



灌区节水改造 环境效应及评价方法

冯绍元 刘 钰 邵东国 等 著
倪广恒 霍再林 毛晓敏



科学出版社

灌区节水改造环境效应及评价方法

冯绍元 刘 钰 邵东国 倪广恒 霍再林 毛晓敏等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在国家“十一五”科技支撑计划课题“灌区节水改造环境效应及评价方法研究”成果的基础上整理而成的。主要内容包括灌区节水改造对农田水循环的影响、灌区节水改造对农业水土环境的影响、灌区节水改造对水肥利用的影响及其调控技术、灌区节水改造环境效应的评价方法、基于生态健康和环境友好的灌区节水改造模式。本书所涉及的内容反映了目前灌区节水改造环境效应及评价方法的最新研究进展。

本书可供农业水土环境、农业水文学、节水灌溉、农业水资源等方面的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

灌区节水改造环境效应及评价方法 / 冯绍元等著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-034883-8

I. ①灌… II. ①冯… III. ①灌区-节约用水-环境效应-研究
IV. ①S274.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 128919 号

责任编辑: 沈 建 / 责任校对: 包志虹
责任印制: 张 倩 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 13

字数: 251 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

大型灌区是我国重要的规模化农业和商品粮生产基地,也是我国农业、农村乃至国民经济发展的重要基础设施,还是广大农民增收致富、改善生活水平、提高生活质量的重要支撑条件。然而,我国的灌区 2/3 以上建于 20 世纪 50~70 年代,其建设标准较低,水资源利用效率偏低。国家发改委和水利部已将改造大型灌区作为农村水利工作的重中之重,从第十个五年计划开始,计划分三期安排总投资 1793 亿元,用 15 年左右的时间基本完成全国大型灌区续建配套与节水改造任务。其核心是以节水增效为中心,通过采取工程、农业和管理等措施对灌区进行综合改造,提高灌溉水的利用效率和水分生产效率,实现灌区水资源的优化配置和高效利用,为国民经济和农业可持续发展、农村经济繁荣和生态环境改善提供支撑与保障。

长期以来,我国在传统的灌区节水改造工程中,主要采用工程措施对渠系进行衬砌,对泵站进行升级改造,对闸坝进行维修加固,改变和改善田间灌溉方法,而忽略灌区节水改造工程对土壤与地下水环境和农田生态造成的影响。在灌区水资源配置方面,也是主要考虑农业生产用水,而对生态环境用水重视不够,致使灌区出现植被衰退、地下水位降低、荒漠化加剧、土壤环境退化等严重的生态环境问题。

为了探讨灌区节水改造的环境效应,在“十一五”国家科技支撑计划“大型灌区节水改造的关键技术与示范”项目中设置了课题“灌区节水改造的环境效应及评价方法”,由中国农业大学、中国水利水电科学研究院、武汉大学、清华大学共同承担。该课题以西北干旱内陆区石羊河灌区、叶尔羌灌区,湖北漳河灌区,引黄灌区之内蒙古河套灌区、山东位山灌区和北京大兴井灌区为研究区域,开展了渠道衬砌对农田水盐影响的试验与模拟研究、(微)咸水节水灌溉对土壤环境影响及作物(春小麦、夏玉米)响应的田间试验研究;对典型灌区节水改造下农田土壤、地下水(盐)进行了定位监测;开展了节水灌溉对农田环境及水肥利率的影响田间及测筒试验;初步构建了灌区节水改造环境效应评价指标体系;改进了平原绿洲四水转化模型。通过上述研究,得到了渠道不同衬砌形式对农田土壤水分的影响过程,(微)咸水节水灌溉条件下农田土壤水分动态及盐分累积特征,渠道衬砌条件下土壤盐分累积及地下水动态规律;获得了农田水肥利用率对灌区节水改造的响应规律,构建了适合灌区水量转化及作物产量模拟的修正 SWAT 模型,并以湖北漳河灌区为例对模型进行了率定和验证;构建了考虑灌区水环境、农田土壤环境、灌溉系统效率、农田小气候、植被与生物多样性及社会生态环境意识的灌区节水改造环境效应评价指

