

咸水灌溉对棉花耗水特性和水分利用效率的影响

张俊鹏¹ 冯 棣¹ 曹彩云² 孙池涛¹ 李科江² 孙景生¹

(1. 中国农业科学院农田灌溉研究所农业部作物需水与调控重点实验室, 新乡 453002;

2. 河北省农林科学院旱作农业研究所, 衡水 053000)

摘要: 采用田间对比试验, 连续3 a研究了1、3、5、7 g/L 4个矿化度咸水(记作S1、S2、S3、S4)灌溉对棉田土壤水盐、土壤蒸发、棉花阶段耗水量、籽棉产量和水分利用效率的影响。结果表明, 棉花生育期内根系层土壤含水率和电导率有随灌溉水矿化度的增加而增大的趋势, 土壤电导率增加尤为明显; 年际间, 各处理土壤含水率和电导率差异非常大, 经过连续3 a灌溉, 根系层土壤电导率均未逐年增加。S3和S4处理的平均土壤蒸发强度大于S1处理, S2与S1处理间的差异很小; 7 g/L以下咸水灌溉对棉花耗水过程产生了一定影响, 但对总耗水量影响并不明显。3 a的平均籽棉产量和水分利用效率由大到小顺序均为: S2、S1、S3、S4, S2比S1处理增产2.43%, 水分利用效率增加1.15%, S3和S4比S1处理减产1.67%和8.88%, 水分利用效率降低0.25%和7.31%, 其中, S2和S3与S1处理间差异不显著, S4处理产量和水分利用效率降低显著。

关键词: 棉花; 咸水灌溉; 耗水特性; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S562; S273.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)06-0107-06

Effects of Saline Water Irrigation on Water Consumption Characteristics and Water Use Efficiency of Cotton

Zhang Junpeng¹ Feng Di¹ Cao Caiyun² Sun Chitao¹ Li Kejiang² Sun Jingsheng¹

(1. Key Laboratory of Crop Water Use and Regulation, Ministry of Agriculture, Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China

2. Institute of Dryland Farming, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui 053000, China)

Abstract: To make effective use of shallow ground saline water resource for relieving the water crisis in Hebei Low Plain, a three-year field experiment was conducted to study the effects of irrigation with saline water of different salinities on soil water and salt contents, soil evaporation, stage water consumption of cotton, seed cotton yield and water use efficiency. The experiment included four treatments with different salinity levels of 1 g/L, 3 g/L, 5 g/L and 7 g/L of irrigation water, which were denoted as S1, S2, S3 and S4. Results showed that during cotton growing period, soil water and salt contents were increased with the increment of irrigation water salinity, especially for soil salt content. Significant differences of soil water and salt contents for each treatment were appeared during experimental years. In wet years, soil water content of root zone was high and a large proportion of salt was leached out; while in arid years, soil water content in root zone was low and salt was accumulated. After three-year continuous irrigation with saline water, soil salt content in cotton root zone was not accumulated year by year. During the whole growth period, average soil evaporation intensity was higher in S3 and S4 treatments than that in S1 treatment, but there was little difference between S1 and S2 treatments. Irrigation with saline water

收稿日期: 2015-10-25 修回日期: 2015-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179193)、现代农业棉花产业技术体系建设专项(CARS-18-19)、公益性行业(农业)科研专项(201203077)和中国农业科学院基本科研业务费增量项目(2015ZL002)

作者简介: 张俊鹏(1983—),男,助理研究员,博士生,主要从事作物水分生理与高效用水理论研究, E-mail: jpengzhang@163.com

通信作者: 孙景生(1963—),男,研究员,博士生导师,主要从事作物水分生理与高效用水技术研究, E-mail: jhsun623@163.com

of salinity lower than 7 g/L had a certain influence on cotton water consumption process, but the differences in total water consumption were not significant. S2 treatment obtained the highest average seed cotton yield and water use efficiency, which was followed by S1, S3 and S4 treatments. Compared with S1 treatment, the average seed cotton yield and water use efficiency of S2 treatment were increased by 2.43% and 1.15%, and those for S3 and S4 treatments were decreased by 1.67% and 0.25%, 8.88% and 7.31%, respectively. There were no significant differences in seed cotton yield and water use efficiency among S1, S2 and S3 treatments, however, those for S4 treatment were significantly reduced. The study can provide important theoretical support for developing the use of shallow ground saline water resource in cotton irrigation.

