

生态灌区建设的理论基础 及其支撑技术体系研究

杨培岭¹, 李云开^{1,2}, 曾向辉³, 杨进怀⁴, 郭强⁵, 任树梅¹, 苏艳平¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083, 北京;

2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 100085, 北京;

3. 水利部国际合作与科技司, 100053, 北京; 4. 北京市水务局, 100038, 北京; 5. 北京市水利水电技术中心, 100073, 北京)

摘要:在灌区建设中引入生态学原理和方法,探索性地将灌区范围视为一个有机的“人工—自然—社会”复合生态系统,界定了灌区生态系统及其服务功能、生态灌区的基本概念,并重点阐述了灌区水资源高效利用、水环境保护与治理、生态系统恢复与重构、水景观与水文化建设、生态环境监测与管理等生态灌区建设的支撑体系关键技术内容,最后指明了未来的研究难点与方向。

关键词:生态灌区; 建设; 支撑技术; 模式

Ecological irrigation district: studies on theory basis and supporting technical system//Yang Peiling, Li Yunkai, Zeng Xianghui, Yang Jinhuai, Guo Qiang, Ren Shumei, Su Yanping

Abstract: Ecology principle and method are introduced into the construction of irrigation district. The scope of irrigation district is regarded as an effective integrated ecosystem of “artificial-natural-social”. Basic concept of ecosystem of irrigation district and its service functions as well as ecological irrigation district are defined. Key technical contents of supporting system such as high-efficient utilization of water in irrigation district, water environment protection and management, ecosystem recovery and restoration and water recreation and culture establishment, eco-environment monitoring and management are presented. Finally difficulties and direction of future studies are specified.

Key words: ecological irrigation district; construction; supporting technology; model

中图分类号: S274

文献标识码: A

文章编号: 1000-1123(2009)14-0032-04

灌区是我国农业规模化生产和重要的商品粮、棉、油基地,也是我国农业、农村乃至国民经济发展的基础设施。全国已建成大型灌区 402 处、中型灌区 5 200 多处、小型灌区 1 000 多万处,以全国耕地 40% 的面积生产了占全国总产量 75% 的粮食和 90% 以上的经济作物,已成为直接关系到当地人民群众生命安全、生产发展、生存环境的民生水利工程。传统的灌区建设和节水改造是以灌区水利工程效益最大化为主导,强调多引水、多浇地,但这种以工程水利为主导的灌区

建设往往过度重视灌排工程的输配水效率和灌排能力而忽视了灌排工程对区域的生态环境影响,导致我国许多灌区存在盲目扩大灌溉面积、水资源利用效率低下、过量使用化肥农药等现象,造成了水资源短缺、灌区及其流域水环境污染、土壤次生盐碱化、地下水位持续下降及大面积地下水漏斗、流域下游植被与湖泊湿地萎缩等问题,需要我们将灌区及其流域视为一个完整的生态系统来认识。但目前有关生态灌区基本理论及其技术模式的研究刚刚起步,基于此,本文在对以往

灌区主要生态环境问题进行分析的基础上,提出了生态灌区建设的理论框架及其关键技术模式。

一、灌区建设中的生态与环境问题

1. 灌溉水利用率低下,可供水量明显减少

目前我国水资源浪费严重,灌溉水利用率低下,灌溉定额普遍偏高,灌溉水超出实际需水量的 1 倍左右,有的地方甚至超出 2 倍以上。据调

收稿日期: 2009-06-02

作者简介: 杨培岭(1958—),男,博士生导师,主要研究方向为水资源高效利用与水环境保护。

基金项目: 水利部公益性行业专项经费项目(200701025); 长江学者和创新团队发展计划(IRT0657); 北京市科技新星计划(2008A106); 中国博士后科学基金(20080430072)。

查,我国节水灌溉面积还不到有效灌溉面积的一半,喷灌和微灌等节水灌溉方式仅占灌溉总面积的2.6%左右,与发达国家相比差距很大。据2006年全国灌溉水利用系数测算,我国目前灌溉水利用系数大约为0.4~0.5,远低于世界一些发达国家0.7~0.8的水平;我国粮食作物的平均水分生产率仅 1 kg/m^3 ,与发达国家 $2.0\sim 3.0\text{ kg/m}^3$ 的水平有很大差距。

