

# 咸水灌溉对土壤水热盐变化及棉花产量和品质的影响<sup>\*</sup>

张俊鹏<sup>1</sup> 冯 棣<sup>1</sup> 郑春莲<sup>2</sup> 孙池涛<sup>1</sup> 孙景生<sup>1</sup> 高 阳<sup>1</sup>

(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:** 为了充分利用咸水资源,采用田间对比试验,研究了1、3、5、7 g/L等4个矿化度咸水(分别用S1、S2、S3、S4表示)灌溉对棉田土壤水热盐变化特征及棉花长势、产量和纤维品质的影响。结果表明,棉花生育期内各处理0~40 cm土层土壤含水率及地下5 cm处土壤温度总体上都随着灌溉水矿化度的增加而增大,但差异不大;处理间土壤电导率差异明显,灌溉水矿化度愈高,土壤电导率愈大,棉花生育期结束后,降雨对各处理盐分的淋洗率介于29.40%~40.40%。土壤水分和盐分剖面分布受制于土壤质地、降雨和棉花蒸发蒸腾耗水;干旱时期,土壤干燥,盐分表聚,湿润时期与之相反。棉花成苗率、株高、单株最大叶面积和霜前花率均随着灌溉水矿化度的增加而降低,籽棉产量从大到小依次为S2、S1、S3和S4,其中,S4与S1处理间的差异达显著水平。咸水灌溉通过改变马克隆值对纤维品质产生了负面影响,尤其是S4处理。研究结果可为丰富棉花咸水灌溉技术体系提供理论支撑。

**关键词:** 咸水灌溉 水热盐 棉花 产量 品质

**中图分类号:** S562; S273.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0161-07

## 引言

棉花是关系国计民生的重要战略物资,棉花产业的健康稳定发展意义重大<sup>[1]</sup>。当前,在我国耕地面积和淡水资源日益不足的背景下,发展盐碱地植棉和棉花咸水灌溉技术成为棉花产业可持续发展的重要保障。咸水用于棉田灌溉在增加土壤湿度的同时,不可避免带入了盐分,对棉花生长和土壤环境造成了潜在的危害<sup>[2-3]</sup>。以往有关棉花自身耐盐特性和耐盐特征值的报道已经很多<sup>[4-6]</sup>,当前,制约棉花咸水安全利用的技术难点在于如何调控根区土壤盐分含量在适当范围内,而明确土壤盐分运移规律是解决这一问题的关键。已有研究表明,土壤盐分运动受制于土壤水分和温度<sup>[7-8]</sup>,可以推断,咸水灌溉条件下土壤水、热、盐运动和变化过程密切相关。此外,咸水灌溉对棉花生长的影响并非由单一盐分因子引起,作为农田生产力主要因素的土壤湿度和土壤温度均可调节盐分对作物的危害程度,三者对棉花生长的影响具有协同效应<sup>[9-10]</sup>。因此,明确咸水灌溉棉田土壤水、热、盐变化特征对于调控土壤盐分分布,以及揭示其对棉花生长的影响机制具有重要

意义。为此,本文研究不同矿化度咸水灌溉对棉田土壤水分、盐分、温度变化的影响效应,并分析棉花成苗率、株高、单株叶面积、籽棉产量、霜前花率和纤维品质对咸水灌溉的响应特征,旨在为丰富棉花咸水利用技术体系提供理论依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2012年5~11月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,是河北省重要的粮棉生产基地。该区地势平坦,海拔高度21 m,多年平均气温12.8℃,年日照时数2 509 h,无霜期188 d;年均蒸发量为1 785 mm,降水量500 mm。该区0~200 cm土层土壤的粒径分析(体积分数)见表1所示,0~40 cm土层初始土壤盐分质量分数介于0.1%~0.2%,土壤有机质质量比为1.15 g/kg,速效氮质量比为76 mg/kg,速效磷质量比为15 mg/kg,速效钾质量比为112 mg/kg。土壤容积密度为1.44 g/cm<sup>3</sup>,田间持水率为28%,地下水埋深在7 m以下。

收稿日期: 2013-09-03 修回日期: 2013-10-23  
<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(51179193)、现代农业(棉花)产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-18-19)和公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203077)  
作者简介: 张俊鹏,博士生,助理研究员,主要从事作物水分生理与高效用水理论研究,E-mail: jpengzhang@163.com  
通讯作者: 孙景生,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: jshsun623@yahoo.com.cn

