

# 干旱区棉花膜下滴灌优化灌溉制度的试验研究

弋鹏飞, 虎胆·吐马尔白, 王一民, 吴争光, 张金珠

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘 要:** 在新疆干旱气候条件下, 2009 年通过对棉花膜下滴灌进行试验研究, 分析了不同灌溉定额和灌水周期对土壤水盐分布及棉花生长的影响。结果表明, 灌水周期 5 d 的处理能够达到棉花最适宜的土壤水分范围。在相同的灌水周期下, 土壤剖面平均含水量随着灌溉定额的增加而增大。较高灌水频率对根区土壤盐分具有较好的淋洗作用, 灌水周期 10 d 的处理, 土壤盐分波动变化较大, 在生育期内土壤盐分出现累积现象。从节水增产和抑盐方面考虑, 灌溉定额  $3\ 900\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ , 灌水周期为 5~7 d 的灌溉制度适合北疆农业生产。

**关键词:** 棉花; 膜下滴灌; 灌溉制度; 水盐动态

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2011)01-0053-05

**中图分类号:** S275.6, S153.61

## Schedule Optimization of Under-Plastic-Mulch Drip Irrigation for Cotton in Arid Areas

YI Peng-fei, Hudan · Tumaerbai, WANG Yi-min, WU Zheng-guang, ZHANG Jing-zhu

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** Under-plastic-mulch drip irrigation was studied through field experiments in arid areas of Xinjiang in 2009. The influences of various irrigation quotas and frequencies on water-salt distribution and cotton growth were analyzed. The results show that irrigations with a cycle of 5 days achieved the most appropriate moisture condition for cotton growth. With same irrigation quota, soil moisture increased by shortening irrigation cycle time. The higher irrigation frequency effectively reduced the salinity of root area. The treatment of 10 day cycle introduced fluctuations of salinity in soil and resulted in salt accumulation at the growth period. Considering water conservation, yield enhancement and soil salt reduction, the irrigation quota of  $3\ 900\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  with a irrigation cycle of five to seven days are desirable for agricultural industry in the study area.

**Keywords:** cotton; drip irrigation under plastic film; irrigation scheduling; dynamics of water-salt

新疆位于西北干旱区, 水资源缺乏和土壤次生盐渍化已经成为当地农业可持续发展所面临的重要生态环境问题。对于大多数非盐生作物而言, 土壤水分和盐分是影响作物生长的两个重要因子。因此, 合理的水分调控有助于缓解土壤盐分对作物生长和产量的不利影响。但是在干旱地区, 不合理的灌溉会加剧土壤次生盐渍化程度<sup>[1]</sup>。

自 1996 年以来, 新疆在棉花生产中引进滴灌技术, 并将其与覆膜栽培技术相结合形成膜下滴灌技术<sup>[2]</sup>。膜下滴灌可以给作物提供适宜的水、气、热环境, 提高作物产量和品质, 同时减少了灌溉水的深层渗漏, 降低了地下水位, 加上覆膜后边界条件的改变,

土壤蒸发减少, 土壤返盐也大大降低, 因此膜下滴灌具有明显的防治土壤次生盐渍化的作用<sup>[3-5]</sup>。

国内外学者对滴灌条件下的水盐运移及影响因素进行了大量研究<sup>[6-10]</sup>。膜下滴灌具有节水和洗盐效果, 但是这种效果受到多种因素的影响, 需要根据具体自然环境确定合理的灌溉制度, 这样才能用于实际灌溉。在灌溉制度方面, Radin<sup>[11]</sup>认为在棉花成熟期, 棉花植株获得适宜水分的关键期取决于生殖生长期的灌水频率, 而在此阶段前后灌水频率对满足植株水分的作用均不大。李富先<sup>[12]</sup>等根据 1998—2001 年棉花膜下滴灌蒸散量测定值及试验资料分析得出结论: 播种到成熟全生育期的蒸散量为 591.4 mm;