2.灌区骨干沟、渠、河道硬质化,影响灌区生物多样性

目前,灌区因强调渠道的灌溉和防洪功能而采用混凝土、浆砌块石等材料进行衬砌所产生的硬质化现象,淡化了沟、渠湿地的资源功能和生态功能,破坏了沟、渠的生态链,导致生态环境恶化。在普遍采用硬质化衬砌措施进行衬砌和护坡后,割裂了土壤与水体的关系,使水系与土地及其生物环境相分离,有些生态功能就会随之消失,失去自净能力的河(渠)道只会加剧水污染的程度。沟渠河网形态的多样化是水域生物物种多样化的前提条件,其形态的顺直化、均一化的建设趋势,对生物多样性造成不利影响。

3.点源(面源)污染物过量排放,灌区内部及邻近水体污染严重

灌区内大量废(污)水任意排放,灌溉回归水中携带的大量残留的氮、磷等污染物进入地表和地下水,使得灌区内地表水和地下水中的氮、磷普遍超标,河套灌区总排干、部分分排干等地表水中总氮高达 20.3 mg/L 。黄河流经河套灌区后水中离子总量、总氮分别增加了25.5%和40%。渭河每年从点污染源接纳的氮氮约 $156.6\sim 203.3\text{ t}$,从宝鸡峡和交口灌区接纳的氮氮 $6\ 076\text{ t}$,远大于点源污染负荷量,农田面源污染已成为灌区河道的主要污染源。

4.不合理的灌排模式引起灌区土壤质量退化,生产力降低

据不完全统计,我国遭受到不同程度污染的农田面积达 67 万 hm^2 。每年因环境污染损失粮食 $1\ 200\text{ 万 t}$,造

成农作物减产损失达150亿元。因污水灌溉被重金属污染的耕地面积达 1.3 万 hm^2 ,污染严重的已被弃耕,全国主要农产品中农药残留超标率高达16%~20%。澳大利亚、美国西部灌区也出现土壤含盐量大幅度增加造成土壤盐渍化危害,我国内蒙古河套灌区、新疆喀什河下游灌区等地区土壤次生盐碱化问题依然十分严重。

5.上中游灌区过量取水,引起流域尾间生态系统退化

流域上游灌溉过量用水会使河道下游流量减少,泥沙淤积、甚至断流,河流尾间湖泊、湿地、林地、草原萎缩,土地荒漠化。如石羊河流域,由于流域内灌溉面积扩展过大、复(套)种比例过高,造成上游地表来水不足,下游的民勤灌区长期连续超采地下水,地下水位大幅度下降导致土地严重旱化。流域内草甸植被被旱生植被取代,除渠道两侧及灌区农田林网外,其余地方的乔灌林木或枯死或衰退。北部沙漠以每年 $3\sim 4\text{ m}$ 的速度向灌区推进,严重威胁绿洲的生存和发展。

二、生态灌区概念的界定及其理论基础

1.灌区生态系统及其服务功能

灌区生态系统是指在整个灌区空间范围内,以农业生产和人居环境质量为导向,以农业生物为主的各种生物成分和非生物成分组成的“人工—自然—社会”复合生态系统。主要有农业生态系统、沟渠与河湖生态系统、林草生态系统。

(1)农业生态系统

由农业环境因素、农作物、各种动物和微生物等要素构成。主要承担生物生产、提高产品品质和改善生活质量、气候调节净化、土壤保持、水分调节、养分循环与贮存、维持生物多样性及基因资源、传粉播种、病虫害害控制以及景观价值服务等多重生态服务功能。

(2)沟渠与河湖生态系统

由灌区内输水渠道、排水沟道、水库、塘坝、河流、沼泽、湿地等要素构成。主要承担输水排沙、调洪蓄水、水资源蓄积、水质净化、生物多样性维持等生态服务功能。

(3)林草生态系统

由乔、灌、草及相应的动植物等要素构成。主要承担涵养水源、气候调节净化、景观价值、土壤保持等服务功能。

2.生态灌区概念的界定

生态灌区是在人与自然和谐理念指导下,以维持灌区生态系统的稳定及修复脆弱的生态系统使其形成良性循环为目的,通过灌区水资源高效利用、水环境保护与治理、生态系统恢复与重构、水景观与水文化建设、灌区生态环境建设基准及监测管理方法等多方面的生态调控关键技术措施,形成的生产力高、灌区功能健全、水资源配置合理、生物多样性高而单位水量提供的生态服务功能最大的节水型灌区,是现代化灌区发展的高级阶段。

