

滴灌种植模式下土壤水热盐及棉花生长研究

王萌萌^{1,2}, 吕廷波^{1,2}, 何新林^{1,2}, 曹玉斌^{1,2}, 王东旺^{1,2}

(1.石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832000;2.现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘要:为了研究北疆地区滴灌种植模式对棉田土壤水盐运移、土壤温度、生长、产量及水分利用效率的影响,通过测坑试验,以传统漫灌种植模式(一膜两管四行模式 M4)为对照,设置了3种滴灌种植模式(一膜两管六行模式 M1、一膜三管六行模式 M2、一膜两管四行模式 M3)。结果表明,相同灌溉定额下,M2 模式下根区的土壤水盐分布对于棉花的生长和水分吸收利用是最为有利的,M1 和 M3 模式次之,M4 模式最不利;除 M4 模式外,其它三种种植模式下的土壤增温快,降温慢,表现出了较好的保温、提温作用。故不同种植模式下滴灌带布置方式、灌溉方式、覆膜宽度等造成了土壤水盐分布、温度变化的不同,进而对棉花的光合作用、生长产生了影响,最终导致棉花的产量及水分利用效率存在着差异,其中 M2 模式平均产量与 WUE_{Et} 最高,分别为 $6\ 701\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $1.07\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,M4 模式最低,分别为 $4\ 908\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.77\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。因此,从提高水分利用效率与增产的角度分析,推荐在北疆地区以一膜三管六行模式(M2)的超宽膜机采模式为主要种植模式。

关键词:棉花;种植模式;水分利用效率;土壤水盐分布;土壤温度

中图分类号:S562 **文献标志码:**A

Effects of drip-irrigated planting modes on soil water, temperature, salt and cotton growth

WANG Meng-meng^{1,2}, LV Ting-bo^{1,2}, HE Xin-lin^{1,2}, CAO Yu-bin^{1,2}, WANG Dong-wang^{1,2}

(1. College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

2. Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Bingtuan, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: The effects of drip-irrigated planting patterns on water-salt transport, soil temperature, growth, yield and water use efficiency of cotton Nongfeng 133 were analyzed. Test-pit experiments were set under three drip-irrigated planting mode (M1, M2, and M3) and flood-irrigated planting mode (M4) as the control. The results showed that, M2 mode kept the soil water and salt conservation in root zone and it benefited to cotton growth and water use efficiency. Modes of M1 and M3 were worse than M2 and M4 was the worst. Except M4, other plastic film mulching cultivation modes could improve soil temperature quickly and decrease temperature slowly. Water efficiency and yield varied among capillary arrangements, irrigation methods and film width. Water use efficiency and average yield of M2 were $6\ 701\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $1.07\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ respectively and were much higher than which of other modes. The indexes of M4 were only $4\ 908\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $0.77\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ respectively. These findings suggested that the super wide film and mechanical picking pattern might be a good choice, especially M2, considering increase agricultural water resource efficiently and yield.

Keywords: cotton; planting mode; water use efficiency; soil water-salt distribution; soil temperature

新疆地处西北内陆干旱区,凭借独特的自然环境成为我国优质棉的最大生产基地,同时也因为独特的自然环境,该地区作物生长季有效降雨少,水

资源紧缺成为制约农业发展的重要因素^[1]。为了保障新疆农业可持续发展,膜下滴灌技术迅速发展,凭借其具有的节水、保墒、抑盐效果在棉花的种

植中得到了广泛应用。

种植模式是膜下滴灌的具体实施形式^[2],随着工业和农业水平的提高,棉花的种植模式也向着机械化方向发展。为了适应棉花全程机械化的发展,棉花的种植方式、覆膜宽度及滴灌带的布置方式都发生了很大的变化^[3],在北疆地区棉花的种植模式行距由 30 cm+60 cm+30 cm 变成了 10 cm+66 cm+10 cm+66 cm+10 cm(机采种植行距),相应的覆膜宽度由传统的 1.45 m 变成了 2.05 m,滴灌带的布置方式部分地区也由一膜两管变为一膜三管。不同的种植模式对棉花的生长、产量、灌溉制度及水分利用效率会产生不同程度的影响^[4-8],如 Liu Meixian 等^[9]发现在北疆地区传统种植模式下,滴灌毛管的布置方式不同对棉花的土壤盐分和根系有显著影响;曹伟等^[10]对两种不同毛管布置方式下棉花根系干质量及空间分布进行了研究,发现一膜双管布置有利于棉花生长,产量也高于一膜单管布置;刘秀位等^[11]发现不同种植方式对棉花土壤水分、土壤温度及水分利用效率有一定的影响;姚名泽等^[12]研究了机采种植模式下棉花节水、高产、优质的灌溉制度;Oweis 等^[13]研究了棉花产量与土壤有机碳含量以及种植时土壤含水量的关系。

总的来说,已有的研究大多是关于传统种植模式,而机采种植模式已得到大面积推广,尚缺少对机采种植模式下棉花生长、产量等方面的研究,缺乏对不同种植模式进行对比分析。因此,本研究以

田间测坑试验为主,对比分析了滴灌条件下机采模式、传统种植模式的棉花土壤水盐分布、土壤温度及生长生理指标,以探索出种植模式对棉花生长、产量及水分利用效率的影响机制,从而为北疆地区棉花的适宜种植模式的优化选择提供科学的理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 田间调查及试验区概况

本研究田间调查区为玛纳斯河流域中游平原灌区(简称玛河灌区),该地区位于新疆天山北麓,准葛尔盆地南缘,属典型温带大陆性干旱气候,是国家重要的粮棉生产基地。田间调查开展于 2014 年 9 月,历时 10 d,对整个玛河灌区棉花种植模式相关信息进行了调查,调查结果汇总如图 1 所示。

试验于 2016 年 4—10 月在新疆石河子市石河子大学农试场二连现代节水灌溉兵团重点实验室试验基地(东经 85°59′47″、北纬 44°19′29″、海拔 412 m)进行。该站区为温带大陆性干旱气候,无霜期 171 d,多年平均降水量在 200 mm 左右,多年平均蒸发量 1 600 mm,多年平均日照时数 2 700 h,地下水埋深 5 m 以下。

