

# 垄作沟灌条件下灌溉定额对土壤水盐分布 和制种玉米耗水的影响

王增丽<sup>1</sup>,朱兴平<sup>2</sup>,温广贵<sup>3</sup>,殷庆德<sup>2</sup>

(1. 甘肃省武威市中心灌溉试验站, 甘肃 武威 733000;

2. 甘肃省武威市水利技术综合服务中心, 甘肃 武威 733000; 3. 甘肃省武威职业学院, 甘肃 武威 733000)

**摘要:** 通过田间试验对垄膜沟灌条件下,不同灌溉定额对土壤水盐分布及制种玉米产量和水分利用效率的影响进行了研究。结果表明:灌溉定额对垄顶和沟底0~100 cm 土层水盐分布具有不同的影响,随着灌水定额的增加,垄顶土层盐分累积效应明显高于沟底土层,深层土壤水分含量高于浅层土壤水分含量;灌水阶段,表层土壤脱盐量随着灌水定额的增加而增大,土壤蒸发阶段,灌水定额大的处理表层土壤盐分累积效应明显;作物耗水量及土壤的储水能力受灌溉定额影响显著,当灌水定额大于 $400\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 时能显著增加沟底土壤水分的垂直运动,促进水分在深层土壤中储存;随着灌溉定额的增加,制种玉米的穗长、穗行数、行粒数呈增加的趋势。从节水增产角度考虑,制种玉米全生育期灌水5次(播后、拔节期、大喇叭口期、抽穗期、灌浆期),灌水定额为 $500\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,灌溉定额为 $2\,500\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,土壤盐分累积效应最低且作物水分利用效率( $0.825\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )和产量效应( $4\,219.91\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )最优。

**关键词:** 制种玉米;垄作沟灌;灌溉定额;水盐运移;产量

**中图分类号:** S274; S513 **文献标志码:** A

## Effects of irrigation quota on distribution characteristics of soil water-salt and water consumption during maize seed production under ridge and furrow farming

WANG Zeng-li<sup>1</sup>, ZHU Xing-ping<sup>2</sup>, WEN Guang-gui<sup>3</sup>, YIN Qing-de<sup>2</sup>

(1. Key Irrigation Experimental Station in Wuwei, Wuwei, Gansu 733000, China;

2. The Integrated Service Centre on Water Conservancy Technologies, Wuwei, Gansu 733000, China;

3. Wuwei Occupational College, Wuwei, Gansu 733000, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted to study the effects of irrigation quota on distribution of water and salt in soil, yield and water use efficiency during maize seed production under ridge and furrow farming. The results showed that the distributions characteristics of water and salt in soil of the ridges were different from those of furrows at the 0 ~ 100 cm soil layer. With the increase of quota, salt was accumulated in ridge soil, exhibiting more significant consequence than in the furrow. Soil moisture content in the deep soil layer was higher than that in the top soil. The desalination of the shallow soil was elevated with the increase of irrigation quota at the irrigation stage. At the evapotranspiration stage, salt was evidently accumulated in shallow soil with the treatment of large irrigation quota. The irrigation quota had an apparent influence on crop evapotranspiration and soil water storage capacity. When irrigating water quota was above  $400\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ , the vertical movement of soil moisture was significantly higher than horizontal movement, promoting water storage capacity in the deep soil. With the elevation of irrigation quota, fruit length, ear row number and kernel seeds per row of maize became increased. In conclusion, for water-saving and yield improvement, irrigation schedule with irrigation quota of  $2\,500\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$  (at seeding, jointing, late jointing, heading and filling stages) was thereby recommended as the optimal practice to increase WUE ( $0.825\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), preventing soil salt from moving up and increasing yield of

收稿日期:2014-12-27

基金项目:水利部公益性项目(201201003);甘肃省水利科研推广项目

作者简介:王增丽(1974—),女,山西祁县人,博士,高级工程师,主要从事农业水土资源保护与利用研究。E-mail:wangzengli1201@163.com。

maize seed production ( $4\ 219.91\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ).