3.生态灌区构建的理论基础

(1)生态经济学理论

生态灌区建设是一项包含了自然环境、社会环境及生态经济关系的复杂系统工程,其治理效益包括经济效益、社会效益和生态效益三个方面,对生态灌区建设效益的分析,实质上就是一个多因素、多目标、多指标综合效果的系统评价问题。系统论在生态灌区建设中的应用主要是对灌区生态经济系统分析,对灌区生态经济活动的目标、实施方案、综合效益进行分析、评价和决策。

(2)景观生态学理论

景观生态学是以整个景观为研究对象,并着重研究景观中自然资源的异质性。生态灌区建设的实质是景观的养护与管理。从景观生态学的角度来看,景观的异质性越高,其内部生境的多样化程度越高,必然带来生物的丰富多样,也使景观更趋于稳定。由于灌区内沟渠、河湖等水流形态的差异构成了在流速、流量、水深、

水温、水质、水文脉冲变化、河床材料构成等多种生态因子的异质性,有望形成丰富的灌区生物群落多样性。

(3)可持续发展理论

可持续发展是谋求经济、社会与自然环境的协调发展,维持新的平衡,制衡出现的环境恶化和环境污染。生态型灌区的可持续包括生态持续、经济持续和社会持续,生态持续是基础,经济持续是条件,社会持续是目的,应该追求自然、经济、社会复合系统的持续、稳定和健康发展。生态环境系统对人类活动的支持能力有一定阈值,人类活动如果超过这一限度,就会造成各种环境问题。灌区中的土壤吸附与降解,沟渠、河湖水动力系统中的稀释、扩散和降解作用,水生动植物及微生物的吸收与转化,使得灌区生态系统具有很强的自净能力,但如果排污量超过其自净能力则会影响灌区生态系统可持续发展。

三、生态灌区建设的技术支撑体系研究架构

1.灌区水资源高效利用关键技术

(1)田间高效节水技术与模式

研究农田水循环和灌区生态系统耗水各界面间的转化机制与规律,探索有效提高渠系水利用率、农田水利用率、作物水分生产率和农业生产效益的途径,建立植物高效用水调控与非充分灌溉的新理论,大力推广植物高效用水生理调控技术、植物高效用水生理调控及植物缺水信息采集与精量控制灌溉技术、农业节水协同调控技术、新型保墒耕作技术和覆盖保墒技术以及土壤水库蓄容增容技术等田间水分调控新技术与新方法;提高灌溉水的管理水平,宏观有效调控和微观自动化管理;推广喷、滴灌以及改进地面的节水灌溉技术及新产品,构建灌区田间高水效节水技术与模式。

(2)再生水和微咸水安全灌溉技术与模式

研究城市和养殖再生水灌溉对

土壤肥力、土壤温室气体排放、作物生理生化、农产品品质和产量以及地下水的影响,研究不同土壤—植物系统对再生水中有有机物及主要有害物质的安全承受量,提出不同再生水水质、土壤条件下主要农作物再生水灌溉的最佳时间及灌溉定额,制订再生水灌溉水质标准,建立综合考虑再生水为水源、肥源、污染源三重特征的安全灌溉技术模式。研究微咸水灌溉条件下土壤和地下水盐分动态的预测技术,研究咸淡水轮灌的交替与分配方式、灌水时间和适宜水量,提出适宜当地气候特点和土壤盐分动态分布的最优咸淡水轮灌方式及控制指标,研究保持微咸水灌区区域盐分均衡的排水控盐技术。

(3)灌区多水源联合配置理论与技术

灌区水资源系统的多水源、多用户、多阶段、多层次的特点,一般由四部分组成:

①供水系统。包括地表水(蓄水、引水、提水等)、地下水、外流域调水及非常规水资源(村落与养殖再生水、雨水、微咸水)等。

②输水系统。包括河道、管道、渠道(衬砌渠道及自然沟渠等)等。

③用水系统。包括工业用水、农业用水、生活用水、生态与环境用水等。

④排水系统。包括村落生活污水、小型企业污水、集约化养殖场废水、灌区退水等。

定量描述灌区内部水资源—生态—社会经济系统复合大系统相互作用机制,建立水资源可持续利用、社会经济发展和生态环境系统改善的多水源合理配置理论及多维临界调控决策方法。