表 1 试验区土壤的粒径分布

Tab.1 Particle size distribution of soil in experimental site %

| 土层深度/cm | 粒径/mm   |            |       |
|---------|---------|------------|-------|
|         | 0~0.002 | 0.002~0.02 | >0.02 |
| 0~40    | 7.38    | 53.78      | 38.84 |
| 40~80   | 12.23   | 86.49      | 1.28  |
| 80~140  | 10.28   | 71.94      | 17.78 |
| 140~200 | 3.81    | 34.05      | 62.14 |

1.2 试验设计

试验采用常规地面畦灌方式灌溉,共设置 4 个灌溉水矿化度处理,分别为 1、3、5 和 7 g/L,对应的处理代码依次为 S1、S2、S3 和 S4。所用咸水采用当地深层地下水掺兑 NaCl 配制而成,其中深层地下水的矿化度为 1 g/L,对应处理(S1)作为对照。每个处理重复 4 次,共计 16 个试验小区,小区面积为 37.62 m<sup>2</sup>(尺寸 6.6 m×5.7 m)。供试棉花品种为“冀棉 616”,采用人工点播方式植棉,设计行距为宽行 80 cm、窄行 50 cm,株距 30 cm,播后窄行覆膜,裸地与覆盖面积之比约为 1。各处理的控制灌水下限均为田间持水率的 65%,当土壤水分达到下限时灌水,灌水定额为 75 mm。

所有处理施肥采用底施复合肥(有效氮质量分数 15%,有效磷质量分数 15%,有效钾质量分数 15%)750 kg/hm<sup>2</sup>,无追肥。受降雨影响,各处理采用相应矿化度的灌溉水分别于播前(4 月 27 日)灌造墒水 50 mm、蕾期(6 月 18 日)灌水 75 mm。棉花生育期间降水量 447.2 mm,其中,5、6、7、8、9、10、11 月的降水量分别为 1.9、75.8、181.1、51.9、117.3、1.9、17.3 mm。

1.3 观测项目与方法

(1)土壤水分与盐分:分别采用取土干燥法和电导率法测定。每个小区在覆膜行和非覆膜行的中线位置各设 1 个样点,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。每层土样分别放入土盒(干燥测水分)和塑料袋(风干、粉碎、水土比 5:1 测电导

率),每隔 10 d 取样 1 次,灌水和降雨前后加测。  
(2)土壤温度:采用 JL-04 型土壤温度记录仪自动采集。传感器布设位置为每个处理覆膜行和非覆膜行中线处,布设深度为地表处以及地下 5、10、15、20 和 40 cm 处,每隔 30 min 采集记录一次数据。  
(3)生长性状指标:播后第 18 天调查成苗率,之后对每个小区缺苗处进行移栽补苗;定苗后,每个小区标记 5 株生长基本一致的植株,采用直尺测定株高和叶面积,每隔 10 d 测定一次。参照洪继仁等<sup>[11-12]</sup>的方法计算叶面积指数。  
(4)产量和品质:以霜降日为界,之前采摘的棉花为霜前花,之后为霜后花;每个小区实行单打单收。9 月 10 日、9 月 26 日和 10 月 14 日分别摘取吐絮较好的棉花,委托农业部棉花品质监督检验测试中心测定纤维上半部平均长度、整齐度指数、马克隆值、伸长率和断裂比强度等 5 项纤维品质指标。

1.4 数据分析

采用 MS-Excel 2003 和 DPS 数据处理系统进行数据处理和分析。每个处理的土壤水分、盐分和温度为覆膜行和非覆膜行所测数据的均值;多重比较采用 LSD 法,显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 咸水灌溉对土壤水分的影响

2.1.1 棉花生育期间土壤水分动态变化特征

已有研究指出棉花根系约 70% 以上分布在 0~40 cm 土层<sup>[13]</sup>,明确这一土层内土壤水分、盐分和温度的变化状况对于揭示咸水灌溉条件下棉花生长发育和产量的响应机制非常有意义。图 1a 给出了棉花生育期内各处理 0~40 cm 土层土壤含水率的动态变化过程。显见,4 个处理土壤含水率的变化趋势基本一致,都是在蕾期(6 月 14 日)、花铃盛期(7 月 20 日)、花铃后期(8 月 31 日)和吐絮期(10 月 26 日)分别出现了一次波谷,其中,最低波谷出现在棉花营养生长和生殖生长并盛的花铃盛期(7 月 20 日)。除蕾期波谷后进行了灌水外,其余每

