

何艳, 冯佳胤, 徐建明. 我国农田有机和生物污染研究工作展望: 基于“农田有毒有害化学/生物污染与防控机制研究”国家重点研发计划项目工作的思考[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2371-2374.

HE Yan, FENG Jia-yin, XU Jian-ming. Prospects for research on farmland organic and biological pollution in China: Considerations from current progress on "Pollution prevention and control of farmland soil polluted by organic and biological contaminants" of the National Key Research and Development Program of China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(11): 2371-2374.

## 我国农田有机和生物污染研究工作展望： 基于“农田有毒有害化学/生物污染与防控机制研究” 国家重点研发计划项目工作的思考

何艳<sup>1,2</sup>, 冯佳胤<sup>1,2</sup>, 徐建明<sup>1,2</sup>

(1. 浙江大学土水资源与环境研究所, 杭州 310058; 2. 浙江省农业资源与环境重点实验室, 杭州 310058)

**摘要:** 农田生态健康问题关乎国计民生, 开展农田污染的驱动机制及防控修复研究, 获得针对中国农田的第一手资料, 是保障国家农产品安全与人体健康的重大需求。本文将基于国家重点研发计划项目“农田有毒有害化学/生物污染与防控机制研究”的工作进展, 谈一些后续研究中需要重点关注的研究工作思考, 以为我国十四五期间的重点科技规划提供科学支撑。

**关键词:** 农田土壤; 有机污染; 生物污染; 污染防控

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2018)11-2371-04 doi:10.11654/jaes.2018-0893

### Prospects for research on farmland organic and biological pollution in China: Considerations from current progress on "Pollution prevention and control of farmland soil polluted by organic and biological contaminants" of the National Key Research and Development Program of China

HE Yan<sup>1,2</sup>, FENG Jia-yin<sup>1,2</sup>, XU Jian-ming<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Resources and Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** Research on the mechanisms driving farmland pollution, and its prevention, is vital to guarantee the safety of national agricultural products and human health. To provide support for key scientific and technological planning during China's 14th Five-Year Plan period, this study discussed the follow-up work that needs urgent focus, based on the current progress on research regarding pollution prevention and control of farmland soil polluted by organic and biological contaminants.

**Keywords:** farmland soil; organic pollution; biological pollution; pollution prevention and control

农田系统是保障国家粮食安全和农产品供应的重要基石, 提高农田系统持续生产力、满足人类生产生活需要是国家经济发展的重大需求。近年来, 随着农业化学品的大量投入, 农药、酰胺酯、激素、抗生素及抗性基因、病原微生物等外源有机和生物污染物在

农田系统中不断累积, 造成了一系列的资源环境问题。由于我国农田系统中这两大类污染物种类繁多, 污染特征不明, 污染过程与机制不祥, 相关行业、地方和国家标准缺失, 开展研究难度很大, 导致现阶段对我国不同农田系统实际遭受有机和生物污染的状况

收稿日期: 2018-07-10 录用日期: 2018-07-31

作者简介: 何艳(1979—), 女, 四川自贡人, 教授, 从事土壤污染控制与修复、环境污染多界面行为与调控、土壤环境微生物生态与生物化学研究。

E-mail: yhe2006@zju.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0800200)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2016YFD0800200)

一直不明晰,迫切需要开展全国区域尺度系统性的调研,获得针对中国农田的第一手资料,以保障国家农产品生产安全与品质,维护农田生态系统平衡健康。

在农田污染与防治领域,十三五的国家重点研发计划专项针对有机和生物污染做了前沿探索性的任务部署。目前,已启动的“农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发”重点专项中,两个项目涉及有机和生物污染。其一为“农田有毒有害化学/生物污染与防控机制研究”,于2016年第一批启动,性质为第一层次的基础研究;其二为“农田有毒有害化学/生物污染防控技术与产品研发”,于2017年第二批启动,性质为第二层次关键共性技术攻关研究。本文将基于第一批项目启动以来的研究工作成效,谈一些后续研究中需要重点关注的研究工作思考,以为我国十四五期间的重点科技规划提供科学支撑。

