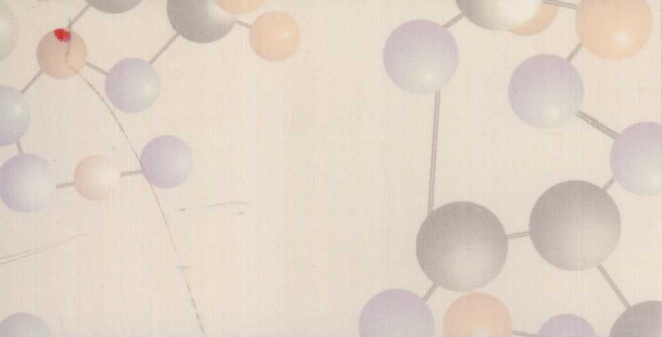




污水灌溉土壤重金属污染

机理与修复技术

周振民 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国美术学院美术考级教材

素描与色彩教学

素描与色彩教学



中国美术学院美术考级教材

污水灌溉土壤重金属污染 机理与修复技术

周振民 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书采取学科交叉理论、边缘学科理论与技术设计应用相结合的技术路线,在大量室内外实验和资料调查的基础上,系统研究了污水灌溉土壤重金属污染的基本理论和污水灌溉制度编制、重金属污染在农田土壤及作物中的运移分布规律、土壤重金属污染预测预警以及土壤重金属污染修复技术等。

本书可供从事非常规水资源开发利用、土壤改良、污水灌溉区域管理、土壤重金属污染作物生长机理、土壤重金属污染土壤生态修复、农业生态环境管理的科研技术人员、教师和管理人员参考,也可作为大专院校有关专业学生的选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

污水灌溉土壤重金属污染机理与修复技术 / 周振民
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011.9
ISBN 978-7-5084-9038-0

I. ①污… II. ①周… III. ①污水灌溉—土壤污染:
重金属污染—理论②污水灌溉—土壤污染: 重金属污染—
修复 IV. ①S273.5②X53

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第200411号

书 名	污水灌溉土壤重金属污染机理与修复技术
作 者	周振民 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.25印张 219千字
版 次	2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言



进入 21 世纪,绿色文明充溢着整个世界。21 世纪的主导产业是生态农业,21 世纪的主导产品是绿色食品。生态农业和绿色食品就是要求食品和农业产品的原料产地、加工工艺及生产成品绿色化、无害化,不危及人类健康和生态系统的良性循环。

污水资源化是解决农业灌溉水源不足的一项重要而有效的措施。在我国古代人们就有意识地利用污水灌溉农田,局部地区小规模利用城市工业和生活污水灌溉农田也有近百年的历史。新中国成立后的污水灌溉开始于 1957 年,截至目前已有 50 多年的历史。1958 年,我国的城市污水处理与利用被列入国家科研课题,自此开始了规模化的引污灌溉,并首先在青岛、大连、太原、北京、天津、西安等一些北方缺水的大城市开展了城市污水回用试验研究。由于当时我国城市污水的水质成分相对单一,污水灌溉的节肥、增产效益显著。随着农业可用水资源量的减少,污水灌溉面积逐年扩大。

污水灌溉在一定程度上缓解水资源带来的压力和农业用水的紧张局面,也带来了一定的社会经济效益。但是随着时间的推移,污水灌溉同时也带来严重的环境问题。污水中虽然含有作物需要的氮、磷、钾等营养元素,同时也含有一些有毒、有害物质。据统计,我国已有 1000 万 hm^2 的农业土地受到不同程度的污染。这些土壤污染包括重金属对土壤的污染、农药对土壤的污染、酸性沉降物对土壤的影响等污染类型。重金属具有污染物的多元性、隐蔽性、一定程度上的长距离传输性和污染后果的严重性,因此土壤污染研究的主要污染物是重金属。

在我国的一些地方,重金属污染的问题相当严重,对人的健康产生了重大影响。土壤重金属污染具有比较强的隐蔽性,例如,即使铅含量在 4000mg/kg 的土壤中,作物对铅吸收后也未有作物出现宏观病症。为了减少食物中铅对人体的潜在危害,研究土壤中铅的含量对农作物的影响具有极其重要的意义。从查得的文献来看,关于铅的作物效应的研究,国内外已有不