标体系;完善了灌区四水转化模型,并对叶尔羌灌区和位山灌区进行了不同水资源开发利用情景模拟。

参加该项研究的有:中国农业大学的冯绍元、毛晓敏、霍再林、蒋静、王永胜、孙振华、赵志才、秦俊桃、王春颖、陈剑、孙美、姚立强、王莹莹、孙月;中国水利水电科学研究院的刘钰、雷波、杜丽娟、蔡甲冰、王蕾、彭致功、张宝忠;武汉大学的邵东国、崔远来、孙春敏、王洪强、王建鹏、柴明正、顾文权;清华大学的倪广恒、丛振涛、尚松浩、杨汉波、杨红娟等。

各章编写人员如下:

第1章 冯绍元 霍再林

第2章 毛晓敏 王春颖 陈 剑 孙 美 姚立强 王莹莹 孙 月

第3章 霍再林 冯绍元 蒋 静 孙振华 王永胜 赵志才 秦俊桃

第4章 邵东国 崔远来 孙春敏 王洪强 王建鹏 柴明正 顾文权

第5章 刘 钰 雷 波 杜丽娟 蔡甲冰 王 蕾 彭致功 张宝忠

第6章 倪广恒 丛振涛 尚松浩 杨汉波 杨红娟

第7章 冯绍元 霍再林

本书由冯绍元、刘钰、邵东国、倪广恒、霍再林、毛晓敏等负责整理统稿。

由于研究者水平和时间所限,所取得的成果仅是灌区节水改造环境效应及评价方法的若干个方面,对部分问题的认识和研究还有待于进一步深化,不足之处在所难免,恳请同行专家批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 研究目标、内容与技术路线.....	2
1.3 相关研究主要进展	4
参考文献.....	7
第 2 章 灌区节水改造对农田水循环的影响	9
2.1 渠道渗漏对农田水循环的影响	9
2.2 灌区节水改造对区域地下水影响的数值模拟.....	26
2.3 小结.....	39
参考文献	40
第 3 章 灌区节水改造对农业水土环境的影响	42
3.1 春小麦咸水非充分灌溉试验研究.....	42
3.2 含盐土壤春玉米节水灌溉试验研究.....	50
3.3 基于 SWAP 模型的土壤水盐运移模拟及预测	56
3.4 灌区节水改造对土壤水-地下水盐的影响	74
3.5 小结.....	84
参考文献	85
第 4 章 灌区节水对水肥利用的影响及综合调控	87
4.1 水肥耦合灌溉条件下的稻田产量环境效应.....	87
4.2 稻田水肥高效利用多维调控模拟	101
4.3 稻田高产减污施肥管理模式	111
4.4 灌区水肥利用效率对节水改造的响应规律	114
4.5 小结	120
参考文献.....	121
第 5 章 灌区节水改造环境效应的评价方法	123
5.1 灌区节水改造环境效应评价方法与评价指标的选取	123
5.2 评价指标分析与计算	137
5.3 灌区节水改造环境效应综合评价系统研制	147
5.4 典型灌区节水改造环境效应综合评价	152

5.5 小结	162
参考文献.....	163
第6章 基于生态健康和环境友好的灌区节水改造模式	165
6.1 四水转化模型	165
6.2 叶尔羌灌区现状年四水转化模型分析	173
6.3 叶尔羌灌区节水改造模式模型模拟与探讨	179
6.4 位山灌区现状年四水转化模型分析	183
6.5 位山灌区节水改造模式模型模拟与探讨	189
6.6 小结	195
参考文献.....	196
第7章 结论与建议	197
7.1 主要结论	197
7.2 存在不足及建议	198

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

大型灌区是我国重要的规模化农业和商品粮生产基地,也是我国农业、农村乃至国民经济发展的重要基础设施,还是广大农民增收致富、改善生活水平、提高生活质量的重要支撑条件。我国现有 349 处灌溉面积在 30 万亩以上的大型灌区,累计有效灌溉面积 2.35 亿亩,约占全国有效灌溉面积的 30%和全国耕地的 1/8。这些大型灌区生产了占全国总量 1/4 左右的粮食,创造了占全国总量 1/3 以上的农业生产总值,养育了占全国 1/5 的人口,提供了占全国 1/7 以上的工业及城市生活用水,此外,大型灌区内的人均粮食产出量超过 600kg,远高于全国平均水平,且每年向城镇供水超过 258 亿 m^3 ,受益人口 2 亿多人。2004 年,大型灌区的供水量达到 1865 亿 m^3 ,约占全国供水总量的 1/3,灌溉用水量达到 1373 亿 m^3 ,约为全国灌溉用水总量的 38%。由此可见,大型灌区不仅是我国重要的规模化农业和商品粮生产基地,还是我国供水的主要来源,具有巨大的节水潜力。

