

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.03.016

湿地—水塘—地下灌排改进系统的效应

李玲君^{1 2}, 李琳娜¹, 邵孝侯^{1 2}, 徐 征³, 江培福³, 邱 艳³, 王兰⁴

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098 ;

2. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098 ;

3. 水利部综合事业局, 北京 100053 ; 4. 南京高淳县水务局, 江苏 南京 211300)

摘要 :从湿地、湿地植被、灌排系统和水塘 4 方面对美国湿地—水塘—地下灌排系统(WRSIS)进行改进,分析改进的 WRSIS 的效应。结果表明, WRSIS 改进系统具有显著的节水、增产和改善水质(减污)的效应,值得在全国范围内示范推广。

关键词 :WRSIS 改进系统;改进效应;湿地;湿地植被;灌溉系统;蓄水池

中图分类号 :S274.2

文献标识码 :A

文章编号 :1004-6933(2012)03-0075-04

Effects of improved wetland reservoir sub-irrigation system

LI Ling-jun^{1 2}, LI Lin-na¹, SHAO Xiao-hou^{1 2}, XU Zheng³, JIANG Pei-fu³, QIU Yan³, WANG Jin-lan⁴

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

3. Bureau of Comprehensive Development, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China ;

4. Water Authority of Gaochun County, Nanjing 211300, China)

Abstract :The wetland, wetland vegetation, irrigation and drainage system, and reservoir of the wetland reservoir sub-irrigation system(WRSIS)were improved. The effects of the improved WRSIS were analyzed. The results show that the improved system has the effects of saving water, increasing production, and improving water quality(reducing pollution), and it can be promoted and applied nationwide.

Key words :improved WRSIS ;improvement effect ;wetland ;wetland vegetation ;irrigation system ;reservoir

湿地—水塘—地下灌排综合水管理系统(wetland reservoir sub-irrigation system,以下简称 WRSIS)^[1-4]是美国俄亥俄州立大学的研究人员为了控制农田面源污染、解决水环境问题,通过地下管道和抽水泵站将控制排水、地下灌溉系统与水塘、湿地连接起来而形成的以水利措施为主的综合管理系统。美国的试验示范区表明 WRSIS 在增产、节水、改善水质方面效果明显^[2]。

由于 WRSIS 采用的排水方式是暗管排水,其排

水效果依赖于外排条件,而我国的渍害农田大多位于地势低洼的平原湖区、滨海地区及山区冲垄地带,外排条件差,同时,暗管排水的投资相对较高,我国目前不具备直接大面积推广的条件^[5],因此,暗管排水在我国很难得到推广^[6]。根据 WRSIS 的理念,为解决我国农业生产中存在的农业面源污染、化肥流失等问题,南京市高淳县所在的淳东灌区对美国的 WRSIS 作了改进设计,改进部分涉及湿地系统^[3-7]、灌排系统、田间水位控制系统等,旨在形成适合控制

基金项目 :河海大学大学生创新基金(NJ2010042);水利部综合事业局项目(2009 财第(11)号);江苏省水利科技项目(苏水科函(2010)28 号);公益性行业(水利)科研专项经费项目(201001040)

作者简介 :李玲君(1990—),女,本科生,专业为农业灌溉排水。E-mail :798478638@qq.com

通讯作者 :邵孝侯,教授。E-mail :shaoxiaohou@163.com

1 WRSIS 改进方案

1.1 改进湿地

a. 沟渠湿地建设。示范区总面积 667 hm² ,生态沟渠总长为 404 m。整个沟渠采用两种生态护岸。①木栅栏型生态护岸 ,建在Ⅰ、Ⅱ段沟渠中。在第Ⅰ段沟渠上设两排木栅栏 ,在第Ⅱ段沟渠上设 3 排木栅栏 ,在栅栏间填土、碎石等基质 ,在木栅栏内种植以土著植物为主的植物。②原始状护坡 ,建在第Ⅲ段沟渠中。沟渠中的沉水植物以当地自然生长的植物为主 ,水生植物的面积按水面的 30% 来控制。生态坝高 1.0 m ,用超市常用的塑料开孔箱堆积而成 ,设置在渠Ⅱ和渠Ⅲ的堰之后。根据工程要求 ,在塑料箱中装基质、砾石等填料 ,并且在坝体的水流流出侧加铁丝拦网 ,以防止填料流失。