试验区前茬均为棉花,供试棉花品种为“农丰 133 号”,该品种适宜密植,群体间通风透光好,且早熟、高产,供试土壤为中壤土,田间持水率为 21.24%。

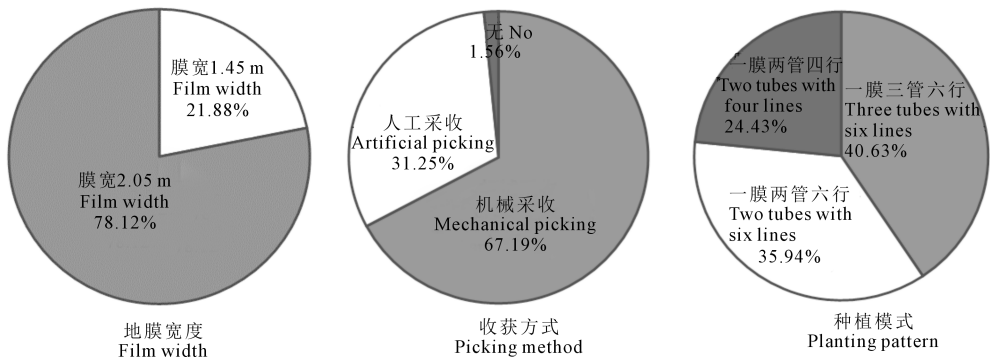


图 1 玛河灌区棉花种植模式相关信息

Fig.1 The information summarized by cotton planting pattern

1.2 试验设计

试验在标准测坑(3 m×2 m)展开,测坑深 3 m,采用水泥墙防止相邻测坑水分的测渗。于 2016 年 4 月 20 日播种(干播湿出),4 月 24 日灌出苗水,5 月 1 日出全苗,5 月 12 日定苗,9 月 13 日开始采摘,10 月 23 日全部收获。本试验种植模式如下:

机采棉种植模式(10 cm+66 cm+10 cm+66 cm+

10 cm),2 种处理:处理编号 M1,一膜两管六行(图 2a 所示),一条滴灌带控制三行棉花灌溉,滴灌带布置在棉花宽行中间;处理编号 M2,一膜三管六行(图 2b 所示),一条滴灌带控制两行棉花灌溉,其中一条滴灌带布置在棉花窄行中间,其它的布置在距离棉花窄行内侧 10 cm 处。

传统种植模式(30 cm+60 cm+30 cm),2 种处理:处理编号 M3,一膜两管四行(图 2c 所示),一条

滴灌带控制两行棉花灌溉,滴灌带布置在棉花宽行中间;处理编号 M4,对照,无膜无滴灌带的漫灌模式(图 2d 所示),种植四行棉花。

如图 2 所示,以上种植模式株距均为 10 cm,且每组各设 3 组重复试验,其中膜下滴灌采用的毛管为内镶式薄壁滴灌带,滴头流量 $2.6\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$,滴灌间距 30 cm。试验区通过单独的塑料桶灌系统控制各

处理的灌水量,系统首部安装压力表及调节阀,在各处理设置单独的控制球阀。

各种植模式的灌溉定额、灌水定额、灌水日期、灌水次数均相同,生育期内灌溉定额为 495 mm,肥料施量跟随实验基地。灌溉施肥全程同步,边灌水边施肥,棉花生育期的灌水及施肥管理如表 2 所示。

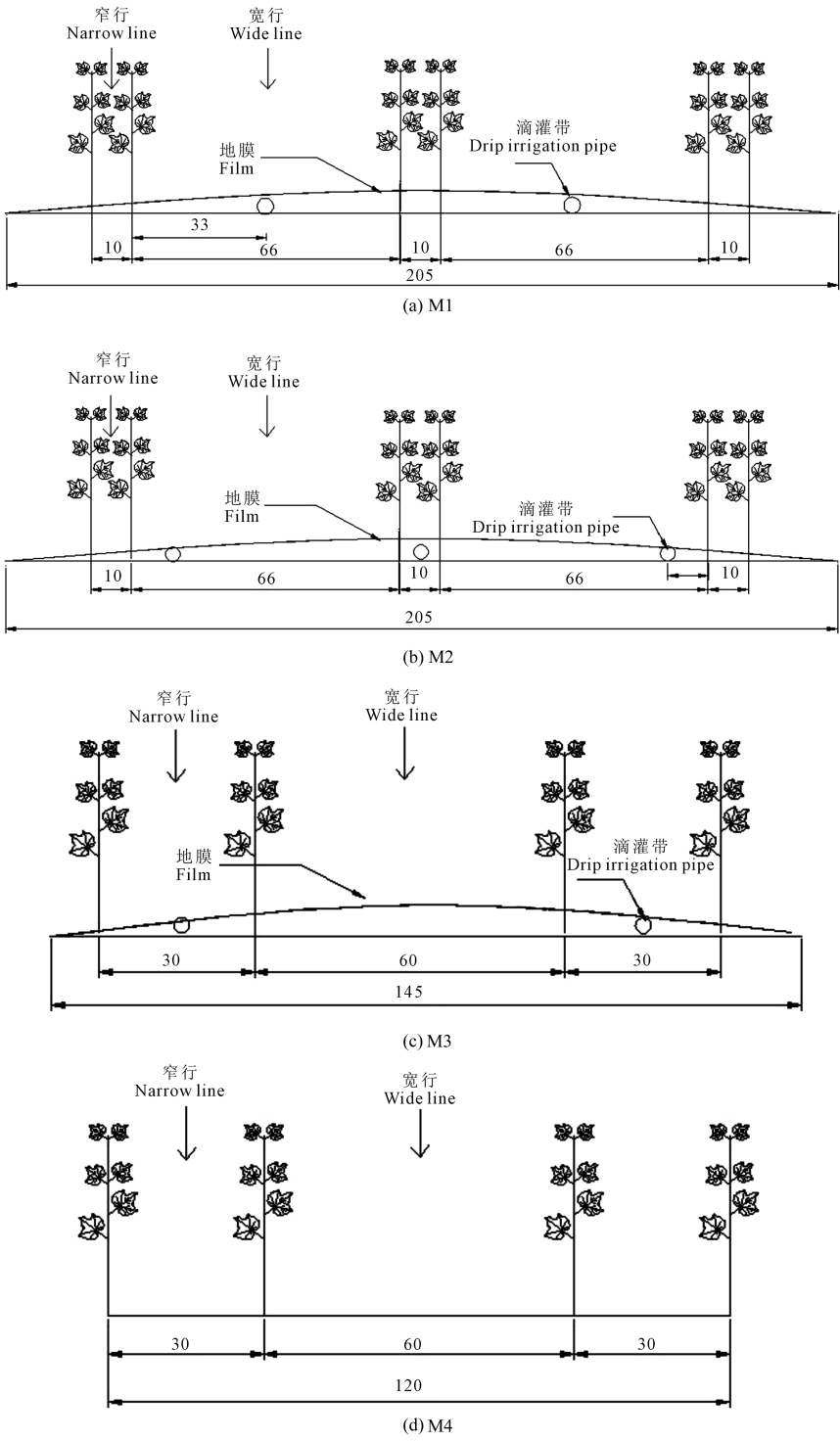


图 2 棉花栽培模式示意图(单位:cm)
Fig.2 Cotton planting pattern (unit:cm)