少报道，目前多集中在小麦、水稻等作物上，对玉米的研究也有报导，但多为单一污染的重金属逆境胁迫且集中在玉米苗期或成熟期的研究上，不少研究结果还存在分歧。本书从室内外实验着手，探索重金属在玉米中的积累分布规律，探讨了土壤重金属对人类健康的影响，为玉米重金属污染预测提供理论依据，对玉米无公害化的生产和推广具有一定的意义。同时，为合理、安全、高效地利用污水资源，尤其是对制定劣质水灌溉制度、污染土壤的生态修复等提供理论依据和技术支撑，并为改善人类的生存环境提供一定的科学依据。

全书共分为九章，第1章为绪论，主要介绍研究背景，包括国内外研究现状，研究目的意义，研究内容及技术路线等。第2章为研究区概况，系统研究了实验区的自然地理、土壤作物、污水灌溉等基本状况。第3章为污水灌溉实验和污水灌溉制度改进研究，主要介绍野外污水灌溉试验、污水灌溉盆栽试验、污水灌溉制度编制等。第4~8章分别研究了重金属污染在农田土壤及作物中的运移分布规律；污水灌溉对生态环境的影响评价；污水灌溉土壤污染生态风险评估；土壤重金属污染灰色预测模型；土壤重金属污染预测预警模型以及土壤重金属污染生态修复技术等。第9章为结论与建议。

在本书编写过程中，作者参考了近10年来在污水资源化和污水灌溉方面所承担的国家级、省部级研究课题资料。在这些研究中，通过观测和野外与室内实验，积累了大量资料，为完成本书奠定了基础，可以说本书的完成是作者10余年来在污水灌溉土壤重金属污染研究方面成果与汗水的累积。

由于污水灌溉土壤重金属污染机理和生态修复技术是一项复杂艰巨的工程，涉及学科广泛，土壤—植物系统中的重金属循环受着多种因素的制约，除了环境因子和土壤理化性质外，复合污染中单个元素的效应也受控于其他共存元素，它们之间存在着协同或拮抗效应；同时由于复合污染的普遍性与多样性，因此，复合污染的机理、土壤污染生态修复等技术复杂，任务繁重，研究前景广阔。

华北水利水电学院王学超、梁士奎和周科参加了本项目研究和本书编写工作；常慧、李素萍、付艳萍、岳小松、朱彦云等同志参加了本项目的实验研究、资料整理等工作。河南省豫东水利局惠北科学试验站冯跃华高级工程师和该单位有关技术人员参加了项目观测实验及资料整理工作，在此一并表示感谢。

由于时间紧，污水灌溉区土壤重金属污染因素复杂，研究课题技术难度大，书中不足之处在所难免。对于书中出现的疏忽、遗漏甚至是谬误之处敬请读者批评指正。

作者

2011年6月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 课题来源、研究内容及技术路线	4
第 2 章 研究区概况	6
2.1 自然地理概况	6
2.2 河流水系状况	6
2.3 土壤、作物	7
2.4 水资源概况	8
2.5 污水灌溉水质	9
第 3 章 污水灌溉实验和污水灌溉制度改进研究	11
3.1 野外污水灌溉实验	11
3.2 作物盆栽污水灌溉实验	16
3.3 污灌制度对夏玉米生长的影响	27
3.4 污灌对土壤含水率的影响	29
3.5 污灌区灌溉制度改进研究	30
第 4 章 重金属污染在农田土壤及作物中的运移分布规律研究	32
4.1 重金属在土壤水平方向上的分布特征	32
4.2 重金属在土壤垂直方向上的分布特征	34
4.3 土壤重金属迁移率	36
4.4 重金属在玉米体内的分布特征以及富集能力分析	38
4.5 重金属在玉米体内不同部位富集能力分析	42
4.6 土壤和玉米中重金属含量的相关性分析	43
4.7 土壤中重金属的迁移分析	47
第 5 章 污水灌溉对生态环境的影响评价	48
5.1 污水灌溉生态环境影响概述	49
5.2 污水灌溉生态环境质量评价	51
5.3 开封市污水灌溉生态环境影响经济评价	59
5.4 土壤重金属污染灰色预测模型及应用	67
5.5 研究实例	73