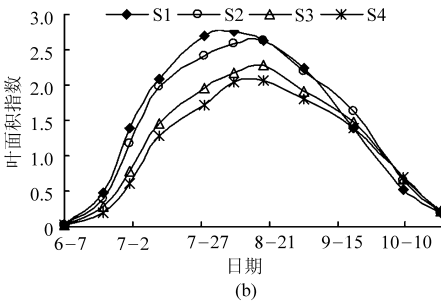
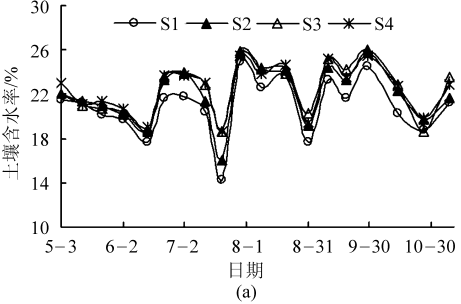


图 1 咸水灌溉对土壤水分和棉花叶面积指数动态变化的影响

Fig.1 Effects of saline water irrigation on variation of soil moisture and leaf area index of cotton

次波谷之后都出现了强度较大的降雨,及时补充了土壤水分。

棉花生育期间各处理土壤含水率的差异不大,这可能是灌水方式和时间及灌水量完全一致的缘故。但4个处理总体上都呈现了随灌溉水矿化度的增加而增大的趋势,全生育期S2、S3和S4处理0~40 cm土层的平均土壤含水率比S1处理分别提高了5.45%、7.45%和7.70%,其原因与处理间棉花植株长势的差异密切相关。叶面积指数作为棉花群体生长性状的一个重要参数,可在很大程度上反映棉花的耗水状况。通过各处理棉花叶面积指数动态变化过程(图1b)可见,3个咸水灌溉处理对棉花叶面积指数的增长产生了一定的抑制作用,随着灌溉水矿化度的增大,其抑制作用逐渐增强。由此说明,咸水灌溉通过抑制棉株生长,致使土壤水分消耗量较小,且灌溉水矿化度愈大,这种效应愈明显。

### 2.1.2 典型时期土壤水分剖面分布特征

为了探究土壤水分在垂直方向上的分布特征,选取0~40 cm土层含水率处于波谷时的干旱时期

(7月20日)和降雨后湿润时期(7月29日)等两个具有代表性的土壤剖面含水率进行分析。从图2a可以看出,干旱时期各处理棉田0~200 cm土壤含水率随土层深度的变化特征均是“增-减-增-减”,即地表含水率最低,下层逐渐增大,在60~80 cm处达到最大峰值,之后减小、再增加,在120~140 cm处达到第二峰值,随后再次下降。此时期,0~100 cm土层内处理间土壤含水率的差异明显,高矿化度咸水灌溉处理的土壤含水率大于低矿化度灌水处理,如S1和S2处理0~100 cm土层的平均含水率比S3处理分别降低了12.30%和6.78%。100~200 cm土层,处理间土壤含水率的差异很小。

由图2b可见,降雨后的湿润时期各处理棉田土壤含水率随土层深度的变化趋势与干旱时期(图2a)基本一致。两个时期的不同之处:一是各土层含水率均有不同程度的提高,尤其是0~100 cm土层,S1、S2、S3和S4处理的平均含水率比干旱时期分别提高28.77%、25.49%、16.71%和22.14%;二是第一个极大峰值出现的土层深度上移,在40~60 cm处。

