

我国污水灌溉现状及典型区域分析

刘小楠,尚 鹤,姚 斌

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091)

摘 要:从具体国情出发,回顾了我国污水灌溉发展状况,综述了污灌区环境、污染物类型、迁移规律以及污灌对土壤-作物系统的影响等问题,并针对典型污灌区的现状进行了具体分析,提出了一些急需解决的问题及建议。旨在为科学合理地进行农田污水灌溉、缓解水资源供需矛盾及修复污灌区环境污染提供基础资料和参考建议。

关键词:污水;灌溉;水资源

中图分类号:S273.5

文献标识码:A

中国是一个水资源相对缺乏的国家,水资源短缺和污染问题尤为突出。一方面,工业发展离不开水,而农业更需要水,工农业争水问题越来越成为社会发展的制约因素,特别是在我国北方的干旱和半干旱地区;另一方面工业、城市又排放大量的污水,既污染环境,又浪费大量水源。因此,对污水的再生利用是开源节流、减轻水体污染程度、改善生态环境、解决缺水问题的有效途径之一。这也是我国许多地方特别是北方地区,污水灌溉势在必行的原因^[1]。但是,由于污水处理能力低及环保意识淡漠,且污水成分复杂,会带来一系列的水土环境、生态安全等问题。

本文从具体国情出发,综述了污灌区环境状况、污染物类型、迁移规律以及污灌对土壤-作物系统的影响等问题,并针对典型污灌区的现状进行了具体分析,提出了一些急需解决的问题及建议。旨在为科学合理地进行农田污水灌溉、缓解水资源供需矛盾及修复污灌区环境污染提供基础资料及参考建议。

1 研究进展

我国的污水灌溉历史可分为自发阶段、初步发展阶段、迅速发展阶段、稳定发展阶段。从地域分布上,污灌农田主要集中在北方水资源严重短缺的海、辽、黄、淮 4 大流域,约占全国污水灌溉面积的 85 %^[2]。相关研究主要集中在以下几个方面。

1.1 污水灌溉对环境的影响及其机理研究

污水灌溉对环境的影响主要表现在污染物在土壤中的残留、累积和对地下水的污染方面。许多研究表明,污灌区土壤中的重金属和有机污染物含量明显高于背景值甚至超过国家

标准^[3-9],形成了不同程度的土壤污染,且随着灌溉时间的增长呈逐渐加重的趋势^[10,11]。吴国振^[12]通过对白银市污水灌溉区农田土壤进行调查测定,表明污水灌溉区农田 Cu、Pb、Zn、Cd、As 已严重超标,使土壤受到重金属的严重污染。王莉^[13]对沈阳市郊某污灌区土壤中重金属镉的污染状况进行了调查,结果表明经过 10 年左右的停灌和灌渠改造等措施,该区污灌稻田土壤表层 Cd 含量仍然较高,污染程度仍处在停耕前水平的水平。研究表明污水灌溉是造成土壤污染的主要原因,土壤中的污染物与灌溉水中污染物基本一致^[14,14-16]。张乃明等^[16]认为污灌水中重金属 Hg、Cd、Pb 含量的高低与相对应的灌区土壤中重金属的累积量的多少基本一致,对土壤 Cd 累积影响最大的是污水灌溉。

灌溉污水中的污染物一部分被土壤吸附,而另一部分则经过土壤向下移动,最终进入地下含水层,对浅层地下水水质造成一定的影响。宋晓焱等^[17]研究表明浅层地下水中氯离子、总硬度及 TDS 污染与污水灌溉有关。高洪阁^[18]将污灌区和非污灌区的地下水水质进行了对比,发现污灌区地下水中 NO₃⁻ 和其他离子含量均有所升高,非污灌区地下水水质明显好于污灌区。刘春^[19]通过土柱淋滤试验,分析了污灌与地下水氯离子浓度升高的关系,发现污灌是地下水无机氯污染的重要原因。田家怡等人^[20]对山东小清河污灌水、污灌区地下水有机污染物进行测定,从污灌区地下水检出的有机化合物的种类、浓度、来源、类别、沿程分布等方面综合研究,发现小清河污灌已造成了沿岸地下水的有机污染,污染程度与污灌强度有关。

