

干旱区不同地下水位对棉花膜下滴灌灌溉制度的响应研究

魏光辉

(新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

【摘要】 地下水埋深对作物灌溉制度的制定及土壤次生盐碱化的防治具有重要影响。为研究不同地下水位对棉花膜下滴灌灌溉制度的影响,本文以新疆孔雀河流域为研究区,利用 HYDRUS-2D 软件对不同地下水位下的土壤含水率动态进行模拟,结果表明:地下水埋深为 1m 时,地下水对土壤水的补给作用较强,灌溉定额 $3000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 较为适宜;地下水埋深为 2.0m 时,灌溉定额 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 较为适宜,此时棉花基本不受水分胁迫;地下水埋深为 3m 时,地下水对土壤水已无补给作用,灌溉定额 $5550\text{m}^3/\text{hm}^2$ 较为合适,此时水分胁迫时间累计 14d。研究结果为指导当地水资源开发利用及棉花种植业提供了重要参考。

【关键词】 干旱区; 棉花; 灌溉制度; 研究

中图分类号: TV52

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)01-0064-06

Research on the influence of different ground water levels on the irrigation system of drip irrigation under cotton film in arid areas

WEI Guanghui

(Xinjiang Tarim River Basin Administration, Korla 841000, China)

Abstract: Ground water burial depth has important influence on crop irrigation system formulation and soil secondary salinization prevention. In the paper, Xinjiang Kongque River Basin is regarded as a study area in order to study the influence of different ground water levels on irrigation system of irrigation under cotton film. HYDRUS-2D software is utilized for stimulating soil water content rate dynamically under different ground water levels. Results show that ground water has stronger supplementing role on soil water when ground water burial depth is 1m, and the irrigation quota of $3000\text{m}^3/\text{hm}^2$ is relatively appropriate. When the ground water burial depth is 2.0m, the irrigation quota of $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ is more appropriate, cotton is not threatened by water basically under this condition. When the ground water burial depth is 3m, ground water has no supplementing role to soil water, and irrigation quota of $5550\text{m}^3/\text{hm}^2$ is relatively appropriate, and water threatening time has been 14d cumulatively till present. The research results provide important reference for guiding local water resources development and utilization as well as cotton planting industry.

Key words: arid areas; cotton; irrigation system; research

新疆孔雀河流域地处塔里木盆地北缘,气候干旱少雨,棉花是该地区种植的主要经济作物。由于孔雀河流域水资源相对匮乏,故开展棉花节水灌溉制度研

究对于区域水资源的合理开发利用、提高农业水资源利用效率及灌区水资源规划具有重要意义。

目前,国内外关于不同作物灌溉制度的研究方法

总体来讲,大致可归纳为以下两类:第一类为大田试验法,例如,孙雪梅^[1]等采用自动称重式蒸渗仪研究了玉米喷灌灌溉制度,研究发现适度减少喷灌灌水定额,可减少作物腾发量,提高水分利用效率,且作物不减产;陶君^[2]等对辣椒微咸水膜下滴灌灌溉制度进行了研究,发现利用矿化度为 1.60g/L 的咸淡水混合灌溉模式,作物产量较高、品质较好;王峰^[3]等采用主成分法研究了温室番茄的亏缺灌溉制度,发现在作物开花和果实膨大期适当减少灌水量,可使果实品质最优,经济效益较好,此时节约灌水 56mm。第二类为数学模型法,例如,王文佳^[4]等利用 DSSAT 作物模型研究了不同水文年冬小麦灌溉制度;汤广民^[5]采用动态规划方法对淮北平原主要农作物在不同水文年的灌溉制度进行了优化;冯绍元^[6]等以石羊河流域春小麦咸水非充分灌溉制度为例,利用 SWAP 模型对不同水文年与灌水方案下的土壤水盐、作物产量和水分利用效率进行了模拟研究。尽管如此,上述研究均未考虑地下水对作物灌溉制度的影响。