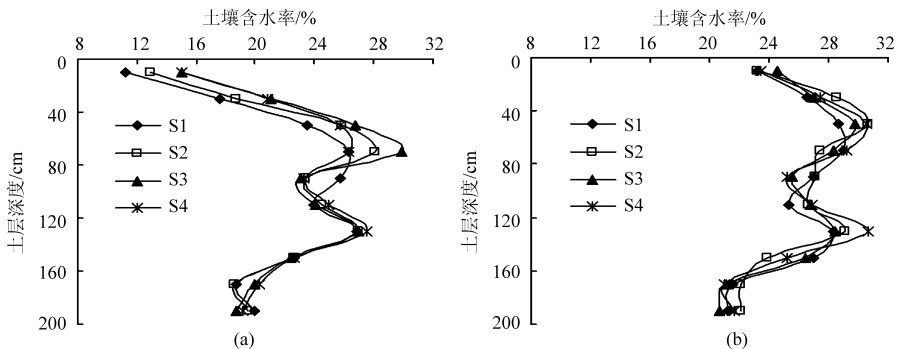


图2 干旱和湿润时期土壤水分剖面分布特征

Fig. 2 Distribution of soil moisture profile in drought and humid period

(a) 干旱时期 (b) 湿润时期

无论干旱时期还是湿润时期,土壤含水率在垂直方向上呈现的分布特征主要由两个因素引起。一是土壤的非均质性(见表1),一般而言,土壤持水性有随着粘粒的减弱而降低的趋势<sup>[14]</sup>。二是棉花蒸发蒸腾耗水,棉花根系主要分布在0~40 cm土体内,土壤蒸发和植株蒸腾会优先消耗该土层的储水,这是上层土壤含水率较低的一个重要原因。此外,土壤水分运动过程还受到土壤盐分浓度和土壤温度的影响,杨劲松<sup>[15]</sup>通过试验发现灌溉水的盐分浓度对土壤水力传导特性具有一定的影响,李春友等<sup>[16]</sup>指出在一定含水率下导水率随温度升高而增加。由此可以断定,处理间土壤盐分和温度的差异亦是导致含水率不同的一个重要原因,有关两者对土壤水分的影响机制还有待深入研究。

## 2.2 咸水灌溉对土壤盐分的影响

### 2.2.1 棉花生育期间土壤盐分变化特征

图3给出了各处理棉花生育期内0~40 cm土层土壤电导率的变化过程。任一生育阶段土壤电导率均是随着灌溉水矿化度的增加而增大。以棉花生育期平均值为例,S2、S3和S4处理比对照分别增大了10.72%、43.43%和70.51%。从棉花的4个生育阶段来看,除S3处理蕾期的平均土壤电导率高于苗期外,其他处理的土壤电导率均是随着棉花生育期的推进而降低,这主要是降雨淋洗的缘故。虽然蕾期灌了1次水,然而与苗期相比,S1、S2和S4处理棉田的土壤电导率并未增加。究其原因苗期天气干旱,正值返盐期,上层土壤电导率较大,而蕾期灌水后7 d出现了强度较大的降雨,有效淋洗了根

际层土壤的盐分,此外,灌水可能也有淋溶盐分的效果。经过棉花生长季降雨的淋洗,根际层土壤电导率明显降低,与播种前相比,收获后 S1、S2、S3、S4 处理 0 ~ 40 cm 土层盐分的淋洗率分别为 30.34%、29.40%、30.76%、40.40%。

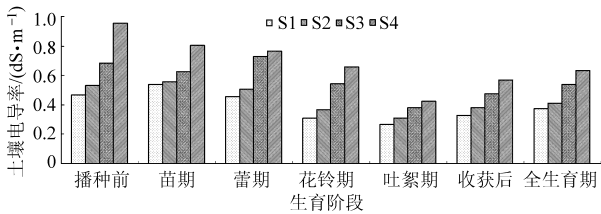


图3 咸水灌溉对棉田土壤盐分动态变化的影响  
Fig.3 Effects of saline water irrigation on variation of soil salt in cotton field

2.2.2 典型时期土壤盐分割面分布特征

对比图 4a 和图 4b 可以看出,干旱时期(7 月 20 日)和湿润时期(7 月 29 日)各处理土壤盐分割面分布的差异主要体现在 0 ~ 140 cm 土层。0 ~ 20 cm 土层,干旱时期 S1、S2、S3 和 S4 处理的土壤电导率比湿润时期分别增加了 73.21%、115.13%、79.76% 和 76.16%。这表明干旱时期各处理土壤盐分表聚

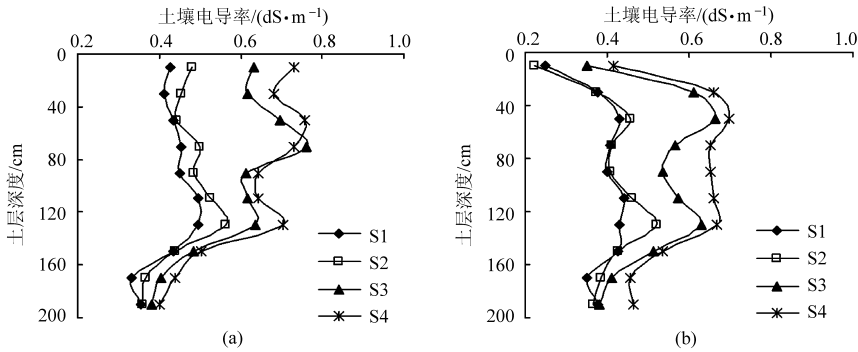


图4 干旱和湿润时期土壤盐分割面分布特征  
Fig.4 Distribution of soil salt profile in drought and humid period  
(a) 干旱时期 (b) 湿润时期