2.灌区水环境保护与治理关键技术

(1)面向农业面源污染控制的农田节水灌溉及养分资源管理技术

研究典型灌区气候、土壤和农作体系下,农田氮素、磷素、农药在降雨以及短沟灌、小畦灌、滴灌等节水灌溉条件下的淋溶渗漏机理及影响因素,建立农

田生态系统中氮、磷迁移转化模拟模型,揭示农田生态系统中降雨/灌溉—土壤水分运动—污染物淋溶损失的特征机理,分析灌溉模式、田间水分和养分资源管理措施等因素对污染物迁移转化的影响,建立面向农业面源污染控制的节水灌溉、养分资源管理技术体系。

(2)灌区小型污水处理工艺优化及新型、高效、低廉的处理技术开发

以实现灌区内污染就地处理与回用为原则,研究灌区内典型的小型企业污水、村落生活污水、小规模畜禽养殖厂废水的水质和水量动态变化特征,探索氧化塘或氧化沟处理法、污水土地处理技术、污水生态处理系统等污水预处理技术在灌区内污水处理中的可行性,选择适宜小型企业污水、村落生活污水、小规模畜禽养殖厂废水等点源污水处理模式,优化工艺流程、系统运行方式。开发适宜于灌区内污水资源化的新型高效、低廉的持续性处理技术(利用土壤过滤与吸附、土壤微生物作用与农作物的吸收等生物处理技术)。

(3)自然沟渠和人工湿地构建技术及水生植物合理配置模式

研究非点源污染物在从农田向邻近水体迁移过程中被自然的沟渠湿地截留和去除的机理;研究不同人工湿地各水力参数、不同断面、不同深度等条件对湿地中主要污染物的去除效应;研究沉水、挺水、浮水三种类型水生植物典型植物品种对氮、磷重金属等主要污染物的去除效应及污染物在水生植物根系、冠层各生长部位中的累积效应,提出灌区内水生植物的生态合理配置模式,建立农田灌溉—自然沟渠—小型湿地三道防线,构建面向灌区水环境改善的“减污—控源—截留—输导—修复”总体技术方案。

3.灌区生态系统恢复与重构关键技术

(1)灌区林草植被恢复与生态缓冲带重建技术

研究灌区农田防护林综合效益

评价指标及合理的建植技术体系。探讨河、湖、渠、沟周边生态缓冲带的生态水文过程,分析天然降雨条件下乔灌草类型、品种、配置模式以及地形坡度、带宽等因素对径流量及其流速的影响,研究生态缓冲带对氮、磷等非点源污染物的吸持、残留、降解等效应,建立非点源污染物在生态缓冲带中的生物地球化学循环过程模拟模型,构建生态缓冲带对农业非点源污染的调控机理及防控技术、标准,形成面向生态灌区建设的林草植被恢复与生态缓冲带重建技术。

(2)灌区河、沟、渠综合整治生态工程技术与设计模式

研究开发适宜灌区河道、渠道和排水沟综合整治的技术与产品,探索生态混凝土、净水石笼、植物纤维毯、人工植草固土网垫、人工网复合技术等生态水利工程技术对生物多样性等主要生态要素的影响效应及其评价方法,建立河、沟、渠的生态承载力模型,分析其在灌区河、沟、渠综合整治中应用的可行性,进而提出满足水力设计、生态设计双重约束条件下生态河、沟、渠综合整治工程规划与设计方法。

4.灌区水景观与水文化建设模式

(1)灌区城镇滨水空间景观及亲水平台建设

以综合发挥灌区多重功能为目标,研究灌区滨水景观格局的形成、结构、功能特征以及灌区水景观斑块格局和生态学过程。研究灌区城镇干渠、河道、湖泊、湿地四种滨水地区以及戏水型、赏水型、认知型和游憩型等四种生态水景和亲水平台的合理建设模式,探索景观桥、木栈道、瀑布跌水、溪流、生态水池等亲水平台配置形式,进而形成面向生态灌区建设的灌区水景观规划原则和设计方法。

