

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第4期

Vol.38 No.4

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

西宁近郊大气氮干湿沉降研究	许稳, 金鑫, 罗少辉, 冯兆忠, 张霖, 潘月鹏, 刘学军 (1279)
兰州春夏季 PM ₁₀ 碳组分昼夜变化特征与来源分析	马丽, 余晔, 王博, 赵素平, 李刚 (1289)
海南三亚大气颗粒物中水溶性无机离子浓度及其粒径分布特征	王璐, 刘子锐, 温天雪, 苗红妍, 王跃思 (1298)
2015年北京城区大气 PM _{2.5} 中 NH ₄ ⁺ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 及前体气体的污染特征	丁萌萌, 周健楠, 刘保献, 王焱, 张博韬, 石爱军, 杨懂艳, 常森 (1307)
北京市某垃圾焚烧厂周边大气二噁英污染特征及暴露风险	齐丽, 任玥, 刘爱民, 黄业茹, 赵震, 王江, 李泓 (1317)
北京和保定地区大气细颗粒物中可培养细菌的种群特征	胡亚东, 马安周, 吕鹏翼, 张杨, 庄国强 (1327)
基于实时交通数据的南京市主次干道机动车排放特征分析	李笑语, 吴琳, 邹超, 张意, 毛洪钧, 荆博宇 (1340)
过渡金属掺杂对铜锡烧绿石催化碳烟燃烧性能的影响	李曦峰, 孙宇琦, 王仲鹏, 牟宗刚, 崔兆杰 (1348)
南水北调中线北京段水质状况分析	徐华山, 赵磊, 孙昊苏, 任玉芬, 丁涛, 常帅, 王海东, 李森, 果钊 (1357)
三峡前置库汉丰湖试运行年水文水质变化特征	杨兵, 何丙辉, 王德宝 (1366)
基于偏最小二乘模型的河流水质对土地利用的响应	李琳琳, 张依章, 唐常源, 郑磊, 孟伟, 卢少勇, 敦宇 (1376)
抚仙湖夏季热分层时期水温及水质分布特征	王琳杰, 余辉, 牛勇, 牛远, 张有林, 刘倩, 吉正元 (1384)
千岛湖溶解氧与浮游植物垂向分层特征及其影响因素	俞焰, 刘德富, 杨正健, 张佳磊, 徐雅倩, 刘晋高, 严广寒 (1393)
高通量测序技术研究辽河真核浮游藻类的群落结构特征	王靖淇, 王书平, 张远, 林佳宁, 高欣, 臧小苗, 赵茜 (1403)
三门湾近海有机污染对浮游细菌群落的影响	戴文芳, 郭永豪, 郁维娜, 熊金波 (1414)
沉积物-水界面氮的源解析和硝化反硝化	金赞芳, 龚嘉临, 施伊丽, 金漫彤, 李非里 (1423)
广州南沙红树林湿地水体和沉积物中有机氯农药的残留特征	丁洋, 黄焕芳, 李绘, 罗杰, 郑煌, 孙焰, 杨丹, 张原, 祁士华 (1431)
太湖西岸河网沉积物中重金属污染特征及风险评价	边博, 周燕, 张琴 (1442)
锁磷剂对杭州西湖底泥磷释放的控制效果	朱广伟, 李静, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军, 张运林, 秦伯强 (1451)
超滤处理东江水不可逆膜污染物的识别和活性炭对其吸附去除	杨海燕, 王灿, 鄢忠森, 李冬平, 赵焱, 瞿芳术, 梁恒, 徐叶琴, 李圭白 (1460)
UV/SPS 降解水中三氯生的效能及动力学	李青松, 李学艳, 姚宁波, 骆靖宇, 李国新, 陈国元, 高乃云 (1467)
真空紫外-亚硫酸盐法降解 PFOS 影响因素	韩慧丽, 王宏杰, 董文艺 (1477)
g-C ₃ N ₄ 协同光催化还原 Cr(VI) 及氧化磺基水杨酸	李莉莉, 陈翠柏, 兰华春, 刘菲, 安晓强 (1483)
锆改性硅藻土吸附水中磷的研究	范艺, 王哲, 赵连勤, 吴德意 (1490)
3 种常规消毒方法对磺胺类抗性基因削减效果的比较	郑吉, 周振超, 陈芳, 陈涛, 魏媛媛, 韩玥, 陈红 (1497)
典型生活污水处理工艺对雌激素效应的去除	张秋亚, 马晓妍, 王晓昌, 游猛 (1506)
SRT 对酵母-SBR 处理油脂废水稳定性的影响	吕文洲, 张树林, 乔宇祥, 刘英 (1513)
分散染料 neocron black (NB) 的生物降解特性	杨波, 丁凤友, 徐辉, 李方, 田晴, 马春燕 (1520)
多聚磷酸盐激酶基因在污水生物除磷中的功能	南亚萍, 周国标, 袁林江 (1529)
生物膜短程硝化系统的恢复及其转化为 CANON 工艺的过程	付昆明, 周厚田, 苏雪莹, 王会芳 (1536)
厌氧氨氧化反应器脱氮性能及细菌群落多样性分析	曹雁, 王桐屿, 秦玉洁, 韩彬, 任君怡 (1544)
内环境调节层对厌氧生物反应器填埋场中氮转化的影响	何正坤, 宋博宇, 朱南文, 董军 (1551)
矿化垃圾中 Fe(III) 还原耦合 CH ₄ 厌氧去除特性	王立立, 何婷, 龙焰, 刘常宝 (1558)
应用铅同位素示踪研究泉州某林地垂直剖面土壤中重金属污染及来源解析	孙境蔚, 于瑞莲, 胡恭任, 苏光明, 王晓明 (1566)
畜禽粪便有机肥中重金属在土壤剖面中积累迁移特征及生物有效性差异	何梦媛, 董同喜, 茹淑华, 苏德纯 (1576)
山东省农田土壤多环芳烃的污染特征及源解析	葛蔚, 程琪琪, 柴超, 曾路生, 吴娟, 陈清华, 朱祥伟, 马东 (1587)
江汉平原典型土壤环境中有机磷农药的分布特征及影响因素	王建伟, 张彩香, 潘真真, 廖小平, 刘媛, 吕曲, 汤蜜 (1597)
基于生物有效性的农田土壤磷素组分特征及其影响因素分析	蔡观, 胡亚军, 王婷婷, 袁红朝, 王久荣, 李巧云, 葛体达, 吴金水 (1606)
秸秆还田对外源氮在土壤中转化及其微生物响应的影响	陈珊, 丁咸庆, 祝贞科, 王娟, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (1613)
生物炭输入对城郊农业区农田地表反照率及土壤呼吸的影响	张阳阳, 胡学玉, 邹娟, 张迪, 陈威, 王向前, 陈窈君, 刘扬 (1622)
淹水水稻土消耗 N ₂ O 能力及机制	王玲, 邢肖毅, 秦红灵, 刘毅, 魏文学 (1633)
不同污水处理工艺非二氧化碳温室气体的释放	李惠娟, 彭党聪, 刘文博, 姚倩, 卓杨 (1640)
施用不同污泥堆肥品对土壤温室气体排放的影响	杨雨滢, 易建婷, 张成, 陈宏, 木志坚 (1647)
不同镉水平下纳米沸石对土壤 pH、CEC 及 Cd 形态的影响	迟苏琳, 徐卫红, 熊仕娟, 王卫中, 秦余丽, 赵婉伊, 张春来, 李彦华, 李桃, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (1654)
不同作物对外源硒动态吸收、转运的差异及其机制	彭琴, 李哲, 梁东丽, 王梦柯, 郭璐 (1667)
褪黑素对水稻幼芽镍胁迫的缓解作用	刘仕翔, 黄益宗, 罗泽娇, 黄永春, 蒋航 (1675)
不同形态磺胺类药物在根-土界面的空间分布及毒性评价	金彩霞, 司晓薇, 王万峰, 王春峰, 王子英, 张琴文, 王婉 (1683)
三峡库区消落带沉积物对鱼体富集率的影响	孙松, 李楚娴, 张成, 王永敏, 王定勇 (1689)
重庆市居民头发重金属富集特征及相关性分析	何明靖, 李琦, 王登祥, 赵佳渊, 杨婷 (1697)
16S rRNA 高通量测序研究集雨窖水中微生物群落结构及多样性	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (1704)
石墨烯掺杂聚苯胺阳极提高微生物燃料电池性能	黄力华, 李秀芬, 任月萍, 王新华 (1717)
美国污染场地清理的风险评估简介及政策制定	容跃 (1726)
《环境科学》征稿简则 (1505) 《环境科学》征订启事 (1682) 信息 (1339, 1459, 1612)	