**Keywords:** maize seed production; ridge farming; furrow irrigation; irrigation quota; water-salt transport; yield

甘肃省石羊河流域属内陆干旱地区,由于地表水资源严重短缺,地下水成为该区农业灌溉的重要水源。高矿化度的地下水灌溉和强烈的蒸发蒸腾作用使该区耕地大面积出现积盐现象,灌溉农业的可持续发展面临巨大的挑战<sup>[1]</sup>。相对于传统的灌溉形式,沟灌灌溉方式具有提高玉米等宽行作物产量和水分利用效率的作用<sup>[2]</sup>。自 20 世纪 90 年代初,全国玉米杂交制种基地逐渐西移,河西灌区成为 60 多个玉米高产品种的制种基地<sup>[3]</sup>,针对垄膜沟灌条件下对制种玉米产量和水分利用效率的影响有一定的研究<sup>[4-6]</sup>,但灌溉定额对制种玉米农田水盐分布影响方面的研究鲜有报道。基于此,本试验进一步探讨不同灌溉定额对土壤剖面水盐分布特征及制种玉米产量的影响,旨在为制种玉米生产提供技术指导和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在武威市中心灌溉试验站进行,试验站海

拔 1 582 m,东经  $102^{\circ}50'$ ,北纬  $37^{\circ}52'$ 。地处腾格里沙漠边缘,为典型的干旱荒漠区。多年平均降水量 163.2 mm,多年平均蒸发量 2 019.9 mm。土壤全氮含量  $0.44\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,有机质含量  $6.74\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土壤质地为粉质壤土,平均土壤密度  $1.45\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,田间持水率 32%,饱和含水量 42%,地下水埋深 48 m。

### 1.2 试验材料及测定方法

供试制种玉米品种为富农 963,于 2013 年 4 月 24 日种植,9 月 10 日收获,全生育期 140 d。采用玉米穴播机进行播种,播种量  $30\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,株距 20 cm,行距 50 cm,基肥量尿素  $262.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,磷酸二氢铵  $525\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

垄沟设计标准:垄高 20 cm,垄顶宽 50 cm,垄底宽 80 cm,沟底宽 20 cm。制种玉米生育期追肥措施随拔节期灌水进行,追肥量  $200\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。各种农艺措施参照当地经验。试验采用随机区组排列,重复 3 次,小区面积  $32\ \text{m}^2(4\ \text{m}\times 8\ \text{m})$ ,周围布置保护区,试验处理设置见表 1。

表 1 各处理灌溉方案/ $(\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2})$

Table 1 Irrigation schedule for field experiment

处理 Treatments	底墒水 Sowing (04-26)	拔节期 Jointing (06-05)	大喇叭口期 Bell-mouthing (06-25)	抽穗期 Heading (07-12)	灌浆期 Filling (08-01)	灌溉定额 Irrigation quota
T1	500	300	300	300	300	1700
T2	500	400	400	400	400	2100
T3	500	500	500	500	500	2500

### 1.3 测定项目与方法

在制种玉米播种前、收获后以及每次灌水前后(降雨前后加测),对垄顶、沟底分层(0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm)进行取样,采用烘干法测定土壤水分。利用 SG-3 型电导率仪测定电导率 EC1:5(土水质量比为 1:5),根据文献<sup>[7]</sup>计算土壤全盐含量。作物收获后对产量及产量性状进行考种,并计算水分利用效率。