表 1 各处理种植参数表

Table 1 Plant parameter table for different treatment

处理编号 Treatment	灌溉方式 Irrigate method	是否覆膜 Mulching	覆膜宽幅/m Film width	理论种植密度/(万株·hm ⁻²) Planting density
M1	滴灌 Drip irrigation	是 Yes	2.05	25.75
M2	滴灌 Drip irrigation	是 Yes	2.05	25.75
M3	滴灌 Drip irrigation	是 Yes	1.45	22.20
M4	漫灌 Flood irrigation	否 No	—	22.20

表 2 棉花各生育期的灌水及施肥管理

Table 2 Irrigation and fertilization management in the cotton growth stages

生育期 Growth stage	时长/d Time	时期/(月-日) Date/(m-d)	灌水周期/d Irrigation cycle	灌水次数 Irrigation times	施肥次数 Fertilization times
出苗期 Emergence	12	04-20~05-01	—	1	—
苗期 Seeding	40	05-01~06-09	—	—	—
蕾期 Budding	35	06-10~07-04	7	3	3
花铃期 Flower boll	53	07-05~08-26	7	8	8
吐絮期 Boll-opening	59	08-27~10-23	7	—	—

1.3 测定项目与方法

1.3.1 株高和叶面积 棉花生长指标项目主要包括棉花的株高、叶面积指数。从棉花蕾期开始,每个测坑内标记 5 株棉花,每隔 15 d 测定一次株高、叶面积。其中叶面积采用 Yaxin-1241 型叶面积仪获得。

1.3.2 产量测定 根据棉花吐絮情况分 3 次进行采摘并记录铃数,实测每个测坑的棉花产量作为最终的产量数据,并化为每公顷产量。

1.3.3 光合指标 采用 CI-340 便携式光合仪测定棉花光合有效辐射强度、光合作用速率、蒸腾速率。测定选在花铃期的晴朗天气,选取每个处理分别长势均匀且采光较好的 3 棵棉株的 3 片向阳冠层叶片。具体观测时间为 8:00~20:00,每 2 h 观测 1 次。

1.3.4 土壤质量含水率 以每个生育期灌水前后为观测阶段,用土钻采集各测坑 1/3-1/2 处棉花窄行间和宽行间 1 m 深的土壤,从地表 0 cm 开始,每 10 cm 土层取 1 个样,每个测坑共取 22 个样,采用烘干称重法测得各层土壤平均质量含水率。

1.3.5 土壤盐分的测定 在灌水前分别在宽行与窄行进行取土,烘干磨碎后过 5 mm 的筛子,按照 1:5 的水土比例配成悬浊液,震荡均匀后,静置两个小时后,提取 50 ml 液体,烘干称重后得到土壤全盐量。

1.3.6 地温 采用分度值为 1℃的金属直角管地温计测量 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm 处的土层温度,每组地温计有 5 支,插放在机采棉种植的宽行与窄行间,具体观测时间为 8:00~20:00,每 2 h 观测 1 次。并利用距测坑 1 m 的自动气象站实时监

测大气温度。

1.3.7 产量及水分利用效率 根据棉花吐絮状况分 3 次采摘,称量每次采摘的产量,通过获得实际产量换算每公顷总产量。水分利用效率 WUE_I 和 WUE_{ET} 分别按式 1 和式 2 计算。

$$WUE_I = Y/I \tag{1}$$

$$WUE_{ET} = Y/ET \tag{2}$$

式中, Y 为籽棉产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); I 为灌溉定额 (mm); ET 为实际耗水量 (mm),采用水量平衡方程计算。

1.4 数据处理

本研究采用 SPSS 20.0 软件进行试验数据整理和统计分析,用 Origin 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式对棉花土壤水盐分布的影响

2.1.1 不同种植模式对土壤水分分布的影响 不同种植模式下土壤湿润的范围、形状不同,对作物水分吸收及生长都有很大影响。全生育期不同种植模式下土壤水分分布如图 3 所示,从图中可以看出,整个生育期不同种植模式下各土层土壤水分分布存在差异,土壤质量含水率随着土层深度增加而增加,变化范围为 7.17%~21.26%。

在棉花生育前期(播种与苗期),棉花生长缓慢,降雨相对较少,表层土壤蒸发量小,故不同种植模式下土壤质量含水率变化趋势基本一致,土壤水分分布较一致,质量含水率相差不大。在生育中后期,棉花植株生长加快,蒸散发加剧,表层和根系层土壤含水率较为剧烈,故不同种植模式土壤质量含

水率变化存在明显差异,M4 模式下各土层质量含水率明显高于其它种植模式,生育中后期其质量含水率平均达到 17.17%,相比 M1、M2 及 M3 模式高出 31.1%、13.7%、24.0%,这是因为 M4 模式是一种粗放的灌水方式,以不均匀的水量运移到土层深处,使土壤水分聚积在下层土壤,其土壤水分分布不利于作物根系吸收;M1 模式下,其土壤质量含水率较 M2 模式与 M3 模式低 13.2%、5.4%,滴灌带铺设在棉花宽行间,虽然土壤水分入渗均匀,但水分分布较高区在棉花宽行间,棉花根系四周水分较低;M3 模式下,滴灌带布设于棉花窄行间,土壤水分较高区域分布在两行棉花间,较有利于棉花植株体的生长,而 M2 模式土壤水分较高区域分布也在两行棉花间,但其根区 0~60 cm 土壤质量含水率相比 M3 模式高 13.0%,说明其耕层中上部保水能力更优于 M3 模式。

花铃期是棉花需水的敏感时期,土壤适宜含水量保持相对田间持水量的 70%,可满足棉花生长对水分的基本需要。对比四种不同种植模式下 0~60

cm(棉花根系区)深土体内的质量含水率进行了计算。结果表明,M1、M2、M3 及 M4 模式下 0~60 cm 土体的平均质量含水率分别为 13.15%、14.50%、13.76%、17.50%,相对田间持水率分别为 62%、68%、65%、82%,生育期内产生了不同程度的水分胁迫。结合上述所有分析,M2 模式下的土壤水分分布对棉花吸收利用水分更为有利。

2.1.2 不同种植模式对土壤盐分分布的影响 各种种植模式灌溉条件不同,滴灌带铺设位置不同,因此土壤盐分分布存在一定差异。全生育期不同种植模式下土壤盐分分布如图 4 所示,相同灌水量下,由于土壤初始含盐率的影响,整个生育期不同种植模式下各土层土壤盐分分布存在差异,但整体上土壤含盐量从地表到深层呈现先减小后增大的分布特征。

对 M1、M2 及 M3 模式生育期棉田盐分动态变化进行分析可知:从播种到苗期,期间无灌溉,在蒸发作用下,浅层土壤积累了大量的盐分;进入蕾期后,开始进行灌溉,浅层盐分变化显著;进入花铃期

