

# 不同灌溉制度对南疆棉田水盐分布及作物生长的影响

高福奎<sup>1,2</sup>, 王璐<sup>1,4</sup>, 李小刚<sup>3</sup>, 宁慧峰<sup>1</sup>, 韩其晟<sup>1</sup>, 刘浩<sup>1\*</sup>, 冯泉清<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所/农业农村部作物需水与调控重点开放实验室, 河南 新乡 453002;

2. 中国农业科学院 研究生院, 北京 100081; 3. 新疆生产建设兵团第一师水文水资源管理中心,

新疆 阿拉尔 843300; 4. 塔里木大学 水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔 843300)

**摘要:**【目的】探究不同春灌策略下膜下滴灌棉田生育期适宜灌溉定额。【方法】通过大田小区试验, 设计播前滴水春灌(春灌量 90 mm)和常规春灌(春灌量 180 mm) 2 种春灌模式, 每种模式下在棉花生育期设计 3 种灌水定额(W1: 30 mm、W2: 37.5 mm、W3: 45 mm)处理, 研究春灌模式与灌水定额对膜下滴灌棉田土壤水盐动态变化、棉花生长、干物质积累、产量和水分利用效率的影响。【结果】与常规春灌相比, 滴水春灌能够保证棉花苗期出苗所需的土壤水分, 且能显著提高生育期 0~80 cm 土层的土壤含水率; 与苗期相比, 滴水春灌棉花生育期 0~40 cm 土层出现积盐区, 蕾期和花铃期 0~40 cm 土层电导率分别增加了 7.84% 和 8.75%, 滴水春灌生育期末 0~100 cm 土层土壤电导率较常规春灌增加 8.37%; 不同灌水定额下 0~100 cm 土层土壤电导率均呈增加趋势, 但随着灌水定额的增加土壤剖面电导率显著降低, W1、W2、W3 处理积盐率分别为 30.11%、12.12% 和 11.11%; 随着灌水定额的增加, 株高和茎粗显著提升, 干物质积累量明显增加, 产量增加, 而灌溉水利用效率(WUE<sub>i</sub>)减小, 水分利用效率(WUE<sub>ET</sub>)增大; 在 W1、W3 灌水定额下, 不同春灌模式间产量和水分利用效率无显著差异, 但在 W2 灌水定额下, 不同春灌模式间产量和水分利用效率差异显著。【结论】从棉花产量和水分利用效率方面综合考虑, 滴水春灌模式下, 灌水定额推荐为 45 mm (W3); 常规春灌模式下, 灌水定额为 37.5 mm (W2), 全生育期灌水 10 次, 可以获得合理的水盐分布与脱盐效果, 籽棉产量为 7 207.81 kg/hm<sup>2</sup>, 是实现抑盐、控水、高产的适宜棉花灌溉制度。

**关键词:** 滴水春灌; 覆膜棉田; 水盐分布; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S274.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022404

OSID:



高福奎, 王璐, 李小刚, 等. 不同灌溉制度对南疆棉田水盐分布及作物生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(1): 54-63.  
GAO Fukui, WANG Lu, LI Xiaogang, et al. Effects of Spring Irrigation on Water and Salt Distribution in Soil and Cotton Growth in Southern Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(1): 54-63.

## 0 引言

【研究意义】新疆是我国重要的棉花生产基地, 南疆棉花种植面积达到新疆种植总面积的 67% 以上<sup>[1]</sup>, 棉花是南疆主要的耗水作物之一<sup>[2]</sup>。由于独特的地理气候条件造成当地水资源短缺<sup>[3-4]</sup>, 水资源匮乏和土壤盐渍化是限制棉花产能提升的 2 大重要资源环境问题<sup>[5-9]</sup>。为了实现抑盐增产, 需在非生育期进行冬春灌以达到淋洗盐分的目的<sup>[10]</sup>。传统地面灌方式的冬春灌虽然对淋洗和控盐具有积极作用, 但灌溉效率低下, 耗水量较大, 棉田全年耗水量没有实质性下降, 节水效果并不显著。在南疆农业用水量配比减少的趋势下和棉花生育期节水潜力难以发掘的情况下, 探索免冬灌、滴水春灌和干播湿出等高效节水灌溉技术对南疆棉花产业的可持续发展具有重要生产实际意义。

【研究进展】土壤盐渍化问题长期以来是制约着农业发展的重要因素<sup>[11]</sup>, 国内外学者对于土壤盐渍化的发生与发展规律做了大量的研究。非生育期灌溉淋洗能有效减少生育期主根区土壤含盐量<sup>[12]</sup>。然而, 不合理的冬春灌淋洗方式使 0~80 cm 土层内积盐脱盐交替过于频繁, 会造成不必要的水资源浪费<sup>[13-14]</sup>。为了解决大定额的冬春灌溉引起的地下水位上升和土壤持续退化等问题, 免春灌、免冬灌等非生育期棉田节水技术应运而生<sup>[14]</sup>。适时适量春灌是改良利用盐碱地的有效措施<sup>[15]</sup>, 春灌使土壤保持一定的湿度, 起到固土保墒的作用, 为作物播种创造有利条件<sup>[16]</sup>, 促使种子发芽等方面效果显著<sup>[17]</sup>, 有效提高棉花产量<sup>[18]</sup>。王兴鹏<sup>[14]</sup>研究发现, 在不同冬春灌模式中, 当淋洗定额相同时, 春灌处理棉花出苗率和产量明显高于冬春全灌和冬灌处理。免冬春灌后的干播湿出技术节省冬春灌洗盐压碱水 5 400~5 850 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 棉花增产 6%~34.95%<sup>[16]</sup>。同样, 北疆免冬春灌的干播湿出技术除了能够显著降低棉田灌溉用水, 同时还具有提高地温和促进棉种萌发等优势<sup>[19-20]</sup>。但有研究<sup>[21]</sup>表明干播

收稿日期: 2022-07-20

基金项目: 国家棉花产业技术体系建设专项资金项目(CARS-15-13)

作者简介: 高福奎(1997-), 男, 硕士研究生, 主要从事作物高效用水理论与技术研究。E-mail: 1083825809@qq.com

通信作者: 刘浩(1977-), 男, 研究员, 主要从事作物高效用水理论与技术研究。E-mail: liuhao-914@163.com

湿出技术在南疆高蒸散区的盐碱棉田会出现盐分表聚、土壤板结等问题，严重影响棉田的出苗，造成棉花产量的显著降低。因此，适当的春灌在南疆仍然较为重要。【切入点】南疆一师水利局推出的免冬灌“滴水春灌”模式正在进行试点研究，并计划逐步推广，但是关于膜下滴灌棉花的研究成果大多针对有冬春灌情况，而采用免冬春灌后的土壤水盐环境不同于常规的冬春灌，对于该模式下各生育阶段土壤水盐时空变化规律及积脱盐规律研究较少<sup>[22]</sup>，尤其缺乏将淋洗定额-水盐动态-棉花生长作为整体考虑的研究。【拟解决的关键问题】为此，以南疆棉田为研究对象，采用滴水春灌模式，研究棉田土壤水盐运移规律及棉花生长、干物质积累、产量和水分利用效率，探究滴水春灌模式能否在保证棉花产量的前提下持续实施。研究成果旨在为促进南疆地区农业生态环境良性循环、棉田灌溉水高效利用和土壤盐渍化防治提供理论基

础和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验于 2021 年 4—10 月在新疆生产建设兵团一师水利局十团的灌溉试验站进行（81°17'56.52"E，40°32'36.90"N，海拔 1 014 m）。该站位于塔里木河流域附近的平原荒漠绿洲区内，试验区属暖温带极端大陆性干旱荒漠气候，春季常伴有大风浮尘，夏季天气酷热，干旱少雨，光照充足，蒸发强烈，昼夜温差较大。多年平均气温在 11.3℃，积温 3 450~4 432℃，试验地为砂质壤土，土壤透气性良好，地下水埋深大于 3 m，该区光热资源丰富，农业为纯灌溉农业，试验地土壤基本物理参数见表 1，土壤粒径采用国际制土壤质地分级标准。

