

深松条件下滴灌频次对土壤理化指标及棉花产量的调节效应

崔建平¹, 程强², 陈平², 郭仁松¹, 王亮¹, 郑子漂¹, 林涛¹, 田立文¹, 徐海江¹

(1. 新疆农业科学院经济作物研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 阿瓦提县气象局, 新疆 阿瓦提 843200)

摘要: 研究深松条件下灌溉频次对土壤理化指标及棉花产量的调节效应, 对优化新疆棉田滴灌制度提供理论依据。2016—2017年, 在深松 40 cm 条件下, 设置 4, 7, 10 d/次 3 个滴灌频次, 灌溉总量均为 3 600 m³/hm² 的田间试验, 测定并分析了不同滴灌频次对棉田 0—60 cm 土层内土壤容重、紧实度、含水量、盐分含量及产量构成的调节效应。结果表明: 棉花生育期内, 不同处理 0—40 cm 土层内的土壤容重表现为 10 d/次 > 4 d/次 > 7 d/次处理的变化趋势, 40—60 cm 土层则以 4 d/次处理略高, 7 d/次处理在 0—60 cm 土层深度土壤容重和紧实度均处在较低水平; 不同土层深度下, 各生育时期 7 d/次处理土壤含水量可维持在较高水平, 2 年平均分别较 4, 10 d/次处理高出 14.1% 和 18.0%; 0—60 cm 土层内, 处理间各生育期土壤含盐量变化情况表现为 4 d/次 > 7 d/次 > 10 d/次处理, 随着灌水频次减少土壤盐分浓度峰值逐渐下移, 不同处理在 20—40 cm 深度形成明显的积盐区; 不同滴灌频次下, 棉花单株结铃数、单铃重和籽棉产量均以 7 d/次处理最高, 4 d/次处理最低, 与 4, 10 d/次处理相比, 2 年平均籽棉产量分别高出 12.1% 和 10.0%。因此, 适中的灌水频次(7 d/次)有利于维持作物生长的土壤耕作环境及适宜的水分盐分环境, 可促成棉花产量的形成。

关键词: 灌溉频次; 深松; 土壤理化性质; 产量

中图分类号: S274.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0263-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.01.041

Effects of Drip Irrigation Frequency on Soil Physical and Chemical Characteristics and Cotton Yield Under Subsoiling Condition

CUI Jianping¹, CHENG Qiang², CHEN Ping², GUO Rensong¹,

WANG Liang¹, ZHENG Zipiao¹, LIN Tao¹, TIAN Liwen¹, XU Haijiang¹

(1. Institute of Industrial Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences,

Urumqi 830091; 2. Awati Meteorological Bureau, Awati, Xinjiang 843200)

Abstract: The effects of drip irrigation frequency on soil physical and chemical indicators and cotton yield under subsoiling were studied, which provided a theoretical basis for optimizing the drip irrigation system in cotton fields of Xinjiang. In this study, three different drip irrigation frequencies (4 days/times, 7 days/times and 10 days/times, respectively) and 3 600 m³/hm² as the total irrigation amount were selected. The experiment was carried out under the mechanical subsoiling of 40 cm from May to September of 2016 and 2017 in the Tarim Basin. The soil bulk density, compaction, water content, salt content and yield components in 0—60 cm soil layer of cotton field were determined and analyzed. The results showed that during the growth period of cotton, the soil bulk density in 0—40 cm soil layer showed a trend of 10 days/times > 4 days/times > 7 days/times, and in 40—60 cm soil layer the value of the 4 days/times treatment was slightly higher. The soil bulk density and compaction of 0—60 cm soil layer were maintained at a low level in 7 days/times treatment. Under different soil depths, the soil water content of 7 days/times treatment maintained at a higher level during every growth period. The average value in two years was 14.1% and 18.0% higher that of 4 days/times and 10 days/times treatment, respectively. In the 0—60 cm soil layer, the soil salinity during the growth period was 4 days/times > 7 days/times > 10 days/times treatment. With the decreasing of drip irrigation frequency, the peak of soil salinity decreased gradually, and an obvious salt accumulation area was formed at the depth of 20—40 cm. Under different drip irrigation frequencies, the number of bolls per plant,

收稿日期: 2018-06-25

资助项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201503117); 国家重点研发计划项目(2017YFD0101605); 新疆农业科学院青年基金项目(xjnkq-2016004); 自治区科技支疆项目(2017E0251); 自治区重点研发计划项目(2016B01001-2-1); 国家棉花产业技术体系项目(CARS-15-50)

第一作者: 崔建平(1975—), 男, 研究员, 主要从事棉花高产栽培与品质保优研究。E-mail: 3022825258@qq.com

single boll weight and seed cotton yield were the highest in 7 days/times treatment, and the lowest in 4 days/times treatment. Compared with 4 days/times and 10 days/times treatment, the average seed cotton yield in two years in 7 days/times treatment was increased by 12.1% and 10.0%, respectively. Therefore, moderate drip irrigation frequency (7 days/times) was conducive to maintaining the favorable soil cultivation environment and suitable water and salt environment for crop growth, which could promote the formation of cotton yield.

