

微咸水滴灌对绿洲棉田水盐运移特征及棉花产量的影响

郭仁松, 林涛, 徐海江, 崔建平, 马君, 刘志清, 田立文

(新疆农业科学院经济作物研究所, 农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 在南疆绿洲棉田, 以河水为对照(CK), 利用咸水与河水混合方式, 设置矿化度为 3, 5 g/L 的微咸水, 研究微咸水滴灌对棉田水盐运移特征及棉花产量的影响。结果表明: 矿化度为 3, 5 g/L 处理的土壤含水量、含盐量在整个生育期呈上升趋势, 且随矿化度增加而增大, 盛花期(7月21日)前土壤含水量差异不显著, CK 的土壤含盐量最高, 盛花期后土壤含盐量 5 g/L > 3 g/L > CK, 差异显著 ($p < 0.05$)。垂直方向, 土壤深度增加土壤含水量增大, 且随着微咸水矿化度增加土壤含水量呈增大趋势, 不同处理在盛花期以后差异显著; 随土壤深度的增加土壤含盐量呈下降趋势, 滴灌次数越多处理间差异越大, 至盛铃期(8月4日)达显著水平。水平方向, 距离滴头越远土壤含水量越小, 且随着矿化度增加土壤含水量逐渐增大; 3, 5 g/L 土壤含盐量在盛花期前低于 CK, 盛花期后距离滴头越远土壤含盐量下降越小, 且与矿化度呈正相关。与 CK 相比, 3 g/L 皮棉产量下降 2.1%, 差异不显著, 5 g/L 则下降 9.6%, 差异显著, 产量下降主要原因是单株结铃数和单铃重显著下降, 而对衣分影响不显著。因此, 棉花盛花期前可利用微咸水进行滴灌, 且微咸水矿化度不宜超过 3 g/L。

关键词: 微咸水; 水盐运移; 产量; 棉花; 南疆

中图分类号: S275.6; S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)01-0211-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.01.035

Effect of Saline Water Drip Irrigation on Water and Salt Transport Features and Cotton Yield of Oasis Cotton Field

GUO Rensong, LIN Tao, XU Haijiang, CUI Jianping, MA Jun, LIU Zhiqing, TIAN Liwen

(Institute of Economic Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop Physiological Ecology and Tillage of Desert Oasis, Ministry of Agriculture, Urumqi 830091)

Abstract: In south Xinjiang oasis cotton fields, the river water was taken as control (CK), using salt water mixed with water, settings for 3 g/L and 5 g/L saline water, researched on the effect of saline water drip irrigation on water and salt transport features and cotton yield. The results showed that: Soil moisture content and soil salt content of 3 g/L and 5 g/L salinity in the whole growth period increased with the increase of salinity, before full-bloom stage (July 21) there was no significant difference of soil moisture content, but the highest soil salt content was CK, the soil salt content after full-bloom stage was 5 g/L > 3 g/L > CK and its difference was significant ($p < 0.05$). Vertical direction, soil moisture content increased with increasing soil depth, and with the increase of saline water, soil moisture content showed a trend of increase, which had a significant differences between treatment after full-bloom stage. With the increase of soil depth, the soil salt content showed the downtrend, the more times of drip irrigation, the more difference of different treatments, at full-boll stage (August 4) it reached significant level. Horizontal direction, the farther distance of water dropper head, the smaller soil moisture content, and the soil moisture content increased gradually with the increase of salinity. The soil salt content of 3 g/L and 5 g/L was lower than that of CK before full-bloom stage, after full-bloom stage the soil salt content declined along with the distance of water drops head, and was positive correlation with salinity. Lint yield of 3 g/L decreased by 2.1%, no obvious difference, but that of 5 g/L decreased by 9.6%, and there was significant difference. The main reason of declining lint yield was a significant reduction in the boll number per plant and single boll weight, but no significant effect on lint percentage. Therefore, before full-bloom stage cotton could use saline water for irrigation, and saline water salinity should not be more than 3 g/L.

Keywords: saline water; water and salt transport; yield; cotton; south Xinjiang

收稿日期: 2016-09-14

资助项目: 农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室开放课题(25107020-201504); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201503117); 新疆农业科学院条件平台建设项目—作物遗传改良国家重点实验室新疆开放合作基地(XJNKYPT-2016-001)

