

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

郑明^{1,3}, 白云岗^{1,3}, 张江辉¹, 刘洪波^{1,3},
王蓓¹, 肖军¹, 丁宇², 韩政宇²

(1. 新疆水利水电科学研究院, 新疆乌鲁木齐 830049; 2. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052;
3. 农业农村部盐碱土改良与利用(干旱半干旱区盐碱地)重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:为探究干播湿出对棉花覆土板结程度、土壤水盐分布以及出苗情况的影响,设置不同出苗水量与灌水频率2个因素,共计6个处理和1个对照处理,分别为WP1($675\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)、WP2($900\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)、WP3($1\ 125\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)、WP4[($675+225$) $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$]、WP5[($675+450$) $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$]、WP6[($675+300+225$) $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$]与冬灌处理,对各处理的表层覆土板结度、灌前与灌后含水率及含盐量、出苗率、株高、茎粗等指标进行分析。结果表明:表层土壤板结度受灌溉水总量与灌水频次影响,WP4处理表层土壤板结程度最低(99.87 kPa),少量高频灌溉可以降低表层土壤板结度;各处理膜间电导率最大,高于窄行土壤9%以上;WP4处理出苗率最高(84.74%);窄行电导率、窄行含水率和表层覆土板结度与出苗率均具有显著负相关关系,土壤含水率与窄行电导率与株高、茎粗均呈现显著负相关关系。通过评判各处理出苗率与生长指标,WP4处理为最优处理。

关键词:棉花;土壤板结;土壤水盐分布;灌水量;灌水频次

中图分类号:S274 文献标志码:A

Effects of irrigation quantity and irrigation frequency of dry sowing and wet seedling on soil compaction, water-salt distribution and seedling emergence in cotton fields

ZHENG Ming^{1,3}, BAI Yungang^{1,3}, ZHANG Jianghui¹, LIU Hongbo^{1,3},
WANG Bei¹, XIAO Jun¹, DING Yu², HAN Zhengyu²

(1. Xinjiang Institute of Water Conservancy and Hydropower Sciences, Urumqi, Xinjiang 830049, China;
2. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
3. Key Laboratory of Saline-alkali Soil Improvement and Utilization (Saline-alkali Land in Arid and Semi-arid Regions), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: To investigate the effects of dry sowing and wet seedling on cotton soil compaction, soil water and salt distribution and seedling emergence, six treatments and a control treatment were set up with different emergence water and irrigation frequency, namely WP1 ($675\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), WP2 ($900\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), WP3 ($1\ 125\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), WP4 [($675+225$) $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$], WP5 [($675+450$) $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$], WP6 [($675+300+225$) $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$] and winter irrigation treatments. The indexes of topsoil cover slab, water content and salinity before and after irrigation, seedling emergence, plant height, and stem thickness for each treatment were measured. The results showed that the surface soil slump was affected by the total amount of irrigation water and the frequency of irrigation, and the WP4 treatment had the lowest surface soil slump (99.87 kPa), and a small amount of high-frequency irrigation reduced the surface soil slump. The conductivity between the membranes was the highest for each treatment, being more than 9% higher than that of the narrow-row soil. The highest seedling emergence (84.74%) was

observed for the WP4 treatment. The narrow-row conductivity, narrow-row water content and top-soil bulking all had significant negative correlations with seedling emergence, and soil water content and narrow-row conductivity showed significant negative correlations with plant height and stem thickness. By evaluating the seedling emergence rate and growth index of each treatment, WP4 treatment was the best treatment.

Keywords: cotton; soil compaction; soil water and salt distribution; irrigation quantity; irrigation frequency

棉花作为新疆特色农作物之一,截止到 2017 年棉花播种面积 221.7 万 hm^2 ,其中阿克苏地区棉花种植面积为 31.5 万 hm^2 ,占全疆棉花种植面积 13.87%,占阿克苏地区农作物种植面积的 35.63%^[1],因此棉花在阿克苏地区具有举足轻重的地位。但随着新疆水资源短缺问题不断加剧,严重限制了新疆棉花种植业的发展,为此水管部门制定了棉花全生育期毛灌溉水量为 6 555 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (包含冬灌或春灌水量 2 700 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)^[2]。除去冬春灌溉水量,剩余 3 855 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水量并不能足量地保证棉花正常灌溉,若不冬灌或者春灌可能会引起土壤盐碱含量高而不利于棉花出苗,因此亟需寻求一种节水控盐的灌溉模式。

近年来,新疆广泛实施的膜下滴灌技术对该地区的农业节水和作物高效生产起着十分重要的作用。为此大量学者开展了膜下滴灌农田土壤水分分布和作物生长特性研究。当膜下滴灌技术随着年限增加,无冬春灌水量淋洗土壤盐分可能会造成土壤盐分累积,对后续作物种植将产生不利影响,但有研究表明使用良好的水质与制定合理的灌溉制度灌溉,农田土壤盐分含量不会随滴灌技术使用年限而增加^[3],土壤中盐分会随滴灌水向水平方向推移,从而降低棉花根区含盐量,膜间裸地盐分增加^[4],从而降低土壤盐碱含量^[5]。另外一些研究认为膜下滴灌较不覆膜滴灌土壤蒸发量降低显著降低,进而提高了根区土壤含水率和水分利用效率^[6],减少土壤渗漏,提高肥料利用效率,增加根区土壤温度,促进作物生长与增产。综上所述膜下滴灌具备抑制土壤深层渗漏、减少棵间蒸发、节水、节肥、淡化根区盐分、增温、保墒等优点^[7-8]。