收稿日期: 2010-04-11

修回日期: 2010-08-05

资助项目: 国家自然科学基金“干旱区膜下滴灌棉田土壤水盐运移规律与次生盐渍化预警”(51069015); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目“内陆干旱区秸秆覆盖对调控灌区土壤水盐分布影响的研究”(200821172); 新疆水利水电工程重点学科资助(xjzdxk-2002-10-05)

作者简介: 弋鹏飞(1984—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区福海县人, 硕士研究生, 研究方向为农业水利工程。E-mail: yipengfei123@126.com。

通信作者: 虎胆·吐马尔白(1960—), 男(哈萨克族), 新疆维吾尔自治区博乐市人, 博士, 研究方向为土壤水盐运移理论及节水灌溉理论。E-mail: hundant@hotmail.com。

最大耗水时段为 6 月 18 日至 8 月 11 日,以每次滴灌水量 30.0~37.5 mm 计算,应滴灌 8~10 次,间隔时间 5~7 d。李明思<sup>[13]</sup>等以田间试验为基础对棉花膜下滴灌的灌溉制度及其各因素的特点进行研究认为,棉花膜下滴灌属“浅灌勤灌”,蕾期和花铃期灌水密集,这 2 个生育阶段的灌水定额可为 26~35 mm。不同灌溉定额和灌水频率对土壤水盐运移的影响研究还很少。

本文从当地经常采用的灌溉定额中选择了 3 种灌溉定额,设计了 3 个灌水周期。通过田间实验分析生育期内土壤水盐含量变化及棉花生理指标、产量情况。以土壤水盐含量和棉花产量作为控制指标,分析合适的灌溉定额、灌水周期参数,为当地农业生产提供科学参考。

## 1 试验方案

### 1.1 实验地概况

试验于 2009 年 4—10 月进行,试验地区位于天山北麓中段,准噶尔盆地西南缘,属于中温带干旱区气候,夏季炎热,冬季寒冷,海拔 300~400 m。年平均气温 6.5~7.2 °C,一年中最高气温出现在 7 月,平均气温 25.1~26.1 °C。年降水量 125.0~207.7 mm,年日照时间 2 721~2 818 h,年蒸发量 1 000~1 500 mm。该试验在石河子大学干旱区绿洲农业节水灌溉重点实验站进行,土壤质地为中壤土,有机质 1.54%,碱解氮 63 mg/kg,速效磷 16 mg/kg,速效钾 208 mg/kg,全氮 0.08%,全磷 0.12%。地下水埋深 5 m 以下,灌溉水矿化度 0.8 g/L。试验地面积约为 1 010.00 m<sup>2</sup>,共设 9 个小区,每个小区一个处理。棉花试验品种为新陆早 710 号,采用等行距条播,棉花覆膜宽度 1.2 m,布置模式 1 膜 2 管 4 行。行距配置为:30+60+30+80 cm。滴灌带采用新疆天业节水公司生产的单翼迷宫式滴灌带,滴头设计流量 2.6 L/h,滴头间距 30 cm。

### 1.2 试验方法

田间试验分为 9 个处理,采用常规设计。本试验是根据当地经常采用的灌溉定额选择了 3 种灌溉定额、3 种灌水频率(表 1)。每个小区设置一个处理,每个处理设置 3 个重复。在每个小区埋设 2 根 1.4 m 深的中子仪监测铝管,分别在膜中滴头处、棉花窄行处,对棉花每次灌溉前 1 d,灌水结束后 1 d 的土壤剖面土壤水分变化进行定点监测情况。对土壤盐分测定的方法是:在生育期阶段中灌水前后,对各个小区土壤采取土壤剖面取土法,水平方向设置 3 个取土点,分别在膜中滴头处、棉花窄行处、膜间裸地处。在