第一作者: 郭仁松(1982—), 男, 山东德州人, 硕士, 副研究员, 主要从事棉花高产栽培生理生态研究。E-mail: songgr08@163.com

通信作者: 田立文(1965—), 男, 安徽肥东人, 研究员, 主要从事棉花高产栽培生理生态研究。E-mail: tianliwen@163.net

新疆是我国重要的商品棉生产基地,南疆棉区属极度干旱地区,年降雨量小,蒸发量大,缺水是限制该地区农业可持续发展的主要因素。由于南疆棉田盐碱较重,每年冬季或春季需要大量的河水进行压盐碱灌溉,产生的咸水被排入排碱渠,再加上南疆棉区地下水位高,浅层微咸水资源丰富,易开采利用^[1-2]。因此,合理的开发和利用微咸水滴灌是南疆棉区解决棉花生长期干旱缺水的一个重要途径^[3-4]。已有的研究表明^[5-8]:在干旱高温条件下,土壤水分大量蒸散,引起土壤 pH 值升高,使土壤不断碱化,棉花生长缓慢、生育期缩短,从而导致产量和品质下降。在冬小麦上研究表明^[9-10]:与旱作相比,微咸水灌溉有一定的增产作用,小麦用 2.4 g/L 的微咸水灌溉冬小麦产量分别较早作处理增产 22.0%,15.4%,采用 6 g/L 微咸水灌溉只增产 0.1%。而采用微咸水充分灌溉的条件下,灌溉水矿化度与小麦产量呈负相关,随着灌溉水矿化度增加,小麦产量逐渐降低。灌溉水矿化度为 2~3 g/L 时,小麦的产量降低 7%~13%;当采用 3~5 g/L 的微咸水灌溉时,由于受到盐分胁迫加重,对小麦产量影响较大。然而,采用微咸水灌溉的同时增加了土壤盐分,使土壤盐分不断积累。因此,既要满足作物对水分的需求,又要减少土壤盐分积累,使土壤盐分控制在临界值以下,保证作物的正常生长^[11-12]。目前,膜下滴灌技术在新疆农业生产中得到广泛的应用,节水保墒效果显著。膜下滴灌可形成有利于作物根系生长的水盐环境。为干旱地区有效利用微咸水资源提供了有效手段,对于覆膜条件下微咸水利用方面虽然有一定的报道^[13-14],但是干旱区排碱渠微咸水对新疆棉田水盐运移及棉花生长的影响缺乏较系统深入研究,不利于合理开发新疆微咸水资源以及保护绿洲农业的可持续发展。因此,本研究基于新疆膜下滴灌技术,揭示微咸水滴灌棉田水盐运移特征及对棉花产量的影响,为新疆微咸水滴灌技术的提出和推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2015 年 4—10 月在新疆阿瓦提县农科院试验基地进行。试验地土壤为壤土,土壤含有有机质 7.3 g/kg,全氮 0.58 g/kg,水解性氮 112 mg/kg,有效磷 32.5 mg/kg,速效钾 101 mg/kg。试验地 0—10, 10—20, 20—30 cm 土层田间最大持水量为 25.83%, 25.49%, 24.19%。试验基地年均气温 10.4℃,年均降水量 46.7 mm,年均蒸发量 1 890.7 mm,无霜期 211 d,年均日照 2 679 h,≥10℃年积温 4 048℃,前茬作物为棉花。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,以河水为对照

(CK),河水的矿化度为 0.83 g/L,利用河水与排碱渠微咸水混合调节微咸水矿化度,设置微咸水矿化度梯度 3, 5 g/L,合计 3 个处理,重复 4 次,共计 12 个小区。不同矿化度微咸水是采用河水与排碱渠微咸水混合方式,排碱渠水和河水混合是在 2 500 L 塑料罐中进行,小区灌溉量用水表计量。棉花种植模式为一膜 4 行,采用 1.25 m 宽膜覆盖,一膜双管滴灌,于 6 月 25 日棉花初花期进行头水滴灌,以后每隔 7 d 滴灌 1 次,总计滴灌 9 次。供试品种为新陆中 47 号。

1.3 测定指标及方法

在棉花播种前测定不同土层田间持水量,土壤养分基础值。在棉花每次滴水后第 5 天,利用土钻在距离滴灌带滴水水平方向 0, 10, 20 cm,分别钻取垂直深度为 0—10, 10—20, 20—30 cm 的土样,每个处理 9 个样,重复 3 次,取土后测定土壤含水量,利用烘干法测定土壤含盐量。在棉花收获期调查棉铃空间分布,每小区取 50 铃测定棉花单铃重及衣分,并实收小区产量计产。数据分析采用 Excel 2003、DPS 7.05 进行分析,方差分析均为 5% 水平,采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 微咸水滴灌对土壤含水量的影响

