

微咸水膜下滴灌对棉花生长发育及其产量的影响研究

宋有玺^{1,2}, 安进强¹, 何岸榕¹, 陈丽娟³

(1. 甘肃农业大学 工学院, 兰州 730070; 2. 甘肃大禹节水集团股份有限公司 工程设计公司, 甘肃 酒泉 735000; 3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘 要:微咸水膜下滴灌是缓解全球农业用水短缺的有效途径之一。通过开展不同灌溉水矿化度条件下的农田控制试验, 围绕微咸水膜下滴灌对棉花叶面积、地上生物量积累及其分配、棉株叶片含水率、棉花产量及产量构成因素等的影响进行了研究, 同时结合 Logistic 模型, 对地上干物质积累规律进行了探讨。结果表明: 利用矿化度低于 6.0 g/L 的微咸水膜下滴灌比淡水灌溉更有利于棉花叶面积的生长; 微咸水矿化度在 2.0 g/L 时会促进棉花干物质的积累, 而当矿化度 ≥ 4.0 g/L 时, 干物质积累量随着矿化度的增加而减少, 矿化度的增加会使干物质快速积累起始时间推迟且持续时间缩短。当矿化度 ≤ 4.0 g/L 时, 棉花生育后期生殖器官所占比重随灌溉水矿化度的增加而增大, 但当矿化度达到 6.0 g/L 时生殖器官所占比重减小; 灌溉水矿化度对棉花产量的影响有明显的分段性, 民勤绿洲区种植棉花的灌溉水矿化度阈值为 3.51 g/L, 即在矿化度 < 3.51 g/L 时, 微咸水灌溉的棉花产量与淡水灌溉产量差异不明显, 高于此阈值时, 则会造成减产。

关键词:微咸水; 棉花; 膜下滴灌; 产量

中图分类号: S275.6; S562

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0128-05

Effect of Mulched Drip Irrigation with Saline Water on Cotton Growth and Yield

SONG Youxi^{1,2}, AN Jinqiang¹, HE Anrong¹, CHEN Lijuan³

(1. Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Engineering Design Company, Gansu Dayu Water Group Co., Ltd., Jiuquan, Gansu 735000, China; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Mulched drip irrigation with saline water is an effective method to relieve global agricultural water scarcity. A field experiment under different irrigation water salinity was conducted to study the effect of mulched drip irrigation with saline water on cotton leaf area index, aboveground biomass and its allocation, cotton leaf water content, yield and its component. The Logistic model was also used to analyze the regularity of dry matter accumulation. The results demonstrated that the use of brackish water film salinity below 6.0 g/L under drip irrigation was more conducive to the growth of cotton leaf area than fresh water irrigation; the dry matter accumulation of cotton increased while the total dissolved solid (TDS) of irrigation water was 2.0 g/L. However, the value was reduced with TDS increase when the TDS was greater than 4.0 g/L. In addition, the start time of quick accumulation was delayed and its duration was shortened. The proportion of reproductive organ during late growth stage increased when the TDS was less than 4.0 g/L, and reduced when TDS was 6.0 g/L. The effect of mulched drip irrigation with saline water on cotton yield had obvious stages. The threshold of irrigation water TDS in Minqin Oasis was 3.51 g/L; when the TDS was less than this value, there was no significant difference in cotton yield between saline and fresh water irrigation, while TDS is bigger than this threshold, the yield will decrease.