## 1 项目实施成效

自项目启动以来,我们以阻控污染和重建健康土壤为核心,以解析高强度利用和人为干预下农田有机和生物污染的形成过程和影响因素为突破口,突出了从农田污染的源头甄别、过程解析、定向阻控与强化修复的全链条追踪的思路,以我国东北、黄淮海、长江中下游、南方四大农业主产区稻、麦、玉米、大豆、蔬菜五种种植制度下黑土、潮土、水稻土、红壤等典型农田系统为主要研究对象,从源头削减效应、过程控制与效应、区域调控与措施三个层次逐级推进,围绕农田有毒有害化学/生物污染特征与源解析,农田污染演变规律及其主控因素,污染物的农田系统影响途径、效应与机制,农业主产区有毒有害化学/生物污染农田自净功能重建原理、关键途径和技术对策四大任务有序推进了研究工作。目前,阶段性研究已初显成效,特别在针对残留标记化合物自主合成、新型污染物检测标准方法的开发与建立等方面取得了突破性进展。

### 1.1 自主建立了有机污染物的同位素标记合成方法,开发了典型生物污染物的分析检测技术

高比活度放射性同位素标记化合物匮乏是我国农田有机污染防控机制研究中的关键技术制约。项目实施攻克了高比活度同位素标记农药合成中的技术瓶颈,于国际上首次建立了安全高效的放射性标记毒死蜱非氯气取代微量合成方法,在国内首次自主合成了高比活度 $^{14}\text{C}$ -毒死蜱;同时,优化了 $^{14}\text{C}$ -磺胺嘧啶微量合成方法,使高比活度 $^{14}\text{C}$ -磺胺嘧啶的总产率

比现有合成方法提高了13%<sup>[1]</sup>。这为从质量平衡角度溯源追踪有机污染物在环境介质中的迁移转化、残留代谢,尤其是结合残留定量表征和削减等相关研究奠定了基础,为解决我国农业生产长期受制于残效农药影响的重大产业问题提供了必要物质保障。

制定了有机肥料中土霉素、四环素、金霉素、强力霉素四种抗生素的含量测定国家标准(GB/T 32951—2016),该标准已于2017年3月1日正式实施;开发了土壤中酞酸酯的测定方法,已申请国家标准,目前处在提交国家标准化管理委员会报批阶段<sup>[2]</sup>。

构建的基于高通量基因芯片技术的抗性基因同步检测与粪便污染溯源方法,可同步检测200种以上抗性基因,并可区分抗性基因的人、猪、牛、鸡、鸭等9种粪便污染源,达到国际先进水平,相关成果发表于Nature系列新子刊(*Nature Microbiology*)上,并获得国家授权发明专利<sup>[3-4]</sup>。

完善了土壤病原菌的检测方法,构建了基于毒力基因检测大肠杆菌、沙门氏菌的特异性专用引物探针和反应条件,建立了同步测定土壤中人畜共患病原菌的qPCR方法体系<sup>[5]</sup>;发展了利用PMA-qPCR检测大肠杆菌O157:H7等活菌数的方法,此方法与qPCR、平板计数法联合使用可测定胞外DNA(死菌)数量、活的非可培养(VBNC)态数量,实现了对土壤中不可培养状态的病原菌活菌的表征。

### 1.2 开展了代表性农业主产区典型有机与生物污染物的农田污染特征调研

针对我国典型农业主产区的污染特征、主要土壤及农作物类型等,在东北黑土区、黄淮海潮土区、南方长江中下游和珠三角地区的水稻、设施蔬菜、小麦、玉米等农作物区域共36个县区、百余个体点完成了采样点布设、样品采集和污染物提取测定工作。已有的调研结果显示:旱地和稻田土壤中有有机氯农药DDTs、六六六、含氯的有机磷农药毒死蜱以及吡虫啉等农药同时存在较高的检出率,其中,有机氯农药的残留稻田普遍低于旱地;阿特拉津等除草剂类农药在东北地区有残留检出,可能与近年来东北地区在玉米转大豆的种植结构调整中突显的生产问题有关;酞酸酯在设施农田土壤中普遍检出,蔬菜中100%检出,浓度达到 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 级;抗生素中四环素类普遍检出。

### 1.3 针对典型农田有机/生物污染机制的研究初见成效

围绕不同农田-污染物研究体系,已展开典型有机/生物污染物的土壤多界面迁移转化机制与驱动效

应的研究工作,揭示了旱地、稻田生态系统毒死蜱、 $\gamma$ -六六六( $\gamma$ -HCH)的界面迁移与代谢过程;明确了类固醇雌激素在典型农田土壤的吸附迁移特征<sup>[6-7]</sup>;阐明了典型土壤和蔬菜中酞酸酯吸附作用及生物富集动力学过程与代谢转化机制<sup>[8-10]</sup>;研究了抗生素抗性菌在土壤中的存留及其携带的抗性基因水平转移的频率及抗生素和抗性基因在土-植界面的迁移规律;在基因水平上揭示了病原菌通过与土壤矿物的相互作用形成生物膜从而提高其在土壤中存活能力的分子机制<sup>[11-12]</sup>。

