

内蒙古东部地区喷灌灌溉制度及其经济效益

程光远¹, 史海滨¹, 李瑞平¹, 王成刚¹, 于洪², 王佐奎²

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古呼伦贝尔市阿荣旗水务局, 内蒙古 阿荣旗 162750)

摘要: [目的] 为解决内蒙古东部大兴安岭东南地区由于零灌溉所带来的“单产不高, 总产不稳”等问题, 确定适合于当地的高产高效节水型灌溉制度。[方法] 以当地主要作物大豆为供试作物, 开展了喷灌条件下的作物产量、水分生产率和经济效益等方面的研究。[结果] 当地原有的零灌溉农业种植模式并不能为大豆的种植提供足够的水分, 采用喷灌技术追加 2 次灌溉, 大豆可增产 20.0%, 但是经济效益并没有提高; 追加 4 水灌溉, 虽然总收益最高, 但是大豆的作物水分生产率却相比 3 水灌溉小了很多, 造成了不必要的水资源浪费。[结论] 在开花期、结荚期和鼓粒期分别对大豆增加 3 次灌水定额为 200 m³/hm² 的灌水, 不但可以提高大豆的产量(增产 47.8%), 而且可以获得最大的经济效益。

关键词: 喷灌; 灌溉制度; 作物水分生产率; 经济效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0284-05

中图分类号: S275.5

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.053

Irrigation Scheduling and Economic Benefits of Sprinkler Irrigation in East Part of Inner Mongolia

CHENG Guangyuan¹, SHI Haibin¹, LI Ruiping¹, WANG Chenggang¹, YU Hong², WANG Zuokui²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia

University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Water Affairs Bureau of

Arun Banner, Hulun Buir, Inner Mongolia, Arun Banner, Inner Mongolia 162750, China)

Abstract: [Objective] In order to address the “low yield” issue caused by no irrigation in the east Greater Khingan Range region of Inner Mongolia, high yield and high efficiency irrigation programs are needed in this region. [Methods] We took the traditional soybean as the test crop, to investigate the crop yield, water productivity and economic benefits under sprinkler irrigation system. [Results] The local agriculture model could not provide enough water for soybean growth without irrigations. The soybean yield increased by 20% when irrigated 2 times by using the sprinkler irrigation technique, but the economic benefits were not improved. The total soybean yield was the highest when irrigated 4 times by using the sprinkler irrigation technique, but the soybean crop water productivity was lower, compared to the crop irrigated by 3 times, and unnecessary waste of water resources occurred. [Conclusion] By 3 times irrigation with 200 m³/hm² quota of water in different growing periods (flowering, fruiting and seed filling periods) of soybean, the soybean production can be increased by 47.8%, and the maximum economic benefits can be obtained.

Keywords: sprinkler irrigation; irrigation system; crop water productivity; economic benefits

阿荣旗地处大兴安岭东南麓, 是内蒙古重要的粮食生产基地。该地区降雨较多, 基本能满足作物生长所需的水分, 然而, 当地降雨的时空分布极不平衡, 造成了当地常年出现单产不高、总产不稳的现象^[1]。因

此, 在该地区推广新的灌溉技术进行补充灌溉, 提出适用于该地区作物种植的灌溉制度对促进当地的农业发展和粮食生产有着深远的意义和价值。由于该地区田块较大, 水资源相对较少, 风速相对较小, 因此

收稿日期: 2014-06-21

修回日期: 2014-08-14

资助项目: 内蒙古自治区水利“十二五”重大科技示范项目“内蒙古新增四个千万亩节水灌溉工程科技支撑项目”子课题“浅山丘陵区大田作物喷滴灌综合节水技术集成研究与示范”(20121036)

第一作者: 程光远(1990—), 男(蒙古族), 内蒙古锡林郭勒盟人, 硕士研究生, 研究方向节水灌溉理论与新技术。E-mail: 18647956280@163.com。

通信作者: 史海滨(1961—), 男(汉族), 山西省太谷县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事研究方向节水灌溉理论与新技术方面研究。E-mail: shi_haibin@sohu.com。