Keywords: saline water; cotton; mulched drip irrigation; yield

淡水资源匮乏已成为世界性的问题,严重影响了全球粮食安全和生态系统健康^[1]。利用微咸水灌溉能缓解农业生产对淡水资源造成的压力,是解决农业用水短缺的有效途径之一。国外利用微咸水进行农业灌溉已经有一百多年的历史,我国也有近半个世纪^[2]。合理评价微咸水灌溉对农田生态系统的影响一直是国内外专家学者关注的热点问题之一^[3-6]。

使用微咸水灌溉可能会对作物不同生育期的生长产生不同程度的影响^[7-9],大多数耐盐作物在花期和成熟期耐盐性达到最高,后期的微咸水灌溉对产量影响不显著^[10]。膜下滴灌技术能有效缓解微咸水中盐分在作物根区的聚集,降低盐分对作物生长的影响,因此,被认为是最适合用于微咸水灌溉的方式^[3]。在美国、以色列等国家,80%以上的微咸水采用滴灌技术进行灌溉^[11]。近年来,针对微咸水膜下滴灌对作物的影响成为众多研究人员关注的焦点^[12-14],本文就民勤地区微咸水膜下滴灌对棉花叶面积、地上部生物量及其产量等的影响进行试验研究,旨在为揭示棉花生长对微咸水膜下滴灌的响应机理提供科学依据,

同时为该地区微咸水资源的有效利用提供试验基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2014 年 4—11 月在甘肃省水利科学研究院民勤节水农业及生态建设试验示范基地进行。该试验示范基地位于民勤县城以北约 13.5 km 处的泉山区大滩乡东大村,地理位置为 103°12′03.4″E,38°42′40.2″N,海拔 1 347 m。基地处于绿洲和腾格里沙漠交界地带,属典型的大陆性荒漠气候,气候干燥,降水稀少,蒸发量大,风沙多,自然灾害频繁。多年平均气温 7.8℃,极端最高气温 41.1℃,极端最低气温 -27.3℃,平均湿度 45%,多年平均降水量 110 mm,多年平均蒸发量 2 644 mm。年日照时数 3 028 h,光热资源丰富,≥10℃积温 3 145℃,≥0℃积温 3 550℃,无霜期 150 d,最大冻土深 115 cm。地下水矿化度为 0.92 g/L,埋深为 18~25 m。试验区 0—40 cm 土壤以壤土为主,干容重 1.57 g/cm³。试验前 0—60 cm 土壤肥力及盐分特性见表 1—2。

表 1 土壤肥力

土层/cm	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	碱解性氮/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
0—20	0.65	0.058	0.12	1.75	28.90	19.02	140
20—40	0.73	0.056	0.11	1.75	26.10	4.01	140
40—60	0.51	0.058	0.12	1.75	17.50	1.72	140

表 2 土壤盐分含量

土层/ cm	CO ₃ ²⁻ / (g·kg ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (g·kg ⁻¹)	Cl ⁻ / (g·kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (g·kg ⁻¹)	Ca ²⁺ / (g·kg ⁻¹)	Mg ²⁺ / (g·kg ⁻¹)	K ⁺ / (g·kg ⁻¹)	Na ⁺ / (g·kg ⁻¹)	全盐量/ (g·kg ⁻¹)	pH 值
0—20	0.14	0.45	0.03	0.13	0.10	0.11	0.05	0.20	1.21	7.92
20—40	—	0.48	0.06	0.30	0.03	0.16	0.03	0.39	1.45	7.45
40—60	0.03	0.50	0.09	0.50	0.04	0.22	0.03	0.48	1.89	8.05

1.2 试验设计

试验以灌溉水矿化度作为试验因素,按 2.0,4.0,6.0 g/L 设计,分别用 T₁,T₂,T₃ 表示,以矿化度为 0.92 g/L 的深井淡水作为对照(CK),每个处理设 3 次重复,共布置 12 个小区。不同灌水矿化度拟用位于民勤湖区西渠镇皇辉村(103°36′11.9″E,39°02′56.4″N)的浅井苦咸水(矿化度 14.10 g/L)与试验基地深井淡水(矿化度 0.92 g/L)配置而成,配制依据见公式(1)。每次灌水前使用电导率仪标定水质矿化度,灌水方式拟将不同矿化度的灌溉水贮存在容积为 10 m³的蓄水池中,由微型泵供应,每个小区用安装在输水管上的水闸与水表进行灌水控制。

$$M=\frac{M_tQ_t+M_sQ_s}{Q_t+Q_s} \tag{1}$$

式中:M——试验所需灌水矿化度(g/L);M_t——深井淡水矿化度(g/L);M_s——浅井苦咸水矿化度(g/L);Q_t——深井淡水量(m³);Q_s——浅井苦咸水量(m³)。