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。相比冬灌与春灌具有明显节约水资源的优势,有研究证实对于中低盐碱化土壤,干播湿出种植模式可以改善作物根系分布、出苗率以及产量^[9],但膜下滴灌技术与干播湿出种植模式相结合的研究鲜有报道,干播湿出技术应用在棉花的灌溉制度也未见报道,尤其灌溉出苗水后土壤水通过膜孔蒸发是否对表层土壤板结度、土壤水盐运移、棉花出苗率以及生长指标的影响还有待进一步探究。由此可见开展膜下滴灌条件下的干播

湿出灌溉技术研究对进一步提高水资源利用效率等问题具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验开展时间为 2021 年 4 月—5 月,研究区位于新疆沙雅县海楼镇海楼村(41° 17' 19" N, 82°42'44"E,海拔 986 m),东与努尔巴格乡、沙雅镇、托依堡勒迪镇接壤,南与盖孜库木乡相邻,西与英买力镇、央塔克协海尔乡相邻,北与红旗镇相连,距离沙雅县城 10 km。该区属暖温带沙漠边缘气候,日照充足,年平均降雨量 81.6 mm,年蒸发量 2 000 mm 以上,年平均日照长达 3 000 h,年平均气温 10.7℃。试验田土壤类型为粉壤土,土壤容重 1.58 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间持水率为 21.83%,土壤含盐量小于 1 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,冬季地下水埋深约 3.8 m,春季地下水埋深约 2.9 m。

1.2 试验设计

供试材料为棉花,品种为‘源棉 11’。膜宽 2.05 m,采用一膜三管六行种植模式(10 cm+66 cm+10 cm+66 cm+10 cm),即宽行宽度 66 cm,窄行宽度 10 cm,膜间宽度 66 cm,覆膜方式为单膜,具体种植模式见图 1。滴头流量 2.1 $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$,滴头间距 30 cm,铺在宽行之间距棉行间距 10 cm 处。犁地前按 900 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 撒施复合肥作为底肥。4 月 16 日播种,棉穴覆土模式为正封土,覆土厚度 1~2 cm,播种深度 3 cm,播种株距 10 cm。首次灌水日期为 4 月 20 日,滴灌水为水库水与井水的混合水(电导率为 1.97 $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$),灌溉水量采用水表计量。设计不同灌水量(675 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、900 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 1 125 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)与不同灌水频次(灌水次数为 1 次、2 次与 3 次)两因素,对照处理为冬灌 2 700 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,冬灌灌水日期为 2020 年 11 月 3 日。小区试验面积为 7 m×7 m,每个处理重复 3 次,具体试验设计见表 1。

1.3 指标测定

1.3.1 土壤板结度 于 4 月 27 日对棉花穴坑处的土壤板结程度进行测定,从每个处理中随机选取 20 组棉穴,使用硬度计(TYD-2,艾测)测定其板结程度,硬度计插入土中深度为 3 cm,取其平均值作为相应处理的土壤板结度。

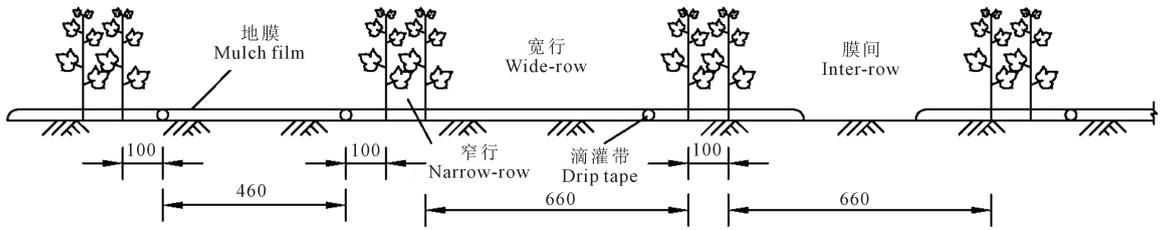


图 1 干播湿出棉花种植模式/mm

Fig.1 Dry sowing and wet out cotton planting mode

表 1 干播湿出棉花灌溉试验设计

Table 1 Experimental design of dry sowing and wet out cotton irrigation

处理 Treatment	灌水量 Irrigation quantity/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)			
	2020-11-09			
	冬灌 Winter irrigation	04-20	04-23	04-26
WP1	0	675		
WP2	0	900		
WP3	0	1125		
WP4	0	675	225	
WP5	0	675	450	
WP6	0	675	300	150
CK	2700	0	0	0

1.3.2 土壤含水率与电导率 于 4 月 19 日(灌溉前)和 4 月 27 日(灌溉后)在各处理膜间、宽行、窄行处使用土钻取土,取样深度为 100 cm,其中 40 cm 以上土层间隔 10 cm,40 cm 以下土层间隔 20 cm。采用烘干法测定质量含水率,并转换成体积含水率。采用电导率仪(DDS-307A,雷磁)测定土壤提取液(土水比 1:5)电导率。

