

doi: 10.11838/sfsc.20160522

不同类型咸水滴灌对土壤盐分的影响及棉花产量响应

孙泽强¹, 董亮², 王学君¹, 郑东峰¹, 董晓霞¹, 郭洪海², 田慎重², 刘盛林¹, 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: 棉花是鲁北平原种植的重要经济作物, 合理利用微咸水和咸水资源是解决棉花季节干旱问题的重要途径。通过田间小区试验, 以淡水滴灌处理为对照, 设置不同盐分梯度的咸水滴灌处理, 研究 2 种类型咸水滴灌对棉田土壤水分和盐分的分布影响以及棉花产量的响应。结果表明, 咸水滴灌条件下主要影响棉田 40~100 cm 土壤水分的变化, 碳酸氢钠型和氯化钠型咸水处理对土壤含水量的影响没有显著差异。利用 EC 值低于 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的咸水进行补灌, 棉田 0~40 cm 土壤盐分积累不明显, 灌溉水 EC 值为 $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的氯化钠型咸水灌溉在 0~100 cm 土壤盐分有明显的积累。滴灌补灌 EC 值不大于 $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的碳酸氢钠型咸水和不大于 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的氯化钠型咸水对棉花产量没有明显的影响, 滴灌补灌 $7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 碳酸氢钠型和 $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 氯化钠型咸水明显降低棉花产量。从土壤盐分的积累和棉花产量来看, 在鲁北平原可以利用 $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 咸水滴灌对棉花进行补灌; 利用咸水滴灌, 要同时考虑灌溉水盐分的数量和盐分组成, 碳酸氢钠型咸水要更加谨慎利用。

关键词: 咸水滴灌; 碳酸氢钠型咸水; 氯化钠型咸水; 水盐分布; 棉花产量

中图分类号: S344.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2016)05-0130-08

棉花是鲁北平原种植的重要经济作物。春季干旱严重影响该地区棉花播种以及前期的生长发育, 在淡水不足时, 利用部分咸水补充灌溉可缓解干旱造成的影响并提高作物产量。据相关资料, 该区多年平均微咸水和咸水地下水资源量为 12.02 亿 m^3 , 咸水的主要特点是苦、涩、咸并存, 其化学类型比较复杂。由山前到滨海, 咸水的矿化度逐渐增高, 氯离子、钠离子含量逐渐升高, 化学类型由重碳酸盐型向硫酸盐型、氯化物型过渡。目前, 平均开采量为 1.13 亿 m^3 , 不足 10%^[1]。合理开发利用微咸水和咸水资源对区域棉花生产和农田生态环境具有重要意义。

目前咸水与微咸水灌溉方式主要有漫灌、沟

灌、喷灌和滴灌。从节水角度讲, 喷、滴灌具有明显优势, 而滴灌可以避免喷灌烧苗现象, 更适合利用微咸水和咸水灌溉^[2-3]。土壤水盐调控是利用微咸水和咸水灌溉的关键, 而灌溉水和降水同时影响农田土壤水分和盐分的分布^[4]。膜下滴灌利用微咸水时, 不增加其他控盐方法, 不适宜灌溉 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上的微咸水^[5]。滴灌电导率 $1.1 \sim 6.3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的微咸水, 发现随距滴头距离的增加土壤盐分有增加趋势, 但土壤剖面的盐分增加不显著^[6-7]。利用微咸水膜下滴灌春棉, 棉花比畦灌增产约 40%, 通过降水淋洗盐分, 土壤剖面同样没有明显的盐分累积^[8]。

先前的研究多集中在地面灌溉条件下一定矿化度咸水的利用, 对该区域咸水滴灌的研究相对较少, 不同类型咸水在土壤中的入渗特征和对作物毒害机理不尽相同。本文利用滴灌咸水对棉花进行补充灌溉, 结合不同盐分组成类型进行研究。针对不同类型的咸水, 利用覆膜和滴灌相结合的技术, 探讨碳酸氢钠型咸水和氯化钠型咸水对土壤水盐环境和棉花产量的影响, 为鲁北平原及相似区域咸水利用拓宽思路。

收稿日期: 2015-08-10; 最后修订日期: 2015-11-29

基金项目: 山东省自主创新专项 (2014ZZCX07401); 国家科技支撑计划 (2013BAD05B06); 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (201503117, 200903001); 国家自然科学基金 (51209130); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目 (BS2011NY017)。