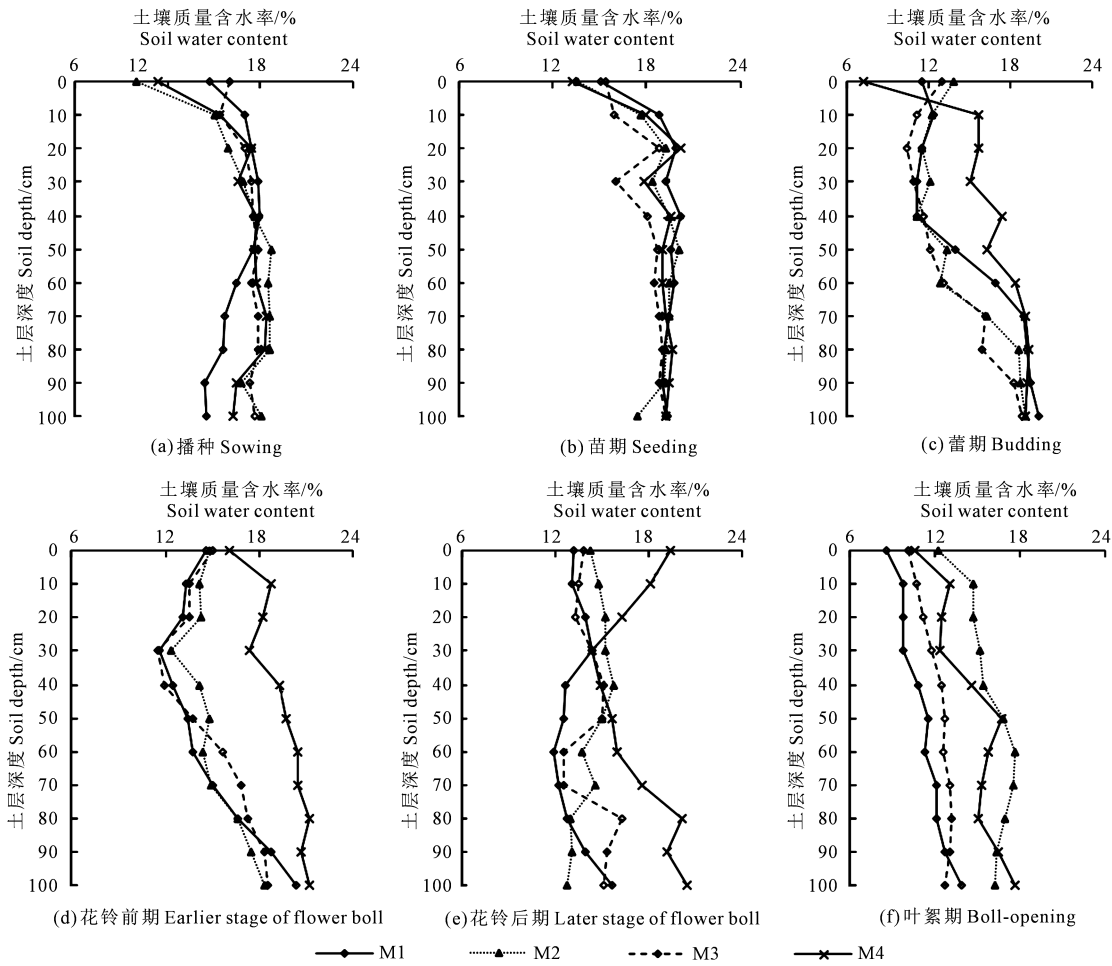


图 3 不同种植模式下土壤水分分布变化

Fig.3 Distributions of soil water contents under different planting modes

后,需水量增大,需肥量也增加,花铃前期浅层盐分分布变化显著,出现了返盐现象,随着灌水次数与灌水定额的增加,使得花铃后期浅层土壤盐分含量有所减小;进入吐絮期后,灌水停止,导致含盐量再次有所增加。M4 模式下,进入花铃期的浅层盐分变化与上述三种模式不相符,因为无膜覆盖,且随着灌水施肥次数的增加,大气温度较高,在大气蒸发驱动下,花铃前期到花铃后期浅层盐分继续增加;进入吐絮期,大气温度降低,蒸发减小,降雨量增加,浅层含盐量显著减小。

为了探讨不同种植模式对土壤盐分的影响,对棉花根系区 0~60 cm 深土壤盐分进行数据分析。将播种与吐絮期的 0~60 cm 深土壤盐分进行了计算(见表 3),M1、M2、M3 模式下吐絮期较播种时的棉花根层土壤平均盐分呈不同程度减小趋势,0~60 cm 土层盐分含量相比播种时分别减小了 16.34%、2.67%、0.72%,且无明显的盐分累积,是因为这三种

模式滴水方式均属于滴灌,滴灌的淋洗作用下可以为作物根系营造一个良好的盐分环境,滴灌带相对棉花的生长位置而言,其中 M2 与 M3 模式其滴灌带布置在棉花植株较近地方,使得棉花根区处于湿润体中心,水分再分布过程中棉花主根区的盐分被驱于根系层外;在 M1 模式下,其滴灌带布设距离棉花植株较远,湿润峰边缘距离棉花窄行较近,在一定程度上会使得棉花根区受盐分的胁迫;在 M4 模式下棉花根层土壤平均盐分增加了 17.89%,主要是因为滴灌模式下地膜几乎覆盖整个表层,因而地表蒸发量较小,而漫灌模式下无地膜覆盖,在大气蒸发驱动力的作用下,土壤盐分随着水分向地表迁移,易形成表层盐分聚积。