2.1.1 微咸水滴灌对棉田 0—30 cm 土层土壤含水量的影响 微咸水滴灌后不同处理棉田 0—30 cm 土层土壤含水量整个生育期整体变化趋势基本一致(如图 1 所示),从初花期(6 月 25 日)第 1 次滴水至盛花期(7 月 21 日),土壤含水量呈缓慢上升,之后略有下降,再上升的变化趋势。7 月 28 日 CK 土壤含水量下降幅度较大,其次是 3 g/L, 5 g/L 下降幅度最小,且一直到棉花吐絮期土壤含水量均高于 3 g/L 和 CK。这与棉花根系对水分吸收量有关,微咸水矿化度提高对棉花产生低盐胁迫,使棉花对水分的吸收利用能力降低,而 CK 处理棉花生长正常,这是土壤含水量降低的主要原因。

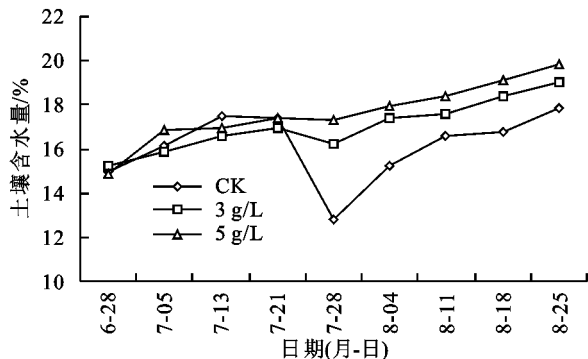


图 1 微咸水滴灌对棉田 0—30 cm 土层土壤含水量的影响

2.1.2 微咸水滴灌对滴头正下方不同土层土壤含水量变化的影响 由图 2 可知,随着土壤深度的增加,滴头正下方不同土层土壤含水量在棉花生长期间的

波动性逐渐减小。不同深度土壤含水量变化趋势基本一致,随生育时期变化呈先缓慢增长后快速降低再缓慢增长的变化趋势,在 7 月 28 日土壤含水量最低,0—10 cm 土壤含水量变化幅度较大。从不同处理来看,5 g/L 处理在 7 月 21 日前土壤含水量均高于 CK 和 3 g/L,而 7 月 28 日各处理到达低点时,3 g/L 高于其他处理,并且土壤含水量回升速率较快,在 8 月 11 日达到一个小高峰。说明微咸水灌溉前期,矿化度高使土壤含水量略有提高,在 0—10 cm 处表现更显著,中后期以 3 g/L 较高,在 7 月 28 日至 8 月 11 日期间表现显著,而在 20—30 cm 深度时,均以 3 g/L 处理较高。

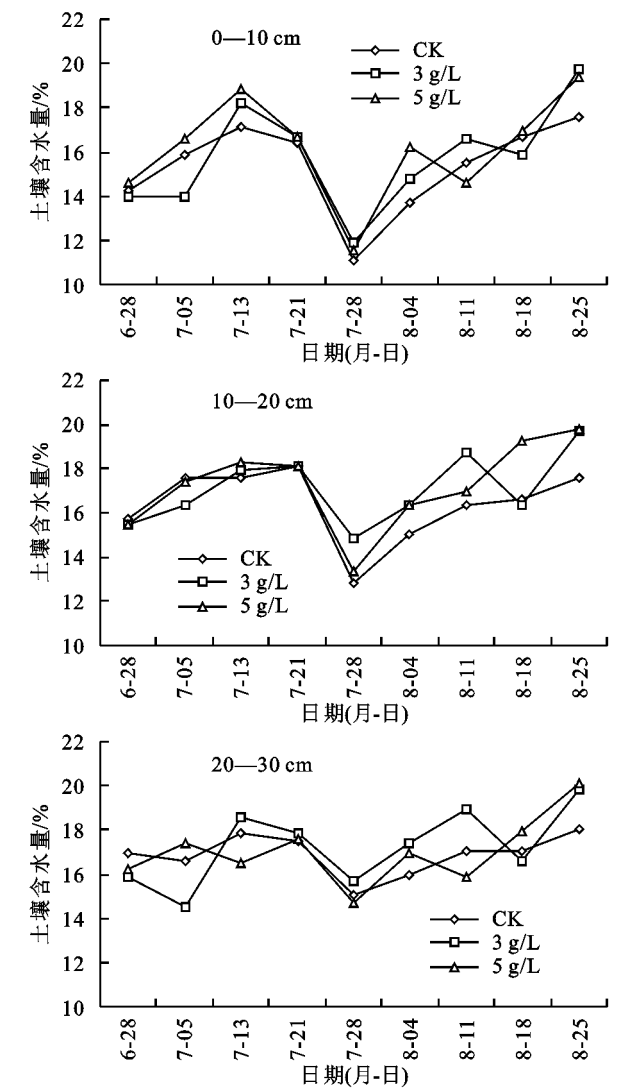


图 2 微咸水滴灌对滴头正下方不同土层土壤含水量的影响

2.1.3 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 10 cm 处不同土层土壤含水量变化的影响 由图 3 可知,距滴头水平方向 10 cm 处不同土层土壤含水量总体变化趋势与滴头处的基本一致。但在 7 月 28 日 3 g/L、5 g/L 处理与 CK 之间差异显著,不同深度土壤均是 3 g/L 土壤含水量最高,特别 7 月 28 日至 8 月 11 日土壤深度