Keywords: irrigation frequency; subsoiling; physical and chemical characteristics of soil; yield

新疆属于极端干旱地区,棉花种植完全依赖于灌溉,新疆水资源总量仅为 $793 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1],而全疆棉田总灌溉需水量达到 $108.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[2]。尤其是南疆地区,降雨稀少,蒸发强烈,年蒸发量高达 $2\ 000 \sim 3\ 400 \text{ mm}$ ^[3],新疆植棉生产面临水资源严重匮乏的问题亟待解决,节水高效农业成为现代农业发展的新趋势。在南疆棉区极端干旱气候条件下,如何优化调度,提高滴灌水有效利用率,建立节水灌溉棉花的水分管理指标体系^[4],以实现滴灌时间、滴灌水量与滴灌周期同棉花生长季水量需求的同步已成为目前制约南疆棉花生产的瓶颈。

深松对改善土壤物理特性及作物生长状况起着重要的作用^[5],深松可创造疏松深厚的耕作层^[6],增加土壤水库容^[7],改善根系生态条件,改良盐碱土,提高水分利用效率^[8]。滴水频率是膜下滴灌技术的重要参数,也是调节土壤干湿状态的重要影响因子^[9],其影响了土壤的水、热分布状况,必然会对作物生长和水分利用效率产生影响^[10]。一般高频滴灌可使耕层土壤含水量稳定在较高水平,有利于形成易于植物根系吸收的土壤水分条件,有利于水分利用效率的提高,但灌水间隔过大致使水分养分吸收不足,阻碍棉花生长^[11],相同灌溉定额情况下,高频灌溉可有效降低湿润体体内土壤盐分含量^[12]。以往研究多集中在不同耕作措施或灌溉制度等单一因素对土壤环境及作物生长的影响方面,随着新疆农业生产水资源匮乏加剧,棉花连作种植,轮作倒茬困难,导致耕层土壤理化环境和棉花生长发育受到不同程度的影响,土壤容重、紧实度、含水量及含盐量和对作物生长的影响已成为衡量耕地质量和制订灌溉制度的主要依据。但是目前关于特定深松条件下,滴灌频次对土壤理化指标和作物产量及其相关性的影响尚不明确。针对上述问题,本研究通过连续 2 年对新疆连作棉田进行播前深松耕作,评价 40 cm 深松条件下,不同灌水频次对土壤理化指标和产量形成的影响,对于构建综合性高效作物管理技术体系具有重要指导意义。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验在新疆阿克苏地区阿瓦提县新疆农业科学

院试验基地($40^{\circ}06' \text{ N}$, $80^{\circ}44' \text{ E}$,海拔 1 025 m)进行,该区热量资源丰富,年平均日照时间 2 679 h,年平均气温 $10.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 46.7 mm,平均蒸发量 1 890.7 mm,无霜期 211 d。试验地土质为砂质壤土,2 年耕层土壤养分状况均值为:有机质含量 7.41 g/kg,全氮 0.47 g/kg,碱解氮 60.98 mg/kg,速效磷 35.36 mg/kg,速效钾 155.17 mg/kg,容重 $1.45 \text{ g}/\text{cm}^3$,土壤 pH 8.2,田间持水量 29.2%。前茬作物为棉花,供试棉花品种为“新陆中 54 号”。

1.2 试验设计

试验于 2016 年和 2017 年 4—10 月,在深松 40 cm 条件下进行,试验采用单因子随机区组设计,根据南疆灌溉情况设置 3 个滴灌频次,即:4,7,10 d/次,全生育期灌溉定额均为 $3\ 600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,每个处理重复 3 次,每个小区由 3 个播幅组成,小区宽 4.5 m,长 6.5 m,面积 29.25 m^2 ,小区之间设保护行。试验采用 1 膜 2 管 4 行种植模式,地膜宽为 1.25 m,株行配置为窄行 10 cm,宽行 66 cm,株距 10 cm,滴头间距 25 cm,滴头设计流量 2.1 L/h,理论种植密度为 $2.4 \times 10^5 \text{ 株}/\text{hm}^2$ 。播种前施基肥,尿素(含 N 46%) $120 \text{ kg}/\text{hm}^2$,磷酸二铵(含 P_2O_5 46%) $90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 及硫酸钾(含 K_2O 51%) $75 \text{ kg}/\text{hm}^2$,生育期随水施氮,通过施肥罐控水控氮,每小区采用单独水表控水计量,2016 年播期为 4 月 13 日,9 月 28 日收获,2017 年 4 月 10 日播种,9 月 25 日收获,人工点播。2 年灌溉时期、滴灌量及施氮量均一致,以 2016 年为例列出见表 1。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤容重测定 土壤容重采用环刀法,2 年分别于棉花现蕾期、初花期、盛花期、盛铃期和吐絮期用体积为 200 cm^3 的环刀,于小区第 2 幅膜膜间滴头正下方,分 0—20,20—40,40—60 cm 3 个土壤层次采集原状土样(在灌水周期内取样时间均是灌水前 1 天取样),每个小区重复 3 次,密封放入保温箱立即带回实验室,烘干称质量测定土壤容重,土壤密度为 $2.65 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。土壤容重计算公式为:

$$p_b = \frac{M_2}{V_h} \quad (1)$$

式中: p_b 为土壤容重(g/cm^3); M_2 为烘干土样质量(g); V_h 为环刀体积(cm^3)。

表 1 不同处理滴灌量和施尿素量表

灌溉日期 (月-日)	处理					
	4 d/次		7 d/次		10 d/次	
	灌溉量/m ³	施肥量/kg	灌溉量/m ³	施肥量/kg	灌溉量/m ³	施肥量/kg
06-12	1.75	0.66	2.87	0.66	3.95	0.66
06-16	1.75	0.66	0	0	0	0
06-19	0	0	2.87	0.66	0	0
06-20	1.75	0.35	0	0	0	0
06-22	0	0	0	0	3.95	0.99
06-24	1.75	0.35	0	0	0	0
06-26	0	0	2.87	0.66	0	0
06-28	1.75	0.35	0	0	0	0
07-02	1.75	0.35	0	0	3.95	0.99
07-03	0	0	2.87	0.66	0	0
07-06	1.75	0.35	0	0	0	0
07-10	1.75	0.35	2.87	0.66	0	0
07-12	0	0	0	0	3.95	0.99
07-14	1.75	0.35	0	0	0	0
07-17	0	0	2.87	0.66	0	0
07-18	1.75	0.35	0	0	0	0
07-22	1.75	0.35	0	0	3.95	0.99
07-23	0	0	2.87	0.66	0	0
07-26	1.75	0.35	0	0	0	0
07-30	1.75	0.35	2.87	0.66	0	0
08-01	0	0	0	0	3.95	0.99
08-03	1.75	0.35	0	0	0	0
08-06	0	0	2.87	0.66	0	0
08-07	1.75	0.35	0	0	0	0
08-11	1.75	0.35	0	0	3.95	0.99
08-13	0	0	2.87	0.66	0	0
08-15	1.75	0.35	0	0	0	0
08-19	1.82	0	0	0	0	0
08-20	0	0	2.87	0	0	0
08-21	0	0	0	0	3.95	0
合计	31.57	6.57	31.57	6.60	31.60	6.60