Key words: cotton; saline water irrigation; water consumption characteristics; yield; water use efficiency

引言

棉花是关系国计民生的重要战略物资,保证棉花产业健康稳定发展意义重大^[1]。近年来,随着粮棉争地、争水形势的日益显现,耐盐抗旱能力较强的棉花常常成为盐碱旱地开发和咸水利用的先锋作物。咸水用于棉田灌溉,可以缓解土壤干旱,提供棉花生长所需水分,但同时也给土壤带入了盐分,对棉花生长发育和水土环境造成潜在的危害^[2-3]。国内外有关咸水灌溉对土壤水盐及棉花生长影响的研究已有很多^[4-8],但关于咸水灌溉对棉花耗水规律和水分利用效率影响的报道较少。与淡水相比,咸水灌溉增加了土壤溶液浓度,降低了土壤通透性和土水势,改变了土壤导水性能和植株生长过程^[9-12],必然会对棉花根系吸水和耗水特性产生影响。

河北低平原区是河北省重要的粮棉产区,该区域深层地下淡水超采问题突出,然而浅层地下蕴藏着丰富的咸水资源却尚未大规模开发利用^[13-14]。据统计,该区域咸水总储量为 153.9 亿 m³,其中,矿化度为 2~5 g/L 和 5~7 g/L 的咸水储量分别占 47.8% 和 38.5%^[15]。可见,在该区域开展棉花咸水灌溉研究具有很强的针对性和必要性。

本文通过 3 a 棉花咸水定位灌溉试验,揭示不同矿化度咸水灌溉对棉田土壤蒸发、棉花阶段耗水量、籽棉产量和水分利用效率的影响,旨在为指导制定适宜咸水灌溉制度以及实现棉花咸水高效利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2012—2014 年在河北省农林科学院旱作节水农业试验站(北纬 37°44',东经 115°47')进行,该站地处河北平原中部,滹沱河古冲洪积扇的前缘。该区域是河北省重要的粮棉生产基地;地势平

坦,海拔高度 21 m,多年平均气温 12.8℃,年日照时数 2509 h,无霜期 188 d;年均蒸发量 1785 mm,降水量 500 mm。试验区土壤质地为壤土,地下水埋深大于 5 m。试验小区 0~100 cm 土层田间持水率 28% (土壤质量含水率),土壤干容重 1.44 g/cm³,土壤盐分质量分数 0.16%;0~20 cm 土层含有机质 11.5 g/kg,速效氮 76 mg/kg,速效磷 15 mg/kg,速效钾 112 mg/kg。试验场内设有自动气象观测站。

1.2 试验设计

依据灌溉水矿化度设置 4 个处理,每个处理 4 次重复,共 16 个小区,每个试验小区面积 37.62 m² (5.7 m×6.6 m)。4 个处理的灌溉水矿化度分别为 1、3、5、7 g/L,依次记作 S1、S2、S3、S4,其中,1 g/L 淡水取自当地深层地下水,3、5、7 g/L 咸水由深层地下水掺兑海盐配置而成,灌水方式采用常规地面畦灌,灌水量由水表计量,灌水下限均控制在田间持水率的 60%~65%。试验期间,4 个处理的灌水日期和灌水定额一致,详细灌水情况见表 1。

供试棉花品种为“冀棉 616”,播种日期分别为 2012 年 5 月 2 日、2013 年 5 月 20 日、2014 年 5 月 1 日。每年播前 4~6 d 造墒,晾晒后施复合肥(有效氮、有效磷和有效钾质量分数均为 15%)750 kg/hm²,之后旋耕、镇压。采用当地应用最为广泛的地膜覆盖技术种植,一膜两行。设计行距为宽行 80 cm、窄行 50 cm,株距为 30 cm,人工点播方式播种(每穴 3~4 粒棉种),播后窄行覆膜,裸地与覆盖面积之比为 1:1。为了消除密度对棉花生长发育和土壤水盐运移的影响,棉花点播的同时在保护行培育棉苗,于播后 20 d 前后用移栽法补齐棉苗。各小区棉花定苗、盖孔、除草、喷药、打顶、化控等田间管理措施均保持一致。试验结束日期分别为 2012 年 11 月 8 日、2013 年 10 月 27 日、2014 年 10 月 27 日。2012—2014 年棉花生长期期间累积降水量分别为 447.2、526.5、256.8 mm,逐月分布情况如图 1 所示。