不同形态磺胺类药物在根-土界面的空间分布及毒性评价

金彩霞¹, 司晓薇^{1,2}, 王万峰¹, 王春峰¹, 王子英¹, 张琴文¹, 王婉²

(1. 河南师范大学环境学院, 河南省环境污染控制重点实验室, 黄淮水环境与污染防治省部共建教育部重点实验室, 新乡 453007; 2. 河南生态环境损害司法鉴定中心, 郑州 450011)

摘要: 采用化学分析和发光细菌检测相结合的方法, 研究了磺胺类药物在作物根-土界面的形态分布及生态毒性. 结果表明, 磺胺类药物在根际土壤中主要以水溶态的形式存在, 远根区则以有机溶剂可提取态为主要形态. 3种形态磺胺类药物对明亮发光细菌的相对发光抑制率均小于30%, 表现为低毒性. 不同形态磺胺类药物对明亮发光菌表现的生态毒性不同, 有机溶剂可提取态对明亮发光细菌的毒性最大, 水溶态次之, 结合态毒性最小. 根际区水溶态的含量及其对明亮发光细菌的相对毒性抑制率大于远根区, 而有机溶剂可提取态和结合态的含量及其对明亮发光细菌的相对毒性抑制率则小于远根区.

关键词: 化学分析; 发光细菌检测; 磺胺类药物; 形态; 毒性

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)04-1683-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201606036

Forms Distribution and Ecotoxicity of Three Forms of Sulfonamides in Root-Soil Interface of Maize

JIN Cai-xia¹, SI Xiao-wei^{1,2}, WANG Wan-feng¹, WANG Chun-feng¹, WANG Zi-ying¹, ZHANG Qin-wen¹, WANG Wan²

(1. Key Laboratory for Yellow River and Huaihe River Water Environment and Pollution Control, Ministry of Education, Henan Key Laboratory of Environmental Pollution Control, School of Environment, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. Judicial Authentication Center of Ecological Environmental Damage of Henan, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Forms distribution and ecotoxicity of sulfonamides in root-soil interface of maize were studied by chemical analysis and luminescent bacteria toxicity assay. The results indicated that the water soluble residues were the main form in rhizosperic soils, and the organic solvent extractable residues were the main form in far-rhizosperic soils. The three forms of sulfonamides showed relatively lower toxicity to luminescent bacteria with the relative inhibition rates less than 30%. The toxicity of water soluble residues was lower than that of the organic solvent extractable residues, and the bound residues showed the lowest toxicity to luminescent bacteria. The contents and relative inhibition rates of water soluble residues in rhizosperic soils were higher than those in far-rhizosperic soils, while the contents and relative inhibition rates of organic solvent extractable and bound residues in rhizosperic soils were lower than those in far-rhizosperic soils.

Key words: chemical analysis; luminescent bacteria toxicity assay; sulfonamides; form; toxicity

磺胺类药物是以对位氨基苯磺酰胺为基本结构的一类衍生物, 由于其价格低廉, 对各种细菌具有广谱抗药性, 因此, 是使用范围很广的一类药物^[1,2], 其主要通过抑制细菌的二氢叶酸合成酶, 使其不能充分利用对氨基苯甲酸合成四氢叶酸, 从而影响DNA的合成^[3]. 由于磺胺类药物不能被完全代谢, 大部分随粪便和尿液排出体外. 因此, 磺胺类药物母体或代谢产物会通过粪尿等形式进入土壤^[4,5].