基于大型灌区在我国粮食生产中占有的重要地位和在水型社会建设中存在的巨大节水潜力以及对解决“三农问题”所起的重大支撑作用,党中央和国务院高度重视灌溉事业的发展和大型灌区以节水为中心的续建配套与技术改造工作。在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中明确指出,坚持把发展农业生产力作为建设社会主义新农村的首要任务,同时,将大型灌区续建配套和节水技术改造工作作为建设社会主义新农村的重点任务之一。

国家发改委和水利部已将改造大型灌区作为农村水利工作的重中之重,从第十个五年计划开始,计划分三期安排总投资 1793 亿元,用 15 年左右的时间基本完成全国大型灌区续建配套与节水改造任务,其核心是以节水增效为中心,通过采取工程、农业和管理等措施对灌区进行综合改造,提高灌溉水的利用效率和水分生产效率,实现灌区水资源的优化配置和高效利用,为国民经济和农业可持续发展、农村经济繁荣和生态环境改善提供支撑与保障。仅“十一五”期间,国家已累计安排投资 314 亿元对 408 处大型灌区进行续建配套与节水改造工程建设。灌区节水改造对缓解我国水资源日益紧缺的局面、提高我国农业生产经济效益、改善区域生态环境质量和实现灌区的可持续发展,无疑具有十分重要的作用。

但是,长期以来,我国在传统的灌区节水改造工程中,主要采用工程措施对渠系进行衬砌,对泵站进行升级改造,对闸坝进行维修加固,改变和改善田间灌溉方法,而忽略灌区节水改造工程对土壤与地下水环境和农田生态造成的影响。在灌区水资源配置方面,也是主要考虑农业生产的用水,而对生态环境用水重视不够,致使灌区出现植被衰退、地下水位降低、荒漠化加剧、土壤环境退化等严重的生态环境问题。事实表明,大型灌区节水改造过程中,由于水源调配的改变、渠系工程布局的调整、渠道的衬砌防渗、田间土地的平整、节水灌溉方式的改进和农业种植结构的调整等一系列工程与农艺措施相继完成及其不断地完善,其后的长期运行与管理必将对灌区土壤与地下水环境和农田生态状况产生重要的影响。因此,研究灌区节水改造环境效应及其评价方法,对保障和促进灌区水资源可持续利用和农业生产可持续发展具有重要的现实应用价值和深远的战略意义。

为了保障大型灌区续建配套与节水改造工程任务的顺利实施,减少灌区节水改造对环境与农田生态的不利影响,促进灌区水资源的可持续利用和灌区农业生产可持续发展,开展相关的研究不仅十分必要,而且研究所形成的技术成果在我国灌区节水改造过程中及其以后的运行与管理过程中具有广阔的应用前景,并且必将会产生巨大的环境效益、社会效益和经济效益。

1.2 研究目标、内容与技术路线

1.2.1 研究目标

本研究的目标是通过研究节水改造对灌区水循环及生态环境的影响机理与过程、建立灌溉水利用率与水分生产率对灌区节水改造的响应模型、构建节水改造环境效应评价方法与指标体系,提出基于灌区生态健康与环境友好的节水改造模式及控制阈值,为合理评价灌区节水改造的环境效应、促进灌区水资源可持续利用和农业生产可持续发展提供科学依据和技术支撑。

1.2.2 研究内容

1. 灌区节水改造对农田水循环的影响

研究典型灌区节水改造对渠道渗漏、农田土壤水分动态、浅层地下水补给影响因素、作用过程、影响范围和结果;以典型区域为例,研究农业节水对地下水动态的影响。

2. 灌区节水改造对农业水土环境的影响

研究咸水灌溉条件下,农田土壤水盐动态及作物响应规律,制定合理的咸水节水灌溉制度,研究典型灌区节水灌溉条件下,土壤和浅层地下水中盐分运移规律与积累特征;分析灌区节水改造对土壤和浅层地下水中盐分动态的影响因素。