综上所述,在生育期末,除 M4 模式外,M1、M2、M3 模式都没出现返盐现象,相对滴灌带铺设位置,结合盐分的变化,M2 模式下的盐分分布更利于棉花生长。

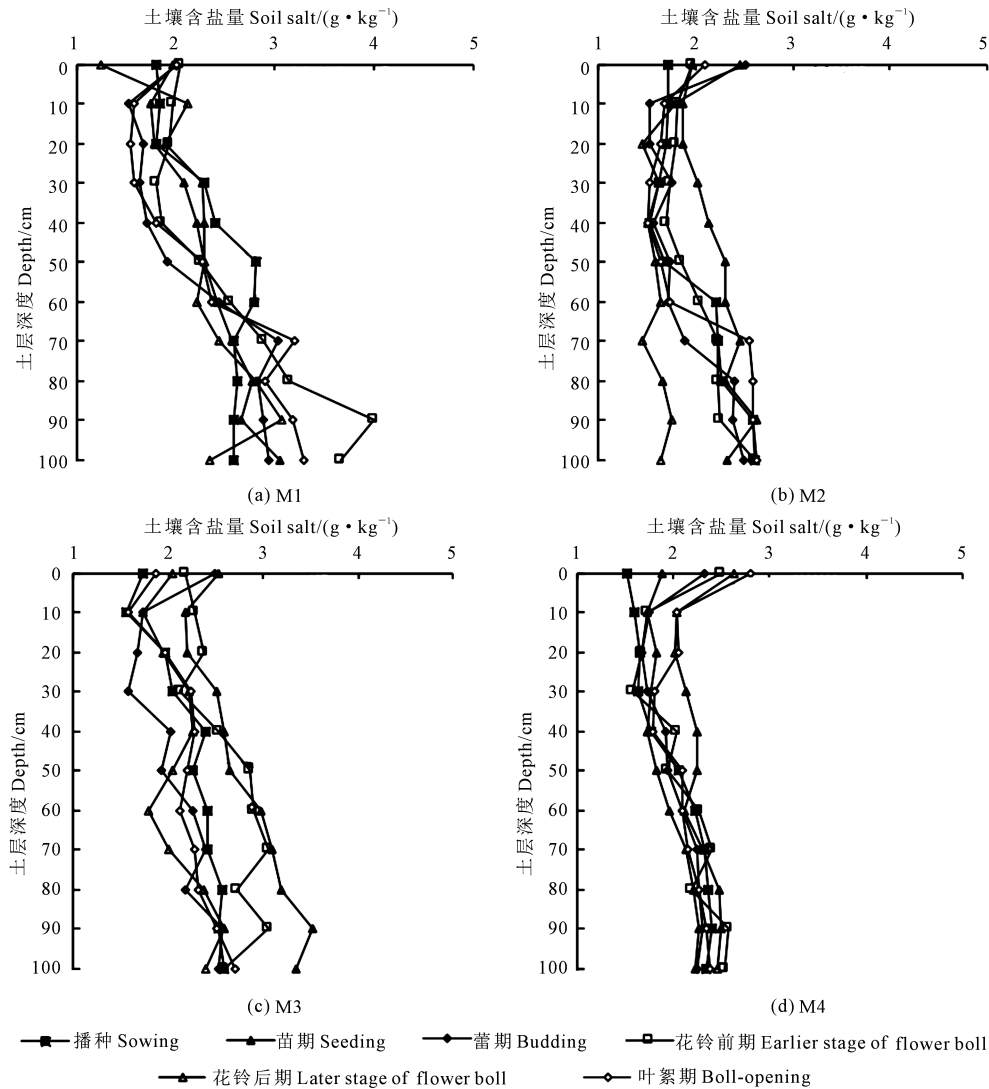


图 4 不同种植模式下土壤盐分分布变化

Fig.4 Distributions of soil salt contents under different planting modes

表 3 不同种植模式灌水前后根系区盐分变化

Table 3 Salt change in root zone before and after irrigation of different planting modes

种植模式 Planting modes	播种/(g · kg ⁻¹) Sowing	吐絮期/(g · kg ⁻¹) Boll-opening	变化量/(g · kg ⁻¹) Variation	脱盐率/% Ratio of desalinization
M1	2.24	1.88	0.37	16.34
M2	1.74	1.69	0.05	2.68
M3	2.05	2.03	0.01	0.72
M4	1.77	2.09	-0.32	-17.89

2.2 不同种植模式对土壤温度的影响

适宜的土壤温度对作物棉花生长发育及产量的形成具有密切的关系^[14],为了探讨不同种植模式对棉花土壤温度日变化的影响,利用观测的土壤温度试验资料绘制了土壤日变化过程曲线图(图 5)。由图 5 可以看出不同种植模式下的地温日变化与大气温度变化过程具有类似趋势,土深为 5、10、15 cm 处日变化幅度较大,趋势明显相同,而深层 20、25 cm 处的土壤变化相对缓慢,其中 M4 模式整体日变化幅度最大,这表明 M4 模式下土壤温度对太阳辐射比较敏感。这是因为 M4 模式下没有地膜的覆盖,无法减缓太阳辐射对表层地温的作用,故其试验结果与其它种植模式相比有明显差异。为了更清楚表达不同种植模式对土壤温度的影响,利用不同时间段的地

温增量来反映种植模式对地温的影响。

根据测得地温,计算不同种植模式下不同时间段温度增量,由表 4 数据可见在 16 : 00 之间四种种植模式的地温都在增加,M4 模式下土壤温度增量幅度大于其它三种种植模式,在 8 : 00~12 : 00 时间段 M4 模式下 5 cm 土层升高了 7.6℃,而其它三种模式分别升高了 3.9℃、3.2℃、3.8℃。在 16 : 00~20 : 00 时间段四种模式下土壤表层土壤 5 cm~10 cm 处的地温开始随着大气温度的降低而降低,而深层土壤的地温处在增加阶段,此时 M4 模式下土壤温度增量幅度还是大于其它三种种植模式,其表层 5 cm 处降低了 2.1℃,这是因为大气温度降温快,而覆膜具有保温作用,因此短时间内覆膜下降幅度相对未覆膜的较小。