对于环境中残留污染物的量及其所产生的生态毒性效应是环境科学普遍关注的问题之一. 传统的化学法只能分析环境中污染物的形态和含量, 而与传统化学分析法相比, 生物测试法能更直观地反映污染物对生物体的毒性效应, 进一步揭示产生毒性

效应的作用机制^[6]. 作为生物测试法之一的发光细菌检测法, 由于具有高效和廉价的特点, 通常作为生物毒性检测的首选方法.

根-土界面是污染物进入植物体的门户, 是联系土壤和植物的重要纽带, 由于植物根系的存在, 该区域土壤的物理、化学和生物性质等与土体存在很大差异, 影响土壤中污染物的化学行为^[7,8]. 土壤中磺胺类药物的残留形态可分为水溶态、有机溶剂可提

收稿日期: 2016-06-07; 修订日期: 2016-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(21107023); 河南省科技攻关项目(162102310095, 142102210456, 142102210457); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2015GGJS-087)

作者简介: 金彩霞(1976~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向环境化学、生态毒理学, E-mail: heartjin0509@aliyun.com

取态和结合态,前两者的生物活性较高,可对环境和生物产生直接影响,后者生物活性较低,因此,不同形态的磺胺类药物可能产生不同的环境效应和生态毒性^[9]. 本研究中采用化学分析和发光细菌检测相结合的方法,分析磺胺类药物在作物根-土界面的形态转化及生态毒性变化,以期对土壤中磺胺类药物残留污染对人体健康和生态环境的影响作出综合评价.

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤

土壤采自河南师范大学生物园表层土(0~20 cm),属于未受任何化学品污染的洁净土壤,15~20℃风干,过1 mm筛后备用. 土壤样品的基本性质如下:pH 6.31;阳离子交换量 12.26 cmol·kg⁻¹;TP(总磷)0.04 mg·kg⁻¹;TK(总钾)0.18 mg·kg⁻¹;有机质 1.65%;黏粒 13.4%;粉粒 24.2%.

1.1.2 药品与试剂

磺胺嘧啶(Sulfadiazine, SD)、磺胺间甲氧嘧啶(Sulfamonomethoxine, SMM)和磺胺甲噁唑(Sulfamethoxazole, SMZ)标准品(白色结晶,纯度为99.0%,美国Sigma公司);荧光胺(纯度>99.0%,Alfa Aesar公司);甲醇、乙腈、丙酮(色谱纯,美国Fisher公司);试验用水为高纯水.

1.1.3 仪器

Waters 高效液相色谱仪;Waters 2475 荧光检测器(Waters, Singapore);Waters 1525 Binary 溶剂输送泵(Waters, Singapore);DXY-2 型生物毒性测试仪(南京土壤研究所).

1.1.4 检测生物

明亮发光杆菌 T3 小种(Photobacterium phosphoreum T3)冻干粉(南京土壤研究所)安剖瓶包装,每瓶 0.5 g,于 2~5℃冰箱内保存,有效期为 6 个月. 使用前按照 GB/T 15441-1995 进行发光细菌的复苏,复苏液置于盛有冰块的保温瓶中,2 min 后即可复苏发光.

1.2 试验方法

1.2.1 土壤处理方法

称取一定量尿素和磷酸二氢钾拌入土壤做底肥,基肥量为 N 0.15 g·kg⁻¹,P₂O₅ 0.15 g·kg⁻¹,K₂O 0.1 g·kg⁻¹,混匀后放置 3 d. 配制一定浓度的磺胺嘧啶、磺胺间甲氧嘧啶和磺胺甲噁唑溶液,将其均匀拌入土壤中,使得每种磺胺类药物在土壤中初始含量分别为 0、2、5、10 mg·kg⁻¹,混合、放置 5 d 后

测定土壤中药物的实际含量. 磺胺嘧啶的实测含量分别为 1.89、4.25 和 6.73 mg·kg⁻¹,磺胺间甲氧嘧啶的实测含量分别为 2.07、3.90 和 7.74 mg·kg⁻¹,磺胺甲噁唑的实测含量分别为 1.64、2.86 和 6.71 mg·kg⁻¹. 将土壤盛装于根际箱中,每箱 1 kg. 根-土界面被分为多个不同的空间:种植植物的中央区域 1 cm 为根际区,再以此为中心间隔 1 cm 为近根区,3 cm 以外为远根区,两侧被分为两层,隔板是覆盖 300 目尼龙网的有机玻璃框.

玉米种子浸泡于 0.5% 的次氯酸钠溶液中消毒 20 min 后,用去离子水冲洗干净,播种于根际箱中. 每箱播种 10 粒,出苗后,保苗 5 株. 培养期间保持土壤含水量在田间最大持水量的 60%,3 次重复. 采用破坏法取样,在种植 10 d 后取两侧不同剖面的土样,混匀,测定其残留的磺胺类药物 3 种形态的含量.

1.2.2 土壤样品提取方法

形态分为水溶态、有机溶剂可提取态和结合态,参照 Mordaunt 等^[10]采用的连续振荡提取法提取. 水溶态采用 0.01 mol·L⁻¹的 CaCl₂ 溶液作为提取液,有机溶剂可提取态分别用甲醇、乙腈、丙酮和二氯甲烷依次提取,结合态参照曾跃春等^[11]的提取方法,在以上过程提取后的残渣中加入 2 mol·L⁻¹ NaOH 作为提取液进行提取.

1.2.3 HPLC 检测方法与质量控制

安捷伦 C₁₈ 快速分离柱(150 mm×4.6 mm, 3.5 μm),C₁₈ 保护柱(12.5 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相为 0.5% 冰乙酸和乙腈,采用梯度洗脱:0 min,乙腈:0.5% 冰乙酸=30:70;10 min,乙腈:0.5% 冰乙酸=55:45;激发波长:405 nm,发射波长:495 nm;进样量 20 μL;流速:1 mL·min⁻¹;柱温:35℃. 配制浓度范围为 0.05~5 mg·L⁻¹ 混合标准溶液,样品衍生化后供 HPLC 测定,并绘制标准曲线,相关系数 R² 均大于 0.999 0. 采用加标法测定回收率和检测限,在 0.5~10 mg·kg⁻¹ 添加浓度下平均回收率为 86.5%~94.6%,变异系数小于 6.4%,检测限为 1.0~2.3 μg·kg⁻¹.