### 1.4 数据处理

利用 SPSS16.0 对试验数据进行方差分析和显著性检验,采用 Surfer8.0 软件进行制图。

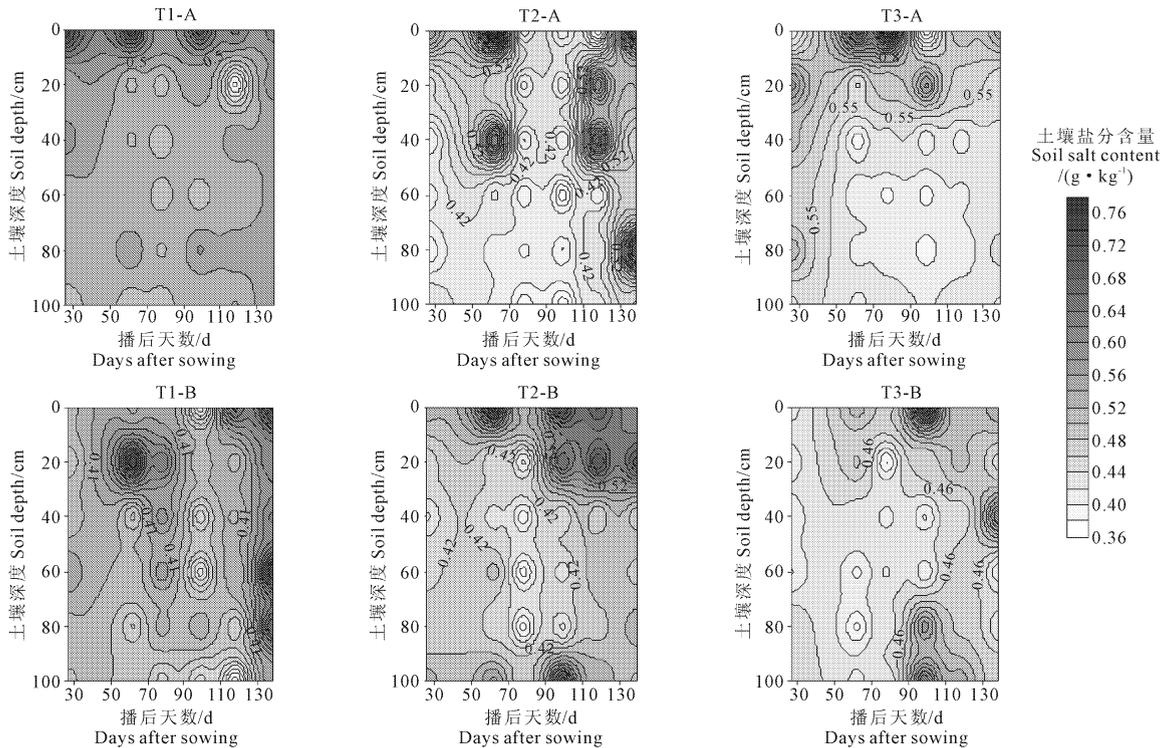
## 2 结果与分析

### 2.1 土壤剖面盐分动态变化

不同处理制种玉米生育期垄顶、沟底土层盐分

变化见图 1。由图 1 可知,各处理垄顶、沟底 0~100 cm 土层土壤盐分变化受灌水定额和根系吸水等因素的影响。在苗期,各处理垄顶、沟底土壤剖面盐分变化规律基本一致:各处理垄顶剖面各层盐分含量较沟底各对应土层呈增加的趋势。在苗期(播后 26 d),T2、T3 处理垄顶 0~10 cm 土层含盐量较 T1 处理分别降低 23.08%、49.81%,沟底土壤含盐量较 T1 处理分别提高 17.52%、4.36%。此外,各处理垄顶脱盐土层深度也不相同。T1 处理 40~60 cm 土层发生脱盐现象,T2 处理 60~80 cm 土层发生脱盐现象,T3 处理 80~100 cm 土层发生脱盐现象。在灌浆期(播后 99 d),T2、T3 处理垄顶 0~10 cm 土壤含盐量较 T1 处理分别降低 50.08%、58.11%。沟底土壤含盐量较 T1 处理分别提高 47.06%、66.96%。T1、T2 处理 40~60 cm 土层发生脱盐现象,T3 处理 60~80

cm 土层发生脱盐现象。



注:A 图为垄顶剖面土壤含盐量变化,B 图为沟底剖面土壤含盐量变化。下同。

Note: A and B represented soil salinity changes in ridge top and ditch layers respectively, and hereinafter.

图 1 不同处理制种玉米生育期垄顶、沟底土壤含盐量剖面图

Fig.1 Distribution of soil salinity at ridge and furrow during maize seed production

研究表明,随着灌水定额的增加,垄顶层层土壤盐分含量较沟底层盐分变化剧烈,在灌水阶段,表层土壤脱盐量随着灌水定额的增加而增加,在土壤蒸发阶段,随灌水定额的增加表层土壤盐分的累积效益增强。分析原因为灌水定额对土壤水分的纵向和横向运移产生影响,水分在土壤中入渗的深度不同。在土壤水分蒸发过程中,土壤盐分随着水分逐渐上移,土壤表层发生积盐现象,土壤中层发生脱盐现象。

