

深松条件下灌溉频次对棉花水分利用效率及产量的影响

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

(1. 新疆农业科学院 经济作物研究所/农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室, 乌鲁木齐 830091; 2. 阿瓦提县气象局, 新疆 阿瓦提 843200)

摘要:【目的】探讨深松条件下灌溉频次对棉花水分利用效率及产量的影响。【方法】2016—2017年,在深松后相同灌溉量下,设置3个灌溉周期为4、7、10 d,对应灌溉次数为17、10、7次,分别以D4、D7、D10表示,研究了灌溉期土壤水分、干物质积累、耗水量、水分利用效率(WUE)及产量的变化特征。【结果】深松条件下,适中的灌溉频次(D7)显著增加了0~20 cm土壤含水率,促进棉花干物质向蕾铃器官分配,提高WUE,2016年和2017年D7处理比D4、D10处理分别提高15.5%、16.5%和10.5%、9.2%。而过高(D4)或过低(D10)的灌溉频次降低了土壤含水率,高频灌溉促进了棉花营养生长,但向蕾铃器官分配比例降低,而低频灌溉干物质积累总量显著降低,土壤贮水减少量和总耗水量显著增加。过高或过低的灌溉频次均导致产量降低,D7处理的籽棉产量比D4、D10处理在2016年提高13.8%、17.3%,2017年提高7.0%、6.1%,而产量提高的主要原因是单株铃数和单铃质量的增加。【结论】深松后灌溉频次应以1次/7 d,可有效促进棉花营养与生殖器官干物质协调增长,提高生殖器官干物质分配比例,有利于棉花产量及水分利用效率的协同提高。

关键词:深松;灌溉频次;水分利用效率;产量;棉花

中图分类号:S562

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180711

郭仁松,陈平,程强,等.深松条件下灌溉频次对棉花水分利用效率及产量的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(7):17-22.

0 引言

新疆属极度干旱区,水资源分布的不均匀性和季节性短缺是限制新疆棉花高产栽培的主要因素^[1]。膜下滴管技术不仅提高了水资源利用效率,同时为棉花生长创造了良好的土壤水分环境^[2]。而在不同栽培措施下,如何调节田间土壤水分的分布状况,提高水分利用效率,是实现膜下节水灌溉的关键^[3-4]。以往研究认为,充分滴灌有利于增加深层土壤含水率,维持棉花生育后期较高的叶面积指数,促进光合产物向蕾铃器官分配^[5]。相同灌溉频次下,低水处理降低籽棉产量,但过量滴灌并无明显增产效应^[6]。相同灌溉量下,灌溉频次过高或过低均不利于棉花生长和水分利用效率提高,过高的灌溉频次导致表层土含水率较高而深层土壤水分不够,而较低的灌溉频次也可能导致水分的下渗和侧渗,均不利于棉花生长^[7]。以上研究均在常规耕作下开展的,近年来,深松技术在新疆棉田大面积推广应用,深松可打破棉田犁底层,增加耕层深度,改善耕层土壤环境,利于棉花根系下扎,促进棉花生长和产量的形成。而基于深松条件下,灌溉频次的相关研究报道较少。因此,有必要在深松条件下开展灌溉频次对棉花水分利用效率及产量的影响,旨为新疆棉田灌溉技术的发展提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016—2017年在新疆农业科学院阿瓦提县试验基地进行。试验基地位于天山南麓、塔里木盆地

收稿日期:2018-12-27

基金项目: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);农业部重点实验室开放课题(25107020-201804);自治区科技支撑项目(2017E0251);国家棉花产业技术体系项目(CARS-18-07,CARS-15-50)

作者简介:郭仁松(1982-),男,山东德州人。副研究员,主要从事棉花生理生态研究。E-mail: songgr08@163.com

通信作者:崔建平(1975-),男,山东青州人。研究员,主要从事棉花高产栽培与品质创优研究。E-mail: 3022825258@qq.com

西北边缘,属暖温带大陆性干旱气候,年均气温 10.4℃,年均降水量 46.7 mm,年均蒸发量 1 890.7 mm。试验田降水主要发生在 6—9 月(图 1),其中 ≥ 5 mm 有效降水场次,2016 年共 7 次,累计降水量 63.25 mm,2017 年共 5 次,累计降水量 95.76 mm。