表1 试验期间灌水情况

Tab.1 Irrigation amounts during experimental periods

年份	灌水日期	灌水定额	灌水总量
2012年	04-27	50	125
	06-18	75	
2013年	05-15	75	75
	04-24	75	
2014年	07-16	75	150

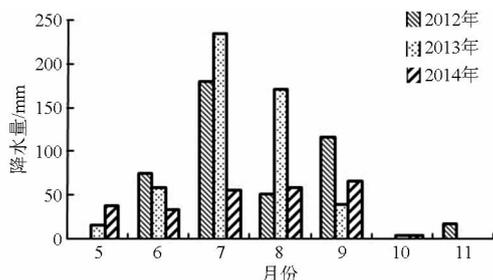


图1 试验期间降水量逐月分布情况

Fig.1 Monthly precipitation amount during experimental periods

1.3 观测项目与方法

(1)土壤含水率与电导率:每个小区在覆膜行和裸露行的中心位置各设1个取样点,取样深度为200 cm,其中,0~60 cm每10 cm取一层,60~200 cm每20 cm取一层,共分为13层。每层土样分别放入铝盒(干燥后测含水率)和塑料袋(风干、粉碎,土水质量比1:5测定电导率),每隔10 d取样1次,灌水和降水前后加测。

(2)土壤蒸发:使用微型蒸渗仪测定裸露行中心处的土壤蒸发量,微型蒸渗仪由镀锌铁皮制成,铁皮厚度0.15 cm。包括内筒和外筒两部分,内筒直径10 cm(内径)、高度10 cm、无底;外筒直径11 cm(内径)、高度10 cm、有底。内筒取土后用塑料薄膜封堵底部,放入预埋在现场的外筒中,顶部与地面齐平。每天17:30采用精度为0.1 g的电子天平称量,微型蒸渗仪中的土每隔1~2 d更换1次,降水或灌水后换土。

(3)作物耗水量:作物生育期间的耗水量采用水量平衡法计算,即

$$ET_c = W_1 + P + I + G_r - R - F - W_2 \quad (1)$$

式中 ET_c ——时段内作物耗水量,mm

W_1 、 W_2 ——时段开始、结束时0~100 cm土层土壤储水量,mm

P ——时段内降水量,mm

I ——时段内灌水量,mm

G_r ——时段内地下水对作物根系补给量,mm

R ——时段内地表径流量,mm

F ——时段内根区深层渗漏量,mm

F 为灌水(或降水)前100 cm土层内有效土壤含水量与灌水量(或降水量)之和减去田间持水量^[16-17]。

本研究中,试验区域地下水位较深,作物无法吸收利用,故忽略地下水补给;试验小区地势平坦且有田埂,无地表径流损失;6—8月份为雨季,计算得知,2012年花铃期和2013年蕾期、花铃期棉田产生了深层渗漏,2014年未产生深层渗漏。

(4)产量与水分利用效率:用每个小区中间行采收的棉花进行测产;水分利用效率计算公式为

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

式中 WUE ——作物水分利用效率,kg/m³

Y ——单位面积棉花产量,kg/hm²

1.4 数据分析

采用Excel 2007和DPS数据处理系统进行数据处理和分析。多重比较采用LSD法,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 咸水灌溉对棉花根系层土壤水盐的影响