表 1 土壤基本物理参数

Table 1 Basic physical parameters of soil

土层/cm	黏粒/%	粉粒/%	砂粒/%	土壤质地	EC/(mS cm <sup>-1</sup> )	饱和含水率/(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	田间持水率/(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	干体积密度/(g cm <sup>-3</sup> )
0~20	0.37	17.05	82.58	砂质壤土	3.33	0.24	0.17	1.63
20~40	0.2	12.95	86.85	砂质壤土	3.77	0.26	0.17	1.60
40~60	0	5.06	94.94	砂质壤土	3.46	0.27	0.18	1.58
60~80	0.24	19.17	80.59	砂质壤土	3.38	0.28	0.21	1.57
80~100	0.26	20.63	79.11	砂质壤土	2.9	0.29	0.19	1.54

### 1.2 试验设计

试验设置非生育期常规春灌(C)和滴水春灌(D) 2 种免冬灌春灌模式，其中 C 模式于播种前 1 周春灌结束，灌溉定额为 180 mm；D 模式为播种前预先铺设滴灌带并覆膜，然后通过滴灌方式进行播前造墒驱盐灌溉，灌溉定额为 C 处理的 50% (90 mm)，于播种前 3 d 灌水结束。每种春灌模式生育期内分别设置 3 个灌水水平，灌水定额分别为 30 mm (W1)、37.5 mm (W2)、45 mm (W3)，共设置 6 个处理，采用等量灌溉，第 1 次灌溉日期为 6 月 13 日，蕾期 (6 月 4—31 日) 和花铃期 (7 月 1 日—8 月 19 日) 灌水周期分别为 10 d 和 7 d，生育期共灌水 10 次，最后 1 次灌溉日期为 8 月 19 日。每个处理设置 3 个重复，共 18 个小区，小区面积为 70 m<sup>2</sup>，相邻小区间设置隔离带，避免水分相互渗透影响试验结果。按照裂区设计进行田间布置 (表 2)。

### 1.3 种植方式与农艺措施

试验供试棉花品种为“中棉 113”，棉花于 4 月 9 日播种，7 月 27 日打顶，10 月 13 日收获，生育期

累积降水量为 75.8 mm。试验采用机采棉种植模式，1 膜 3 带 6 行滴灌带铺设方式 (图 1)，行距 (66+10) cm，播种密度为 24 万株/hm<sup>2</sup>。试验用水为井水 (矿化度为 2.18 g/L)，水表量测灌水量，所用的滴灌设备配有自动调压泵、施肥罐等设备，滴灌带为内镶贴片式滴灌带，规格为  $\Phi 16$ ，滴头流量为 2.2 L/h，滴头间距 30 cm。播种前施用复合肥 ( $\omega(N) : \omega(P_2O_5) : \omega(K_2O)$  为 18 : 16 : 15) 1 200 kg/hm<sup>2</sup>，生育期共随水滴施棉花专用肥 ( $\omega(N) : \omega(P_2O_5) : \omega(K_2O)$  为 18 : 12 : 13) 1 200 kg/hm<sup>2</sup>，喷施农药等均按当地农艺措施进行。

表 2 试验设计

Table 2 Experimental design

春灌处理	灌水水平	春灌定额/mm	灌水定额/mm
滴水春灌 (D)	W1	90	30
	W2	90	37.5
	W3	90	45
常规春灌 (C)	W1	180	30
	W2	180	37.5
	W3	180	45

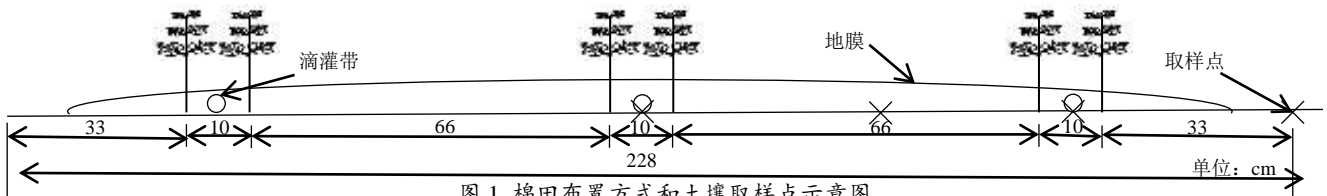


图 1 棉田布置方式和土壤取样点示意图

Fig.1 Cotton planting pattern and soil sampling sites

## 1.4 测定项目与方法

### 1.4.1 土壤含水率

土壤含水率采用取土烘干法测定。于每次灌水前及各生育阶段始末取土，取土位置为膜间中央、边行滴灌带下、膜中心、中间行滴灌带下 4 处（图 1），取样深度分别为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80、80~100 cm，分别代表 10、20、30、40、60、80、100 cm 处的试验结果。

棉花耗水量 ( $ET_a$ , mm) 采用水量平衡公式进行计算，计算式为：

$$ET_a = I + P + U - R_f - H + (W_0 - W_1), \quad (1)$$

式中： $I$  为灌水量 (mm)； $P$  为降雨量 (mm)； $U$  为地下水补给量 (mm)，该试验区地下水埋藏较深，可忽略不计； $R_f$  为地表径流量 (mm)，试验区地势平坦，土质为沙壤土，且年均降雨量小，故  $R_f$  近似为 0； $H$  为深层渗漏量 (mm)，计算方法为灌水或降水前 80 cm 土层内土壤有效含水量 (mm) + 灌水量或降水量 (mm) - 田间持水量 (mm) [22]； $W_0$ 、 $W_1$  分别为该时段初期和时段末期的土壤储水量 (mm)。

### 1.4.2 土壤含盐量

土壤含盐量采用电导率值表征，取样方式同土壤含水率。将土样烘干碾碎，称取过 1 mm 筛的土样 20 g 于三角瓶中，加入 100 mL 蒸馏水，振荡 10 min，静置 15 min 后用滤纸过滤，制成土水质量比为 1:5 的土壤水浸提液。用 DDSJ-308A 型（上海仪电）便携式电导率仪测定浸提液电导率  $EC_{1:5}$ 。脱盐率计算式为：

$$S = (EC_0 - EC_1) / EC_0 \times 100\%, \quad (2)$$

式中： $S$  为脱盐率 (%)； $EC_0$  为土壤初始电导率 (mS/cm)； $EC_1$  为试验中所取土样电导率 (mS/cm)。

当  $S > 0$  时，表示土壤脱盐；当  $S < 0$  时，表示土壤积盐；当  $S = 0$  时，土壤积盐量与脱盐量相等，表示盐分平衡。

### 1.4.3 生长发育指标

从棉花进入蕾期开始，在每个小区内边行和中间行各标记 3 株棉花，每 10 天测量 1 次株高和茎粗。其中株高采用直尺测量，茎粗采用“十字”交叉法，在地上 2 cm 处用游标卡尺测量。干物质量采用破坏

性取样，每个处理随机选择 6 株有代表性的植株，按茎、叶和生殖器官分离后分别测量其鲜质量，之后放入 105 °C 的烘箱杀青 30 min，然后在 75 °C 条件下烘干至恒质量后分别测其干物质量。

### 1.4.4 产量和水分利用效率

停止灌水后，在棉花吐絮量超过 80% 时进行测产，在各小区随机挑选 2.28 × 2.93 m 大小的样方，称量吐絮籽棉产量，并记录株数、铃数、余桃、百铃质量等产量构成指标，余桃按照 0.75 倍的单铃质量计算理论产量 [23]。WUE<sub>ET</sub> (kg/m<sup>3</sup>) 和 WUE<sub>l</sub> (kg/m<sup>3</sup>) 计算式为：

$$WUE_{ET} = 0.1y / ET_a, \quad (3)$$

$$WUE_l = 0.1y / I, \quad (4)$$

式中： $y$  为籽棉产量 (kg/hm<sup>2</sup>)； $ET_a$  为棉田在生育期内的耗水量 (mm)； $I$  为生育期内对棉田的灌溉水补给量 (mm)；0.1 为单位换算系数。