采用喷灌技术具有一定的运用性及可行性。

喷灌作为一种先进的节水技术,在中国很多地区已被广泛采用。但是该项技术的推广与发达国家相比仍存在很大的差距^[2]。和地面灌溉相比,喷灌既具有节水、节省人力物力、减少占用耕地、提高产量等优势^[3-4],在灌水过程中还可以形成有益于植被生长的“小气候”^[5]。喷灌技术具有较强的适应性,但受风力的影响较大^[6]。有研究表明,在喷灌过程中采用不同的灌溉制度,对作物的生育期、生长特性、主要农艺性状及产量均有不同程度的影响^[7]。因此,选择一个最适合的喷灌灌溉制度对增加作物的产量、提高作物的经济收益具有实际的意义。

本文以当地的主要作物大豆作为供试作物,结合当地的种植习惯及气候特征,选择具有高效节水及增产能力的喷灌技术作为灌溉方式。针对大豆的需水特征^[8]及当地的气候特点拟定 3 种不同的喷灌灌溉制度,并以当地不灌溉的传统种植模式进行对照。分别对产量、作物水分生产率及经济效益进行分析,以期确定适合当地大豆生长的最优喷灌灌溉制度。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区地处内蒙古自治区阿荣旗亚东镇六家子

示范区,位于东经 123°48′00″—123°54′20″,北纬 48°29′20″—48°32′00″。地貌按形成方式可分为侵蚀构造地形和堆积地形,地处高纬度地区,属中温带大陆性半湿润气候,春季干旱多风少雨,夏季温热多暴雨;秋季凉爽,历时短;冬季寒冷干燥、少雪,历时长。多年平均降水量为 441.36 mm,主要集中在汛期的 6—8 月,这段时期也常有“伏吊”现象存在,降雨时空分布极不均匀,多年平均气温为 3.77℃,极端最低气温 -39.8℃,极端最高气温是 38.5℃,多年平均蒸发量为 1 615.11 mm,全年日照时数为 2 429.83 h,多年平均风速为 2.867 m/s,无霜期较短,多年平均无霜期为 132 d,历年最大冻土深为 2.70 m,多年平均相对湿度为 57.5%。

2012 年试验区属于平水年,无防雨棚设置,设有独立气象站监测大豆生长期(5 月 23 日—9 月 30 日)内的各项气象指标。详细气象资料见表 1。

该区地下水位埋深较大,大豆生育期内地下水埋深均在 7 m 以下,对大豆长基本无影响。试验区土壤类型为黑土和暗棕壤土,机械组成为多砾质粉壤土,土壤有效土层厚度在 0.5~1.5 m,土壤容重平均为 1.36 g/m³,土壤平均比重为 2.68 g/cm³,土壤平均孔隙度为 49.5%,田间持水率为 24.8%,耕地范围内地力水平相对较高。

表 1 2012 年大豆生长期气象资料

月份	最高温度/℃	最低温度/℃	相对湿度/%	风速/(m·s ⁻¹)	日照时数/h	降雨量/mm
5 月(09 d)	21.64	9.63	50.44	2.38	71.7	5.7
6 月(30 d)	25.36	15.25	71.77	1.91	246.6	113.4
7 月(30 d)	27.96	18.31	75.29	1.99	259.8	192.3
8 月(30 d)	26.62	14.63	66.84	2.09	257.7	29.4
9 月(30 d)	19.55	8.44	67.90	2.04	269.2	100.2

1.2 试验设计与研究方法

1.2.1 试验设计 试验年为 2012 年,研究作物为大豆,采用当地常见品种北豆 48 作为试验品种。采用半固定式喷灌机 1 台,进行半固定式喷灌,喷灌机单井出水量 50 m³/h,动水位为 20~40 m,每根干管长 486 m,支管长 117 m,控制面积 13.33 hm²。试验中灌水处理采用相同灌水定额、不同灌水次数来设计,灌水定额为 200 m³/hm²,灌水量由水表控制。

试验小区完全随机区组设计,南北走向,各处理小区面积 54.0 m×117.0 m(3 条支管),试验区总面积 21 060 m²(包括缓冲区)。支管间距 18 m,喷头间距 18 m,单支管长度 117 m,结合当地机井出水情况,同时可支持 14 个喷头同时工作,第 1 次灌水时控制

灌 4 水小区的两条支管 1,2 同时工作;第 2 次灌水时支管 2,4 先工作,然后 1,3 工作将灌 4 水和灌 3 水小区灌溉完成;第 3 次灌溉支管 2,4 先工作,然后支管 1,3 工作将灌 4 水和灌 3 水小区灌溉完成,再之后支管 5,6 工作将灌 2 水小区灌溉完成;第 4 次灌水同第 3 次灌水。灌水量由水表控制,试验施肥方式采用基肥随播种 1 次施加方式,追肥在开花期进行,采用拉沟施肥方式,每个小区中选取 3 个重复进行不同指标的测定。