棉花参试品种为“新陆早七号”,试验小区按试验地自然地形随机区组设计,小区面积 15 m×3.4 m。膜下滴灌采用幅宽 140 cm 的地膜,膜间间距为 30 cm,一膜下面铺设两根毛管,两根毛管间距 80 cm。每膜种植 4 行棉花,采用宽窄行种植,即宽行 50 cm,窄行 30 cm(毛管铺在两个窄行中间),棉花株距 20 cm。滴灌带膜下固定,滴头间距 30 cm,额定工作压力为 0.1 MPa,额定滴头流量为 2.0 L/h。为保证棉花出苗,在 4 月 22 日采用淡水进行第一次灌溉,之后 5 次采用微咸水灌溉,灌水时间分别为 6 月 22 日、7 月 12 日、7 月 27 日、8 月 11 日和 8 月 24 日,每次灌水量为 300 m³/hm²。施肥与农药喷洒措施等参照当地大田。

1.3 观测项目与方法

样品采集:棉花各生育期,在各小区选择生长均匀一致的棉花 10 株,将根、茎(茎+果枝+叶柄)、叶、蕾(花铃)分离并装入采样袋,尽快带回实验室测定鲜重,本试验均采用精度为 0.001 的电子天平测定重量。

叶面积指数(LAI):用鲜样称重法推求棉花叶面积。在每个小区随机采摘 N 片棉花叶片,均截取 4 cm^2 的部分测定鲜重为 M ,由此推出重量一面积系数为 $M/(N\times 4)$,然后根据小区棉株数求得小区棉花总叶面积,进而得到叶面积指数。

叶片含水率:根据各生育期采集的叶片鲜重和干重,计算棉株叶片含水率。

干物质:各生育期采集的样品测定鲜重后放入烘箱, 105°C 杀青 30 min 后, 70°C 恒温烘 6~8 h 至恒重,测定干物质重量。

产量及产量构成因素:在盛铃期调查各处理小区的单株铃数;吐絮期每小区摘取吐絮顺畅的 100 铃,计算百铃重;收获小区产量后,折算籽棉产量 (kg/hm^2),去籽后求得衣分。

1.4 生物量动态增长模型及参数计算

棉株干物质积累规律的拟合采用 Logistic 模型,其基本形式为:

$$W=\frac{A}{1+ae^{bt}}\tag{2}$$

式中: W ——棉花干物质积累量; A ——干物质积累量的理论最大值; t ——第 1 次取样日起的天数; a , b ——生长系数。

Logistic 模型蕴含着丰富的生物生态学特性信息,利用这些信息求得的参数能较好地解析棉株生物量增长特点,从而对其进行定量分析。分别对公式(2)求 1 阶、2 阶和 3 阶导数,可得相应生长曲线的最快生长时段的起始时间(t_1)、终止时间(t_2)、最大相对生长速率(V_m)及其出现时间(t_m)。计算公式为:

$$t_1=\frac{1}{b}\ln\frac{2+\sqrt{3}}{a}\tag{3}$$

$$t_2=\frac{1}{b}\ln\frac{2-\sqrt{3}}{a}\tag{4}$$

$$V_m=-\frac{bA}{4}\tag{5}$$

$$t_m=-\frac{1}{b}\ln a\tag{6}$$

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据处理,1stOpt 进行模型计算,应用 SPSS 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 微咸水膜下滴灌对棉花叶面积指数及叶片含水率的影响

