

滴灌棉田不同盐分土壤水分变化规律 及其利用效率研究

李冬冬¹,王海江^{1*},吕新²

(1.新疆石河子大学农学院资源与环境系,新疆石河子 832003;

2.新疆石河子大学农学院,新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室,新疆石河子 832003)

摘要:通过研究滴灌条件下不同盐分含量土壤含水率、日蒸散量和棉花干物质积累量的变化规律,以及棉花的干物质水分利用效率,探讨滴灌棉花的水盐互作效应。设置室内模拟试验,采用称质量法获得棉花蒸散量和干物质积累量,分析不同土壤盐分含量(0(CK)、0.15%、0.25%、0.35%、0.45%、0.55%、0.65%)条件下,棉花日蒸散量、干物质积累量以及土壤水分含量变化规律,计算棉花干物质水分利用效率。结果表明:随着棉花生育期的推进,不同盐分含量土壤的水分含量变化和日平均蒸散量均呈现先增大后减小的趋势,蕾铃期土壤日平均蒸散量达到最大;棉花的干物质积累量和生育期耗水量随土壤盐分含量的增大呈减小的趋势。棉花的干物质水分利用效率在T4处理达到最大,与CK、T1、T2、T5处理差异并不显著,说明土壤中适量的含盐量在一定程度上可以有效提高水分利用效率。

关键词:棉花;滴灌;土壤水分;土壤盐分;干物质;日蒸散量;水分利用效率

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0090-05

Variation and use efficiency of soil moisture under different salt content in cotton field with drip irrigation

LI Dong-dong¹, WANG Hai-jiang^{1*}, LV Xin²

(1. Department of Resources and Environmental Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: In order to investigate water-salt interaction effect in drip irrigation cotton, soil moisture content, daily evapotranspiration amount, alternation pattern of cotton dry material accumulation, and water use efficiency of cotton dry material were studied in the soils of different salt content under drip irrigation. An indoor simulation experiment was designed and performed to obtain cotton evapotranspiration and dry material accumulation level by weighing method. The alternation pattern of cotton daily evapotranspiration level, dry material accumulation amount, and soil moisture content in soils of different salt content (0 (control), 0.15%, 0.25%, 0.35%, 0.45%, 0.55%, 0.65%) were analyzed as well as the cotton dry material water use efficiency. Along with advancement of cotton growth period, variation of soil moisture content and daily average evapotranspiration level of different salt content were first increased and then decreased; Soil daily average evapotranspiration reached the maximum level at cotton buds-bolls period; Cotton dry material accumulation and water consumption amount decreased with increase of soil salinity content. T5 treatment had highest cotton dry material water use efficiency. However, it did not show significant difference compared with CK, T1, T2 and T5, which indicates that moderate amount of salt content in soil can effectively improve water use efficiency at certain extent.

Keywords: cotton; drip irrigation; soil moisture; soil salinity; dry material; daily evapotranspiration amount; water use efficiency

收稿日期:2012-12-12

基金项目:兵团青年科技创新资金专项(2012CB012);石河子大学校级课题(ZRKXYB-06,ZRKX2009D02-3)

作者简介:李冬冬(1987—),男,山西长治人,硕士研究生,研究方向为绿洲农业资源高效利用。E-mail: ldd_1987ly@126.com。

*通信作者:王海江(1980—),男,河南偃师人,副教授。E-mail: whj-219@163.com。

农业是用水大户,农业用水面临着两个主要问题,一是水资源严重短缺,二是低效传统灌溉方式对有限水资源的浪费。目前,水资源短缺已严重影响新疆各项事业的发展。发展节水农业是新疆干旱区水资源持续利用和促进农业发展的根本出路,滴灌技术的应用和推广极大地促进了新疆棉花产业的发展。