1.3.2 土壤紧实度测定 在棉花各生育时期利用 SC-900 型土壤紧实度仪于每小区测定土壤紧实度,每处理重复 3 次。

1.3.3 土壤含水量及含盐量测定 于 2016 年和 2017 年棉花生育期内用烘干法测定土壤含水量,从现蕾期至吐絮期,每个生育时期依次在各处理灌水前 1 天用土钻于小区第 2 幅膜(减小边际效应)膜间滴头正下方,分别采取 0—20, 20—40, 40—60 cm 土层土样,每小区 2 个样点,重复 3 次,取好的鲜土样装入塑料自封袋密封后立刻带回实验室,取部分鲜土倒入铝盒中,分别称鲜重,记为 M_1 ;放入 80 °C 烘箱烘干至恒重,称干重,记作 M_2 ,取其平均值。

土壤质量含水率(W)计算公式为:

$$W = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100 \quad (2)$$

式中: W 为土壤质量含水率(%); M_1 为鲜土样质量(g); M_2 为烘干土样质量(g)。

将取回剩余土样风干、碾碎、过 2 mm 筛后称重,采用 DDS-307A 型电导率仪测定土水比 1:5 土壤浸提液电导率 $EC_{1:5}$,换算获得土壤含盐量。

1.3.4 产量的测定 收获期每小区按 6.67 m² 面积统计所有棉株数及铃数,并在每小区选长势均匀的棉株分上、中、下 3 个部位分别取 100 个棉铃考种,测定单铃重、衣分率,并折算产量。

籽棉产量计算公式为:

$$Y = \frac{a \times b}{1000 \times 100 \times 15} \quad (3)$$

式中: Y 为籽棉产量(kg/hm²); a 为单铃重(g); b 为 6.67 m² 铃数(个)。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SigmaPlot 12.5 软件进行数据处理和绘图,并用 DPS 7.05 对不同处理的变量进行 LSD 显著性差异分析。

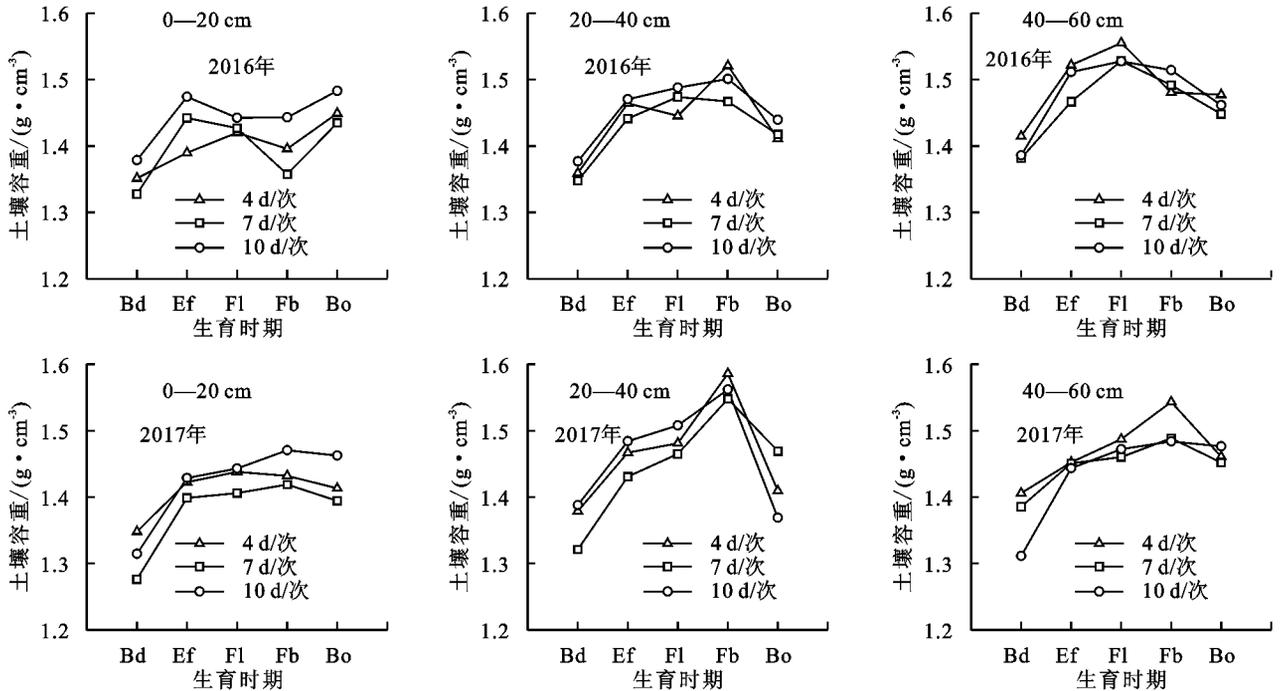
2 结果与分析

2.1 不同滴灌频次对土壤容重的影响

由图 1 可知,2 年不同土层深度下滴灌频次对棉田土壤容重的影响规律基本一致,各灌水频次在 0—60 cm 土层深度下土壤容重随生育进程的推进均呈现倒“V”形的变化趋势。2 年不同处理间土壤容重在

