

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.01.029

青海省巴音河流域节水前后灌溉回归水计算

李茜¹, 逢勇^{1,2}, 罗缙^{1,2}

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了解巴音河流域灌区工程节水措施对灌溉回归水的影响程度以及灌溉回归水与灌溉总水量、灌溉面积等的关系, 并了解滴灌比例对灌溉回归水的影响程度, 对不同年份的灌溉回归水量进行了计算分析, 计算出2011年和2014年巴音河流域灌区灌溉回归水量分别为6170.2万m³和3736万m³。根据2011年和2014年这两个不同年份的灌溉回归水量, 将滴灌和漫灌两种造成回归水量变化的灌溉方式考虑在内, 确定出灌溉回归水量方程式。

关键词: 回归水量; 节水措施; 滴灌; 巴音河流域

中图分类号: S274.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2016)01-0167-05

Statistics of irrigation return water before and after water saving in Bayin River Basin in Qinghai Province

LI Xi¹, PANG Yong^{1,2}, LUO Jin^{1,2}

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to understand the influential degree of engineering water-saving measures on irrigation return water and the relationships among irrigation return water, irrigation total water and irrigation area and look into the influential degree of drip irrigation ratio on the irrigation return flows, the irrigation return water of different years is calculated and analyzed, figuring out that the irrigation return flow in Bayin River basin in 2011 and 2014 are 61.702 million m³ and 37.36 million m³, respectively. Taking different irrigation methods of drip irrigation and flood irrigation which may cause the variety in irrigation return flow into consideration, the equations to calculate the irrigation return flow are determined, according to the amount of irrigation return flow in 2011 and 2014.

Key words: return water; water-saving measures; drip irrigation; Bayin River Basin

水是农业的命脉^[1],灌溉显著地增加了农业生产的产量,能够保证稳定地供应食物和原材料^[2],对社会的稳定有着重要的作用。近年来,由于全球人口增长和社会经济发展,需水量增长速度惊人,用水的浪费和水资源的污染,使水资源短缺越来越成为制约经济发展的因素。许多国家可用于灌溉的水量越来越稀少^[3],特别是在我国西北干旱地区,降水量少,气候极端干旱,其水资源状况决定了农业生产的出路在于发展节水农业^[4]。节水农业是农业发展的必然趋势^[5-6],并且已经成为西北极干旱地区

乃至全国农业的重点。农业节水灌溉前后回归水量变化的准确估算,不仅对灌区节水措施规划有科学的指导意义,而且对区域水资源的优化配置、大型水利枢纽工程的规划和设计乃至区域经济发展等都有着十分重要的现实意义^[7]。

1 研究区域概况

1.1 巴音河流域概况

巴音河流域位于青海省海西州州府所在地德令哈市境内,是柴达木盆地重要的政治、经济、文化和

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-010,2012ZX07101-001)
作者简介:李茜(1990—),女,硕士研究生,研究方向为环境规划与综合评价。E-mail:xuehefeifei2012@126.com

生态中心。巴音河流域降雨量较少、蒸发量大、空气干燥,气温低而变幅大且垂直分布明显,昼夜温差大,冬长暑短,雨热同季。根据德令哈市气象站 1972—2000 年的统计资料,该地区多年平均气温为 4℃,多年平均降水量为 180.5 mm,蒸发量为 2098.2 mm。

1.2 巴音河流域灌区概况

据调查可知,巴音河流域主要作物有小麦、青稞、油料、豆类、土豆、蔬菜等 6 种。截至 2011 年,巴音河干流农田灌溉面积为 0.405 万 hm²,6 种植物种植结构为 50 : 20 : 6 : 4 : 5 : 15,林地灌溉面积为 0.710 万 hm²,人工饲草地灌溉面积为 0.201 万 hm²。2014 年农田、林地和人工饲草地的灌溉面积都维持现状不变,但农田的主要 6 种作物结构调整调整为 43 : 17 : 10 : 6 : 7 : 17。巴音河灌区灌水率见图 1。