2.3 咸水灌溉对土壤温度的影响

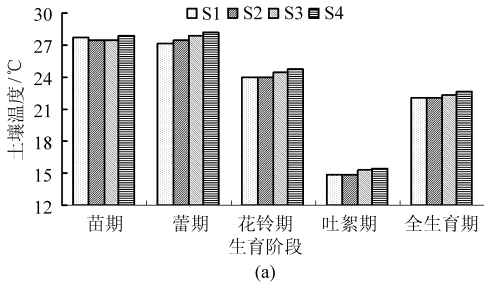
图 5a 给出了不同矿化度咸水灌溉棉田 5 cm 深度处土壤日均温度的变化特征。灌溉水矿化度对土壤温度产生了一定的影响,但影响幅度不明显。从各生育阶段来看,蕾期灌溉水矿化度对土壤温度的影响效应相对突出,土壤温度呈现了随着灌溉水矿化度的增加而增大的趋势,S2、S3 和 S4 处理 5 cm 土层处日均温度比 S1 处理分别增大了 0.24、0.71 和 1.01℃;就全生育期平均值而言,S2 与 S1 处理之间的差异很小,S3 和 S4 处理比 S1 处理分别提高了 0.31℃和 0.61℃。处理间土壤温度的差异与咸水灌溉对棉花生长的影响效应相关,棉花生育期内高矿化度水分处理通过抑制棉花叶面积增长,降低了地面覆盖度,这有利于太阳辐射到达地面,从而促使

现象明显,原因是蒸发较为强烈,土壤中的盐分随水沿土壤空隙上升到地表,水分蒸发后,盐分在地表积累;湿润时期表层土壤脱盐效应显著,主要由降雨淋洗所致。20 ~ 140 cm 土层,干旱时期各处理土壤电导率随着深度的增加呈现了“降-增-降-增”的趋势,盐分主要集中在 60 ~ 80 cm (除 S4 处理外)和 120 ~ 140 cm 土层;湿润时期则表现为“增-降-增”的变化特征,盐分主要累积在 40 ~ 60 cm 和 120 ~ 140 cm 土层。由于两个观测日之间的降水量较大(116.3 mm),各处理的盐分均得到不同程度的淋洗,与干旱时期相比,湿润时期 S1、S2、S3 和 S4 处理 0 ~ 100 cm 土层的土壤电导率分别降低了 14.84%、20.67%、17.68% 和 13.13%。已有报道指出一般作物利用水分的有效土层深度为 1 m<sup>[17]</sup>,根据“盐随水动”的理论,可以认为,土壤盐分被淋洗出 1 m 土层后不会再对作物生长造成大的影响。土壤中的盐分主要通过对流和水动力弥散而迁移,其过程与水分运动密切相关。因此,同土壤水分一致,两个时期土壤盐分割面呈现出的分布特征亦主要是由土壤质地、降雨和棉花蒸发蒸腾耗水引起。

地温较高。此情况在未封行的蕾期尤为明显,因为苗期植株较小,各处理棉花对地面的覆盖度都非常小;蕾期灌了 1 次水,盐分胁迫导致处理间植株生长差异较为显著;花铃期各处理棉花开始陆续封行,加之这一时期降雨对盐分的淋洗,处理间植株长势的差异有所减小。此外,土壤热特性参数(如热容量、导热率等)受土壤水分和盐分影响明显<sup>[18]</sup>,土壤导热率随土壤湿度的增加而增大,随盐分浓度的增加而降低<sup>[19-20]</sup>,而不同矿化度咸水灌溉导致土壤水分和盐分出现了差异,这显然亦会影响到土壤温度。

为了探究土壤温度在垂直方向的分布特征,以蕾期为例进行分析(图 5b)。可以清晰地看出,蕾期地表和 5、10、15、20、40 cm 处的日均土壤温度都随

着灌溉水矿化度的增加而增大。其中,S2 与 S1 处理间的差异很小,最大差值出现在地表,为 0.29℃;S3 和 S4 与 S1 处理间的差异相对明显,但随着土层深度的增加差异不断减小。由图 5b 还可看出,该时



期 4 个灌水处理的土壤温度均随着土层深度的增加而降低,0~40 cm 土层内,土壤温度( $y$ )与土层深度( $x$ )可拟合为指数函数关系,即  $y = ae^{-bx}$ ,  $r > 0.98$ ,随着灌溉水矿化度的增加,系数  $a$ 、 $b$  逐渐增大。