0—20 cm 土层变化差异较明显,整个生育期呈 10 d/次 > 4 d/次 > 7 d/次 处理的变化趋势,2016 年该土层内 7 d/次 处理的土壤容重平均较 4, 10 d/次 处理分别降低 0.2% 和 3.2%, 2017 年则分别降低 2.3% 和 3.2%, 由此可知, 灌水周期越长, 表层土壤容重越大; 在 20—40 cm 土层深度, 处理间土壤容重差异较小, 但整体表现为 7 d/次 处理的土壤容重最低, 4, 10 d/

次处理间差异较小, 10 d/次 处理略高; 40—60 cm 土层内, 7 d/次 处理的土壤容重仍保持在较低的水平, 但 4 d/次 处理高于 10 d/次 处理。2 年数据显示, 棉花整个生育期内, 各处理土壤容重均随土层深度的增加而增大, 且 7 d/次 处理的土壤容重在 0—60 cm 土层内均处在较低的水平。说明 7 d/次的滴灌频次下耕作土层内的土壤容重更适合作物生长。



注: Bd 为现蕾期; Ef 为初花期; Fl 为盛花期; Fb 为盛铃期; Bo 为吐絮期。下同。

图 1 滴灌频次对不同深度土层土壤容重的影响

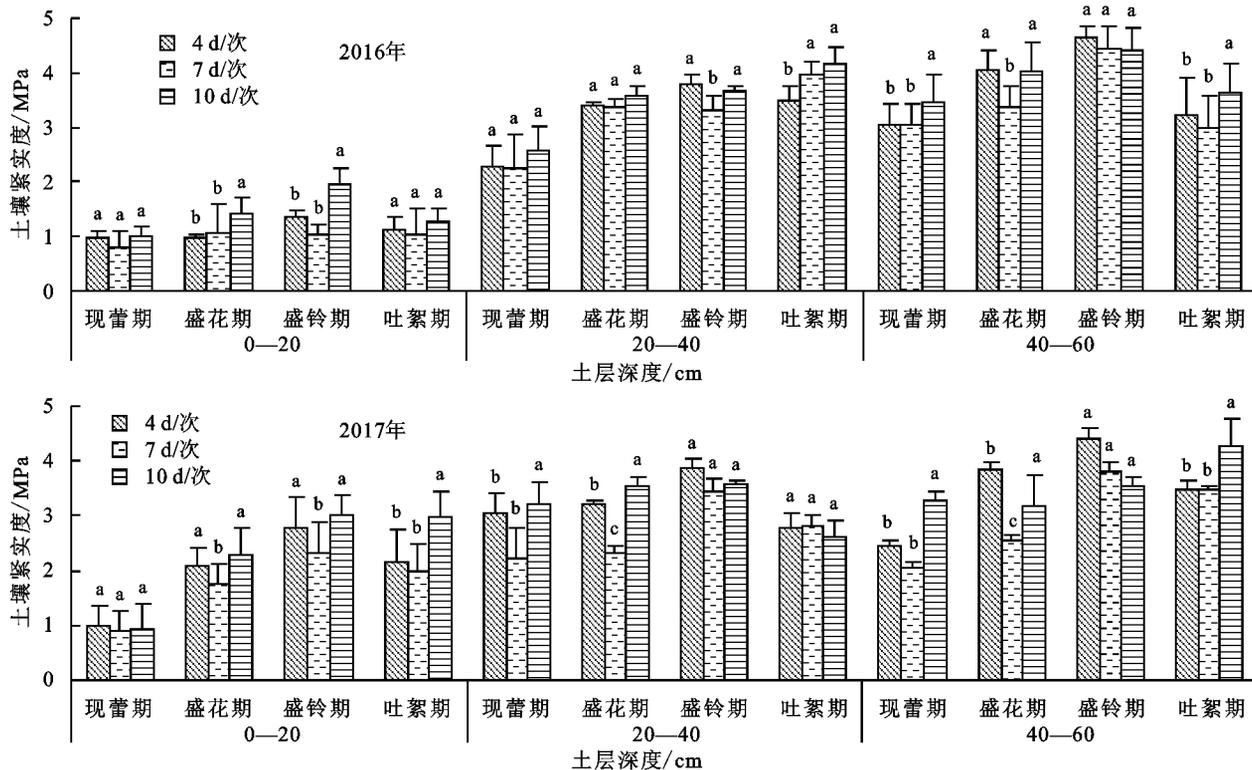
2.2 不同滴灌频次对土壤紧实度的影响

由图 2 可知, 2 年不同处理的土壤紧实度与土壤容重呈现相似的变化规律, 各处理的土壤紧实度在不同土层深度内随生育期的延长呈先增后减的变化趋势, 均在盛铃期达到最大。0—20 cm 土层, 2016 年和 2017 年不同处理各生育期土壤紧实度均表现为 10 d/次 > 4 d/次 > 7 d/次 处理, 且盛花期至盛铃期 7 d/次 处理显著低于 10 d/次 处理 ($P < 0.05$), 2016 年和 2017 年盛铃期 3 个处理的土壤紧实度分别为 1.4, 1.0, 1.9 MPa 和 2.8, 2.3, 3.0 MPa, 7 d/次 相比于 4, 10 d/次 分别降低 23.5%, 46.4% 和 16.6%, 23.0%; 20—40 cm 土层, 盛铃期前, 土壤紧实度均以 7 d/次 处理最低; 40—60 cm 土层, 盛花期和盛铃期土壤紧实度 2 年则均以 4 d/次 处理最高, 而现蕾期和吐絮期则为 10 d/次 处理较高, 4, 7 d/次 处理间无明显差异。整体上, 各处理 0—20 cm 土层土壤紧实度较小, 随土层深度增加, 土壤紧实度依次增大, 且 4, 10 d/次 处理增加幅度较快, 7 d/次 处理土壤紧实度较适中, 滴灌频次过多或过少均会增加土壤硬度, 使土壤更加紧实。