2.1.1 微咸水膜下滴灌对棉花叶面积指数的影响
叶面积指数(LAI)是衡量棉花冠层结构是否合理的重要指标之一,合理的叶面积指数有利于提高光能

利用率,减少漏光,从而提高产量。如图 1 所示, T_1 (2.0 g/L), T_2 (4.0 g/L), T_3 (6.0 g/L) 处理的叶面积指数均表现出随棉花生育期推进先逐渐增加,在盛铃期达到最大后逐渐减小的趋势;峰值之后各处理的叶面积指数均超过对照 CK(0.92 g/L),表明利用矿化度低于 6.0 g/L 的微咸水膜下滴灌比淡水灌溉更有利于棉花叶面积的生长。从对盐分的敏感性分析可以看出,在盛花期之前不同矿化度处理间叶面积指数的差距较大,说明在此之前矿化度对叶片生长的敏感性较强;盛花期之后取样调查的叶面积指数在不同矿化度处理间的差距减小,对盐分敏感性逐渐减弱。

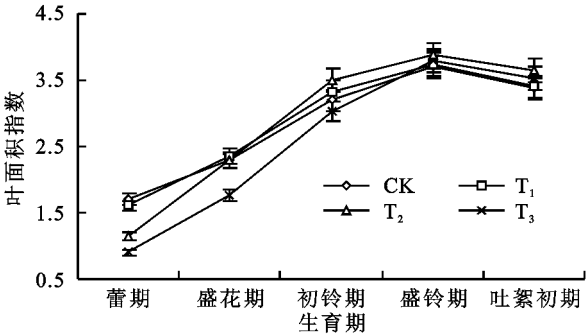


图 1 不同处理棉花叶面积指数变化

2.1.2 微咸水膜下滴灌对棉株叶片含水率的影响
由表 3 可以看出,棉株叶片含水率在棉花不同生长阶段 CK, T_1 , T_2 , T_3 处理间存在差异,此差异在盛花期和吐絮初期表现尤为明显。全生育期棉株叶片含水率 T_1 均低于 CK,微咸水处理棉株叶片含水率在现铃前随着灌溉水矿化度的增加而增大,该阶段 T_3 叶片含水率高于 CK 叶片含水率;现铃后棉株叶片含水率随着灌溉水矿化度的增加而减小。说明在棉花营养生长阶段适宜矿化度的微咸水有利于棉花叶片的代谢生长,而在其生殖生长阶段使用微咸水灌溉会对棉花叶片的代谢生长产生一定程度的抑制作用,且灌溉水矿化度越高抑制程度越强。

表 3 不同矿化度微咸水灌溉棉株叶片含水率方差分析

处理	%				
	蕾期	盛花期	初铃期	盛铃期	吐絮初期
CK	76.728ab	67.566c	77.314ab	77.267a	71.571a
T_1	75.206c	66.155d	76.278b	76.830a	70.356b
T_2	75.854bc	70.315b	77.943a	75.600b	68.915c
T_3	77.350a	72.433a	76.170b	76.830a	67.137d

注:不同小写字母表示处理间差异达显著水平($p<0.05$),下表同。

2.2 微咸水膜下滴灌对棉花地上部生物量积累及其分配的影响

2.2.1 微咸水膜下滴灌对棉花地上部干物质的影响
由图 2 可知,自蕾期开始,棉株干物质积累量随着生育期的推进呈现出先增加后减小的趋势,在吐絮初期积累量达到最大;除盛花期 T_1 和 CK 的干物质积

累量相差不大外,其他各时期均表现为 $T_1 > CK$,说明当灌水矿化度在 T_1 水平时有利于棉花干物质的积累。 T_2 和 T_3 的干物质积累量在棉花整个生育期均表现为: $CK > T_2 > T_3$,说明当灌水矿化度 ≥ 4.0 g/L 时会抑制干物质的积累,且抑制程度随灌水矿化度的增加而增强。蕾期取样的平均单株干物质积累量 T_2 和 T_3 分别是 CK 的 72.98% 和 44.02%,盛花期为 66.88% 和 43.29%,盛铃期为 96.00% 和 73.94%,收获期为 96.50% 和 82.61%。