3. 灌区节水改造对水肥利用率的影响及其调控技术

研究田间尺度不同水稻节水灌溉模式对水分利用效率、灌溉水生产率及主要肥料养分(氮)利用率的影响;探讨灌溉系统或灌区尺度农田水分利用效率及灌溉水生产率对灌区不同节水改造方案的响应;分析灌区节水改造后的田间水肥运动规律和不同水肥灌排调控模式对水稻生长、产量及其水肥利用率的影响;研究水肥高效利用优化调控模型与临界条件。

4. 灌区节水改造环境效应的评价方法

分析灌区节水改造环境影响因素间的相互关系,筛选关键因子,构建灌区节水改造环境影响评价指标体系;采用多目标综合分析方法评价灌区节水改造的环境效应,并构建基于层次分析理论的灌区节水改造综合效应评价模型;利用现代测试与信息技术(如3S技术等)监测和采集环境因子数据,确定监测点的空间和时间分布和采集方法;研制能够表示不同类型灌区节水改造环境影响评价方法和结果的开放式综合评价信息系统。

5. 基于生态健康和环境友好的灌区节水改造模式

开展生态健康与环境友好的合理地下水位、适宜渠系防渗系数与灌溉水利用系数等的定量研究;研究与灌区有关的生态健康与环境友好的相关标准;提出基于生态健康与环境友好的灌区节水改造模式,形成相应技术指南。

1.2.3 技术路线

分别选择我国西北、华北和南方地区代表性灌区(甘肃石羊河灌区、新疆叶尔羌河平原绿洲灌区、山东位山灌区和湖北漳河水库灌区),通过现代技术手段获取土壤与地下水环境和农田生态等主要环境要素的现状特征及其动态变化;布置土壤与地下水环境和农田生态的观测站(点),分析环境要素变化与灌区节水改造之间的相关关系和内在影响机理,建立能够反映灌区节水改造对土壤与地下水环境和农田生态主要影响的评价指标体系,并采用多种方法进行灌区节水改造环境效应的综合评价。在此基础上,提出基于灌区生态健康和环境友好的节水灌区节水改造模式、农田面源污染临界调控技术和减少灌区节水改造对生态环境不利影响

的有效对策与措施。

本研究以野外考察和定位试验为基础,辅以资料收集与分析,实行理论与实践相结合,侧重规律性的探讨和理论上的提高。灌区节水改造的环境效应及其评价方法研究是一个复杂的问题,本研究在总结国内外已有成果的基础上,进行资料收集分析整理和野外定位试验研究,为理论分析打好基础。理论分析的重点是内在关系和定量规律的分析,抓住若干技术难点,进行重点突破。在理论分析与技术研究方面,实现经验性、概念性和机理性模型与分析相结合。在探讨定量规律时,以机理性的数学物理模型与分析为主;同时根据不同问题的特点和应用需要,重视研究物理概念明确、使用方便的概念性模型模拟技术和经验性公式。机理研究与应用研究相结合,围绕灌区节水改造实际中的问题,既注重土壤与地下水环境和农田生态效应机理的探讨,探索其科学规律,更重视灌区节水改造环境效应宏观特征的分析,研究其技术的应用前景。

1.3 相关研究主要进展

1.3.1 灌区节水改造的环境效应

农田水环境中的物质迁移涉及了土壤-植物-大气系统中的水分、溶质(养分)输运等方面的内容,在农业、水资源、环境等领域都起着重要的作用。20世纪80年代后期,张瑜芳、蔡树英等将数值模拟应用于区域水盐预测预报,使我国的农田土壤水盐运动研究进入了一个新的阶段^[1,2];陈亚新等通过室内实验模拟了灌区水土环境中的地下水与土壤盐渍化关系并进行了动态模拟,但由于参数的空间变异性和尺度效应等问题,其模型难以应用于区域性的水盐动态预测预报^[3]。近年来,农田土壤中的水盐动态变化特征和运移机制研究一直是人们关注的重点。随着对土壤中水盐运动、养分、污染物迁移等方面研究的不断深入,许多学者在力求揭示土壤水盐运动规律的同时,建立各种水盐模型来定量分析水盐的运移,以预报农田土壤水盐动态的变化过程。建立适合于区域农田土壤水盐运移特征的动态模型仍然是土壤水盐运移研究的重点和难点问题。

