

鲁北平原咸水滴灌对土壤水盐分布 和棉花产量的影响

孙泽强¹, 董晓霞¹, 王学君¹, 郑东峰¹, 董亮², 刘兆辉³

(1. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所 农业部山东耕地保育科学观测实验站, 山东 济南 250100;

2. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所 农业部黄淮海平原农业环境重点实验室, 山东 济南 250100;

3. 山东省农业科学院, 山东 济南 250100)

摘要: 鲁北平原是山东省重要的粮棉油生产基地, 合理利用微咸水和咸水资源是亟待解决的问题。通过田间小区试验, 以淡水滴灌处理为对照, 设置不同矿化度咸水滴灌处理, 研究全地膜覆盖条件下, 咸水滴灌对棉花农田土壤水盐分布和产量的影响。结果表明, 灌出苗水可以明显降低棉田主要根层土壤 EC 值, 降低率在 26.8% ~ 29.0% 之间。咸水滴灌减少了棉花对土壤水分的吸收, 主要影响土层在 40 ~ 100 cm, 灌溉水矿化度越高, 影响越大。与淡水滴灌相比, 滴灌补灌矿化度 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下的咸水对棉花产量没有明显的影响, 而滴灌 $8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的咸水在降水偏少的年份能明显降低棉花产量。从土壤盐分的积累来看, 利用滴灌补灌一次 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下的咸水, 通过黄河水和夏季降水淋洗土壤盐分, 不会造成棉花根系分布层土壤盐分的积累。该研究结果可为鲁北平原区咸水利用提供科学依据。

关键词: 咸水滴灌; 全地膜覆盖; 水盐动态; 棉花产量

中图分类号: S275.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)05-0012-06

Effect of saline drip irrigation to soil water and salt distribution and cotton yield in Northern Shandong Plain

SUN Ze-qiang¹, DONG Xiao-xia¹, WANG Xue-jun¹, ZHENG Dong-feng¹, Dong Liang², LIU Zhao-hui³

(1. *Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences; Scientific Experimental Station of Preservation of Cultivated Land in Shandong, Ministry of Agriculture, Jinan, Shandong 250100, China;*

2. *Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Agricultural Environment of Huang-Huai-Hai Plain, Ministry of Agriculture, Jinan, Shandong 250100, China;*

3. *Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China*)

Abstract: The Northern Shandong Plain is an important production base for food, cotton and oil in Shandong Province. The rational using micro salt water and saline water is an urgent issue. Through the field experiment with small plots, taking the fresh water drip irrigation as the control group, set up the treatments with different saline water drip irrigation, research the impacts of saline drip irrigation to soil water and salt distribution and cotton yield under the condition of full film mulching. The results showed that: The emergence irrigation can be significantly reduced the soil EC value in main root zone of cotton with the reduction rate between 26.8% to 29.0%. The saline drip irrigation can reduce the absorption of soil moisture by cotton, the mainly effected soil layers between 40 to 100 cm. The more of the irrigation water saline degree, the greater impact will be. Compared with the fresh water drip irrigation, drip supplemental irrigation with salinity less than $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ has no significant effect to cotton yield. While drip irrigation with the salinity of $8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ can significantly reduce the cotton yield in the less precipitation years. From the accumulation of soil salt, the drip irrigation using the salinity less than $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, does not cause the salt accumulation in main root zone of cotton, through the leach-

收稿日期: 2013-12-15

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(BS2011NY017); 国家自然科学基金(51209130); 国家科技支撑计划(2013BAD05B06-04); 国家“863”计划课题(2013AA102901-2)

作者简介: 孙泽强(1977—), 男, 山东东阿人, 博士, 助理研究员, 主要从事盐渍土改良利用和咸水灌溉的研究工作。E-mail: sunzq1977@163.com。

通信作者: 刘兆辉(1963—), 男, 博士, 研究员, 主要从事植物营养与施肥, 新型肥料研制, 土壤改良和农业面源污染防控方面的研究工作。E-mail: liuzhaohui@saas.ac.cn。

ing soil salt by the Yellow River water and precipitation in summer. This research results can provide the scientific basis for using the saline water in Northern Shandong Plain.

Keywords: saline drip irrigation; full film mulching; dynamics of water and salt; cotton yield

鲁北平原是山东省重要的粮棉油生产基地,该地区存在各种类型的咸水,严重影响了当地工农业生产和人畜饮水安全。据统计计算,鲁北平原多年平均微咸水和咸水地下水资源量为 12.02 亿 m^3 ,其中 2~3 $g \cdot L^{-1}$ 为 1.12 亿 m^3 ,3~5 $g \cdot L^{-1}$ 为 4.72 亿 m^3 ,大于 5 $g \cdot L^{-1}$ 的为 6.18 亿 m^3 。目前,平均开采量为 1.13 亿 m^3 ,不足 10%^[1]。“如何改造和利用这部分咸水资源”是亟待解决的一个重要课题。