第 6 章 污水灌溉土壤污染生态风险评估	82
6.1 生态环境风险评价的相关概念	82
6.2 土壤重金属污染成因分析及影响	84
6.3 污灌区生态环境风险评价指标体系	86
6.4 污灌区土壤重金属污染生态环境风险评价方法	88
6.5 开封市污灌区土壤重金属污染生态环境风险评价	97
第 7 章 土壤重金属污染预测预警模型的研究	114
7.1 预警及其相关概念	114
7.2 土壤重金属预警特点	114
7.3 土壤重金属污染预警类型	115
7.4 预警模型建立	116
7.5 研究实例	118
第 8 章 土壤重金属污染修复技术研究	120
8.1 土壤重金属污染现状	120
8.2 重金属土壤污染的修复技术	120
8.3 我国重金属污染土壤大生物量非超富集植物修复技术研究	124
8.4 玉米对土壤中 Pb 的吸收效应	126
8.5 开封市土壤重金属污染修复对策	130
第 9 章 结论与建议	132
9.1 主要结论	132
9.2 创新点	134
9.3 建议	134
参考文献	136

第1章 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

目前,世界上有80多个国家的20多亿人口正面临着淡水资源危机,联合国数据表明,20世纪全球用水量增加36倍,是同期人口增长的两倍之多,快速增长的水需求造成了有史以来最严重的水危机。在全球缺水的背景下,我国的水资源也面临着严重的挑战。我国水资源总量达2.8万亿 m^3 ,居世界第6位,但人均占有量仅为世界人均占有量的1/4,是世界上公认的13个贫水国之一。据中国工程院《中国可持续发展水资源战略研究综合报告》显示,全国目前缺水总量为300亿~400亿 m^3 ,到2030年国民经济需水总量将增加1400亿 m^3 。由于严重缺水,导致受旱成灾面积不断扩大,河流干涸断流频繁,每年因缺水减产粮食750亿~1000亿 kg ,工业产值减少2300亿元。据统计,当前全国669个城市中有400多个城市常年供水不足,其中又有100多个城市水资源严重缺水,自2000年5月到2003年上半年,全国有11个省(自治区、直辖市)的103万座县城以上城市供水短缺,农作物因干旱受灾面积达280万 hm^2 ,有2260万农村人口和1450万头牲畜发生饮水困难,按现状用水量统计,全国中等干旱年缺水358亿 m^3 ,其中农业灌溉缺水300亿 m^3 。我国有效灌溉面积从1990年的0.47亿 hm^2 增长到2003年的0.56亿 hm^2 ,已经成为世界第一灌溉大国。以灌溉为主的农业用水量占全国总用水量的70%以上,水资源的匮乏已经严重影响到人们的日常生活和农业生产。

与此同时,我国废污水排放量呈增长趋势,2003年全国废污水排放总量达680亿 t ,其中工业废水占2/3,城镇生活污水占1/3,比1980年增加了2倍多,而且这些污水大部分得不到有效处理。现有许多中小城市的污水处理率不到50%,未经处理的废污水直接排入河流等地表水体,造成了我国地表水体污染问题日益突出的态势。据国家环保总局《2001年中国环境状况公报》公布,2001年中国七大重点流域地表水遭到普遍有机污染,其中752个重点断面中,V类和劣V类水质断面占52.8%。污染最为严重的海河、辽河以及淮河流域,V类和劣V类水质断面比例分别达67.1%、70.0%和59.7%。随着污水排放量的增加,水污染事故不断发生。据统计,2001~2004年,全国共发生水污染事故3988起,平均每年近1000起。黄河流域自1993年以来,发生较大的水污染事故40多起。目前,全国农村尚有3.22亿人的饮用水不安全,其中约有1.9亿人的饮用水有害物质含量超标,6300多万人饮用高氟水、苦咸水、污染水,200多万人饮用高砷水。“中国的环境保护(1996—2005)白皮书”指出,环境污染带来的经济损失占到国内生产总值(GDP)的10%。可以看出,污水的大量排放所产生的负面环境效应十分惊人。

我国总体水资源不足,再加上水体污染日益加剧,同时,随着国民经济的快速发展和人民生活水平的提高,灌溉用水不断被工业和城市生活用水所挤占,农业生产缺水日益严

重,特别是我国北方地区,由于水资源的开发利用几乎达到了临界状态,农业灌溉用水的不足只能通过节水灌溉、污水灌溉甚至严重超采地下水来弥补。因此,加强污水资源的管理、合理开发和安全高效利用,对于缓解农业用水紧缺,实现水资源的可持续利用,显得尤为迫切。