2.3 不同滴灌频次对土壤含水量的影响

由图 3 可知, 深松条件下, 0—60 cm 土层内, 2 年

不同处理土壤含水量均呈先迅速下降后缓慢变化的趋势。不同滴灌频次对 0—20 cm 土层土壤含水量影响较明显, 在该土层深度下, 处理间土壤含水量大致表现为 7 d/次 > 4 d/次 > 10 d/次 处理的变化规律, 2016 年和 2017 年 7 d/次 处理土壤含水量平均分别较 4, 10 d/次 处理高出 9.9%, 18.1% 和 18.3%, 18.0%; 在 20—40 cm 土层深度下, 2016 年盛铃期前, 4, 10 d/次 处理的土壤含水量均低于 7 d/次 处理, 而前两者之间的差异变化不明显, 2017 年 7 d/次 处理始终高于其他 2 个处理; 随土层深度的增加, 不同灌水频次间土壤含水量则呈现为 4 d/次 处理土壤含水量远低于 7, 10 d/次 处理, 2016 年 7 d/次 处理土壤含水量略高于 10 d/次 处理, 2017 年两者之间差异较小。2 年各处理土壤含水量均随土层深度增加依次升高, 深层土壤含水量明显高于表层土壤含水量。综上, 不同深度土层下土壤含水量均以 7 d/次 处理较高, 0—40 cm 土层内 4 d/次 处理土壤含水量则高于 10 d/次 处理, 40—60 cm 土层内呈相反变化规律, 在表层土体内以中高频滴灌处理土壤含水量较大, 深层土壤 4 d/次 处理明显较低。2 年试验结果表明, 适中的灌溉频次 (7 d/次) 有利于土壤水分的贮存。



注:不同小写字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 2 不同滴灌频次对土壤紧实度的影响

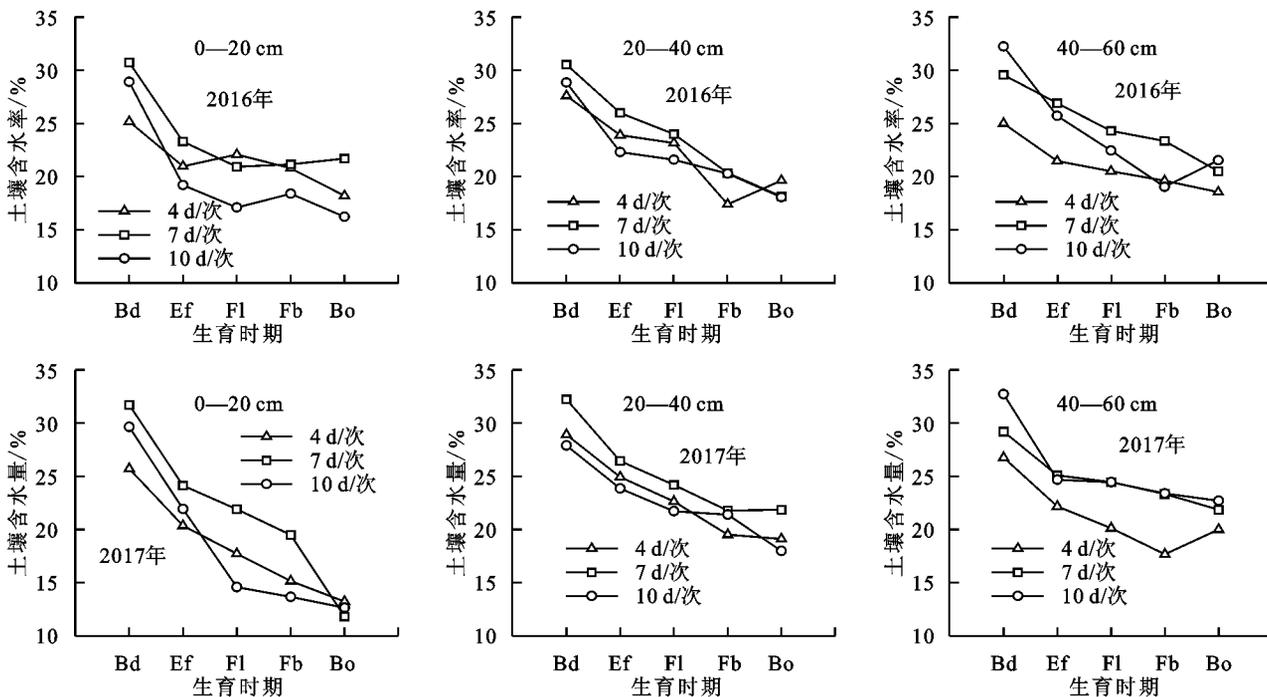


图 3 滴灌频次对不同深度土层土壤含水量的影响

2.4 不同滴灌频次对土壤含盐量的影响

由图 4 可知,土壤含盐量受灌水频次的影响较大,2 年 0—60 cm 土层内,不同处理各生育期土壤含盐量均表现为,4 d/次处理土壤盐分浓度最大,7 d/次处理次之,10 d/次处理最低,灌水频次越高土壤盐分越大。从不同土层深度土壤含盐量情况来看,0—40 cm 土层内,4 d/次处理土壤含盐量较高,盐分浓度峰值出现在 20—40 cm 土层,7 d/次处理土壤含盐

量明显比 4 d/次处理轻,10 d/次处理最低,且随灌水频次减少,各处理在 20—40 cm 深度形成明显的积盐区,与 4 d/次处理相比,2016 年和 2017 年 7,10 d/次处理土壤含盐量平均分别减少 19.1% 和 40.9%。随土层深度增加,土壤盐分浓度峰值逐渐下移,7,10 d/次处理土壤含盐量则在深层土壤处相对较大,说明高滴灌频次使得土壤盐分积聚在土壤上层,而灌水频次减少后,土壤表层盐分在一定程度上得到了淋洗。