由于,研究区农民传统的种植习惯是不进行灌溉,所以采用不灌溉的小区作为对照,将生育期划分为 6 个生育阶段,按照不同生育阶段为不同处理进行灌溉,各阶段灌水量见表 2。

表 2 半固定式喷灌试验区灌溉方案

m³/hm²

处理	出苗期	分枝期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期	灌溉定额
CK	0	0	0	0	0	0	0
CL ₂	0	0	0	200	200	0	400
CL ₃	0	0	200	200	200	0	600
CL ₄	0	200	200	200	200	0	800

1.2.2 研究方法 采用小型气象站对大豆生育期内的气象资料进行收集;从作物播种开始,每 10 d 对各小区土壤含水量采用烘干法进行采样测定,测试区内沿土壤垂向剖面按每 20 cm 为一层取土,直至 100 cm;灌水前和灌水后各增加 1 次土样,直到收割为止,计算每个生育期不同土层的平均含水率,分析不同灌水模式土壤水分变化的影响。

从作物出苗到收割,小区每隔 10~15 d 量测 3 m×3 m 范围内大豆植株的干物质 1 次;作物成熟期对大豆籽粒产量进行测定,大豆的籽粒产量是单位面积的株数、每株荚数、每荚粒数、每粒重的乘积,在每水分处理小区随机取 3 处 3 m×3 m 范围内的大豆植株,测出每处籽粒的重量。并取出大豆 10 株作为样本,测出每株粒数、荚数、百粒重等指标,分别求得每个样本的大豆籽粒产量,最后取平均值后折算成每种处理的 hm² 大豆籽粒产量。

根据水量平衡法计算作物实际腾发量^[9-10]:

$$ET_c = I + P + G - D - R - L + \Delta W \quad (1)$$

式中:ET_c——实际腾发量(mm);I——灌水量(mm);P——降雨量(mm);G——地下水补给量(mm);D——深层深漏(mm);R——侧向排水(mm);L——地面径流(mm);ΔW——生育阶段始末根层土壤储水量的变化(mm)。

灌溉试验区地下水位在作物生长期处于 7 m 以下,对大豆生长发育基本无影响,故 G=0。各试验小区用田埂分开,其下埋设 1.0 m 深塑料薄膜,分别用于防止地面径流和侧向渗漏,故 R=0,L=0。因采取喷灌措施,灌水定额较小,深层渗漏为 0。

在求得各处理的实际腾发量 ET_c 及大豆籽粒产量后,分别求得各处理的作物水分生产效率^[11-13]。

$$WUE = Y/ET_c \quad (2)$$

式中:WUE——作物水分生产效率(kg/m³);Y——作物籽粒产量(kg/m³)。

为了在当地推广喷灌技术,本研究针对耗水量、耗工、耗电量等成本,对比大豆的总产值对大豆的经济效益进行了分析^[14]。

2 结果与分析

2.1 不同灌水处理对土壤水分的影响

采用 Surfer 9.3 对不同土层、不同时间的土壤含水率采样点均值进行了插值,绘制不同灌溉制度下土壤含水率的时空分布图(如图 1 所示)。

从图 1 中可以看出,CK,CL₂,CL₃ 处理的初始含水率基本相同,均在 0.2 左右,而 CL₄ 处理的初始含水率较小,为 0.175,但与其他处理没有明显的显著性差异。随着降雨和灌水次数的增加,各处理中土壤含水率有了明显的变化。其中,CL₃,CL₄ 处理的含水率变化较为明显,这是由于该处理在大豆的全生育期内进行了 3 次或 4 次喷灌,增加了土壤的储水量;而 CK 组变化最不明显,这是因为该处理中的土壤含水率的增加仅能依靠降雨,并无灌溉补充土壤水分。