新疆是我国最干旱的地区,也是盐碱化面积最大、分布最广、类型最多、积盐最重的地区^[1]。据有关资料统计,新疆平原区宜农、林、牧面积 2.15×10^7 hm^2 ,其中盐碱地约为 0.8×10^7 hm^2 ,占全部可垦荒地面积的40%。据新疆第二次土壤普查资料,新疆耕地土壤盐渍化面积达 122.9×10^4 hm^2 ,占耕地面积的31.2%^[1-2]。尽管经过多年的改良,土壤盐渍化的程度逐渐缓解,但土壤次生盐渍化仍是造成现有耕地减产甚至绝收的主导因素之一,潜在盐渍化耕地面积则更大。土壤水分、盐分以及作物各因子间相互制约耦合,构成了农田水盐动态变化,并由此影响作物的种植生长环境。当土壤溶液中盐分含量增加时,渗透压也随之提高,而水分的有效性,即水势却相应降低,使植物吸水困难,即使土壤含水量并未减少,也可能因盐分过高而造成植物缺水,出现生理干旱现象^[3]。盐分存在引起的生理干旱,如同水分因素不足引起的干旱缺水一样,会造成作物减产或死亡。

人们对滴灌棉花的需水规律及其水分利用效率进行了大量研究,并取得了一定的研究成果。王振华等^[4]研究了盆栽滴灌棉花的土壤耗水变化特征,刘建军等^[5]研究了膜下滴灌棉花植株耗水率与土壤水分的关系,刘新水等^[6]对南疆膜下滴灌棉花耗水规律及灌溉制度进行了相关研究;伍维模等^[7]研究了水分、氮素及环境因子对滴灌棉花水分利用效率的影响,关于不同灌溉方式、不同灌水量对滴灌棉花的生长及水分利用效率也有许多学者进行了相应的研究^[8-10]。但对滴灌棉田不同盐分含量条件下土壤水分变化规律及其利用效率的研究还较少^[11-12]。本文通过室内模拟试验资料,研究滴灌条件下不同盐分含量土壤含水率、日蒸散量和棉花干物质积累量的变化规律,以及棉花的干物质水分利用效率,探讨滴灌棉花的水盐互作效应,为指导棉花的高产稳产以及滴灌棉田的合理灌溉提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自新疆石河子大学农学院试验站农

田耕作层土壤,土壤类型为灰漠土,质地为壤土,砂粒41.12%,粉粒40.46%,粘粒18.42%,pH 7.54,有机质 $15.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $1.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效氮 $54.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷 $19.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效钾 $194 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试作物棉花(新陆早13号)。

1.2 试验设计

试验于2011年5—9月在新疆石河子大学农学院试验站温室进行。试验使用PVC管(直径35 cm,高65 cm),供试土壤用NaCl、CaCl₂(1:1)预先进行盐化处理,自然晾干,碾碎混匀后过筛除去石块等杂物,按容重 $1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 分层装土60 cm。试验中滴灌系统的滴头流量 $1.10 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$,滴头间距40 cm。滴灌带平铺在PVC管口,每个PVC管由一个滴头供水,滴头固定在PVC管口中心位置。磷、钾肥在装土时一次性施入作基肥,氮肥全部作追肥,在试验期间随水滴施。

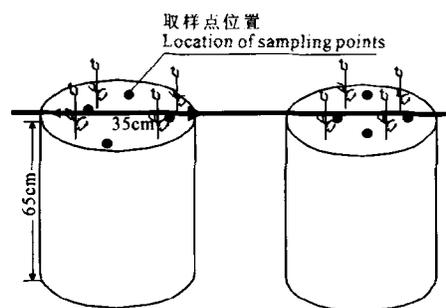


图1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental facility

试验设计6个盐分处理T1、T2、T3、T4、T5和T6,对应的土壤盐分含量分别为0.15%、0.25%、0.35%、0.45%、0.55%和0.65%,每个盐分处理设6个重复,另设对照(CK)4个重复,总计40个处理。试验过程中采用膜下滴水出苗,确保棉花的成活率,所有处理均采用相同的水、肥管理措施。每次灌水量上限为田间持水量的80%,下限为田间持水量的60%。试验过程水分控制主要采用称重法确定灌水时间和灌水量,由于各处理土壤盐分含量不同,不能够保证灌水周期一致,以田间持水量的60%开始灌水,田间持水量的80%停止灌溉,详细记录各处理灌水时间和灌水量。