取样点垂直方向上按照 0—5,5—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 的层次进行取样,共计 6 个层次。同时对土样进行烘干研磨,按照 1:5 的土水质量比浸泡,在震荡仪上震荡 3 min 后,震荡结束后溶液沉淀、过滤,然后采用 DDS-307 型电导率仪测定溶液电导率,再换算出土壤含盐量。施肥处理,试验结合当地土壤性质,根据棉花生长要求,以 450 kg/hm<sup>2</sup> 尿素和 67.5 kg/hm<sup>2</sup> 磷酸二氢钾溶入施肥罐中,灌水与施肥同时进行,各处理的施肥种类和总量均相同。还有定期观测棉花的生理指标(果枝数、花数、蕾数、铃数),并在棉花成熟后测定各小区产量。

表 1 各小区试验方案设计

灌水 周期/d	灌水 次数/次	灌溉定额/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )		
		3 300	3 900	4 500
5	16	1 小区	2 小区	3 小区
7	13	4 小区	5 小区	6 小区
10	10	7 小区	8 小区	9 小区

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水处理土壤水分变化分析

各小区棉花采用干播湿出,即播种后进行出苗水的灌溉,用以保证土壤中含有足够的水分,并且可以淋洗土壤中的盐分,这为幼苗的生长提供了良好的水盐环境。由于 2009 年 5 月降雨频繁,降雨量较往年略多,加上幼苗需水少,作物需水可以得到很快的补充,所以灌第一水时间推迟到 6 月 21 日,进入棉花现蕾后对各小区进行了不同的水分处理。不同水分处理在全生育期中每次灌水量均相同。图 1 表示不同灌水量(3 300,3 900,4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)和不同灌水周期(5,7,10 d)处理下从 6 月 21—8 月 29 日期间每次灌水前 0—60 cm 深度土壤含水量的变化过程。从图 1 中可知在相同灌溉周期的条件下,土壤平均含水量的高低依次为 4 500>3 900>3 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。随着棉花生育进程的推移,3 个灌水量的灌前土壤含水量呈下降趋势,因为进入 7 月后,新疆的白昼平均气温普遍达到高温 30 °C 以上,蒸发强烈,且棉花处于花铃期,生长旺盛,枝叶茂密,棉花耗水量达到了高峰期,这时棉花的蒸散量高于灌水的补给量,土壤存储的水分被消耗。对于灌水定额为 3 300 和 3 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,灌水周期为 10 d(图 1c)的处理在灌水前已经受到水分胁迫的危险,两者分别维持在土壤田间持水量的 50%和 55%左右,低于了棉花在花铃期适宜的土壤相对含水量范围 70%~80%(田间持水量为 22.7%),为了保证棉花正常需水要求可以加大灌水定额,适当缩短灌水周期。