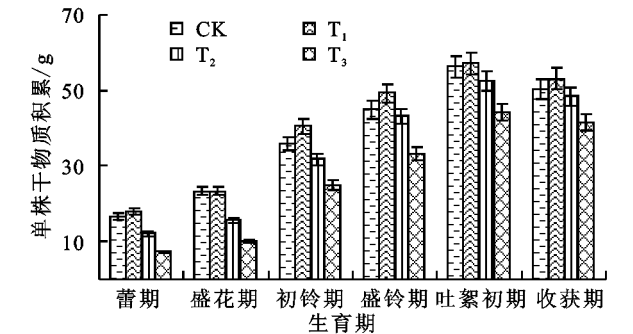


图 2 不同处理棉株地上部干物质变化

对不同处理棉株地上部相对干物质积累量(不同处理干物质积累量与对照干物质积累量之比)进行方差分析(表 4),可以看出:各处理间棉株地上部相对干物质积累量的差异随棉花生育期推进逐渐减小,这

与叶面积生长对盐分的敏感性变化趋势一致,可能是由于盐分胁迫逐渐减弱及棉花耐盐能力增强的原因,说明高矿化度微咸水处理的棉花地上部干物质在中后期获得了较多的补偿生长。

表 4 不同矿化度微咸水灌溉对棉株地上部相对干物质积累的影响

处理	蕾期	盛花期	初铃期	盛铃期	吐絮初期	收获期
CK	1.00b	1.00a	1.00ab	1.00b	1.00a	1.00ab
T_1	1.08a	1.00a	1.12a	1.10a	1.01a	1.06a
T_2	0.73c	0.67b	0.88b	0.96b	0.93a	0.97b
T_3	0.44d	0.43c	0.69c	0.74c	0.78b	0.83b

由表 5 可知,棉株地上部干物质积累的 Logistic 动态模型反映出以下两个规律:一是随着灌水矿化度的增加干物质快速积累起始时间推迟且持续期缩短;二是随着灌水矿化度的增加棉株最大相对生长速率增大且其出现时间滞后。CK 的干物质快速积累开始时间为 8 月初,快速积累持续期为 49 d, T_1 的变化与 CK 相差不大。 T_2 和 T_3 的干物质快速积累开始时间较 CK 滞后 12 d 和 18 d,快速积累持续期缩短 10 d 和 15 d; T_2 和 T_3 的最大相对生长速率分别是 CK 的 122.2% 和 118.1%,出现最大相对速率的时间较 CK 滞后了 7 d 和 11 d。

表 5 不同处理下棉株地上部干物质积累量的动态模型

处理	模拟方程	决定系数 R^2	理论最大值/g	t_1 /d	t_2 /d	$V_m/(g \cdot d^{-1})$	t_m /d	T /d
CK	$W_0 = 54.68 / (1 + 10.61e^{-0.053t})$	0.9522	54.68	43	92	0.72	67	49
T_1	$W_1 = 56.68 / (1 + 11.62e^{-0.056t})$	0.9464	56.68	43	90	0.79	67	47
T_2	$W_2 = 51.69 / (1 + 32.50e^{-0.068t})$	0.9581	51.69	55	94	0.88	74	39
T_3	$W_3 = 43.41 / (1 + 74.78e^{-0.078t})$	0.9782	43.41	61	95	0.85	78	34