咸水灌溉棉田根系层土壤水分和盐分含量是影响棉花耗水、产量和水分利用效率的重要因素。表2为2012—2014年4个灌水处理棉花不同生育阶段主要根系层(苗期和蕾期为0~40 cm,花铃期和吐絮为0~60 cm)内土壤含水率与电导率,可以看出,各处理棉田含水率和电导率在年内和年际间的差异较大。同一生长季,3个咸水灌溉处理棉花根系层的土壤含水率和电导率均不同程度地高于淡水灌溉处理,2012年棉花生育期内S2、S3和S4处理的平均含水率比S1处理分别高出5.18%、6.06%和6.45%,2013年依次高出3.75%、6.29%和4.09%,2014年分别高出7.63%、10.98%和13.46%;2012年棉花生育期内S2、S3和S4处理的平均土壤电导率比S1处理分别高出6.99%、36.65%和61.90%,2013年依次高出18.82%、42.18%和76.77%,2014年分别高出21.76%、82.75%和132.31%。可见,除2013年含水率外,棉花根系层土壤含水率和电导率都呈现了随灌水矿化度增加而增大的趋势,原因是灌溉水矿化度愈高,带入土壤的盐分愈多,对棉花耗水的影响愈大。4组水质连续灌溉3 a,棉花根系层土壤电导率并未逐年增加,但年际间各处理土壤含水率和电导率的差异很大,这是由不同年份的气候因素和灌水情况所致。

2.2 咸水灌溉对土壤蒸发的影响

土壤蒸发是作物耗水量的重要组成之一,一般被视为无效耗水。咸水灌溉对土壤水盐环境和棉花

表2 2012—2014年棉花不同生育阶段主要根系层土壤含水率与电导率

Tab.2 Soil water content and electric conductivity of main root zone at different cotton growth stages from 2012 to 2014

年份	处理	土壤质量含水率/%				土壤电导率/($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)			
		苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
2012年	S1	20.03 ^a	21.71 ^b	22.85 ^a	23.92 ^a	0.53 ^b	0.46 ^b	0.38 ^c	0.36 ^b
	S2	20.63 ^a	23.56 ^{ab}	24.19 ^a	25.13 ^a	0.55 ^b	0.51 ^b	0.41 ^c	0.39 ^b
	S3	20.58 ^a	23.71 ^a	24.56 ^a	25.37 ^a	0.62 ^b	0.73 ^a	0.58 ^b	0.47 ^{ab}
	S4	21.04 ^a	23.73 ^a	24.51 ^a	25.31 ^a	0.81 ^a	0.75 ^a	0.71 ^a	0.53 ^a
2013年	S1	21.04 ^a	22.26 ^a	21.23 ^a	19.56 ^a	0.46 ^c	0.29 ^b	0.24 ^b	0.23 ^b
	S2	22.33 ^a	22.82 ^a	21.71 ^a	20.16 ^a	0.49 ^c	0.39 ^b	0.30 ^{ab}	0.28 ^{ab}
	S3	22.62 ^a	24.19 ^a	22.29 ^a	19.90 ^a	0.62 ^b	0.52 ^a	0.33 ^{ab}	0.32 ^{ab}
	S4	22.41 ^a	23.44 ^a	21.70 ^a	19.96 ^a	0.80 ^a	0.59 ^a	0.41 ^a	0.37 ^a
2014年	S1	22.30 ^a	16.01 ^b	17.61 ^b	17.17 ^b	0.33 ^b	0.34 ^c	0.34 ^d	0.29 ^d
	S2	23.12 ^a	17.57 ^a	19.23 ^{ab}	18.65 ^{ab}	0.36 ^b	0.39 ^{bc}	0.48 ^c	0.41 ^c
	S3	23.42 ^a	18.10 ^a	19.81 ^a	19.49 ^a	0.52 ^a	0.52 ^b	0.61 ^b	0.61 ^b
	S4	23.54 ^a	18.53 ^a	21.04 ^a	19.47 ^a	0.61 ^a	0.70 ^a	0.81 ^a	0.76 ^a