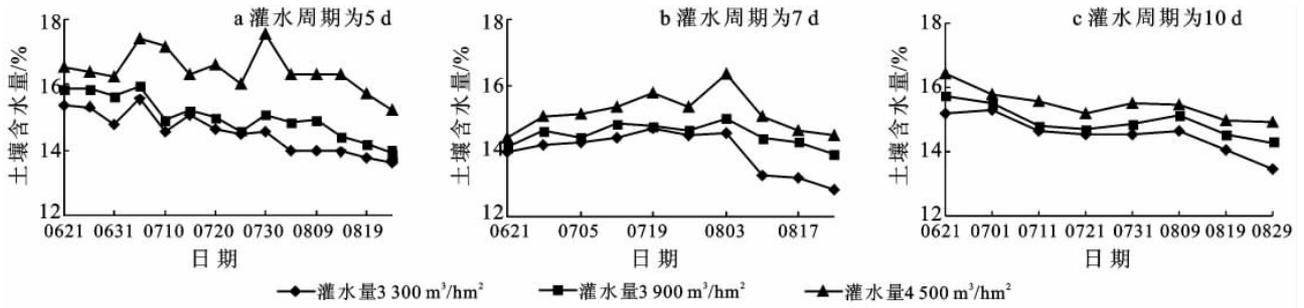


图 1 不同灌水处理灌前土壤水分动态变化

如图 1a 所示灌溉量  $3\ 300, 3\ 900, 4\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ , 灌水周期 5 d 的处理灌前土壤含水量都占到了田间持水率的 70% 以上, 最大值是  $4\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  处理的 17.2%, 最小值是  $3\ 300\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  时的 14%, 说明多次、少量灌溉是能够达到棉花适宜的土壤水分范围, 且能够满足棉花对水分的基本需求。在灌水周期 7 d 条件下(图 1b), 3 种灌溉定额的灌前土壤含水量变化趋势基本一致, 在蕾期和花铃期都分别满足了土壤相对含水量的 60% 和 70% 要求, 而在花铃后期  $3\ 300\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  的土壤含水量则低于田间持水率的 70% 以下, 水分出现亏缺。据实地观测这个小区的棉花在花铃后期的蕾铃数略低于  $3\ 900\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  和  $4\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  的处理, 并且出现了蕾铃脱落现象。从图 1b, 1c 可以看出  $3\ 900\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  处理在生育期内平均含水量高于  $4\ 500\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  处理, 实验结果表明在灌水周期较长的条件下, 灌溉定额的增加并不能使土壤含水量长期保持在作物适宜范围内。因为生育期中每次灌水量的增加虽然提高了土壤含水量, 扩大了土壤湿润体的范围, 但是在各处理灌水后, 由于棉花蒸腾和膜间裸地蒸发, 土壤含水量随着时间的推移会逐渐下降, 较小的灌水周期使得灌水次数较多, 灌水间隔时间比较短, 这样使土壤水分减少还不多时就得到了及时的灌溉, 从而使土壤能够连续保持较高的含水量。而对于较长的灌水周期, 灌水时间间隔长, 使土壤含水量已经降低较多时才得到水分的补充, 这样在每次灌水前, 土壤含水量都降低到了较小值, 且远小于作物适宜的土壤含水量。

花铃期是棉花需水的关键期。图 2 表示 3 种灌溉定额下(灌水周期 5 d)在花铃期土壤剖面含水量对比, 可以看出随着灌水量的增加, 土壤含水量在各个土层也依次增大。在土壤上层 0—40 cm, 三者含水量很接近, 变化趋势一致, 但是变化幅度较大, 说明花铃期频繁灌水, 3 种灌溉量都可以使上层土壤水分达到饱和。水分在入渗的同时, 一部分被棉花吸收, 用于棉花的生长和蒸腾作用; 还有一部分入渗到土壤深层作为储备水分, 而且有不少的水分侧移到膜间裸地

用于土体蒸发。土壤上层含水量低于下层是因为上层土壤接近地表, 土壤蒸发十分强烈。研究<sup>[14]</sup>表明膜下滴灌棉花的根系主要分布在 40 或 60 cm 以内, 所以上层根系分布密集, 吸水强度较大。60 cm 以下 3 种灌溉量的土壤含水量变化幅度较小, 说明膜下滴灌属于局部灌溉, 生长的根系分布较浅, 只有在根系附近有较强的耗水强度, 深层耗水强度不大。但是高灌溉量的土壤含水量在深层高于低灌溉量, 说明高灌溉量下土壤储备水量比较充分, 有利于在非灌溉期补充上层土壤蒸发和根系吸收所需要的水分。

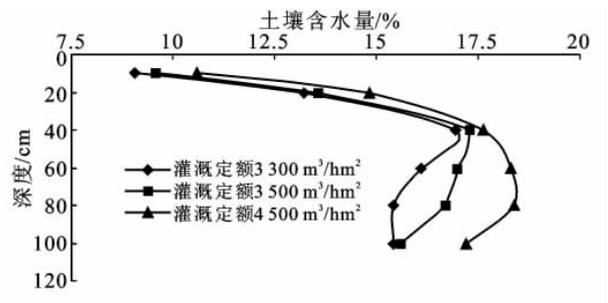


图 2 灌水 1 d 后土壤剖面含水量分布

## 2.2 不同灌水处理土壤盐分的变化分析

盐分是影响作物生长的重要因子, 盐分分布与水分入渗、作物蒸腾和土壤蒸发作用有着密切的关系。在灌溉过程中, 土壤盐分的淋洗效果是最受关注的, 因为判断灌溉方式优劣的主要指标之一是棉花主根区的盐分在生育期里是增加还是减少。图 3 表示不同灌水处理在不同灌水周期时 0—100 cm 土壤平均含盐量随生育期推移而改变的过程。