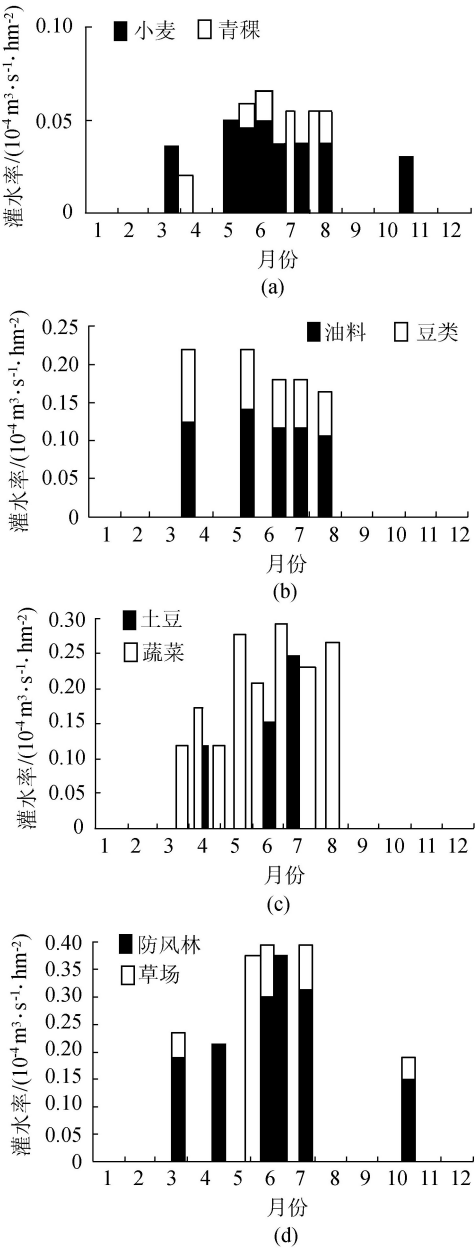


图 1 巴音河灌区灌水率

1.3 灌区节水工程

通过申请节水与配套改造项目、草地节水灌溉项目、农业综合开发等项目,积极争取国家专项资金,对现有的灌区进行节水与配套改造,对部分干、支、斗渠渠道采取防渗衬砌,提高渠道水的利用率。同时在菜田实施温室蔬菜大棚和枸杞经济林全面推广高效节水的滴灌技术,2011—2014 年节水工程及节水效率统计见表 1,节水前后灌溉用水量变化见表 2。

由表 2 可知,巴音河流域灌区 2011 年的滴灌比例为 12.2%,灌溉用水总量为 20 600 万 m³,经过一系列的节水工程,到了 2014 年,滴灌比例上升到 27.2%,灌溉用水总量降低到 15 544.4 万 m³。

2 节水前后灌溉回归水分析

2.1 节水工程实施之前耗水量分析

2.1.1 农作物耗水量分析

在干旱地区,农业经济在当地经济中占主导地位,对当地的经济起着决定性的作用。然而,农业也成为最大的用水户。计算作物需水量的方法有很多种,其中最常用的方法就是作物系数—参考作物需水量法^[8]。

FAO 作物需水量专家咨询组推荐充分供水条件下采用的作物需水量计算公式为

$$ET_c = K_c ET_0 \tag{1}$$

式中: ET_c 为作物需水量; K_c 为综合作物系数; ET_0 为参考作物需水量。

参考作物需水量(ET_0)的计算方法采用修正的 Penman 公式,具体计算公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \tag{2}$$

式中: R_n 为作物表层的净辐射, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; G 为土壤热通量, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; T 为 2 m 处的温度,℃; U_2 为冠层上方 2 m 处的风速, m/s ; e_s 为饱和水汽压, kPa ; e_a 为实际水汽压, kPa ; Δ 为温度随饱和水汽压变化的斜率, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$; γ 为干湿表常数, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ 。

本文参照李润杰等^[9]研究柴达木盆地节水农业体系建设探讨的研究结果,通过试验观测并采用修正的 Penman 公式对柴达木盆地德令哈地区 6 类主要农作物的 ET_c 、 ET_0 、 K_c 值进行了计算(表 3)。可以测算出 2011 年巴音河干流灌区农作物的耗水量为 2 449 万 m³。