由于在不同地下水位,土壤水与地下水的相互作用程度不尽相同,导致作物所需灌溉水量也各不相同^[7]。通过制定科学合理的灌溉制度,发挥地下水对土壤水的调节作用及作物自身在不同生育阶段的耐旱性,可提高水分利用效率并实现作物稳产丰产。鉴于此,本文以当地棉花种植中普遍采用的灌溉定额 4500m³/hm²为标准,利用 HYDRUS-2D 软件对研究区不同地下水位(1m、2m 与 3m)土壤含水率动态变化开

展数值模拟,以期为区域水资源的开发利用与棉花种植业发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

田间试验地理位置为东经 86°12′、北纬 41°36′,研究区位于孔雀河流域的库勒勒市西尼尔镇,属暖温带大陆性荒漠气候,年均气温 11.50℃,降水量 55.60mm,蒸发量 2750mm,日照时数 3036.20h,无霜期 191 天。

研究区土壤质地为砂壤土,肥力较差。地下水平均埋深 1.2~2m,棉花种植模式采用“一膜一管四行”(见图 1),棉花品种为当地普遍种植的新陆中 21 号,全生育期 134 天。棉花播种时间为 4 月中旬,6 月中旬开始灌溉,灌溉水源为孔雀河地表水,河水矿化度为 0.90g/L,灌溉方式为滴灌,滴头设计流量为 3.20L/h,设计工作压力 0.01MPa。

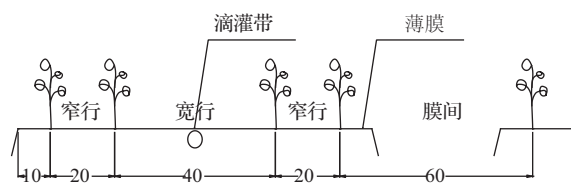


图1 棉花种植模式(单位:cm)

1.2 棉花灌溉制度

根据研究区调查结果,选取当地普遍采用的灌溉定额 4500m³/hm²,灌溉制度见表 1。

表1 棉花生育期灌溉制度

灌水次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
灌溉时间	6月 10日	6月 20日	6月 30日	7月 8日	7月 16日	7月 24日	7月 31日	8月 8日	8月 16日	8月 24日	8月 31日	9月 7日	
生育期	蕾期				花铃期						吐絮期		
模比系数/%	8.5	8.3	8.3	8.3	10	10	10	8.3	8.3	8.3	6.7	5	100

1.3 作物腾发量确定

根据当地实测气象资料,利用 Penman-Monteith 公式计算 ET_0 日值。此外,结合实测土壤蒸发量,确定棉

花生育期内(6月10日—9月7日)腾发量变化值(见表 2)。

表2 棉花生育期耗水量动态

生育期(月-日)	4月15日—6月10日	6月11日—7月10日	7月11日—8月24日	8月25日—9月7日	合计
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	
持续时间/d	57	30	45	14	146
膜外土壤蒸发量/(mm/d)	0.6	1.8	1.6	1.5	181
根区腾发量/(mm/d)	0.3~2	2~4	4~6	4~5	585

1.4 模拟情景假设

考虑到地下水与土壤水的相互影响,在利用 HYDRUS-2D 软件模拟棉花生育期土壤含水率动态变化过程时,形成表3所列设计方案

表3 设计方案

灌溉定额/ (m^3/hm^2)	地下水埋深/m		
	1.0	2.0	3.0
4500	处理1	处理2	处理3

1.5 模拟结果评价

以棉花窄行中间位置 30cm 深度的土壤含水率(以下简称关键点含水率)为依据进行判别,由于该处棉花根系密度最大,并处于内、外2行棉花根系吸水交汇区,因此选择该处的土壤含水率值作为判断棉花缺水与否的标准。棉花适宜的土壤含水量下限见表4。

表4 不同生育期土壤含水量下限适宜值

生育阶段	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
土壤体积含水率 $\theta_{\min}$	12.20%	13.30%	15.50%	12.20%

对模拟结果中关键点含水率大于上限(田间持水率 22.20%)或小于下限(见表4)时的持续时间进行统计得到总的时间(d),并以此作为表3中各方案优劣的评价标准。

2 模拟模型

为简化模型计算,在保证精度前提下,将滴灌灌水过程概化为线源入渗过程。将三维土壤水分运动过程概化为二维流,利用 HYDRUS-2D 软件模拟,模拟时段为6月10日—9月7日。