滴灌被认为是最适合利用微咸水和咸水的灌溉方式^[2-3]。对于作物的微咸水和咸水滴灌灌溉制度,满足作物正常生长的良好土壤水盐动态环境将是首要的任务。农田土壤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^[4]。华北平原冬小麦季利用 3~5 $g \cdot L^{-1}$ 的微咸水补充灌溉,两年后没有发生积盐现象,微咸水灌溉带入土体的盐分通过咸淡水轮灌和雨季自然淋洗,1 m 土体总盐量达到周年平衡^[5]。膜下滴灌水质和水量都对土壤盐分的分布产生重要影响,在没有其他辅助控制盐分累积的措施下,3 $g \cdot L^{-1}$ 是适宜灌溉的微咸水水质的上限^[6]。用电导率为 3.3~6.3 $dS \cdot m^{-1}$ 的微咸水滴灌,发现距离滴头 50 cm 处各剖面的盐渍度要高于距离滴头 10 cm 处各剖面的盐渍度,土壤剖面的平均盐渍度和灌溉初期相比,基本没有形成土壤盐分的累积^[7]。在华北平原利用 1.1~4.9 $dS \cdot$

m^{-1} 的微咸水滴灌,3 a 内在作物根系分布区内(0~90 cm)不产生盐分的累积^[8]。

先前的研究多是在部分地膜覆盖的条件下,全地膜覆盖被应用于滨海盐渍土的改良,取得了良好的效果^[9]。据研究,全年地膜全覆盖是黄土区旱作小麦较佳的栽培方式^[10],沟垄全覆盖种植可明显改善土壤的水温状况,促进玉米生长,从而显著提高作物产量和水分利用效率^[11]。在农田上应用全地膜的研究较少,有必要研究全地膜覆盖条件下的水盐动态,为该技术在农田上的推广应用提供技术支撑。鲁北平原春季干旱是影响棉花等作物种植和生长发育的重要因素,利用咸水进行补充灌溉成为一种解决问题的重要途径。研究全地膜覆盖条件下咸水滴灌对棉田土壤水盐分布和棉花产量的影响,可为咸水滴灌的应用和棉花生产提供技术支撑和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然条件

试验地位于山东省惠民县李栋村,该区属于温带半湿润大陆型季风气候,年平均气温 12.2℃,无霜期 184 d,多年平均降水量 589 mm。试验区地处鲁北平原,位于黄河下游,地势平坦,系黄河泥沙淤积而成。土壤类型为潮土,试验土壤的基本化学性质见表 1。

表 1 试验土壤的基本化学性质

Table 1 The basic chemical properties of experimental soil

土壤深度/cm Soil depth	碱解氮含量/($mg \cdot kg^{-1}$) Alkali-hydrolyzable N	速效磷含量/($mg \cdot kg^{-1}$) Available P	速效钾含量/($mg \cdot kg^{-1}$) Available K	pH	EC* /($dS \cdot m^{-1}$)
0~20	46.8	12.3	80.8	8.39	0.317
20~40	15.3	1.7	47.0	8.76	0.250
40~60	16.5	2.5	29.0	8.67	0.314
60~80	19.2	1.5	47.8	8.75	0.363
80~100	27.6	1.7	59.6	8.83	0.314

*注:土水比 1:5 浸提。 * Note: Ratio of soil to water is 1:5.

2010 年试验期间降水量为 779.4 mm,是多年平均降水量的 1.32 倍,较常年同期降水偏多,降水主要集中在 7 月中旬和 8 月,有两次超过 100 mm 的降水,形成了田间涝害;2011 年试验期间降水量为 285.6 mm,是多年平均降水量的 48.5%,较常年同期降水偏少。两年试验期间的降水分布见图 1。

1.2 试验设置

试验设 4 个处理,3 次重复,共 12 个小区,每个

小区为 5.4 m×5.6 m,面积约 30 m^2 ,小区随机区组排列。试验处理分别为:T1(淡水滴灌);T2(滴灌 4 $g \cdot L^{-1}$ 咸水);T3(滴灌 6 $g \cdot L^{-1}$ 咸水);T4(滴灌 8 $g \cdot L^{-1}$ 咸水)。以淡水滴灌作为对照,设计 4、6、8 $g \cdot L^{-1}$ 不同矿化度咸水滴灌。以当地地下水作为淡水(矿化度为 1.50 $g \cdot L^{-1}$),在淡水中加入不同数量的盐分来配制试验用咸水^[12-14],盐分组成参照《山东土壤》中该地区典型地下水化学组成^[15]。灌溉水的组成见表 2。