注:同列数值后不同小写字母表示差异达显著($P < 0.05$)水平,下同。

生长的影响程度因时期而异,致使4个灌水处理土壤蒸发强度在棉花不同生育期呈现出不同差异。表3为2012—2014年观测日期内各处理棉花裸露行的土壤蒸发强度,可以发现,3个棉花生长季的苗期和吐絮期,4个灌水处理间的土壤蒸发强度差异较小,原因是苗期棉花植株对地面的覆盖度非常小,吐絮期棉花植株逐渐衰老,而且咸水灌溉处理棉花生长呈现出“后发优势”,由此导致这2个时期各处理的植株覆盖度几乎一致。蕾期和花铃期,土壤蒸发强度有随着灌溉水矿化度的增加而增大的趋势(除2014年蕾期外),即S2、S3、S4处理的土壤蒸发强度均大于S1处理,原因是这2个时期3、5、7 g/L灌水处理棉花的叶面积生长受到抑制,地面覆盖度偏小。此外,需要指出的是苗期S1处理的土壤蒸发强度普遍大于S2、S3和S4处理,即地面裸露时,咸水灌溉棉田的土壤蒸发强度有降低的趋势。究其原因,是咸水灌溉带入的盐离子可能引起土壤分散和膨胀,导致土壤性质退化,致使表层土壤板结、通透性降低^[18-19],这种变化对于土壤水分入渗和蒸发非常不利。然而,棉花苗期之后,随着降水的增多,表层土壤盐分逐渐被淋溶,咸水灌溉对土壤理化性质的影响效应有所减弱。

从棉花整个生育阶段来看,S3和S4处理的平均土壤蒸发强度大于S1处理,如2014年平均土壤蒸发强度分别增大了4.21%和13.99%,而S2处理的平均土壤蒸发强度与S1处理间的差异非常小。原因是在表层土壤含水率基本一致的情况下,土壤蒸发强度与作物覆盖度存在负相关关系^[20],本研究中5 g/L和7 g/L咸水灌溉处理棉花受到的盐分胁迫程度较大,植株覆盖度小于1 g/L灌水处理,而3 g/L微咸水灌溉处理棉花受到的胁迫作用较小,棉

表3 不同咸水灌溉处理棉田裸露行土壤蒸发强度

Tab.3 Soil evaporation intensity at row without film mulching in cotton field of different saline water

年份	处理	irrigation treatments				mm/d
		苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	
2012年	S1	0.97 ^a	1.95 ^b	0.78 ^b	1.01 ^a	1.07 ^a
	S2	0.90 ^a	2.02 ^b	0.89 ^b	0.97 ^a	1.07 ^a
	S3	0.91 ^a	2.38 ^a	0.96 ^{ab}	0.91 ^a	1.11 ^a
	S4	0.91 ^a	2.50 ^a	1.18 ^a	0.97 ^a	1.18 ^a
2013年	S1	1.77 ^a	2.64 ^b	0.76 ^b	0.62 ^a	1.16 ^a
	S2	1.68 ^a	2.96 ^a	0.77 ^b	0.65 ^a	1.17 ^a
	S3	1.64 ^a	3.06 ^a	0.97 ^a	0.61 ^a	1.25 ^a
	S4	1.59 ^a	2.97 ^a	0.96 ^a	0.63 ^a	1.22 ^a
2014年	S1	1.85 ^a	1.07 ^a	1.23 ^b	0.79 ^a	1.23 ^a
	S2	1.64 ^b	1.01 ^a	1.35 ^{ab}	0.85 ^a	1.22 ^a
	S3	1.75 ^{ab}	0.96 ^a	1.43 ^{ab}	0.88 ^a	1.28 ^a
	S4	1.88 ^a	1.10 ^a	1.60 ^a	0.95 ^a	1.40 ^a

花长势与1 g/L灌水处理相当^[21]。

2.3 咸水灌溉对棉花耗水量的影响

表4为2012—2014年各处理棉花不同生育期的耗水量。由表4可见,同一棉花生长季,4个灌水处理棉花各生育期的耗水量呈现一定的差异。以2012年为例,苗期S1处理的耗水量大于S2、S3和S4处理,原因是S1处理土壤蒸发强度大,且植株长势相对较好;蕾期S1处理的耗水量也略大于其余3个咸水灌溉处理,原因可能是S1处理棉花生长未受到土壤盐分胁迫作用,蒸腾耗水量较大;花铃期和吐絮期S1处理的耗水量略小于S2、S3、S4处理,原因是咸水灌溉土壤盐分得到淋洗,咸水灌溉处理棉花呈现了后发生长优势,蒸腾耗水量逐渐赶上S1处理,而且S1处理植株覆盖度较高,土壤蒸发量相对较小。不同年份咸水灌溉对棉花耗水过程的影响并