2.1 模型选取

HYDRUS-2D 模型在模拟土壤含水率动态变化时

通常采用 Van Genuchten 方程求解特征曲线等参数。

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$K = K_s S_e^l [1 - (1 - S_e^{1/m})^2] \quad (2)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (3)$$

$$m = 1 - 1/n, n > 1 \quad (4)$$

以上式中 θ ——土壤含水率, cm^3/cm^3 ;

θ_s ——饱和含水率, cm^3/cm^3 ;

θ_r ——残余含水率, cm^3/cm^3 ;

h ——土壤水势, cm;

α ——进气值倒数;

n ——孔径指数;

m ——方程参数;

l ——经验系数,一般取 0.5;

K ——非饱和导水率, cm/d;

S_e ——有效含水率, cm^3/cm^3 。

本文利用张力计法对研究区土壤水分特征脱湿曲线进行测定,采用 RETC 拟合 Van Genuchten 方程的水分特征曲线参数,根据实测土壤饱和导水率,计算得到饱和含水率 θ_s 为 $0.32\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 、残余含水率 θ_r 为 $0.05\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 、 α 为 0.03cm^{-1} 、 n 为 1.45、饱和导水率 K_s 为 2.50m/d 、土壤田间持水量为 $0.22\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。

假设土壤为均质多孔介质,不考虑气体及热量对土壤水运动的影响,将土壤水概化为垂向的一维运动,土壤水分运动模拟采用改进 Richards 方程。

2.2 模型初始及边界条件

棉花播种后至苗水灌溉前(4月15日—6月9日),棉苗主要消耗前期的土壤储存水分,可视为定水

位下自由蒸发与排泄的剖面土壤含水率消退过程,并以此作为 HYDRUS-2D 软件进行土壤含水率动态模拟的初始含水率。此外,考虑到土壤含水率的无后效性,可忽略不计土壤初始含水率误差对模型后续模拟精度的影响。

由于研究区土质为砂壤土,土壤渗砂透性较强,故上边界为通量已知的第二类边界。在模拟期内(6月10日—9月7日)输入逐日灌水量、 ET_0 等上边界通量值,下边界设为定水位埋深(分别为1m、2m与3m),模拟不同地下水位对土壤含水率的动态响应。

3 结果分析

以当地普遍采用的灌溉定额 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 为标准,结合表1中的棉花灌溉制度,利用 HYDRUS-2D 软件对不同地下水位(1m、2m与3m)下土壤含水率的动态变化进行模拟与修正。

3.1 地下水埋深1m

当地下水埋深为1m时,利用表1中的不同生育阶段灌溉定额分配比例,将灌水量输入 HYDRUS-2D 模型,得到此时的关键点土壤含水率动态变化(见图2)。

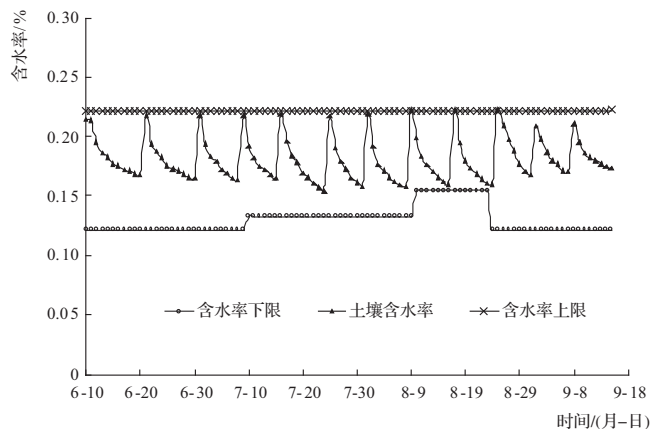


图2 处理1土壤含水率变化

由图2可知,在生育期内,处理1的土壤含水率在适宜含水率的上限波动。特别是灌水后,土壤含水率明显大于上限值,表明土壤含水率受到了地下水的强烈顶托补给。此时棉花虽未受到水分胁迫,但由于土壤含水率较高,土壤无效耗水增大(主要是灌溉水深层渗漏与土壤水蒸发强烈)。此外,由于棉花根系始终处