污水灌溉中污染物对环境的影响还表现在对生物群落的影响上^[21-23,77]。韩力峰^[22]发现赤峰市郊区污灌区土壤、蔬菜、地下水中细菌总数、大肠菌群、肠道致病菌的检出高于清灌区。李慧等^[23]认为含油污水灌溉刺激了土壤中好氧异养细菌(AHB)和真菌的生长。张晶等^[77]发现污灌会改变土壤中固氮

收稿日期:2009-03-12

基金项目:国家自然科学基金项目(30540072,307000637);“948”

引进项目“土壤及地下水污染的植物净化技术引进”。

作者简介:刘小楠(1984),女,硕士研究生。

细菌的种群数量和多样性,且这一现象在土壤表层尤为明显。

1.2 污染物迁移转化规律研究

污染物的迁移、转化规律研究,是污水灌溉的基础,也是污水灌溉研究的重点。国内学者对此进行了大量的研究,尤其是重金属在土壤中的吸附、迁移转化规律等方面^[39-49]。由于重金属元素各具不同的特性,其迁移转化的特点以及造成的危害也不尽相同。

张乃明等^[40]研究了太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征,发现耕层土壤中 Pb 和盐分服从正态分布,Cl⁻服从对数正态分布;并拟合得到 Hg、Pb、盐分的半方差函数模型为指数型,Cd 和 Cl⁻为球型,pH 为高斯型。陆建忠^[41]调查了浦东新区原污灌区现存的农田土壤中若干重金属污染物的含量,结果表明越靠近明渠,灌溉机率高,污灌量越大,污染越严重。韩晋仙等^[42]研究了污灌对潮土重金属含量及分布的影响。发现进入潮土的重金属主要累积在潮土的耕作层,随着土壤深度的增加,重金属含量逐渐减少;相对其他重金属而言,As 更易于在潮土表层滞留。污灌区潮土 Cu、As 与 Cd 含量与距污染源距离呈线性相关。段飞舟等^[49]研究了灌溉水质对鞍山宋三污灌区稻田土壤重金属含量的影响,结果表明土壤 6 种重金属污染物空间分布的峰值均出现在工业废水进行灌溉的区域。

此外,对有机污染物也有相应的研究。孙立波等^[78]利用污染物残留模型对东北某灌区两种持久性有机污染物的含量、分布趋势进行了评价。陈静等^[81]研究了天津污灌区土壤剖面中多环芳烃含量的分布特征,结果表明,PAHs 总含量在土壤剖面的纵向分布总体上是随着土壤剖面的加深而降低。由于长期污水的淹灌作用,水稻田中 PAHs 含量出现了局部异常高值。龚钟明等^[79,80]对天津市郊农田土壤中有机关农药的残留及分异规律进行了研究,结果显示 8 种所测农药的检出率为 100%,均服从对数正态分布。

1.3 污水灌溉对作物的影响及其机理研究

污水灌溉对作物的影响研究主要包括污灌对作物品质、生态指标、酶活性的影响以及污染物在作物体的积累等方面。

污灌对于作物品质的影响,目前看法不一。冯绍元^[24]和齐广平^[25]等人分别研究了污水灌溉对冬小麦和茄子的生长和产量的影响,结果表明污水灌溉促进了这两种作物的生长。而大多数研究表明污灌会降低作物的品质^[26-29]。谢建治^[26]对保定市的蔬菜调查显示:污灌区叶菜类和根菜类的营养品质指标(粗纤维、粗蛋白、还原糖)含量明显低于清灌区的各项指标。因重金属污染而导致蔬菜营养品质的改变不可轻视。张永清^[27]和刘登义^[28]等人均利用水培方式研究了污水直接灌溉对小麦根系及幼苗生长影响,发现污灌胁迫条件加速了小麦幼苗绿叶和根系的衰亡,并使根系活力明显下降。污水浇灌的小麦幼苗与对照组相比:植株矮小、根短、根数目少,茎、叶、根的干重、鲜重和可溶性蛋白含量均明显降低,并出现叶尖枯黄,叶片色素含量下降,MDA 水平上升,SOD、POD 和 CAT 活性显著下降。齐志明等^[29]在北京东郊进行田间试验。结果表明,污水灌溉抑制了夏玉米的生长发育,使夏玉米株高和叶面积指数受到影响,产量和干物质量明显减少。