1.3.3 出苗率 于 5 月 5 日对棉花出苗情况进行测定,在每个试验小区内沿行向随机量取长度为 2 m 的三膜棉花,对棉花的出苗数与空穴数进行统计,出苗率按下式计算:出苗率=出苗数/(总穴数-空穴数) $\times 100\%$ 。

1.3.4 株高与茎粗 于 5 月 12 日从每个处理中随机选取 20 组棉苗,分别使用电子游标卡尺(精度为 0.01 mm)和直尺测定茎粗与株高,取其均值作为该处理平均茎粗与株高。

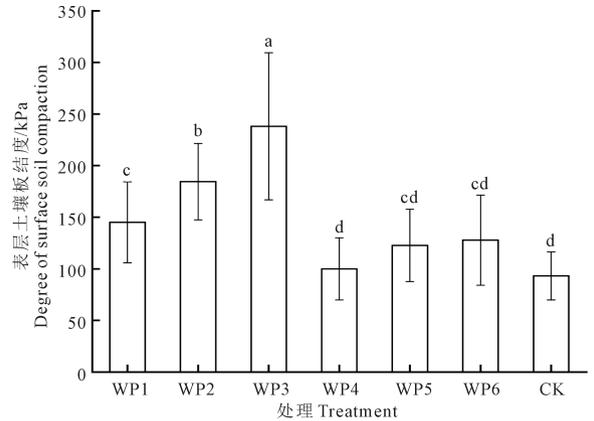
1.4 数据处理

采用 Excel 2019 对数据进行统计与计算,采用 Origin 2018 进行绘图,采用 SPSS 19.0 的双因素方差与多重比较对数据进行显著性分析以及偏相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理表层土壤板结度分析

表层土壤板结度受出苗水总量和灌水频次影响,双因素方差分析表明,出苗水总量和灌水频次对表层土壤板结度无交互作用($P>0.05$)。由图 2



注:不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$).

图 2 各处理表层土壤板结度

Fig.2 Surface soil compaction degree of each treatment

可知,在单次灌溉条件下(WP1、WP2 与 WP3 处理),土壤表层板结度随灌溉水量呈现增大趋势,其中 WP3 处理板结度最大(238.1 kPa),是 CK 处理的 2.36 倍;干播湿出处理中,受灌水量与灌水频次共同影响,WP4 处理板结度最小(99.87 kPa),但与 WP5、WP6 及 CK 处理无显著差异。在多次灌溉条件下,随出苗水次数增加,土壤表层板结度呈现减小趋势,且 WP4、WP5 与 WP6 处理无显著差异。这说明高频少量的灌溉制度会使表层土壤一直处于湿润状态,从而降低土壤板结度。

2.2 不同处理土壤水盐分布

2.2.1 灌溉前不同处理土壤电导率和含水率分布特征 由图 3 可知,CK 处理不同土壤层电导率总体低于干播湿出处理,说明冬灌对土壤盐分具有明显的淋洗效果,在蒸发作用下地表出现盐分表聚现象。覆膜阻碍了土壤蒸发作用,膜内水分只能通过膜间向大气蒸发,导致膜间土壤电导率总体高于膜内土壤电导率。膜间与膜内土壤电导率均在 0~10 cm 土层最大,为典型的盐分表聚型。30~100 cm 土层土壤电导率较 0~30 cm 土层小,原因可能为机耕使 0~30 cm 土壤疏松,增大了土壤孔隙对盐分运移具有阻碍作用。受冬灌影响,CK 处理土壤含水率

明显高于干播湿出处理。覆膜可以减缓土壤蒸发,使得膜内含水率高于膜间。棉穴含水率(0~10 cm)约为 14%,膜内与膜间 30~40 cm 土层土壤含水率均高于其它土层,这是由于机耕造成水分留存此处,但由于取样时间仅在播种后两天,所以盐分还

未大量聚集。

2.2.2 灌溉后不同处理对土壤电导率和含水率分布特征 由图 4 可知,由于表层土壤受灌水和蒸发的影响,盐分变化幅度大,洗盐和积盐现象都比较显著^[10],因此各处理的膜间盐分分布均呈现表聚型,