没有明确的规律可循,原因是不同试验年份的灌水次数、灌水日期等灌溉因素以及气温、湿度、降水等气候因素不同,导致土壤水盐状况差异很大,进而促使棉花根系分布特征和吸水过程有所不同。

表4 不同咸水灌溉处理棉花阶段耗水量

Tab.4 Water consumption of cotton at different growth stages of different saline water irrigation treatments

		mm				
年份	处理	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	全生育期
2012年	S1	59.2 ^a	106.9 ^a	220.1 ^a	105.6 ^b	491.7 ^a
	S2	50.1 ^b	102.3 ^{ab}	230.9 ^a	119.0 ^a	502.3 ^a
	S3	51.5 ^{ab}	90.2 ^b	234.9 ^a	112.8 ^{ab}	489.4 ^a
	S4	49.6 ^b	101.6 ^{ab}	234.5 ^a	114.2 ^{ab}	499.9 ^a
2013年	S1	61.1 ^a	93.8 ^a	270.2 ^{ab}	39.1 ^a	464.2 ^a
	S2	57.6 ^{ab}	98.7 ^a	260.5 ^b	35.1 ^a	451.9 ^a
	S3	49.7 ^b	99.7 ^a	266.3 ^{ab}	36.1 ^a	451.8 ^a
	S4	50.0 ^b	94.7 ^a	279.5 ^a	42.4 ^a	466.5 ^a
2014年	S1	83.5 ^a	69.8 ^a	204.8 ^a	72.2 ^a	430.4 ^a
	S2	93.1 ^a	64.8 ^a	210.4 ^a	74.5 ^a	442.9 ^a
	S3	89.4 ^a	65.2 ^a	203.1 ^a	68.0 ^a	425.7 ^a
	S4	86.3 ^a	46.5 ^b	211.1 ^a	66.1 ^a	410.0 ^b

就总耗水量而言,同一生长季,4个灌水处理间的差异并不大(除2014年S4处理显著降低外)。年际间,2012年各处理的耗水量最大,原因之一是棉花生育期内根际层土壤含水率较高,几乎未受到水分胁迫作用,二是棉花生育期较长;2014年各处理的耗水量最小,原因是气候干旱,土壤水盐胁迫程度较重,致使各处理棉花植株长势相对较差。

2.4 咸水灌溉对棉花产量和水分利用效率的影响

作物产量和水分利用效率是评价灌溉方案合理与否的重要标准。由表5可知,3个棉花生长季,S2和S3处理的籽棉产量与S1处理间差异都不显著,但S4处理的籽棉产量显著低于S1处理。2012年和2013年籽棉产量由高到低的顺序均为:S2、S1、S3、S4,与S1处理相比,S2处理分别增产3.93%和3.57%,S3处理分别减产2.87%和4.21%,S4处理分别减产7.35%和11.10%;2014年S1、S2、S3处理的籽棉产量基本一致,仅S4处理较S1处理减产8.58%。年际间各处理的籽棉产量差异很大,2014年最大,2012年次之,2013年最小。与2013年相比,2012年S1、S2、S3、S4处理分别增产12.75%、13.14%、14.32%、17.50%,2014年各处理依次增产67.04%、62.47%、75.55%、71.77%。

由表5还可看出,任一棉花生长季,S2和S3处理棉花的水分利用效率与S1处理间的差异均较小,二者间未达显著水平。S4处理的水分利用效率普遍低于S1处理,与S1处理相比,2012、2013、2014

年S4处理的水分利用效率分别降低了8.86%、11.55%和4.05%,其中,2012年和2013年S4与S1处理的水分利用效率差异达显著性水平。由此说明,3 g/L和5 g/L微咸水灌溉对棉花产量、耗水量和水分利用效率的影响很小,但7 g/L咸水灌溉明显降低了棉花产量和水分利用效率。