20—30 cm 表现明显,而 0—10 cm 和 10—20 cm 土壤含水量则在 8 月 11 日出现较大差异。5 g/L 在收获期土壤含水量高于其他处理。这是由于滴灌水的矿化度偏高,对棉花根系造成低盐胁迫,使棉花根系吸收水分减少。

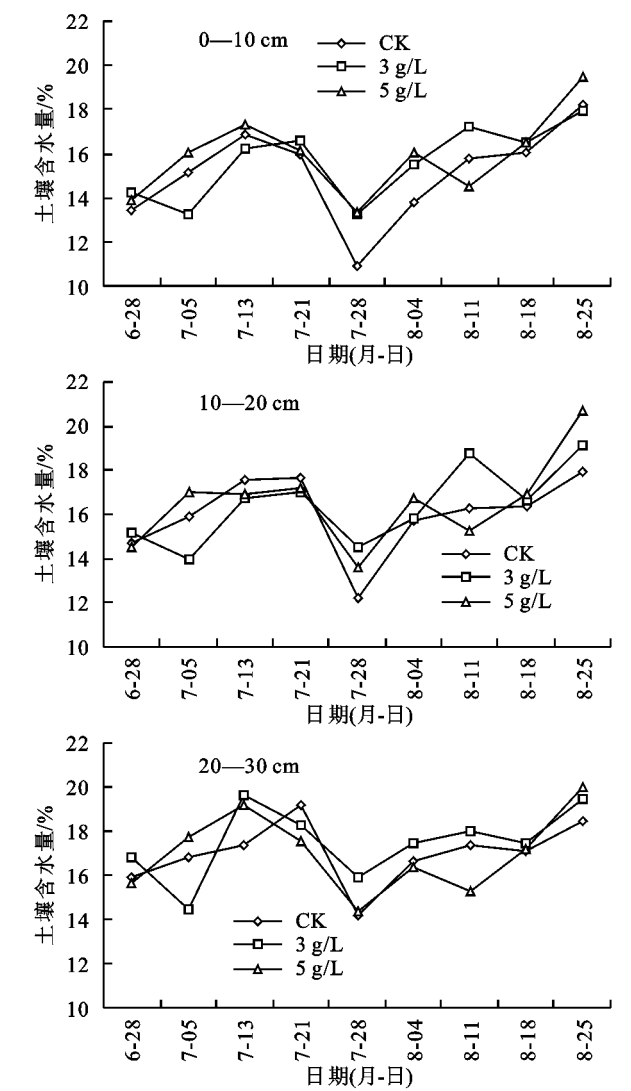


图 3 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 10 cm 处不同土层土壤含水量的影响

2.1.4 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 20 cm 处不同土层土壤含水量变化的影响 由图 4 可知,3 g/L 处理土壤含水量在 7 月 5 日和 7 月 13 日均显著低于 CK 和 5 g/L,7 月 21 日达到一个阶段峰值后,出现明显下降过程,之后缓慢上升,这一时期棉花需水量和土壤蒸发量显著增大是土壤含水量下降的主要原因。此阶段 3 g/L 处理土壤含水量较高,以 0—10,10—20 cm 的表现明显。

2.2 微咸水滴灌对土壤含盐量的影响

2.2.1 微咸水滴灌对棉田 0—30 cm 土层土壤含盐量的影响 棉花盛花期(7 月 21 日)之前 CK 土壤含盐量高于 3 g/L,5 g/L,之后却表现为 5 g/L>3 g/L>CK(如图 5 所示),在第 1 次滴灌后 3 g/L,5 g/L 处

理土壤含盐量分别比 CK 降低 16.9%, 15.3%, 第 2 次滴灌后土壤含盐量逐渐增加, 第 4 次滴灌后土壤含盐量呈快速增加趋势, 且差异逐渐达到显著水平, 而 CK 在整个滴灌周期都稳定在一定范围内。表明在棉花初花期至盛花期滴灌微咸水, 土壤含盐量不会显著增加, 而后期持续滴灌微咸水土壤含盐量则会不断增加。土壤含盐量增大不利于棉花根系对水分的吸收, 影响棉株的生长, 最终导致产量品质下降。