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。

通讯作者: 刘兆辉, E-mail: liuzhaohui@saas.ac.cn。

1 材料与方法

1.1 试验区自然条件

试验在山东省惠民县李栋村进行, 该地区属于温带半湿润大陆型季风气候, 年平均气温是 12.2℃, 无霜期为 184 d, 多年平均降水量为 589 mm。试验区位于鲁北平原, 地处黄河下游, 地势较为平坦, 土壤主要由黄河泥沙淤积而成。试验土壤类型为潮土,

其基本化学性质见表 1。

图 1 为 2 年试验期间的降水量分布。2010 年降水量为 779.4 mm, 是同期多年平均的 1.32 倍, 较常年同期偏多, 降水集中在 7 月中旬和 8 月, 有 2 次降水超过 100 mm, 田间积水形成涝害; 2011 年降水量为 285.6 mm, 是同期多年平均降水量的 48.5%, 与常年同期相比偏少。

表 1 供试土壤的基本化学性质

土壤深度 (cm)	水解性氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 (P, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 (K, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH 值	EC 值 ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)
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: EC 为土水比 1:5 浸提。

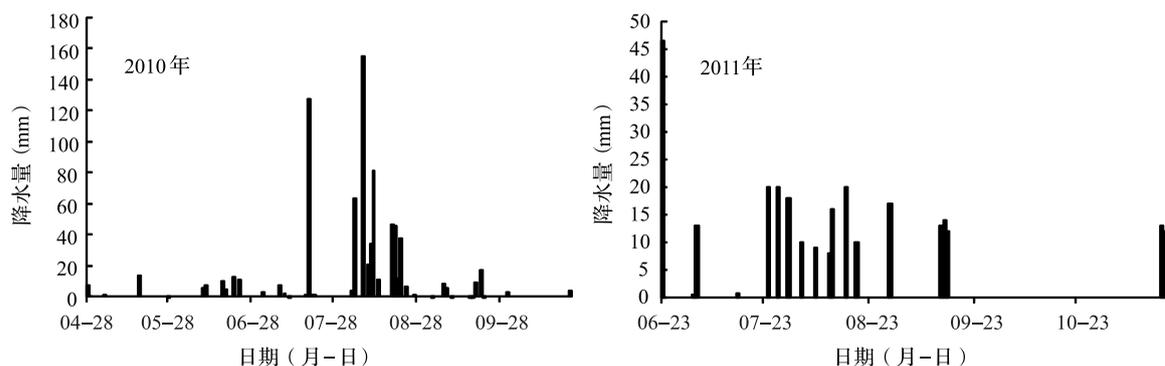


图 1 2010 年和 2011 年试验期间降水量

1.2 试验设计

试验共设 7 个处理, 每个处理设 3 个重复, 共计 21 个试验小区, 每个小区约为 30 m² (5.4 m × 5.6 m), 采用随机区组排列。试验处理分别为: T1 为淡水滴灌, EC = 2.0 dS · m⁻¹; T2 ~ T4 为不同盐分浓度的碳酸氢钠型咸水滴灌, EC 值分别为 4.6、

6.2、7.1 dS · m⁻¹; T5 ~ T7 为不同盐分浓度的氯化钠型咸水滴灌, EC 值分别为 4.8、7.7、10.2 dS · m⁻¹。以当地地下井水作为淡水 (EC = 2.0 dS · m⁻¹), 参照文献的盐分组成^[9], 在淡水中加入不同种类和数量的盐配制试验用咸水^[10-12], 试验用灌溉水的基本性质见表 2。

表 2 灌溉水基本性质

处理	Ca ²⁺ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Mg ²⁺ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Na ⁺ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	K ⁺ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Cl ⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	CO ₃ ²⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	HCO ₃ ⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SO ₄ ²⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值	EC 值 ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)
T1	137.3	27.3	171.9	0.0	262.3	0.0	651.4	254.4	7.6	2.0
T2	142.3	410.0	612.8	20.5	716.1	0.0	1 465.7	676.8	7.6	4.6
T3	143.5	560.6	820.0	32.8	1 021.0	0.0	1 995.0	931.2	7.4	6.2
T4	144.5	720.0	940.1	40.8	1 212.4	0.0	2 371.6	1 248.0	7.3	7.1
T5	145.5	274.1	649.6	13.7	1 176.9	0.0	847.4	456.0	7.5	4.8
T6	146.8	477.3	1 235.8	30.0	1 917.8	0.0	1 057.3	960.0	7.2	7.7
T7	148.0	612.5	1 667.6	38.2	3 240.1	0.0	1 404.7	1 209.6	7.0	10.2