1.3 样品采集与测定

分别在棉花不同生育时期灌水前取0~60 cm土层(每10 cm一层),每个处理任意选择其中2个重复,使用直径为3 cm的采样器取样,采样深度为0~10、10~20、20~30、30~40、40~50 cm和50~60 cm。进行土壤水分含量和盐分测定,土壤水分采用

烘干法测定,盐分用电导法测定。根据灌水后土壤水分含量和下一次灌水前土壤水分含量之差,计算出棉花在此阶段内的平均日蒸散量。在棉花不同生育期内取植株样,每个处理 2 个重复,测定干物质积累量,先杀青,以恒温烘干法测定干物质质量,分不同器官,用电子天平称重。

1.4 数据处理

研究获得的数据借助 SPSS11.5 和 Excel 软件系统进行分析,主要采用了方差分析和多重比较的方法。

2 结果分析

2.1 滴灌条件下不同盐处理土壤水分变化规律

2.1.1 棉花不同生育时期不同盐处理土壤水分变化 分析棉花不同生育时期不同盐处理土壤水分含量变化(如图 2),在棉花苗期,各处理土壤平均含水率差异不大;到棉花盛蕾期,不同盐分土壤水分含量差异达到最大,T1 处理与 CK、T2 处理的土壤平均含水率差异不显著,但和其它处理的土壤平均含水率相比都存在显著差异,相邻盐分梯度含量土壤平均含水率之间差异不显著,且除 T1 处理外,其它各处理土壤平均含水率与对照相比都存在显著差异。到棉花生育末期(吐絮期),各处理土壤平均含水率达到最小值,而且不同处理间差异也有所减小,T1、T2 处理与对照 CK 差异不显著,T3、T4、T5、T6 处理间差异不显著,但与对照 CK 相比都存在显著差异。

2.1.2 不同盐处理条件下不同土层深度水分变化

随着土层深度(0~60 cm)的增加,各处理土壤平均含水率呈现逐渐增加的趋势;相同土层深度,土壤平均含水率随土壤盐分含量的增加也呈现出逐渐增加的趋势(图 3)。这可能是由于土壤盐分含量高导致土壤溶液浓度增加,增加了水分运动的粘滞阻力,水分蒸发缓慢,土壤持水力相对有所增加,从而使土壤维持较高的含水率。

2.2 滴灌条件下不同盐处理土壤日平均蒸散量变化规律

在整个棉花生育期,不同盐分处理土壤日平均蒸散量呈现先升高后降低的趋势(图 4)。不同盐分处理土壤的日平均蒸散量随土壤盐分含量的升高呈逐渐降低的趋势。

对不同盐分含量土壤日平均蒸散量进行方差分析(如表 1 所示),在棉花苗期,各处理土壤日平均蒸散量与对照(CK)相比,都存在显著差异;到棉花蕾期,各盐分处理土壤日平均蒸散量差异达到最大,最大相差 4.13 mm·d⁻¹;在棉花花铃期,各处理土壤日

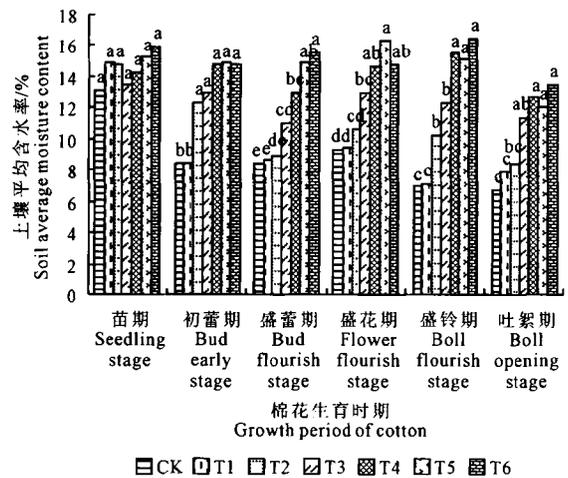


图 2 棉花不同生育时期不同盐分土壤水分变化

Fig.2 Soil moisture variation with different salt content in different growth stage of cotton