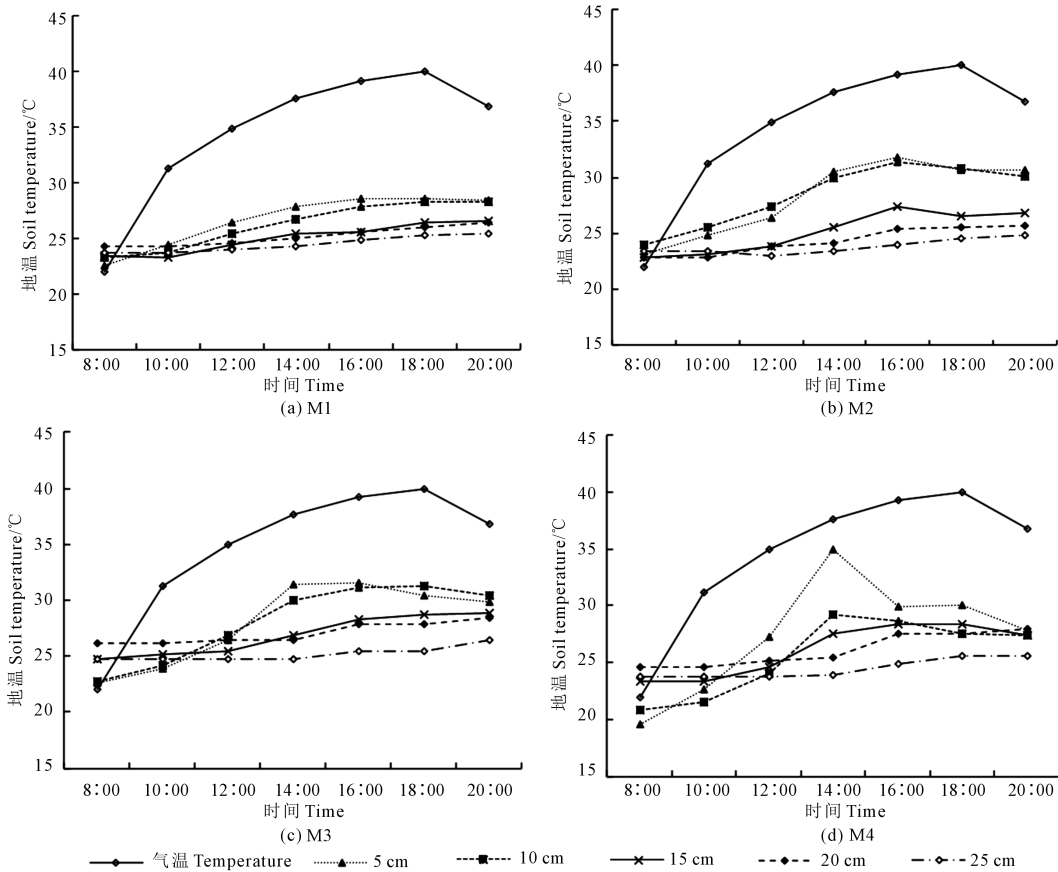


图 5 不同种植模式下土壤温度日变化

Fig.5 Daily soil temperature in different planting modes

表 4 不同时间段的温度增量/℃
Table 4 Temperature increments at different period of time

种植模式 Planting modes	土层深度/cm Soil depth	8 : 00~12 : 00	12 : 00~16 : 00	16 : 00~20 : 00	均值 Average
M1	5	3.9	2.1	-0.1	1.97
	10	2.2	2.4	0.4	1.67
	15	1.0	1.2	0.9	1.03
	20	0.3	0.9	0.9	0.70
	25	0.3	0.9	0.5	0.57
M2	5	3.2	5.4	-1.1	2.50
	10	3.4	4.0	-1.3	2.03
	15	0.9	3.6	-0.6	1.30
	20	1.0	1.6	0.3	0.97
	25	0	1	0.8	0.60
M3	5	3.8	5.1	-1.7	2.40
	10	4.0	4.3	-0.7	2.53
	15	0.6	2.9	0.5	1.33
	20	0.3	1.4	0.6	0.77
	25	0	0.7	0.9	0.53
M4	5	7.6	2.7	-2.1	2.73
	10	3.2	4.6	-1.2	2.20
	15	1.3	3.8	-1	1.37
	20	0.6	2.4	0.3	1.10
	25	0	1.1	0.7	0.60

2.3 不同种植模式对棉花生长的影响

2.3.1 不同种植模式对棉花光合的影响 光合作用是棉花生长发育和产量形成的基础,为了研究不同种植模式下光合有效辐射的变化,绘制了不同种植模式下的光合有效辐射日变化曲线,由图 6a 可知,四种种植模式下棉花的光合有效辐射日变化趋势基本相同,整体趋势呈抛物线型,在 16 : 00 出现最大值后,逐渐下降,这是因为该地区日照时间长、光照强度大,故光合有效辐射持续时间长,同时表明光合有效辐射受种植模式的影响较小。

花铃期是棉花生育的最旺盛的时期,对光照条件有很高的要求,光合速率的大小直接反映棉花光合作用的强度,决定了棉花的生长状态。不同种植模式棉花的净光合速率日变化如图 6b 所示。从图中可看出,不同种植模式棉花净光合速率日变化均呈双峰型曲线。在上午叶片净光合速率随着光照强度的增加而逐渐上升,在 12 : 00 左右达到第 1 个高峰,随着光照强度的加强和温度上升,光合速率逐渐下降,在 14 : 00 左右出现光合午休现象,随后光合速率继续上升,在 16 : 30 左右达到第 2 个高峰,此后叶片净光合速率逐渐降低。在花铃期,不同种植模式下其净光合速率大小为: M4>M2>M3>M1,四种种植模式灌水量相同,但是净光合速率不同,存在明显差异,研究表明这是由于土壤水分环境不同造成的,本试验中,花铃期四种模式下 0~60 cm 土层土壤平均质量含水率分别为 13.15%、

14.50%、13.76%、17.50%,说明土壤含水率在一定范围内,土壤含水率越高,净光合速率也较大。

2.3.2 不同种植模式对棉花生长指标及产量的影响 株高与叶面积是衡量棉花群体长势的重要指标。不同种植模式下棉花的株高、叶面积如图 7 所示。从图 7a 可看出,不同种植模式棉花的株高在播种后的 58 d 开始进入迅速增长阶段,至 88 d 时生长变缓,103 d 时生长基本不再变化,M1、M2、M3、M4 模式的株高分别为 62.7、69.9、59.2 和 75.2 cm,存在着较大的差异。从图 7(b)可看出,叶面积在棉花播种 88 d 时生长变缓,至 103 d 时达到最大,此时不同模式叶面积为 M4>M2>M1>M3,经过喷洒生长抑制剂,叶面积在达到最大值后逐渐下降。

图 7 表明,M1、M2 与 M3 模式下棉花的株高、叶面积呈现出比较一致的变化趋势,各个生长发育阶段,M2 模式的棉花株高、叶面积均处于最高水平,M1 棉花的株高、叶面积略高于 M3;M4 模式因为没有地膜的覆盖,相比其它模式,在生育前期株高与叶面积均处于较低水平,在 7-8 月地区降雨比较充沛,故其株高与叶面积均开始迅速增长,直至生育末期处于几种模式的最高水平;这与各模式间土壤水分分布对棉花光合作用及吸收利用水分的影响程度基本吻合,表明根区土壤水分分布是影响作物的重要因素;此外,地温也是影响棉花生长的重要因素,棉花是喜温作物,覆膜下的棉花前期生长表现出了良好的水平。