在灌水之前分别对各个处理土壤进行了盐分含量的测定, 设置了 3 个不同程度的初始含盐量对应着 3 种灌溉定额的处理(图 3)。如图 3 所示, 对于灌水周期 10 d 来说, 土壤盐分在生育期内波动起伏较大, 特别是从蕾期到花铃前期盐分含量升高, 出现了返盐现象。3 个处理土壤都达到了棉花的耐盐预警值(0.5%), 这样就会影响棉花的生长发育, 并且在整个灌水期结束后, 棉花成熟收获时, 土壤盐分又有较大的上升, 出现了盐分累积现象。据实地观测这 3 个小区成熟后的棉

花叶片逐渐变黄脱落,增加了地表的裸露面积,新疆 9 月的平均气温虽然比 7,8 月低,但白昼气温依然较高,在无灌水的情况下,土壤水分蒸发显得更加强烈,所以上层土壤盐分含量不断累积。造成这种现象的主要原因是:由于灌水周期较长,每次灌水时,灌溉水分已经被棉花充分吸收利用,土壤水分补充的渠道主要是略浅的地下水通过毛细管作用上升到根系层附近,盐分随着地下水上升而累积到土壤上层。

对于灌水周期 7 d 来说,土壤盐分在生育期中波动起伏不大,在生长关键期花铃期保持了较低的含量,3 种灌溉量都未达到棉花的耐盐度。说明这一段时间内灌溉对盐分的淋洗量与土壤返盐量基本持平。在吐絮期后,3 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理土壤盐分出现了略

微累积,但 3 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 和 4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的处理与灌前含盐量相比,都表现为脱盐过程。可能原因是由于 3 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理灌溉定额较小,每次分配水量比较少,土壤湿润体的范围有限,盐分的淋洗深度较浅,从而不能形成较大的脱盐区。

对于灌水周期 5 d 的处理,在整个生育期中盐分控制较好,土壤盐分大体呈下降趋势,即使在吐絮期后灌水停止,土壤中没有出现返盐现象。这主要是因为这 3 个处理灌水频率相对较高,也就是对土壤盐分淋洗次数较多,在以滴头处为中心的淋洗下,水分携带盐分向膜间和深层移动的距离更远,形成了相对较大的脱盐区,可见“勤灌”这种方式对土壤起到了良好的洗盐效果。