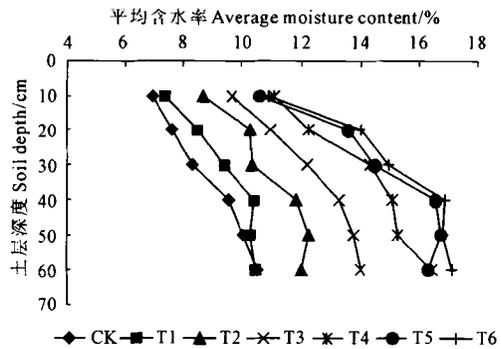


图 3 不同盐分含量土壤不同土层深度平均含水率变化

Fig.3 Average moisture content variation in different layer of soil with different salt content

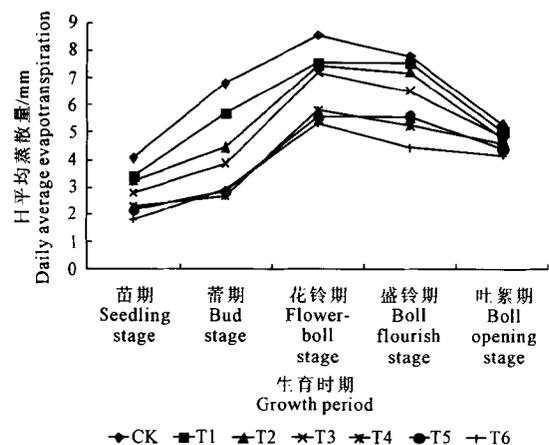


图 4 棉花不同生育时期土壤日平均蒸散量变化

Fig.4 Daily average evapotranspiration variation of soil at different growth stage of cotton

平均蒸散量均达到最大值,对照最高为 8.54 mm·d⁻¹,其次是 T1 处理为 7.55 mm·d⁻¹,T6 处理的最低为 5.32 mm·d⁻¹,最大相差 3.22 mm·d⁻¹,T1 处理与对

照差异不显著,其它各处理与对照相比都存在显著差异;到吐絮期,棉花耗水量减少,土壤日平均蒸散量也减少,各处理间差异减小,T6处理与对照差异显著,而其它各处理与对照都没有显著差异。总体来看,棉花最大耗水时段为7月上旬至8月中旬的

花铃期,其次是盛铃期和蕾期,苗期和吐絮期最少。因此,在实际生产中,应该适时调控灌水时间和灌水量,制定合理的灌溉制度,确保棉花的正常生长和维持棉花的产量。

表1 不同盐分含量土壤日平均蒸散量及其方差分析/mm

Table 1 Variance analysis of daily average evapotranspiration of soil with different salt content

| 处理 Treatment | 苗期 Seedling stage | 蕾期 Bud stage | 花铃期 Flower-boll stage | 盛铃期 Boll flourish stage | 吐絮期 Boll opening stage |
|-----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| CK | 4.08 a | 6.80 a | 8.54 a | 7.81 a | 5.27 a |
| T1 | 3.39 b | 5.70 b | 7.55 ab | 7.53 ab | 5.04 a |
| T2 | 3.24 b | 4.43 c | 7.47 b | 7.21 ab | 4.76 ab |
| T3 | 2.80 c | 3.87 c | 7.20 b | 6.52 b | 4.84 ab |
| T4 | 2.27 cd | 2.67 d | 5.81 c | 5.25 c | 4.62 ab |
| T5 | 2.18 d | 2.85 d | 5.56 c | 5.60 bc | 4.41 ab |
| T6 | 1.83 d | 2.90 d | 5.32 c | 4.44 c | 4.16 b |