## 2.2 土壤剖面水分动态变化

由图 2 可知,在制种玉米生育期内,各处理土壤水分含量随着土壤深度变化的趋势基本一致。在苗期,各处理垄顶 0~20 cm 土层土壤含水量为 10.33%~11.07%,沟底 0~20 cm 土层土壤含水量为 12.51%~14.13%,在 80~100 cm 土层内土壤含水量为 18.70%~24.32%。处理间垄顶、沟底各对应土层土壤水分含量差异不大。

进入拔节期,在裸间蒸发和作物蒸腾的双重作用下,各处理垄顶、沟底 0~100 cm 土层土壤蓄水量

明显较苗期减少。其中垄顶 0~20 cm 土层土壤含水量为 6.89%~8.54%,沟底 0~20 cm 土层土壤含水量为 9.66%~9.87%,处理间无显著性差异。沟底 60~80 cm 土层 T1、T2、T3 各处理土壤含水量依次为 11.47%、13.85%、15.33%,T2、T3 与 T1 差异显著。在抽穗期、灌浆期各处理土壤含水量分布特征基本一致。在乳熟期,各处理垄顶 0~20 cm 土层土壤含水量为 10.33%~11.07%,沟底 0~20 cm 土层土壤含水量为 12.51%~14.13%,在 80~100 cm 土层内各处理土壤含水量为 18.70%~24.32%。垄顶、沟底土壤水分差异不大。在乳熟期,垄顶、沟底 0~60 cm 各土层土壤水分差异不大。T1、T2、T3 处理沟底 60~80 cm 土层土壤含水量分别为 7.37%、7.39%、11.51%,T3 与 T1、T2 差异显著。作物收获后,各处理垄顶 0~20 cm 土层土壤含水量为 4.25%~7.00%,沟底 0~20 cm 土层土壤含水量为 5.76%~8.77%,处理间差异减小。其中,T3 处理 0~100 cm 土层内垄顶、沟底土壤含水量明显高于其他处理各对应值。

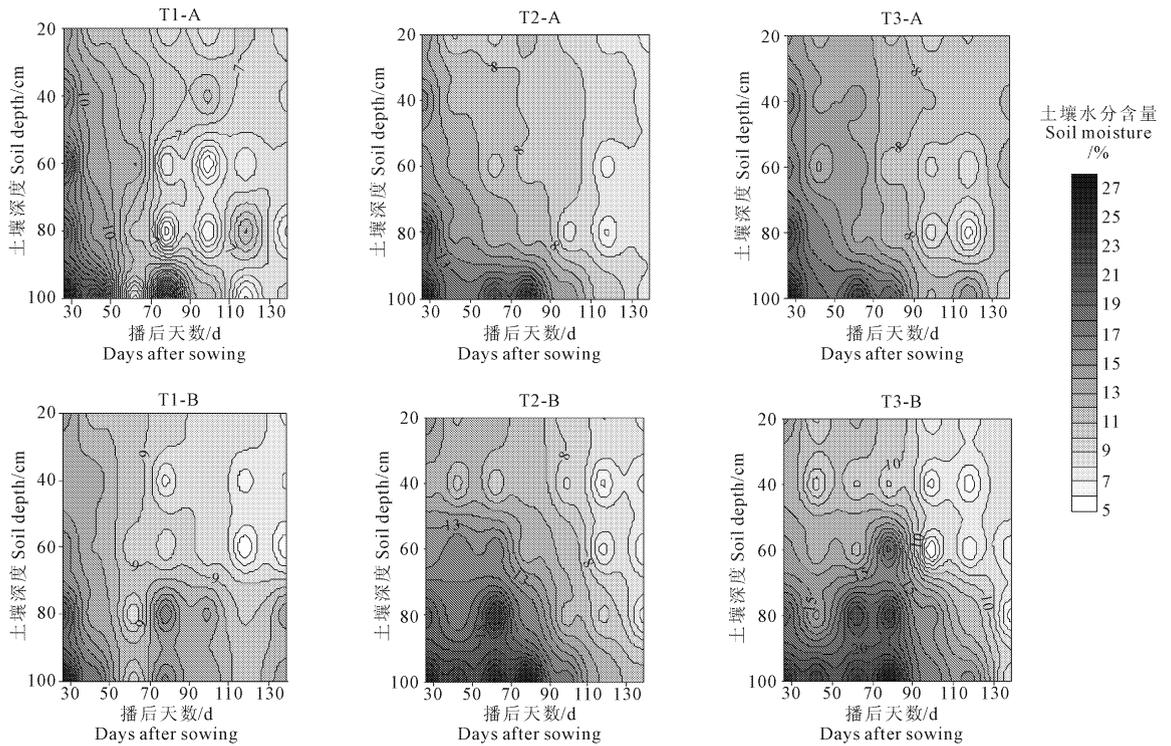


图 2 不同处理制种玉米生育期垄顶、沟底土壤水分含量剖面图

Fig.2 Distribution of soil moisture at ridge and furrow during maize seed production