表 1 2011—2014 年节水工程及节水效率统计								
工程名称		工程概况	改善面积/ 万 hm ²	灌溉水利用系数		灌溉用水量/万 m ³		年节 水量/ 万 m ³
				建设前	建设后	建设前	建设后	
农田 节水 改造 项目	黑石山水库灌区续建配套与节水改造(一期)工程	维修引水枢纽 1 座,干渠 9.771 km,改造建筑物 33 座	0.065	0.38	0.48	991.3	784.8	206.5
	黑石山水库灌区续建配套与节水改造(二期)工程	改造干渠 11.486 km,维修渠系建筑物 32 座	0.263	0.38	0.48	4012.4	3176.5	835.9
	黑石山水库灌区续建配套与节水改造(三期)工程	改造渠道 11.2674 km,配套渠系建筑物 17 座	0.097	0.38	0.48	1481.9	1173.2	308.7
	退耕还林地区基本口粮田建设项目	改建支渠、斗渠及各类建筑物	0.137	0.38	0.395	4333.3	4168.7	164.6
	退耕还林地区基本口粮田建设项目	改建支渠 99.9 km,斗渠 133.74 km,各类建筑物 5169 座	0.370	0.38	0.58	5643.5	3697.5	1946.0
设施 农业 节水 改造 项目	德令哈市生态农业节水灌溉示范项目	新建机井 6 座,铺设管道 99.72 km,铺设滴灌带 1653.66 km,阀门井 6 座	0.0343	0.38	0.671	522.8	296.0	226.7
	德令哈市设施农业节水灌溉项目	新建机井 2 眼,铺设管道 166.2 km,铺设滴灌带 2756.1 km	0.023	0.38	0.671	357.7	202.6	155.1
草地 节水 灌溉 项目	德令哈市蓄集乡浩特查汗草原节水灌溉工程	改建支渠 5.93 km,渠系建筑物 16 座	0.047	0.33	0.385	529.2	453.6	75.6
	德令哈市晨兴草原节水灌溉工程	改造支渠 4 km,斗渠 4 km,各类建筑物 11 座	0.013	0.33	0.385	151.2	129.6	21.6
	德令哈市尕海镇泉水村草原节水灌溉工程	改造支渠 4 km,斗渠 5 km,各类建筑物 9 座	0.013	0.33	0.385	151.2	129.6	21.6
	德令哈市新民草原节水灌溉示范项目	渠道衬砌及建筑物维修改造等	0.009	0.33	0.385	105.8	90.7	15.1
	德令哈市平原村草原节水灌溉示范项目	新建支渠 1 条,长 5.1 km;斗渠 22 条,长 9.13 km;各类渠系建筑物 205 座	0.013	0.33	0.385	151.2	129.6	21.6
	德令哈市尕海镇东升村草原节水灌溉示范项目	新建斗渠 4 条 3.894 km,新建斗分 3 条 1.453 km,新建各类渠系建筑物 89 座	0.013	0.33	0.385	143.6	123.1	20.5
	德令哈市柯鲁柯镇田野草原节水灌溉工程	改造支渠 0.9 km,斗渠 4 km,各类建筑物 10 座	0.013	0.33	0.385	151.2	129.6	21.6
林业节 水灌溉 项目	德令哈市枸杞标准化种植基地建设项目工程	新建机井 40 眼,铺设管道 283.5 km,铺设滴灌带 5051.6 km	0.140	0.33	0.72	1872.6	858.3	1014.3
合 计			1.400	20598.9 15543.4 5055.6				

注:农田中的菜园采取滴灌方式,粮田采取渠灌方式;林地中的枸杞林采取滴灌方式,防风林采取渠灌方式;人工草地采用渠灌方式。

表 2 节水前后灌溉用水量变化

年份	总灌溉面积/ 万 hm ²	滴灌 比例/%	渠道水利用 率/%	灌溉用水 总量/万 m ³
2011	1.316	12.2	45	20600
2014	1.316	27.2	54	15544.4

表 3 柴达木德令哈 6 类作物 ET_c 、 ET_0 、 K_c 值 mm

作物种类	ET_c	ET_0	K_c
春小麦	663.7	724.0	0.89
青 稞	531.9	597.6	0.89
油 菜	530.3	654.5	0.81
豌 豆	490.1	612.6	0.80
蚕 豆	603.0	701.6	0.86
马铃薯	546.4	691.6	0.79