棉花种植品种为“鲁棉研36号”，种植密度为 $45\ 000\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，行距90 cm，每一行棉花布设一条滴灌带。2010和2011年棉花分别在4月28日和4月14日播种，播种后用“双零八”农膜全覆盖，在农膜上打孔，以有利于膜上灌溉水和雨水下渗。全部处理采用黄河水灌溉，以保证棉花出苗整齐。在棉花初花期进行1次滴灌补灌，2010年6月29日灌水量为17 mm，2011年7月20日灌水量为25 mm。2010年与2011年施肥量相同，均施用尿素 $180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、重过磷酸钙 $196\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和硫酸钾 $150\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 作为基肥，另外尿素 $180\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 随补灌采用灌溉施肥方式进行追施。各小区之间起田埂（高20 cm，宽30 cm），并埋设塑料布（地面以下25 cm深）以阻断小区之间的肥水交换。其他农事操作和田间管理同常规。

1.3 测定项目和方法

滴灌灌水1周后，用土钻法分别在距滴头0、15、30、45 cm的棉花行间采土样，取样深度100 cm，取样间隔20 cm，每个土样取2钻混合。

生长季结束后，用土钻法在各处理棉花行间取土，取样深度为100 cm，取样间隔为20 cm，每个土样取2钻混合。

土壤含水量在室内采用烘干法测定。土样风干后，采用1:5的土水比来浸提土样，然后利用DDS-11A数显电导率仪测定土壤EC值。每个处理小区单独收获单独计产，棉花产量用每次收获棉花的量累加计算。

2 结果与分析

2.1 不同类型咸水滴灌对土壤水分分布的影响

表3为不同处理滴灌1周后棉田土壤含水量的分布。从表中可以看出，与T1相比，2010年和2011年T2、T3、T4、T5、T6、T7平均土壤含水量分别增加5.9%、6.8%、8.8%、6.7%、6.6%、9.0%和6.9%、7.2%、9.7%、9.8%、6.5%、10.0%。由此可见，土壤剖面平均土壤含水量随着滴灌灌溉水矿化度的增加而呈增加趋势。

表3 不同处理滴灌1周后棉田土壤含水量分布

(%)

年份	处理	距滴头水平距离 (cm)				土壤深度 (cm)					土壤剖面 均值
		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	18.8	19.3	19.0	19.3	15.7	15.8	18.1	22.6	23.3	19.1
	T3	21.2	19.3	19.3	20.4	17.0	20.0	21.5	21.9	19.9	20.0
	T4	22.8	22.2	21.2	22.0	16.3	20.1	23.5	24.4	26.0	22.0
	T5	20.0	19.7	20.2	19.8	14.5	18.6	20.4	23.0	23.1	19.9
	T6	19.8	19.8	20.0	19.6	15.1	19.4	21.8	21.7	21.0	19.8
	T7	22.2	22.3	21.1	23.1	16.3	19.6	23.4	25.1	26.3	22.2
2011	T1	13.7	13.4	13.1	14.2	16.5	13.5	14.5	13.1	10.6	13.7
	T2	20.6	20.8	21.1	21.7	18.7	18.6	18.5	22.0	25.2	20.6
	T3	20.9	20.5	20.1	21.6	19.3	21.6	20.6	21.1	21.7	20.9
	T4	24.3	22.6	22.6	23.4	20.1	22.2	24.3	25.1	25.5	23.4
	T5	23.0	22.4	21.9	25.8	21.3	24.0	23.5	24.3	24.7	23.5
	T6	20.1	20.1	20.2	20.3	19.3	21.1	20.9	19.0	20.6	20.2
	T7	23.8	23.8	23.8	23.4	20.1	22.3	24.3	25.7	26.0	23.7

从各处理来看，沿滴灌带水平方向土壤剖面平均土壤含水量的变化不明显，分布较为均匀，而不同处理之间，相同距离土壤含水量有随着灌溉水矿化度的增加而增加的趋势。而在垂直方向上，各处理土壤含水量都随着深度的增加而增加，不同处理之间相同深度土壤含水量随着灌溉水矿化度的增加

也呈增加趋势。碳酸氢钠型和氯化钠型两种类型咸水对土壤水分含量无明显影响。可以得出，土壤含水量沿滴灌带在水平和垂直方向上都随着灌溉水矿化度的增加而呈增加趋势，尤其是60 cm以上土层这种规律更为明显。这也说明随着灌溉水矿化度的增加，棉花从土壤中吸收的水分减少，从而使土壤