污灌区的许多作物出现重金属和有机化合物累积和超标

的现象^[6,14,30-33]。银川某污灌区生产大米中铅的质量分数超过国家对食品中铅的质量分数规定的最高限定值 10 倍,已经不能食用^[30]。山东小清河小麦和蔬菜中各检出有机化合物 34 和 32 种^[31]。不同的作物对污染物的吸收累积强度不同^[15,32,34-36],而且在各个部位累积情况也不相同^[6,14,37-38]。王庆仁^[35]对我国几个典型重工业区和污灌区木本植物、水生或湿地植物、农作物以及蔬菜、杂草的重金属污染状况进行野外调查与采样分析。结果显示湿地植物对 Zn、Ni、Cd 的吸收累积明显高于水生植物;蔬菜和水稻对 Cd、Cr、Zn 的吸收累积量较高。某种水生植物对 Zn 的吸收富集能力甚至已经达到重金属超富集水平,为污染土壤的植物修复提供了可能。高峻山^[14]对鞍山宋三灌区的几种蔬菜的研究表明污水直接灌溉的叶菜类污染较重,而经过土壤过滤和与污水接触不十分紧密的地下茎类菜稍有污染,生长在枝条上的果类菜基本上没有受到影响。杨庆娥^[37]发现四种重金属在白菜中的积累趋势为 Zn > Pb > Cu > Cd,且根部含量大于叶中。王广林^[38]认为水稻对 Cu 的积累程度是根 > 茎叶 > 籽粒,对 Zn 则是茎叶 > 根 > 籽粒。

1.4 污水灌溉的技术措施研究

合理的制度及科学的技术对于解决我国当前由污水灌溉引发的种种问题有着非常重要的作用。但我国污水灌溉技术研究刚刚起步,且主要是研究污水灌溉对作物与土壤的影响^[50-56]。黄爽等^[51]采用不同的灌水技术,利用环境容量法,分析预测了石家庄污灌区在不同条件下土壤和作物中重金属和石油类浓度的发展以及相应污、清水的灌溉需水量。认为在未来 30 年内,石家庄污灌区必须实行清污混灌和轮灌。鉴于作物株体不同部位对污染物累积程度不一,呈现根、茎、叶、籽粒果实递减的规律。胡焱^[56]提出了不同作物的污水灌溉制度:食用根、茎、叶的蔬菜和土豆等作物应杜绝污灌,小麦、玉米、谷子、棉花等作物可适量的引污灌溉。对有清水水源的地方,坚持清、污轮灌或混灌方式,减少污灌次数和污灌量,以保证经济和环境效益的持久性。

1.5 污水灌溉对人体健康的影响研究

污水灌溉是否对人体产生危害,是以上一切研究的根本所在,受到了越来越多学者的重视^[57-66]。污水灌溉对人们身体健康的影响主要通过三条途径:一是污水灌溉造成土壤和作物污染,使得污染物在农产品中积累,通过食物链进入人体内积累,从而导致多种慢性疾病;二是污水灌溉导致地下水受到污染,通过生活饮用水而使人体产生急性和慢性中毒反应;三是污水灌溉带入农田的污染物大于农田的自净能力时,则其中的硫化氢等有害气体、病菌、寄生虫卵等会对该地区环境卫生造成污染,对人体健康产生危害。冯永春^[59]研究证明污灌区居民的消化系统主要疾病、恶性肿瘤的发病率高于清灌区。朱静戈^[81]认为污水中的病原体对于农业劳动者和农产品的消费者,具有潜在的健康风险。禹果^[82]利用 umu/ SOS 实验对北京大兴污灌区土壤的遗传毒性进行了分析,证实该区域土壤中存在遗传毒性物质的积累,推测为多环芳烃类。杜宇欣^[64]、韩树清^[65]及孙增荣^[66]等人分别通过 Ames 试验,发现污灌区有对人体致突变的可能性存在。但由于此类危害多具有长期潜伏性,相应情况很难在短时间内验证。

2 我国典型污灌区现状分析

如前所述,我国污灌农田主要集中在北方水资源严重短缺的地区。按其污染物的类型可分为有机污染物灌区和无机污染物灌区(特别是重金属)两大类。以下就这两类灌区的典型代表进行分析。

2.1 沈抚灌区

2.1.1 污灌区概况

沈抚污水灌区是我国最大的石油污水灌区,位于辽宁省沈阳、抚顺两市之间,属于季风影响的湿润-半湿润温带大陆性气候,年平均气温 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$,年均降雨量为 $650\sim 800\text{ mm}$ 。