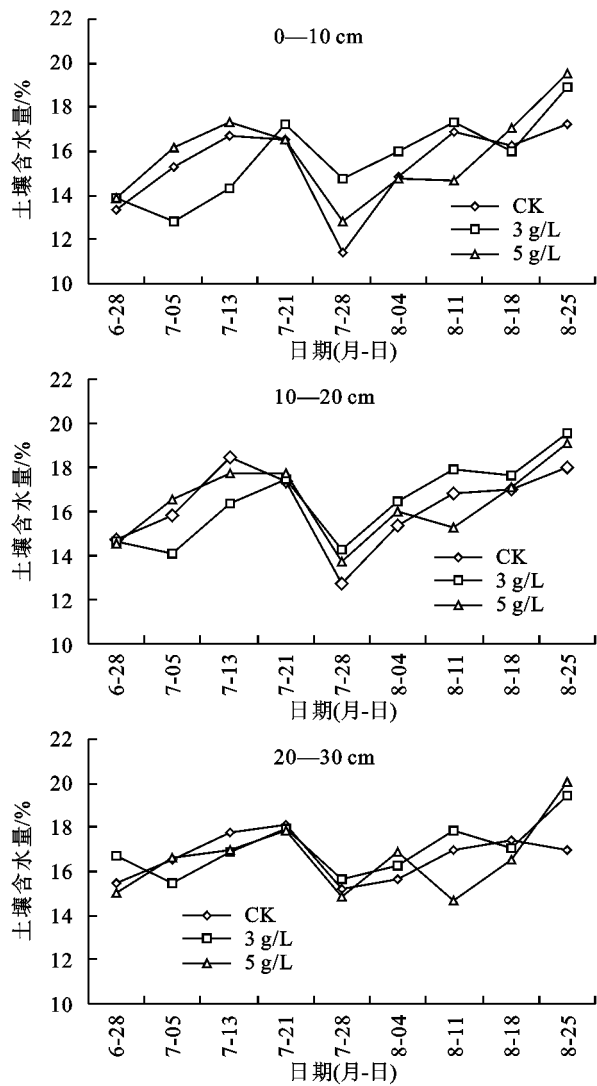


图 4 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 20 cm 处不同土层土壤含水量的影响

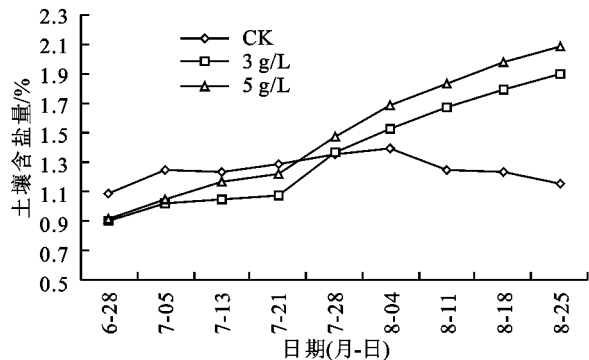


图 5 微咸水滴灌对棉田 0—30 cm 土层土壤含盐量的影响

2.2.2 微咸水滴灌对滴头下方不同土层土壤含盐量变化的影响 由图 6 可知, 6 月 28 日(第 1 次滴灌 5 d 后)不同处理 0—10 cm 土壤含盐量差异显著, CK 土壤含盐量达到 2.83%, 3 g/L 和 5 g/L 处理分别比 CK 降低 20% 和 36.5%。7 月 5 日(第 2 次滴灌 5 d 后)CK 和 3 g/L 土壤含盐量迅速下降, 5 g/L 下降较缓慢。7 月 13 日(第 3 次滴灌 5 d 后), 土壤含盐量开始上升, 至 8 月 11 日达到盐分积累高点, 此后迅速下降, 最后一水又迅速上升。10—20, 20—30 cm 变化趋势与 0—10 cm 基本一致, 但 CK 在 7 月 5 日至 8 月 4 日稳定在较低水平, 表明滴灌头水能短时间内提高土壤含盐量, 但随着灌溉次数增加, 微咸水的积盐效应逐渐显现, 微咸水矿化度越高土壤积盐效果越明显, 而 CK 在棉花盛花期、盛铃期均保持较低水平。