含水量增加。其他研究者也得出了咸水灌溉减少作物耗水量的结论^[13]。棉田采用地膜全覆盖, 土面蒸发可以忽略, 在滴灌条件下土壤水分渗漏也可以忽略。因此, 土壤水分减少主要是由于棉花根系吸水消耗造成的。

图2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, 2010年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, 2011年除T1和T2外, 其他处理土壤含水量也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呈增加趋势。两年土壤水分剖面分布不同主要是由于试验期间降水差异引起的。2010年试验期间降水较多, 土

壤含水量较高, 处理之间的差异较小, 2011年降水较少, 土壤含水量下降明显, 各处理之间的差异明显, 尤其是40~100 cm土层, 受土壤盐分胁迫较低的T1和T2处理, 40~100 cm土壤含水量都低于0~40 cm土壤含水量。可以得出, 在棉花根系主要分布层0~40 cm范围内, 各处理之间土壤含水量的差异较小, 土壤含水量变幅都小于5%, 而随着土壤深度的增加, 40~100 cm土层各处理之间土壤含水量差异增加, 变幅都大于5%。由此可见, 咸水滴灌主要影响了棉花对下层土壤水分的吸收, 同时, 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, 两种类型的咸水处理对土壤含水量的影响也没有显著差异。

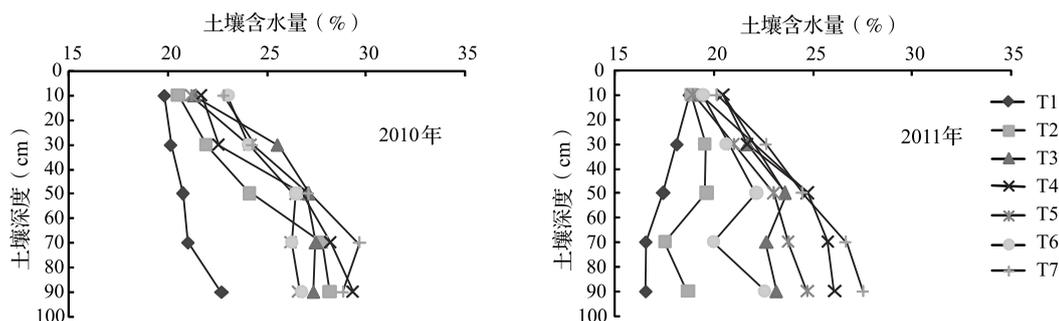


图2 试验结束后各处理土壤含水量分布

2.2 不同类型咸水滴灌对土壤EC分布的影响

表4为不同类型咸水滴灌处理灌水1周后棉田

土壤EC值的分布。从表中可以看出, 与T1相比, 2010、2011年T2~T7平均土壤EC分别增加0.069、

表4 不同处理滴灌1周后棉田土壤EC分布

(dS · m⁻¹)

年份	处理	距滴头水平距离 (cm)				土壤深度 (cm)					土壤剖面 均值
		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	0.322	0.320	0.340	0.286	0.378	0.255	0.268	0.315	0.370	0.317
	T3	0.314	0.279	0.273	0.256	0.349	0.259	0.256	0.278	0.261	0.281
	T4	0.364	0.367	0.368	0.307	0.348	0.300	0.353	0.373	0.385	0.352
	T5	0.292	0.264	0.274	0.310	0.215	0.243	0.270	0.323	0.375	0.285
	T6	0.456	0.424	0.448	0.432	0.535	0.440	0.430	0.415	0.380	0.440
	T7	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	0.232	0.230	0.227	0.234	0.235	0.219	0.182	0.226	0.294	0.231
	T3	0.247	0.248	0.248	0.338	0.291	0.363	0.258	0.233	0.245	0.278
	T4	0.393	0.358	0.322	0.354	0.374	0.341	0.337	0.355	0.375	0.356
	T5	0.242	0.235	0.228	0.226	0.238	0.208	0.228	0.244	0.243	0.232
	T6	0.293	0.296	0.300	0.267	0.247	0.282	0.282	0.298	0.323	0.286
	T7	0.434	0.406	0.378	0.344	0.404	0.425	0.390	0.347	0.362	0.386