研究表明, 垄作耕作方式改变了土壤水分的横向运动, 进而改变了土壤水分分布特征。当灌水定额大于  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时能显著促进制种玉米大喇叭口期沟底土壤水分的垂直运动。当灌水定额大于  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时能显著促进制种玉米灌浆期、乳熟期沟底土壤水分的垂直运动。

2.3 作物产量及水分利用效率分析

制种玉米不同生育期耗水量及耗水系数见表 2。由表可知, 各处理耗水总量随灌溉定额的增加呈增加的趋势。T1、T2、T3 处理生育期耗水总量分别为 378.4、476.2、511.5 mm, 其中 T2、T3 处理生育期

耗水总量与 T1 处理差异显著。各处理耗水系数为 0.119~0.140, 大小依次为  $T1 > T3 > T2$ , 其中 T2、T3 处理生育期耗水与 T1 处理差异显著。

不同处理制种玉米产量性状及水分利用效率见表 3。由表可知, 随着灌溉定额和施肥量的增加, 制种玉米的穗长、穗行数、行粒数呈增加的趋势。T1、T2、T3 处理产量依次为 2 704.14、3 987.71、4 219.91  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 其中 T2、T3 处理产量与 T1 处理差异显著。结合 WUE 结果分析, T3 处理较 T2 处理 WUE 仅降低 1.43%, 但制种玉米产量增产幅度 5.82%。因此, 从节水增产角度而言, T3 处理灌溉制度最优。

表 2 制种玉米不同生育期耗水量、耗水系数分析

Table 2 Analysis of water consumption and its coefficient during maize seed production

处理 Treatments	阶段耗水量/mm Water consumption in different stages				生育期总耗水量 Total water consumption /mm	耗水系数 Water consumption coefficient /( $\text{mm} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
	播种~拔节 Sowing~jointing	拔节~抽雄 Jointing~heading	抽雄~灌浆 Heading~filling	灌浆~成熟 Filling~mature		
T1	53.55	152.84	78.77	93.25	378.40 b	0.140 a
T2	57.86	107.55	150.19	160.60	476.20 a	0.119 b
T3	39.50	146.92	165.25	159.83	511.50 a	0.121 b

注: 同列相同字母表示差异不显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: Same letters in the same column meant no significant difference ( $P < 0.05$ ), and hereinafter.

表 3 制种玉米产量性状及水分利用效率

Table 3 Analysis on yield characters of maize and WUE

处理 Treatments	穗粗/mm Ear diameter	穗长/cm Ear length	秃尖长/mm Bald tip length	穗行数/行 Ear row number	行粒数/粒 Kernel seeds per row	千粒重/g 1000-grain weight	产量 /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	WUE /(kg·m <sup>-3</sup> )
T1	29.54	11.33	2.67	10.33	14.33	289.53	2704.14 b	0.714 b
T2	32.59	11.57	6.38	10.67	16.00	283.93	3987.71a	0.837a
T3	32.63	13.03	8.52	11.33	20.00	298.73	4219.91a	0.825a

