

# 多次微量滴水技术对南疆棉田土壤水热盐分布的影响

吉光鹏<sup>1</sup>, 张栋海<sup>1</sup>, 陈兵<sup>2\*</sup>, 常学艳<sup>1</sup>, 牛岭磊<sup>1</sup>, 常心怡<sup>1</sup>  
(1.新疆生产建设兵团第三师农业科学研究所, 新疆 图木舒克 843900;  
2.新疆农垦科学院 棉花研究所, 新疆 石河子 832003)

**摘要:**【目的】研究多次微量滴水技术对南疆棉田土壤水热盐分布的影响。【方法】在南疆第三师开展小区试验, 设置不同灌水量(每次15~45 mm)及灌水频率(1~3次)处理(1-15、1-30、1-45、2-15、2-30、2-45、3-15、3-30、3-45), 以春灌为CK(225 mm), 研究灌水量与灌水频率对棉田土壤湿润体含水率、耗水特征、土壤温度、土壤pH值及土壤盐分的影响, 以期找到南疆盐碱地棉苗发芽所需水分供应与盐分洗脱水量的平衡关系。【结果】灌水量为15 mm处理能较好的将湿润区控制在种孔附近范围, 湿润体内含水率极大值交汇点在距滴头点水平、垂直10 cm处, 与春灌CK整个剖面土壤含水率相比均小于10%, 剖面内平均含水率达到14.6%; 2-15处理棉花播种出苗期-苗期灌水后耗水量、耗水强度及水分利用效率表现最佳, 分别为241.52 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、1.42 mm/d、1.08 kg/m<sup>3</sup>, 且显著高于CK; 土壤温度随灌水量增加而降低, 但土壤温度会在灌水一段时间后回升并高于CK, 灌水次数越多, 灌水12~24 h后土壤温度越高; 各处理土壤pH值随着灌水量增大而减小, 且均小于CK; 灌水量越大, 种孔行表层和底层的盐分均越小, 灌水次数越多, 种孔行土壤盐分越小。【结论】综上所述, 南疆多次微量滴水灌水量为15 mm最佳, 既能使滴灌湿润体达到浸润棉种发芽区域的目的, 也能保证较高的水分利用效率, 多次灌溉能保证棉种区域达到较高的土壤温度和较低的土壤盐分, 其中2-15处理表现最佳。

**关键词:** 棉花; 多次微量滴水; 湿润体含水率; 耗水特性; 水热盐分布

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023301

吉光鹏, 张栋海, 陈兵, 等. 多次微量滴水技术对南疆棉田土壤水热盐分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 26-32.

Ji Guangpeng, ZHANG Donghai, CHEN Bing, et al. Effects of Multiple Micro Drops of Irrigation Techniques on Soil Water, Heat, and Salt in Cotton Fields of Southern Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 26-32.

## 0 引言

【研究意义】南疆地区因其光热资源丰富、昼夜温差大等优势为棉花生长提供了独特的优势, 棉花产业也已成为南疆的支柱产业<sup>[1]</sup>, 其中喀什地区2020—2022年棉花播种面积约为36.7万hm<sup>2</sup>/a<sup>[2-3]</sup>。由于南疆地区降水量小、蒸发量大的特殊自然条件, 导致该地区常年出现干旱缺水和土壤重度盐碱化。为了协调好土壤重度盐碱化与棉花出苗、产量的关系, 南疆地区长期采用大水洗盐压碱的方式, 但该项技术也会消耗大量的农业用水, 大水漫灌较根区局部灌溉也会造成部分水资源的浪费, 同时随着蒸发量的增大

还造成土壤盐碱表聚。

近年来, “干播湿出”技术因其节水、抑盐、提苗、节本等优势应用较多, “干播湿出”是一种免冬春灌溉、在播种后灌溉适量出苗水的种植模式<sup>[4]</sup>, 与冬春灌相比, “干播湿出”有明显的节水优势, 可大幅减少出苗用水量、有效控制地下水位升高, 从而减轻苗期返盐危害<sup>[5]</sup>。但部分技术问题并未得到解决, 如“干播湿出”条件下棉花的灌水定额、灌水频率等参数, “干播湿出”下滴头流量、滴灌时长等参数、土壤水盐运移规律、耗水特征、积盐洗盐特性等问题<sup>[6-7]</sup>。因此, 棉花干播湿出技术推广较缓慢, 喀什地区“干播湿出”应用面积仅推广至4.2万hm<sup>2</sup><sup>[2-3]</sup>, 占棉花总面积的11.4%。

【研究进展】“干播湿出”技术主要利用膜下滴灌进行节水排盐, 膜下滴灌技术既能有效利用水资源, 也能使作物主根区附近土壤盐分得到稀释和迁移, 为棉苗生长提供良好环境<sup>[8]</sup>。棉花苗期耗水较少, 苗期末土壤盐分积累会达到峰值, 需要加大头水灌水定额, 以便将土壤盐分淋洗至根系层以外, 以保证棉花后续

收稿日期: 2023-07-06 修回日期: 2023-11-19

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFD1001002); 新疆兵团英才项目(BTYC202001)

作者简介: 吉光鹏(1987-), 男, 助理研究员, 学士, 主要从事作物水肥技术与推广。E-mail: 296373664@qq.com

张栋海(1985-), 男, 副研究员, 硕士, 主要研究方向为病虫害综合防治。E-mail: 1498961443@qq.com

通信作者: 陈兵(1979-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为作物栽培生理。E-mail: zyrcb@126.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