0.033、0.104、0.037、0.192、0.236 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 和 -0.030 、 0.017 、 0.095 、 -0.029 、 0.025 、 0.125 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 。可见,随着灌溉水矿化度的增加土壤剖面平均 EC 值呈增加趋势;2 种类型咸水相比,氯化钠型咸水滴灌土壤 EC 值要大于碳酸氢钠型咸水滴灌。各处理沿滴灌带水平方向上,土壤 EC 值变化不大。不同处理之间来看,随着灌溉水矿化度的增加,相同距离土壤 EC 值呈增加的趋势。当灌溉水 EC 值较小 ($\leq 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 时,土壤 EC 在垂直方向上有增加的趋势,而当灌溉水 EC 值较大 ($> 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 时,土壤 EC 在垂直方向上呈减小趋势,也就是说盐分具有表聚现象,尤其是 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土壤 EC 值达到最大,这可能与棉花吸水有关。2011 年灌水后 2 次 20 mm 的降水影响了土壤盐分的变化,导致表层土壤 EC 值下降,使垂直方向土壤 EC 值变化并不明显,只有 T7 处理仍然存在明显的盐分表聚现象。

图 3 为试验结束后土壤 EC 值的分布。从图中可以看出,各处理土壤 EC 值具有相似的分布和变化规律,都随着土壤深度的增加而呈增加趋势。与 T1 处理相比,灌溉水 EC 值较低 ($\leq 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 时,土

壤剖面的 EC 值下降。而高 EC 值 ($\text{EC} > 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 灌溉水处理时,土壤 EC 值呈增加趋势,随着矿化度的增加而增加。由此得出,夏季降水较为充足,当灌溉水的 EC 值较低 ($\leq 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 时,降水会淋洗掉 1 m 土体内的盐分,不会造成盐分在 1 m 土体内积累;而当灌溉水矿化度较高 ($> 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 时,即使降水量较大,也不能完全将 1 m 土体的盐分淋洗出去,这就造成盐分在土体中不同程度的积累。2011 年与 2010 年相比,土壤 EC 值呈增加趋势,表明土壤盐分随着时间的推移存在累积加重的趋势。从 1 m 土体盐分的积累看,利用 EC 值小于 $5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的微咸水滴灌 25 mm 是安全的,这与其他研究者得出的结论一致^[13]。灌溉水 EC 值为 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 时,土体盐分虽有增加趋势,但土壤盐分没有明显积累,而灌溉水 EC 值为 $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的氯化钠型咸水灌溉在 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 土壤盐分都有明显的积累,仍需要进一步研究对土壤安全性的影响。由此可见,在利用咸水滴灌时,通过大水压盐处理和夏季降水淋洗,补灌一次 EC 值 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 以下的咸水不会造成土壤盐分在棉花根系主要分布层的明显积累。

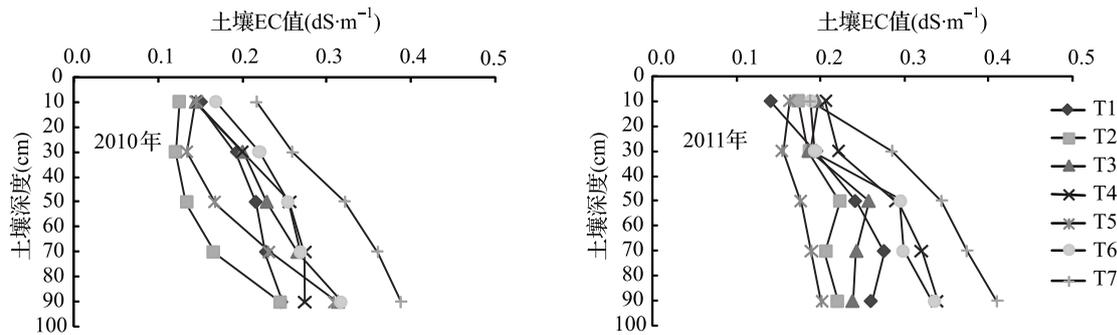


图 3 试验结束后土壤 EC 值分布

2.3 不同类型咸水滴灌对棉花产量的影响

图 4 为不同类型咸水滴灌对棉花产量的影响。从图中可以看出,2010 年各处理棉花的产量普遍较低,这主要是由于夏季降雨集中,田间积水造成涝害,这对棉花的生长造成不利影响,棉花烂桃非常严重。2010 年 T1 的产量最高,为 $1783.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与 T1 相比, T2 ~ T7 处理棉花产量分别下降 4.6% 、 5.7% 、 13.7% 、 6.9% 、 5.7% 、 15.6% 。2011 年各处理棉花产量较高, T1 的产量达到 $4258.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,与 T1 相比, T2 ~ T7 处理棉花产量分别下降 0.6% 、