b. 塘堰湿地建设。人工湿地总长 92 m ,宽 30 m ,分潜流人工湿地和表面流人工湿地两部分。潜流人工湿地分为 3 块长 15 m、宽 10 m 的并联运行湿地。表面流人工湿地长 77 m、宽 30 m、高 2 m ,水深 1.5 m。在潜流人工湿地底部铺设 0.28 m 的黏土 ,并使床体以 1% 的坡度倾斜 ,以提高潜流湿地的底面高程 ,使水流以重力流方式流出潜流人工湿地进入表面流人工湿地。纵向上床体铺设的材料依次为黏土 0.28 m、细砂 0.1 m、粗砂 0.2 m、填料 0.8 m。将两个人工湿地床分为碎石床、碎石-沸石混合床、碎石-沸石分段床。在碎石床填当地生产的 2 ~ 4 cm 粒径的碎石 ,在碎石-沸石混合床均匀铺设碎石-沸石的混合填料(以体积比 4:1 的比例混合) ,其中碎石粒径为 2 ~ 4 cm ,沸石粒径为 5 ~ 15 mm ,在碎石-沸石分段床的前段铺设 3 m 长的沸石 ,后段铺设 12 m 长的碎石(亦按体积比 4:1 的比例填) 。并在潜流人工湿地内需要采样的点预埋直径为 20 ~ 40 cm 的 PVC 管 ,管上开孔管 ,便于试验中采集水样。

为了达到较好的处理效果 ,在人工湿地还加设生态浮床系统 ,即在表面流人工湿地的前端设置 3 个并联的塘 ,并在塘里安装浮床(浮床按水面的 30% 设置) 。在 A 塘和 B 塘分别设置菱形造型和梅花型造型的浮床 ,而 C 塘则为空白对照。在 A 塘的

浮岛种植德国鸢尾 135 株 ,在 B 塘的浮岛种植美人蕉 135 株 ,目的是让污水先经过生态浮床处理后再进入表面流人工湿地。

1.2 改进湿地植被

湿地植物分为浮水植物、挺水植物和沉水植物 3 种。试验区常见各种类型湿地植物的特性见表 1。本研究中湿地植被的选择原则是 ,选取高淳地区较典型的水生、湿生等多年生的植物为主 ,因为这些植物根系发达 ,对污染物的净化作用较大^[4 8]。

一般而言 ,将人工湿地分成 3 个区进行植物的种植。一区是浮游植物覆盖区 ,在该区种植浮水植物覆盖水面 ,以沉积水中的悬浮物。二区是自由水面区 ,自由水面上没有大量的浮水植物 ,但可生长挺水植物。由于没有植物的遮挡 ,阳光直射 ,自由水面区容易滋生藻类 ,藻类大量繁殖对水质有较大影响。为了减少藻类的繁殖 ,二区水力停留时间应小于 3 d ,并种植一些能限制藻类繁殖的挺水植物。三区是浮水植物覆盖区 ,在该区种植浮水植物 ,目的是沉降二区所产生的悬浮物 ,同时提供厌氧条件 ,促进反硝化作用。有的工程对悬浮物去除要求较高 ,在一区前面多加了一个入口区 ,该入口区的作用主要是让悬浮物沉积 ,还在三区后加了一个出口区 ,在该出口区种植一些挺水植物 ,对于防止悬浮物流出湿地有明显的效果。

1.3 改进灌排系统

根据不同暗管间距、埋深及灌排分层等 ,将 6.67 hm² 暗管灌溉和排水一体化的主体试验区分成 4 个试验分区。利用修整后的 1 号水塘和 2 号水塘为主体试验区提供灌溉用水 ,1 号水塘从淳东灌区干渠及人工湿地系统取水为试验一区提供灌溉用水 ,2 号水塘主要从塘堰湿地取水 ,利用 2 号水塘现有的灌溉泵站为试验二、三、四区提供灌溉用水(图 1)。

试验一区的总耕地面积为 3.13 hm² ,共埋设暗管 47 根 ,总长为 4 000 m ;试验二区总耕地面积 1.67 hm² ,共埋设暗管 13 根 ,总长 1 000 m ;试验三区总耕地面积约为 0.93 hm² ,共埋设暗管 10 根 ,总长 800 m ;试验四区总耕地面积约为 0.93 hm² ,共埋设暗管 13 根 ,总长 1 100 m。