1.2.4 明亮发光细菌毒性测试

明亮发光细菌活性检测采用 3% 无菌 NaCl 溶液配制质量浓度梯度为 0.02、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12、0.14、0.16、0.18、0.20、0.22、0.24 mg·L⁻¹ 的 HgCl₂ 溶液,于 4℃ 保存并不超过 24 h,按照 GB/T 15441-1995 进行发光细菌毒性的测试.

测定不同形态磺胺类药物对明亮发光细菌的毒

性时,以处理含量为 $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的土壤样品为对照,分别按照 1.2.2 节中的提取方法对不同形态磺胺类药物进行提取,并按照 GB/T 15441-1995 进行发光细菌毒性的测试。

1.2.5 相对发光强度及相对毒性抑制率的计算

$$\text{相对发光强度}(\%) = \frac{\text{样品发光强度}}{\text{对照样品发光强度}} \times 100$$

$$\text{相对毒性抑制率}(\%) = \frac{\text{对照样品发光强度} - \text{样品发光强度}}{\text{对照样品发光强度}} \times 100$$

2 结果与讨论

2.1 3 种形态磺胺类药物在根-土界面的空间分布

环境中磺胺类药物的污染均为一种以上药物的复合污染^[12],因此,在本试验研究中,特选取了在环境中检出率较高的 3 种磺胺类药物作为供试药物,并以混合物的形式添加在土壤中,以便更真实地模拟土壤环境中磺胺类药物的污染情况。土壤中磺胺类药物的形态可分为水溶态、有机溶剂可提取态和结合态这 3 种。由图 1 可知,当培养天数为 10 d 时,在同一含量作用下,根际区水溶态的含量最高,近根区次之,远根区最低。例如,在 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区、近根区和远根区水溶态的含量分别为 8.171 、 5.618 和 $5.072 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这可能是由于根际区植物根系分泌物对根系周围土壤有一定的活化作用^[13,14],有利于药物水溶态的形成,因此,根际区水溶态含量较近根区和远根区高。

对于有机溶剂可提取态和结合态,当培养天数为 10 d 时,在同一含量作用下,其在远根区的残留含量高于近根区和根际区。例如,在 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区、近根区和远根区有机溶剂可提取态的含量分别为 0.665 、 0.744 和 $0.898 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;结合态的含量分别为 0.001 、 0.017 和 $0.021 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这可能是由于非根际区距根系较远,土壤的生物活性较低^[15,16],药物被土壤中有机质或黏土矿物吸附或截留捕获,形成较为稳定的有机溶剂可提取态,其进一步转化为水溶态量较少以保证自身的稳定性,因此,远根区有机溶剂可提取态的含量较高。结合态是磺胺类药物随着时间与土壤有机质、氧化物等组分之间不断通过化学键合、物理镶嵌等作用形成的^[17],因此,当培养天数为 10 d 时,不同根-土界面所形成的磺胺类药物结合态的量均较低。另外,植物根系区土壤的生物较高,不利于结合态的形成,因此,结合态在根际区的形成量

最低。

综上所述,根际区土壤中磺胺类药物主要以水溶态的形式存在,其含量约占 3 种形态总量的 $60.6\% \sim 79.4\%$,其次是有机溶剂可提取态,约占 3 种形态总量的 $17.3\% \sim 39.3\%$,结合态的含量最低,仅占 3 种形态总量的 $0.1\% \sim 3.3\%$;而在远根区,土壤中磺胺类药物主要以有机溶剂可提取态的形式存在,其含量约占 3 种形态总量的 $50.0\% \sim 65.5\%$,其次是水溶态,约占 3 种形态总量的 $31.5\% \sim 45.0\%$,结合态的含量最低,仅占 3 种形态总量的 $1.3\% \sim 5.1\%$;近根区土壤中磺胺类药物的主要存在形态是水溶态和有机溶剂可提取态,其含量分别约占 3 种形态总量的 $45.0\% \sim 51.8\%$ 和 $45.6\% \sim 53.9\%$ 。由此可见,根际环境对外来污染物的形态分布产生重大影响。

此外,由图 1 可知,在同一根-土界面,高含量处理作用下土壤中 3 种形态磺胺类药物的含量均高于低含量处理作用下的含量。例如,在 2 、 5 和 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区水溶态的含量分别为 1.025 、 2.837 和 $8.171 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;有机溶剂可提取态的含量分别为 0.666 、 1.245 和 $1.781 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;结合态的含量分别为 0.001 、 0.070 和 $0.340 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

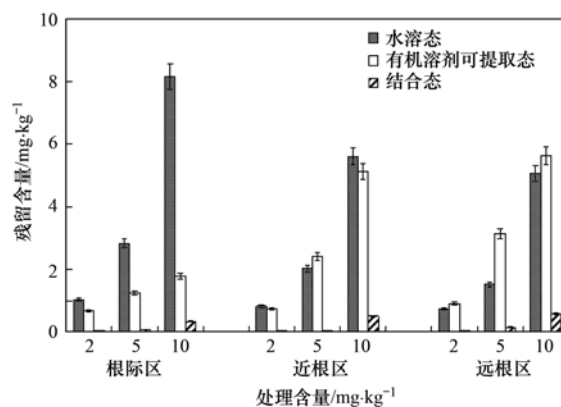


图 1 不同根-土界面 3 种形态磺胺类药物的残留含量

Fig. 1 Contents of 3 sulfonamides residues on different root-soil interface

2.2 根-土界面磺胺类药物 3 种形态对发光细菌的毒性效应

如图 2,当培养天数为 10 d 时,水溶态和有机溶剂可提取态对明亮发光细菌均表现为毒性抑制作用。根际区水溶态对明亮发光细菌的相对毒性抑制率大于近根区和远根区,在 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的含量作用下,根际区、近根区和远根区水溶态对发光细菌的相对毒性抑制率分别为 3.60% 、 0.87% 和 0.72% 。