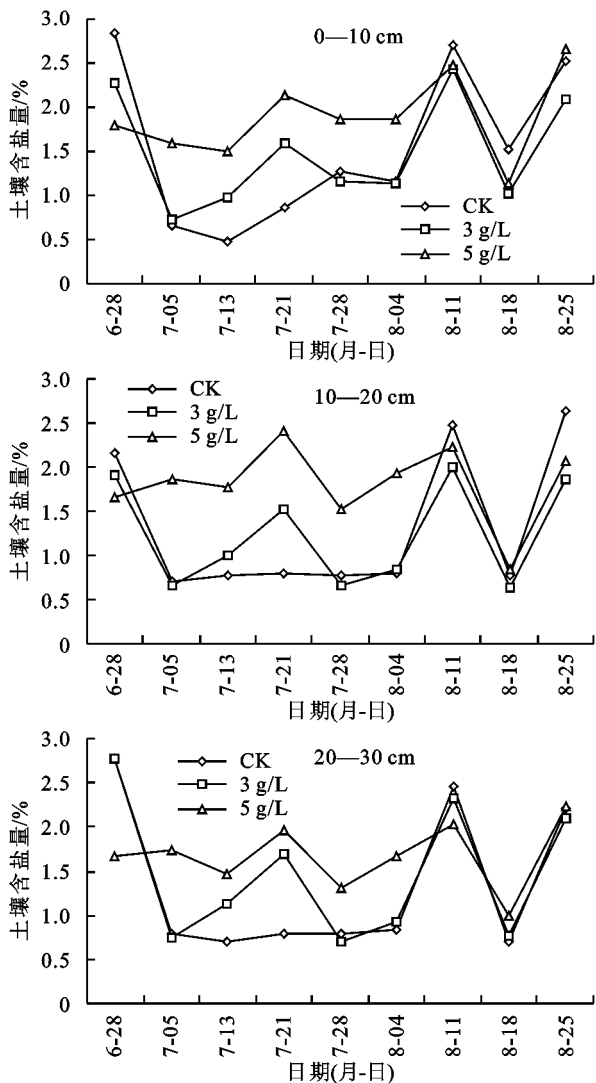


图 6 微咸水滴灌对滴头正下方不同土层土壤含盐量的影响

2.2.3 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 10 cm 处不同土层土壤含盐量变化的影响 图 7 显示距滴头水平方向 10 cm 处不同土层土壤含盐量变化趋势与滴头处基本一致, 第 1 次滴灌后 0—10, 10—20 cm 土壤

含盐量高于滴头处,但第 2 次滴灌后土壤含盐量迅速下降,特别是 3 g/L 和 5 g/L 处理比滴头处下降显著。CK 土壤含盐量在花铃期也呈上升趋势。

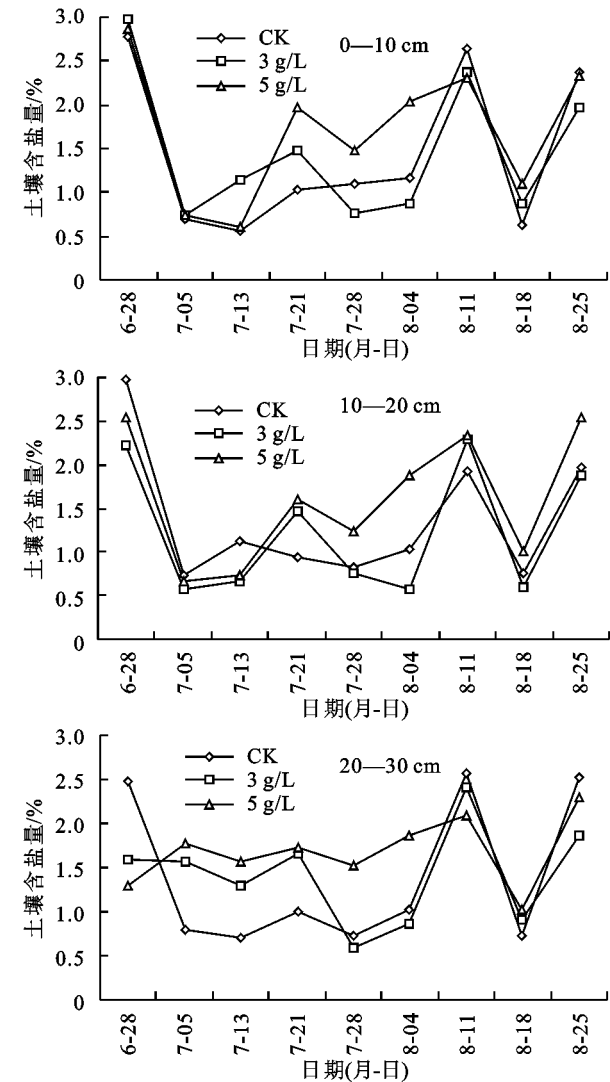


图 7 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 10 cm 处不同土层土壤含盐量的影响

2.2.4 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 20 cm 处不同土层土壤含盐量的影响 图 8 显示距滴头水平方向 20 cm 处不同土层土壤含盐量在棉花整个灌水期变化趋势与滴头处土壤含盐量变化基本一致,但土壤含盐量高于滴头处,说明盐分随水分向滴头外侧转移趋势。从不同深度土壤含盐量来看,5 g/L 处理使 20—30 cm 土壤含盐量大幅增加,在棉花生长关键时期花

铃期显著高于其他处理,至初絮期在 0—10,10—20 cm 深度 3 g/L 与 CK 土壤含盐量无显著差异,而与 5 g/L 差异显著,20—30 cm 各处理差异不显著。