近年来,污水资源化这一既能弥补现有水资源的不足,又能有效抑制水环境污染的途径越来越受到了世界各国的关注。污水资源化是指城市污水和工业废水经过适当处理达到一定的水质标准,使之可再用于农业、工业、市政、游乐设施甚至城市给水,达到充分利用水资源和减轻环境污染负荷的目的。污水资源化目前主要用于污水灌溉。污水灌溉就是人们有意识、有目的地利用土壤环境自净功能,具体地说就是以资源合理利用与环境保护相结合,短期利用与长期防污治理相结合,直接经济效益与生态系统经济效益并重为原则,利用经过适当处理的工业污水、生活污水来灌溉农田。将这些污水用于农业灌溉,不仅可以利用土壤—微生物—植物系统的陆地生态的自我调控机制使水质得到不同程度的改善,降低污水处理成本;而且可以通过对污水中含有作物生长所需的 N、P、K 等营养元素和水分的利用,促进绿色植物生长。因此,污水灌溉既可以取得较好的经济效益,又可以保护环境,是一种符合可持续发展的回用方式。

污水灌溉在世界上的应用已有近百年的历史,美国、澳大利亚、日本和以色列等国家污水灌溉技术比较成熟。我国污水灌溉起始于 20 世纪 50 年代,1957 年建工部联合农业部、卫生部把污水灌溉列入国家科研计划,正式兴建污水灌溉工程,至今已历时近半个世纪。我国污水灌溉发展过程大致经历了起步、稳定和快速发展三个阶段。20 世纪 50 年代末至 60 年代初为起步阶段。当时人们普遍认为污水是一种很好的水肥资源,并可以给工业污水找到出路,应当大力发展,而对环境问题认识不多。据 1963 年统计,全国污灌面积仅有 4.2 万 hm^2 ,污灌对农村水环境的影响不明显。第二个阶段是从 20 世纪 60 年代后期到 70 年代初中期,污水灌溉的环境污染问题开始引起社会的关注,但由于废污水排放量日益增多,且农业用水日益紧张,许多大、中城市近郊和工矿区附近的农田越来越多地利用污水灌溉。截至 1976 年,全国污水灌溉面积已增加到 18 万 hm^2 。20 世纪 70 年代后期开始为第三阶段。这段时期随着国民经济的快速增长,城市及工业废污水排放量迅猛增加,污水灌溉面积也随之迅速扩大。1950 年全国污灌面积已达 133 万 hm^2 ,1991 年发展到 306 万 hm^2 ,年均增长 11.5%。目前,我国污水灌溉农田面积 360 余万 hm^2 ,占全国总灌溉农田面积的 7.3%,主要分布在我国北方水资源严重短缺的海、辽、黄、淮四大流域,约占全国污水灌溉面积的 90%,大部分集中分布在相应大中城市的近郊区或工矿区。

从国外污水利用来看,美国目前已建成 3400 余处污水再利用工程,50 个州有 45 个州采用了污水灌溉。印度自 20 世纪 80 年代开始,每年用于农田灌溉的污水占城市污水量的 50% 以上。以色列污水利用率达 70%,其中 1/3 用于灌溉,约占总灌溉水量的 1/5。据估计,目前全世界约有 1/10 的人口食用利用污水灌溉的农产品。由此可见,污水灌溉的实践在世界范围内非常普遍。

污水灌溉在一定程度上缓解水资源带来的压力和农业用水的紧张局面,但是随着时间的推移,污水灌溉同时也可能带来严重的环境问题。污水中虽然含有作物需要的 N、P、K 等营养元素,但同时也含有一些有毒有害物质。据统计,我国已有 1000 万 hm^2 的农业

土地受到不同程度的污染。这些土壤污染包括重金属对土壤的污染、农药对土壤的污染、酸性沉降物对土壤的影响等污染类型。因为重金属具有污染物的多元性、隐蔽性、一定程度上的长距离传输性和污染后果的严重性,因此土壤污染研究的主要污染物是重金属。

土壤重金属污染是指由于人类活动将重金属加入到土壤中,致使土壤中的重金属含量过高,并造成生态环境恶化的现象。土壤中的一些重金属元素在低浓度时,对植物而言是必需元素;但有些重金属元素在过量时就会对植物产生毒害作用,如 Zn、Cu、Cr、Ni、Cd、Hg、As、Pb 等。在我国,土壤重金属污染主要来自采矿、冶炼、电镀、化工、电子、制革、染料等工业生产的“三废”以及污灌、农药、化肥的不合理施用等。据农业部组织的全国性污灌区调查,我国污灌区遭受重金属污染的面积占总污灌面积的 64.8%,其中轻度污染面积占 46.7%,中度污染面积为 9.7%,重度污染面积为 8.4%,这其中以 Hg、Cd 的污染面积最大。如沈阳张士灌区用污水灌溉 20 多年后,污染耕地 2.5 万 km²,造成了严重的镉污染,稻田含镉 5~7mg/kg。20 世纪 80 年代中期对北京某污灌区进行的抽样调查表明,大约 60% 的土壤和 36% 的糙米存在污染问题。每年因土壤污染而减产粮食 1000 万 t;另外还有 1200 万 t 粮食中的污染物超标,两者的直接经济损失达 200 多亿元。