参照国内外的在低压管道灌溉技术方面的相关

表 1 不同湿地植物特性

项目	代表植物	特性
浮水植物	凤眼莲、大 芡、水芹菜、李氏禾、浮萍、水蕹菜、豆瓣菜	生长迅速 ,繁殖快 ,其根系直接从水体中吸收 N、P 等营养物质
挺水植物	芦苇、茭草、香蒲、旱伞竹、篁竹草、 草、水葱、水莎草、纸莎草	根茎生长在水体底泥之中 ,茎、叶挺出水面 ,适应能力强 ,根系发达 ,生长量大 ,对 N 和 P 的吸收比较丰富 ,其发达的根系能给湿地补充氧气
沉水植物	苦草、金鱼藻、流苏菜、睡莲	几乎完全沉入于水中 ,或只有叶片浮在水面上 ,植物体的各部分都可吸收水分和养料 ,通气组织特别发达 ,有利于在水中缺乏空气的情况下进行气体交换

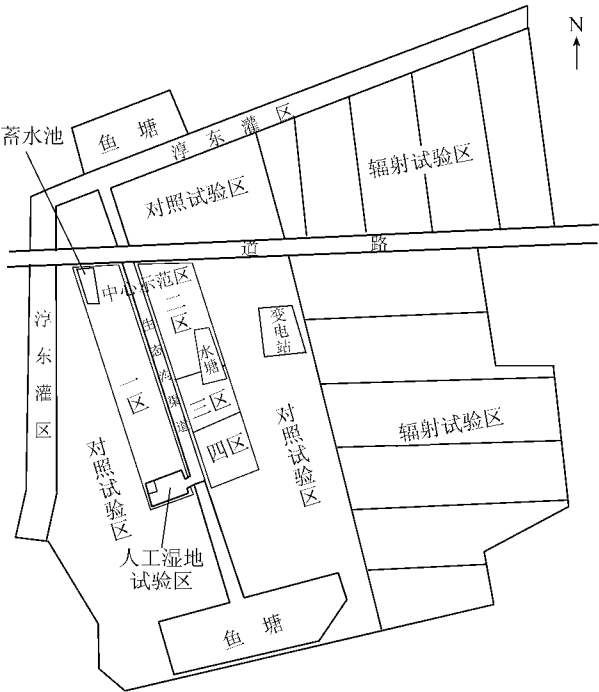


图1 WRSIS 中心示范区平面示意图

研究成果,结合耕地现状,将试验一区的暗管按间距 8 m、埋深 0.8 m 铺设;试验二区暗管间距 15 m,埋深 1 m;试验三区暗管间距 10 m,埋深 1 m;试验四区暗管间距 8 m,埋深 0.8 m。并在每个自然田块设置水位控制井,以便于根据不同作物种植情况协调相应田块的灌溉水量。

1.4 改进水塘

在项目区开挖两个相距 570 m 的水塘,1 号水塘处于项目区最高位置,占地面积 2 395.96 m²,紧靠一号试验区,将其作为项目一区的主要灌溉水源;2 号水塘处于项目区最低位置,占地面积 4 806.82 m²,现有一套灌溉泵站系统,主要是为项目二、三、四区及其周边耕地供水。

项目区夏季种植作物为水稻和玉米、大豆等旱作物,冬季种植作物为小麦和油菜及蔬菜。以需水量较大的夏季种植作物水稻为计算项目区(包括中心示范区和辐射试验区)蓄水池容积的依据。水稻的灌溉水量参照淳东灌区主要农作物各月份(6—9 月)作物需水系数表(1.12:1.3:1.35:1.3)进行分配,把作物需水系数最大的月份作为蓄水池容积设计的依据^[5]。

中心示范区 1 号水塘和 2 号水塘的灌溉面积为 6.67 hm²,所需蓄水容积总量为 7 367 m³。1 号水塘的灌溉面积约 3.07 hm²,蓄水容积为 3 388.82 m³,蓄水深度为 2.5 m,正常水位定为 28.8 m。2 号水塘灌溉面积约 3.6 hm²,其蓄水容积为 3 978.18 m³,蓄水深度为 1.5 m。蓄水塘具体尺寸见图 2。

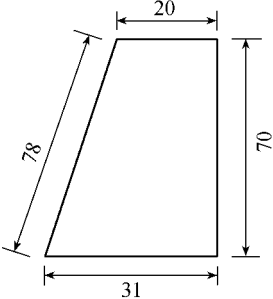


图2 蓄水塘尺寸示意图(单位:m)

