i>et al.</i> (3230)
Seasonal Variation on Nutrient Limitation for Phytoplankton Growth in a Coastal River-Reservoir System, Southeast China	CHEN Cong-cong, RAO La, HUANG Jin-liang, <i>et al.</i> (3238)
Physiological Effect of <i>Vallisneria natans</i> Under Different Concentrations of Nitrogen, Phosphorus and Chloramphenicol	HU Zhen-zhen, CUI Yi-bin, LI Mei, <i>et al.</i> (3248)
Effects of Algicidal Substance on <i>Phaeocystis globosa</i> and Its Fatty Acids by the Simulation Experiment	YANG Qiu-chan, ZHAO Ling, YIN Ping-he, <i>et al.</i> (3255)
Agricultural Non-Point Source Pollutants Removal by Enhanced Riverbank Interception Facilities Under Different Operating Conditions	LI Huai-zheng, CHEN Ke-li, WEI Zhong, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Material Roof Dusts	LI Dun-zhu, GUAN Yun-tao, LIU An, <i>et al.</i> (3269)
Formation of Disinfection By-Products During Chlor(am)ination of Danjiangkou Reservoir Water and Comparison of Disinfection Processes	ZHANG Min-sheng, XU Bin, ZHANG Tian-yang, <i>et al.</i> (3278)
Effects of Interaction of Ozonation and Coagulation on Coagulation Results	LIU Hai-long, GUO Xue-feng, WANG Min-hui, <i>et al.</i> (3285)
Effects of Anions on Bromate Formation During Ozonation of Bromide-Containing Water	WU Yue, WU Chun-de, LIU Li-gang, <i>et al.</i> (3292)
XAS Analysis upon Dissolved Species of Orpiment in Anoxic Environment	WANG Ying, XU Li-ying, WANG Shao-feng, <i>et al.</i> (3298)
AOX Pollution in Wastewater Treatment Process of Dyeing and Dyestuff Chemical Industries	SHEN Yang-yang, LIU Rui, XU Can-can, <i>et al.</i> (3304)
Fate of ARB and ARGs During Wastewater Treatment Process of Spiramycin Production	QIN Cai-xia, TONG Juan, SHEN Pei-hong, <i>et al.</i> (3311)
A Comparative Study on Two Membrane Bioreactors for the Treatment of Digested Piggery Wastewater	SHUI Yong, Kawagishi Tomoki, SONG Xiao-yan, <i>et al.</i> (3319)
Analysis of Microbial Community in the Membrane Bio-Reactor (MBR) Rural Sewage Treatment System	KONG Xiao, CUI Bing-jian, JIN De-cai, <i>et al.</i> (3329)
Start-up Characteristics of Four-zone Integrated Reactor for Nitrogen Removal in Winter and Analysis of Nitrobacteria Community	ZHANG Yan, SUN Feng-xia, XIE Hang-ji, <i>et al.</i> (3339)
Achievement of Sulfate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation Reactor Started with Nitrate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation	LIU Zheng-chuan, YUAN Lin-jiang, ZHOU Guo-biao, <i>et al.</i> (3345)
Effect of Increasing Organic Loading Rate on the Formation and Stabilization Process of Aerobic Granular Sludge	LIU Xiao-peng, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (3352)
Nitrogen Loss Through Different Ways in Cropland Under Conventional Fertilization: An <i>In-situ</i> Study of Summer Maize Season in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River	SANG Meng-meng, FAN Hui, JIANG Shan-shan, <i>et al.</i> (3358)
Effects of Water and Nitrogenous Fertilizer Coupling on CH ₄ and N ₂ O Emission from Double-Season Rice Paddy Field	FU Zhi-qiang, LONG Pan, LIU Yi-yi, <i>et al.</i> (3365)
Characteristics of N ₂ , N ₂ O, NO, CO ₂ and CH ₄ Emissions in Anaerobic Condition from Sandy Loam Paddy Soil	CAO Na, WANG Rui, LIAO Ting-ting, <i>et al.</i> (3373)
Characteristics of Soil Respiration along Eroded Sloping Land with Different SOC Background on the Hilly Loess Plateau	CHEN Gai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (3383)
Effect of Biochar on Soil Greenhouse Gas Emissions in Semi-arid Region	GUO Yan-liang, WANG Dan-dan, ZHENG Ji-yong, <i>et al.</i> (3393)
Characteristics and Coupling Relationship of Soil Carbon and Nitrogen Transformation During <i>In-situ</i> Mineralization Cultivation in Forestlands in the Mountain Area of Southern Ningxia	NI Yin-xia, HUANG Yi-mei, NIU Dan, <i>et al.</i> (3401)
Nitrogen Fraction Distributions and Impacts on Soil Nitrogen Mineralization in Different Vegetation Restorations of Karst Rocky Desertification	HU Ning, MA Zhi-min, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (3411)
Distribution and Dynamics of Cropland Soil Organic Carbon in Jiangnan Plain: A Case Study of Qianjiang City	WANG Yu-zhu, XIAO He-ai, ZHOU Ping, <i>et al.</i> (3422)
Impact of Land Utilization Pattern on Distributing Characters of Labile Organic Carbon in Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Rui, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (3429)
Magnetic Responses of Heavy Metals in Street Dust of Typical Mine-Based City, Northwest China	NIE Yan, WANG Xin, WANG Bo, <i>et al.</i> (3438)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in Environmental Samples Around Electroplating Factories and the Health Risk Assessment	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, ZHOU Qiao-li, <i>et al.</i> (3447)
Homologues Levels and Distribution Pattern of Polychlorinated Biphenyls in Typical Capacitor Contaminated Soil	LIU Jie, LI Xiao-dong, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (3457)
Adsorption and Desorption Characteristics of Endosulfan in Purple Soil	ZHAO Yan, ZHENG Guo-can, ZHU Heng, <i>et al.</i> (3464)
Influence of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. Growth on the Microbial Community and Petroleum Hydrocarbon Degradation in Petroleum Contaminated Saline-alkali Soil	JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, WU Shang-hua, <i>et al.</i> (3471)
Al ³⁺ Absorption and Assimilation by Four Ectomycorrhizal Fungi	WANG Ming-xia, YUAN Ling, HUANG Jian-guo, <i>et al.</i> (3479)
Contamination of Organophosphorus Pesticides Residue in Fresh Vegetables and Related Health Risk Assessment in Changchun, China	YU Rui, LIU Jing-shuang, WANG Qi-cun, <i>et al.</i> (3486)
Community Structure and Succession of Methanogens in Beishenshu Landfill, Beijing	SONG Li-na, WANG Lei, XIA Meng-jing, <i>et al.</i> (3493)
Fertility and Environmental Impacts of Urban Scattered Human Feces Used as Organic Granular Fertilizer for Leaf Vegetables	LÜ Wen-zhou, QIAO Yu-xiang, YU Ning, <i>et al.</i> (3501)
Degradation of PCDD/Fs by the Mixture of V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ Catalyst and Activated Carbon	REN Yong, JI Sha-sha, YU Ming-feng, <i>et al.</i> (3508)
Energy Conservation and Emissions Reduction Benefits Analysis for Battery Electric Buses Based on Travel Services	LIN Xiao-dan, TIAN Liang, LÜ Bin, <i>et al.</i> (3515)
Definition and Control Indicators of Volatile Organic Compounds in China	JIANG Mei, ZOU Lan, LI Xiao-qian, <i>et al.</i> (3522)
Influence of Dissimilatory Iron Reduction on the Speciation and Bioavailability of Heavy Metals in Soil	SI You-bin, WANG Juan (3533)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年9月15日 第36卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 9 Sep. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行