灌渠修建于20世纪60年代,每日引自抚顺市工业废水和生活污水约40万t。沈抚灌区的工业废水主要来自抚顺市石油及化工、发电、钢厂等30余家重点污染源的排水。其主要污染特点为石油类有机污染,污染物含量变化较大。多年的监测结果显示石油类和挥发酚分别超过国家标准70倍和200倍之多。污水主要用来灌溉农田。

自20世纪80年代起,随着人们对污水灌溉危害认识和政府重视的加强,污灌区逐步开始了清水灌溉改造和清污分流工程建设,2000年整个污灌区基本实现了区内农田的清水灌溉。但由于辽沈地区水资源短缺,特别是干旱年份尤为严重,个别地区污灌现象仍然存在。多年的污水灌溉虽然为农业提供了水肥资源,促进了农业生产,而且利用了土壤和作物对污水中有机污染物质的净化机能,间接减轻了浑河水系污染,在转害为利方面积累了一些经验。但污灌40年来,该区也产生了很多环境问题。由于长期污灌,在深井子镇的灌渠上游地区,造成了水稻秧苗生长速度缓慢、烂根、粒瘪等现象,产出的大米有浓重的石油味和芳香族化合物气味,污染严重。同时该地域的地下水和地表水水质也受到了严重的影响。据统计,该地区有400多眼井受到不同程度的污染,浅层地下水有浓重的异味及油污。

2.1.2 研究进展

国内针对沈抚污灌区的研究主要集中在石油类有机污染物对土壤、作物和微生物的影响方面^[67-70]。曲健^[67]等人采用GC/MS方法对沈抚灌区上游土壤多环芳烃的含量进行了测定。结果表明土壤中的多环芳烃含量在 $787\sim 2\,4570\text{ }\mu\text{g/kg}$,明显高于清水灌溉土壤。张大庚^[68]等通过对沈抚灌区土壤及水稻的采样分析,同时结合水稻盆栽试验,分析测定了污灌区土壤中石油烃的残留及其对水稻生长的影响。发现土壤中石油烃含量同污灌年限、物理性粘粒含量及土壤质地等有着相关关系。任瑞霞^[69]认为当石油污染物的浓度达到一定程度时,土壤微生物群落结构会发生明显的改变。宋玉芳^[70]研究发现污灌区内土壤有矿物油积累,该区土壤对高等植物表现有不同程度的生长刺激效应,对蚯蚓有急性致死及慢性亚致死效应。

研究和采用有效手段,解决该地区土壤的有机污染问题,恢复该地区土壤的正常生态功能,改善该区域的环境质量也是沈抚灌区研究的重点。陈晓东^[9]等人开展了沈抚灌区土壤嗜油微生物的筛选与利用实验,认为应该针对重污染区采取以微生物修复和菌根技术为核心的土壤生物修复技术。耿春女^[71]

也认为菌根生物修复技术能针对性地解决沈抚污水灌区的主要环境问题。

2.2 北京灌区

2.2.1 污灌区概况

北京市地处华北平原的西北边缘,是全国政治、文化的中心。北京属于湿润-半湿润温带大陆性季风气候,冬季寒冷干旱,夏季高温多雨,多年平均降水量在600 mm。

自20世纪40年代起,北京附近就开始利用工业废水与生活污水进行农田灌溉。到80年代末期,北京地区污灌农田发展到达高峰,达8万 hm^2 ,主要分布在东郊、南郊和西北郊。其隶属海河流域,其灌溉用水主要来源于市区各个工矿企业的废水和城市生活污水。由于污水资源分布和北京市土地利用结构的变化,污灌农田经历了西郊-西北郊-北郊-南郊-东南郊的迁移过程,如今,污灌农田主要分布在通州、朝阳、大兴和丰台区的远郊。

据统计,北京市境内年排放污水总量9.4亿 m^3 ,大量未经处理的废水排入河道和渗井、渗坑,加之过量施用化肥和农药,使得河湖水体和地下水受到严重污染。大量未经充分处理的污水用于灌溉,已经使667万 hm^2 以上农田受到重金属和合成有机物的污染。北京污灌区生产的小麦,稻米籽粒中铅、镉、汞等含量相应增加,稻米籽粒内汞有不同程度的超标现象。