试验地土壤质地为壤土,土壤类型为灌淤土,耕层土壤有机质量为 7.41 g/kg,全氮量为 0.47 g/kg,碱解氮量为 60.98 mg/kg,速效磷量为 35.36 mg/kg,速效钾量为 155.17 mg/kg,田间质量持水率为 29.2%,试验田地下水埋深 5 m,前茬作物为棉花,供试品种为新陆中 54 号。

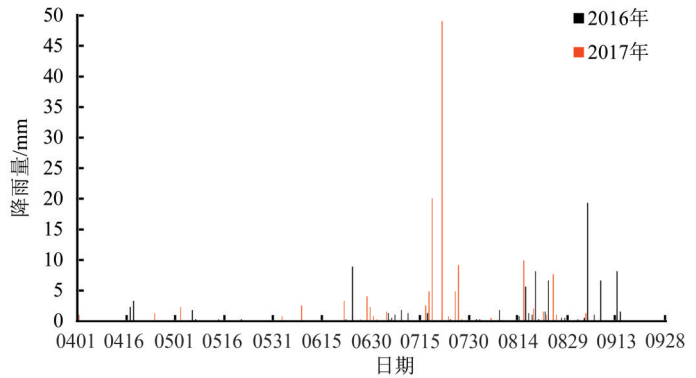


图 1 试验田 2016—2017 年棉花生长期降雨量

1.2 试验设计

试验于 2016 年和 2017 年 4—10 月进行,试验前进行深松处理,深松深度为 40 cm,深松时间为 2015 年 11 月 22 日,深松后进行冬灌。试验采用单因子随机区组设计,根据南疆棉田灌溉情况设置 3 个灌溉频次,即:全生育期灌溉 17、10、7 次,对应灌溉周期为 4、7、10 d,以 D4、D7、D10 表示,全生育期灌水量均为 3 600 m³/hm²,每处理重复 3 次,共 9 个试验小区,小区宽 6.9 m,长 7 m(含 0.5 m 走道),面积 48.3 m²。试验采用 1 膜 2 管 6 行机采棉种植模式,地膜宽为 2.0 m,宽行 66 cm,窄行 10 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 2.4×10⁵ 株/hm²。播种前施基肥,尿素(含 N 量 46%)120 kg/hm²,磷酸二铵(含 P₂O₅ 量 46%)90 kg/hm²及硫酸钾(含 K₂O 量 51%)75 kg/hm²。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 18 日播种,9 月 15 日收获,2 年相同处理小区灌溉次数、灌水量均一致,实施等量灌溉,头水和尾水不追肥,其余等量施入,全生育期追施尿素 375 kg/hm²。其余措施同高产田管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水率测定

在棉花不同生育期(灌溉期在灌水后的第 4 d 取样),利用土钻每 20 cm 为 1 个层次钻取 0~60 cm 土样,重复 3 次,利用烘干法测定土壤含水率。同时在棉花播种前和收获后,每 20 cm 为 1 个层次钻取 0~120 cm 土样,测定土壤含水率。

1.3.2 棉田耗水量计算

全生育期耗水量的确定采用水量平衡法,其计算式为:

$$ET_a = W + M + P + K, \quad (1)$$

式中: ET_a 为计算时段的作物耗水量(mm); W 为土壤蓄水量(mm), $W=10h\gamma\theta$,其中, h 为土层深度(cm); γ 为土壤体积质量(g/cm³); θ 为土壤含水率(%); M 为计算时段灌水量(mm),用水表直接测出每次灌水量值; P 为全生育期降水量(mm); K 为地下水利用量(mm),若试验区地下水埋深大于 200 cm,可忽略不计。

水分利用效率按 $WUE=Y/ET_a$ 计算,其中 WUE 为水分利用效率(kg/(hm²·mm)); Y 为作物产量(kg/hm²)。

1.3.3 干物质的测定

在试验田内于棉花不同生育时期选择长势均匀具有代表性植株 6 株,将其分解成叶、茎、蕾铃、根,105℃杀青 30 min 后 80℃烘干至恒质量,称干质量,重复 3 次。