而远根区有机溶剂可提取态对发光细菌的毒性抑制作用较根际区和近根区稍强。例如,在 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区、近根区和远根区有机溶剂可提取态对发光细菌的相对毒性抑制率分别为 0.51%、0.84% 和 0.91%。由图 1 可知,水溶态和有机溶剂可提取态对发光细菌的相对毒性抑制率与其含量有关,含量越高,对发光细菌的毒性抑制作用越明显,线性相关系数 $R^2 > 0.7$ 。吴淑杭等^[18]以明亮发光杆菌作为毒性测试物种,研究了 18 种农药的急性毒性,结果表明,不同农药对发光细菌的急性毒性在一定浓度范围内与其浓度呈正相关。

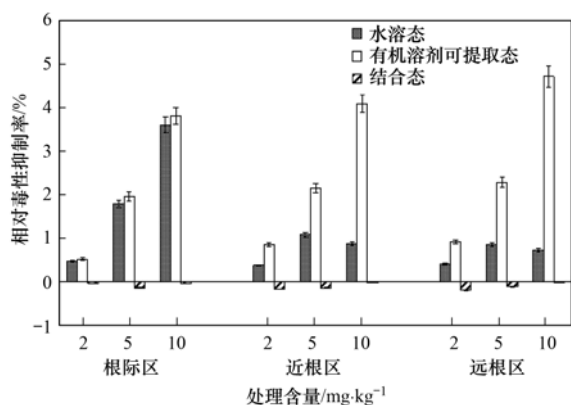


图2 不同根-土界面3种形态磺胺类药物对明亮发光细菌的相对毒性抑制率

Fig. 2 Relative inhibition rates of 3 sulfonamides residues to *Photobacterium phosphoreum* T3 on different root-soil interface

由图 1 和 2 可知,根际区和近根区水溶态的含量较有机溶剂可提取态高,但其对发光细菌的毒性却低于有机溶剂可提取态。通过计算磺胺类药物两种形态的 IC_{50} 值可知,磺胺类药物有机溶剂可提取态的 IC_{50} 值为 $62.547 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,水溶态的 IC_{50} 值为 $109.448 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。例如,在 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区水溶态含量约是有机溶剂可提取态的 2.3 倍,而毒性却只是有机溶剂可提取态的 9/10;在 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,近根区水溶态含量约是有机溶剂可提取态的 1.1 倍,而毒性却只是有机溶剂可提取态的 2/5。一方面可能是由于磺胺类药物有机溶剂可提取态含有磺胺类药物在降解过程中产生的毒性强于其母体化合物的中间产物^[19],例如乙酰化代谢产物,仍然保持较高的毒性^[2],所以其对发光细菌的毒性强于水溶态;另一方面可能是由于磺胺类药物的水溶态含有少量来自提取液的低浓度无机离子 Ca^{2+} ,有研究表明,该离子会对发光细菌产生一定的刺激效应,这会导致发光细菌毒性测试结果偏低^[20]。

有研究表明,当溶液中有有机污染物的浓度较低时,发光细菌的呼吸作用会增强,荧光酶分泌增多,以此来抵抗外界的刺激作用,从而维持自身体内的代谢平衡,发光细菌的相对发光强度会大于 100%,相对毒性抑制率为负值,对药物表现出一定的激活作用^[21,22]。由图 1 和图 2 可见,结合态的含量较低,对发光细菌均表现为激活作用。在 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区结合态的含量较近根区和远根区的小,因此,其对发光细菌的激活作用也较近根区和远根区弱,结合态含量与其对发光细菌的毒性激活作用呈良好的线性负相关关系 ($R^2 > 0.9$)。在 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区结合态的含量 ($0.070 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 也低于远根区 ($0.144 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),但其对发光细菌的激活作用略强于远根区,这可能是由于结合态在一定的范围内随着含量的升高对发光细菌的激活作用加强,而超过一定的含量,其对发光细菌的发光系统开始造成破坏作用时,结合态对发光细菌的激活作用会随着含量的上升而减弱。在 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,不同根-土界面所形成的结合态的量均远高于在 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下所形成的结合态的量,因此,结合态对发光细菌表现出微弱的激活作用。由于根际区结合态含量 ($0.340 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 略低于远根区 ($0.570 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),因此,根际区结合态对发光细菌的激活作用较远根区略强,结合态含量与其对发光细菌的激活作用呈线性负相关,相关系数 $R^2 > 0.8$ 。

此外,由图 2 可知,在同一根-土界面,高含量处理作用下土壤中 3 种形态磺胺类药物对发光细菌的相对毒性抑制率高于低含量作用下的相对毒性抑制率。例如,在 2、5 和 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理作用下,根际区水溶态对发光细菌的相对毒性抑制率分别为 0.47%、1.79% 和 3.60%;远根区有机溶剂可提取态对发光细菌的相对毒性抑制率分别为 0.91%、2.28% 和 4.71%。这是由于随着水溶态和有机溶剂可提取态含量的增加,对发光细菌的代谢抑制作用增强,其相对发光强度随着药物含量的增大而显著降低^[18]。

2.3 根-土界面 3 种形态磺胺类药物的毒性评价

根据毒性评价标准^[23],3 种形态磺胺类药物对发光细菌的相对发光抑制率均小于 30%,相当的氯化汞浓度均低于 $0.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,表现为低毒性。其中,有机溶剂可提取态对发光细菌的毒性最大,其次是水溶态,结合态毒性作用最小,甚至对发光细菌有微弱的激活作用。而有机溶剂可提取态的含量并非

最高,说明仅依据污染物浓度评价其对环境的影响并不合理,同时应考虑污染物的存在形态及结构等因素的影响. Linsak 等^[24]对海洋沉积物进行了化学分析和发光细菌检测,也认为污染物的浓度高低并不能完全代表对有机体潜在毒性的大小. Maisto 等^[25]利用化学和一系列生物分析法研究土壤中重金属浓度与土壤毒性的关系. 结果表明,重金属污染土壤对发光细菌的毒性不仅与重金属的含量有关,也与其在土壤中的存在形态有关.