因此可知,对研究区进行喷灌,可以增加土壤的含水率,提高土壤的储水量,为作物生长提供充足的水分。

2.2 不同的灌水处理对大豆产量的影响

在大豆成熟后,通过上述研究方法对各处理的单位面积株数、单株产颖数、百粒重进行测定,计算各处理作物籽粒产量(如图 2 所示)。

在研究区按照传统无灌溉模式进行大豆的种植,产量较低,仅为 2 323.6 kg/hm²。而采用喷灌措施,相同条件下灌水定额为 400,600 和 800 m³/hm²,产量分别为 2 788.96,3 281.96 和 3 433.82 kg/hm²,差异较为显著。随着灌溉定额的增加,产量明显增加,各处理增产率分别为 20.0%,41.2%,47.8%。表明当地传统灌溉模式是不能满足大豆生长的,在开花—鼓粒生育阶段追加灌水,可以增加单株的产颖数量,因为该阶段大豆产颖需要一定的需水要求;通过对比 CL₄ 与其他处理可以看出,在出苗—开花期增加灌水,单位面积的植株数量随之增多,这是由于增加了灌水量,使原有的一些缺水的植株得以存活,进而增加了单位面积的植株数量,从而提高了作物的产量;虽然 CL₄ 处理下大豆的产量得到了增加,可是该处理的百粒种相比 CL₃ 却要小很多,这可能是因为在该处理中植株数较多,所需的土壤肥力不能跟上水分的供给,反而使得产出大豆籽粒较小。