生长<sup>[9]</sup>。韩政宇等<sup>[10]</sup>对“干播湿出”模式下土壤改良剂对棉田土壤影响研究表明,单施土壤改良剂时,腐植酸对土壤脱盐的效果最佳,且0~20 cm土层土壤水分动态最稳定。袁席天等<sup>[11]</sup>则认为干播湿出条件下,大水量灌溉不利于棉花出苗,675~900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>灌水量及2~3次灌溉频率更有利于出苗。刘梅先等<sup>[12]</sup>研究表明,灌水量较小不能切实解决土壤脱盐与积盐矛盾,但由于少量的灌水,能保证棉花出苗的特点,这为解决南疆水资源短缺的紧张状况开辟了新道路。杨宏伟等<sup>[13]</sup>对多年膜下滴灌研究表明,第4茬棉田耕作层盐分较第1茬明显增加,水分利用效率降低6.3%。王亚娟等<sup>[14]</sup>研究膜间覆盖高分子材料对棉田土壤水盐分布的影响表明,涤纶PET的保水及脱盐效果最佳,脱盐率达61.15%。张迎春等<sup>[15]</sup>则认为100%ET<sub>C</sub>灌溉定额和2.4 L/h滴头流量处理下棉田0~40 cm土层土壤水分最高,土壤盐分最低,水分利用效率明显大于其他处理。

【切入点】上述研究从根区排盐、盐分淋洗、土壤改良剂、多年滴灌、膜间覆盖等方面研究了棉花干播湿出技术的优势及膜下滴灌技术对水盐分布的影响,但对于棉花播种至出苗期湿润锋运移规律、耗水特性、土壤温度调控方面的研究较少。【拟解决的关键问题】为此,设置了不同灌水量和灌水频率对盐碱地棉花播种出苗期至苗期水盐热及产量的影响试验,研究南疆棉花多次微量滴水条件下棉田土壤湿润锋变化特性、苗期间耗水规律、棉田土壤温度变化、土壤pH值及土壤盐分变化,揭示不同灌水参数条件下的棉田土壤水盐热变化规律,准确掌握不同灌水参数对棉田水盐热分布的影响,优选最佳灌溉参数,为

多次微量滴水成苗新技术在南疆的应用提供技术支持。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 试验地概况

试验于2021年在新疆生产建设兵团第三师第四十四团(79°08'E, 39°83'N)进行,海拔高度为1 047.1 m,年平均气温12.8,年降水量63.2 mm,年均蒸发量2 127.2 mm,无霜期达225 d,属典型极端干旱气候,积温高,降水少,蒸发量大。土壤质地为砂壤土,盐碱性较强,pH值为7.95,全盐量2.3‰,有机质量为9.5 g/kg,碱解氮、有效磷、速效钾量分别为52.2、16.1、95.2 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,区组内设3个灌水量(15、30、45 mm),3个灌溉频次(1次、2次、3次),共9个处理,分别用1-15、1-30、1-45、2-15、2-30、2-45、3-15、3-30、3-45表示,以春季3月15日灌水225 mm,播种出苗期-苗期不灌水不施肥为对照(CK),每个处理3次重复,各处理灌水施肥(碱滴丰)见表1,“碱滴丰”由如下质量百分比的原料制成:氨基酸60%~78%、硝基腐植酸20%~30%、碳酸氢铵1%~10%、发酵微生物1%~2%,氨基酸的含水率为45%~55%,硝基腐植酸的含水率为45%~55%,碳酸氢铵的含水率为3%。供试棉花品种为新陆中87,播种日期为4月16日,种植模式为1膜3管6行,株行距配置为9.8 cm×(63 cm+13 cm),2个小行之间铺设滴灌带,流量为2.8 L/h,每次灌水间隔7 d,正封土。试验小区长10 m,宽4.56 m,小区面积45 m<sup>2</sup>。

表1 灌水及施肥情况

Table 1 Drip irrigation and fertilization

处理	4月19日		4月26日		5月6日	
	灌水量/mm	碱滴丰用量/(kg hm <sup>-2</sup> )	灌水量/mm	碱滴丰用量/(kg hm <sup>-2</sup> )	灌水量/mm	碱滴丰用量/(kg hm <sup>-2</sup> )
1-15	15	75	-	-	-	-
1-30	30	75	-	-	-	-
1-45	45	75	-	-	-	-
2-15	15	75	15	45	-	-
2-30	30	75	30	45	-	-
2-45	45	75	45	45	-	-
3-15	15	75	15	45	15	30
3-30	30	75	30	45	30	30
3-45	45	75	45	45	45	30
CK	-	-	-	-	-	-

### 1.3 测试内容与方法

#### 1.3.1 湿润体含水率测定

取样方法采用网格法,选择每处理具有代表性灌溉均匀的滴头点,以滴头点为中心水平向朝一侧挖取

深30 cm、宽30 cm的土壤剖面,并将剖面划分为5 cm×5 cm的网格36个,利用TZS-2X-G多参数土壤水分速测仪测定每个网格区域内土壤含水率。

### 1.3.2 棉田土壤温湿度测定

在每次灌溉后 12~24 h 内利用 TZS-2X-G 多参数土壤水分速测仪测定棉田土壤温度和土壤含水率, 选定宽行间、窄行间、滴灌带下方、裸地 4 个取样点, 取土深度为 0~5、5~10 cm, 每个处理测定 8 组土壤温度和土壤含水率, 土壤含水率作为田间耗水量的计算依据。