随着计算机技术的飞速发展,各种灌区灌溉管理模型不断完善,如SWAP模型、SWAT模型、MODFLOW模型等,已经有大量的研究成果,其中分布式水文模型得到了广泛的应用。SWAT模型是一个具有物理基础的分布式水文生态评价模型,可以长时间、连续模拟和预测复杂的流域在不同土壤类型、不同土地利用和管理条件下的水分、农业化学物质流失及产量等的影响。崔远来等利用SWAT模型对灌区水平衡过程及水稻产量进行了模拟,但在北方干旱、盐渍化灌区的应用很少^[4]。MODFLOW是不同尺度地表水、地下水相互作用模拟中较好的模型之一,

使人们对复杂的田间土壤水盐运移的研究成为可能。有关学者应用 Visual-MODFLOW 对干旱区(抽取地下水条件下的)长期微咸水灌溉对地下水环境的影响进行了研究,并将饱和-非饱和带作为一个完整系统,尝试将 MODFLOW 与 SWAP 模型耦合进行了水土环境效应预测评估研究^[5]。目前,对于区域性的水文模拟计算问题,主要是在不同采样尺度下研究土壤特性及参数的空间变异性问题,通过空间变异性的研究,进行参数估计分布和分区,利用分布式模型方法,将研究区域分成若干个子区,在每一个子区内的输入或参数为一个确定量,利用一维水量平衡模型或水动力学(溶质运移)模型(如 SWAP 模型)进行土壤水、盐动态的模拟预测,最后将各子区结果进行综合,得到研究区域的土壤水盐的时空变化规律。

1.3.2 农田养分和盐分运移模拟

N、P、K 是植物生长必需的三大主要矿质营养元素。N 是构成蛋白质的主要成分,也是叶绿素的重要组成部分,P 是植物中核酸和蛋白质的主要成分,K 则影响植物对其他营养元素的吸收和转移。土壤 N 过多水稻易倒伏;土壤缺 P 水稻根少且短小,茎叶生长缓慢;土壤缺 K 水稻茎秆瘦小,易倒伏,易染赤枯病等。因此,N、P、K 的丰缺直接影响水稻植株的生长和最终光合产量的形成。由于在非充分灌溉条件下稻田水分相对较少、基质浓度较高,氮素的挥发损失会高于淹灌,同时,非充分灌溉条件下稻田渗漏液中浓度较淹灌高,但由于总渗漏量显著减少,N 的总淋失却较淹灌条件少。因此,非充分灌溉条件下水稻对氮素的吸收利用率高于淹灌,且有利于氮素养分向稻谷转移^[4]。非充分灌溉条件下,对水稻磷素和钾素营养的试验研究发现,适当的水分亏缺可显著降低磷素的有效性,这是由于节水灌溉的土壤氧化还原电位较高,土壤中存在一些高价位的金属离子易与土壤中的速效磷反应,形成溶解度很低的化合物,从而降低 P 的有效性。但非充分灌溉能显著地增加水稻植株中的含 K 量,提高钾素营养有效性,从而提高水稻抗逆性和抗倒伏的能力^[6]。因此,水稻节水灌溉可使得土壤肥力得以有效发挥,减少稻田养分流失,防控农田面源污染。

节水灌溉条件下土壤水、肥、盐迁移研究方面虽然过去进行了大量的工作,取得了不少研究成果^[7~13],但到目前为止,对于大型灌区节水改造后,综合节水措施条件下的区域土壤水盐迁移变化及可能引起的环境问题的研究成果却鲜有报道。近年来,灌区节水工程实施后的土壤水盐、地下水变化动态得到了关注^[14],但这些研究没有涉及具体的试验模拟和分区的模拟计算,研究成果有待进一步深化和完善。特别是对土壤水、肥、盐的时空迁移和地下水位、水质的动态变化过程缺乏系统的研究。将土壤水盐的动态变化和地下水位、水量和水质的变化作为一个研究整体进行研究得不够。在灌溉对环境影响方面,国内外近年来在节水灌溉及环境影响等方面成果大多偏重于对宏观水资源的可持续利用、节水灌溉的理论方法及