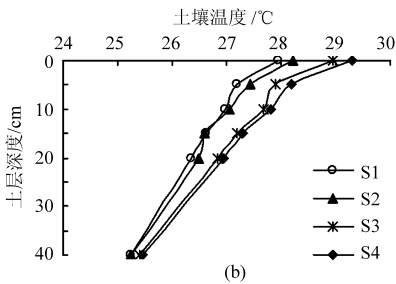


图 5 咸水灌溉对棉田土壤温度变化特征的影响

Fig. 5 Effect of saline water irrigation on soil temperature in cotton field  
(a) 5 cm 处地温 (b) 地温垂向变化

2.4 咸水灌溉对棉花产量和纤维品质的影响

棉花的成苗率、株高和单株最大叶面积均随着灌溉水矿化度的增加而降低(表 2),S2 处理与对照间的差异不明显,但 S3 和 S4 处理与对照间的差异达显著水平。4 个处理的籽棉产量由大至小顺序依次为 S2、S1、S3、S4。S2 处理的籽棉产量比对照增加了 3.93%,S3 和 S4 处理分别比对照减少了 2.87%和 7.35%,其中,S2 和 S3 处理与对照间的差异不显著,但 S4 与对照间存在显著差异水平。

霜前花的纤维成熟度好,是棉花早熟性的重要经济指标之一,由表 2 可见,霜前花率呈现了随灌溉水矿化度的增加而逐渐降低的趋势,且 S2、S3、S4 处理与对照间的差异均达到显著水平,表明咸水灌溉明显延迟了棉花的成熟时间。对纤维品质指标而言,咸水灌溉影响最大的是马克隆值。马克隆值随着灌溉水矿化度的增加而增大,其中,S4 处理与对照间的差异达显著水平,而 S2 和 S3 处理与对照间无显著差异。马克隆值并非越大或越小越好,它是纤维细度和成熟度的综合指标,有一个最适区间,马

克隆值在 3.5~4.9 之间的棉花,利用价值最高<sup>[21]</sup>。对上半部平均长度、整齐度指数、伸长率和断裂比强度等 4 项指标而言,处理间均没有明显差异。这说明咸水灌溉主要通过改变马克隆值,致使棉花纤维品质有所降低,尤其是 S4 处理,其与对照间的差异达显著水平。

从本研究可以看出,S4 处理给土壤带入了最多的盐分,对棉花成苗、株高、叶面积、产量和品质都产生了显著的负面影响,说明在该区矿化度为 7 g/L 的咸水不宜直接用于棉田灌溉。尽管 S2 和 S3 处理对棉花产量和品质未产生明显的影响,但评价咸水灌溉的安全性还需考虑土壤环境,故 5 g/L 和 3 g/L 两个矿化度的咸水直接用于棉田灌溉的可行性尚有待验证。然而,咸水灌溉对棉花生长和生态环境的影响归根结底是由土壤水、热、盐综合状况决定的。明确土壤水、热、盐分布和运移特征,并以此指导制定合理的耕作栽培措施和灌水方式,可以有效确保咸水安全灌溉及扩大咸水可利用范围,王在敏等<sup>[22]</sup>和郑九华等<sup>[23]</sup>的试验结果验证了这一结论。

表 2 不同矿化度咸水灌溉对棉花产量构成和纤维品质的影响

Tab. 2 Effects of different salinity water irrigation on yield components and fibre quality indexes of cotton

| 处理 | 成苗率/<br>%          | 株高/<br>cm          | 单株最大<br>叶面积/cm <sup>3</sup> | 籽棉产量/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 霜前花<br>率/%         | 上半部平均<br>长度/mm     | 整齐度<br>指数/%        | 马克<br>隆值          | 伸长率/<br>%         | 断裂比强度/<br>(cN·tex <sup>-1</sup> ) |
|----|--------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| S1 | 82.72 <sup>a</sup> | 91.35 <sup>a</sup> | 5 764.47 <sup>a</sup>       | 3 276.32 <sup>ab</sup>          | 83.94 <sup>a</sup> | 28.23 <sup>a</sup> | 82.49 <sup>a</sup> | 4.70 <sup>b</sup> | 4.92 <sup>a</sup> | 28.12 <sup>a</sup>                |
| S2 | 79.01 <sup>a</sup> | 88.95 <sup>a</sup> | 5 482.92 <sup>ab</sup>      | 3 405.18 <sup>a</sup>           | 78.79 <sup>b</sup> | 28.22 <sup>a</sup> | 82.53 <sup>a</sup> | 4.76 <sup>b</sup> | 4.87 <sup>a</sup> | 27.11 <sup>a</sup>                |
| S3 | 71.30 <sup>b</sup> | 73.05 <sup>b</sup> | 4 761.96 <sup>bc</sup>      | 3 182.28 <sup>bc</sup>          | 75.75 <sup>c</sup> | 28.22 <sup>a</sup> | 82.70 <sup>a</sup> | 4.78 <sup>b</sup> | 4.89 <sup>a</sup> | 27.91 <sup>a</sup>                |
| S4 | 45.06 <sup>c</sup> | 71.75 <sup>b</sup> | 4 300.03 <sup>c</sup>       | 3 035.60 <sup>c</sup>           | 73.59 <sup>c</sup> | 27.87 <sup>a</sup> | 82.82 <sup>a</sup> | 4.96 <sup>a</sup> | 4.99 <sup>a</sup> | 28.22 <sup>a</sup>                |