1.3.4 Logistic 方程模拟

棉花干物质积累用 Logistic 方程拟合,Logistic 方程为: $L=L_m/(1+(e^{(a-bt)}))$, L 为棉花干物质积累量, t 为棉花出苗后时间, a 、 b 、 L_m 为待定系数都有一定生物学意义。当 $t_0=-a/b$ 时, $V_m=-bL_m/4$, t_0 表示干物质积累速率最大的时刻, V_m 表示干物质积累最大速率(kg/d)。 t_1 和 t_2 将 Logistic 生长函数“S”型曲线分为 3 个阶段,在棉花出苗到 t_1 时间段内,干物质积累呈缓慢上升的趋势;在 $t_1\sim t_2$ 时间段内干物质积累快速增长期;在 t_2 时刻后,干物质积累速率缓慢下降,使 L 最终趋向于 L_m 。 $\Delta t=t_2-t_1$,为“时间特征值”,表示干物质积累快速增长期的长短;在 $t_1\sim t_2$ 时间内, $GT=-bL_m/4\cdot\Delta t$, GT 为“生长特征值”,表示干物质积累量已达到最大积量的 65.8%。

1.3.5 棉花产量及构成因素测定

在棉花收获期调查小区内收获株数、总铃数,每小区取 50 铃(重复 3 次)测定棉花单铃质量及衣分,计算

小区产量。

1.3.6 数据统计与分析

试验数据用Excel版本和DPS7.05 软件进行统计分析和作图,采用LSD法进行多重比较,显著水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 深松条件下灌溉频次对土壤含水率的影响

由图2可知,不同灌溉频次在棉花生育期土壤含水率变化趋势基本一致,均呈逐渐下降趋势。不同灌溉频次对0~20 cm 土层土壤含水率影响较明显,处理间土壤含水率表现为D7处理>D4处理>D10处理,2016年和2017年D7处理土壤含水率平均分别较D4和D10处理高9.9%、18.1%和18.3%、18.0%。20~40 cm 土层,盛铃期前,D4和D10处理土壤含水率均低于D7处理,但前二者之间的差异不明显。随土层深度的增加,不同灌溉频次间土壤含水率则呈现为:D4处理土壤含水率远低于D7和D10处理,2016年D7处理土壤含水率略高于D10处理,2017年二者之间差异较小。2年试验表明各处理土壤含水率均随土层深度增加依次升高,深层土壤含水率明显高于表层土壤含水率。因此,不同深度土层土壤含水率均以D7处理较高,0~40 cm 土层内D4处理土壤含水率则高于D10处理,40~60 cm 土层呈相反变化,高频次的灌水方式表层土壤含水率虽较高,但不利于水分的贮存,低频灌溉则使表层土壤水分消耗过快,不利于棉花对水分的吸收。