### 1.3.3 棉田田间耗水量计算

田间耗水量及耗水强度计算参考灌溉试验规范<sup>[16]</sup>及郑强卿等<sup>[17]</sup>在滴灌骏枣的耗水量计算式, 试验区因属棉花播种出苗期滴灌, 并在测定时段内无降水, 且亦属典型沙漠地区, 因此阶段耗水量计算式为:

$$ET_{1-2} = 10 \times \sum \gamma_i \times H_i \times (W_{i1} - W_{i2}) + M, \quad (1)$$

式中:  $ET$  为阶段耗水量 (mm);  $M$  为时段内灌水量 (mm);  $W_{i1}$ 、 $W_{i2}$  为第  $i$  层土壤计算时段始、末含水率 (以占干土质量的百分率计);  $\gamma_i$  为第  $i$  层土壤干体积质量 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $H_i$  为第  $i$  层土壤厚度 (cm)。在播种后 3、10、20 d 分别测定宽行间、窄行间、滴灌带正下方、裸地 4 个点土壤含水率, 并计算各阶段耗水量, 累加、平均获得各处理播种-出苗期田间耗水量及耗水强度。

### 1.3.4 棉田土壤盐分、pH 值测定

于 5 月 17 日对各处理区中间行滴灌带下、边行滴灌带下、种行、裸地 4 个取样点分层 (0~10、10~20 cm) 用土钻法取样, 将样品带回实验室测定土壤盐分

(DDSJ-318 电导率仪) 和 pH 值 (ZD-2 自动电位测定仪)。

### 1.4 数据分析

用 Excel 2007、Origin 2021 进行数据统计分析及作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌水量对棉田点源湿润体含水率影响

由图 1 可知, 随着灌水量的增大, 剖面上土壤含水率整体呈向外扩散的趋势。其中灌水量为 15 mm 的处理, 土壤水分在距滴头点水平、垂直 5~15 cm 处内汇聚, 土壤含水率极大值出现在距滴头点垂直、水平 10 cm 的交点; 灌水量为 30 mm 的处理, 整个剖面的土壤含水率为 17%~23%, 明显高于灌水量 15 mm 处理的 12%~19%; 在垂直地面 20~25 cm 内, 土壤平均含水率达 20.9%, 在距滴头点垂直、水平 5~15 mm 内, 每次灌水量 30 mm 的处理平均含水率达 20.1%, 灌水量 15 mm 处理在该区域虽水分集中分布, 但土壤含水率依然低于灌水量 30 mm 处理 3.2%; 灌水量为 45 mm 的处理, 整个剖面的平均含水率达 19.2%, 较灌水量 30 mm 处理低 0.5%, 但在距离滴头点水平、垂直 15~25 cm 土层内却高于灌水量 30 mm 处理 0.5%; CK 整个剖面土壤含水率均 < 14%, 大部分区域 < 10%。

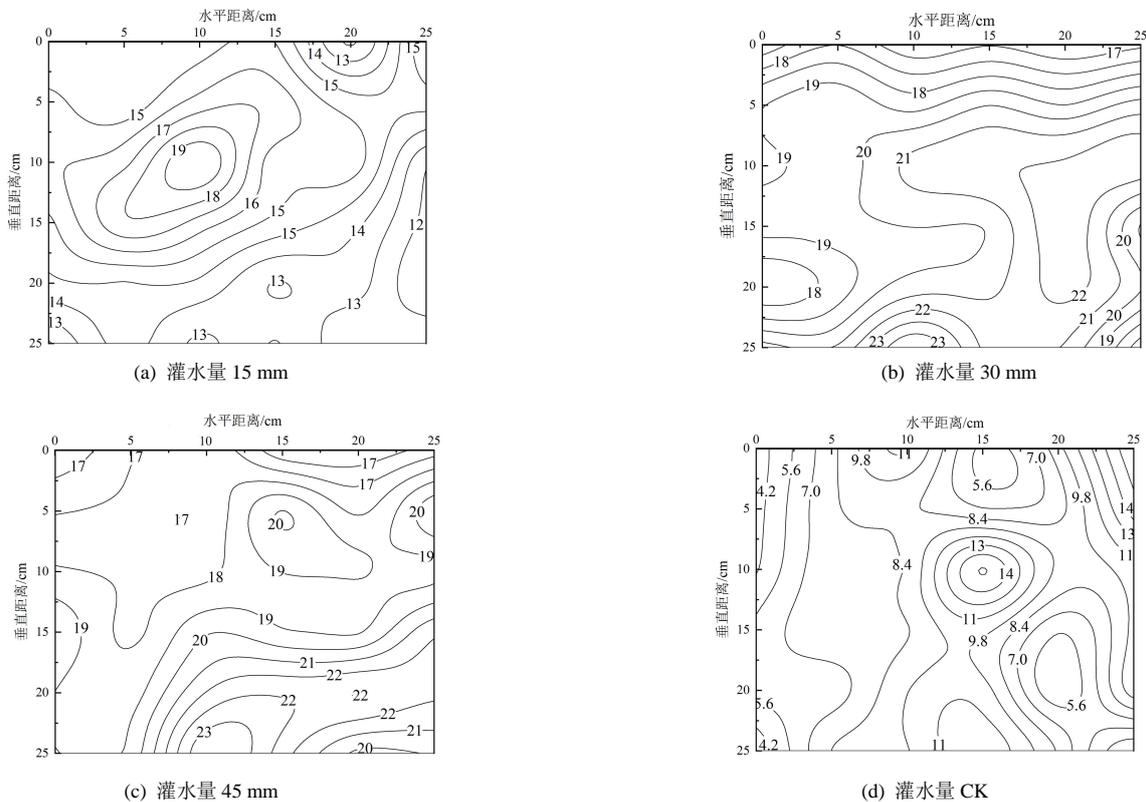


图 1 棉花播种-出苗期不同灌水量处理灌后 1 d 土壤含水率 (%)