## 1.5 数据分析

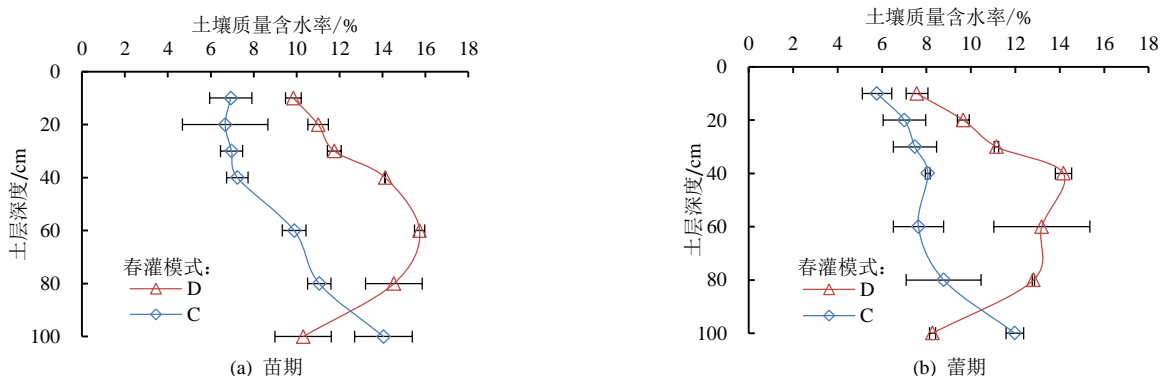
采用统计软件 SPSS 17.0 进行试验数据双因素方差分析，并运用 LSD 法对各试验处理间差异进行多重比较 ( $P < 0.05$ )，采用 Excel 2010、AutoCAD 2014 等软件进行分析作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 生育期土壤含水率变化特征

#### 2.1.1 不同春灌模式对棉田土壤含水率的影响

不同春灌模式下棉花生育期内 0~100 cm 土壤水分动态变化如图 2 所示。随土层深度增加，C 处理土壤含水率呈逐渐增加趋势，而 D 处理呈先增加后减小的趋势。全生育期 0~80 cm 土层深度 D 处理土壤含水率显著高于 C 处理，且 40~60 cm 处差异最大，而 80~100 cm 土层土壤含水率则表现为 C 处理 > D 处理。2 种春灌模式生育期 0~100 cm 土层平均含水率整体呈蕾期减小，花铃期逐渐增大，吐絮期又逐渐减小的趋势。D 处理 40~60 cm 土层平均土壤含水率苗期达到最大，为 14.92%，而后在生育期呈先减小再增大，在吐絮期又减小的变化规律，C 处理 40~80 cm 土层平均土壤含水率从苗期开始逐渐减小，至吐絮期达到最小，减少了 1.81%。



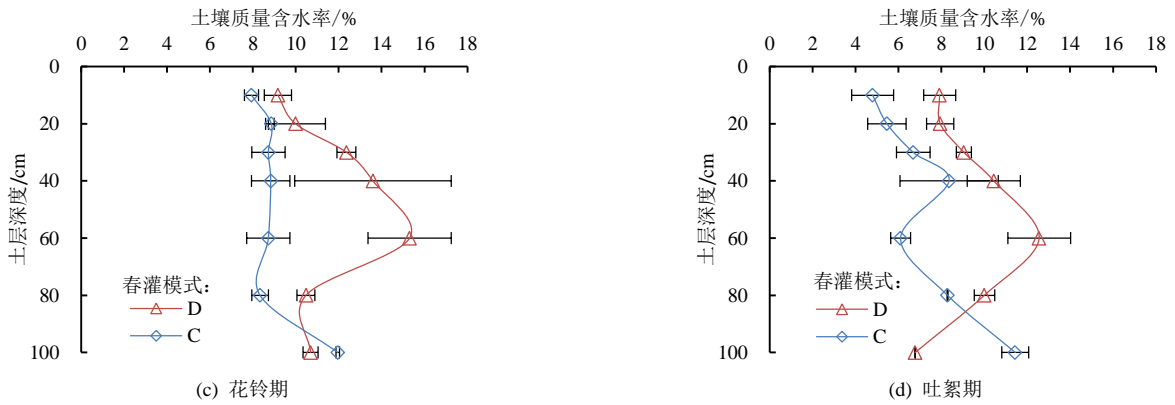


图2 不同春灌模式下的土壤含水率变化特征

Fig.2 Variation characteristics of soil moisture content under different spring irrigation modes

2.1.2 不同灌水定额对棉田土壤含水率的影响

图3为各灌水处理在不同生育期土壤含水率剖面分布图。从图3可以看出，0~100 cm 土层平均土壤含水率整体变化趋势为随灌水定额的增加而增加，随土层深度的增加呈先增加后减少的趋势。各生育阶段 0~60 cm 土层土壤含水率均表现为随灌水定额的

增大而增大，说明上层土壤含水率主要受灌水定额的影响；80~100 cm 土层土壤含水率呈现出与 0~60 cm 土层相反的规律，且土壤含水率从苗期到花铃期变化幅度较小，说明灌溉对其深层土壤含水率影响较小，根系吸水主要集中在 60 cm 土层以上。

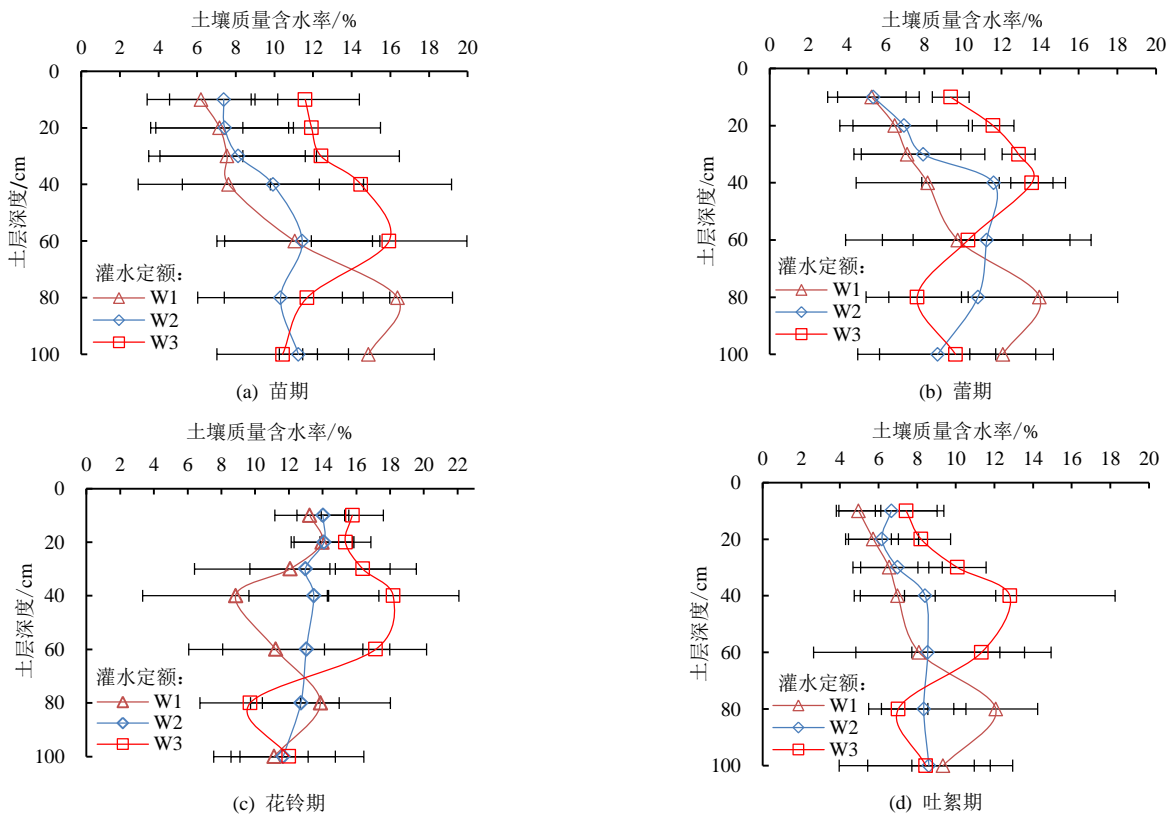


图3 不同灌水定额下土壤含水率变化特征

Fig.3 Variation characteristics of soil moisture content under different irrigation quotas