Deprez 等^[26]提出了一种运用化学和生物检测相结合的方法评价污染物对环境的影响. 在其方法中,首先对污染物进行化学分析,然后在研究污染物毒性作用机制之前利用发光细菌法进行毒性筛选,其被证明是一种评价污染物急性毒性的有效方法. 此外,对发光细菌有急性毒性作用的污染物通常在毒性机制检测中显示出慢性毒性作用. 因此,在污染物的毒性风险分析中,建议同时使用化学分析和生物检测法,以期对污染物对人体健康和生态环境造成的影响作出准确的评价.

3 结论

(1) 根际区土壤中磺胺类药物主要以水溶态的形式存在,远根区主要以有机溶剂可提取态为主,而近根区土壤中磺胺类药物的主要存在形态是水溶态和有机溶剂可提取态.

(2) 根际区磺胺类药物的水溶态对明亮发光细菌的相对毒性抑制率大于远根区,而有机溶剂可提取态和结合态对明亮发光细菌的相对毒性抑制率小于远根区. 在一定含量范围内,磺胺类药物的水溶态、有机溶剂可提取态和结合态含量与对发光细菌的相对毒性抑制率存在良好的线性相关性,相关系数 $R^2 > 0.7$.

(3) 3 种形态的磺胺类药物对发光细菌的相对发光抑制率均小于 30%,表现为低毒性. 其中,水溶态和有机溶剂可提取态的含量较高,对发光细菌的毒性作用较大,且有机溶剂可提取态的毒性大于水溶态,结合态对明亮发光细菌的毒性作用最小.

参考文献:

- [1] García-Galán M J, Díaz-Cruz M S, Barceló D. Identification and determination of metabolites and degradation products of sulfonamide antibiotics [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2008, **27**(11): 1008-1022.
- [2] Schauss K, Focks A, Heuer H, *et al.* Analysis, fate and effects of the antibiotic sulfadiazine in soil ecosystems[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2009, **28**(5): 612-618.
- [3] 金彩霞, 司晓薇, 王子英, 等. 养殖场周边土壤-蔬菜系统磺胺类药物残留及风险评价[J]. *环境科学*, 2016, **37**(4): 1562-1567.
- [4] Jin C X, Si X W, Wang Z Y, *et al.* Distribution and risk assessment of sulfonamides antibiotics in soil and vegetables from feedlot livestock [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(4): 1562-1567.
- [5] Sukul P, Spiteller M. Sulfonamides in the environment as veterinary drugs [J]. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2006, **187**: 67-101.
- [6] Kümmerer K. Antibiotics in the aquatic environment-a review-Part I [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(4): 417-434.
- [7] Li S B, Anderson T A, Maul J D, *et al.* Comparative studies of multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) and octadecyl (C_{18}) as sorbents in passive sampling devices for biomimetic uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soils [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **461-462**: 560-567.
- [8] 徐建明, 何艳. 根-土界面的微生态过程与有机污染物的环境行为研究[J]. *土壤*, 2006, **38**(4): 353-358.
- [9] Xu J M, He Y. Micro-ecological processes in root-soil interface and their impacts on environmental behavior of organic pollutants [J]. *Soils*, 2006, **38**(4): 353-358.
- [10] 王美娥, 周启星, 张利华. 污染物在根-土界面的化学行为与生态效应[J]. *应用生态学报*, 2003, **14**(11): 2067-2071.
- [11] Wang M E, Zhou Q X, Zhang L H. Chemical behavior and ecological effects of pollutants acting on root-soil interface [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(11): 2067-2071.
- [12] 曾跃春, 高彦征, 凌婉婷, 等. 土壤中有机污染物的形态及植物可利用性[J]. *土壤通报*, 2009, **40**(6): 1479-1484.
- [13] Zeng Y C, Gao Y Z, Ling W T, *et al.* The residual forms and plant availabilities of organic pollutants in soils [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, **40**(6): 1479-1484.
- [14] Mordaunt C J, Gevao B, Jones K C, *et al.* Formation of non-extractable pesticide residues: observations on compound differences, measurement and regulatory issues [J]. *Environmental Pollution*, 2005, **133**(1): 25-34.
- [15] 曾跃春, 李秋玲, 高彦征, 等. 丛枝菌根作用下土壤中多环芳烃的残留及形态研究[J]. *土壤*, 2010, **42**(1): 106-110.
- [16] Zeng Y C, Li Q L, Gao Y Z, *et al.* Effects of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on residual and forms of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils [J]. *Soils*, 2010, **42**(1): 106-110.
- [17] 邵义萍, 罗晓栋, 莫测辉, 等. 广东省畜牧粪便中喹诺酮类和磺胺类抗生素的含量与分布特征研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(4): 1188-1193.
- [18] Tai Y P, Luo X D, Mo C H, *et al.* Occurrence of quinolone and sulfonamide antibiotics in swine and cattle manures from large-scale feeding operations of Guangdong Province [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(4): 1188-1193.
- [19] 罗永清, 赵学勇, 李美霞. 植物根系分泌物生态效应及其影响因素研究综述[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(12): 3496-3504.
- [20] Luo Y Q, Zhao X Y, Li M X. Ecological effect of plant root exudates and related affecting factors; a review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(12): 3496-3504.
- [21] 杨艳, 凌婉婷, 高彦征, 等. 几种多环芳烃的植物吸收作用及其对根系分泌物的影响[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(3): 593-599.