Fig.1 Distribution of soil moisture on the 1st day after different drip irrigation rates in cotton sowing and seedling stage

## 2.2 多次微量滴灌对棉田土壤温度的影响

各处理第 1、2、3 次灌水后 0~5、5~10 cm 土层土壤温度见图 2。由图 2 (a)、图 2 (d) 可知, 灌水 1 次后, 试验区棉田 0~10 cm 土层土壤温度随着灌水量的增加而减小, 随着土层深度增大而减小。灌水量为 45 mm 时, 棉田 4 处土壤温度均低于 CK, 说明灌水量越大, 对棉田土壤有降温的作用。由图 2 (b)、图 2 (e) 可知, 灌水次数相同土壤温度随灌水量增加而降低, 灌水量相同灌水 2 次的处理土壤温度均低于灌水 1 次, 灌水 1 次宽膜间的各土层土壤温度高于 CK, 而灌水 2 次宽膜间的土壤温度低于 CK, 说明虽然灌水会降低土壤温度, 但灌水少量 (1 次), 宽膜间土壤温度会随着地膜的增温效应回升并高于 CK; 种行间、滴灌带下方各土层土壤温度均低于 CK, 灌水 1 次土壤温度变化不大, 灌水 2 次土壤温度较 CK 低 8~10 °C; 裸地处灌水 1 次各处理 0~5 cm 土层土

壤温度均高于 CK, 而 5~10 cm 土层土壤温度较 CK 低 1~2 °C, 灌水 2 次各土层土壤温度为 5~10 °C, 且均低于 CK; 由图 2 (c)、图 2 (f) 可知, 灌水 3 次后, 当灌水次数相同时, 土壤温度随灌水量增加而降低, 当灌水量相同时, 灌水 2 次、灌水 3 次处理土壤温度均高于灌水 1 次处理。各处理宽膜间 0~5 cm 土层土壤温度较 CK 高 1~5 °C; 5~10 cm 土层土壤温度较 CK 低 1~4 °C。种行间、滴灌带下方和裸地处的各土层土壤温度均高于 CK, 0~5 cm 土层土壤温度为 1~7 °C, 5~10 cm 土层土壤温度较 0~5 cm 土层低 4~5 °C。多次微量滴水保证了棉花所需水分同时也避免了土壤温度大幅下降, 每次灌水量越大棉田土壤温度下降越多, 从而不能创造种子发芽良好环境。棉田宽膜间、种行间、滴灌带下方和裸地 4 个取样点 0~10 cm 土层土壤温度表现为宽膜间>种行、滴灌带下方>裸地, 种行间、滴灌带下方的土壤温度没有明显变化。