2.3 滴灌条件下不同盐含量土壤棉花干物质积累量变化关系

2.3.1 不同盐处理土壤棉花不同生育时期单株干物质积累量变化 随着棉花生育期的推进,棉花单株干物质积累量是不断增加的(图5)。不同盐分含量土壤的棉花单株干物质积累量在棉花生育初期差异不显著,随着生育期的延长,各盐分含量土壤棉花的单株干物质积累量差异逐渐增大。在棉花出苗66~83 d内,棉花的单株干物质积累量增加最快,对照(CK)棉花的日平均单株干物质积累量最大为0.74 g·d⁻¹,T6处理的棉花日平均单株干物质积累量最小为0.40 g·d⁻¹,最大相差为0.34 g·d⁻¹。整个生育期内,T6处理的棉花单株干物质积累量与对照相比都存在显著性差异,到生育末期差异达到最大,最大相差28.00 g。

2.3.2 不同盐含量土壤棉花干物质水分利用效率分析 由表3知,对照CK的耗水量最大,随着盐分

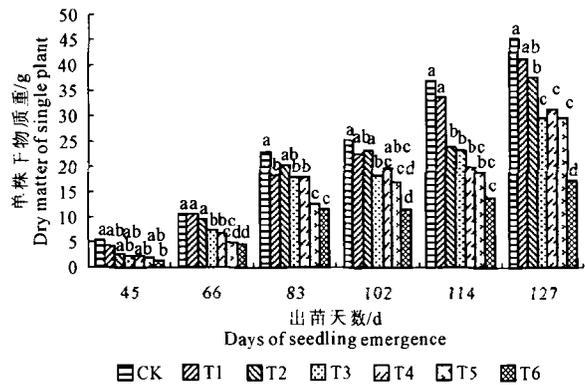


图5 不同盐分土壤棉花不同生育时期单株干物质积累量变化
Fig.5 Dry material accumulation variation of individual plant at different growth stage of cotton in soil with different salt content

含量的升高,滴灌棉花生育期耗水量逐渐减小,T6处理土壤的棉花耗水量最小,CK、T1、T2、T3与其它盐分处理的耗水量达到显著性差异;这是由于土壤盐分含量高(盐分含量达到0.65%),土壤溶液的浓

表3 不同盐分含量土壤棉花干物质的水分利用效率方差分析

Table 3 Variance analysis of cotton dry material water use efficiency in soil with different salt content

| 处理 Treatment | 日平均蒸散量 Daily average evapotranspiration/mm | 耗水量 Water consumption /mm | 干物质质量 Dry material / (kg·hm ⁻²) | 水分利用效率 Water use efficiency / (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) |
|-----------------|---|------------------------------|--|---|
| CK | 6.50a | 751.84a | 4726.56a | 6.29ab |
| T1 | 5.84ab | 669.85ab | 4296.88ab | 6.41ab |
| T2 | 5.42ab | 622.22bc | 3934.38b | 6.32ab |
| T3 | 5.05bc | 574.95c | 3103.13c | 5.40b |
| T4 | 4.13cd | 472.42d | 3275.00bc | 6.93a |
| T5 | 4.12cd | 469.17d | 3107.29c | 6.62a |
| T6 | 3.73d | 422.36d | 1809.38d | 4.28c |

度也升高,渗透压随之提高,而水分的有效性,即水势却相应降低,使得棉花吸水困难,在一定程度上会抑制棉花的生长,造成棉花生长缓慢,植株矮小,茎叶发育不良,因而用以维持其生长的需水量也相应减少。对照 CK 的干物质积累量最大,随着盐分含量的增加干物质积累在减小,CK 与 T1, T1 与 T2, T3、T4 和 T5 间差异均不显著, T6 与其它各处理间均存在显著性差异。分析各处理的干物质水分利用效率发现, T4 干物质水分利用效率最高, T6 处理最低, CK、T1、T2、T3 处理间差异不显著, CK、T4、T5 处理间差异也不显著, 而 T6 处理与其它各处理间都存在显著性差异。

3 结论与讨论

1) 不同盐处理的土壤 0~60 cm 平均含水率在棉花出苗初期差异不显著,随着棉花生育期的延长,差异逐渐增大,在蕾铃期达到最大;此后,随着生育期的推进,不同盐含量土壤平均含水率差异又有所减小,且土壤平均含水率呈下降趋势。随着土层深度的增加,各处理土壤平均含水率均呈现逐渐增加的趋势;相同土层深度,土壤平均含水率随土壤盐分含量的增加也呈现出逐渐增加的趋势。