注: T 表示快速累积持续期。

2.2.2 各器官在棉株地上部干物质中的分配 由表 6 可知,随着棉花生育期的推进,茎和叶占棉株地上部干物质的比重逐渐减小,生殖器官所占的比重逐渐增大。不同处理间棉株各器官占地上部干物质的比重存在差异,且差异性随棉花生育期推进而逐渐减小,这种差异变化规律与叶面积生长和干物质积累的变化规律一致。与对照相比,当灌水矿化度 ≤ 4.0 g/L 时,棉花生育后期生殖器官所占比重随灌水矿化度的增加而增大,但当灌水矿化度达到 6.0 g/L 时,生殖器官所占比重大幅减小。此规律表明使用较低矿化度的微咸水灌溉对棉花生殖生长具有一定的促进作用,促进养分从营养器官向生殖器官的转移,使用较高矿化度的微咸水灌溉会阻碍养分向生殖器官的转移。灌水矿化度对营养器官占地上部干物质比重的影响与其对生殖器官所占比重的影响相反,对叶的影响比对茎的影响大。

2.3 微咸水膜下滴灌对棉花产量的影响

由表 7 可以看出,当灌水矿化度 ≥ 4.0 g/L 时,籽棉产量开始下降,灌水矿化度对棉花株数、单株铃数、百铃重及衣分等的影响不大。灌水矿化度对籽棉产量的影响有明显的分段性, T_1 处理籽棉产量高于 CK (增产 1.31%), T_2 和 T_3 处理籽棉产量均低于 CK,具体表现为: T_2 处理籽棉产量较 CK 减产 1.03%, T_3 处理籽棉产量较 CK 减产 1.76%。因此推断在 2.0~4.0 g/L 有一个对产量影响是否明显的矿化度临界值,其具体数值可计算求得。

用分段方程 $y = 100 - a(x - x_0)$ 对籽棉相对产量数据进行回归分析,并对籽棉的相对产量(CK 处理的产量为 100,其他处理产量与之对应的比值数)进行拟合,可得相对籽棉产量与灌水矿化度之间的数量关系方程:

$$y = 100 - 0.77(x - 3.51) \quad (R^2 = 0.914) \quad (7)$$

此方程表明民勤绿洲区种植棉花的微咸水矿化度阈值为 3.51 g/L,即在矿化度小于 3.51 g/L 时,微咸水灌溉的棉花产量与深井淡水灌溉的产量相近,差异不明显,高于此矿化度阈值时,灌水矿化度超过的数值越大,则减产程度越大。方程斜率表示当灌水矿化度高于阈值 1 g/L 时,则相对籽棉产量较淡水灌溉减产 0.77%。

表 6 不同处理棉花各器官对地上部干物质的贡献率
%

项目	处理	蕾期	盛花期	初铃期	盛铃期	吐絮初期
叶占 比重	CK	48.22a	31.69b	29.08a	26.00b	15.17b
	T ₁	48.18a	31.87b	28.82a	26.74ab	13.56c
	T ₂	47.92a	36.36a	27.66b	23.49c	15.84ab
	T ₃	47.96a	36.64a	28.85a	27.50a	16.63a
茎占 比重	CK	42.88a	41.88a	31.98b	29.83a	22.28a
	T ₁	45.23a	35.96c	27.96d	27.25b	21.39a
	T ₂	44.04a	40.98a	30.69c	24.08c	21.47a
	T ₃	43.56a	37.69b	35.51a	29.42a	23.22a
生殖 器官 占比 重	CK	8.89a	26.41b	38.94c	44.16b	62.54a
	T ₁	6.59d	32.18a	43.23a	46.00b	62.57a
	T ₂	8.08c	22.63c	41.66b	52.42a	62.69a
	T ₃	8.46b	25.68b	35.66d	43.08b	60.15b

表 7 不同微咸水灌溉籽棉产量和产量构成因素

处理	实际株数 (10 ⁴ 株/hm ²)	单株 铃数/个	百铃 重/g	籽棉产量/ (kg·hm ⁻²)	衣分/ %
CK	24.03a	8.63a	519.58b	3586.11b	39.75a
T ₁	24.17a	8.81ab	528.19a	3633.19a	39.82a
T ₂	24.08a	8.74ab	517.37b	3548.83c	39.77a
T ₃	24.01a	8.12b	511.72c	3522.95d	39.02a