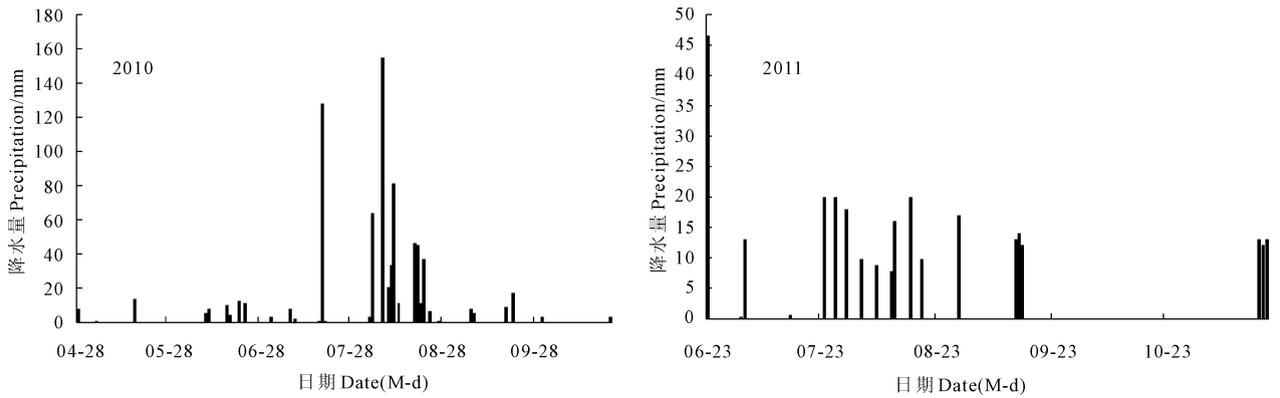


图 1 试验期间降水量

Fig. 1 Precipitation during the experimental period

表 2 灌溉水基本性质

Table 2 The basic properties of irrigation water

处理 Treatments	Ca ²⁺ /(mg·L ⁻¹)	Mg ²⁺ /(mg·L ⁻¹)	Na ⁺ /(mg·L ⁻¹)	K ⁺ /(mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)	CO ₃ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ /(mg·L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)	pH	EC /(dS·m ⁻¹)
T1	137.3	27.3	171.9	0.0	262.3	0.0	651.4	254.4	7.6	2.0
T2	145.5	274.1	649.6	13.7	1176.9	0.0	847.4	456.0	7.5	4.8
T3	146.8	477.3	1235.8	30.0	1917.8	0.0	1057.3	960.0	7.2	7.7
T4	148.0	612.5	1667.6	38.2	3240.1	0.0	1404.7	1209.6	7.0	10.2

供试作物为棉花,品种为“鲁棉研 36 号”,种植行距 90 cm,株距 25 cm,每行棉花一行滴灌带。2010 年 4 月 28 日和 2011 年 4 月 14 日播种,然后采用壁厚 0.008 mm 的农膜(俗称“双零八”)全地膜覆盖,薄膜上扎孔,利于膜上水分下渗。播种后,全部处理统一用黄河水灌溉,以利于棉花出苗。棉花出苗后,根据土壤墒情状况,棉花初花期所有处理进行一次补灌,2010 年滴灌灌水量 17 mm,2011 年滴灌水量 25 mm。每 hm² 施肥量为 165.0 kg N,90.0 kg P₂O₅ 和 75.0 kg K₂O,1/2 氮肥和全部磷钾肥作为基肥,1/2 氮肥随灌溉水追施,采用灌溉施肥的方式。各处理之间打田埂,田埂高 20 cm,宽 30 cm,田埂踏实,并埋入 25 cm 深的塑料布隔离,防止窜水窜肥。进入蕾期后,对棉花进行整枝,喷施缩节胺控制棉花生长;花铃期整枝打顶,喷缩节胺控制棉花营养生长,喷洒农药防治病虫害;收获期分批分区收获棉花。2010 年 11 月 11 日和 2011 年 11 月 22 日,拔棉柴,试验结束。

1.3 测定项目和方法

滴灌灌水 7 d 后,各处理在距离滴灌带滴头 0、15、30 cm 和 45 cm 处取土,每个位置取样深度为 0~100 cm,每 20 cm 为一个取样土层,取两钻混合样。试验结束后,各处理棉花行间用土钻法取土样,取样深度为 0~100 cm,每 20 cm 为 1 个取样土层,取两钻混合样。采用烘干法测定土壤质量含水量。土样风干后,用 1:5 土水比浸提土样,采用 DDS-11A 数

显电导率仪电导法测定土壤 EC 值。每个处理小区单独收获计产,测定小区棉花产量。

2 结果与分析

2.1 出苗水对土壤 EC 值分布的影响

图 2 为出苗水对棉田主要根层土壤 EC 值剖面分布的影响。从图上可以看出,2010 年在灌出苗水前,0~60 cm 土壤 EC 值都大于 0.25 dS·m⁻¹,在 0.25~0.32 dS·m⁻¹ 之间。灌水后,0~60 cm 各层土壤 EC 值都明显下降,都小于 0.25 dS·m⁻¹,在 0.17~0.23 dS·m⁻¹ 之间。土壤 EC 值降低率在 26.8%~32.0%,平均下降 29.0%。2011 年在灌水前,0~60 cm 土壤 EC 值在 0.21~0.31 dS·m⁻¹ 之间,平均为 0.25 dS·m⁻¹,与 2010 年基本持平。灌水后,0~60 cm 各层土壤 EC 值同样都明显下降,都小于 0.21 dS·m⁻¹,在 0.14~0.21 dS·m⁻¹ 之间。土壤 EC 值降低率在 16.5%~48.3%,平均下降 26.8%。可以得出,灌出苗水可以明显降低棉田主要根层土壤 EC 值,降低率在 26.8%~29.0% 之间。