#### 1.4 结合多种环境友好修复材料开展了农田有机/生物污染调控研究

在农田有机/生物污染区域调控与措施方面,结合纳米材料、生物炭、微生物代谢调控物等多种环境友好修复材料开展了污染削减调控研究并取得了卓越成效。揭示了纳米零价铁活化过二硫酸盐体系、微波活化过一硫酸氢盐体系、亚硫酸钠活化过二硫酸盐体系加速降解典型有机污染物的作用效果与原理<sup>[13-16]</sup>;提出了热解温度诱导生物炭产生环境自由基加速降解化学污染物的催化机理,阐明了改性生物炭截留磷减少养分流失、同时阻控抗生素从土壤向生菜系统迁移的控污增产双效调控方法原理<sup>[17-18]</sup>;明确了不同电子受体和电子穿梭体调控影响有机氯农药还原转化的作用与机制,初步形成了基于电子受体和电子穿梭体途径耦合生源要素还原的污染削减调控方法原理<sup>[19-22]</sup>。

## 2 存在的主要问题及后续工作建议

如前所述,已启动的十三五第一批国家重点研发计划专项“农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发”项目中已部署了两个有机和生物污染相关的项目,但因项目指南中包含的污染物种类过多,包括农药、酞酸酯、抗生素、激素四大类有机污染物,以及抗生素抗性基因和病原菌两大类生物污染物,研究体系庞大,工作难以聚焦。

虽然我国典型农业主产区农田系统中污染时空变异性大,但从项目实施到截止目前所掌握的信息看,抗生素、激素、抗生素抗性基因和病原菌这几类污染物的农田输入主要来源于畜禽粪肥的施用,部分环境友好的农药半衰期短,输入农田后风险小,这些污染物重在源头防控;典型有机污染物被释放输入到农田后引发的最突出问题主要包括三个方面:其一,含氯有机农药污染(包括已禁用的传统有机氯农药和部

分尚未禁用的含氯有机磷农药如毒死蜱等),主要涉及稻、麦等重点种植制度典型旱地/稻田系统中的地下生态风险问题;其二,我国东北农业主产区阿特拉津等除草剂污染,主要涉及玉米转大豆的种植结构调整的农业生产产业问题;其三,酞酸酯污染,主要涉及设施农业的农产品安全风险问题。

因此,建议对后续农田有机和生物污染与防控领域的任务部署进行聚焦,突出重点,围绕输入农田系统后存在较大环境和人体健康风险问题,以及限制农业生产的产业问题的典型污染物进行重点设计和任务部署,在十四五期间进行滚动立项支持。

后续工作建议侧重涉及“卡脖子”核心技术自主研发的研究,重点围绕典型有机污染农田生态功能重建和优化的综合调控原理与技术研发来整体推进。支撑上述核心技术研发的关键科学任务包括以下方面:(1)耦合生源要素循环的有机氯污染强化削减原理与技术;(2)基于同位素示踪的污染溯源与削减原理与技术;(3)酞酸酯的多界面控源-阻隔-削减高效防控原理与技术等。

#### 参考文献:

- [1] Wang L K, Zhao J H, Laura D M, et al. Degradation and metabolic profiling for benzene kresoxim-methyl using carbon-14 tracing[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 637/638: 1221-1229.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 有机肥料中土霉素、四环素、金霉素与强力霉素的含量测定 高效液相色谱法 GB/T 32951—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of oxytetracycline, tetracycline, chlortetracycline and doxycycline content for organic fertilizers: HPLC method GB/T 32951—2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [3] Zhu Y G, Zhao Y, Li B, et al. Continental-scale pollution of estuaries with antibiotic resistance genes[J]. *Nature Microbiology*, 2017, 2: 16270.
- [4] 苏建强,庄芳芳,朱永官. 一种用于多种粪便污染源检测的微生物源示踪的分子标记物及其高通量检测方法:ZL201610859751.8[P]. 2017-08-25.  
SU Jian-qiang, ZHUANG Fang-fang, ZHU Yong-guan. A high-throughput quantitative PCR array for microbial source tracking of various fecal contamination in environments: ZL201610859751.8[P]. 2017-08-25.
- [5] Peng S, Feng Y Z, Wang Y M, et al. Prevalence of antibiotic resistance genes in soils after continually applied with different manure for 30 years[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, 340: 16-25.