3 结论

恰当地控制灌溉微咸水的矿化度,对耐盐作物生长及其产量不会产生很大的影响,说明微咸水可替代部分淡水资源进行农业生产。本研究表明:利用矿化度低于 6.0 g/L 的微咸水膜下滴灌比淡水灌溉更有利于棉花叶面积的生长,叶面积生长对盐分的敏感性表现为先强后弱。微咸水矿化度在 2.0 g/L 水平时会促进棉花干物质的积累,当矿化度≥4.0 g/L 水平时,干物质的积累随灌水矿化度的增加明显受抑。各处理间叶面积生长、干物质积累和各器官所占比重的差异程度随生育期推进逐渐缩小,这是因为盐分胁迫逐渐减弱和棉花耐盐能力增强的缘故。Logistic 动态模型反映出:随着灌水矿化度的增加干物质快速积累开始时间推迟滞后,快速累积持续期缩短及棉花最大相对生长速率增大。使用较低矿化度的微咸水灌溉对棉花生殖生长具有一定的促进作用,促进养分由

营养器官向生殖器官的转移,使用较高矿化度的微咸水灌溉会阻碍养分向生殖器官的转移。灌水矿化度对棉花产量的影响有明显的分段性,民勤绿洲区种植棉花的微咸水矿化度计算阈值为 3.51 g/L,即在矿化度小于 3.51 g/L 时,微咸水灌溉条件下的棉花产量与淡水灌溉的产量差异不明显,高于此阈值时,灌水矿化度越大则产量降低越多。总之,利用适宜矿化度的微咸水膜下滴灌,可以确保缺水地区棉花产量不受影响,从而为利用微咸水资源发展持续农业提供一条途径。

参考文献:

[1] Aldaya M M, Chapagain A K, Hoekstra A Y, et al. The water footprint assessment manual: Setting the global standard[M]. London: Routledge,2012.

[2] 王全九,徐益敏. 咸水与微咸水在农业灌溉中的应用[J]. 灌溉排水,2002,21(4):73-77.

[3] Kang Y, Chen M, Wan S. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) in North China Plain[J]. Agricultural Water Management,2010,97(9):1303-1309.

[4] 孙林,罗毅. 长期滴灌棉田土壤盐分演变趋势预测研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):186-192.

[5] 王艳娜,侯振安,龚江,等. 咸水滴灌对土壤盐分分布、棉花生长和产量的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2007,25(2):158-162.

[6] 姚宝林,叶含春,孙三民,等. 红枣滴灌条件下灌水水质对土壤盐分分布的影响研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):218-221.

[7] 张俊鹏,冯棣,曹彩云,等. 咸水灌溉对覆膜棉花生长与水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报,2014,32(5):448-455.

[8] 冯棣,张俊鹏,孙景生,等. 咸水畦灌棉花耐盐性鉴定指标与耐盐特征值研究[J]. 农业工程学报,2012,28(8):52-57.

[9] 李科江,马俊永,曹彩云,等. 不同矿化度咸水造墒灌溉对棉花生长发育和产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(2):312-317.

[10] 魏红国,杨鹏年,张巨松,等. 咸淡水滴灌对棉花产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学,2011,47(12):2344-2349.

[11] Hillel D. Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics[M]. NW Washington: World Bank Publications,2000.

[12] Wang Z, Jin M, Šimůnek J, et al. Evaluation of mulched drip irrigation for cotton in arid Northwest China [J]. Irrigation Science,2014,32(1):15-27.

[13] 何雨江. 微咸水膜下滴灌土壤水盐运移研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(32):243-248.

[14] 李莎. 咸水膜下滴灌对土壤水盐运移及棉花生长产量影响的试验研究[D]. 新疆石河子:石河子大学,2011.