2.2 生育期土壤盐分变化特征

2.2.1 不同春灌模式对土壤盐分的淋洗效果

表3为不同春灌模式0~100 cm 土层土壤电导率。由表3可知，苗期 D 处理 0~60 cm 各土层土壤电导率明显大于 C 处理，0~100 cm 土层平均土壤电导率相差 21.97%。蕾期和花铃期 D 处理 0~100 cm 各土层土壤脱盐率呈先增加后减小趋势，盐分积累发生在

40 cm 土层以上，且 20~40 cm 土层积盐程度大于 0~20 cm 土层，40 cm 以下土层则表现为脱盐；0~100 cm 土层土壤整体呈积盐状态，蕾期和花铃期 0~100 cm 积盐率分别为 2.09%和 2.70%。C 处理 0~100 cm 各土层均表现为脱盐，蕾期和花铃期 0~100 cm 土层平均脱盐率分别为 14.29%和 7.86%，花铃期较蕾期相比脱盐率降低了 6.43%。进入吐絮期后，C 处理表层 0~20

cm 土层仍表现为脱盐效果, 20 cm 以下土层则呈明显积盐状态, 但积盐程度整体低于 D 处理, 说明 C 处理对棉田土壤盐分的淋洗效果优于 D 处理。

表 3 不同春灌模式土壤脱盐率

Table 3 Soil desalination rate under different spring irrigation methods

春灌模式	土壤深度/cm	苗期土壤电导率/ (mS cm <sup>-1</sup> )	脱盐率/%		
			蕾期	花铃期	吐絮期
D	0~20	3.36	-6.28	-4.56	-7.14
	20~40	3.50	-9.40	-12.93	-19.80
	40~60	3.72	3.52	0.71	-14.64
	60~100	3.39	6.55	7.84	-3.51
	0~100	3.46	-2.09	-2.70	-10.94
C	0~20	2.17	12.32	9.83	9.36
	20~40	2.22	7.12	3.82	-9.19
	40~60	3.30	16.62	14.33	-3.45
	60~100	3.41	19.09	6.10	-8.07
	0~100	2.70	14.29	7.86	-2.57

### 2.2.2 不同灌水定额对土壤盐分分布的影响

由表 4 可知, 苗期 W1 处理 0~20 cm 和 0~100 cm 土层平均土壤电导率均小于 W2、W3 处理, 但 W2、W3 处理 0~100 cm 土层平均土壤电导率差异很小。随着生育期的推进, W1 灌水处理 0~100 cm 土层电导率持续增加, 而 W2、W3 处理 0~100 cm 土层土壤脱盐率整体表现为先减小后增加的趋势。蕾期 W1 处理 0~60 cm 各土层均表现为积盐; W2、W3 处理 0~20、20~40 cm 土层均表现为脱盐。进入花铃期, 各灌水处理 0~100 cm 土层电导率较蕾期均增加, 但随着灌水定额的增加, 增幅减小。吐絮期后各灌水处理盐分累积主要发生在 0~40 cm 土层, W1、W2、W3 处理棉田 0~100 cm 土层电导率分别增加 30.11%、12.12% 和 11.11%。说明在本试验条件下, 无论采用何种春灌模式和灌水定额处理, 膜下滴灌种植 1 个季节后 0~100 cm 土层土壤发生积盐, 随着灌水定额的增加, 积盐程度降低。

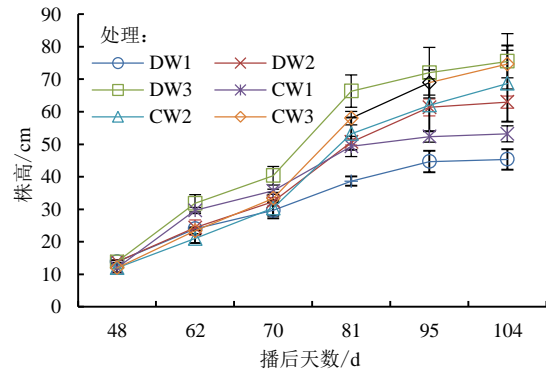
表 4 不同灌水定额土壤脱盐率

灌水定额	土壤深度/cm	苗期土壤电导率/ (mS cm <sup>-1</sup> )	脱盐率/%		
			蕾期	花铃期	吐絮期
W1	0~20	2.57	-13.21	-34.77	-58.30
	20~40	2.54	-12.87	-43.50	-40.54
	40~60	3.29	-2.03	-7.24	-22.97
	60~100	3.25	3.67	5.45	-3.29
	0~100	2.86	-5.80	-19.40	-30.11
W2	0~20	2.70	2.25	6.45	-24.38
	20~40	3.06	29.24	6.46	-6.38
	40~60	3.77	-9.77	-1.94	-5.66
	60~100	3.51	7.48	-1.61	-11.80
	0~100	3.19	7.07	2.99	-12.12
W3	0~20	3.02	16.44	2.54	-4.51
	20~40	2.99	7.70	9.04	-26.74
	40~60	3.47	0.83	10.22	-13.00
	60~100	3.45	6.40	2.63	0.98
	0~100	3.20	8.59	5.13	-11.11

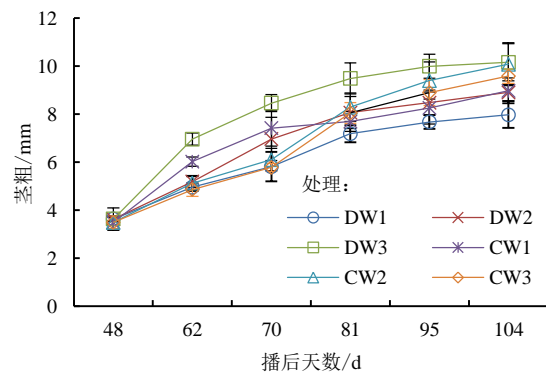
## 2.3 棉花生理生态指标变化

### 2.3.1 棉花株高与茎粗变化

不同春灌模式及灌水定额条件下棉花株高和茎粗在全生育期的变化过程如图 4 所示。株高和茎粗决定了株型, 是反映作物群体长势的重要指标, 也是生物量形成的重要参数。由于不同春灌模式及播种覆土等影响, 棉花苗期生长指标存在差异, 整体表现为 D 处理的平均株高和茎粗均大于 C 处理, 蕾期棉花开始进入快速营养生长期, 株高和茎粗增加较快, 二者生长速率最大达到了 1.59 cm/d 和 0.27 mm/d。株高和茎粗日增长速率随灌水量的增加而增大, 其中 W3 处理的株高和茎粗较 W1 处理分别增加了 26.52% 和 17.92%。花铃期棉花营养生长和生殖生长同时进行, 初花期以营养生长为主, 盛花期以后营养生长减弱, 生殖生长逐渐占优势, 株高和茎粗生长速率减弱为 0.13~0.70 cm/d 和 0.03~0.07 mm/d, 株高至打顶前基本稳定, 此时株高主要是节间长度的增加。



(a) 株高



(b) 茎粗

图 4 不同处理下的棉花株高与茎粗

Fig.4 Plant height and stem diameter of cotton under different treatments

### 2.3.2 棉花生物量变化

不同春灌模式及灌水定额条件下棉花不同生育阶段单株干物质积累量与茎、叶、生殖器官占比如图 5 所示。各处理棉花单株干物质总量随生育期推进呈逐渐增加的趋势, 蕾期 W1、W3 处理干物质积累量显著差异 ( $P < 0.05$ ), 花铃期和吐絮期均表现为随灌

水定额的增加干物质积累增加，吐絮期 DW3 处理单株干物质质量达到了最大，为 127.59 g，较 CW3、DW1 处理分别增加了 10.27% 和 61.31%。棉花不同生育阶段各部分干物质质量占比差异明显，随着棉花生育期的推进，各处理地上部生物量中叶片和茎秆的分配比例逐渐减小，而生殖器官花、铃所占比例逐渐增大。蕾

期各处理生殖器官占比不到 10%；花铃期，棉花各器官干物质质量变化明显，棉叶生长放缓，生殖器官占比开始逐渐增加，占到总质量的 59.81%~64.71%；进入吐絮期后，受无灌溉水补给和植株衰老的影响，叶片和茎秆生长减缓趋势较大，生殖器官占比增加成为主要趋势，最终占到总干物质质量的 63.57%~69.72%。