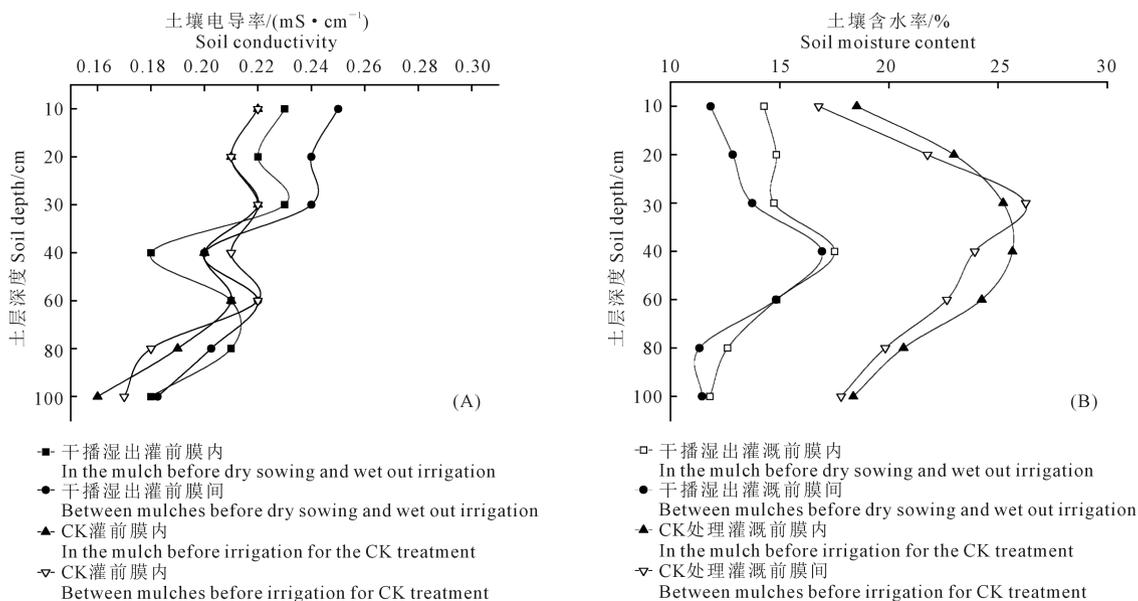


图 3 灌溉前不同处理的初始土壤电导率及含水率

Fig. 3 The initial soil conductivity and water content of different treatments before irrigation

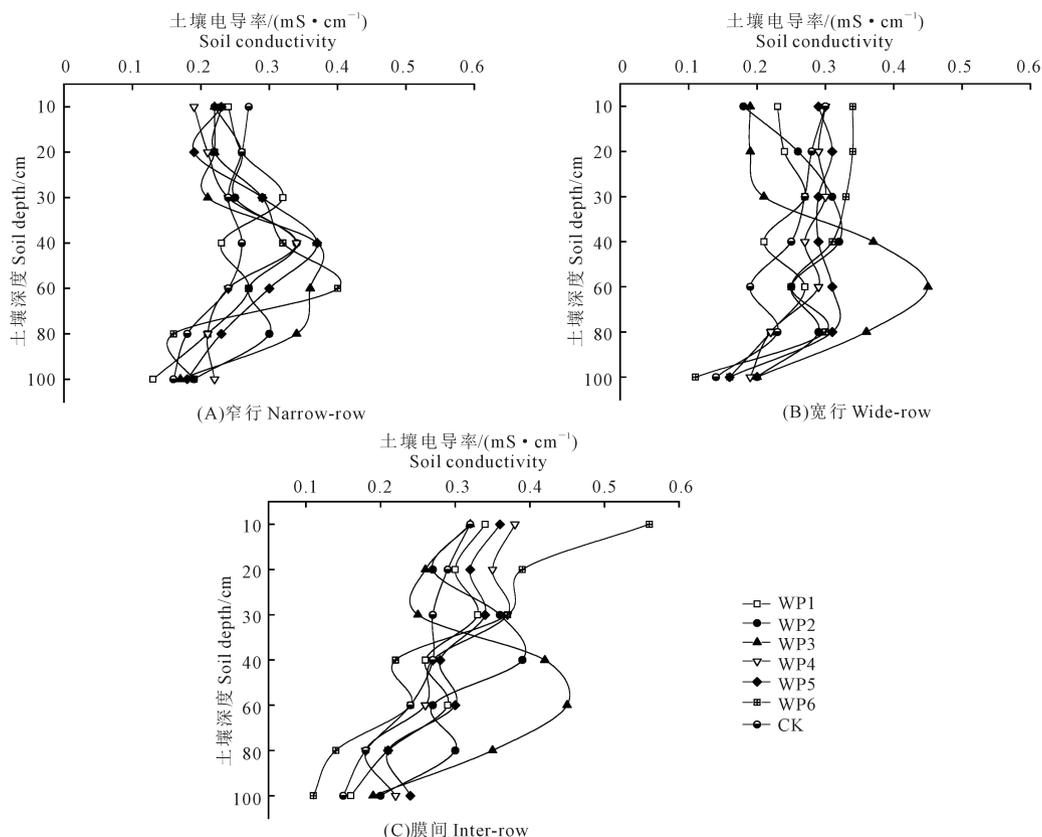


图 4 灌溉后不同处理土壤电导率分布特征

Fig. 4 Characteristics of soil conductivity distribution of different treatments after irrigation

窄行中盐分表现为浅层与深层较中间层大,宽行土壤含盐量介于窄行与膜间之间。在耕作层(0~40 cm)中窄行盐分明显低于宽行与膜间,而40 cm以下土层各位置盐分含量基本一致。宽行与窄行主要受灌水影响,使盐分向下运移,同时也发生水平运移至膜间,膜间土壤蒸发量较大,使盐分留存地表。综上各处理均表现为膜间土壤含盐量总体大于窄行与宽行,说明干播湿出灌溉水可以起到压盐效果,使棉穴盐分含量下降,并起到一定作用的水平排盐效果。

对各处理不同位置0~100 cm土层的电导率求平均值,进行差异性分析(表2)。干播湿出处理电导率均大于CK处理,说明干播湿出水量不足以起到淋洗0~100 cm土壤盐分的效果。各处理不同位置盐分含量均表现为膜间>宽行>窄行。受覆膜影响,WP1~WP6处理膜间含盐量相比窄行分别高12.50%、11.53%、14.81%、26.08%、15.38%与15.38%。对于宽行、窄行与膜间位置,干播湿出处理中,WP1处理盐分含量基本为最小。