注:表中不同小写字母表示差异达显著( $P=0.05$ )水平。

3 结论

(1)不同矿化度咸水灌溉使棉田土壤水分、盐分和温度变化呈现了一定的差异。灌溉水矿化度愈

高,带入土壤的盐分愈多,导致 0~40 cm 土层电导率随着灌溉水矿化度的增加而增大,棉花生育期间 S2、S3 和 S4 处理的平均盐分含量比对照分别增大了 10.72%、43.43% 和 70.51%。与土壤盐分相比,

处理间土壤水分和温度变化的差异较小。

(2)不同时期,各处理棉田土壤水分和盐分剖面分布的差异主要呈现在0~100 cm土层。干旱时期,受植株蒸腾和土壤蒸发影响,土壤含水率低,土壤盐分表聚现象突出;湿润时期,受降雨影响,土壤含水率高,土壤盐分淋洗效果显著。

(3)在移栽补全苗条件下,S3和S4处理的株高

和单株最大叶面积均显著低于对照,而S2处理与对照间的差异不显著;咸水灌溉延迟了棉花的成熟时间,霜前花率随着灌溉水矿化度的增加而降低;籽棉产量从大到小依次为S2、S1、S3和S4,其中,S4处理与对照间的差异达显著水平;S4处理通过改变马克隆值,显著降低了纤维品质,而S2和S3处理的各项品质指标与对照间均无明显差异。

## 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 Vulkan-Levy R, Ravina I, Mantell A, et al. Effect of water supply and salinity on pima cotton[J]. Agricultural Water Management, 1998, 37(2): 121-132.
- 3 杨军,邵玉琴,高伟,等.微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量的影响研究[J].水土保持学报,2013,33(2):17-25.  
Yang Jun, Shao Yuqin, Gao Wei, et al. Effects of saline water irrigation on soil salinity and crop yield[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(2): 17-25. (in Chinese)
- 4 Ashraf M, Ahmad S. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fibre characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. Field Crops Research, 2000, 66(2): 115-127.
- 5 张豫,王立洪,孙三民,等.阿克苏河灌区棉花耐盐指标的确定[J].中国农业科学,2011,44(10):2051-2059.  
Zhang Yu, Wang Lihong, Sun Sanmin, et al. Indexes of salt tolerance of cotton in Akesu River irrigation district[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(10): 2051-2059. (in Chinese)
- 6 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.  
Feng Di, Zhang Junpeng, Sun Jingsheng, et al. Cotton salt tolerance appraisal indices and eigenvalue under border irrigation with saline water[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(8): 52-57. (in Chinese)
- 7 Noborio K, McInnes K J, Heilman J L. Two-dimensional model for water, heat, and solute transport in furrow-irrigated soil: I, II [J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60(4): 1001-1021.
- 8 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)
- 9 Dong H Z, Li W J, Tang W, et al. Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields [J]. Field Crops Research, 2009, 111(3): 269-275.
- 10 董合忠.盐碱地棉花栽培学[M].北京:科学出版社,2010.
- 11 洪继仁,方光华,陈如梅,等.棉花实验方法[M].北京:农业出版社,1985.
- 12 吴忠东,王全九.黄淮海平原冬小麦对盐分胁迫的响应研究[J].农业机械学报,2010,41(12):99-104.  
Wu Zhongdong, Wang Quanjie. Response to salt stress about winter wheat in Huanghuaihai Plain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 99-104. (in Chinese)
- 13 平文超,张永江,刘连涛,等.不同密度对棉花根系生长与分布的影响[J].棉花学报,2011,23(6):522-528.  
Ping Wenchao, Zhang Yongjiang, Liu Liantao, et al. Effects of planting densities on the growth and distribution of root in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2011, 23(6): 522-528. (in Chinese)
- 14 Yang M D, Yanful E K. Water balance during evaporation and drainage in cover soils under different water table conditions[J]. Advances in Environmental Research, 2002, 6(4): 505-521.
- 15 杨劲松.灌溉水质和方式对土壤水力传导特性的影响[J].土壤,1992(4):186-191.
- 16 李春友,任理,李保国.秸秆覆盖条件下土壤水热盐耦合运动规律模拟研究进展[J].水科学进展,2000,11(3):325-332.  
Li Chunyou, Ren Li, Li Baoguo. Advances in simulating studies on water, heat, and salt movement in soils with straw mulch [J]. Advances in Water Science, 2000, 11(3): 325-332. (in Chinese)
- 17 鹿洁忠.土壤水分测定中的几个问题及对策[J].北京农业大学学报,1990,16(增刊):176-182.  
Lu Jiezhong. Some problems and their resolutions in soil moisture observation[J]. Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis, 1990, 16(Supp.): 176-182. (in Chinese)
- 18 袁巧霞.温度和含水率对土壤比热容影响的神经网络预测[J].农业机械学报,2008,39(5):108-111.  
Yuan Qiaoxia. Prediction for the effect of temperature and water content on the soil specific heat by BP neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 108-111. (in Chinese)