于高含水率状态,将对根系呼吸产生极为不利影响。因此,当地下水埋深为1m时,处理1的灌溉定额明显偏大,此时采用试算法对处理1的灌溉定额进行修正(灌溉制度仍然采用表1数据),最终得到棉花在地下水埋深为1m时的适宜灌溉定额为 $3000\text{m}^3/\text{hm}^2$,此时关键点土壤含水率的动态变化见图3。

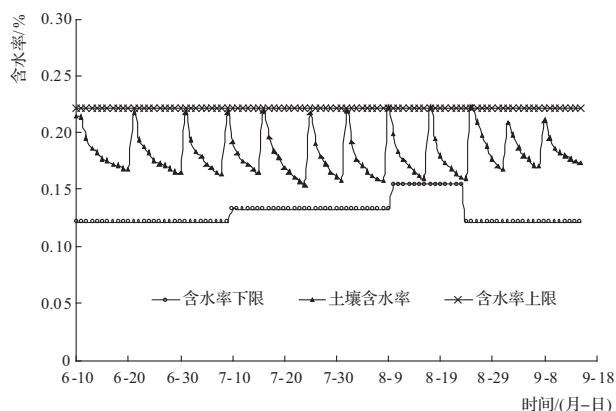


图3 处理1优化后土壤含水率变化

由图3可知,在整个生育期内,土壤含水率始终维持在棉花根系生长的适宜区间内,根系不仅未受到水分胁迫,而且满足根系呼吸要求。因此,当地下水埋深为1m时,灌溉定额为 $3000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 是合适的。

3.2 地下水埋深2m

当地下水埋深为2m时,利用表1中的不同生育阶段灌溉定额分配比例,将灌水量输入 HYDRUS-2D 模型,对棉花根系土壤含水率进行模拟,结果见图4。

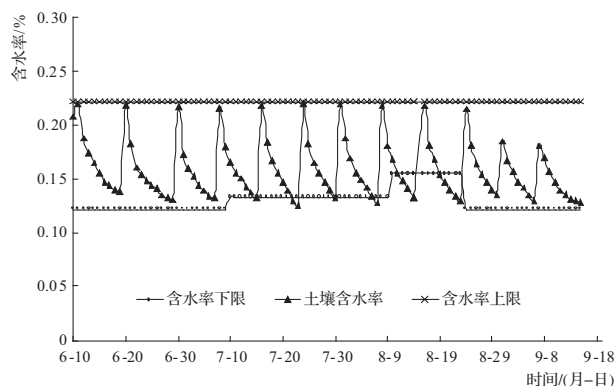


图4 处理2土壤含水率变化

由图4可知,与处理1相比,地下水埋深增加后,处理2在部分时段的土壤含水率低于作物正常生长所

要求的下限值(即棉花出现水分胁迫现象),累计时间为12天,这将造成棉花的轻度减产。

通过分析土壤含水率的动态变化,在保持灌溉定额不变及保证棉花不受水分胁迫的情况下,调整生育

期内各阶段灌水量,经优化后的灌溉定额模比系数(灌溉定额)见表5,根据表5再次对处理2的土壤含水率进行模拟,结果见图5。

表5 膜下滴灌棉花灌溉制度(优化后)

灌水次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	合计
灌溉时间	6月 10日	6月 20日	6月 30日	7月 8日	7月 16日	7月 24日	7月 31日	8月 5日	8月 10日	8月 15日	8月 24日	8月 31日	9月 7日	
生育期	蕾期				花铃期							吐絮期		
模比系数/%	7	6	6	9.5	9.8	9.9	10	10	10	8.2	6	3.8	3.8	100