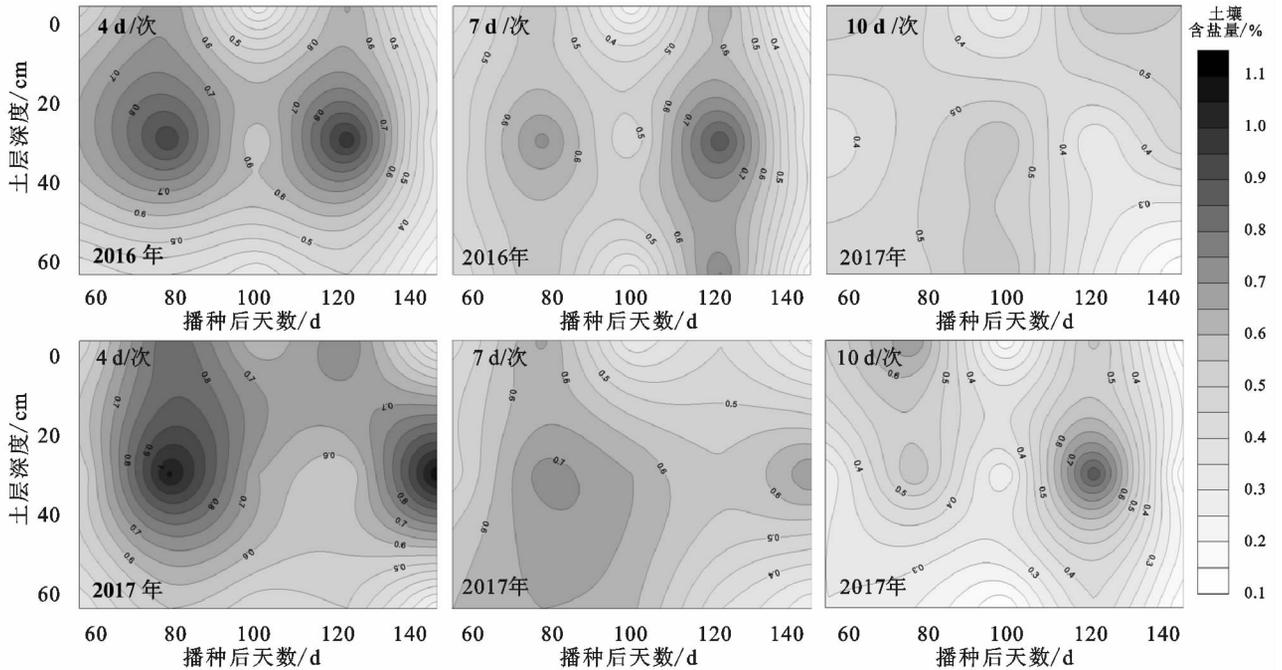


图 4 滴灌频次对不同深度土层土壤含盐量的影响

2.5 不同滴灌频次对棉花产量构成的影响

由表 2 可知,2 年不同滴灌频次对收获株数的影响未达到显著性差异($P>0.05$),但 2 年各处理间均表现为 7 d/次 $>$ 4 d/次 $>$ 10 d/次处理的变化趋势;2016 年 7 d/次处理的单株结铃数显著高于 4,10 d/次处理($P<0.05$),分别高出 9.3%和 6.8%,后两者无显著性差异,虽 2017 年各处理间单株结铃数无显著性差异,但依然以 7 d/次处理较高;2 年结果显示滴灌频次对单铃重和衣分均无显著性影响,但 7 d/次

处理的单铃重略高于其他 2 个处理;对于籽棉产量而言,2016 年 7 d/次处理显著高于 4,10 d/次处理($P<0.05$),分别高出 17.3%和 13.8%,而 2017 年处理间未达到显著性水平。但 2 年均均为 7 d/次处理产量最高,4 d/次处理最低。总体上,2 年内棉花产量及构成因子均表现为 7 d/次处理较高,表明相同灌溉量下,7 d/次的灌溉周期可使产量及产量形成因子维持在较高的水平,而滴灌频次过多或过少均不利于棉花产量的提高。

表 2 不同滴灌频次对棉花产量及构成因素的影响

年份	处理	收获株数/ (万株·hm ⁻²)	单株 结铃数/个	单铃重/g	衣分/%	籽棉产量/ (kg·hm ⁻²)
2016	4 d/次	21.4a	4.3b	5.8a	46.0a	5337.2b
	7 d/次	22.2a	4.7a	6.0a	46.0a	6260.4a
	10 d/次	21.2a	4.4b	5.9a	46.1a	5503.5b
2017	4 d/次	21.0a	4.0a	5.6a	45.4a	4704.8a
	7 d/次	21.4a	4.2a	5.7a	45.5a	5033.3a
	10 d/次	20.8a	4.0a	5.6a	45.3a	4742.4a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同滴灌频次对土壤容重及紧实度的影响

土壤容重是反映土壤孔隙状况的特征性参数,而紧实度则可评价土壤紧实程度和松紧状况,二者均是衡量土壤耕性及耕地质量的重要指标^[13]。土壤容重与紧实度的大小直接影响土壤通透性及水分养分的传导输送与利用,能影响根系伸展,进而影响作物地上部分的生长发育与产量形成^[14-15]。深松 40 cm 条件下,滴灌频次改变了土壤容重和紧实度等土壤物理结构性状。2 年研究结果表明,0—60 cm 土层内,7 d/次处理的土壤容重在整体生育期均最小,不同土层