2.2 咸水滴灌对土壤水分分布的影响

表 3 为滴灌 7 d 后不同咸水滴灌处理棉田土壤含水量的分布。从表中可以看出,与 T1 相比,两年 T2、T3、T4 平均土壤含水量分别增加 6.7%、6.6%、9.0% 和 9.8%、6.5%、10.0%。可见,平均土壤含水量随着滴灌灌溉水矿化度的增加呈增加趋势。在水

平方向上,从各滴灌处理来看,沿滴灌带水平方向上土壤含水量变化不大,分布较为均匀,而随着滴灌灌溉水矿化度的增加,相同距离土壤含水量呈增加趋势。在垂直方向上,从各滴灌处理来看,土壤含水量都随着深度的增加而增加。随着滴灌灌溉水矿化度的增加,相同深度土壤含水量呈增加趋势。

可以看出,随着灌溉水矿化度的增加,土壤含水

量沿滴灌带在水平和垂直方向上都呈增加趋势,尤其是 60 cm 以上土层更为明显。这说明:随着灌溉水矿化度的增加,棉花从土壤中吸收水分减少,从而土壤含水量增加。这与其他研究者得出的咸水灌溉减少作物耗水量的结论一致^[8,13]。由于棉花地用地膜全覆盖,基本没有土面蒸发,土壤水分的减少主要是由于土壤水分下渗和棉花根系吸水。

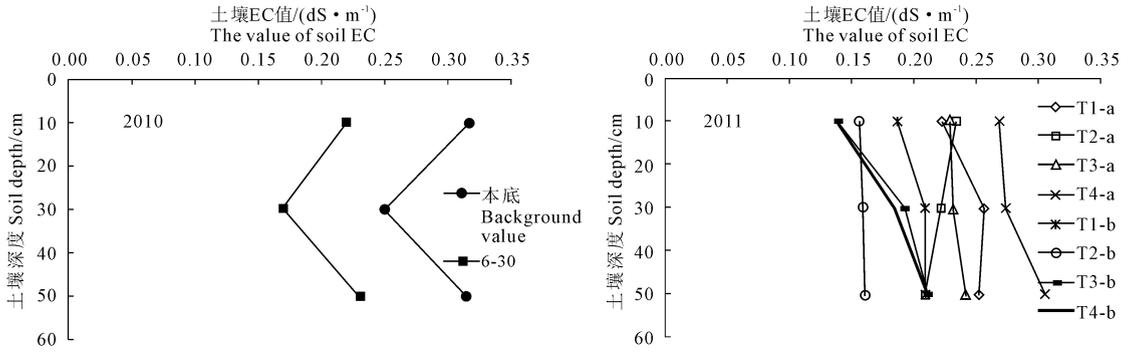


图 2 出苗水对棉田主要根层土壤 EC 值剖面分布的影响(a:灌水前;b:灌水后)

Fig.2 The impact of emergence irrigation to the profile distribution of EC in main root zone of cotton (a: before irrigation; b: after irrigation)

表 3 2010 年和 2011 年滴灌 7 d 后的棉田土壤含水量分布/%

Table 3 Distribution of soil water content in cotton land after 7 days drip irrigation during 2010 and 2011

年份 Year	处理 Treatment	距滴头水平距离/cm Distance from emitter				土壤深度/cm Soil depth					土壤剖面均值 Average value of soil water in profile
		0	15	30	45	10	30	50	70	90	
2010	T1	13.9	13.5	12.5	13.0	11.4	12.5	13.7	14.2	14.5	13.2
	T2	20.0	19.7	20.2	19.8	14.5	18.6	20.4	23.0	23.1	19.9
	T3	19.8	19.8	20.0	19.6	15.1	19.4	21.8	21.7	21.0	19.8
	T4	22.2	22.3	21.1	23.1	16.3	19.6	23.4	25.1	26.3	22.2
2011	T1	13.7	13.1	13.4	14.2	10.6	13.1	14.5	13.5	16.5	13.7
	T2	23.0	22.4	21.9	25.8	21.3	24.0	23.5	24.3	24.7	23.5
	T3	20.1	20.1	20.2	20.3	19.3	21.1	20.9	19.0	20.6	20.2
	T4	23.8	23.8	23.8	23.4	20.1	22.3	24.3	25.7	26.0	23.7