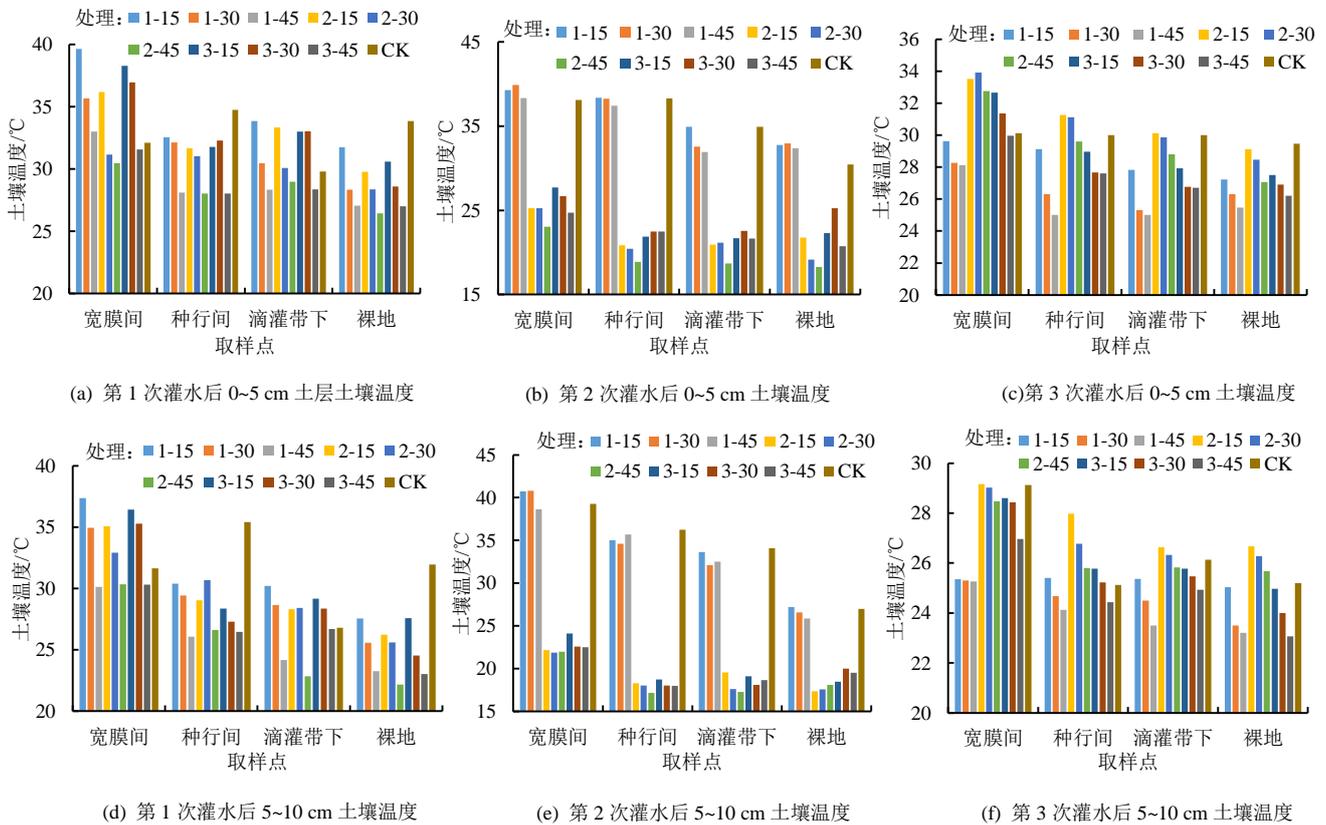


图 2 各处理土壤温度

Fig.2 Temperature changes at four points of each treatment

## 2.3 多次微量滴灌对棉田土壤盐分、pH 值的影响

由图 3 (a)、图 3 (b) 可知, 总体上, 各处理裸地处 0~10、10~20 cm 土层土壤 pH 值最高达 7.75~8.10, 种行间次之为 7.65~8.06, 中间行滴头下最低为 7.58~7.93; 0~10 cm 土层土壤 pH 值较 10~20 cm 土层土壤高 0.12~0.19。对比各处理 4 个取样点 2 层土样土壤 pH 均值可知, 除 1-15 处理与 CK 相当外, 其余处理均较 CK 小 0.01~0.12。各处理土壤 pH 值随

着灌水量增大而减小, 灌水量 15 mm 处理土壤 pH 值最大为 7.86~7.88, 灌水量 30 mm 处理次之为 7.83~7.85, 灌水量 45 mm 处理最小为 7.76~7.84。

图 3 (c)、图 3 (d) 可知, 各处理 10~20 cm 土层土壤盐分最高达 3.57~6.79 g/kg, 种行间次之为 2.55~7.13 g/kg, 中间行滴头下最低为 2.02~4.89 g/kg; 除 3 次灌水的 3 个处理外, 其余处理 0~10 cm 土层土壤盐分较 10~20 cm 土层高 0.05~0.69 g/kg, 可能是由

于取样时间为第3次灌水后,此时期仅有3次灌水的3个处理灌水会将表层土壤淋洗到下层。对比各处理4个取样点2层土样土壤盐分均值可知,1-15、1-30、

2-15、3-15处理土壤盐分较CK高0.34~1.17 g/kg,1-45、2-30、2-45、3-30、3-45处理土壤盐分较CK低0.02~1.02 g/kg。