2.2.2 研究进展

对于北京污灌区的研究主要体现在无机污染物,特别是重金属对土壤和作物的影响上^[2,32,72-74]。杨军^[32]对通州凉凤灌区表层0~20 cm土壤重金属调查发现:凉凤灌区土壤Hg污染比较严重,Cu、Pb污染居中,As、Cr、Zn为轻微污染,与1975年的土壤调查值相比,土壤中Hg、Pb、Cu含量有上升趋势。与此同时,该地区小麦籽粒存在明显的重金属污染超标问题。卢桂兰等^[72]通过对北京市通州污灌区土壤现状调查与蔬菜重金属污染监测,结合土壤环境质量标准、食品卫生标准及污灌区污染历史,分析对比该区土壤和蔬菜重金属污染状况及其变化。结果显示通州污灌区土壤样本重金属均高于对照,从近三年的比较来看,土壤中多数重金属含量处于上升趋势。被调查地区蔬菜样品均达到食品卫生标准,污灌区作物尚未受到严重污染。

同沈抚灌区一样,研究和采用有效手段,解决该地区的污染问题,也是这些年来学者关心的重点。任智慧^[75]通过研究发现:填闲作物可以吸收土壤残留氮素,本身又可作为绿肥翻入土壤,改变土壤中养分分布、改良土壤结构,可以作为解决污染问题的有效手段。魏立华^[76]将毛白杨作为Pb、Cd专性植物用于重金属污染土壤的植物修复取得了良好的效果。

3 问题与展望

目前,我国污水灌溉存在的主要问题:一是城市及工业废水总体处理率低,污灌前缺少必要的污水预处理措施,导致污水灌溉水质严重超标;二是污水灌溉总量不断增加,与此相关的污水灌溉的理论和技术研究工作及其相关监控、管理体系严重滞后,难以全面地指导污水资源利用工作;三是污灌区缺乏污水灌溉技术标准与污水灌溉环境监测评价指标体系,区域内由于污灌造成的水环境污染和土壤、农作物污染等众多问题

也基本上处于无人管理状态。针对上述问题,对今后污水灌溉的研究与应用工作提出如下建议:

(1) 深入开展污水灌溉的科学研究,正确认识污水灌溉的利弊,为污水资源的管理和利用提供充分的理论基础。与国外有关研究相比,我国的污水灌溉研究还存在许多不足,如:有关污水灌溉对环境的影响多是对污染物的分散而零碎的研究,重复性较多;对植物的影响多限于现象解释阶段,机理性研究较少。应在现有研究基础上进一步加强研究的力度和深度。污水灌溉对环境的影响是长期的、积累型的,其污染物参与的是一个在生物系统与环境系统相互作用下随时间和空间变化而变化的复杂过程,必须针对这一动态过程进行系统研究。应该积极开展污水灌溉对土壤肥力、作物生理生长、品质和产量的研究,研究不同类型污水、不同灌溉定额条件下的变化。在综合应用研究成果的基础上实现科学适度的污水灌溉。

(2) 健全管理体制,从宏观政策层面上做好引导。相关部门要相互配合,实行包括污水资源在内的水资源统一管理,为污水灌溉实践提供充分的制度保障。建立和完善污水灌溉利用和污水土地处理的标准体系和评价体系,加强水质监测系统,制定全面的污水灌溉规划,为污水灌溉的应用提供必要的技术支持。

(3) 针对已经出现的问题要积极进行修复工作,引入新技术、新手段。广泛开展国际交流,学习国外的先进经验与方法。我国对污水灌溉技术、方法的研究大多处于理论及试验阶段,距离指导农业实践甚至是大规模的普及推广还有一定距离。对于污灌引起的各类问题的修复与治理也属于起步阶段,急需加强。如:可以利用 3S 技术结合统计学方法对污灌区土壤质量和污染情况进行时空上的评估和预测。对于长期污灌区的污染土壤、水体采用植物和微生物结合的生物修复技术等。

总之,采取积极有效的对策和科学的态度,加强污水灌溉相关理论和技术的研究,对合理地进行农田污水灌溉、缓解我国日益加剧的水资源供需矛盾,保护生态环境,实现可持续发展具有极其重要的意义。 □

参考文献:

- [1] 杨 飞,蒋丽娟. 浅议污水灌溉带来的问题及对策[J]. 节水灌溉, 2000, (2): 23 - 25.
- [2] 杨华锋. 北京地区污水灌溉农田若干特征研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [3] 王世斌,姜 勇,梁文举. 沈阳西郊污灌区农田土壤镉污染特征研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2006, 22(3): 450 - 453.
- [4] 周秀艳,李培军,孙洪雨. 辽宁典型工矿区与污灌区土壤重金属污染状况及原因[J]. 土壤, 2006, 38(2): 192 - 195.
- [5] 谢建治,刘树庆,王立敏,等. 保定市郊土壤重金属污染现状调查及其评价[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(1): 38 - 41.
- [6] 杨荣江. 奎屯市污灌区蔬菜重金属含量研究[J]. 干旱环境预测, 2004, 18(3): 150 - 152.
- [7] 王喜龙,徐福留,李本纲,等. 天津污灌区苯并(a)芘、荧蒽和非生态毒性的风险表征[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(4): 10 - 12.
- [8] 陈 静,王学军,陶 澍,等. 天津污灌区耕作土壤中多环芳烃的纵向分布[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 272 - 274.
- [9] 陈晓东,常文越,冯晓斌,等. 沈抚灌区土壤生态恢复途径初步研究[J]. 环境保护科学, 2002, 28: 33 - 35.

- [10] 张乃英. 鞍山宋三污灌区土壤重金属污染状况评价[J]. 监测分析, 2005, 41 - 44.
- [11] 张书海. 污灌区重金属污染对土壤的危害[J]. 环境监测管理和技术, 2000, 12(2): 22 - 24.
- [12] 吴国振,卢国俭. 白银污灌区土壤重金属污染的调查与防治措施[J]. 甘肃有色金属, 2002, 16(4): 8 - 14.
- [13] 王 莉,郭淑满. 某灌区土壤中重金属镉污染调查[J]. 环境监测管理和技术, 2006, 18(2): 19 - 21.
- [14] 高俊山,杨俊明. 鞍山市宋三污灌区污水灌溉对土壤、作物影响研究[J]. 环境科技, 11(2): 93 - 99.
- [15] 白 云. 郑州市郊污灌区蔬菜重金属污染状况[J]. 农业环境与发展, 2002, 5: 27 - 29.
- [16] 张乃明,陈建军,常晓冰. 污灌区土壤重金属累积影响因素研究[J]. 土壤, 2002, 2: 90 - 93.
- [17] 宋晓焱,尹国勋,谭利敏,等. 污水灌溉对地下水污染的机理研究[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 136 - 138.
- [18] 高洪阁. 污水灌溉区与非污水灌溉区的地下水主要水质指标变化趋势及对比研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(6): 25 - 28.
- [19] 刘 春,谭利敏,尹国勋,等. 焦作市某污灌区地下水无机氯化物污染原因初探[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(2): 124 - 126.
- [20] 田家怡,张洪凯,周桂芬,等. 小清河污灌水质有机化合物污染及对地下水影响的研究[J]. 山东环境, 1995, (1): 15 - 18.
- [21] 杨姝倩. 沈抚污灌区冻结土壤中微生物群落及石油优势降解菌的筛选[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(3): 54 - 56.
- [22] 韩力峰,李文琦,林 杨. 赤峰市城郊污灌区生物性污染现状调查与研究[J]. 内蒙古环境保护, 1995, 7(1): 38 - 42.
- [23] 李 慧,陈冠雄,杨 涛,等. 沈抚灌区含油污水灌溉对稻田土壤微生物种群及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1355 - 1359.
- [24] 冯绍元,齐志明,黄冠华,等. 清污水灌溉对冬小麦生长发育影响的田间试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(3): 13 - 16.
- [25] 齐广平. 生活污水灌溉对茄子生长效应的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2001, 36(3): 329 - 332.
- [26] 谢建治,刘树庆,刘玉柱,等. 保定市郊土壤重金属污染对蔬菜品质的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(4): 325 - 327.
- [27] 张永清,苗果园,张定一. 污灌胁迫对春小麦抗氧化酶活性及根系与幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 662 - 665.
- [28] 刘登义,王友保,张 徐,等. 污灌对小麦幼苗生长及活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1319 - 1322.
- [29] 齐志明,冯绍元,黄冠华,等. 清、污水灌溉对夏玉米生长影响的田间试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 36 - 38.
- [30] 陈志国,汪桂玲,许 实,等. 银川部分污灌区生产大米铅含量分析[J]. 宁夏工程技术, 2004, 3(3): 285 - 286.
- [31] 田家怡,高奎江,王福花,等. 小清河有机化合物污染对污灌区农产品质量影响的研究[J]. 山东环境, 1995, (4): 11 - 12.
- [32] 杨 军. 灌溉水中重金属对土壤和农作物的污染风险[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [33] 周九州. 衡阳县主要农产品产地土壤重金属污染状况研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [34] 文秋红,史 锟,于丽华,等. 沈阳张士污灌区 4 种杂草不同阶段富集 Cd 的研究[J]. 农业环境科学, 2005, 24(5): 843 - 848.