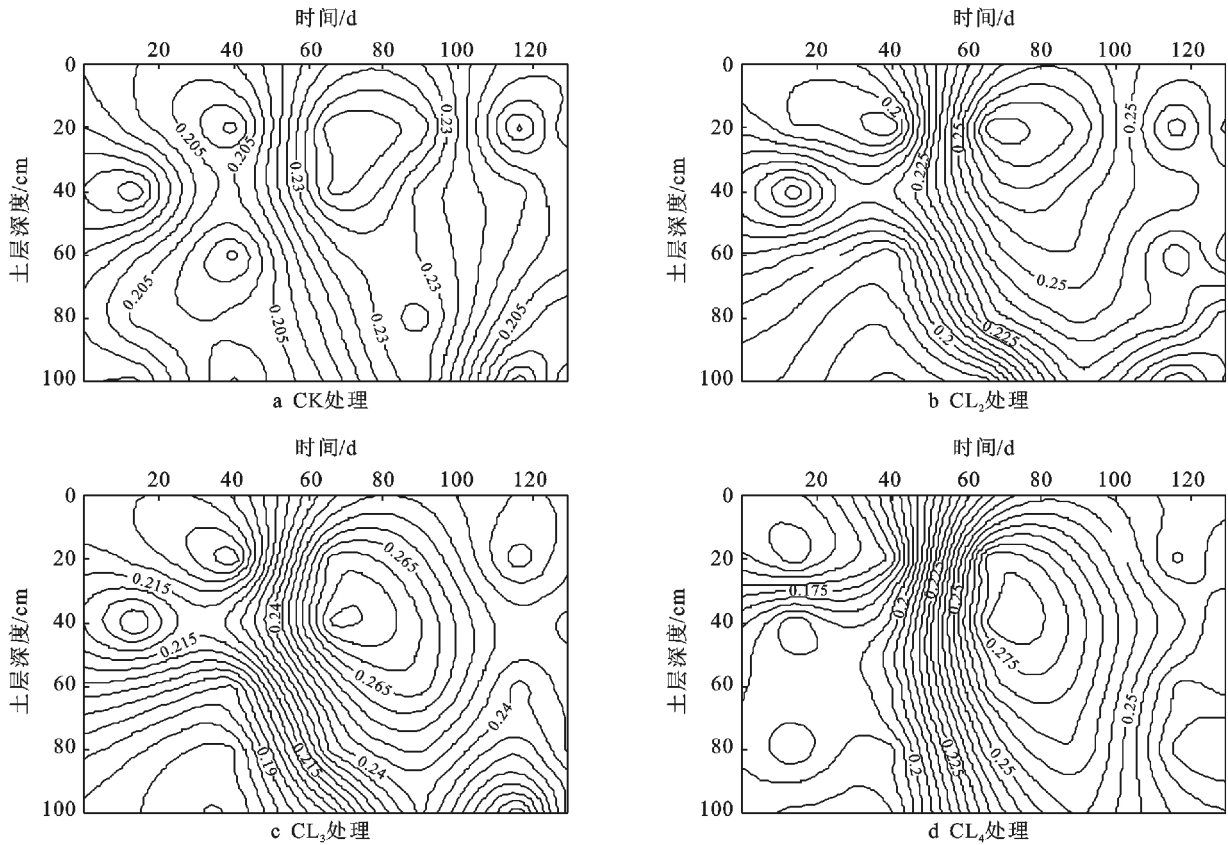


图 1 不同灌水制度下土壤含水率时空分布

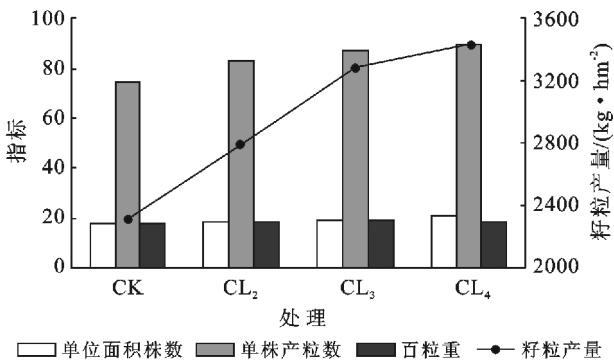


图 2 不同灌水制度下的产量及参考指标

因此,在研究区采用喷灌的方式可以很大程度上增加大豆的产量。仅通过产量来看,采取的灌溉制度应该选择 CL_3 和 CL_4 的灌溉制度。

2.3 喷灌对大豆作物水分生产率的影响

根据 2012 年的降雨量、灌水量、地下水补给量等实测数据,采用水量平衡法分别对不同处理中的 ET_c 进行计算,并通过产量和 ET_c 求取作物水分生产率进行计算,计算结果见表 3。

通过表 3 可以看出,随着灌水次数的增加,研究区大豆全生育期的 ET_c 也随之增加,但产量增幅更大,相应的作物水分生产率也在增加。通过对比 CK 与 CL_2, CL_3 可以看出,全生育期无灌溉时作物水分

生产率仅为 2.14 kg/m^3 ,随着灌水次数的增加,作物水分生产率也相应增加,然而对比 CL_3 和 CL_4 可以看出,增加了灌水次数,水分生产率却降低了,说明在 CL_3 处理时大豆对水分利用基本已达到了上限,虽然增加 1 次灌水,但是水量投入的产出比率并没有增加。因此,应选择 CL_3 处理的灌溉制度作为当地最优的灌水制度。

表 3 半固定式试验区作物腾发量及水分生产率

处理	全生育期腾发量 (ET_c)/mm	作物水分生产率 (WUE)/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
CK	1 085.6	2.14
CL_2	1 148.4	2.43
CL_3	1 220.2	2.69
CL_4	1 306.4	2.63

2.4 喷灌的经济效益分析

试验中,CK, CL_2, CL_3 和 CL_4 处理的灌水定额分别为 $0, 400, 600$ 和 800 m^3 ,根据当地水费标准,水费单价为 0.4 元/m^3 ;按照当地的耕作习惯,每 1 hm^2 每天需耗人工 $7 \sim 8$ 人,按 8 人计算,当地雇工费用为 100 元/d ;研究所采用的喷灌机每 1 hm^2 耗电 $100 \text{ kW} \cdot \text{h}$,当地电价为 $0.5 \text{ 元/(kW} \cdot \text{h)}$ 。参照 2013 年阿荣旗大豆平均单价 3.5 元/kg 计算各处理的毛收益,进而

对研究区内各方案的净收益进行计算,结果如表 4 所示。

表 4 半固定式喷灌试验区灌溉方案净收益

处理	灌溉成本 C	毛收益 G	净收益 N	提高率/%
CK	0	5 111.86	5 111.86	0
CL ₂	970	6 135.72	5 165.72	1
CL ₃	1 030	7 220.31	6 190.31	21
CL ₄	1 090	7 554.40	6 464.40	26

通过表 4 可以看出,采用喷灌虽然增加了成本,但是很大程度的提高了净收益。与 CK 喷灌处理对比,增加灌水次数的净收益增长率分别为 1%,21% 和 26%。说明在研究区采用喷灌进行补充灌溉是必要的。对比各喷灌处理可以看出,只灌 2 水的小区单位面积收益要远小于灌 3 水和 4 水的小区,单位面积收益分别相差了 19.83%和 25.14%,而灌了 4 水与灌 3 水单位面积收益仅相差了 4.42%,这说明 CL₃ 和 CL₄ 处理收益相差不多,但却要远大于 CL₂ 处理。针对 CL₂ 处理虽然毛收益较高但成本也很高,因此,该处理的灌溉制度不可取。