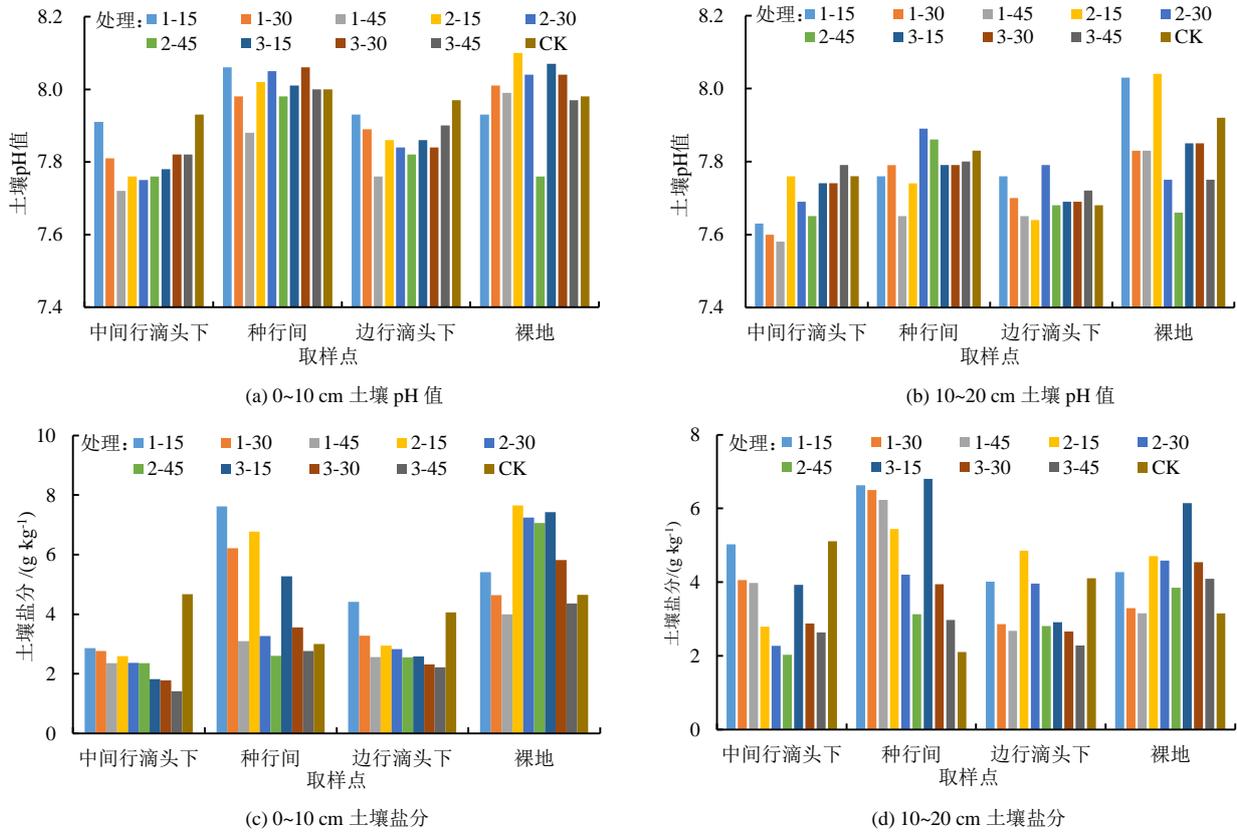


图3 各处理土壤 pH 值、土壤盐分变化

Fig.3 Changes in pH and salt content at four treatment points

#### 2.4 多次微量滴灌对棉花出苗期耗水及水分利用效率的影响

由表2可知,各处理耗水量及耗水强度随灌水量的增加而增加,且除1-15、2-15处理外,其他处理之间均差异显著。其中1-15处理耗水量最小为188.53 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,耗水强度为1.11 mm/d;2-15处理次之,耗水量及耗水强度分别为241.52 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>、1.42 mm/d,3-15处理耗水强度也小于1-45处理,3-45、3-30、2-45处理灌水量最大,耗水强度也较其他处理大,分别为7.23、4.70、5.15 mm/d,可能是灌水量越大,造成的地面蒸发等无效灌水增加所致。2-15处理水分利用效率最高为1.08 kg/m<sup>3</sup>,1-45处理次之为1.06 kg/m<sup>3</sup>,二者显著高于除1-15、1-30处理外的其他处理,其原因在于适量的灌水能够长时间浸润土壤,使棉花根系在较长时间持续保持活力,保证棉花健壮生长;1-15、1-30、1-45、2-15、2-30、2-45处理水分利用效率均显著高于CK,说明多次微量滴水1次或2次的6个处理均能替代春灌,获得较高的产量和水分利用效率。

表2 多次微量滴灌对棉花耗水及水分生产效率的影响

Table 2 Effect of multiple micro drip irrigation on cotton water consumption and water production efficiency

处理	灌水量/ mm	耗水量/ (m <sup>3</sup> hm <sup>-2</sup> )	耗水强度/ (mm d <sup>-1</sup> )	籽棉产量/ (kg hm <sup>-2</sup> )	水分利用 效率/ (kg m <sup>-3</sup> )
1-15	15	188.53h	1.11h	5 446.98ab	0.97ab
1-30	30	309.53g	1.82g	5 702.94a	1.00ab
1-45	45	432.00e	2.54e	6 169.20a	1.06a
2-15	30	241.52h	1.42h	6 119.81a	1.08a
2-30	60	596.76d	3.51d	5 549.19a	0.93b
2-45	75	875.67b	5.15b	5 587.84a	0.89b
3-15	45	371.89f	2.19f	4 136.76c	0.72c
3-30	90	798.52c	4.70c	4 091.56c	0.66c
3-45	135	1 230.52a	7.23a	3 148.68d	0.47d
CK	225	26.01i	0.15i	4 751.15bc	0.62c

注 同列不同小写字母表示各处理在  $P < 0.05$  水平差异显著。

### 3 讨论

灌水量是影响土壤湿润体运移的关键因素。本研究表明,灌水量为15 mm处理,通过1 d的土壤水分迁移,主要在种孔附近聚集,其湿润半径主要在离滴头点15 cm的范围内,主要是由于小灌水量处理并未出现地表径流,土壤水分迁移能力也较弱,属于典型的局部灌溉;灌水量为30 mm处理,整个剖面土壤

含水率明显高于灌水量 15 mm 处理, 土壤水分主要在垂直地面 20~25 cm 处汇集, 但在距滴头点垂直、水平 5~15 cm 处土壤含水率依然大于灌水量 15 mm 处理, 说明灌水量 30 mm 处理对该土层属于充分灌溉, 灌溉后土壤含水率达到饱和并逐步向下层运移; 灌水量 45 mm 处理离滴头越深越远, 土壤含水率越高, 与灌水量 30 mm 处理相比, 整个剖面土壤含水率没有明显增加, 可能是由于灌水量大形成地表径流, 反而不能使种孔附近土壤含水率达到最大; 春灌 CK 大部分区域土壤含水率均<10%, 棉田春灌能够获得较好的出苗率, 主要原因是 225 mm 灌水量在深层储藏, 并通过土壤毛管作用不断供给表层土壤, 能够长时间内让种子萌发处于较好的墒情。这与王洪博等<sup>[18]</sup>、汪昌树等<sup>[19]</sup>对无膜滴灌棉花和膜下滴灌方式中土壤含水率随灌水定额的增加整体呈增加趋势, 表层土壤含水率波动尤为明显的研究结论一致。