3.7% 、 6.0% 、 0.3% 、 3.8% 、 16.1% 。可以看出, T2、T3、T5 和 T6 处理的棉花产量与对照相比,虽有下降趋势,但下降幅度都小于 7% ,差异不显著 ($P > 0.05$)。T4 和 T7 与 T1 相比,棉花产量下降都超过 10% ,差异显著 ($P < 0.05$)。因此,滴灌补灌 EC 值不大于 $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的碳酸氢钠型咸水和不大于 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的氯化钠型咸水对棉花产量并没有明显的影响,而滴灌补灌 $7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 碳酸氢钠型和 $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 氯化钠型咸水能明显降低棉花产量。

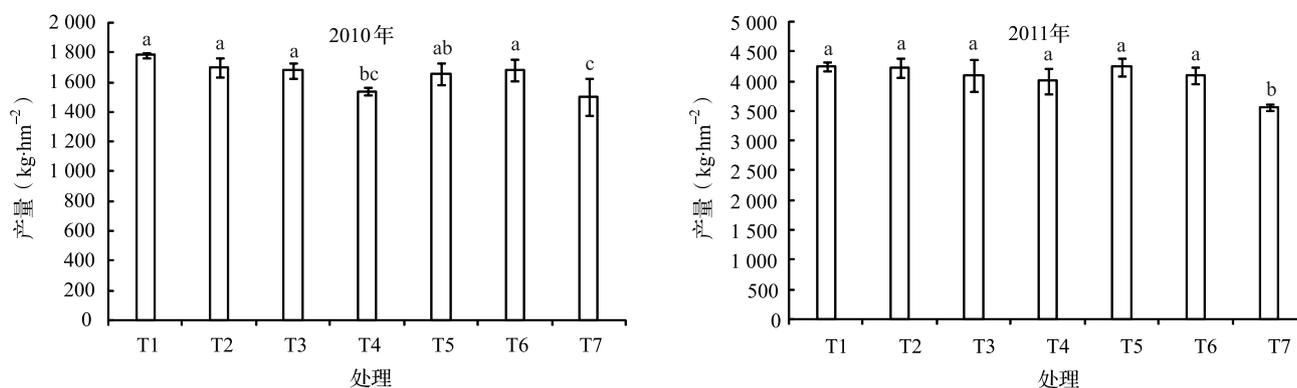


图4 不同类型咸水滴灌对棉花产量的影响

注: 图中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

3.1 结论

通过研究鲁北平原碳酸氢钠型和氯化钠型咸水滴灌对土壤盐分和棉花的影响。初步得出以下几点结论:

(1) 咸水滴灌主要影响棉花对 40 ~ 100 cm 土壤水分的吸收, 灌溉水 EC 值影响了土壤水分动态, 这种影响从灌溉后延续到生育期结束, 而碳酸氢钠型和氯化钠型咸水处理对土壤含水量的影响没有明显差异。

(2) 通过黄河水压盐和夏季降水淋洗相结合, 利用 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的咸水补灌, 棉田根层的土壤盐分没有明显累积。而利用 $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的氯化钠型咸水灌溉在 1 m 土体盐分积累比较明显, 是否对土壤构成危害仍需要进一步的研究。

(3) 滴灌补灌 EC 值不大于 $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的碳酸氢钠型咸水和不大于 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的氯化钠型咸水对棉花产量并没有明显的影响, 而滴灌补灌 $7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 碳酸氢钠型和 $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 氯化钠型咸水能明显降低棉花产量。

3.2 讨论

利用咸水灌溉会带入土壤一定量的盐分, 在满足作物需水情况下, 尽量减少咸水灌溉水量, 或者增加一定的淡水淋洗水量, 以控制主要根系分布层土壤盐分在植物耐性阈值范围内。由于灌溉方式不同, 土壤盐分呈现不同的分布特征。咸水地面灌溉由于灌溉水量较大, 随灌溉水带入土壤中的盐分量也较大, 需要严格控制灌溉水矿化度和灌溉水次

数^[14]。在半干旱气候条件下, 开发碱性矿化水灌溉矿化度不宜超过 $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 否则有引起碱化的危险。干早期用碱性矿化水灌溉抗旱时, 在同等灌水量的情况下, 一水灌溉比二水灌溉积盐轻, 等量淋洗综合效益最好^[15]。连续 5 年利用 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的微咸水灌溉小麦, 小麦仍可承受盐害的影响, 而且作物保持增产^[16]。可见, 不同类型咸水灌溉造成土壤盐分的累积差别很大。而滴灌条件下各种盐分离子的迁移速度与分布特性不同, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 SO_4^{2-} 易于被灌溉水分淋洗, 主要分布在湿润体外围, 而 HCO_3^- 、 Na^+ 与 Cl^- 主要分布在湿润体内部。生育期内土壤剖面上的平均盐分含量没有增加, 但对土壤结构与作物有重要影响^[12]。根据鲁北平原地下水组成特性, $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 碳酸氢钠型咸水和 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 氯化钠型咸水矿化度均约为 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 按照滴灌补灌 25 mm 灌溉水量计算, 每年通过补灌进入土壤的盐分约为 $1500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 假设以 0 ~ 40 cm 土壤耕层盐分增加 0.2% 为上限, 达到上限需要约 7 年的时间, 也就是说可持续利用 $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 碳酸氢钠型咸水和 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 氯化钠型咸水 7 年的时间。但在实际生产中, 应密切关注土壤盐分尤其是 0 ~ 40 cm 土壤盐分的积累。