### 3 讨论

有研究表明,农田土壤的水盐动态受灌溉和降雨影响的短期波动和受季节更替影响的长期波动<sup>[8]</sup>,且作物的产量与灌溉定额和土壤盐分累积程度密切相关<sup>[9]</sup>。较强的蒸发蒸腾作用会导致土壤盐分积累,产生的渗透势影响作物根系吸水<sup>[10-11]</sup>。特别是在气温较高且蒸发强烈时,对作物进行过量灌水不仅不利于压盐,反而促进深层土壤盐分向上运移和累积<sup>[12]</sup>。在灌水量一定的情况下,延长灌水周期也能达到抑制土壤返盐的目的<sup>[13-14]</sup>。垄膜沟灌条件下,垄顶表层土壤盐分含量较沟底表层盐分变化剧烈。在灌水阶段,表层土壤脱盐量随着灌水定额的增加而增加,在土壤蒸发阶段,随灌水定额的增加表层土壤盐分的累积效益增强,且垄面土壤盐分累积周期先于沟底,这与袁成福<sup>[15]</sup>的研究结果相一致。由于土壤水分的垂向运动优于横向运动,因此,灌溉定额对沟底土壤剖面水分含量的变化影响高于对垄面土壤剖面水分含量的影响,且随着土壤深度的加深,灌溉定额对土壤水分含量的影响越大,这与蒋静等<sup>[16]</sup>的研究结果相一致。

### 4 结论

垄作沟灌条件下,在灌水阶段,垄顶表层土壤脱盐量随着灌水定额的增加而增大;在蒸发阶段,垄顶土层盐分累积效应明显高于沟底对应土层。随灌溉定额的增加,土壤剖面的脱盐深度呈增加的趋势。

当灌水定额大于 400 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>时,制种玉米大喇叭口期沟底土壤水分的垂直运动显著,促进土壤水分在深层土壤中储存。在制种玉米灌浆期~乳熟期,当灌水定额大于 500 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>时沟底土壤水分垂直运动剧烈。

石羊河流域制种玉米垄膜沟灌条件下,全生育期 5 次灌水(分别在播后、拔节期、大喇叭口期、抽穗期、灌浆期),灌水定额为 500 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,灌溉定额总量为 2 500 kg·hm<sup>-2</sup>,耕层土壤盐分累积效应最低,

作物水分利用效率和产量效应最优。

#### 参考文献:

- [1] 康绍忠,栗晓玲,杨秀英,等.石羊河流域水资源合理配置及节水生态农业理论与技术集成研究的总体框架[J].水资源与水工程学报,2005,16(1):1-9.
- [2] 雷廷武,肖娟,詹卫华,等.沟灌条件下不同灌溉水质对玉米产量和土壤盐分的影响[J].水利学报,2004,35(9):118-122.
- [3] 张立勤,马忠明,王智琦,等.不同栽培模式下制种玉米的产量及水分生产效应[J].节水灌溉,2012,(12):43-45,50.
- [4] 胡铁民,王增丽,董平国.西北旱区制种玉米不同灌溉制度对土壤水分及产量的影响[J].节水灌溉,2014,(1):27-31.
- [5] 韩万海,王增丽,张萍.石羊河流域制种玉米全膜垄作沟灌水肥调控试验研究[J].灌溉排水学报,2014,33(4/5):107-111.
- [6] 樊廷录,杨珍,王建华,等.灌水时期和灌水量对甘肃河西玉米制种产量和水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):1-6.
- [7] 赵志才,冯绍元,霍再林,等.咸水灌溉条件下土壤水盐分布特征[J].应用生态学报,2010,21(4):945-951.
- [8] 马文军,程琴娟,李良涛,等.微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):73-80.
- [9] Katerji N, van Hoom J W, Hamdy A, et al. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods[J]. Agricultural Water Management, 2003,62: 37-66.
- [10] Shani U, Dudley L M. Field studies of crop response to water and salt stress[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001,65: 1522-1528.
- [11] Ben - Hur M, Li F H, Keren R, et al. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions [J]. Soil Science Society of America Journal, 2001,65:191-198.
- [12] 巨龙,王全九,王琳芳,等.灌水量对半干旱区土壤水盐分布特征及冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2007,23(1):86-90.
- [13] 马军勇,周建伟,何帅,等.膜下滴灌灌水周期对盐渍化土壤水盐运移影响研究[J].灌溉排水学报,2013,33(04):44-47.
- [14] 付恒阳,朱拥军,王雅琴.干旱地区大田膜下滴灌对土壤盐分的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(2):21-24.
- [15] 袁成福,冯绍元,霍再林,等.咸水非充分灌溉对土壤盐分动态及制种玉米产量的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(3):114-116,120.
- [16] 蒋静,冯绍元,王永胜,等.灌溉水量和水质对土壤水盐分布及春玉米耗水的影响[J].中国农业科学,2010,43(11):2270-2279.