- [35] 王庆仁,刘秀梅,董艺婷,等.典型重工业区与污灌区植物的重金属污染状况及特征[J]. 农业环境保护,2002,21(2):115-118,149.
- [36] 杨 远.主要重金属在水稻土-水稻、小麦籽粒中的分布与聚集特征研究[D]. 成都:四川农业大学,2005.
- [37] 杨庆娥,任振江,高 然.污水灌溉对土壤和蔬菜中重金属积累和分布影响研究[J]. 中国农村水利水电,2007,(5):74-75.
- [38] 王广林,刘登义.冶炼厂污灌区土壤-水稻系统重金属积累特征的研究[J]. 土壤,2005,37(3):299-303.
- [39] 王庆仁,刘秀梅,崔岩山,等.我国几个工矿区与污灌区土壤重金属污染状况及原因探讨[J]. 环境科学学报,2002,22(3):354-358.
- [40] 张乃明,李保国,胡克林.太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征[J]. 环境科学学报,2001,21(3):349-353.
- [41] 陆建忠,徐益章,邱 琴,等.浦东新区原污灌区土壤环境质量现状调查与对策[J]. 上海农业学报,2004,20(2):56-59.
- [42] 韩晋仙,马建华,魏林衡.污灌对潮土重金属含量及分布的影响-以开封市化肥河污灌为例[J]. 土壤,2006,38(3):292-297.
- [43] 杨国栋,马玉新,张红丽.污灌区土壤对Cr(Ⅲ)的吸附和还原作用研究[J]. 农业环境保护,1999,18(3):124-126.
- [44] 韩晋仙,马建华.污灌区土壤-小麦系统重金属污染、迁移和累积-以开封市化肥河污灌为例[J]. 生态环境,2004,13(4):578-580,591.
- [45] 高永华,王 金,赵 莉,等.污灌区土壤-植物系统中重金属分布与迁移转化特征研究[J]. 河北农业大学学报,2006,29(5):52-56.
- [46] 杨 梅.重庆市耕地土壤重金属的空间变异性研究-地统计学方法[D]. 重庆:西南农业大学,2005.
- [47] 李 剑.郑汴公路两侧土壤-小麦系统重金属污染及迁移[D]. 河南开封:郑州:河南大学,2005.
- [48] 杨 潇.污水灌溉土壤养分迁移转化规律的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2006.
- [49] 段飞舟,高吉喜,何 江,等.灌溉水质对污灌区土壤重金属含量的影响分析[J]. 农业环境科学学报,2005,24(3):450-455.
- [50] 官新荷.论聊城市污灌区农业的可持续发展[J]. 青岛大学学报,2000,15(4):76-79.
- [51] 黄 爽,张仁铎,程晓如,等.石家庄污灌区污水灌溉技术的研究[J]. 灌溉排水学报,2003,22(5):29-34.
- [52] 王师千,王允成,王信远,等.临沂市典型污灌区环境质量调查评价与控制对策[J]. 农业环境与发展,2003,3:33-35.
- [53] 齐学斌,钱炬炬,樊向阳,等.污水灌溉国内外研究现状与进展[J]. 中国农村水利水电,2006,(1):13-15.
- [54] 段飞舟,何 江,高吉喜,等.污灌区农田土壤环境质量评价[J]. 环境科学研究,2006,19(3):114-116.
- [55] 孙亚梅.面向农业污水灌溉的水污染总量控制[D]. 河北保定:河北农业大学,2005.
- [56] 胡 焱.污水灌溉对土壤环境的污染及对策[J]. 山西水利科技,2005,(2):59-61.
- [57] 温 飞.白银区重金属污染下人体健康风险的初步评价[D]. 兰州:西北师范大学,2005.
- [58] 赖宝春.大余县污灌区镉污染对人体健康影响调查[J]. 环境与开发,1995,10(4):8-9.