农田节水灌溉对某些单方面的生态环境影响研究,而缺乏农田节水灌溉对环境的影响机理、农田节水与地表(地下)水水文循环变化规律、节水灌溉条件下地下水与土壤盐渍化关系机理以及考虑生态环境效应的农田水管理的系统全面的研究。因此,节水灌溉对农田生态环境的影响机理方面还需要进行深入的研究^[15]。并且,由过去单纯的研究灌溉条件下的水盐运动,逐步转向各种农业化学物在土壤-地下水系统中运移规律的研究。尽管针对各种条件下土壤氮素的损失及其环境影响问题已有了较为深入的试验研究,构造了节水条件下土壤氮素损失及环境评价经验型模型^[16],但模型还有一些不完善的地方,模型仅适用于节水条件下土壤无机氮素损失评价。

1.3.3 灌区节水改造环境效应的评价方法

灌区节水改造环境效应评价的目标不仅包括节水改造对灌区水环境、土环境、灌溉工程等影响,还包括对当地植被和生物多样性的影响以及对人的节水和环保意识方面的影响。在这些环境效应中,有些属于灌区尺度的影响,有些属于田间尺度的影响;有些是有正效应,有些是负效应;还有些属于定性方面的影响。如何将这些属于不同尺度、不同性质的环境效应进行评价和度量,并能够利用数值的形式表示出来,是个多目标综合评价问题。因此,灌区节水改造环境效应综合评价是指通过构建科学合理的评价指标体系,采用恰当的多指标综合评价方法来评价节水改造对灌区生态环境产生影响的综合效应。

传统的多指标综合评价方法主要包括主成分分析法、模糊数学评价法、ELECTRE 法、线性规划法、层次分析法与数据包络分析法等。近年来人工神经网络和 3S 技术逐渐应用于评价方法研究中。环境效应的评价方法从简单的人工操作到应用计算机、GIS 等先进技术手段,取得了长足的发展。近年来,许多学者对节水灌溉效应指标量化和评价方法作了大量的研究工作。

在指标量化方面,罗金耀提出了专家估测法和落影函数指标量化法^[17]。侯维东等在井灌项目综合评价研究中结合灰色关联理论,对传统的层次分析法进行了一定程度的改进,采用改进的多层次综合评价方法将井灌项目的综合效益评价体系进行划分^[18]。吴景社等采用专家评分法、Delphi 法、层次分析和隶属度等方法对选取的评价指标进行非量纲化处理与检验^[19]。

在评价方法方面,文献[20]中提出定性评价方法主要有判别法、一览表法、网络法等,定量评价方法有分级-加权一览表法、矩阵法、概率评分法和其他智能性评价方法人工神经网络等。罗金耀根据多目标模糊集理论,提出了节水灌溉系统模糊综合评价理论与模型,并对广西凭祥市万亩节水灌溉工程可能满意度和模糊多目标决策评价理论进行了评价^[21]。郭宗楼等提出了灌排工程项目环境影响评价指标体系及其模型^[22]。侯维东等利用改进的层次分析法和灰色关联法对山东

省低压管道输水灌溉工程的综合效益进行了评价^[18]。Angel Utset等用水文模型与地理信息系统(GIS)相结合的方法来评价灌溉对土壤盐化的影响^[23]。郭宗楼等在前面研究的基础上对环境影响评价的方法进行了改进,建立了加权综合评价模型和人工神经网络模型^[22]。刘增进等提出了节水灌溉项目环境影响因子识别及预测评价方法,建立了定量评价指标体系和模型^[24]。张凡等应用生态环境系统指标体系方法,以“达标”指数、“平均达标”指数和“综合达标”指数预测工程开发后对生态系统影响的综合效应^[25]。