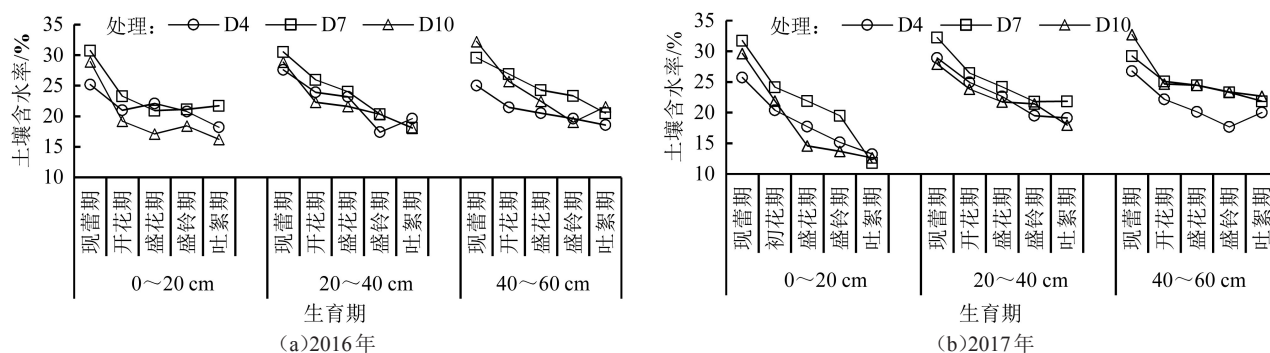


图2 深松条件下不同灌溉频次时土壤含水率的变化

2.2 深松条件下灌溉频次对水分利用效率(WUE)的影响

表1为深松条件下不同灌溉频次时的水分利用效率。由表1可知,总耗水量在2016年随着灌溉频次的降低而呈上升趋势,而2017年D7处理小于D4、D10处理,2个年度均以D10处理总耗水量为最高。在灌水量和降雨量一致的情况下,总消耗量升高,土壤贮水减少量就增加,同时土壤水的利用效率提高。说明深松条件下灌溉频次减少,棉花生育期消耗土壤贮水量增加,土壤水分利用效率提高。而水分利用效率与棉花产量相关,D7处理水分利用效率显著高于D4、D10处理,D4、D10处理间水分利用效率无差异。说明灌溉频次过高或过低均不利于棉花产量的形成,使棉花生长期水分利用效率降低。

表1 深松条件下不同灌溉频次时的水分利用效率

年份	处理	降雨量/mm	灌水量/mm	土壤贮水减少量/mm	耗水量/mm	土壤水利用效率/%	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
2016年	D4	63.3	360	38.9c	462.2b	8.4c	11.6b
	D7	63.3	360	43.7b	466.9b	9.4b	13.4a
	D10	63.3	360	56.6a	479.8a	11.8a	11.5b
2017年	D4	95.8	360	89.4a	545.2a	16.4a	8.6b
	D7	95.8	360	73.8b	529.6b	13.9b	9.5a
	D10	95.8	360	91.4a	547.2a	16.7a	8.7b

注 不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

2.3 深松条件下灌溉频次棉花总干物质的 Logistic 模型及特征值

经 Logistic 方程模拟(表2),深松条件下不同灌溉频次棉花干物质积累量均符合“S”型曲线, R^2 达0.97以上。从总干物质质量来看,D4处理总干物质质量的最大积累期 t_0 较D7、D10处理提前2~7 d,而到达 t_1 时2016年D7处理较D4、D10处理早3.7 d,2017年D4处理较D7、D10处理早4.3 d,但总干物质快速积累期结束时间则是随着灌溉频次的增加呈提前的趋势,2个年度的结果一致。干物质质量快速积累持续期 Δt 在2个年度内均以D7处理最高,但最快积累速率 V_m 在2016年D4处理较D7、D10处理高24.7%、29.8%,2017年D7处理较D4、D10处理高3.3%、10%。最大积累速率 V_m 的提高使GT增大,2016年、2017年分别以D4、D7处理最高。

表2 深松条件下不同灌溉频次棉花总干物质的 Logistic 模型及特征值

年份	处理	模拟方程	R^2	t_0/d	t_1/d	t_2/d	$\Delta t/d$	$V_m/(kg \cdot d^{-1})$	GT/kg
2016年	D4	$Y=16\,483.2/(1+e^{(5.4-0.07X)})$	0.983 1	78	59	97	38	283.9	10 853.8
	D7	$Y=16\,038.4/(1+e^{(4.5-0.06X)})$	0.997 4	80	56	103	46	227.7	10 560.9
	D10	$Y=14\,574.6/(1+e^{(5.1-0.06X)})$	0.992 8	85	63	107	44	218.8	9 597.0
2017年	D4	$Y=18\,057.2/(1+e^{(4.6-0.05X)})$	0.988 8	86	61	111	50	238.0	11 890.3
	D7	$Y=19\,798.1/(1+e^{(4.6-0.05X)})$	0.977 0	92	65	118	53	245.9	13 036.6
	D10	$Y=18\,427.1/(1+e^{(4.4-0.05X)})$	0.993 3	91	64	118	53	223.5	12 133.8

表3为深松条件下不同灌溉频次棉花生殖器官干物质的 Logistic 模型及特征值。由表3可知,不同灌溉频次生殖器官干物质进入快速积累期 t_1 在81~89 d,而快速积累期结束的 t_2 各处理差异较大,2016年在100~103 d,2017年112~117 d,分别以D7、D4处理较大。说明深松能调节生殖器官干物质积累过程,深松后第1年不同处理生殖器官到快速积累期较第2年提前3~8 d,灌溉频次过多使棉花生殖器官最大积累期提前,同时积累速率较高,而频次过低生殖器官最大积累期推迟,且积累速率下降。