棉田 0~10 cm 土层土壤温度变化趋势表现为宽膜>种行、滴灌带下方>裸地; 当灌水次数相同时, 土壤温度随灌水量增加而降低, 随着土层深度增大而减小, 但多次微量灌水一段时间后, 宽膜间土壤温度会回升并高于不灌水处理; 当灌水量相同时, 灌水 2 次、灌水 3 次处理土壤温度均高于灌水 1 次处理。说明灌水总量一定条件下, 多次微量灌水不但能提高水分利用率, 还能提高土壤温度, 而且能降低土壤盐分表聚。

土壤 pH 值、盐分是影响土壤肥力、反映土壤盐碱度的重要因素<sup>[20]</sup>。本研究表明, 各处理 0~10、10~20 cm 土层土壤 pH 值、盐分表现为裸地>种行>边行滴头下>中间行滴头下, 且表层土壤 pH 值、土壤盐分大于深层土壤。杨鹏年等<sup>[9]</sup>认为, 宽行与窄行在 40 cm 以上区域内土壤盐分始终较低, 而膜间土壤盐分较高, 这与本研究结果一致, 分析其原因为灌溉后表层洗脱的土壤盐分随着土壤水分向蒸发量大的膜间裸地迁移。刘雪艳等<sup>[21]</sup>对微咸水膜下滴灌研究则与本文有所不同, 土壤盐分随着土层深度的增加呈先增大后减小, 水平方向则表现为裸地>宽行>窄行, 这可能是因为本研究土壤盐分分布所处的棉花生育期与其不同, 棉花播种出苗期至苗期, 由于棉花覆盖度不够, 种孔处蒸发蒸腾量大, 导致窄行处土壤盐分与土壤 pH 值高于宽行。灌水量 15 mm 处理土壤 pH 值最大为 7.86~7.88, 灌水量 30 mm 处理次之为 7.83~7.85, 灌水量 45 mm 处理最小为 7.76~7.84, 且均小于 CK。1-15、1-30、2-15、3-15 处理土壤盐分较 CK 高 0.34~1.17 g/kg, 1-45、2-30、2-45、3-30、3-45 处理土壤盐分较 CK 低 0.02~1.02 g/kg, 且灌水量越大, 种行表层和底层的土壤盐分越小, 灌水次数越多, 种行土壤盐分越小, 这与王菲等<sup>[22]</sup>研究结论一致, 主要是由于随着灌水量的增加, 土壤盐分

随着土壤重力水和张力水的运移而向下层和两边迁移所致。从种孔行间土壤盐分变化可知, 灌水量越大, 种孔行表层和底层的土壤盐分均越小, 灌水次数越多, 种孔行土壤盐分越小, 主要是随着灌水后蒸发量的增大, 土壤盐分大量在种孔附近聚集, 因此, 若想保持种孔行处土壤盐分合理, 不影响种子发芽和棉苗生长, 需要及时将表层土壤盐分淋洗至下层, 多次微量滴水是控盐的最佳手段。

作物的田间耗水规律是制定田间灌水决策和灌溉制度的重要依据<sup>[23]</sup>。本研究表明, 灌水 1 次或 2 次处理耗水强度随灌水量的增加而增加, 同样播种-出苗期灌水量 45 mm 的 3-15 处理耗水强度显著低于 1-45 处理, 说明该时期单次灌水越少, 耗水量及耗水强度越小。灌水频率 1 次或 2 次的 6 个处理均可保证棉花获得较高的产量和水分利用效率, 其中 2-15 处理表现最好。这与王小兵等<sup>[24]</sup>研究结果不同, 可能是与本研究灌水次数多, 每次灌水量小有关。

## 4 结论

1) 灌水量 15 mm 处理能够给种子创造良好的萌发环境, 属于典型的局部灌溉。

2) 多次微量滴水会降低土壤温度, 灌水量越大棉田土壤温度下降越多, 但灌水 1 次宽膜间土壤温度会回升并高于不灌水处理, 棉田 4 处 0~10 cm 土壤温度表现为宽膜间>种行、滴灌带下方>裸地。

3) 多次微量滴水能够降低棉田土壤 pH 值和土壤盐分, 且随着灌水量增加土壤 pH 值和土壤盐分呈减小趋势, 灌水次数越多, 土壤盐分越小; 棉田土壤 pH 值、盐分变化趋势均表现为裸地>种行间>中间行滴头下。

4) 2-15 处理既能减少无效耗水, 也能获得较高的籽棉产量和水分利用效率。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

## 参考文献:

- [1] 刘传迹, 金晓斌, 徐伟义, 等. 2000—2020 年南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.
- [2] 郑子漂, 徐海江, 努斯热提·吾斯曼, 等. 新疆喀什植棉区“干播湿出”技术应用现状及建议[J]. 中国棉花, 2022, 49(12): 1-3.
- [3] 李慧琴, 王潭刚, 孔宪辉. 2022 年新疆小海子垦区棉花干播湿出苗情分析[J]. 新疆农垦科技, 2023, 46(2): 9-11.
- [4] 郑明, 白云岗, 张江辉, 等. 干播湿出灌水量和灌水频率对棉田土壤板结、水盐分布及出苗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(6): 100-107.
- [5] 王潭刚, 李慧琴, 崔建强, 等. 第三师棉花干播湿出技术推广应用现状[J]. 新疆农垦科技, 2022, 45(5): 4-5.
- [6] 王海江, 李冬冬, 侯振安, 等. 滴灌棉田土壤水盐氮的分布和运移规律[J]. 中国农村水利水电, 2013(9): 33-36.
- [7] 王海江, 王开勇, 刘玉国, 等. 膜下滴灌棉田不同土层盐分变化及其对棉花生长的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(10): 2 381-2 385.