图 3 为试验结束后各处理土壤含水量的剖面分布。从图中可以看出,试验结束后,不同滴灌处理的土壤含水量基本上都随着土壤深度的增加而呈增加趋势。与 T1 相比,各咸水滴灌处理的土壤含水量都大于 T1 处理,而且土壤含水量随着灌溉水矿化度的增加有增加的趋势。两年 T2 与 T1 相比,0~40 cm 土层土壤含水量分别增加 1.4%~4.0%和 -0.1%~2.9%,40~100 cm 土壤含水量增加量分别为 3.9%~5.7%和 5.6%~8.2%,T3 与 T1 相比,0~40 cm 土层土壤含水量分别增加 3.2%~3.9%和 0.7%~2.5%,40~100 cm 土壤含水量增加量分别为 4.1%~5.7%和 3.5%~6.0%,T4 与 T1 相比,0~40 cm 土层土壤含水量分别增加 3.0%~4.1%和 1.4%~4.5%,40~100 cm 土壤含水量增加量分别为

6.1%~8.7%和 7.0%~11.0%。可见,在土壤根系主要分布层的 0~40 cm 土层内,各处理土壤含水量的差异较小,土壤含水量差值都小于 5%,随着土壤深度的增加,40~100 cm 土层土壤含水量差异增加,差值大于 5%。可见,咸水滴灌主要影响棉花对下层土壤水分的吸收。土壤水分动态受到灌溉水盐分的影响,这种影响在灌溉后的整个生育期都存在。

2.3 咸水滴灌对土壤 EC 分布的影响

表 4 为滴灌处理灌水 7 d 后棉田土壤 EC 值的分布。从表中可以看出,与 T1 相比,两年 T2、T3、T4 平均土壤 EC 分别增加 0.037、0.192、0.236 dS·m⁻¹和 -0.029、0.025、0.125 dS·m⁻¹。可见,随着滴灌灌溉水矿化度的增加土壤平均 EC 值呈增加趋势。在水平方向上,从各滴灌处理来看,沿滴灌带水平方向

上,土壤 EC 值变化不大。但随着滴灌灌溉水矿化度的增加,相同距离土壤 EC 值呈增加趋势。在垂直方向上,在灌溉水矿化度较小时($\leq 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),土壤 EC 在垂直方向上有逐渐增加的趋势,而当灌溉水矿化度较大时($> 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),土壤 EC 在垂直方向上有逐渐减小的趋势,也就是说盐分有表聚的趋势,尤其是 0~20 cm 土壤 EC 值最大。2011 年在灌水后,有两次 20 mm 的降水,导致在垂直方向上,表层土壤 EC 下降,使得垂直方向上土壤 EC 值变化并不

明显,只有 T4 有明显的盐分表聚现象。

可以看出,滴灌水矿化度对土壤 EC 值有明显的影响,主要是在垂直方向上,矿化度较低时($\leq 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),土壤 EC 在垂直方向上有逐渐增加的趋势,而当灌溉水矿化度较大时($> 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),土壤 EC 在垂直方向上有逐渐减小的趋势,也就是说盐分有表聚的趋势,尤其是 0~20 cm 土壤 EC 值最大。降水在很大程度上会降低土壤盐分的表聚,导致土壤盐分在剖面的均匀化分布。

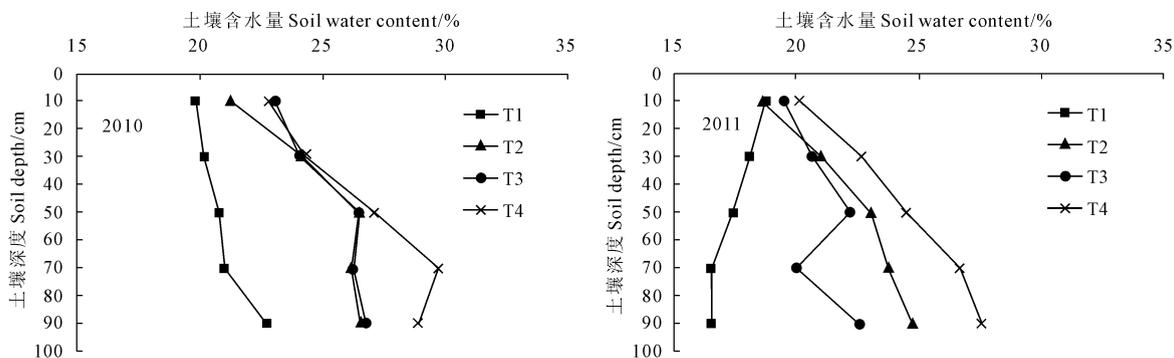


图 3 试验结束后各处理土壤含水量分布

Fig. 3 Distribution of soil water content for each treatment after the end experiment

表 4 2010 年和 2011 年滴灌 7 d 后的棉田土壤 EC 分布/ $(\text{dS}\cdot\text{m}^{-1})$

Table 4 Distribution of soil EC in cotton land after 7 days drip irrigation during 2010 and 2011