表3 深松条件下不同灌溉频次棉花生殖器官干物质的 Logistic 模型及特征值

年份	处理	模拟方程	R^2	t_0/d	t_1/d	t_2/d	$\Delta t/d$	$V_m/(kg \cdot d^{-1})$	GT/kg
2016年	D4	$Y=8\,111.9/(1+e^{(13.6-0.15X)})$	0.998 6	91	83	100	18	302.3	5 341.5
	D7	$Y=9\,488.1/(1+e^{(10.1-0.11X)})$	0.999 7	93	81	105	24	257.0	6 247.7
	D10	$Y=8\,250.5/(1+e^{(12.2-0.13X)})$	0.997 7	93	83	103	20	271.5	5 432.8
2017年	D4	$Y=9\,589.2/(1+e^{(8.8-0.09X)})$	0.999 1	101	86	117	30	207.1	6 314.3
	D7	$Y=9\,483.6/(1+e^{(11.1-0.11X)})$	0.999 1	100	88	112	24	263.2	6 244.7
	D10	$Y=9\,019.4/(1+e^{(11.4-0.11X)})$	0.999 9	101	89	113	23	254.4	5 939.1

2.4 深松条件下灌溉频次对棉花干物质分配的影响

深松条件下灌溉频次影响棉株的生长,改变了光合产物在不同器官的分配。从表4可以看出,不同灌溉频次下,棉花干物质分配量存在差异,2016年随着灌溉频次的增加,干物质向根部和茎叶部分配量增大,D4处理的根系比例分配6.3%,茎叶比例达到42.1%,而向蕾铃分配则表现为:D7处理>D10处理>D4处理。表明深松后第1年灌溉频次高,则干物质积累量提高,同时可促进光合产物向根系及茎叶营养器官分配,根冠比提高,而灌溉频率较高或较低均不利于光合产物向蕾铃器官分配。2017年不同处理光合产物向根系及茎叶器官分配比例无显著差异,但光合产物向蕾铃器官分配的量D7处理显著高于D4、D10处理,根冠比则以D4处理最高。分析认为,深松后第1年不同灌溉频次对干物质积累与分配量影响显著,而第2年深松效果下降,差异不显著,灌溉频次过高或过低均能降低光合产物向蕾铃器官分配。

表4 深松条件下棉花干物质质量

年份	处理	各器官干物质质量/(kg·hm ⁻²)				各器官比例/%			根冠比
		根	茎叶	蕾铃	总量	根	茎叶	蕾铃	
2016年	D4	980.6a	6 571.4a	8 062.6b	15 614.6a	6.3	42.1	51.6	0.067a
	D7	870.9b	5 060.1b	9 292.7a	15 223.7b	5.7	33.2	61.0	0.061b
	D10	773.1c	4 452.1c	8 154.6b	13 379.7c	5.8	33.3	61.0	0.061b
2017年	D4	1 088.4a	6 264.8a	8 975.5b	16 328.7a	6.7	38.4	55.0	0.071a
	D7	1 055.1a	6 362.8a	9 218.4a	16 636.3a	6.4	38.2	55.4	0.068b
	D10	1 002.1a	6 211.0a	8 785.2b	15 998.3b	6.6	38.8	54.9	0.067b

2.5 深松条件下灌溉频次对棉花产量及构成因素的影响

表5为不同灌水频次下棉花产量及构成因素。由表5可知,籽棉产量以D7处理最高,其次是D10处理,D4处理最低,2个年度的变化趋势一致,2016年D7处理籽棉产量显著高于D10、D4处理,相比提升17.3%、13.8%。2017年籽棉产量D7处理比D10、D4处理高6.1%、7.0%,但差异不显著。说明深松对不同灌溉频次籽棉产量有明显的调节作用,且深松后第1年效果好于第2年,适中的灌溉频次有利于籽棉产量提高。主要是因为适中的灌溉频次使棉花单株铃数、单铃质量提高。2016年D7处理的单株铃数显著高于D4和D10处理,分别高9.3%和6.8%,而2017年各处理间单株铃数同样表现出D7处理>D10处理>D4处理,但差异不显著;D7处理单铃质量分别较D4、D10处理高3.4%、1.7%(2016年)和1.8%、1.8%(2017年),而各处理对收获株数和衣分无影响。综合分析,相同灌溉量下,灌水频次过高或过低均不利于棉花产量的提高,D7处理可使