2 WRSIS 改进系统的效应分析

2.1 节水

节水效果主要体现在水田作物灌溉用水量上,表现为两个方面:一是示范区采用了不同的水稻灌溉模式,节水灌溉尤其是控灌中蓄模式下,水稻的灌溉用水量最省;二是不同 WRSIS 运行方式下水稻灌溉用水量也有较大差异,见表 2。

表2 WRSIS 运行方式条件下不同灌溉模式的水稻产量及灌溉用水量

项目区	灌溉方式	水稻产量/ (kg·hm ⁻²)	灌溉用水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·m ⁻³)
二区	常规灌溉	8 169.90	9 499.95	0.86
	浅湿灌溉	8 013.00	7 704.75	1.04
	控制灌溉	7 508.55	6 888.60	1.09
	控灌中蓄	8 152.65	5 584.05	1.46
三区	常规灌溉	7 789.95	9 499.95	0.82
	浅湿灌溉	8 089.95	7 704.75	1.05
	控制灌溉	7 990.80	6 888.60	1.16
	控灌中蓄	8 376.15	5 584.05	1.5
四区	常规灌溉	7 884.90	9 499.95	0.83
	浅湿灌溉	8 321.10	7 704.75	1.08
	控制灌溉	8 128.50	6 888.60	1.18
	控灌中蓄	8 487.75	5 584.05	1.52
对照区	常规灌溉	7 219.95	9 499.95	0.76
	浅湿灌溉	7 396.50	7 704.75	0.96
	控制灌溉	7 164.15	6 888.60	1.04
	控灌中蓄	7 371.00	5 584.05	1.32

从表 2 可以看出,控灌中蓄节水灌溉模式的水分利用效率最大,是常规灌溉模式的两倍,不同条件下控灌中蓄不仅水分利用效率较高,而且产量也有一定优势。这是因为控灌中蓄节水灌溉模式与其他节水灌溉模式相比,其利用了 WRSIS 的蓄雨功能,加强了对天然降雨的利用,因而节水效果十分显著。

统计结果表明,示范区田块采用了改进的 WRSIS,由于对田间排水采取了一定控制,全生育期灌溉用水量也有较大幅度减少,与没有采取 WRSIS 的对照区相比,节水幅度平均为 20.2%。以上结果充分表明 WRSIS 改进系统有较好的节水效果,若结合合理的节水灌溉模式,节水效果更加显著。

2.2 增产

a. 旱作物的增产效应。2010 年 ,试验区大面积种植的旱作物是小麦和油菜。测定了小麦种植田块 2 号、16 号 and 对照区(小麦) ,及油菜种植田块 4 号、6 号、10 号、13 号及对照区(油菜) 的产量 ,结果显示 ,与对照区相比 ,WRSIS 改进系统的旱作物产量均有一定程度的增加 ,其中小麦实产最高达到 4887 kg/hm² ,比对照区增产 735.75 kg/hm² ,增产幅度达到 17.8% ,油菜最高产量达到 2614.5 kg/hm² ,增产幅度达到 19.9% ,增产效果十分显著。分析其原因 ,试验区旱作物的关键生育期(3—4 月)春雨连绵 ,土壤渍害严重 ,改进的 WRSIS 通过地下暗管和控制柜加速旱作物农田排水 ,减轻了渍害 ,为作物生长提供了良好的通气条件 ,从而达到增产的效应^[6]。

b. 水稻增产效应。统计了不同灌溉模式的水稻产量及同一施肥量条件下改进 WRSIS 运行模式下的水稻产量(表 2)。与常规灌溉模式相比 ,3 种施肥量下控灌中蓄节水灌溉模式的产量平均增产了约 810 kg/hm² ,增产幅度达到 11.5% ;而同一施肥量条件下不同 WRSIS 运行模式的水稻产量最大增产达到 1 800 kg/hm² ,最小增产达到 510.75 kg/hm² ,增产幅度分别为 25.6% 和 7.3% ,增产效应比较明显。

2.3 改善水质

a. 旱作物生育期间。图 3 为改进的 WRSIS 示范区旱作物生长期施肥不久后水质改善情况(图 3 中 G1、G2 和 G3 分别代表 3 段沟渠湿地排水口 ,S 为