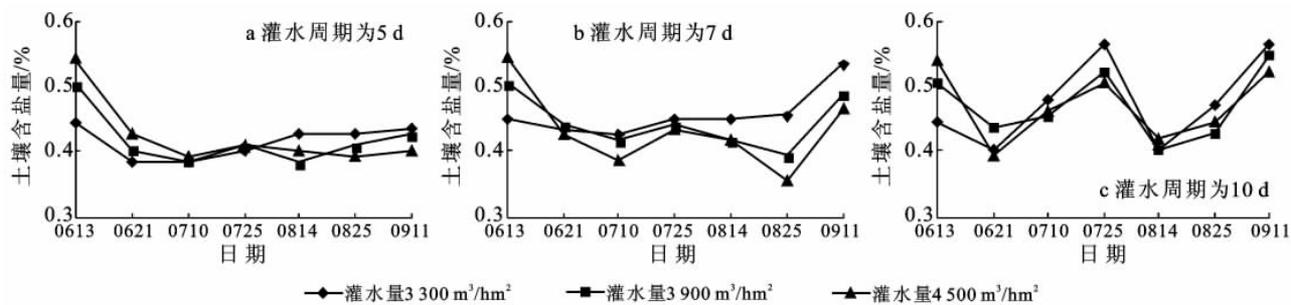


图 3 不同灌水处理 0—100 cm 土层平均土壤盐分动态变化

为了更精确地探讨膜下滴灌条件下不同灌水参数对土壤盐分的淋洗效果,就需对土壤盐分变化进行量化分析。将整个生育期灌水前后主根区内 0—60 cm 深土壤盐分的平均值列于表 2(主根区取水平方向距膜内滴头 40 cm 以内,垂直方向取距滴头深度 60 cm 范围内)。如表 2 所示,灌水周期 5 d 的处理与灌水周期 7 d 的 3 900, 4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理以及灌水

周期 10 d 的 4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理在棉花主根区范围都处于脱盐的态势,其中处理 3 盐分淋洗较多,脱盐率达 25.94%,脱盐率最低的是处理 1 为 2.88%,而处理 4, 7, 8 在收获期都略有积盐。

总之,灌水周期 5 d 的处理以及灌水周期 7 d 的 3 900, 4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理,都可以对土壤盐分控制的较好,在生育期结束时各处理土壤没有出现返盐现象。

表 2 不同灌水处理灌水前后主根区盐分变化

%

项目	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6	处理 7	处理 8	处理 9
灌水前	0.448 0	0.502 0	0.541 7	0.448 0	0.502 0	0.541 7	0.448 0	0.502 0	0.541 7
灌水后	0.435 1	0.425 4	0.401 2	0.481 2	0.459 7	0.461 8	0.561 9	0.545 0	0.522 9
变化量	0.012 9	0.076 6	0.140 5	-0.033 2	0.042 3	0.079 9	-0.113 9	-0.043 0	0.018 8
脱盐率/%	2.880 0	15.260 0	25.940 0	-7.410 0	8.430 0	14.750 0	-25.420 0	-8.570 0	3.470 0

注:负值表示为积盐,正值表示为脱盐;变化量指各处理 6 月 13 日与 9 月 11 日含盐量的差值。

### 2.3 不同灌水处理棉花的生长及产量分析

在棉花的收获期时,对每个处理进行测产(表 3)。根据试验观测,棉花的生长发育与水盐调控有直接的关系,灌水量适中且土壤盐分淋洗比较充分,水分和盐分都达到了棉花适宜生长范围,这样棉花发育趋于正常。而灌水量少的土壤或者灌水周期不合适,造成棉花受旱和盐分胁迫而生长缓慢、发育推迟,在灌水

周期 10 d 的 3 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理棉花表现尤为明显。通过对棉花生长发育调查,不同的灌水参数对棉花株高、铃数、铃重、籽棉产量产生不同的效果(表 3)。

从表 3 中可以看出在相同灌水周期下,随着灌溉定额的增大,棉花的株高和单铃重都逐渐增加,棉花单铃数之间的差异不是很明显。从产量比较上看,处理 5 即灌水周期 7 d,灌溉定额为 3 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的小

区棉花产量最高,达到了 6 702.57 kg/hm<sup>2</sup>。灌溉定额较小或灌溉定额过大均得不到最高产量,中量灌溉可以获得最高产量。在相同灌溉定额的处理中,高频灌溉可以获得较高的产量。如灌水量 3 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理,灌水周期为 5 d 的处理比 7 d,10 d 处理的产量高了 10.24% 和 14.66%。近几年的气象资料显示,新疆北部夏季平均气温较高,田间蒸发量比以往年份都增大。3 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 灌溉量的处理相对偏低,造成棉花植株矮小,结铃数少,从而产量相对较低。灌溉定额较大的 4 500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理虽然能满足作物的生长和田间蒸发需要,但是由于灌溉量过大,蕾铃期旺盛的营养会抑制生殖生长<sup>[15]</sup>,导致蕾铃有脱落的现象,产量相对较低。