表5 2012—2014年不同咸水灌溉处理棉花产量与水分利用效率

Tab.5 Yield and water use efficiency of cotton of different saline water irrigation treatments from 2012 to 2014

年份	处理	籽棉产量/(kg·hm ⁻²)	水分利用效率/(kg·m ⁻³)
2012年	S1	3 276.32 ^{ab}	0.67 ^a
	S2	3 405.18 ^a	0.68 ^a
	S3	3 182.28 ^{bc}	0.65 ^{ab}
	S4	3 035.60 ^c	0.61 ^b
2013年	S1	2 905.89 ^a	0.63 ^a
	S2	3 009.59 ^a	0.67 ^a
	S3	2 783.57 ^{ab}	0.62 ^a
	S4	2 583.48 ^b	0.55 ^b
2014年	S1	4 854.15 ^a	1.13 ^a
	S2	4 889.63 ^a	1.10 ^a
	S3	4 886.51 ^a	1.15 ^a
	S4	4 437.69 ^b	1.08 ^a

年际间,2014年4个灌水处理的水分利用效率明显大于2012年和2013年。与2012年相比,2014年S1、S2、S3、S4处理的水分利用效率分别增大69.29%、62.86%、76.54%、78.22%;与2013年相比,依次增大80.17%、65.77%、86.30%、95.44%。这说明咸水灌溉的效果受棉花生育期降水、气温、湿度、日照等气候因素的影响非常大。

3 结论

(1)棉花生育期土壤含水率和电导率都有随着灌溉水矿化度增加而增大的趋势,电导率增加尤为明显;4个灌水处理棉田含水率和电导率的差异在不同年份或同一年份不同生育期存在很大差别;分别采用3、5、7 g/L咸水连续灌溉3 a,未导致棉花根系层土壤盐分逐年累积。

(2)咸水灌溉对棉花耗水过程产生了一定影响,2012—2014年平均土壤蒸发量有随灌溉水矿化度增加而增大的趋势,但4个灌水处理间棉花总耗水量的差异并不明显。

(3)3 g/L和5 g/L灌水处理棉花的籽棉产量和水分利用效率与1 g/L处理间的差异均较小,彼此间未达显著水平。7 g/L灌水处理的产量和水分利用效率明显低于1 g/L处理,2012—2014年7 g/L灌水处理的平均产量和水分利用效率比1 g/L处理分

别降低了 8.88% 和 7.31%, 差异达到显著水平。

(4) 3 a 试验结果表明, 在移栽补全苗情况下, 3 g/L 和 5 g/L 微咸水灌溉对棉花产量、耗水量和水分利用效率的影响都很小, 可直接用于棉田灌溉, 但