参 考 文 献

- [1] 张瑜芳,张蔚榛,沈荣开. 排水农田氮素的运移、转化及流失规律的研究. 水动力学研究与进展,1996,(3):251—260.
- [2] 蔡树英,杨金忠. 区域地下水盐动态预报方法的研究与展望//21世纪农田水利学术研讨会论文集,1997:106—110.
- [3] 陈亚新,史海滨. 地下水与土壤盐渍化关系的动态模拟. 水利学报,1995,(5):21—25.
- [4] 崔远来,李远华,吕国安. 不同水肥条件下水稻氮素运移与转化规律研究. 水科学进展,2004,15(3):280—285.
- [5] 杨树青,史海滨,等. 微咸水灌溉条件下环境因子动态变化的预测. 沈阳农业大学学报,2004,(z1),480—482.
- [6] 吕国安,李远华,沙宗尧. 节水灌溉对水稻磷素营养的影响. 灌溉排水,2000,19(4):10—12.
- [7] 冯绍元,张瑜芳,沈荣开. 非饱和土壤中氮素运移与转化试验及其数值模拟. 水利学报,1996,(8):8—15.
- [8] 任理,秦耀东,王济. 非均质饱和土壤盐分优先运移的随机模拟. 土壤学报,2001,(1):104—113.
- [9] 李久生,饶敏杰. 喷灌施肥均匀性对冬小麦产量影响的田间试验评估. 农业工程学报,2000,(6):38—42.
- [10] 程先军,许迪. 地下滴灌土壤水运动和溶质运移的数学模型及验证. 农业工程学报,2001,(6):1—4.
- [11] 许迪,程先军. 地下滴灌土壤水运动和溶质运移数学模型的应用. 农业工程学报,2002,(6):27—30.
- [12] 王全九,王文焰,吕殿青,等. 滴灌条件下土壤水盐运移特性的研究. 农业工程学报,2000,(4):54—57.
- [13] 屈忠义,陈亚新,史海滨,等. 内蒙古河套灌区节水灌溉工程实施后地下水变化的BP模型预测. 农业工程学报,2003,(1):59—62.
- [14] 屈忠义,陈亚新,史海滨,等. 地下水文预测中BP网络的模型结构及算法探讨. 水利学报,2004,(2):88—93.
- [15] 齐学斌,庞鸿宾. 节水灌溉的环境效应研究现状及重点. 农业工程学报,2000,16(4):

- 37—40.
- [16] 王康, 沈荣开. 节水条件下土壤氮素的环境影响效应研究. 水科学进展, 2003, 7: 437—441.
- [17] 罗金耀. 节水灌溉技术指标与综合评价理论及应用研究. 武汉: 武汉水利电力大学, 1997.
- [18] 候维东, 徐念榕. 井灌节水项目综合评价模型及其应用. 河海大学学报, 2000, (3): 90—94.
- [19] 吴景社, 康绍忠, 等. 节水灌溉综合效应评价指标的选取与分级研究. 灌溉排水学报, 2004, 23(5): 17—19.
- [20] World Bank. Environmental Assessment Sourcebook. Technical Report No. 140, Volume II, 1991.
- [21] 罗金耀, 陈大雕. 节水灌溉工程模糊综合评价研究. 灌溉排水, 1998, (2): 16—21.
- [22] 郭宗楼, 雷声隆, 等. 灌排工程项目环境影响评价. 中国农村水利水电, 1999, (5): 7—10.
- [23] Angel U, Matilde B. A modeling-GIS approach for assessing irrigation effects on soil salinization under global warming conditions. Agricultural Water Management, 2001, (50): 53—63.
- [24] 刘增进, 张治川, 等. 节水灌溉项目环境影响评价. 节水灌溉, 2003, (4): 1—3.
- [25] 张凡, 宴立宝. 区域性农业综合开发项目环境影响评价方法的研究. 农业环境与发展, 2003, (5): 35—38.

第 2 章 灌区节水改造对农田水循环的影响

灌区节水改造主要包括渠道防渗及田间节水灌溉和综合用水管理措施等。这些节水改造措施的实施,势必造成农田水循环过程的变化,例如区域蒸散发、产汇流、渠道和灌溉水渗漏补给地下水过程等。由于灌区地下水位对控制土壤盐渍化、保护天然生态(对于旱地区)、从而建设生态健康的灌区具有重要意义,因此本章从渠道渗漏、灌区节水改造措施对区域地下水的影响两方面,研究了灌区节水改造对农田水循环的影响。