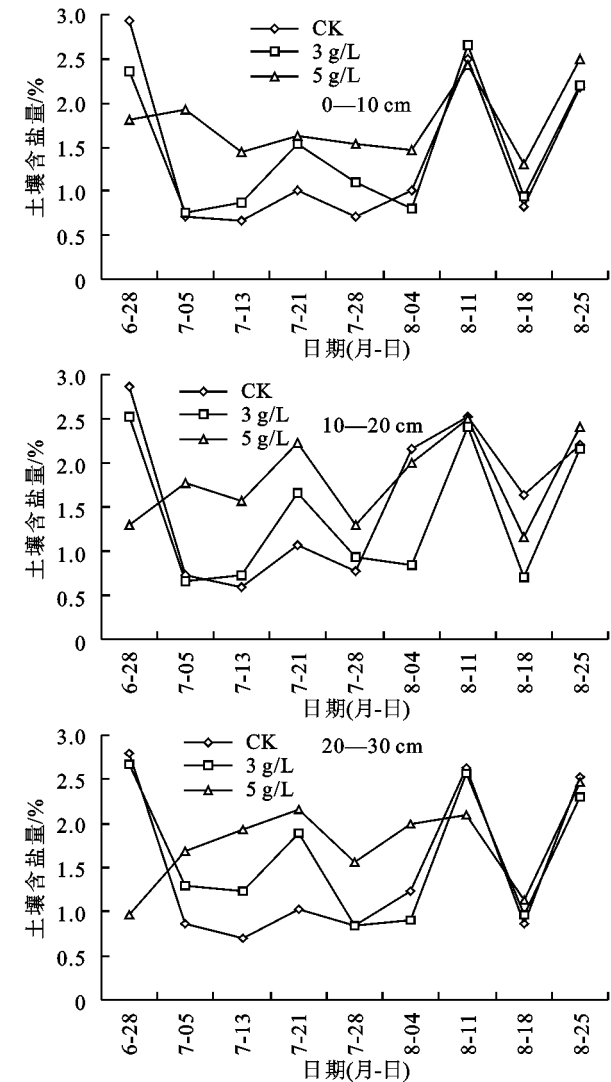


图 8 微咸水滴灌对距离滴头水平方向 20 cm 处不同土层土壤含盐量的影响

2.5 微咸水滴灌对棉花产量及产量因子的影响 由表 1 可知,子棉产量随微咸水矿化度增加而降低,差异达到显著水平,并且矿化度越大,子棉产量下降程度越大。从产量构成因子来看,单株铃数是与子棉产量呈正相关,单铃重则呈负相关,而衣分随着矿化度的增加有下降趋势,3 g/L 时衣分无变化,矿化度继续增大衣分则下降,产量相关性低于单铃重。

表 1 微咸水滴灌对棉花产量及产量因子的影响

处理	收获株数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	单株铃数/个	单铃重/g	衣分/%	子棉产量/(kg·hm ⁻²)	皮棉产量/(kg·hm ⁻²)
CK	19.6a	5.8a	6.3a	46.3a	7207.8a	3338.4a
3 g/L	19.4a	5.6b	6.5b	46.3a	7052.8a	3267.8a
5 g/L	19.5a	5.0c	6.7c	45.8a	6596.2b	3019.1b

注:不同小写字母表示 5% 水平差异显著性。

3 讨论

新疆棉田膜下滴灌不仅可以节水,减少地面蒸发,提高水分利用率,还能淡化根区盐分,为棉花生长提供

良好的生长环境^[15]。研究表明^[16],长期采用微咸水灌溉棉田可导致土壤盐分上升,膜下滴灌条件下盐分随水运移至根区外围或深层土壤中,由于膜间蒸发引起

的水分上移或水平移动,在膜间裸地或膜内形成积盐区,这样可减轻对棉花根系生长的影响。本研究结果与前人研究基本一致,水平方向上距离滴头越远,土壤含水量降低,土壤含盐量增大,也就是在棉花两行中间距离滴头较远的地方形成积盐区,使棉花根区土壤含盐量降低。而垂直方向上盐分随水分主要向深层运移趋势,这利于棉花根系的生长。

微咸水矿化度增加,随水带入土壤中的盐分明显增加,而此时微咸水对土壤上层的盐分有淋洗作用,形成一个低盐区域,利于棉花根系的生长^[17]。当灌溉微咸水矿化度低于 3 g/L 时,作物产量无显著变化,而大于 3 g/L 时,土壤的入渗能力减小,脱盐效果降低,盐分在土壤表层积累后,不利于土壤水分的蒸发,而盐分在土壤不断积累,抑制棉花根系对水分和养分的吸收,导致产量降低^[18-20]。本研究发现 3 g/L 与 5 g/L 处理在盛花期前,土壤含盐量略低于 CK,前期滴灌并未造成盐分在根区土壤中大量积累,一定程度上缩短了微咸水对棉花生长影响时间,最终 3 g/L 与产量差异不显著,当微咸水矿化度达到 5 g/L 时,产量下降,而造成产量下降的主要原因是单株铃数和单铃重显著降低,而棉花衣分无明显变化。