重金属是农业生态系统中一类具有潜在危害的化学污染物。重金属 As、Cd、Hg、Pb 是污水的主要组分之一,它们对作物、土壤和地下水都有潜在的威胁。污水中的重金属积累到一定程度就会对土壤—植物系统产生毒害,不仅导致土壤退化、农作物产量和品质降低,而且通过径流和淋洗作用污染地表水和地下水,恶化水文环境,并可能通过直接接触、食物链等途径危及人类的生命和健康。例如,1955 年日本富山县发生的“镉米”事件,原因是农民长期使用神通川上游铅锌冶炼厂的含镉废水灌溉农田,导致土壤和稻米中的镉含量增加。当人们长期食用这种稻米,使得镉在人体内蓄积,从而引起全身性神经痛、关节痛、骨折,以致死亡。重金属在土壤中积累到一定限度就会对土壤—植物系统产生毒害,并可能通过接触食物链直接或间接地对人体健康产生危害。由于土壤中的重金属不能被微生物分解,且可为生物富集,土壤一旦被重金属污染,其自然净化过程和人工治理都是非常困难的,对人类有较大的潜在危害。因此,研究污水灌溉带来的重金属污染问题,特别是重金属污染物对土壤—作物系统的影响显得尤为重要。

1.1.2 研究目的意义

进入 21 世纪,绿色文明充溢着整个世界。21 世纪的主导产业是生态农业,21 世纪的主导产品是绿色食品。生态农业和绿色食品就是要求食品和农业产品的原料产地、加工工艺及生产成品绿色化、无害化,不危及人类健康和生态系统的良性循环。在我国的一些地方,重金属污染的问题相当严重,对人的健康产生了重大影响。土壤重金属铅污染具有较强的隐蔽性,即使铅含量在 4000mg/kg 的土壤中,作物对铅吸收后也未有作物出现宏观病症。为了减少食物中铅对人体的潜在危害,研究土壤中铅的含量对农作物的影响具有极其重要的意义。从查得的文献来看,关于铅的作物效应的研究,国内外已有不少报道,目前多集中在小麦、水稻等作物上,对玉米的研究也有报导,但多为单一污染的重金属逆境胁迫且集中在玉米苗期或成熟期的研究上,不少研究结果还存在分歧。

本项目选择河南省开封市为实验基地,分别研究了污水灌溉方式和污水灌溉制度研

究、污水中有害物质在农田土壤及作物中的运移规律、土壤污染生态风险评估、土壤重金属污染监测方法与预测预警模型的研究、土壤重金属污染生态修复技术研究及评价等,通过系统性研究,建立污水灌溉地区复合污染试验区,分别采取室内试验和室外观测试验的方法,结合理论研究,探索污染物在作物中的积累分布规律,提出合理的污水灌溉模式和土壤重金属污染生态修复技术。研究成果为合理、安全、高效利用污水资源,对制定劣质水灌溉制度、复合污染土壤的修复技术等提供理论依据和技术支撑。

1.2 课题来源、研究内容及技术路线

1.2.1 课题来源

2002年,为了提高污水资源开发利用水平,确保污水灌溉安全,水利部“948”研究项目“污水资源化与污水灌溉技术”正式启动,主要研究内容包括如下几个方面。

(1) 基于非线性动力波汇流理论,提出了北方干旱地区城市雨水径流模型和雨水汇流模型,并将其成功地应用于城市雨洪资源计算。

(2) 将系统优化理论应用于城市污水资源优化规划与水环境承载能力研究,为城市建设发展提供了技术支持。

(3) 开发了河流水质模拟信息管理系统计算机软件。

(4) 污水灌溉区土壤污染趋势预测理论技术,首次提出了重金属对土壤的污染趋势预报方案。

(5) 污水灌溉试验分析结果发现,污灌区土壤重金属含量在空间上与其包气带岩性结构剖面相对应,呈现出明显的峰值分布特征,表层(耕作层)是重金属的主要富集区,由此而可能造成粮食污染。