由图5可知。随着灌溉水量和灌水频次的增加,各处理土壤含水率整体表现为WP6>WP5>WP3

>WP4>WP2>WP1>CK,各处理宽行、窄行以及膜间的土壤含水率表现为宽行>窄行>膜间。WP1、WP2与WP4处理宽行与窄行0~30 cm土层土壤含水率基本介于20%~25%之间,利于棉花出苗。WP3、WP5与WP6处理宽行与窄行0~30 cm土层土壤含水率基本介于30%~35%之间,土壤含水率过高不利于棉花出苗。

表 2 各处理 0~100 cm 土层土壤平均电导率

Table 2 Average electrical conductivity of soil in 0~100 cm soil layer for each treatment

处理 Treatment	WP1	WP2	WP3	WP4	WP5	WP6	CK
宽行 Wide-row	0.23c	0.26b	0.28a	0.27ab	0.28a	0.27a	0.23c
窄行 Narrow-row	0.24cd	0.26ab	0.27a	0.23de	0.26bc	0.26bc	0.22e
膜间 Inter-row	0.27c	0.29bc	0.31a	0.29bc	0.30ab	0.30ab	0.24d

注:同行不同小写字母表示处理间差异达显著水平(P<0.05)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences between treatments (P<0.05). The same below.

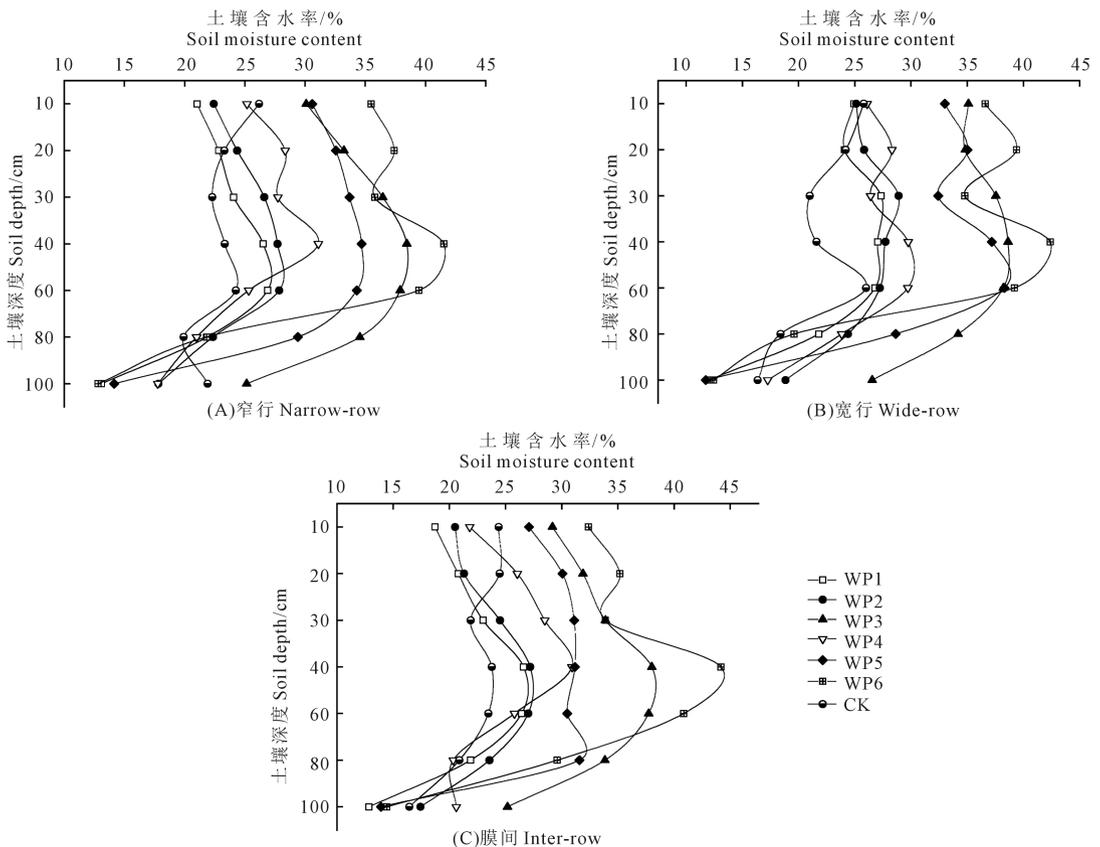


图 5 灌水后不同处理土壤含水率分布特征

Fig.5 Distribution characteristics of soil water content of different treatments after irrigation

2.3 不同灌溉处理棉花出苗及生长指标分析

对各处理出苗率、株高及茎粗进行双因素方差分析,结果显示灌溉水总量与灌水频次对出苗率、株高及茎粗均无交互作用($P>0.05$),出苗率与灌水总量关系显著($P<0.05$),但与灌水频次无相关性($P>0.05$);株高、茎粗均与出苗水总量、灌水频次关系显著($P<0.05$)。