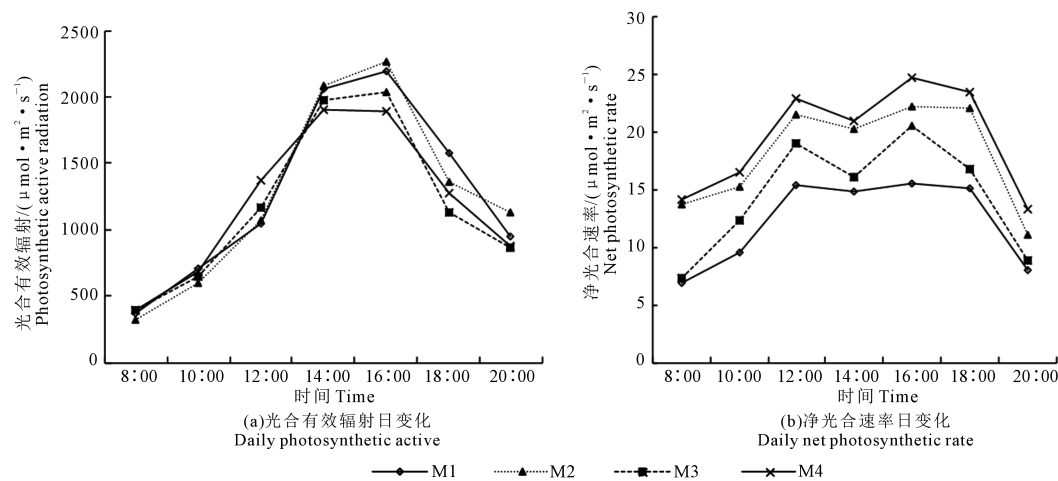


图 6 不同种植模式下光合日变化
Fig.6 Daily photosynthesis under different planting modes

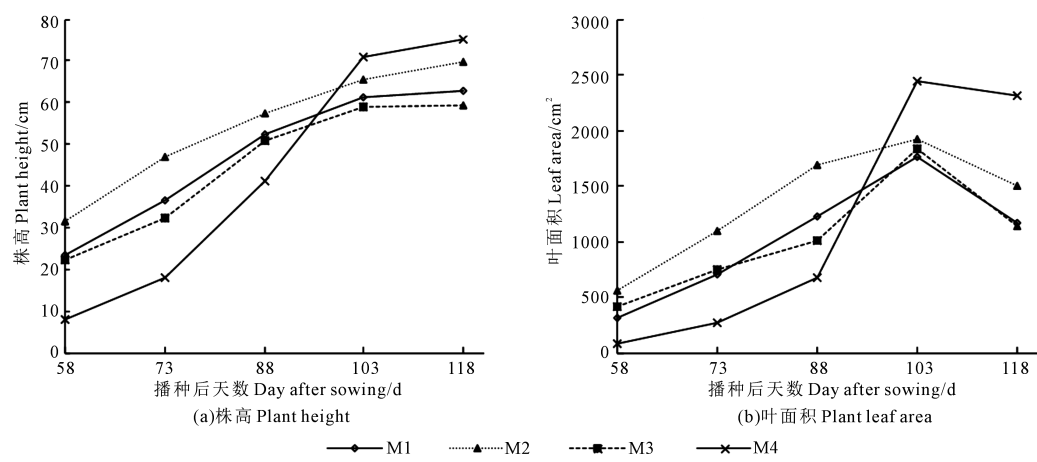


图 7 不同种植模式下棉花株高、叶面积的变化
Fig.7 Cotton plant height and leaf area of different planting modes

不同种植模式对棉花生长发育所产生的影响不同,最终将反映在各处理的籽棉产量和水分利用效率上。从表 5 可以看出,在相同灌溉定额、灌溉频率下,M2 模式的籽棉产量处于较高水平,较 M1、M3 和 M4 模式增加 6.1%、11.0% 和 36.5%。同时对 WUE 进行了对比分析,结果表明虽然灌水定额、灌溉频率相同,但耗水量不同,故水分利用效率存在差异,M2 模式下棉花具有最高的 WUE_{ET} ,达到 $1.07 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,M1 和 M3 模式次之,M4 模式最低,仅 $0.77 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。各处理 WUE_I 的表现规律与 WUE_{ET} 基本一致。水分利用效率取决于产量和耗水量,而棉花的产量和耗水量与种植模式紧密相关,在灌水定额相同下,由于 M3 和 M4 模式的种植密度小,在一定程度上水分利用效率低于其它两种模式;M1 与 M2 模式种植条件相同,但是滴灌带布设位置不同,在 M2 模式下棉花根区水盐分布更利于棉花生长,土壤保温、提温效果好,棉花植株大,果枝果节多,能够获得较高的产量及水分利用效率。

表 5 不同种植模式下棉花产量及水分利用效率
Table 5 Cotton yield and water use efficiency of different planting modes

种植模式 Planting modes	储水变化量 Change of soil water storage/mm	有效降雨量 Precipitation/mm	灌溉定额 Irrigation quota/mm	耗水量 ET/mm Crop evapotranspiration	籽棉产量 Seed cotton yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	WUE_I /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	WUE_{ET} /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
M1	80.3	110.9	495.0	686.2	6316.00 ab	1.28 ab	0.92 b
M2	15.2	110.9	495.0	621.1	6701.33 a	1.35 a	1.07 a
M3	78.6	110.9	495.0	684.5	6037.23 b	1.22 b	0.88 b
M4	32.6	110.9	495.0	638.5	4908.16 c	0.99 c	0.77 c

注:依据水量平衡方程耗水量为储水量变化、有效降雨量与灌溉定额相加所得,地下补给量、深层渗透量及地表径流量忽略不计。
Note: According to the water balance equation, the crop evapotranspiration is the change of soil water storage added to the precipitation and the irrigation quota, the underground supply, the deep penetration and the surface runoff are neglected.

3 讨 论

新疆是典型的大陆性干旱气候,农业生产灌溉水不足和水资源利用率过低的矛盾共存,棉花节水灌溉技术的实施势在必行,同时由于人工采棉效率低、成本高等原因,棉花生产机械化也在迅速发展,所以在利用棉花节水技术的同时并实行配套的机械化技术,能够实现棉花产业的低耗、高效、优质的目标。而在实际生产中灌溉方式、种植密度、覆膜宽度及滴灌带的铺设方式与数量等因素都会影响着棉花的土壤水热环境,并最终影响棉花的生长发育及产量,因此合理的种植模式对促进棉花生长发育、产量有重要意义。

在新疆石河子地区,冬天降雪较大,棉花播种前土壤初始含水率较高,加上受上一年种植的影响,M1、M2、M3 及 M4 模式的初始含水率分别为 16.31%、16.81%、17.23%、16.68%。可知四种模式下土壤初始含水率存在差异,但相差不大,但在一定程度上会对生育期内水分、盐分、温度变化等产生影响,这种影响是相对较小的,主要还是由于种植模式的不同导致土壤水分、盐分、温度变化等存在显著差异。

不同种植模式下土壤水分运移不同。不同灌溉方式下,以漫灌方式灌水,浅层土壤含水量较低,存在较大数量水分渗漏损失,而以滴灌方式灌水,水分入渗均匀,土壤表层始终处于湿润状态^[15,16];以滴灌方式灌水,棉花根系绝大部分分布在 0~40 cm,故浅层土壤质量含水率较高,有利于棉花植株生长发育^[17];且滴灌双管布置能够为主要根系层形成充足的供水空间,而单管布置棉花易受水分胁迫^[18,19],这与本文得到的结论相呼应。本文试验表明在相同灌水定额下,M4 模式下土壤质量含水率较相比 M1、M2 及 M3 模式的高,但是其分布并不利于根系的吸收;在相同灌水条件下,M2 模式其质量含水率在 0~40 cm 相比 M3 模式下高,说明在该模式下其耕层中上部保水能力更优于 M3 模式;相同种植条件下,M2 模式土壤水分高于 M1 模式,这是由于滴灌带布设位置,M2 模式相比 M1 模式其滴灌带的布设能够给予棉花根系充足的水分空间,有效减小棉花的水分胁迫。