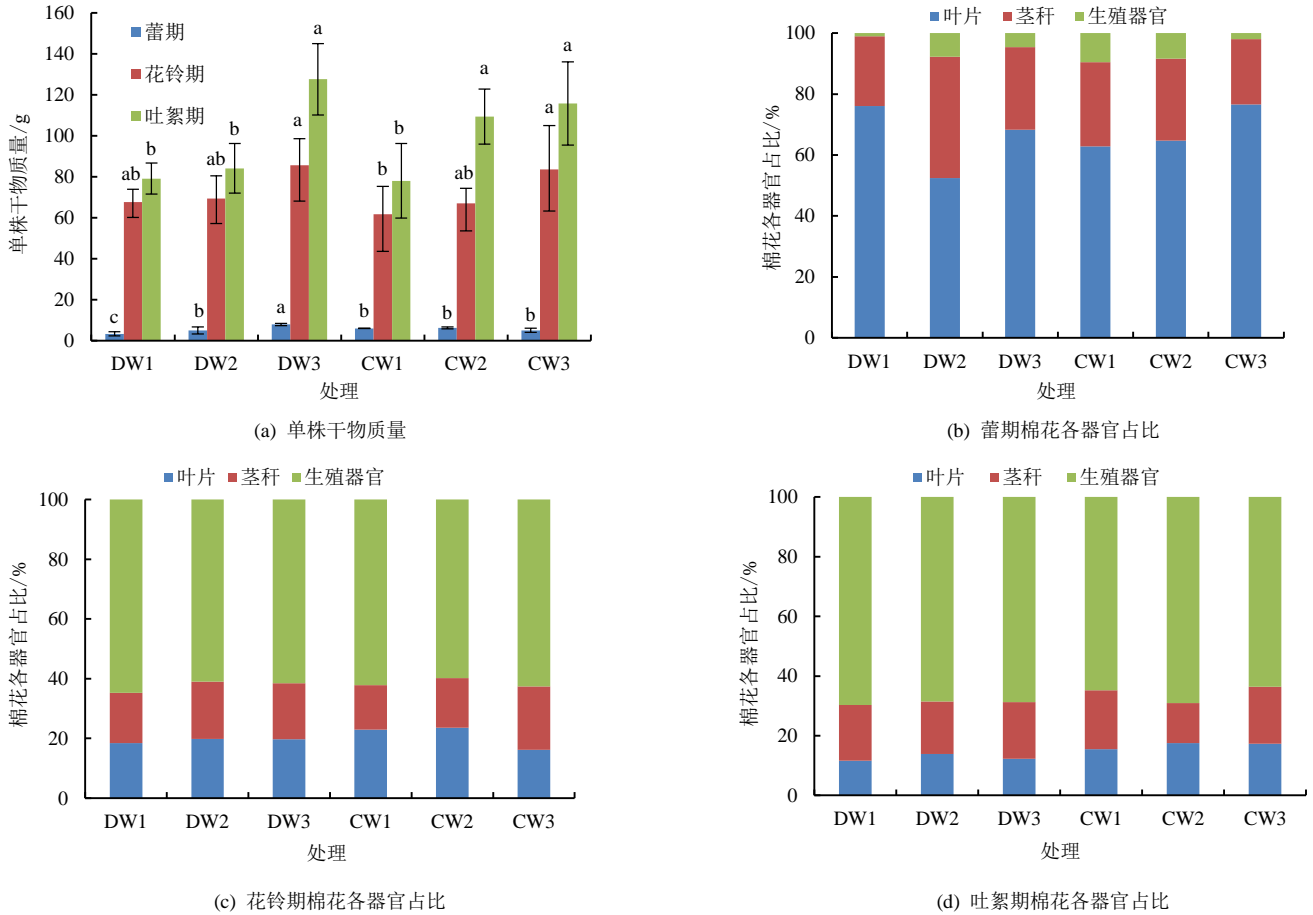


图 5 不同处理棉花单株干物质质量与各器官占比

Fig.5 Dry matter accumulation amount and organ proportion of cotton under different treatments

#### 2.4 棉花产量与水分利用效率

不同处理的产量与水分利用效率如表 5 所示。由表 5 可知，同一春灌处理下，不同灌水定额处理间耗水量有显著差异，耗水量随着灌水定额的增加而增加；在同一灌水定额处理下，不同春灌处理间耗水量无显著性差异。春灌模式 ( $P<0.01$ ) 和灌水定额 ( $P<0.01$ ) 对单株铃数有显著影响，春灌模式与灌水定额的交互作用极显著 ( $P<0.01$ ) 影响了单株铃数。在滴水春灌 (D 处理) 方式下，单株铃数随灌水定额的增加而增加，且差异达显著水平，但处理间单铃质量均无显著差异。在常规春灌 (C 处理) 模式下，单株铃数和单铃质量均随灌水定额的增加而增加，W2、W3 处理间单株铃数和单铃质量无显著差异，但 W3 处理单株铃数和单铃质量显著高于 W1 处理。春灌模式 ( $P<0.01$ ) 和灌水定额 ( $P<0.01$ ) 对籽棉产量有显著影响，春灌

模式与灌水定额的交互作用极显著 ( $P<0.01$ ) 影响了单株铃数。籽棉产量随灌水定额的增加而增加，说明适量提高灌水定额有利于提高籽棉产量，DW1 处理棉花产量最低，为 5 137.44 kg/hm<sup>2</sup>，与 DW1 处理相比，DW3 处理与 CW1 处理的产量分别提高了 31.13% 和 14.19%。在同一灌水定额下，籽棉产量表现为 C 处理>D 处理。春灌模式 ( $P<0.01$ ) 对  $WUE_1$  有显著影响。由于灌水增加对棉花的增产效应有限， $WUE_1$  随灌水定额的增加而减小，C 处理的  $WUE_1$  明显高于 D 处理。春灌模式 ( $P<0.01$ ) 和灌水定额 ( $P<0.05$ ) 均对  $WUE_{ET}$  有显著影响。 $WUE_{ET}$  随灌水定额的增加而增加，相同灌水定额下，C 处理的  $WUE_{ET}$  大于 D 处理，说明春灌模式与灌水定额的不同，对  $WUE_{ET}$  的影响较大。

表 5 不同处理下的棉花产量和水分利用效率

Table 5 Seed cotton yield and water use efficiency under different treatments

春灌模式	灌水定额	耗水量/mm	单株铃数/个	单铃质量/g	籽棉产量/(kg hm <sup>-2</sup> )	衣分/%	WUE <sub>i</sub> /(kg m <sup>-3</sup> )	WUE <sub>ET</sub> /(kg m <sup>-3</sup> )
D	W1	490.56c	3.76c	5.82b	5 137.44c	44.34ab	1.71abc	1.05b
	W2	542.84b	4.68b	5.65b	5 789.95c	44.58ab	1.54bc	1.07b
	W3	576.58a	6.71a	6.24ab	6 736.92ab	45.07a	1.50c	1.17ab
C	W1	490.68c	4.84b	5.87b	5 879.20bc	42.98ab	1.96a	1.20ab
	W2	569.99b	6.32a	5.96ab	7 207.81a	41.64b	1.92ab	1.26a
	W3	594.46a	6.72a	6.52a	7 559.90a	43.92ab	1.68bc	1.27a
春灌模式	**	**	ns	**	*	**	**	
灌水定额	**	**	*	**	ns	ns	*	
春灌模式×灌水定额	**	**	ns	**	ns	ns	ns	

注 同列不同字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。\*在  $P<0.05$  水平下差异显著; \*\*在  $P<0.01$  水平下差异显著; ns 表示差异不显著。