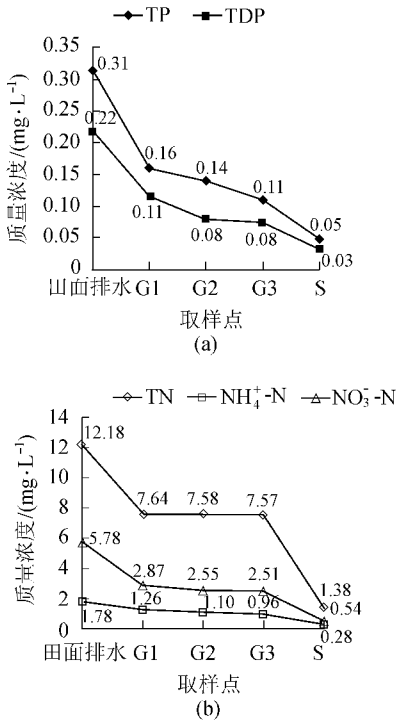


图 3 改进的 WRSIS 示范区旱作物生长期施肥不久后水质改善情况

人工湿地排水口)。从图 3 中可以看出 ,农田排出水各水质指标总体呈下降趋势 ,TP 质量浓度由田面排水口的 0.31 mg/L 下降到人工湿地排水口的 0.05 mg/L ,TN 质量浓度从 12.18 mg/L 下降到 1.38 mg/L ,分别降低了 84.1% 和 88.7% ,TDP 和 NO₃⁻-N 的变化趋势和 TP、TN 的变化趋势一致 ,NH₄⁺-N 变化也较大 ,从 1.78 mg/L 下降到 0.28 mg/L ,表明污染物去除效果十分显著。从上面的分析可以说明 ,通过 WRSIS 改进系统的净化 ,最终排出湿地的水质均有明显改善 ,WRSIS 改进系统的减污效果十分明显^[7]。

b. 水稻生育期间。图 4 为改进的 WRSIS 示范区水稻追施分蘖肥后水质改善情况(图 4 中 G1、G2、G3 和 S 的含义与图 3 同)。

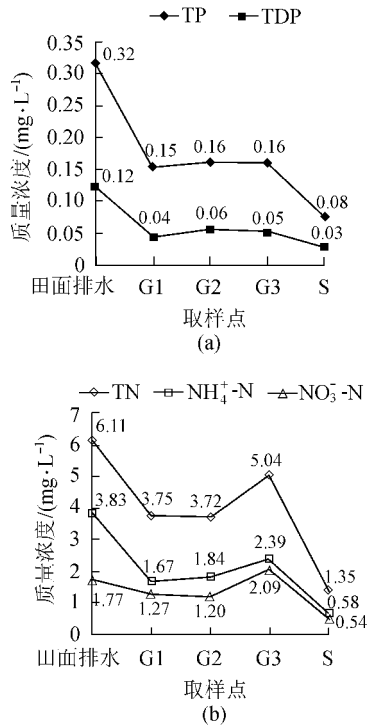


图 4 改进的 WRSIS 示范区水稻追施分蘖肥后水质改善情况

由图 4 可见 ,田面排水口水中的 TP、TDP 质量浓度达到 0.32 mg/L 和 0.12 mg/L ,但流水进入沟渠湿地和人工湿地后 ,水中 TP、TDP 的质量浓度降低到 0.08 mg/L 和 0.03 mg/L ,降幅很大。各种形态的氮在田面排水口中质量浓度也较高 ,但通过湿地系统后 ,其质量浓度亦有较大幅度的降低。这表明通过 WRSIS 改进系统的湿地子系统的净化 ,最终排出湿地的水质有明显的改善 ,沟渠和人工湿地系统的协同作用对稻田排水的净化效果十分显著。

3 结 语

可从湿地、湿地植被、灌溉系统和水塘 4 方面对美国 WRSIS 进行改进 ,改进的 WRSIS(下转第 87 页)

藻类增长影响研究[J].湖泊科学 2008 20(4):409-419.

[4] 杨漪帆,朱永青,林卫青.淀山湖富营养化控制的模型研究[J].环境科技 2009 22(2):17-21.

[5] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,1997.

[6] 陈伟民.湖泊生态系统观测方法[M].北京:中国环境科学出版社 2004.

[7] 杨虹,汪益嫔,薄芳芳,等.淀山湖浮游植物群落时空分布动态初步研究[J].华东师范大学学报:自然科学版,2010(6):54-63.

[8] CARLSON R E. A trophic state index for lakes[J]. Limnology and Oceanography, 1977 22(2):361-369.