不同种植模式下土壤盐分运移不同。不同灌溉方式下,相对漫灌方式,滴灌方式进行更能够有效保持土壤水分,均匀驱离盐分^[15];以滴灌方式进行灌溉,双管布置湿润锋在宽行形成交汇,盐分随水分淋洗出主要根系层,控盐效果较单管布置

好^[18]。本研究中 0~60 cm 土层,M1、M2、M3 模式下吐絮期较播种时的棉花根层土壤平均盐分呈不同程度减小趋势,仅 M4 模式下棉花根层土壤平均盐分增加,其中 M2 模式下模式根层土壤盐分动态变化较其它模式稳定,这与上述研究结论保持一致。

不同种植模式下土壤温度变化不同。已有研究发现地膜覆盖在作物生育前期具有明显的增温效应^[14],短时间内覆膜下降幅度相对未覆膜的较小^[11],本文研究结论与上述研究结论基本保持一致,但同时已有研究表明^[20]在新疆棉花生长中,膜下土壤温度与有效积温随覆膜宽度的变化而存在较大差异,且覆膜宽度增大,增温效果更加明显,而本研究中 M1、M2 与 M3 模式在 5 cm 处日积温分别为 6.9℃、7.5℃、7.8℃,与上述研究结论不太一致,这可能因为棉花生长期处于花铃前期,地膜完整性因为自然环境因素等已经被破坏。

本文研究的 M1 与 M2 模式都属于超宽膜机采模式,相比传统的 M3 与 M4 模式,实现了采收与种植的机械化,极大缓解了采棉劳动力不足、人工采棉成本增加等问题,在水分利用效率与产量上也表现出较高的水平,建议在北疆地区可大力推广超宽膜机采模式,尤其是一膜三管六行模式(M2)。但该试验为一年棉花生育期资料,试验土壤本底盐分含量及水分含量在不同的年季气候变化下都有所不同,建议应因地制宜地选择棉花节水、高产的种植模式。

4 结 论

1)种植模式不同使得土壤水盐运移有所差异,各生育期土壤水分运移和盐分运移不同,M4 模式下各土层质量含水率明显高于其它种植模式,但其水分分布并不利于棉花植株吸收;M2 模式根系层土壤含水率次之,其土壤水分分布对于棉花的生长和水分吸收利用却是最为有利的。除 M4 模式外,各种种植模式根层土壤盐分含量前期增加、中期降低、后期增加,M1 模式下,湿润峰边缘距离棉花窄行较近,在一定程度上会使得棉花根区受盐分的胁迫,因 M2 及 M3 模式滴灌带的布设距离棉花植株较近,在主要根系层形成适宜棉花生长的淡化脱盐区,结合盐分变化,M2 模式下的盐分分布更利于棉花生长。

2)种植模式不同使得土壤温度变化有所差异,M4 模式下的土壤温度,增温快,降温也快,不利于保温,所以不利于棉花的生长;而其它三种覆膜种植模式下土壤温度增温快,降温慢,表现出了较好

的保温、提温作用,有利于棉花的生长发育,其中 M2 模式表现的最优。

3)不同种植模式对棉花所产生的影响将最终反映在籽棉产量和 WUE,结果表明:M2 模式的产量($6\,701\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)明显高于其它三种种植模式,且其 WUE_{ET} 最高,为 $1.07\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,M4 模式最低,仅 $0.77\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

参 考 文 献:

[1] 徐飞鹏,李云开,任树梅.新疆棉花膜下滴灌技术的应用与发展的思考[J].农业工程学报,2003,19(1):25-27.

[2] 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.

[3] 宁松瑞,左强,石建初,等.新疆典型膜下滴灌棉花种植模式的用水效率与效益[J].农业工程学报,2013,29(22):90-99.

[4] Zhang D, Luo Z, Liu S, et al. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton[J]. Field Crops Research, 2016, 197(10):1-9.

[5] Zhong R, Tian F, Yang P, et al. Planting and Irrigation Methods for Cotton in Southern Xinjiang, China[J]. Irrigation & Drainage, 2016, 65(4):461-468.

[6] Bezborodov G A, Shadmanov D K, Mirhashimov R T, et al. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 138(1):95-102.

[7] 程冬玲,吴恩忍.棉花膜下滴灌两种布设方式的试验研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):87-91.

[8] 娄善伟,赵强,高云光,等.不同密度水平对覆膜棉花田间小气候及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):88-92.

[9] Liu Meixian, Yang Jingsong, Li Xiaoming, et al. Effects of irrigation water quality and drip tape arrangement on soil salinity, soil

moisture distribution, and cotton yield (Gossypium hirsutum L.) Under Mulched Drip irrigation in Xinjiang, China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(3):502-511.

[10] 曹伟,魏光辉,李汉飞.干旱区不同毛管布置方式下膜下滴灌棉花根系分布特征研究[J].灌溉排水学报,2014,33(4):159-162.

[11] 刘秀位,王艳哲,陈素英,等.不同种植方式对棉田土壤温度、棉花耗水和生长的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):14-19.

[12] 姚名泽,成自勇,王峰,等.不同灌溉制度对机采棉水分运移、产量及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):67-72.

[13] Oweis T Y, Farahani H J, Hachum A Y. Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syria[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(8):1239-1248.

[14] 王卫华,王全九,刘建军.南疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):139-145.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 汪昌树,杨鹏年,于宴民,等.膜下滴灌布置方式对土壤盐运移和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(4):38-45.

[19] 杨九刚,马英杰,马亮,等.滴灌带布设方式对棉田土壤盐分运移规律的影响研究[J].节水灌溉,2012,(5):36-40.

[20] 李生秀,张占琴,魏建军.不同覆膜方式对棉花生长的影响[J].新疆农业科学,2010,47(6):1218-1223.

(上接第 175 页)

[16] 邢英英,张富仓,王秀康.不同生育期水分亏缺灌溉和氮营养对玉米生长的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):1-6.

[17] 葛体达,隋方功,李金政,等.干旱对夏玉米根冠生长的影响[J].中国农学通报,2005,21(1):103-109.

[18] 山仑,徐萌.节水农业及其生理生态基础[J].应用生态学报,1991,2(1):70-76.

[19] 苗果园,尹钧,张云亭,等.中国北方主要作物根系生长的研究[J].作物学报,1998,24(1):2-6.

[20] 苗果园,高志强,张云亭,等.水肥对小麦根系整体影

响及其与地上部相关的研究[J].作物学报,2002,28(4):445-450.

[21] Smucker J M, Aiken R M. Dynamic root response to water deficits[J]. Soil Science, 1992, 154(4):281-289.

[22] 冯广龙,罗远培,刘建利,等.不同水分条件下冬小麦根与冠生长及功能间的动态消长关系[J].干旱地区农业研究,1997,15(2):73-79.

[23] 朱维琴,吴良欢,陶勤南.作物根系对干旱胁迫逆境的适应性研究进展[J].土壤与环境,2002,11(4):430-433.