- Yang Y, Ling W T, Gao Y Z, *et al.* Plant uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their impacts on root exudates[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, **30**(3): 593-599.
- [15] Alkorta I, Garbisu C. Phytoremediation of organic contaminants in soils[J]. *Bioresource Technology*, 2001, **79**(3): 273-276.
- [16] Brigmon R L, Anderson T A, Fliermans C B. Methanotrophic bacteria in the rhizosphere of trichloroethylene-degrading plants [J]. *International Journal of Phytoremediation*, 1999, **1**(3): 241-253.
- [17] Barriuso E, Benoit P, Dubus I G. Formation of pesticide nonextractable (bound) residues in soil: magnitude, controlling factors and reversibility [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(6): 1845-1854.
- [18] 吴淑杭, 周德平, 徐亚同, 等. 18 种农药对发光细菌的急性毒性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, **26**(6): 2267-2270.
- Wu S H, Zhou D P, Xu Y T, *et al.* Acute toxicity of 18 kinds of pesticide to *Photobacteria* [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, **26**(6): 2267-2270.
- [19] Haidar M, Dirany A, Sireés I, *et al.* Electrochemical degradation of the antibiotic sulfachloropyridazine by hydroxyl radicals generated at a BDD anode[J]. *Chemosphere*, 2013, **91**(9): 1304-1309.
- [20] Berglind R, Leffler P, Sjöström M. Interactions between pH, potassium, calcium, bromide, and phenol and their effects on the bioluminescence of *Vibrio fischeri*[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 2010, **73**(16): 1102-1112.
- [21] 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 等. 某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究[J]. *环境科学*, 2014, **35**(1): 286-291.
- Du L N, Yang F, Mu X F, *et al.* Evaluation of the acute toxicity of pharmaceutical wastewater to luminescent bacteria [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(1): 286-291.
- [22] 方淑霞, 王大力, 朱丽华, 等. 抗生素对微生物的联合与低剂量毒性研究进展[J]. *生态毒理学报*, 2015, **10**(2): 69-75.
- Fang S X, Wang D L, Zhu L H, *et al.* Progress in researches on toxicity of antibiotics in low dose and mixture exposure to microorganisms[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2015, **10**(2): 69-75.
- [23] Bulich A A. A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples[J]. *Process Biochem*, 1982, **17**: 45-47.
- [24] Linsak Z, Linsak DT, Glad M, *et al.* Ecotoxicological characterization of marine sediment in Kostrena coastal area[J]. *Collegium Antropologicum*, 2012, **36**(4): 1401-1405.
- [25] Maisto G, Manzo S, De Nicola F, *et al.* Assessment of the effects of Cr, Cu, Ni and Pb soil contamination by ecotoxicological tests[J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2011, **13**(11): 3049-3056.
- [26] Deprez K, Robbens J, Nobels I, *et al.* DISCRISET: a battery of tests for fast waste classification-application of tests on waste extracts [J]. *Waste Management*, 2012, **32**(12): 2218-2228.