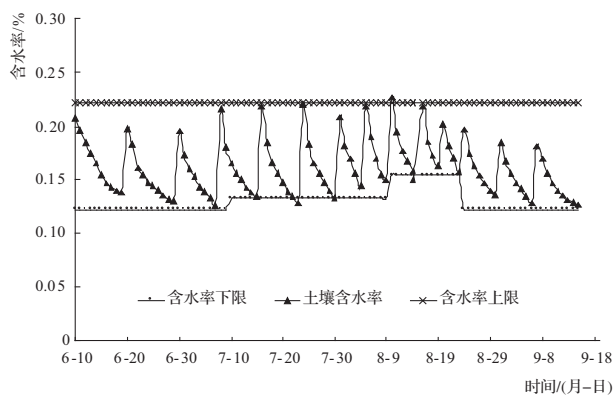


图5 处理2优化后土壤含水率变化

由图5可知,通过对灌溉制度的优化,棉花受水分胁迫时间减少到2天,且在不连续的2次灌水周期内,较优化前减少了10天,这表明通过调整生育期内各阶段灌水量,可起到调控棉花受水分胁迫的时间,进而达到提高水分利用效率与实现棉花稳产的目的。

3.3 地下水埋深3m

当地下水埋深为3m时,利用表1中的不同生育阶段灌溉定额分配比例,将灌水量输入HYDRUS-2D模型,对土壤含水率进行模拟(见图6)。由图6可知,在棉花生育期内,关键点土壤含水率低于棉花正常生长所要求的下限值(即受到水分胁迫)的时间累计达到37天,表明棉花受到中度水分胁迫,会造成一定的减产。

通过分析生育期内棉花耗水过程,发现即便对处理3的灌溉制度进行优化,优化后的水分胁迫时间仍然高达33天(中度水分胁迫),故此时依然采用试算法对处理3的灌溉定额进行修正(灌溉制度仍然采用表

1数据),最终得到地下水埋深为3m时的适宜灌溉定额为 $5550\text{m}^3/\text{hm}^2$,此时作物的土壤含水率动态变化见图7。

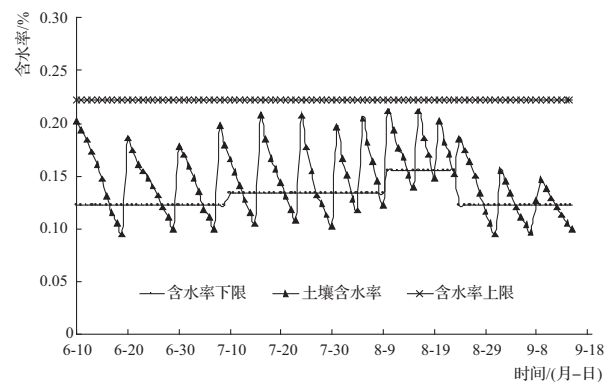


图6 处理3土壤含水率变化

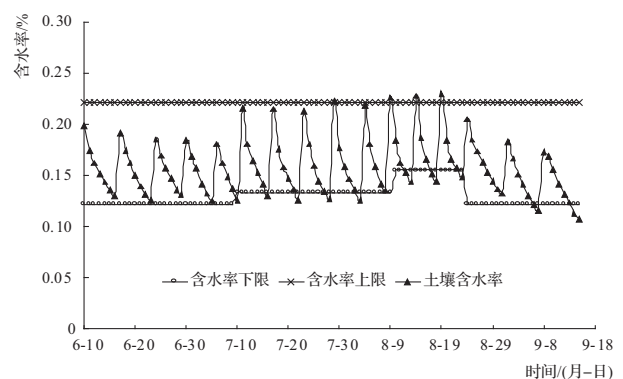


图7 处理3优化后土壤含水率变化

由图7可知,通过增加灌溉定额,棉花受水分胁迫的时间累计为14天,较处理3减少23天,尽管该灌溉定额无法从根本上避免水分胁迫的产生,但却有利于激发作物本身的耐旱性与抗逆性,从而实现棉花稳产丰产。