由表3可知,WP1、WP2、WP3、WP4、WP5、WP6处理棉花出苗率较CK处理分别降低18.52%、11.38%、32.65%、0.50%、26.34%、19.93%,WP4处理出苗率与CK处理无显著性差异($P>0.05$)。WP3处理相比CK处理出苗率明显下降,原因是灌溉水量过大导致土壤含水率过高,延长了棉种萌发时间,同时造成部分棉种腐烂,最终影响出苗。WP5与WP6处理与WP3处理灌溉水总量相同,但灌水次数有所增加,属于少量高频灌溉模式,使得两处理出苗率较WP3处理有所提高。WP1、WP2、WP4处理与CK处理之间的株高与茎粗均无显著性差异,但显著高于WP3、WP5与WP6处理,说明灌溉水量为 $675\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $900\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 更有利棉花生长。

2.4 不同灌溉处理出苗率和生长指标的相关性分析

将表层土壤板结度、灌后不同位置土壤含水率和电导率与棉花出苗率和生长指标(株高和茎粗)进行偏相关分析,由表4可知,除膜间电导率之外,其他因素与出苗率均呈负相关关系。说明灌水后膜内土壤中可溶性盐随水分发生水平运移至膜间处,有利于棉花出苗。表层土壤板结度、窄行电导率及窄行含水率对出苗率具有极显著影响,影响程度表现为窄行电导率>表层土壤板结度>窄行含水率。所有因素与株高和茎粗具有负相关关系,出苗后表层土壤板结度已不再是影响生长指标的关键因素,故对棉花生长具有极显著影响的因素有窄行电导率和土壤不同位

表3 各处理棉花出苗率及生长指标

Table 3 Cotton seedling emergence and growth index of each treatment

处理 Treatment	出苗率/% Emergence rate	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter
WP1	72.67±3.36d	10.43±1.36a	2.75±0.29a
WP2	79.04±7.06bc	10.46±1.30a	2.64±0.32a
WP3	60.07±10.40e	7.43±1.58c	1.92±0.31c
WP4	84.74±9.30ab	10.73±1.27a	2.69±0.21a
WP5	65.70±9.49de	9.05±1.08b	2.45±0.19b
WP6	71.41±3.34d	8.55±1.39b	2.34±0.18b
CK	89.19±5.54a	11.67±1.04a	2.81±0.16a

注:表中数据为平均值±标准差。

Note: The data in the table are the mean ± standard deviation.

置含水率,影响程度表现为土壤各位置含水率>窄行电导率;此外土壤各位置含水率与生长指标均呈负相关关系,说明本试验处理出苗水量偏大不利于棉花生长。

3 讨论

有研究通过滴灌土壤湿润体内含盐率与土壤初始含盐率以及作物耐盐度的相对大小将土壤湿润体划分为脱盐区、达标脱盐区、未达标脱盐区和积盐区^[11]。本研究中的干播湿出在棉花播种后灌溉出苗水,可以有效地对棉花根区进行脱盐,尤其在水平方向,盐分被淋洗至湿润体外缘,使根区土壤形成低盐区^[12]。在干旱区强烈蒸发作用下,土壤覆膜削弱了土壤水分在垂直方向的蒸发,进而增强了土壤水分侧向运移,最终向作物生长行间裸露区域迁移^[13],减小了盐分随地表蒸发和毛管水上升而表聚地表^[14]。这使得膜间0~20 cm土层含盐量显著高于宽行与窄行,同时因膜间无覆膜,受土壤蒸发作用,出现盐分表聚现象。宽行位于三条滴灌之间,是滴灌湿润体的交叉位置,受出苗水水平推移盐分影响,导致0~20 cm土壤层含盐量高于窄行。本试验使用的灌溉水为水库水与地下水的混合水,具有一定的含盐量(电导率为 $1.97\text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$),因此对土壤脱盐效果不显著。棉花根区土壤含盐量低于0.37%,对棉花出苗无影响^[15]。本试验田土壤

表4 不同因素对棉花出苗率及棉花生长的偏相关分析

Table 4 Biased correlation analysis of different factors on cotton seedling emergence and cotton growth

因素 Factor	出苗率 Emergence rate	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter
表层土壤板结度 Surface soil compaction degree	-0.776**	-0.632	-0.715
宽行电导率 Conductivity in wide-row	-0.583	-0.739	-0.724
窄行电导率 Conductivity in narrow-row	-0.955**	-0.866**	-0.800**
膜间电导率 Conductivity in inter-row	0.12	-0.389	-0.342
宽行含水率 Moisture content in wide-row	-0.662	-0.942**	-0.932**
窄行含水率 Moisture content in narrow-row	-0.763**	-0.953**	0.926**
膜间含水率 Moisture content in inter-row	-0.585	-0.914**	-0.901**

注:**表示两种指标之间存在显著相关性($P<0.05$)。

Note: ** indicates a significant correlation between the two indicators ($P<0.05$).