表 3 不同灌水处理棉花生长状况及产量

小 区	灌水定额/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	灌水 周期/d	株高/ cm	单株铃 数/个	单铃 重/g	籽棉产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
处理 1	3 300	5	67.0	4.8	5.12	5 146.05
处理 2	3 900	5	69.2	5.1	5.22	6 333.06
处理 3	4 500	5	73.1	5.2	5.23	6 038.81
处理 4	3 300	7	76.6	4.9	5.34	4 619.14
处理 5	3 900	7	77.4	5.8	5.51	6 702.57
处理 6	4 500	7	78.7	5.4	5.64	5 908.64
处理 7	3 300	10	60.3	4.7	5.25	4 391.81
处理 8	3 900	10	67.5	5.1	5.31	5 416.85
处理 9	4 500	10	69.5	4.9	5.32	5 288.14

### 3 结 论

(1) 在适当的灌溉定额下,5 d 的灌水周期能够保持较高的土壤含水量,多次、少量灌溉可以满足棉花生长的需水要求。在相同的灌水周期下,随着灌溉定额的增加,土壤剖面平均含水量依次增大,在土壤深层表现尤为明显。(2) 相同的灌溉定额下,较短的灌水周期对土壤盐分淋洗明显。灌溉周期较长的条件下,土壤盐分在生育期中波动起伏较大,并且出现累积现象,低灌溉量累积明显。(3) 处于适中的灌溉定额可以获得最高产量,相同的灌溉定额下,较短的灌水周期可以获得相对较大的产量。

膜下滴灌的水分不仅要满足作物的正常需水要求,而且要满足土壤脱盐要求,使根系层土壤中的含盐量维持在作物的耐盐度范围内。所以从节水增产,

盐碱地改良方面综合考虑,灌溉定额为 3 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,灌水周期为 5~7 d 的灌溉制度是当地棉花种植最佳选择方案。

#### [参 考 文 献]

- [1] Magdalena V C, April L U, Ernesto A C. Salinity and nitrogen rate effects on the growth and yield of chile pepper plant[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003,67:1781-1789.
- [2] 徐飞鹏,李云开,任树梅.新疆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):25-17.
- [3] 马富裕,严以绥.棉花膜下滴灌技术理论与实践[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2002.
- [4] 张志新.滴灌[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992.
- [5] 马富裕,周治国,郑重,等.新疆棉花膜下滴灌技术的发展与完善[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):202-208.
- [6] Assouline S. The effects of micro-drip and conventional drip on water distribution and uptake[J]. Soil Sci. Soc. A. M. J., 2002,66:1630-1636.
- [7] Thomas L T, Scott A W, James W. Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated broccoli[J]. Soil Sci. Soc. A. M. J., 2003,67:910-918.
- [8] 王全九,王文焰,吕殿青,等.膜下滴灌盐碱地水盐运移特性研究[J].农业工程学报,2000,16(7):54-57.
- [9] 李毅,王文焰,王全九.论膜下滴灌技术在干旱—半干旱地区节水抑盐灌溉中的作用[J].灌溉排水学报,2001,20(2):42-46.
- [10] 吕殿青,王全九,王文焰,等.膜下滴灌水盐运移影响因素研究[J].土壤学报,2002,39(6):794-801.
- [11] Radin J W, Mauney J R, Kerridge P C, et al. Water uptake by cotton roots during fruit filling In relation to irrigation frequency[J]. Crop Sci., 1989, 29(4): 1000-1005.
- [12] 李富先,杨举芳.棉花膜下滴灌需水规律和最大耗水时段及耗水量的研究[J].新疆农业大学学报,2002(3):43-47.
- [13] 李明思,郑旭荣.棉花膜下滴灌灌溉制度试验研究[J].中国农村水利水电,2001(11):13-15.
- [14] 郭金强,危常州,侯振安,等.北疆棉花膜下滴灌耗水规律的研究[J].新疆农业科学,2005,42(4):205-209.
- [15] 蔡焕杰,邵光成,张振华.荒漠气候区膜下滴灌棉花需水量和灌溉制度的试验研究[J].水利学报,2002(11):119-123.