4 结 语

本文以新疆孔雀河流域为研究区,以当地广泛种植的棉花这种经济作物为研究对象,以当地普遍采用的灌溉定额 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 为标准,利用 HYDRUS-2D 软件对不同地下水位下的棉花灌溉制度进行研究,结果表明:

a. 当地下水埋深为 1m 时,地下水对土壤水的补给较强,灌溉定额 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 偏大,此时土壤无效耗水量增大,棉花根系始终处于高含水率状态,不利于根系呼吸。通过修正,得到此时适宜的灌溉定额为 $3000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

b. 当地下水埋深为 2m 时,地下水对土壤水的补给作用减弱,灌溉定额 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 较为适宜,通过对现有灌溉制度优化,棉花受水分胁迫时间减少到 2d,可以达到提高水分利用效率与实现棉花稳产的目的。

c. 当地下水埋深为 3m 时,地下水对土壤水已基本无补给作用,灌溉定额 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ 会造成棉花中度的水分胁迫(累计 37d)。通过试算法,得到该地下水位时的适宜灌溉定额为 $5550\text{m}^3/\text{hm}^2$,水分胁迫时间累计 14d,较处理 3 减少 23d。

d. 本文中土壤含水率动态变化值为 HYDRUS-2D 软件模拟值,这种单纯的土壤根域水分调控模式还应

(上接第 57 页)护城河的管理。同时,在赵王河和护城河的关键部位都安装了监测水位、水质等方面的设备,定期观测河水的水位、化验河水的水质,通过建立完整的数字化监测系统,全面提升科学管理水平。

另外,认真做好赵王河和护城河水草集中清理工作。在“牡丹花会”和“五一”前,两河水草大面积爆发,及时安排割草船、冲锋舟等设备进行全天清理,并且动用民工进行集中清理。赵王河和护城河水面保洁,实行物业化管理,可以进行全天候保洁。通过对赵王河与护城河中水草进行集中打捞,实现净化水体、保证鱼类正常繁衍,进一步改善了两河水生态环境。

4 结 语

近年来,菏泽市坚持以科学发展观为统领,深入开

当与实际生产中作物生长性状、产量等评价指标相联系,以使研究结果更具有可操作性与实际指导意义。◆

参考文献

- [1] 程静,苏孝敏,张晨辰. 干旱地区膜下滴灌技术甜瓜种植模式试验研究[J]. 水资源开发与管理,2015(1):57-63.
- [2] 王海军. 新疆干旱区节水灌溉工程技术的探讨[J]. 水资源开发与管理,2015(2):56-58.
- [3] 孙雪梅,李芳花,王柏. 寒地黑土区喷灌条件下玉米灌溉制度研究[J]. 黑龙江大学工程学报,20134(3):14-18.
- [4] 陶君,田军仓,李建设. 温室辣椒不同微咸水膜下滴灌灌溉制度研究[J]. 中国农村水利水电,2014(5):68-72.
- [5] 王峰,杜太生,邱让建. 基于品质主成分分析的温室番茄亏缺灌溉制度[J]. 农业工程学报,2011,27(1):75-80.
- [6] 王文佳,冯浩,宋献方. 基于 DSSAT 模型陕西杨凌不同降水年型冬小麦灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4):1-10.
- [7] 汤广民,王有贞. 安徽淮北平原主要农作物的优化灌溉制度与经济灌溉定额[J]. 灌溉排水学报,2006,25(2):24-29.
- [8] 冯绍元,蒋静,霍再林,等. 基于 SWAP 模型的春小麦咸水非充分灌溉制度优化[J]. 农业工程学报,2014,30(9):66-75.
- [9] 杨鹏年,吴彬,董新光. 干旱区不同地下水位滴灌灌溉制度模拟研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(3):76-82.

展《水污染防治法》的宣传教育。通过采取严把环保准入关口,加大老污染源监管和治理力度,大力实施城市环境综合整治,加快城市环境基础设施建设,水污染防治各项工作取得了显著成效,在经济快速增长的情况下,不仅环境污染得到了有效遏制,全市整体水环境质量也有所改善。◆

参考文献

- [1] 常慕城. 治水保生态河道成景观[N]. 菏泽日报,2013-11-21.
- [2] 靳怀春. 城市建设要高度重视水环境问题[J]. 中国水利,2001(7).
- [3] 臧耀红. 精心实施蓝天碧水工程[N]. 菏泽日报,2011-10-11.