咸水灌溉条件下水分和盐分同时进入土壤, 相对于旱作而言, 咸水灌溉作物具有增产效果^[3]。微咸水滴灌蜜瓜比不灌溉增产近 90%, 而且品质不下降^[17]。咸水滴灌条件下, 棉株体内 Cl^- 、 Ca^{2+} 和 Na^+ 含量在棉花生育期内整体呈升高趋势。随着咸水浓度的增加, K^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 含量升高, Na^+ 浓度变化不大。较多的盐离子通过根部向地上部运

输, 向茎叶中积累, 蕾铃积累较少。盐离子在棉株体内的这种区域化分布, 有利于维持体内离子平衡, 提高棉花耐盐性。灌溉水中的 Ca^{2+} 影响了盐胁迫对棉花生长和离子的吸收和分配^[18]。利用 $1 \sim 5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的咸水灌溉番茄, 结果表明, 盐度增加造成经济效益和总产量分别减少 11.9% 和 11.0%, 可溶性固体和可滴定酸度分别增加 13.9% 和 9.4%^[19]。两个 NaCl 浓度 (10 和 $20 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$) 对温室水培番茄产量没有明显影响^[20]。可见, 不同盐分类型咸水对作物产量品质的影响非常复杂, 作物之间差异也很大, 需要进一步的试验研究。

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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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]. 土壤学报, 2012, 49 (3): 428-436.
- [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] 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.
- [14] 张永波, 时红. 冬小麦高产咸水灌溉制度的田间试验研究 [J]. 农业工程学报, 2000, 16 (1): 44-48.
- [15] 曾路生, 石元亮, 王晶. 碱性矿化水淋洗对土壤盐碱化及小麦生长的影响 [J]. 土壤与环境, 2000, 9 (2): 120-124.
- [16] 郭会荣, 靳孟贵, 高云福. 冬小麦田咸水灌溉与土壤盐分调控试验 [J]. 地质科技情报, 2002, 21 (1): 61-65.
- [17] 雷廷武, 肖娟, 王建平, 等. 地下咸水滴灌对内蒙古河套地区蜜瓜用水效率和产量品质影响的试验研究 [J]. 农业工程学报, 2003, 19 (2): 80-84.
- [18] 王艳娜, 侯振安, 龚江, 等. 咸水滴灌对棉花生长和离子吸收的影响 [J]. 棉花学报, 2007, 19 (6): 472-476.
- [19] Campos C A B, Fernandes P D, Gheyi H R, et al. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation [J]. Sci Agric, 2006, 63 (2): 146-152.
- [20] Carmassi G, Incrocci L, Maggini R, et al. An aggregated model for water requirements of greenhouse tomato grown in closed rockwool culture with saline water [J]. Agricultural Water Management, 2007, 88 (1/3): 73-82.

Effect of drip irrigation with different types of saline water on soil salt distribution and the response of cotton yield

SUN Ze-qiang¹, DONG Liang², WANG Xue-jun¹, ZHENG Dong-feng¹, DONG Xiao-xia¹, GUO Hong-hai², TIAN Shen-zhong², LIU Sheng-lin¹, LIU Zhao-hui^{3*} (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 250100; 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 250100; 3. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100)