- [59] 冯永春,胡本军,巫幸福,等.西河污灌区环境污染对居民健康影响的调查研究[J]. 四川环境,1992,11(2):27-30.
- [60] 王福琳,刘春生,丁 恬,等.小清河污灌区儿童外周血NK细胞变化的研究[J]. 环境与健康,1991,11(6):241-242.
- [61] 王福琳,许百全,丁 恬,等.污灌区居民健康状况的调查研究[J]. 环境与健康,1998,15(6):260-262.
- [62] 张淑兰,刘凤真,于德奎,等.污灌区污泥施肥与肿瘤[J]. 中国慢性病预防与控制,1995,3(6):253-255.
- [63] 田家怡,王希波,韩俊杰,等.小清河污灌区有机化合物污染及对人体健康影响的调查研究[J]. 滨州医学院学报,1991,14(4):74-78.
- [64] 杜宇欣,张淑兰,于德奎,等.清、污灌区深层地下水致突变性研究[J]. 论文摘要,1996,13(4):175.
- [65] 韩树清,于德奎,吕 严,等.清、污灌区土壤、深井水和蔬菜致突变性研究[J]. 癌变·畸变·突变,1995,7(6):361-364.
- [66] 孙增荣,吴丽娜,张淑兰,等.污灌区土壤、地下水、蔬菜致突变性研究[J]. 环境与健康,1996,13(5):203-205.
- [67] 曲 健,汪群慧,杜晓明,等.沈抚灌区上游土壤中多环芳烃的含量分析[J]. 中国环境监测,2006,22(3):29-31.
- [68] 张大庚,依艳丽,郑西来.沈抚污水灌区石油烃对土壤及水稻的影响[J]. 土壤通报,2003,34(4):334-336.
- [69] 任瑞霞,张 颖,李 慧,等.石油污染土壤水改旱后污染物组分及微生物群落结构变化[J]. 应用生态学报,2007,18(5):1107-1112.
- [70] 宋玉芳,周启星,宋雪英,等.石油污染土壤污染物的残留与生态毒理[J]. 生态学杂志,2004,23(5):61-66.
- [71] 耿春女,李培军,陈素华,等.菌根生物修复技术在沈抚污水灌区的应用前景[J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(7):51-55.
- [72] 卢桂兰,韩 梅,李发生.北京市通州污灌区土壤环境质量监测和蔬菜重金属污染状况研究[J]. 中国环境监测,2005,21(6):59-62.
- [73] 王学军,邓宝山,张泽浦.北京东郊污灌区表层土壤微量元素的小尺度空间结构特征[J]. 环境科学学报,1997,17(4):412-416.
- [74] 朱桂珍.北京市东南郊污灌区土壤环境重金属污染现状及防治对策[J]. 农业环境保护,2001,20(3):164-166,182.
- [75] 任智慧.京郊露地菜园土壤硝酸盐累积及阻控对策[D]. 北京:中国农业大学,2003.
- [76] 魏立华.毛白杨种群对土壤重金属Pb、Cd污染的修复效应[D]. 首都师范大学,2002.
- [77] 张 晶.长期有机污水灌溉对土壤固氮细菌种群的影响[J]. 农业环境科学学报,2007,26(2):662-666.
- [78] 孙立波,郭观林,周启星,等.某污灌区重金属与两种持久性有机污染物(POPs)污染趋势评价[J]. 生态学杂志,2006,25(1):29-33.
- [79] 龚钟明,曹 军,朱雪梅,等.天津市郊污灌区农田土壤中的有机氯农药残留[J]. 农业环境保护,2002,21(5):459-461.
- [80] 龚钟明,朱雪梅,崔艳红,等.天津市郊农田土壤中的有机氯农药残留的局地分异[J]. 城市环境与城市生态,2002,15(4):4-6.
- [81] 朱 静,戈程先军,赵建东.污水灌溉健康风险及其预防[J]. 卫生研究,2004,33:118-120.
- [82] 禹 果,肖睿洋,王春霞等.利用umu/SOS实验评价污灌土壤的遗传毒性[J]. 环境科学,2006,27(6):1162-1164.