注:根据参考文献[9]整理。

2.1.2 林草地耗水量分析

由于不同作物以及不同的灌溉方式,耗水量不同,农业种植结构以及灌溉方式的变化将会直接导致地区用水量的变化。根据鹿强等^[10]研究北方灌区灌水取得的研究结果,由灌区作物参考蒸发、腾发量和作物系数计算得到不同灌溉方式设计土壤湿润

比 $P(\%)$,其中常规沟、畦灌的土壤湿润比 P 为 100%,膜上灌溉的土壤湿润比 P 为 85%,喷灌、微喷灌溉的土壤湿润比 P 为 75%(结合新疆干旱区情况,在原基础上略有提高),微灌(滴灌)的土壤湿润比 P 为 70%(结合新疆干旱区情况,在原基础上略有提高)。

对应上述中“土壤湿润比 P 取值”乘以常规地面灌溉用水定额,可得出相应的不同灌溉方式灌溉用水定额[10]。即滴灌的用水定额计算公式为

$$W_{\text{滴灌}} = W_{\text{常规灌}} \cdot P \tag{3}$$

式中: $W_{\text{滴灌}}$ 为滴灌用水定额; $W_{\text{常规灌}}$ 为常规灌(畦灌)用水定额; P 为土壤湿润比。

在 2011 年,巴音河干流的林地主要包括枸杞经济林和防风林,其中防风林的面积为 0.358 万 hm²,枸杞经济林的面积为 0.352 万 hm²,其中采取畦灌的方式进行灌溉的枸杞经济林的面积为 0.191 万 hm²,采取滴灌的方式进行灌溉的枸杞经济林的面积为 0.161 万 hm²。巴音河干流的人工草地面积为 0.201

万 hm^2 。依据《青海省用水定额》(青海省水利厅),结合当地的实际情况,得到林地的灌溉用水定额为 $4\,125\text{ m}^3/\text{hm}^2$;枸杞经济林的灌溉用水定额为 $2\,175\text{ m}^3/\text{hm}^2$;人工草地的灌溉用水定额为 $4\,140\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。因此可以计算出 2011 年巴音河干流林草地的耗水量为 $2\,958\text{ 万 m}^3$ 。最终计算出巴音河干流 2011 年农业总的耗水量为 $5\,407\text{ 万 m}^3$ 。

2.2 节水工程实施后耗水量分析

经过一系列的节水工程之后,在 2014 年巴音河干流灌区农田中的菜田全部采取滴灌的方式进行灌溉,枸杞经济林采取滴灌方式进行灌溉的面积增加到 0.296 万 hm^2 。根据 Penman 公式以及表 4 计算出在经过一系列节水工程之后 2014 年巴音河干流总的耗水量为 $5\,000\text{ 万 m}^3$ 。

3 灌溉回归水量分析

根据青海省海西州水利局做的田间水灌溉回归实验,2011 年灌溉回归系数为 0.3。用水量平衡式计算回归水量:

$$W_{\text{回归}} = \gamma W_{\text{灌溉}} \tag{4}$$

$$W_{\text{回归}} = W_{\text{灌溉}} - W_{\text{损失}} - W_{\text{耗}} \tag{5}$$

式中: γ 为灌溉回归水系数; $W_{\text{灌溉}}$ 为灌溉水量; $W_{\text{损失}}$ 为灌溉总损失水量; $W_{\text{耗}}$ 为作物总的耗水量。

计算得到 2011 年的灌溉回归水量为 $6\,170.2\text{ 万 m}^3$,灌溉总损失水量为 $9\,022.8\text{ 万 m}^3$ 。由于流域渠道的比例和滴灌、漫灌比例导致的灌溉水损失量的不同在灌溉总水量中有所体现,且漫灌、滴灌导致的灌溉水损失量在植物耗水量中也有考虑,以及研究相关资料认为灌溉水总损失量与灌溉总水量成正比。由 2011 年的相关数据可计算出 2014 年的灌溉总损失水量为 $6\,808.4\text{ 万 m}^3$ 。然后根据上式计算得到 2014 年的灌溉回归水量为 $3\,736\text{ 万 m}^3$ 。