(2)灌区水文化资源挖掘与构建模式

研究灌区水文化流失的主要原因,充分调查和挖掘灌区范围内水利

和航运文化、宗教信仰(信仰、祭祀、民俗)、经典水利科学著作以及诗歌、碑刻、史记传说、成语谚语、建筑等水文化资源,建立灌区水文化遗产价值评估方法,积极探索灌区水文化构建框架、原则及其合理的表现形式,全面提升灌区的生态文明、美学文明、水利文化和旅游文化品位。

5.灌区生态环境监测与管理方法

(1)生态环境建设基准及生态灌区评价指标体系

综合应用生态毒理学、生态学、环境与生物地球化学等多学科方法,建立灌区生态系统恢复以及水环境、土壤环境质量基准和标准的制定过程与方法。建立适宜灌区尺度水分和污染物输移过程分析的分布式水文模型,形成灌区生态安全的污染物总量控制理论与技术体系,探讨灌区浅层地下水临界控制水位及适宜的节水强度。在此基础上,建立生态灌区的评价指标体系及其合理阈值。

(2)灌区生态系统服务功能及生态需水计算模式

研究灌区生态系统的组分、结构以及生态过程与机理,从农业生态系统、沟渠与河湖生态系统、林草生态系统的三个组分出发提出灌区建立其生态服务功能评价指标体系和定量计算方法,建立小尺度农业生态系统服务功能的农田灌溉调控模式。研究典型灌区所在区域植被、水土保持、河道、湖泊、湿地等不同类型区域需水量与其生态服务功能的关系,建立灌区生态需水规律及其计算方法,估算满足灌区生态基准条件下的生态需水阈值。

(3)生态灌区监测评价及信息化管理与预警系统的开发

建立灌区灌溉系统水量监控与调配系统以及灌区环境监测体系和信息网,对灌区地下水位特征、农村水环境与水生态、土壤墒情、作物生长等信息进行监测评价,开发面向生态型灌区的信息化管理系统,开展灌区生态及环境系统健康诊断、灌溉输

水配水模拟、水生态模拟等多学科领域先进技术的本地化研究,构建上游来水减少、过境水恶化等多种条件下的预警系统。

四、未来研究难点与技术关键

目前在生态灌区建设研究领域还存在以下五个方面的问题需继续进行深入研究:①农田节水灌溉对灌区生态的影响机理、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;②劣质水灌溉的环境效应及安全控制指标体系;③灌区生态服务功能评价指标体系,再生水灌溉农田的生态系统服务功能演变机制及调控模式;④灌区多尺度条件下水分和污染物的输移规律及分布式水文模型构建;⑤灌区水资源合理配置的动态目标分解聚合模型及多维临界调控方法。

在全球水资源危机的背景下,灌区已由单一生产功能向肩负保障粮食安全、供水安全、服务节水型社会建设和水生态环境保护、农村景观建设等多重任务发展,生态灌区的建设是未来灌区发展和社会主义新农村建设的必然要求,前景广阔。

参考文献:

- [1] 许迪,龚时宏.大型灌区节水改造技术支撑体系及研究重点[J].水利学报,2007,38(7).
- [2] 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部.水利科学与海洋工程[M].北京:科学出版社,2007.
- [3] Lorite I J, Mateos L, Orgaz F, et al. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district[J]. Agricultural Water Management, 2007, 91.
- [4] Goncalves J M, Pereira L S, Fang S X, et al. Modeling and multicriteria analysis of water saving scenarios for an irrigation district in the upper Yellow River Basin[J]. Agricultural Water Management, 2007, 91.

(下转第52页)

硫酸盐侵蚀性能很好,30d 浸泡后都能够不起泡、不龟裂、不剥落。

4.DB- H538 混凝土硅烷防护剂耐久性试验

参照 JTJ275-2000 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范对 DB-H538 硅烷防护剂进行吸水率、浸渍深度、氯化物降低率试验。

吸水率试验应在最后一次喷涂后至少 7 d 取样,钻取直径约 50 mm、深度为 40±5 mm 的芯样。使用“称重法”测量吸水降低率。渗透深度试验应在最后一次喷涂后至少 7d 取样,钻取直径约 50 mm、深度为 40±5 mm 的芯