持续灌溉的年限尚有待进一步研究确定; 7 g/L 咸水灌溉显著降低了棉花产量和水分利用效率, 不宜直接用于棉田灌溉。

参 考 文 献

- 1 喻树迅. 我国棉花生产现状与发展趋势[J]. 中国工程科学, 2013, 15(4): 9-13.
YU Shuxun. Present situation and development trend of cotton production in China[J]. Engineering Sciences, 2013, 15(4): 9-13. (in Chinese)
- 2 AHMED C B, MAGDICH S, ROUINA B B, et al. Saline water irrigation effects on soil salinity distribution and some physiological responses of field grown Chemlali olive[J]. Journal of Environmental Management, 2012, 113: 538-544.
- 3 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.
LI Kejiang, MA Junyong, CAO Caiyun, et al. Effect of irrigation water salt content on cotton growth and yield[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(2): 312-317. (in Chinese)
- 4 张俊鹏, 曹彩云, 冯棣, 等. 微咸水造墒条件下植棉方式对产量与土壤水盐的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 97-102.
ZHANG Junpeng, CAO Caiyun, FENG Di, et al. Effects of different planting patterns on cotton yield and soil water-salt under brackish water irrigation before sowing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 97-102. (in Chinese)
- 5 张俊鹏, 冯棣, 郑春莲, 等. 咸水灌溉对土壤水热盐变化及棉花产量和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 161-167.
ZHANG Junpeng, FENG Di, ZHENG Chunlian, et al. Effects of saline water irrigation on soil water-heat-salt variation and cotton yield and quality [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 161-167. (in Chinese)
- 6 CHOUDHARY O P, JOSAN A S, BAJWA M S. Yield and fibre quality of cotton cultivars as affected by the build-up of sodium in the soil with sustained sodic irrigations under semi-arid conditions[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(1): 1-9.
- 7 HU S J, SHEN Y J, CHEN X L, et al. Effects of saline water drip irrigation on soil salinity and cotton growth in an oasis field[J]. Ecohydrology, 2013, 6(6): 1021-1030.
- 8 CHEN L J, FENG Q. Soil water and salt distribution under furrow irrigation of saline water with plastic mulch on ridge[J]. Journal of Arid Land, 2013, 5(1): 60-70.
- 9 季泉毅, 冯绍元, 袁成福, 等. 石羊河流域咸水灌溉对土壤物理性质的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(9): 802-807.
JI Quanyi, FENG Shaoyuan, YUAN Chengfu, et al. Influences of saline water irrigation on soil physical properties in Shiyang River Basin [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(9): 802-807. (in Chinese)
- 10 SARIG S, ROBERSON E B, FIRESTONE M K. Microbial activity-soil structure: response to saline water irrigation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25(6): 693-697.
- 11 张余良, 陆文龙, 张伟, 等. 长期微咸水灌溉对耕地土壤理化性状的影响[J]. 农业资源科学学报, 2006, 25(4): 969-973.
ZHANG Yuliang, LU Wenlong, ZHANG Wei, et al. Effects of long term brackish water irrigation on characteristics of agrarian soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(4): 969-973. (in Chinese)
- 12 吴军虎, 陶汪海, 赵伟, 等. 微咸水膜下滴灌不同灌水量对水盐运移和棉花生长的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 272-276.
WU Junhu, TAO Wanghai, ZHAO Wei, et al. Impact of different irrigation amount of light saline water drip irrigation under mulch on water-salt transport and cotton growth [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(3): 272-276. (in Chinese)
- 13 郭进考, 史占良, 何明琦, 等. 发展节水小麦缓解北方水资源短缺——以河北省冬小麦为例[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 876-879.
GUO Jinkao, SHI Zhanliang, HE Mingqi, et al. Development of water-saving wheat cultivars to limit water shortage in North China—a case study of Hebei Province [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 876-879. (in Chinese)
- 14 张亚哲, 申建梅, 王莹, 等. 河北平原地下(微)咸水的分布特征及开发利用[J]. 农业环境与发展, 2009, 26(6): 29-33.
- 15 曹彩云, 李科江, 马俊永, 等. 河北低平原浅层咸水的利用现状与开发潜力[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(18): 66-68.
- 16 ERTEK A, ŞENSOY S, GEDIK İL, et al. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions[J]. Agricultural Water Management, 2006, 81(1-2): 159-172.
- 17 刘浩, 孙景生, 张寄阳, 等. 耕作方式和水分处理对棉花生产及水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 164-168.
LIU Hao, SUN Jingsheng, ZHANG Jiyang, et al. Effect of tillage methods and water treatment on production and water use of cotton [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 164-168. (in Chinese)
- 18 王全九, 单鱼洋. 微咸水灌溉与土壤水盐调控研究进展[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 117-126.
WANG Quanjiu, SHAN Yuyang. Review of research development on water and soil regulation with brackish water irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 117-126. (in Chinese)
- 19 KEREN R, SHAINBERG I, FRENKEL H, et al. The effect of exchangeable sodium and gypsum on surface runoff from loess soil [J]. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47(5): 1001-1004.
- 20 孙景生, 康绍忠, 王景雷, 等. 沟灌夏玉米棵间土壤蒸发规律的试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 20-24.
SUN Jingsheng, KANG Shaohong, WANG Jinglei, et al. Experiment on soil evaporation of summer maize under furrow irrigation condition [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(11): 20-24. (in Chinese)
- 21 张俊鹏. 咸水灌溉覆膜棉田水盐运移规律及耦合模拟[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
ZHANG Junpeng. Coupling simulation of soil water-salt movement in plastic film mulched cotton field under saline water irrigation [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015. (in Chinese)