### 3 讨论

2 种春灌模式, 均能在土壤中储存较高的水分, 能够满足棉花出苗时期的土壤墒情, 保证棉花出苗期间的土壤水分。但是, 不同春灌模式下土壤水分的运移规律并不相同, 以地面灌方式进行春灌, 水分渗漏损失大, 播后浅层含水率较低, 而以滴水春灌模式进行驱盐造墒灌溉, 即使灌水量较少, 但滴灌方式使水分入渗均匀且覆膜能减少土壤蒸发水分损失, 土壤表层始终处于湿润状态<sup>[24-25]</sup>, 浅层土壤含水率较高, 有利于棉花植株苗期的生长发育<sup>[26]</sup>, 这与本文研究结论基本一致。本研究表明, 生育期内滴水春灌 0~80 cm 土层土壤含水率高于常规春灌, 而 80 cm 以下土层则相反, 主要是由于常规春灌产生了大量的渗漏损失, 春季随着气温升高, 土壤蒸发增强, 土壤含水率减小; 滴水春灌由于覆膜减少了土壤蒸发, 因而上层的土壤含水率较大, 随着土层深度的增加, 较小的滴灌量对深层土壤含水率的影响并不明显<sup>[10]</sup>。棉花生育期 2 种春灌模式的灌水定额和周期均相同, 已有研究<sup>[27]</sup>发现, 当灌水周期相同时, 主根区的土壤含水率与灌水定额正相关, 即灌水定额越大, 灌溉期平均含水率就越大, 这与本研究结论一致, 但同时有研究<sup>[22]</sup>表明, 生育期 0~30 cm 土壤平均含水率为蕾期>花铃期>苗期>吐絮期, 而 40~100 cm 土壤平均含水率表现为花铃期>蕾期>吐絮期>苗期。这与本研究结论不太一致, 试验研究得出, 生育期 0~30 cm 土壤平均含水率为花铃期>苗期>蕾期>吐絮期, 而 40~100 cm 土壤平均含水率表现为苗期>花铃期>蕾期>吐絮期。主要是由于其试验在棉花 4 个生育期均进行了灌水, 且灌溉定额比本试验大, 灌水周期较短, 全生育期灌水次数增加, 因此导致各生育阶段土壤含水率有较大差异。

不同春灌模式下的土壤盐分运移不同。土壤水分是控制盐分运移的主要因素, 灌水定额的大小直接影响土壤中的盐分分布<sup>[28]</sup>, 与常规地面灌溉方式相比, 滴灌更能有效保持水分, 均匀驱离盐分<sup>[19]</sup>。由于冬季土壤冻融使盐分出现表聚, 滴水春灌模式播前滴水对

土壤浅层盐分进行了淋洗, 但由于灌水定额小难以将土壤表层聚集的盐分向深层土壤淋洗<sup>[29-30]</sup>, 苗期在蒸发作用下深层的盐分向上迁移, 导致苗期尽管土壤含水率较高, 但大量的盐分以溶解态形式存在于土壤水分中, 致使滴水春灌苗期的土壤盐分高于常规春灌。蕾期和花铃期是棉花进入营养生长和生殖生长互为消长的阶段, 棉花耗水量增多, 由于土壤蒸发、植株蒸腾和滴灌施肥共同引起浅层土壤盐分变幅增大<sup>[31-32]</sup>, 至吐絮期各土层均出现了盐分积累, 总体上滴水春灌盐分积累程度大于常规春灌。在生育期灌水量方面, 姚宝林<sup>[22]</sup>研究发现, 无论采用何种灌水定额, 棉花各生育阶段均表现为表层 0~30 cm 土层的盐分变化幅度高于 40~100 cm 土层, 较小的灌水定额对盐分的淋洗效果有限, 土壤表层返盐严重, 生育期发生了积盐, 而增加灌水定额有利于降低土壤含盐量, 这与本研究结论基本一致。但郑耀凯等<sup>[33]</sup>和王峰等<sup>[34]</sup>研究认为, 增加灌水定额虽然可以增加盐分的淋洗量, 但同时也会带来较强的农田蒸散发, 带动下层盐分向上迁移, 使作物根系活动层出现积盐。这与本研究结果不一致, 主要原因是本试验的滴灌带布设方式与其不同, 且灌水定额较大, 均匀的将盐分淋洗至深层, 因此生育期灌水期间棉花根系层积盐较少。本试验研究发现, 蕾期和花铃期 W2、W3 灌水定额下 0~20、20~40 cm 土层土壤电导率明显降低, 且随着灌水定额的增加 0~100 cm 土层脱盐率提高, 这主要和土壤质地与所选取的灌水定额等有关。经过 1 个生长季种植, 无论采用何种灌水定额, 盐分均在棉田发生累积, 但随着灌水定额的增加, 盐分积累程度在降低, 这与牟洪臣等<sup>[35]</sup>研究结果一致。

在棉花干物质积累、产量及水分利用效率等方面, 春灌模式及生育期灌水定额对棉花的生长有较大的影响, 增加灌水定额有利于棉花的生长, 促进干物质积累, 提高产量, 这是因为随着灌水定额的增加棉花主根区的土壤含水率增加, 盐分含量降低。随着灌水定额的增加, 水分利用效率反而降低, 这与王凤姣等<sup>[36]</sup>和 Yang 等<sup>[37]</sup>研究结果一致。而高龙等<sup>[38]</sup>、

董楠等<sup>[39]</sup>和王峰等<sup>[40]</sup>研究发现, 相同灌水次数下, 灌溉定额过高和过低均不利于棉花产量的提高, 这与本研究结论不一致。主要是随着灌溉定额的增加, 棉花各农艺性状生长较快, 容易引起棉花疯长, 在花铃后期不能正常坐果, 导致产量降低, 而本试验所选取的 W3 灌水定额与其中等灌水定额相近, 因而灌水量适中, 化控及时, 未引起棉花过度生长, 因此并未导致减产。刘翔等<sup>[41]</sup>和 Watt 等<sup>[42]</sup>研究发现, 蕾期过度的水分亏缺造成幼蕾脱落, 生殖生长减弱, 花铃期造成蕾铃大量脱落, 导致减产, 而申孝军等<sup>[43]</sup>和张迎春等<sup>[44]</sup>研究表明, 适时适量水分亏缺有利于提高水分利用效率, 这与本研究结果一致, 随着灌水定额的降低, 棉花生长受到了限制, 从而导致蕾铃脱落, 棉花早熟等引起产量降低。棉花收获后至棉田春灌前的时期, 由于没有进行灌溉淋洗, 且随着地温的升高, 土壤返盐明显, 棉田土壤盐分较棉花收获后的土壤盐分值有所提高, 并在春灌前保持较高值变化, 春灌定额越大对土壤盐分的淋洗效果越好<sup>[13]</sup>, 这与本研究结果一致。由于春灌前土壤基础盐分较高, 滴水春灌较小的春灌定额对盐分淋洗不充分, 生育期棉花主根区盐分积累严重, 棉花生育期受到的盐分胁迫影响作物对水肥的吸收, 降低了单株铃数和单铃质量, 引起减产, 这与 Li 等<sup>[45]</sup>研究结果一致。研究发现, 当 0~100 cm 土层土壤基础电导率大于 3.37 mS/cm 时, 滴水春灌模式造成土壤盐渍化加剧, 因此从脱盐效果和节水增产等方面综合考虑, 在此土壤含盐量下新疆地区生育期常规灌溉制度可能并不完全适用于滴水春灌模式, 对滴水春灌的生育期灌溉策略需进一步研究。为此, 从土壤水盐分布、生育期灌水定额等角度分析, 结合棉花的生长和产量, 以及灌区节水需求, 滴水春灌模式应重点关注蕾期和花铃期棉花主根系层土壤盐分的积累, 需进一步探讨保证全年总灌水量不变的情况下, 将滴水春灌模式部分春灌水量调整至生育期, 是否既可提高地温、改善棉种周围的土壤水盐状况, 保障出苗, 又可以减轻棉花生育期根区受到的水盐胁迫, 进而保证棉花正常生长, 实现稳产增效, 为新疆滴水春灌膜下滴灌技术的应用推广提供理论依据与技术支撑。

## 4 结论

1) 滴水春灌模式生育期棉花主根系平均土壤含水率较常规春灌增加 46.62%, 平均土壤电导率增加 16.47%, 各灌水处理脱盐区、积盐区主要发生在 0~40 cm 土层, 收获前各处理 0~100 cm 土层盐分均发生了不同程度的积累, 随着灌水定额的增加, 盐分积累程度降低。