CONTENTS

Dry and Bulk Nitrogen Deposition in Suburbs of Xining City	XU Wen, JIN Xin, LUO Shao-hui, <i>et al.</i> (1279)
Day-Night Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Aerosols in PM ₁₀ During Spring and Summer of Lanzhou	MA Li, YU Ye, WANG Bo, <i>et al.</i> (1289)
Characteristics of the Size Distribution of Water Soluble Inorganic Ions in Sanya, Hainan	WANG Lu, LIU Zi-rui, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1298)
Pollution Characteristics of NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ in PM _{2.5} and Their Precursor Gases During 2015 in an Urban Area of Beijing	DING Meng-meng, ZHOU Jian-nan, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (1307)
Pollution Characteristics of PCDD/Fs in Ambient Air and Exposure Risk Assessment Around a Municipal Solid Waste Incinerator in Beijing	QI Li, REN Yue, LIU Ai-min, <i>et al.</i> (1317)
Community Characteristics of Cultivable Bacteria in Fine Particles (PM _{2.5}) of Beijing and Baoding	HU Ya-dong, MA An-zhou, LÜ Peng-yi, <i>et al.</i> (1327)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Artery and Collector Roads in Nanjing Based on Real-time Traffic Data	LI Xiao-yu, WU Lin, ZOU Chao, <i>et al.</i> (1340)
Catalytic Combustion of Soot Particulates over Rare Earth Pyrochlore Oxides Doped with Transition Metals	LI Xi-feng, SUN Yu-qi, WANG Zhong-peng, <i>et al.</i> (1348)
Water Quality Analysis of Beijing Segment of South-to-North Water Diversion Middle Route Project	XU Hua-shan, ZHAO Lei, SUN Hao-su, <i>et al.</i> (1357)
Hanfeng Pre-reservoir Commissioning Time Variation Feature of the Hydrology and Water Quality in Three Gorges Reservoir	YANG Bing, HE Bing-hui, WANG De-bao (1366)
Modeling of Water Quality Response to Land-use Patterns in Taizi River Basin Based on Partial Least Squares	LI Lin-lin, ZHANG Yi-zhang, TANG Chang-yuan, <i>et al.</i> (1376)
Distribution Characteristics of Water Temperature and Water Quality of Fuxian Lake During Thermal Stratification Period in Summer	WANG Lin-jie, YU Hui, NIU Yong, <i>et al.</i> (1384)
Vertical Stratification Characteristics of Dissolved Oxygen and Phytoplankton in Thousand-Island Lake and Their Influencing Factors	YU Yan, LIU De-fu, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (1393)
Community Structure Characteristics of Eukaryotic Planktonic Algae in Liaoh River Through High-throughput Sequencing	WANG Jing-qi, WANG Shu-ping, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (1403)
Effects of Coastal Organic Pollution on Bacterioplankton Community in Sanmen Bay	DAI Wen-fang, GUO Yong-hao, YU Wei-na, <i>et al.</i> (1414)
Nitrate Source Identification and Nitrification-denitrification at the Sediment-water Interface	JIN Zan-fang, GONG Jia-lin, SHI Yi-li, <i>et al.</i> (1423)
Residues of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Water and Sediments from Nansha Mangrove Wetland	DING Yang, HUANG Huan-fang, LI Hui, <i>et al.</i> (1431)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals from River Network Sediment in Western Area of Taihu Lake	BIAN Bo, ZHOU Yan, ZHANG Qin (1442)
Efficacy of Phoslock® on the Reduction of Sediment Phosphorus Release in West Lake, Hangzhou, China	ZHU Guang-wei, LI Jing, ZHU Meng-yuan, <i>et al.</i> (1451)
Identification and PAC Adsorption of Foulants Responsible for Irreversible Fouling During Ultrafiltration of Dongjiang River Water	YANG Hai-yan, WANG Can, YAN Zhong-sen, <i>et al.</i> (1460)
Efficiency and Kinetics of Triclosan Degradation in Aqueous Solution by UV/Sodium Persulfate	LI Qing-song, LI Xue-yan, YAO Ning-bo, <i>et al.</i> (1467)
Influencing Factors on the Degradation of PFOS Through VUV-SO ₃ ²⁻	HAN Hui-li, WANG Hong-jie, DONG Wen-yi (1477)
Simultaneous Photocatalytic Reduction of Cr(VI) and Oxidation of SSA by Carbon Nitride	LI Li-li, CHEN Cui-hai, LAN Hua-chun, <i>et al.</i> (1483)
Modification of Diatomite by Zirconium and Its Performance in Phosphate Removal from Water	FAN Yi, WANG Zhe, ZHAO Lian-qin, <i>et al.</i> (1490)
Reducing Effect of Three Disinfection Technologies for Sulfonamides Resistance Genes	ZHENG Ji, ZHOU Zhen-chao, CHEN Fang, <i>et al.</i> (1497)
Removal of Estrogenic Effect by Typical Domestic Wastewater Treatment Processes	ZHANG Qiu-ya, MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, <i>et al.</i> (1506)
Effect of SRT on Stability of Yeast-SBR in Treating Oil-containing Wastewater	LÜ Wen-zhou, ZHANG Shu-lin, QIAO Yu-xiang, <i>et al.</i> (1513)
Degradation of the Disperse Dye Neocron Black(NB) by Biological Treatment	YANG Bo, DING Feng-you, XU Hui, <i>et al.</i> (1520)
Function of Polyphosphate Kinase Gene in Biological Phosphate Removal During the Wastewater Treatment Process	NAN Ya-ping, ZHOU Guo-biao, YUAN Lin-jiang (1529)
Short-cut Nitrification Recovery and Its Transformation into CANON Process in a Biofilm Reactor	FU Kun-ming, ZHOU Hou-tian, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (1536)
Nitrogen Removal Characteristics and Diversity of Microbial Community in ANAMMOX Reactor	CAO Yan, WANG Tong-yu, QIN Yu-jie, <i>et al.</i> (1544)
Effect of Environment Adjustment Layers on Nitrogen Transformation in Anaerobic Bioreactor Landfills	HE Zheng-kun, SONG Bo-yu, ZHU Nan-wen, <i>et al.</i> (1551)
Characteristics of Anaerobic Methane Removal Coupled to Fe(III) Reduction in Aged Refuse	WANG Li-li, HE Ting, LONG Yan, <i>et al.</i> (1558)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Tracing Sources by Pb & Sr Isotope in the Soil Profile of Woodland in Quanzhou	SUN Jing-wei, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1566)
Accumulation and Migration Characteristics in Soil Profiles and Bioavailability of Heavy Metals from Livestock Manure	HE Meng-yuan, DONG Tong-xi, RU Shu-hua, <i>et al.</i> (1576)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soils from Shandong	GE Wei, CHENG Qi-qi, CHAI Chao, <i>et al.</i> (1587)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Organophosphorus Pesticides in Typical Soil Environment of Jiangnan Plain	WANG Jian-wei, ZHANG Cai-xiang, PAN Zhen-zhen, <i>et al.</i> (1597)
Characteristics and Influencing Factors of Biologically-based Phosphorus Fractions in the Farmland Soil	CAI Guan, HU Ya-jun, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (1606)
Effect of Straw Application on the Dynamics of Exogenous Nitrogen and Microbial Activity in Paddy Soil	CHEN Shan, DING Xian-qing, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (1613)
Effects of Biochar on Surface Albedo and Soil Respiration in Suburban Agricultural Soil	ZHANG Yang-yang, HU Xue-yu, ZOU Juan, <i>et al.</i> (1622)
N ₂ O Consumption Ability of Submerged Paddy Soil and the Regulatory Mechanism	WANG Ling, XING Xiao-yi, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (1633)
Non-CO ₂ Greenhouse Gas Release from Different Biological Wastewater Treatment Processes	LI Hui-juan, PENG Dang-cong, LIU Wen-bo, <i>et al.</i> (1640)
Effect of Application of Sewage Sludge Composts on Greenhouse Gas Emissions in Soil	YANG Yu-han, YI Jian-ting, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (1647)
Effect of Nano Zeolites on pH, CEC in Soil and Cd Fractions in Plant and Soil at Different Cadmium Levels	CHI Sun-lin, XU Wei-hong, XIONG Shi-juan, <i>et al.</i> (1654)
Dynamic Differences of Uptake and Translocation of Exogenous Selenium by Different Crops and Its Mechanism	PENG Qin, LI Zhe, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (1667)
Alleviation Effects of Exogenous Melatonin on Ni Toxicity in Rice Seedlings	LIU Shi-xiang, HUANG Yi-zong, LUO Ze-jiao, <i>et al.</i> (1675)
Forms Distribution and Ecotoxicity of Three Forms of Sulfonamides in Root-Soil Interface of Maize	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Wan-feng, <i>et al.</i> (1683)
Effect of Sediments on Bioaccumulation of Mercury in Fish Body in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area	SUN Song, LI Chu-xian, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (1689)
Bioaccumulation and Correlation of Heavy Metals in Human Hairs From Urban and Rural Areas of Chongqing	HE Ming-jing, LI Qi, WANG Deng-xiang, <i>et al.</i> (1697)
Microbial Community Structure and Diversity in Cellar Water by 16S rRNA High-throughput Sequencing	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (1704)
Performance Improvement of Microbial Fuel Cell with Polyaniline Doped Graphene Anode	HUANG Li-hua, LI Xiu-fen, REN Yue-ping, <i>et al.</i> (1717)
Brief Introduction of Pollution Sites Remediation and Risk Assessment and Its Policy Making in United States	RONG Yue (1726)