4 结论

(1)微咸水滴灌可改变棉田土壤含水量和土壤含盐量,当微咸水矿化度增大土壤含水量和土壤含盐量呈增大趋势,滴头垂直方向随着土壤深度增加土壤含水量增大,土壤含盐量有减小趋势,滴头水平方向随着距离增大土壤含水量逐渐减小,而土壤含盐量增大。由此可见,棉田滴灌微咸水后,盐分随水向周围扩散,水平方向主要积聚在距离滴头较远的湿润锋处,垂直方向由于地面蒸腾作用将深层的盐分逐渐向上运移,这样在棉花根区形成一个脱盐区,利于棉花根系生长。

(2)微咸水矿化度为(或低于)3 g/L 时,在前 5 次(盛花期)滴灌微咸水后,土壤含盐量并未高于 CK,由此可推断,微咸水矿化度为(或低于)3 g/L,且在棉花盛花期前滴灌,棉田土壤含盐量不会显著增加,对棉花产量也无显著影响。这为南疆绿洲棉区微咸水滴灌技术的发展提供理论支持和实践基础。

参考文献:

[1] 侯振安,李品芳,龚江,等.膜下滴灌条件下不同土壤盐分和施氮量对棉花生长的影响[J].土壤通报,2007,38(4):681-686.

[2] 王振华,吕德生,温新明,等.新疆棉田地下滴灌土壤水盐运移规律的初步研究[J].灌溉排水学报,2005,24(5):22-25.

[3] 王国栋,褚贵新,刘瑜,等.干旱绿洲长期微咸地下水灌

溉对棉田土壤微生物量影响[J].农业工程学报,2009,25(11):44-48.

[4] 侯振安,王艳娜,龚江,等.干旱区咸水滴灌土壤盐分的分布与积累特征[J].土壤通报,2008,39(1):16-24.

[5] 陈素英,邵立威,孙宏勇,等.微咸水灌溉对土壤盐分平衡与作物产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(8):1049-1058.

[6] 胡文明.微咸水灌溉对作物生长影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2007,26(1):86-88.

[7] Kiani A R, Mirlatifi S M. Effect of different quantities of supplemental irrigation and its salinity on yield and water use of winter wheat (*Triticum Aestivum*) [J]. Irrigation and drainage, 2012, 61(1): 89-98.

[8] Ahmad S, Khan N, Iqbal M Z, et al. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Asian Journal Plant Sciences, 2002, 1(6): 715-719.

[9] Gao L, Chen S Y, Hu C S, et al. Study on consumption of water and fertilizer of winter wheat under sprinkling irrigation condition [J]. Journal of Irrigation and drainage, 2005, 24(5): 22-24.

[10] 郑春莲,曹彩云,李伟,等.不同矿化度咸水灌溉对小麦和玉米产量及土壤盐分运移的影响[J].河北农业科学,2010,14(9):49-55.

[11] 杨树青,史海滨,杨金忠.微咸水灌溉对土壤环境效应的预测研究[J].农业环境保护,2009,28(5):961-966.

[12] 王丹,康跃虎,万书勤.微咸水滴灌条件下不同盐离子在土壤中的分布特征[J].农业工程学报,2007,23(2):83-87.

[13] 王全九,王文焰,吕殿青,等.膜下滴灌盐碱地水盐运移特征研究[J].农业工程学报,2000,16(4):54-57.

[14] 王春霞,王全九,刘建军,等.微咸水滴灌条件下土壤水盐分布特征试验研究[J].干旱地区农业研究,2008,28(6):31-35.

[15] 李莎,何新林,王振华,等.微咸水灌溉对膜下滴灌棉花土壤盐分的影响试验[J].武汉大学学报,2010,43(5):571-575.

[16] 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.

[17] 辛承松,董合忠,唐薇,等.棉花盐害与耐盐性的生理和分子机理研究进展[J].棉花学报,2005,17(5):309-313.

[18] 陈丽娟,冯起,王昱,等.微咸水灌溉条件下含黏土夹层土壤的水盐运移规律[J].农业工程学报,2012,28(8):44-51.

[19] Singh R B, Chauhan C P S, Minhas P S. Water production functions of wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with saline and alkali waters using double-line source sprinkler system [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(5): 736-744.

[20] 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.