产量维持在较高水平。

表5 不同灌水频次下棉花产量及构成要素

年份	处理	收获株数/(万株·hm ²)	单株铃数/个	单铃质量/g	衣分/%	籽棉产量/(kg·hm ²)
2016年	D4	21.4 a	4.3 b	5.8 a	46.0 a	5 337.2 b
	D7	22.2 a	4.7 a	6.0 a	46.0 a	6 260.4 a
	D10	21.2 a	4.4 b	5.9 a	46.1 a	5 503.5 b
2017年	D4	21.0 a	4.0 a	5.6 a	45.4 a	4 704.8 a
	D7	21.4 a	4.2 a	5.7 a	45.5 a	5 033.3 a
	D10	20.8 a	4.0 a	5.6 a	45.3 a	4 742.4 a

3 讨论

水分是影响棉花生长和产量形成的主要因素之一^[8-9]。在灌水量和降雨量相同的条件下,灌溉频次对不同深度土层水分影响较大,是调节土壤水分的重要因素^[10-11]。研究表明,高频灌溉可以增加0~40 cm土壤含水率,同时水分利用效率显著提高^[12];灌溉频率影响蕾期、花铃期耗水量,较高频次灌溉利于花铃期维持较低的水分需求,而较低频次灌溉造成干旱胁迫,适中的灌溉频次能有效提高水分利用效率^[13-14];高灌溉频次导致水和养分向根区以下转移,而灌水频次过低,导致作物水肥不足,生长受到抑制^[15]。本试验研究表明,在棉田深松后,高频灌溉和低频灌溉均会降低土壤含水率,特别是0~20 cm土壤含水率显著下降,而适中灌溉频次(D7)土壤含水率较高频灌溉(D4)和低频灌溉(D10)分别提高了9.9%~18.1%、18.0%~18.3%。高频灌溉能降低深层土壤贮水量的消耗,低频灌溉则显著提高土壤贮水量的消耗,从而提高总耗水量,水分利用效率显著下降。

灌溉频次可以调节棉花生育期营养和生殖器官干物质积累^[16]。研究表明,高频灌溉下棉花株高和单株干物质质量增长较快,蕾铃干物质质量增长缓慢,而低频灌溉下株高和单株干物质质量增加缓慢,蕾铃干物质质量增加^[17];高频滴灌易使棉花营养生长过旺,并导致晚熟与减产,高频灌溉的生产实践意义并不大^[18];增加灌水量和灌水频次可以促进棉花营养生长,而相同灌水量下,高频次灌溉相比低频次灌溉有利于增加生殖器官干物质积累量^[19]。这与本研究结果一致,高灌溉频次可以促进棉花营养生长,棉花干物质积累量提高,D4处理总干物质质量的最大积累期较D10处理提前2~7 d,同时干物质最快积累速率提高,而低灌溉频次(D10)使棉花营养生长减缓,总干物质积累量显著降低。而适中的灌溉频次(D7)促进棉花生殖生长,使蕾铃干物质积累比例提高,导致单株结铃数和单铃质量增加,最终使籽棉产量增加。

4 结论

在新疆膜下滴灌条件下,为协调土壤贮水量与灌水量之间的消耗比例平衡,深松后灌溉频次应设为1次/7 d,可有效促进棉花营养与生殖器官干物质协调增长,提高生殖器官干物质分配比例,有利于棉花产量及水分利用效率的协同提高,且深松后效果第1年优于第2年。

参考文献:

- [1] 柴付军,李光永,张琼,等.灌水频率对膜下滴灌土壤水盐分布和棉花生长的影响研究[J].灌溉排水学报,2005,24(3):12-15.
- [2] 杨九刚.新疆棉花膜下滴灌土壤水盐调控适宜灌溉制度研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.
- [3] 宜丽宏,王丽,张孟妮,等.不同灌溉方式对冬小麦生长发育及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(10):14-19.
- [4] WANG F X, KANG Y, LIU S P. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in north china plain[J]. Agricultural Water Management, 2006, 79(3): 248-264.
- [5] 罗宏海,朱建军,张旺锋,等.滴灌棉田根区水分对棉花干物质生产及水分利用效率的影响[J].新疆农业科学,2011,48(4):622-628.
- [6] 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.
- [7] 高龙,田富强,倪广恒,等.膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J].水利学报,2010,41(12):1 483-1 490.
- [8] 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.
- [9] 张安琪,郑春莲,李宗毅,等.棉花成苗和幼苗生长对咸水滴灌的响应特征[J].灌溉排水学报,2018,37(10):16-22.
- [10] 黄振江,陈慧,王冀川,等.滴灌频率对冬小麦群体田间小气候特性影响[J].新疆农业科学,2017,54(11):2 036-2 045.
- [11] 韩惠芳,李全起,董宝娣,等.灌溉频次和时期对冬小麦籽粒产量及品质特性的影响[J].生态学报,2010,30(6):1 548-1 555.
- [12] 郭琛,祁通,侯振安,等.滴灌条件下灌溉量和频率对杂交棉生长和产量的影响[J].新疆农业科学,2010,47(9):1 872-1 877.
- [13] 林涛,郭仁松,徐海江,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):1 224-1 229.

- [14] 吴凤全, 汤秋香, 王亮, 等. 灌溉频率对棉花干物质积累及水分利用效率的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(4):601-608.
- [15] KWON J H, FARRELL R J. The risk of lymphoma in the treatment of inflammatory bowel disease with immunosuppressive agents[J]. Critical Reviews in Oncology/Hematology, 2005, 56(1):169-178.
- [16] 余美, 杨劲松, 刘梅先, 等. 膜下滴灌灌水频率对土壤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.
- [17] 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.
- [18] 胡晓棠, 陈虎, 王静, 等. 不同土壤湿度对膜下滴灌棉花根系生长和分布的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5):1 682-1 689.
- [19] 邢小宁, 姚宝林, 孙三民. 不同灌溉制度对南疆绿洲区膜下滴灌棉花生长及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2):227-236.

Effect of Irrigation Frequency on Water Use Efficiency and Yield of Cotton after Loosening the Deep Soil

GUO Rensong¹, CHEN Ping², CHENG Qiang², LIN Tao¹, WANG Liang¹,
ZHENG Zipiao¹, XU Haijiang¹, TIAN Liwen¹, CUI Jianping^{1*}

(1. Research Institute of Economic Crops/Key Laboratory of Crop Physiological Ecology and Tillage of Desert Oasis,
Ministry of Agriculture, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;
2. Awati County Meteorological Administration, Awati 843200, China)

Abstract: **【Objective】** The objective of this paper is to experimentally investigate the responsive change in yield and water use efficiency of cotton to irrigation frequency after soil loosening. **【Method】** The experiment was conducted from 2016 to 2017 after deeply loosening soil. By keeping the irrigation amount the same, we compared three irrigation frequencies: Irrigating once in each 4 day (D4), 7 days (D7) and 10 days (D10) respectively. The associated irrigation times were 17, 10 and 7 respectively. In each treatment, we measured soil moisture, dry matter accumulation, water consumption, water use efficiency and the yield of the crop. **【Result】** After deep loosening, keeping irrigation frequency at a moderate level (D7) significantly enhanced water-holding capacity of the 0~20 cm soil, thereby facilitating distribution of dry matter to different organs in the bud and boll and consequently improving the water use efficiency (*WUE*). Compared to D4 and D10, D7 increased *WUE* by 15.5% and 10.5% in 2016 and 16.5% and 9.2% in 2017, respectively. Increasing irrigation frequency promoted vegetative growth and reduced distribution of the dry matter to organs in the bud and boll. In contrast, reducing irrigation frequency reduced the accumulation of total dry matter, storage of water in the top soil and water consumption. Compared to D4 and D10, D7 increased the yield by 13.8% and 7.0% in 2016, and 17.3% and 6.1% in 2017. The main mechanism underlying in yield increase in D7 was the increase in boll number and average weight of the bolls in each plant. **【Conclusion】** Irrigating once after each 7 days, together with deep soil loosening, can effectively promote vegetative growth and organ production from dry matter, thereby facilitating the conversion of dry matter to organs and improving cotton yield and its water use efficiency.

Key words: deep plough; irrigation frequency; water use efficiency; yield; cotton

责任编辑: 刘春成