年份 Year	处理 Treatment	距滴头水平距离/cm Distance from emitter				土壤深度/cm Soil depth					土壤剖面均值 Average value of soil water in profile
		0	15	30	45	10	30	50	70	90	
2010	T1	0.276	0.274	0.242	0.198	0.248	0.223	0.268	0.278	0.223	0.248
	T2	0.292	0.264	0.274	0.310	0.215	0.243	0.270	0.323	0.375	0.285
	T3	0.456	0.424	0.448	0.432	0.535	0.440	0.430	0.415	0.380	0.440
	T4	0.468	0.474	0.486	0.506	0.515	0.458	0.488	0.490	0.468	0.484
2011	T1	0.266	0.261	0.256	0.261	0.256	0.285	0.289	0.256	0.218	0.261
	T2	0.242	0.235	0.228	0.226	0.238	0.208	0.228	0.244	0.243	0.232
	T3	0.293	0.296	0.300	0.267	0.247	0.282	0.282	0.298	0.323	0.286
	T4	0.434	0.406	0.378	0.344	0.404	0.425	0.390	0.347	0.362	0.386

图 4 为试验结束后各处理土壤 EC 值的分布。从图中可以看出,试验结束后,各处理土壤 EC 值具有相似分布规律,随着土壤深度的增加而呈增加趋势。与灌水前的土壤剖面相比,矿化度较低时($\leq 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),土壤剖面的 EC 值下降。而高矿化度灌溉水处理(矿化度 $> 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)时,土壤 EC 值呈增加趋势,随着矿化度的增加而增加。可以初步得出,在夏季降水充足的条件下,如果灌溉水的矿化度不是太高($\leq 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),降水会淋洗掉土壤 0~100 cm 土体内的盐分,不会造成盐分在 0~100 cm 土体的积累;而当灌溉水矿化度较高时($> 4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)即使降水较大,也不能完全淋洗进入 0~100 cm 土体的盐分,造

成盐分在土壤中不同程度的积累,T3 处理在 80~100 cm 土层有一定程度的累积,T4 处理在 20~100 cm 都存在不同程度的累积,而且 2011 年与 2010 年相比,土壤 EC 值有增加的趋势,表明土壤盐分存在累积加重的趋势。从土壤盐分的积累来看,灌溉 25 mm 矿化度小于 $4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的微咸水是安全的,这与一些学者的研究结果相同^[16]。而矿化度达到 $8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的咸水在土壤 20~100 cm 土层有一定程度的积累,对土壤的安全性仍需要进一步的研究。可以得出,在咸水灌溉处理前,通过大水压盐处理后,夏季降水充足的条件下,补灌一次 $6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下的咸水不会造成棉花根系分布层土壤盐分的明显积累。

2.4 咸水滴灌对棉花产量的影响

图 5 为咸水滴灌对棉花产量的影响。从图中可以看出,2010 年各处理之间的棉花产量没有明显差异,都在 1600 ~ 1800 kg·hm⁻²,与对照相比,T2、T3 和 T4 产量下降 7%、6% 和 6%,2010 年棉花产量较低,主要是因为集中降雨,形成涝害,对棉花生长造成严重影响,烂桃严重。2011 年各处理棉花产量较高,

对照产量达到 4060.2 kg·hm⁻²,T2、T3 与对照之间棉花产量没有明显差异,T4 处理的棉花产量只有 3572.8 kg·hm⁻²,明显低于其他处理,与对照相比,T4 产量下降 12%。可见,滴灌补灌矿化度 6 g·L⁻¹ 以下的咸水对棉花产量并没有明显的影响,而滴灌补灌 8 g·L⁻¹ 的咸水在降水偏少的年份能明显降低棉花产量。

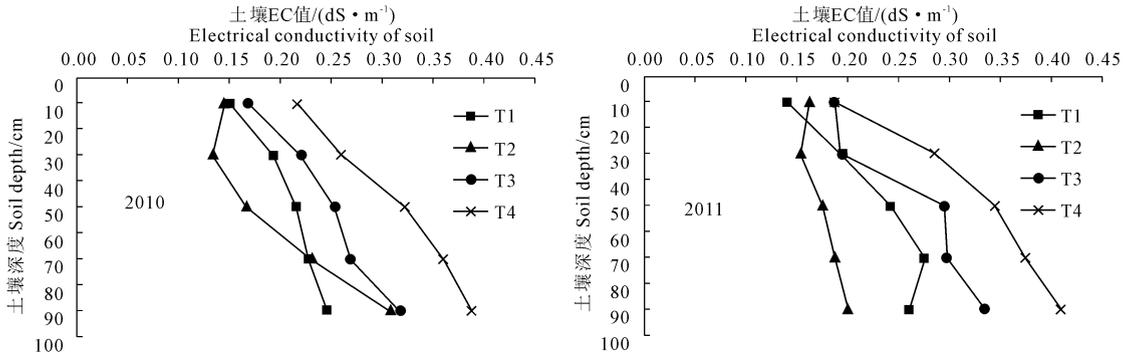


图 4 试验结束后各处理土壤 EC 值分布

Fig. 4 Distribution of soil electrical conductivity for each treatment after the end experiment