(6) 提出了污水资源价格理论,对于我国城市污水资源的开发利用具有重要意义。

(7) 给出了污水灌溉对于人体健康影响的定量计算方法和计算结果。

2008年4月,以水利部“948”研究项目“污水资源化与污水灌溉技术”的研究成果为基础,在总结前期研究经验的基础上,为了探索解决污水灌溉区土壤污染的有效途径,河南省教育厅下达了“污水灌溉区土壤复合污染生态修复技术研究”(项目编号:2008A570001),规定的主要研究内容如下。

(1) 适宜污水灌溉土壤结构特性分析。

(2) 污水灌溉方式和污水灌溉制度研究。其中包括:污水灌溉的作物品种、生长期、生长期需水量、可实现的产量及对不同污水种类适应性和对土壤污染吸收率等研究。

(3) 污水中有害物质在农田土壤及作物中的运移规律研究。

(4) 土壤污染的生态风险评估方法及预测模型研究。

(5) 土壤复合污染生态修复技术及评价等。

1.2.2 主要研究内容

根据项目立项合同规定的研究任务,结合开封市自然地理条件和污水资源开发利用情况以及污水灌溉区土壤污染现状,本项目涉及的主要研究内容如下。

(1) 开封市污水资源开发利用和污水灌溉区土壤污染调查。

- (2) 污水灌溉实验区建设，包括野外实验和室内实验。
- (3) 污水灌溉方式和污水灌溉制度研究。
- (4) 污水中有害物质在农田土壤及作物中的运移规律研究，包括重金属在土壤水平和垂直方向上的分布特征、土壤重金属迁移率，重金属在农作物体内的分布特征以及富集能力分析等。
- (5) 土壤复合污染生态风险评估，包括污灌区生态环境风险评价指标体系研究，污灌区土壤重金属污染生态环境风险评价方法，以及土壤重金属污染防治对策等。
- (6) 土壤重金属污染监测方法与预测预警模型的研究。
- (7) 土壤重金属污染生态修复技术研究及评价，包括重金属土壤污染的修复技术，开封市土壤重金属污染修复对策等。

1.2.3 研究技术路线

采取面上综合调查、建立野外实验基地和室内实验、理论基础研究、生产实践对策等综合性研究方法，提出既有理论基础又有生产数据，既有室内实验资料支撑又有野外实验基地观测、既有污水灌溉土壤污染的成因规律分析又有土壤污染的生态风险评估、既有土壤污染的预警系统又有土壤污染的生态修复技术等综合性研究成果。研究技术路线设计如图 1.1 所示。

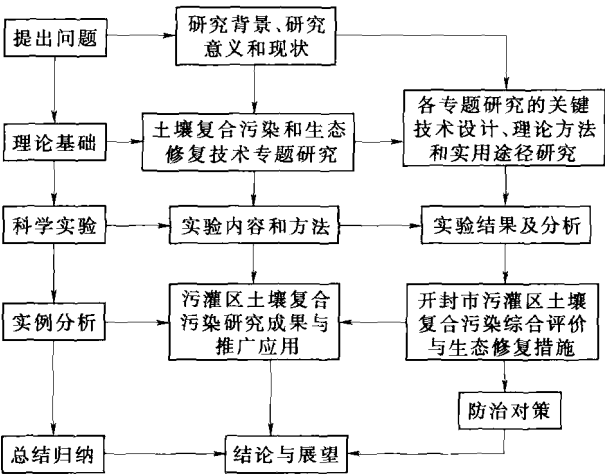


图 1.1 污水灌溉区土壤污染修复技术研究技术路线

第2章 研究区概况

2.1 自然地理概况

2.1.1 地理位置

开封市位于东经 $113^{\circ}51'51''\sim 115^{\circ}15'42''$ ，北纬 $34^{\circ}11'43''\sim 35^{\circ}11'43''$ 。地处河南省中东部，黄河下游南岸，东临商丘市，西连省会郑州市，南接许昌市、周口地区，北靠黄河，与中原油田隔河相望。全市总面积 6444km^2 ，其中市区面积 362km^2 。南北宽约 92km ，东西长约 126km 。东距亚欧大陆桥东端的港口城市连云港 500km ，西距省会郑州 72km ，处于豫东大平原的中心部位。