2) 不同盐分处理的土壤日平均蒸散量随土壤盐分含量的升高呈逐渐降低的趋势,随棉花生育期的延长呈现先升高后降低,各盐分处理土壤最大日平均蒸散量出现在花铃期,日均蒸散量 5.32~8.54 mm。这说明花铃期是棉花需水最多的时期,在实际生产中,7 月上旬至 8 月中旬这一时期应保证及时充分的灌溉水量,以促进棉花的正常生长,这与王海江^[13]、郭金强^[14]等的研究结果一致。各盐分处理棉花均在花铃期日蒸散量达到最大,这可能与棉花不同生育期耐盐性不同有关。张丽辉^[15]研究认为现蕾期作物耐盐性增强,土壤含盐 0.3%~0.4% 时,作物对苗期受盐影响有补偿性生长作用,同时也说明适度的盐分含量在棉花进入生殖生长时期时,对棉花生长有一定的促进作用,对苗期受盐影响具有补偿性生长作用,这与本研究结论基本相符。

3) 随着棉花生育期的推进,干物质积累量是不断增加的。不同盐分含量土壤的棉花干物质积累量在棉花生育初期差异不显著,随着生育期的延长,各盐分含量土壤棉花的干物质积累量差异逐渐增大。随土壤盐分含量的增加,棉花的单株干物质积累量呈减少的趋势。

4) 对照(CK)的棉花生育期耗水量与盐分含量 0.15%、0.25% 和 0.35% 间相比差异不显著,土壤盐分含量 0.45%、0.55% 和 0.65% 间差异也不显著;干物质水分利用效率最高的是 0.45% 盐分土壤,盐分含量 0.65% 的棉花耗水量最低,干物质积累量最少,棉花的干物质水分利用效率也最低,且与其它处理相比都存在显著差异。总的来看,适当的土壤盐分含量有利于降低棉花生育期耗水量,在不影响棉花干物质积累的阈值内,有利于提高棉田的水分利用效率。

参考文献:

- [1] 向本春,李鲁华,张伟,等.新疆绿洲盐碱化研究[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2010.
- [2] 马富裕,严以绥.棉花膜下滴灌技术理论与实践[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2002.
- [3] 陆景陵.植物营养学(上册)[M].北京:中国农业大学出版社,2003.
- [4] 王振华,郑旭荣,安俊波.盆栽滴灌棉花土壤耗水变化特征的试验研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2009,27(6):764-769.
- [5] 刘建军,陈燕华,李明思.膜下滴灌棉花植株耗水率与土壤水分的关系[J].棉花学报,2002,14(4):200-203.
- [6] 刘新永,田长彦,马英杰,等.南疆膜下滴灌棉花耗水规律以及灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):108-112.
- [7] 伍维模,董合林,王萍,等.水分氮素及环境因子对南疆膜下滴灌棉花水分利用效率影响研究[J].新疆农业科学,2006,43(1):34-37.
- [8] 雷在新.膜下滴灌条件下不同灌水量对棉花生长和水分利用效率的影响[J].甘肃水利水电技术,2012,48(4):46-48.
- [9] 申孝军,陈红梅,孙景生,等.调亏灌溉对膜下滴灌棉花生长、产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(1):40-43.
- [10] 申孝军,张奇阳,刘祖贵,等.膜下滴灌条件下不同水分处理对棉花产量和水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):118-124.
- [11] 李明思,马富裕,郑旭荣.膜下滴灌棉花田间需水规律研究[J].灌溉排水,2002,21(1):58-60.
- [12] 余美,杨劲松,刘梅先,等.膜下滴灌条件对棉花蒸散量影响的室内试验[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(6):75-81.
- [13] 王海江,崔静,侯振安,等.膜下滴灌棉花干物质积累与耗水量关系研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):83-87.
- [14] 郭金强,危常州,侯振安,等.北疆棉花膜下滴灌耗水规律的研究[J].新疆农业科学,2005,42(4):205-209.
- [15] 张丽辉.含盐土壤节水灌溉下作物水盐响应研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2002.