质地为粉壤土,灌溉前与灌溉后含盐量均低于0.3%,因此影响本试验棉花出苗率的主要因素为土壤含水率与表层土壤板结度。

棉花出苗率受出苗水量的影响最为显著,随灌水量的减少而降低^[16],但本试验干播湿出技术中出苗水量过高造成了棉种腐烂,从而使出苗率降低。灌水频次过高会造成土壤温度持续较低,但可以湿润棉穴表层土壤,破坏土壤板结结构。在同等出苗水量情况下,灌水频次越高出苗率相对较高,但株高与茎粗随灌水频次的增加而较小,说明灌水频次过高对棉花生长具有抑制作用,分析原因认为高频次灌水使土壤中的盐分浓度较高,抑制了棉花株高和茎粗的生长^[17],从本试验结果来看,灌水频次为两次对棉花出苗率及生长指标最优。

土壤通气性是反映土壤对外界气体更新速率的重要物理参数^[18],而土壤板结度对棉花出苗的影响程度仅次于窄行土壤电导率,其从两个方面对棉花出苗产生影响,一方面是改变土壤物理性质,造成土壤密实,减小土壤通气性,降低出苗率;另一方面是造成棉穴表层覆土成块与密实,棉芽无法冲破表层覆土,造成闷苗死苗现象。本试验中出苗水分两次到三次进行灌溉,可在棉种发芽时湿润表层覆土,破坏板结土结构,利于棉芽冲破覆土,进而提高棉花出苗率,但过高的出苗水量会造成棉种腐烂,也会降低出苗率。因此从出苗率来看,出苗总水量为 $900\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 且分两次灌溉出苗水会显著提升棉花出苗率。

4 结 论

表层土壤板结度受灌溉水总量与灌水频次影响,高频少量的灌溉出苗水会降低土壤板结度。灌溉前疏松土壤有利于隔断盐分表聚,膜内土壤含水率高于膜间;灌溉后各处理不同位置盐分含量总体表现为膜间>宽行>窄行,膜间盐分出现表聚现象。各处理不同位置的土壤含水率表现为宽行>窄行>膜间。WP1、WP2与WP4处理土壤含水率利于棉花出苗,出苗率与灌水总量关系显著,株高和茎粗均与灌溉水总量和灌水频次关系显著。不同因素与出苗率程度为窄行电导率>表层土壤硬度>窄行含水率,对生长指标影响土壤各位置含水率>窄行电导率。综合考虑棉花出苗率与生长情况,WP4处理为最优处理。

参 考 文 献:

[1] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴-2018[M].北京:中国统计出版社,2018.

- Statistic Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang statistical yearbook-2018[M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.
- [2] 刘国强.沙雅年鉴(2018)[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社新疆人民出版社,2018.
- LIU G Q. Shaya statistical yearbook (2018)[M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House Xinjiang People's Publishing House, 2018.
- [3] 李明思,康绍忠,孙海燕.点源滴灌滴头流量与湿润体关系研究[J].农业工程学报,2006,22(4):32-35.
- LI M S, KANG S Z, SUN H Y. Relationships between dripper discharge and soil wetting pattern for drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(4): 32-35.
- [4] 郭金强,危常州,侯振安,等.施氮量对膜下滴灌棉花氮素吸收、积累及其产量的影响[J].干旱区资源与环境,2008,(9):139-142.
- GUO J Q, WEI C Z, HOU Z A, et al. Effect of N rates on N uptake accumulation and yield of cotton with drip irrigation under membrane [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, (9): 139-142.
- [5] 李明思,刘洪光,郑旭荣.长期膜下滴灌农田土壤盐分时空变化[J].农业工程学报,2012,28(22):82-87.
- LI M S, LIU H G, ZHENG X R. Spatiotemporal variation for soil salinity of field land under long-term mulched drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22): 82-87.
- [6] 王振华,杨培岭,郑旭荣,等.新疆现行灌溉制度下膜下滴灌棉田土壤盐分分布变化[J].农业机械学报,2014,45(8):149-159.
- WANG Z H, YANG P L, ZHENG X R, et al. Soil salt dynamics in cotton fields with mulched drip irrigation under the existing irrigation system in Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 149-159.
- [7] 李文昊,王振华,郑旭荣,等.长期膜下滴灌棉田土壤盐分变化特征[J].农业工程学报,2016,32(10):67-74.
- LI W H, WANG Z H, ZHENG X R, et al. Soil salinity variation characteristics of cotton field under long-term mulched drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(10): 67-74.
- [8] 刘洋,栗岩峰,李久生,等.东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J].农业机械学报,2015,46(10):93-104,135.
- LIU Y, LI Y F, LI J S, et al. Effects of mulched drip irrigation on water and heat conditions in field and maize yield in sub-humid region of Northeast China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 93-104, 135.
- [9] 王久生,王毅.干播湿出在盐碱地棉花膜下滴灌条件下的试验效果[J].塔里木大学学报,2006,(1):77-78,81.
- WANG J S, WANG Y. Effect of dry seeding and wet budding of cotton with drip irrigation under plastic film[J]. Journal of Tarim University, 2006, (1): 77-78, 81.
- [10] 李明思,康绍忠,杨海梅.地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响[J].农业工程学报,2007,(6):49-54.
- LI M S, KANG S Z, YANG H M. Effects of plastic film mulch on the soil wetting pattern, water consumption and growth of cotton under drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,(6): 49-54.
- [11] 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,(4):54-57.
- WANG Q J, WANG W Y, LV D Q, et al. Water and salt transport features for salt-affected soil through drip irrigation under film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, (4): 54-57.