2.1.2 地形地貌

开封市位于黄河冲积平原的中部，地势平坦，地势由西北向东南倾斜，海拔 $69\sim 78\text{m}$ 。由于黄河在其历史上多次决口、改道，加上风力的长期作用，使平原微地貌变的比较复杂，一方面形成了多条大致平行的西北流向东南的河流，一方面还形成了大面积的泛滥平地及临荒滩地、背河洼地、冲积和封积河丘沙地。

2.1.3 水文气象

开封市属暖温带大陆性气候，四季分明，春季温和多风，夏季炎热多雨，秋季晴朗、凉爽，冬季干旱少雪。年平均气温 14°C ，历年极端最高温度 42.9°C ，历年极端最低温度 -16°C ，平均湿度 $70\%\sim 80\%$ ，多年平均年降水量由东南向西北递减，由 650.0mm 降至 600.0mm ，最大降水量为 1180.0mm ，最小年降水量为 179.2mm ，最大日降水量为 254.4mm 。年降水量分布不均，7~9月占全年降水量的 70% 以上。与年降水量地域分布相反，年平均蒸发量由东南向西北递增，由 1600mm 增至 2000mm ，5月和6月蒸发量最大，占全年蒸发量的 $25\%\sim 30\%$ 。全年无霜 212d 。春季多风，平均风速 $3.5\sim 4.5\text{m/s}$ ，历年最大风速 28m/s 。

2.2 河流水系状况

黄河是开封市主要过境河流，境内长度 88km ，黄河开封段是著名的“地上悬河”段，河底高程比市区平均地面高程高 9m 左右。

开封市流域面积大于 100km^2 的内河主要有贾鲁河、涡河、惠济河、涡河故道、铁底河、康沟河等 33 条河流，均属淮河流域。这些河流多数发源于开封市境内，为雨源型坡水河流。

护城堤以内，主要有黄汴河、北郊沟、清水河、东郊沟与惠济河相连，惠济河是构成向境外排水的防护系统。

护城堤以外，北临有黄河大堤，南侧有马家河北支沟、马家河，东端有惠北泄水渠，

均与惠济河相通。汛期多余洪涝水量，可以通过惠济河汇入淮河支流的河，最后进入淮河网。

惠济河是河南省豫东地区的一条主要排水骨干河道。它发源于开封市济梁闸，流经开封（郊区、县）、杞县、睢县、柘城、鹿邑 6 县（市），于安徽省亳州市大刘庄入涡河。它全长 173.76km，在河南省境内 166.5km，其中有堤段 125km，柘城陈口以下 47km 为地下河段，河床宽深，排涝能力较大，历史上曾达到 50~100 年一遇标准。惠济河有支流 18 条，其中：左岸有 13 条（从上往下是北郊沟、东郊沟、惠北泄水区、柏慈沟、淤泥河、崔林河、茅草河、通惠河、申家河、废黄河、永安河、太平沟及明净沟），右岸有 5 条（从上往下是黄汴河、南郊沟、马家河、蒋河及小洪河）。全流域呈柳叶形，面积 4130km²（开封市为 1679.1km²，商丘市为 2141.9km²，周口市为 309.0km²）。整个流域人口 300 余万人，耕地 30 万 hm²，桥梁 66 座，涵闸 97 座。

惠济河两侧污水灌溉历史最长时间约有 40 年，但随着井灌和引黄河水灌溉，污灌面积逐渐减少，大部分村庄已经属于污水和清水混灌，即间歇式污水灌溉。

惠济河年均接纳工业废水 2233 万 m³，其中化肥厂废水 2110 万 m³，占总废水量的 94.5%，其他还有炼锌厂、磷肥厂、开封药业公司、开封高压阀门厂等，主要污染源是排泄化肥厂废水。虽然经过初步处理，但排入化肥河的废水仍呈明显的富砷（As）特征，据开封市环保局 2000 年汇总近 3 年监测数据表明，As 含量达 0.41mg/kg，明显超出国家规定的灌溉污水 As 含量 0.1mg/kg 的标准。其他成分还有 Zn 0.046mg/kg、Pb 0.046mg/kg、Cd 0.002mg/kg 和悬浮颗粒（SS）等。

惠济河是开封市辖区内污染最严重的河流，每年通过各支流承纳了开封市区排放的 8000 多万 t 工业废水和大量的生活污水，使惠济河从上游起就成为一条污染严重的河流。惠济河进入县区后主要用于农灌，所以它是具有纳污及农灌双重功能的河流。