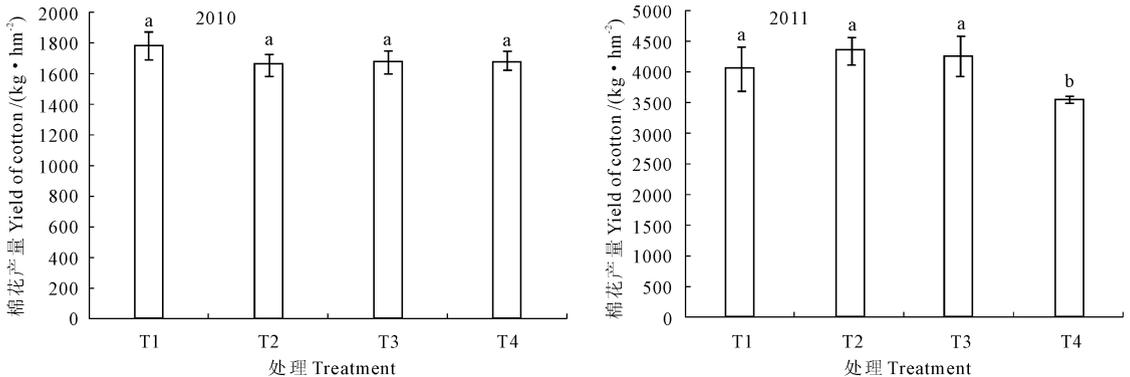


图 5 咸水滴灌对棉花产量的影响

Fig. 5 Effect of saline drip irrigation to the cotton yield

3 讨论与结论

通过田间试验研究发现,将地膜全覆盖和咸水滴灌结合进行补充灌溉,可以利用 6 g·L⁻¹ 以下的咸水,利用夏季雨水的淋洗作用,不会在 0 ~ 100 cm 土壤中积累盐分。鲁北平原棉花春夏交替时干旱,黄河水并不能满足灌溉需要,利用部分微咸水和咸水进行补充灌溉,成为一种解决途径。这就是春季开发利用地下水包括微咸水和半咸水抗旱灌溉,夏季利用伏雨洗盐排咸,把降雨转化为地下水资源^[17]。通过地膜覆盖抑制土面蒸发,充分利用降水淋洗土壤盐分也成为改良滨海盐渍土的一种有效途径^[9]。通过比较塑料薄膜、沙子和麦草三种材料抑制盐分的效果,发现以塑料薄膜效果最佳,并且塑料薄膜宜采用全地面覆盖^[18]。鲁北地区在春季黄河断流、干

旱缺水时,利用 3.8 g·L⁻¹ 浅层地下微咸水膜下滴灌春棉 2 次,灌水定额 35 mm,试验期间 0 ~ 60 cm 土体盐分含量维持在 0.2% 以下,不会对棉花的生长产生危害^[19]。

通过研究全地膜覆盖条件下咸水滴灌棉花田土壤水盐动态的变化。初步得出以下结论:① 灌出苗水可以明显降低棉田主要根层土壤 EC 值,降低率在 26.8% ~ 29.0% 之间。② 咸水滴灌减少了棉花对土壤水分的吸收,主要影响土层在 40 ~ 100 cm。灌溉水矿化度越高,影响越大。③ 在鲁北平原黄河水灌溉出苗水的前提下,滴灌补灌 25 mm 矿化度 4 g·L⁻¹ 以下的咸水是安全的。④ 与淡水滴灌相比,滴灌补灌矿化度 6 g·L⁻¹ 以下的咸水对棉花产量没有明显的影响,而滴灌 8 g·L⁻¹ 的咸水在降水偏少的年份能明显降低棉花产量。 (下转第 24 页)

2) 在相同气象条件和地质条件下,就本文的种植模式而言,棉花叶片温度较低的那一行生长发育情况较好,并且产量也较高。

3) 就本文“一膜两管,一管三行”(见图 1)的种植模式来讲,建议把中行棉花适当向滴灌管方向移动,以提高土壤含水率,降低叶片温度,以便提高此行棉花产量。但是具体移动多少距离,有待进一步进行研究确定。

4) 同一时刻,棉花叶片阴面温度略低于阳面温度;不同时刻,叶温会随着环境的变化而发生改变。

5) 同一天中,中午叶气温差的幅度大于同一天上午叶气温差的幅度。这说明,气温升高通常会加剧蒸腾作用。而加剧蒸腾作用的加剧起到了降低叶片温度的作用。

6) 通过对棉花叶温与气象因素的关系分析,得出棉花叶片温度与气温的相关性最大,其余气象因素与叶温的相关性从高到低,排列顺序为:空气饱和水汽压差、空气相对湿度、日照时数、风速;而叶气温差与气象因素的相关性从高到低的排列顺序为:空气相对湿度、日照时数、气温、空气饱和水汽压差、风速。其中,棉花叶温与气温的相关性最好,相关系数为 0.91327,拟合方程为: $Y = 4.89265 + 0.78X$, 此方