19 王铎,王全九,樊军,等. 土壤导热率测定及其计算模型的对比分析[J]. 农业工程学报,2012,28(5):78–84.  
Wang Shuo, Wang Quanjiu, Fan Jun, et al. Soil thermal properties determination and prediction model comparison [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(5): 78–84. (in Chinese)

20 Noborio K, McInnes K J. Thermal conductivity of salt-affected soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(2): 329–334.

21 Bradow J M, Davidonis G H. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist’s perspective[J]. Journal of Cotton Science, 2000,4(1): 34–64.

22 王在敏,何雨江,靳孟贵,等. 运用土壤水盐运移模型优化棉花微咸水膜下滴灌制度[J]. 农业工程学报,2012,28(17): 63–70.  
Wang Zaimin, He Yujiang, Jin Menggui, et al. Optimization of mulched drip-irrigation with brackish water for cotton using soil-water-salt numerical simulation[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(17): 63–70. (in Chinese)

23 郑九华,冯永军,于开芹,等. 7 g/L 咸水灌溉棉花试验研究[J]. 灌溉排水,2002,21(3):64–67.  
Zheng Jiuhua, Feng Yongjun, Yu Kaiqin, et al. The feasibility of irrigating with saline water of 7 g/L [J]. Irrigation and Drainage, 2002, 21(3): 64–67. (in Chinese)

## Effects of Saline Water Irrigation on Soil Water – Heat – Salt Variation and Cotton Yield and Quality

Zhang Junpeng<sup>1</sup> Feng Di<sup>1</sup> Zheng Chunlian<sup>1</sup> Sun Chitao<sup>1</sup> Sun Jingsheng<sup>1</sup> Gao Yang<sup>1</sup>

(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 full use of saline water resources, the effects of irrigation with saline water of different salinity on soil water-heat-salt variation, cotton growth, yield and fiber quality were studied by field contrast experiment. The irrigation water salinities of four treatments were 1 (S1), 3 (S2), 5 (S3), 7 g/L (S4), respectively. Results show that the soil water content in depth of 0 ~ 40 cm and the temperature at 5cm soil layer have little differences under every treatment during the cotton growing period. Both of them increase with the salinity. The differences of soil electrical conductivity in the treatments are significant. The higher salinity of irrigation water, the higher the soil electrical conductivity is. The leaching efficiency of rainfall on soil salt is 29.40% ~40.40% under each treatment at the end of cotton growth. The profile distribution of soil water and salt are restrained by soil texture, rainfall and water consumption due to cotton evapotranspiration. In drought time, soil is dry and salt accumulates in surface. But in wet period the results are opposite. The seedling rate, plant height, largest leaf area per plant and pro-frost yield of cotton decrease with the irrigation water salty rise. The cotton yields of the treatments from high to low are S2, S1, S3, S4, respectively, among which the difference between S4 and S1 treatments reaches significant level. Saline water irrigation produced a negative impact on fiber quality by changing Mic value, especially for S4 treatment. The study provides an important theoretical support for developing saline water irrigation of cotton.

**Key words:** Saline water irrigation Water-heat-salt Cotton Yield Quality