深度表现为相同的变化规律,不同的是 0—40 cm 土层 10 d/次处理土壤容重高于 4 d/次处理,而在 40—60 cm 深度土层处则以 4 d/次处理略高;各处理土壤紧实度的变化情况呈现为:0—40 cm 土层内与土壤容重变化趋势一致,以 7 d/次处理最低,深层土壤内,需水关键生育期以 4 d/次处理土壤紧实度较大。这主要是因为灌水周期过长,单次滴灌量较大,使得表层土壤容重增大,土壤更加紧实,而低频灌溉,灌水较浅,深层土壤硬度较大。且不同处理表层土壤容重差异较明显,紧实度较小,随土层深度增加,处理间土壤容重差异变小,紧实度明显增大,这主要是由于试验在深松 40 cm 条件下进行,故各处理土壤容重在 0—

40 cm 土层受影响较大,而 40—60 cm 土层土壤未受到机具的扰动。综上表明,深松条件下,适宜的灌水频次(7 d/次)易创造有利于根系穿插的疏松土质环境,有利于土壤中水肥气热的流通交换。而滴灌频次过多或过少均会增加土壤硬度,增大土壤容重,影响水分渗透和肥料吸收,不利于棉花生长发育。

3.2 不同滴灌频次对土壤含水量及含盐量的影响

土壤的松紧程度直接影响土壤的导水蓄水能力以及养分的输送利用能力^[16],已有研究^[17]表明,采用高频灌溉可以明显提高土壤含水率,显著淋洗浅层土壤中的盐分,而低频灌溉由于单次灌水量大,对中下层土壤具有一定的淋盐效果^[18]。本文研究结果表明,0—40 cm 土层,不同滴灌频次处理下土壤含水量表现为 7 d/次>4 d/次>10 d/次处理,在 40—60 cm 土体内则呈现为 7 d/次>10 d/次>4 d/次处理的变化趋势,综合来看,在各土层深度下,7 d/次的滴灌频次均维持了较高的土壤水分含量,随土层深度增加,滴灌频次高的处理反而土壤含水量远远降低。不同土层深度下土壤盐分浓度变化情况表现为 4 d/次处理盐分含量最高,7 d/次处理适中,10 d/次处理含盐量最轻,灌水周期越长,土壤盐分向深层淋洗越明显,脱盐效果越好。土壤水盐渗透性能主要与土壤孔隙状况密切相关,4 d/次处理虽灌水勤,但灌溉浅,表层土壤水分短时间内用于植物蒸腾和土壤蒸发,不利于保水,盐分向中下层淋洗量少;10 d/次的滴灌处理,前后灌水时间长,使得表层土壤水分消耗过快,水分向下转移,土壤耕层盐分随水被淋洗至深层。虽 10 d/次处理脱盐效果好,但灌水间隔长,土壤干旱,不利于棉花生长,适中的滴灌频次(7 d/次)由于其土壤容重和紧实度较低,有良好的导水保障,既维持了棉花生长较高的水分条件,又保证了适宜的盐分环境,有利于作物更好地生长。

3.3 不同滴灌频次对棉花产量及构成的影响

产量是农业生产的核心目标,同时也是衡量灌溉水分调控成果的重要指标^[19]。土壤水、肥、气、热等环境的协调度直接影响作物的生长发育^[20],深松和滴灌频次通过改变土壤理化结构和水肥环境状况进而对作物生长发育产生作用,影响产量形成。有研究^[21-22]表明,较低浓度的土壤含盐量有利于棉花生长发育和提高产量品质,高频灌溉较低频灌溉,可使棉花增产 28%。本研究结果表明,2 年 7 d/次处理的籽棉产量均高于 4,10 d/次处理,平均分别高出 12.1% 和 10.0%,单株结铃数、单铃重也表现为 7 d/次>10 d/次>4 d/次处理的变化趋势。结合不同滴灌频次对土壤物理特性及水盐环境的影响,可知深松 40 cm 条件下,适中的滴灌频次(7 d/次),既形成了宽松深厚的耕作土壤和适宜的盐分环境,又维持了适宜棉花

正常生长的水分条件,有利于棉花生长与产量形成。但深松条件下,灌溉频次对根系分布,植株生理方面的影响以及与产量间的相关性有待进一步研究。

4 结论

(1)2 年深松 40 cm 条件下,0—60 cm 土层内,低频滴灌使得 40 cm 以上土层土壤容重增加,灌溉频次过高则使得下层土壤容重增大,而 7 d/次滴灌频次在各土层土壤容重均最小,土壤紧实度则以 7 d/次处理最低,表明灌水频次过于频繁或过低,均会增大土壤硬度,容重增加,影响棉花生长发育。

(2)不同土层深度下,7 d/次处理土壤含水量可维持在较高水平,2 年平均分别较 4,10 d/次处理高 14.1% 和 18.0%,在 0—40 cm 土层 4 d/次处理略高于 10 d/次处理,而 40—60 cm 土层 4 d/次处理明显降低。

(3)棉花生育期内各土层土壤含盐量 2 年均表现为 4 d/次>7 d/次>10 d/次处理,不同处理在 20—40 cm 土层深度形成明显的积盐区,灌水周期越长,盐分浓度峰值逐渐下移,向深层淋洗越明显,虽 10 d/次处理盐分含量较低,但土壤含水量偏低。

(4)不同滴灌频次下,棉花单株结铃数、单铃重和籽棉产量均以 7 d/次处理最高,4 d/次处理最低,与 4,10 d/次处理相比,2 年平均籽棉产量分别高 12.1% 和 10.0%。

通过对深松 40 cm 条件下,不同滴灌频次对棉田土壤理化指标及棉花产量的调节效应研究表明,适中的滴灌频次(7 d/次),在一定程度上,更好地维持了作物生长所需的土壤理化条件和有利的水分和盐分环境,有利于棉花生长与产量形成。

参考文献:

- [1] 杨九刚,何继武,马英杰,等. 灌水频率和灌溉定额对膜下滴灌棉花生长及产量的影响[J]. 节水灌溉,2011(3): 29-32,38.
- [2] 王新燕,龚照龙,郑巨云,等. 不同频率膜下滴灌对棉花农艺性状及产量的影响[J]. 棉花科学,2017,39(3):20-24.
- [3] 周和平,翟超,孙志锋,等. 新疆水资源综合利用效果及发展变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(1):95-100.
- [4] 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.
- [5] 王万宁,强小嫫,孙景生. 麦前深松对夏玉米土壤物理性状和生长特性的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(6): 229-236.
- [6] 齐华,刘明,张卫建,等. 深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响[J]. 华北农学报,2012,27(4):191-196.
- [7] 孔晓民,韩成卫,曾苏明,等. 不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. 玉米科学,2014,22(1):108-113.