样。使用“染料指示法”测量渗透深度。

离子吸收降低率试验应在最后一次喷涂后至少 7 d 钻取芯样。按现行行业标准(水运工程混凝土实验规程)的“混凝土酸溶性氯化物含量测定法”测定氯离子的含量,再使用公式计算 Cl⁻吸收降低率。试验结果见表 7。

由以上试验结果分析,在表面进行 DB-H538 硅烷防护处理后的混凝土抗氯离子渗透能力大大提高,在 5 mol 的氯化钠溶液中浸泡 24 d 后,其氯离子吸收量比未经过处理的混凝土的吸收量降低了 93.8%。因此,DB-H538 硅烷防护剂能够大大提高混凝土抗氯

离子渗透能力,防止钢筋锈蚀。

三、结 语

从以上涂料试验可见,在混凝土表面进行涂层处理,可以大大提高混凝土的抗渗性,提高混凝土抗硫酸盐、抗离子侵蚀性能,从而提高混凝土的耐久性。具体使用中可根据永定新河防潮闸所处环境,在水位变化区和浪溅区等海水侵蚀作用严重的部位进行涂层防护处理,以提高混凝土耐久性能。 ■

参考文献:

[1] JTJ 275-2000,海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S].
[2] 黄明. 海洋环境下混凝土中钢筋的防腐蚀设计[J]. 混凝土,2006(11).
[3] 鄢泽红. 防腐混凝土施工技术[J]. 山西建筑,2003(5).
[4] 蒋正武. 硅烷对海工高性能混凝土防腐蚀性能的影响[J]. 中国港湾建设, 2005(1).

责任编辑 王晓平

表 6 涂层 30 d 抗硫酸盐侵蚀试验结果

| 材料 | 30 d 抗硫酸盐侵蚀试验结果 |
|---------------|------------------|
| 优龙南通防腐涂料 | 30 d 不起泡,不龟裂,不剥落 |
| Atometal 陶瓷涂料 | 30 d 不起泡,不龟裂,不剥落 |

表 7 DB-H538 硅烷耐久性试验结果

| 试验项目 | 试验结果 |
|-----------------------------|-------|
| 吸水率(mm/min ^{1/2}) | 0.007 |
| 渗透深度(mm) | 3.2 |
| 氯化物降低率(%) | 93.8 |

(上接第 35 页)

[5] Valenzuela J C. Agro-environmental evaluation of irrigation land . Pollution induced by Bardenas irrigation district (Spain) [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96.
[6] Feng Z Z, Wang X K, Feng Z W. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China [J]. Agricultural Water Management, 2008, 71.
[7] Luo W, Jia Z, Fang S, et al.. Out-flow reduction and salt and nitrogen dynamics at controlled drainage in the YinNan Irrigation District, China [J]. Agricultural Water Management, 2008, 95.
[8] 董新光,周金龙,陈跃滨. 干旱内陆

区水盐监测与模型研究及其应用[M]. 北京:科学出版社,2007.
[9] Kumar M, Kumari K, Ramanathan A L, et al.. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensive-ly cultivated districts of Punjab, India[J]. Environmental Geology, 2007, 53.
[10] 高鸿永,伍靖伟,段小亮,等. 地下水位对河套灌区生态环境的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4).
[11] 王辉. 景电灌区开发建设对区域生态环境的影响 [J]. 生态学报, 1999, 19(3).
[12] 周维博,李佩成. 我国农田灌溉的水环境问题 [J]. 水科学进展, 2001, 12(3).
[13] 姜开鹏. 建设生态灌区的思考 [J]. 中国农村水利水电, 2004(2).

[14] 水利部农村水利司,中国灌溉排水发展中心. 全国大型灌区续建配套与节水改造规划(2009—2020 年) [R]. 2008.
[15] 顾斌杰,王超,王沛芳. 生态型灌区理念及构建措施初探 [J]. 中国农村水利水电, 2005, (12).
[16] 中国可持续发展战略报告——水:治理与创新[M]. 北京:科学出版社,2007.
[17] 张景光,杨根生,王新平,等. 拟建大柳树灌区对生态环境的影响研究 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(2).
[18] 曹志洪,周健民. 中国土壤质量 [M]. 北京:科学出版社,2008.
[19] 周启星. 健康土壤学—土壤健康质量与农产品安全[M]. 北京:科学出版社,2005.
[20] 陈英旭. 农业环境保护[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
责任编辑 车小磊