Abstract: Cotton is an important economic plant in the Northern Shandong Plain. The rational using of brackish water and saline water is an important method to solve the drought in cotton growth season. Through the field experiment with small plots, taking the fresh water drip irrigation as the control group, the treatments with different levels of saline water were set up to study the impacts of drip irrigation with 2 types of saline water on soil water and salt distribution and cotton yield. The results showed that drip irrigation with saline water mainly impacted the absorption soil water of cotton in 40 ~ 100 cm soil layers. There was no significant difference in the impact of NaHCO_3 type and NaCl type saline water treatments on soil water

content. Supplemental irrigation of saline water with $EC = 8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ or less didn't cause significant accumulation in cotton root distribution layers, however, irrigation with $EC = 10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ NaCl type saline water caused significant accumulation of soil salinity in 0 ~ 100 cm soil layers. There was no significant impact on cotton production using supplemental drip irrigation with saline water of EC not greater than $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ NaHCO_3 type and not more than $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ NaCl type saline water, while, supplemental drip irrigation with $7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ NaHCO_3 type and $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ NaCl type saline water significantly reduced the cotton yield. Considering the accumulation of soil salinity and cotton production, supplemental drip irrigation with saline water $6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ could be used for cotton in Northern Shandong Plain. When using drip irrigation with saline water, both the salinity and salt composition of irrigation water should be considered. Using of NaHCO_3 type saline water as irrigation should be cautious.

Key words: drip irrigation with saline water; NaHCO_3 type saline water; NaCl type saline water; distribution of water and salt; cotton yield

欢迎订阅 2017 年期刊

《吉林蔬菜》原名《蔬菜科技》，是由吉林省农委主管、吉林省蔬菜花卉科学研究院主办的科技期刊。创刊于 1974 年，公开发刊。全国优秀农业期刊、北方优秀期刊、吉林省十佳期刊、吉林省一级期刊。杂志秉持“关注民生，服务三农”的信念，传种菜之经，播科技之火，引致富之路，做农民之友。主要栏目：蔬菜栽培、植物医院、新优品种、保鲜加工、试验报告、工作研究、园林花卉、食用菌专栏、技术创新、菜业资讯等。是蔬菜种植者、种子经销商、生产管理人员、农业院校、农业科技推广部门的重要参考读物和宣传媒体。杂志为月刊，国际标准刊号：ISSN 1672 - 0180，国内统一刊号：CN 22 - 1215/S。邮发代号 12 - 151，每期订价 10 元，总订价 120 元。

地 址：(130033) 长春净月经济开发区千朋路 555 号

联系人：齐心 13504487898 E-mail: jlshucai@163.com 电话：0431 - 86755315 (传真)

《北方园艺》由黑龙江省农业科学院主管，黑龙江省园艺学会、黑龙江省农业科学院主办，是全国自然科学（中文）核心期刊、中国农业核心期刊、全国优秀农业期刊、中国北方优秀期刊、黑龙江省优秀科技期刊、美国化学文摘社（CA）收录期刊、黑龙江省农家书屋推荐目录、2015 年期刊数字影响力 100 强。汇集前沿学术成果，传播先进实用技术，涵盖园艺学的蔬菜、果树、瓜类、花卉、植保等研究领域的新成果、新技术、新品种、新经验。竭诚欢迎全国各地科研院所人员、大专院校师生，各省、市、县、乡、镇农业技术推广人员、农民科技示范户等踊跃订阅。辟有试验研究、研究简报、设施园艺、栽培技术、园林花卉、生物技术、植物保护、贮藏保鲜加工、食用菌、中草药、资源与环境、新品种选育、产业论坛、专题综述、农业经纬、经验交流等栏目。杂志为半月刊，每月 15、30 日出版，单价 15 元，全年 360 元。刊号：ISSN1001 - 0009，CN23 - 1247/S，邮发代号：14 - 150，广告经营许可证号：2301070000009。全国各地邮局均可订阅，或直接向编辑部汇款订阅。

地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部 邮编：150086

电话：0451 - 86674276 信箱：bfyybjb@163.com 网址：www.haasep.cn

《农村大市场》由全国农业高新技术成果产品交流交易中心参与主办，遵循“解读农村经济，繁荣农业产业”的宗旨，更加注重农业新技术、新产品、新品种的宣传报道，内容丰富、信息及时、技术性强、实用性好，是面向广大农村市场的交流性刊物。本刊设有农业要闻、政策要论、行业规范、三农论坛、合作组织、市场纵横、经营之道、企业之窗、良种园地、作物栽培、水肥土壤、植物保护、养殖天地、农机平台、设施园艺、创意农业、资源环境、社会经纬、农村百科等 20 多个栏目。本刊为国际大 16 开，每月下旬出版，全国交流，邮寄费 5 元/本，全年 60 元，请直接与编辑部联系订阅。

汇款地址：北京市圆明园西路 2 号中国农业大学 43 信箱 邮编：100193

收款人：农村大市场杂志社 电话：010 - 62818600 62890276 传真：010 - 62733339

E-mail: nesc@nacc.org.cn nacc@nacc.org.cn QQ:515026068