3 讨论与结论

3.1 讨论

目前,国内大多采用滴灌和喷灌两种灌溉节水方式进行区域节水,这两种节水方式均具有各自的特点及适用性。针对干旱、半干旱地区降雨较少、作物生育季风速大和地块较小等特点采用滴灌灌水方式更优。但是对于内蒙古东部地区来说,当地地块较大、且不覆膜,作物生育季风速较小、降雨相对较多,且时空分布极不均匀,在播种期及作物生育季内的一定时段较为干旱,需要进行补充灌溉。在生育季其他一些时段降雨较多,不需要灌溉,采用滴灌的灌水方式即浪费资源,增加成本,又不能充分利用当地水土资源。因此,对于内蒙古东部地区来说,采用喷灌灌溉制度对当地农业进行农业节水是最佳的选择。

喷灌技术灌溉可以改善种植过程中的田间小气候,提高土壤含水率及田间的湿度,有利于植物光合作用,提高作物产量。针对研究区而言,当地原有的灌溉制度基本属于零灌溉,大豆的种植产量只与降雨的多少有关,在丰水年大豆产量较高,枯水年大豆产量很低。采用喷灌技术不但可以改善种植过程中的小气候,也可以为大豆的种植提供足够的水分,大大提高当地大豆产量,进而提高当地大豆的收益。

3.2 结论

(1) 在研究区实施喷灌技术可以有效改善土壤

的墒情,提高土壤的储水量,为作物生长提供充足的水分。

(2) 在研究区使用喷灌技术灌溉在很大程度上可以提高灌区的产量,随着灌水次数的增加产量也会增加。

(3) 研究区最适合采用 CL₃ 处理的灌溉制度,该制度下的作物水分生产率最大,为 2.69 km/m³。

(4) 尽管喷灌技术为当地的大豆种植带来了一定的成本,但是却有很高的收益回报。

综上所述,在内蒙古大兴安岭东南麓地区采用喷灌技术种植大豆是可行的,可以为当地居民带来更多的收益,在当地宜采用 CL₃ 的灌溉制度,即分别在开花期、结荚期和鼓粒期追加灌水定额为 200 m³/hm² 的灌水。

[参 考 文 献]

- [1] 王向东. 呼伦贝尔市岭东南地区农业节水灌溉研究[D]. 北京:中国农业科学院,2006.
- [2] 李宗礼,赵文举,孙伟,等. 喷灌技术在北方缺水地区的应用前景[J]. 农业工程学报,2012,28(6):1-6.
- [3] 邹战强. 喷灌技术应用效益分析[J]. 排灌机械,1999(2):48-49.
- [4] 丁希武,刘连学,付玉斌,等. 白浆土大豆喷灌技术的研究[J]. 黑龙江农业科学,2000(1):13-15.
- [5] 张乐元,张小娜. 喷灌技术浅析[J]. 山西水利,2011(8):42-43.
- [6] 喻黎明,牛文全. 风对喷灌质量及工程设计的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(5):151-155.
- [7] 赵华强,廉博,刘宝君,等. 不同喷灌次数对大豆产量的影响[J]. 内蒙古农业科技,2012(5):27-28.
- [8] 刘海军,徐宗学. 黑龙江西部旱区大豆和玉米的节水灌溉计划研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(4):27-30.
- [9] 信乃诠. 计算农田蒸发的水量平衡法[J]. 干旱地区农业研究,1986(2):33-39.
- [10] 邹文安,叶青季. 利用水量平衡法计算蒸腾量的尝试[J]. 吉林水利,2005(10):7-10.
- [11] 刘昌明,周长青,张士锋,等. 小麦水分生产函数及其效益的研究[J]. 地理研究 2005(1):1-10.
- [12] 刘占东,肖俊夫,牛豪振,等. 地下水埋深对冬小麦和春玉米产量及水分生产效率的影响[J]. 干旱地区农业研究 2011,29(1):29-33.
- [13] 罗安荣,梁银丽,朱艳丽,等. 温室樱桃西红柿水分效应及水分生产函数[J]. 灌溉排水工程学报 2010,29(4):123-125.
- [14] 王华亮. 河北省农业灌溉工程节水技术效益分析与计算[J]. 南水北调与水利科技,2010(1):99-103.