[9] CAI Qing-hua, LIU Jian-kang, KING L A. Comprehensive model for assessing lake eutrophication[J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2002 13(12):1674-1678.

[10] 王明翠,刘雪芹,张建辉.湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测 2002 18(5):47-49.

[11] SL395—2007 地表水资源质量评价技术规程[S].

[12] 范志锋,王丽卿,陈林兴,等.水质标识指数法在淀山湖水质评价中的应用[J].上海海洋大学学报,2009,18(3):314-320.

[13] 王海珍,陈德辉,王全喜,等.水生植被对富营养化湖泊生态恢复的作用[J].自然杂志 2002 24(1):33-36.

[14] 胡莲,万成炎,沈建忠,等.沉水植物在富营养化水体生态恢复中的作用及前景[J].水利渔业,2006,26(5):69-71.

[15] 易仲强,刘德富.富营养化湖库生态恢复研究探讨[J].中国农村水利水电,2010(6):26-29.

[16] 哈欢,朱宏进,朱雪生,等.淀山湖富营养化防治与生态修复技术研究[J].中国水利,2009(13):46-48.

(收稿日期 2011-06-05 编辑 徐娟)

(上接第 78 页)

具有较好的节水、增产和改善水质的效应,值得在我国推广。

参考文献:

[1] WILLATT S T, TAYLOR H M. Water uptake by soya-bean roots as affected by their depth and by soil water content.[J]. Agric Sci Camb, 1977 90:205-213.

[2] 王修贵,魏小华.一种新型的现代小型农田水利工程[J].水利水电科技进展 2010 30(1):91-94.

[3] 李宝贵,周怀东,尹澄清.湿地植物及其根孔在非点源污染治理中的展望[J].中国水利 2003(4):51-52.

[4] 王海燕,邵孝侯,廖林仙,等.WRSIS 在灌溉农业水土环境修复中的应用及其展望[C]//中国土壤学会.中国土

壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集.北京:中国农业大学出版社 2008 1-5.

[5] 艾天成,李方敏.暗管排水对涝渍地耕层土壤理化性质的影响[J].长江大学学报(自科版):农学卷,2007 4(2):4-6.

[6] 茆智.水稻节水灌溉及其对环境的影响[J].中国工程科学 2002 4(7):8-16.

[7] 梁艳萍,许迪燃,季益农,等.冬小麦不同畦灌施肥模式水氮分布田间试验[J].农业工程学报 2009 25(3):22-26.

[8] 谭洪新,周琪.湿地填料的磷吸附特性及潜流人工湿地除磷效果研究[J].农业环境科学学报,2005,24(2):353-356.

(收稿日期 2011-04-07 编辑 彭桃英)

(上接第 82 页)

[5] 申爱红.中国未来人口预测的分析[J].商情(教育经济研究)2008(6):7.

[6] 李佩成.论中国农业水土工程面临的新问题及其历史使命[J].沈阳农业大学学报 2004 35(5/6):373-377.

[7] 《气候变化国家评估报告》编写委员会.气候变化国家评估报告[J].世界环境 2007(2):23-33.

[8] 居焜,许吟隆,熊伟.气候变化对我国农业的影响[J].环境保护 2007(11):71-73.

[9] 庞英.论水资源短缺与粮食安全[J].内蒙古科技与经济 2001(1):11-14.

[10] 韩洪云.21 世纪中国农业水资源利用[J].农业经济,2003(11):4-7.

[11] 韩栋,赵越.我国粮食安全与节水灌溉问题的探讨[J].中国水利 2011(11):26-27.

[12] 李英能.浅论灌区灌溉水利用系数[J].中国农村水利水电 2003(7):23-26.

[13] 彭世彰,高晓丽.提高灌溉水利用系数的探讨[J].中国水利 2011(1):33-35.

[14] 张荣彪,王慧春,王春光.浅议提高灌溉水利用率的途径[J].水利科技与经济 2007 13(12):934-935.

[15] 程伍群,安秀荣,李楠.渠道灌溉工程措施水资源利用系数的研究[C]//杨培岭.都市农业工程科技创新与发展.北京:中国水利水电出版社 2005.

[16] 许建中,赵竞成,高峰,等.灌溉水利用系数传统测定方法存在问题及影响因素分析[J].中国水利,2004(17):39-41.

[17] 崔远来,李远华,陆垂裕.灌溉用水有效利用系数尺度效应分析[J].中国水利 2009(3):18-21.

(收稿日期 2012-03-31 编辑 彭桃英)