- [8] 马合木江, 艾合买提, 古丽, 别克木汗, 虎胆, 吐马尔白, 等. 膜下滴灌棉田土壤盐分变化规律研究[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(1): 75-78.
- [9] 杨鹏年, 董新光, 刘磊, 等. 干旱区大田膜下滴灌土壤盐分运移与调控[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 90-95.
- [10] 韩政宇, 张江辉, 白云岗, 等. 土壤改良剂对新疆棉田“干播湿出”模式土壤性状和出苗率的影响研究[J]. 节水灌溉, 2022(8): 46-52, 59.
- [11] 袁席天, 白云岗, 孙三民, 等. 干播湿出模式下不同出苗水对棉花生理性状及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2022(9): 46-51.
- [12] 刘梅先, 杨劲松, 李晓明, 等. 膜下滴灌条件下滴水量和滴水频率对棉田土壤水分分布及水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3 203-3 210.
- [13] 杨宏伟, 李思恩. 多年膜下滴灌对土壤水盐及棉花产量的影响[J]. 节水灌溉, 2022(10): 79-85.
- [14] 王亚娟, 张凤华, 唐鹏飞, 等. 棉田膜间覆盖高分子材料对土壤水盐及棉花产量的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(1): 23-29.
- [15] 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.
- [16] 中华人民共和国水利部. 灌溉试验规范: SL 13—2004[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [17] 郑强卿, 陈奇凌, 李铭, 等. 滴灌枣需水规律及灌溉制度[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 187-189.
- [18] 王洪博, 曹辉, 高阳, 等. 新疆无膜滴灌棉花灌溉制度对土壤水分和产量品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 26-34.
- [19] 汪昌树, 杨鹏年, 于宴民, 等. 膜下滴灌布置方式对土壤水盐运移和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4): 38-45.
- [20] 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.
- [21] 刘雪艳, 丁邦新, 白云岗, 等. 微咸水膜下滴灌对土壤盐分及棉花产量的影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 410-417.
- [22] 王菲, 吕德生, 王振华, 等. 水盐耦合对滴灌棉花出苗率及苗期生长的影响[J]. 节水灌溉, 2023(3): 91-97, 105.
- [23] 王小兵, 李明思, 何春燕. 膜下高频滴灌棉花田间耗水规律的试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(1): 39-42.
- [24] 王小兵. 膜下高频滴灌棉花耗水量与灌溉制度研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2008.

## Effects of Multiple Micro Drops of Irrigation Techniques on Soil Water, Heat, and Salt in Cotton Fields of Southern Xinjiang

JI Guangpeng<sup>1</sup>, ZHANG Donghai<sup>1</sup>, CHEN Bing<sup>2\*</sup>, CHANG Xueyan<sup>1</sup>, NIU Linglei<sup>1</sup>, CHANG Xinyi<sup>1</sup>

(1. Institute of Agriculture Science and Technology, Division No 3. Of Xinjiang Production and Construction Corps, Tumisuke 843900, China; 2. Cotton Institute, Xinjiang Academy Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832003, China)

**Abstract: 【Objective】**This study focused on solving the problems of high irrigation volume, heavy salinity hazard and difficult soil temperature and humidity regulation for cotton planting in saline lands in South Xinjiang. **【Method】**A plot experiment was conducted in the Third Division of South Xinjiang, with different irrigation amounts (15-45 mm each time) and frequencies (1-3 times) (treatment numbers 1-15, 1-30, 1-45, 2-15, 2-30, 2-45, 3-15, 3-30, 3-45), using spring irrigation as CK (225 mm), to study the effects of different emergence amounts and frequencies on the water content of soil wet bodies, water consumption characteristics, ground temperature and salinity in cotton fields. We investigated the effects of different seedling water amounts and frequencies on the water content of soil wet bodies, water consumption characteristics, ground temperature and salinity content of cotton fields in order to find the equilibrium relationship between water supply required for cotton seedling germination and the amount of salt elution in saline fields in South Xinjiang. **【Result】**The results showed that the treatment with 15 mm irrigation amount could better control the wet zone within the range near the seed holes, and the intersection of the great value of water content within the wet zone was 10 cm horizontally and vertically from the drip head point, and the average water content within the profile reached 14.6%, soil water content of the whole profile was less than 10% in spring irrigation compared with CK; the water consumption and water consumption intensity of cotton sowing seedling emergence - after seedling irrigation and water soil temperature decreased with increasing irrigation amount, but soil temperature rised after a period of irrigation, and was higher than that of CK, the more irrigation amount, the higher the soil temperature after 12-24 h of irrigation; pH value of each treatment decreased with the increase irrigation amount and was smaller than that CK. All of them were smaller than that CK; the larger the amount of irrigation, the smaller the salinity of both surface and bottom layers of seed rows, and the more the number of irrigation, the smaller the salinity content of seed rows. **【Conclusion】**In summary, multiple micro-drip irrigation with a low irrigation amount of 15 mm is better in South China, which can make the drip irrigation wet body achieve the purpose of wetting the germination area of cotton seeds, and also can ensure a higher water utilization efficiency, and multiple irrigation can ensure the seed area of cotton seeds to reach a higher soil temperature and lower salinity content, among which treatments 2-15 have the best performance.

**Key words:** cotton; multiple drips; moisture of wetting front; water consumption characteristics; hydrothermal salt distribution

责任编辑: 白芳芳