2.3 土壤、作物

2.3.1 土壤

开封市土壤的成土母质是黄河冲积物。土壤可分为潮土、盐土、风砂土、新积土四大类型、9 个亚类、13 个土属、55 个土种。郊区的土壤中潮土面积大，且分布广。潮土是发育在黄河冲积物上受地下水活动的影响，经过人类耕作熟化而成的比较幼年的土壤。由于黄河冲积物的多次覆盖沉积，土层较厚但耕作层随熟化程度的差异而厚薄不一。水流对成土母质有明显的分选作用，土壤质地层次非常明显但发生层次不明显。土壤石灰反应强烈，呈碱性，pH 值多在 8.4 左右，有机质 N 和 P 含量均比较缺乏，其中有机质平均含量为 1.24%，N 平均含量为 0.072%，速效 P 平均含量为 17mg/L。近年来市郊土壤呈现一定程度的重金属污染。

2.3.2 作物

开封市土地总面积为 64.44 万 hm²，耕地面积 39.7 万 hm²，占土地总面积的 61.6%，其中有效灌溉面积 32.62 万 hm²，占耕地面积的 82.2%，占土地总面积的 50.6%；开封市丰富的光照自然条件适宜于小麦、玉米、花生、豆类、棉花和蔬菜瓜果等多种作物的发

育生长，其中冬小麦（10 月初至次年 5 月中）和夏玉米（5 月中至 9 月底）连作是当地采用的主要作物种植模式，平均复种指数达 1.3。

2.4 水资源概况

2.4.1 水资源总量

开封市境水资源主要包括地表水和浅层地下水，水资源总量多年平均为 8.35 亿 m^3 （不含过境水）。其中地表水为 3.51 亿 m^3 ，占水资源总量的 42%，地下水 4.84 亿 m^3 （允许开采量），占资源总量的 58%。地下水是本区主要的供水水源，由于开发利用的不科学，已造成局部出现地下水位下降、水资源供求矛盾加剧和地面沉降、地裂缝等现象。据地下水水质监测，老城区、县城附近浅层地下水已受到不同程度的污染，特别是沿贾鲁河、惠济河的两岸地区地下水水质污染严重，地下水中氯离子、硫酸根离子、氟化物和大肠杆菌、总硬度均呈上升趋势，大大超过生活饮用水标准。局部中深层地下水也受到不同程度的污染。通过对开封市 17 眼地下水观测井常规监测，符合饮用水标准的井占 25%，不符合饮用水标准的井占 75%，符合灌溉用水标准的井占 100%。

2.4.2 污水排放及回用情况

开封市污水排放的主要行业有造纸及纸制品业、化学工业、纺织工业、医药工业、食品饮料工业等。全市工业废水排污大户主要有新新造纸厂、开封化肥厂、开封制药厂、开封卷烟厂、开封幽兰味精厂、开封凤城造纸厂、河南第一毛纺厂、开封抗生素厂、开封振兴造纸厂、开封啤酒厂、开封印染厂、杞县第二化肥厂、开封酒厂、红旗造纸厂、开封染料化工厂 15 家企业，这 15 家企业累计污染负荷比可达 84.63%，所排放的主要污染物是 COD_{Cr} ，其次是挥发酚、悬浮物、石油类和氰化物等。利用含有这些有机与无机毒物的污水进行农田灌溉，可能将污水中有害有毒的物质带至农田，污染土壤。开封市代表性工业污水主要污染物监测情况见表 2.1。

表 2.1 开封市代表性工业污水主要污染物监测情况 单位：mg/L

年份	COD_{Cr}	悬浮物 SS	氰化物	挥发酚	氟化物	铜	油	砷	NH_3-N	硫化物
1999	102	4.00	0.39	0.001	2.20	0.004	0.50	3.78	88.10	1.10
2000	382	93.00	0.016	0.001	2.73	0.004	1.50	2.69	33.80	0.92
2001	391	44.00	0.002	0.001	5.61	0.403	3.30	7.78	154.00	0.20
2003	129	370.00		-	5.15		1.50	0.15	202.00	0.11

开封市多年平均年水资源总量为 12.2 亿 m^3 ，人均水资源量 253 m^3 ，为全国人均水资源量的 12%、全省人均水资源量的 60%。开封市亩均水资源量 225 m^3 ，不足全国亩均的 40%，属于资源型缺水城市。由于地下水超采严重的问题，使开封市的浅层地下水自 20 世纪 60 年代初以来就处于下降趋势。随着城市化进程的加快、城市人口的快速增加，开封市有限的水资源很难适应社会发展的需求。