进入缓慢增长阶段,建议在这个时期要保证加工番茄充足的水分和养分,同时要预防病虫害的发生,给加工番茄提供一个良好的生长环境。

参考文献:

- [1] 张喜洋. 盐碱土壤胁迫对菊芋萌芽块茎的影响[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [2] 谷海斌,盛建东,武红旗,等. 灌区尺度土壤盐渍化调查与评价:以石河子灌区和玛纳斯灌区为例[J]. 新疆农业大学学报,2010,32(2):95-100.
- [3] 陈玉姬,王伟,李焯,等. 加工番茄幼苗品种间的耐盐性比较研究[J]. 新疆农业大学学报,2012,35(6):457-462.
- [4] 姜森. 番茄盐胁迫下的生理生化特性及耐盐性 QTL 定位[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2016.
- [5] 冯棣,张俊鹏,孙池涛,等. 不同生育阶段盐分胁迫对棉花生长和水分生理指标的影响[J]. 生态学杂志,2014,33(5):1195-1199.
- [6] 杨凤军,李天来,藏忠娟,等. 渗 NaCl 干旱胁迫对番茄幼苗光合特性及叶绿体超微结构的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(8):2588-2596.
- [7] 刘胜尧,范凤翠,李志宏,等. 咸水负压渗灌对番茄生长和土壤盐分的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(22):108-117.
- [8] Campos C A B, Dantas F P, Raj G H, et al. Yield and

fruit quality of industrial tomato under saline irrigation [J]. *Scientia Agricola*, 2006, 63(2): 146-52.

- [9] 陈秀香,马富裕,方志刚,等. 土壤水分含量对加工番茄产量和品质影响的研究[J]. 节水灌溉,2006(4):1-4.
- [10] 汤明尧,张炎,胡伟,等. 不同施氮水平对加工番茄养分吸收、分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(5):1238-1245.
- [11] Bielinis E, Józwiak W, Robakowski P. Modelling of the relationship between the SPAD values and photosynthetic pigments content in *Quercus petraea* and *Prunus serotina* leaves. [J]. *Dendrobiology*, 2015, 73:125-134.
- [12] 朱延凯,王振华,李文昊. 不同盐胁迫对滴灌棉花生理生长及产量的影响[J]. 水土保持学报,2018,32(2):298-305.
- [13] 万梦丹,刘小刚,徐航,等. 不同灌水和光强条件下小粒咖啡叶片光响应及光合生理特征[J]. 排灌机械工程学报,2016,34(9):795-803.
- [14] 张芬,张波,田丽萍,等. 盐胁迫对番茄幼苗叶片光合特性及叶绿素和 β -胡萝卜素含量的影响[J]. 北方园艺,2014(11):15-20.
- [15] 刘浩,左青松,刘婧怡,等. 盐分浓度对油菜干物质积累分配、农艺性状及品质的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(22):19-23.

(上接第 269 页)

- [8] 赵亚丽,刘卫玲,程思贤,等. 深松(耕)方式对砂姜黑土耕层特性、作物产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(13):2489-2503.
- [9] 林涛,郭仁松,崔建平,等. 滴灌频率对新疆棉田水分蒸散特征及 WUE 的影响[J]. 新疆农业科学,2015,52(7):1224-1229.
- [10] Salah E E, Essam A A, Mohamed S A. Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn [J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(5): 836-844.
- [11] 王肖娟,龙常州,陈林. 不同灌溉频率对滴灌棉花生长及产量的影响研究[J]. 新疆农垦科技,2014,37(7):55-58.
- [12] 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(9):123-126.
- [13] 朱文新,高聚林,孙继颖,等. 深松耕作下不同灌水次数对春玉米根层土壤特性及耗水规律的影响[J]. 北方农业学报,2016,44(5):15-20.
- [14] 蔡丽君,边大红,田晓东,等. 耕作方式对土壤理化性状及夏玉米生长发育和产量的影响[J]. 华北农学报,2014,29(5):232-238.
- [15] 张西超,邹洪涛,张玉龙,等. 灌溉方法对设施土壤理化

性质及番茄生长状况的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(6):143-147,153.

- [16] Nawaz M F, Bourrie G, Trolard F. Soil compaction impact and modeling: A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33(2): 291-309.
- [17] 吴争光,虎胆·吐马尔白,张金珠,等. 不同灌水频率棉花膜下滴灌土壤水盐运移规律研究[J]. 新疆农业大学学报,2009,32(4):50-54.
- [18] 余美,杨劲松,刘梅先,等. 膜下滴灌灌水频率对土壤水盐运移及棉花产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):18-23,28.
- [19] 吴立峰,张富仓,周罕冕,等. 不同滴灌施肥水平对北疆棉花水分利用率和产量的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(20):137-146.
- [20] Fernandez U O, Virto I, Bescansa P. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation prone, semiarid soil [J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, 106(1): 29-35.
- [21] 祁琳,柏新富,牛玮浩,等. 根际通气状况对盐胁迫下棉花幼苗生长的影响[J]. 植物学报,2016,51(1):16-23.
- [22] 王伟,李光永,曾德超. 滴灌水质与灌溉频率对高含盐土壤棉花苗期生长的影响[J]. 灌溉排水学报,2008,27(6):37-40.