为了进一步分析回归水量与灌溉水量及灌溉面积、降水量之间的关系以及滴灌、漫灌比例对回归水量的影响,本文参照李海霞等^[11]研究宁夏清水河扬水灌区灌溉回归水的研究结果,利用回归算法可以定出相应的三元回归方程式,通过分析该研究结果发现,降水量对灌溉回归水的影响甚微,且在巴音河流域的德令哈地区降水量较少,可忽略。因此,利用上述关于 2011 年和 2014 年回归水量的研究成果,确定出的回归方程式为:

$$Y = W_{\text{灌溉}} - \lambda_1 A_1 - \lambda_2 A_2 \tag{6}$$

式中: Y 为灌溉回归水量; A_1 为滴灌的灌溉面积; A_2 为漫灌的灌溉面积; λ_1 取 -0.70 ; λ_2 取 1.265 。

4 结 论

a. 在已知巴音河流域灌区 2011 年灌溉回归系

数为 0.3 的基础上,计算出 2011 年巴音河流域灌区灌溉回归水量为 $6\,170.2\text{ 万 m}^3$ 。根据 2011 年的数据推算出 2014 年的灌溉总损失水量,进而计算出 2014 年巴音河流域灌区灌溉回归水量为 $3\,736\text{ 万 m}^3$ 。

b. 根据 2011 年和 2014 年这两个不同年份的灌溉回归水量,确定出灌溉回归水量方程式,将滴灌和漫灌两种造成回归水量变化的灌溉方式考虑在内,便于今后确定巴音河流域灌区的灌溉回归水量,更有利于科学的指导灌区节水措施规划。

参考文献:

[1] 孙景生,康绍忠.我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策[J]. 农业工程学报,2000,16 (2) : 1-5. (SUN Jingsheng,KANG Shaozhong. The present situation of water resources utilization in China and water-saving irrigation development strategies [J]. Journal of Agricultural Engineering,2000,16(2):1-5. (in Chinese))

[2] GARCÍA-GARIZÁBAL I, CAUSAPÉ J. Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows[J]. Journal of Hydrology,2010,385 (1) :36-43.

[3] MOHAN S,VIJAYALAKSHMI D P. Prediction of irrigation return flows through a hierarchical modeling approach[J]. Agricultural Water Management,2008,96(2) :233-246.

[4] 张世彪,李松,牛珂平,等. 甘肃秦王川灌区农业节水途径探讨[J]. 中国沙漠,2012,32 (1) :270-275. (ZHANG Shibiao,LI Song,NIU Keping, et al. Explore ways of agricultural water saving in Qinwangchuan Irrigation District of Gansu Province[J]. Chinese Desert,2012,32 (1) :270-275. (in Chinese))

[5] 张利平,夏军,胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境,2009,18 (2) :116-120. (ZHANG Liping,XIA Jun,HU Zhifang. Analysis of water resources and water resources security problems in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2009,18(2):116-120. (in Chinese))

[6] 山仑,徐萌. 节水农业及其生理生态基础[J]. 应用生态学报,1991 (1) :70-76. (SHAN Lun,XU Meng. Water-saving agriculture and its physiological and ecological basis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1991(1):70-76. (in Chinese))

[7] 傅国斌,于静洁,刘昌明,等. 灌区节水潜力估算的方法及应用[J]. 灌溉排水,2001,20(2) :24-28. (FU Guobin,YU Jingjie,LIU Changming, et al. Method to estimate the potential of water-saving irrigation and its application[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20 (2) : 24-28. (in Chinese))

[8] 樊引琴,蔡焕杰. 单作物系数法和双作物系数法计算作物需水量的比较研究[J]. 水利学报,2002 (3) :50-54.