2.1 渠道渗漏对农田水循环的影响

渠道渗漏是造成农田灌溉水损失的重要原因。大量的渠道水渗漏导致灌溉效率过低,渠道周边地下水位上升,甚至引起土壤盐渍化、导致作物减产和环境恶化。在干旱地区,渠道水渗漏又是地下水的主要补给来源,对维持地下水位和天然生态具有一定作用。本节通过室内和现场试验,对多因素影响下的渠道渗漏过程进行了机理分析、数值模拟和经验公式总结,以期得到不同衬砌、不同渠床土质、不同地下水埋深影响下的渠道渗漏及其对地下水的补给规律,为合理进行渠道防渗、维持灌区地下水均衡和保护天然生态提供理论依据。

2.1.1 层状土入渗室内土柱试验及数值模拟

为研究层状土壤的入渗规律,在室内开展了均质和分层土柱一维薄层积水入渗试验(图 2.1)。对入渗率、湿润锋、累积入渗量、土壤含水率剖面的变化规律进行了观测与分析,探讨了均质和分层土壤水分入渗规律及夹砂层对土壤水分入渗的影响,并用 Hydrus-1D^[1] 模型对土壤水分入渗过程进行了模拟。在此基础上,提出了针对层状夹砂土入渗的 S-Green-Ampt 模型^[2] 和层状土稳渗率的饱和层最小通量法^[3]。

1. 土柱入渗试验及其数值模拟

通过室内均质土柱薄层积水入渗试验和分层土柱薄层积水入渗试验,分析入渗率、累计入渗量、土柱剖面含水率随时间的变化规律,研究均质土壤和分层土壤水分入渗规律及含粒级较大的砂层对土壤水分入渗的影响。试验结果表明,均质土柱和分层土柱在入渗开始阶段入渗速率很大,随着入渗进行,入渗速率逐渐减

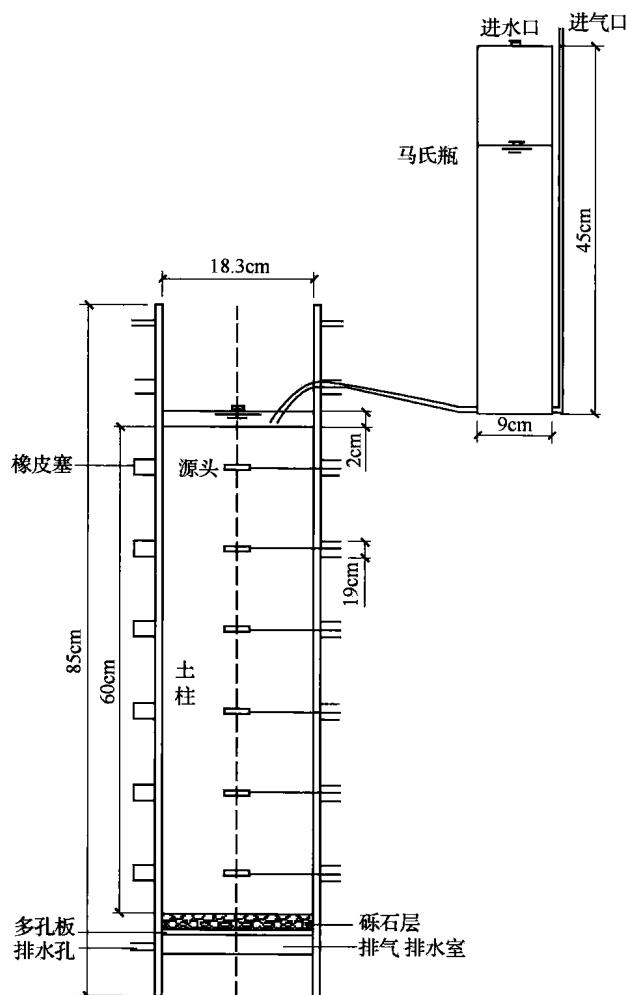


图 2.1 土柱入渗试验装置

小,入渗进行到一定时间后,入渗速率接近常数,即稳定入渗率。土柱中设置砂层可以将入渗的非线性过程转化为线性过程,使整个入渗过程转变为入渗率较小的稳渗阶段,具有一定的减渗作用。进一步用 Hydrus-1D 模型模拟了均质土柱和分层土柱的土壤水分入渗过程,与实测入渗资料作对比分析。结果表明,Hydrus-1D 模型模拟均质土柱和分层土柱入渗率、累积入渗量(图 2.2、图 2.3)、湿润锋(图 2.4、图 2.5)和土壤剖面含水量分布(图 2.5、图 2.7)有较高的精度。