- [6] Zhang F S, Li Y X, Zhang G X, et al. The importance of nano-porosity in the stalk-derived biochar to the sorption of  $17\beta$ -estradiol and retention of it in the greenhouse soil[J]. *Environmental Science & Pollution Research*, 2017, 24(10):9575-9584.
- [7] 童心, 胡柏杨, 陈兴财, 等. 类固醇雌激素的环境暴露及其迁移转化[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2017, 43(6):734-746.  
TONG Xin, HU Bo-yang, CHEN Xing-cai, et al. Environmental exposure of steroid estrogens and their migration and transformation behavior[J]. *Journal of Zhejiang University(Agric & Life Sci)*, 2017, 43(6):734-746.
- [8] Wu W, Sheng H J, Gu C G, et al. Extraneous dissolved organic matter enhanced adsorption of dibutyl phthalate in soils: Insights from kinetics and isotherms[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 631/632:1495-1503.
- [9] Fang G D, Liu C, Wang Y J, et al. Photogeneration of reactive oxygen species from biochar suspension for diethyl phthalate degradation[J]. *Applied Catalysis B:Environmental*, 2017, 214:34-45.
- [10] 谷成刚, 相雷雷, 任文杰, 等. 土壤中酞酸酯多界面迁移转化与效应研究进展[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2017, 43(6):700-712.  
GU Cheng-gang, XIANG Lei-lei, REN Wen-jie, et al. Multi-interfacial migration/transformation and effects of phthalic acid esters in soils: A review[J]. *Journal of Zhejiang University(Agric & Life Sci)*, 2017, 43(6):700-712.
- [11] Liu X, Gao C H, Ji D D, et al. Survival of *Escherichia coli*, O157:H7 in various soil particles: Importance of the attached bacterial phenotype[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2017, 53(2):209-219.
- [12] Ma W T, Peng D H, Walker S L, et al. *Bacillus subtilis* biofilm development in the presence of soil clay minerals and iron oxides[J]. *Npj Biofilms & Microbiomes*, 2017, 3(1):4.
- [13] Qi C D, Liu X T, Lin C Y, et al. Activation of peroxymonosulfate by microwave irradiation for degradation of organic contaminants[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 315:201-209.
- [14] Zhang H J, Liu X T, Ma J, et al. Activation of peroxymonosulfate using drinking water treatment residuals for the degradation of atrazine[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, 344:1220-1228.
- [15] Qi C D, Liu X T, Li Y, et al. Enhanced degradation of organic contaminants in water by peroxydisulfate coupled with bisulfite[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, 328:98-107.
- [16] Li X W, Liu X T, Lin C Y, et al. Enhanced activation of periodate by iodine-doped granular activated carbon for organic contaminant degradation[J]. *Chemosphere*, 2017, 181:609-618.
- [17] Qin J L, Chen Q C, Sun M X, et al. Pyrolysis temperature-induced changes in the catalytic characteristics of rice husk-derived biochar during 1,3-dichloropropene degradation[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 330:804-812.
- [18] Chen Q C, Qin J L, Sun P, et al. Cow dung-derived engineered biochar for reclaiming phosphate from aqueous solution and its validation as slow-release fertilizer in soil-crop system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172:2009-2018.
- [19] Xu Y, He Y, Tang X J, et al. Reconstruction of microbial community structures as evidences for soil redox coupled reductive dechlorination of PCP in a mangrove soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 596/597:147-157.
- [20] Xue L L, Feng X, Xu Y, et al. The dechlorination of pentachlorophenol under a sulfate and iron reduction co-occurring anaerobic environment[J]. *Chemosphere*, 2017, 182:166-173.
- [21] Xu Y, Xue L L, Ye Q, et al. Inhibitory effects of sulfate and nitrate reduction on reductive dechlorination of PCP in a flooded paddy soil[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9:567.
- [22] Zhu M, Zhang L J, Zheng L W, et al. Typical soil redox processes in pentachlorophenol polluted soil following biochar addition[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9:579.