(FAN Yinqin, CAI Huanjie. A comparative study on crop water requirement calculation of single crop coefficient method and the dual crop coefficient approach[J]. Journal of Water Resources, 2002(3):50-54. (in Chinese))

[9] 李润杰,孙海兵,冯玲正,等.柴达木盆地节水农业体系建设探讨[J]. 节水灌溉, 2005(2):38-40. (LI Runjie, SUN Haibing, FENG Lingzheng, et al. Discussion on the construction of water-saving agriculture system in Qaidam Basin[J]. Water Saving Irrigation, 2005(2):38-40. (in Chinese))

[10] 鹿强,周和平.干旱区农业灌溉用水定额研究[J]. 中国

水利, 2011(21):45-46. (LU Qiang, ZHOU Heping. Research of agricultural irrigation water quota in arid zone [J]. China Water Conservancy, 2011(21):45-46. (in Chinese))

[11] 李海霞,包淑萍,马如国,等.宁夏清水河扬水灌区灌溉回归水初步分析[J]. 宁夏工程技术, 2007,6(2):104-107. (LI Haixia, BAO Shuping, MA Ruguo, et al. Preliminary analysis of return-water in Ningxia Qingshui River pumping irrigation [J]. Ningxia Engineering Technology, 2007,6(2):104-107. (in Chinese))

(收稿日期:2015-04-07 编辑:徐 娟)

(上接第 119 页)

[35] RODRIGUEZ-RODRIGUEZ C E, BARON E, GAGO-FERRERO P, et al. Removal of pharmaceuticals, polybrominated flame retardants and UV-filters from sludge by the fungus *Trametes versicolor* in bioslurry reactor [J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 233: 235-243.

[36] LIU Y S, YING G G, SHAREEF A, et al. Biodegradation of the ultraviolet filter benzophenone-3 under different redox conditions [J]. Environmental Toxicology and Chemistry/SETAC, 2012, 31(2):289-295.

[37] GAGO-FERRERO P, BADIA-FABREGAT M, OLIVARES A, et al. Evaluation of fungal-and photo-degradation as potential treatments for the removal of sunscreens BP3 and BP1 [J]. The Science of the Total Environment, 2012, 427/428:355-363.

[38] NGUYEN L N, HAI F I, YANG S, et al. Removal of pharmaceuticals, steroid hormones, phytoestrogens, UV-filters, industrial chemicals and pesticides by *Trametes versicolor*: role of biosorption and biodegradation [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2014, 88: 169-175.

[39] CHEN X, DENG H. Removal of ultraviolet filter from water by electro-ultrafiltration [J]. Desalination, 2013, 311:211-220.

[40] PHAN H V, HAI F I, KANG J, et al. Simultaneous nitrification/denitrification and trace organic contaminant (TrOC) removal by an anoxic-aerobic membrane bioreactor (MBR) [J]. Bioresour Technol, 2014, 165:96-104.

(收稿日期:2015-04-24 编辑:徐 娟)

(上接第 166 页)

[14] 董斌,茆智,李新建,等.灌溉-排水-湿地综合管理系统的引进和改造应用[J]. 中国农村水利水电, 2009(11):9-12. (DONG Bin, MAO Zhi, LI Xinjian, et al. Introduction, adaptation and application of wetland-reservoir-subirrigation-system in rice-based irrigation systems of South China [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(11):9-12. (in Chinese))

[15] 覃万国. “薄、浅、湿、晒”灌溉技术对杂交水稻的增产效果[J]. 中国农村水利水电, 1996(11):17-18. (QIN Wanguo. Yield increasing effect of hybrid rice from “Thin-Shallow-Wet-Dry” Irrigation [J]. China Rural Water and Hydropower, 1996(11):17-18. (in Chinese))

[16] 李丹,詹红丽,郭富庆. WRSIS 系统的初步改进设计及

试验效果分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(5):120-123. (LI Dan, ZHAN Hongli, GUO Fuqing. Preliminary improved design and experiment on WRSIS [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(5):120-123. (in Chinese))

[17] 赵荣,陈东宇,周少奇,等. k-C* 模型的人工湿地模拟研究[J]. 环境工程学报, 2012, 6(1):163-167. (ZHAO Rong, CHEN Dongyu, ZHOU Shaoqi, et al. Modeling of k-C* model for constructed wetland [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(1):163-167. (in Chinese))

[18] 郭元裕. 农田水力学[M]. 3 版. 北京:中国水利水电出版社, 1997.

(收稿日期:2015-06-17 编辑:徐 娟)