- [12] 张伟,吕新,李鲁华,等.新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J].农业工程学报,2008,(8):15-19.
ZHANG W, LYU X, LI L H, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under the plastic mulch in Xinjiang Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,(8): 15-19.
- [13] 周和平,王少丽,姚新华,等.膜下滴灌土壤水盐定向迁移分布特征及排盐效应研究[J].水利学报,2013,44(11):1380-1388.
ZHOU H P, WANG S L, YAO X H, et al. Research on distribution characteristics and salt-discharging effect of directional migration of water and salt in soil through drip irrigation under plastic film[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(11): 1380-1388.
- [14] HOU X Y, WANG F X, HAN J J, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(1): 115-121.
- [15] 王春霞,王全九,刘建军,等.灌水矿化度及土壤含盐量对南疆棉花出苗率的影响[J].农业工程学报,2010,26(9):28-33.
WANG C X, WANG Q J, LIU J J, et al. Effects of mineralization of irrigation water and soil salinity on cotton emergence rate in Southern Xinjiang Uygur Autonomous Region of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(9): 28-33.
- [16] 潘秋艳,刘玉春,徐倩,等.灌水量和水质对盆栽棉花出苗率和苗期生长的影响[J].节水灌溉,2017,(5):29-33.
PAN Q Y, LIU Y C, XU Q, et al. Effects of irrigation amount and water quality on seeding emergence rate and seeding growth of potted cotton[J]. Water Saving Irrigation, 2017,(5): 29-33.
- [17] 王久生,王龙,姚宝林,等.微咸水膜下滴灌条件下水盐对棉花生长的影响研究[J].节水灌溉,2012,(12):9-15.
WANG J S, WANG L, YAO B L, et al. Study on soil water and salt effects on cotton growth with light-saline water drip irrigation under mulching[J]. Water Saving Irrigation, 2012,(12): 9-15.
- [18] 王卫华,王全九,樊军.原状土与扰动土导气率、导水率与含水率的关系[J].农业工程学报,2008,24(8):25-29.
WANG W H, WANG Q J, FAN J. Relationship between air permeability, water conductivity and water content for undisturbed and disturbed soils[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 25-29.

(上接第81页)

- [28] 毕卉.不同木霉菌株对黄瓜枯萎病防治作用的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
BI H. On preventive effects of different *Trichoderma* SPP against cucumber Fusarium wilt[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [29] 张树武,徐秉良,程玲娟.深绿木霉发酵液对黑麦草促生作用及生理生化特性的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):157-162.
ZHANG S W, XU B L, CHENG L J. Effects of fermentation medium of *Trichoderma aureoviride* on growth and physiological characteristics of ryegrass[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(2): 157-162.
- [30] 赵玳琳,卯婷婷,王甘,等.微生物菌剂和生防木霉菌对甘蓝黑腐病的田间防效及其对甘蓝的促生作用[J].南方农业学报,2019,50(4):761-767.
ZHAO D L, MAO T T, WANG N, et al. Field control effects of microbial preparations and biocontrol strains of *Trichoderma* on cabbage black rot in field and its growth-promoting effects on cabbage[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(4): 761-767.
- [31] VINALE F, SIVASITHAMPARAM K, GHISALBERTI E L, et al. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2008, 72(1/3): 80-86.
- [32] ELKELISH A A, ALHAITHLOUL H A S, QARI S H, et al. Pre-treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates waterlogging-induced growth alterations in tomato seedlings by modulating physiological, biochemical, and molecular mechanisms[J]. Environmental and Experimental Botany, 2020, 171: 103946.
- [33] 蔺泽荣,朱海霞.多孢木霉 HZ-31 菌株对藜的生理生化特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2021,56(4):120-125.
LIN Z R, ZHU H X. Effects of *Trichoderma polysporum* HZ-31 on the physiological biochemical characteristics of *Chenopodium album*[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2021, 56(4): 120-125.
- [34] 王继雯,李磊,刘莹莹,等.棘孢木霉 SFC-3 菌剂对小麦生理生化特性及小麦孢囊线虫的影响[J].植物保护,2021,47(5):52-57.
WANG J W, LI L, LIU Y Y, et al. Effects of *Trichoderma asperellum* SFC-3 agent on wheat physiological and biochemical characteristics and wheat cyst nematode[J]. Plant Protection, 2021, 47(5): 52-57.
- [35] 侯雪月,邓俊杰,姚志红,等.木霉菌对芸芥生长相关生理指标的影响[J].植物研究,2020,40(3):347-352.
HOU X Y, DENG J J, YAO Z H, et al. Effects of *Trichoderma* on the growth-related physiological indexes of rocket salad (*Eruca sativa*) [J]. Bulletin of Botanical Research, 2020, 40(3): 347-352.
- [36] HU N, TU X R, LI K T, et al. Changes in antioxidant enzyme activities and malondialdehyde (MDA) content of rice with blast resistance induced by Ag-antibiotic 702[J]. Plant Diseases and Pests, 2017, 8(2): 34-38.
- [37] RAHMAN U S, Qi X B, KAMRAN M, et al. Silicon elevated cadmium tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by endorsing nutrients uptake and antioxidative defense mechanisms in the leaves[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2021, 166: 148-159.