程式可用于在当地进行棉花叶温的估算。

参 考 文 献:

- [1] 田长彦,冯 固.新疆棉花养分资源综合管理[M].北京:科学出版社,2008.
 - [2] 李春燕,邢彦伟.棉田膜下滴灌技术推广应用中存在的问题及建议[J].中国棉花,2007,34(7):39-43.
 - [3] 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.
 - [4] 王宣山.现代棉花栽培原理与技术[M].南京:东南大学出版社,2011:56-57.
 - [5] 孙啸震,张黎妮,戴艳娇,等.花铃期增温对棉花干物重累积的影响及其生理机制[J].作物学报,2012,38(4):683-690.
 - [6] 陈金华,岳 伟,杨天明.水稻叶温与气象条件的关系研究[J].中国农学通报,2011,27(12):19-23.
 - [7] Conejero W, Alarcon J J, Garcia-Orllana Y, et al. Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors for irrigation scheduling in early maturing peach tree[J]. Physiology, 2007, 27(12): 1753-1759.
 - [8] 梁志隐,阎守业,李存东.利用气温叶温差指标指导棉花灌溉[J].中国棉花,1991,(3):34.
 - [9] 罗新宁,陈 冰,张巨松,等.棉花氮素和 SPAD 值叶位分布规律研究[J].棉花学报,2009,21(5):427-430.
 - [10] 张志新,李宝珠,李光永,等.滴灌工程规划设计原理与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2007:236.
 - [11] 贾正茂,崔远来,刘方平,等.不同水分条件下棉花茎流、叶温及茎粗变化规律[J].中国农村水利水电,2012,(6):73-77.
-
- (上接第 17 页)
- 参 考 文 献:
- [1] 李 森,颜 立,崔着义.鲁北平原区咸水资源开发利用与治理措施研究[J].河海水利,2005,(1):8-9.
 - [2] 康跃虎.微灌与可持续农业发展[J].农业工程学报,1998,14(增刊):251-255.
 - [3] 王全九,徐益敏,王金栋,等.咸水和微咸水在农业灌溉中的应用[J].灌溉排水,2002,21(4):73-77.
 - [4] 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.
 - [5] 逢焕成,杨劲松,严惠峻.微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):599-603.
 - [6] 马东豪,王全九,来剑斌.膜下滴灌条件下灌水水质和流量对土壤盐分分布影响的田间试验研究[J].农业工程学报,2005,21(3):42-46.
 - [7] 雷廷武,肖 娟,王建平,等.微咸水滴灌对盐碱地西瓜产量质量及土壤盐渍度的影响[J].水利学报,2003,(4):85-89.
 - [8] Wan S Q, Kang Y H, Wang D, et al. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 98: 105-113.
 - [9] 郑东峰,孙泽强,王学君,等.利用降水改良滨海盐渍土的技术方法与研究初报[J].山东农业科学,2010,(2):64-66.
 - [10] 杨小敏,郝明德,李 龙,等.黄土区旱地覆盖对小麦养分吸收及水分利用的影响[J].麦类作物学报,2013,33(5):1001-1005.
 - [11] 李 荣,侯贤清,贾志宽,等.沟垄全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响[J].生态学报,2013,33(7):2282-2291.
 - [12] 王 丹,康跃虎,万书勤.微咸水滴灌条件下不同盐分离子在土壤中的分布特征[J].农业工程学报,2007,23(2):83-87.
 - [13] Wan S Q, Kang Y H, Wang D, et al. Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area[J]. Agricultural Water Management, 2007, 90:63-74.
 - [14] 孙 林,罗 毅,杨传杰,等.不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征[J].水利学报,2012,49(3):428-436.
 - [15] 山东省土壤肥料工作站.山东土壤[M].北京:中国农业出版社,1994:242-252.
 - [16] 邵玉翠,李 悦,盛福昆,等.浅层咸水灌溉对冬小麦和土壤安全性的研究[J].生态环境,2006,15(6):1241-1245.
 - [17] 方 生,陈秀玲,范振铎,等.旱涝碱咸综合治理与生态环境良性循环[J].南水北调与水利科技,2005,3(增刊):12-15.
 - [18] 纪永福,蔺海明,杨自辉,等.夏季覆盖盐碱地表面对土壤盐分和水分的影晌[J].干旱区研究,2007,24(3):375-381.
 - [19] 邢文刚,俞双恩,安文钰,等.鲁北盐渍土区棉花微咸水滴灌技术研究[J].河海大学学报(自然科学版),2003,31(2):140-143.