2) 在 W1、W3 灌水定额下, 春灌模式对产量和

水分利用效率没有显著影响, 但在 W2 灌水定额下, 滴水春灌模式产量和水分利用效率较常规春灌分别减少了 19.67% 和 15.08%。

3) 从棉花产量和水分利用效率方面综合考虑, 滴水春灌模式下, 灌水定额推荐为 45 mm (W3); 常规春灌模式下, 灌水定额 37.5 mm (W2), 全生育期灌水 10 次, 可以获得合理的盐分分布与脱盐效果, 籽棉产量为 7 207.8 kg/hm<sup>2</sup>, 是实现抑盐、控水、高产的适宜棉花灌溉制度。

## 参考文献:

- [1] 刘传迹, 金晓斌, 徐伟义, 等. 2000—2020 年新疆地区棉花种植空间格局及其变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16): 223-232. LIU Chuanji, JIN Xiaobin, XU Weiyi, et al. Analysis of the spatial distribution and variation characteristics of cotton planting in southern Xinjiang from 2000 to 2020[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(16): 223-232.
- [2] FEIKE T, KHOR L Y, MAMITIMIN Y, et al. Determinants of cotton farmers' irrigation water management in arid Northwestern China[J]. Agricultural Water Management, 2017, 187: 1-10.
- [3] HAN M, ZHAO C, FENG G, et al. Evaluating the effects of mulch and irrigation amount on soil water distribution and root zone water balance using HYDRUS-2D[J]. Water, 2015, 7: 2 622-2 640.
- [4] 曹振玺, 李勇, 申孝军, 等. 不同灌水技术参数对农田水盐运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3): 57-62, 71. CAO Zhenxi, LI Yong, SHEN Xiaojun, et al. Effects of drip irrigation schedule on water and salt movement in soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(3): 57-62, 71.
- [5] SINGH Y, RAO S S, REGAR P L. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(7): 965-970.
- [6] LETEY J, HOFFMAN G J, HOPMANS J W, et al. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(4): 502-506.
- [7] PENG J, BISWAS A, JIANG Q S, et al. Estimating soil salinity from remote sensing and terrain data in southern Xinjiang Province, China[J]. Geoderma, 2019, 337: 1 309-1 319.
- [8] HOU X H, XIANG Y Z, FAN J L, et al. Evaluation of cotton N nutrition status based on critical N dilution curve, N uptake and residual under different drip fertigation regimes in Southern Xinjiang of China[J]. Agricultural Water Management, 2021, 256: 107 134.
- [9] WANG Z M, LI Z F, ZHAN H B, et al. Effect of long-term saline mulched drip irrigation on soil-groundwater environment in arid Northwest China[J]. Science of the Total Environment, 2022, 820: 153 222.
- [10] 朱延凯, 王振华, 李文昊. 春灌对绿洲区棉田水盐分布及产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2018(2): 1-6, 10. ZHU Yankai, WANG Zhenhua, LI Wenhao. Effects of spring irrigation on distribution and yield of water and salt in oasis cotton field[J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(2): 1-6, 10.
- [11] HOU X H, XIANG Y Z, FAN J L, et al. Spatial distribution and variability of soil salinity in film-mulched cotton fields under various drip irrigation regimes in southern Xinjiang of China[J]. Soil and Tillage Research, 2022, 223: 105 470.
- [12] QADIR M, GHAFOR A, MURTAZA G. Amelioration strategies for saline soils: A review[J]. Land Degradation & Development, 2000, 11(6): 501-521.
- [13] 冯广平, 姜卉芳, 董新光, 等. 干旱内陆河灌区地面灌溉条件下土壤



- 水盐运动规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(3): 82-84.
- FENG Guangping, JIANG Huifang, DONG Xinguang, et al. Study on water and salt transport in soil under surface irrigation condition in arid inland river irrigation region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(3): 82-84.
- [14] 王兴鹏. 冬春灌对南疆土壤水盐动态和棉花生长的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- WANG Xingpeng. Effects of winter-spring irrigation on soil water-salt dynamics and cotton growth[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [15] 李巧, 周金龙, 栗现文, 等. 微咸水膜下滴灌棉田春灌压盐效果的初步分析[J]. 干旱区研究, 2012, 29(1): 167-172.
- LI Qiao, ZHOU Jinlong, LI Xianwen, et al. Leaching through spring drip irrigation under film in cotton field[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(1): 167-172.
- [16] 何汉生. 滴灌棉田实施不冬春灌及春灌一水对棉花生产的影响分析[J]. 中国棉花, 2005, 32(S1): 55-56.
- [17] HUETTIG K D, CHASTAIN T G, GARBACIK C J, et al. Spring irrigation of tall fescue for seed production[J]. Field Crops Research, 2013, 144: 297-304.
- [18] 张江辉. 干旱区土壤水盐分布特征与调控方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
- ZHANG Jianghui. Study on features of soil salt distribution and adjusting method in arid area[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010.
- [19] 张永玲, 王兴鹏, 肖让, 等. 干播湿出棉田土壤温度及水分对出苗率的影响[J]. 节水灌溉, 2013(10): 11-13.
- ZHANG Yongling, WANG Xingpeng, XIAO Rang, et al. Impacts of drip irrigation under mulch with dry sowing and wet seedling on soil temperature, water content and seedling emergence rate of cotton[J]. Water Saving Irrigation, 2013(10): 11-13.
- [20] 肖让, 姚宝林. 干播湿出膜下滴灌棉花现蕾初期地温变化规律[J]. 西北农业学报, 2013, 22(5): 49-54.
- XIAO Rang, YAO Baolin. Soil temperature variation in cotton budding pre-stage with drip irrigation under mulch with dry seeding and wet emergence method[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2013, 22(5): 49-54.
- [21] 陈绪兰, 孙春梅, 刘萍. 棉花“干播湿出”技术在新疆库尔勒推广实践[J]. 中国棉花, 2021, 48(5): 41-42, 45.
- CHEN Xulan, SUN Chunmei, LIU Ping. The practice of cotton “sowing drily and emerging wet” technology in Korla, Xinjiang[J]. China Cotton, 2021, 48(5): 41-42, 45.
- [22] 姚宝林. 南疆免冬春灌棉田土壤水热盐时空迁移规律与调控研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- YAO Baolin. Study on rules and regulation of soil water-heat-salt spatiotemporal transfer under no winter and spring irrigation cotton field in southern Xinjiang[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [23] 崔永生, 王峰, 孙景生, 等. 南疆机采棉田灌溉制度对土壤水盐变化和棉花产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 634-642.
- CUI Yongsheng, WANG Feng, SUN Jingsheng, et al. Effects of irrigation regimes on the variation of soil water and salt and yield of mechanically harvested cotton in Southern Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(11): 634-642.
- [24] 陈小芹, 王振华, 何新林, 等. 北疆棉田不同冬灌方式对土壤水分、盐分和温度分布的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 132-137.
- CHEN Xiaoqin, WANG Zhenhua, HE Xinlin, et al. Effects of winter irrigation method on soil moisture, salt and temperature distribution in cotton fields of north Xinjiang[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(2): 132-137.
- [25] 王肖娟, 危常州, 张君, 等. 灌溉方式和施氮量对棉花生长及氮素利用效率的影响[J]. 棉花学报, 2012, 24(6): 554-561.
- WANG Xiaojuan, WEI Changzhou, ZHANG Jun, et al. Effects of irrigation methods and N application level on cotton growth and nitrogen use efficiency[J]. Cotton Science, 2012, 24(6): 554-561.
- [26] 危常州, 马富裕, 雷咏雯, 等. 棉花膜下滴灌根系发育规律的研究[J]. 棉花学报, 2002, 14(4): 209-214.
- WEI Changzhou, MA Fuyu, LEI Yongwen, et al. Study on cotton root development and spatial distribution under film mulch and drip irrigation[J]. Acta Gossypii Sinica, 2002, 14(4): 209-214.
- [27] 刘磊. 干旱区棉花膜下滴灌水盐运移规律及数值模拟研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011.
- LIU Lei. Study on the regulation and simulation of water and salt transport in cotton field under mulched drip irrigation condition[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2011.
- [28] 巨龙, 王全九, 王琳芳, 等. 灌水量对半干旱区土壤水盐分布特征及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 86-90.
- JU Long, WANG Quanjiu, WANG Linfang, et al. Effects of irrigation amounts on yield of winter wheat and distribution characteristics of soil water-salt in semi-arid region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(1): 86-90.
- [29] DANIERHAN S, SHALAMU A, TUMAERBAI H, et al. Effects of emitter discharge rates on soil salinity distribution and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield under drip irrigation with plastic mulch in an arid region of Northwest China[J]. Journal of Arid Land, 2013, 5(1): 51-59.
- [30] WANG R S, KANG Y H, WAN S Q, et al. Influence of different amounts of irrigation water on salt leaching and cotton growth under drip irrigation in an arid and saline area[J]. Agricultural Water Management, 2012, 110: 109-117.
- [31] 杨丽娟, 张玉龙, 李晓安, 等. 灌水方法对塑料大棚土壤—植株硝酸盐分配影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 63-65, 96.
- YANG Lijuan, ZHANG Yulong, LI Xiaolan, et al. Effects of irrigation methods on the distribution of nitrate in soil and tomato plants in greenhouses[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(2): 63-65, 96.
- [32] 张琼, 李光永, 柴付军. 棉花膜下滴灌条件下灌水频率对土壤水盐分布和棉花生长的影响[J]. 水利学报, 2004, 35(9): 123-126.
- ZHANG Qiong, LI Guangyong, CHAI Fujun. Effect of mulched drip irrigation frequency on soil salt regime and cotton growth[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(9): 123-126.
- [33] 郑耀凯, 柴付军. 大田棉花膜下滴灌灌溉制度对土壤水盐变化的影响研究[J]. 节水灌溉, 2009(7): 4-7.
- ZHENG Yaokai, CHAI Fujun. Experimental research on effect of irrigation scheduling on moisture and salt change of mulched drip irrigation for cotton[J]. Water Saving Irrigation, 2009(7): 4-7.
- [34] 王峰, 孙景生, 刘祖贵, 等. 不同灌溉制度对棉田盐分分布与脱盐效果的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 120-127.
- WANG Feng, SUN Jingsheng, LIU Zugui, et al. Effect of different irrigation scheduling on salt distribution and leaching in cotton field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 120-127.
- [35] 牟洪臣, 虎胆 吐马尔白, 苏里坦, 等. 干旱地区棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 18-22.
- MU Hongchen, Hudan Tumaerbai, SU Litan, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under mulch in arid region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 18-22.
- [36] 王凤姣, 王振华, 李文昊. 水分传感器位置和灌水阈值对棉花生理及产量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(10): 958-962.
- WANG Fengjiao, WANG Zhenhua, LI Wenhao. Effect of water sensor location and irrigation threshold on physiology and yield of cotton[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(10): 958-962.
- [37] YANG C J, LUO Y, SUN L, et al. Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid northwest China[J]. Pedosphere, 2015, 25(6): 910-924.

- [38] 高龙, 田富强, 倪广恒, 等. 膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J]. 水利学报, 2010, 41(12): 1 483-1 490.  
GAO Long, TIAN Fuqiang, NI Guangheng, et al. Experimental study on soil water-salt movement and irrigation scheduling for cotton under mulched drip irrigation condition[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(12): 1 483-1 490.
- [39] 董楠, 吕新, 侯振安, 等. 基于彭曼公式的膜下滴灌棉田灌水量的研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(4): 617-624.  
DONG Nan, LYU Xin, HOU Zhenan, et al. Study on the irrigation water amount under film mulch drip irrigation according to penman-monteith formula[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(4): 617-624.
- [40] 王峰, 孙景生, 刘祖贵, 等. 灌溉制度对机采棉生长、产量及品质的影响[J]. 棉花学报, 2014, 26(1): 41-48.  
WANG Feng, SUN Jingsheng, LIU Zugui, et al. Effects of irrigation scheduling on growth, yield and fiber quality of cotton under mechanical harvest cropping model[J]. Cotton Science, 2014, 26(1): 41-48.
- [41] 刘翔, 张富仓, 向友珍, 等. 亏缺灌溉对新疆棉花生长和水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(12): 1 270-1 276.  
LIU Xiang, ZHANG Fucang, XIANG Youzhen, et al. Effects of deficit irrigation on cotton growth and water use in southern Xinjiang of China[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2020, 38(12): 1 270-1 276.
- [42] WATT M S, CLINTON P W, WHITEHEAD D, et al. Above-ground biomass accumulation and nitrogen fixation of broom (*Cytisus scoparius* L.) growing with juvenile *Pinus radiata* on a dryland site[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 184(1/2/3): 93-104.
- [43] 申孝军, 张寄阳, 孙景生, 等. 灌水模式及下限对滴灌棉花产量和品质的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(8): 711-718.  
SHEN Xiaojun, ZHANG Jiyang, SUN Jingsheng, et al. Effect of drip irrigation pattern and irrigation lower limit on yield and quality of cotton[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(8): 711-718.
- [44] 张迎春, 张富仓, 范军亮, 等. 滴灌技术参数对新疆棉花生长和土壤水盐的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 107-117.  
ZHANG Yingchun, ZHANG Fucang, FAN Junliang, et al. Effects of drip irrigation technical parameters on cotton growth, soil moisture and salinity in Southern Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(24): 107-117.
- [45] LI X B, KANG Y H. Agricultural utilization and vegetation establishment on saline-sodic soils using a water-salt regulation method for scheduled drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2020, 231: 105 995.

## Effects of Spring Irrigation on Water and Salt Distribution in Soil and Cotton Growth in Southern Xinjiang

GAO Fukui<sup>1,2</sup>, WANG Lu<sup>1,4</sup>, LI Xiaogang<sup>3</sup>, NING Huifeng<sup>1</sup>, HAN Qisheng<sup>1</sup>, LIU Hao<sup>1\*</sup>, FENG Quanqing<sup>1,2</sup>

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences,

Key Laboratory of Crop Water Use and Regulation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinxiang 453002, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

3. Hydrology and Water Resources Management Center of the First Division of Xinjiang Production and Construction Corps,

Alaer 843300, China; 4. College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Tarim University, Alaer 843300, China)

**Abstract:** 【Objective】 Soil salinity is an abiotic factor facing agriculture production in Xinjiang, and a common remediation is to leach the salt out of the root zone before planting. Taking cotton as an example, this paper studied the efficacy of pre-planting drip irrigation in desalinizing the soil and sustaining cotton growth. 【Method】 The experiment was conducted in a cotton field. It consisted of two pre-treatments: drip-irrigating 90 mm of water before seed drilling, and conventional flooding irrigation using 180 mm of water before seed drilling. After that the crops were watered ten times using mulched drip irrigation, each irrigating 30 mm (W1), 37.5 mm (W2) or 45 mm (W3) of water. During the experiment, we measured the changes in soil water and salt contents, growth, dry matter accumulation, yield, and water use efficiency of the crop in each treatment. 【Result】 Compared with conventional flooding spring irrigation, spring drip irrigation kept soil moistened enough for seedling emergence; it also significantly increased water content in the 0~80 cm soil layer during the whole growing period. Salt accumulated in the 0~40 cm soil layer, with its *EC* at bud and boll stages increasing by 7.84% and 8.75%, respectively, compared to that at seedling stage. Soil *EC* increased as time elapsed in all treatments, but the increase decreased as the irrigation amount increased, with *EC* in the 0~100 cm soil layer in W1, W2 and W3 increasing by 30.11%, 12.12% and 11.11%, respectively. Increasing irrigation amount also improved plant height, stem diameter, dry matter accumulation, yield and water use efficiency, but reduced irrigation water use efficiency. There was no significant difference in yield and water use efficiency between W1 and W3 regardless of the spring irrigations, but the yield and water use efficiency in W2 differed significantly between the two spring irrigations. 【Conclusion】 Considering cotton yield and water use efficiency, the optimal irrigation quotas for the whole growth period is 45 mm combined with a spring drip irrigation of 90 mm to leach the salt out of the root zone. For conventional spring irrigation to leach the salt, the irrigation quotas of the 10 subsequent irrigations can be reduced to 37.5 mm in which the seeded cotton yield reached 7 207.81 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** drip seeding; cotton field under film drip irrigation; water and salt distribution; yield; water use efficiency

责任编辑: 白芳芳